



การปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย  
โดยการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง

โดย

นายนพดล พุ่มนิล

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ปีการศึกษา 2560  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย  
โดยการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง

โดย

นายนพต พุ่มนิล



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ปีการศึกษา 2560  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

APPLICATION OF DESIGN OF EXPERIMENT METHOD FOR  
IMPROVING QUALITY LEVEL OF EVAPORATOR COIL FABRICATION

BY

MR. NOPPADOL PUMNIL



AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE  
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN  
INDUSTRIAL DEVELOPMENT  
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
THAMMASAT UNIVERSITY  
ACADEMIC YEAR 2017  
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

การค้นคว้าอิสระ

ของ

นายนพดล พุ่มนิล

เรื่อง

การปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย โดยการประยุกต์ใช้หลักการ  
ออกแบบการทดลอง

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2561

ประธานกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ



(รองศาสตราจารย์ ดร. ตนพันธ์ วิสุวรรณ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ



(อาจารย์ ดร. อนินทยา คำกันยา)

กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สวัสดิ์ ภาะระราช)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร. ชีร เจียศิริพงษ์กุล)

หัวข้อการค้นคว้าอิสระ	การปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย โดยการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลอง
ชื่อผู้เขียน	นายนพดล พุ่มนิล
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ	อาจารย์ ดร.อนินทยา คำกันยา
ปีการศึกษา	2560

### บทคัดย่อ

การวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการผลิตผ่านการออกแบบการทดลอง นับว่าเป็นหนึ่งขั้นตอนที่สำคัญของการพัฒนาคุณภาพอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย โดยมุ่งเน้นที่การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของกระบวนการขึ้นรูปคอยล์เครื่องระเหยซึ่งเป็นหน่วยงานหลักที่ทำให้เกิดของเสียมากที่สุด ชนิดของข้อบกพร่องที่พบเป็นจำนวนมากที่สุด คือ ข้อบกพร่องประเภทอลูมิเนียมพินขาด ซึ่งเกิดในระหว่างการสอดท่อเข้ากับแผงอะลูมิเนียมพิน จากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทอลูมิเนียมพินขาดประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ ขนาดรูอลูมิเนียมพิน ความเร็วในการประกอบ และระดับน้ำมันหล่อลื่นในอ่างที่ใช้จุ่มชิ้นงานท่ออลูมิเนียมก่อนประกอบ จากนั้นผู้วิจัยใช้แผนการทดลองแบบแฟคตอเรียล  $2^k$  ในการดำเนินการทดลอง โดยใช้ผลตอบสนองในลักษณะข้อมูลเชิงคุณภาพ กล่าวคือ ทำการแบ่งพื้นผิวของอะลูมิเนียมพินเป็นช่องตารางขนาดเล็กจำนวน 25 ช่อง และบันทึกจำนวนช่องที่พบจุดบกพร่องเทียบกับจำนวนช่องทั้งหมด จากนั้นนำค่าผลตอบมาวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมของการปรับตั้งปัจจัยการผลิต ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลจากการทดลองพบว่า ค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย คือ ขนาดรูอลูมิเนียมพิน 7.9 มิลลิเมตร ความเร็วในการประกอบ 8.0 Hz. ระดับน้ำมันหล่อลื่น 35.4 มิลลิเมตร ซึ่งหลังจากได้นำไปปรับใช้กับกระบวนการผลิตพบว่า สามารถลดข้อบกพร่องประเภทอลูมิเนียมพินขาดลงได้ร้อยละ 85.01

**คำสำคัญ:** คอยล์เครื่องระเหย, การลดของเสีย, การออกแบบการทดลอง, ข้อมูลเชิงคุณภาพ

Independent Study Title	APPLICATION OF DESIGN OF EXPERIMENT METHOD FOR IMPROVING QUALITY LEVEL OF EVAPORATOR COIL FABRICATION
Author	Mr. Noppadol Pumnil
Degree	Master of Engineering
Department/Faculty/University	Industrial Development Faculty of Engineering Thammasat University
Independent Study Advisor	Dr. Anintaya Khamkanya
Academic Years	2017

### ABSTRACT

The objective of this research is to apply the experimental design principles to reduce the defective rate in the evaporator coil manufacturing process, by finding the optimum level of influenced factors of evaporator coil fabrication. The major defect type found is the torn aluminum fins occurred when assembling aluminum tube into aluminum fins. This defect type also accounts for the highest proportion of defective rate of this process. The preliminary study reveals that there are three influenced factors causing this defect type. These include the hole diameter of aluminum fin, the speed of assembly, and the height of lubricant in a container used when dipping aluminum tube prior to assembly. We use  $2^k$  factorial experimental design to conduct the experiment. The responses are recorded in terms of the number of grids with defects over the total number of grids assigned on the surface of aluminum fins. As a result, the optimum operating conditions are suggested as follows. The hole diameter of aluminum fin is 7.9 mm., the speed of assembly is 8.0 Hz., and the height of lubricant is 35.4 mm. Consequently, the optimum operating conditions obtained from the study are then implemented. We found that, the defective rate of torn aluminum fins is reduced by 85.01%.

**Keywords:** Evaporator Coil, Defect Reduction, Design of Experiment, Attribute data

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.อนินทยา คำกันยา อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้การสนับสนุน แนะนำ ให้คำปรึกษา ตลอดจนแนวความคิด ขอบคิดเห็น และการใช้โปรแกรมในงานวิจัย ทำให้การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. ดนุพันธ์ วิสุวรรณ ประธานกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สวัสดิ์ ภาวระราช กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และแก้ไขข้อบกพร่อง ทำให้การค้นคว้าอิสระนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณสมบัติ รักรวงษ์ ผู้จัดการฝ่ายผลิตโรงงานกรณีศึกษาที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนพนักงานฝ่ายผลิต และพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพที่กรุณาให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัว และเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ และช่วยเหลือมาโดยตลอด ผู้วิจัยหวังว่าการค้นคว้าอิสระนี้จะประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ

นายนพดล พุ่มนิล

(4)

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(7)
สารบัญภาพ	(8)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.1 วัตถุประสงค์	6
1.2 ขอบเขตการวิจัย	6
1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	6
1.4 ระยะเวลาในการดำเนินงาน	7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 เครื่องมือคุณภาพ	8
2.1.1 แผนภาพพาเรโต	8
2.1.2 แผนภาพสาเหตุและผล	9
2.2 การออกแบบแผนการทดลอง	10
2.2.1 การออกแบบแผนการทดลอง	10
2.2.2 ประเภทของการทดลอง	12



2.2.3 การทดลองแพคทอเรียล	12
2.2.4 การออกแบบการทดลองกรณี $2^2$ แพคทอเรียล	13
2.2.5 การทดลองแพคทอเรียลเต็มรูปสำหรับศึกษาปัจจัยที่ 2 ระดับและ 3 ระดับ	15
2.2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน	18
2.3 การขึ้นรูปโลหะ	21
2.3.1 ลักษณะการขึ้นรูปโลหะ	21
2.3.2 เครื่องจักรที่ใช้ผลิตชิ้นงาน	22
2.3.3 ทฤษฎีการตัด	22
2.3.4 ทฤษฎีการตัด	23
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	26
3.1 รายละเอียดของกระบวนการผลิต	26
3.2 วิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดอูมิเนี่ยมพินขาด	34
3.2.1 การวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล	34
3.3 สรุปลักษณะและปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสีย	36
3.4 การออกแบบการทดลองเชิงแพคทอเรียลสองระดับ	40
3.5 วิธีดำเนินการทดลอง	41
3.5.1 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้	41
3.5.2 วิธีดำเนินการ	45
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	50
4.1 ผลการทดลองเชิงแพคทอเรียลแบบสองระดับ	50
4.2 วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากการทดลอง	51
4.3 การกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม	53
4.4 การทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง	54
4.5 การนำผลการทดลองไปใช้งานจริง	55
4.6 บทสรุป	57

	(6)
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผลการวิจัย	58
5.2 ข้อเสนอแนะการวิจัย	60
รายการอ้างอิง	61
ประวัติผู้เขียน	63



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ของเสียจากกระบวนการผลิต เดือน มกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559	2
1.2 ของเสียทั้งหมด 4,696 ชิ้นจากกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย เดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2560	3
1.3 รุ่นของผลิตภัณฑ์ที่พบของเสียประเภทอลูมิเนียมฟินขาด (ข้อมูลเดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2560	5
1.4 ระยะเวลาดำเนินการ	7
2.1 สัญลักษณ์ของผลกระทบและความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัย	14
2.2 สัญลักษณ์ของปัจจัย และระดับของปัจจัย	14
2.3 สัญลักษณ์ของผลรวมข้อมูลการทดลองในแต่ละวิธีปฏิบัติ	14
2.4 2 <sup>2</sup> การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป	16
2.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีจำแนกทางเดียว	19
2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีสุ่มอย่างสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม (RBD) กรณี $r \geq 1$ หรือ $N = abr$	20
3.1 การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียประเภทอลูมิเนียมฟินขาด แบบควบคุมได้ และควบคุมไม่ได้	37
3.2 เกณฑ์การให้คะแนนความสัมพันธ์ของเหตุและผล	38
3.3 พิจารณาหลักการความสัมพันธ์ของเหตุและผล	38
3.4 ผลคะแนนรวมแต่ละปัจจัย	38
3.5 ปัจจัยที่นำมาพิจารณาการออกแบบการทดลอง	39
3.6 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2 <sup>k</sup>	40
3.7 สัญลักษณ์วิธีปฏิบัติ	40
3.8 รูปแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 <sup>k</sup>	41
4.1 ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 <sup>k</sup>	50
4.2 การยืนยันผลการทดลอง	54
4.3 จำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องประเภทอลูมิเนียมฟินขาดรุ่น V086000 ตรวจสอบ ทุกชิ้นงาน	56
5.1 เปรียบเทียบค่าปัจจัยก่อนและหลังการปรับปรุง	59

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1	2
1.2	3
1.3	4
1.4	5
2.1	9
2.2	9
2.3	10
2.4	11
2.5	16
2.6	22
2.7	23
3.1	26
3.2	27
3.3	28
3.4	28
3.5	29
3.6	29
3.7	30
3.8	30
3.9	31
3.10	31
3.11	32
3.12	32
3.13	33
3.14	33
3.15	34
3.16	35

3.17 แผนภูมิพาเรโตแสดงลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง ประเภททอลูมิเนียมฟินขาด	39
3.18 เครื่องปั๊มโลหะที่ใช้ในการทดลอง	41
3.19 ม้วนวัตถุดิบทอลูมิเนียม ใช้ผลิตทอลูมิเนียมฟิน	42
3.20 แม่พิมพ์โลหะสำหรับผลิตทอลูมิเนียมฟิน	42
3.21 เครื่องเจียรนัยราบ	43
3.22 กล้องจุลทรรศน์ใช้วัดขนาดรูทอลูมิเนียมฟิน	43
3.23 เครื่องประกอบทอลูมิเนียมกับทอลูมิเนียมฟิน	44
3.24 อ่างน้ำมันสำหรับจุ่มทอลูมิเนียมก่อนใส่เครื่องประกอบ	44
3.25 ไม้บรรทัดเหล็ก	45
3.26 ขั้นตอนการแก้ไขทอลูมิเนียมฟิน	46
3.27 แห่งกำหนดความสูงการใช้งานแม่พิมพ์	46
3.28 แผ่นปลดและชิ้นส่วนทำหน้าที่ดันขึ้นรูป	47
3.29 ชุดปรับตั้งความสูงใช้งานแม่พิมพ์ที่เครื่องปั๊ม	47
3.30 ระดับน้ำมันหล่อลื่น RF-502 ที่ใช้ในการทดลอง	48
3.31 เครื่องประกอบควบคุมความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์	48
3.32 แบ่งชิ้นงานออกเป็น 25 ช่องเพื่อการตรวจเช็ค	49
4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองแบบ $2^k$ Factorial Design	51
4.2 กราฟวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล	52
4.3 กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยหลัก	52
4.4 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยหลัก	53
4.5 กราฟแสดงจุดที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย	54
4.6 ผลการทดสอบสมมติฐานการทดลองการผลิต	55
4.7 ผลการทดสอบสมมติฐานการผลิตจริง	57
5.1 กราฟแสดงร้อยละของเสียที่ลดลงของ	59

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้ามีการแข่งขันค่อนข้างรุนแรงในหลายด้าน เช่น ด้านราคา ด้านช่องทางการจัดจำหน่าย และด้านบริการ ส่งผลดีต่อผู้บริโภค คือ ได้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ราคาถูกลง และได้รับบริการหลังการขายที่ดีขึ้น หากแต่การแข่งขันที่รุนแรง ทำให้ผู้ผลิตต้องปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ ในอดีตผู้บริโภคส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับยี่ห้อสินค้าเป็นอย่างมาก ทำให้ผู้ผลิตสินค้ายี่ห้อชั้นนำหลายรายที่ไม่ได้เตรียมความพร้อมสำหรับการแข่งขันที่รุนแรงและรวดเร็ว ประสบปัญหาไม่มีความสามารถในการแข่งขันต้องปิดกิจการลงในที่สุด ด้วยเหตุนี้ การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสุด มีคุณภาพดีตามที่ลูกค้าต้องการ อีกทั้งแนวโน้มในการบริโภคสินค้าของผู้บริโภคมีแนวโน้มที่จะสั่นลง หรือมีการเปลี่ยนแปลงการบริโภคเร็วขึ้น สังเกตได้จาก เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มีการปรับเปลี่ยนรุ่นนำออกขายสู่ตลาดมากมายในแต่ละปีซึ่งแตกต่างจากสมัยก่อนที่ 2-3 ปี ถึงจะมีสินค้าออกมาหนึ่งรุ่น สินค้าจึงควรมีความหลากหลายหรือสามารถปรับเปลี่ยนตามความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างรวดเร็ว เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงความต้องการของผู้บริโภค การทำกิจกรรมต่างๆ ภายในองค์กร เช่น กิจกรรม QCC (Quality Control Circle) ระบบการผลิตแบบลีน (Lean manufacturing) เพื่อให้คงความสามารถในการแข่งขันกับผู้ประกอบการรายอื่นทั้งในประเทศและต่างประเทศได้จึงเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง อีกทั้งยังต้องพิจารณาด้านการเติบโตและความมั่นคงของธุรกิจอีกด้วย นั่นหมายความว่า สถานประกอบการจะต้องมีกำไรอย่างต่อเนื่องในแต่ละปีเพื่อให้ดำเนินธุรกิจต่อไปได้

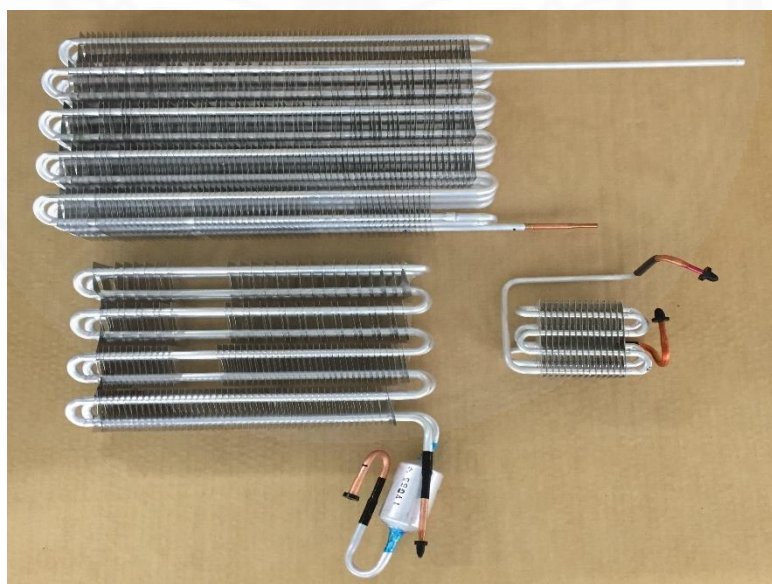
บริษัทที่ใช้เป็นกรณีศึกษา เป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนเครื่องทำความเย็น และเครื่องใช้ไฟฟ้าจำหน่ายทั้งภายในประเทศ และต่างประเทศ ประสบปัญหาเกี่ยวกับความไม่สมดุลในการผลิตเช่นกัน ทั้งด้านคุณภาพ ประสิทธิภาพ การรอกาน และการผลิตของเสีย บริษัทที่ใช้เป็นกรณีศึกษาแบ่งฝ่ายผลิตออกเป็น 6 แผนก ได้แก่ แผนกคอยล์เครื่องระเหย แผนกฉนวนใยแก้ว แผนกชุดทำความเย็นตู้กดน้ำหยอดเหรียญ แผนกคอยล์ทองแดง แผนกชุดทำความร้อนละลายน้ำแข็งในตู้เย็น และแผนกอุปกรณ์ตู้กดน้ำหยอดเหรียญ จากข้อมูลของเสียตลอดปี พ.ศ. 2559 พบว่าแผนกผลิตคอยล์เครื่องระเหยมีปริมาณของเสียมากที่สุด ดังตารางที่ 1.1

## ตารางที่ 1.1

ของเสียจากกระบวนการผลิต เดือน มกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2559

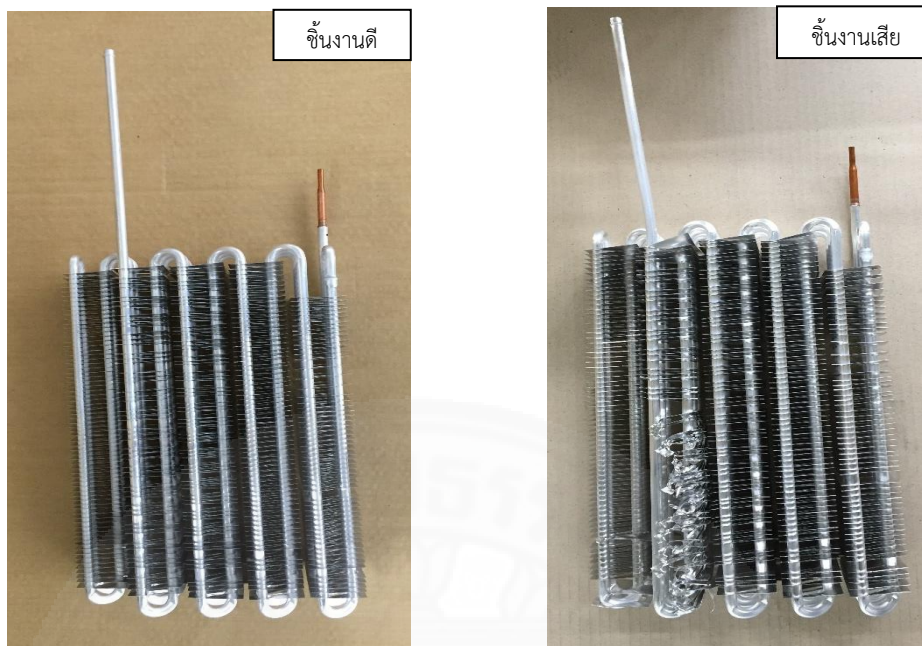
ผลิตภัณฑ์	ร้อยละของเสียที่เกิดขึ้น / จำนวนผลิต
1. คอยล์เครื่องระเหย	0.48
2. ฉนวนใยแก้ว	0.36
3. ชุดทำความสะอาดตู้กดน้ำหยอดเหรียญ	0.11
4. คอยล์ทองแดง	0.07
5. ชุดทำความสะอาดร่องละลายน้ำแข็งในตู้เย็น	0.04
6. อุปกรณ์ตู้กดน้ำหยอดเหรียญ	0.004

