



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการวิศวกรรม)

ปริญญา

การจัดการวิศวกรรม

วิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา

สาขา

คณะ

เรื่อง การลดความเข้มเสียงของมอเตอร์ปัดน้ำฝน

Noise Reduction of Wiper Motor

นายพลกฤษณ์ อนุกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( อาจารย์ศิริรัตน์ หมั่นวิมลกุล, วศ.ค. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์สถาพร เชื้อเพ็ง, Ph.D. )

ประธานสาขาวิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิรางค์ กลั่นคำสอน, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

สืบสีทวิ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การลดความเข้มเสียงของมอเตอร์ปัดน้ำฝน

Noise Reduction of Wiper Motor

โดย

นายพลกฤษณ์ อนุกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการวิศวกรรม)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พลกฤษณ์ อนุกุล 2557: การลดความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน ปริญญาวิศวกรรม  
ศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการวิศวกรรม) สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์ศิริรัตน์ หมั่นวนิชกุล,  
วศ.ค. 75 หน้า

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาปัญหาการเกิดเสียงดังมากกว่า 50 เดซิเบลของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องมีทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาชุดประกอบเฟรม ( $X_1$ ) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ ( $X_2$ ) ค่าความเรียบของแกนเพลลา ( $X_3$ ) และค่าการแกว่งของแกนเพลลา ( $X_4$ ) จากข้อมูลเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าค่าความเรียบผิว และค่าการแกว่งของแกนเพลลาของมอเตอร์คือปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าความเข้มเสียง ( $Y$ ) แบบจำลองถดถอยที่สร้างจากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าในการลดระดับความเข้มเสียงให้ไม่มากกว่า 50 เดซิเบลนั้น ทั้งค่าความเรียบผิวและการแกว่งของแกนเพลลาจะต้องมีค่าไม่เกิน 0.004 มิลลิเมตร ดังนั้นเพื่อที่จะควบคุมปัจจัยทั้งสองให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด งานวิจัยนี้จึงนำเทคนิคการทดลองแบบแฟคตอเรียล  $2^3$  มาวิเคราะห์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยดังกล่าว

ในการศึกษาปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์ซึ่งส่งผลโดยตรงกับค่าความเรียบผิวของแกนเพลลาประกอบไปด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาตำแหน่งสวมอัด ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม และแรงกด จากการทดลองแบบแฟคตอเรียลพบว่าค่าที่เหมาะสมของปัจจัยคือ 98.2 มิลลิเมตร 0.6 MPa และ 30 kN ตามลำดับ ส่วนปัจจัยที่ควบคุมกระบวนการประกอบแกนเพลลาเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์ซึ่งส่งผลโดยตรงกับค่าการแกว่งของแกนเพลลาประกอบไปด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลาตำแหน่งสวมอัด ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม และแรงกด จากการทดลองพบว่าค่าที่เหมาะสมของปัจจัยคือ 29.4 มิลลิเมตร 0.4 MPa และ 50 kN ตามลำดับ เมื่อควบคุมปัจจัยในกระบวนการทั้งสองให้เป็นไปตามค่าที่เหมาะสม ระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนที่ได้จากสายการผลิตจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 47 เดซิเบล

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Polkij Anukul 2014: Noise Reduction of Wiper Motor. Master of Engineering (Engineering Management), Major Field: Engineering Management, Faculty of Engineering at Si Racha. Thesis Advisor: Miss. Sirirat Muenvanichakul, D.Eng. 75 pages.

The aim of this research was to study the problem of wiper motor noise that was over 50 dB. Four factors associated to this problem i.e. the pitch of frame assy ( $X_1$ ), the diameter of frame assy ( $X_2$ ), surface roughness ( $X_3$ ), and shaft runout ( $X_4$ ) were studied. Preliminary data indicated that surface roughness and shaft runout were important factors affecting the noise intensity (Y). Regression model based on the data showed that both the values of surface roughness and shaft runout had to be kept below 0.004 mm in order to reduce the noise intensity below 50 dB. The optimal values of the factors controlling processes associated with surface roughness and shaft runout were determined by means of  $2^3$  factorial design.

Surface roughness is controlled by commutator unit pressing process. Three factors associated with this process are the pitch of jigs, air pressure and pressing force. The optimal values of 98.2 mm, 0.6 MPa, and 30 kN, respectively, were determined by the factorial design. Shaft runout is controlled by core armature unit pressing process which is, in turn, controlled by the pitch of jigs, air pressure and pressing force. The factorial design resulted in the optimal values of 29.4 mm, 0.4 MPa, and 50 kN, respectively. With all the optimal values of these factors, the average noise intensity of wiper motors produced from the production line was 47 dB.

\_\_\_\_\_  
Student's Signature

\_\_\_\_\_  
Thesis Advisor's Signature

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร ศิริรัตน์ หมั่นวิชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สถาพร เชื้อเพ็ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้คำปรึกษาในการเขียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณนักวิชาการศึกษา และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชาทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้การอบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ และส่งเสริมสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา และเพื่อนนิสิตที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนเป็นอย่างดี ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณ ณ ที่นี้ด้วย

พลกฤษณ์ อนุกุล  
พฤษภาคม 2557

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	19
อุปกรณ์	19
วิธีการ	19
ผลและวิจารณ์	31
ผล	31
วิจารณ์	70
สรุปและข้อเสนอแนะ	71
สรุป	71
ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	73
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	75

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ประเภทปัญหาและเปอร์เซ็นต์งานเสียจากกระบวนการ โดยเก็บข้อมูลจากเดือนมกราคม 2556 ถึง พฤษภาคม 2556 (หน่วย : ชิ้น)	31
2	ค่าการวัดของชิ้นส่วนมอเตอร์ปิดน้ำฝนก่อนการประกอบมอเตอร์ปิดน้ำฝน	34
3	ค่าการวัดของชิ้นส่วนมอเตอร์ปิดน้ำฝนหลังการประกอบมอเตอร์ปิดน้ำฝนและระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปิดน้ำฝน	36
4	ค่าการวัดระยะเฟรมทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝนและหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝน	38
5	ค่าการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝนและหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝน	41
6	ค่าความเรียบของแกนเพลลาของทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝนและหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝน	44
7	ค่าการแกว่งของแกนเพลลา ก่อนและหลังนำไปประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝน	46
8	ออกแบบจำลองการทดลองกระบวนการประกอบแกนเพลลาเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์	53
9	ผลของการทดลองกระบวนการประกอบแกนเพลลาเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์	55
10	ออกแบบจำลองการทดลองกระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์	57
11	ผลของการทดลองกระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์	59
12	ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าการแกว่งของแกนเพลลา ก่อนและหลังการปรับปรุงที่กระบวนการประกอบแกนเพลลาเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์	63
13	ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าความเรียบของแกนเพลลา ก่อนและหลังการปรับปรุงของกระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์	65
14	ผลของระดับความเข้มเสียงเสียงมอเตอร์ปิดน้ำฝนหลังการปรับปรุง	67
15	ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการออกแบบการทดลอง	69
16	เปรียบเทียบผลค่าใช้จ่ายก่อนและหลังปรับปรุง	69

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
1	มอเตอร์ปั้ดน้ำฝนในรถยนต์	3
2	โรเตอร์และส่วนประกอบ	4
3	ตัวอย่างปัจจัย กระบวนการและตัวแปรตอบสนองของการออกแบบการทดลอง กระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติก	7
4	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชุดปั้ดน้ำฝนรถยนต์ของโรงงานกรณีศึกษา	20
5	แผนภูมิการไหลของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน	21
6	มอเตอร์ปั้ดน้ำฝนในรถยนต์ของโรงงานตัวอย่าง	22
7	ระยะของชุดประกอบเฟรมเฟรมของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน	23
8	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์	24
9	ตำแหน่งที่ทำการวัดผิวของแกนเพลลา	25
10	ผู้สำหรับทำการทดสอบระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน	26
11	แผนผังแสดงของกระบวนการผลิตชุดประกอบอาร์เมเจอร์	28
12	ขั้นตอนในการประกอบชุดอาร์เมเจอร์	28
13	กราฟแสดงจำนวนงานเสียของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน โดยแยกตามประเภทงานเสีย	32
14	แผนภูมิภาพพาเรโตของประเภทปัญหาของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน	32
15	แผนผังก้างปลาของการแก้ปัญหาของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝนเสียงดังเกิน 50 เดซิเบล	33
16	กราฟการแจกแจงแบบปกติของค่าระยะเฟรม	39
17	เปรียบเทียบระยะชุดประกอบเฟรมด้วยการเปรียบเทียบคู่แบบ T (Paired T- Test)	40
18	กราฟแจกแจงแบบปกติของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์	42
19	การเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ด้วยการ เปรียบเทียบคู่แบบ T (Paired T-Test)	43
20	เปรียบเทียบค่าความเรียบของแกนเพลลาด้วยการเปรียบเทียบคู่แบบ T(Paired T- Test)	45
21	เปรียบเทียบค่าการแกว่งของเพลลา ด้วยการเปรียบเทียบคู่แบบ T (Paired T-Test)	47
22	กราฟแจกแจงปกติของชุดข้อมูลการวัดชิ้นส่วนประกอบของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝนและ ระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน	48

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	แผนภูมิการกระจายของข้อมูลชุดข้อมูลการวัดชิ้นส่วนประกอบของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนและระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน	49
24	ผลการทดลองชุดข้อมูลเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน	50
25	กราฟแสดงผลการทดสอบของชุดข้อมูลการวัดชิ้นส่วนประกอบของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนและระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน	51
26	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเรียบของแกนเพลลาและค่าการแกว่งของแกนเพลลา	51
27	ผลจากโปรแกรม minitab สมการถดถอยของปัจจัยที่ที่มีผลต่อระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน	52
28	กราฟแจกแจงแบบปกติของชุดข้อมูลของค่าการแกว่งของแกนเพลลา	54
29	ผลการวิเคราะห์จาก โปรแกรม minitab ของชุดข้อมูลค่าการแกว่งของแกนเพลลา	56
30	กราฟแจกแจงแบบปกติของชุดข้อมูลค่าความเรียบของแกนเพลลา	58
31	ผลการวิเคราะห์ของชุดข้อมูลค่าความเรียบของแกนเพลลา	60
32	ค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยกระบวนการประกอบแกนเพลลาเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์	61
33	ค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยกระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์	62
34	การเปรียบเทียบค่าการแกว่งของเพลลาทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงของกระบวนการประกอบแกนเพลลาเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์ด้วยการเปรียบเทียบคู่แบบ T (Paired T-Test)	64
35	การเปรียบเทียบค่าความเรียบของแกนเพลลาทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงของกระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์ด้วยการเปรียบเทียบคู่แบบ T (Paired T-Test)	66
36	กราฟเปรียบเทียบผลค่าใช้จ่ายก่อนและหลังปรับปรุง	70

## การลดความเข้มเสียงของมอเตอร์ปัดน้ำฝน

### Noise Reduction of Wiper Motor

#### คำนำ

มอเตอร์ปัดน้ำฝนเป็นอุปกรณ์สำคัญอย่างหนึ่งในรถยนต์ โดยมอเตอร์ปัดน้ำฝนทำหน้าที่เป็นตัวให้กำลังขับเคลื่อนจากชุดข้อต่อ ให้กับใบปัดน้ำฝนเพื่อปัดทำความสะอาดกระจกรถยนต์เมื่อเวลากระจกรถยนต์สกปรกและขณะขับรถในช่วงเวลาฝนตก เพราะฉะนั้นการทำงานของมอเตอร์จะต้องถูกควบคุมด้วยลักษณะการทำงานที่ถูกต้อง และเสียงของมอเตอร์ปัดน้ำฝนเวลาทำงาน ต้องมีเสียงตามที่มาตรฐานกำหนดไม่เกิน 50 เดซิเบล

จากการศึกษาสายการผลิตชุดปัดน้ำฝนรถยนต์ของโรงงานกรณีศึกษาโดยการนำข้อมูลเดือนมกราคม 2556 ถึง พฤษภาคม 2556 มาวิเคราะห์พบว่า มอเตอร์มีเสียงดังเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ 50 เดซิเบล ซึ่งเป็นปัญหาที่มีงานเสียเป็นจำนวนมากที่สุด คิดเป็น 87.23% ของงานเสียทั้งหมด จึงได้ทำการศึกษาวิจัยที่ส่งผลกับกระบวนการผลิตชุดที่ปัดน้ำฝนดังกล่าวเพื่อหาสาเหตุของปัญหาเสียงดังผิดปกติของมอเตอร์ปัดน้ำฝน

การศึกษาระบวนการผลิตชุดที่ปัดน้ำฝนเพื่อหาสาเหตุของปัญหา พบว่าผลกระทบต่อค่าระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ มีปัจจัยมาจากค่าความเรียบ และค่าการแกว่งของแกนเพลลา ทำการวิเคราะห์ในสายการผลิตพบว่าที่กระบวนการประกอบแกนเพลลาเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์มีผลต่อค่าการแกว่งของแกนเพลลา และกระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์มีผลต่อค่าความเรียบของแกนเพลลา ทำการลดค่าความเรียบของแกนเพลลา และค่าการแกว่งของแกนเพลลา โดยออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียล  $2^k$  ที่กระบวนการประกอบแกนเพลลาเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์ และกระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์ โดยมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าความเรียบและค่าการแกว่งของแกนเพลลา คือ ระยะเวลาอัด ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม และแรงกด ของเครื่องใส่อาร์เมเจอร์และเครื่องใส่คอมมิวเตเตอร์ หลังจากการปรับปรุงสามารถนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ของเครื่องจักรทั้งสองมาเป็นมาตรฐานในการผลิตต่อไป

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนให้ต่ำกว่า 50 เดซิเบลตามมาตรฐาน
2. เพื่อสร้างแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน

### ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยมุ่งเน้นที่จะทำการศึกษายการผลิิตมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนของโรงงานกรณีศึกษา และทำการวัดชิ้นงานที่ห้องเครื่องมือวัด ที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์ที่ 65%

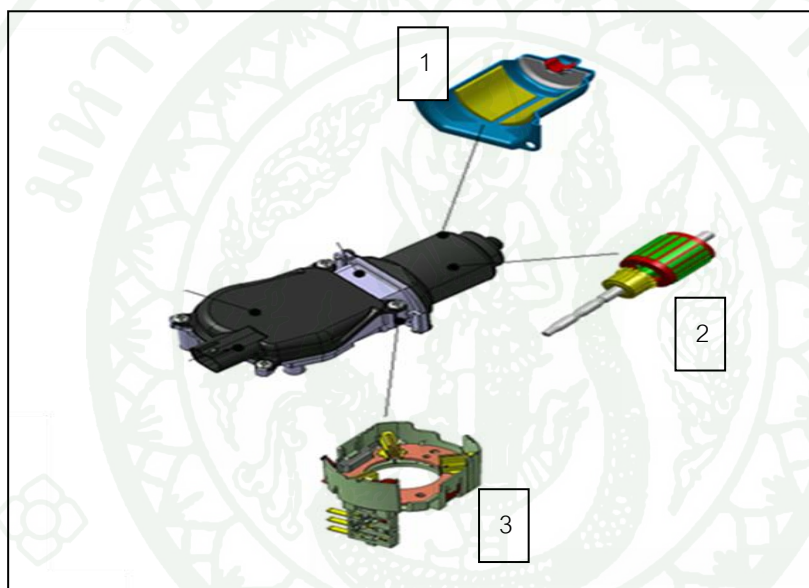
### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวทางในการลดความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน
2. สามารถขยายผลสู่รุ่นผลิตภัณฑ์ที่ใกล้เคียงกันได้
3. สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าและความพึงพอใจของลูกค้า

## การตรวจเอกสาร

### มอเตอร์ปั๊มน้ำฝน

มอเตอร์ปั๊มน้ำฝนเป็นเครื่องกลไฟฟ้าชนิดหนึ่ง que เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ามาเป็นพลังงานกล มอเตอร์ปั๊มน้ำฝนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานกล มีทั้งพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับและพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนประกอบหลักของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนประกอบไปด้วยชุดประกอบสเตเตอร์ ชุดประกอบโรเตอร์และแปรงถ่าน



ภาพที่ 1 มอเตอร์ปั๊มน้ำฝนในรถยนต์

ส่วนประกอบหลักของมอเตอร์มีรายละเอียดดังนี้คือ

1. สเตเตอร์ (Stator) ประกอบด้วย เฟรมหรือโยค (Frame Or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ให้ครบวงจร และยึดส่วนประกอบอื่นๆ ให้แข็งแรงทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนา ม้วนเป็นรูปทรงกระบอกขั้วแม่เหล็ก (Pole) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือแกนขั้วแม่เหล็กและขดลวดส่วนแรกแกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ กั้นด้วยฉนวนประกบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่าขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและ โรเตอร์

ใกล้ชิดกันมากที่สุด เพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุด จะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็ก จากขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุด แล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มาก เป็นการทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน(Torque) ส่วนที่สอง ขดลวดสนามแม่เหล็ก(Field Coil) จะพันอยู่รอบๆ แกนขั้วแม่เหล็กขดลวดนี้ ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้น และเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอามเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น ดังแสดงตำแหน่งที่ 1 ในภาพที่ 1

2. โรเตอร์ (Rotor) ตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวางอยู่ในดัลบลูกปืน (Ball - Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์ ตัวโรเตอร์ ประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกัน คือ



ภาพที่ 2 โรเตอร์และส่วนประกอบ

### 2.1 แกนเพลลา (Shaft)

เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์ และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็น ตัวโรเตอร์แกนเพลลานี้ วางอยู่บนแบร์ริง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวนิ่ง ดังแสดงในภาพที่ 2

### 2.2 แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core)

ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งนำมาสร้างแรงบิด ดังแสดงในภาพที่ 2

### 2.3 คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์ ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสาย ของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลลา เป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยังขดลวดอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกตัว ซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็กดังแสดงในภาพที่ 2

### 2.4 ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding)

เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอต (Slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่ละจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับกรออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้นๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2

3.แปรงถ่าน (Brushes) ทำด้วยคาร์บอนมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมพื้นผ้าในช่องแปรงมีสปริงกดอยู่ด้านบนเพื่อให้ถ่านนี้สัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลาเพื่อรับกระแส และส่งกระแสไฟฟ้าระหว่างขดลวดอาร์มาเจอร์ กับวงจรไฟฟ้าจากภายนอก คือถ้าเป็นมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรงจะทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเข้าไปยังคอมมิวเตเตอร์ให้ลวดอาร์มาเจอร์เกิดแรงบิดทำให้มอเตอร์หมุน ดังแสดงตำแหน่งที่ 3 ในภาพที่ 1

### ทฤษฎีการออกแบบทดลอง (Design of Experiment)

#### 1. ประวัติของทฤษฎีการออกแบบทดลอง

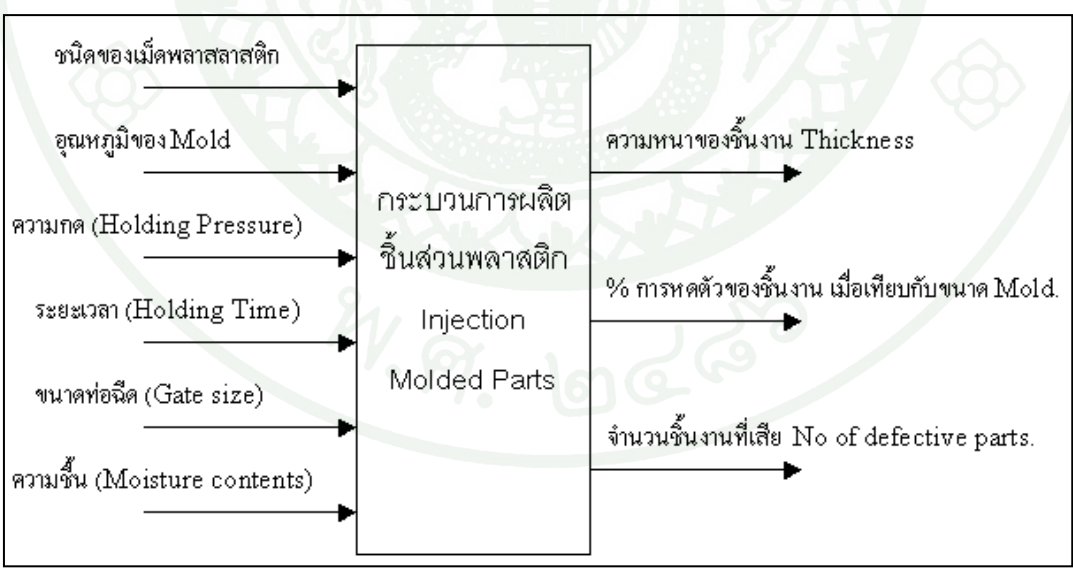
ในปี ค.ศ. 1920 ในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้มีการนำหลักการทฤษฎีการออกแบบทดลองไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชผักทางการเกษตรเมื่อมีการใช้ สูตรผสมของปุ๋ยที่แตกต่างกัน เป็นครั้งแรกในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการออกแบบทดลอง เป็นอีกแขนงหนึ่งของสถิติประยุกต์ ในครั้งนั้นผู้ทำการทดลองได้เรียกสูตรผสมของปุ๋ยที่แตกต่างกันในการทดลองว่า วิธีปฏิบัติ จึงเป็นที่มาของการเรียกการควบคุมตัวแปรในการทดลองที่แตกต่างกันว่า วิธีปฏิบัติ มาจนถึงทุกวันนี้ ในการประยุกต์ใช้หลักสถิติในการ ออกแบบวิธีทดลองหาผลกระทบของตัวแปรอิสระหลายๆตัวที่มีต่อตัวแปรตาม ได้เริ่มแพร่หลายมากขึ้นและเข้ามาสู่อุตสาหกรรมการผลิต และ

