



การวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อเพิ่มแรงยึดติระหว่างปลั๊กและฟิวส์ในตัวกรอง
สัญญาณรบกวนโดยเทคนิคการออกแบบการทดลอง

นางสาวนภัสสร	สมศักดิ์	รหัสนักศึกษา 590610299
นางสาววชิรญาณ์	ธรรมณี	รหัสนักศึกษา 590610332

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปีการศึกษา 2562

หัวข้อโครงการ	การวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อเพิ่มแรงยึดติดระหว่างปลั๊กและฟิวส์ในตัวกรองสัญญาณ รบกวนโดยเทคนิคการออกแบบการทดลอง		
โดย	นางสาวนภัสสร	สมศักดิ์	รหัสนักศึกษา 590610299
	นางสาวชिरุณณ์	ธรรมณี	รหัสนักศึกษา 590610332
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.รุ่งฉัตร ชมภูอินไหว		
ปีการศึกษา	2562		

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อนุมัติให้นับ
โครงการนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

กรรมการสอบโครงการ

..... ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.รุ่งฉัตร ชมภูอินไหว)

..... กรรมการ
(รศ.ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร.อนิรุท ไชยจารุณิช)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อแรงยึดติดในผลิตภัณฑ์กรองสัญญาณรบกวนโดยเทคนิคการออกแบบการทดลองฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก รศ.ดร.รุ่งฉัตร ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่ได้ให้ความรู้ และคำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่งเสมอมา ทำให้งานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.รุ่งฉัตร ชมภูอินไหว รศ.ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์ ผศ.ดร.อนิรุท ไชยจารุวณิช อ.ดร.ชวิศ บุญมี กรรมการสอบงานวิจัยตลอดจนคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่ได้อบรมให้ความรู้ และแนวคิดต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ทำให้ผู้วิจัยนำมาใช้ในการวิจัยจนบรรลุผลสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ คุณพวงผกา ชมภูทอง และ คุณรัฐรักษ์ มูลประการ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการดำเนินงานการทำวิจัย เก็บข้อมูล การทดลอง ให้ความรู้ คำแนะนำ วิธีการในการจัดการปัญหาและงานต่าง ๆ คำปรึกษาในด้านต่าง ๆ ภายในโรงงานตลอดจนข้อคิดที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัยครั้งนี้

นางสาวนภัสสร สมศักดิ์

นางสาวชิรญาณ์ ธรรมณี

หัวข้อโครงการ	การวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อเพิ่มแรงยึดติดระหว่างปลั๊กและฟิวส์ในตัวกรองสัญญาณรบกวนโดยเทคนิคการออกแบบการทดลอง		
โดย	นางสาวนภัสสร	สมศักดิ์	รหัสนักศึกษา 590610299
	นางสาวจิรญาณ์	ธรรมณี	รหัสนักศึกษา 590610332
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.รุ่งฉัตร ชมภูอินไหว		
ปีการศึกษา	2562		

บทคัดย่อ

กระบวนการทดสอบค่าทางไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์กรองสัญญาณรบกวน รุ่น FN 28x เป็นกระบวนการที่สำคัญเพื่อตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานและทดสอบค่าทางไฟฟ้า ซึ่งในกระบวนการนี้ได้นำฟิวส์และปลั๊กมาหลอมละลายให้ยึดติดกัน หากมีการปรับค่าของเครื่องเชื่อมฝาปิดฟิวส์ไม่เหมาะสมอาจจะส่งผลให้เกิดการหลุดของฟิวส์กับตัวปลั๊กออกจากกันได้ งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อแรงยึดติดระหว่างปลั๊กและฟิวส์ในตัวกรองสัญญาณรบกวน และเพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่ทำให้แรงยึดติดระหว่างปลั๊กและฟิวส์มากที่สุด โดยทำการศึกษาลิขสิทธิ์ 6 รุ่น ได้แก่ FN281 FN282 FN283 FN284 FN285 และ FN286 โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้ คือศึกษากระบวนการผลิตตัวกรองสัญญาณโดยรวมและศึกษากระบวนการทดสอบค่าทางไฟฟ้าของตัวกรองสัญญาณรบกวนรุ่น FN 28x จากนั้นทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงยึดติดโดยใช้แผนผังเหตุและผลเพื่อกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยที่จะนำมาทำการทดลอง จากนั้นทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลและวิเคราะห์ความแปรปรวน จากนั้นทำการทดลองยืนยันผลด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาจำนวน 10 ครั้งต่อรุ่นผลิตภัณฑ์ จากนั้นสรุปผลการทดลองและจัดทำรายงาน ผลการวิจัยพบว่าปัจจัยในการปรับตั้งค่าเครื่องเชื่อมฝาปิดฟิวส์ที่ทำให้แรงยึดติดระหว่างปลั๊กและฟิวส์มากที่สุดสำหรับผลิตภัณฑ์กรองสัญญาณรบกวนรุ่น FN281 และ FN282 ได้แก่ แรงกด 20 กิโลกรัม อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส และ ตำแหน่งการวางชิ้นงาน 11.3 มิลลิเมตร ส่วนรุ่น FN283 และ FN284 ได้แก่ แรงกด 19 กิโลกรัม อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียสและตำแหน่งการวางชิ้นงาน 12.2 มิลลิเมตร และสำหรับรุ่น FN285 และ FN286 ได้แก่ แรงกด 19 กิโลกรัม อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส และตำแหน่งการวางชิ้นงาน 12.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ

Project Title	Analysis of factors increasing adhesion strength between plug and fuse in noise filter for electric appliances by using the experiments design technique		
Name	Ms. Napatsorn	Somsak	Code 590610299
	Ms. Wachiraya	Thammanee	Code 590610332
Department	Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University		
Project Advisor	Associate Professor Rungchat Chompu-inwai, Ph.D		
Academic Year	2019		

ABSTRACT

The final test of the FN 28x noise filter is an important process for product quality inspection and electrical testing. In this process, the fuse and the plug were molten to be fastened together. If the melted fuse holder was not adjusted properly, it might result in a disconnected fuse and disconnected plug. This research was applied by using the experiment design technique to analyze the factors. This technique analyzed the effect of adhesion force between the plug and the fuse in the noise filter. Moreover, it examined the level of factors that cause the maximal adhesion force between the plug and the fuse. We had studied 6 models which were FN281, FN282, FN283, FN284, FN285, and FN286. To identify, firstly, the researchers studied the noise filter process and the final test process of the FN 28x noise filter. Secondly, the researchers analyzed the factors that affect adhesion force by using the Fishbone diagram then examined the factors and the level of factors. Later, the researchers performed an experiment. After the researchers achieved the results of this experiment by using residual analysis and analysis of variance (ANOVA), the researchers confirmed the results with the appropriate conditions from 10 studies per product model. Finally, the researchers summarized the experiment results and arrange a report. The result shows that the melted fuse holder setting, which provides

the most adhesive force between the plug and fuse are the following; For the models FN281 and FN282, the pressure was 20 kilograms, the temperature was 220 degrees Celsius and the position of the workpiece was 11.3 mm. For the models FN283 and FN284, the pressure was 19 kilograms, the temperature was 210 degrees Celsius, and the position of the workpiece was 12.2 mm. For the models FN285 and FN286, the pressure was 19 kilograms, the temperature was 210 degrees Celsius and the position of the workpiece was 12.2 mm.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)	4
2.2 หลักการและวัสดุในการเชื่อมกันระหว่างปลั๊กกับฟิวส์	13
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	16
3.1 ขั้นตอนในการทำวิจัย	16
3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานและการใช้เครื่อง Melt Fuse Holder	22
3.3 ขั้นตอนการทดสอบแรงดึง	23
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	25
บทที่ 4 ผลการวิจัย	28
4.1 กระบวนการผลิตตัวกรองสัญญาณโดยรวมและกระบวนการ Final test	28
4.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงยึดติดระหว่างปลั๊กและฟิวส์ในตัวกรองสัญญาณรบกวน	30
4.3 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่นำมาทำการทดลอง	32
4.4 ผลการทดลองของผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282	32
4.5 ผลการทดลองของผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284	39
4.6 ผลการทดลองของผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286	47
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1 สรุปผลการวิจัย	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การลดรูปสมการของผลิตภัณฑ์รุ่น FN28x	57
ประวัติผู้เขียน	60

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ตัวอย่างตารางออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลสำหรับ 2 ปัจจัย (2^2)	8
2.2 ตัวอย่างตารางออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลสำหรับ 3 ปัจจัย (2^3)	8
3.1 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองและระดับของผลิตภัณท์แต่ละรุ่น	18
3.2 เงื่อนไขการทดลองของผลิตภัณท์รุ่น FN281 และ FN282	19
3.3 เงื่อนไขการทดลองของผลิตภัณท์รุ่น FN283 และ FN284	20
3.4 เงื่อนไขการทดลองของผลิตภัณท์รุ่น FN285 และ FN286	21
4.1 สาเหตุและความเป็นไปได้ในการทดลอง	31
4.2 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองและระดับของผลิตภัณท์แต่ละรุ่น	32
4.3 ผลการทดลองของผลิตภัณท์รุ่น FN281 และ FN282	33
4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลิตภัณท์รุ่น FN281 และ FN282	35
4.5 การวิเคราะห์การถดถอยของผลิตภัณท์รุ่น FN281 และ FN282	37
4.6 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับผลิตภัณท์รุ่น FN281 และ FN282	38
4.7 ผลตอบของการทดลองยืนยันผลของผลิตภัณท์รุ่น FN281 และ FN282	38
4.8 ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อพิสูจน์ว่าผลจากการทดลองยืนยันผลไม่แตกต่างจากค่าพยากรณ์ในผลิตภัณท์ FN281 และ FN282	39
4.9 ผลการทดลองของผลิตภัณท์รุ่น FN283 และ FN284	40
4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลิตภัณท์รุ่น FN283 และ FN284	42
4.11 การวิเคราะห์การถดถอยของผลิตภัณท์รุ่น FN283 และ FN284	45
4.12 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับผลิตภัณท์รุ่น FN283 และ FN284	45
4.13 ผลตอบของการทดลองยืนยันผลของผลิตภัณท์รุ่น FN283 และ FN284	46
4.14 ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อพิสูจน์ว่าผลจากการทดลองยืนยันผลไม่แตกต่างจากค่าพยากรณ์ในผลิตภัณท์ FN283 และ FN284	46
4.15 ผลการทดลองของผลิตภัณท์รุ่น FN285 และ FN286	47
4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลิตภัณท์รุ่น FN285 และ FN286	49
4.17 การวิเคราะห์การถดถอยของผลิตภัณท์รุ่น FN285 และ FN286	52
4.18 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยในการทดลองของผลิตภัณท์รุ่น FN283 และ FN284	52
4.19 ผลตอบของการทดลองยืนยันผลของผลิตภัณท์รุ่น FN285 และ FN286	53

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
4.20 ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อพิสูจน์ว่าผลจากการทดลองยืนยันผลไม่แตกต่างจากค่า พยากรณ์ในผลิตภัณฑ์ FN285 และ FN286	53
ก-1 การลดรูปสมการของผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282	57
ก-2 การลดรูปสมการของผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284	58
ก-3 การลดรูปสมการของผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286	58

สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กรองสัญญาณรบกวนรุ่น FN28x	2
2.1 รูปแบบทั่วไปของกระบวนการ	5
2.2 การพล็อตกราฟการกระจายตัวของส่วนตกค้าง	10
2.3 การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าพยากรณ์	10
2.4 การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง	11
2.5 หัวกดอลูมิเนียม	14
3.1 วิธีการและขั้นตอนในการทำงานวิจัย	16
3.2 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดชิ้นงานยึดติดกันไม่ดี	17
3.3 Housing ของปลั๊ก รุ่น FN28x	22
3.4 การปรับอุณหภูมิ ตำแหน่งการวางชิ้นงานและแรงกด	23
3.5 เครื่องมือช่วยจับยึดชิ้นงานของผลิตภัณฑ์ตัวกรองสัญญาณรบกวน	23
3.6 ห่วงลวดวงรี	24
3.7 พารามิเตอร์ของเครื่องทดสอบแรงดึง	24
3.8 แผนควบคุมความเร็วและทิศทางของเครื่องทดสอบแรงดึง	25
3.9 เครื่อง Melt Fuse Holder	25
3.10 เครื่องทดสอบแรงดึง	26
3.11 ประแจ L	26
3.12 เวอเนียร์	27
4.1 กระบวนการผลิตตัวกรองสัญญาณ รุ่น FN28x	28
4.2 กระบวนการ Final test ของตัวกรองสัญญาณรบกวน รุ่น FN28x	29
4.3 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดชิ้นงานยึดติดกันไม่ดี	30
4.4 กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282	34
4.5 กราฟพาเรโตที่แสดงผลกระทบต่อข้อมูลผลตอบในผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282	36
4.6 กราฟผลกระทบหลักที่มีผลต่อผลตอบในผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282	36
4.7 กราฟแสดงผลกระทบร่วมต่อผลตอบในผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282	37
4.8 กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284	41
4.9 กราฟพาเรโตที่แสดงผลกระทบต่อข้อมูลผลตอบในผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284	43

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
4.10	กราฟผลกระทบหลักที่มีผลต่อผลตอบแทนในผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284	44
4.11	กราฟแสดงผลกระทบร่วมต่อผลตอบแทนในผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN283	44
4.12	กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286	48
4.13	กราฟพาเรโตที่แสดงผลกระทบต่อข้อมูลผลตอบแทนในผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286	50
4.14	กราฟผลกระทบหลักที่มีผลต่อผลตอบแทนในผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286	51
4.15	กราฟแสดงผลกระทบร่วมต่อผลตอบแทนในผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286	51

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่ทำให้โครงการ

ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มานานกว่า 40 ปี และเป็นส่วนสำคัญในห่วงโซ่อุปทานของอุตสาหกรรมดังกล่าวของโลก ปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งออกกลุ่มสินค้าอิเล็กทรอนิกส์เป็นอันดับ 12 ของโลก อย่างไรก็ตามปัญหาและอุปสรรคของอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ประเทศไทยกำลังเผชิญอยู่ในขณะนี้ ทำให้มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ไทยต้องมีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการผลิตเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของตลาดโลกเพื่อเพิ่มความสามารถทางการแข่งขันในตลาดโลกให้มากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการเร่งปรับตัวให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมผู้บริโภคและการเปลี่ยนแปลงด้านเทคโนโลยีต่าง ๆ เน้นการผลิตตามความต้องการของลูกค้ามากขึ้น พัฒนาอุตสาหกรรมขั้นต้นน้ำ ผ่านการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ ๆ ให้ได้ด้วยตนเอง พัฒนาทักษะความสามารถของแรงงาน และหนึ่งในการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญคือการผลิตสินค้าและบริการที่มีคุณภาพ

บริษัท ทรินิตี้ศึกษาทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีการนำไปใช้อย่างกว้างขวางในระบบขับเคลื่อนประหยัพลังงาน ระบบควบคุมมอเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังลม พลังแสงอาทิตย์ เทคโนโลยีรถไฟฟ้า เครื่องมือ เครื่องจักร และหุ่นยนต์ รวมไปถึงการนำไปใช้กับส่วนจ่ายพลังงานสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างชนิดที่ใช้ในส่วนงาน เช่น เทคโนโลยีทางการแพทย์ หรือการสื่อสารทางไกล นอกจากนี้บริษัท ทรินิตี้ศึกษายังรับผลิตสินค้า เครื่องมือ และพัฒนาโปรแกรมให้ตรงกับความต้องการของลูกค้าเพื่อการใช้งานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและส่งเสริมเทคโนโลยีสร้างพลังงานที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างยั่งยืน

โรงงานของบริษัทการศึกษาในประเทศไทย เป็นส่วนการผลิตหลักของผลิตภัณฑ์ EMI suppression components ทุกชนิดโดยรวมถึง Power Line Filter, Choke และ Pulse Transformer ซึ่งเป็นการผลิตชิ้นส่วนประกอบสำหรับแม่เหล็กไฟฟ้า (EMC) และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในรถยนต์



ภาพ 1.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์กรองสัญญาณรบกวนรุ่น FN28x

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของทางบริษัทพบว่า ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์กรองสัญญาณรบกวน รุ่น FN 28x ดังภาพ 1.1 ในขั้นตอน Final Test ซึ่งทำการนำเอาฟิวส์กับตัวปลั๊กมาหลอมละลายทำให้ยึดติดกันโดยเครื่อง Melt Fuse Holder เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ ยังไม่มีการกำหนดค่าของปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำงาน ทำให้ชิ้นงานยึดติดกันไม่ดี สามารถใช้มือดึงก็หลุดออกจากกัน และนอกจากนี้พนักงานแต่ละคนยังมีการใช้ค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากบริษัทกำหนดเพียงช่วงของค่าต่าง ๆ ทำให้เกิดความแปรปรวนในกระบวนการผลิตสูง

ทางบริษัทจึงต้องการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลต่อแรงยึดติดสำหรับงาน FN28x รุ่นต่าง ๆ โดยผู้วิจัยเห็นว่าเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment Technique) เป็นเทคนิคที่เป็นการตรวจสอบดูว่าปัจจัย (Factor) ใดหรือตัวแปรใดมีผลต่อสิ่งที่สนใจ (Response) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือพิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต และเพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการทำวิจัยเพื่อแก้ปัญหาที่ทางบริษัทการศึกษาประสบในตอนนี

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อแรงยึดติดระหว่างปลั๊กกับฟิวส์ในตัวกรองสัญญาณรบกวน

1.2.2 เพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่ทำให้แรงยึดติดระหว่างปลั๊กและฟิวส์มากที่สุด

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาในบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่งซึ่งทำการผลิตตัวกรองสัญญาณรบกวน

1.3.2 ศึกษาผลิตภัณฑ์กรองสัญญาณ FN28x ทุกรุ่น (ปัจจุบันมีทั้งหมด 6 รุ่น คือ FN281, FN282, FN283, FN284, FN285 และ FN286)

1.3.3 แต่ละรุ่นศึกษาทั้งหมด 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ และทำการทดลอง 2 ซ้ำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้แรงยึดติดสูงสำหรับผลิตภัณฑ์กรองสัญญาณรบกวน รุ่น FN28x

1.4.2 สามารถนำแนวทางในการวิจัยไปใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงในอนาคตได้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

