



การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพลahmenของไพวอต เพื่อลดจำนวนผลิตภัณฑ์  
ที่บกพร่อง

โดย

นางสาวนนทชา เรียบร้อย

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ปีการศึกษา 2559  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพลลาหมุนของไพวอต เพื่อลดจำนวนผลิตภัณฑ์  
ที่บกพร่อง

โดย

นางสาวนนทชา เรียบร้อย



การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

PROCESS IMPROVEMENT OF WASTE REDUCTION IN PIVOT  
COMPONENTS PROCESS

BY

MISS NONTACHA RIEBROY



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 2016  
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

การค้นคว้าอิสระ

ของ

นางสาวนนทชา เรียบร้อย

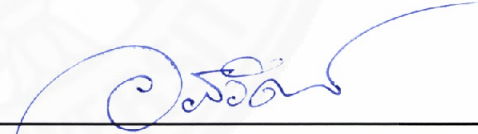
เรื่อง

การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพลลาหมุนของไพวอต เพื่อลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่อง

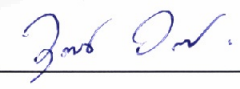
ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2560


ประธานกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

  
\_\_\_\_\_  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภิวัฒน์ มุตตามระ)

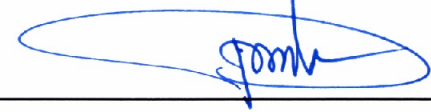
กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

  
\_\_\_\_\_  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร)

กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

  
\_\_\_\_\_  
(ศาสตราจารย์ ดร. ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง)

คณบดี

  
\_\_\_\_\_  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประภัสสร วังศกาญจน์)

หัวข้อการค้นคว้าอิสระ	การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพลลาหมุนของไพวอด เพื่อลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่อง
ชื่อผู้เขียน	นางสาวนนทชา เรียบร้อย
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ	รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย วงษ์ทัศน์กร
ปีการศึกษา	2559

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเพลลาหมุนของไพวอด ซึ่งทางผู้วิจัยได้รวบรวมอัตราส่วนของเสียของชิ้นงานตัวอย่างโมเดล A พบว่าอัตราส่วนของเสียประเภทเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเกินกว่ากำหนด มีค่าสูงที่สุดถึงร้อยละ 0.43 เมื่อเทียบกับยอดผลิตต่อเดือน จากการวิเคราะห์หาปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อโดยผังแสดงเหตุและผล และการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการ พบว่ากระบวนการขัดผิวชิ้นงานมีระดับคะแนนความเสี่ยงสูงสุด โดยปัจจัยที่มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนมีดังต่อไปนี้ 1) ขนาดของหินขัด 2) ปริมาณหินขัด 3) เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน 4) ปริมาณน้ำยาขัด และ 5) ความเร็วรอบของเครื่องจักร และนำปัจจัยทั้งหมดมาทำการทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการที่ละค่าเพื่อคัดกรองปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลออก ดังนั้น จึงพบว่าปริมาณหินขัด และความเร็วรอบของเครื่องจักร มีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุน จากนั้นจึงทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^2$  ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเปลี่ยนแปลงปัจจัยละ 2 ระดับ คือ ค่าที่ใช้ปัจจุบันกับค่าที่ใช้เปรียบเทียบ จากผลการทดลองพบว่าปริมาณหินขัดที่ลดลงจาก 10 เหลือเพียง 5 ลิตร/ถัง และความเร็วรอบของเครื่องจักรที่ลดลงจาก 120 เหลือเพียง 100 รอบต่อนาที จะช่วยทำให้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนอยู่ในค่าที่กำหนดได้ และพบว่าการทดลองนี้สามารถลดอัตราส่วนของเสียของชิ้นงานโมเดล A ได้จากร้อยละ 1.14 ให้เหลือเพียง 0.75 ซึ่งบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

**คำสำคัญ:** การออกแบบการทดลอง, ไพวอด, การปรับปรุงกระบวนการ

Independent Study Title	PROCESS IMPROVEMENT OF WASTE REDUCTION IN PIVOT COMPONENTS PROCESS
Author	Miss Nontacha Riebroy
Degree	Master of Engineering
Department/Faculty/University	Industrial Development Faculty of Engineering Thammasat University
Independent Study Advisor	Assoc. Prof. Dr. Wuthichai Wongthatsaneorn
Academic Years	2016

### ABSTRACT

This research aims to reduce waste in the manufacturing process of Pivot component part, shaft. The researchers collected the waste ratio of Model A and found that the proportion of inner diameter over size was highest at 0.43%. Cause and effect diagram was used to identify potential factors. Each factor is further analyzed with failure mode and effects analysis to determine the risk priority number. The value from deburring process has the highest value. Several factors of deburring process could affect the inner diameter of the shaft. They are 1) size of media 2) quantity of media 3) cycle time 4) quantity of compound and 5) speed of machine. One factor at time is then applied to screen only significant factors. It was found that the quantity of media and speed of machine influenced the inner diameter. The design of experiment, full factorial design, was applied using two level on each of factor. It was found that the improvement could be done by reducing the reduction in quantity of media from 10 to 5 Liter/ Tank and speed of machine from 120 to 100 rounds per minute. It was found this improvement could reduce the waste ratio of Model A parts from 1.14% to 0.75%.

**Keywords:** Design of experiment, Pivot, Process

## กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ดังนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทาง และคำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ตลอดการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งคณะกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อภิวัฒน์ มุตตามระ และ ศาสตราจารย์ ดร. ตรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง ที่กรุณาให้ข้อคิด และคำแนะนำในการค้นคว้า ทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดเวลาที่ได้ศึกษาอยู่ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรมนี้ และขอขอบพระคุณ คุณชมพูนุช พิกุล เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ได้อำนวยความสะดวก และช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณพรเทพ ทองขวาง ที่ปรึกษาฝ่ายวิศวกรแผนกกรณีศึกษา และคุณณัฐพล กะดีแดง หัวหน้าส่วนงาน Machine Vision Engineer สำหรับคำแนะนำ ช่วยเหลือ และการสนับสนุนต่าง ๆ เป็นอย่างดี รวมถึงความอนุเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ

ขอขอบคุณ คุณเกศลดา กิตติวรรณวงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ แสดงความคิดเห็น และให้ข้อมูลต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณกำลังใจที่แสนดี ซึ่งคอยส่งเสริม และสนับสนุนผู้วิจัยมาตลอด คือ ครอบครัวเรียบร้อย ที่เป็นแรงผลักดันสำคัญที่ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

นางสาวนนทชา เรียบร้อย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(7)
สารบัญภาพ	(8)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตการศึกษา	5
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	5
1.5 ระยะเวลาดำเนินการ	6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเพลลาหมุนของไฟวอต	8
2.2 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง	9
2.2.1 เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในงานวิจัย	9
2.2.2 การออกแบบการทดลอง	11
2.2.3 แนวทางการออกแบบการทดลอง	13



2.2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน	14
2.2.5 ข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน	16
2.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล	16
2.3.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^k$	17
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	21
3.1 ศึกษากระบวนการผลิตเพลลาหมุน	21
3.1.1 กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน	22
3.1.2 กระบวนการขัดผิวชิ้นงาน	22
3.1.3 กระบวนการเจียรระโนผิวรอบนอกชิ้นงาน	23
3.1.4 กระบวนการล้างทำความสะอาดชิ้นงาน	23
3.1.5 กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน	23
3.2 การวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการผลิตเพลลาหมุนของไพวอด	23
3.3 การเลือกระดับปัจจัย และขอบเขต	33
3.3.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกปัจจัย	33
3.3.2 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	34
3.4 บทสรุป	34
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์	36
4.1 การใช้ข้อมูลทางสถิติและการวิเคราะห์ระดับของปัจจัย	36
4.2 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	38
4.2.1 การทดลองแบบ One Factor at Time (OFAT)	39
4.2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^k$	46
4.3 บทสรุป	54

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปผลการวิจัย	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
รายการอ้างอิง	58
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุน เปรียบเทียบระหว่างหลังขึ้นงานผ่านกระบวนการขึ้นรูป และกระบวนการขัดผิวเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความสามารถ ของกระบวนการก่อนทำการทดลอง	60
ภาคผนวก ข ตารางแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุน ที่ได้จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^2$ โดยเก็บค่าจำนวน 15 ตัวอย่างต่อ 1 การทดลอง ทำซ้ำระดับละ 4 ครั้ง และทำการทดลองทั้งสิ้น 16 การทดลอง	62
ประวัติผู้เขียน	64

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 จำนวนการผลิตเพลลาหมุนและปริมาณของเสียในแต่ละเดือนของบริษัทที่ทำการศึกษา	3
1.2 ระยะเวลาในการดำเนินงาน	6
2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีจำแนกทางเดียว	16
3.1 เกณฑ์การให้คะแนน FMEA	27
3.2 ผลการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการผลิตเพลลาหมุน	31
3.3 ปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุน	33
4.1 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและระดับในการออกแบบการทดลอง	37
4.2 ผลการทดลองของแต่ละปัจจัย	39
4.3 ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	45
4.4 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	46
4.5 การออกแบบการทดลอง และผลการทดลอง	46
4.6 ผลการทดลองของชิ้นงานตัวอย่าง (After Action) จำนวน 100 ชิ้น	51

## สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ตำแหน่งของไฟวอตในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และส่วนประกอบหลักของไฟวอต	2
1.2 กระบวนการผลิตเพลลาหมุน	2
1.3 อัตราส่วนของเสียของเพลลาหมุนเมื่อเทียบกับจำนวนการผลิตในแต่ละเดือน	3
1.4 อัตราส่วนของเสียแต่ละโมเดล โดยมีอัตราส่วนของเสียสูงที่สุด 8 อันดับแรก	4
1.5 อัตราส่วนของเสียของโมเดล A ย้อนหลัง 3 เดือน	4
2.1 รูปร่างของเพลลาหมุนและตำแหน่งของชิ้นงาน	8
2.2 ผังแสดงเหตุและผลหรือแผนผังก้างปลา	10
2.3 แบบจำลองของกระบวนการหรือระบบทั่วไป	12
3.1 กระบวนการผลิตเพลลาหมุน	21
3.2 ลักษณะเครื่องกลึง CNC ที่ใช้ในการผลิตเพลลาหมุนของบริษัทที่ทำการวิจัย	22
3.3 ลักษณะเครื่องขัดผิวชิ้นงานและหินขัด ที่ใช้ในกระบวนการลบคมของชิ้นงาน	22
3.4 ลักษณะเครื่องขัดผิวบริเวณตำแหน่ง OD ของชิ้นงาน	23
3.5 อัตราส่วนของเสียแต่ละประเภทของชิ้นงานโมเดล A	24
3.6 ลักษณะของเสียประเภท $\emptyset$ ID O/S	24
3.7 ผังก้างปลาแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\emptyset$ ID O/S และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	25
3.8 ความสามารถของกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานและกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน โดยทำการเก็บค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุน	32
4.1 ลักษณะของหินขัดทรงกลม และการวัดขนาดของหินขัด	37
4.2 ผลการวิเคราะห์ขนาดของหินขัด	41
4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณหินขัด	42
4.4 ผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน	43
4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำยาขัด	44
4.6 ผลการวิเคราะห์ความเร็วรอบของเครื่องจักร	45
4.7 การกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ	48
4.8 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^k$ มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในของเพลลาหมุน	49
4.9 การมีอิทธิพลร่วมกันระหว่าง 2 ปัจจัย	50

4.10 ความแตกต่างของผลลัพธ์ระหว่างแต่ละระดับของปัจจัย	50
4.11 ความสามารถของกระบวนการขีดผิวชิ้นงานเปรียบเทียบระหว่างก่อน-หลัง ปรับปรุงกระบวนการ	52
4.12 อัตราส่วนของเสียของโมเดล A เปรียบเทียบก่อน-หลัง การทดลอง	53



## บทที่ 1

### บทนำ

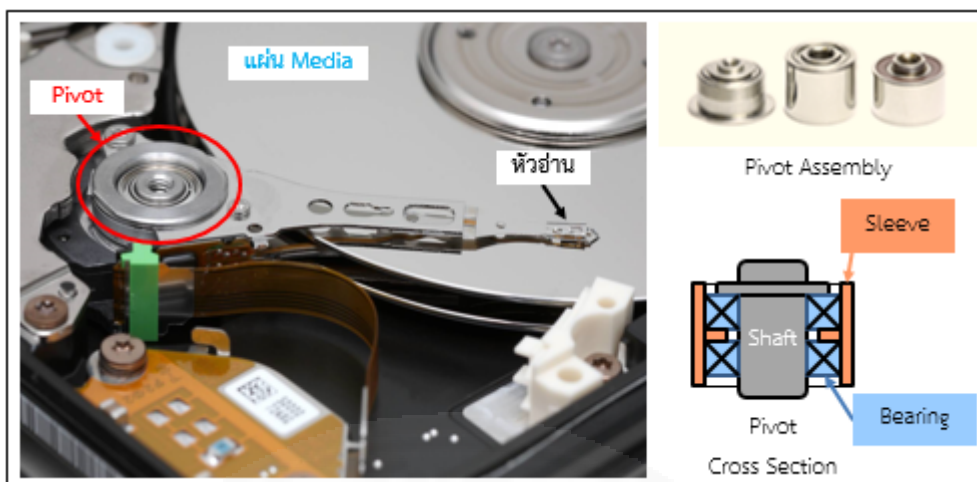
#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญในการส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ไปยังประเทศต่าง ๆ ทั้งในทวีปยุโรปและทวีปเอเชีย ประเทศไทยเป็นฐานการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive: HDD) รายสำคัญของโลก มีสัดส่วนการส่งออกสูงเป็นอันดับ 1 หรือราวร้อยละ 41 ของมูลค่าส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด แต่ในปัจจุบันการผลิตในกลุ่มอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้มีการปรับตัวลง ซึ่งได้แก่ สิ้นค้าประเภท วงจรรวม (Integrated Circuit: IC), HDD และเครื่องพิมพ์ (Printer) ล่าสุดผู้ผลิตเครื่องคอมพิวเตอร์รายใหญ่ของโลกเริ่มหันมาใช้โซลิดสเตตไดรฟ์ (Solid State Drive: SSD) ทดแทนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มากขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา

การปรับตัวลดลงของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นนอกจากจะส่งผลกระทบต่อผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แล้วยังส่งผลกระทบต่อผู้ผลิตรายย่อย (Supplier) ที่ทำการผลิตส่วนประกอบต่าง ๆ ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังเช่นบริษัทที่ได้ทำการวิจัยซึ่งเป็นหนึ่งใน Supplier ผลิตไพลอต (Pivot) หรือส่วนประกอบที่ทำหน้าที่เป็นแกนหมุนในการใช้งานของหัวอ่านสำหรับฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ไพลอตเป็นสินค้าหลักที่ทำให้บริษัทมีส่วนแบ่งการตลาดทั่วโลกถึงร้อยละ 70 เมื่อเทียบกับคู่แข่ง

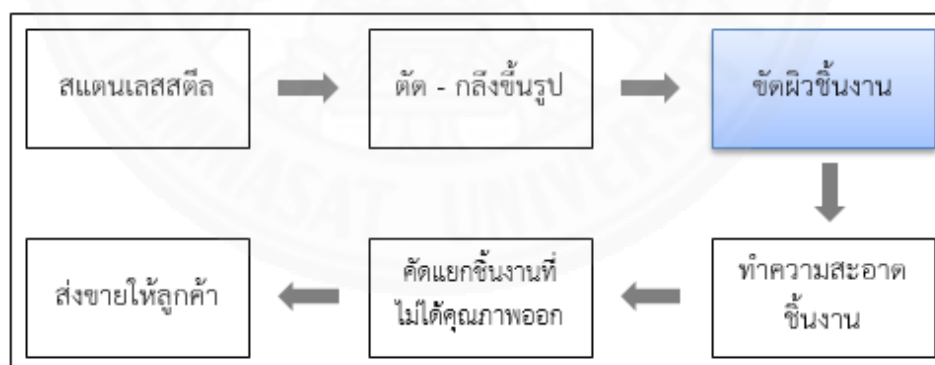
ไพลอต คือ ส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ทำหน้าที่เป็นแกนหมุนให้กับหัวอ่านเพื่อขับเคลื่อนหัวอ่านในการอ่านและบันทึกข้อมูลจากแผ่นเก็บข้อมูล (Media) ดังแสดงในภาพที่ 1.1 ซึ่งในไพลอตนั้นจะประกอบไปด้วยชิ้นส่วนประกอบย่อย ดังนี้

1. เพลาหมุน (Shaft) ทำหน้าที่เป็นเพลาหมุนให้ไพลอต
2. ตลับลูกปืน (Bearing) ทำหน้าที่รองรับการหมุนของเพลาหมุน
3. ปลอกหุ้ม (Sleeve) ทำหน้าที่เป็นปลอกหุ้มไพลอต



ภาพที่ 1.1 ตำแหน่งของไพลอตในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และส่วนประกอบหลักของไพลอต

ชิ้นส่วนประกอบย่อยเหล่านี้จะทำการผลิตภายในกลุ่มบริษัทที่ทำการศึกษารวมกัน จึงทำให้ทางบริษัทมีข้อได้เปรียบทั้งในด้านคุณภาพ ปริมาณ และต้นทุน ที่จะสามารถแข่งขันในตลาดได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ แต่จากสถานการณ์ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ข้างต้นได้ส่งผลกระทบต่อจำนวนการผลิตของไพลอตลดลงอย่างมาก ดังนั้น ทางกลุ่มบริษัทจึงมีนโยบายในการลดต้นทุนการผลิตตั้งแต่กระบวนการผลิตเพลลาหมุนและปลอกหุ้มไพลอตไปจนถึงการประกอบไพลอตเพื่อยังคงกำไรเท่าเดิม



ภาพที่ 1.2 กระบวนการผลิตเพลลาหมุน

เพลลาหมุน เป็นหนึ่งในส่วนประกอบหลักของไพลอตโดยกระบวนการผลิตจะเริ่มจากการนำวัตถุดิบประเภทสแตนเลสสตีล (Stainless Steel) ที่มีขนาดเป็นแท่งยาวผ่านกระบวนการตัด กลึง เจาะ ขัดผิว ตามขั้นตอนที่ผู้ผลิตกำหนด และส่งชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปอย่างเสร็จสมบูรณ์ไปยังกระบวนการตรวจสอบคุณภาพเพื่อทำการตัดแยกชิ้นงานที่ขนาดหรือรูปลักษณ์ภายนอกไม่ตรงตามที่ลูกค้ากำหนดออกดังแสดงในภาพที่ 1.2 และจากการเก็บข้อมูลที่กระบวนการตัดแยกชิ้นงาน

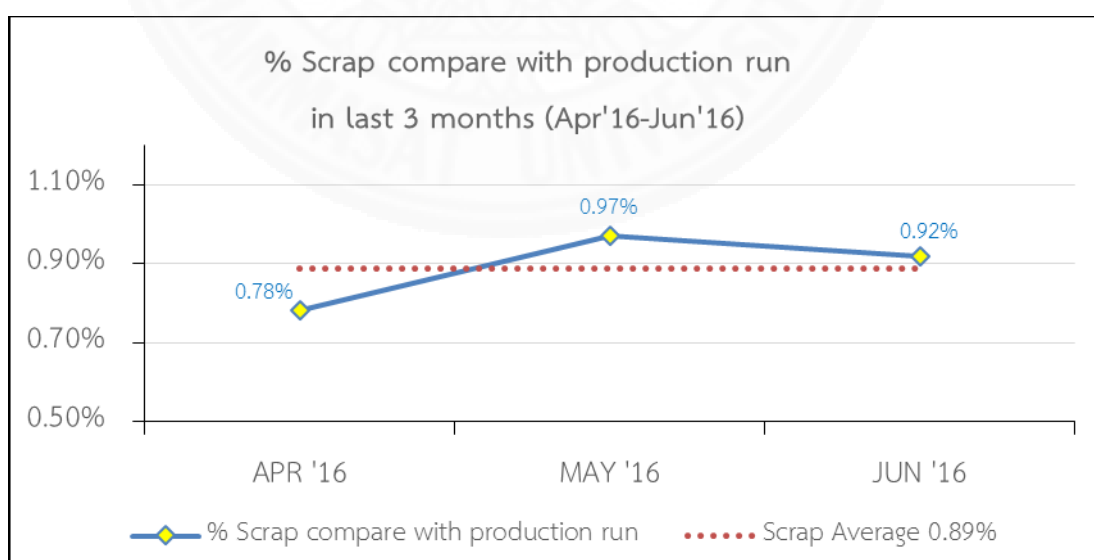
พบว่ามียังคงมีลักษณะไม่ตรงตามที่ถูกกำหนดและต้องถูกคัดแยกทิ้ง ซึ่งทำให้ทางบริษัทต้องเสียต้นทุนในการผลิตไปโดยเปล่าประโยชน์และยังเสียโอกาสในการทำกำไรเพิ่ม ดังนั้นหากทางบริษัทมีการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดจำนวนชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพให้มีจำนวนที่น้อยลงก็จะสามารถช่วยให้ลดต้นทุนการผลิตได้

การลดต้นทุนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถทำได้หลายวิธี และการลดปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตก็เป็นหนึ่งในนโยบายในการลดต้นทุนของทางบริษัท ซึ่งจากตารางที่ 1.1 แสดงให้เห็นว่าจำนวนการผลิตเพลลาหมุนลดลงเนื่องจากความต้องการของลูกค้านั้นเปลี่ยนแปลงไป แต่ปริมาณของเสียยังคงสูงอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 1.1