สาขาอื่นๆที่นอกเหนือจากการเกษตร ก่อนที่สหรัฐอเมริกาจะเข้าร่วมในสงครามโลกครั้งที่ 2 นั้น ประเทศในยุโรปที่เคยเป็นมหาอำนาจหลายประเทศ ซึ่งเป็นที่กำเนิดของทฤษฎีสถิติประยุกต์และ ได้มีการประยุกต์ใช้หลักสถิติใน กระบวนการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมและการควบคุมคุณภาพของ สินค้ามาก่อนหลายปี ได้เข้าสู่ภาวะถดถอยทางอุตสาหกรรม อันเป็นผลมาจากสงครามโลกครั้งที่ 1 ต่อเนื่องมาจนถึงสงครามโลกครั้งที่ 2 สหรัฐอเมริกา ซึ่งไม่ได้รับผลกระทบจากสงครามโลกครั้งที่ 1 ก็ก้าวเข้ามาเป็นประเทศผู้นำทางด้านอุตสาหกรรมแทนที่ จนเกิดสภาวะที่เรียกว่าผลิตอะไรออกมา ก็ขายได้ ทำให้ความใส่ใจในการวิจัยและพัฒนาด้านสินค้าและคุณภาพในเชิงลึกไม่ได้รับความเอาใจ ใสเท่าที่ควร สหรัฐอเมริกาเข้าร่วมในสงครามโลกครั้งที่ 2 หลังจากญี่ปุ่นได้โจมตีหมู่เกาะใน มหาสมุทรแปซิฟิก ที่เป็นดินแดนของสหรัฐอเมริกา หลังจากเข้ายึดครองดินแดนอื่นๆในทั่วเอเชีย แปซิฟิกได้หมดแล้ว ในที่สุดสหรัฐอเมริกาก็มีชัยเหนือญี่ปุ่น และยังคงเข้าร่วมสงครามในดินแดน ยุโรปด้วย ทำให้อิทธิพลของสหรัฐอเมริกา มากกว่าประเทศในยุโรปเป็นครั้งแรก ทางฝั่งเอเชีย ตะวันออกไกล ญี่ปุ่นถือว่าเป็นประเทศแรกๆที่ก้าวเข้าสู่การเป็นประเทศอุตสาหกรรม แต่ภายหลังที่ ญี่ปุ่นพ่ายแพ้สงครามโลกครั้งที่ 2 ประเทศเข้าสู่ภาวะชะงักงันในด้านเศรษฐกิจ โดยเฉพาะด้าน สินค้าอุตสาหกรรม สหรัฐอเมริกาผู้ที่มีชัยชนะเหนือญี่ปุ่นจำเป็นต้องเข้าช่วยเหลือฟื้นฟูประเทศ และหนึ่งในความช่วยเหลือที่สหรัฐอเมริกามอบให้แก่ญี่ปุ่นคือ Edwards W. Deming และ Joseph M. Juran ช่วงปี ค.ศ.1950-1960 ญี่ปุ่นในฐานะผู้แพ้สงคราม ได้เริ่มต้นด้วยการผลิตสินค้าเกรดต่ำ สินค้าลอกเลียนแบบ ขายในราคาต่ำ เทคโนโลยีการผลิตการควบคุมคุณภาพของสินค้าเมื่อเทียบกับ สหรัฐอเมริกา ก็ยังถือว่าห่างไกลกันมาก ส่วนแบ่งการตลาดก็ยังถือว่าน้อยมากด้วยเช่นกัน ในปี ค.ศ. 1964 สหรัฐอเมริกาได้เปรียบดุลการค้ากับประเทศอื่นๆทั่วโลกเฉพาะสินค้าอุตสาหกรรม มากถึง 6 พันล้านดอลลาร์ แต่ในปี ค.ศ.1983 สหรัฐอเมริกาขาดดุลการค้าในหมวดสินค้าอุตสาหกรรมถึง 123 พันล้านดอลลาร์ โดยตลอด 20 ปีนั้น อัตราการเจริญเติบโตสินค้าอุตสาหกรรมโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 35 เทียบกับอัตราร้อยละ 60 ของประเทศในทวีปยุโรป และอัตราร้อยละ 120 ของประเทศญี่ปุ่น ขณะที่ผู้ประกอบการด้านอุตสาหกรรมของสหรัฐอเมริกา ไม่ได้เน้นความสำคัญในการประยุกต์ใช้ หลักสถิติในการผลิตและควบคุมคุณภาพสินค้า และนับวันก็น้อยลงเรื่อยๆ และการดูแลและควบคุม คุณภาพของสินค้าก็อยู่ในลักษณะที่เรียกว่าฉาบฉวยมากขึ้นๆ ในขณะที่บรรดาผู้นำด้าน อุตสาหกรรมของญี่ปุ่น กลับมองเห็นความจำเป็นและความสำคัญในวิธีคิดและแนวทางที่ทั้ง Edwards W. Deming และ Joseph M. Juran ได้ถ่ายทอดให้ จนกระทั่งในช่วง ปี ค.ศ. 1970 - 1980 ญี่ปุ่นได้ก้าวขึ้นมาเป็นคู่แข่งสำคัญของสหรัฐอเมริกา ในการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมที่เกรดสูง คุณภาพดี แต่ราคาต่ำ จนทำให้อุตสาหกรรม หลายสาขาในสหรัฐอเมริกา ต้องปิดตัวลง เพราะไม่ สามารถแข่งขันได้ คือผู้นำด้านอุตสาหกรรมในญี่ปุ่นเอาจริงเอาจังในการประยุกต์ใช้หลักสถิติใน การควบคุมคุณภาพสินค้า การใช้หลักทฤษฎีการออกแบบทดลองในการควบคุมการผลิตสินค้า และ

ยึดถือปฏิบัติต่อเนื่องและมีการพัฒนาจนนำหลักดังกล่าวไปสู่พนักงานทุกระดับ ปลูกฝังให้มีจิตสำนึกในด้านคุณภาพ โดยเฉพาะพนักงานฝ่ายผลิตที่เป็นคนลงมือผลิตสินค้าเอง จนเป็นที่กล่าวถึงกันมาจนทุกวันนี้ ถึงแม้ในสหรัฐอเมริกาจะมีการประยุกต์ใช้หลักการดังกล่าวมาก่อน แต่ก็ขาดความจริงจังและความต่อเนื่อง หลักการหลายอย่างไม่อาจลงไปถึงพนักงานระดับล่างที่เป็นคนลงมือผลิตสินค้า

2. ความหมายของทฤษฎีการออกแบบทดลอง

ทฤษฎีการออกแบบทดลองมีจุดประสงค์ที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าปัจจัย (factors) ของกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง (Response) ของกระบวนการนั้น กระบวนการ (Process) คือการทำงานรวมกันผสมผสานกันของ เครื่องจักร (Machine), วัตถุดิบ (Material), มนุษย์ (People), กรรมวิธีการทำงาน (Methods), สภาพแวดล้อมในการทำงาน (Environment) และกระบวนการวัดค่า (Measurement) เพื่อให้เกิดเป็นผลผลิตหรือการบริการ รูปต่อไปนี้เป็นตัวอย่างกระบวนการหนึ่งที่อยู่ในหมวดการผลิตสินค้าอุตสาหกรรม เพื่อชี้ให้เห็นความสัมพันธ์ของปัจจัย กระบวนการ และตัวแปรตอบสนอง



ภาพที่ 3 ตัวอย่างปัจจัย กระบวนการ และ ตัวแปรตอบสนองของการออกแบบการทดลอง กระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติก

ในกระบวนการหนึ่งๆอาจจะมีปัจจัยมากมาย บางตัวก็ไม่อาจจะควบคุมได้และถึงแม้จะเป็นเหตุให้เกิดผลกระทบต่อกกระบวนการก็ตาม จำเป็นต้องละเอียดหรือปล่อยให้ตัวแปรเหล่านี้เป็นไปตามธรรมชาติ ในการออกแบบการทดลองเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Noise แต่ตัวแปรบางตัวไม่สามารถปล่อยให้เปลี่ยนแปลงไปตามธรรมชาติได้ เพราะมีผลต่อกระบวนการมากกว่าตัวแปรที่ไม่ควบคุม ต้องควบคุมตัวแปรเหล่านี้ให้เปลี่ยนแปลงอยู่ในตำแหน่งและช่วงใดช่วงหนึ่งที่มีผลเสียต่อกระบวนการน้อยที่สุด เรียกว่า Key Process Input Variable หรือ KPIV และสามารถรู้ประสิทธิภาพหรือความเป็นไปของกระบวนการได้ก็โดยการวัดด้วยตัวชี้วัด เช่นเดียวกันกระบวนการหนึ่งๆ อาจะวัดด้วยตัวชี้วัดเพียงตัวเดียว หรือมากกว่า 1 ตัวก็ได้ วิธีวัดมีทั้งวัดด้วยเครื่องมือวัดซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าต่อเนื่อง (Continuous data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative variable) และวัดด้วยการนับ การสังเกต ซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative variable) แต่จะไม่สามารถวัดตัวแปรผลลัพธ์ ของกระบวนการได้ทุกตัว จำเป็นจะต้องวัดเฉพาะตัวแปรที่สื่อถึงประสิทธิภาพหรือผลที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ดีที่สุด เรียกตัวแปรที่คัดเลือกมานี้ว่า Key Process Output Variable หรือ KPOV จากภาพที่ 3 ตัวแปรเข้าที่เห็นนั่นคือตัวแปรที่พิสูจน์แล้วว่าเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการมาก และ ตัวแปรตอบสนอง ที่ปรากฏก็เป็นตัวชี้วัดที่จะบ่งบอกถึงกระบวนการได้ดีที่สุด ซึ่งมีทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดได้คือความหนา การหดตัวของชิ้นงาน และที่นับหรือสังเกตด้วยคนเท่านั้น คือจำนวนชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์ หรือมีตำหนินั่นเอง เมื่อต้องใช้การออกแบบทดลองนั้น จะไม่นิยมใช้ตัวแปรตอบสนองหลายตัวในการทำการหนึ่ง

### 3. การวางแผนการทดลอง

ในการทดลองด้วยแบบจำลองจะต้องพิจารณาจำนวนครั้งที่จะทำการทดลอง เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลซึ่งเป็นลักษณะของข้อมูลส่วนมากของแบบจำลอง จะสามารถวิเคราะห์ได้ด้วย ความเชื่อมั่นว่าเป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยหรือธรรมชาติของข้อมูลเอง จะต้องมีการกำหนดจำนวนครั้งในการทำงานที่เหมาะสม ซึ่งจะเป็นผลโดยตรงกับค่าใช้จ่ายในการจำลอง นอกเหนือจากการพิจารณาจำนวนครั้งแล้ว จะต้องพิจารณาว่าข้อมูลที่ได้จากการจำลองแต่ละครั้งควรเก็บข้อมูลที่จุดใด เนื่องจากการหาข้อมูลจากแบบจำลองต่างจากการหาข้อมูลระบบจริง สำหรับระบบจริงจะได้ข้อมูลที่เกิดขึ้นจากสภาพการใช้งานจริงขณะนั้นของระบบ แต่การเก็บข้อมูลจากแบบจำลองจะต้องรอจนกว่าสถานะของแบบจำลองจะเข้าสู่สถานะคงตัว แล้วจึงเก็บข้อมูล เพื่อจะได้ข้อมูลของแบบจำลองที่มีสถานะการทำงานที่ใกล้เคียงกับสถานะปกติของระบบจริง

#### 4. ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

การกำหนดขั้นตอนสำหรับการดำเนินการทดลองที่ได้มาจากกฎเกณฑ์ต่างๆ ทางสถิติ ขั้นตอนดังกล่าวจะทำให้ได้ข้อมูลมากที่สุดจากการทดลองแต่ละครั้ง การออกแบบการทดลอง ได้มาจากการกำหนดตัวแปรตาม หรือตัวแปรที่ต้องการวัดค่า ซึ่งผู้ทดลองจะต้องทราบว่าตัวแปรตามนั้นมีค่าแปรผันตามปัจจัยอะไรบ้าง อย่างไร และระดับที่เป็นไปได้ของปัจจัยเหล่านี้ การออกแบบการทดลองจะเป็นการกำหนดว่าจะดำเนินการอย่างไร ในการกำหนดจำนวนตัวอย่างที่จะเก็บจะขึ้นกับค่าใช้จ่ายและความเชื่อมั่นทางสถิติที่ต้องการ

4.1 กำหนดหัวข้อปัญหาจะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไรขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ใดในช่วงเวลาใด (Where)

4.2 การเลือกปัจจัย และการกำหนดระดับของปัจจัย จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติ เช่น T-Test เป็นต้น

4.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดและวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับ และจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษานั้นได้ดีด้วย

4.4 เลือกแบบทดลอง เช่น การกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง วิธีการเลือกสิ่งตัวอย่าง วางแผนการทำทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น

4.5 ดำเนินการทดลอง ให้เป็นไปตามแผนการ ทั้งวิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง

4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล ไม่ใช่แค่การ Run computer program เพื่อให้ได้ผลออกมาเท่านั้น แต่รวมถึงการตรวจสอบ ลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การพิสูจน์ทราบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ (Model adequacy checking) หากค่าระดับนัยสำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย โดยปกติการออกแบบทดลอง จะใช้ ANOVA ในการวิเคราะห์ข้อมูล

### การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้นที่ทำหน้าที่พยากรณ์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปกับตัวแปรตาม 1 ตัว เพื่อให้สมการสามารถพยากรณ์ผลลัพธ์ได้ดีที่สุด จะต้องมามีวิธีการคัดเลือกตัวแปรเข้าสมการ โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise Selection) การคัดเลือกแบบนี้เป็นการผสมผสานระหว่างวิธีการคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์ทั้งแบบก้าวหน้าและแบบถอยหลังเข้าด้วยกัน ในขั้นแรกจะเลือกตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับตัวแปรตามสูงที่สุดเข้าสมการก่อนจากนั้นก็ทดสอบตัวแปรที่ไม่ได้อยู่ในสมการว่ามีตัวแปรใดบ้างมีสิทธิ์เข้ามาอยู่ในการสมการด้วยวิธีการคัดเลือกแบบก้าวหน้า (Forward Selection) และขณะเดียวกันก็จะทดสอบตัวแปรที่อยู่ในสมการด้วยว่า ตัวแปรพยากรณ์ที่อยู่ในสมการตัวใดมีโอกาสที่จะถูกขจัดออกจากสมการด้วยวิธีการคัดเลือกแบบถอยหลัง (Backward Selection) โดยจะกระทำการคัดเลือกผสมทั้งสองวิธีนี้ในทุกขั้นตอนจนกระทั่งไม่มีตัวแปรใดที่ถูกคัดออกจากสมการและไม่มีตัวแปรใดที่จะถูกนำเข้ามาสมการกระบวนการก็จะยุติและได้สมการถดถอยที่มีสัมประสิทธิ์การพยากรณ์สูงสุด สมการพยากรณ์ในรูปแบบคะแนนดิบ ในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ จะช่วยให้ได้สมการพยากรณ์เชิงเส้นตรงในรูปแบบคะแนนดิบ ดังนี้ (บุญชม ศรีสะอาด. 2541)

$$Y' = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$$

เมื่อ	$Y'$	แทน	คะแนนพยากรณ์ของตัวแปรตาม
	$a$	แทน	ค่าคงที่ของสมการพยากรณ์ในรูปแบบคะแนนดิบ
	$b_1, b_2, \dots, b_k$	แทน	ค่าน้ำหนักคะแนนหรือสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระ (ตัวพยากรณ์) ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ k ตามลำดับ
	$X_1, X_2, \dots, X_k$	แทน	-คะแนนของตัวแปรอิสระ ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ k ตามลำดับ
	$k$	แทน	จำนวนตัวแปรอิสระ

การเขียนสมการในรูปคะแนนดิบจะต้องทราบค่า  $a$  และ  $b$  เพื่อนำมาแทนค่าในสมการค่า  $a$  จากสูตร

$$a = \bar{Y} - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 - \dots - b_k \bar{X}_k$$

เมื่อ  $a$  แทน ค่าคงที่สำหรับสมการพยากรณ์ในรูปคะแนนดิบ  
 $\bar{Y}$  แทน ค่าเฉลี่ยสำหรับตัวแปรตาม  
 $\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_k$  แทน ค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระ ตัวที่ 1 ถึง  $k$  ตามลำดับ  
 $b_1, b_2, \dots, b_k$  แทน ค่าน้ำหนักของตัวแปรอิสระ ตัวที่ 1 ถึง  $k$  ตามลำดับ  
 $k$  แทน จำนวนตัวแปรอิสระ

ค่า  $b$  หาจากสูตร

$$b_j = \beta_j \frac{S_y}{S_j}$$

เมื่อ  $b_j$  แทน - ค่าน้ำหนักคะแนนหรือสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปรอิสระตัวที่  $j$  ที่ต้องการหาค่าน้ำหนัก  
 $\beta_j$  แทน - ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระตัวที่  $j$   
 $S_y$  แทน - ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรตาม  
 $S_j$  แทน - ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรอิสระ

สัมประสิทธิ์การถดถอย ( $b$ ) เป็นค่าที่ชี้ถึงว่า เมื่อตัวแปรอิสระ ( $X$ ) ตัวนั้นเปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วยจะทำให้ตัวแปรตามเปลี่ยนแปลงไป  $b$  หน่วย

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ จะต้องคำนวณหาค่า  $a$  และ  $b_1, b_2, \dots, b_k$  เพื่อนำมาแทนค่าลงในสมการ โดยถือหลักการที่ว่า ค่า  $b$  ทุกตัวต้องเป็นค่าที่ทำให้สมการพยากรณ์มีความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์น้อยที่สุด นอกจากจะหาค่า  $a$  และ  $b$  แต่ละตัวแล้ว ควรทดสอบความนัยสำคัญของค่า  $b$  แต่ละตัวด้วย

จุดประสงค์หลักของการวิเคราะห์การถดถอย คือ เพื่อพยากรณ์ตัวแปรหนึ่งโดยใช้ค่าที่ทราบของตัวแปรอีกตัวหนึ่ง การพยากรณ์นี้อาศัยหลักการ เช่น  $Y = a + bX$  ซึ่งมีไว้เพื่อประมาณค่า

ของตัวแปรที่ไม่ทราบค่า Y เมื่อทราบค่าของตัวแปร X เรียกสมการนี้ว่า สมการการถดถอย เมื่อทราบสมการการถดถอยสามารถพยากรณ์ Y จากค่า X ที่กำหนดให้

ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน หมายถึง ค่าที่แสดงว่าโดยเฉลี่ยแล้วค่าเฉลี่ยของตัวอย่างแต่ละตัวแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของประชากรมากน้อยเพียงใด โดยคำนวณจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหารด้วยรากที่สองของขนาดตัวอย่าง

การหาค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์ประกอบด้วย ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์ (Standard Error of estimate) เป็นส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของส่วนที่เหลือ สูตรในการหา S.E.<sub>est</sub> คือ

$$S.E._{est} = \sqrt{\frac{SS_{res}}{N - k - 1}}$$

เมื่อ S.E.<sub>est</sub> แทน ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์  
 SS<sub>res</sub> แทน ผลรวมของกำลังสอง (Sum of squares) ของส่วนที่เหลือ (Residual) เท่ากับ  $\sum d^2$   
 N แทน จำนวนสมาชิกในกลุ่มตัวอย่าง  
 K แทน จำนวนตัวแปรอิสระ