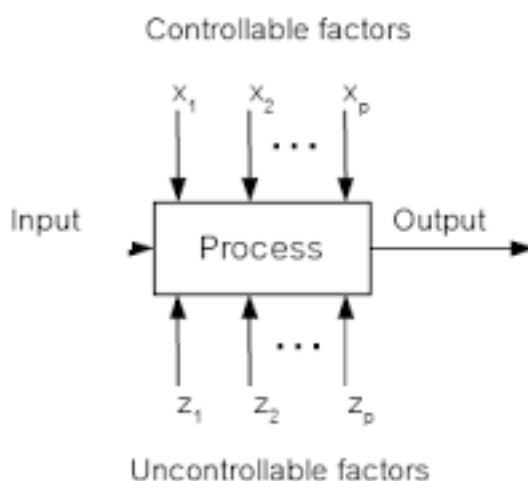
การหาปัจจัยที่มีผลต่อแรงยึดติดระหว่างปลั๊กและพิวส์ในผลิตภัณฑ์กรองสัญญาณรบกวนได้นำเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เข้ามาประยุกต์ใช้ ซึ่งผู้จัดทำโครงการได้ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาโดยเทคนิคการออกแบบการทดลองเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับวิศวกรเพื่อใช้ในการออกแบบ พัฒนา และปรับปรุงกระบวนการและผลิตภัณฑ์ เนื่องจาก “การทดลอง” เป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนการแก้ปัญหา และมีจุดประสงค์เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลและเรียนรู้เกี่ยวกับการทำงานของระบบที่ศึกษาโดยอาจทำการทดลองแบบเป็นลำดับขั้นคือแบ่งการทดลองเป็นชุดย่อยหลายชุดและทำการทดลองต่อเนื่องกัน การทดลองแต่ละครั้งจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการเพื่อใช้สำหรับปรับปรุงวิธีการทำการทดลองครั้งต่อไปเพื่อช่วยให้ผลการทดลองมีความถูกต้อง เที่ยงตรง และแม่นยำมากขึ้นประกอบด้วยหลักการพื้นฐานที่สำคัญ 3 ประการ

1) การทดลองซ้ำ (Replications) คือการทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกันมากกว่า 1 ครั้ง เพื่อยืนยันและเพิ่มความถูกต้องของผลการทดลองแต่มีข้อเสียคือสิ้นเปลืองทรัพยากรในการทดลอง การทดลองซ้ำมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรกการทดลองซ้ำทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลองดังนั้นการทดลองซ้ำทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้น ในการประมาณผลกระทบนี้นี้

2) การบล็อก (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่าง ๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อก

3) หลักการสุ่ม (Randomization) หมายถึงการทดลองที่มีวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูลจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ หลักการสุ่มจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริงและทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการออกแบบการทดลอง โดยทั่วไปการทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากลไก การทำงานของกระบวนการโดยเลือกใช้ตารางออกแบบการทดลองที่เหมาะสมเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำเข้าว่ามีผลต่อผลตอบในกระบวนการอย่างไร โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการหรือระบบที่ศึกษา แสดงดังภาพ 2.1 โดยประกอบไปด้วย ตัวแปรนำเข้า และตัวแปรผลตอบของกระบวนการ (กนกวรรณ กนกกุลชัย, 2545)



ภาพ 2.1 รูปแบบทั่วไปของกระบวนการ

ที่มา : Douglas C.Montgomery, 2012

โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ศึกษาประกอบด้วยตัวแปร 2 ประเภท ดังนี้

1) ตัวแปรนำเข้า (Input Variables) คือตัวแปรอิสระในกระบวนการ แบ่งได้หลายแบบ ดังนี้

1.1 แบ่งตามชนิดของข้อมูลของตัวแปร ได้แก่ ตัวแปรต่อเนื่อง (Continuous Variables) ตัวแปรไม่ต่อเนื่อง (Discrete Variables)

1.2 แบ่งตามความสามารถในการควบคุมปัจจัยในการทดลอง ได้แก่ ตัวแปรที่ควบคุม หรือปรับค่าได้ (Controllable Variables) ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Variables)

2) ตัวแปรผลตอบของกระบวนการ (Output/Responses Variables) คือผลลัพธ์ของกระบวนการหรือจากการทดลองหรือคือตัวแปรตามที่ขึ้นกับระดับของตัวแปรนำเข้า

2.1.1 การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบเต็ม 2^k (Full Factorial Design at Two Levels)

การศึกษามวลของปัจจัย k ปัจจัย โดยที่แต่ละปัจจัยจะมีการเปลี่ยนระดับในจำนวนที่เท่ากัน คือ 2 ระดับ ดังนั้นจำนวนเงื่อนไขการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบเต็มจำนวนคือ $2_1 \times 2_2 \times 2_3 \times \dots \times 2_k = 2^k$ การทดลอง เรียกว่าการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มจำนวน 2^k เป็นการออกแบบการทดลองที่สำคัญสำหรับการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในโรงงานอุตสาหกรรมและในงานวิจัยซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย จุดประสงค์ของการออกแบบการทดลองคือเพื่อคัดกรองปัจจัย (Factor Screening Experiment) โดยเลือกเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการที่กำลังศึกษา

การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) สามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยของทุกปัจจัยพร้อมกันจึงทำให้สามารถประมาณค่าผลกระทบหลัก (Main Effects) และผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ถึง k ปัจจัย (Interaction Effects) ครบทุกเทอมอย่างเป็นอิสระต่อกัน จากนั้นคัดกรองเฉพาะเทอมที่มีนัยสำคัญเพื่อใช้สำหรับสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากผลการทดลอง (Empirical Model) เพื่อใช้ทำนายผลการทดลองและกำหนดสภาวะที่เหมาะสมในการปฏิบัติงาน (Optimum Model) โดยแบบจำลองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นหรือแบบเชิงเส้นผสมเทอมผลกระทบร่วม (Linear Model with Interaction Terms) เนื่องจากปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาทดลองมี 2 ระดับจึงสามารถประมาณเฉพาะความสัมพันธ์เชิงเส้นประกอบด้วยผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมถึงแม้ว่าแบบจำลองที่ประกอบด้วยผลกระทบร่วมจะมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับแบบเส้นโค้งโดยเฉพาะถ้าประกอบด้วยผลกระทบร่วมอันดับสูงพื้นผิวของผลตอบจะมีความโค้งมากขึ้นแต่ปกติในทางปฏิบัติผลกระทบร่วมระหว่าง 3 ปัจจัยขึ้นไปมักจะมีผลต่อกระบวนการที่กำลังศึกษาน้อยมาก

2.1.2 ประโยชน์ของแฟกทอเรียล

1) สามารถศึกษาผลของตัวแปรทั้งเชิงคุณภาพ (Qualitative Variables) และเชิงปริมาณ (Quantitative Variables)

2) สามารถประมาณค่าความแปรปรวนที่ทำให้ข้อมูลในการทดลองผิดพลาด เพื่อนำมาพิจารณาว่ามีผลกระทบใดที่มีนัยสำคัญบ้าง โดยทำการทดลองซ้ำจุดแฟกทอเรียลหรือจุดกึ่งกลาง

3) สามารถศึกษาผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้อย่างอิสระ เนื่องจากในการทดลองไม่สามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยหลายปัจจัยพร้อมกันได้

4) สามารถควบคุมปัจจัยที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้การทดลองแบบแฟกทอเรียลด้วยการบล็อก (Blocking)

5) สามารถทำการทดลองแบบเป็นลำดับขั้นโดยแบ่งการทดลองเป็นชุดย่อยแล้ววิเคราะห์ผลเพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับกำหนดการออกแบบการทดลองเพิ่มเติมในชุดถัดไป และนำผลการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์ผลร่วมกันได้

6) สามารถนำผลการทดลองมาใช้สร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่จำลองพฤติกรรมการทำงานของกระบวนการได้อย่างถูกต้องและใกล้เคียงกับระบบการทำงานจริง

7) ใช้จำนวนการทดลองน้อยและให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบมากกว่าการทดลองแบบดั้งเดิม (ปรับเปลี่ยนระดับปัจจัยเพียงครั้งละ 1 ปัจจัยและกำหนดปัจจัยที่เหลือให้มีค่าคงที่หรือพิจารณาแนวโน้ม) ซึ่งเป็นวิธีการที่ศึกษาและเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการอย่างเป็นระบบ

8) ผลการทดลองที่มีความถูกต้องและแม่นยำสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(สรุทธิชัย ชิวสุทธิศิลป์, 2557)

2.1.3 ขั้นตอนแฟกทอเรียล

- 1) การเลือกปัจจัย
- 2) การกำหนดช่วงของปัจจัย
- 3) การกำหนดระดับโดยการแปลง (Coded Values)
- 4) การเขียนตารางออกแบบการทดลอง
- 5) การกำหนดสัญลักษณ์เงื่อนไขการทดลอง

2.1.4 การกำหนดช่วงของปัจจัยกรณี 2 ระดับ

การออกแบบการทดลองของการกำหนดปัจจัย 2 ระดับ คือ ระดับสูง (+) และระดับต่ำ (-) ซึ่งการกำหนดระดับของปัจจัยมีผลต่อการวิเคราะห์ผล อาจเริ่มจากการใช้ค่าปกติในการทำงานของพนักงาน ค่ากึ่งกลางการทดลองของแต่ละปัจจัยหรือกำหนดช่วงระดับสูงและระดับต่ำที่บริษัทยอมรับได้ โดยช่วงปัจจัยที่กำหนดควรเป็นค่าที่สามารถทำการทดลองได้จริง

2.1.5 ตารางออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลสำหรับ 2 ระดับ

ตารางออกแบบการทดลองเขียนโดยใช้ค่าแปลง โดนกำหนดให้ แทนค่าปัจจัยในการทดลองที่ระดับต่ำ “ -1 ” หรือ “ - ” และ แทนค่าปัจจัยในการทดลองที่ระดับสูง “ +1 ” หรือ “ + ” เงื่อนไขในการทดลองจำนวน 2^k โดย k คือ จำนวนปัจจัยในการศึกษา โดยมรวิธีการเขียนตารางออกแบบการทดลอง กำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อการทดลอง โดยเริ่มจากเขียนระดับ “ -1 ” จำนวน 2^{k-1} ครั้ง และ “ +1 ” จำนวน 2^{k-1} ครั้ง คืออย่างละครึ่งของจำนวนเงื่อนไขการทดลองทั้งหมด

2.1.6 กำหนดสัญลักษณ์เพื่อแสดงเงื่อนไขของผลตอบในการทดลอง

- 1) ถ้าระดับของปัจจัยในเงื่อนไขการทดลองกำหนดที่ระดับสูง (+1) ใช้ตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก
- 2) ถ้าระดับของปัจจัยในเงื่อนไขการทดลองกำหนดที่ระดับต่ำ (-1) ไม่มีตัวอักษร

3) ถ้าเงื่อนไขการทดลองที่กำหนดเป็นระดับต่ำทั้งหมดจะแทนด้วย 1

โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลสำหรับ 2 ปัจจัย ดังตาราง 2.1 และการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลสำหรับ 3 ปัจจัย ดังตาราง 2.2

ตาราง 2.1 ตัวอย่างตารางออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลสำหรับ 2 ปัจจัย (2^2)

ลำดับการทดลอง	ปัจจัยในการทดลอง		สัญลักษณ์	ผลตอบ Y_i
	A	B		
1	-1	-1	1	Y_1
2	+1	-1	a	Y_2
3	-1	+1	b	Y_3
4	+1	+1	ab	Y_4

ตาราง 2.2 ตัวอย่างตารางออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลสำหรับ 3 ปัจจัย (2^3)

ลำดับการทดลอง	ปัจจัยในการทดลอง			สัญลักษณ์	ผลตอบ
	A	B	C		
1	-	-	-	1	Y_1
2	-	-	+	c	Y_2
3	-	+	-	b	Y_3
4	-	+	+	bc	Y_4
5	+	-	-	a	Y_5
6	+	-	+	ac	Y_6
7	+	+	-	ab	Y_7
8	+	+	+	abc	Y_8

2.1.7 การวิเคราะห์แบบแฟกทอเรียลกรณีทำการทดลองซ้ำ

การทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มจำนวนกรณีมีการทดลองซ้ำ คือการทดลองเงื่อนไขเดียวกันมากกว่า 1 ครั้ง ($n \geq 2$) ปกติจำนวนการทดลองซ้ำสำหรับแต่ละเงื่อนไขการทดลองจะมีจำนวนเท่ากัน ซึ่งการทดลองซ้ำช่วยให้ผลของการทดลองมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นโดยเฉพาะในงานวิจัยหรือ

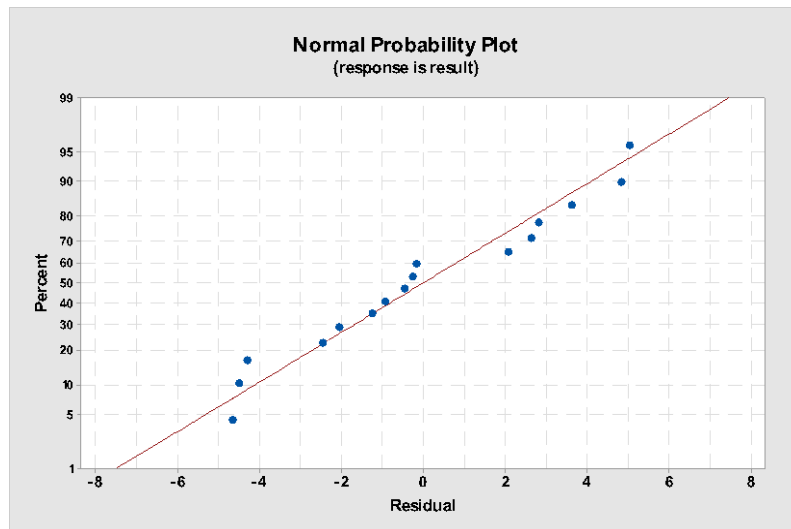
การศึกษาที่ต้องการระดับความน่าเชื่อถือหรือความถูกต้องสูง การวิเคราะห์ผลเช่นการคำนวณค่าผลกระทบใช้ค่าเฉลี่ยในการคำนวณ นอกจากนี้การทดลองซ้ำยังทำให้สามารถประมาณค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดของการทดลองได้ (MS_E หรือ S_E^2) หรือเรียกว่า “Replication Errors” หรือ “Pure Errors” การทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ผู้ทำการทดลองอาจคาดว่าผลตอบจากการทดลองจะต้องมีค่าเท่ากันแต่ในการทดลองจริงเป็นไปได้ยากมากถึงแม้ว่าจะวางแผนมาอย่างดี (ใช้หลักการสุ่มและหลักการควบคุม) แต่ยังคงมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในการทดลองอยู่ดี เพราะว่ามีปัจจัยรบกวนที่อยู่เหนือการควบคุมหรือที่เกิดจากความผิดพลาดของเครื่องมือ ผู้ทดลองหรือเครื่องจักร โดยค่าความแปรปรวนดังกล่าวใช้สำหรับตรวจสอบว่าผลกระทบใดมีผลต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญบ้าง (สรรรุติชัย ชิวสุทธิศิลป์, 2557)

2.1.8 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล (Residual Analysis)

ค่าส่วนค้าง (Residuals) ใช้สำหรับตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองได้โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับตรวจสอบความผันแปรในการทดลองจากแบบจำลองว่ามีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนดเบื้องต้นที่ว่าความคลาดเคลื่อนในการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติเป็นอิสระต่อกันมีค่าคงที่และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ การวิเคราะห์ส่วนตกค้างเป็นวิธีตรวจสอบข้อกำหนดเบื้องต้นที่ไม่ซับซ้อนโดยคำนวณส่วนตกค้างจากสมการแบบจำลองที่มีความเหมาะสมสำหรับกระบวนการดังกล่าว และตรวจสอบจากกราฟส่วนตกค้างกับตัวแปรอิสระอื่น ๆ กราฟปกติของส่วนตกค้าง โดยกราฟส่วนตกค้างไม่ควรมีรูปแบบใด ๆ (Patterns) และมีการกระจายตัวแบบสุ่ม (Random Patterns)

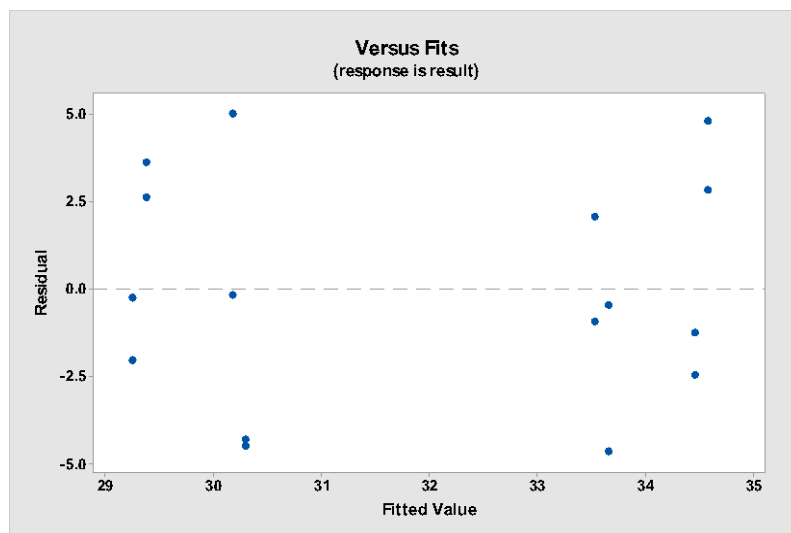
ก่อนที่จะนำข้อสรุปที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนไปใช้ จะต้องมีการตรวจสอบความเพียงพอของการทดลองก่อนที่จะนำไปใช้ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคือการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล (Residual Analysis) ซึ่งประกอบด้วย

- 1) การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ซึ่งใช้ในการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Probability Plot) โดยการพิจารณาค่าส่วนตกค้างหากพบว่าการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง จะสามารถประมาณได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติและมีค่าเท่ากับศูนย์จะสามารถวิเคราะห์ได้จากการพล็อตกราฟการกระจายตัวของส่วนตกค้าง แสดงตัวอย่างดังภาพ 2.2