จำนวนการผลิตเพลลาหมุนและปริมาณของเสียในแต่ละเดือนของบริษัทที่ทำการศึกษา

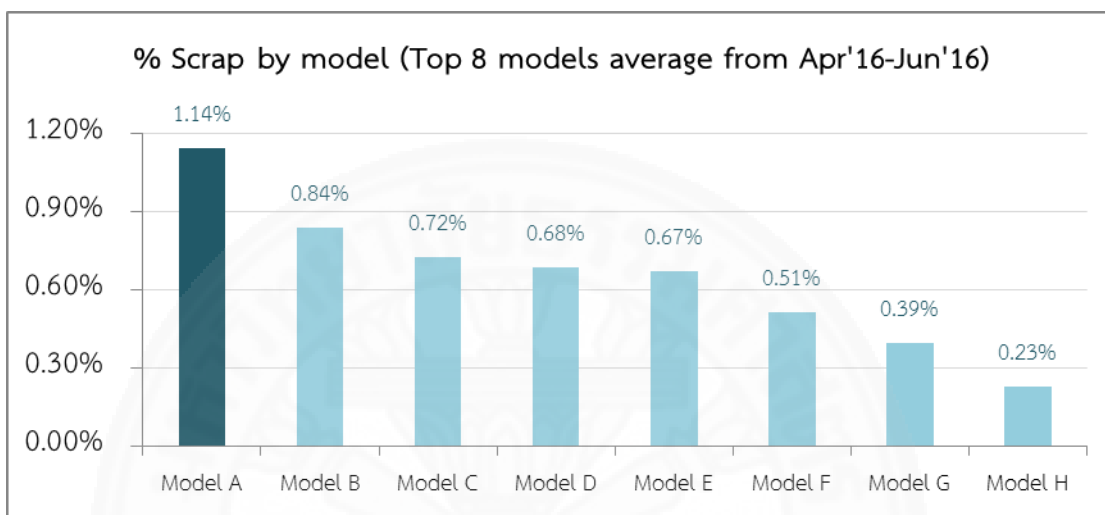
Month	APR '16 Qty. (pcs)	MAY '16 Qty. (pcs)	Jun '16 Qty. (pcs)
Production Run	24,875,338	24,534,415	21,739,027
Total Scrap	194,703	238,173	199,569



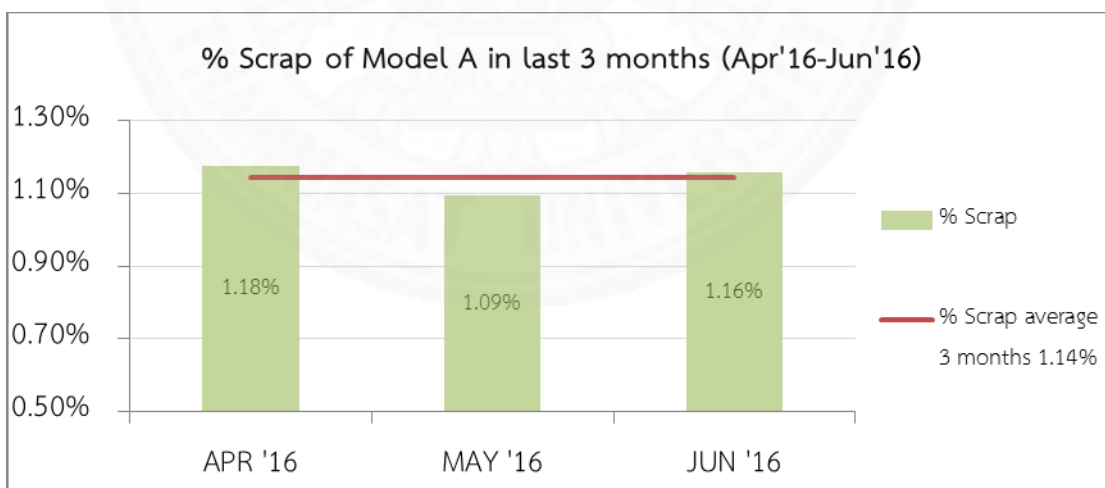
ภาพที่ 1.3 อัตราส่วนของเสียของเพลลาหมุนเมื่อเทียบกับจำนวนการผลิตในแต่ละเดือน



จากภาพที่ 1.3 พบว่าอัตราส่วนของเสียเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ร้อยละ 0.89 เมื่อเทียบกับจำนวนการผลิตทั้งหมด หรือคิดเป็นจำนวนเฉลี่ย 210,815 ชิ้นต่อเดือน ซึ่งจำนวนของเสียที่ถูกทิ้งเหล่านี้จะมีลักษณะข้อบกพร่องที่แตกต่างกัน เช่น ขนาดไม่ตรงตามที่ลูกค้ากำหนด พื้นผิวมีรอยกระแทกหรือขีดข่วน และมีคราบสกปรกบนผิวชิ้นงาน เป็นต้น



ภาพที่ 1.4 อัตราส่วนของเสียแต่ละโมเดล โดยมีอัตราส่วนของเสียสูงสุด 8 อันดับแรก



ภาพที่ 1.5 อัตราส่วนของเสียของโมเดล A ย้อนหลัง 3 เดือน

ในกระบวนการผลิตเพลหาหมุนนั้นได้มีการแบ่งประเภทของชิ้นงานที่มีขนาดหรือลักษณะแตกต่างกันตามที่ลูกค้ากำหนด โดยกำหนดเป็นโมเดลต่าง ๆ ซึ่งจากภาพที่ 1.4 จะเห็นได้ว่า โมเดล A มีอัตราส่วนของเสียสูงสุดเมื่อเทียบกับชิ้นงานโมเดลอื่น ๆ และจากภาพที่ 1.5 พบว่าอัตราส่วนของ

เสียเฉลี่ยย้อนหลัง 3 เดือน ของโมเดล A อยู่ที่ร้อยละ 1.14 หรือคิดเป็นจำนวนของเสียเฉลี่ย 12,368 ชิ้นต่อเดือน ซึ่งเป็นการเสียต้นทุนการผลิตไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงเป็นการศึกษาการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดอัตราส่วนของเสียของชิ้นงาน ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการ

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อลดของเสียของชิ้นงานโมเดล A จากร้อยละ 1.14 ให้เหลือร้อยละ 1.03 เมื่อเทียบกับยอดผลิตเฉลี่ยต่อเดือน

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ทำการทดลองที่ขั้นตอนการขัดผิวชิ้นงาน ในกระบวนการผลิตเพลลาหมุนเพื่อหาปัจจัยที่ก่อให้เกิดอัตราส่วนของเสียของโมเดล A

1.3.2 ศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดอัตราส่วนของเสียของโมเดล A

1.3.3 ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนเมษายน 2559 – เมษายน 2560

## 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการผลิตที่ทำให้เกิดอัตราส่วนของเสียของชิ้นงานในกระบวนการผลิตเพลลาหมุนของไพวอต

1.4.2 ศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง

1.4.3 ระบุกระบวนการและประเมินความรุนแรงที่ส่งผลกระทบต่ออัตราส่วนของเสีย โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA)

1.4.4 วิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลกระทบมากที่สุดที่ก่อให้เกิดอัตราส่วนของเสียของชิ้นงานโดยแผนผังเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

1.4.5 ออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดปัญหาและครอบคลุมตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of experiment: DOE)

1.4.6 ดำเนินการทดลอง รวบรวมผลการทดลอง ทำการวิเคราะห์และประเมินผล

1.4.7 สรุปผลการทดลอง

### 1.5 ระยะเวลาดำเนินการ

กรณีศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดอัตราส่วนของเสียของเพลahmenโมเดล A จะใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานรวมทั้งสิ้น 11 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่ เดือนมิถุนายน 2559 ถึง เดือนเมษายน 2560

ตารางที่ 1.2

ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ลำดับ	งาน	มิ.ย. 59	ก.ค. 59	ส.ค. 59	ก.ย. 59	ต.ค. 59	พ.ย. 59	ธ.ค. 59	ม.ค. 60	ก.พ. 60	มี.ค. 60	เม.ย. 60
1	ศึกษาข้อมูลการผลิตและรวบรวมอัตราส่วนของเสีย											
2	ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง											
3	วิเคราะห์กระบวนการและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราส่วนของเสีย											
4	ออกแบบการทดลองตามวัตถุประสงค์											
5	ดำเนินการทดลองและรวบรวมผล											
6	ทำการวิเคราะห์และประเมินผลที่ได้จากการทดลอง											
7	สรุปผลการทดลอง											

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตเพลลาหมุนให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นได้
- 1.6.2 สามารถลดอัตราส่วนของเสียของชิ้นงานที่เกิดจากกระบวนการผลิตได้
- 1.6.3 สามารถลดต้นทุนในการผลิตได้



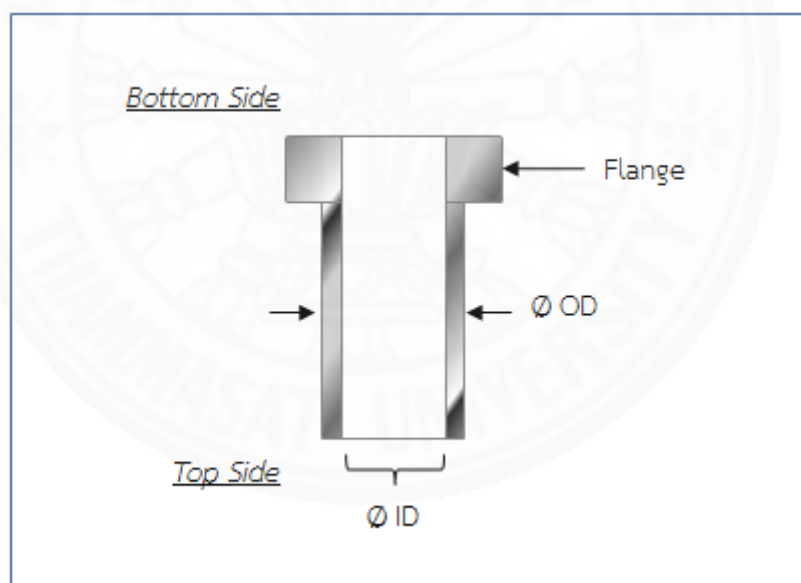
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเพลลาหมุนของไพวอต

เนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดอัตราส่วนของเสียดของชิ้นงานจากระบวนการผลิตชิ้นรูปเพลลาหมุนของไพวอต โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง ดังนั้นกรอบแนวคิดทางทฤษฎีจึงได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะอธิบายถึงลักษณะชิ้นงาน และส่วนที่สองจะอธิบายถึงทฤษฎีการออกแบบการทดลอง

เพลลาหมุนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งในไพวอตทำหน้าที่เป็นแกนยึดให้ไพวอตติดกับฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และเป็นแกนหมุนให้กับตลับลูกปืน เพลลาหมุนจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวง และมีปีก (Flange) อยู่ด้านล่างของชิ้นงาน (Bottom Side) ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 รูปร่างของเพลลาหมุนและตำแหน่งของชิ้นงาน

ขนาดของเพลลาหมุนนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของไพวอตแต่ละประเภท ซึ่งในปัจจุบันบริษัทที่ได้ทำการศึกษาได้มีการผลิตไพวอตอยู่ 2 ขนาด โดยจะแบ่งตามประเภทของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่นำไปประกอบ คือ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นเก็บข้อมูลเท่ากับ 2.5 นิ้ว จะประกอบกับไพวอตที่มีเพลลาหมุนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 4 หรือ 5 มิลลิเมตร และฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นเก็บข้อมูลเท่ากับ 3.5 นิ้ว จะประกอบกับไพวอตที่

มีเพลาหมุนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 6.35 มิลลิเมตร ซึ่งฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แต่ละประเภทก็จะนำไปประกอบกับผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า

กระบวนการผลิตเพลาหมุนนั้น จำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องจักรที่มีความแม่นยำสูงถึงระดับไมโครเมตร (Micrometer:  $\mu\text{m}$ ) เพื่อช่วยในการควบคุมขนาดของชิ้นงานให้เป็นไปตามที่ลูกค้ากำหนด ดังนั้น ความคลาดเคลื่อนของขนาดของชิ้นงานที่เกิดจากกระบวนการผลิตขั้นรูปจึงมีโอกาสดำเนินได้ง่าย

## 2.2 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง

### 2.2.1 เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในงานวิจัย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการผลิตจำเป็นต้องประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติมาช่วยในการวิเคราะห์และแปลความหมายของข้อมูลนั้น ๆ โดยจะต้องใช้เครื่องมือให้เหมาะสมกับข้อมูลแต่ละประเภท เครื่องมือทางสถิติที่สำคัญที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

1. แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) แผนภูมิหรือกราฟที่ผสมระหว่างกราฟแท่งและกราฟเส้นตรง ใช้จัดลำดับความถี่และความรุนแรงของปัญหาที่พบเพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการเรียงข้อมูลจากมากไปหาน้อยและใช้หลักการพาเรโตหรือกฎ 80-20 ในการพิจารณา กล่าวคือ ปัญหาที่มีความสำคัญมากและควรดำเนินการแก้ไขก่อนจะมีค่าประมาณ 80% และปัญหาที่มีความสำคัญน้อยจะมีค่าประมาณ 20%

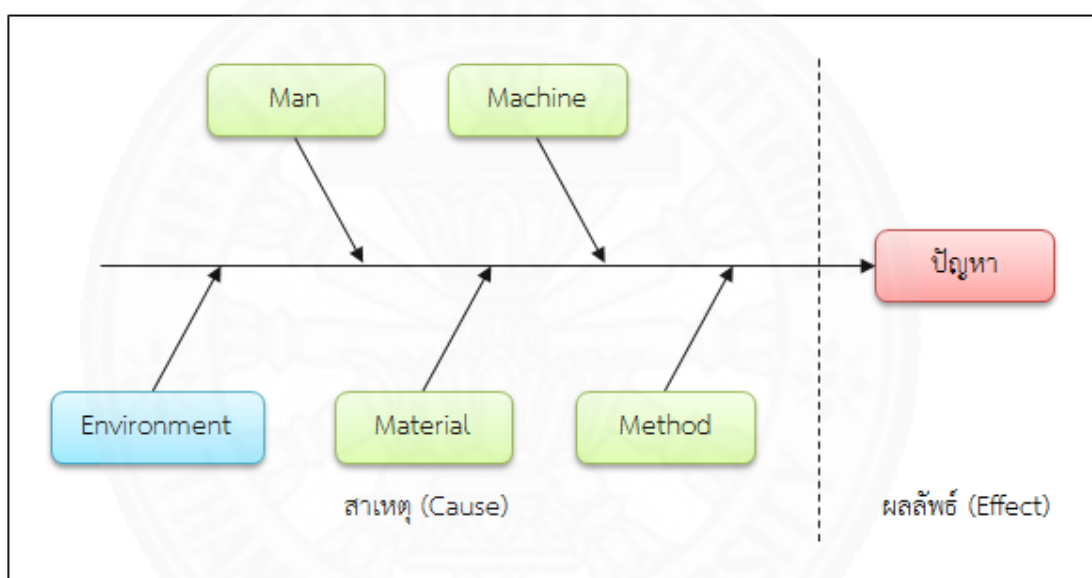
2. ผังแสดงเหตุและผล หรือแผนผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) แผนผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น ๆ (Possible Cause) หรือเรียกอีกชื่อว่า แผนผังอิชิคาว่า (Ishikawa Diagram) ซึ่งได้รับการพัฒนาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1943 โดย ศาสตราจารย์คาโอรุ อิชิคาว่า แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว การพิจารณาสาเหตุของปัญหานั้นจะต้องพิจารณาให้ครบทุกด้านเพื่อจะได้พบกับสาเหตุที่แท้จริง และสิ่งสำคัญในการสร้างแผนผัง คือ การทำงานร่วมกันกลุ่ม

วิธีการสร้างแผนผังเหตุและผลหรือแผนผังก้างปลามีขั้นตอนดังนี้

- 2.1 กำหนดปัญหาที่หัวปลา
- 2.2 กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้น ๆ
- 2.3 ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย
- 2.4 หาสาเหตุหลักของปัญหา
- 2.5 จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ
- 2.6 ใช้แนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

การกำหนดปัจจัยบนแผนผังก้างปลาสามารถกำหนดกลุ่มปัจจัยได้หลากหลาย แต่โดยส่วนมากมักจะใช้หลักการ 4M 1E เป็นกลุ่มปัจจัย (Factors) ดังภาพที่ 2.2 เพื่อนำไปสู่การ แยกแยะสาเหตุต่าง ๆ

M – Man	คนงาน พนักงาน หรือบุคลากร
M – Machine	เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก
M – Material	วัตถุดิบ อะไหล่ หรืออุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ในกระบวนการ
M – Method	กระบวนการทำงาน
E – Environment	อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการทำงาน



ภาพที่ 2.2 ผังแสดงเหตุและผลหรือแผนผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram)

(ที่มา: <https://perchai.wordpress.com/2012/06/07/25/>)

3. ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index) ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการผลิตโดยจะนำความแปรผันที่เกิดขึ้นจริงของกระบวนการเทียบกับข้อกำหนดหรือมาตรฐานที่ต้องการ และจัดทำค่าดัชนีวัดความสามารถ (Capability Index) ขึ้นเพื่อใช้ตรวจวัดระดับความสามารถในการดำเนินงานของกระบวนการ ค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1) ดัชนีวัดศักยภาพของกระบวนการ (Process Potential: Cp) จะพิจารณาขนาดของความผันแปรที่เกิดขึ้นเทียบกับขนาดของความผันแปรที่กำหนดของกระบวนการผลิต ยิ่งขนาดของความผันแปรที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยเท่าใด คุณภาพของผลิตภัณฑ์ก็จะมีควมสม่ำเสมอ

มากยิ่งขึ้นเท่านั้น 2) ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Performance: Cpk) จะพิจารณาทั้งขนาดของความผันแปรและค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ซึ่งเป้าหมายของการผลิต คือ ความผันแปรในกระบวนการผลิตมีน้อยและมีค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ในค่าเป้าหมาย

4. การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis) FMEA เป็นหลักการที่มุ่งเน้นการชี้ให้เห็นถึงคุณลักษณะของความเสียหายหรือสาเหตุที่จะนำไปสู่ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการออกแบบ การผลิต หรือการบริหาร จากนั้นจึงจะทำการวิเคราะห์ผลกระทบของความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้นและสุดท้าย คือ การนำไปสู่การหาวิธีป้องกันการเกิดความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น

ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยหลักการ FMEA มีดังนี้

- 4.1 กำหนดแผนผังการดำเนินงาน (Process Flow) เช่น การออกแบบ การผลิต
- 4.2 กำหนดหน้าที่หลักของผลิตภัณฑ์
- 4.3 วิเคราะห์คุณลักษณะความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์
- 4.4 หาสาเหตุของการเกิดคุณลักษณะความเสียหาย (Cause of Failure Mode)
- 4.5 พิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความเสียหายของผลิตภัณฑ์ (Effect)
- 4.6 กำหนดระดับของความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้น (Severity: S)
- 4.7 พิจารณาความถี่ของสาเหตุการเกิดคุณลักษณะความเสียหาย (Occurrence of Cause of Failure Mode: O)
- 4.8 พิจารณาวิธีการตรวจสอบของการเกิดคุณลักษณะความเสียหายในปัจจุบัน (Detectability of Cause of Failure Mode: D)
- 4.9 คำนวณค่า Risk Priority Number (RPN) =  $S \times O \times D$

### 2.2.2 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

Sir Ronald A. Fisher เป็นผู้คิดค้นการใช้วิธีการทางสถิติสำหรับการออกแบบการทดลองขึ้น และยังเป็นบุคคลแรกที่นำเอาการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) มาประยุกต์ใช้เป็นวิธีการเบื้องต้นในการวิเคราะห์ทางสถิติเกี่ยวกับการออกแบบการทดลอง ซึ่งนอกจาก Fisher จะเป็นผู้บุกเบิกสาขาวิชาการออกแบบการทดลองแล้ว ยังมีบุคคลสำคัญอีกจำนวนมากที่มีส่วนให้การสนับสนุนสาขาวิชานี้ อาทิเช่น F. Yates, W. G. Hunter และ G. E. P. Box เป็นต้น

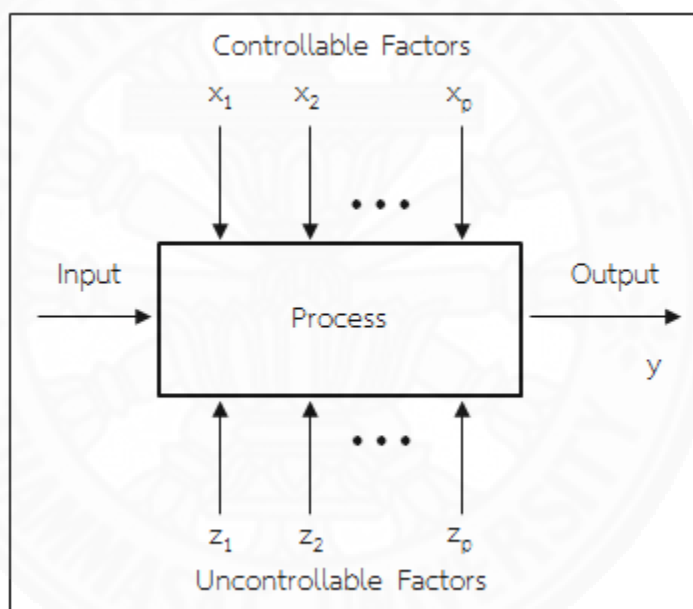
การนำเอาการออกแบบการทดลองไปใช้ในงานทางด้านอุตสาหกรรมครั้งแรกเริ่มขึ้นประมาณช่วง ค.ศ. 1930 ซึ่งสำหรับอุตสาหกรรมเคมีและกระบวนการผลิตในสหรัฐอเมริกาและยุโรปตะวันตกได้รับประโยชน์อย่างมากในการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองสำหรับพัฒนา



ผลิตภัณฑ์และพัฒนากระบวนการผลิต นอกจากนั้นแล้วในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ก็ยังสามารถนำเอาวิธีการนี้ไปใช้และประสบผลสำเร็จอย่างมากเช่นกัน

การทดลองเป็นการทดสอบหรือเป็นชุดของการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขาเข้า (Input Variable) ของกระบวนการหรือระบบ เพื่อบ่งชี้ถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นกับผลลัพธ์ขาออก สำหรับทางด้านวิศวกรรมศาสตร์นั้นการทดลองจะมีความสำคัญในด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ การพัฒนากระบวนการผลิต และการปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งในการทดลองใด ๆ ก็ตาม ผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บข้อมูล

โดยปกติแล้วการทดลองจะถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการและระบบ ซึ่งทั้งกระบวนการและระบบจะแสดงดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 แบบจำลองของกระบวนการหรือระบบทั่วไป (ที่มา: ปารเมศ ชูติมา, 2545)

จากภาพที่ 2.3 กระบวนการ คือ การรวมเอาพนักงาน เครื่องจักร วิธีการ และทรัพยากรอื่น ๆ เข้าด้วยกัน เพื่อเปลี่ยนตัวแปรขาเข้าไปสู่ผลลัพธ์ที่ออกมาในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่า ซึ่งตัวแปรในกระบวนการผลิตบางชนิดเป็นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ( $x_1, x_2, \dots, x_p$ ) และตัวแปรบางตัวเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ( $z_1, z_2, \dots, z_p$ ) ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการทดลองอาจเกี่ยวข้องกับ

1. หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลลัพธ์  $y$
2. หาวิธีการตั้งค่าของ  $x$  ที่มีผลต่อค่าผลลัพธ์  $y$  เพื่อให้  $y$  อยู่ในค่าที่ต้องการ

3. หาวิธีการตั้งค่าของ  $x$  ที่มีผลต่อค่าผลลัพธ์  $y$  เพื่อให้  $y$  มีค่าน้อย

4. หาวิธีการตั้งค่าของ  $x$  ที่มีผลต่อค่าผลลัพธ์  $y$  เพื่อให้ผลของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ( $z_1, z_2, \dots, z_p$ ) มีค่าน้อยที่สุด

การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมและสามารถใช้วิธีการทางสถิติมาวิเคราะห์ได้ โดยหลักการพื้นฐาน 3 ประการ สำหรับการออกแบบการทดลอง คือ

1) เรพลีเคชัน (Replication) เป็นการทำการทดลองซ้ำ โดยเรพลีเคชันจะช่วยให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ และยังสามารถนำค่าเฉลี่ยมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้น เรพลีเคชันจึงช่วยให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องได้ดียิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบ

2) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งแบบสุ่ม (Random) ซึ่งข้อมูลที่ใช้พิจารณาจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ การแรนดอมไมเซชันการทดลองช่วยให้ลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

3) บล็อกกิง (Blocking) วิธีการที่ช่วยเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ในการทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่สนใจต่าง ๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้และทำให้ทราบแหล่งของความแปรปรวนโดยการแบ่งอันดับการทดลองให้อยู่ในบล็อกเดียวกันที่มีความคล้ายกัน และใช้หลักการทางพีชคณิตแยกความแตกต่างออกมา จะทำให้เพิ่มความไวต่อการออกแบบการทดลอง

### 2.2.3 แนวทางการออกแบบการทดลอง

1. การทำความเข้าใจกับปัญหา ในขั้นตอนนี้จะต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และต้องหาข้อมูลเพิ่มเติมจากบุคคลหรือหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายประกันคุณภาพ และฝ่ายผลิต เป็นต้น ข้อมูลของปัญหาที่มีความชัดเจนจะมีผลอย่างมากต่อความเข้าใจเกี่ยวกับผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น ดังนั้นในการออกแบบการทดลองทุกครั้งควรมีการดำเนินงานเป็นทีม

2. การเลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขตของการทดลอง ผู้ทดลองจะต้องเลือกปัจจัยที่นำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตการเปลี่ยนแปลงของปัจจัย และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง ซึ่งจะต้องพิจารณาวิธีการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ด้วย ดังนั้น ผู้ทดลองจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการที่ทำการทดลองเป็นอย่างดี เพื่อจะสามารถตรวจสอบปัจจัยที่กำหนดได้ว่ามีความสำคัญหรือไม่ ถ้าหากวัตถุประสงค์ของการทดลอง คือ การกรอง

ปัจจัย (Screening) ผู้ทดลองควรกำหนดระดับต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองให้มีจำนวนน้อย แต่ควรกำหนดขอบเขตให้มีความกว้างมาก ๆ และเมื่อทราบแล้วว่าตัวแปรใดมีความสำคัญ หรือระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ผู้ทดลองอาจจะลดขอบเขตลงมาให้แคบได้

3. การเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทดลองต้องแน่ใจว่าตัวแปรนี้จะช่วยสนับสนุนข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ได้ หากพบว่าค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการเป็นตัวแปรตอบสนอง แสดงว่าในการทดลองหนึ่งอาจจะมีหลายตัว ดังนั้นผู้ทดลองจะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรตอบสนอง และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไรก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

4. การเลือกการออกแบบการทดลอง การเลือกการออกแบบการทดลองจะขึ้นอยู่กับ การพิจารณาขนาดของตัวอย่าง (จำนวนเรปลิเคต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการเลือกใช้วิธีบล็อกหรือแรนดอมไมเซชัน ซึ่งผู้ทดลองจำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองเป็นหลักในการเลือกใช้วิธีต่าง ๆ

5. การทำการทดลอง ขณะทำการทดลองผู้ทดลองจะต้องติดตามการดำเนินงานอย่างต่อเนื่องเพื่อให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้ เพราะถ้าหากเกิดความผิดพลาดขณะทำการทดลองขึ้น จะทำให้การทดลองนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนการทดลองในตอนแรกจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

6. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ การนำวิธีการทางสถิติมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง วิธีการทางสถิติเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพและทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือ

7. การสรุปและข้อเสนอแนะ เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจำเป็นต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติ ซึ่งในขั้นตอนนี้ผู้ทดลองจะต้องนำเอากราฟหรือแผนภูมิเข้ามาช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการนำเสนอข้อมูลในที่ประชุม และการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกครั้ง (ปารเมศ ชูติมา, 2545)

#### 2.2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

ในกรณีที่เราสนใจศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของประชากรตั้งแต่สองชุดขึ้นไป และต้องการทำการทดสอบเพียงครั้งเดียวสามารถที่จะทำการวิเคราะห์ได้ โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการทำการทดสอบทีละคู่

การวิเคราะห์ความแปรปรวนจัดเป็นวิธีการพื้นฐานทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง

(Response:  $y$ ) หรือลักษณะทางคุณภาพ (Quality Characteristics) ที่สนใจหรือการปรับปรุงของผลิตภัณฑ์ (ผลลัพธ์: Output) จากระบบหรือกระบวนการ

การทดลองอย่างสุ่มสมบูรณ์หรือการจำแนกทางเดียว (Complete Randomized Design: CRD หรือ One-Way ANOVA) เป็นการสนใจศึกษาปัจจัยเพียงปัจจัยเดียวที่ระดับต่างกัน เพื่อดูว่าระดับที่แตกต่างกันของปัจจัยนั้น จะมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองอย่างไร มีนัยสำคัญหรือไม่อย่างไร

จากความแปรปรวนทั้งหมดที่ปรับแล้วด้วยค่าเฉลี่ย = ความแปรปรวนจากปัจจัย + ความแปรปรวนจากค่าผิดพลาด จะเห็นได้ว่าแหล่งที่มา (Source) ของความแปรปรวนแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ซึ่งจะเขียนในตาราง ANOVA ต่อไป

และสามารถเขียนแทนด้วย  $SST = SSA + SSE$

โดย  $SST =$  ผลบวกกำลังสองของทั้งหมดที่ปรับแล้ว (Sum Square of Total)

$SSA =$  ผลบวกกำลังสองของปัจจัย A หรือวิธีปฏิบัติ (Sum Square of Factor A Effect or Treatment)

และ  $SSE =$  ผลบวกกำลังสองของค่าผิดพลาดหรือสิ่งที่อธิบายไม่ได้ (Sum Square Error or Residuals)

การวัดความแปรผันจากข้อมูลในการทดลองนั้น จะใช้ตัวประมาณค่าของความแปรผัน (Variance) ที่ดีที่สุด คือ ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสอง (MS – Mean Square) โดยที่ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสองสามารถคำนวณได้จาก

$$MS = SS / DF$$

โดย  $SS =$  ผลบวกกำลังสอง (Sum of Square)

$DF =$  ชั้นของความอิสระ (Degree of Freedom)

สถิติทดสอบ (Test Statistic) ที่ใช้นำมาเปรียบเทียบค่าความแปรผัน คือ

$$F = MSA / MSE$$

โดย  $MSA =$  ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสองของปัจจัย

$MSE =$  ค่าเฉลี่ยผลบวกกำลังสองของความผิดพลาดแบบสุ่ม

การเปรียบเทียบค่าสถิติสำหรับทดสอบ F กับ  $F_{\alpha, v_1, v_2}$

ถ้า  $F \geq F_{\alpha, v_1, v_2}$  ปฏิเสธ  $H_0$

ถ้า  $F < F_{\alpha, v_1, v_2}$  ยอมรับ  $H_0$

โดย  $\alpha =$  ระดับนัยสำคัญ (Level of Significance)

$v_1 =$  ชั้นของความอิสระของปัจจัย

$V_2$  =  $\frac{1}{n}$   $\sum_{i=1}^n$   $(x_i - \bar{x})^2$   $\sum_{j=1}^m$   $(y_{ij} - \bar{y}_j)^2$   
 สามารถสรุปและนำไปเขียนตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของการจำแนกทาง  
 เดี่ยว (CRD) ได้ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

การวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีจำแนกทางเดียว

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

### 2.2.5 ข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะสามารถทำได้ และรูปแบบสมการตัวแบบจะ  
 เหมาะสมเมื่อข้อสมมติทั้ง 4 นี้เป็นจริง

1. ข้อมูล หรือ ค่าผิดพลาด ( ) มีการแจกแจงแบบปกติ
2.  $E ( ij ) = 0$  (ค่าเฉลี่ยของค่าผิดพลาดมีค่าเท่ากับ 0)
3.  $V ( ij ) = 2$  (ความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่)
4. ค่าความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน ( $Cov ( i, j ) = 0$ )

### 2.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) คือ การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่  
 เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลอง เช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย  
 A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 เรพลีเคต จะ  
 ประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง

ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง คือ การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบสนอง (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้น ๆ ซึ่งเรียกว่า อิทธิพลหลัก (Main Effect) ในการทดลองบางอย่าง เราอาจพบว่า ความแตกต่างของผลตอบสนองที่เกิดขึ้นบนระดับต่าง ๆ ของปัจจัยหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับอื่น ๆ ทั้งหมดของปัจจัยอื่น ซึ่งหมายความว่า ผลตอบสนองของปัจจัยหนึ่งจะขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยอื่น ๆ นั้นเอง และเราเรียกเหตุการณ์นี้ว่า การมีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเป็นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพเหนือกว่าการทดลองแบบทีละปัจจัย และยังเป็นสิ่งที่จำเป็นเมื่อมีอันตรกิริยาเกิดขึ้น ซึ่งกรณีเช่นนี้ทำให้ผู้ทดลองสามารถหลีกเลี่ยงข้อสรุปที่ผิดพลาดได้ นอกจากนั้นแล้วการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลยังทำให้ประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่าง ๆ ของปัจจัยอื่นได้ และยังสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผล (Valid) ตลอดเงื่อนไขของการทดลองได้อีกด้วย

### 2.3.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ $2^k$

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลใช้มากในการทดลองที่เกี่ยวกับปัจจัยหลายปัจจัย ซึ่งเราต้องการที่จะศึกษาถึงผลรวมที่มีผลตอบสนองที่เกิดขึ้นจากปัจจัยเหล่านั้น อย่างไรก็ตาม ยังมีการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลชนิดพิเศษอีกหลายแบบที่มีความสำคัญ และได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัย

กรณีพิเศษของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ กรณีที่มีปัจจัย  $k$  ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้ อาจเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือเวลา เป็นต้น หรืออาจเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพก็ได้ เช่น เครื่องจักร หรือคนงาน เป็นต้น และใน 2 ระดับที่กล่าวถึงนี้จะแทนระดับ “สูง” หรือ “ต่ำ” ของปัจจัยหนึ่ง ๆ หรือการ “มี” หรือ “ไม่มี” ของปัจจัยนั้น ๆ ก็ได้ ใน 1 เวกเตอร์ที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น  $2 \times 2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$  ข้อมูล และเราเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่าการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  ซึ่งลักษณะเฉพาะของการออกแบบนี้คือ (1) ปัจจัยทั้งหมดมีค่าตายตัว (2) การออกแบบเป็นแบบเชิงสุ่มบริบูรณ์ (Completely Randomized) และ (3) สมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นปกติเป็นที่ยอมรับได้

การออกแบบ  $2^k$  มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงเริ่มแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการที่จะตรวจสอบ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถทำได้เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง  $k$  ชนิดได้อย่างบริบูรณ์โดยใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล ดังนั้น การออกแบบ  $2^k$  จะถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อกรองปัจจัยที่มีอยู่เป็นจำนวนมากให้เหลือน้อยลง เนื่องจากแต่ละปัจจัยของการออกแบบ  $2^k$  ประกอบด้วย 2 ระดับ

การวิเคราะห์การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  ในรูปแบบทั่ว ๆ ไป คือ การออกแบบที่มี  $k$  ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยนั้นประกอบไปด้วย 2 ระดับ แบบจำลองทางสถิติสำหรับการออกแบบ  $2^k$  จะประกอบด้วยผลหลักของ  $k$  ปัจจัย  $\binom{k}{2}$  เทอมจะแสดงความสัมพันธ์ร่วมกันของ 2 ปัจจัย,  $\binom{k}{3}$  เทอมความสัมพันธ์ร่วมกันของ 3 ปัจจัย, ... , และ 1 เทอมความสัมพันธ์ร่วมกันของ  $k$  ปัจจัย นั่นคือ แบบจำลองบริบูรณ์สำหรับการออกแบบ  $2^k$  จะประกอบไปด้วยผลลัพธ์ทั้งสิ้น  $2^k - 1$  ปัจจัย วิธีการทั่วไปในการวิเคราะห์เชิงสถิติของการออกแบบ  $2^k$  ได้ทำการสรุปเอาไว้ดังนี้ คือ การกำหนดปัจจัยที่มีอิทธิพล การกำหนดแบบทดลองเบื้องต้นของการทดลอง การดำเนินการทดสอบทางสถิติ การปรับแบบทดลองให้เหมาะสม การวิเคราะห์ส่วนตกค้างของแบบทดลอง และการอธิบายผลลัพธ์ที่ได้จากแบบการทดลอง

รายละเอียดของบทสรุปเกี่ยวกับขั้นตอนการวิเคราะห์สำหรับการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  คือ

1. ทำการประมาณค่าผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นจากปัจจัยต่าง ๆ และตรวจสอบเครื่องหมาย และขนาดของผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้น ข้อมูลเหล่านี้จะทำให้ผู้ทำการทดลองทราบเบื้องต้นว่า ปัจจัยและเทอมความสัมพันธ์ร่วมกันตัวใดที่มีความสำคัญ และปัจจัยเหล่านี้ควรจะถูกปรับให้อยู่ในทิศทางใดเพื่อที่จะปรับปรุงผลลัพธ์ตอบสนอง ในการสร้างแบบจำลองเบื้องต้นควรที่จะเลือกแบบจำลองแบบเต็มรูปแบบ ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยหลักและเทอมความสัมพันธ์ร่วมกันทั้งหมด

2. ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อที่จะทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยหลักและเทอมความสัมพันธ์ร่วมกัน

3. การตัดเกลาแบบจำลอง ซึ่งขั้นตอนนี้จะเกี่ยวกับการดึงเอาปัจจัยที่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญออกจากแบบจำลองเต็มรูปแบบ

4. การวิเคราะห์ส่วนตกค้าง เพื่อที่จะตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง และตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานที่สร้างขึ้น มีบางครั้งเช่นกันที่การตัดเกลาแบบจำลองเกิดขึ้นภายหลังจากการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง ทั้งนี้เนื่องจากพบว่า แบบจำลองเกิดความไม่เพียงพอหรือสมมติฐานที่กำหนดให้ นั้นไม่ถูกต้องอย่างมาก

5. ทำการวิเคราะห์ด้วยกราฟโดยจะทำการสร้างกราฟปัจจัยหลักและเทอมความสัมพันธ์ร่วมกันขึ้นมา

สำหรับการประมาณค่าของผล หรือค่าผลรวมของกำลังสองของผล จะต้องทำการคำนวณหาค่าคอนทราสต์ที่เกี่ยวข้องกับผลปัจจัยและเทอมของความสัมพันธ์ร่วมกันนั้น ๆ ก่อน โดยใช้สมการที่ 2-1 ดังนี้

$$\text{Contrast}_{AB\dots K} = (a\pm 1)(b\pm 1)\dots(k\pm 1) \quad (2-1)$$

เมื่อทำการคำนวณค่าคอนทราสต์สำหรับผลปัจจัยหลักและเทอมของความสัมพัทธ์ร่วมกันต่าง ๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะสามารถที่จะทำการประมาณค่าผลต่าง ๆ ดังกล่าว และสามารถทำการประมาณค่าของผลรวมกำลังสองได้ ดังแสดงในสมการ 2-2 และสมการ 2-3 ดังนี้

$$AB\dots K = \frac{2}{n2^k} (\text{Contrast}_{AB\dots K}) \quad (2-2)$$

$$SS_{AB\dots K} = \frac{2}{n2^k} (\text{Contrast}_{AB\dots K})^2 \quad (2-3)$$

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหานั้นได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีผู้วิจัยหลายท่านได้นำหลักการออกแบบการทดลองมาใช้เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาในอุตสาหกรรมการผลิต การลดของเสีย การปรับปรุงกระบวนการผลิต และการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต เป็นต้น

สำหรับตัวอย่างงานวิจัยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ ( $2^k$  Factorial Design) ได้แก่ สิริชัย สุรัตน์ชัย (2555) ได้ทำการออกแบบการทดลองแบบ  $2^4$  Factorial Design ในการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องบรรจุยาน้ำ เนื่องจากประสบปัญหาเครื่องบรรจุยาน้ำไม่สามารถเพิ่มความเร็วในการบรรจุยาน้ำได้ จึงทำให้เกิดปัญหาการเปิดให้ทำงานล่วงเวลาทุกวัน ซึ่งส่งผลให้เกิดต้นทุนค่าแรงงานขึ้น ผลจากการทดลองพบว่าสามารถเพิ่มความเร็วของเครื่องบรรจุยาน้ำขึ้นได้จากการตั้งอัตราความเร็วบรรจุที่ 48 ขวด/นาที เป็น 54 ขวด/นาที และทำให้การเปิดทำงานล่วงเวลาต่อวัน ลดลงประมาณ 1 ชั่วโมง ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนด้านแรงงานลดลงประมาณร้อยละ 9 ปะการัง อินทรจินดา (2555) ทำการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการทำความสะอาดแขนจับหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์เพื่อลดปริมาณอนุภาคปนเปื้อนที่ตกค้างบนชิ้นงาน ซึ่งจากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนผังเหตุและผล และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ พบว่ามีปัจจัยที่ส่งผลทั้งสิ้น 7 ปัจจัย จึงทำการทดลองโดยการออกแบบการทดลองแบบ  $2^7$  Factorial Design เพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม จากผลการดำเนินงานวิจัยพบว่าปริมาณอนุภาคปนเปื้อนที่ตกค้างเฉลี่ยลดลงจากเดิม 3,380 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร เหลือเพียง 2,005 อนุภาคต่อตารางเซนติเมตร และปาริฉัตร ดันติเจริญ (2554) ได้ทำการศึกษาปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย