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงให้ความสนใจในการลดของเสียในแผนกผลิตคอยล์เครื่องระเหย แผนกผลิตคอยล์เครื่องระเหยมีการผลิตชิ้นงานทั้งสิ้น 36 รุ่น โดยชิ้นงานมีทั้งขนาดใหญ่ และขนาดเล็ก ดังแสดงในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ชิ้นงานคอยล์เครื่องระเหยที่มีขนาดแตกต่างกัน

มีการเปรียบเทียบให้เห็นลักษณะชิ้นงานดี และชิ้นงานเสียประเภทอลูมิเนียมฟินขาด ดังแสดงในภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 เปรียบเทียบลักษณะขี้งานดี และลักษณะขี้งานเสีย

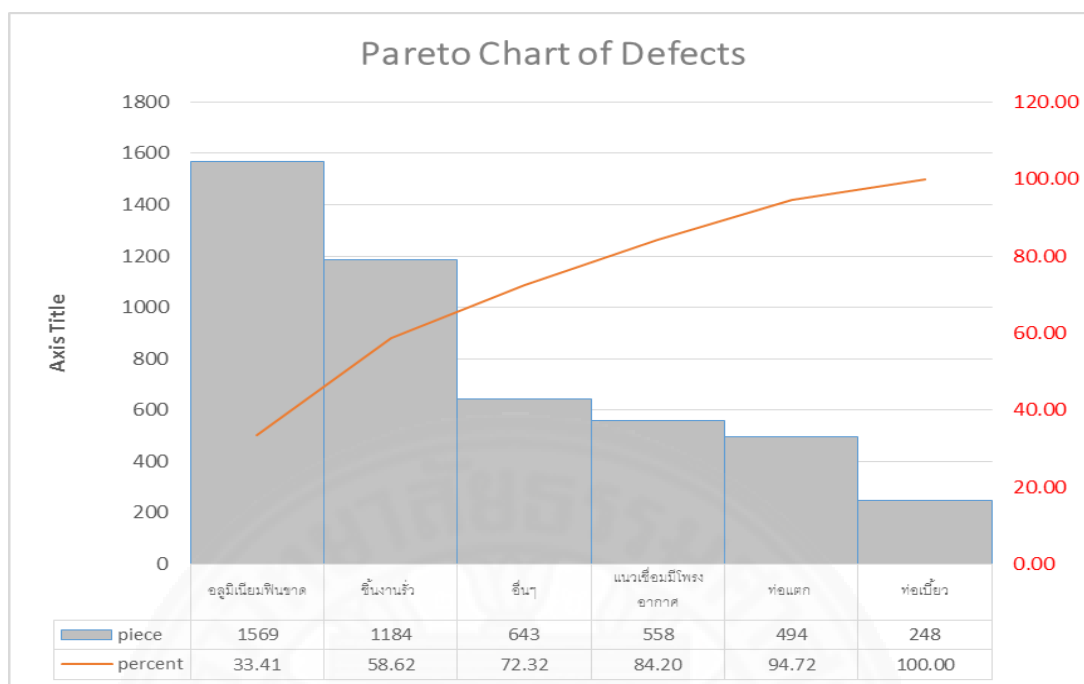
คอยล์เครื่องระเหยจะถูกขายให้ลูกค้าทั้งในประเทศและต่างประเทศในรูปแบบของชิ้นส่วนสำหรับการผลิต ซึ่งลูกค้าจะนำคอยล์เครื่องระเหยไปประกอบในตู้เย็นสองประตูที่มีขนาดใหญ่และเล็กแตกต่างกันออกไป จากการเก็บรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ เดือนมกราคม ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2560 มียอดการผลิตคอยล์เครื่องระเหยทั้งสิ้น 675,950 ชิ้น พบของเสียในกระบวนการผลิต 4,696 ชิ้น โดยแบ่งตามลักษณะของเสียดังนี้ แนวเชื่อมมีโพรงอากาศ ขี้งานร่วน อลูมิเนียมพินขาด ท่อแตก ท่อเปี้ยว และอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 1.2 และภาพที่ 1.3

ตารางที่ 1.2

ของเสียทั้งหมด 4,696 ชิ้น จากกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย เดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2560

ลักษณะข้อบกพร่อง	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	จำนวนของเสียสะสม (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์ของเสีย
อลูมิเนียมพินขาด	1,569	1,569	33.41
ขี้งานร่วน	1,184	2,753	25.21
อื่นๆ	643	3,396	13.69
แนวเชื่อมมีโพรงอากาศ	558	3,954	11.88
ท่อแตก	494	4,448	10.52
ท่อเปี้ยว	248	4,696	5.28





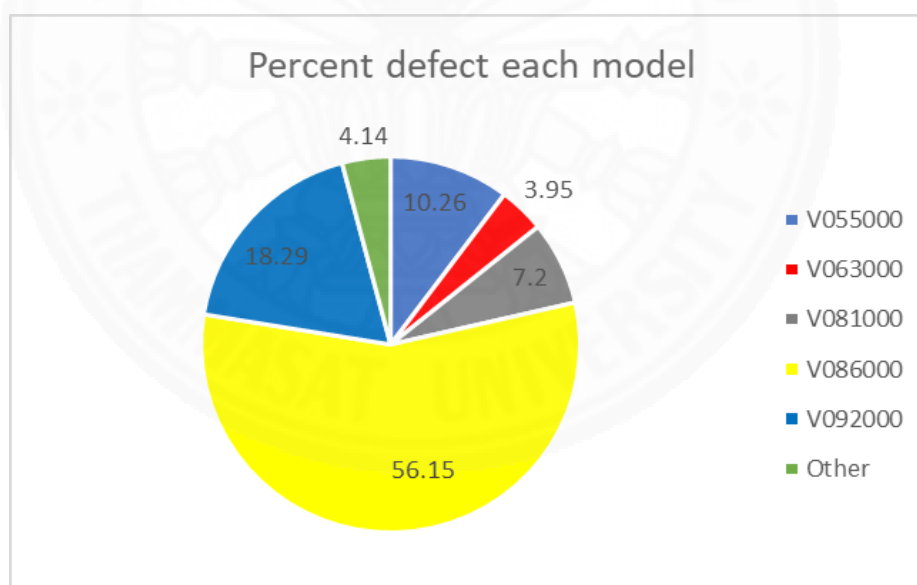
ภาพที่ 1.3 แผนภูมิพาเรโตแสดงจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย

จากข้อมูลข้างต้นพบว่ามิของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมากจึงจำเป็นต้องดำเนินการแก้ไขปัญหามา เพื่อป้องกันมิให้สินค้าที่ไม่มีคุณภาพหลุดไปถึงมือลูกค้า ซึ่งจะส่งผลกระทบต่ออีกมากมายตามมา ทั้งด้านความเชื่อมั่นและโอกาสในการทำธุรกิจ นอกจากนี้การแก้ปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตอีกด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการวิเคราะห์หาสาเหตุและวิธีการปรับปรุงแก้ไขของเสียในกระบวนการผลิต โดยให้ความสนใจในของเสียที่มีจำนวนมากเป็นลำดับที่หนึ่ง คือ อลูมิเนียมพินขาด ซึ่งมีจำนวนของเสีย 1,569 ชิ้น จากของเสียทั้งหมด 4,696 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 33.41 มาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ และปรับปรุงแก้ไขเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย นอกจากนี้ เมื่อทำการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าจากของเสียที่เกิดจากอลูมิเนียมพินขาดในกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย ถูกพบมากในผลิตภัณฑ์ 5 รุ่น ดังแสดงในตารางที่ 1.3 และภาพที่ 1.4

## ตารางที่ 1.3

รุ่นของผลิตภัณฑ์ที่พบของเสียประเภทอลูมิเนียมพินขาด (ข้อมูลเดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2560)

ชื่อรุ่นผลิตภัณฑ์	จำนวนของเสียที่พบ (ชิ้น)	ร้อยละของเสียอลูมิเนียมพินขาดในแต่ละรุ่น / จำนวนของเสียทั้งหมดของแต่ละรุ่น
1. V086000	881	56.15
2. V092000	287	18.29
3. V055000	161	10.26
4. V081000	113	7.20
5. V063000	62	3.95
6. Other	65	4.14
รวมของเสียทั้งหมด	1,569	99.99



ภาพที่ 1.4 แผนภูมิวงกลมแสดงอัตราส่วนของเสียที่เกิดขึ้นประเภทอลูมิเนียมพินขาด

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่า ลักษณะของเสียประเภทอลูมิเนียมพินขาดของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด คอยล์เครื่องระเหยรุ่น V086000 มีจำนวนร้อยละของเสียมากเป็นอันดับหนึ่งที่ ร้อยละ 56.15 เมื่อพิจารณาคอยล์เครื่องระเหยเฉพาะรุ่น V086000 เดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน พ.ศ.

2560 มียอดการผลิตทั้งสิ้น 111,840 ชิ้น เป็นของเสียประเภทลูมิเนียมพินขนาด 881 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 0.787 ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะปรับปรุงแก้ไขคอยล์เครื่องระเหยรุ่น V086000 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต

## 1.1 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อลดของเสียประเภทลูมิเนียมพินขนาดจากกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย
- 1.2.2 เพื่อศึกษาหาสาเหตุในการเกิดของเสียในกระบวนการผลิต
- 1.2.3 เพื่อปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตในกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย

## 1.2 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 การวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาข้อมูลเฉพาะคอยล์เครื่องระเหย V086000 เท่านั้น
- 1.3.2 ใช้เครื่องมือการควบคุมคุณภาพและการออกแบบการทดลอง เพื่อลดของเสียประเภทลูมิเนียมพินขนาดเท่านั้น
- 1.3.3 การวิจัยจะชี้วัดด้วยจำนวนของเสียที่ลดลงเปรียบเทียบผลก่อน และหลังการวิจัย
- 1.3.4 ระยะเวลาในการศึกษาวิจัยระหว่างเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2560 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ.2561

## 1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาหลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพ
- 1.4.2 ศึกษาข้อมูลสภาพรวมกระบวนการผลิตปัจจุบันรวมถึงสภาพปัญหาที่พบในสายการผลิตกรณีศึกษาการผลิตคอยล์เครื่องระเหยรุ่น V086000
- 1.4.3 วิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดของเสีย
- 1.4.4 วิเคราะห์ปัญหา และแนวทางการแก้ไข
- 1.4.5 นำแนวทางการแก้ไขปัญหาไปใช้เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต
- 1.4.6 ประเมินผลการดำเนินงาน

## 1.4 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.4

ระยะเวลาดำเนินการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	2560					2561			
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1) ศึกษาหลักการและทฤษฎีเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพ	←→								
2) ศึกษากระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหยรุ่น V086000		←→							
3) หาสาเหตุและปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการงานวิจัย				←→					
4) วิเคราะห์ปัญหาและแนวทางการแก้ไข					←→				
5) นำแนวทางการแก้ไขปัญหาไปใช้เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิต						←→			
6) ประเมินผลการดำเนินงาน								←→	
7) สรุปผลและจัดทำรูปเล่ม									←→

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ทราบถึงกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอนในการผลิตคอยล์เครื่องระเหย
- 1.6.2 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตคอยล์เครื่องระเหย
- 1.6.3 สามารถลดของเสียประเภทอลูมิเนียมพินขาด รุ่น V086000 ลงได้ตามเป้าหมาย

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้นำหลักการและทฤษฎีด้านการควบคุมคุณภาพ โดยการนำเครื่องมือทางสถิติมา ระบุสภาพของปัญหา เพื่อค้นหาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุทำให้เกิดของเสียอย่างเป็นระบบ มีขั้นตอน ไม่เกิดการตกหล่น มีหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

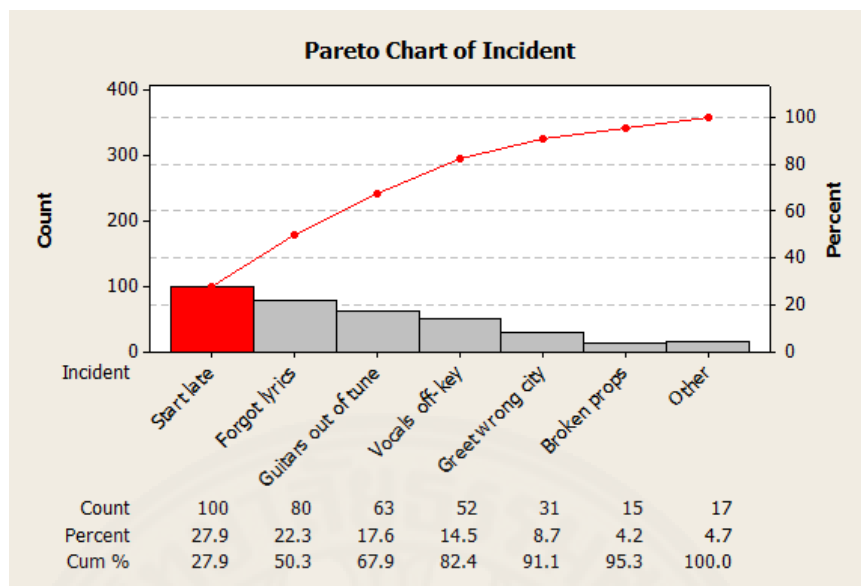
- 2.1 เครื่องมือคุณภาพ
- 2.2 การออกแบบแผนการทดลอง
- 2.3 การขึ้นรูปโลหะ
- 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เครื่องมือคุณภาพ

เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง เป็นเครื่องมือในการควบคุมคุณภาพการผลิต เพื่อให้ทำให้สินค้ามีมาตรฐาน และเป็นการประกันคุณภาพของสินค้า ซึ่งเครื่องมือในการควบคุมคุณภาพที่เรียกว่า เครื่องมือคุณภาพทั้ง 7 ได้แก่ ใบตรวจสอบ แผนภาพพาเรโต แผนภาพสาเหตุและผล กราฟ แผนภาพกระจาย ฮิสโตแกรม และแผนภูมิควบคุม ผู้วิจัยขอกกล่าวถึงเฉพาะเครื่องมือที่ใช้งานเท่านั้น

##### 2.1.1 แผนภาพพาเรโต

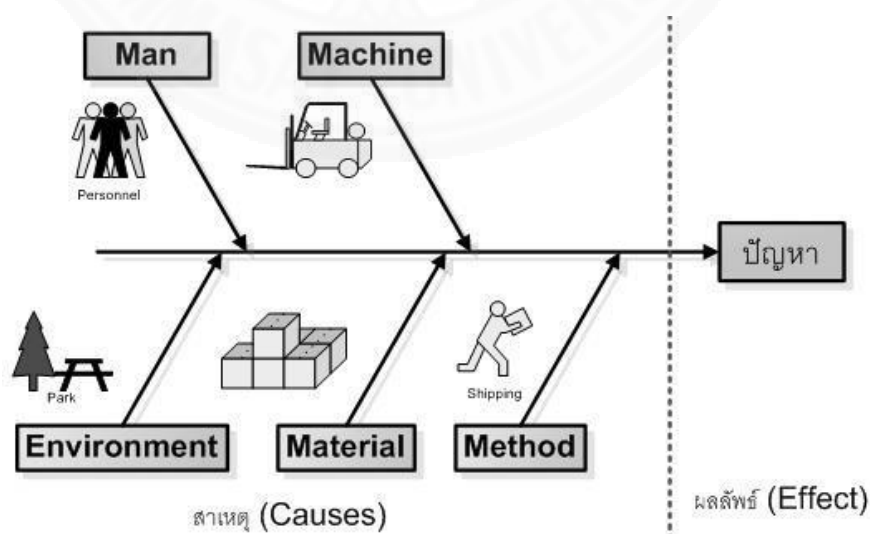
ใช้ในการวิเคราะห์ว่าอะไรคือสาเหตุหลัก หรือปัญหาหลักที่ส่งผลให้เกิดของเสีย หรือจุดบกพร่อง หลักการของพาเรโตใช้หลัก 20/80 ส่วนน้อย 20% จะเป็นส่วนสำคัญ อีก 80% จะเป็นส่วนไม่ค่อยสำคัญ เช่น มีปัญหา 20% ที่สร้างความเสียหายส่วนใหญ่ให้กับกิจการ จึงต้องแก้ตรงนั้นก่อน ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แผนภาพพาราเรโต ที่มา : [logisticbasic.blogspot.jp](http://logisticbasic.blogspot.jp)

### 2.1.2 แผนภาพสาเหตุและผล

มีชื่อเรียกอีกสองชื่อว่าเป็นแผนภูมิกิ่งปลา และ Ishigawa Diagram ใช้สำหรับพิสูจน์หาสาเหตุหลักที่ได้จากแผนภาพพาราเรโต โดยเราจะนำปัญหาหลักไว้ที่หัวปลา และหาสาเหตุย่อยที่ประกอบด้วย 4M1E (Man, Machine, Material, Method, and Environment) ไม่มีการกำหนดปัญหาย่อย ยิ่งมากยิ่งดี ดังแสดงในภาพที่ 2.2



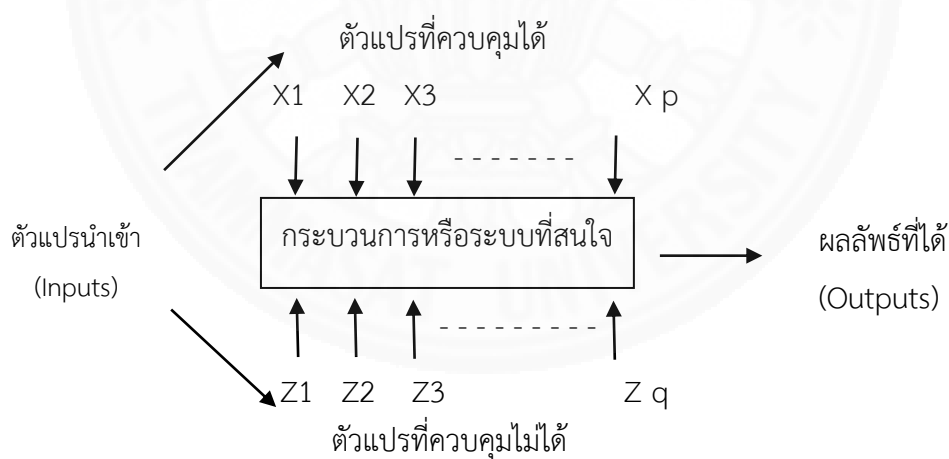
ภาพที่ 2.2 แผนภาพสาเหตุและผล ที่มา : [tools4prod.blogspot.my](http://tools4prod.blogspot.my)