หมายเหตุ  $\frac{SS_{res}}{N - k - 1}$  คือ MS<sub>res</sub>

การคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอย (Standard Error of b coefficients) ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอย เขียนแทนด้วยตัวย่อ S.E.<sub>b<sub>j</sub></sub> เป็นค่าที่สามารถคำนวณได้หลายวิธี สูตรที่นิยมใช้ได้แก่

$$S.E. = \sqrt{\frac{S.E._{est}^2}{S.E._{x_j}(1 - R_i^2)}}$$

เมื่อ S.E.<sub>b<sub>j</sub></sub> แทน ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของสัมประสิทธิ์การถดถอยของ b<sub>j</sub>

- $S.E.^2_{est}$  แทน กำลังสองของความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์  
 $S.E.^2_{xj}$  แทน ผลรวมของกำลังสองของความเบี่ยงเบนของตัวแปรพยากรณ์ตัวที่  $j$   
 $R^2_j$  แทน กำลังสองของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณระหว่างตัว

การทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ เมื่อได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณแล้ว สิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ การทดสอบนี้เป็นการทดสอบว่า ตัวเกณฑ์กับกลุ่มตัวอย่างพยากรณ์นั้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างเชื่อถือได้หรือไม่ โดยมีสมมติฐานหลักในการทดสอบ ไม่มี ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวเกณฑ์กับกลุ่มตัวอย่างพยากรณ์ ( $H_0: R=0$ ) ทดสอบโดยใช้สถิติ F จากสูตร

$$F = \frac{R^2/k}{\left[1 - R^2\right]/(N-k-1)}$$

เมื่อ  $F$  แทนค่าสถิติที่จะใช้เปรียบเทียบกับค่าวิกฤตจากการแจกแจงแบบ  $F$  เพื่อทราบความมีนัยสำคัญของ  $R$ ,  $R$  แทน สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ,  $N$  แทน จำนวนสมาชิกกลุ่มตัวอย่าง  $k$  แทน จำนวนตัวพยากรณ์ หรือทดสอบโดยใช้สูตร

$$F = \frac{SS_{reg} / df_{reg}}{SS_{res} / df_{res}}$$

เมื่อ  $F$  แทน ค่าสถิติที่จะใช้เปรียบเทียบกับค่าวิกฤตจากการแจกแจงแบบ  $F$  เพื่อทราบความมีนัยสำคัญของ  $R$

$SS_{reg}$  แทน ผลรวมของกำลังสอง (Sum of squares) ของ  $Y$

$SS_{res}$  แทน ผลรวมของกำลังสอง (Sum of Squares) ของส่วนที่เหลือ (หรือของความเบี่ยงเบนของการถดถอย (ความคลาดเคลื่อน))

$df_{reg}$  แทน Degree of freedom ของการถดถอย =  $k$

$df_{res}$  แทน Degree of freedom ของส่วนที่เหลือ (ความคลาดเคลื่อน =  $N-k-1$ )

จาก  $SS_t = SS_{reg} + SS_{res}$

$SS_{res} = SS_t + SS_{reg}$

เมื่อ  $SS_t$  แทน ผลรวมของกำลังสองของทั้งหมดของ Y (Total sum of squares)

$$= \sum Y^2$$

สำหรับ  $SS_{reg}$  หาจากสูตร

$$SS_{reg} = b_1 \sum X_1 Y + b_2 \sum X_2 Y + \dots + \sum X_k Y$$

จากสูตร  $F = \frac{SS_{reg} / df_{reg}}{SS_{res} / df_{res}}$  ก็คือ  $F = \frac{MS_{reg}}{MS_{res}}$

ขั้นตอนในการทดสอบนัยสำคัญ

การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ ดำเนินตามขั้นตอน  
ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณค่า F

จากสูตร  $F = \frac{SS_{reg} / df_{reg}}{SS_{res} / df_{res}}$

ขั้นตอนที่ 2 หาค่าวิกฤตของค่า F จากการเปิดตาราง F โดยใช้  $df_1 = k$  และ  $df_2 = N - k - 1$  และที่ระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) ตามที่กำหนดไว้

ขั้นตอนที่ 3 เปรียบเทียบค่า F ที่ได้จากการคำนวณ กับค่าวิกฤตที่ได้จากการเปิดตาราง F ในขั้นตอนที่ 2 พิจารณาเมื่อค่า  $F_{คำนวณ}$  มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าวิกฤต  $F_{ตาราง}$  แสดงว่า R มีนัยสำคัญ นั่นคือ จะไม่ยอมรับสมมติฐานหลัก ( $H_0$ ) ที่ว่า ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวเกณฑ์กับกลุ่มตัวพยากรณ์ แต่จะยอมรับสมมติฐานรอง ( $H_1$ ) ที่ว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวเกณฑ์กับกลุ่มตัวพยากรณ์ เป็นการยอมรับว่าการถดถอยของ Y บน X มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อค่า  $F_{คำนวณ}$  มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤต  $F_{ตาราง}$  แสดงว่า R ไม่มีนัยสำคัญ ก็จะยอมรับ ( $H_0$ ) ที่ว่าไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวเกณฑ์กับกลุ่มตัวพยากรณ์

## สรุปขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ตรวจสอบข้อตกลงเบื้องต้น
2. คำนวณค่า  $r_{xy}$  ของตัวแปรพยากรณ์กับตัวแปรเกณฑ์
3. คัดเลือกตัวแปรพยากรณ์ที่มีความสัมพันธ์สูงสุดกับตัวแปรเกณฑ์เข้าสมการและคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ ( $R$ )
4. ทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์พหุคูณ ( $R$ ) ว่าทดสอบว่าตัวแปรพยากรณ์ที่เข้าในสมการยังคงอยู่ในสมการต่อไปได้หรือไม่ด้วยสถิติ  $F$
5. หาค่าน้ำหนักความสำคัญของตัวแปรพยากรณ์ ( $b$ ) หรือทั้งสองอย่าง เพื่อนำมาใช้ในการเขียนสมการพยากรณ์
6. ทดสอบนัยสำคัญของสัมประสิทธิ์การถดถอย เพื่อตรวจสอบว่าตัวแปรพยากรณ์สามารถพยากรณ์ตัวแปรเกณฑ์ได้หรือไม่ ด้วยสถิติ  $t$
7. คำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตัวแปรพยากรณ์ที่เข้าสมการ ( $SE_{\hat{y}}$ ) และคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของการพยากรณ์ ( $SE_{est}$ )
8. คัดเลือกตัวแปรพยากรณ์ที่มีความสัมพันธ์สูงกับตัวแปรเกณฑ์รองลงมาเข้าสมการและทำการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่เปลี่ยนแปลง ( $R^2$  change) ด้วยสถิติ  $F$  ถ้า  $R^2$  change ไม่มีนัยสำคัญก็แสดงว่าตัวแปรพยากรณ์ไม่สามารถอยู่ในสมการพยากรณ์ได้ แต่ถ้ามีนัยสำคัญก็ดำเนินการตามข้อ 4, 5, 6 และ 7 แล้วดำเนินการต่อไปจนกว่าจะไม่มีตัวแปรพยากรณ์ใดเข้าในสมการ (การดำเนินการตามข้อ 8 เป็นวิธีการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบขั้นบันได)

### ผังแสดงเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagram)

ผังแสดงเหตุและผล หรือผังก้างปลา บางครั้งเรียกว่า Ishikawa Diagram ซึ่งเรียกตามชื่อของ Dr. Kaoru Ishikawa ผู้ซึ่งเริ่มนำผังก้างปลาไปใช้ในปี ค.ศ. 1953 เป็นผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะ ทางคุณภาพกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

### แผนภูมิพาร์โต (Pareto Diagram)

แผนภูมิพาร์โต เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของความบกพร่องกับปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น

### ผลงานวิจัย บทความ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การลดความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน ในงานวิจัยใช้วิธีการออกแบบทดลองแบบแฟคตอเรียล  $2^k$  โดยที่ในงานวิจัยของ พยุงศักดิ์ (2551) ทำออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียลเช่นกัน พบว่า ความแปรผันจากระบบการวัดสำหรับผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ สามารถลดความแปรผันลงเท่ากับ 15% โดยต้องทำการติดตั้งค่าการ Mark peak แบบ Automatic, การ Alignment Mount Block โดยการดัน Mount Block ไปด้านหน้าและการ Alignment Part โดยดัน Part ไปทางซ้าย อีกรงานวิจัยของ วิฑูลย์ (2555) ศึกษาปัจจัยที่ควบคุมได้ที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมดูดของเครื่องซักผ้าแบบถูกรองและหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพัดลมดูดมีค่าต่ำสุดโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  Factorial design พบว่า ค่าความดันตกรวมถูกรอง ความเร็วลมในท่อดูด และอิทธิพลร่วมระหว่างสองปัจจัยนี้ วิธีที่นำมาพิจารณาคือ การเปรียบเทียบค่า P-value โดยหากค่า P-value ของปัจจัยน้อยกว่าค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ ให้ถือว่าปัจจัยมีผลต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพัดลมดูดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งได้กำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ 95% ในทางเดียวกันงานวิจัยของ เอก (2554) วิเคราะห์ปัจจัยเพื่อกำหนดเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการเชื่อมมิถาเบรกในรถยนต์ โดยใช้วิธีการออกแบบทดลองเชิงแฟคตอเรียล  $2^{6-3}$  มีปัจจัยได้แก่ กระแสไฟ แรงดันไฟเชื่อม ความเร็วเชื่อม มุมหัวเชื่อม ระยะโผล่ลวดเชื่อมและแก๊สปกคลุม ให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงดันแรงดึงของตะเข็บเชื่อม จากนั้นใช้การทดลองแบบ บ็อกซ์-เบนเคน เป็นเครื่องมือออกแบบการทดลองหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม และทดสอบหาคุณภาพทางกลด้วยการทดสอบค่าต้านแรงดึง ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ค่าที่เหมาะสมคือ กระแสไฟฟ้าเชื่อมเท่ากับ 250 แอมป์ แรงดันไฟเชื่อม 30

โวลต์ ความเร็วเชื่อม 0.3 เมตรต่อนาที ระยะโพล์ลวดเชื่อม 20 มิลลิเมตร แก๊สคลุมแนวเชื่อม 10 ลิตรต่อนาทีซึ่งได้ค่าแรงดึงสูงสุด คือ 16,017.4 N.m.

งานวิจัยของ สิริพงษ์ จิ่งถาวรณและณัฐวุฒิ ขุนสอาดศรี(2554) ทำการลดของเสียของชิ้นงานเพลามาเคลแพนเทอร์บีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกเล็กกว่าช่วงควบคุมด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสมบูรณ์เช่นกัน พบว่าการปรับเวลาในการจัดแบบหยาบสเกลตียบ และการปรับเวลาในการจัดแบบละเอียดสเกลหน่วยมีค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ของเสียในกระบวนการลดน้อยที่สุดคือ 20 และ 0 ตามลำดับสามารถลดของเสียลงได้ถึง 93.75% งานวิจัยของ มาลิน(2552) ได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยและระดับปัจจัยที่มีความเหมาะสมสำหรับขั้นตอนการรีดร้อนและตีคูลดิ่งในกระบวนการผลิตฝ้าดึงในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ประเภทกระป๋องบรรจุอาหาร โดยใช้วิธีแฟคทอเรียลแบบสมบูรณ์ ในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติในการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยและกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม และนำค่าดังกล่าวไปใช้ในกรณีศึกษาเป็นเวลา 3 เดือนพบว่าปริมาณสินค้ามีข้อบกพร่องน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ งานวิจัยของ ณัฐวุฒิ (2552) วิเคราะห์ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำในการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์ โดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล แบบ  $2^k$  และสร้างสมการถดถอยระหว่างอัตราพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กับปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ได้แก่ อัตราการป้อนออโทไซลีน( $x_1$ ) การใช้ไอน้ำที่สวิทช์แก๊สคอนเดนเซอร์( $x_2$ ) และการใช้ไอน้ำที่ส่วนการกลั่นในกระบวนการผลิตไดออกทิลพาลेट( $x_3$ ) สมการถดถอยที่ได้คือ  $y = -1,037 + 0.7444x_1 + 44.1 x_2 + 27.6 x_3$  มีค่าความเชื่อมั่น 99.8% ในงานวิจัยของ รัฐนาฎ (2553) ทำการออกแบบการทดลองสำหรับตัวแปรของการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้าบนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 410 ด้วยศึกษาเปรียบเทียบอิเล็กโตรดทองเหลือง 2 ชนิด คือ ทองแดงและทองเหลือง แผลดกลงพบว่า การกัดอาร์คเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยอิเล็กโตรดทองเหลืองให้การจัดเนื้องานที่มากกว่าทองแดง จากนั้นออกแบบการทดลองแบบวิธีพูลแฟคทอเรียล โดยมีการทดลองซ้ำสองครั้ง ที่ความเชื่อมั่น 95% หาปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อการจัดเนื้องานคือ กระแสไฟฟ้า งานวิจัยของ ณัฐดนัย (2552) ออกแบบเครื่องผลิตปลาร้าผงแบบแฟคทอเรียล เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น โดยใช้ปัจจัยในการออกแบบการทดลองได้แก่ ชนิดของหัวฉีดเครื่องผลิตปลาร้าผง, อุณหภูมิในการอบปลาร้า, ความดันในหัวฉีดเครื่องผลิตปลาร้าผงและอัตราความเร็วในการปั่นละอองของเครื่องผลิตปลาร้าผง พบว่าควรเลือกเครื่องที่มีขนาดหัวฉีด 0.2 – 500 ไมครอน ซึ่งจะช่วยให้อัตราการไหลจะคงที่ และถ้าบริเวณที่ไหลผ่านพื้นที่มีหน้าตัดกว้างความเร็วในการไหลจะช้า งานวิจัยของ โสภิตา (2550) ทำการลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่นโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่น่าจะส่งผลต่อการเกิดเม็ดพิวรีซี

ไม่หกลมละลายที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานพบว่า อุณหภูมิในการหลอมเหลวพีวีซีที่ 180 องศาเซลเซียส และปริมาณเศษพีวีซีที่นำกลับมาใช้ใหม่ 30 กิโลกรัมต่อ batch จะทำให้จุดบกพร่องบนพื้นผิวของชิ้นงานไม่เกิน 10 จุดต่อตารางเมตร สามารถลดงานเสียลงได้ 73.08 เปอร์เซ็นต์ และงานวิจัยของจรรย์ (2551) ได้คัดเลือกเชื้อรา *Aspergillus terreus* ASKU 10 ที่สามารถผลิตเอมไซม์เบต้า-กลูคาเนสได้สูงสุดเมื่อใช้ฟางข้าวเป็นวัสดุในการหมักฝนการเพาะเลี้ยงแบบแห้ง ด้วยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ คือ การเพาะเลี้ยงเชื้อราเป็นเวลา 5 วัน ด้วยสปอร์เริ่มต้นที่  $5 \times 10^7$  สปอร์ต่อมิลลิลิตรในอาหารที่มีความชื้นเริ่มต้น 75 เปอร์เซ็นต์ที่ประกอบด้วยฟางข้าว 10 กรัม น้ำแช่ข้าวโพด 3.3 มิลลิลิตร และ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.825 กรัม พบว่าค่าที่เหมาะสมของความชื้นเริ่มต้น น้ำแช่ข้าวโพดและ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  ต่อการผลิตเอมไซม์ด้วยวิธีพื้นผิวดอบสนอง คือการเลี้ยงเชื้อราบนฟางข้าวหมัก 10 กรัมที่มีความชื้นเริ่มต้นที่ 72 เปอร์เซ็นต์ ที่ประกอบด้วยน้ำแช่ข้าวโพด 4.7 มิลลิลิตร และ  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  0.79 กรัม โดยให้ค่าทำนายและค่าทดลองกิจกรรมเอนไซม์เท่ากับ 4206 และ 4570 หน่วยต่อกรัมวัสดุหมักแห้งตามลำดับ ส่วนงานวิจัยของ วีรเทพ เกลิมสมิทธิชัย (2550) ศึกษาปริมาณธาตุที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กดิบโดยวิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล พบว่า ปริมาณคาร์บอน, แมงกานีส, กำมะถัน, ซิลิกอน มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของเหล็กถวด อย่างมีนัยสำคัญ ได้เพิ่มการออกแบบการทดลองอีกครั้งโดยใช้วิธีการพื้นผิวดอบสนอง แบบ Box-Behnken Design ได้สมการถดถอยของปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับค่าความแข็งแรง โดยได้สภาวะที่เหมาะสมต่อค่าความแข็งแรงมากที่สุดคือ ปริมาณคาร์บอน 0.20% ต่อ กิโลกรัม ปริมาณแมงกานีส 0.60% ต่อ กิโลกรัม ปริมาณกำมะถัน 0.05% และซิลิกอน 0.50% ต่อ กิโลกรัม จากงานวิจัยดังกล่าวใช้วิธีออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเหมือนกัน แต่ต่างกันที่กระบวนการของสิ่งที่จะนำมาปรับปรุง ซึ่งหลังการปรับปรุงทุกงานวิจัยสามารถได้ตัวแปรผลลัพธ์ตามเป้าหมายที่กำหนด

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. ส่วนประกอบมอเตอร์ปั้ดน้ำฝนสำหรับปั้ดน้ำฝน
2. เครื่องวัดระดับความเข้มเสียง (dB)
3. เครื่องวัดความเร็วผิว
4. ไดอัลเกจ (Dial gauge)
5. เครื่อง CMM (Coordinate Measuring Machine)
6. เครื่องคอมพิวเตอร์ใช้รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

### วิธีการ

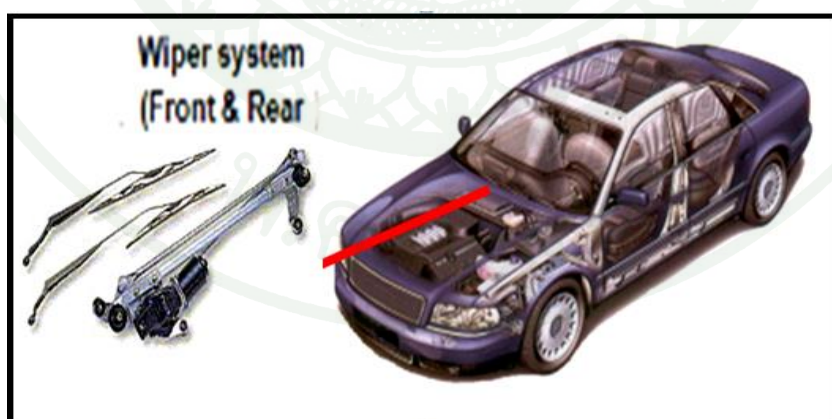
ศึกษาการลดเสียงดังเกิน 50 เดซิเบลของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝนในรถยนต์โดยจะแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอนและสามารถอธิบายขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังนี้

1. ศึกษาสภาพปัจจุบันและกำหนดการทำงานวิจัยของโรงงานกรณีศึกษา
2. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาเสียงดังมากกว่า 50 เดซิเบลของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝนสำหรับชุดปั้ดน้ำฝนในรถยนต์
3. พยายามหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยเพื่อให้มอเตอร์ปั้ดน้ำฝนสำหรับชุดปั้ดน้ำฝนในรถยนต์เสียงดังน้อยกว่า 50 เดซิเบล

4. ศึกษากระบวนการในสายการผลิตที่มีผลกระทบต่อปัจจัยที่โดยใช้การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดระดับที่เหมาะสมของปัจจัย
5. ศึกษาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการผลิต ของมอเตอร์ปัดน้ำฝนสำหรับชุดปัดน้ำฝนในรถยนต์
6. ทดสอบการเกิดเสียงดังมากกว่า 50 เดซิเบล ของมอเตอร์ปัดน้ำฝนสำหรับชุดปัดน้ำฝนในรถยนต์
7. ปรับปรุงกระบวนการโดยใช้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย มาเป็นค่ามาตรฐานในการผลิต เพื่อลดการเกิดเสียงดังมากกว่า 50 เดซิเบลของมอเตอร์ปัดน้ำฝนสำหรับชุดปัดน้ำฝนในรถยนต์