ที่ส่งผลต่อค่าแรงบิดของชิ้นงานชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟชนิดไฟวอต โดยประยุกต์ใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial Design และยังมีการใช้หลักการออกแบบการทดลองของทากูชิเพื่อศึกษาระดับที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยภายใต้สภาวะการันต์ที่แตกต่างกันของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระหว่างการผลิต ซึ่งจากการทดลองพบว่า ค่าแรงบิดที่เหมาะสมที่สุดได้จากการกำหนดระดับของปัจจัย H (จำนวนชั่วโมงที่ใช้ในตู้อบชิ้นงาน) ปัจจัย A (เวลาพักชิ้นงานก่อนประกอบชิ้นงาน) ปัจจัย F (เวลาพักชิ้นงานในตู้มน้ำหนัก) และปัจจัย B (ชนิดน้ำยาทำความสะอาดเบร้ง) ที่ระดับสูง ปัจจัย I (ภาชนะที่ใช้ในตู้อบชิ้นงาน) ที่ระดับปกติ ผลจากการดำเนินการด้วยค่าระดับใหม่ของปัจจัยต่าง ๆ พบว่า ค่าแรงบิดที่ได้รับมีความเหมาะสมกว่าสภาวะการผลิตในปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการวิจัยที่ใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ ( $3^k$  Factorial Design) ได้มีตัวอย่างงานวิจัยอยู่หลากหลายแบบ เช่น ญัฐกานต์ รสดี (2554) ได้ทำการวิจัยแก้ไขปัญหาของเสียประเภทเลนส์บิ่น โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบ  $3^2$  Factorial Design ด้วยการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ในแต่ละระดับปัจจัย จากผลการทดลองทำให้ได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดคือ ค่าแรงกดที่ใช้ในการเจียรในเลนส์เท่ากับ 12 kgf ค่าความเร็วรอบของล้อหินขัดเพชรเท่ากับ 15,800 rpm และงานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการเขียนคู่มือวิธีการปฏิบัติงาน เพื่อเป็นตัวสนับสนุนงานวิจัย ซึ่งหลังจากการปรับปรุงลักษณะของเสียประเภทเลนส์บิ่นสามารถทำให้ลดของเสียจากร้อยละ 9.04 ลดลงเหลือร้อยละ 3.97 ต่อเดือน อีกทั้งยังทำให้เครื่องตัดหน้าเลนส์มีมาตรฐานการทำงานอีกด้วย และชยาภรณ์ พร้อมมูล (2557) ทำการศึกษาการลดจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ  $3^3$  Factorial Design เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทฉีดขึ้นรูปไม่เต็มแบบ โดยพบว่าปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์บกพร่อง คือ อุณหภูมิในการฉีดพลาสติก ความเร็วในการฉีดพลาสติก และแรงดันในการฉีดพลาสติก หลังจากการทดลองเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมและนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต พบว่าผลิตภัณฑ์บกพร่องประเภทฉีดขึ้นรูปไม่เต็มแบบลดลงจากร้อยละ 30.40 เหลือเพียงร้อยละ 0.68

จากการสืบค้นงานวิจัยที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า การแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการออกแบบการทดลองสามารถดำเนินการตรวจสอบสาเหตุของปัญหาได้อย่างรวดเร็ว มีความแม่นยำ และความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างสูง

### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยฉบับนี้จะทำการวางแผนงานวิจัยอย่างเป็นลำดับขั้นตอน เพื่อให้ผลการวิจัยที่เกิดขึ้นมีประสิทธิภาพและสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้ ซึ่งทางผู้วิจัยจะเริ่มจากการวิเคราะห์ปัญหาทั้งหมดที่เกิดขึ้นในกระบวนการ สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ไปจนถึงการวิเคราะห์การทดลอง โดยมีขั้นตอนดังนี้

#### 3.1 ศึกษากระบวนการผลิตเพลลาหมุน



ภาพที่ 3.1 กระบวนการผลิตเพลลาหมุน

### 3.1.1 กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน (Turning Process)

เป็นขั้นตอนแรกในการผลิตเพลลาหมุนโดยกระบวนการนี้จะอาศัยการทำงานของเครื่องกลึงอัตโนมัติที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุม (Computer Numerical Control: CNC) หรือเครื่องกลึง CNC ดังภาพที่ 3.2 ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำการ ตัด-กลึง ขึ้นรูปชิ้นงาน จากวัตถุดิบที่เป็นสแตนเลสตีลบาร์ให้กลายเป็นชิ้นงานที่มีขนาดและรูปร่างตามแบบที่ลูกค้ากำหนด



ภาพที่ 3.2 ลักษณะเครื่องกลึง CNC ที่ใช้ในการผลิตเพลลาหมุนของบริษัทที่ทำกรวิจัย

### 3.1.2 กระบวนการขัดผิวชิ้นงาน (Deburring Process)

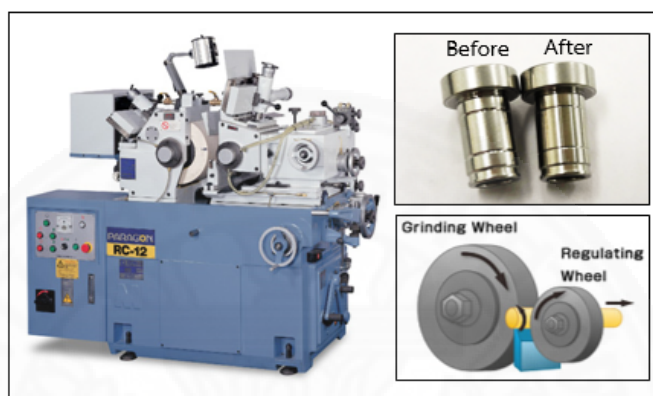
เป็นขั้นตอนการขัดผิวชิ้นงานเพื่อลบความคมของชิ้นงานหลังผ่านการกลึงขึ้นรูปจากเครื่องกลึง CNC และยังช่วยในการกำจัด ครีบ หรือเสี้ยน ที่เกิดจากการตัดของใบมีดได้อีกด้วย โดยหลักการทำงานของกระบวนการนี้จะอาศัยการไม่ระหว่ง หินขัด ชิ้นงาน และน้ำยาขัด ด้วยสั้ดส่วนที่เหมาะสม ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ลักษณะเครื่องขัดผิวชิ้นงานและหินขัด ที่ใช้ในกระบวนการลบคมของชิ้นงาน

### 3.1.3 กระบวนการเจียรระโนผิวรอบนอกชิ้นงาน (Centerless Grinding)

เป็นขั้นตอนการเจียรระโนผิวชิ้นงานเฉพาะตำแหน่งเส้นผ่านศูนย์กลางรอบนอก (Outer Diameter: OD) เท่านั้น เพื่อเป็นการควบคุมขนาดของตำแหน่ง OD ได้อย่างละเอียดถึง 2 ไมโครเมตร โดยการทำงานของกระบวนการนี้จะอาศัยการขัดของล้อหินที่หมุนด้วยความเร็วคงที่ ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ลักษณะเครื่องขัดผิวบริเวณตำแหน่ง OD ของชิ้นงาน

### 3.1.4 กระบวนการล้างทำความสะอาดชิ้นงาน (Washing Process)

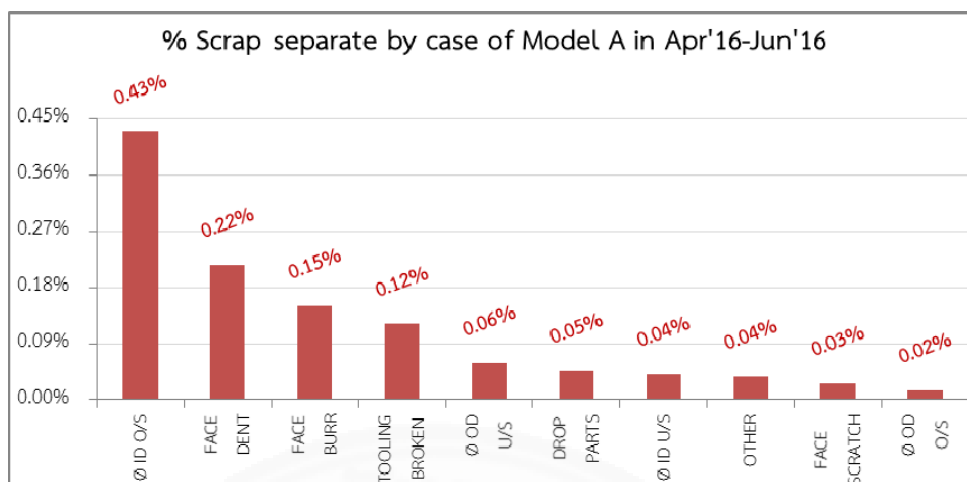
เป็นขั้นตอนในการนำชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นรูปร่างอย่างเสร็จสมบูรณ์ครบทุกกระบวนการมาทำความสะอาด โดยจะเน้นการขจัดคราบน้ำมัน ฝุ่นผงชนิดหยาบ-ละเอียด และสิ่งสกปรกไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ ที่สามารถชะล้างออกได้ด้วยน้ำยาล้างชิ้นงาน

### 3.1.5 กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน (Inspection Process)

เป็นขั้นตอนในการตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานว่าเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดไว้หรือไม่ โดยกระบวนการนี้จะทำการตรวจสอบ ขนาด รูปร่าง และพื้นผิวของชิ้นงาน ในทุกตำแหน่งที่ลูกค้ากำหนด

## 3.2 การวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการผลิตเพลลาหมุนของไพวอด (Shaft)

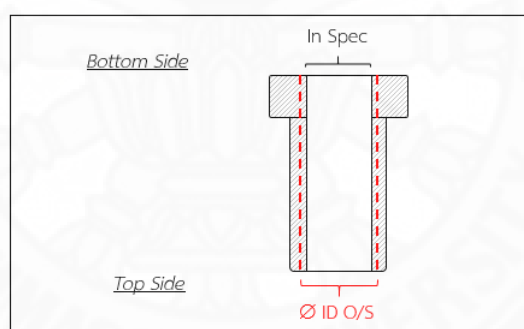
จากปัญหาการเกิดอัตราส่วนของเสียในกระบวนการผลิตเพลลาหมุนนั้น ทางผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมอัตราส่วนของเสียของชิ้นงานตัวอย่าง คือ โมเดล A โดยมีการแบ่งประเภทของเสียและแบ่งตามอัตราส่วนดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 อัตราส่วนของเสียแต่ละประเภทของชิ้นงานโมเดล A

นิยามความหมายของการเรียกชื่อของเสียแต่ละประเภทใน ภาพที่ 3.5

- Ø ID O/S คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลahmen มีขนาดเกินกว่าที่กำหนดในแบบแปลน ดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 ลักษณะของเสียประเภท Ø ID O/S

- FACE DENT คือ ผิวของชิ้นงานบริเวณด้านบนหรือด้านล่าง มีรอยกระแทกหรือเกิดรอยยุบลงไป

- FACE BURR คือ ผิวของชิ้นงานบริเวณด้านบนหรือด้านล่าง มีครีบริบหรือเสี้ยนที่เกิดจากการตัด-กลึง ชิ้นรูปชิ้นงาน

- TOOLING BROKEN คือ ของเสียที่เกิดจากการตัด-กลึง ชิ้นรูปที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากเกิดปัญหาใบมีดหักขณะทำการตัดชิ้นรูปชิ้นงาน

- Ø OD U/S คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเพลahmen มีขนาดน้อยกว่าที่กำหนดในแบบแปลน

- DROP PARTS คือ ของเสียที่เกิดจากการร่วงหล่นของชิ้นงานในกระบวนการผลิต การจัดเรียงภาชนะบรรจุชิ้นงานที่ไม่ถูกต้องจึงทำให้ภาชนะล้ม หรือการเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ไม่เหมาะสม จึงทำให้เกิดอุบัติเหตุและทำให้ชิ้นงานหล่นพื้น

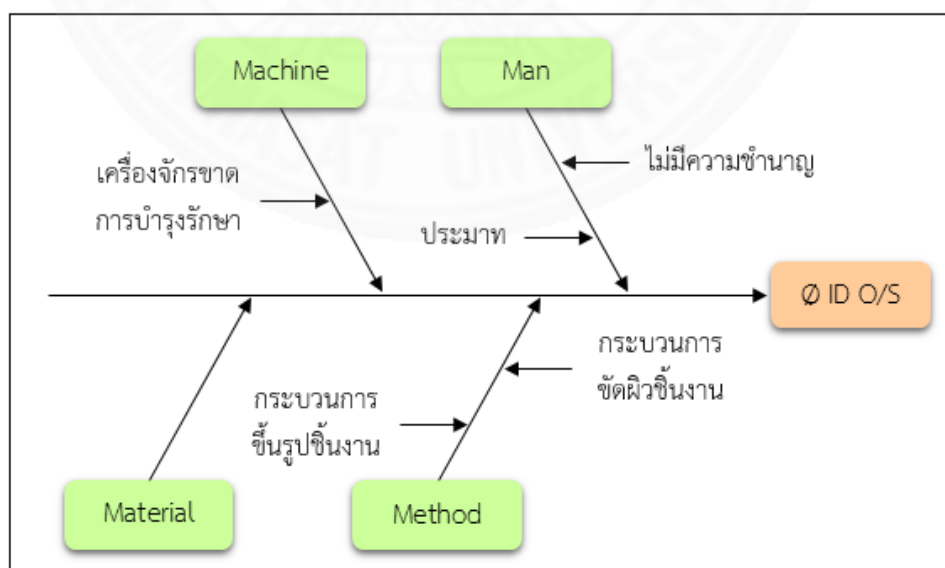
- Ø ID U/S คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนมีขนาดน้อยกว่าที่กำหนดในแบบแปลน

- OTHER คือ ของเสียหลายประเภทรวมกัน เช่น ขนาดแต่ละตำแหน่งไม่ตรงตามที่กำหนดในแบบแปลน การทดลองเดินเครื่องจักรเนื่องจากการตั้งค่าใหม่ ชิ้นงานที่หมดอายุ และชิ้นงานที่ไม่สะอาด

- FACE SCRATCH คือ ผิวของชิ้นงานบริเวณด้านบนหรือด้านล่าง มีรอยขีดข่วนที่เกิดจากการเสียดสีของชิ้นงานกันเอง หรือเกิดจากเครื่องจักร และส่งผลกระทบต่อการใช้งานของลูกค้า

- Ø OD O/S คือ เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของเพลลาหมุนมีขนาดเกินกว่าที่กำหนดในแบบแปลน

จากภาพที่ 3.5 พบว่าอัตราส่วนของเสียประเภทเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเกินกว่ากำหนด (Ø ID O/S) มีอัตราส่วนของเสียสูงที่สุดถึงร้อยละ 0.43 เมื่อเทียบกับยอดผลิตต่อเดือน หรือคิดเป็นจำนวน 4,638 ชิ้น ซึ่งการวิเคราะห์หาปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่ออัตราส่วนของเสียที่เกิดขึ้นจะแสดงในรูปแบบผังแสดงเหตุและผล หรือแผนผังก้างปลา ดังภาพที่ 3.7 โดยแผนผังก้างปลานี้ได้มาจากการระดมสมองของทีมวิศวกรผู้เชี่ยวชาญในโรงงาน



ภาพที่ 3.7 ผังก้างปลาแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Ø ID O/S และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

จากภาพที่ 3.7 ทำให้ทราบถึงปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่ออัตราส่วนของเสียประเภทเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเกินกว่ากำหนด ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลในแต่ละปัจจัยดังนี้

1. พนักงาน (Man) ไม่มีความชำนาญ : จากการศึกษาข้อมูลพบว่า เมื่อมีการรับพนักงานใหม่เข้ามาปฏิบัติงานจะต้องมีการฝึกอบรมทุกครั้ง เพื่อให้พนักงานเข้าใจถึงขั้นตอนและวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง และในสถานที่ปฏิบัติงานจะมีการติดยึดบ่งชี้ตามจุดที่สำคัญเพื่อลดความผิดพลาดของพนักงานใหม่

2. พนักงาน (Man) ประมาท : จากการศึกษาการปฏิบัติงานของพนักงานพบว่า พนักงานทุกคนได้ปฏิบัติงานตามขั้นตอน (Work Instruction: WI) ที่กำหนดไว้อย่างเคร่งครัด

3. เครื่องจักร (Machine) ขาดการบำรุงรักษา: จากการศึกษาตรวจสอบพบว่า ก่อนการปฏิบัติงานทุกครั้งจะมีการตรวจสอบความผิดปกติของเครื่องจักรโดยพนักงานประจำกะ (Self-Inspect) และมีการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันตามระยะเวลาที่กำหนด

4. กระบวนการ (Method) ขึ้นรูปชิ้นงาน : จากการศึกษาตรวจสอบข้อมูลพบว่า ในขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานโดยเครื่องกลึง CNC ตามแบบแปลนที่ถูกค้ำกำหนดนั้น จะมีพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทำหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานหลังการผลิต เพื่อให้ตรงตามแบบแปลนที่กำหนดไว้ โดยการตรวจสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ 1) การตรวจสอบในกรณีที่มีการตั้งค่าเครื่องจักรใหม่ หรือเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ 2) การสุ่มตรวจสอบชิ้นงานในทุกกะการทำงาน

5. กระบวนการ (Method) ขัดผิวชิ้นงาน : จากการศึกษาตรวจสอบข้อมูลพบว่า เงื่อนไขในการปฏิบัติงานของขั้นตอนนี้จะถูกกำหนดเป็นแบบแปลนมาตรฐานโดยฝ่ายวิศวกรโรงงาน ซึ่งในแต่ละเงื่อนไขได้ผ่านการทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสม

ดังนั้น เพื่อประสิทธิภาพในการแก้ไขปัญหา ทางทีมวิศวกรโรงงานจึงนำปัจจัยทั้งหมดที่ได้มาพิจารณาอีกครั้งโดยการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการ หรือ FMEA ซึ่งการวิเคราะห์โดยหลักการ FMEA นี้จะเป็นการคิดค่าระดับคะแนนความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) ของแต่ละปัจจัย ดังนั้น หากพบว่ากระบวนการใดมีค่า RPN สูงที่สุด กระบวนการนั้นจะต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน ซึ่งหลักการ FMEA จะให้ผลที่ชัดเจนไม่เอนเอียง เนื่องจากค่า RPN ที่คำนวณได้จะพิจารณาจาก (1) ระดับความรุนแรงของความเสียหายที่จะเกิดขึ้น (2) ความถี่ในการเกิดคุณลักษณะความเสียหาย และ (3) ความสามารถในการตรวจพบคุณลักษณะความเสียหาย โดยได้กำหนดหลักเกณฑ์การให้คะแนน ดังตารางที่ 3.1

## ตารางที่ 3.1

## เกณฑ์การให้คะแนน FMEA

เกณฑ์การให้คะแนน – ความรุนแรง (Severity: S)	
ลำดับคะแนน	คำอธิบาย
1	ลักษณะของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อผลิตภัณฑ์ ลูกค้านำมาตรวจสอบได้
2 – 3	ลักษณะของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อผลิตภัณฑ์ ลูกค้าอาจจะสังเกตเห็นถึงความเป็ยงเบนของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้
4 – 6	ลักษณะของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีผลกระทบปานกลางต่อผลิตภัณฑ์ เป็นเหตุให้ลูกค้าไม่พอใจได้ ซึ่งอาจจะนำไปสู่การ degrade ผลิตภัณฑ์ได้
7 – 8	ลักษณะของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีผลกระทบค่อนข้างมากต่อผลิตภัณฑ์ เป็นเหตุให้ลูกค้าไม่พอใจอย่างมาก ซึ่งอาจจะนำไปสู่กระบวนการผลิตที่หยุดชะงักได้ อย่างไรก็ตามในระดับนี้จะไม่มึผลกระทบต่อความปลอดภัยและกฎหมายข้อบังคับของรัฐบาล
9 – 10	ลักษณะของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมีผลกระทบอย่างมากต่อผลิตภัณฑ์ และมีผลกระทบต่อความปลอดภัยและกฎหมายข้อบังคับของรัฐบาล

เกณฑ์การให้คะแนน – ความถี่ของโอกาสที่จะเกิดขึ้น (Occurrence: O)	
ลำดับคะแนน	คำอธิบาย
1	แทบจะไม่มีโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดขึ้น หรือโอกาสที่จะเกิดขึ้นมีเพียงแค่ประมาณ 1 ใน 1,000,000
2	โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดอยู่ในระดับที่น้อยมาก คือ จะอยู่ในช่วง 1 ใน 20,000
3	โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดอยู่ในระดับที่น้อย คือ จะอยู่ในช่วง 1 ใน 4,000
4 – 6	โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดอยู่ในระดับปานกลาง คือ จะอยู่ในช่วงระหว่าง 1 ใน 1,000 ถึง 1 ใน 80
7 – 8	โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดอยู่ในระดับที่สูง คือ จะอยู่ในช่วงระหว่าง 1 ใน 40 ถึง 1 ใน 20
9 – 10	โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดอยู่ในระดับที่สูงมาก คือ สูงกว่า 1 ใน 20



เกณฑ์การให้คะแนน – ความสามารถในการตรวจสอบ (Detection: D)	
ลำดับคะแนน	คำอธิบาย
1	ความสามารถในการตรวจสอบอยู่ในระดับสูงมาก คือ ระบบการควบคุมที่มีอยู่สามารถตรวจสอบหาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดได้อย่างชัดเจน
2 - 5	ความสามารถในการตรวจสอบอยู่ในระดับสูง คือ ระบบการควบคุมที่มีอยู่มีโอกาสที่จะตรวจสอบหาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้
6 - 8	ความสามารถในการตรวจสอบอยู่ในระดับปานกลาง คือ ระบบการควบคุมที่มีอยู่มีโอกาสที่จะสามารถตรวจสอบหาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดได้ในบางส่วน
9	ความสามารถในการตรวจสอบอยู่ในระดับน้อย คือ ระบบการควบคุมที่มีอยู่ไม่สามารถตรวจสอบหาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดได้เลย
10	ความสามารถในการตรวจสอบอยู่ในระดับน้อยมาก คือ ระบบการควบคุมที่มีอยู่ไม่มีโอกาสที่จะสามารถตรวจสอบหาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความผิดพลาดได้เลย

(อ้างอิงจาก D.H. Stamatis, Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution)

จากการวิเคราะห์หาปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่ออัตราส่วนของเสียที่เกิดขึ้นข้างต้น พบว่ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 5 ปัจจัย ดังนั้น ทางที่วิศวกรโรงงานจึงนำแต่ละปัจจัยมาคำนวณเพื่อหาค่าระดับคะแนนความเสี่ยง RPN ดังนี้

### 1. พนักงานไม่มีความชำนาญ

- ความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด; S = 2 เนื่องจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ไม่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปชิ้นงานจึงไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานของลูกค้า