## 2.2 การออกแบบแผนการทดลอง (Design of Experiments)

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบุลย์ (2551) การออกแบบ (Design) หมายถึง การเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการศึกษาระบบที่สนใจ การทดลอง (Experiments) หมายถึง สิ่งที่ทำขึ้นเพื่อการค้นหาองค์ความรู้หรือข้อมูลส่วนที่ยังขาดไปเกี่ยวกับกระบวนการหรือระบบที่สนใจ

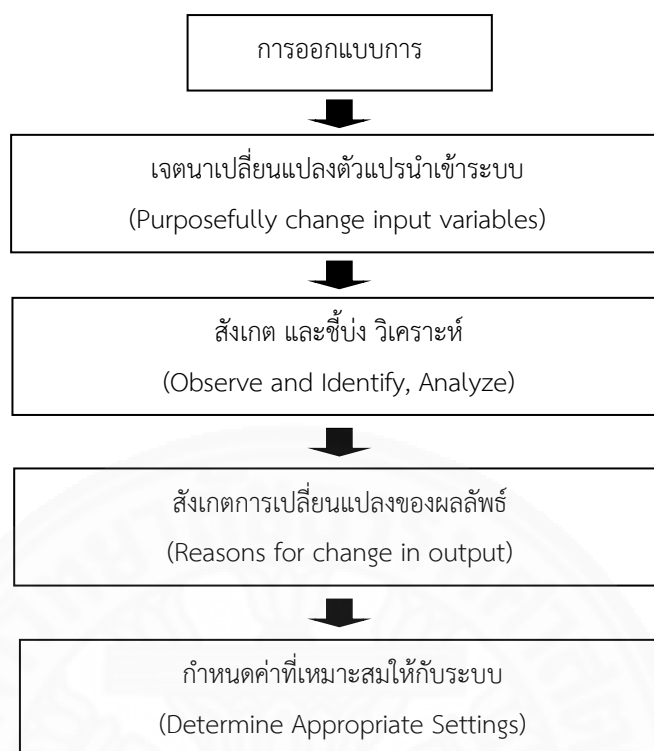
### 2.2.1 การออกแบบแผนการทดลอง (Design of Experiments)

คือ การทดสอบครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจ เพื่อสามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Response) ตัวแปรนำเข้าแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ตัวแปรที่ควบคุมได้ เรียกว่า “ปัจจัยที่ควบคุมได้” (Controllable Variables or Factors) หรือ ปัจจัยที่สามารถออกแบบได้ (Design Variables or Factors) และกลุ่มที่ควบคุมไม่ได้ เรียกว่า “ปัจจัยที่รบกวนระบบ” (Uncontrollable or Noise Variables) ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในกระบวนการ

การกำหนดตัวแปร โดยทั่วไปตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้หรือตัวแปรรบกวน (Noise Variables) มักเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น อุณหภูมิภายนอก ความชื้นสัมพัทธ์ ส่วนตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น เครื่องจักร พนักงานที่ควบคุม ในการออกแบบการทดลองมีหลักการสำคัญ ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 หลักการสำคัญในการออกแบบการทดลอง

ดังนั้น ในภาพรวมการออกแบบการทดลองจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะการออกแบบกระบวนการ ในด้านการกำหนดค่าพารามิเตอร์ หรือค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ใช้ในระบบหรือกระบวนการ การออกแบบกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ (Process or Product Design) แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

**2.2.1.1 การออกแบบระบบ (System Design)** คือ การนำความรู้ทางทางวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการ เพื่อออกแบบตัวแบบเริ่มต้น (ต้นแบบ หรือ “Basic Prototype”) โดยตัวแบบนี้ถูกกำหนดค่าให้เป็นค่าเริ่มต้นของกระบวนการหรือลักษณะทางคุณภาพที่ต้องการของผลิตภัณฑ์

**2.2.1.2 การออกแบบค่าพารามิเตอร์ (Parameter Design)** คือ การศึกษาเพื่อ กำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ต้องการให้กับกระบวนการ

**2.2.1.3 การออกแบบค่าพิกัดเผื่อ (Tolerance Design)** คือ การกำหนดช่วงหรือพิกัดเผื่อที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต ที่ทำให้คุณภาพในการผลิตสูง และค่าใช้จ่ายต่ำตลอดอายุการใช้งาน



## 2.2.2 ประเภทของการทดลอง (Types of Experiment)

การทดลองสามารถแบ่งออกได้ 5 ประเภท ตามข้อมูลที่ทราบเกี่ยวกับระบบและวัตถุประสงค์ของการทดลองดังนี้

### 2.2.2.1 การทดลองเดี่ยว หรือการทดลองเพียงครั้งเดียว (Single Experiment)

คือ การทดลองที่ผู้ทดลองมีความรู้ ความเข้าใจในกระบวนการเป็นอย่างดี ทราบถึงปัจจัยที่มีความสำคัญเบื้องต้นในกระบวนการ แต่ต้องการทราบและชี้บ่งถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย

2.2.2.2 การทดลองอย่างต่อเนื่อง (Continuous Experiment) คือ การทำการทดลองเพื่อลดค่าการเปลี่ยนแปลง (Variation) ในกระบวนการ โดยมีเป้าหมายในการปรับปรุงกระบวนการอย่างชัดเจน

2.2.2.3 การทดลองแบบคัดทิ้ง (Screening Experiment) คือ การทดลองที่เพิ่มขึ้นเพื่อศึกษาระบบหรือกระบวนการใหม่ที่เพิ่งติดตั้ง หรือจะติดตั้งใหม่ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใหญ่หรือซับซ้อน และผู้ทดลองมีความเข้าใจในกระบวนการน้อย

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ คือ พยายามลดปัจจัยหรือตัวแปรในกระบวนการให้ได้ปัจจัยที่เหมาะสมและทำการทดลองได้จริง เพื่อกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในกระบวนการ

2.2.2.4 การทดลองแบบเจาะจง (Focusing Experiment) คือ การทดลองนี้ทำขึ้นเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นตามความต้องการ โดยกำหนดค่าที่เหมาะสมให้กับปัจจัยที่ศึกษาในการทดลอง

2.2.2.5 การทดลองเชิงลำดับ (Sequential Experiment) คือ การทดลองที่สามารถแบ่งกระบวนการออกเป็นกระบวนการย่อยได้จำนวนมาก ทำให้มีปัจจัยที่ต้องการศึกษาในภาพรวมแต่ละขั้นตอนมาก จึงจำเป็นต้องแบ่งกระบวนการออกเป็นส่วนและทำการทดลอง หลังจากนั้นนำมารวมเป็นข้อกำหนดกระบวนการในภาพรวมเพื่อให้ทำการศึกษาระบบหรือระบบที่มีขนาดใหญ่ได้จริงในทางปฏิบัติ

## 2.2.3 การทดลองแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

การทดลองแฟคทอเรียล คือ การทดลองที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการออกแบบแผนการทดลองเนื่องจากสามารถศึกษาปัจจัยหลายปัจจัยได้พร้อมกัน โดยวัตถุประสงค์หลักคือ การศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย หรือที่เรียกว่า “อันตรกิริยา” (Interaction) กรณีศึกษา 3 ปัจจัยผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถแยกได้ 3 ปัจจัย ดังนี้

**2.2.3.1 ผลกระทบหลัก หรือผลกระทบปัจจัยเดียว (Main Effects)** คือ ผลกระทบกรณีที่น่าสนใจพิจารณาปัจจัยเดียว ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัย A ผลกระทบของปัจจัย B ผลกระทบของปัจจัย C

**2.2.3.2 ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Two-Factors or 2-way Interactions)** คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยพร้อมกันเป็นคู่ (ครั้งละ 2 ปัจจัย) ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัยร่วม (อันตรกิริยา) AB, BC, และ AC

**2.2.3.3 ผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย (Three-Factors or 3-way Interactions)** คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยสามปัจจัยพร้อมกันในที่นี้ ได้แก่ ผลกระทบร่วม ABC

## 2.2.4 การออกแบบการทดลองกรณี $2^2$ แฟคทอเรียล ( $2^2$ Factorial Design)

การออกแบบชนิดนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในการทดลองที่ประกอบไปด้วยปัจจัยหลายปัจจัย อย่างไรก็ตามยังคงต้องศึกษาความสัมพันธ์ร่วมกันของปัจจัยเหล่านั้นต่อผลตอบสนองที่ต้องการด้วย โดยการออกแบบการทดลองกรณีหลายปัจจัย หลายกรณีงานวิจัยมักเกี่ยวข้องกับการออกแบบเฉพาะจึงมีการออกแบบแนวคิดให้ง่ายต่อการทำงานจริง การออกแบบเฉพาะในที่นี้ หมายถึง การออกแบบการทดลองใน 2 ระดับ ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องเป็นจำนวน  $k$  ปัจจัย โดยระดับนี้อาจแทนระดับปริมาณ (Quantitative Level) เช่น อุณหภูมิ ความดัน เวลา หรือระดับคุณภาพ (Qualitative Level) เช่น ประสิทธิภาพ เครื่องจักร คน โดยแบ่งออกเป็นระดับสูง (High) และระดับต่ำ (Low) หรือเป็นระดับที่มี (Yes) หรือไม่มี (No) ของปัจจัยนั้น

การออกแบบการทดลอง  $2^k$  นี้มักใช้ในการทดลองที่มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายตัว ซึ่งให้จำนวนการทดลองที่ต่ำที่สุดใน  $k$  ปัจจัยของการออกแบบ ดังนั้น จึงถูกเรียกว่า การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาจำนวนปัจจัย (Factor Screening Experiment) เนื่องจากพิจารณาเพียง 2 ระดับในแต่ละปัจจัย นอกจากนี้มีการสมมติให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองเป็นแบบ เชิงเส้น ในช่วงระดับการทดลองที่ได้เลือกไว้

การออกแบบในอนุกรมของ  $2^k$  แฟคทอเรียล แบบแรกนี้จะมีเพียง 2 ปัจจัย (Factors) คือ ปัจจัย A และปัจจัย B ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งแต่ละปัจจัยจะประกอบไปด้วย 2 ระดับเท่านั้น จึงเรียกรูปแบบการทดลองนี้ว่า การออกแบบการทดลองกรณี  $2^2$  แฟคทอเรียล ซึ่งระดับของปัจจัยประกอบด้วยระดับต่ำ (Low) และระดับสูง (High) เท่านั้น

## ตารางที่ 2.1

สัญลักษณ์ของผลกระทบและความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัย

อิทธิพลที่เกิดขึ้นจาก		สัญลักษณ์
ปัจจัยหลักที่ 1	Main Effect of A	A
ปัจจัยหลักที่ 2	Main Effect of B	B
ความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัย	Interaction of A and B	AB

นอกจากนี้กำหนดให้ระดับของปัจจัยแทนด้วยสัญลักษณ์ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

## ตารางที่ 2.2

สัญลักษณ์ของปัจจัย และระดับของปัจจัย

ระดับ		สัญลักษณ์	
ต่ำ	Low	-	-1
สูง	High	+	+1

ดังนั้นการออกแบบการทดลองนี้จึงประกอบไปด้วย 4 วิธีปฏิบัติ และเราสามารถเขียนวิธีปฏิบัติทั้งหมดด้วยสัญลักษณ์มาตรฐาน ซึ่งเรียกว่า Treatment Combination โดยการใช้อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก สำหรับกรณีศึกษาปัจจัยที่ 2 ระดับ กล่าวคือ ถ้าองค์ประกอบการทดลองหรือวิธีปฏิบัติที่มีการกำหนดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอยู่ในระดับสูง (High) จะมีการแสดงเป็นตัวอักษรตัวเล็ก ถ้าองค์ประกอบการทดลอง หรือวิธีปฏิบัติที่มีการกำหนดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอยู่ในระดับต่ำ (low) จะไม่มีการแสดงเป็นตัวอักษร สามารถสรุปได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

## ตารางที่ 2.3

สัญลักษณ์ของผลรวมข้อมูลการทดลองในแต่ละวิธีปฏิบัติ

ปัจจัย		Treatment Combination
A	B	
Low	Low	(1)
High	Low	a
High	High	b
High	High	ab

หลักการเขียนสัญลักษณ์มาตรฐานนี้สามารถนำไปใช้ได้ในทุกกรณีของการออกแบบการทดลองกรณี  $2^k$  แฟคทอเรียล นอกจากนี้ยังมีข้อกำหนดเพิ่มเติม กล่าวคือ ผลจากวิธีปฏิบัติ a, b, ab, และ (1) หมายถึง ผลรวมในทุกครั้งของการทดลอง (n) ดังนั้น ผลกระทบของปัจจัยหนึ่งจะเป็นค่าเฉลี่ยของปัจจัยทั้งหมด (Total Effect) จากวิธีปฏิบัติที่เกิดขึ้นแต่มีเครื่องหมายบวกและลบที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามมีปริมาณที่เท่ากันในแต่ละเครื่องหมาย

### 2.2.5 การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปสำหรับศึกษาปัจจัยที่ 2 ระดับและ 3 ระดับ

การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Experiment) เป็นการทดลองที่ทำขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบระหว่างปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ( $k \geq 2$ ) วัตถุประสงค์หลัก คือ ต้องการศึกษผลกระทบร่วม (Interactions) การใช้ระดับปัจจัยที่ระดับนั้นขึ้นอยู่กับความสำคัญของปัจจัยที่วิกฤต (Critical Factor) หรือปัจจัยที่ต้องการศึกษาละเอียดจะใช้จำนวนระดับที่มีค่ามาก ค่าจำนวนระดับต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการทดลอง

**2.2.5.1 พิจารณา  $2^2$  การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป** ซึ่งสามารถเขียนสมการตัวแบบได้ดังนี้ คือ

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

โดยที่  $y_{ijk}$  คือ ค่าตอบสนอง (Response) ของการทดลองปัจจัย A ที่ระดับที่ i ปัจจัย B ที่ระดับที่ j ทำการทดลองซ้ำครั้งที่ k ;  $i = 1, 2$ ;  $k = 1, 2, \dots, n$

$\mu$  คือ ค่าเฉลี่ยรวม (Grand Mean)

$\alpha_i$  คือ ค่าผลกระทบของปัจจัย A ที่ระดับที่ i

$\beta_j$  คือ ค่าผลกระทบของปัจจัย B ที่ระดับที่ j

$(\alpha\beta)_{ij}$  คือ ค่าอันตรกิริยา หรือผลกระทบร่วมของปัจจัย A และปัจจัย B ที่ระดับที่ j

$\epsilon_{ijk}$  คือ ค่าผิดพลาดของการทดลองปัจจัย A ที่ระดับที่ i และปัจจัย B ที่ระดับที่ j โดยทำการทดลองซ้ำที่ k รูปแบบการทดลองแสดงได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

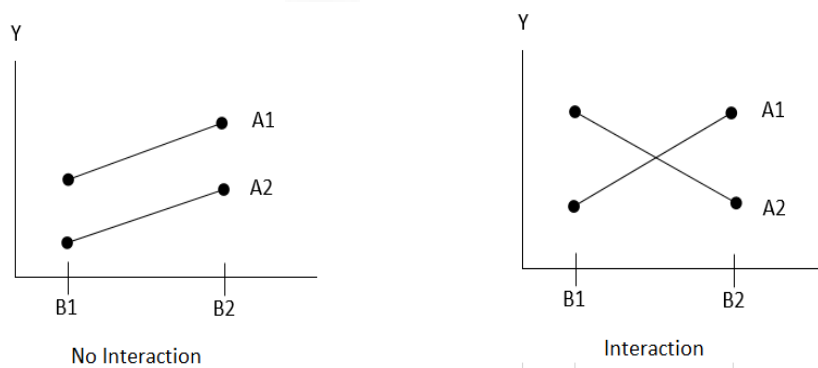
ตารางที่ 2.4

$2^2$  การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ

ปัจจัย A	ปัจจัย B	
	1	2
1	Y111	Y121
	Y112	Y122
	:	:
	Y11n	Y12n
2	Y211	Y221
	Y212	Y222
	:	:
	Y21n	Y22n

**\*\*หมายเหตุ** กรณีศึกษามากกว่า 2 ระดับ สามารถขยายขอบเขตตารางได้  $i = 1, 2, 3, \dots, a$  และ  $j = 1, 2, 3, \dots, b$  โดยที่  $a$  คือ จำนวนระดับสูงสุดของปัจจัย A และ  $b$  คือ จำนวนระดับสูงสุดของปัจจัย B  $n$  คือ จำนวนครั้งที่ทดลองซ้ำ

โดยทั่วไปการทดลองแฟคทอเรียลนิยมเลือกปัจจัยและระดับปัจจัยแบบเจาะจง (Fixed Effect Model) ดังนั้น จึงมีข้อสมมติ (Assumptions) เกี่ยวกับค่าผลกระทบหลัก (Main Effects) และผลกระทบร่วม (Interaction Effects) ได้ผล ดังแสดงในภาพที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าในกรณีที่เส้นกราฟขนานกันแสดงว่าปัจจัย A และ B ไม่มีผลกระทบร่วมกัน



ภาพที่ 2.5 กราฟอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย

ค่าประมาณค่าผลกระทบรวม 2 ปัจจัย (Interaction Effects) สามารถประมาณได้ดังนี้ คือ

$$\text{Two-Factor Interactions Effect} = \Delta AB = [(a+d)/2]-[(b+c)/2]$$

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>
B <sub>1</sub>	a	b
B <sub>2</sub>	c	d

เมื่อ a คือ ค่าเฉลี่ยของค่าตอบสนอง ณ การทดลองปัจจัย A ที่ระดับที่ 1 ปัจจัย B ที่ระดับที่ 1

b คือ ค่าเฉลี่ยของค่าตอบสนอง ณ การทดลองปัจจัย A ที่ระดับที่ 2 ปัจจัย B ที่ระดับที่ 1

c คือ ค่าเฉลี่ยของค่าตอบสนอง ณ การทดลองปัจจัย A ที่ระดับที่ 1 ปัจจัย B ที่ระดับที่ 2

d คือ ค่าเฉลี่ยของค่าตอบสนอง ณ การทดลองปัจจัย A ที่ระดับที่ 2 ปัจจัย B ที่ระดับที่ 2

ค่าประมาณผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effect)

$$= \bar{y}_{\max} - \bar{y}_{\min} \quad (2-1)$$

$$= |\bar{y}_1 - \bar{y}_2| \quad (2-2)$$

สมการ (2-1) คือ กรณีทั่วไป นั่นคือ ปัจจัยหลักศึกษาที่ c ระดับ

c = จำนวนระดับของปัจจัยหลักที่สนใจ; c = 2, 3, 4, 5, ...