ภาพ 2.2 การพล็อตกราฟการกระจายตัวของส่วนตกค้าง

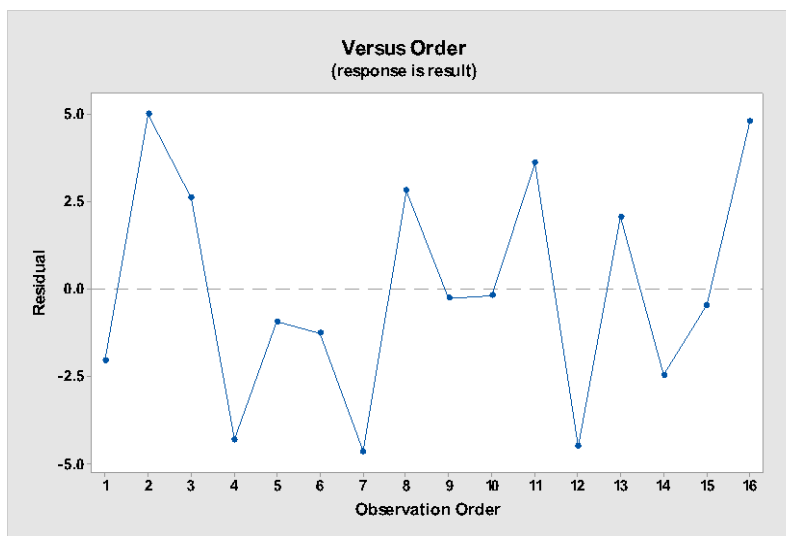
2) การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) หากพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนหรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้ จึงแสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากการพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าพยากรณ์ แสดงตัวอย่างดังภาพ 2.3



ภาพ 2.3 การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าพยากรณ์

3) การตรวจสอบความเสถียรของ σ^2 (Variance Stability) หากพิจารณาได้ว่า σ^2 ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับปัจจัยหรือขึ้นอยู่กับค่าผลตอบโดยไม่พบว่ามีรูปแบบการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีลักษณะเป็นแนวโน้มแต่อย่างใด มีโครงสร้างที่ไม่แน่นอน

จะสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ได้จากการพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง แสดงตัวอย่างดังภาพ 2.4



ภาพ 2.4 การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง

2.1.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) เป็นเทคนิคที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในทางหลักการคือต้องคำนวณขนาดความแปรปรวนที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการทดลอง จากนั้นแยกแยะสาเหตุของแหล่งที่ก่อให้เกิดความผันแปรของข้อมูลในการทดลองว่าเกิดจากผลของการปรับเปลี่ยนระดับปัจจัยที่ศึกษา หรือเกิดจากผลของปัจจัยรบกวนที่ก่อให้เกิดความผิดพลาดในการทดลองหลังจากแบ่งความผันแปรออกเป็น ส่วน ๆ ตามแหล่งของความผันแปร โดยจะพิจารณาว่าแต่ละแหล่งมีผลต่อการทดลองมากน้อยเพียงใด เทคนิควิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนช่วยให้ตัดสินใจผลกระทบจากแหล่งใดมีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญ และผลกระทบใดที่ควรรวมอยู่ในแบบจำลอง อีกทั้งยังใช้สำหรับตรวจสอบแบบจำลองสุดท้ายว่ามีความเหมาะสมหรือไม่และแบบจำลองสามารถอธิบายความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในการทดลองได้มากน้อยเพียงใด (สรรรุติชัย ชิวสุทสิศิลป์, 2557)

การสร้างแบบจำลองจะเริ่มต้นจากแบบจำลองเต็มจำนวน (Full Model) ที่มีเทอมต่าง ๆ ที่จะสามารถประมาณค่าได้ทั้งหมดจากการทดลอง จากนั้นจึงปรับแบบจำลองโดยตัดเทอมที่ไม่มีความสำคัญออกจากแบบจำลองเรียกว่าแบบจำลองแบบลดจำนวน (Reduced Model)

จุดประสงค์ของการใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) สำหรับแบบจำลองเต็มจำนวนจากการทดลองแบบแฟกทอเรียล คือการแบ่งแหล่งของความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการทดลองทั้งหมด SS_T (ดังสมการ 2.1) โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักดังนี้

1) ความผันแปรที่เกิดจากค่าเฉลี่ย SS_{average} (แต่ต่อไปจะไม่นำมาวิเคราะห์เพื่อทำการวิเคราะห์ง่ายขึ้น เนื่องจากปกติค่าคงที่มักมีนัยสำคัญและรวมอยู่ในแบบจำลองเสมอ)

2) ความผันแปรที่เกิดขึ้นระหว่างกลุ่มซึ่งสามารถแยกแหล่งของความผันแปรออกเป็นส่วนย่อยที่เกิดจากผลกระทบในแบบจำลอง ได้แก่ ความผันแปรจากผลกระทบหลัก (Main Effects) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interactions) รวมกันเรียกว่า SS_{effect}

3) ความแปรผันที่เกิดขึ้นภายในแต่ละกลุ่ม หรือจากการทดลองซ้ำ SS_{rep} ซึ่งแสดงความแปรปรวนที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดในการทดลอง SS_E

$$SS_T = SS_{\text{average}} + SS_{\text{effect}} + SS_{\text{rep}} \quad (2.1)$$

2.1.10 การทดลองยืนยันผล

หลังจากวิเคราะห์ผลการทดลองสร้างแบบจำลองที่เหมาะสมและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นก่อนนำเงื่อนไขดังกล่าวไปประยุกต์จริง ควรทำการทดลองยืนยันผลก่อนเพื่อตรวจสอบความถูกต้องก่อนที่จะนำไปปฏิบัติงานในสภาวะจริงว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ทำนายจากแบบจำลองหรือไม่ เพราะบางครั้งสภาวะในกระบวนการจริงอาจจะแตกต่างกับสภาวะในการทดลองซึ่งทดลองในสเกลเล็กและควบคุมสภาพแวดล้อมในการทดลองค่อนข้างมากกว่าปกติ ผู้วิจัยไม่ควรคาดหวังค่าจากการทดลองจริงจะต้องมีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากแบบจำลองทำนายผลโดยค่าทำนายผลจะขึ้นกับสมรรถนะของแม่จำลองว่ามีประสิทธิภาพในการจำลองการทำงานของกระบวนการที่ศึกษาได้ใกล้เคียงมากน้อยเพียงใดแบบจำลองดังกล่าวจะรวมเฉพาะเทอมที่มีนัยสำคัญเท่านั้นและแบบจำลองดังกล่าวสร้างมาจากข้อมูลของผลการทดลอง ดังนั้นขั้นตอนการวางแผนการออกแบบและการทำการทดลองนั้นจึงมีส่วนสำคัญที่จะช่วยให้ได้ข้อมูลสำหรับสร้างแบบจำลองที่ต้องการและน่าเชื่อถือในการทำ การทดลองยืนยันผลควรทำการทดลองซ้ำประมาณ 3-5 ครั้ง และทดสอบสมมติฐานค่าเฉลี่ยจากการทดลองยืนยันผลมีค่าเท่ากับค่าทำนายหรือไม่ ถ้ายอมรับสมมติฐานแสดงว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาใช้ทำนายพฤติกรรมของกระบวนการได้ใกล้เคียงสภาวะจริง (สรุทธิชัย ชีวสุทธิศิลป์, 2557)

2.2 หลักการและวัสดุในการเชื่อมกันระหว่างปลั๊กกับฟิวส์

2.2.1 วัสดุผลิตภัณฑ์กรองสัญญาณรบกวนรุ่น FN28x

ผลิตภัณฑ์กรองสัญญาณรบกวนรุ่น FN28x ใช้พลาสติกวิศวกรรม PBT4130 (Polybutylene Terephthalate) ซึ่งเป็นตระกูล Polyester ซึ่งพัฒนาโดยการผสมความชำนาญทางเทคโนโลยีของ Toray เข้ากับปฏิกิริยาการเตรียมพอลิเมอร์จากพอลิเอสเทอร์ และสารประกอบเสริมแรงด้วยเรซิน ซึ่งคุณลักษณะทางไฟฟ้า PBT เป็นพลาสติกที่ใช้เป็นฉนวนในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มันเป็นลิเมอร์ผลึกเทอร์โมและชนิดของเส้นใยสังเคราะห์

PBT4130 สามารถทนต่อตัวทำละลายหดตัวน้อยมากในระหว่างการขึ้นรูปมีความแข็งแรงทางกล ทนความร้อนได้ถึง 150 องศา (หรือ 200 องศา โดยมีการเสริมแรงใยแก้ว) สามารถทนความร้อนได้ในระยะยาว โดยมีอุณหภูมิหลอมตัวระดับ 227 องศาเซลเซียส เป็นโครงสร้างของโมเลกุลมีระเบียบ (Crystalline) และสามารถรักษาได้ด้วยสารทนไฟที่จะให้มันลุกไหม้ นิยมใช้ผสมกับสารเติมแต่งเพื่อให้สามารถทนความร้อนได้สูงขึ้น และมีความแข็งแรงขึ้น โดย PBT4130 มีคุณสมบัติเด่นคือ

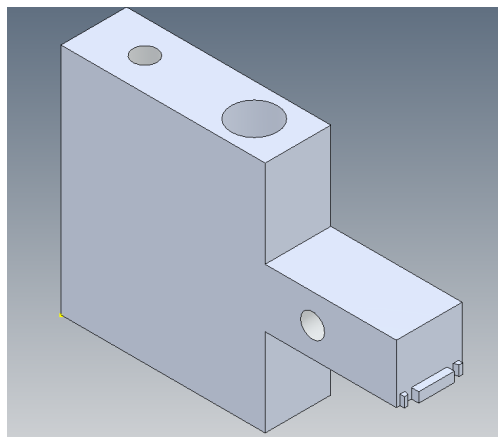
- 1) เป็นฉนวนไฟฟ้า ภายใต้อุณหภูมิ
- 2) ระบายความร้อนออกจากตัวได้ดีกว่าพลาสติกทั่วไป 3-5 เท่า
- 3) ทนความร้อนสูง
- 4) แข็ง
- 5) เหนียว
- 6) ทนทานแรงกระแทกแตกได้สูง
- 7) ทนสารเคมี
- 8) ดูดซับความชื้นต่ำ

2.2.2 หลักการและทฤษฎีของอลูมิเนียม

อลูมิเนียม (Aluminium) เป็นโลหะที่มีสีเงิน น้ำหนักเบา แต่มีความแข็งแรง นอกจากนี้ยังมีความยืดหยุ่น อลูมิเนียมเป็นธาตุที่มีปริมาณมากเป็นอันดับที่ 3 ที่อยู่ในเปลือกโลก โดยมีประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เป็นวัสดุธรรมชาติที่ได้มาจากการสกัดแร่อลูมินา เป็นวัสดุที่ทนความร้อนสูง แต่ความร้อนต่ำ กันความร้อนไม่ได้ เป็นโลหะที่ได้รับความนิยมนำมาใช้งานมาที่สุดในกลุ่มโลหะทั้งหมด จึงมีการนำอลูมิเนียมมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย น้ำหนักเบาแค่ 1 ใน 3 ของเหล็กเท่านั้น มีค่าการนำไฟฟ้า 64.94 เปอร์เซ็นต์ คุณสมบัติที่คงทนต่อการหักงอ ทนต่อความร้อน ทนต่อการกัดกร่อน น้ำหนักเบา และมีความสามารถในการสะท้อนแสง และสะท้อนความร้อนได้ดีพอควร มีความหนาแน่นต่ำ ง่ายต่อการผลิต มีความเหนียวสูง สามารถต้านทานต่อการแตกหักได้สูงมาก

2.2.3 การยึดติดของปลั๊กและฟิวส์โดยใช้หัวกดอลูมิเนียมด้วยเครื่อง Melt Fuse Holder

การยึดติดของปลั๊กและฟิวส์โดยใช้หัวกดอลูมิเนียมดังภาพ 2.5 คือทางวิศวกรของบริษัทได้ทำการออกแบบจิ๊กฟิกเจอร์ให้เหมาะสมต่อการยึดติดโดยการใส่เครื่องทำความร้อน (Heater) เพื่อให้เกิดความร้อนและอุณหภูมิที่เหมาะสมระหว่างการปฏิบัติงานของเครื่อง Melt Fuse Holder ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนเฉพาะส่วนปลายของหัวกดอลูมิเนียมทำให้ปลั๊กและฟิวส์หลอมละลายติดกัน



ภาพ 2.5 หัวกดอลูมิเนียม

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธัญนันท์ สุภาวรรณ และสุทธิดา ชัดงาม (2559) ได้ทำการวิจัยเพื่อลดการสูญเสียน้ำหนักของซาก สุกจากกระบวนการแช่เย็นข้ามคืนโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง จากการศึกษาพบว่าระยะเวลา ในการแช่เย็นซากสุกรที่เหมาะสมคือ 15.5 ± 1.5 ชั่วโมง และไม่มีการแช่หมูซี่ของลูกค้าร่วมใน กระบวนการ ซึ่งจะสามารถลดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักซากสุกรลงจาก 2.39 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 1.91 เปอร์เซ็นต์ และส่งผลให้ทางโรงงานได้รายได้จากการขายเนื้อสุกรในปริมาณที่มากขึ้นกว่าเดิม

นันทิกานต์ วงศ์เรน (2559) ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหา Samba ในกระบวนการผลิตอุปกรณ์กรองสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อหาปัจจัยและระดับของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดลูกบอลโลหะบัดกรี (Solder Ball) อย่างมีนัยสำคัญ ผู้วิจัยได้นำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาดำเนินงานตามกระบวนการแก้ปัญหาแบบ Six Sigma กำหนดหัวข้อและขอบเขตการทำงาน หลังจากนั้นวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภาพสาเหตุและผล และ จัดลำดับความสำคัญของปัญหาด้วยหลักการพาเรโต จากการศึกษาพบว่าปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ เหมาะสมได้แก่ ปัจจัยมุมที่ใช้ในการป้อนลวดควรป้อนลวดทามุมประมาณ 60 องศาเซลเซียส กับแนวระดับ, ปัจจัย อุณหภูมิที่ใช้ในการบัดกรีควรใช้อุณหภูมิที่ 400 องศาเซลเซียส

และปัจจัยอัตราเร็วที่ใช้ในการป้อนลวด ควรใช้เครื่องฟิวในการป้อนด้วย speed=2 ซึ่งทำให้สามารถลดปริมาณลูกบอลโลหะบัดกรี (Solder Ball) ที่เกิดจากสถานีงานที่ 15 ได้ถึง 93.43 เปอร์เซ็นต์

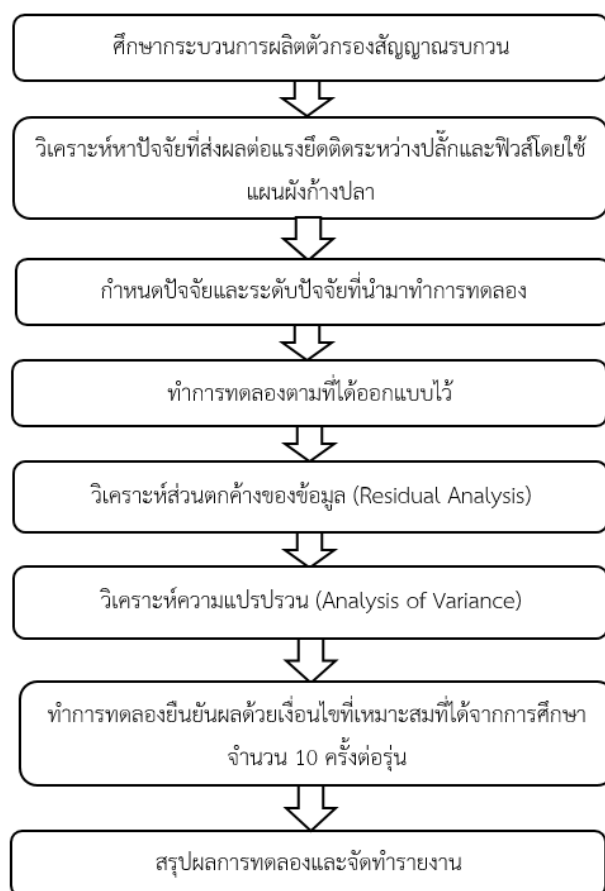
อัครฤทธิ์ เจริญเชษฐ (2561) ได้ทำวิจัยการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการปรับค่าความถี่ของอิเล็กทรอนิกส์เซ็นเซอร์ เมื่อนำชิ้นงานตัวอย่างที่มีค่าความถี่ก่อนปรับที่เท่ากันคือ 42.58 กิโลเฮิร์ตซ์ มาทำการปรับค่าความถี่เทียบกันพบว่า ค่าที่ได้จากขั้นตอนในปัจจุบันได้ค่าความถี่หลังปรับเท่ากับ 40.43 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งห่างจากค่าเป้าหมายเท่ากับ 0.33 กิโลเฮิร์ตซ์ และจากการควบคุมปัจจัยที่ได้จากการออกแบบการทดลองทำให้ค่าความถี่หลังปรับเท่ากับ 40.18 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งห่างจากค่าเป้าหมายเท่ากับ 0.88 กิโลเฮิร์ตซ์ จากทั้ง 2 วิธีการจึงได้ผลที่แตกต่างกันโดยจากขั้นตอนปัจจุบันยังต้องมาการปรับค่าความถี่เพิ่มเติมในครั้งที่ 2 หรือ 3 เพื่อให้ได้ค่าตามเป้าหมายได้ภายในการปรับเพียงครั้งเดียว ซึ่งทำให้สามารถลดกระบวนการทำงานซ้ำ (Rework) สำหรับการปรับค่าความถี่ในครั้งที่ 2 หรือ 3 ลงได้ ดังนั้นจึงสามารถนำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้เพื่อให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ ได้

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงยึดติดระหว่างปลั๊กกับฟิวส์ในผลิตภัณฑ์ตัวกรองสัญญาณรบกวนโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองโดยมีขั้นตอนสรุปดังแสดงในภาพ 3.1