- โอกาสที่จะเกิดความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด; O = 3 เนื่องจากโอกาสที่จะเกิดขึ้นมีน้อยเพราะเมื่อมีการรับพนักงานใหม่เข้ามาปฏิบัติงานจะต้องมีการฝึกอบรมทุกครั้ง เพื่อให้พนักงานเข้าใจถึงขั้นตอนและวิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง

- ความสามารถในการตรวจจับความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด; D = 1 เนื่องจากมีขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน 100 เปอร์เซ็นต์ ก่อนส่งขายให้ลูกค้า

ดังนั้น ค่าระดับคะแนนความเสี่ยง;  $RPN = 2 \times 3 \times 1 = 6$

### 2. พนักงานประมาท

- ความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด; S = 3 เนื่องจากความผิดพลาดที่เกิดขึ้นนี้ไม่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปชิ้นงานจึงไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานของลูกค้า

- โอกาสที่จะเกิดความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด;  $O = 3$  เนื่องจากมีการกำหนดขั้นตอนการปฏิบัติงานไว้ในทุกกระบวนการอย่างชัดเจน และมีบทลงโทษสำหรับความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากความประมาทของพนักงานเอง

- ความสามารถในการตรวจจับความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด;  $D = 2$  เนื่องจากมีขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน 100 เปอร์เซ็นต์ ก่อนส่งขายให้ลูกค้า และมีการสุ่มตรวจสอบการปฏิบัติงานของพนักงานอยู่เป็นประจำ

ดังนั้น ค่าระดับคะแนนความเสี่ยง;  $RPN = 3 \times 3 \times 2 = 18$

### 3. เครื่องจักรขาดการบำรุงรักษา

- ความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด;  $S = 7$  เนื่องจากชิ้นงานมีความละเอียดถึงระดับไมโครเมตร ดังนั้น หากเครื่องจักรขาดการบำรุงรักษาจะทำให้ชิ้นงานที่ผลิตออกมามีความคลาดเคลื่อนไปจากที่กำหนดไว้ได้ง่าย

- โอกาสที่จะเกิดความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด;  $O = 3$  เนื่องจากมีการบำรุงรักษาอยู่เป็นประจำโดยได้กำหนดเป็นระยะเวลาไว้ในเอกสารอย่างชัดเจน

- ความสามารถในการตรวจจับความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด;  $D = 4$  เนื่องจากมีขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน 100 เปอร์เซ็นต์ ก่อนส่งขายให้ลูกค้า และมีการสุ่มตรวจสอบการทำงานของเครื่องจักรอยู่เป็นประจำ

ดังนั้น ค่าระดับคะแนนความเสี่ยง;  $RPN = 7 \times 3 \times 4 = 84$

### 4. กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน

- ความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด;  $S = 8$  เนื่องจากหากกระบวนการขึ้นรูปไม่สมบูรณ์ หรือมีความผิดปกติของกระบวนการ จะส่งผลโดยตรงต่อขนาดและลักษณะของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไป

- โอกาสที่จะเกิดความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด;  $O = 3$  เนื่องจากในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานได้มีการควบคุมการทำงานโดยแบบแปลนที่เป็นมาตรฐาน และมีพนักงานผู้เชี่ยวชาญในการปฏิบัติงาน ดังนั้น โอกาสที่จะเกิดความผิดพลาดจึงอยู่ในระดับที่น้อย

- ความสามารถในการตรวจจับความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด;  $D = 5$  เนื่องจากมีขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน 100 เปอร์เซ็นต์ ก่อนส่งขายให้ลูกค้า และมีการสุ่มตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานหลังกระบวนการขึ้นรูปตามมาตรฐานการตรวจสอบของส่วนงานควบคุมคุณภาพ

ดังนั้น ค่าระดับคะแนนความเสี่ยง;  $RPN = 8 \times 3 \times 5 = 120$

### 5. กระบวนการขัดผิวชิ้นงาน

- ความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด;  $S = 8$  เนื่องจากกระบวนการนี้เป็นกระบวนการขัดผิวชิ้นงานเพื่อลบ ครีบ เลี่ยน หรือรอยขีดข่วน เพื่อให้ชิ้นงานมีความเรียบเนียน แต่ในการทำงานอาจส่งผลกระทบต่อขนาดของชิ้นงานที่จะเปลี่ยนแปลงไป เพราะการขัดระหว่างหินขัดกับชิ้นงาน

- โอกาสที่จะเกิดความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด;  $O = 9$  เนื่องจากปัจจุบันยังคงพบปัญหาชิ้นงานมีขนาดเปลี่ยนแปลงไปในบางตำแหน่งหลังผ่านกระบวนการขัดผิวนี้

- ความสามารถในการตรวจจับความล้มเหลวหรือข้อผิดพลาด;  $D = 5$  เนื่องจากมีขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน 100 เปอร์เซ็นต์ ก่อนส่งขายให้ลูกค้า  
ดังนั้น ค่าระดับคะแนนความเสี่ยง;  $RPN = 8 \times 9 \times 5 = 360$

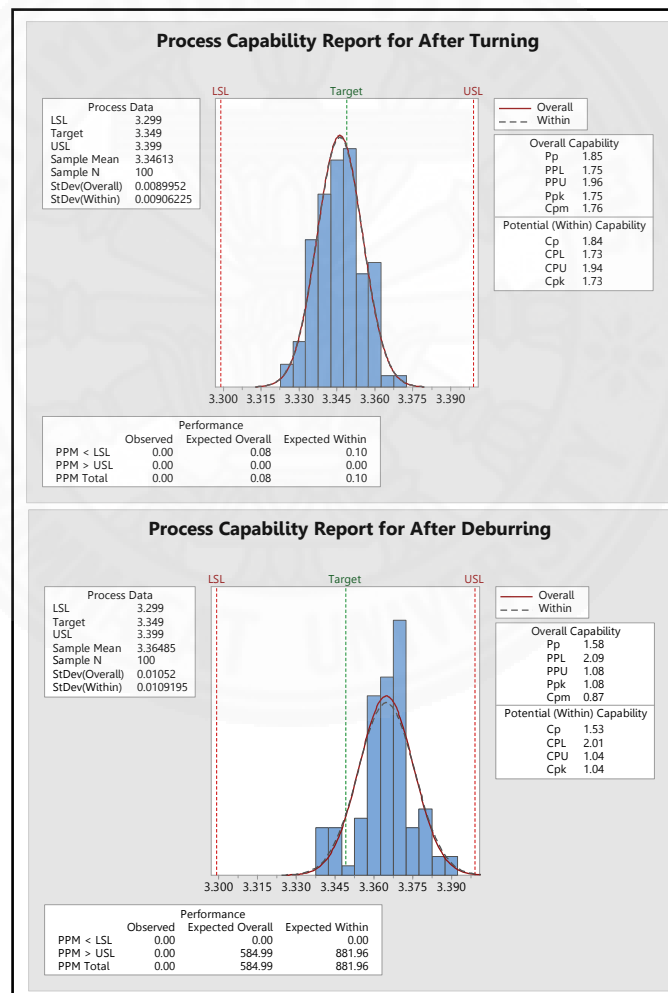


ตารางที่ 3.2

ผลการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการผลิตเพลลาหมุน

กระบวนการ	คุณลักษณะ ความเสียหาย	ผลกระทบ	ความรุนแรง (Severity: S)	สาเหตุของ คุณลักษณะความเสียหาย	โอกาสในการเกิด (Occurrence: O)	วิธีการควบคุมในปัจจุบัน	โอกาสที่พบ (Detection: D)	Risk Priority Number: RPN
พนักงานไม่มีความ ชำนาญ	ปฏิบัติงานผิดขั้นตอน	เกิดของเสียในกระบวนการ	2	พนักงานใหม่	3	อบรมพนักงานให้ปฏิบัติงาน ตามขั้นตอนที่กำหนดไว้	1	6
พนักงานประมาท	ปฏิบัติงานไม่ตรงตาม ข้อกำหนด	เกิดของเสียในกระบวนการ	3	พนักงานต้องการปฏิบัติงาน ให้ทันเวลา	3	อบรมพนักงานให้ปฏิบัติงานตามขั้นตอนที่ กำหนดไว้และกำหนดบทลงโทษสำหรับ พนักงานที่ไม่ปฏิบัติงาน ตามข้อกำหนด	2	18
เครื่องจักรขาดการ บำรุงรักษา	เครื่องจักรผลิตงาน ไม่ได้มาตรฐาน	ไม่สามารถผลิตงาน ได้ตามเป้าหมาย	7	ไม่มีการตรวจสอบเครื่องจักร ก่อนการปฏิบัติงาน	3	กำหนดขั้นตอนการตรวจสอบ ความผิดปกติของเครื่องจักร ก่อนการปฏิบัติงานทุกครั้ง	4	84
กระบวนการ ขึ้นรูปชิ้นงาน	เครื่องจักรผลิตงาน ไม่ได้มาตรฐาน	เกิดของเสียในกระบวนการ	8	ความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักร	3	มีการสุ่มตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน 2 ชิ้น/ เครื่อง/ 2 ชั่วโมง	5	120
กระบวนการ ขัดผิวชิ้นงาน	เครื่องจักรผลิตงาน ไม่ได้มาตรฐาน	เกิดของเสียในกระบวนการ	8	การควบคุมกระบวนการผลิต ไม่เหมาะสม	9	กำหนดเงื่อนไขการทำงาน ของกระบวนการเป็นเอกสารควบคุม	5	360

จากตารางที่ 3.2 จะพบว่ากระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานและกระบวนการขัดผิวชิ้นงานมีค่า RPN ค่อนข้างสูงกว่าข้อบกพร่องประเภทอื่น ๆ เนื่องจากเป็นขั้นตอนในการสัมผัสชิ้นงานโดยตรงจึงมีความเสี่ยงสูงที่จะก่อให้เกิดอัตราส่วนของเสียได้ง่าย และเมื่อทำการพิจารณาคะแนนความเสี่ยงที่ได้เทียบกับข้อกำหนดของบริษัทที่ทำการวิจัย คือ ถ้าคะแนนจากการประเมินเกิน 100 คะแนน จำเป็นต้องรีบดำเนินการแก้ไขเพื่อลดความเสี่ยงของโอกาสการเกิดข้อบกพร่อง ดังนั้นจากตารางที่ 3.2 คะแนนความเสี่ยงของกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 120 และกระบวนการขัดผิวชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 360 จึงนำทั้ง 2 กระบวนการนี้มาวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงที่ก่อให้เกิดอัตราส่วนของเสียในกระบวนการ



ภาพที่ 3.8 ความสามารถของกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน (Turning) และกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน (Deburring) โดยทำการเก็บค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุน

จากการเก็บข้อมูลของทั้ง 2 กระบวนการ ดังภาพที่ 3.8 จะเห็นได้ว่าค่า  $C_{pk}$  ของกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 1.73 ซึ่งหมายความว่า กระบวนการนี้ยังสามารถควบคุมค่าของชิ้นงานให้อยู่ในช่วงที่กำหนดได้เป็นอย่างดี แต่ค่า  $C_{pk}$  ของกระบวนการขัดผิวชิ้นงานมีค่าเท่ากับ 1.04 เมื่อเทียบกับค่า  $C_{pk}$  ที่ลูกค้ายอมรับนั้นอยู่ที่ 1.33 ดังนั้น จะพบว่ากระบวนการขัดผิวชิ้นงานยังมีค่า  $C_{pk}$  น้อยกว่าที่ลูกค้ายอมรับอยู่มาก ทางผู้วิจัยจึงทำการศึกษาทดลองหาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่า  $C_{pk}$  ที่ไม่บรรลุเป้าหมายของกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน เพื่อปรับปรุงกระบวนการให้อยู่ในค่าที่ควบคุม และลดอัตราส่วนของเสียที่จะเกิดขึ้นจากกระบวนการนี้

### 3.3 การเลือกระดับปัจจัย และขอบเขต

จากผลการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการผลิตเพลลาหมุน (ตารางที่ 3.2) พบว่า กระบวนการขัดผิวชิ้นงาน มีค่า RPN สูงที่สุดเมื่อเทียบกับกระบวนการหรือข้อบกพร่องประเภทอื่น ๆ และจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการพบว่าค่า  $C_{pk}$  ของกระบวนการขัดผิวชิ้นงานไม่บรรลุเป้าหมายที่ลูกค้ายอมรับได้ เนื่องจากกระบวนการทำงานของขั้นตอนนี้เป็น การขัดระหว่างหินขัดกับชิ้นงานโดยอาศัยแรงเหวี่ยงของเครื่องจักร จึงยากในการควบคุมขนาดที่จะเปลี่ยนไปของชิ้นงาน ซึ่งจากการศึกษาปัญหาและข้อมูลของกระบวนการขัดนี้ พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3

ปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุน

ลำดับที่	ปัจจัย	ลำดับที่	ปัจจัย
1	ขนาดของหินขัด	5	ชนิดของน้ำยาขัด
2	ปริมาณหินขัด	6	ปริมาณน้ำยาขัด
3	จำนวนชิ้นงาน	7	ความเร็วรอบของเครื่องจักร
4	เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน	8	ความชำนาญของพนักงาน

#### 3.3.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการคัดเลือกปัจจัย

เพื่อให้การทดลองนี้เป็นไปตามกระบวนการออกแบบการทดลองทางผู้วิจัยจึงต้องพิจารณาถึงปัจจัยที่จะนำมาใช้ในการทดลอง โดยมีเกณฑ์ในการพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. ปัจจัยที่เลือกมานั้นจะต้องสามารถใช้ได้จริงในกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน

2. ปัจจัยที่เลือกมานั้นจะต้องไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตชิ้นงาน
3. ปัจจัยที่เลือกมานั้นจะต้องสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ และสามารถควบคุมให้ใช้

ปัจจัยนั้นได้ตลอดการทดลอง

จากการพิจารณาปัจจัยทั้ง 8 โดยเกณฑ์การคัดเลือกปัจจัยข้างต้น พบว่ามี 3 ปัจจัยที่ไม่สามารถนำมาทำการทดลองได้เนื่องจากข้อจำกัดต่าง ๆ ดังนี้

- จำนวนชิ้นงาน : ในการออกแบบการทดลองนี้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงจำนวนชิ้นงานที่จะนำไปทำการทดลองได้ เนื่องจากจำนวนชิ้นงานนี้ได้ถูกกำหนดให้เป็นมาตรฐานในการส่งต่อชิ้นงานไปยังกระบวนการถัดไป และเพื่อให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

- ชนิดของน้ำยาขัด : ในการออกแบบการทดลองนี้ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงชนิดของน้ำยาขัดได้ เนื่องจากน้ำยาขัดที่ใช้ในปัจจุบันมีคุณสมบัติที่ช่วยในการหล่อลื่นชิ้นงานและหินขัดในระหว่างการขัดเพื่อลดรอยและแรงกระทบกระแทกกันของชิ้นงานได้เป็นอย่างดี

- ความชำนาญของพนักงาน : ในการออกแบบการทดลองนี้ไม่สามารถกำหนดพนักงาน หรือกะการทำงาน of พนักงานได้ เนื่องจากพนักงานแต่ละคนต้องเข้าทำงานตามเงื่อนไขที่บริษัทกำหนด และมีการเปลี่ยนกะการทำงานกันทุกสัปดาห์

### 3.3.2 ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลองมีทั้งสิ้น 5 ปัจจัย คือ 1) ขนาดของหินขัด 2) ปริมาณหินขัด 3) เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน 4) ปริมาณน้ำยาขัด และ 5) ความเร็วรอบของเครื่องจักร ซึ่งแต่ละปัจจัยเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ โดยในการทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงระดับของแต่ละปัจจัย

## 3.4 บทสรุป

ขั้นตอนของการวิจัยได้เริ่มจากการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลของชิ้นงานกลุ่มตัวอย่างและพบว่าอัตราส่วนของเสียประเภทเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเกินกว่าที่กำหนดนั้นมีอัตราส่วนของเสียสูงที่สุด หลังจากนั้นได้ทำการศึกษาขั้นตอนของการผลิตชิ้นงานเพื่อวิเคราะห์ปัญหาของแต่ละขั้นตอน และทำการศึกษาปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่ออัตราส่วนของเสียประเภทนี้โดยการประยุกต์ใช้แผนผังก้างปลา และได้นำปัจจัยทั้งหมดที่ได้จากแผนผังก้างปลาทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการ หรือ FMEA เพื่อเป็นการให้คะแนนความเสี่ยงของแต่ละปัจจัย ซึ่งหลังจากการพิจารณา FMEA แล้วพบว่ากระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานและกระบวนการขัดผิวชิ้นงานมีค่าคะแนนความเสี่ยงสูงกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทางผู้วิจัยจึง

เลือกทั้ง 2 กระบวนการนี้มาวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ และพบว่ากระบวนการขัดผิวชิ้นงานนั้นมีค่า  $C_{pk}$  น้อยกว่าที่ลูกค้ากำหนด ดังนั้น จึงเลือกกระบวนการขัดผิวชิ้นงานมาทำการวิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น

จากการวิเคราะห์กระบวนการขัดผิวชิ้นงานพบว่ามียุปัจจัยทั้งหมด 5 ปัจจัยของกระบวนการนี้ที่อาจส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุน ซึ่งในการออกแบบการทดลองได้นำปัจจัยทั้ง 5 มาทำการทดลองเพื่อค้นหาอันดับของปัจจัยที่เหมาะสมด้วยการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ ( $2^k$ ) เพื่อนำมาปรับปรุงกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน และลดอัตราส่วนของเสียประเภทขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนเกินกว่าที่กำหนด ซึ่งจะแสดงผลของงานวิจัยในบทที่ 4 ต่อไป





## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

#### 4.1 การใช้ข้อมูลทางสถิติและการวิเคราะห์ระดับของปัจจัย

การวิจัยนี้จะใช้หลักการออกแบบการทดลอง (Design of experiment: DOE) โดยประยุกต์ใช้โปรแกรม Minitab 16 ในการวิจัยทางสถิติและวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งการออกแบบการทดลองเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูง และเป็นที่ยอมรับใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต เพื่อปรับปรุงคุณภาพทางด้านวิศวกรรม โดยสามารถลดความผันแปรของกระบวนการและส่งผลให้ความสามารถของกระบวนการมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ลดปริมาณการเกิดของเสีย และสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าเพิ่มขึ้นได้ภายในระยะเวลาหรือทรัพยากรที่จำกัด

การวิเคราะห์ข้อมูลของการออกแบบการทดลองจะประยุกต์ใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ในการพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติจะสามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็น (P-value) ออกมาได้ โดยในการพิจารณาค่าความน่าจะเป็นนั้นจะทำการเปรียบเทียบกับค่า  $\alpha$  ซึ่งถ้าค่าความน่าจะเป็นที่คำนวณได้ในแต่ละปัจจัยมีค่าน้อยกว่าค่า  $\alpha$  แสดงว่าปัจจัยนั้น ๆ มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง และในการวิจัยนี้ได้กำหนดให้ค่า  $\alpha$  มีค่าเท่ากับ 0.05 ทั้งนี้จะทำการการพิจารณา อิทธิพลหลัก (Main effect) และ ปฏิกริยาสัมพันธ์ (Interaction effect) ว่ามีผลต่อตัวแปรตอบสนองนั้นหรือไม่

การออกแบบการทดลองเพื่อใช้ในการศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนด้วยการประมาณค่าความแปรปรวนของผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจาก 5 ปัจจัย โดยมีระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้น ดังตารางที่ 4.1

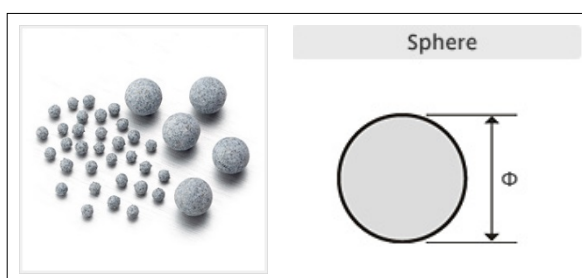
## ตารางที่ 4.1

## ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและระดับในการออกแบบการทดลอง

ลำดับที่	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	
			ค่าที่ใช้ปัจจุบัน	ค่าที่ใช้เปรียบเทียบ
1	ขนาดของหินขัด	A	Sphere $\varnothing 2$	Sphere $\varnothing 3$
2	ปริมาณหินขัด	B	10 Liter/ Tank	5 Liter/ Tank
3	เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน	C	20 min.	10 min.
4	ปริมาณน้ำยาขัด	D	15 cc./ Tank	20 cc./ Tank
5	ความเร็วรอบของเครื่องจักร	E	120 r.p.m.	100 r.p.m.