สมการ (2-2) คือ กรณีที่ปัจจัยหลัก (Main Effect) ทดลองศึกษาที่ 2 ระดับ

เท่านั้น

$\bar{y}_1$  = ค่าเฉลี่ยค่าตอบสนอง ณ การทดลองที่ปัจจัยหลักศึกษาที่ระดับที่ 1

$\bar{y}_2$  = ค่าเฉลี่ยค่าตอบสนอง ณ การทดลองที่ปัจจัยหลักศึกษาที่ระดับที่ 2

การใช้การคำนวณค่าผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effects) และค่าผลกระทบรวมสองปัจจัย (Two-Factor Interaction Effects) เป็นอีกทางเลือกที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อ

ค่าตอบสนอง (y) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์เชิงอนุมานด้วยการทดสอบสมมติฐานในวิธีวิเคราะห์ ความแปรปรวนสามารถสร้างความน่าเชื่อถือได้มากกว่าการพิจารณาค่าผลกระทบ

## 2.2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การทดสอบสมมติฐานเพื่อหาข้อสรุปเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ที่สนใจในระบบได้แก่ ค่ากลาง (Mean) และค่าความแปรปรวน (Variance) จำกัอยู่ที่ด้วยจำนวนชุดของตัวอย่าง ใน การศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่สองชุดขึ้นไป และต้องการทำการทดสอบแค่ครั้ง เดียวสามารถที่จะทำการวิเคราะห์ได้โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งจะมีประสิทธิภาพ มากกว่าการทำการทดสอบทีละคู่ เช่น ต้องการทดสอบว่า เปอร์เซ็นต์ฝ้ายที่ใช้ในการผสมเพื่อใช้ในการ ทอผ้าที่แตกต่างกัน 4 ระดับ มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยของผ้า (Strength of Fabric) หรือไม่สมมติฐานที่ทดสอบ คือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 ; \mu_i \text{ คือ ค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของเส้นใยที่ระดับที่ } i ; \\ i = 1, 2, 3, 4$$

(% ฝ้ายที่ผสมไม่มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใย)

$$H_0 : \mu_i \neq \mu_j$$

(% ฝ้ายที่ผสมมีผลต่อความแข็งแรงเส้นใย)

ถ้าทำการทดสอบทีละคู่ ต้องทำการทดสอบทั้งหมด 6 คู่ จึงจะทราบผล ส่งผลให้ ระดับนัยสำคัญรวม หรือความผิดพลาดโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการทดสอบมากขึ้น ถ้าทำการ ทดสอบโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน จะทำการทดสอบเพียงครั้งเดียวเท่านั้นทำให้ระดับนัยสำคัญ ไม่เปลี่ยนแปลง

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance ; ANOVA) ใช้วิเคราะห์ ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง (Response; y) หรือลักษณะทางคุณภาพ (Quality Characteristics) สนใจศึกษาหรือปรับปรุง จาก ระบบหรือกระบวนการในการวิเคราะห์จะแยกสาเหตุของความแตกต่างออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

ความแตกต่างที่สามารถอธิบายได้ (Explained Variation) คือ ความแตกต่าง หรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปัจจัย (Factor) หรือวิธีปฏิบัติ (Treatment) ที่ใช้ในการออกแบบการ ทดลอง บางครั้งอาจถูกเรียกว่า ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม (Between groups Variation)

ความแตกต่างที่ไม่สามารถอธิบายได้ (Unexplained Variation) คือ ความ แตกต่างหรือความเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถอธิบายได้ เนื่องจากขาดความรู้ หรือความรู้เกี่ยวกับระบบ ยังไม่มากพอ หรือรู้ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ไม่สามารถควบคุมได้ในการทดลอง (Noise

Factors) ซึ่งในการวิเคราะห์ความแปรปรวนกล่าวถึงความแตกต่างในส่วนนี้ ในรูปของความผิดพลาด หรือส่วนที่ยังไม่สามารถอธิบายได้ (Error or Residuals) ถ้าสามารถควบคุมตรงจุดนี้ได้ดี ความผิดพลาดก็จะลดลง

### 2.2.6.1 การทดลองอย่างสุ่มสมบูรณ์หรือการจำแนกทางเดียว (Complete Randomized Design; CRD หรือ One – Way ANOVA)

เป็นการศึกษาปัจจัยเพียงปัจจัยเดียว ซึ่งจำนวนระดับที่สนใจศึกษาของปัจจัยนี้เท่ากับ  $a$  ระดับเพื่อจะดูว่าระดับที่ต่างกันของปัจจัย จะมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนอง ( $Y$ 's) อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่อย่างไร ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5

การวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีจำแนกทางเดียว

Source (แหล่งที่มา)	d.f. (องศาเสรี)	Sum Square (ผลบวกกำลังสอง)	Mean Square (ค่าเฉลี่ย SS)	F (ค่าสถิติ)
Treatment (วิธีปฏิบัติ)	$a - 1$	SSA	$MES = \frac{SSA}{a - 1}$	$F = \frac{MSA}{MSE}$
Error (ความผิดพลาด)	$N - a$	$SSE = SST - SSA$	$MSE = \frac{SEE}{N - a}$	
Total (adj) (ทั้งหมดที่ปรับแล้ว)	$N - 1$	SST		

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีจำแนกทางเดียว สามารถเขียนแทนด้วย

$$SST = SSA + SSE$$

โดย  $SST =$  ผลบวกกำลังสองของทั้งหมดที่ปรับแล้ว

$=$  Sum Square of Total

$SSA =$  ผลบวกกำลังสองของปัจจัย A หรือวิธีปฏิบัติ

$=$  Sum Square of Factor A Effect or Treatment

$SSE =$  ผลบวกกำลังสองของค่าผิดพลาด หรือสิ่งที่อธิบายไม่ได้

$=$  Sum Square Error Or Residuals



### 2.2.6.2 การออกแบบแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม หรือการจำแนกสองทาง (Randomized Block Design; RBD หรือ Two – Way ANOVA)

เป็นการศึกษาผลกระทบของปัจจัยสองปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองที่ระดับต่างกัน โดยเรียกปัจจัยหนึ่งว่า วิธีปฏิบัติ ปัจจัยที่สองคือ ปัจจัยกลุ่ม (ลักษณะของข้อมูลที่สำคัญคือภายในกลุ่มเดียวกันต้องมีความคล้ายกันมากที่สุด และต่างกลุ่มกันมีความแตกต่างกันมากที่สุด) ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6

การวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีสุ่มอย่างสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม (RBD) กรณี  $r \geq 1$  หรือ  $N = abr$

Source (แหล่งที่มา)	d.f. (องศาเสรี)	Sum Square (ผลบวกกำลังสอง)	Mean Square (ค่าเฉลี่ย SS)	F (ค่าสถิติ)
Treatment (วิธีปฏิบัติ)	a - 1	SSA	MSA	$F = \frac{MSA}{MSE}$
Block (กลุ่ม)	b - 1	SSB	MSB	$FB = \frac{MSB}{MSE}$
Error (ความผิดพลาด)	N - a - b + 1	SSE	MSE	
Total (adj) ทั้งหมดที่ปรับแล้ว)	N - 1	SST		

ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีสุ่มอย่างสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม (RBD) กรณี  $r \geq 1$  หรือ  $N = abr$

สามารถเขียนแทนด้วย  $SST = SSA + SSB + SSE$

โดย  $SST =$  ผลบวกกำลังสองของทั้งหมดที่ปรับแล้ว

$=$  Sum Square Total

$SSA =$  ผลบวกกำลังสองของปัจจัย i (วิธีปฏิบัติ)

$=$  Sum Square Treatment

SSB = ผลบวกกำลังสองของปัจจัยที่ 2 (กลุ่ม; Block)

= Sum Square Block

SSE = ผลบวกกำลังสองของค่าผิดพลาด หรือสิ่งที่อธิบายไม่ได้

= Sum Square Error

## 2.3 การขึ้นรูปโลหะ

สถาบันไทย-เยอรมัน เทคโนโลยีแม่พิมพ์โลหะ การขึ้นรูปโลหะ ใช้กันอย่างกว้างขวางในรถยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า รถจักรยานยนต์ นาฬิกา กล้องถ่ายรูป และชิ้นส่วนอุตสาหกรรมทั่วไป การขึ้นรูปโลหะใช้กันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ และเครื่องใช้ไฟฟ้า ฯลฯ

### 2.3.1 ลักษณะการขึ้นรูปโลหะ

การขึ้นรูปโลหะซึ่งใช้ผลิตชิ้นงานในอุตสาหกรรมนั้นมีลักษณะที่เปรียบเทียบกับ การแปรรูปโดยวิธีอื่น เช่น การแปรรูปด้วยเครื่องมือกล (Machining) การเชื่อมประสาน (Welding) และการหล่อโลหะ (Casting) มีดังต่อไปนี้

**2.3.1.1 ทำให้วัสดุเปลี่ยนรูปร่างโดยใช้แรงขนาดหนัก** เป็นการขึ้นรูปด้วยแรงขนาดหนัก การขึ้นรูปวัสดุจะอยู่ระหว่างแม่พิมพ์ โดยใช้เครื่องเพรส (Press Machine) และวัสดุจะถูกทำให้เปลี่ยนรูปร่างตามลักษณะของแม่พิมพ์ที่เป็นรูปร่างที่ต้องการ

**2.3.1.2 ทำเป็นภาชนะรูปลึก หรือตัดโดยใช้โลหะแผ่นเดียว** ผู้ไม่คุ้นเคยกับงานขึ้นรูปโลหะจะนึกไม่ถึงว่างานที่มีลักษณะซับซ้อนจะทำจากโลหะแผ่นเดียว อาจกล่าวได้ว่า งานดังกล่าวทำโดยวิธีการขึ้นรูปโลหะเหมาะสมที่สุด

**2.3.1.3 ทำชิ้นงานได้จำนวนมากโดยมีรูปร่าง และคุณภาพเหมือนกัน** เนื่องจากเราทำได้ทำรูปที่ต้องการไว้ที่แม่พิมพ์แล้ว ดังนั้นจึงสามารถทำชิ้นงานที่มีลักษณะเดียวกันได้เป็นจำนวนมาก และสามารถทำชิ้นงานที่มีคุณภาพสม่ำเสมอ

**2.3.1.4 ทำได้ง่ายและไม่ต้องการความชำนาญมากนัก** สามารถผลิตชิ้นงานที่มีคุณภาพเหมือนกันได้ง่าย โดยวิธีการขึ้นรูปโลหะ เป็นการยากที่จะทำงานที่ซับซ้อนโดยเครื่องจักรกลให้มีคุณภาพเท่ากันทุกชิ้น หรือทำได้อาจต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญมาก

**2.3.1.5 ได้ชิ้นงานที่แข็งแรง** ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปโลหะจะแข็งแรง เพราะไม่มีรอยต่อเหมือนกับวิธีเครื่องมือกล หรือเชื่อมประสาน

แม่พิมพ์เป็นกุญแจสำคัญสำหรับความละเอียด เทียบตรงในการขึ้นรูปโลหะ ชิ้นงานแต่ละชิ้นต้องการแม่พิมพ์เฉพาะงาน เมื่อมีชิ้นงานใหม่ก็ต้องทำแม่พิมพ์ใหม่ งานทำแม่พิมพ์

เป็นงานยาก ใช้เวลานาน และราคาแพง ดังนั้น สิ่งสำคัญในการขึ้นรูปโลหะ คือ การทำแม่พิมพ์อย่างรวดเร็ว ราคาถูก และแม่นยำภายใต้เงื่อนไข

### 2.3.2 เครื่องจักรที่ใช้ผลิตชิ้นงาน

เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตชิ้นงาน โดยทั่วไปรู้จักในชื่อที่เรียกว่า เครื่องปั๊มหรือเครื่องเพรส (Press) เครื่องเพรสสามารถสร้างแรงอัดได้โดยอาศัยกำลังขับเคลื่อนกำลัง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

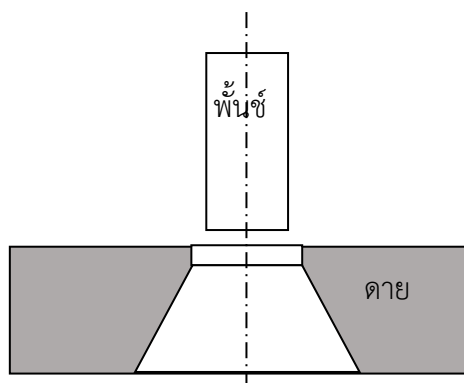
**2.3.2.1 เครื่องเพรสที่ขับเคลื่อนด้วยกลไก** เครื่องเพรสประเภทนี้สามารถสร้างแรงอัดได้โดยอาศัยกลไกเพื่อสร้างแรงในการกด ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดดังนี้

- (1) เครื่องเพรสขับเคลื่อนด้วยเกลียว (Screw Press)
- (2) เครื่องเพรสขับเคลื่อนด้วยข้อเหวี่ยงเยื้องศูนย์ (Eccentric Press)
- (3) เครื่องเพรสขับเคลื่อนด้วยข้อเหวี่ยง (Eccentric Press)
- (4) เครื่องเพรสขับเคลื่อนด้วยแผ่นเสียดทาน (Friction Drive Press)
- (5) เครื่องเพรสขับเคลื่อนด้วยข้อพับ
- (6) เครื่องเพรสขับเคลื่อนด้วยข้อพับสองชั้น

**2.3.2.2 เครื่องเพรสขับเคลื่อนด้วยระบบไฮดรอลิก (Hydraulic Press)** เครื่องเพรสประเภทนี้อาศัยน้ำมันในการดันให้แท่นเลื่อนเคลื่อนที่ทำให้สร้างแรงในการกดอัด สามารถสร้างแรงได้สูง จึงเหมาะสำหรับงานดัดยัด

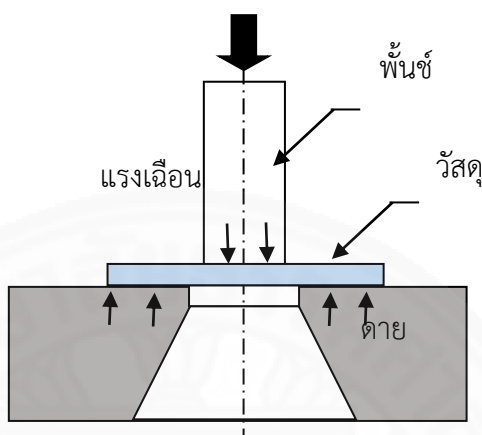
### 2.3.3 ทฤษฎีการตัด (Principle of Cutting)

ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น การตัดถือเป็นกระบวนการขั้นพื้นฐาน และมีความยุ่งยากน้อยที่สุด คมตัดที่อยู่ในแม่พิมพ์ตัด (Cutting dies) นั้นประกอบด้วยคมตัดสองส่วน คือ คมตัดตัวผู้ (พินซ์ Punch) และคมตัดตัวเมีย (ตาย Die) ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 พินซ์ และตาย

ในการตัดโลหะจะมีแรงกระทำโลหะที่ส่งให้พUNCH ดาย (Die) เป็นแรงเฉือน (Shear force) แรงจะมีขนาดเท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม



ภาพที่ 2.7 ทิศทางของแรงที่กระทำต่อชิ้นงาน

โดยปกติของแม่พิมพ์แนวตัดของคมตัดพUNCH และคมตัดดายจะมีช่องว่างระหว่างคมตัด เรียกว่า ระยะห่าง (Clearance) ดังแสดงในภาพที่ 2.7 แรงของพUNCHและดายที่กระทำต่อโลหะแผ่นจะก่อให้เกิดความเค้นเฉือน (Shear stress) ในแผ่นโลหะ เมื่อแรงตัดของพUNCHและดายทำให้เกิดความเค้นเฉือนมากกว่าแรงต้านทานต่อแรงเฉือน (Shear strength) ในแผ่นโลหะของวัสดุโลหะแผ่นพอที่จะรับได้ โลหะแผ่นก็จะฉีกขาดออกจากกัน

### 2.3.4 ทฤษฎีการตัด (Principle of Bending)

การตัดโลหะทำได้หลายวิธี เช่น การตัดมือ การตัดด้วยเครื่องช่วย และการตัดด้วยพUNCH

#### 2.3.4.1 ขนาดของการไหลตัวของโลหะซึ่งมีความสัมพันธ์กับสิ่งอื่น

- (1) เมื่อรัศมีของการงอมากขึ้นจะทำให้เกิดการไหลตัวของโลหะน้อย
- (2) โลหะที่บางกว่าจะเกิดการไหลตัวของโลหะน้อยกว่า
- (3) มุมของการงอแคบจะทำให้เกิดการไหลตัวของโลหะน้อย
- (4) การงอช่วงแคบจะทำให้การไหลตัวของโลหะจากแรงดึงน้อย แต่การไหล

ตัวของโลหะเกิดจากแรงอัดมีมาก

(5) การรอกช่วงกว้างจะทำให้การไหลตัวของโลหะจากแรงดึงมาก แต่การไหลตัวของโลหะเกิดจากแรงอัดมีน้อย

(6) โลหะแข็งการไหลตัวจากแรงดึงจะมีมาก และมีการฉีกขาดได้ง่าย

(7) โลหะอ่อนการไหลตัวทางด้านการอัดตัวมากและเกิดรอยย่นได้ง่าย

#### 2.3.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดการติดตัวกลับ

(1) โลหะที่แข็งจะมีมุมของการกระเดิงตัวกลับมากกว่า

(2) ถ้ารัศมีของการรอกเล็กกว่า จะไปลดการเกิดกระเดิงกลับ โดยการสร้างช่วงอยู่ตัวของโลหะ แต่อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการฉีกขาดได้ง่าย

(3) เมื่อโลหะถูกงอมากกว่ามุมที่ต้องการจะ ทำให้ช่วงอยู่ตัวของโลหะกว้างขึ้นและเป็นการลดการกระเดิงตัวกลับ

(4) โลหะที่หนากว่าจะมีการกระเดิงกลับน้อยกว่า เพราะช่วงการอยู่ตัวของโลหะกว้าง

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การลดของเสียในกระบวนการผลิตถือว่าเป็นสิ่งสำคัญที่ทุกบริษัทต้องทำเพื่อเพิ่มโอกาสทางธุรกิจ ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมากมาย โดยใช้ทฤษฎี แนวคิด และเครื่องมือที่หลากหลายแตกต่างกันไป ในที่นี้ขอนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