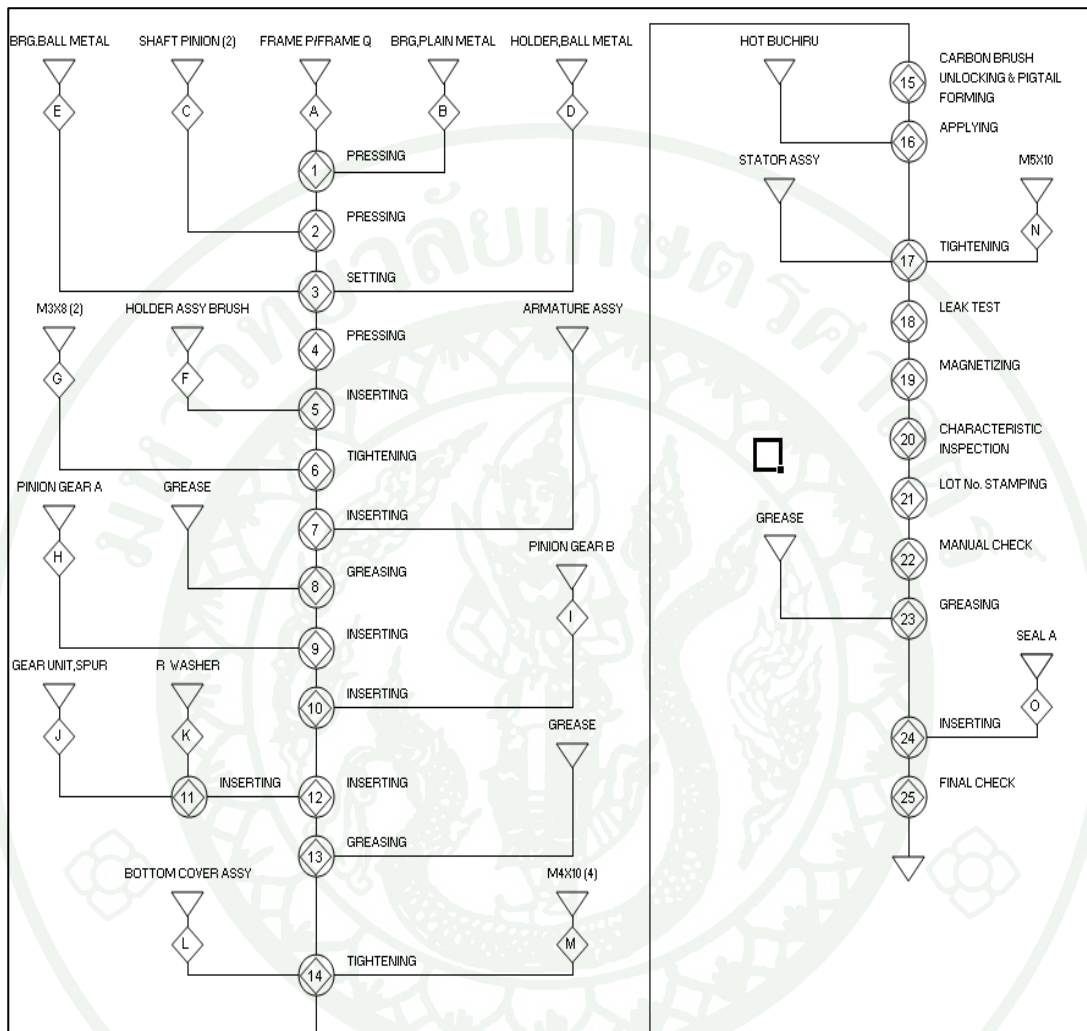
#### 1. ศึกษาสภาพปัจจุบันและกำหนดการทำงานวิจัยของโรงงานตัวอย่าง

โครงสร้างของโรงงานตัวอย่าง เริ่มก่อตั้งเมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ.2536 ผลิตชิ้นส่วนชุดปัดน้ำฝนในรถยนต์คิดเป็นร้อยละ 65 ของการผลิตทั้งหมด โดยลูกค้าหลักได้แก่ HONDA, MITSUBISHI, NISSAN, ISUZU, และ MAZDA



ภาพที่ 4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชุดปัดน้ำฝนรถยนต์ของโรงงานกรณีศึกษา

จึงได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกับกระบวนการผลิตชุดที่ปิดน้ำฝนดังกล่าวเพื่อหาสาเหตุของปัญหาเสียงดังผิดปกติของมอเตอร์ปิดน้ำฝน

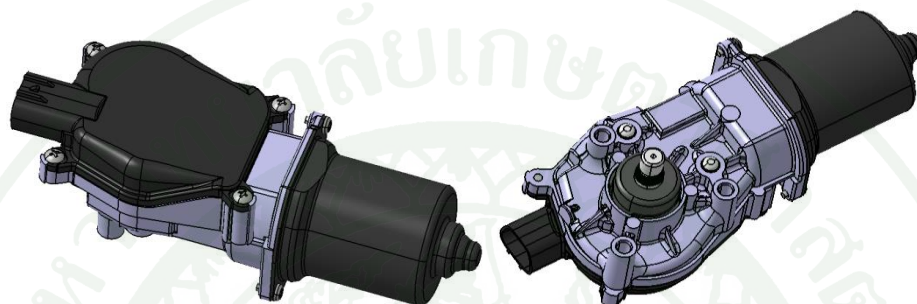


ภาพที่ 5 แผนภูมิการไหลของมอเตอร์ปิดน้ำฝน

ขั้นตอนการผลิตมอเตอร์ของชุดปิดน้ำฝนในรถยนต์จะเป็นลักษณะสายการผลิตแบบการประกอบโดยจะเริ่มจากการประกอบชุดเฟรม แล้วนำไปประกอบกับชุดแปรงถ่าน จากนั้นนำชุดประกอบอาร์เมเจอร์ซึ่งจะมาจากมีอีกสายการผลิตมาประกอบเข้ากับชุดประกอบเฟรม นำเฟืองมาใส่กับชุดประกอบเฟรม ทำการปิดชุดประกอบเฟรมด้วยฝาปิด สุดท้ายนำชุดประกอบสเตเตอร์เข้ามาประกอบ หลังจากที่ประกอบเป็นชุดมอเตอร์เสร็จแล้วจะทำการตรวจสอบการทำงานของมอเตอร์โดยการตรวจสอบคุณลักษณะของมอเตอร์ด้วยเครื่องตรวจสอบเฉพาะของมอเตอร์ ตรวจสอบระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์โดยใช้เครื่องวัดระดับความเข้มเสียงเพื่อที่จะไม่ให้ระดับ

ความเข้มเสียงมากกว่า 50 เดซิเบล และตรวจสอบลักษณะภายนอกของมอเตอร์ตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้ ดังแสดงในภาพที่ 5

มอเตอร์สำหรับชุดปิดน้ำฝนในรถยนต์เมื่อประกอบและตรวจสอบตามมาตรฐานของการผลิตเรียบร้อยแล้วจะมีรูปร่างดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 มอเตอร์ปิดน้ำฝนในรถยนต์ของโรงงานตัวอย่าง

ทำการเก็บข้อมูลเป็นเปอร์เซ็นต์งานเสียจากสายการผลิตของมอเตอร์ปิดน้ำฝนสำหรับชุดปิดน้ำฝนของในโรงงานตัวอย่าง โดยเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม ถึง พฤษภาคม ปี 2556 เพื่อทำการระบุและคัดเลือกหัวข้อของปัญหา

## 2. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาเสียงดังมากกว่า 50 เดซิเบลของมอเตอร์ปิดน้ำฝนสำหรับชุดปิดน้ำฝนในรถยนต์

เลือกปัจจัยที่มีผลต่อระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์เสียงดังคิดปกติมากกว่า 50 เดซิเบล ดังนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ซึ่งสาเหตุหลักจะมักจะเกิดจาก 4 ปัจจัย คือ คน, เครื่องจักร, วัตถุดิบ และวิธีการ โดยใช้แผนภูมิแกงปลา

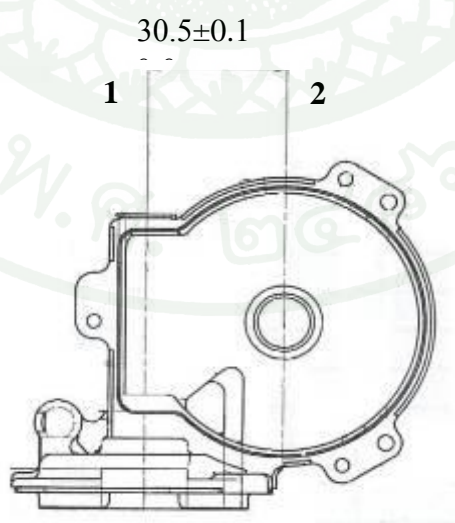
วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อมอเตอร์ปิดน้ำฝนสำหรับปิดน้ำฝนเสียงดังเกิน 50 เดซิเบล ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์มีทั้งหมด 4 ปัจจัยคือ

1. ระยะชุดประกอบเฟรม
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์
3. ค่าความเรียบของแกนเพลลา
4. ค่าการแกว่งของแกนเพลลา

ทำการสุ่มชิ้นงานมาจำนวนทั้งหมด 30 ตัว ทำการวัดชิ้นส่วนมอเตอร์ปิดน้ำฝนก่อนนำไปประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝนโดยระยะชุดประกอบเฟรมและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ใช้เครื่องมือ CMM (Coordinate Measuring Machine) ค่าความเรียบของแกนเพลลาใช้ เครื่องวัดความเรียบผิวในการวัด ค่าการแกว่งของแกนเพลลาใช้ไดอัลเกจในการวัด และหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝนของชิ้นงานทั้งหมดโดยมีรายละเอียดวิธีการวัดดังนี้

1. ระยะชุดประกอบเฟรม

มีมาตรฐานอยู่ที่ 30.5 มิลลิเมตร โดยมีค่าระยะเผื่ออยู่ที่ 0.1 มิลลิเมตร โดยวัดจากจุดหนึ่งไปถึงจุดที่สอง ดังภาพที่ 7 ใช้เครื่อง CMM (Coordinate Measuring Machine) เป็นเครื่องมือในการวัด

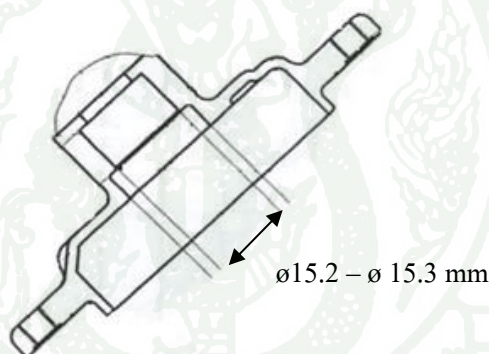


ภาพที่ 7 ระยะของชุดประกอบเฟรมเฟรมของมอเตอร์ปิดน้ำฝน

ทำการวัดระยะเฟรมทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝน และหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝน เนื่องจากระยะเฟรมจุดนี้เป็นจุดสัมผัสระหว่างแกนเพลากับเฟรม ดังนั้นถ้าระยะเฟรมนี้ไม่ได้มาตรฐาน อาจส่งผลกระทบต่อระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปิดน้ำฝน และนำมาเปรียบเทียบว่าระยะเฟรมนั้นมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่แสดงในตารางที่ 4 แสดงค่าการวัดระยะเฟรมทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝนและหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝน

## 2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์

มีค่ามาตรฐานของเส้นผ่านศูนย์กลางในรูของสเตเตอร์อยู่ที่ 15.2 มิลลิเมตร โดยมีระยะเผื่ออยู่ที่ 0.1 มิลลิเมตร ดังภาพที่ 8 ใช้เครื่อง CMM (Coordinate Measuring Machine) เป็นเครื่องมือในการวัด

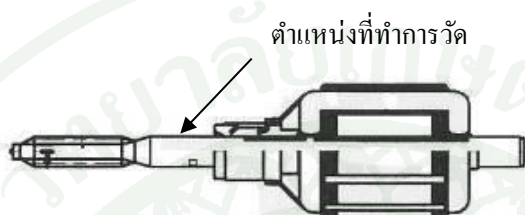


ภาพที่ 8 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์

ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝนและหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝน เนื่องจากรูของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์จะสัมผัสกับด้านบนของแกนเพล่า ถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ไม่ได้มาตรฐาน อาจส่งผลกระทบต่อระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปิดน้ำฝน และนำมาเปรียบเทียบว่าระยะเฟรมนั้นมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่แสดงในตารางที่ 5 แสดงค่าการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝนและหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝน

### 3. ค่าความเรียบของแกนเพลลา

มีค่าความเรียบของแกนเพลลามาตรฐานต้องไม่มากกว่า 0.005 มิลลิเมตร ใช้เครื่องวัดความเรียบผิวเป็นเครื่องมือในการวัด ตำแหน่งการวัดอยู่ตรงกลางของแกนเพลลาและต้องวัดตำแหน่งเดียวกันเหมือนกันทุกชิ้น ดังภาพที่ 9



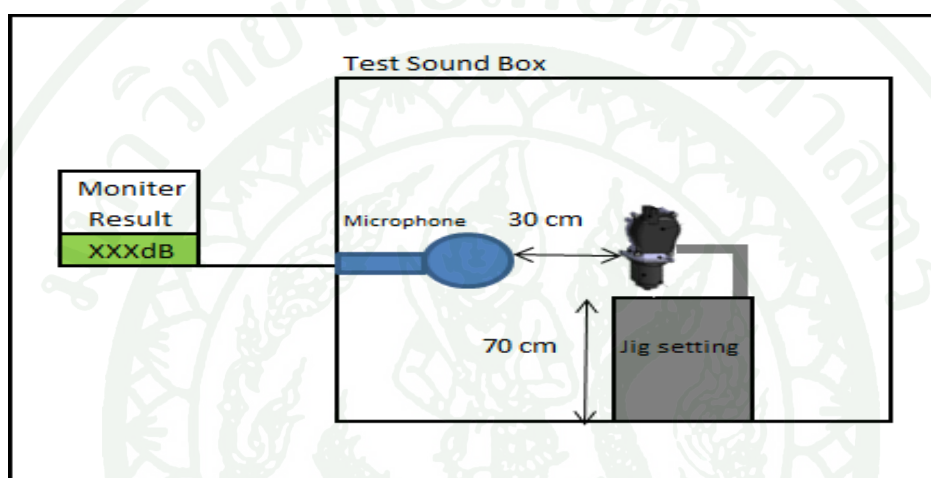
ภาพที่ 9 ตำแหน่งที่ทำการวัดผิวของแกนเพลลา

ทำการวัดความเรียบผิวของแกนเพลลา ทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนและหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน เพื่อนำมาเปรียบเทียบว่าค่าความเรียบของแกนเพลลานั้นมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ แสดงในตารางที่ 6 แสดงค่าความเรียบของทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนและหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน

### 4. ค่าการแกว่งของเพลลา

ค่าการแกว่งของเพลลา คือ การหนีศูนย์กลางของเพลลา ซึ่งจะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนจนอาจทำให้มอเตอร์ปั๊มน้ำฝนมีเสียงดังเกินมาตรฐานที่ตั้งไว้โดยค่าการแกว่งของเพลลาจะมีค่ามาตรฐานคือต้องไม่มากกว่า 0.005 มิลลิเมตร จากนั้นทำการวัดค่าการแกว่งของแกนเพลลาโดยวัดทั้งก่อนนำไปประกอบ และหลังการไปประกอบเป็นมอเตอร์ ได้ค่าตามตารางที่ 7 ค่าการแกว่งของแกนเพลลา ก่อนและหลังนำไปประกอบเป็นมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน (มิลลิเมตร)

จากนั้นนำชิ้นส่วนทั้งหมดมาทำการประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝน แล้วจึงทำการทดสอบระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปิดน้ำฝนเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ไฟฟ้า และทำการแยกชิ้นส่วนของมอเตอร์ปิดน้ำฝนออก ทำการวัดระยะชุดประกอบเฟรม, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์, ค่าความเรียบของแกนเพลลา และค่าการแกว่งของแกนเพลลา เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดข้อมูลก่อนประกอบและหลังประกอบมอเตอร์ปิดน้ำฝน



ภาพที่ 10 ตู้สำหรับทำการทดสอบระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปิดน้ำฝน

ทำการทดสอบระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปิดน้ำฝน โดย ทดสอบในตู้สำหรับทดสอบระดับความเข้มเสียง โดยเฉพาะ ภายในตู้จะถูกรอกแบบเพื่อป้องกันเสียงรบกวนจากภายนอก โดยวิธีการทดสอบต้องกำหนดระยะห่างจากมอเตอร์ปิดน้ำฝนถึงตัวรับเสียง 30 เซนติเมตร และมอเตอร์ปิดน้ำฝนต้องอยู่สูงจากพื้นตู้ทดสอบ 70 เซนติเมตรตามมาตรฐานของลูกค้า ดังแสดงในภาพที่ 10

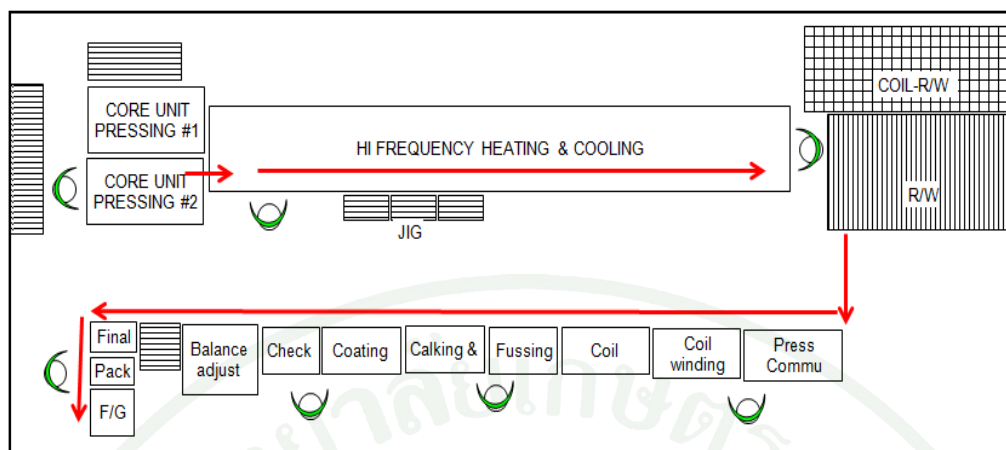
เมื่อได้ปัจจัยแล้ว ทำการวัดค่าของชิ้นส่วนมอเตอร์ปิดน้ำฝนทั้งก่อนและหลังการประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝน ทำการเปรียบเทียบแต่ละชิ้นส่วนเพื่อทดสอบว่าหลังจากประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝนแล้วแต่ละชิ้นส่วนมีความแตกต่างกันหรือไม่

### 3. พยากรณ์ค่าที่เหมาะสมของปัจจัย เพื่อให้มอเตอร์ปั๊มน้ำฝนสำหรับชุดปั๊มน้ำฝนในรถยนต์ เสียงดังน้อยกว่า 50 เดซิเบล

ทำการสร้างสมการถดถอยพยากรณ์ค่าที่เหมาะสมของปัจจัย เพื่อให้มอเตอร์ปั๊มน้ำฝนสำหรับชุดปั๊มน้ำฝนในรถยนต์เสียงดังน้อยกว่า 50 เดซิเบล โดยทำการกำหนดตัวแปรตาม (Y) คือ ระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนที่ไม่มากกว่า 50 เดซิเบล ใช้ปัจจัย X3 คือ ค่าความเรียบของแกนเพลลาและปัจจัย X4 คือ ค่าการแกว่งของแกนเพลลาและกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 3 และทดสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรม minitab