3.1 ขั้นตอนในการทำวิจัย

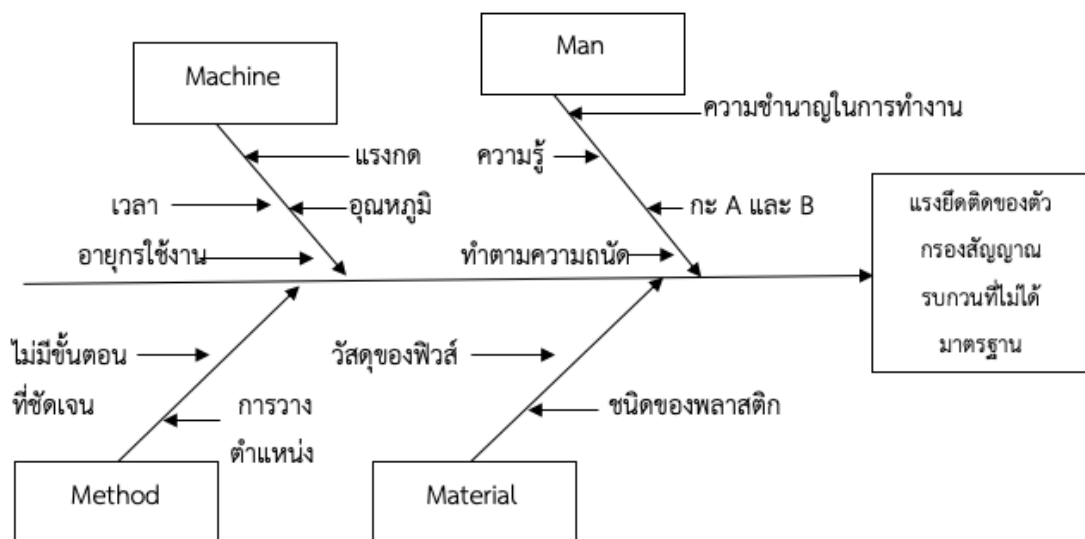


ภาพ 3.1 วิธีการและขั้นตอนในการทำงานวิจัย

โดยมีรายละเอียดวิธีการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1.1 ศึกษากระบวนการผลิตตัวกรองสัญญาณรบกวนโดยรวมและศึกษากระบวนการ Final Test ของตัวกรองสัญญาณรบกวน รุ่น FN 28x รวมทั้งศึกษาหลักการ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

3.1.2 วิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงยึดติดระหว่างปลั๊กและฟิวส์ในตัวกรองสัญญาณรบกวนรุ่น FN28x โดยใช้แผนผังก้างปลา (Fishbone Diagram) ดังภาพ 3.2 โดยได้ทำการระดมความคิดร่วมกับวิศวกรในบริษัท เพื่อหาสาเหตุตามหลัก 4M ได้แก่ พนักงาน (Man) วัสดุ (Material) เครื่องจักร (Machine) และ วิธีการปฏิบัติงาน (Method) จากนั้นทำการคัดเลือกปัจจัยที่มีความเป็นไปได้ในการทดลอง 3 ปัจจัย เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดปัจจัยที่จะใช้ในการออกแบบการทดลองในขั้นตอนต่อไป



ภาพ 3.2 แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุที่ทำให้ปลั๊กและฟิวส์ยึดติดกันไม่ดี

3.1.3 กำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยที่นำมาทำการทดลอง

กำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยที่นำมาทำการทดลองเพื่อศึกษาแรงยึดติดระหว่างปลั๊กและฟิวส์ในผลิตภัณฑ์กรองสัญญาณรบกวน FN28x โดยในเบื้องต้นได้คัดเลือกมา 3 ปัจจัย ได้แก่ แรงกด, อุณหภูมิ และตำแหน่งการวางชิ้นงาน ซึ่งมีปัจจัยและค่าระดับที่ใช้ในการทดลองของผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่นดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองและระดับที่ใช้ในการทดลองของผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่น

ปัจจัย	หน่วย	FN281 และ FN282		FN283 และ FN284		FN285 และ FN286	
		ต่ำ (-)	สูง (+)	ต่ำ (-)	สูง (+)	ต่ำ (-)	สูง (+)
A: แรงกด	กิโลกรัม	16	20	16	19	16	19
B: อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	200	220	190	210	190	210
C: ตำแหน่งการวางชิ้นงาน	มิลลิเมตร	11.3	11.6	11.8	12.2	12.2	12.8

การกำหนดระดับปัจจัยต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

ปัจจัย A แรงกดทำให้ฟิวส์กับตัวปลั๊กยึดติดกัน โดยบริษัทได้กำหนดค่าแรงกดที่ใช้ในการยึดติด ซึ่งทำให้ได้ค่าแรงดึงที่สามารถยอมรับได้ภายใต้การกำหนดของบริษัท

ปัจจัย B ผลิตภัณฑ์กรองสัญญาณรบกวนใช้พลาสติกวิศวกรรม PBT4130 (Polybutylene Terephthalate) ซึ่งเป็นตระกูล Polyester มีคุณสมบัติเด่นคือ เป็นฉนวนไฟฟ้าสามารถระบายความร้อนออกจากตัวได้ดีกว่าพลาสติกทั่วไป 3-5 เท่า และสามารถทนความร้อนได้ถึง 230 องศาเซลเซียส ระดับต่ำสูงจึงอยู่ในช่วง 190 และ 220 องศาเซลเซียส

ปัจจัย C ตำแหน่งการวางชิ้นงานรุ่น FN28x ทั้งหมด ได้มาจากการเก็บข้อมูลของการใช้งานเครื่อง Melt Fuse Holder โดยนำค่าต่ำและสูงจากการเก็บข้อมูลจากพนักงานที่ชำนาญการใช้เครื่อง Melt Fuse Holder มากำหนดระดับสูงต่ำ

งานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบเต็มจำนวน 2^k (Full Factorial Design) จำนวน 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 2 ซ้ำ (Replicates) ดังนั้นแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์ได้การทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง โดยมีค่าผลตอบสนอง (Response) คือ ค่าแรงดึง (นิวตัน)

3.1.4 ทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ในข้อ 3.1.3 โดยทำการทดลองแบบสุ่ม ซึ่งควบคุมการทดลองด้วยหลักการพื้นฐาน 3 ประการ ดังนี้

1) การทดลองซ้ำ (Replications) คือการทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน โดยแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์ ทำการทดลองเหมือนกันเป็นจำนวน 2 ครั้ง

2) การบล็อก (Blocking) ใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และผู้ทำการทดลองชุดเดียวกันตลอดทุกการทดลองในแต่ละครั้ง

3) หลักการสุ่ม (Randomization) ลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม

โดยมีตารางแสดงการทดลอง 16 เงื่อนไขของทั้ง 3 รุ่น ได้แก่ FN281 และ FN282, FN283 และ FN284, FN285 และ FN286 และลำดับการทดลองแบบสุ่ม ดังแสดงในตาราง 3.2 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

ตาราง 3.2 เงื่อนไขการทดลองของผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282

ลำดับการ ทดลอง มาตรฐาน	ลำดับการ ทดลองแบบ สุ่ม	ค่าระดับปัจจัย			แรงดึง (นิวตัน)
		แรงกด (กิโลกรัม) (A)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) (B)	ตำแหน่งการ วางชิ้นงาน (มิลลิเมตร) (C)	
1	10	-1(16)	-1(200)	-1(11.3)	
2	7	+1(20)	-1(200)	-1(11.3)	
3	12	-1(16)	+1(220)	-1(11.3)	
4	4	+1(20)	+1(220)	-1(11.3)	
5	11	-1(16)	-1(200)	+1(11.6)	
6	16	+1(20)	-1(200)	+1(11.6)	
7	1	-1(16)	+1(220)	+1(11.6)	
8	5	+1(20)	+1(220)	+1(11.6)	
9	13	-1(16)	-1(200)	-1(11.3)	
10	8	+1(20)	-1(200)	-1(11.3)	
11	9	-1(16)	+1(220)	-1(11.3)	
12	15	+1(20)	+1(220)	-1(11.3)	
13	2	-1(16)	-1(200)	+1(11.6)	
14	6	+1(20)	-1(200)	+1(11.6)	
15	14	-1(16)	+1(220)	+1(11.6)	
16	3	+1(20)	+1(220)	+1(11.6)	

ตาราง 3.3 เงื่อนไขการทดลองของผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284

ลำดับการ ทดลอง มาตรฐาน	ลำดับการ ทดลองแบบ สุ่ม	ค่าระดับปัจจัย			แรงดึง (นิวตัน)
		แรงกด (กิโลกรัม) (A)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) (B)	ตำแหน่งการ วางชิ้นงาน (มิลลิเมตร) (C)	
1	3	-1(16)	-1(190)	-1(11.8)	
2	10	+1(19)	-1(190)	-1(11.8)	
3	8	-1(16)	+1(210)	-1(11.8)	
4	5	+1(19)	+1(210)	-1(11.8)	
5	1	-1(16)	-1(190)	+1(12.2)	
6	14	+1(19)	-1(190)	+1(12.2)	
7	7	-1(16)	+1(210)	+1(12.2)	
8	4	+1(19)	+1(210)	+1(12.2)	
9	13	-1(16)	-1(190)	-1(11.8)	
10	9	+1(19)	-1(190)	-1(11.8)	
11	15	-1(16)	+1(210)	-1(11.8)	
12	11	+1(19)	+1(210)	-1(11.8)	
13	2	-1(16)	-1(190)	+1(12.2)	
14	16	+1(19)	-1(190)	+1(12.2)	
15	6	-1(16)	+1(210)	+1(12.2)	
16	12	+1(19)	+1(210)	+1(12.2)	

ตาราง 3.4 เงื่อนไขการทดลองของผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286

ลำดับการทดลองมาตรฐาน	ลำดับการทดลองแบบสุ่ม	ค่าระดับปัจจัย			แรงดึง (นิวตัน)
		แรงกด (กิโลกรัม) (A)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) (B)	ตำแหน่งการวางชิ้นงาน (มิลลิเมตร) (C)	
1	2	-1(16)	-1(190)	-1(12.2)	
2	6	+1(19)	-1(190)	-1(12.2)	
3	11	-1(16)	+1(210)	-1(12.2)	
4	13	+1(19)	+1(210)	-1(12.2)	
5	1	-1(16)	-1(190)	+1(12.8)	
6	5	+1(19)	-1(190)	+1(12.8)	
7	12	-1(16)	+1(210)	+1(12.8)	
8	8	+1(19)	+1(210)	+1(12.8)	
9	4	-1(16)	-1(190)	-1(12.2)	
10	15	+1(19)	-1(190)	-1(12.2)	
11	7	-1(16)	+1(210)	-1(12.2)	
12	9	+1(19)	+1(210)	-1(12.2)	
13	3	-1(16)	-1(190)	+1(12.8)	
14	16	+1(19)	-1(190)	+1(12.8)	
15	14	-1(16)	+1(210)	+1(12.8)	
16	10	+1(19)	+1(210)	+1(12.8)	

3.1.5 นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล (Residual Analysis) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลซึ่งจะต้องมีความถูกต้องจึงจะสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้อย่างเหมาะสม ซึ่งจะแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟทั้ง 4 กราฟ ดังนี้ กราฟ Normal Probability กราฟ Histogram กราฟ Versus Fits และกราฟ Versus Order

กราฟทั้ง 4 นี้สามารถตรวจสอบสมมติฐานหลัก 3 ประการ คือ

- 1) ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (Normality Assumption)
- 2) ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นอิสระ (Independent Assumption)
- 3) ข้อมูลส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ (Model Adequacy Checking)

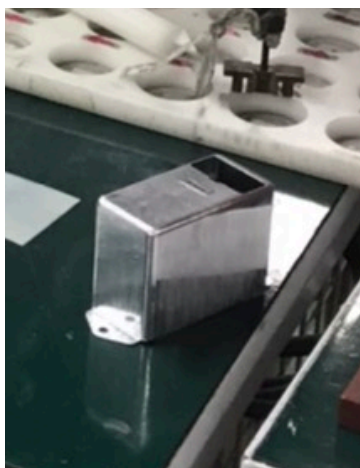
3.1.6 นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) เพื่อเป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยและหาระดับของปัจจัยที่ทำให้ค่าแรงยึดติดมีค่าสูงสุด โดยทำการประมวลผลในโปรแกรม Minitab

3.1.7 ทำการทดลองยืนยันผลด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาจำนวน 10 ครั้งต่อรุ่นผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าผลการศึกษาที่ได้มานั้นสามารถนำมาใช้งานได้จริง

3.1.8 สรุปผลการทดลองและจัดทำรายงาน

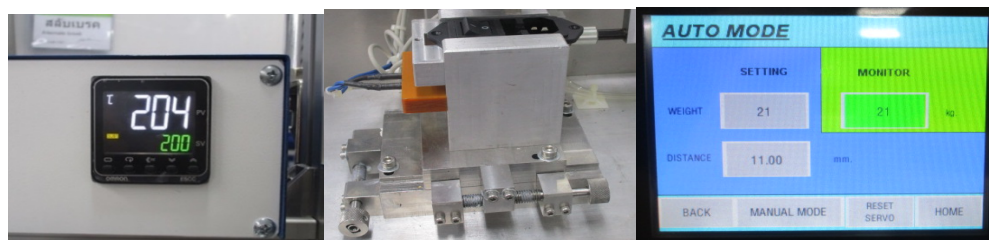
3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานและการใช้เครื่อง Melt Fuse Holder

ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนจะนำตัวปลั๊กกับฟิวส์เชื่อมกันจะต้องนำ Housing (ภาพ 3.3) มาครอบตัวปลั๊กก่อน



ภาพ 3.3 Housing ของปลั๊ก รุ่น FN28x

หลังจากที่เตรียมชิ้นงานและออกแบบการทดลองแล้วจึงสามารถทำการหลอมละลายฟิวส์ด้วยเครื่อง Melt Fuse Holder ได้เลย โดยเริ่มจากการปรับอุณหภูมิเป็นอย่างแรกเนื่องจากเป็นปัจจัยที่ต้องรอให้อุณหภูมิคงที่ก่อน จากนั้นใส่ชิ้นงานเข้าไปแล้วทำการปรับตำแหน่งการวางชิ้นงานและสุดท้ายปรับแรงกด (ภาพ 3.4)

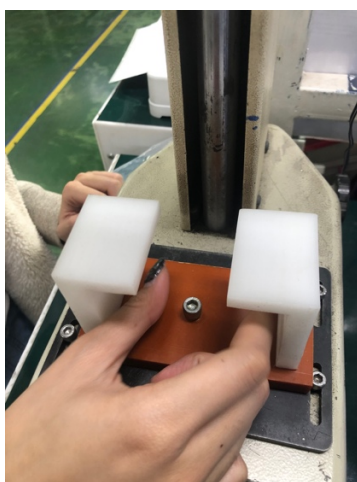


ภาพ 3.4 การปรับอุณหภูมิ ตำแหน่งการวางชิ้นงานและแรงกด

3.3 ขั้นตอนการทดสอบแรงดึง

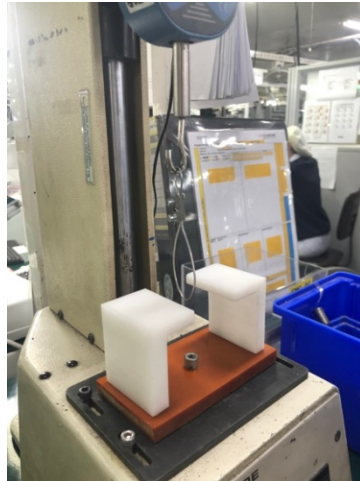
การทดสอบแรงดึงมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ติดตั้งเครื่องมือช่วยจับยึด (JIG) ชิ้นงาน (ภาพ 3.5)



ภาพ 3.5 เครื่องมือช่วยจับยึดชิ้นงานของผลิตภัณฑ์ตัวกรองสัญญาณรบกวน

- 2) นำหัววัดลักษณะคล้ายวงรีคล้องกับเครื่องทดสอบแรงดึง เป็นตัวคล้องฟิวส์ขณะทดสอบแรงดึง (ภาพ 3.6)



ภาพ 3.6 ห่วงลวดวงรี

3) เซต Zero ที่พารามิเตอร์ (ภาพ 3.7)



ภาพ 3.7 พารามิเตอร์ของเครื่องสอบทดแรงดึง

4) สามารถนำตัวปลั๊กมาทดสอบแรงดึงได้ โดยการคล้องฟิวส์ที่ห่วงลวดวงรีและตัวปลั๊กยึดติดกับ JIG

5) ดันปุ่มควบคุมทิศทาง (Up) ขึ้นไปจนกว่าปลั๊กและฟิวส์จะหลุดออกจากกัน (ภาพ 3.8)



ภาพ 3.8 แผงควบคุมความเร็วและทิศทางของเครื่องทดสอบแรงดึง

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย

3.4.1 เครื่อง Melt Fuse Holder (ดังภาพ 3.9) เครื่อง Melt Fuse Holder ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องที่ใช้เชื่อมปลั๊กกับฟิวส์ของผลิตภัณฑ์กรองสัญญาณรบกวนรุ่น FN28x ทั้งหมด ซึ่งสามารถกำหนดค่าแรงกด, อุณหภูมิ และตำแหน่งวางชิ้นงาน ตามที่กำหนดไว้



ภาพ 3.9 เครื่อง Melt Fuse Holder

3.4.2 เครื่องทดสอบแรงดึง (ภาพ 3.10) ใช้สำหรับวัดค่าแรงยึดติดระหว่างปลั๊กกับฟิวส์ในผลิตภัณฑ์ตัวกรองสัญญาณรบกวนรุ่น FN28x โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึงรุ่น BFG 1000N Basic Force Gauge



ภาพ 3.10 เครื่องทดสอบแรงดึง

3.4.3 ประแจ L (ภาพ 3.11) ที่ได้มาตรฐานสากลเพื่อไขสกรูที่เครื่อง Melt Fuse Holder เพื่อปรับตำแหน่งการวางชิ้นงาน



ภาพ 3.11 ประแจ L

3.4.4 เวอเนียร์ (ภาพ 3.12) แบบดิจิตอลสามารถดูได้ทั้งหน่วยมิลลิเมตรและนิ้ว เพื่อวัดระยะ
ตำแหน่งการวางชิ้นงาน