รัชกุล กุลติล (2550) ศึกษาเกี่ยวกับ “การปรับปรุงประสิทธิภาพการอบชิ้นงานในกระบวนการหล่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ควอด แพลท โน ลีด โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง” มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียที่เกิดจากรอยไหม้ที่ขอบของชิ้นงานที่วัสดุเป็นแก้ว โดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน  $2^k$  มีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนผสมระหว่างเรซินและตัวทำให้แข็ง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแม่พิมพ์ เวลาที่ใช้ในการอบแม่พิมพ์ หลังการทดลองพบว่า ทั้ง 3 ปัจจัยมีความสัมพันธ์ร่วมอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ชัชณะ วีระพันธุ์ (2553) ศึกษาเกี่ยวกับ “การลดผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการรีดเย็นสแตนเลสแผ่น โดยประยุกต์การออกแบบการทดลอง” มีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อบกพร่องของผิวผลิตภัณฑ์ในกระบวนการ SPM (Skim Pass Mill) ซึ่งความบกพร่องผิวชนิดนี้จะเกิดขึ้นกับสแตนเลส เกรดเพอร์ริติกผิวมันเงาหรือเรียกว่าผิว BA (Bright Annealing) เท่านั้น โดยทำการออกแบบการ

ทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2k โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง 2 ปัจจัย ได้แก่ แรง (Force) และจำนวนรอบในการรีด (Pass) หลังการทดลองสามารถลดของเสียที่ผิวบกพร่องได้เป็นจำนวนมาก

โชคปิติ แก้วนิล (2551) ศึกษาเกี่ยวกับ “สภาพพื้นชิ้นงานคั่นโยกเกียร์รถยนต์จากการปีบอัดขึ้นรูปที่มีผลกระทบต่อการสวมอัดโดยวิธีการออกแบบการทดลอง” มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดของเสียประเภทค่าน้ำหนักแรงกดชิ้นงานที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน โดยออกแบบการทดลองชนิดปัจจัยเดียวและแบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ คือ การทดลองผลิตชิ้นงานที่ใช้แม่พิมพ์ใหม่ชนิดลูกกลิ้งพื้น และการผลิตชิ้นงานที่ใช้แม่พิมพ์ที่สึกหรอชนิดลูกกลิ้งพื้น จากผลการทดลองพบว่าลักษณะของพื้นชิ้นงานที่ต่างกันในแต่ละระดับค่าหนึ่งเวลาเมื่อมีอิทธิพลต่อค่าน้ำหนักแรงกดและค่าน้ำหนักแรงอัดออกอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ  $\alpha = 0.05$

ประภากรณัฏ์ แดงบรรจง (2553) ศึกษาเกี่ยวกับ “การลดปริมาณของเสียในกระบวนการเชื่อมวงจรมงจรโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง” มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดของเสียประเภท BNS (Bump ball non-stick on bond pad) ในกระบวนการเชื่อมวงจรมงจร โดยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $3^5$  เพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดและค่าที่สูงที่สุดของค่าแรงเฉือนของ ลูกบอลในขั้นตอนการเชื่อมวงจรมงจรภายใต้ข้อจำกัดที่เป็นไปได้ โดยใช้วิธีการของทากูชิในการกรองปัจจัยในเบื้องต้น จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์มีผลต่อค่าแรงเฉือนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

ปณต ทองสง่า (2551) ศึกษาเกี่ยวกับ “การลดของเสียในกระบวนการอัดรีดแผ่นฟิล์มพลาสติกประเภทโพลีลอปโพลีนโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง” มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดของเสียประเภทบวมของฟิล์มพลาสติก โดยวิธีการออกแบบการทดลอง คัดแยกปัจจัยโดยใช้หลักการ Failure mode & Effects Analysis โดยอาศัยการเปรียบเทียบ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบวมของฟิล์มอย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ อัตราการดึงยืดในแนวยาวของชุดลูกรีด, อุณหภูมิของชุดเครื่องรีด และอุณหภูมิของชุดลูกรีด

### บทที่ 3

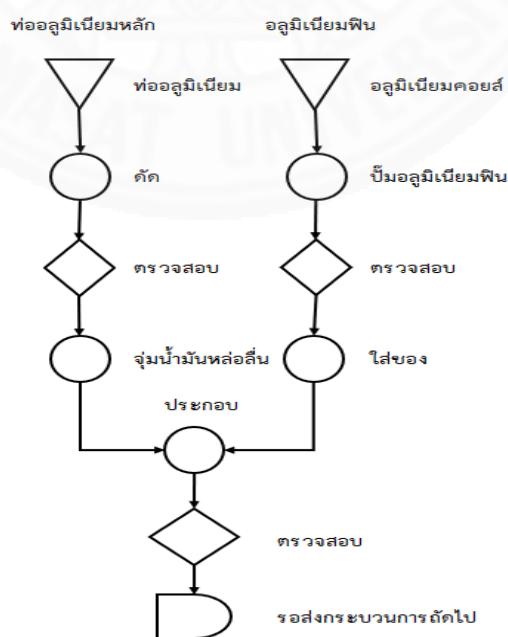
#### วิธีการวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย ผู้วิจัยได้ใช้แนวคิดในการออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง และเพื่อลดข้อบกพร่องจากกระบวนการผลิต จึงได้กำหนดขั้นตอนดำเนินการเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ดังนี้

- 3.1 ศึกษารายละเอียดของกระบวนการผลิต
- 3.2 วิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดอลูมิเนียมพินขาด
- 3.3 สรุปสาเหตุและปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสีย
- 3.4 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลสองระดับ
- 3.5 วิธีดำเนินการทดลอง
- 3.6 เปรียบเทียบผลการดำเนินโครงการ

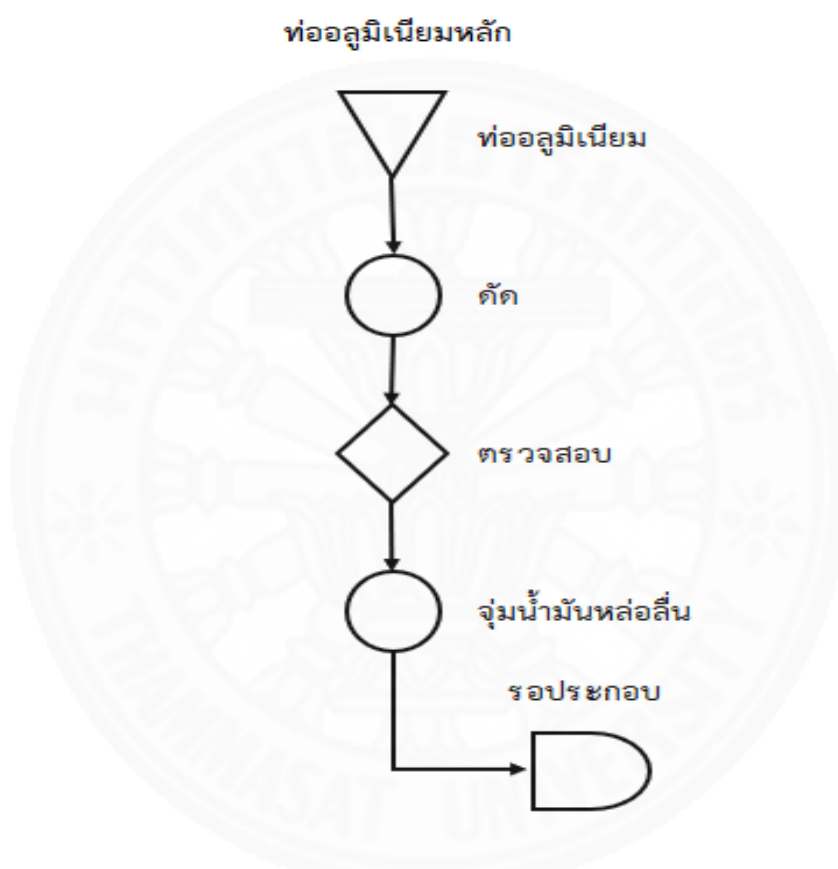
#### 3.1 รายละเอียดของกระบวนการผลิต

ผู้วิจัยได้ศึกษาบริษัทกรณีตัวอย่าง ซึ่งผลิตคอยล์เครื่องระเหยโดยแบ่งกระบวนการออกเป็น 2 สายการผลิต คือสายการผลิตท่ออลูมิเนียมหลัก และอลูมิเนียมพิน ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 กระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย

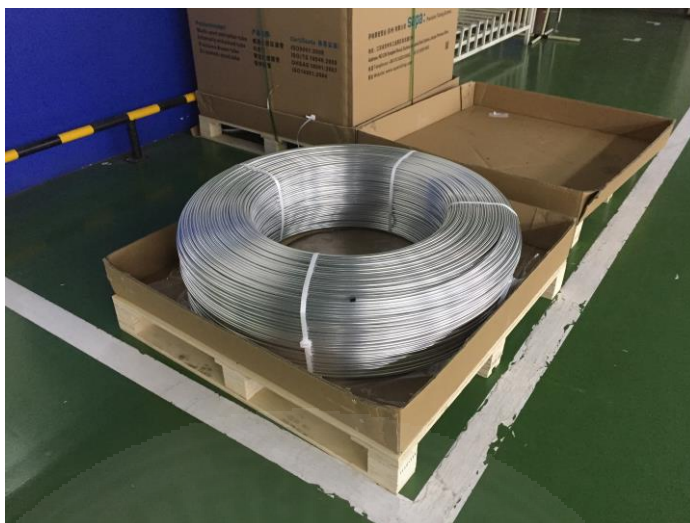
สายการผลิตที่ 1 กระบวนการผลิตท่ออลูมิเนียมหลัก เริ่มต้นจากการเบิกท่ออลูมิเนียม จากคลังวัตถุดิบส่งไปแผนกตัด (Cutting) โดยการตัดท่ออลูมิเนียม (Aluminum tube) ให้ได้ตาม ขนาดความยาวที่ต้องการ จากนั้นนำชิ้นงานเข้าไปแผนกตัด (Bender) โดยใช้เครื่องอัตโนมัติ (CNC) ตัดชิ้นงานให้ได้ตามแบบที่ต้องการ ส่งต่อกระบวนการจุ่มน้ำมันหล่อลื่น และใส่ในเครื่องประกอบ อัตโนมัติรอการประกอบเข้ากับแผงอลูมิเนียมฟิ้นต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 กระบวนการผลิตท่ออลูมิเนียมหลัก คอยล์เครื่องระเหย

เครื่องตัดท่ออลูมิเนียม (Tube cutting machine) ใช้สำหรับตัดท่ออลูมิเนียม ดัง แสดงในภาพที่ 3.3 ชิ้นงานจะถูกป้อนเข้าเครื่องโดยอัตโนมัติด้วยชุดป้อน (Feeder) ดังแสดงในภาพที่ 3.4 และตัดชิ้นงานออกเป็นท่อนตามความยาวที่ต้องการ เมื่อตัดชิ้นงานเสร็จแล้วพนักงานจะนำเข้า เครื่องตัดต่อไป





ภาพที่ 3.3 ท่ออลูมิเนียมใช้สำหรับผลิตชิ้นส่วนคอยล์เครื่องระเหย



ภาพที่ 3.4 เครื่องตัดท่ออลูมิเนียมในการผลิตท่ออลูมิเนียมหลัก

เครื่องตัดท่ออลูมิเนียม (Aluminium tube bender) ใช้สำหรับตัดท่ออลูมิเนียมต่อจากเครื่องตัดท่ออลูมิเนียม ดังแสดงในภาพที่ 3.5 ให้ได้ชิ้นงานตามแบบที่ต้องการจัดส่งกระบวนการถัดไป ดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.5 เครื่องตัดท่ออลูมิเนียมหลัก



ภาพที่ 3.6 ชิ้นงานท่ออลูมิเนียมที่ผ่านการตัดและเตรียมประกอบ

เครื่องประกอบท่ออลูมิเนียม (Pipe insert machine) ทำหน้าที่ประกอบท่ออลูมิเนียมเข้ากับอลูมิเนียมฟิน ดังแสดงในภาพที่ 3.7 ชิ้นงานท่ออลูมิเนียมก่อนใส่เข้าเครื่องประกอบต้องจุ่มน้ำมันหล่อลื่น เพื่อช่วยในการประกอบให้ง่ายขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3.8

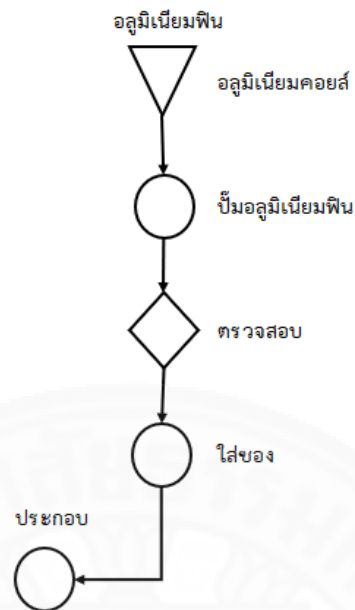


ภาพที่ 3.7 พนักงานนำท่ออลูมิเนียมเตรียมประกอบเข้ากับอลูมิเนียมฟิน



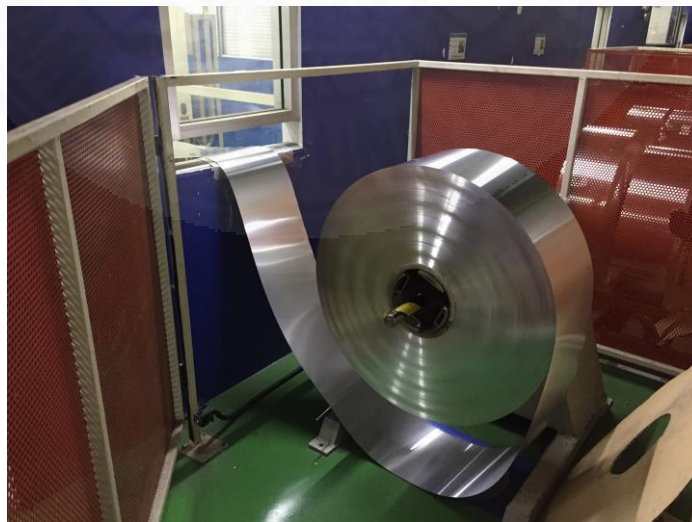
ภาพที่ 3.8 ชิ้นงานท่ออลูมิเนียมจุ่มน้ำมันหล่อลื่น

สายการผลิตที่ 2 กระบวนการผลิตอลูมิเนียมฟิน โดยนำแผ่นอลูมิเนียมที่มีลักษณะการ  
 จัดเก็บเป็นม้วน (Aluminum coil) ผ่านกระบวนการป้อนขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ (Fin die) ได้แผ่น  
 อลูมิเนียมฟิน (Aluminum fin) หลังจากตรวจวัดขนาดส่งต่อสู่กระบวนการประกอบกับท่ออลูมิเนียม  
 ที่กระบวนการประกอบ (Assembly) ก่อนประกอบต้องนำอลูมิเนียมฟินจัดเตรียมในซอง  
 (Magazine) ก่อนประกอบกับเครื่องประกอบ ดังแสดงในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 กระบวนการผลิตอลูมิเนียมพิน คอยล์เครื่องระเหย

อลูมิเนียมคอยล์เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอลูมิเนียมพิน การใช้งานต้องนำมาใส่ในเครื่องปล่อยอลูมิเนียมคอยล์ (Un-coiler) ช่วยปล่อยแผ่นอลูมิเนียมเข้าแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 อลูมิเนียมแผ่นมีลักษณะการจัดเก็บเป็นม้วนใช้ในการผลิตอลูมิเนียมพิน

แม่พิมพ์ปั๊มชิ้นรูปอลูมิเนียมพิน ดังแสดงในภาพที่ 3.11 ทำหน้าที่ปั๊มแผ่นอลูมิเนียม ให้ ออกมาเป็นชิ้นงาน เรียกว่า อลูมิเนียมพิน ดังแสดงในภาพที่ 3.12 ชื่อของแม่พิมพ์จะเรียกตามชิ้นงาน ที่แม่พิมพ์นั้นผลิตได้ เช่น แม่พิมพ์ผลิตอลูมิเนียมพิน เรียกว่า อลูมิเนียมพินตาย



ภาพที่ 3.11 แม่พิมพ์ปั๊มชิ้นรูปอลูมิเนียมพิน



ภาพที่ 3.12 อลูมิเนียมพินจากแม่พิมพ์ปั๊มชิ้นรูปเตรียมใช้งาน

พนักงานนำอลูมิเนียมพินใส่ในซอง (Magazine) ก่อนนำเข้าสู่เครื่องประกอบท่อ อลูมิเนียม ดังแสดงในภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 พนักงานนำอลูมิเนียมพินใส่ในช่อง

เครื่องประกอบท่ออลูมิเนียม (Pipe insert machine) ดังแสดงในภาพที่ 3.14 ทำหน้าที่ประกอบท่ออลูมิเนียมที่เตรียมไว้เข้ากับอลูมิเนียมพินที่จัดเรียงไว้ในช่องได้ชิ้นงานคอยล์เครื่องระเหย ดังแสดงในภาพที่ 3.15 นำส่งต่อกระบวนการถัดไป



ภาพที่ 3.14 เครื่องประกอบท่ออลูมิเนียมเข้ากับอลูมิเนียมพิน



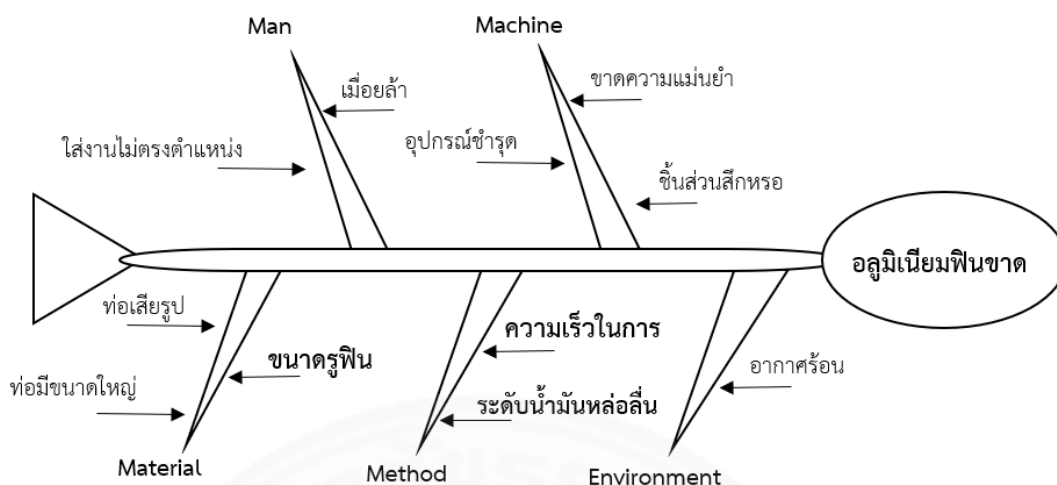
ภาพที่ 3.15 ชิ้นงานคอยล์เครื่องระเหยสำเร็จรูปเตรียมส่งกระบวนการต่อไป