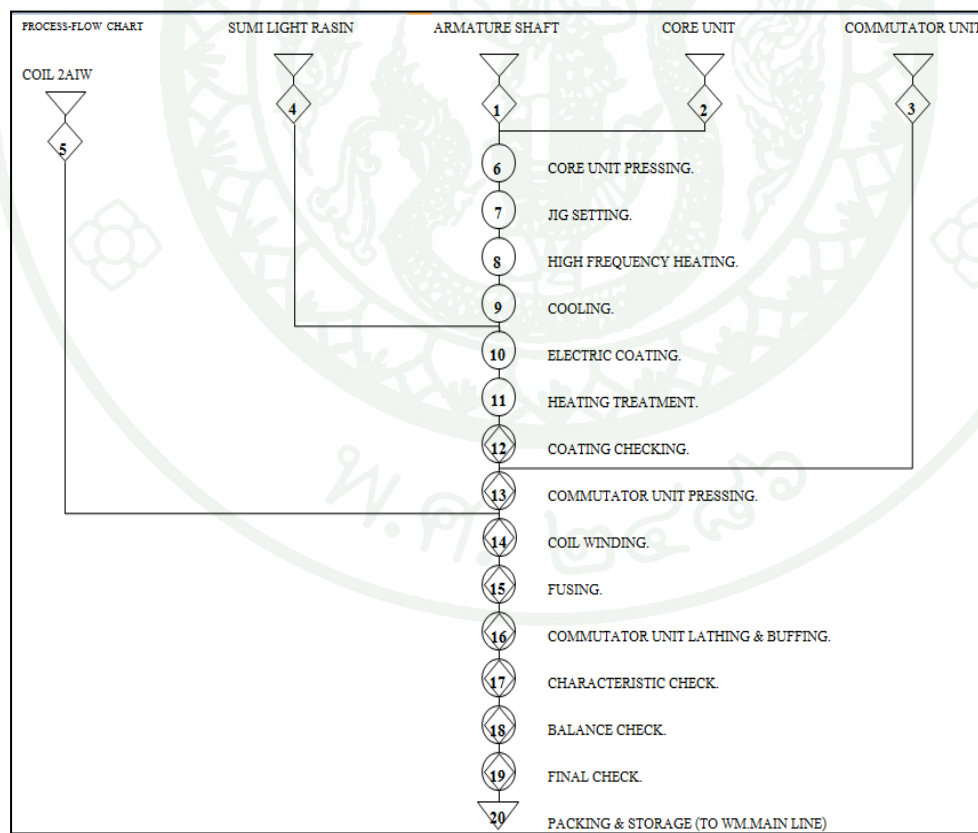
### 4. ศึกษากระบวนการในสายการผลิตที่มีผลกระทบต่อปัจจัยที่โดยใช้การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดระดับที่เหมาะสมของปัจจัย

จากการเลือกปัจจัยที่มีผลต่อเสียงดังเกินมาตรฐานของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน พบว่าชิ้นส่วนแกนเพลลานั้นมีผลต่อเสียงดังเกินมาตรฐานของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน โดยสาเหตุการเกิดมาจากสองปัจจัยคือ ค่าการแกว่งของแกนเพลลา และค่าความเรียบของแกนเพลลา ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์หากระบวนการที่มีผลต่อการแกว่ง และความเรียบผิวของแกนเพลลา เพื่อไม่ให้ค่าความเรียบของแกนเพลลา และค่าการแกว่งของแกนเพลลามากกว่าหรือเท่ากับ 0.004 มิลลิเมตร อนึ่ง การพิจารณาความเรียบของแกนเพลลา และค่าการแกว่งของแกนเพลลาให้เป็นไปตามค่าที่ได้ศึกษานั้น กระบวนการผลิตชุดประกอบอาร์เมเจอร์เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้อง จึงทำการวิเคราะห์กระบวนการผลิตชุดประกอบอาร์เมเจอร์ดังกล่าว พบว่ากระบวนการประกอบแกนเพลลาเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์กับเพลลา มีผลต่อการทำให้เพลลาแกว่งและที่กระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีเครื่องมาให้แรงกระทำโดยตรงกับแกนเพลลา แสดงในรูปที่ 11 แผนผังแสดงของกระบวนการผลิตชุดประกอบอาร์มาเจอร์



ภาพที่ 11 แผนผังแสดงของกระบวนการผลิตชุดประกอบอาร์เมเจอร์

ขั้นตอนการผลิตชุดประกอบอาร์เมเจอร์ซึ่งมีแกนเพลลาเป็นชิ้นส่วนประกอบหลัก



ภาพที่ 12 ขั้นตอนในการประกอบชุดอาร์เมเจอร์

จากภาพที่ 12 แสดงขั้นตอนในการประกอบชุดอาร์เมเจอร์ ซึ่งชุดอาร์เมเจอร์มีส่วนประกอบหลักๆคือ แกนเพลลา แกนอาร์เมเจอร์ และคอมมิวเตเตอร์ ในสายการผลิตชุดประกอบอาร์เมเจอร์ จะเริ่มจากนำแกนอาร์เมเจอร์มาประกอบเข้ากับแกนเพลลาโดยเครื่องกด จากนั้นจะใส่ด้วยคอมมิวเตเตอร์ด้วยเครื่องกดคอมมิวเตเตอร์ แล้วนำไปเข้าเครื่องพันลวดเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์ สุดท้ายทำการตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจสอบเฉพาะและตรวจสอบลักษณะภายนอกก่อนที่จะนำไปประกอบเข้าสู่สายการผลิตมอเตอร์ปั๊มน้ำสำหรับชุดปั๊มน้ำฝน

จากภาพแผนผังการไหลของกระบวนการผลิตชุดประกอบอาร์เมเจอร์พบว่ากระบวนการประกอบแกนเพลลาเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์กับเพลลามีผลต่อการทำให้เพลลาแกว่งและที่กระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีเครื่องมาให้ความแรงกระทำโดยตรงกับแกนเพลลา ซึ่งเครื่องจักรทั้งสองเครื่องมีลักษณะการทำงานเหมือนกันต่างกันว่าตรงใช้ค่าพารามิเตอร์คนละชุดกัน ซึ่งค่าที่จะต้องทำการกำหนดได้แก่ ตำแหน่งสวมอัด, ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม และแรงในการกด จึงทำการออกแบบการทดลองหาค่าที่เหมาะสมของเครื่องกดคอมมิวเตเตอร์ เพื่อไม่ทำให้ค่าความเรียบของแกนเพลลาเกิน 0.004 มิลลิเมตร และออกแบบการทดลองหาค่าที่เหมาะสมของเครื่องกดแกนอาร์เมเจอร์ เพื่อหาค่าการแกว่งของแกนเพลลาเกิน 0.004 มิลลิเมตร

##### 5. ศึกษาหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการผลิต ของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน สำหรับชุดปั๊มน้ำฝนในรถยนต์

จากขั้นตอนที่ 4 ได้ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความเรียบของแกนเพลลา ที่เครื่องกดคอมมิวเตเตอร์ และปัจจัยที่มีผลต่อค่าการแกว่งของแกนเพลลาที่เครื่องกดแกนอาร์มาเจอร์ ทำการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

##### 6. ทดสอบการเกิดเสียงดังมากกว่า 50 เดซิเบล ของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนสำหรับปั๊มน้ำฝนในรถยนต์

เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมแต่ละปัจจัยของเครื่องกดแกนอาร์มาเจอร์ และเครื่องกดคอมมิวเตเตอร์ ทำการผลิตชุดประกอบอาร์เมเจอร์ในสายการผลิตชุดประกอบอาร์เมเจอร์ เก็บค่าความเรียบและค่าการแกว่งของแกนเพลลาหลังการปรับปรุง ทำการด้วยการเปรียบเทียบคู่แบบ T (Paired T-Test) เพื่อพิสูจน์ความแตกต่างของชุดข้อมูล

**7. ปรับปรุงกระบวนการโดยใช้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย มาเป็นค่ามาตรฐานในการผลิต เพื่อลดการเกิดเสียงดังมากกว่า 50 เดซิเบลของมอเตอร์ปั๊มน้ำสำหรับปั๊มน้ำฝนในรถยนต์**

ทดสอบเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน โดยนำแกนเพลลาที่ทำการปรับปรุงให้อยู่ภายใต้ค่าที่กำหนดไว้ใหม่คือ ค่าความเรียบและค่าการแกว่งของแกนเพลลาต้องไม่เกิน 0.004 มิลลิเมตร มาทำการผลิตในสายการผลิตมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนสำหรับชุดปั๊มน้ำฝน เพื่อทดสอบว่าค่าระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนลดลงหรือไม่



## ผลและวิจารณ์

### ผล

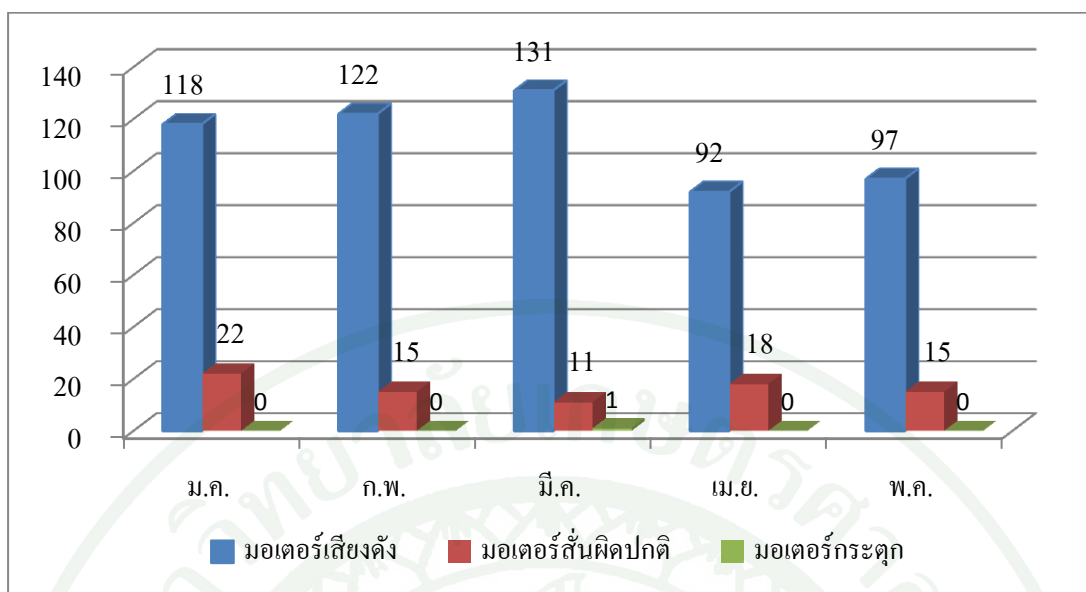
#### 1. ผลการศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา

จากการศึกษาสายการผลิตชุดปิดน้ำฝนรถยนต์ของโรงงานกรณีศึกษาโดยการนำข้อมูลเดือนมกราคม 2556 ถึง พฤษภาคม 2556 มาวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 1

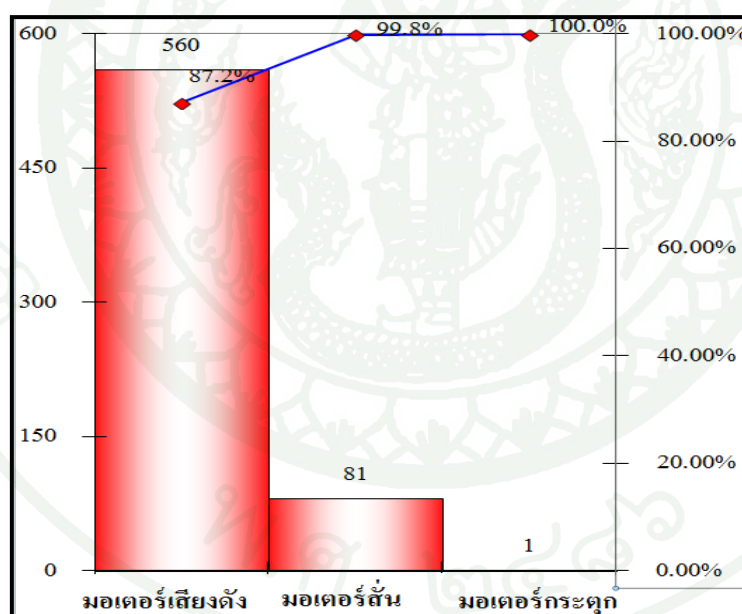
ตารางที่ 1 ประเภทปัญหาและเปอร์เซ็นต์งานเสียจากกระบวนการ โดยเก็บข้อมูลจากเดือนมกราคม 2556 ถึง พฤษภาคม 2556 (หน่วย : ชิ้น)

ประเภทของปัญหา	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	รวม	%งานเสีย
มอเตอร์เสียงดัง	118	122	131	92	97	560	87.23%
มอเตอร์สั้นผิดปกติ	22	15	11	18	15	81	12.62%
มอเตอร์กระตุก	0	0	1	0	0	1	0.16%
รวม	140	137	143	110	112	642	100.00%

ทำการเก็บข้อมูลงานเสียจากสายการผลิตมอเตอร์ปิดน้ำฝนตั้งแต่เดือน ม.ค. ถึง พ.ค. 2556 พบว่ามีงานเสียจำนวนทั้งหมด 642 ชิ้น แบ่งเป็นประเภทงานเสียได้อยู่สามประเภท คือ มอเตอร์เสียงดัง มอเตอร์สั้นผิดปกติ และมอเตอร์กระตุก โดยมอเตอร์เสียงดังมีงานเสียรวมทั้งหมด 560 ชิ้น ซึ่งคิดเป็น 87.23% จากงานเสียรวมทั้งหมด มอเตอร์สั้นผิดปกติมีงานเสียรวมทั้งหมด 81 ชิ้นซึ่งคิดเป็น 12.62% จากงานเสียรวมทั้งหมด และมอเตอร์กระตุก มีงานเสียรวมทั้งหมด 1 ชิ้น ซึ่งคิดเป็น 0.16% จากงานเสียรวมทั้งหมด แสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 กราฟแสดงจำนวนงานเสียของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน โดยแยกตามประเภทงานเสีย (ชิ้น)

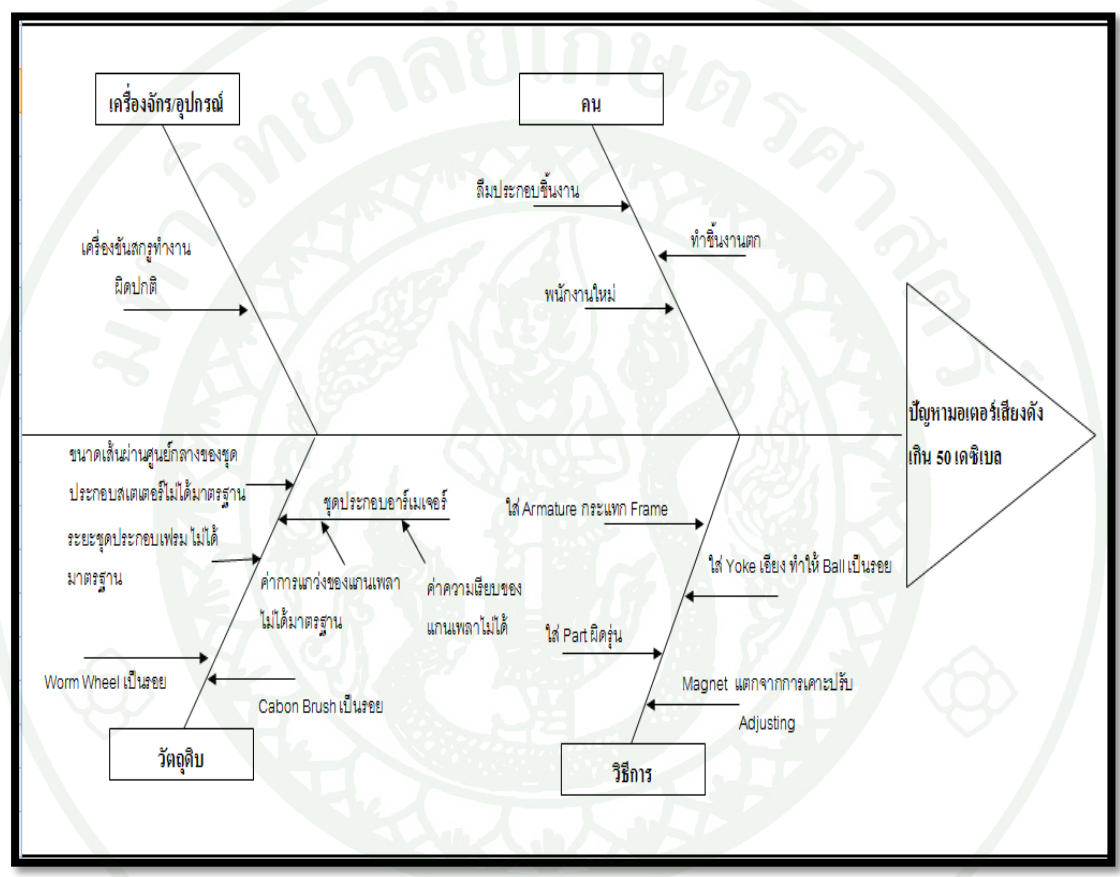


ภาพที่ 14 แผนภูมิภาพพारे โดของประเภทปัญหาของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน

จากภาพที่ 14 แสดงให้เห็นว่า ได้มีปัญหากเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน สำหรับปั้ดน้ำฝนในรถยนต์คือ ปัญหาของมอเตอร์เสียงดังผิปกติมากกว่า 50 เดซิเบล ปัญหาการมอเตอร์สันผิปกติและปัญหาการมอเตอร์กระตุก โดยพบว่าปัญหาของมอเตอร์เสียงดังผิปกติเกิน 50 เดซิเบล มีจำนวนชิ้นงานเสียมากที่สุด

## 2. ผลการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาเสียงดังมากกว่า 50 เดซิเบลของมอเตอร์ปัดน้ำฝนสำหรับชุดปัดน้ำฝนในรถยนต์

ปัจจัยที่มีผลต่อระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์เสียงดังผิดปกติมากกว่า 50 เดซิเบล จากการระดมความคิดจากในทีมงานแล้วนำมาทำแผนผังก้างปลา ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แผนผังก้างปลาของการแก้ปัญหามอเตอร์ปัดน้ำฝนเสียงดังเกิน 50 เดซิเบล

ผลจากการระดมความคิดของทีมงานเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ได้สาเหตุของปัญหามอเตอร์ปัดน้ำฝนสำหรับชุดปัดน้ำฝนคือ ชิ้นส่วนประกอบของมอเตอร์ปัดน้ำฝนผิดปกติหรือไม่ได้มาตรฐาน โดยเน้นไปที่ชิ้นส่วนประกอบหลักของมอเตอร์ปัดน้ำฝน ได้แก่ ชุดประกอบอาร์เมเจอร์ผิดปกติ เพราะเกิดจากแกนเพลามีค่าการแกว่งเกินมาตรฐาน และผิวของแกนเพลานเป็นรอย ของชุดประกอบสเตเตอร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ได้มาตรฐาน และ ระยะชุดประกอบเฟรมไม่ได้

มาตรฐาน โดยจะทำการวิเคราะห์แต่ละปัจจัยเพื่อหาว่าปัจจัยใดส่งผลกระทบต่อระดับความเข้มแข็งของมอเตอร์

ผลค่าการวัดของชิ้นส่วนมอเตอร์ปิดน้ำฝนก่อนการประกอบมอเตอร์ปิดน้ำฝน แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการวัดของชิ้นส่วนมอเตอร์ปิดน้ำฝนก่อนการประกอบมอเตอร์ปิดน้ำฝน

มอเตอร์ปิดน้ำฝนตัวที่	ระยะชุดประกอบเฟรม (มิลลิเมตร)	ด ของชุดประกอบสเตเตอร์ (มิลลิเมตร)	ค่าความเรียบของแกนเพลลา (มิลลิเมตร)	ค่าการแกว่งของแกนเพลลา (มิลลิเมตร)
1	30.53	15.25	0.003	0.003
2	30.54	15.24	0.003	0.003
3	30.49	15.26	0.003	0.003
4	30.56	15.23	0.004	0.002
6	30.53	15.22	0.003	0.003
7	30.52	15.23	0.004	0.003
8	30.51	15.21	0.002	0.003
9	30.53	15.24	0.004	0.002
10	30.57	15.23	0.003	0.003
11	30.54	15.26	0.002	0.002
12	30.50	15.24	0.003	0.002
13	30.53	15.23	0.004	0.003
14	30.52	15.25	0.002	0.003
15	30.53	15.24	0.004	0.003
16	30.56	15.28	0.002	0.002
17	30.52	15.23	0.002	0.003
18	30.5	15.24	0.002	0.003
20	30.52	15.25	0.003	0.003

ตารางที่ 2 (ต่อ)

มอเตอร์ปิด น้ำฝนตัวที่	ระยะชุด ประกอบเฟรม (มิลลิเมตร)	๘ ของชุด ประกอบสเตเตอร์ (มิลลิเมตร)	ค่าความเรียบ ของแกนเพลลา (มิลลิเมตร)	ค่าการแกว่งของ แกนเพลลา (มิลลิเมตร)
21	30.53	15.26	0.002	0.003
22	30.58	15.24	0.004	0.003
23	30.51	15.26	0.003	0.003
24	30.52	15.24	0.004	0.002
25	30.55	15.28	0.002	0.002
26	30.54	15.26	0.003	0.003
27	30.53	15.24	0.003	0.002
28	30.52	15.25	0.003	0.003
29	30.50	15.25	0.002	0.002
30	30.54	15.26	0.002	0.003