จากตารางที่ 4.1 ทางผู้วิจัยได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าระดับของแต่ละปัจจัย โดยจะทำการทดลองปัจจัยละ 2 ระดับ คือ ค่าที่ใช้ปัจจุบัน กับค่าที่ใช้เปรียบเทียบ และทำการทดลองซ้ำระดับละ 2 ครั้ง เพื่อยืนยันผลลัพธ์ที่ได้ของแต่ละปัจจัย ซึ่งระดับที่ใช้ในการเปรียบเทียบของแต่ละปัจจัยจะพิจารณาจากการคาดคะเนผลลัพธ์หลังชิ้นงานผ่านการทดลอง ดังนี้

1. ขนาดของหินขัด : หินขัดที่ใช้ในกระบวนการมีลักษณะเป็นแบบทรงกลม ใช้ในการขัดลบคม เสี้ยน ครีบ ของชิ้นงานได้เป็นอย่างดี และยังช่วยให้ผิวของชิ้นงานเรียบเนียนขึ้น ซึ่งขนาดของหินขัดที่ใช้ในปัจจุบัน คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลมเท่ากับ 2 มิลลิเมตร แต่เนื่องจากขนาดของหินขัดในปัจจุบันนั้นมีขนาดเล็กมาก จึงทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างหินขัดกับบริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนมีมากเช่นกัน ส่งผลกระทบให้บริเวณเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการเพิ่มขนาดของหินขัดเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลมเท่ากับ 3 มิลลิเมตร เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุน แต่ยังคงคุณสมบัติการขัดไว้เช่นเดิม



ภาพที่ 4.1 ลักษณะของหินขัดทรงกลม และการวัดขนาดของหินขัด

2. ปริมาณหินขัด : ปริมาณหินขัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ 10 ลิตรต่อถัง ซึ่งเป็นจำนวนที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบระหว่าง ขนาดของชิ้นงาน ขนาดของหินขัด และขนาดของถังขัด แต่ในการทดลองนี้ทางผู้วิจัยจะทำการลดปริมาณของหินขัดลงเหลือเพียง 5 ลิตรต่อถัง เนื่องจากคาดว่าปริมาณหินขัดที่มีมากจะส่งผลต่อการขัดที่มากตามไปด้วย

3. เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน : ปัจจุบันเวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงานนั้น คือ 20 นาทีต่อรอบ ซึ่งจากการพิจารณาระยะเวลาในการขัดนี้ พบว่าหากมีการใช้เวลาในการขัดนานก็จะยิ่งทำให้ชิ้นงานถูกขัดมากขึ้น และอาจส่งผลกระทบต่อขนาดของชิ้นงานที่จะเปลี่ยนไปได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงทำการทดลองลดระยะเวลาในการขัดชิ้นงานลงเหลือเพียง 10 นาทีต่อรอบ

4. ปริมาณน้ำยาขัด : น้ำยาขัดที่ใช้ในกระบวนการขัดนี้จะมีคุณสมบัติในการช่วยหล่อลื่นชิ้นงานและหินขัดในระหว่างการขัด เพื่อลดรอยและแรงกระทบกระแทกกันของชิ้นงาน ช่วยทำความสะอาดผิวของชิ้นงานและกำจัดคราบไขมันต่าง ๆ ที่ติดมากับตัวชิ้นงาน และยังช่วยทำให้ชิ้นงานมีความเงางาม ดังนั้นหากมีการผสมน้ำยาขัดที่มากขึ้นก็อาจจะช่วยลดแรงกระทบกระแทกระหว่างหินขัดกับชิ้นงานได้ดียิ่งขึ้น ทางผู้วิจัยจึงทำการทดลองเพิ่มปริมาณน้ำยาขัดชิ้นงานจาก 15 cc./Tank เป็น 20 cc./Tank

5. ความเร็วรอบของเครื่องจักร : ในระหว่างการเปิดเครื่องจักร ถังขัดก็จะหมุนตามความเร็วรอบที่เครื่องจักรกำหนด ซึ่งในระหว่างการหมุนของถังขัดนั้นชิ้นงานและหินขัดที่อยู่ภายในถังก็จะสัมผัสกัน โดยหากความเร็วรอบในการหมุนของถังมีความเร็วมากเกินไป ก็จะทำให้หินขัดและชิ้นงานมีแรงเหวี่ยงเกิดขึ้น ซึ่งอาจทำให้ชิ้นงานกับหินขัดมีการขัดที่แรงขึ้นด้วย หรืออาจส่งผลกระทบต่อการกระทบกระแทกกันระหว่างชิ้นงานกับหินขัดจนงานมีลักษณะผิดรูปไป ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงทำการทดลองลดความเร็วรอบของเครื่องจักรลงจาก 120 รอบต่อนาที เป็น 100 รอบต่อนาที เพื่อลดการกระทบกระแทกกันระหว่างหินขัดกับชิ้นงาน

#### 4.2 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการคัดเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีทั้งหมด 5 ปัจจัย ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงได้นำปัจจัยทั้ง 5 มาทำการทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One Factor at Time: OFAT) เพื่อคัดกรองปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าผลตอบสนอง และจะนำปัจจัยที่มีผลมาทำการออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial Design:  $2^k$ )

#### 4.2.1 การทดลองแบบ One Factor at Time (OFAT)

ในขั้นตอนนี้จะทำการออกแบบการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุน โดยการออกแบบทดลองแบบ OFAT นี้จะเป็นการทดลองเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัย ครั้งละ 1 ระดับ 1 ปัจจัย แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab และในการพิจารณาความมีอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่ทำการเปลี่ยนแปลงนั้น ทางผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ค่า P-value โดยถ้าพบว่าค่า P-value ของระดับของปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับ 0.05 ทางผู้วิจัยจะทำการเลือกปัจจัยนั้นไปทำการออกแบบการทดลอง Full Factorial Design

สมมติฐานที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

$$H_0 : u_1 = u_2$$

$$H_1 : u_1 \neq u_2$$

โดย  $u_1$  คือ ค่าเฉลี่ยของการทดลองกลุ่มที่ 1

$u_2$  คือ ค่าเฉลี่ยของการทดลองกลุ่มที่ 2

สำหรับการทำการทดลองนี้ได้กำหนดค่าระดับของความเชื่อมั่นของการทดลองคือ 95% ซึ่งเป็นค่าที่ทางบริษัทที่ทำการวิจัยยอมรับที่จะใช้ในการทำการทดลองแต่ละครั้งที่ผ่านมา โดยในการทดลองนี้จะทำการเก็บค่าผลตอบสนองของกลุ่มตัวอย่างหลังจากกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน 30 ตัวอย่างต่อ 1 การทดลอง ซึ่งผลการทดลองของแต่ละปัจจัยได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.2 และสามารถตั้งสมมติฐานได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2

ผลการทดลองของแต่ละปัจจัย

ลำดับที่	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุน									
	ขนาดของหินขัด (Sphere)		ปริมาณหินขัด (Liter/ Tank)		เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน (min.)		ปริมาณน้ำยาขัด (cc./ Tank)		ความเร็วรอบของเครื่องจักร (r.p.m.)	
	Ø2	Ø3	10	5	20	10	15	20	120	100
1	3.3821	3.3606	3.3821	3.3694	3.3821	3.3729	3.3821	3.3640	3.3821	3.3554
2	3.3922	3.3582	3.3922	3.3792	3.3922	3.3825	3.3922	3.3534	3.3922	3.3620
3	3.3556	3.3447	3.3556	3.3481	3.3556	3.3609	3.3556	3.3574	3.3556	3.3590
4	3.3781	3.3637	3.3781	3.3718	3.3781	3.3675	3.3781	3.3654	3.3781	3.3428
5	3.3715	3.3719	3.3715	3.3752	3.3715	3.3719	3.3715	3.3626	3.3715	3.3785
6	3.3668	3.3654	3.3668	3.3532	3.3668	3.3660	3.3668	3.3547	3.3668	3.3436
7	3.3744	3.3633	3.3744	3.3338	3.3744	3.3829	3.3744	3.3596	3.3744	3.3509

ลำดับที่	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุน									
	ขนาดของหินขัด (Sphere)		ปริมาณหินขัด (Liter/ Tank)		เวลาที่ใช้ในการ ขัดชิ้นงาน (min.)		ปริมาณน้ำยาขัด (cc./ Tank)		ความเร็วรอบของ เครื่องจักร (r.p.m.)	
	Ø2	Ø3	10	5	20	10	15	20	120	100
8	3.3685	3.3686	3.3685	3.3778	3.3685	3.3660	3.3685	3.3788	3.3685	3.3498
9	3.3658	3.3660	3.3658	3.3647	3.3658	3.3621	3.3658	3.3747	3.3658	3.3297
10	3.3681	3.3827	3.3681	3.3461	3.3681	3.3538	3.3681	3.3690	3.3681	3.3568
11	3.3705	3.3638	3.3705	3.3669	3.3705	3.3487	3.3705	3.3450	3.3705	3.3628
12	3.3567	3.3614	3.3567	3.3415	3.3567	3.3537	3.3567	3.3652	3.3567	3.3503
13	3.3695	3.3767	3.3695	3.3507	3.3695	3.3745	3.3695	3.3520	3.3695	3.3378
14	3.3689	3.3532	3.3689	3.3648	3.3689	3.3662	3.3689	3.3417	3.3689	3.3633
15	3.3713	3.3586	3.3713	3.3485	3.3713	3.3658	3.3713	3.3422	3.3713	3.3610
16	3.3510	3.3524	3.3510	3.3805	3.3510	3.3680	3.3510	3.3732	3.3510	3.3435
17	3.3704	3.3530	3.3704	3.3753	3.3704	3.3604	3.3704	3.3686	3.3704	3.3490
18	3.3427	3.3768	3.3427	3.3664	3.3427	3.3681	3.3427	3.3672	3.3427	3.3656
19	3.3616	3.3716	3.3616	3.3785	3.3616	3.3720	3.3616	3.3500	3.3616	3.3588
20	3.3667	3.3629	3.3667	3.3503	3.3667	3.3612	3.3667	3.3547	3.3667	3.3367
21	3.3583	3.3539	3.3583	3.3841	3.3583	3.3731	3.3583	3.3758	3.3583	3.3595
22	3.3678	3.3696	3.3678	3.3389	3.3678	3.3775	3.3678	3.3724	3.3678	3.3428
23	3.3754	3.3412	3.3754	3.3670	3.3754	3.3535	3.3754	3.3613	3.3754	3.3455
24	3.3627	3.3631	3.3627	3.3406	3.3627	3.3606	3.3627	3.3635	3.3627	3.3525
25	3.3662	3.3596	3.3662	3.3329	3.3662	3.3471	3.3662	3.3773	3.3662	3.3529
26	3.3733	3.3500	3.3733	3.3569	3.3733	3.3704	3.3733	3.3635	3.3733	3.3396
27	3.3472	3.3717	3.3472	3.3309	3.3472	3.3409	3.3472	3.3533	3.3472	3.3529
28	3.3678	3.3692	3.3678	3.3532	3.3678	3.3731	3.3678	3.3431	3.3678	3.3335
29	3.3481	3.3565	3.3481	3.3706	3.3481	3.3480	3.3481	3.3736	3.3481	3.3621
30	3.3663	3.3474	3.3663	3.3400	3.3663	3.3657	3.3663	3.3738	3.3663	3.3475

**1. ขนาดของหินขัด** การทดสอบสมมติฐานสำหรับ 2 ประชากรด้วย 2 Sample T-test เพื่อต้องการทราบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหินขัดส่งผลต่อค่าตอบสนองหรือขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนหรือไม่ โดยทำการทดลองที่ 2 ระดับ คือ ระดับที่ 1 : Sphere Ø2 และระดับที่ 2 : Sphere Ø3 ส่วนปัจจัยอื่น ๆ กำหนดให้อยู่ในค่าปัจจุบัน

สมมติฐานที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

$$H_0 : u_1 = u_2$$

$$H_1 : u_1 \neq u_2$$

โดย  $u_1$  คือ หินขัด Sphere Ø2

$u_2$  คือ หินขัด Sphere Ø3

จากผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ 1 คือ ขนาดของหินขัด ดังภาพที่ 4.2 พบว่า ขนาดของหินขัด มีค่า P-Value เท่ากับ 0.109 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าขนาดของหินขัดไม่มีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนในกระบวนการขัดชิ้นงาน

**Two-Sample T-Test and CI: Normal Condition, Change Size Media**

Two-sample T for Normal Condition vs Change Size Media

	N	Mean	StDev	SE Mean
Normal Condition	30	3.3662	0.0104	0.0019
Change Size Medi	30	3.36192	0.00984	0.0018

Difference = mu (Normal Condition) - mu (Change Size Media)  
 Estimate for difference: 0.004260  
 95% CI for difference: (-0.000985, 0.009505)  
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.63 P-Value = 0.109 DF = 58  
 Both use Pooled StDev = 0.0101

ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ขนาดของหินขัด

**2. ปริมาณหินขัด** การทดสอบสมมติฐานสำหรับ 2 ประชากรด้วย 2 Sample T-test เพื่อต้องการทราบว่า ปริมาณของหินขัดส่งผลต่อค่าตอบสนองหรือขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนหรือไม่ โดยทำการทดลองที่ 2 ระดับ คือ ระดับที่ 1 : 10 Liter/ Tank และระดับที่ 2 : 5 Liter/ Tank ส่วนปัจจัยอื่น ๆ กำหนดให้อยู่ในค่าปัจจุบัน

สมมติฐานที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

$$H_0 : u_1 = u_2$$

$$H_1 : u_1 \neq u_2$$

โดย  $u_1$  คือ ปริมาณหินขัด 10 Liter/ Tank

$u_2$  คือ ปริมาณหินขัด 5 Liter/ Tank

จากผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณหินขัด ดังภาพที่ 4.3 พบว่าปริมาณหินขัด มีค่า P-Value เท่ากับ 0.035 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปริมาณหินขัดมีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนในกระบวนการขัดชิ้นงาน

Two-Sample T-Test and CI: Normal Condition, Change Quantity Media

Two-sample T for Normal Condition vs Change Quantity Media

	N	Mean	StDev	SE Mean
Normal Condition	30	3.3662	0.0104	0.0019
Change Quantity	30	3.3586	0.0161	0.0029

Difference = mu (Normal Condition) - mu (Change Quantity Media)  
 Estimate for difference: 0.007590  
 95% CI for difference: (0.000541, 0.014639)  
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 2.16 **P-Value = 0.035** DF = 49

ภาพที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณหินขัด

**3. เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน** การทดสอบสมมติฐานสำหรับ 2 ประชากรด้วย 2 Sample T-test เพื่อต้องการทราบว่า เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงานส่งผลต่อค่าตอบสนองหรือขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนหรือไม่ โดยทำการทดลองที่ 2 ระดับ คือ ระดับที่ 1 : 20 min. และระดับที่ 2 : 10 min. ส่วนปัจจัยอื่น ๆ กำหนดให้อยู่ในค่าปัจจุบัน

สมมติฐานที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

$$H_0 : u_1 = u_2$$

$$H_1 : u_1 \neq u_2$$

โดย  $u_1$  คือ ใช้เวลา 20 min. ในการขัดชิ้นงาน

$u_2$  คือ ใช้เวลา 10 min. ในการขัดชิ้นงาน

จากผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ 3 คือ เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน ดังภาพที่ 4.4 พบว่าเวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน มีค่า P-Value เท่ากับ 0.534 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าเวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงานไม่มีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนในกระบวนการขัดชิ้นงาน

**Two-Sample T-Test and CI: Normal Condition, Change Cycle Time**

Two-sample T for Normal Condition vs Change Cycle Time

	N	Mean	StDev	SE Mean
Normal Condition	30	3.3662	0.0104	0.0019
Change Cycle Tim	30	3.3645	0.0104	0.0019

Difference = mu (Normal Condition) - mu (Change Cycle Time)  
 Estimate for difference: 0.001683  
 95% CI for difference: (-0.003704, 0.007071)  
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.63 P-Value = 0.534 DF = 58  
 Both use Pooled StDev = 0.0104

ภาพที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน

**4. ปริมาณน้ำยาขัด** การทดสอบสมมติฐานสำหรับ 2 ประชากรด้วย 2 Sample T-test เพื่อต้องการทราบว่า ปริมาณของน้ำยาขัดชิ้นงานส่งผลต่อค่าตอบสนองหรือขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนหรือไม่ โดยทำการทดลองที่ 2 ระดับ คือ ระดับที่ 1 : 15 cc./ Tank และระดับที่ 2 : 20 cc./ Tank ส่วนปัจจัยอื่น ๆ กำหนดให้อยู่ในค่าปัจจุบัน

สมมติฐานที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

$$H_0 : u_1 = u_2$$

$$H_1 : u_1 \neq u_2$$

โดย  $u_1$  คือ ปริมาณน้ำยาขัด 15 cc./ Tank

$u_2$  คือ ปริมาณน้ำยาขัด 20 cc./ Tank

จากผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ 4 คือ ปริมาณน้ำยาขัด ดังภาพที่ 4.5 พบว่าปริมาณน้ำยาขัด มีค่า P-Value เท่ากับ 0.127 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าปริมาณน้ำยาขัดไม่มีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนในกระบวนการขัดชิ้นงาน



Two-Sample T-Test and CI: Normal Condition, Change Quantity Compound

Two-sample T for Normal Condition vs Change Quantity Compound

	N	Mean	StDev	SE Mean
Normal Condition	30	3.3662	0.0104	0.0019
Change Quantity	30	3.3619	0.0110	0.0020

Difference = mu (Normal Condition) - mu (Change Quantity Compound)  
 Estimate for difference: 0.004283  
 95% CI for difference: (-0.001261, 0.009828)  
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.55 P-Value = 0.127 DF = 57

ภาพที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำยาขัด

**5. ความเร็วรอบของเครื่องจักร** การทดสอบสมมติฐานสำหรับ 2 ประชากรด้วย 2 Sample T-test เพื่อต้องการทราบว่า ความเร็วรอบของเครื่องจักรส่งผลต่อค่าตอบสนองหรือขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนหรือไม่ โดยทำการทดลองที่ 2 ระดับ คือ ระดับที่ 1 : 120 r.p.m. และระดับที่ 2 : 100 r.p.m. ส่วนปัจจัยอื่น ๆ กำหนดให้อยู่ในค่าปัจจุบัน สมมติฐานที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

$$H_0 : u_1 = u_2$$

$$H_1 : u_1 \neq u_2$$

โดย  $u_1$  คือ ความเร็วรอบของเครื่องจักรเท่ากับ 120 r.p.m.

$u_2$  คือ ความเร็วรอบของเครื่องจักรเท่ากับ 100 r.p.m.

จากผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ 5 คือ ความเร็วรอบของเครื่องจักร ดังภาพที่ 4.6 พบว่า ความเร็วรอบของเครื่องจักร มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าความเร็วรอบของเครื่องจักรมีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนในกระบวนการขัดชิ้นงาน

Two-Sample T-Test and CI: Normal Condition, Change RPM				
Two-sample T for Normal Condition vs Change RPM				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Normal Condition	30	3.3662	0.0104	0.0019
Change RPM	30	3.3515	0.0109	0.002
Difference = mu (Normal Condition) - mu (Change RPM)				
Estimate for difference: 0.014647				
95% CI for difference: (0.009140, 0.020153)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 5.32 P-Value = 0.000 DF = 58				
Both use Pooled StDev = 0.0107				

ภาพที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความเร็รรอบของเครื่องจักร

จากผลการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 5 ปัจจัย ดังตารางที่ 4.3 พบว่า ปริมาณหินขัด และความเร็รรอบของเครื่องจักรมีค่า P-Value ต่ำกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้น ทั้ง 2 ปัจจัยนี้จึงมีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนในกระบวนการขัดชิ้นงาน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 4.3

ผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

ลำดับที่	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย	การทดสอบสมมติฐาน
			P-Value
1	ขนาดของหินขัด	A: Sphere Ø2	0.109
		B: Sphere Ø3	
2	ปริมาณหินขัด	A: 10 Liter/ Tank	0.035
		B: 5 Liter/ Tank	
3	เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน	A: 20 min.	0.534
		B: 10 min.	
4	ปริมาณน้ำยาขัด	A: 15 cc./ Tank	0.127
		B: 20 cc./ Tank	
5	ความเร็รรอบของเครื่องจักร	A: 120 r.p.m.	0.000
		B: 100 r.p.m.	

#### 4.2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2<sup>k</sup>

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการดำเนินการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2<sup>2</sup> เพื่อเป็นการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีอิทธิพล ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง โดยจะทำการทดลองปรับตั้งค่าของ 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ คือ ค่าที่ใช้ปัจจุบัน กับค่าที่ใช้เปรียบเทียบ ดังตารางที่ 4.4 และทำการทดลองซ้ำระดับละ 4 ครั้ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อยืนยันผลลัพธ์ที่ได้ของแต่ละปัจจัย

ตารางที่ 4.4

ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัยที่มีอิทธิพล	ระดับของปัจจัย	
1. ปริมาณหินขัด (Quantity Media)	10 Liter/ Tank	5 Liter/ Tank
2. ความเร็วรอบของเครื่องจักร (R.P.M. Motor)	120 r.p.m.	100 r.p.m.