### 3.2 วิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดอลูมิเนียมพิษ

การค้นหาสาเหตุของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น อาจทำได้หลายวิธี ผู้วิจัยเลือกใช้ Fish-Bone diagram หรือแผนภูมิแก๊งปลา ในการค้นหาข้อบกพร่อง ปัจจัยที่เกี่ยวข้องอาจมีหลายปัจจัย จึงค้นหาโดยการระดมแนวคิดให้พนักงานที่ปฏิบัติงานจริงมีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็น เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่เกิดขึ้นหลังจากทำการศึกษาระบวนการแล้ว ทำให้ทราบว่าตัวแปรที่สำคัญของกระบวนการ มีอะไรบ้างที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทอลูมิเนียมพิษ

#### 3.2.1 การวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล

จากการวิเคราะห์แผนภูมิแก๊งปลาทำให้สามารถทราบถึงปัจจัยที่ทางผู้วิจัยได้สรุปและคาดว่าน่าจะส่งผลกระทบต่อปัญหาอลูมิเนียมพิษในกระบวนการประกอบ โดยได้พิจารณาแต่ละปัจจัยดังนี้ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แบ่งตามสาเหตุจาก คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัสดุดิบ (Material) วิธีการ (Method) และสภาพแวดล้อม (Environment) แสดงด้วยแผนภูมิแก๊งปลา ดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 แผนภาพสาเหตุและผลของการเกิดของเสีย

เนื่องจากกระบวนการผลิตใช้คนควบคุมเครื่องจักรเป็นหลัก และใช้วิธีการตามทีเอกสารกำหนดเครื่องจักร จึงมีความคลาดเคลื่อนน้อยหรือไม่มีเลย เพราะมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนด ส่วนวัตถุดิบในที่นี้ หมายถึง ชิ้นงานจากกระบวนการก่อนหน้ากระบวนการประกอบท่ออลูมิเนียม สามารถกำหนดให้เป็นตัวแปรควบคุม วัตถุดิบขนาดต้องไม่ออกนอกค่าที่กำหนด เวลาในการผลิตใกล้เคียงกัน หรือพร้อมกัน ปัญหาส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นจากวิธีการตามเอกสารที่ไม่ถูกต้องหรือไม่ครอบคลุม ดังนั้น การระบุสาเหตุจึงมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงวิธีการทั้งในส่วนของการผลิตอลูมิเนียมพิน และการประกอบท่ออลูมิเนียมเข้ากับแผงอลูมิเนียมพิน

การเกิดของเสียประเภทอลูมิเนียมพินขาดมีผลจากปัจจัยเหล่านี้

### 3.2.1.1 คน (Man)

(1) พนักงานเกิดความเมื่อยล้า ปัจจัยนี้ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น การนอนดึก เท้ากลางคืน ไม่สบาย อาการเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการปฏิบัติงานของพนักงานทั้งสิ้น แต่อย่างไรก็ตาม โอกาสเกิดปัญหานี้ค่อนข้างมีน้อยจึงไม่นำปัจจัยนี้มาพิจารณา

(2) พนักงานใส่งานไม่ตรงตำแหน่ง สำหรับปัจจัยนี้สามารถควบคุมได้โดยการกำหนดให้มีพนักงานประจำเครื่อง และสอนงานอย่างละเอียดให้พนักงานปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ทางแผนกจัดทำขึ้นอย่างเคร่งครัด

### 3.2.1.2 เครื่องจักร (Machine)

(1) ชิ้นส่วนของเครื่องจักรสึกหรอ ขาดความแม่นยำ อุปกรณ์ชำรุด ในส่วนของเครื่องจักร ผู้ทำวิจัยจะไม่นำมาพิจารณาเนื่องด้วยมีการซ่อมบำรุงตามเวลาที่กำหนดจึงทำให้เครื่องจักรอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานอยู่เสมอ



### 3.2.1.3 วัตถุดิบ (Material)

(1) ท่ออลูมิเนียมเสียรูป ปัจจัยนี้สามารถควบคุมได้โดยการตรวจเช็คและในการประกอบเครื่องประกอบยังมีช่องสำหรับใส่ท่อก่อนประกอบถือว่าเป็นการตรวจเช็คอีกครั้งด้วย

(2) ท่ออลูมิเนียมมีขนาดใหญ่ ในที่นี้ หมายถึง ความกลมของท่ออลูมิเนียมสองแนวแกนตามหน้าตัดขวางไม่ได้ตามขนาด แต่เมื่อนำค่ามาเฉลี่ยยังคงอยู่ภายใต้ข้อกำหนด ปัจจัยนี้ไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากท่ออลูมิเนียมมีการสั่งซื้อและนำเข้ามาจากต่างประเทศ

(3) รูอลูมิเนียมพินมีขนาดเล็ก สาเหตุอาจมาจากแม่พิมพ์ที่ใช้ผลิตท่ออลูมิเนียมพิน ปัจจัยนี้สามารถควบคุมได้ ถือว่ามีส่วนสำคัญในความยากหรือง่ายในการประกอบ

### 3.2.1.4 วิธีการ (Method)

(1) ความเร็วในการประกอบ ก็สำคัญเช่นกันเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ ความเร็วในการประกอบยังส่งผลถึงจำนวนการผลิตที่ทำได้ในแต่ละวันด้วย

(2) น้ำมันหล่อลื่นน้อย ก่อนการประกอบปลายท่ออลูมิเนียมจะมีการจุ่มน้ำมันหล่อลื่นเพื่อช่วยในการประกอบ ปัจจัยนี้สามารถควบคุมได้โดยให้พนักงานปฏิบัติตามข้อกำหนดการใช้ชนิดน้ำมันและปริมาณน้ำมันอย่างเคร่งครัด

### 3.2.1.5 สภาพแวดล้อม (Environment)

(1) อากาศร้อน เป็นสภาพตามสิ่งแวดล้อมตามฤดูกาลซึ่งในฤดูอื่นที่ไม่ใช่ฤดูร้อนอากาศก็เย็นสบาย ปัจจัยนี้ไม่สามารถควบคุมได้

## 3.3 สรุปสาเหตุและปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสีย

จากการวิเคราะห์ที่สาเหตุของการเกิดปัญหาอลูมิเนียมพินขาดที่ผ่านมา สามารถแยกปัจจัยได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ และไม่สามารถควบคุมได้ดังแสดงในตารางที่ 3.1

## ตารางที่ 3.1

การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อของเสียประเภทอลูมิเนียมพินขาด แบบควบคุมได้ และควบคุมไม่ได้

ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	ลักษณะของปัจจัย	หน่วยวัด	ค่าปัจจุบัน
ชิ้นส่วนของเครื่องจักรสึกหรอ	ควบคุมไม่ได้	-	-
ขาดความแม่นยำ	ควบคุมไม่ได้	-	-
อุปกรณ์ชำรุด	ควบคุมไม่ได้	-	-
พนักงานเกิดความเมื่อยล้า	ควบคุมไม่ได้	-	-
พนักงานใส่งานไม่ตรงตำแหน่ง	ควบคุมได้	-	-
ท่ออลูมิเนียมเสียรูป	ควบคุมได้	mm.	33.0
ท่ออลูมิเนียมมีขนาดใหญ่	ควบคุมไม่ได้	mm.	8.0
รูอลูมิเนียมพินมีขนาดเล็ก	ควบคุมได้	mm.	7.8
ความเร็วในการประกอบ	ควบคุมได้	Hz.	10.0
อากาศร้อน	ควบคุมไม่ได้	-	-
ระดับน้ำมันหล่อลื่นในอ่าง	ควบคุมได้	mm.	50.0

จากการวิเคราะห์ปัจจัยในตารางที่ 3.1 พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดของเสียประเภทอลูมิเนียมพินขาดมีอยู่หลายปัจจัยด้วยกัน มีทั้งแบบปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และไม่สามารถควบคุมได้ เพื่อความเป็นไปได้ของการทดลอง ทางผู้วิจัยได้เลือกปัจจัยที่สามารถควบคุมได้มาพิจารณาด้วยหลักการความสัมพันธ์ของเหตุและผล (Cause and Effect : C&E) ซึ่งเลือกพิจารณาตัวแปรตอบสนอง (Key Process Input Variables : KPIVs) ทำการหาสาเหตุของปัญหา และเลือกคุณลักษณะของปัญหา โดยให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความบกพร่องประเภทอลูมิเนียมพินขาด ดังแสดงในตารางที่ 3.2 เพื่อจะได้ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาอลูมิเนียมพินขาด ที่อาจเกิดจากการปรับค่าระดับปัจจัย ซึ่งสามารถกรองปัญหาได้ดังตารางที่ 3.3 และสรุปผลคะแนนรวมของแต่ละปัจจัยได้ดังแสดงในตารางที่ 3.4

## ตารางที่ 3.2

เกณฑ์การให้คะแนนความล้มพันธ์ของเหตุและผล

ระดับคะแนน	0	1	2	3	4	5
ปัจจัยป้อนเข้าที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่อง	ไม่ส่งผล	น้อยมาก	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด

## ตารางที่ 3.3

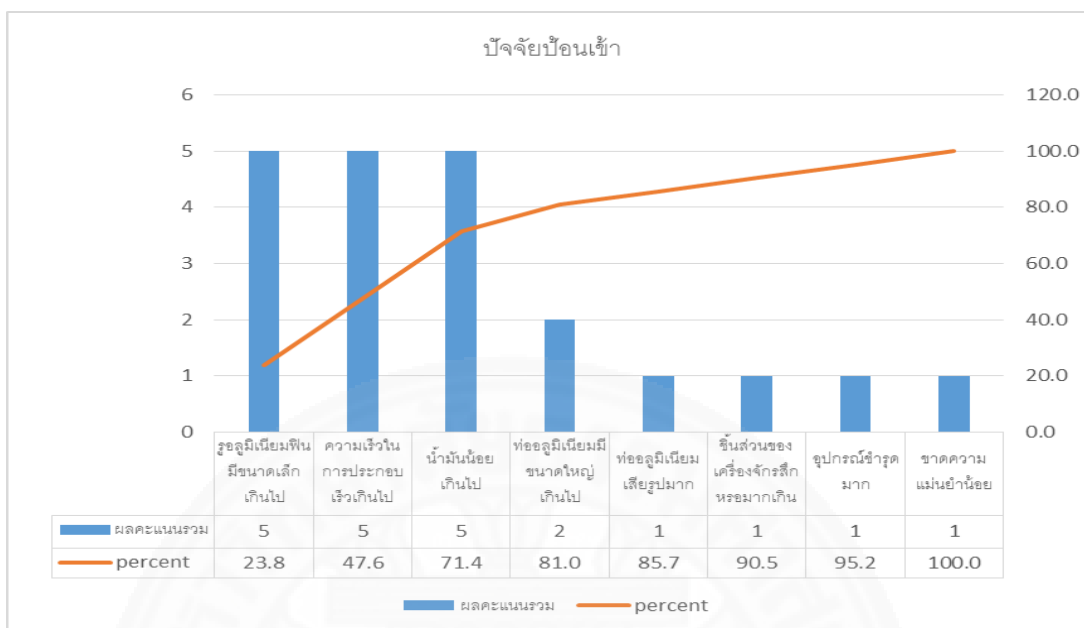
พิจารณาหลักการความล้มพันธ์ของเหตุและผล

KPIVs		
ปัจจัยป้อนเข้า	ประเภทของเสีย	อวลูมิเนียมพินขาด
Method (วิธีการ)	ชิ้นส่วนของเครื่องจักรสึกหรอมากเกินไป	1
	ขาดความแม่นยำน้อย	1
	อุปกรณ์ชำรุดมาก	1
	ท่ออวลูมิเนียมเสียรูปมาก	1
	ท่ออวลูมิเนียมมีขนาดใหญ่เกินไป	2
	รูอวลูมิเนียมพินมีขนาดเล็กเกินไป	5
	ความเร็วในการประกอบเร็วเกินไป	5
	ปริมาณน้ำมันน้อยเกินไป	5

## ตารางที่ 3.4

ผลคะแนนรวมแต่ละปัจจัย

ปัจจัยป้อนเข้า	ผลคะแนนรวม
รูอวลูมิเนียมพินมีขนาดเล็กเกินไป	5
ความเร็วในการประกอบเร็วเกินไป	5
ปริมาณน้ำมันน้อยเกินไป	5
ท่ออวลูมิเนียมมีขนาดใหญ่เกินไป	2
ท่ออวลูมิเนียมเสียรูปมาก	1
ชิ้นส่วนของเครื่องจักรสึกหรอมากเกินไป	1
อุปกรณ์ชำรุดมาก	1
ขาดความแม่นยำน้อย	1



ภาพที่ 3.17 แผนภูมิพาร์โตแสดงลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภท อลูมิเนียมพินขาด

เมื่อพิจารณาความสำคัญของปัจจัยต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทท่ออลูมิเนียมพินขาดจากภาพที่ 3.17 พบว่า มี 3 ปัจจัยที่มีผลคะแนนสูงสุดโดยคะแนนผลรวมของทั้ง 3 ปัจจัยอยู่ที่ 71.4% นำมากำหนดเป็นปัจจัยที่นำมาออกแบบการทดลองซึ่งค่าปัจจุบันของปัจจัยทั้งสามแสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5

ปัจจัยที่นำมาพิจารณาการออกแบบการทดลอง

ปัจจัยที่พิจารณา	ค่าปัจจุบัน	หน่วยวัด
ขนาดรูของอลูมิเนียมพิน	7.8	mm.
ความเร็วในการประกอบ	8.0	Hz.
ระดับน้ำมันหล่อลื่น	50.0	cm.

### 3.4 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลสองระดับ ( $2^k$ factorial design)

จากการพิจารณาเบื้องต้นพบว่าการเกิดข้อบกพร่องประเภทอลูมิเนียมพินขาดนั้นเกิดจากกระบวนการและการเตรียมวัตถุดิบที่ไม่เหมาะสม เช่น ความเร็วที่ใช้ในการประกอบเร็วเกินไป ขนาดรูอลูมิเนียมพินเล็กเกินไป และน้ำมันหล่อลื่นแห้งเร็วเกินไป ดังนั้นจึงกำหนดปัจจัยและระดับการทดลองโดยการเพิ่มความเร็วในการประกอบท่ออลูมิเนียม เพิ่มขนาดรูอลูมิเนียมพิน และระดับน้ำมันหล่อลื่นในภาชนะ ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6

ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$

ปัจจัยที่พิจารณา	ระดับที่ใช้ในปัจจุบัน	ค่าระดับปัจจัยที่ทำการทดลอง				หน่วยวัด
		ต่ำ		สูง		
ขนาดรูของอลูมิเนียมพิน (A)	7.8	7.7	-1	7.9	+1	mm.
ความเร็วในการประกอบ (B)	10.0	8.0	-1	12.0	+1	Hz.
ปริมาณของน้ำมันหล่อลื่น (C)	50.0	35.0	-1	70.0	+1	mm.

เมื่อเลือกปัจจัยที่จะใช้ในการศึกษาเรียบร้อยแล้ว ลำดับต่อไปจะเป็นการออกแบบการทดลองโดยกำหนดให้มี 3 ปัจจัย 2 ระดับการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.8 โดยใช้สัญลักษณ์ในการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7

สัญลักษณ์วิธีปฏิบัติ

วิธีปฏิบัติ หรือองค์ประกอบการทดลอง	ผลกระทบ		
	A	B	C
(1)	-1	-1	-1
a	+1	-1	-1
b	-1	+1	-1
ab	+1	+1	-1
c	-1	-1	+1
ac	+1	-1	+1
bc	-1	+1	-1
abc	+1	+1	+1

ตารางที่ 3.8

รูปแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  ( $2^3$  Factorial Design, 10 Replicates)

วิธีปฏิบัติ	ปัจจัย			ค่าผลตอบสนอง									
	A	B	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(1)	-1	-1	-1										
a	1	-1	-1										
b	-1	1	-1										
ab	1	1	-1			ค่าผลตอบสนอง							
c	-1	-1	1										
ac	1	-1	1										
bc	-1	1	1										
abc	1	1	1										

### 3.5 วิธีดำเนินการทดลอง

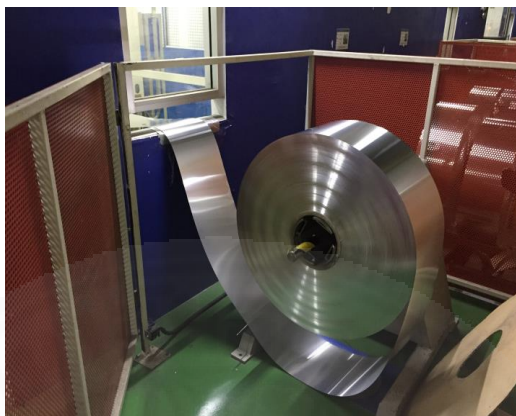
#### 3.5.1 เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้

3.5.1.1 เครื่องปั๊มโลหะ AMADA รุ่น TP-60C (60 Ton) ใช้งานร่วมกับแม่พิมพ์ปั๊มโลหะในการผลิตอลูมิเนียมพิน ดังแสดงในภาพที่ 3.18



ภาพที่ 3.18 เครื่องปั๊มโลหะที่ใช้ในการทดลอง

**3.5.1.2 อลูมิเนียมแผ่นม้วน** เป็นอลูมิเนียมที่ผ่านการรีดให้ได้ความหนาตามต้องการจัดเก็บเป็นม้วน เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอลูมิเนียมพิน ดังแสดงในภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 ม้วนวัตถุดิบอลูมิเนียม ใช้ผลิตอลูมิเนียมพิน

**3.5.1.3 แม่พิมพ์ปั๊มอลูมิเนียมพิน** เป็นแม่พิมพ์โลหะชนิดหนึ่งใช้งานร่วมกับเครื่องปั๊มโลหะใช้แผ่นอลูมิเนียมเป็นวัตถุดิบปั๊มออกมาได้ชิ้นงานเป็นอลูมิเนียมพิน ดังแสดงในภาพที่ 3.20



ภาพที่ 3.20 แม่พิมพ์โลหะสำหรับผลิตอลูมิเนียมพิน

**3.5.1.4 เครื่องเจียรนัยราบ OKAMOTO รุ่น ACC84ST** ใช้ในการเจียรนัยแต่งกำหนดความสูงการใช้งานแม่พิมพ์และแผ่นปลด ดังแสดงในภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 เครื่องเจียรนัยราบ