จากตารางที่ 2 ผลการวัดของชิ้นส่วนประกอบของมอเตอร์ปิดน้ำฝนได้แก่ระยะชุดประกอบเฟรม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ ค่าความเรียบของแกนเพลลา และค่าการแกว่งของแกนเพลลา ก่อนนำไปประกอบเป็นมอเตอร์ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าผลวัดหลังการประกอบมอเตอร์ปิดน้ำฝน หาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปิดน้ำฝน จากนั้นนำชิ้นส่วนมอเตอร์ปิดน้ำฝนที่ทำการวัดค่าเก็บข้อมูลไว้แล้วไปประกอบในสายผลิตมอเตอร์ปิดน้ำฝนสำหรับชุดปิดน้ำฝน แล้วทำการวัดชิ้นส่วนเหมือนกับก่อนการประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝนและทำการวัดค่าระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปิดน้ำฝน แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าการวัดของชิ้นส่วนมอเตอร์ปิดน้ำฝนหลังการประกอบมอเตอร์ปิดน้ำฝนและระดับเสียงของมอเตอร์ปิดน้ำฝน

มอเตอร์ปิดน้ำฝนตัวที่	ระยะชุดประกอบเฟรม (มิลลิเมตร)	๘ ของชุดประกอบสเตเตอร์ (มิลลิเมตร)	ค่าความเรียบของแกนเพลลา (มิลลิเมตร)	ค่าการแกว่งของแกนเพลลา (มิลลิเมตร)	ระดับความเข้มเสียง (เดซิเบล)
1	30.53	15.25	0.004	0.005	55
2	30.54	15.24	0.004	0.005	56
3	30.54	15.26	0.004	0.005	55
4	30.54	15.24	0.005	0.005	58
5	30.53	15.25	0.005	0.005	60
6	30.53	15.24	0.005	0.004	58
7	30.52	15.23	0.004	0.004	52
8	30.54	15.25	0.003	0.003	46
9	30.53	15.24	0.004	0.003	48
10	30.54	15.23	0.003	0.004	47
11	30.54	15.24	0.003	0.003	48
12	30.53	15.24	0.004	0.003	48
13	30.53	15.23	0.004	0.003	46
14	30.53	15.25	0.003	0.005	50
15	30.53	15.24	0.004	0.003	47
16	30.53	15.25	0.002	0.003	45
17	30.52	15.23	0.003	0.004	45
18	30.52	15.24	0.002	0.004	44
19	30.54	15.23	0.002	0.003	42
20	30.52	15.25	0.004	0.004	51
21	30.53	15.25	0.005	0.004	55
22	30.53	15.24	0.004	0.004	50

ตารางที่ 3 (ต่อ)

มอเตอร์ปิด น้ำฝนตัวที่	ระยะชุด ประกอบเฟรม (มิลลิเมตร)	๘ ของชุด ประกอบสเต เตอร์(มิลลิเมตร)	ค่าความเรียบ ของแกนเพลลา (มิลลิเมตร)	ค่าการแกว่ง ของแกนเพลลา (มิลลิเมตร)	ระดับความ เข้มเสียง (เดซิเบล)
23	30.51	15.26	0.004	0.005	57
24	30.52	15.24	0.005	0.004	55
25	30.54	15.26	0.003	0.003	46
26	30.54	15.26	0.003	0.003	45
27	30.53	15.24	0.004	0.003	48
28	30.53	15.25	0.004	0.004	48
29	30.54	15.25	0.003	0.003	46
30	30.54	15.26	0.003	0.003	45

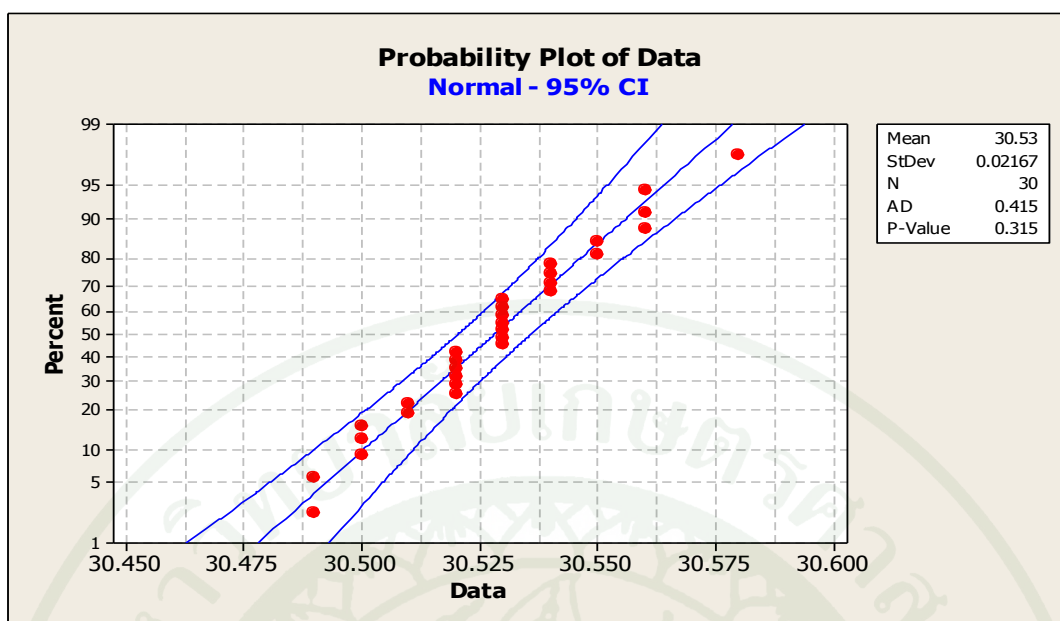
จากตารางที่ 3 แสดงผลการวัดชิ้นส่วนของมอเตอร์ปิดน้ำฝนหลังการประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝนและค่าระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปิดน้ำฝน วัดแต่ละชิ้นส่วนโดยเมื่อประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝนและเก็บค่าระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ไฟฟ้าแล้ว จากนั้นทำการถอดแยกชิ้นส่วนของมอเตอร์ปิดน้ำฝนออก เพื่อนำแต่ละชิ้นส่วนมาวัดค่าระยะชุดประกอบเฟรม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ ค่าความเรียบของแกนเพลลา และค่าการแกว่งของแกนเพลลา

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าการวัดระยะเฟรมทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝนและหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝน แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าการวัดระยะเฟรมทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนและหลังประกอบเป็น  
มอเตอร์ปั๊มน้ำฝน

ลำดับที่	ระยะเฟรมก่อน การประกอบ (มิลลิเมตร)	ระยะเฟรมหลัง การประกอบ (มิลลิเมตร)	ลำดับที่	ระยะเฟรมก่อน การประกอบ (มิลลิเมตร)	ระยะเฟรมหลัง การประกอบ (มิลลิเมตร)
1	30.53	30.53	16	30.56	30.56
2	30.54	30.55	17	30.52	30.52
3	30.49	30.49	18	30.50	30.50
4	30.56	30.56	19	30.49	30.49
5	30.55	30.54	20	30.53	30.53
6	30.53	30.53	21	30.58	30.58
7	30.52	30.52	22	30.51	30.51
8	30.51	30.51	23	30.52	30.52
9	30.53	30.53	24	30.55	30.55
10	30.57	30.56	25	30.54	30.54
11	30.54	30.54	26	30.53	30.53
12	30.50	30.50	27	30.52	30.52
13	30.53	30.53	28	30.50	30.50
14	30.52	30.52	29	30.54	30.54
15	30.53	30.53	30	30.53	30.53

จากตารางที่ 4 เมื่อได้ข้อมูลก่อนและหลังของระยะชุดประกอบเฟรมทำการทดสอบชุด  
ข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยใช้โปรแกรม minitab มาคำนวณ



ภาพที่ 16 กราฟการแจกแจงแบบปกติของค่าระยะเฟรม

จากภาพที่ 21 กราฟแสดงการแจกแจงแบบปกติของค่าระยะเฟรม พบว่าชุดข้อมูลของระยะชุดประกอบเฟรมมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value = 0.315 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปว่า ชุดข้อมูลของระยะชุดประกอบเฟรมมีการแจกแจงแบบปกติ

ทำการเปรียบเทียบค่าการวัดทั้งก่อนและหลังของระยะเฟรมทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดข้อมูลโดยใช้ Pair T-Test, 95% CI และตั้งสมมติฐานคือชุดข้อมูลของระยะเฟรมก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนต้องไม่แตกต่างกับชุดข้อมูลของระยะเฟรมหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน กำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ 95% หรือค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$H_0 : \mu_{\text{before}} = \mu_{\text{after}}$$

$$H_1 : \mu_{\text{before}} \neq \mu_{\text{after}}$$

**Paired T-Test and CI: Before, After**

Paired T for Before - After

	N	Mean	StDev	SE Mean
Before	30	30.5287	0.0222	0.0041
After	30	30.5283	0.0217	0.0040
Difference	30	0.000333	0.003198	0.000584

95% CI for mean difference: (-0.000861, 0.001528)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.57 P-Value = 0.573

ภาพที่ 17 เปรียบเทียบระยะชุดประกอบเฟรมด้วยการเปรียบเทียบคู่แบบ T (Paired T- Test)

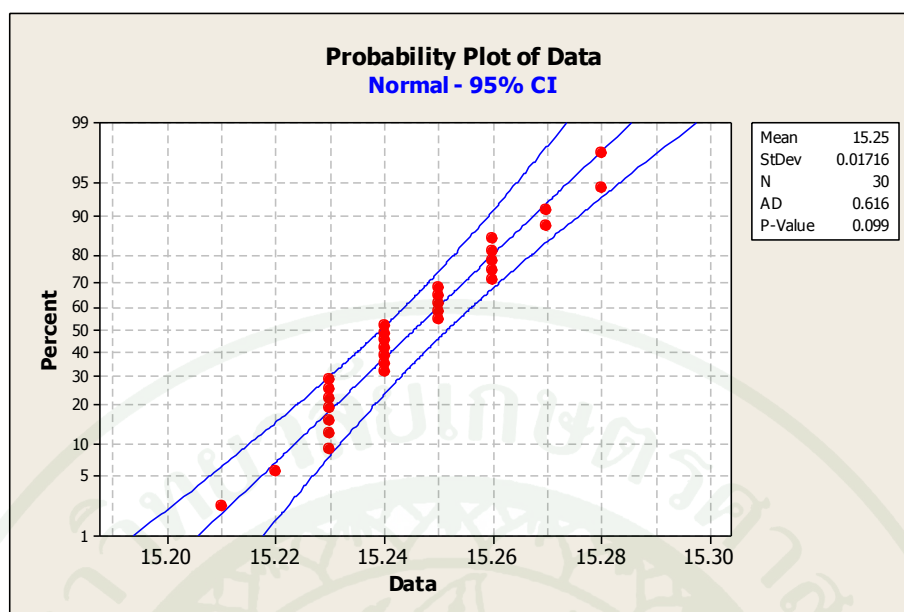
จากภาพที่ 22 ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ โดยมีค่า P-Value = 0.573 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่า ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก คือ ค่าเฉลี่ยของระยะชุดประกอบเฟรมก่อนประกอบ และหลังประกอบ ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นระยะชุดประกอบเฟรมก่อนประกอบและหลังประกอบ ไม่มีความแตกต่างกัน

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปั้มน้ำฝนและหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปั้มน้ำฝน แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝนและหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปิดน้ำฝน

ลำดับ ที่	๑ ของสเตเตอร์ก่อน ประกอบ (มิลลิเมตร)	๑ ของสเตเตอร์ หลังประกอบ (มิลลิเมตร)	ลำดับ ที่	๑ ของสเตเตอร์ ก่อนประกอบ (มิลลิเมตร)	๑ ของสเตเตอร์ หลังประกอบ (มิลลิเมตร)
1	15.25	15.25	16	15.25	15.25
2	15.24	15.24	17	15.23	15.23
3	15.25	15.26	18	15.23	15.24
4	15.24	15.24	19	15.23	15.23
5	15.25	15.25	20	15.25	15.25
6	15.24	15.24	21	15.25	15.25
7	15.23	15.23	22	15.24	15.24
8	15.25	15.25	23	15.25	15.26
9	15.24	15.24	24	15.24	15.24
10	15.23	15.23	25	15.26	15.26
11	15.24	15.24	26	15.26	15.26
12	15.24	15.24	27	15.24	15.24
13	15.23	15.23	28	15.25	15.25
14	15.25	15.25	29	15.25	15.25
15	15.24	15.24	30	15.26	15.26

จากตารางที่ 5 เมื่อได้ข้อมูลก่อนและหลังของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ทำการทดสอบชุดข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยใช้โปรแกรม minitab มาคำนวณ



ภาพที่ 18 กราฟแจกแจงแบบปกติของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์

จากภาพที่ 18 กราฟแสดงการแจกแจงแบบปกติของค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบ สเตเตอร์พบว่าชุดข้อมูลของระยะชุดประกอบเฟรมมีการแจกแจงแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value = 0.099 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปว่า ชุดข้อมูลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์มีการแจกแจงแบบปกติ

ทำการเปรียบเทียบค่าการวัดทั้งก่อนและหลังของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดข้อมูลโดยใช้ Pair T-Test, 95% CI และตั้งสมมติฐานคือชุดข้อมูลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปั้ดน้ำฝนต้องไม่แตกต่างกับชุดข้อมูลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์หลังประกอบเป็นมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน กำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ 95% หรือค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$H_0 : \mu_{\text{before}} = \mu_{\text{after}}$$

$$H_1 : \mu_{\text{before}} \neq \mu_{\text{after}}$$

**Paired T-Test and CI: Before, After**

Paired T for Before - After

	N	Mean	StDev	SE Mean
Before	30	15.2457	0.0165	0.0030
After	30	15.2457	0.0172	0.0031
Difference	30	0.000000	0.003714	0.000678

95% CI for mean difference: (-0.001387, 0.001387)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.00 P-Value = 1.000

ภาพที่ 19 การเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ด้วยการเปรียบเทียบคู่แบบ T (Paired T-Test)

จากภาพที่ 19 ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ โดยมีค่า P-Value = 1.00 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่า ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก คือ ค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ก่อนประกอบและหลังประกอบ ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ก่อนประกอบและหลังประกอบไม่มีความแตกต่างกัน

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าความเรียบของแกนเพลลาทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปั้มน้ำฝนและหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปั้มน้ำฝน แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าความเรียบของทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปั้ดน้ำฝนและหลังประกอบเป็น  
มอเตอร์ปั้ดน้ำฝน (มิลลิเมตร)

ลำดับ ที่	ค่าความเรียบของ เพลาก่อนการ ประกอบ	ค่าความเรียบ ของเพลาลัง การประกอบ	ลำดับ ที่	ค่าความเรียบของ เพลาก่อนการ ประกอบ	ค่าความเรียบ ของเพลาลัง การประกอบ
1	0.003	0.004	16	0.002	0.002
2	0.003	0.004	17	0.002	0.003
3	0.003	0.004	18	0.002	0.002
4	0.004	0.005	19	0.002	0.002
5	0.004	0.005	20	0.003	0.004
6	0.003	0.005	21	0.002	0.005
7	0.004	0.004	22	0.004	0.004
8	0.002	0.003	23	0.003	0.004
9	0.004	0.004	24	0.004	0.005
10	0.003	0.003	25	0.002	0.003
11	0.002	0.003	26	0.003	0.003
12	0.003	0.004	27	0.003	0.004
13	0.004	0.004	28	0.003	0.004
14	0.002	0.003	29	0.002	0.003
15	0.004	0.004	30	0.002	0.003

ทำการเปรียบเทียบค่าการวัดทั้งก่อนและหลังของค่าความเรียบของเพลาทดสอบ  
เปรียบเทียบความแตกต่างของชุดข้อมูล โดยใช้ Pair T-Test, 95% CI และตั้งสมมติฐานคือชุดข้อมูล  
ของค่าความเรียบของเพลาก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปั้ดน้ำฝนต้องไม่แตกต่างกับชุดข้อมูลของค่า  
ความเรียบของเพลาลังประกอบเป็นมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน กำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ 95% หรือค่า  
ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$H_0 : \mu_{\text{before}} = \mu_{\text{after}}$$

$$H_1 : \mu_{\text{before}} \neq \mu_{\text{after}}$$

Paired T-Test and CI: Before, After				
Paired T for Before - After				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Before	30	0.002900	0.000803	0.000147
After	30	0.003667	0.000884	0.000161
Difference	30	-7.7E-04	0.000679	0.000124
95% CI for mean difference: (-0.001020, 0.000513)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -6.19 P-Value = 0.000				

ภาพที่ 20 เปรียบเทียบค่าความเรียบของแกนเพลลาด้วยการเปรียบเทียบคู่แบบ T(Paired T-Test)

จากภาพที่ 27 ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ โดยมีค่า P-Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลัก คือ ค่าเฉลี่ยของค่าความเรียบของแกนเพลลา ก่อนประกอบและหลังประกอบมีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นค่าความเรียบของแกนเพลลา ก่อนประกอบและหลังประกอบมีความแตกต่าง

ผลการทดสอบความแตกต่างของค่าการแกว่งของแกนเพลลาทั้งก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ ปั๊มน้ำฝนและหลังประกอบเป็นมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน แสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ค่าการแกว่งของแกนเพลาก่อนและหลังนำไปประกอบเป็นมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน  
(มิลลิเมตร)

ลำดับที่	ค่าการแกว่งของ เพลาก่อนการ ประกอบ	ค่าการแกว่ง ของเพลาลัง การประกอบ	ลำดับที่	ค่าการแกว่ง ของเพลาก่อน การประกอบ	ค่าการแกว่ง ของเพลาลัง การประกอบ
1	0.003	0.005	16	0.002	0.003
2	0.003	0.005	17	0.003	0.004
3	0.003	0.005	18	0.003	0.004
4	0.002	0.005	19	0.003	0.003
5	0.003	0.005	20	0.003	0.004
6	0.003	0.004	21	0.003	0.004
7	0.003	0.004	22	0.003	0.004
8	0.003	0.003	23	0.003	0.005
9	0.002	0.003	24	0.002	0.004
10	0.003	0.004	25	0.002	0.003
11	0.002	0.003	26	0.003	0.003
12	0.002	0.003	27	0.002	0.003
13	0.003	0.003	28	0.003	0.004
14	0.003	0.005	29	0.002	0.003
15	0.003	0.003	30	0.003	0.003

ทำการเปรียบเทียบค่าการวัดทั้งก่อนและหลังของค่าการแกว่งของเพลาทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดข้อมูลโดยใช้ Pair T-Test, 95% CI และตั้งสมมติฐานคือชุดข้อมูลของค่าการแกว่งของเพลาก่อนประกอบเป็นมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนต้องไม่แตกต่างกับชุดข้อมูลของค่าการแกว่งของเพลาลังประกอบเป็นมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$H_0 : \mu_{\text{before}} = \mu_{\text{after}}$$

$$H_1 : \mu_{\text{before}} \neq \mu_{\text{after}}$$

**Paired T-Test and CI: Before, After**

Paired T for Before - After

	N	Mean	StDev	SE Mean
Before	30	0.002700	0.000466	0.000085
After	30	0.003800	0.000805	0.000147
Difference	30	-1.1E-03	0.000759	0.000139

95% CI for mean difference: (-0.001383, 0.000817)

-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -7.94 P-Value = 0.000

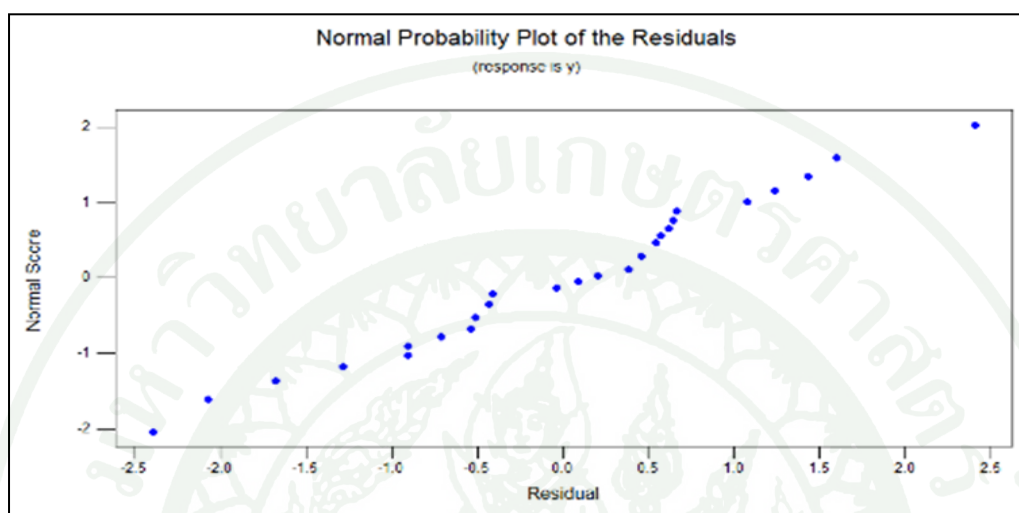
**ภาพที่ 21** เปรียบเทียบค่าการแกว่งของเพลลา ด้วยการเปรียบเทียบคู่แบบ T (Paired T-Test)