การทดลองนี้จะทำการเก็บค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนของชิ้นงานกลุ่มตัวอย่างหลังจากผ่านกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน โดยจะเก็บค่าจำนวน 15 ตัวอย่างต่อ 1 การทดลอง แล้วนำค่าที่ได้จากชิ้นงานทั้งหมดมาคำนวณเพื่อหาค่าเฉลี่ย ดังตารางที่ 4.5 เพื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Minitab ต่อไป

ตารางที่ 4.5

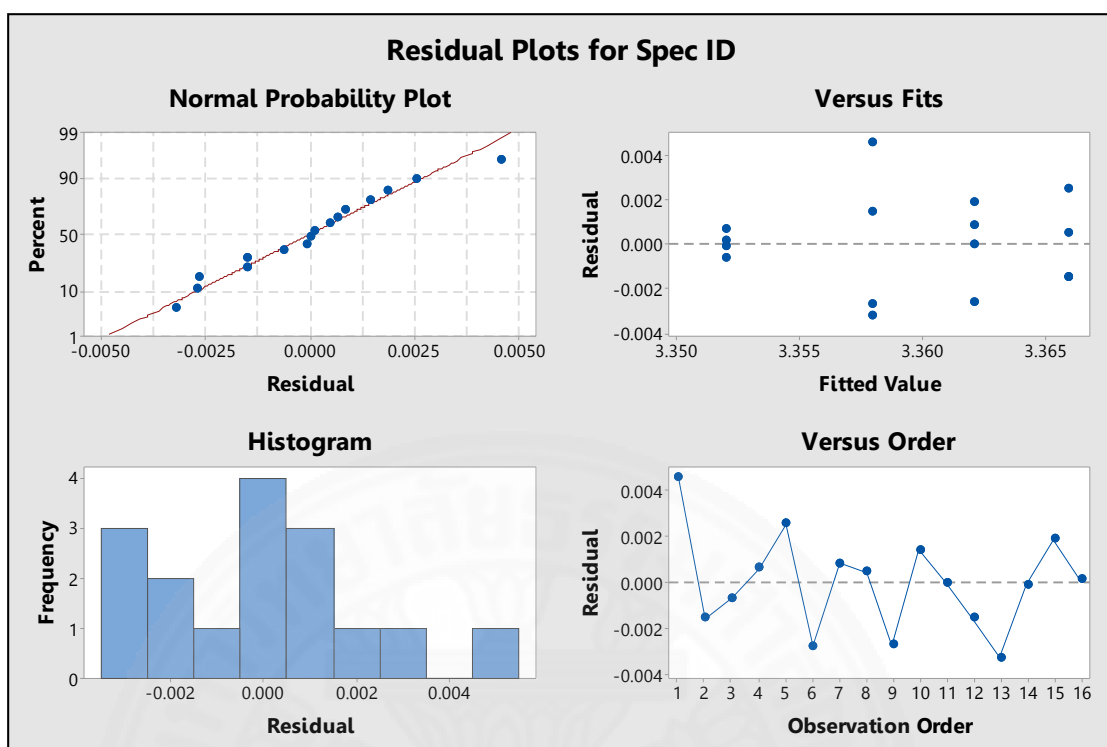
การออกแบบการทดลอง และผลการทดลอง

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Quantity Media	R.P.M. Motor	Spec ID
6	1	1	1	10 Liter/ Tank	100 r.p.m.	3.3625
4	2	1	1	10 Liter/ Tank	120 r.p.m.	3.3645
13	3	1	1	5 Liter/ Tank	100 r.p.m.	3.3513
1	4	1	1	5 Liter/ Tank	100 r.p.m.	3.3526
12	5	1	1	10 Liter/ Tank	120 r.p.m.	3.3685
14	6	1	1	10 Liter/ Tank	100 r.p.m.	3.3552
3	7	1	1	5 Liter/ Tank	120 r.p.m.	3.3630
16	8	1	1	10 Liter/ Tank	120 r.p.m.	3.3665

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Quantity Media	R.P.M. Motor	Spec ID
7	9	1	1	5 Liter/ Tank	120 r.p.m.	3.3595
10	10	1	1	10 Liter/ Tank	100 r.p.m.	3.3594
15	11	1	1	5 Liter/ Tank	120 r.p.m.	3.3622
8	12	1	1	10 Liter/ Tank	120 r.p.m.	3.3645
2	13	1	1	10 Liter/ Tank	100 r.p.m.	3.3547
9	14	1	1	5 Liter/ Tank	100 r.p.m.	3.3519
11	15	1	1	5 Liter/ Tank	120 r.p.m.	3.3640
5	16	1	1	5 Liter/ Tank	100 r.p.m.	3.3521

จากตารางที่ 4.5 การออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab ซึ่งเป็นการออกแบบการทดลองแบบสุ่มโดยในคอลัมน์ RunOrder จะแสดงลำดับที่สุ่ม คอลัมน์ Quantity Media แสดงระดับของปริมาณหินขัด โดยระดับที่ 1 คือ 10 Liter/ Tank หรือใช้ปริมาณหินขัดจำนวน 10 ลิตร ต่อ 1 ถังขัดชิ้นงาน และระดับที่ 2 คือ 5 Liter/ Tank หรือลดปริมาณหินขัดลงให้เหลือเพียง 5 ลิตร ต่อ 1 ถังขัดชิ้นงาน คอลัมน์ R.P.M. Motor แสดงระดับของความเร็วรอบของเครื่องจักร โดยระดับที่ 1 คือ 120 r.p.m. หรือใช้ความเร็วรอบของมอเตอร์ในการหมุนถังเพื่อให้เกิดการขัดระหว่างหินขัดกับชิ้นงานที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที และระดับที่ 2 คือ 100 r.p.m. หรือลดความเร็วรอบของมอเตอร์ลงให้เหลือเพียง 100 รอบต่อนาที เพื่อลดแรงขัดระหว่างหินขัดกับชิ้นงาน และคอลัมน์ Spec ID คือ ค่าเฉลี่ยของชิ้นงานในแต่ละการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองนั้นจำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง ซึ่งเป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยผลของการตรวจสอบได้แสดงดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 การกระจายตัวของข้อมูลแบบปกติ

จากภาพที่ 4.7 สามารถสรุปได้ว่า

- **Normal Probability Plot of the Residual** จากภาพกราฟ Normal Probability Plot พบว่าจุดบนกราฟมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรงแสดงว่าค่าส่วนตกค้าง (Residual) มีการแจกแจงแบบปกติ

- **Histogram of the Residual** ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติเนื่องจากกราฟฮิสโตแกรมเป็นรูประฆังคว่ำ ทำให้ประมาณได้ว่าค่า Residual มีการแจกแจงแบบปกติ

- **Residual Versus the Fitted Values** ข้อมูลมีการกระจายรอบข้างแบบสุ่ม และไม่พบว่ามีรูปแบบการกระจายตัวของค่า Residual มีลักษณะเป็นแนวโน้มแต่อย่างไร จึงสรุปว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

- **Residual Versus the Order of the Data** กราฟ Residual ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน หรือไม่สามารถประมาณรูปแบบที่แน่นอนได้

ดังนั้น ข้อมูลของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^2$  นี้ มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ สามารถนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์ต่อไปได้

**Factorial Regression: Spec ID versus Quantity Media, R.P.M. Motor**

**Analysis of Variance**

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	0.000434	0.000145	26.96	0.000
Linear	2	0.000429	0.000215	40.01	0.000
Quantity Media	1	0.000096	0.000096	17.92	0.001
R.P.M. Motor	1	0.000333	0.000333	62.1	0.000
2-Way Interactions	1	0.000005	0.000005	0.85	0.374
Quantity Media*R.P.M. Motor	1	0.000005	0.000005	0.85	0.374
Error	12	0.000064	0.000005		
Total	15	0.000498			

**Model Summary**

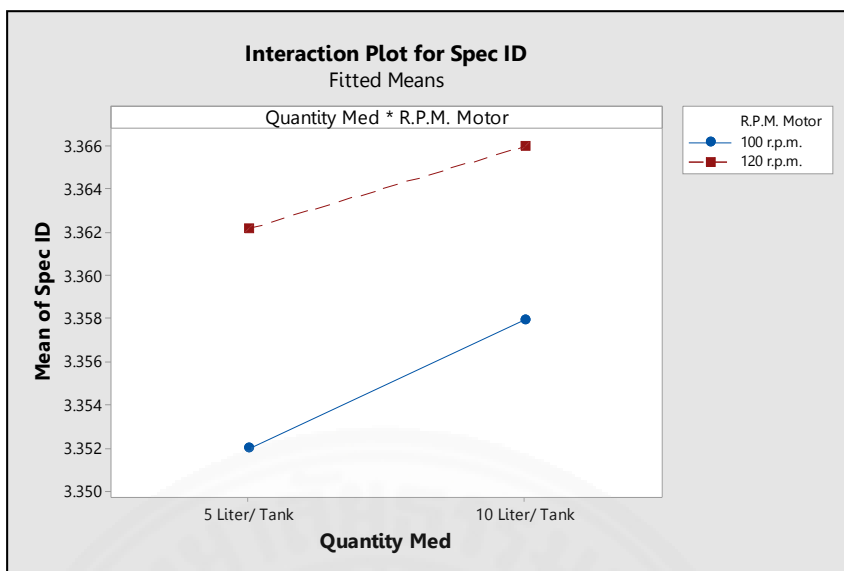
S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0.0023159	87.08%	83.85%	77.03%

**Coded Coefficients**

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		3.35952	0.00058	5802.5	0.000	
Quantity Media	0.004902	0.002451	0.000579	4.23	0.001	1.00
R.P.M. Motor	0.009125	0.004562	0.000579	7.88	0.000	1.00
Quantity Media*R.P.M. Motor	-0.001068	-0.000534	0.000579	-0.92	0.374	1.00

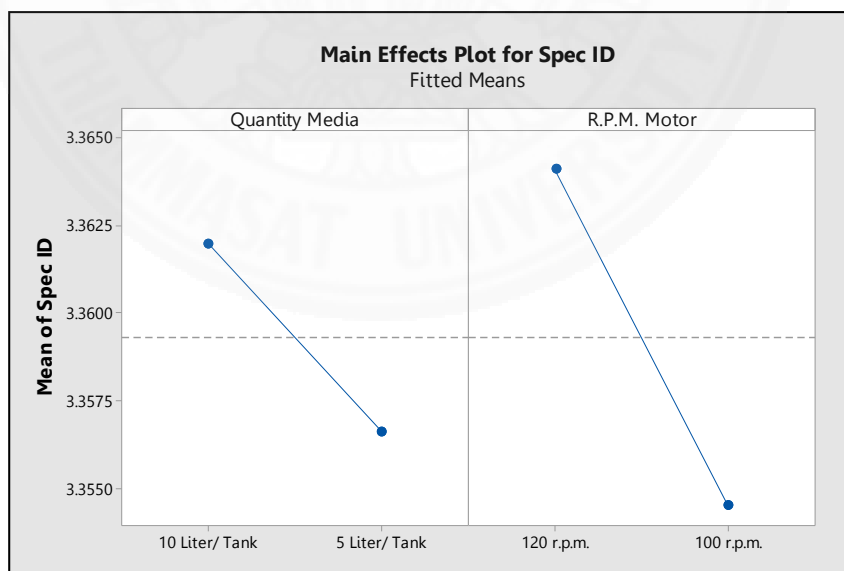
ภาพที่ 4.8 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุน

จากภาพที่ 4.8 การวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  พบว่า ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปริมาณหินขัด และความเร็วรอบของเครื่องจักร มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุน เนื่องจากทั้ง 2 ปัจจัย มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05



ภาพที่ 4.9 การมีอิทธิพลร่วมกันระหว่าง 2 ปัจจัย (Interaction Plot)

จากภาพที่ 4.9 จะพบว่าปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย คือ ปริมาณหินขัด และความเร็วรอบของเครื่องจักร ไม่มีอิทธิพลร่วมกัน (Interaction Effect) ในกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน ดังนั้น ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบจากแต่ละปัจจัย (Main Effect) ดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 ความแตกต่างของผลลัพธ์ระหว่างแต่ละระดับของปัจจัย (Main Effects Plot)

จากภาพที่ 4.10 จะพบว่าในแต่ละจุดจะแสดงค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนในแต่ละระดับของปัจจัยหลังผ่านกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน ซึ่งจากผล

การทดลองสามารถบ่งชี้ได้ว่าปริมาณหินขัดที่ลดลงเหลือเพียง 5 Liter/ Tank และความเร็วรอบของเครื่องจักรที่ลดลงเหลือ 100 r.p.m. จะทำให้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนมีขนาดกว้างขึ้นน้อยกว่าการใช้ปริมาณหินขัด 10 Liter/ Tank และความเร็วรอบของเครื่องจักรเท่ากับ 120 r.p.m.

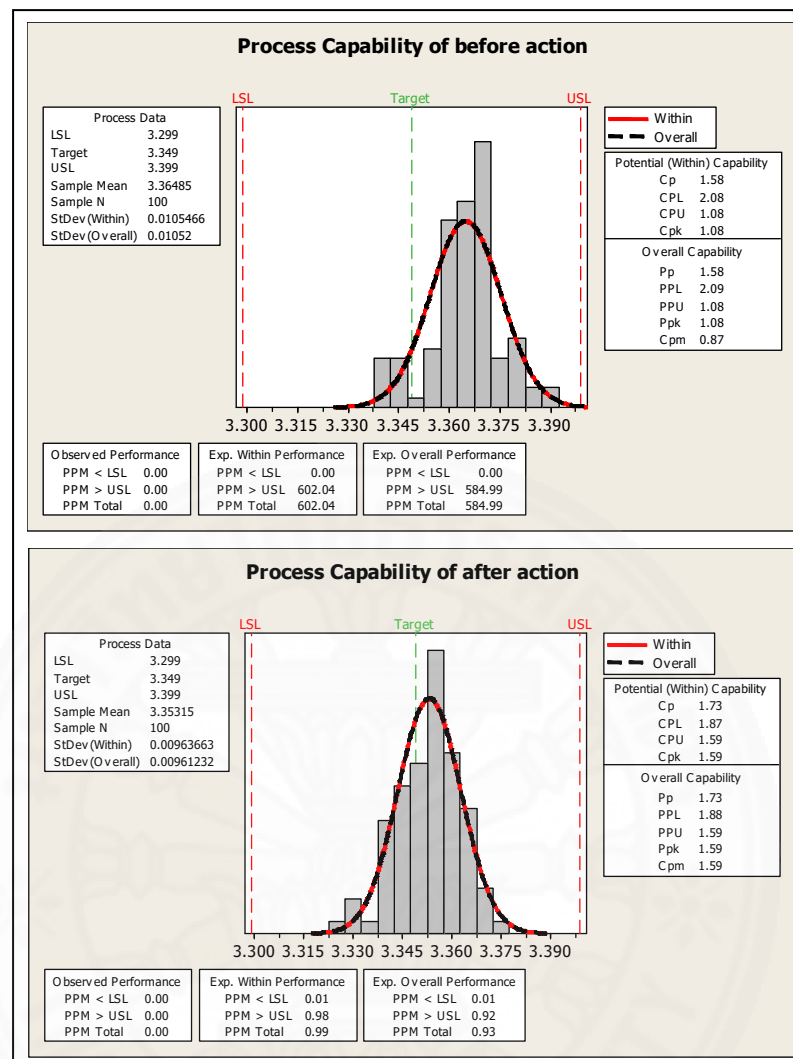
จากการออกแบบการทดลองและผลที่ได้จากการทดลองข้างต้น ทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนระดับของทั้ง 2 ปัจจัยกับชิ้นงานโมเดล A ในกระบวนการผลิต โดยใช้ปริมาณหินขัดที่ 5 Liter/ Tank, ความเร็วรอบของเครื่องจักรเท่ากับ 100 r.p.m. และปัจจัยอื่น ๆ คงไว้ที่ระดับปัจจุบัน ซึ่งการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อยืนยันผลลัพธ์อีกครั้งก่อนที่จะมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตในระยะยาว โดยในการทดลองครั้งนี้ทางผู้วิจัยจะทำการเก็บค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนของชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการขัดจำนวน 100 ตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6

ผลการทดลองของชิ้นงานตัวอย่าง (After Action) จำนวน 100 ชิ้น

ลำดับที่	Ø ID	ลำดับที่	Ø ID	ลำดับที่	Ø ID	ลำดับที่	Ø ID	ลำดับที่	Ø ID
1	3.3568	21	3.3469	41	3.3711	61	3.3579	81	3.3726
2	3.3650	22	3.3409	42	3.3386	62	3.3659	82	3.3432
3	3.3448	23	3.3546	43	3.3421	63	3.3458	83	3.3581
4	3.3401	24	3.3494	44	3.3542	64	3.3566	84	3.3671
5	3.3510	25	3.3460	45	3.3647	65	3.3601	85	3.3415
6	3.3552	26	3.3464	46	3.3524	66	3.3318	86	3.3547
7	3.3622	27	3.3648	47	3.3559	67	3.3549	87	3.3567
8	3.3484	28	3.3509	48	3.3618	68	3.3502	88	3.3624
9	3.3376	29	3.3565	49	3.3590	69	3.3431	89	3.3586
10	3.3418	30	3.3648	50	3.3595	70	3.3561	90	3.3596
11	3.3418	31	3.3513	51	3.3537	71	3.3551	91	3.3365
12	3.3516	32	3.3570	52	3.3619	72	3.3393	92	3.3551
13	3.3509	33	3.3518	53	3.3670	73	3.3683	93	3.3573
14	3.3569	34	3.3654	54	3.3450	74	3.3643	94	3.3527
15	3.3717	35	3.3588	55	3.3536	75	3.3579	95	3.3440
16	3.3530	36	3.3458	56	3.3439	76	3.3589	96	3.3299
17	3.3551	37	3.3413	57	3.3543	77	3.3644	97	3.3648
18	3.3488	38	3.3433	58	3.3504	78	3.3607	98	3.3522
19	3.3258	39	3.3577	59	3.3497	79	3.3534	99	3.3469
20	3.3321	40	3.3697	60	3.3524	80	3.3550	100	3.3565

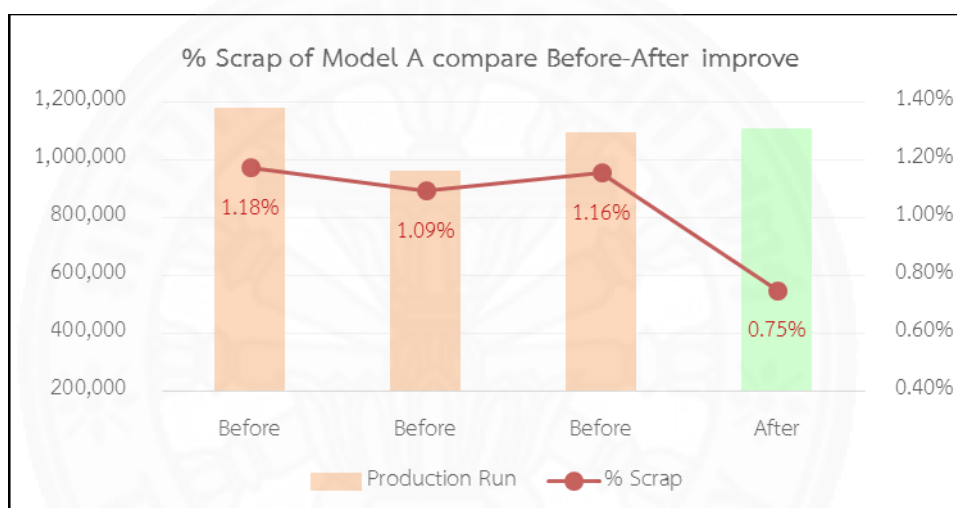




ภาพที่ 4.11 ความสามารถของกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน (Deburring) เปรียบเทียบระหว่าง  
ก่อน - หลัง ปรับปรุงกระบวนการ

จากการเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการ ก่อน - หลัง การทดลองดังภาพที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าค่า  $C_{pk}$  ของกระบวนการขัดผิวชิ้นงานก่อนที่จะมีการทดลองมีค่าเท่ากับ 1.08 ซึ่งหมายความว่า กระบวนการนี้ยังไม่สามารถควบคุมค่าของชิ้นงานให้อยู่ในช่วงที่กำหนดได้ เมื่อเทียบกับค่า  $C_{pk}$  ที่ลูกค้ายอมรับนั้นอยู่ที่ 1.33 แต่เมื่อมีการทดลองปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยเพื่อปรับปรุงกระบวนการพบว่าค่า  $C_{pk}$  ของกระบวนการขัดผิวชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.59 เมื่อเทียบกับค่า  $C_{pk}$  ที่ลูกค้ายอมรับนั้นอยู่ที่ 1.33 ดังนั้น แสดงว่ากระบวนการขัดผิวชิ้นงานหลังมีการทดลองมีค่า  $C_{pk}$  ที่บรรลุเป้าหมายตามที่ลูกค้ากำหนดและยังสามารถควบคุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลอาหมุนให้อยู่ในช่วงที่ควบคุมได้

จากการออกแบบการทดลองและผลที่ได้จากการทดลองข้างต้น ทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบปรับเปลี่ยนระดับของทั้ง 2 ปัจจัยกับชิ้นงานโมเดล A ในกระบวนการผลิต โดยใช้ปริมาณหินขัดที่ 5 Liter/ Tank, ความเร็วรอบของเครื่องจักรเท่ากับ 100 r.p.m. และปัจจัยอื่น ๆ คงไว้ที่ระดับปัจจุบัน คือ ขนาดของหินขัด (Sphere) Ø2, เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงานเท่ากับ 20 นาที และปริมาณน้ำยาขัดเท่ากับ 15 cc./ Tank การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อติดตามผลระยะยาวเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 1-28 กุมภาพันธ์ 2560 ซึ่งทางผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบจำนวนของเสียที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตที่คาดว่าจะมีปริมาณลดลงหลังจากมีการปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ



ภาพที่ 4.12 อัตราส่วนของเสียของโมเดล A เปรียบเทียบก่อน-หลัง การทดลอง

จากภาพที่ 4.12 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตก่อน-หลัง การทดลอง ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลของทางผู้วิจัยพบว่า หลังจากมีการทดลองปรับเปลี่ยนปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย ช่วยให้อัตราส่วนของเสียของชิ้นงานกลุ่มตัวอย่างโมเดล A ลดลงได้จากร้อยละ 1.14 ให้เหลือร้อยละ 0.75 เมื่อเทียบกับยอดการผลิตเฉลี่ยต่อเดือน หรือคิดเป็นจำนวนของเสียเฉลี่ยที่ลดลงได้จาก 12,368 ชิ้นต่อเดือน เหลือเพียง 8,329 ชิ้นต่อเดือน เนื่องจากของเสียหนึ่งชิ้นมีมูลค่า 4.65 บาท ดังนั้น ผลที่ได้จากการทดลองนี้สามารถช่วยลดต้นทุนจากการเกิดของเสียได้เป็นจำนวนเงินประมาณ 18,536 บาทต่อเดือน

ดังนั้น ทางผู้วิจัยและทีมงานวิศวกรโรงงานจึงทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของกระบวนการขัดผิวชิ้นงานลงในแบบแปลนวิศวกร โดยกำหนดให้ใช้ปริมาณหินขัดที่ 5 Liter/ Tank และความเร็วรอบของเครื่องจักรที่ 100 r.p.m. และคงเงื่อนไขอื่น ๆ ไว้ที่ระดับเดิม คือ ขนาดของหิน