ภาพ 3.12 เวอเนียร์

บทที่ 4

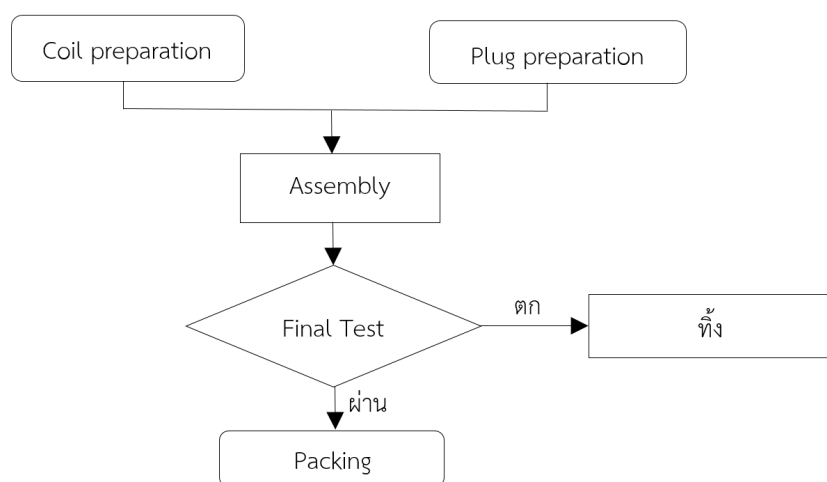
ผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนในบทที่ 3 สามารถแสดงผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการวิจัยซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.1 กระบวนการผลิตตัวกรองสัญญาณรบกวนโดยรวมและกระบวนการ Final test

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตตัวกรองสัญญาณรบกวนโดยรวมและกระบวนการ Final test ของตัวกรองสัญญาณรบกวน รุ่น FN 28x โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

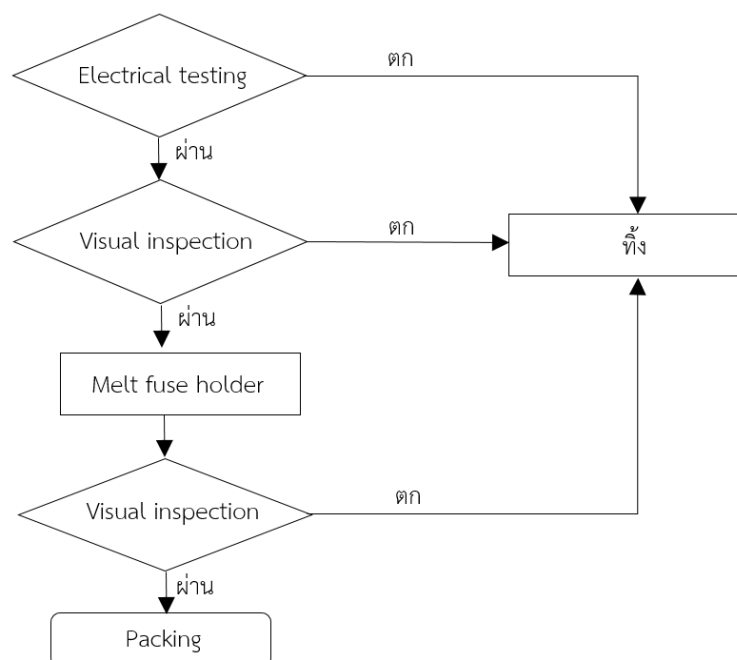
4.1.1 กระบวนการผลิตตัวกรองสัญญาณรบกวน รุ่น FN 28x แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังภาพ 4.1 และมีรายละเอียดคือ



ภาพ 4.1 กระบวนการผลิตตัวกรองสัญญาณรบกวน รุ่น FN 28x

1. ขั้นตอนการเตรียมขดลวดเหนียวนำ (Coil preparation) คือการนำขดลวดมาพันกับคอยล์เพื่อเตรียมเข้าสู่ขั้นตอนการประกอบ
2. ขั้นตอนการเตรียมปลั๊ก (Plug preparation) คือการประกอบชิ้นส่วนของปลั๊กเข้าด้วยกัน เพื่อเตรียมนำไปประกอบใส่ Housing ในขั้นตอนการประกอบ
3. ขั้นตอนการประกอบ (Assembly) คือการประกอบทุกชิ้นส่วนตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมขดลวดเหนียวนำและขั้นตอนการเตรียมปลั๊ก มาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตัวกรองสัญญาณรบกวน
4. ขั้นตอนการทดสอบค่าทางกระแสไฟฟ้า (Final test) คือการทดสอบค่าทางไฟฟ้า (Electrical Testing) และการตรวจสอบด้วยสาย (Visual Inspection) จากนั้นใส่ฟิวส์เข้าไปในตัวปลั๊กโดยเครื่อง Melt Fuse Holder และทำการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) อีกหนึ่งครั้ง โดยหากผ่านจะนำไปใส่บรรจุภัณฑ์ แต่หากไม่ผ่านจะนำไปทิ้ง

4.1.2 กระบวนการ Final Test ของตัวกรองสัญญาณรบกวน รุ่น FN28x ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังภาพ 4.2 โดยมีรายละเอียดคือ



ภาพ 4.2 กระบวนการ Final test ของตัวกรองสัญญาณรบกวน รุ่น FN 28x

1. การทดสอบค่าทางไฟฟ้า (Electrical Testing) คือการนำเอาปลั๊กที่ประกอบแบบสมบูรณ์แล้วมาตรวจสอบค่าทางไฟฟ้า โดยการใส่ Dummy Fuse ลงไปเพื่อทดสอบ หากทดสอบผ่านจะส่งต่อไปขั้นตอนต่อไป แต่ถ้าไม่ผ่านจะนำไปทิ้ง

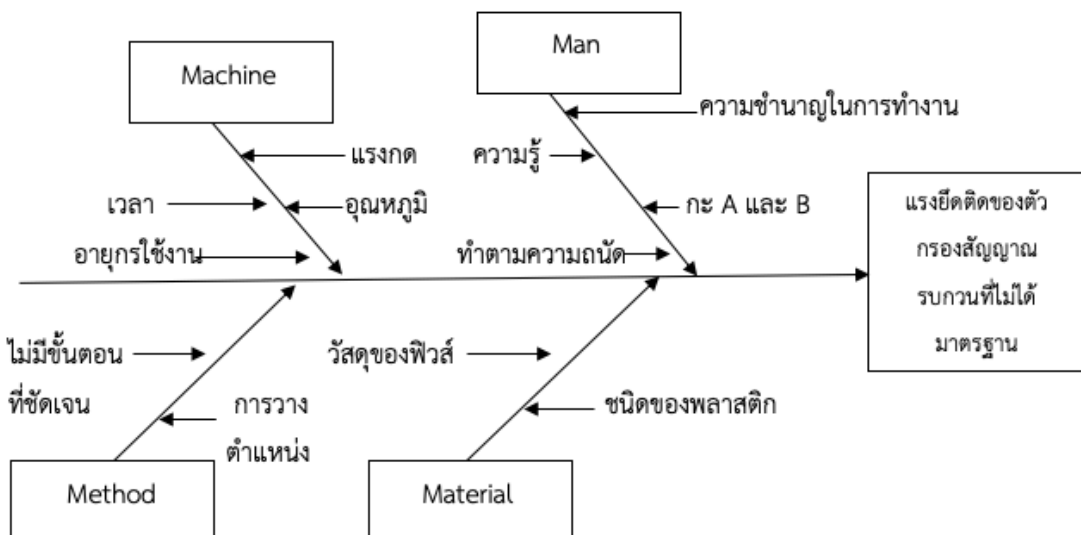
2. การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) คือการนำเอาตัวปลั๊กที่ผ่านจากขั้นตอนแรกมาวางลงบนจิ๊กเพื่อตรวจสอบหน้าตาของขาปลั๊ก (Sliding Blow) หากทดสอบผ่านจะส่งต่อไปขั้นตอนต่อไป แต่ถ้าไม่ผ่านจะนำไปทิ้ง

3. การยึดติดตัวปลั๊กเข้ากับฟิวส์ด้วยเครื่อง Melt Fuse Holder (Melt Fuse Holder)

4. การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) คือการนำเอาตัวปลั๊กที่ติดกับฟิวส์ที่สมบูรณ์แล้วมาใส่ลงบนจิ๊กเพื่อตรวจสอบหน้าตาของพื้นผิวชิ้นงานบริเวณที่โดนกดให้หลอมละลายติดกัน โดยหากผ่านจะนำไปใส่บรรจุภัณฑ์ แต่ถ้าไม่ผ่านจะนำไปทิ้ง

4.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อแรงยึดติดระหว่างปลั๊กและฟิวส์ในตัวกรองสัญญาณรบกวน

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลต่อแรงยึดติดระหว่างปลั๊กและฟิวส์ในตัวกรองสัญญาณรบกวนโดยใช้แผนผังเหตุและผล (Fishbone Diagram) แสดงดังภาพ 4.3 (ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการอ่านผู้วิจัยจะนำภาพจากบทที่ 3 ภาพ 3.2 มาแสดงอีกครั้ง) โดยทำการระดมความคิดร่วมกับวิศวกรในบริษัท เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้แรงยึดติดของตัวกรองสัญญาณต่ำ ตามหลัก 4M ได้แก่ พนักงาน (Man) วัสดุ (Material) เครื่องจักร (Machine) และ วิธีการ (Method) จากนั้นทำการวิเคราะห์สาเหตุและความเป็นไปได้ในการทดลอง ดังตาราง 4.1



ภาพ 4.3 แผนผังก้างปลาแสดงสาเหตุที่ทำให้ปลั๊กและฟิวส์ยึดติดกันไม่ดี

ตาราง 4.1 สาเหตุและความเป็นไปได้ในการทดลอง

สาเหตุ	ความเป็นไปได้ในการทำการทดลอง
เครื่องจักร (Machine)	
1. แรงกดในการเชื่อมของเครื่อง Melt fuse	มีความเป็นไปได้ในการทดลอง ผู้วิจัยจึงได้กำหนดเป็นปัจจัยในการทดลอง
2. เวลาในการกดของเครื่อง Melt Fuse	ผู้วิจัยไม่สามารถปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการกดของเครื่อง Melt fuse ได้เนื่องจากเป็นการเชื่อมต่ออัตโนมัติจากซีพียูพลาเยอร์
3. อุณหภูมิที่ใช้ในการกดของเครื่อง Melt Fuse	มีความเป็นไปได้ในการทดลอง ผู้วิจัยจึงได้กำหนดเป็นปัจจัยในการทดลอง
4. อายุการใช้งานของเครื่อง Melt Fuse	ไม่สามารถเปลี่ยนเครื่อง Melt fuse ได้ ต้องใช้เครื่องที่ทางโรงงานกำหนด อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้ใช้เครื่องเดียวกันตลอดการทำวิจัย
พนักงาน (Man)	
5. ความชำนาญของพนักงาน	การทดลองได้ทำโดยพนักงานคนเดียวตลอดการทดลอง
6. ความรู้ของพนักงาน	การทดลองได้ทำโดยพนักงานคนเดียวตลอดการทดลอง
7. ความต่างของกะการทำงาน	การทดลองได้ทำโดยพนักงานคนเดียวตลอดการทดลอง
8. พนักงานทำตามความถนัด	การทดลองได้ทำโดยพนักงานคนเดียวตลอดการทดลอง
วิธีการ (Method)	
9. ขั้นตอนการปฏิบัติงานไม่ชัดเจน	ปัจจัยนี้วัดค่าได้ยาก
10. ตำแหน่งการวางของชิ้นงาน	มีความเป็นไปได้ในการทดลอง ผู้วิจัยจึงได้กำหนดเป็นปัจจัยในการทดลอง
วัสดุ (Material)	
11. วัสดุของฟิวส์	ไม่สามารถเปลี่ยนชนิดของวัสดุฟิวส์ได้ จะต้องใช้ตามที่โรงงานกำหนดมา
12. ชนิดของพลาสติกของบล็อก	ไม่สามารถเปลี่ยนชนิดของพลาสติกได้ จะต้องใช้ตามที่โรงงานกำหนดมา

4.3 ปัจจัยและระดับปัจจัยที่นำมาทำการทดลอง

จากขั้นตอนก่อนหน้า ปัจจัยและระดับปัจจัยที่ได้นำมาทำการทดลองเพื่อศึกษาแรงยึดติดระหว่างปลັ็กและฟิวส์ในผลิตภัณฑ์กรองสัญญาณรบกวน FN28x มีทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ แรงกด, อุณหภูมิ และตำแหน่งการวางชิ้นงาน โดยกำหนดระดับปัจจัย จากการปรึกษากับทีมวิศวกรในบริษัท และพิจารณาความเป็นไปได้ในการทดลองจากคู่มือของเครื่องและขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Work instruction) ปัจจุบัน ดังแสดงในตาราง 4.2 (ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการอ่านผู้วิจัยจะนำตารางจากบทที่ 3 ตาราง 3.1 มาแสดงอีกครั้ง) แล้ว แต่จะนำมาแสดงอีกครั้งเพื่อความสะดวกของผู้อ่าน

ตาราง 4.2 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองและระดับของผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่น

ปัจจัย	หน่วย	FN281 และ FN282		FN283 และ FN284		FN285 และ FN286	
		ต่ำ (-)	สูง (+)	ต่ำ (-)	สูง (+)	ต่ำ (-)	สูง (+)
A: แรงกด	กิโลกรัม	16	20	16	19	16	19
B: อุณหภูมิ	องศา เซลเซียส	200	220	190	210	190	210
C: ตำแหน่ง การวาง ชิ้นงาน	มิลลิเมตร	11.3	11.6	11.8	12.2	12.2	12.8

โดยงานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบเต็มจำนวน 2^k (Full Factorial Design) จำนวน 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ ทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 2 ซ้ำ (Replicates) ดังนั้นแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์ได้ทำการทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง โดยมีค่าผลตอบสนอง (Response) คือ ค่าแรงดึง (นิวตัน) มีต้องการให้ค่าแรงดึงยิ่งมากยิ่งดี โดยทำการวัดค่าแรงดึงโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง

4.4 ผลการทดลองของผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282

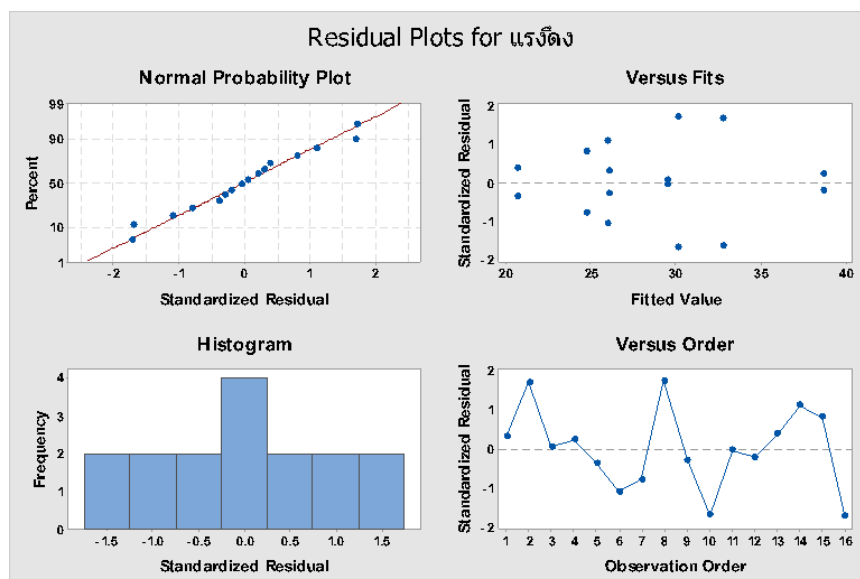
เมื่อทำการทดลองตามที่ออกแบบไว้ โดยทำการทดลองตามหลักการพื้นฐาน 3 ประการได้แก่ การทดลองซ้ำ (Replications) การบล็อก (Blocking) และ หลักการสุ่ม (Randomization) มีการทดลองของผลิตภัณฑ์ FN281 และ FN282 ซึ่งแสดงถึงลำดับการทดลอง ค่าระดับปัจจัย และผลตอบของการทดลอง คือ ค่าแรงดึง (นิวตัน) ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ผลการทดลองของผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282

ลำดับการ ทดลอง มาตรฐาน	ลำดับการ ทดลองแบบ สุ่ม	ค่าระดับปัจจัย			แรงดึง (นิวตัน)
		แรงกด (กิโลกรัม) (A)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) (B)	ตำแหน่งการ วางชิ้นงาน (มิลลิเมตร) (C)	
1	10	-1(16)	-1(200)	-1(11.3)	26.8
2	7	+1(20)	-1(200)	-1(11.3)	36.8
3	12	-1(16)	+1(220)	-1(11.3)	29.6
4	4	+1(20)	+1(220)	-1(11.3)	39.2
5	11	-1(16)	-1(200)	+1(11.6)	19.8
6	16	+1(20)	-1(200)	+1(11.6)	23.4
7	1	-1(16)	+1(220)	+1(11.6)	22.8
8	5	+1(20)	+1(220)	+1(11.6)	34.2
9	13	-1(16)	-1(200)	-1(11.3)	25.4
10	8	+1(20)	-1(200)	-1(11.3)	28.8
11	9	-1(16)	+1(220)	-1(11.3)	29.4
12	15	+1(20)	+1(220)	-1(11.3)	38.2
13	2	-1(16)	-1(200)	+1(11.6)	21.6
14	6	+1(20)	-1(200)	+1(11.6)	28.8
15	14	-1(16)	+1(220)	+1(11.6)	26.6
16	3	+1(20)	+1(220)	+1(11.6)	26.0

4.4.1 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล (Residual Analysis)

จากผลการทดลองที่ได้มานั้น ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลซึ่งจะต้องมีความถูกต้องจึงจะสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้อย่างเหมาะสม โดยทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล (Residual Analysis) โดยผลการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลของผลิตภัณฑ์ FN281 และ FN282 ดังภาพ 4.4



ภาพ 4.4 กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282

โดยแบบจำลองข้างต้นจะต้องเป็นไปตามสมมติฐานหลัก 3 ประการ ดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (Normality Assumption)

จากภาพ 4.4 ในส่วนของกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of Residuals) พบว่ามีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ไม่มีจุดใด ๆ ออกนอกเส้นตรงอย่างชัดเจน และกราฟฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง (Histogram of the Residuals) พบว่ามีการกระจายตัวของส่วนตกค้างในทุกช่วงของกราฟฮิสโตแกรม จึงสรุปได้ว่ามีแนวโน้มการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ศูนย์

2) ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นอิสระ (Independent Assumption)

จากภาพ 4.4 ในส่วนของกราฟส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Residual Versus Order) พบว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบไม่มีแนวโน้มหรือรูปแบบใด ๆ ที่ชัดเจน จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวอย่างอิสระไม่ขึ้นอยู่กับการทดลอง