จากภาพที่ 21 ตัวแปรที่ทำกรวิเคราะห์ โดยมีค่า P-Value = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลัก คือ ค่าเฉลี่ยของค่าการแกว่งของเพลลา ก่อนประกอบและหลังประกอบมีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าการแกว่งของแกนเพลลา ก่อนประกอบและหลังประกอบมีความแตกต่าง

ดังนั้นจึงนำปัจจัยทั้งสองปัจจัยคือ ระยะเวลาประกอบเฟรม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบ สเตเตอร์ ค่าความเรียบของแกนเพลลา และค่าการแกว่งของแกนเพลลา มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาว่ามีปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนเสียงดังเกินมาตรฐานที่ 50 เดซิเบล โดยนำชิ้นส่วนทั้งหมดมาประกอบกันเป็นมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนแล้วนำไปทดสอบเสียงด้วยเครื่องวัดเสียงค่าที่ได้มาแสดงในตารางที่ 3 จากนั้นนำค่าจากการวัดของปัจจัยที่ได้ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเสียงของมอเตอร์ที่ดังเกินมาตรฐาน โดยกำหนดค่านัยสำคัญที่ 0.05 และปัจจัยดังนี้

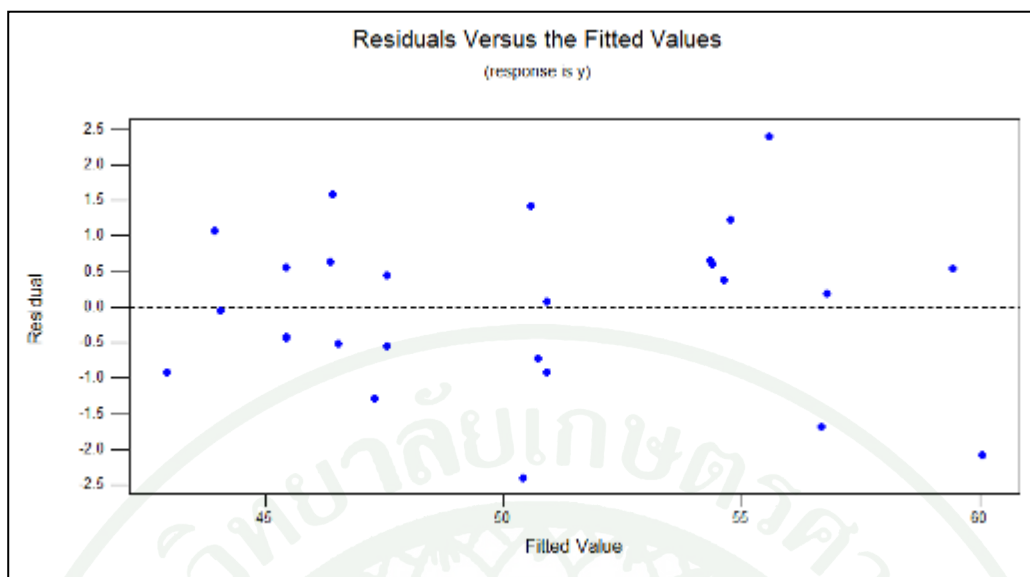
1. ระยะเวลาประกอบเฟรม คือ X1
2. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชุดประกอบสเตเตอร์ คือ X2

3. ค่าความเรียบของแกนเพลลา คือ X3
4. ค่าการแกว่งของแกนเพลลา คือ X4



ภาพที่ 22 กราฟแจกแจงปกติของชุดข้อมูลการวัดชิ้นส่วนประกอบของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนและระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน

จากภาพที่ 22 ผลจากการทดสอบโดยโปรแกรม minitab ชุดข้อมูลการวัดชิ้นส่วนประกอบของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนและระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนมีการแจกแจงแบบปกติ เพราะมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง



ภาพที่ 23 แผนภูมิการกระจายของข้อมูลชุดข้อมูลการวัดชิ้นส่วนประกอบของมอเตอร์ปัคน้ำฝน และระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปัคน้ำฝน

จากภาพที่ 23 ผลจากการทดลองโดยโปรแกรม minitab ชุดข้อมูลการวัดชิ้นส่วนประกอบของมอเตอร์ปัคน้ำฝนและระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปัคน้ำฝนมีการกระจายแบบสุ่มไม่มีรูปแบบให้นำชุดข้อมูลไปทดสอบใน minitab โดยเลือกใช้วิธีการคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise Selection) เป็นการผสมผสานระหว่างวิธีการคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์ทั้งแบบก้าวหน้าและแบบถอยหลังเข้าด้วยกัน ได้ผลดังภาพที่ 24

**Stepwise Regression: y versus x1, x2, x3, x4**

Alpha-to-Enter: 0.05 Alpha-to-Remove: 0.05

Response is y on 4 predictors, with N = 30

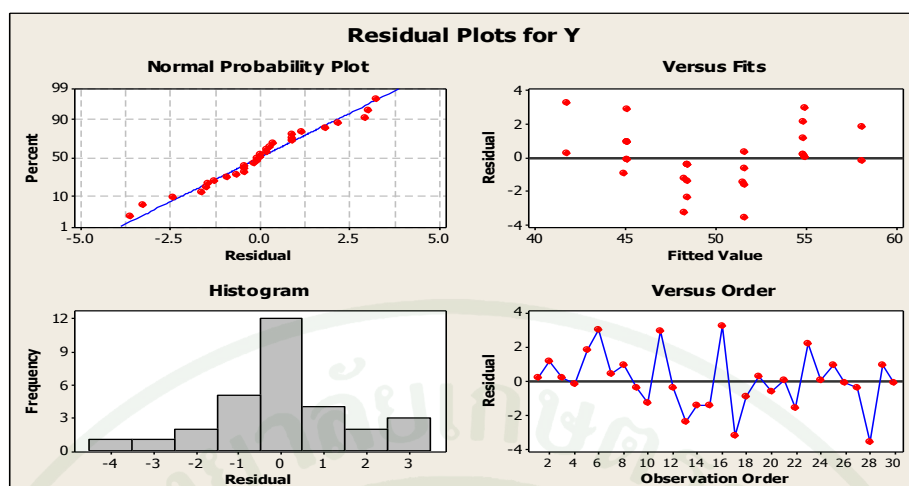
Step	1	2
Constant	32.94	25.45
x3	4618	3349
T-Value	7.57	8.30
P-Value	0.000	0.000
x4		3195
T-Value		7.21
P-Value		0.000
S	2.90	1.73
R-Sq	67.18	88.77
R-Sq(adj)	66.00	87.94
Mallows Cp	55.7	3.9

ภาพที่ 24 ผลการทดลองชุดข้อมูลเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน

จากภาพที่ 31 ผลทดลองของชุดข้อมูลจากโปรแกรม minitab พบว่าปัจจัย X3 คือ ค่าความเรียบของแกนเพลลาและปัจจัย X4 คือ ค่าการแกว่งของแกนเพลลา มีค่า p-value ได้ 0 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ที่ 0.05 จึงสรุปได้ว่าปัจจัยทั้งสองมีผลต่อค่าตัวแปรตามคือระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน

3. พยากรณ์หาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย เพื่อให้มอเตอร์ปั้ดน้ำฝนสำหรับชุดปั้ดน้ำฝนในรถยนต์เสียงดังน้อยกว่า 50 เดซิเบล

ผลการทดสอบของชุดข้อมูลการวัดชิ้นส่วนประกอบของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝนและระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน



ภาพที่ 25 กราฟแสดงผลการทดสอบของชุดข้อมูลการวัดชิ้นส่วนประกอบของมอเตอร์  
ปั้ดน้ำฝนและระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน

จากภาพที่ 25 ชุดข้อมูลของปัจจัย X3 คือ ค่าความเรียบของแกนเพลลาและปัจจัย X4 คือ ค่าการแกว่งของแกนเพลลา มีการแจกแจงแบบปกติ ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลมีการกระจายแบบสุ่มไม่มีรูปแบบและเป็นอิสระต่อกัน

Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	638.70	319.35	106.76	0.000
Residual Error	27	80.77	2.99		
Total	29	719.47			
Source	DF	Seq SS			
x3	1	483.31			
x4	1	155.38			

ภาพที่ 26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเรียบของแกนเพลลาและค่าการแกว่งของแกนเพลลา

จากภาพที่ 26 ผลจากโปรแกรม minitab พิจารณาค่า p-value ของสมการถดถอย พบว่าได้ค่าเป็น 0 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ที่ 0.05 ดังนั้นจึงได้สมการที่เหมาะสมสำหรับระดับมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน

#### Regression Analysis: y versus x3, x4

The regression equation is

$$y = 25.4 + 3349 x_3 + 3195 x_4$$

30 cases used, 1 cases contain missing values

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	25.447	1.719	14.81	0.000
x3	3349.2	403.7	8.30	0.000
x4	3194.5	443.2	7.21	0.000

S = 1.72957 R-Sq = 88.8% R-Sq(adj) = 87.9%

ภาพที่ 27 ผลจากโปรแกรม minitab สมการถดถอยของปัจจัยที่ที่ผลต่อระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน

จากภาพที่ 27 สมการที่เหมาะสมสำหรับระดับมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนคือ  $Y = 25.4 + 3394 X_3 + 3195X_4$  จากสมการถดถอยที่ได้ นำมาพยากรณ์เพื่อหาค่า  $X_3$  คือ ค่าความเร็วของแกนเพลลาและค่า  $X_4$  คือ ค่าการแกว่งของแกนเพลลา เพื่อให้ค่าระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน (Y) ไม่มากกว่า 50 เดซิเบลนั้น จะต้องให้ค่า  $X_3$  และ  $X_4$  น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.004 มิลลิเมตร จึงสรุปได้ว่า ปัจจัยปัจจัย  $X_3$  คือ ค่าความเร็วของแกนเพลลาและปัจจัย  $X_4$  คือ ค่าการแกว่งของแกนเพลลา ต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.004 มิลลิเมตรจึงจะทำให้ค่าระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนไม่เกิน 50 เดซิเบล หลังจากนั้นก็เข้าไปหาปัจจัยที่ทำให้ค่าความเร็วของแกนเพลลาและค่าการแกว่งของแกนเพลลามากกว่าหรือเท่ากับ 0.004 มิลลิเมตร

#### 4. ผลศึกษากระบวนการในสายการผลิตที่มีผลกระทบต่อปัจจัยที่โดยใช้การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดระดับที่เหมาะสมของปัจจัย

ในกระบวนการนี้จะมีเครื่องจักรสำหรับประกอบแกนเพลลาเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์คือเครื่องกดซึ่งจะต้องทำการตั้งค่าก่อนการใช้งานคือ ระยะตำแหน่งสวมอัด ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม และแรงกดซึ่งจะมีผลต่อค่าการแกว่งของแกนเพลลา ดังนั้นจึงทำการออกแบบทดลองดังนี้ กำหนดให้ค่าตัวแปรตาม(Y) คือ ค่าการแกว่งของแกนเพลลา

ปัจจัย Z1 คือ ระยะตำแหน่งสวมอัด

ปัจจัย Z2 คือ ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม (Air pressure)

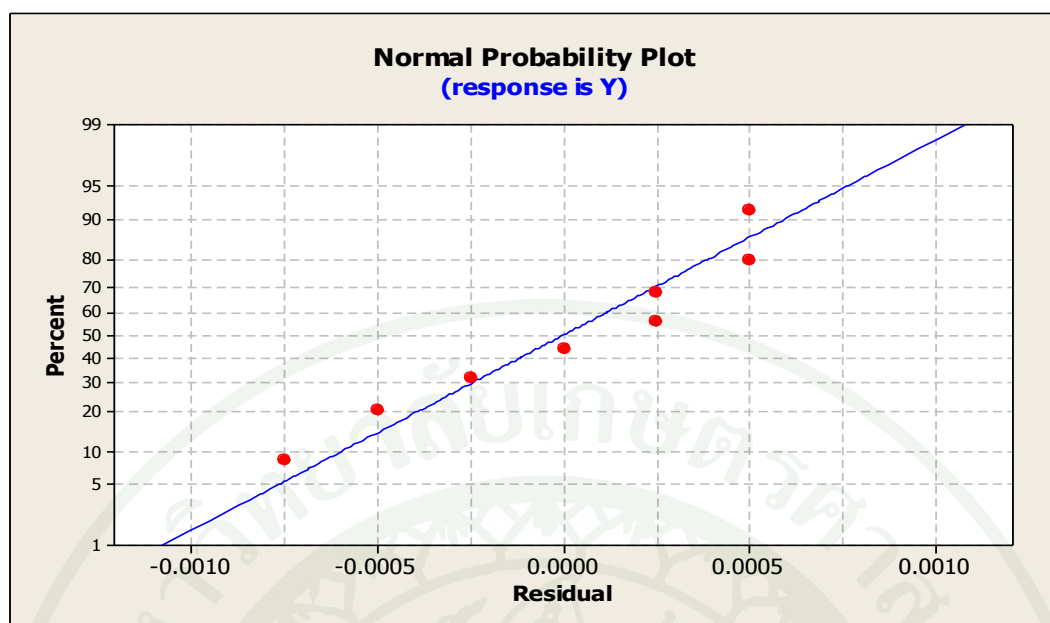
ปัจจัย Z3 คือ แรงกด

ทดสอบโดยระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการออกแบบการทดลองโดยกำหนดปัจจัยและระดับการทดลองดังตารางที่ 6 ตารางออกแบบการทดลองกระบวนการใส่แกนอาร์เมเจอร์

ตารางที่ 8 ออกแบบจำลองการทดลองกระบวนการใส่แกนอาร์เมเจอร์

ปัจจัย	ระดับการทดลอง		หน่วย
	ต่ำ	สูง	
ตำแหน่งสวมอัด	29.4	29.6	มิลลิเมตร
ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม	0.4	0.6	MPa
แรงที่ใช้กด	50	60	kN



ภาพที่ 28 กราฟแจกแจงแบบปกติของชุดข้อมูลของค่าการแกว่งของแกนเพลลา

จากภาพที่ 28 จากภาพจุดที่ทำการพลอตมีการเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นชุดข้อมูลของค่าการแกว่งของแกนเพลลา มีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 9 ผลของการทดลองกระบวนการใส่แกนอาร์เมเจอร์

ลำดับ	ตำแหน่งสวมอัด (มิลลิเมตร)	ความดันจาก เครื่องต้นกำเนิด ลม (MPa)	แรงที่ใช้กด (kN)	ค่าการแกว่งของ แกนเพลลา (มิลลิเมตร)	ค่าการแกว่งของ แกนเพลลา (มิลลิเมตร)	ค่าการแกว่งของ แกนเพลลา (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ยการแกว่ง ของแกนเพลลา (มิลลิเมตร)
1	29.4	0.4	50	0.003	0.002	0.002	0.002
2	29.6	0.4	50	0.002	0.004	0.003	0.003
3	29.4	0.6	50	0.003	0.002	0.002	0.002
4	29.6	0.6	50	0.004	0.003	0.004	0.004
5	29.4	0.4	60	0.004	0.003	0.002	0.003
6	29.6	0.4	60	0.005	0.004	0.004	0.004
7	29.4	0.6	60	0.005	0.006	0.005	0.005
8	29.6	0.6	60	0.006	0.006	0.006	0.006

จากตารางที่ 9 ทำการวัดค่าการแกว่งของแกนเพลลาโดยใช้พารามิเตอร์ของเครื่องกดที่ได้กำหนดไว้ตามการออกแบบการทดลองกระบวนการใส่แกนอาร์เมเจอร์

ผลออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล จากทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรม minitab ดังรูป

Factorial Fit : y versus z1, z2, z3						
Estimated Regression Coefficients for y						
Term	Coef	SE Coef	T	P		
Constant	0.003625	0.000217	16.743	0.000		
z1	0.000625	0.000217	2.887	0.045		
z2	0.000625	0.000217	2.887	0.045		
z3	0.000875	0.000217	4.041	0.016		
S = 0.000612372 PRESS = 0.000006						
R-Sq = 89.19% R-Sq(pred) = 56.76% R-Sq(adj) = 81.08%						
Analysis of Variance for y						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	3	0.000012	0.000012	0.000004	11.00	0.021
Linear	3	0.000012	0.000012	0.000004	11.00	0.021
z1	1	0.000003	0.000003	0.000003	8.33	0.045
z2	1	0.000003	0.000003	0.000003	8.33	0.045
z3	1	0.000006	0.000006	0.000006	16.33	0.016
Error	4	0.000001	0.000001	0.000000		
Total	7	0.000014				

ภาพที่ 29 ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม minitab ของชุดข้อมูลค่าการแกว่งของแกนเพลลา

จากตารางที่ 29 พบว่าปัจจัยทั้งสามคือตำแหน่งสวมอัด, ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม และแรงที่ใช้กดมีค่า P-Value น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ซึ่งแสดงว่าปัจจัยทั้งหมดมีผลต่อค่าการแกว่งของแกนเพลลา และชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีการกระจายแบบอิสระต่อกัน ค่าระดับความน่าเชื่อถือของชุดข้อมูลอยู่ที่ 81.08% ดังนั้นจึงนำปัจจัยทั้งสามมาทำการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ค่าการแกว่งของแกนเพลลาไม่เกิน 0.04 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องมือทางสถิติมาทำการวิเคราะห์

ผลการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์ ในกระบวนการนี้จะมีเครื่องจักรสำหรับประกอบแกนเพลลาเข้ากับคอมมิวเตเตอร์คือ เครื่องกดซึ่ง จะต้องทำการตั้งค่าก่อนการใช้งานคือ ระยะตำแหน่งสวมอัด ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม และ แรงกดซึ่งจะมีผลต่อค่าความเรียบของแกนเพลลา ดังนั้นจึงทำการออกแบบทดลองดังนี้ กำหนดให้ค่าตัวแปรตาม(Y) คือ ค่าความเรียบของแกนเพลลา

ปัจจัย V1 คือ ระยะตำแหน่งสวมอัด

ปัจจัย V2 คือ ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม (Air pressure)

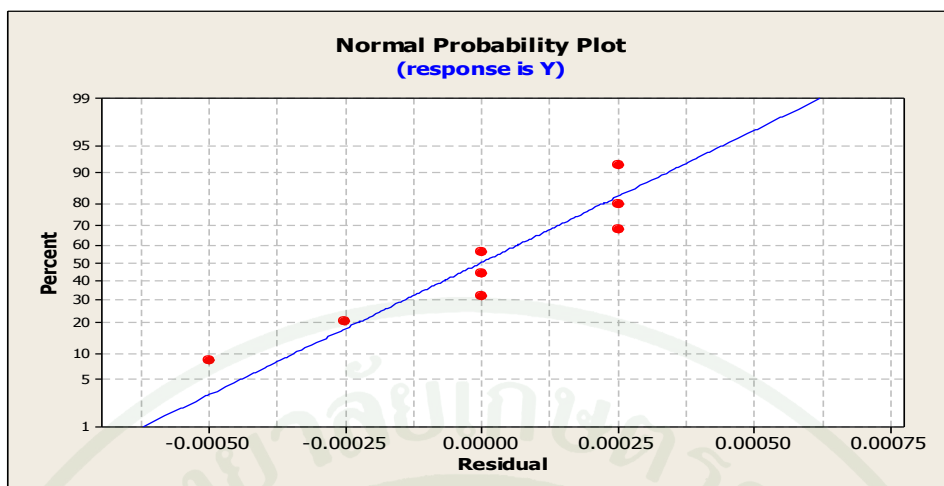
ปัจจัย V3 คือ แรงกด

ทดสอบโดยระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการออกแบบการทดลองโดยกำหนดปัจจัยและระดับการทดลองดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ออกแบบจำลองการทดลองกระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์

ปัจจัย	ระดับการทดลอง		หน่วย
	ต่ำ	สูง	
ตำแหน่งสวมอัด	98.2	98.4	มิลลิเมตร
ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม	0.4	0.6	MPa
แรงที่ใช้กด	20	30	kN