3.5.1.5 กล้องจุลทรรศน์ MITUTOYO รุ่น MF ใช้ในการวัดขนาดรูอลูมิเนียมเฟือง  
ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.22 กล้องจุลทรรศน์ใช้วัดขนาดรูอลูมิเนียมเฟือง

3.5.1.6 เครื่องประกอบกึ่งอัตโนมัติ ใช้ในการประกอบท่ออลูมิเนียมเข้ากับ  
อลูมิเนียมเฟืองเพื่อให้ได้เป็นชิ้นงานคอยล์เครื่องระเหย ดังแสดงในภาพที่ 3.23





ภาพที่ 3.23 เครื่องประกอบท่ออลูมิเนียมกับอลูมิเนียมฟีน

3.5.1.7 อ่างน้ำมันหล่อลื่น ใช้ใส่น้ำมันหล่อลื่น นำท่ออลูมิเนียมมาจุ่มน้ำมันหล่อลื่นก่อนนำไปใส่เครื่องประกอบเข้ากับอลูมิเนียมฟีน ดังแสดงในภาพที่ 3.24



ภาพที่ 3.24 อ่างน้ำมันสำหรับจุ่มท่ออลูมิเนียมก่อนใส่เครื่องประกอบ

3.5.1.8 ไม้บรรทัดเหล็ก ใช้ในการวัดระดับน้ำมันหล่อลื่นในอ่างก่อนนำท่ออลูมิเนียมจุ่มและใส่เข้าเครื่องประกอบท่อ ดังแสดงในภาพที่ 3.25



ภาพที่ 3.25 ไม้บรรทัดเหล็ก

### 3.5.2 วิธีดำเนินการ

ในการดำเนินการทดลองมี 3 ปัจจัยที่ได้รับการปรับเปลี่ยน มีทั้งปรับเปลี่ยนที่ยาก และปรับเปลี่ยนที่ง่าย ซึ่งมีผลต่อระยะเวลาในการทดลอง ปัจจัยที่ได้รับการปรับเปลี่ยนมีรายละเอียด ดังนี้

**3.5.2.1 อลูมิเนียมฟีน** ได้รับการแก้ไขเป็นลำดับแรก ผู้ทำวิจัยออกแบบการทดลองอลูมิเนียมฟีนไว้ 2 แบบ คือ ขนาดรูอลูมิเนียมฟีนที่ใช้ปกติ ขนาด 7.8 มิลลิเมตร และขนาดเพื่อทำการทดลอง 7.7 มิลลิเมตร และ 7.9 มิลลิเมตร โดยมีกระบวนการแก้ไข ดังแสดงในภาพที่ 3.26



ภาพที่ 3.26 ขั้นตอนการแก้ไขอลูมิเนียมพิน

(1) เจียรนัยแท่งกำหนดความสูงใช้งานแม่พิมพ์ ออกให้แม่พิมพ์ชุดบนสามารถลงต่ำได้อีก ดังแสดงในภาพที่ 3.27



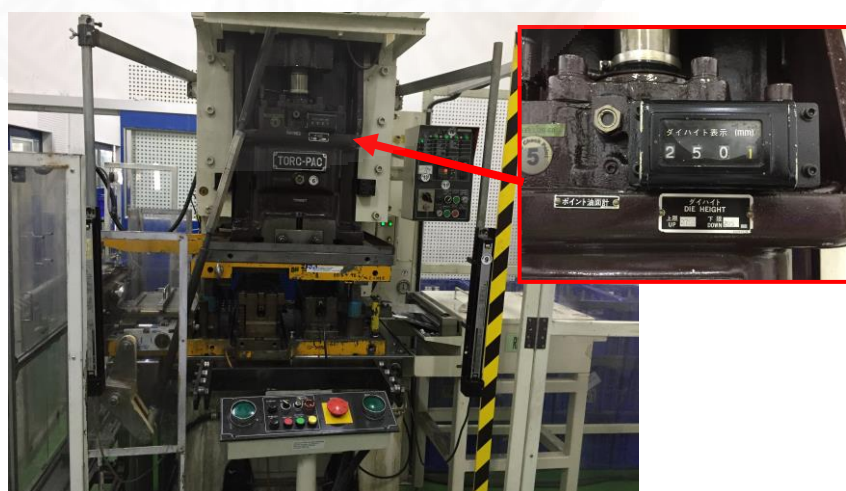
ภาพที่ 3.27 แท่งกำหนดความสูงการใช้งานแม่พิมพ์

(2) เจียรนัยแผ่นปลด ให้มีความหนาน้อยลงเพื่อให้ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ที่ทำหน้าที่ขึ้นรูปรู (Ironing Punch) สามารถดันขึ้นรูปได้สูงขึ้นขนาดรูจะโตขึ้นตาม ดังแสดงในภาพที่ 3.28



ภาพที่ 3.28 แผ่นปลดและชิ้นส่วนทำหน้าที่ดันขึ้นรูป

(3) ปรับความสูงการใช้งานแม่พิมพ์ที่เครื่องปั๊ม ตามค่าที่เจียรนัยแท่ง กำหนดความสูงใช้งานแม่พิมพ์ และแผ่นปลดออก ดังแสดงในภาพที่ 3.29



ภาพที่ 3.29 ชุดปรับตั้งความสูงใช้งานแม่พิมพ์ที่เครื่องปั๊ม

**3.5.2.2** ขั้นตอนจุ่มน้ำมันหล่อลื่นก่อนใส่เครื่องอัตโนมัติ ในที่นี้ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองให้ใช้น้ำมันหล่อลื่นชนิด RF-502 โดยควบคุมปริมาณน้ำมันในอ่างที่ 35 มิลลิเมตร และ 70 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.30



ภาพที่ 3.30 ระดับน้ำมันหล่อลื่น RF-502 ที่ใช้ในการทดลอง

**3.5.2.3** ขั้นตอนการประกอบท่อ ในกระบวนการนี้ผู้วิจัยออกแบบการทดลองความเร็วออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ 8 Hz. และ 12 Hz. หน่วยที่ใช้ในการปรับตั้งใช้ตามค่าอุปกรณ์ที่ติดตั้งมาพร้อมเครื่องจักร ดังแสดงในภาพที่ 3.31



ภาพที่ 3.31 เครื่องประกอบควบคุมความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์



## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการดำเนินการทดลองและรูปแบบการทดลองจากบทที่ 3 ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

- 4.1 ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ ( $2^k$  Factorial Design)
- 4.2 วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากการทดลอง
- 4.3 การกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม
- 4.4 การทดลองเพื่อยืนยันผล
- 4.5 การติดตามผลการทดลอง
- 4.6 เปรียบเทียบผลการดำเนินโครงการ
- 4.7 บทสรุป

#### 4.1 ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ

จากการทดลองหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคอยล์เครื่องระเหยเพื่อลดผลิตภัณฑ์เสียประเภทอลูมิเนียมพินขาด ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองและบันทึกผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^3$  (จำนวนการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง)

วิธีปฏิบัติ	ปัจจัยที่มีผลกระทบ			ผลตอบสนอง (Y)									
	A	B	C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(1)	-1	-1	-1	0	0	4	0	8	0	0	0	0	12
a	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b	-1	1	-1	28	24	16	12	16	12	16	16	16	16
ab	1	1	-1	8	8	4	0	8	0	0	8	4	0
C	-1	-1	1	4	0	8	4	0	0	0	4	0	0
ac	1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
bc	-1	1	1	16	16	12	12	8	12	12	12	12	20
abc	1	1	1	0	0	4	0	0	8	4	4	4	4

## 4.2 วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจากการทดลอง

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 นำค่าตอบสนอง หรือจำนวนของผลิตภัณฑ์บกพร่อง ประเภทอลูมิเนียมพินขนาดมาวิเคราะห์ผลทางสถิติเชิงวิศวกรรม โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่อง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ) โดยอาศัยโปรแกรม Minitab® นำข้อมูล (Y) ในตารางที่ 4.1 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าปัจจัยขนาดรูอลูมิเนียมพิน และความเร็วในการประกอบมีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 และปัจจัยระดับน้ำมันหล่อลื่นมีค่า P-Value เท่ากับ 0.045 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ทั้งสามปัจจัยมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทอลูมิเนียมพินขนาดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และอิทธิพลร่วมระหว่าง ขนาดรูอลูมิเนียมพินกับความเร็วในการประกอบ (Diameter \* Speed) มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ทางผู้วิจัยจึงนำอิทธิพลร่วมระหว่าง ขนาดรูอลูมิเนียมพินกับความเร็วในการประกอบมาพิจารณา นอกจากนี้ผู้วิจัยพบว่าผลของการวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ R-sq(adj) ของการทดลองหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอลูมิเนียมพินขนาดมีค่าเท่ากับ 76.19 % แสดงว่าข้อมูลที่เกิดขึ้นจากการทดลองใน 100 หน่วย จะมีความผันแปรที่เกิดจากปัจจัยที่ทำการทดลองถึง 76.19 หน่วย ในขณะที่หน่วยที่เหลือไม่สามารถอธิบายได้ว่ามีความผันแปรเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยที่ใช้ในการทดลองหรือเกิดจากความคลาดเคลื่อน ดังแสดงในภาพที่ 4.1

### Full Factorial Design

#### Design Summary

Factors:	3	Base Design:	3, 8
Runs:	80	Replicates:	10
Blocks:	1	Center pts (total):	0

All terms are free from aliasing.

### Factorial Regression: Response versus Diameter, Speed, Oil

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	2811.00	401.57	37.11	0.000
Linear	3	2309.40	769.80	71.13	0.000
Diameter	1	952.20	952.20	87.99	0.000
Speed	1	1312.20	1312.20	121.25	0.000
Oil	1	45.00	45.00	4.16	0.045
2-Way Interactions	3	491.80	163.93	15.15	0.000
Diameter*Speed	1	441.80	441.80	40.82	0.000
Diameter*Oil	1	16.20	16.20	1.50	0.225
Speed*Oil	1	33.80	33.80	3.12	0.081
3-Way Interactions	1	9.80	9.80	0.91	0.344
Diameter*Speed*Oil	1	9.80	9.80	0.91	0.344
Error	72	779.20	10.82		
Total	79	3590.20			

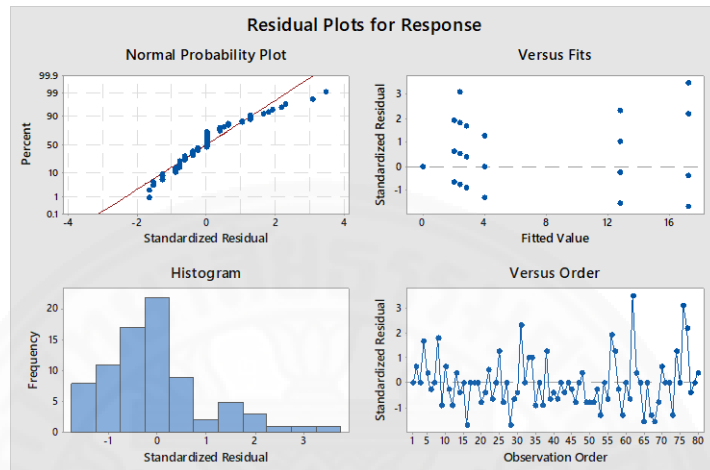
#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
3.28971	78.30%	76.19%	73.21%

ภาพที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองแบบ  $2^k$  Factorial Design

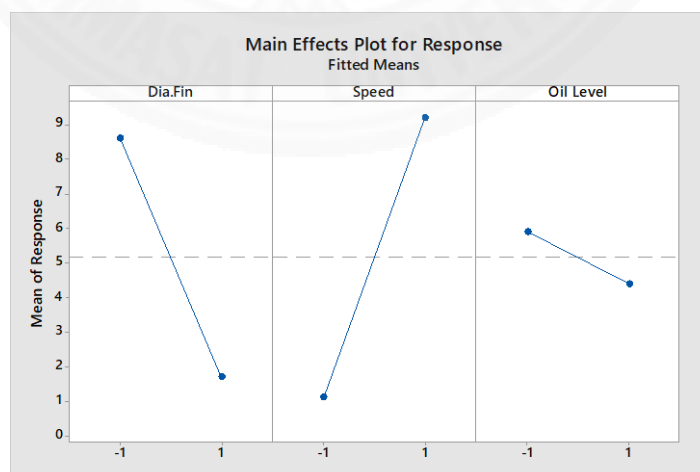


จากนั้นนำค่าส่วนตกค้าง (Residual) มาตรวจสอบว่าค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติหรือไม่เมื่อวิเคราะห์จากกราฟพบว่า ค่าคลาดเคลื่อนมีการกระจายตัวปกติ ซึ่งหมายถึงสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์ในลำดับต่อไปได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.2



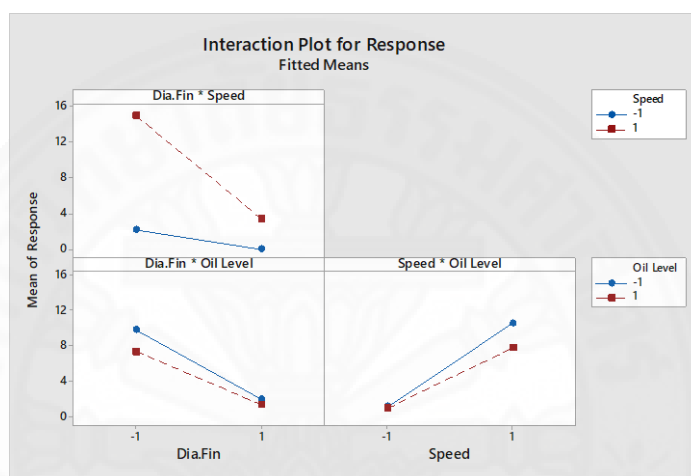
ภาพที่ 4.2 กราฟวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล

นอกจากนี้ในการวิเคราะห์กราฟแสดงผลอิทธิพลหลักเกี่ยวกับเงื่อนไขในการผลิตคอยล์เครื่องระเหยพบว่าเส้นกราฟปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัย ไม่ขนานกับเส้นอ้างอิง ซึ่งหมายถึงปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัย มีอิทธิพลต่อการเกิดข้อบกพร่องของชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยหลัก

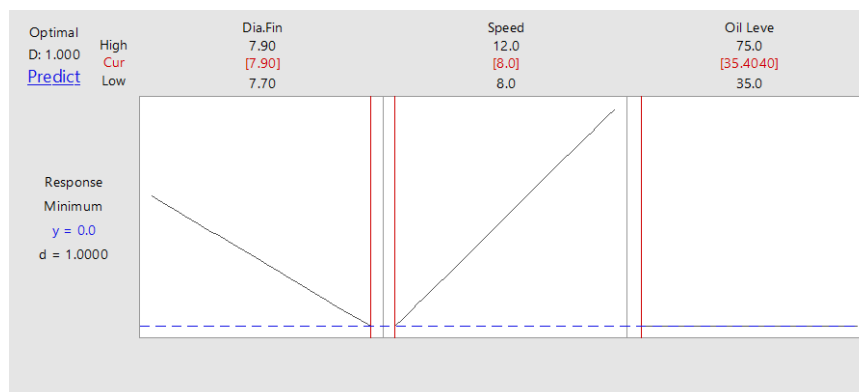
ส่วนผลจากการวิเคราะห์กราฟอิทธิพลพบว่า ปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อการเกิดข้อบกพร่องบนชิ้นงานคอยล์เครื่องระเหย มีเพียงคู่เดียว คือ คู่ของปัจจัย Diameter Fin กับปัจจัย Speed เนื่องจากค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.4 หมายความว่า ขนาดรูอลูมิเนียมฟินและความเร็วในการประกอบมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ เมื่อใช้ความเร็วในการประกอบสูง การเลือกใช้อลูมิเนียมฟินเล็ก จะทำให้เกิดของเสียสูงกว่า การใช้ขนาดรูอลูมิเนียมฟินใหญ่อย่างมีนัยสำคัญ



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยหลัก

### 4.3 การกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม

เมื่อวิเคราะห์ค่าที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตของกรณีศึกษาพบว่า จากฟังก์ชัน Response Optimization ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย และเป็นฟังก์ชันที่ใช้วัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบสนอง (Composite Desirability : D) โดยผลตอบมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ซึ่งถ้าค่า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ โดยค่าที่เหมาะสมที่สุดในการปรับตั้งปัจจัยในการผลิตคือ ขนาดรูอลูมิเนียมฟิน 7.9 มิลลิเมตร ความเร็วในการประกอบ 8 Hz. และความสูงของระดับน้ำมันหล่อลื่นในอ่างชุบชิ้นงาน 35.4 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงจุดที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

#### 4.4 การทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง

การทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง เป็นการทำซ้ำโดยใช้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการ วิเคราะห์ในหัวข้อ 4.3 ผู้วิจัยนำค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมมาปรับใช้ คือ ขนาดรูอลูมิเนียม ฟิน 7.9 มิลลิเมตร ความเร็วในการประกอบ 8.0 Hz. และระดับน้ำมันหล่อลื่นในอ่าง 35.4 มิลลิเมตร จากนั้นจึงทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง และบันทึกผล ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่ามี จำนวนชิ้นงานบกพร่องร้อยละ 14.0 และไม่พบชิ้นงานเสียเลย ดังนั้นจึงทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันผลการทดลองว่าของเสียมีแนวโน้มลดลงหรือไม่ โดยใช้การทดสอบค่าสัดส่วนของประชากรสองกลุ่มเทียบกันโดยก่อนปรับปรุงที่พบของเสีย 881 ชิ้น จากยอดผลิต 111,840 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 0.787 ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่า การปรับใช้ปัจจัยในการผลิตด้วยระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากการ วิเคราะห์ข้างต้น น่าจะทำให้ของเสียชนิดอะลูมิเนียมฟินขาดของรุ่น V086000 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ 0.05 ดังแสดงในภาพที่ 4.6

ตารางที่ 4.2

การยืนยันผลการทดลอง

จำนวน ชิ้นงาน (ชิ้น)	ขนาดรู อลูมิเนียมฟิน (mm.)	ความเร็วใน การประกอบ (Hz.)	ระดับ น้ำมันหล่อลื่น ในอ่าง (mm.)	จำนวนชิ้นงาน บกพร่อง (ชิ้น)	% ชิ้นงาน บกพร่อง	จำนวน ชิ้นงาน เสีย (ชิ้น)
50	7.9	8.0	35.4	7	14	0