3) ข้อมูลส่วนตกค้างที่มีความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability Assumption)

จากภาพ 4.4 ในส่วนของกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนาย (Residual Versus Fit) พบว่าค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวของส่วนตกค้างไม่มีแนวโน้มใด ๆ จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่

จากการวิเคราะห์สมมติฐานทั้ง 3 ข้อของข้อมูลผลตอบหรือค่าแรงดึง สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเพียงพอสำหรับการนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ในขั้นตอนต่อไป

4.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

เพื่อเป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยและหาระดับของปัจจัยที่ทำให้ค่าแรงดึงมีค่าสูงสุด จึงทำการวิเคราะห์ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282

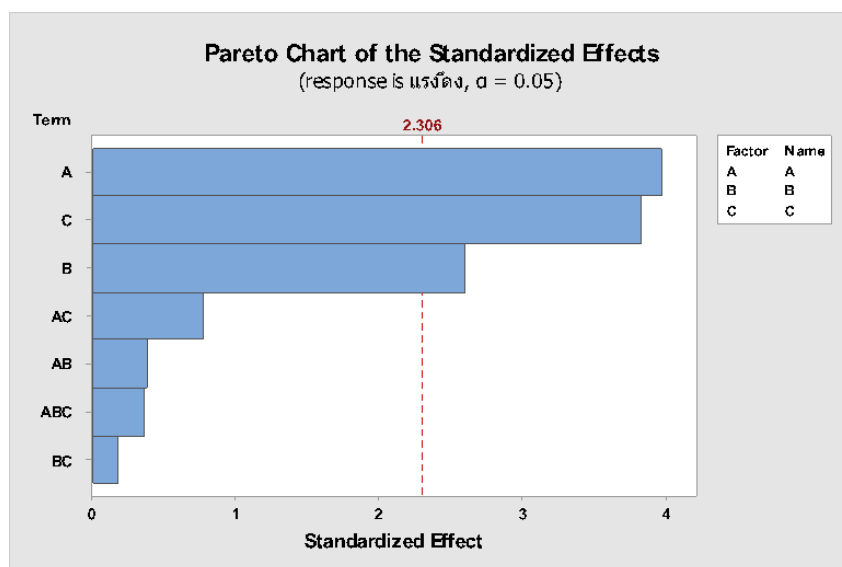
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	423.990	60.570	5.45	0.015
Linear	3	413.870	137.957	12.41	0.002
A	1	176.890	176.890	15.91	0.004*
B	1	75.690	75.690	6.81	0.031*
C	1	161.290	161.290	14.50	0.005*
2-Way Interactions	3	8.430	2.810	0.25	0.857
A*B	1	1.690	1.690	0.15	0.707
A*C	1	6.250	6.250	0.56	0.475
B*C	1	0.490	0.490	0.04	0.839
3-Way Interactions	1	1.690	1.690	0.15	0.707
A*B*C	1	1.690	1.690	0.15	0.707
Error	8	88.960	11.120		
Total	15	512.950			

S = 3.34440 R-sq = 82.66 เปอร์เซ็นต์ Adj R-sq = 67.49 เปอร์เซ็นต์

จากตาราง 4.4 ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญมี 3 ปัจจัย ได้แก่ A คือ แรงกด, B คือ อุณหภูมิ และ C คือ ตำแหน่งการวางชิ้นงาน ซึ่งมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดย P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 และผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลมีความแม่นยำในการวิเคราะห์เนื่องจากค่า R-sq เท่ากับ 82.66 เปอร์เซ็นต์

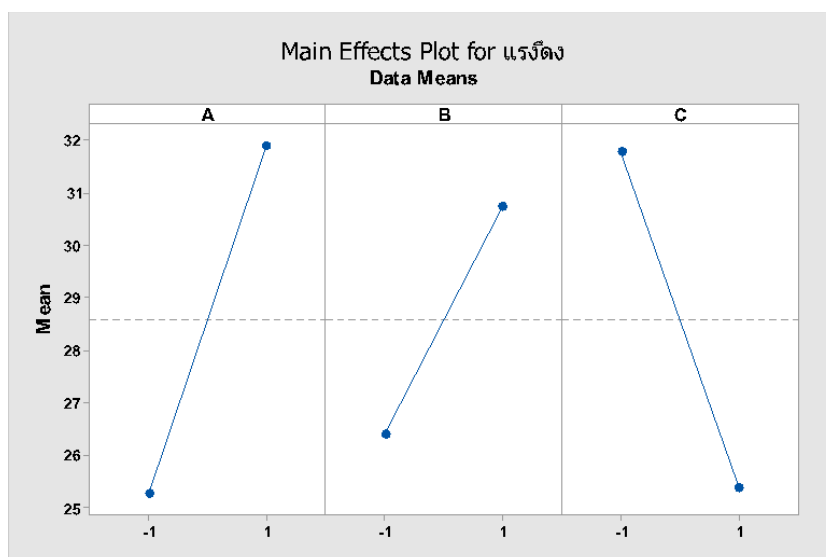
จากภาพ 4.5 จากกราฟพาเรโตที่แสดงผลกระทบของปัจจัย เมื่อพิจารณาจากเส้นนัยสำคัญที่มีค่าเท่ากับ 2.306 จะเห็นได้ว่ามี 3 ปัจจัย ได้แก่ A คือ แรงกด, B คือ อุณหภูมิ และ C คือ ตำแหน่ง

การวางชิ้นงาน มีค่าผลกระทบมากกว่าเส้นนัยสำคัญสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อข้อมูลของผลตอบ



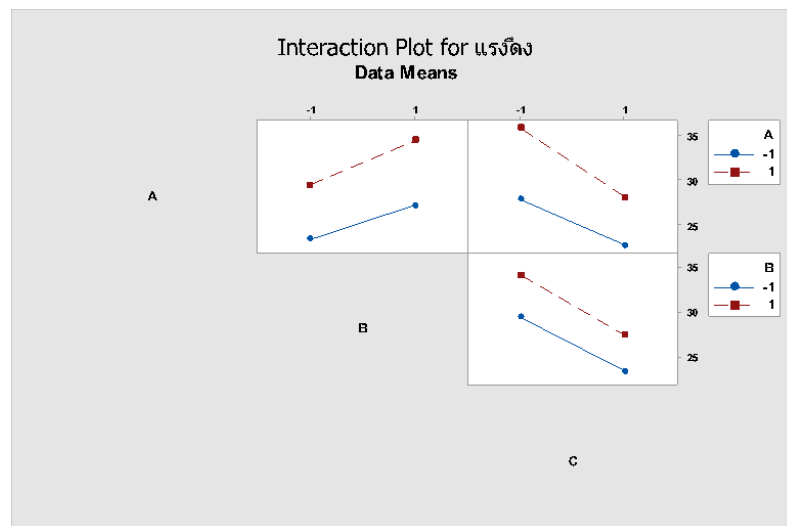
ภาพ 4.5 กราฟพาเรโตที่แสดงผลกระทบของปัจจัยของผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282

จากภาพ 4.6 เป็นกราฟแสดงผลกระทบหลัก (Main Effect Plot) ที่มีต่อผลตอบ จากการวิเคราะห์ สรุปได้ว่าปัจจัย A คือ แรงกด, B คือ อุณหภูมิ และ C คือ ตำแหน่งการวางชิ้นงาน มีผลกระทบอย่างชัดเจนต่อการผลตอบของการทดลอง เนื่องจากกราฟมีความชันสูง



ภาพ 4.6 กราฟผลกระทบหลักที่มีผลต่อผลตอบของผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282

จากภาพ 4.7 เป็นกราฟแสดงผลกระทบรวม (Interaction Effect) สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยนี้ ไม่มีผลกระทบร่วมกันเนื่องจากในกราฟไม่มีเส้นใดซ้อนทับกันในแต่ละความสัมพันธ์ร่วม



ภาพ 4.7 กราฟแสดงผลกระทบรวมต่อผลตอบของผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282

จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยนำสัมประสิทธิ์ของพจน์ จากตาราง 4.5 ที่มีนัยสำคัญมาสร้างเป็นสมการแบบจำลองของผลตอบสำหรับผลิตภัณฑ์ FN281 และ FN282 แสดงดังสมการ 4.1

ตาราง 4.5 การวิเคราะห์การถดถอยของผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		28.575	0.836	34.18	0.000	
A	6.650	3.325	0.836	3.98	0.004	1.00
B	4.350	2.175	0.836	2.60	0.032	1.00
C	-6.400	-3.200	0.836	-3.83	0.005	1.00
A*B	0.650	0.325	0.836	0.39	0.708	1.00
A*C	-1.300	-0.650	0.836	-0.78	0.459	1.00
B*C	-0.300	-0.150	0.836	-0.18	0.862	1.00
A*B*C	-0.600	-0.300	0.836	-0.36	0.729	1.00

$$\hat{y}_1 = 28.575 + 3.325 A + 2.175 B - 3.200 C \quad (4.1)$$

จากสมการ 4.1 จะเห็นได้ว่าเป็นสมการเส้นตรงอย่างง่าย หากต้องการได้ค่าผลตอบหรือแรงยึดติดระหว่างปลั๊กกับพิวส์มากที่สุดจะต้องแทน ปัจจัย A ด้วย +1 ปัจจัย B ด้วย +1 และ ปัจจัย C ด้วย -1 จึงสรุประดับที่เหมาะสมของปัจจัยในการทดลองของผลิตภัณฑ์ FN281 และ FN282 ดังตาราง 4.6

ตาราง 4.6 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282

ปัจจัย	หน่วย	ระดับที่เหมาะสม
ปัจจัย A : แรงกด	กิโลกรัม	20
ปัจจัย B : อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	220
ปัจจัย C : ตำแหน่งการวางชิ้นงาน	มิลลิเมตร	11.3

4.4.3 ผลการทดลองยืนยันผลด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาจำนวน 10 ครั้ง

หลังจากที่ได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมจึงทำการทดลองยืนยันผล 10 ครั้ง ด้วยเงื่อนไข แรงกด 20 กิโลกรัม อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส และ ตำแหน่งการวางชิ้นงาน 11.3 มิลลิเมตร ผลการทดลองยืนยันผล ดังตาราง 4.7

ตาราง 4.7 ผลตอบของการทดลองยืนยันผลของผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282

ครั้งที่ทำการทดลองยืนยันผล	ค่าแรงดึง (นิวตัน)
1	31.6
2	39.4
3	26.6
4	29.2
5	38.2
6	34.2
7	27.4
8	30.6
9	27.4
10	28.2
ค่าเฉลี่ย	31.28

จากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อพิสูจน์ว่าค่าที่ได้จากการทดลองยืนยันผลไม่มีความแตกต่างกับค่าพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญ โดยกำหนดสมมติฐานหลักและสมมติฐานรอง ดังสมการ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ โดยทำการทดสอบสมมติฐานด้วยการทดสอบ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม Minitab ดังตาราง 4.8

$$H_0: \mu = 30.875 \quad (4.2)$$

$$H_1: \mu \neq 30.875 \quad (4.3)$$

ตาราง 4.8 ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อพิสูจน์ว่าผลจากการทดลองยืนยันผลไม่แตกต่างจากค่าพยากรณ์ในผลิตภัณฑ์ FN281 และ FN282

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI for μ	T-Value	P-Value
10	30.88	4.58	1.45	(27.60, 34.15)	0.00	1.000

จากตาราง 4.8 จะเห็นได้ว่าค่าแรงดิ่งที่ได้จากการทดลองยืนยันผลสำหรับผลิตภัณฑ์ FN281 และ FN282 ไม่มีความแตกต่างกับค่าพยากรณ์อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-value เท่ากับ 1 ซึ่งมากกว่า 0.05 ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.5 ผลการทดลองของผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284

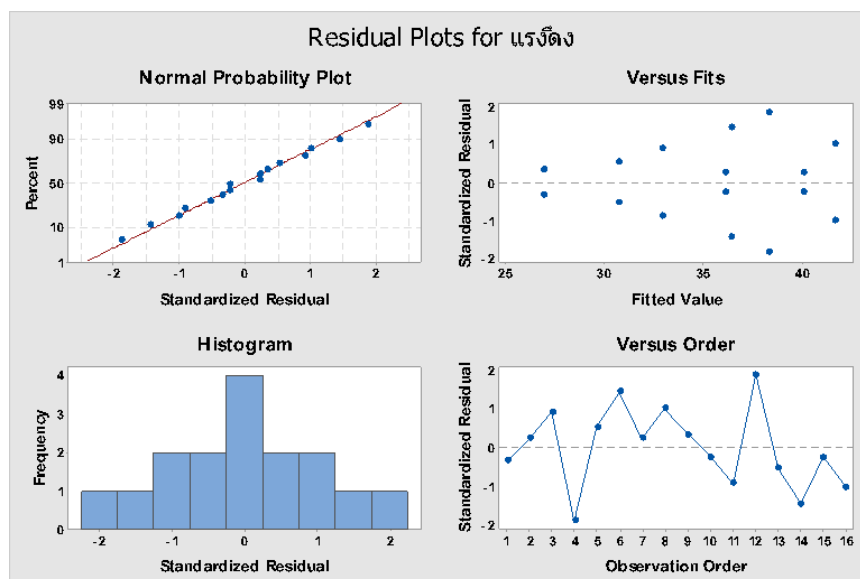
เมื่อทำการทดลองตามทีออกแบบไว้ โดยทำการทดลองตามหลักการพื้นฐาน 3 ประการได้แก่ การทดลองซ้ำ (Replications) การบล็อก (Blocking) และ หลักการสุ่ม (Randomization) มีการทดลองของผลิตภัณฑ์ FN283 และ FN284 ซึ่งแสดงถึงลำดับการทดลอง ค่าระดับปัจจัย และผลตอบของการทดลอง คือ ค่าแรงดิ่ง (นิวตัน) ดังตาราง 4.9

ตาราง 4.9 ผลการทดลองของผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284

ลำดับการ ทดลอง มาตรฐาน	ลำดับการ ทดลองแบบ สุ่ม	ค่าระดับปัจจัย			แรงดึง (นิวตัน)
		แรงกด (กิโลกรัม) (A)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) (B)	ตำแหน่งการ วางชิ้นงาน (มิลลิเมตร) (C)	
1	3	-1(16)	-1(190)	-1(11.8)	26.2
2	10	+1(19)	-1(190)	-1(11.8)	36.6
3	8	-1(16)	+1(210)	-1(11.8)	34.8
4	5	+1(19)	+1(210)	-1(11.8)	34.4
5	1	-1(16)	-1(190)	+1(12.2)	31.8
6	14	+1(19)	-1(190)	+1(12.2)	39.4
7	7	-1(16)	+1(210)	+1(12.2)	40.6
8	4	+1(19)	+1(210)	+1(12.2)	43.8
9	13	-1(16)	-1(190)	-1(11.8)	27.6
10	9	+1(19)	-1(190)	-1(11.8)	35.6
11	15	-1(16)	+1(210)	-1(11.8)	31.0
12	11	+1(19)	+1(210)	-1(11.8)	42.2
13	2	-1(16)	-1(190)	+1(12.2)	29.6
14	16	+1(19)	-1(190)	+1(12.2)	33.4
15	6	-1(16)	+1(210)	+1(12.2)	39.6
16	12	+1(19)	+1(210)	+1(12.2)	39.6

4.5.1 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล (Residual Analysis)

จากผลการทดลองที่ได้มานั้น ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลซึ่งจะต้องมีความถูกต้องจึงจะสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้อย่างเหมาะสม โดยทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล (Residual Analysis) โดยผลการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลของผลิตภัณฑ์ FN283 และ FN284 ดังภาพ 4.8



ภาพ 4.8 กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284

โดยแบบจำลองข้างต้นจะต้องเป็นไปตามสมมติฐานหลัก 3 ประการ ดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (Normality Assumption)

จากภาพ 4.8 ในส่วนของกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of Residuals) พบว่ามีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกเส้นตรงอย่างชัดเจน และกราฟฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง (Histogram of the Residuals) พบว่ามีการกระจายตัวของส่วนตกค้างในทุกช่วงของกราฟฮิสโตแกรม จึงสรุปได้ว่ามีแนวโน้มการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ศูนย์

2) ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นอิสระ (Independent Assumption)

จากภาพ 4.8 ในส่วนของกราฟส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Residual Versus Order) พบว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบไม่มีแนวโน้มหรือรูปแบบใด ๆ ที่ชัดเจน จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวอย่างอิสระไม่ขึ้นอยู่กับการทดลอง

3) ข้อมูลส่วนตกค้างที่มีความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability Assumption)

จากภาพ 4.8 ในส่วนของกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนาย (Residual Versus Fit) พบว่าค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวของส่วนตกค้างไม่มีแนวโน้มใด ๆ จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่

จากการวิเคราะห์สมมติฐานทั้ง 3 ข้อของข้อมูลผลตอบหรือค่าแรงดึง สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเพียงพอสำหรับการนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ในขั้นตอนต่อไป

4.5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

เพื่อเป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยและหาระดับของปัจจัยที่ทำให้ค่าแรงดึงมีค่าสูงสุด จึงทำการวิเคราะห์ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังตาราง 4.10

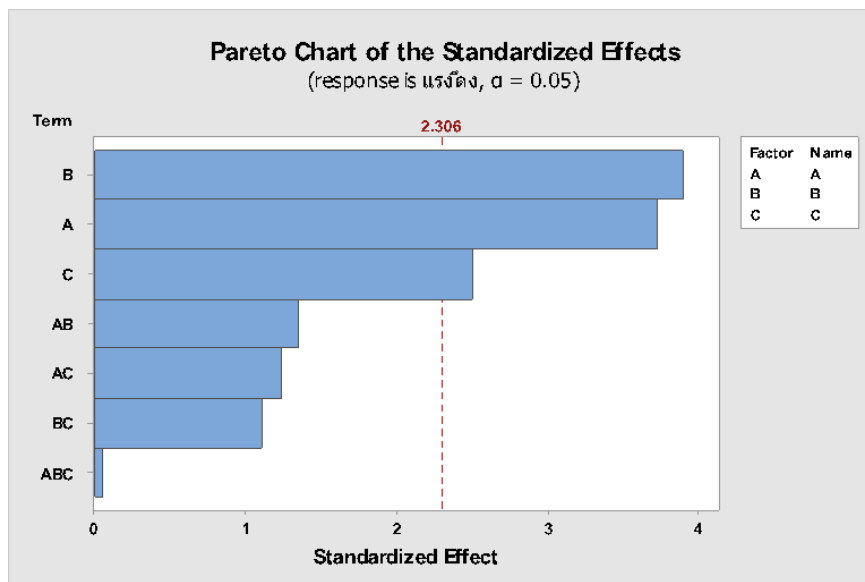
ตาราง 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	344.538	49.220	5.72	0.013
Linear	3	305.028	101.676	11.81	0.003
A	1	119.903	119.903	13.93	0.006*
B	1	131.103	131.103	15.23	0.005*
C	1	54.023	54.023	6.28	0.037*
2-Way Interactions	3	39.487	13.162	1.53	0.280
A*B	1	15.602	15.602	1.81	0.215
A*C	1	13.323	13.323	1.55	0.249
B*C	1	10.563	10.563	1.23	0.300
3-Way Interactions	1	0.023	0.023	0.00	0.960
A*B*C	1	0.023	0.023	0.00	0.960
Error	8	68.860	8.607		
Total	15	413.398			