ขัด (Sphere)  $\varnothing 2$ , เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน 20 นาที และปริมาณน้ำยาขัด 15 cc./ Tank เพื่อควบคุมให้เกิดปริมาณของเสียน้อยที่สุด

### 4.3 บทสรุป

จากการวิเคราะห์กระบวนการขัดผิวชิ้นงานของโมเดล A พบว่ามีปัจจัยทั้งหมด 5 ปัจจัยของกระบวนการนี้อาจส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุน คือ ขนาดของหินขัด ปริมาณหินขัด เวลาที่ใช้ในการขัด ปริมาณน้ำยาขัด และความเร็วรอบของเครื่องจักร ซึ่งทางผู้วิจัยได้นำปัจจัยทั้ง 5 มาทำการวิเคราะห์เพื่อค้นหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่จะไม่ทำให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนเกินกว่าที่กำหนด โดยทางผู้วิจัยได้ทำการปรับตั้งค่าระดับของแต่ละปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ คือ ค่าที่ใช้ปัจจุบัน กับค่าที่ใช้เปรียบเทียบ จากนั้นนำไปทำการทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One Factor at Time: OFAT) เพื่อคัดกรองปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลออก โดยการทดสอบสมมติฐานสำหรับ 2 ประชากรด้วย 2 Sample T-test และทำการวิเคราะห์ค่า P-value ของแต่ละปัจจัย จากผลการทดลอง OFAT พบว่า ปริมาณหินขัด และความเร็วรอบของเครื่องจักรมีค่า P-Value เท่ากับ 0.035 และ 0.000 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้น ทั้ง 2 ปัจจัยนี้จึงมีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนในกระบวนการขัดชิ้นงาน อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และนำปัจจัยที่มีอิทธิพลมาดำเนินการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^2$  เพื่อเป็นการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีอิทธิพล ซึ่งจะทำทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง โดยจะทำการทดลองปรับตั้งค่าของ 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ คือ ค่าที่ใช้ปัจจุบัน กับค่าที่ใช้เปรียบเทียบ และทำการทดลองซ้ำระดับละ 4 ครั้ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อยืนยันผลลัพธ์ที่ได้ของแต่ละปัจจัย ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าปริมาณหินขัดที่ลดลงจาก 10 Liter/ Tank เหลือเพียง 5 Liter/ Tank และความเร็วรอบของเครื่องจักรที่ลดลงจาก 120 r.p.m. เหลือเพียง 100 r.p.m. จะช่วยทำให้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนอยู่ในค่าที่กำหนด และยังเพิ่มความสามารถของกระบวนการจากค่า  $C_{pk}$  เท่ากับ 1.08 เป็น 1.59 ซึ่งบรรลุข้อกำหนดของลูกค้าที่ได้กำหนดไว้ คือ 1.33 จากนั้นทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพื่อติดตามผลระยะยาวและพบว่า การทดลองนี้สามารถลดอัตราส่วนของเสียนของชิ้นงานโมเดล A ได้จากร้อยละ 1.14 ให้เหลือเพียง 0.75 ซึ่งบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดอัตราส่วนของเสียของชิ้นงานกลุ่มตัวอย่างโมเดล A จากร้อยละ 1.14 ให้เหลือร้อยละ 1.03 เมื่อเทียบกับยอดผลิตเฉลี่ยต่อเดือน ในกระบวนการผลิตเพลลาหมุนของไพออต โดยทำการศึกษาปัจจัยและระดับของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดอัตราส่วนของเสียประเภทเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนเกินกว่าที่กำหนด ( $\varnothing$  ID o/s) ในกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน (Deburring Process)

โดยปกติแล้วในกระบวนการขัดผิวชิ้นงานนี้จะมีการกำหนดปัจจัยในการทำงานทั้งหมด 8 ปัจจัย แต่หลังจากมีการคัดเลือกปัจจัยเบื้องต้น โดยเกณฑ์ในการพิจารณา ดังนี้ 1) ปัจจัยที่เลือกมานั้นจะต้องสามารถใช้ได้จริงในกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน 2) ปัจจัยที่เลือกมานั้นจะต้องไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตชิ้นงาน และ 3) ปัจจัยที่เลือกมานั้นจะต้องสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ และสามารถควบคุมให้ใช้ปัจจัยนั้นได้ตลอดการทดลอง ซึ่งจากการพิจารณาพบว่ามี 3 ปัจจัยที่ไม่สามารถนำมาทำการทดลองได้ คือ จำนวนชิ้นงาน ชนิดของน้ำยาขัด และความชำนาญของพนักงาน ดังนั้น ปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลองจึงมีทั้งสิ้น 5 ปัจจัย คือ ขนาดของหินขัด ปริมาณหินขัด เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน ปริมาณน้ำยาขัด และความเร็วรอบของเครื่องจักร ซึ่งแต่ละปัจจัยจะเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ โดยในการทดลองนี้จะทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงระดับของแต่ละปัจจัย

การทดลองขั้นแรกจะใช้เทคนิคการปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One Factor at Time: OFAT) เพื่อใช้ในการคัดกรองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการออกแบบทดลองแบบ OFAT นี้จะเป็นการทดลองเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัย ครั้งละ 1 ระดับ 1 ปัจจัย แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab และในการพิจารณาความมีอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่ทำการเปลี่ยนแปลงนั้น ทางผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์ค่า P-value โดยถ้าพบว่าค่า P-value ของระดับของปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่าหรือใกล้เคียงกับ 0.05 ทางผู้วิจัยจะทำการเลือกปัจจัยนั้นไปทำการออกแบบการทดลอง Full Factorial Design ในการทดลองนี้จะทำการเก็บค่าผลตอบสนองของกลุ่มตัวอย่างหลังจากกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน 30 ตัวอย่างต่อ 1 การทดลอง และจากผลการทดลองของทั้ง 5 ปัจจัย พบว่า ปริมาณ

หิ้นขัด และความเร็วรอบของเครื่องจักรมีค่า P-Value ต่ำกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังนั้น ทั้ง 2 ปัจจัยนี้จึงมีอิทธิพลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนในกระบวนการขัดชิ้นงาน

จากผลการทดลอง OFAT ทางผู้วิจัยได้นำมาใช้ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^2$  เพื่อเป็นการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีอิทธิพล ซึ่งจะทำการทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง โดยทำการทดลองปรับตั้งค่าของ 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ คือ ปริมาณหิ้นขัด ระดับที่ 1 : 10 Liter/ Tank, ระดับที่ 2 : 5 Liter/ Tank และความเร็วรอบของเครื่องจักร ระดับที่ 1 : 120 r.p.m., ระดับที่ 2 : 100 r.p.m. ทำการทดลองซ้ำระดับละ 4 ครั้ง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อยืนยันผลลัพธ์ที่ได้ของแต่ละปัจจัย ในการทดลองนี้จะทำการเก็บค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนของชิ้นงานกลุ่มตัวอย่างหลังจากผ่านกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน โดยจะเก็บค่าจำนวน 15 ตัวอย่างต่อ 1 การทดลอง แล้วนำค่าที่ได้จากชิ้นงานทั้งหมดมาคำนวณเพื่อหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Minitab

จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^2$  ทำให้ได้ระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยที่ช่วยให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด หรืออยู่ในช่วงที่ควบคุม นั่นคือ ปริมาณหิ้นขัด ระดับที่ 2 : 5 Liter/ Tank และความเร็วรอบของเครื่องจักร ระดับที่ 2 : 100 r.p.m. ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนระดับของทั้ง 2 ปัจจัยกับชิ้นงานโมเดล A ในกระบวนการผลิตและปัจจัยอื่น ๆ คงไว้ที่ระดับเดิม เพื่อยืนยันผลลัพธ์อีกครั้งก่อนที่จะมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตในระยะยาว โดยทำการเก็บค่าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนของชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการขัดจำนวน 100 ตัวอย่าง จากการเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการ ก่อน – หลัง การทดลองพบว่าค่า  $C_{pk}$  ของกระบวนการขัดผิวชิ้นงานก่อนที่จะมีการทดลองมีค่าเท่ากับ 1.08 และหลังการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.59 ทำให้บรรลุเป้าหมายตามที่ลูกค้ากำหนดและยังสามารถควบคุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนให้อยู่ในช่วงที่ควบคุมได้

จากผลที่ได้จากการทดลองทางผู้วิจัยได้ทำการทดสอบปรับเปลี่ยนระดับของทั้ง 2 ปัจจัยกับชิ้นงานโมเดล A ในกระบวนการผลิต เพื่อติดตามผลระยะยาวเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่วันที่ 1-28 กุมภาพันธ์ 2560 ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และจากการรวบรวมข้อมูลพบว่าหลังจากมีการทดลองปรับเปลี่ยนปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย ช่วยให้อัตราส่วนของเสียของชิ้นงานกลุ่มตัวอย่างโมเดล A ลดลงได้จากร้อยละ 1.14 ให้เหลือร้อยละ 0.75 เมื่อเทียบกับยอดการผลิตเฉลี่ยต่อเดือน หรือคิดเป็นจำนวนของเสียเฉลี่ยที่ลดลงได้จาก 12,368 ชิ้นต่อเดือน เหลือเพียง 8,329 ชิ้นต่อเดือน ดังนั้นผลที่ได้จากการทดลองนี้สามารถช่วยลดต้นทุนจากการเกิดของเสียได้เป็นจำนวนเงินประมาณ 18,536 บาทต่อเดือน (เปรียบเทียบข้อมูลก่อนการทดลอง Apr'16-Jun'16 และหลังการทดลอง Feb'17)

ดังนั้น ทางผู้วิจัยและทีมงานวิศวกรโรงงานจึงทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของกระบวนการขัดผิวชิ้นงานลงในแบบแปลนวิศวกร โดยกำหนดให้ใช้ปริมาณหินขัดที่ 5 Liter/ Tank และความเร็วยรอบของเครื่องจักรที่ 100 r.p.m. และคงเงื่อนไขอื่น ๆ ไว้ที่ระดับเดิม คือ ขนาดของหินขัด (Sphere) Ø2, เวลาที่ใช้ในการขัดชิ้นงาน 20 นาที และปริมาณน้ำยาขัด 15 cc./ Tank เพื่อควบคุมให้เกิดปริมาณของเสียน้อยที่สุด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการวิจัยครั้งนี้ทางผู้วิจัยได้แสดงเฉพาะปัจจัยในกระบวนการขัดผิวชิ้นงานที่มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนเกินกว่าที่กำหนด ในกระบวนการผลิตเพลลาหมุนของไพวอตของชิ้นงานกลุ่มตัวอย่างโมเดล A เท่านั้น แต่สำหรับชิ้นงานโมเดลอื่น ๆ ยังไม่ได้มีการนำมาพิจารณา ดังนั้น เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการลดอัตราส่วนของเสียบของบริษัทที่ได้ทำการวิจัย ควรจะต้องนำข้อมูลของชิ้นงานโมเดลอื่น ๆ มาวิเคราะห์ด้วย

5.2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^k$  เป็นเทคนิคในการแก้ไขปัญหาที่เหมาะสมอย่างหนึ่ง โดยสามารถนำไปใช้เพื่อปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และช่วยลดการเกิดอัตราส่วนของเสียบได้ ซึ่งในการใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ทางผู้วิจัยจำเป็นต้องมีความรู้ ความเชี่ยวชาญในกระบวนการที่ต้องการปรับปรุงด้วย เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากความล้มเหลวเป็นผลมาจากระดับความรู้ ความเชี่ยวชาญในกระบวนการ โดยอาจจะทำการศึกษากระบวนการผลิตให้ละเอียด หรือการวิเคราะห์เชิงลึกของตัวผลิตภัณฑ์ เพื่อให้สามารถวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับการแข่งขันต่อไปได้

5.2.3 ในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการ (FMEA) ควรนำระดับความรุนแรง (Severity: S) มาใช้เป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วย ซึ่งหากพบว่าปัจจัยใดที่มีค่า S สูงแต่มีค่า RPN ต่ำ ก็ต้องดำเนินการแก้ไขปัจจัยนั้นโดยเร่งด่วนเพื่อลดระดับความรุนแรงที่จะเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

## รายการอ้างอิง

### หนังสือและบทความในหนังสือ

- ประไพศรี, พงศ์ชนัน. (2551). การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์  
ท็อป จำกัด
- ปารเมศ. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย

### วิทยานิพนธ์

- ปาริฉัตร ตันติเจริญ. (2554). การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าแรงบิดของชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์พชนิด  
ไพลอท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- สิริชัย สุรัตน์ชัย. (2555). การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมในการเพิ่ม  
ประสิทธิภาพเครื่องบรรจุยาน้ำ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- ปะการัง อินทรจินดา. (2555). การออกแบบการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการทำ  
ความสะอาดแขนจับหัวอ่านเขียนฮาร์ดดิสก์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร  
เหนือ
- ณัฐกานต์ รสดี. (2554). การพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการขัดเลนส์ด้วยการออกแบบการทดลอง  
กรณีศึกษาโรงงานขัดและประกอบเลนส์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร  
เหนือ
- ชยาภรณ์ พร้อมมูล. (2557). การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อลดผลิตภัณฑ์บกพร่อง  
ประเภทฉีกไม่เต็มแบบในกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติกของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์  
กรณีศึกษา: โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
พระนครเหนือ



ภาคผนวก



## ภาคผนวก ก

ตารางแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนเปรียบเทียบระหว่างหลัง  
 ใช้งานผ่านกระบวนการขึ้นรูป (Turning) และกระบวนการขัดผิว (Deburring) เพื่อ  
 นำข้อมูลมาวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการก่อนทำการทดลอง

ตารางที่ ก.1

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนหลังกระบวนการขึ้นรูปใช้งาน

Ø ID After Turning Process									
No.	Spec	No.	Spec	No.	Spec	No.	Spec	No.	Spec
1	3.3486	21	3.3349	41	3.3475	61	3.3595	81	3.3264
2	3.3578	22	3.3584	42	3.3366	62	3.3561	82	3.3486
3	3.3534	23	3.3498	43	3.3457	63	3.3466	83	3.3391
4	3.3373	24	3.3382	44	3.3482	64	3.3381	84	3.3429
5	3.3542	25	3.3395	45	3.3385	65	3.3509	85	3.3579
6	3.3415	26	3.3381	46	3.3255	66	3.3624	86	3.3467
7	3.3479	27	3.3532	47	3.3449	67	3.3399	87	3.3564
8	3.3373	28	3.3414	48	3.3565	68	3.3498	88	3.3665
9	3.3348	29	3.3402	49	3.3317	69	3.3417	89	3.3457
10	3.3349	30	3.3521	50	3.3390	70	3.3520	90	3.3600
11	3.3497	31	3.3445	51	3.3425	71	3.3556	91	3.3519
12	3.3422	32	3.3347	52	3.3702	72	3.3605	92	3.3544
13	3.3500	33	3.3463	53	3.3369	73	3.3520	93	3.3429
14	3.3435	34	3.3347	54	3.3344	74	3.3524	94	3.3477
15	3.3520	35	3.3447	55	3.3413	75	3.3460	95	3.3421
16	3.3445	36	3.3493	56	3.3579	76	3.3495	96	3.3370
17	3.3570	37	3.3408	57	3.3368	77	3.3461	97	3.3545
18	3.3515	38	3.3431	58	3.3440	78	3.3598	98	3.3508
19	3.3293	39	3.3431	59	3.3370	79	3.3447	99	3.3400
20	3.3316	40	3.3468	60	3.3308	80	3.3586	100	3.3606

ตารางที่ ก.2

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนหลังกระบวนการขัดผิวชิ้นงาน

Ø ID After Deburring Process									
No.	Spec	No.	Spec	No.	Spec	No.	Spec	No.	Spec
1	3.3621	21	3.3583	41	3.3723	61	3.3586	81	3.3784
2	3.3622	22	3.3678	42	3.3596	62	3.3670	82	3.3776
3	3.3556	23	3.3754	43	3.3624	63	3.3659	83	3.3575
4	3.3781	24	3.3627	44	3.3650	64	3.3577	84	3.3702
5	3.3715	25	3.3662	45	3.3813	65	3.3676	85	3.3626
6	3.3668	26	3.3733	46	3.3627	66	3.3876	86	3.3892
7	3.3744	27	3.3472	47	3.3660	67	3.3396	87	3.3635
8	3.3685	28	3.3678	48	3.3562	68	3.3572	88	3.3715
9	3.3658	29	3.3481	49	3.3653	69	3.3816	89	3.3700
10	3.3681	30	3.3663	50	3.3656	70	3.3620	90	3.3723
11	3.3705	31	3.3705	51	3.3611	71	3.3584	91	3.3594
12	3.3567	32	3.3465	52	3.3747	72	3.3636	92	3.3554
13	3.3695	33	3.3706	53	3.3686	73	3.3707	93	3.3442
14	3.3689	34	3.3665	54	3.3688	74	3.3396	94	3.3871
15	3.3713	35	3.3651	55	3.3697	75	3.3722	95	3.3847
16	3.3410	36	3.3626	56	3.3611	76	3.3396	96	3.3552
17	3.3704	37	3.3442	57	3.3776	77	3.3652	97	3.3616
18	3.3427	38	3.3683	58	3.3731	78	3.3608	98	3.3716
19	3.3616	39	3.3703	59	3.3598	79	3.3421	99	3.3815
20	3.3667	40	3.3670	60	3.3677	80	3.3580	100	3.3609

## ภาคผนวก ข

ตารางแสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเพลลาหมุนที่ได้จากการออกแบบการ  
ทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^2$  โดยเก็บค่าจำนวน 15 ตัวอย่างต่อ 1 การทดลอง  
ทำซ้ำระดับละ 4 ครั้ง และทำการทดลองทั้งสิ้น 16 การทดลอง

ตารางที่ ข.1

ผลการทดลอง จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ  $2^2$

No.	ลำดับการทดลอง							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	3.3758	3.3734	3.3520	3.3603	3.3892	3.3632	3.3509	3.3434
2	3.3545	3.3636	3.3437	3.3505	3.3635	3.3661	3.3639	3.3850
3	3.3712	3.3627	3.3545	3.3551	3.3715	3.3501	3.3706	3.3813
4	3.3620	3.3496	3.3341	3.3516	3.3700	3.3633	3.3453	3.3827
5	3.3545	3.3632	3.3669	3.3675	3.3723	3.3486	3.3741	3.3560
6	3.3356	3.3396	3.3586	3.3571	3.3594	3.3387	3.3692	3.3562
7	3.3660	3.3652	3.3615	3.3565	3.3554	3.3382	3.3556	3.3553
8	3.3538	3.3768	3.3669	3.3394	3.3442	3.3568	3.3680	3.3656
9	3.3600	3.3521	3.3414	3.3511	3.3871	3.3601	3.3670	3.3511
10	3.3633	3.3748	3.3425	3.3500	3.3847	3.3622	3.3501	3.3747
11	3.3648	3.3784	3.3556	3.3392	3.3552	3.3439	3.3734	3.3686
12	3.3790	3.3776	3.3596	3.3557	3.3616	3.3522	3.3766	3.3688
13	3.3725	3.3575	3.3502	3.3491	3.3716	3.3632	3.3602	3.3697
14	3.3645	3.3702	3.3389	3.3589	3.3815	3.3457	3.3758	3.3611
15	3.3602	3.3626	3.3433	3.3470	3.3609	3.3757	3.3444	3.3776

No.	ลำดับการทดลอง							
	9	10	11	12	13	14	15	16
1	3.3645	3.3573	3.3896	3.3731	3.3484	3.3444	3.3537	3.3532
2	3.3405	3.3675	3.3611	3.3598	3.3511	3.3421	3.3586	3.3571
3	3.3646	3.3589	3.3706	3.3677	3.3563	3.3750	3.3701	3.3521
4	3.3605	3.3477	3.3477	3.3586	3.3367	3.3625	3.3464	3.3497
5	3.3591	3.3526	3.3338	3.3670	3.3477	3.3544	3.3594	3.3380
6	3.3566	3.3628	3.3655	3.3659	3.3701	3.3626	3.3587	3.3551
7	3.3482	3.3731	3.3673	3.3577	3.3666	3.3476	3.3742	3.3576
8	3.3623	3.3403	3.3663	3.3676	3.3622	3.3471	3.3673	3.3463
9	3.3643	3.3643	3.3634	3.3876	3.3577	3.3591	3.3730	3.3617
10	3.3610	3.3640	3.3764	3.3396	3.3414	3.3521	3.3669	3.3555
11	3.3663	3.3500	3.3714	3.3572	3.3632	3.3513	3.3576	3.3477
12	3.3536	3.3616	3.3467	3.3816	3.3685	3.3584	3.3821	3.3336
13	3.3564	3.3736	3.3379	3.3620	3.3449	3.3536	3.3535	3.3463
14	3.3590	3.3553	3.3778	3.3584	3.3508	3.3413	3.3784	3.3712
15	3.3753	3.3613	3.3568	3.3636	3.3549	3.3268	3.3604	3.3562



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวนันทชา เรียบร้อย
วันเดือนปีเกิด	10 มิถุนายน 2533
ตำแหน่ง	วิศวกรควบคุมกระบวนการผลิต (Process Engineer)
ผลงานทางวิชาการ	การประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการดำเนินงานทาง อุตสาหกรรมแห่งชาติ ครั้งที่ 8 (CIOD 2017) การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพลาหมุนของไพวอต เพื่อ ลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่อง
ประสบการณ์ทำงาน	ปี พ.ศ. 2556 วิศวกรควบคุมกระบวนการผลิต บริษัท เอ็นเอ็มบี – มಿನีแปไทย จำกัด