## Test and CI for Two Proportions

### Method

$p_1$ : proportion where Sample 1 = Event

$p_2$ : proportion where Sample 2 = Event

Difference:  $p_1 - p_2$

### Descriptive Statistics

Sample	N	Event	Sample p
Sample 1	50	0	0.000000
Sample 2	111840	881	0.007877

### Estimation for Difference

Difference	95% Upper Bound for Difference
-0.0078773	-0.007443

CI based on normal approximation

### Test

Null hypothesis  $H_0: p_1 - p_2 = 0$

Alternative hypothesis  $H_1: p_1 - p_2 < 0$

Method	Z-Value	P-Value
Normal approximation	-29.80	0.000
Fisher's exact		0.673

ภาพที่ 4.6 ผลการทดสอบสมมติฐานการทดลองการผลิต

## 4.5 การนำผลการทดลองไปใช้งานจริง

หลังจากทำการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลอง ผู้วิจัยนำค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมมาปรับใช้งานในกระบวนการผลิตจริง คือ ขนาดรูอลูมิเนียมพิน 7.9 มิลลิเมตร ความเร็วในการประกอบ 8.0 Hz. และระดับน้ำมันหล่อลื่นในอ่าง 35.4 มิลลิเมตร การตรวจสอบชิ้นงาน ตรวจสอบชิ้นงานทุกชิ้น (100% Inspection) โดยจำนวนที่ตรวจสอบชิ้นอยู่กับแผนการผลิตในแต่ละวัน จากการติดตามการผลิตผลิตภัณฑ์ จำนวน 18,720 ชิ้น ผลการตรวจสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

## ตารางที่ 4.3

จำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องประเภทอลูมิเนียมพินขาดรุ่น V086000 ตรวจสอบทุกชิ้นงาน

วันที่ผลิต	จำนวนชิ้นงานที่ ตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานที่ บกพร่อง	จำนวนชิ้นงานที่เสีย
2/3/2561	1,750	268	1
3/3/2561	1,750	256	2
5/3/2561	1,750	340	3
6/3/2561	1,750	316	1
7/3/2561	1,750	284	2
8/3/2561	1,750	297	2
9/3/2561	1,750	248	3
12/3/2561	1,750	287	3
13/3/2561	1,750	302	2
14/3/2561	1,750	274	2
15/3/2561	1,220	233	1
<b>รวม</b>	<b>18,720</b>	<b>3,105</b>	<b>22</b>

ข้อมูลของเสียจากสายการผลิตปกติที่ใช้ค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้มาทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันผลอีกครั้ง โดยใช้การทดสอบค่าสัดส่วนของประชากรสองกลุ่มเทียบกันระหว่าง ก่อนปรับปรุงพบของเสีย 881 ชิ้น จากยอดผลิต 111,840 ชิ้น และหลังปรับปรุงพบของเสีย 22 ชิ้น จากยอดผลิต 18,720 ชิ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่าการปรับใช้ปัจจัยในการผลิตด้วยระดับปัจจัยที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์ข้างต้น ทำให้ของเสียชนิดอะลูมิเนียมพินขาดของรุ่น V086000 ลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ดังแสดงในภาพที่ 4.7

## Test and CI for Two Proportions

### Method

$p_1$ : proportion where Sample 1 = Event  
 $p_2$ : proportion where Sample 2 = Event  
 Difference:  $p_1 - p_2$

### Descriptive Statistics

Sample	N	Event	Sample p
Sample 1	18720	22	0.001175
Sample 2	111840	881	0.007877

### Estimation for Difference

Difference	95% Upper Bound for Difference
-0.0067021	-0.006103

CI based on normal approximation

### Test

Null hypothesis  $H_0: p_1 - p_2 = 0$   
 Alternative hypothesis  $H_1: p_1 - p_2 < 0$

Method	Z-Value	P-Value
Normal approximation	-18.41	0.000
Fisher's exact		0.000

ภาพที่ 4.7 ผลการทดสอบสมมติฐานการผลิตจริง

## 4.6 บทสรุป

จากการดำเนินการวิจัยในบทที่ 4 เป็นการแสดงให้เห็นถึงผลการดำเนินการวิจัยทั้งหมด โดยการประยุกต์การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล แบบสองระดับ ( $2^k$  Factorial Design) และทำการทดลองเพื่อปรับปรุงความสามารถของกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย จำนวนของเสียประเภทอลูมิเนียมพินขาด เมื่อนำค่าปัจจัยที่ได้จากการทดลองมาประยุกต์ใช้ในสายการผลิตพบว่าสามารถลดของเสียประเภทอลูมิเนียมพินขาดได้ร้อยละ 85.01 สำหรับรายละเอียดของผลงานวิจัยทั้งหมดที่ได้กล่าวมานี้ สามารถสรุปผลงานวิจัยทั้งหมดหลังจากที่ได้ นำผลการทดลองไปปรับใช้ในกระบวนการทำงานจริงและยังได้กล่าวถึงข้อเสนอแนะ ต่อไป ในบทที่ 5

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการประยุกต์ใช้การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองโดยการวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อลดจำนวนผลิตภัณฑ์เสียประเภทอลูมิเนียมพินขาด ทำให้สามารถหาค่าสถานะของปัจจัยที่เหมาะสม เพื่อลดจำนวนผลิตภัณฑ์เสียดังกล่าว อันนำไปสู่บริษัทกรณีศึกษาสามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลิตภัณฑ์บกพร่อง ทั้งด้านเวลา แรงงาน และวัตถุดิบ และนอกจากนี้ยังสามารถลดความเสี่ยงในเรื่องการร้องเรียนจากลูกค้าเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ ที่มีลักษณะภายนอกไม่เป็นไปตามข้อกำหนดได้อีกด้วย

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการพิจารณาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทอลูมิเนียมพินขาด จากการวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล นำไปสู่การพิจารณาหลักการความสัมพันธ์ของเหตุและผล (KPIVs) ได้ปัจจัยที่พิจารณา ขนาดรูอลูมิเนียมพิน ความเร็วในการประกอบ และระดับน้ำมันหล่อลื่นในอ่าง หลังจากได้ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เลือกการออกแบบการทดลอง  $2^k$  Factorial มีการตรวจสอบและวิเคราะห์สิ่งตกค้าง (Residual Analysis) เพื่อความถูกต้อง พบว่าที่ขนาดรูอลูมิเนียมพินเล็ก และใช้ความเร็วในการประกอบสูงมีอิทธิพลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่อง กล่าวคือ ขณะที่ท่ออลูมิเนียมถูกดันเข้าไปในรูอลูมิเนียมพินจะเกิดการยืดตัวของรูอลูมิเนียมพินรอบท่ออลูมิเนียม เมื่อการยืดตัวของอลูมิเนียมพินไม่สัมพันธ์กับความเร็วในการประกอบจึงทำให้อลูมิเนียมพินขาด

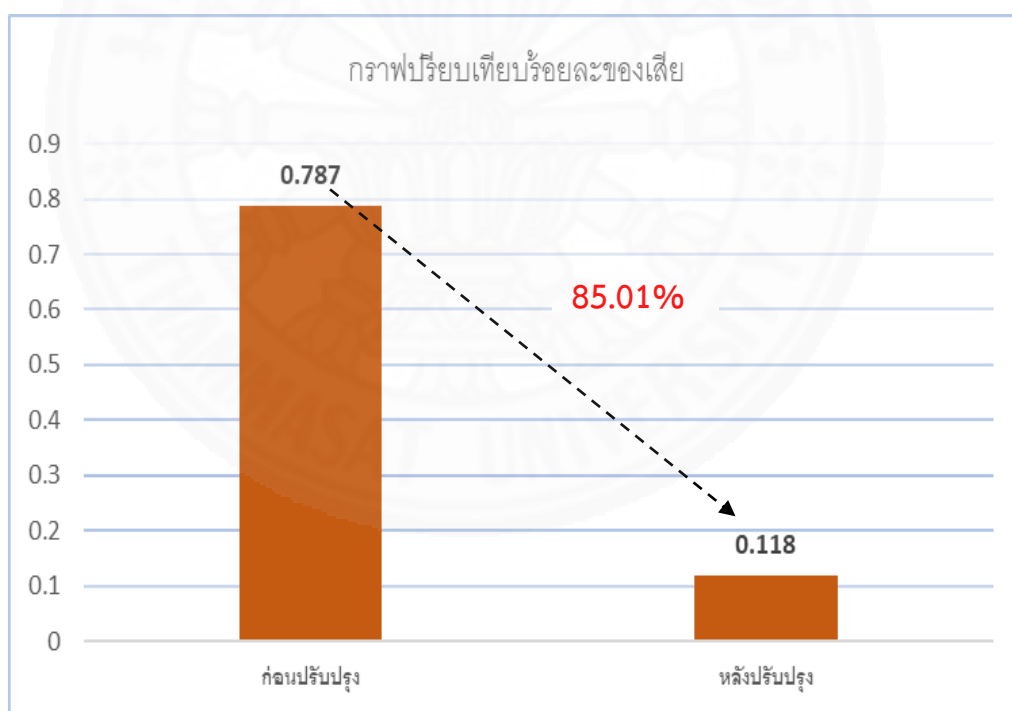
กระบวนการในการแก้ไขปรับปรุงครั้งนี้ผู้วิจัยเริ่มจากการแก้ไขแม่พิมพ์เป็นลำดับแรกโดยการเจียรนัยแผ่นปลด (Stripper plate) เพื่อให้ความสูงการใช้งานแม่พิมพ์ลดลง กล่าวอีกนัยหนึ่งคือทำให้มีระยะการปรับตั้งค่าการใช้งานของแม่พิมพ์เพิ่มขึ้น หลังจากแก้ไขแม่พิมพ์เรียบร้อยแล้วนำแม่พิมพ์ติดตั้งบนเครื่องปั๊มโลหะ ปรับตั้งค่าความสูงการใช้งานแม่พิมพ์ (Die height) เป็นการปรับตั้งค่าที่เครื่องปั๊มโลหะ เพื่อให้ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป สามารถดันอลูมิเนียมพินให้มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเล็กลงตามต้องการ เมื่อได้อลูมิเนียมที่มีขนาดตรงตามต้องการแล้วจึงไปสู่กระบวนการประกอบต่อไป กระบวนการประกอบผู้วิจัยปรับค่าเฮลิคซ์ที่อินเวอร์เตอร์เครื่องประกอบ ให้ได้ความเร็วตามต้องการหรือตามการออกแบบการทดลอง ก่อนประกอบท่ออลูมิเนียมกับอลูมิเนียมพินต้องจุ่มน้ำมันหล่อลื่นโดยควบคุมระดับน้ำมันหล่อลื่นในอ่างให้เป็นไปตามเงื่อนไขการทดลอง ทำการทดลองจนครบทุกเงื่อนไขการทดลองและเก็บข้อมูลจากการทดลองทำให้ได้ค่าสถานะที่เหมาะสมในการผลิตคอยล์เครื่องระเหย ดังแสดงในตารางที่ 5.1

## ตารางที่ 5.1

เปรียบเทียบค่าปัจจัยก่อนและหลังการปรับปรุง

สภาวะ	ขนาดรูลูมิเนียมพิน (mm.)	ความเร็วในการประกอบ (Hz.)	ระดับน้ำมันหล่อลื่นใน อ่าง (mm.)
ก่อนปรับปรุง	7.7	10.0	50.0
หลังปรับปรุง	7.9	8.0	35.4

การติดตามผลหลังจากประยุกต์ใช้ค่าสภาวะของแต่ละปัจจัยในกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย พบว่าในระยะเวลา 1 เดือน ปริมาณของเสียประเภทลูมิเนียมพินขาดของรุ่น V086000 ลดลงจากเดิมผลิต 111,840 ชิ้น พบชิ้นงานเสีย 881 ชิ้น (คิดเป็นร้อยละ 0.787) เหลือเพียง 22 ชิ้น จากผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 18,720 ชิ้น (คิดเป็นร้อยละ 0.118) ดังแสดงในภาพที่ 5.1 ซึ่งหมายถึงสามารถลดผลิตภัณฑ์เสียลงได้ถึงร้อยละ 85.01



ภาพที่ 5.1 กราฟแสดงร้อยละของเสียที่ลดลงของ



## 5.2 ข้อเสนอแนะการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อกำหนดค่าที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตคอยล์เครื่องระเหยโดยอาศัยการทดลองเชิงแฟคทอเรียล  $2^k$  จากการวิจัยในครั้งนี้ได้ทราบถึงข้อจำกัดในการทดลองแฟคทอเรียล เช่น ความถูกต้องของข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์ การทดลองที่มีหลายปัจจัย มีความยุ่งยากในการทดลอง ยากต่อการอธิบายอิทธิพลร่วม และจำนวนการทดลองที่มาก อย่างไรก็ตามข้อดีของการทดลองแฟคทอเรียลคือ ให้ผลที่ถูกต้องและแม่นยำในการทดลอง สามารถระบุออกมาเป็นค่าตัวเลขทางสถิติที่แสดงถึงค่าระดับความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการ นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบสาเหตุของปัญหาได้อย่างรวดเร็ว ในกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหยมีกระบวนการอีกมากมาย กระบวนการประกอบเป็นส่วนหนึ่งในกระบวนการทั้งหมด จากการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดหรือเหมาะสมที่สุดของกระบวนการอื่นในสายการผลิตได้ เช่น กระบวนการผสมสี กระบวนการอบแห้งสี หรือกระบวนการตัดเย็บแก้วของผลิตภัณฑ์อื่นภายในบริษัทการศึกษาได้

ข้อได้เปรียบของงานวิจัยนี้ผู้วิจัยสามารถแก้ไขแม่พิมพ์ได้โดยไม่ทำให้กระทบต่อการผลิตอลูมิเนียมพินรุ่นอื่นที่ใช้แม่พิมพ์ในการผลิตร่วมกัน สามารถควบคุมให้อลูมิเนียมพินมีขนาดเป็นไปตามข้อกำหนดได้ทำให้ไม่ต้องแจ้งแก้ไขแบบชิ้นงานอลูมิเนียมพินต่อญี่ปุ่นในการแก้ไขแม่พิมพ์ ซึ่งในบางบริษัทอาจไม่สามารถทำได้ และการปรับเปลี่ยนความเร็วของเครื่องประกอบไม่ยุ่งยากได้รับความร่วมมือจากฝ่ายผลิตเป็นอย่างดี ความยากของงานวิจัยนี้ คือ ชิ้นงานที่พบข้อบกพร่องสามารถแก้ไขให้เป็นไปตามมาตรฐาน และส่งขายให้ลูกค้าได้ ทำให้ผู้วิจัยและทีมงานต้องเร่งรีบในการเก็บข้อมูล ก่อนส่งงานไปแก้ไข เมื่อแก้ไขแล้วไม่สามารถนำกลับมาพิจารณาได้อีก จึงทำให้ผู้วิจัยต้องเก็บข้อมูลให้ถูกต้องและรวดเร็วเพื่อไม่ให้กระทบต่อยอดการผลิต

ข้อควรระวังในการนำการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลมาใช้ในการแก้ปัญหาขาดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต คือ การวิเคราะห์ข้อมูล ต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่า Normal probability plot ของส่วนตกค้างต้องเป็นเส้นตรง กราฟแท่งของส่วนตกค้างต้องแจกแจงแบบปกติ กราฟของส่วนตกค้าง เทียบกับค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองต้องกระจายตัวแบบสุ่มและไม่เป็นรูปปากแตร กราฟของส่วนตกค้าง เทียบกับเวลาหรือครั้งที่ทำการทดลองต้องกระจายตัวแบบสุ่มและไม่มีรูปแบบ

แนวทางในการวิจัยในอนาคต ผู้วิจัยอาจจะเลือกระดับของปัจจัยให้มีช่วงที่แคบลง หรือเพิ่มจำนวนการทำซ้ำให้มีจำนวนมากขึ้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ อาจจะเพิ่มระดับการทดลองให้เป็นการทดลองแบบ Central Composite Design โดยการเพิ่มจุดกลางและจุดแกนหมุน เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลตอบในลักษณะพื้นผิวตอบสนองได้

## รายการอ้างอิง

### หนังสือและบทความในหนังสือ

- ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, (2551), การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง, สำนักพิมพ์ท็อปจำกัด, หน้าที่ 1 – 188
- อดิศักดิ์ พงษ์พูลผลศักดิ์, (2541), การควบคุมคุณภาพ, ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, สำนักพิมพ์สหมิตรออฟเซต, หน้า 11 – 21
- พิชิต สุขเจริญพงษ์, (2558), เอกสารประกอบการอบรมการออกแบบการทดลอง, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), หน้า 1 - 50

### วิทยานิพนธ์

- รัชกุล กุลติลก, (2550), การปรับปรุงประสิทธิภาพการอบชิ้นงานในกระบวนการหล่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ควอด แพล็ท โน ลีด โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง, สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ชัชณะ วีระพันธุ์, (2553), การลดผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการรีดเย็นสแตนเลสแผ่น โดยประยุกต์การออกแบบการทดลอง, สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- โชคปิติ แก้วนิล, (2551), สภาพพื้นที่งานคั่นโยกเกียร์รถยนต์จากการบีบอัดขึ้นรูปที่มีผลกระทบต่อ การสวมอัดโดยวิธีการออกแบบการทดลอง, วิชาเอกการจัดการอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ประภาภรณ์ แดงบรรจง, (2553), การลดปริมาณของเสียในกระบวนการเชื่อมวงจรมงเจอร์โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ปณิต ทองสง่า, (2551), การลดของเสียในกระบวนการอัดรีดแผ่นฟิล์มพลาสติกประเภทโพลีลอบ ไพลินโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง, สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

## สื่ออิเล็กทรอนิกส์

[www.teacher.ssru.ac.th](http://www.teacher.ssru.ac.th) เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง

[logisticbasic.blogspot.jp](http://logisticbasic.blogspot.jp) แผนภาพพาเรโต

[tools4prod.blogspot.my](http://tools4prod.blogspot.my) แผนภาพสาเหตุและผล



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายนพดล พุ่มนิล  
 วันเดือนปีเกิด 2 มกราคม 2521  
 ตำแหน่ง Factory Engineer Supervisor  
 ทนการศึกษา (ถ้ามี)

## ผลงานทางวิชาการ

เรื่อง การปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตคอยล์เครื่องระเหย โดยการประยุกต์ใช้หลักการ  
 ออกแบบการทดลอง การประชุมวิชาการย้ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2561

ประสบการณ์ทำงาน 2548 – ปัจจุบัน: Factory Engineer Supervisor  
 บริษัท พานาโซนิค รีพริกเจอเรชั่น ดีไวซ์ (ไทย  
 แลนด์) จำกัด  
 2546 – 2548: Foreman (New parts Press)  
 บริษัท ไออาร์ซี (เอเชีย) รีเสิร์ช จำกัด  
 2544 – 2546: Foreman (Maintenance)  
 บริษัท สีพระยาการพิมพ์ จำกัด