S = 2.93385 R-sq = 83.34 เปอร์เซ็นต์ Adj R-sq = 68.77 เปอร์เซ็นต์

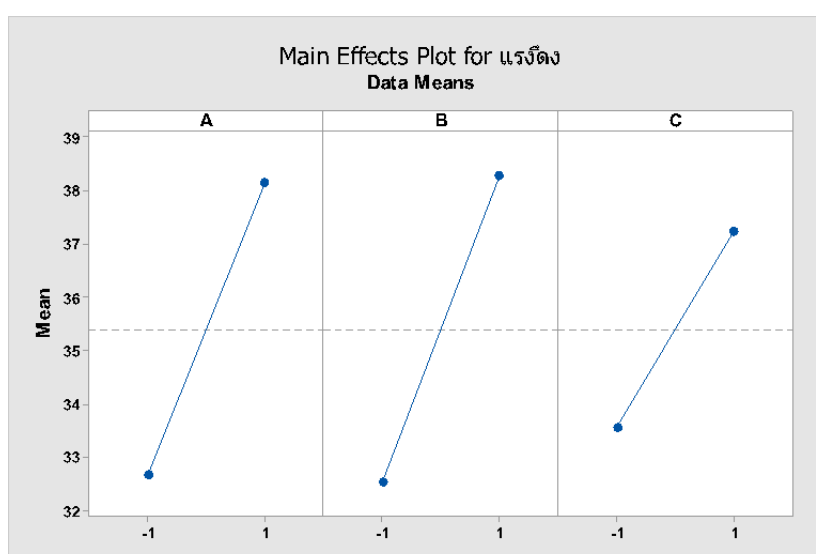
จากตาราง 4.10 ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ มี 3 ปัจจัย ได้แก่ A คือ แรงกด, B คือ อุณหภูมิ และ C คือ ตำแหน่งการวางชิ้นงาน ซึ่งมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดย P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 และผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลมีความแม่นยำในการวิเคราะห์เนื่องจากค่า R-sq เท่ากับ 83.34 เปอร์เซ็นต์

จากภาพ 4.9 จากกราฟพาเรโตที่แสดงผลกระทบของปัจจัย เมื่อพิจารณาจากเส้นนัยสำคัญที่มีค่าเท่ากับ 2.306 จะเห็นได้ว่ามี 3 ปัจจัย ได้แก่ A คือ แรงกด, B คือ อุณหภูมิ และ C คือ ตำแหน่งการวางชิ้นงาน มีค่าผลกระทบมากกว่าเส้นนัยสำคัญสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อข้อมูลของผลตอบ



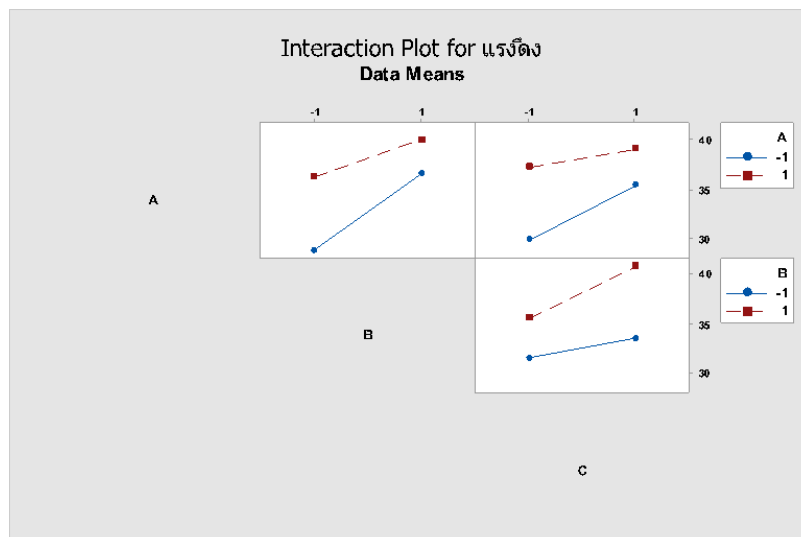
ภาพ 4.9 กราฟพาเรโตที่แสดงผลกระทบของปัจจัยของผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284

จากภาพ 4.10 เป็นกราฟแสดงผลกระทบหลัก (Main Effect Plot) ที่มีต่อผลตอบ จากการวิเคราะห์ สรุปได้ว่าปัจจัย A คือ แรงกด B คือ อุณหภูมิ และ C คือ ตำแหน่งการวางชิ้นงาน มีผลกระทบอย่างชัดเจนต่อการผลตอบของการทดลอง เนื่องจากกราฟมีความชันสูง



ภาพ 4.10 กราฟผลกระทบหลักที่มีผลต่อผลตอบของผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284

จากภาพ 4.11 เป็นกราฟแสดงผลกระทบร่วม (Interaction Effect) สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยนี้ ไม่มีผลกระทบร่วมกันเนื่องจากในกราฟไม่มีเส้นใดซ้อนทับกันในแต่ละความสัมพันธ์ร่วม



ภาพ 4.11 กราฟแสดงผลกระทบร่วมต่อผลตอบของผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN283

จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยนำสัมประสิทธิ์ของพจน์ จากตาราง 4.11 ที่มีนัยสำคัญมาสร้างเป็นสมการแบบจำลองของผลตอบสำหรับผลิตภัณฑ์ FN283 และ FN284 แสดงดังสมการ 4.4

ตาราง 4.11 การวิเคราะห์การถดถอยของผลิตภัณฑ์รุ่น FN282 และ FN284

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		35.388	0.733	48.25	0.000	
A	5.475	2.738	0.733	3.73	0.006	1.00
B	5.725	2.863	0.733	3.90	0.005	1.00
C	3.675	1.837	0.733	2.51	0.037	1.00
A*B	-1.975	-0.987	0.733	-1.35	0.215	1.00
A*C	-1.825	-0.913	0.733	-1.24	0.249	1.00
B*C	1.625	0.813	0.733	1.11	0.300	1.00
A*B*C	-0.075	-0.038	0.733	-0.05	0.960	1.00

$$\hat{y}_2 = 35.388 + 2.738 A + 2.863 B + 1.837 C \quad (4.4)$$

จากสมการ 4.4 จะเห็นได้ว่าเป็นสมการเส้นตรงอย่างง่าย หากต้องการได้ค่าผลตอบหรือแรงยึดติดระหว่างปลั๊กกับพิวส์มากที่สุดจะต้องแทน ปัจจัย A ด้วย +1 ปัจจัย B ด้วย +1 และ ปัจจัย C ด้วย +1 จึงสรุประดับที่เหมาะสมของปัจจัยในการทดลองของผลิตภัณฑ์ FN283 และ FN284 ดังตาราง 4.12

ตาราง 4.12 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284

ปัจจัย	หน่วย	ระดับที่เหมาะสม
ปัจจัย A : แรงกด	กิโลกรัม	19
ปัจจัย B : อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	210
ปัจจัย C : ตำแหน่งการวางชิ้นงาน	มิลลิเมตร	12.2

4.5.3 ผลการทดลองยืนยันผลด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาจำนวน 10 ครั้ง

หลังจากที่ได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมจึงทำการทดลองยืนยันผล 10 ครั้ง ด้วยเงื่อนไข แรงกด 19 กิโลกรัม อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส และ ตำแหน่งการวางชิ้นงาน 12.2 มิลลิเมตร มิลลิเมตร ผลการทดลองยืนยันผล ดังตาราง 4.13

ตาราง 4.13 ผลตอบของการทดลองยืนยันผลของผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284

ครั้งที่ทำการทดลองยืนยันผล	ค่าแรงดึง (นิวตัน)
1	35.8
2	43.6
3	34.8
4	33.2
5	44.0
6	30.8
7	43.8
8	50.2
9	40.8
10	39.6
ค่าเฉลี่ย	39.66

จากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อพิสูจน์ว่าค่าที่ได้จากการทดลองยืนยันผลไม่มีความแตกต่างกับค่าพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญ โดยกำหนดสมมติฐานหลักและสมมติฐานรอง ดังสมการ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ โดยทำการทดสอบสมมติฐานด้วยการทดสอบ T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลการวิเคราะห์จากคู่มือวิเคราะห์และจัดการข้อมูลสถิติ (Minitab) ดังตาราง 4.14

$$H_0: \mu = 42.826 \quad (4.5)$$

$$H_1: \mu \neq 42.826 \quad (4.6)$$

ตาราง 4.14 ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อพิสูจน์ว่าผลจากการทดลองยืนยันผลไม่แตกต่างจากค่าพยากรณ์ในผลิตภัณฑ์ FN283 และ FN284

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI for μ	T-Value	P-Value
10	39.66	5.99	1.89	(35.38, 43.94)	-1.67	0.129

จากตาราง 4.14 จะเห็นได้ว่าค่าแรงดิ่งที่ได้จากการทดลองยืนยันผลสำหรับผลิตภัณฑ์ FN283 และ FN284 ไม่มีความแตกต่างกับค่าพยากรณ์อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-value เท่ากับ 0.129 ซึ่งมากกว่า 0.05 ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

4.6 ผลการทดลองของผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286

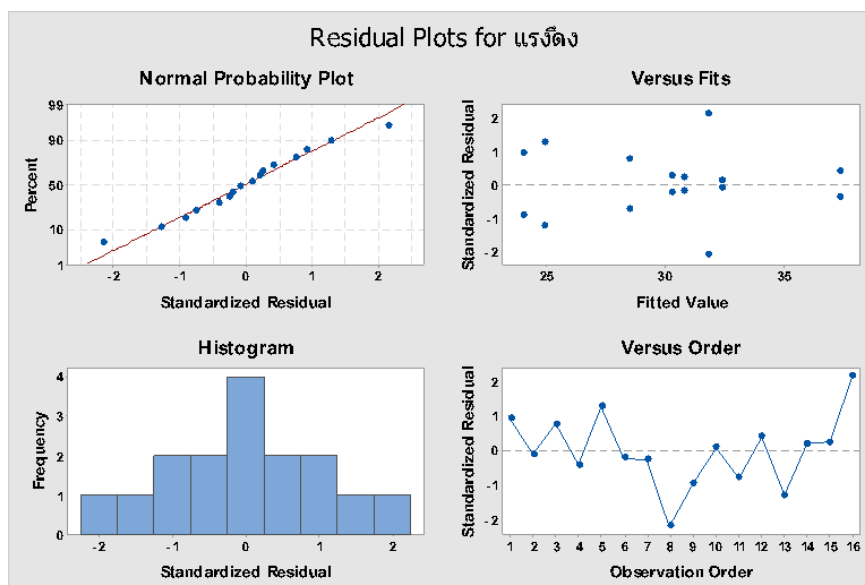
เมื่อทำการทดลองตามที่ออกแบบไว้ โดยทำการทดลองตามหลักการพื้นฐาน 3 ประการได้แก่ การทดลองซ้ำ (Replications) การบล็อก (Blocking) และ หลักการสุ่ม (Randomization) มีการทดลองของผลิตภัณฑ์ FN285 และ FN286 ซึ่งแสดงถึงลำดับการทดลอง ค่าระดับปัจจัย และผลตอบของการทดลอง คือ ค่าแรงดิ่ง (นิวตัน) ดังตาราง 4.15

ตาราง 4.15 ผลการทดลองของผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286

ลำดับการ ทดลอง มาตรฐาน	ลำดับการ ทดลองแบบ สุ่ม	ค่าระดับปัจจัย			แรงดึง (นิวตัน)
		แรงกด (กิโลกรัม) (A)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) (B)	ตำแหน่งการ วางชิ้นงาน (มิลลิเมตร) (C)	
1	2	-1(16)	-1(190)	-1(12.2)	25.8
2	6	+1(19)	-1(190)	-1(12.2)	32.2
3	11	-1(16)	+1(210)	-1(12.2)	30.0
4	13	+1(19)	+1(210)	-1(12.2)	36.6
5	1	-1(16)	-1(190)	+1(12.8)	27.4
6	5	+1(19)	-1(190)	+1(12.8)	30.4
7	12	-1(16)	+1(210)	+1(12.8)	29.8
8	8	+1(19)	+1(210)	+1(12.8)	27.6
9	4	-1(16)	-1(190)	-1(12.2)	22.2
10	15	+1(19)	-1(190)	-1(12.2)	32.6
11	7	-1(16)	+1(210)	-1(12.2)	27.0
12	9	+1(19)	+1(210)	-1(12.2)	38.2
13	3	-1(16)	-1(190)	+1(12.8)	22.4
14	16	+1(19)	-1(190)	+1(12.8)	31.2
15	14	-1(16)	+1(210)	+1(12.8)	30.8
16	10	+1(19)	+1(210)	+1(12.8)	36.0

4.6.1 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล (Residual Analysis)

จากผลการทดลองที่ได้มานั้น ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลซึ่งจะต้องมีความถูกต้องจึงจะสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้อย่างเหมาะสม โดยทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล (Residual Analysis) โดยผลการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลของผลิตภัณฑ์ FN285 และ FN286 ดังภาพ 4.12



ภาพ 4.12 กราฟแสดงการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูลผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286

โดยแบบจำลองข้างต้นจะต้องเป็นไปตามสมมติฐานหลัก 3 ประการ ดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (Normality Assumption)

จากภาพ 4.12 ในส่วนของกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of Residuals) พบว่ามีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ไม่มีจุดใด ๆ ออกนอกเส้นตรงอย่างชัดเจน และกราฟฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง (Histogram of the Residuals) พบว่ามีการกระจายตัวของส่วนตกค้างในทุกช่วงของกราฟฮิสโตแกรม จึงสรุปได้ว่ามีแนวโน้มการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ศูนย์

2) ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นอิสระ (Independent Assumption)

จากภาพ 4.12 ในส่วนของกราฟส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Residual Versus Order) พบว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบไม่มีแนวโน้มหรือรูปแบบใด ๆ ที่ชัดเจน จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวอย่างอิสระไม่ขึ้นอยู่กับลำดับการทดลอง

3) ข้อมูลส่วนตกค้างที่มีความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability Assumption)

จากภาพ 4.12 ในส่วนของกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนาย (Residual Versus Fit) พบว่าค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวของส่วนตกค้างไม่มีแนวโน้มใด ๆ จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่

จากการวิเคราะห์สมมติฐานทั้ง 3 ข้อของข้อมูลผลตอบหรือค่าแรงดึง สามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเพียงพอสำหรับการนำไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ในขั้นตอนต่อไป

4.6.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA)

เพื่อเป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยและหาระดับของปัจจัยที่ทำให้ค่าแรงดึงมีค่าสูงสุด จึงทำการวิเคราะห์ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังตาราง 4.16

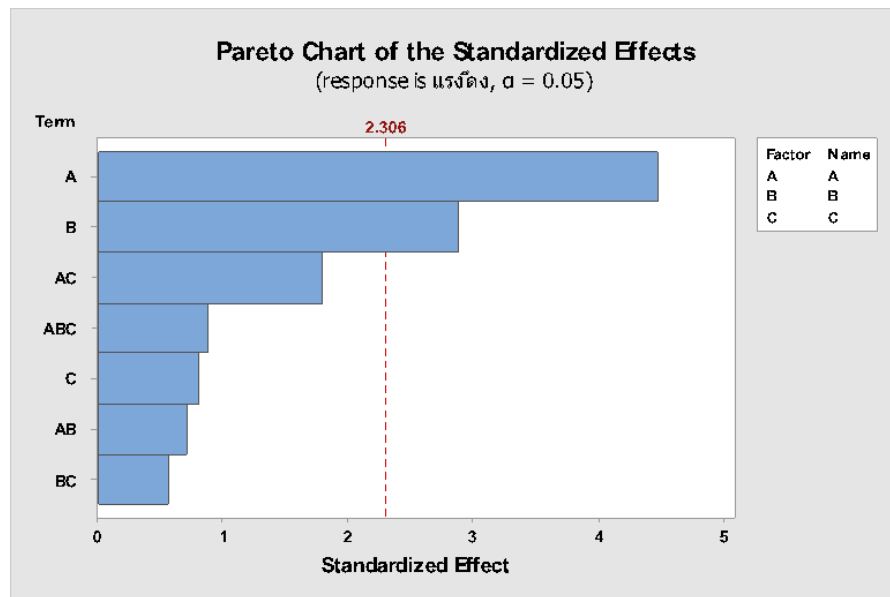
ตาราง 4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	257.498	36.785	4.83	0.021
Linear	3	220.787	73.596	9.66	0.005
A	1	152.523	152.523	20.02	0.002*
B	1	63.202	63.202	8.30	0.020*
C	1	5.062	5.062	0.66	0.439
2-Way Interactions	3	30.708	10.236	1.34	0.327
A*B	1	3.802	3.802	0.50	0.500
A*C	1	24.503	24.503	3.22	0.111
B*C	1	2.403	2.403	0.32	0.590
3-Way Interactions	1	6.002	6.002	0.79	0.401
A*B*C	1	6.002	6.002	0.79	0.401
Error	8	60.940	7.618		
Total	15	318.438			

S = 2.75998 R-sq = 80.86 เปอร์เซ็นต์ Adj R-sq = 64.12 เปอร์เซ็นต์

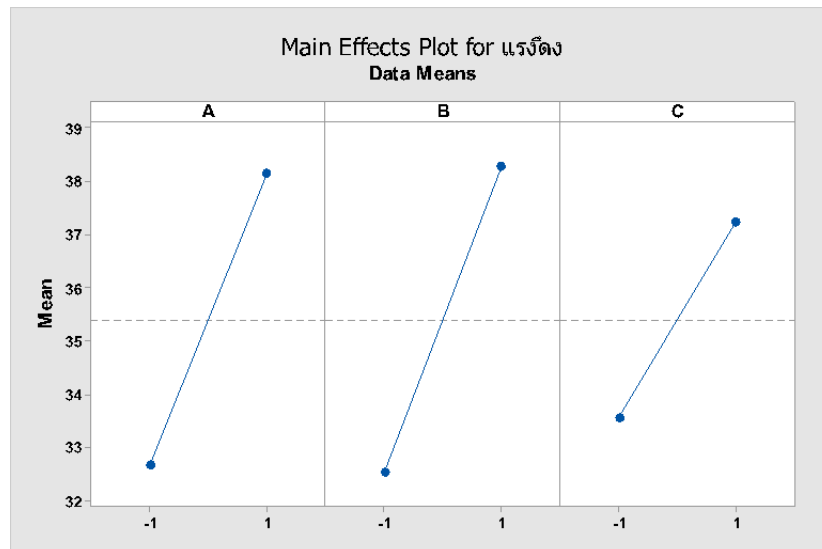
จากตาราง 4.16 ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ มี 2 ปัจจัย ได้แก่ A คือ แรงกด และ B คือ อุณหภูมิ ซึ่งมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดย P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 และผลจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลมีความแม่นยำในการวิเคราะห์เนื่องจากค่า R-sq เท่ากับ 80.86 เปอร์เซ็นต์

จากภาพ 4.13 จากกราฟพาเรโตที่แสดงผลกระทบของปัจจัย เมื่อพิจารณาจากเส้นนัยสำคัญที่มีค่าเท่ากับ 2.306 จะเห็นได้ว่ามี 2 ปัจจัย ได้แก่ A คือ แรงกด และ B คือ อุณหภูมิ มีค่าผลกระทบมากกว่าเส้นนัยสำคัญสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อข้อมูลของผลตอบ



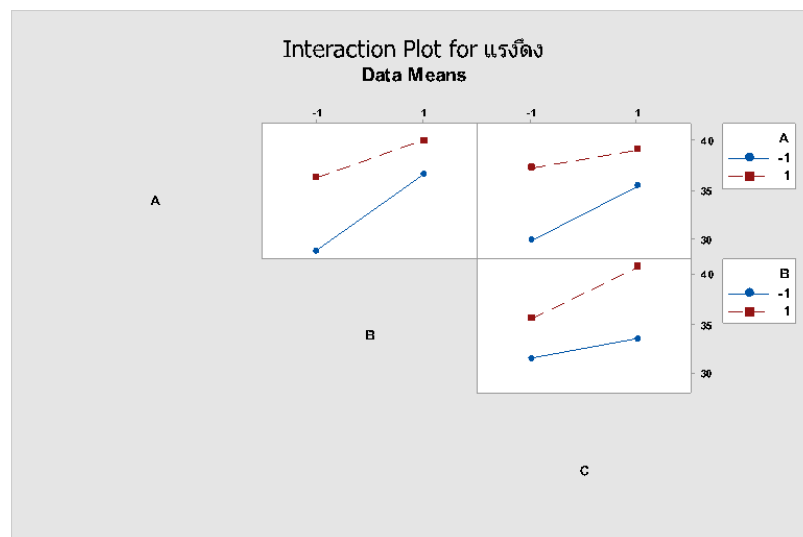
ภาพ 4.13 กราฟพาเรโตที่แสดงผลกระทบของปัจจัยของผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286

จากภาพ 4.14 เป็นกราฟแสดงผลกระทบหลัก (Main Effect Plot) ที่มีต่อผลตอบ จากการวิเคราะห์ สรุปได้ว่าปัจจัย A คือ แรงกด และ B คือ อุณหภูมิ มีผลกระทบอย่างชัดเจนต่อการผลตอบของการทดลอง เนื่องจากกราฟมีความชันสูง



ภาพ 4.14 กราฟผลกระทบหลักที่มีผลต่อผลตอบของผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286

จากภาพ 4.15 เป็นกราฟแสดงผลกระทบร่วม (Interaction Effect) สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยนี้ ไม่มีผลกระทบร่วมกันเนื่องจากในกราฟไม่มีเส้นใดซ้อนทับกันในแต่ละความสัมพันธ์ร่วม



ภาพ 4.15 กราฟแสดงผลกระทบร่วมต่อผลตอบของผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286

จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยนำสัมประสิทธิ์ของพจน์ จากตาราง 4.17 ที่มีนัยสำคัญมาสร้างเป็นสมการแบบจำลองของผลตอบสำหรับผลิตภัณฑ์ FN285 และ FN286 แสดงดังสมการ 4.7

ตาราง 4.17 การวิเคราะห์การถดถอยของผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		30.012	0.690	43.50	0.000	
A	6.175	3.087	0.690	4.47	0.002	1.00
B	3.975	1.988	0.690	2.88	0.020	1.00
C	-1.125	-0.563	0.690	-0.82	0.439	1.00
A*B	-0.975	-0.487	0.690	-0.71	0.500	1.00
A*C	-2.475	-1.238	0.690	-1.79	0.111	1.00
B*C	-0.775	-0.388	0.690	-0.56	0.590	1.00
A*B*C	-1.225	-0.612	0.690	-0.89	0.401	1.00

$$\hat{y}_3 = 30.012 + 3.087 A + 1.988 B \quad (4.7)$$

จากสมการ 4.7 จะเห็นได้ว่าเป็นสมการเส้นตรงอย่างง่าย หากต้องการได้ค่าผลตอบหรือแรงยึดติดระหว่างปลั๊กกับฟิวส์มากที่สุดจะต้องแทน ปัจจัย A ด้วย +1 และ ปัจจัย B ด้วย +1 จึงสรุประดับที่เหมาะสมของปัจจัยในการทดลองของผลิตภัณฑ์ FN285 และ FN286 ดังตาราง 4.18

ตาราง 4.18 ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยในการทดลองของผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284

ปัจจัย	หน่วย	ระดับที่เหมาะสม
ปัจจัย A : แรงกด	กิโลกรัม	19
ปัจจัย B : อุณหภูมิ	องศาเซลเซียส	210
ปัจจัย C : ตำแหน่งการวางชิ้นงาน	มิลลิเมตร	12.2

4.6.3 ผลการทดลองยืนยันผลด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ได้จากการศึกษาจำนวน 10 ครั้ง

หลังจากที่ได้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมจึงทำการทดลองยืนยันผล 10 ครั้ง ด้วยเงื่อนไข แรงกด 19 กิโลกรัม อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส และ ตำแหน่งการวางชิ้นงาน 12.2 มิลลิเมตร แสดงผลการทดลองยืนยันผล ดังตาราง 4.19

ตาราง 4.19 ผลตอบของการทดลองยืนยันผลของผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286

ครั้งที่ทำการทดลองยืนยันผล	ค่าแรงดึง (นิวตัน)
1	28.4
2	38.8
3	32.8
4	30.6
5	37.4
6	25.8
7	29.6
8	36.2
9	39.2
10	36.6
ค่าเฉลี่ย	33.54

จากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อพิสูจน์ว่าค่าที่ได้จากการทดลองยืนยันผลไม่มีความแตกต่างกับค่าพยากรณ์ที่ได้จากแบบจำลองอย่างมีนัยสำคัญ โดยกำหนดสมมติฐานหลักและสมมติฐานรอง ดังสมการ 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ โดยทำการทดสอบสมมติฐานด้วยการทดสอบ T-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลการวิเคราะห์จากคู่มือวิเคราะห์และจัดการข้อมูลสถิติ (Minitab) ดังตาราง 4.20

$$H_0: \mu = 35.087 \quad (4.8)$$

$$H_1: \mu \neq 35.087 \quad (4.9)$$

ตาราง 4.20 ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อพิสูจน์ว่าผลจากการทดลองยืนยันผลไม่แตกต่างจากค่าพยากรณ์ในผลิตภัณฑ์ FN285 และ FN286

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI for μ	T-Value	P-Value
10	33.54	4.74	1.50	(30.15, 36.93)	-1.03	0.329

จากตาราง 4.17 จะเห็นได้ว่าค่าแรงดึงที่ได้จากการทดลองยืนยันผลสำหรับผลิตภัณฑ์ FN285 และ FN286 มีไม่มีความแตกต่างกับค่าพยากรณ์อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-value เท่ากับ 0.329 ซึ่งมากกว่า 0.05 ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อเพิ่มแรงยึดติดระหว่างปลั๊กและฟิวส์ในตัวกรองสัญญาณรบกวนโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองสามารถสรุปผลวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของทางบริษัทกรณีศึกษาพบว่าในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ตัวกรองสัญญาณรบกวน รุ่น FN 28x ในขั้นตอน Final Test ซึ่งเป็นการนำเอาฟิวส์กับตัวปลั๊กมาหลอมละลายทำให้ยึดติดกันโดยเครื่อง Melt Fuse Holder ยังไม่มีการกำหนดค่าของปัจจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำงาน นอกจากนี้พนักงานแต่ละคนยังมีการใช้ค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากบริษัทกำหนดเพียงช่วงของค่าต่าง ๆ ทำให้เกิดความแปรปรวนในกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างสูง จึงทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานและเกิดงานเสียที่ไม่สามารถส่งถึงมือลูกค้าได้ จึงทำให้ต้นทุนของกระบวนการผลิตเพิ่ม หลังจากที่ทำการศึกษากระบวนการผลิตตัวกรองสัญญาณรบกวนรุ่น FN 28x โดยรวม รวมทั้งระดมความคิดกับทางวิศวกรในโรงงาน ทำให้พบปัจจัยที่มีผลต่อแรงยึดติดระหว่างปลั๊กและฟิวส์ในตัวกรองสัญญาณรบกวน โดยสาเหตุที่สามารถนำมาทำการทดลองได้ 3 ปัจจัย คือ แรงกด อุณหภูมิ และ ตำแหน่งการวางของชิ้นงาน โดยมีผลตอบคือแรงดึง

จากนั้นทำการกำหนดระดับสูงและต่ำของแต่ละปัจจัย ต่อมาทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบเต็มจำนวน 2k โดยควบคุมการทดลองด้วยหลักการพื้นฐาน 3 ประการ คือ การทดลองซ้ำ การบล็อก และ หลักการสุ่ม หลังจากทำการทดลองจึงนำไปวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล ซึ่งข้อมูลของผลตอบต้องมีคุณภาพและมีความถูกต้องจึงจะสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน และทำการทดลองยืนยันผล 10 ครั้งต่อรุ่นต่อได้

ผลการวิจัยพบว่าสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282 ปัจจัยที่มีผลต่อแรงยึดติด ได้แก่ แรงกด อุณหภูมิ และ ตำแหน่งการวางชิ้นงาน โดยมีระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ทำให้แรงยึดติดสูงสุดคือ แรงกด 20 กิโลกรัม อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส และ ตำแหน่งการวางชิ้นงาน 11.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ

สำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อแรงยึดติด ได้แก่ แรงกด อุณหภูมิ และ ตำแหน่งการวางชิ้นงาน โดยมีระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ทำให้แรงยึดติดสูงสุดคือ แรงกด 19 กิโลกรัม อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส และ ตำแหน่งการวางชิ้นงาน 12.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อแรงยึดติด ได้แก่ แรงกด อุณหภูมิ ส่วนตำแหน่งการวางของชิ้นงาน เป็นปัจจัยที่ไม่มีผลต่อแรงยึดติด โดยมีระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่จะทำให้แรงยึดติดสูงสุดคือ แรงกด 19 กิโลกรัม อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส และ ตำแหน่งการวางชิ้นงานที่ 12.2 มิลลิเมตร จึงใช้ค่าเดียวกับผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284 เพื่อลดเวลาในการปรับตำแหน่งและเนื่องจากเดือยของปลั๊กที่เชื่อมกับพิวสนั้นมีขนาดใหญ่กว่าอีก 2 รุ่นจึงทำให้ตำแหน่งการวางชิ้นงานไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นเหตุที่ทำให้เกิดความต่างจากรุ่นอื่น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษา สร้างระเบียบและวิธีการที่ถูกต้องในการใช้เครื่อง Melt Fuse Holder อย่างชัดเจน และให้พนักงานทำตามระเบียบอย่างเคร่งครัดเพื่อป้องกันการขัดข้องของเครื่องระหว่างการใช้งาน

5.2.2 กำหนดระดับสูงและระดับต่ำของแต่ละปัจจัยควรกำหนดให้กว้างพอเพื่อให้มีความแตกต่างกัน ไม่ใกล้เคียงกันเป็นระดับเดียวกันเพราะอาจทำให้ผลการวิเคราะห์พบว่าไม่มีปัจจัยใดมีความสำคัญอย่างมีนัยสำคัญ

5.2.3 อัตราส่วนของชนิดพลาสติกในผลิตภัณฑ์อาจมีผลต่อการกำหนดระดับสูงและระดับต่ำของปัจจัยของแรงกดและอุณหภูมิ

บรรณานุกรม

กนกวรรณ กนกกุลชัย (2545) พัฒนาการของการวางแผนการทดลอง : กรณีศึกษาแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลและสปลิทพล็อต ปี ค.ศ. 1999-2001. โครงการวิจัยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ธัญนันท์ สุภาวรรณ และสุทธิดา ชัดงาม (2559) การลดการสูญเสียน้ำหนักของซากสุกรจากกระบวนการแช่เย็นข้ามคืนโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง. โครงการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

นันทิกานต์ วงศ์เรน (2559) การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหา Samba ในกระบวนการผลิตอุปกรณ์กรองสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง. โครงการวิจัยวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สรรรฐติชัย ชิวสุทธิศิลป์ (2557) กลยุทธ์การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. เชียงใหม่ : บริษัท นันทพันธ์พรินติ้ง จำกัด.

อักรฤทธิ เจริญเขมสุข (2561) การวิเคราะห์ปัจจัยในการปรับค่าความถี่ของอิเล็กทรอนิกส์ เซ็นเซอร์. เชียงใหม่ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การลดรูปสมการของผลิตภัณฑ์รุ่น FN28x

การลดรูปสมการ (Reduced Model)

เพื่อเป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยและหาระดับของปัจจัยที่ทำให้ค่าแรงดึงมีค่าสูงสุด ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ดังตาราง ก-1, ตาราง ก-2 และ ตาราง ก-3

ตาราง ก-1 การลดรูปสมการของผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A	1	176.89	176.890	21.28	0.001
B	1	75.69	75.690	9.11	0.011
C	1	163.84	163.840	19.71	0.001
Error	12	99.73	8.311		
Lack-of-Fit	4	10.25	2.563	0.23	0.914
Pure Error	8	89.48	11.185		
Total	15	516.15			

S = 2.88285 R-sq = 80.68 เปอร์เซ็นต์ Adj R-sq = 75.85 เปอร์เซ็นต์

Pred R-sq = 65.65 เปอร์เซ็นต์

จากตาราง ก-1 ในการลดรูปสมการของผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ มี 3 ปัจจัย ได้แก่ A คือ แรงกด, B คือ อุณหภูมิ และ C คือ ตำแหน่งการวางชิ้นงาน ซึ่งมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดย P-value ของ Lack-of-Fit มีค่ามากกว่า 0.05 ซึ่งทำให้สามารถลดรูปสมการได้

ตาราง ก-2 การลดรูปสมการของผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A	1	119.90	119.903	13.28	0.003
B	1	131.10	131.103	14.52	0.002
C	1	54.02	54.022	5.98	0.031
Error	12	108.37	9.031		
Lack-of-Fit	4	39.51	9.878	1.15	0.401
Pure Error	8	68.86	8.607		
Total	15	413.40			

S = 3.00513 R-sq = 73.79 เปอร์เซ็นต์ Adj R-sq = 67.23 เปอร์เซ็นต์
 Pred R-sq = 53.40 เปอร์เซ็นต์

จากตาราง ก-2 ในการลดรูปสมการของผลิตภัณฑ์รุ่น FN283 และ FN284 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ มี 3 ปัจจัย ได้แก่ A คือ แรงกด, B คือ อุณหภูมิ และ C คือ ตำแหน่งการวางชิ้นงาน ซึ่งมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดย P-value ของ Lack-of-Fit มีค่ามากกว่า 0.05 ซึ่งทำให้สามารถลดรูปสมการได้

ตาราง ก-3 การลดรูปสมการของผลิตภัณฑ์รุ่น FN285 และ FN286

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
A	1	152.522	152.522	19.30	0.001
B	1	63.203	63.203	8.00	0.014
Error	13	102.713	7.901		
Lack-of-Fit	1	3.802	3.802	0.46	0.510
Pure Error	12	98.910	8.243		
Total	15	318.438			

S = 2.81086 R-sq = 67.74 เปอร์เซ็นต์ Adj R-sq = 62.78 เปอร์เซ็นต์

Pred R-sq = 51.14 เปอร์เซ็นต์

จากตาราง ก-3 ในการลดรูปสมการของผลิตภัณฑ์รุ่น FN281 และ FN282 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญ มี 2 ปัจจัย ได้แก่ A คือ แรงกด และ B คือ อุณหภูมิ ซึ่งมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดย P-value ของ Lack-of-Fit มีค่ามากกว่า 0.05 ซึ่งทำให้สามารถลดรูปสมการได้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล : นางสาวนภัสสร สมศักดิ์ รหัสนักศึกษา 590610299

วัน/เดือน/ปี เกิด : 28 ตุลาคม พ.ศ.2539

ภูมิลำเนา : เชียงใหม่

ประวัติการศึกษา :

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลาย จากโรงเรียนเรยีนาเชลีวิทยาลัย ต.ช้างคลาน อ.เมือง จ.เชียงใหม่
- ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



ชื่อ-สกุล : นางสาวชिरุญาณ์ ธรรมณี รหัสนักศึกษา 590610332

วัน/เดือน/ปี เกิด : 11 กันยายน พ.ศ.2539

ภูมิลำเนา : เชียงใหม่

ประวัติการศึกษา :

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย ต.ศรีภูมิ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ และตอนปลาย จากโรงเรียนเรยีนาเชลีวิทยาลัย ต.ช้างคลาน อ.เมือง จ.เชียงใหม่
- ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