ภาพที่ 30 กราฟแจกแจงแบบปกติของชุดข้อมูลค่าความเรียบของแกนเพลลา

จากภาพที่ 30 จากภาพจุดที่ทำการพลอตมีการเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นชุดข้อมูลของค่าความเรียบของแกนเพลลา มีการแจกแจงแบบปกติ

ตารางที่ 11 ผลของการทดลองกระบวนกรใส่คอมมิวเตเตอร์

ลำดับ	ตำแหน่งสวมอัด (มิลลิเมตร)	ความดันจาก เครื่องต้นกำเนิด ลม (MPa)	แรงที่ใช้กด (kN)	ค่าความเรียบของ แกนเพลลา (มิลลิเมตร)	ค่าความเรียบของ แกนเพลลา (มิลลิเมตร)	ค่าความเรียบของ แกนเพลลา (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ยความเรียบ ผิวของแกนเพลลา (มิลลิเมตร)
1	98.2	0.4	20	0.005	0.006	0.005	0.005
2	98.4	0.4	20	0.006	0.006	0.005	0.006
3	98.2	0.6	20	0.003	0.003	0.004	0.003
4	98.4	0.6	20	0.004	0.003	0.004	0.004
5	98.2	0.4	30	0.005	0.004	0.004	0.004
6	98.4	0.4	30	0.004	0.004	0.003	0.004
7	98.2	0.6	30	0.003	0.002	0.002	0.002
8	98.4	0.6	30	0.002	0.003	0.003	0.003

จากตารางที่ 11 ใช้พารามิเตอร์ของเครื่องกดที่ได้กำหนดไว้ตามการออกแบบการทดลองของเครื่องกดคอมมิวเตเตอร์ที่กระบวนกรใส่คอมมิวเตเตอร์  
จากนั้นทำการทดลองและวัดค่าความเรียบของแกนเพลลา

ใช้วิธีออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยทำการคำนวณโดยใช้โปรแกรม minitab ดังรูป

Factorial Fit: y versus v1, v2, v3						
Estimated Effects and Coefficients for y (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		0.003875	0.000125	31.00	0.000	
v1	0.000750	0.000375	0.000125	3.00	0.040	
v2	-0.001750	-0.000875	0.000125	-7.00	0.002	
v3	-0.001250	-0.000625	0.000125	-5.00	0.007	
S = 0.000353553 PRESS = 0.000002						
R-Sq = 95.40% R-Sq(pred) = 81.61% R-Sq(adj) = 91.95%						
Analysis of Variance for y (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.00001037	0.00001037	0.00000346	27.67	0.004
v1	1	0.00000112	0.00000112	0.00000112	9.00	0.040
v2	1	0.00000612	0.00000612	0.00000612	49.00	0.002
v3	1	0.00000313	0.00000313	0.00000313	25.00	0.007
Error	4	0.00000050	0.00000050	0.00000012		
Total	7	0.00001087				

ภาพที่ 31 ผลการวิเคราะห์ของชุดข้อมูลค่าความเรียบของแกนเพลลา

จากภาพที่ 31 พบว่าปัจจัยทั้งสามคือตำแหน่งสวมอัด, ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม และแรงที่ใช้กดมีค่า P-Value น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ซึ่งแสดงว่าปัจจัยทั้งหมดมีผลต่อค่าความเรียบของแกนเพลลา และชุดข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีการกระจายแบบอิสระต่อกัน ค่าระดับความน่าเชื่อถือของชุดข้อมูลอยู่ที่ 91.95% ดังนั้นจึงนำปัจจัยทั้งสามมาทำการวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้ค่าความเรียบของแกนเพลลาไม่เกิน 0.04 มิลลิเมตร โดยใช้โปรแกรม minitab มาทำการวิเคราะห์

## 5. ผลของค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน

กระบวนการใส่แกนอาร์เมเจอร์

ผลของค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ได้ค่าการแกว่งของแกนเพลานไม่เกิน 0.004 มิลลิเมตร คือ

ปัจจัย Z1 คือ ระยะตำแหน่งสวมอัด

ปัจจัย Z2 คือ ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม

ปัจจัย Z3 คือ แรงกด แสดงดังภาพที่ 32

Response Optimization					
Parameters					
Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
y Min	0.001	0.001	0.002	1	1
Global Solution					
z1 =	29.4				
z2 =	0.4				
z3 =	50				

ภาพที่ 32 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยกระบวนการประกอบแกนเพลานเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์

ได้ค่าที่เหมาะสมแต่ละปัจจัยคือ ระยะตำแหน่งสวมอัด 29.4 มิลลิเมตร ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม (Air pressure) 0.4 MPa และแรงกด 50 kN

กระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์

ผลของค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย เพื่อให้ได้ค่าความเรียบของแกนเพลานไม่เกิน 0.004 มิลลิเมตร คือ

ปัจจัย V1 คือ ระยะตำแหน่งสวมอัด

ปัจจัย V2 คือ ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม (Air pressure)

ปัจจัย V3 คือ แรงกด แสดงดังภาพที่ 33

Response Optimization					
Parameters					
Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
y Target	0	0.001	0.002	1	1
Global Solution					
y1	= 98.2				
y2	= 0.6				
y3	= 30				
Predicted Responses					
y	= 0.002 , desirability = 0.000000				
Composite Desirability = 0.000000					

ภาพที่ 33 ค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยกระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์

ได้ค่าที่เหมาะสมแต่ละปัจจัยคือ ระยะตำแหน่งสวมอัด 98.2 มิลลิเมตร ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม (Air pressure) 0.6 MPa และแรงกด 30 kN

## 6. ผลการทดสอบการเกิดเสียงของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน

เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมแต่ละปัจจัยของกระบวนการประกอบแกนเพลเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์ ติดตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เครื่องกดอาร์เมเจอร์ คือระยะตำแหน่งสวมอัด 29.4 มิลลิเมตร ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม 0.4 MPa แรงกด 50 kN แล้วทำการผลิตชุดประกอบอาร์เมเจอร์ในสายการผลิตชุดประกอบอาร์เมเจอร์ เพื่อทดสอบการเกิดเสียงของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน โดยรายละเอียดดังตารางที่

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าการแกว่งของแกนเพลาก่อนและหลังการปรับปรุงที่  
กระบวนการใส่แกนอาร์เมเจอร์ (มิลลิเมตร)

ค่าการแกว่งของ แกนเพลาก่อนการ ปรับปรุง	ค่าการแกว่งของ แกนเพลาลังการ ปรับปรุง	ค่าการแกว่งของ แกนเพลาก่อนการ ปรับปรุง	ค่าการแกว่งของ แกนเพลาลังการ ปรับปรุง
0.005	0.002	0.003	0.002
0.005	0.003	0.004	0.003
0.005	0.002	0.004	0.002
0.005	0.002	0.003	0.002
0.005	0.003	0.004	0.003
0.004	0.002	0.004	0.002
0.004	0.002	0.004	0.002
0.003	0.001	0.005	0.001
0.003	0.002	0.004	0.002
0.004	0.003	0.003	0.003
0.003	0.001	0.003	0.001
0.003	0.002	0.003	0.002
0.003	0.003	0.004	0.003
0.005	0.002	0.003	0.002
0.003	0.003	0.003	0.003

ทำการเปรียบเทียบค่าการแกว่งของเพลาวัดทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงของกระบวนการ  
ใส่แกนอาร์เมเจอร์ ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดข้อมูลโดยใช้ Pair T-Test, 95% CI  
และตั้งสมมติฐานคือชุดข้อมูลของค่าการแกว่งของเพลาก่อนกระบวนการใส่แกนอาร์เมเจอร์ต้องไม่  
แตกต่างกับชุดข้อมูลของค่าการแกว่งของเพลาลังกระบวนการใส่แกนอาร์เมเจอร์ได้สมการดังนี้

$$H_0 : \mu_{\text{before}} = \mu_{\text{after}}$$

$$H_1 : \mu_{\text{before}} \neq \mu_{\text{after}}$$

**Paired T-Test and CI: Before, After**

Paired T for Before - After

	N	Mean	StDev	SE Mean
Before	30	0.003800	0.000805	0.000147
After	30	0.002367	0.000615	0.000112
Difference	30	0.001433	0.000971	0.000177

95% CI for mean difference: (0.001071, 0.001796)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 8.08 P-Value = 0.000

**ภาพที่ 34** การเปรียบเทียบค่าการแกว่งของเพลาทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงของกระบวนการใส่แกนอาร์เมเจอร์ด้วยการเปรียบเทียบคู่แบบ T (Paired T-Test)

จากภาพที่ 34 ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ โดยมีค่า P-Value = 0.0 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลัก คือ ค่าการแกว่งของเพลาทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงของกระบวนการใส่แกนอาร์เมเจอร์ มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นค่าการแกว่งของเพลาทั้งก่อนและหลังของกระบวนการใส่แกนอาร์เมเจอร์ มีความแตกต่างกัน

กระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์ติดตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เครื่องกดคอมมิวเตเตอร์ คือระยะตำแหน่งสวมอัด 98.2 มิลลิเมตร ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม (Air pressure) 0.6 MPa และแรงกด 30 kN แล้วทำการผลิตชุดประกอบอาร์เมเจอร์ในสายการผลิตชุดประกอบอาร์เมเจอร์ เพื่อทดสอบการเกิดเสียงของมอเตอร์ปั้มน้ำฝน โดยรายละเอียดดังตารางที่ 12

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าความเรียบของแกนเพลาก่อนและหลังการปรับปรุงของ  
กระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์ (มิลลิเมตร)

ค่าความเรียบของ แกนเพลาก่อนการ ปรับปรุง	ค่าความเรียบของ แกนเพลาก่อนหลัง ปรับปรุง	ค่าความเรียบของ แกนเพลาก่อนการ ปรับปรุง	ค่าความเรียบของ แกนเพลาก่อนหลัง ปรับปรุง
0.004	0.001	0.002	0.002
0.004	0.002	0.003	0.002
0.004	0.003	0.002	0.002
0.005	0.002	0.002	0.002
0.005	0.002	0.004	0.003
0.005	0.003	0.005	0.003
0.004	0.001	0.004	0.001
0.003	0.002	0.004	0.003
0.004	0.002	0.005	0.003
0.003	0.003	0.003	0.002
0.003	0.002	0.003	0.003
0.004	0.003	0.004	0.002
0.004	0.001	0.004	0.003
0.003	0.002	0.003	0.002
0.004	0.003	0.003	0.002

ทำการเปรียบเทียบค่าความเรียบของแกนเพลาวัดทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงของ  
กระบวนการใส่แกนคอมมิวเตเตอร์ ทดสอบเปรียบเทียบความแตกต่างของชุดข้อมูลโดยใช้ Pair T-  
Test, 95% CI และตั้งสมมติฐานคือชุดข้อมูลของค่าความเรียบของแกนเพลาก่อนกระบวนการใส่  
แกนอาร์เมเจอร์ต้องไม่แตกต่างกับชุดข้อมูลของค่าความเรียบของแกนเพลาลังกระบวนการใส่  
แกนอาร์เมเจอร์ได้สมการดังนี้

$$H_0 : \mu_{\text{before}} = \mu_{\text{after}}$$

$$H_1 : \mu_{\text{before}} \neq \mu_{\text{after}}$$

#### Paired T-Test and CI: Before, After

Paired T for Before - After

	N	Mean	StDev	SE Mean
Before	30	0.003667	0.000884	0.000161
After	30	0.002233	0.000679	0.000124
Difference	30	0.001433	0.001006	0.000184

95% CI for mean difference: (0.001058, 0.001809)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 7.80 P-Value = 0.000

**ภาพที่ 35** การเปรียบเทียบค่าความเรียบของแกนเพลาก่อนและหลังการปรับปรุงของกระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์ด้วยการเปรียบเทียบคู่แบบ T (Paired T-Test)

จากภาพที่ 35 ตัวแปรที่ทำการวิเคราะห์ โดยมีค่า P-Value = 0.0 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก คือ ค่าความเรียบของแกนเพลาก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์ มีความแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นค่าความเรียบของแกนเพลาก่อนและหลังกระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์ มีความแตกต่างกัน

**7. ปรับปรุงกระบวนการโดยใช้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย มาเป็นค่ามาตรฐานในการผลิต เพื่อลดการเกิดเสียงดังมากกว่า 50 เดซิเบลของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝนสำหรับปั้ดน้ำฝนในรถยนต์**

ผลการทดสอบเสียงของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน โดยใช้แกนเพลาลังปรับปรุงคือ ค่าความเรียบและค่าการแกว่งของแกนเพลาดังไม่เกิน 0.004 มิลลิเมตร มาทำการผลิตในสายการผลิตมอเตอร์ปั้ดน้ำฝนสำหรับชุดปั้ดน้ำฝนได้ค่าระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลของระดับความเข้มเสียงเสียงมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนหลังการปรับปรุง

มอเตอร์ปั๊มน้ำฝน ลำดับที่	ค่าความเรียบของ แกนเพลลา(มิลลิเมตร)	ค่าการแกว่งของ แกนเพลลา(มิลลิเมตร)	ระดับความเข้มเสียง ที่วัดได้ (เดซิเบล)
1	0.001	0.002	34
2	0.002	0.003	41
3	0.003	0.002	42
4	0.002	0.002	38
5	0.002	0.003	40
6	0.003	0.002	39
7	0.001	0.002	34
8	0.002	0.001	35
9	0.002	0.002	40
10	0.003	0.003	46
11	0.002	0.001	34
12	0.003	0.002	41
13	0.001	0.003	38
14	0.002	0.002	39
15	0.003	0.003	45
16	0.002	0.002	38
17	0.002	0.003	43
18	0.002	0.003	42
19	0.002	0.003	43
20	0.003	0.003	46
21	0.003	0.002	41
22	0.001	0.003	37
23	0.003	0.002	43
24	0.003	0.002	44

ตารางที่ 14 (ต่อ)

มอเตอร์ปั๊มน้ำฝน ลำดับที่	ค่าความเรียบของ แกนเพลลา(มิลลิเมตร)	ค่าการแกว่งของ แกนเพลลา(มิลลิเมตร)	ระดับความเข้มเสียง ที่วัดได้ (เดซิเบล)
25	0.002	0.003	42
26	0.003	0.003	47
27	0.002	0.002	39
28	0.003	0.003	46
29	0.002	0.002	38
30	0.002	0.002	39

จากตารางที่ 14 หลังจากปรับปรุงพบว่าระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนไม่  
มากกว่ามาตรฐานที่ 50 เดซิเบล

ผลจากการออกแบบเพื่อลดเสียงดังเกิน 50 เดซิเบลของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนสำหรับปั๊มน้ำฝน  
พบว่าสาเหตุที่แท้จริงของปัญหานี้คือ ค่าการแกว่งและค่าความเรียบของแกนเพลลามีค่าเกิน 0.004  
มิลลิเมตร และสามารถทำได้จริง ทำให้ลดระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนลงมาไม่เกินที่  
47 เดซิเบล ไม่เกินมาตรฐานของลูกค้าคือ 50 เดซิเบล แล้วยังสามารถลดต้นทุนงานเสียและการ  
ซ่อมงานได้จากกระบวนการอีกด้วย ดังนี้

ทำการทดสอบความพอเพียงของกลุ่มตัวอย่างข้อมูลจากตารางที่ 14 โดยใช้ระดับความ  
เชื่อมั่นที่ 95% โดยผู้วิจัยยอมให้มีค่าความผิดพลาดจากการวัดไม่เกิน 2 เดซิเบล โดยใช้สูตรการหา  
ดังนี้

$$n = [(Z_{\alpha/2} \times S)/e]^2$$

- โดยที่  $\alpha$  คือ ระดับนัยสำคัญ กำหนดไว้ที่ 0.05 หากค่า  $Z_{\alpha/2}$  จากตาราง  $Z_{0.025} = 1.96$   
 $S$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระดับความเข้มเสียงคือ 2.61 เดซิเบล  
 $e$  คือ ค่าความผิดพลาด (error) มีค่าเท่ากับ 2

ดังนั้นจะได้ว่า

$$n = [(1.96 \times 2.61)/2]^2$$

$$n = 6.5423 \text{ ประมาณ } 7 \text{ ตัวอย่าง}$$

จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า จำนวนตัวอย่างที่ต้องการอย่างน้อยคือ 7 ตัวอย่าง ดังนั้นในการทดสอบครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างมาเป็นจำนวน 30 ตัวอย่าง จึงถือว่าเพียงพอแล้ว

ตารางที่ 15 ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการออกแบบการทดลอง

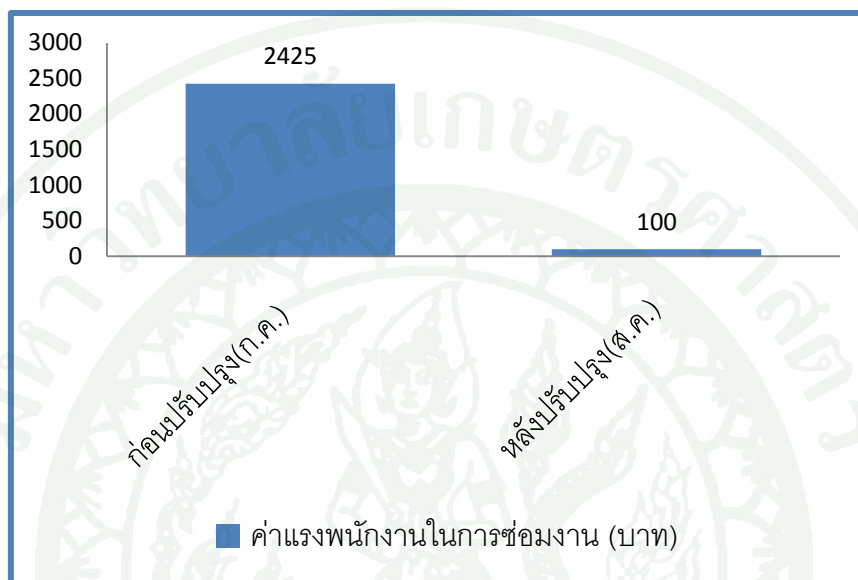
รายการ	จำนวนคน (คน)	ค่าแรงชั่วโมง ละ(บาท)	จำนวนชั่วโมง (ชั่วโมง)	จำนวนเงิน (บาท)
ค่าแรงพนักงานในการวัดงาน	2	50	36	3,600
ค่าแรงพนักงานในการซ่อมงาน	2	50	30	3,000
รวม				6,600

จากตาราง มีค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการออกแบบการทดลองเพื่อลดเสียงดังเกิน 50 เดซิเบลของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนสำหรับที่ปั๊มน้ำฝนทั้งหมดคือ 6,600 บาท โดยแบ่งค่าใช้จ่ายเป็นค่าแรงพนักงานในการวัดงานจำนวน 3,600 บาท และ ค่าแรงพนักงานในการซ่อมงานจำนวน 3,000 บาท

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบผลค่าใช้จ่ายก่อนและหลังปรับปรุง

รายละเอียดข้อมูล	ก่อนปรับปรุง (ก.ค.)	หลังปรับปรุง (ส.ค.)	ผลต่างการ ปรับปรุง	% การ ปรับปรุง	หน่วย
จำนวนงานเสียของ มอเตอร์ปั๊มน้ำฝน	97	4	93	96%	ชิ้น
ค่าแรงพนักงานใน การซ่อมงาน	2425	100	2325	96%	บาท

โดย ค่าแรงพนักงานซ่อมมอเตอร์ปั้ดน้ำฝนขึ้นละ 25 บาท จากตารางหลังจากการปรับปรุง เพื่อลดระดับความเข้มเสียงในมอเตอร์ปั้ดน้ำฝน สามารถลดค่าใช้จ่ายค่าแรงพนักงานในการซ่อมงานได้ 2,325 บาท คิดภายในเดือนสิงหาคม 2556 และค่าใช้จ่ายในการออกแบบการทดลองจะคุ้มทุนภายในประมาณ 3 เดือนขึ้นอยู่กับแผนการสั่งซื้อของลูกค้า



ภาพที่ 36 กราฟเปรียบเทียบผลค่าใช้จ่ายก่อนและหลังปรับปรุง

### วิจารณ์

#### ข้อจำกัดของงานวิจัย

การกำหนดระดับปัจจัยในการทดลอง จะกำหนดเพียง 2 ระดับ เนื่องจากหากมีการกำหนดระดับปัจจัยหลายระดับในการทดลอง จะเกิดความยุ่งยากและเสียค่าใช้จ่ายในการทดลองค่อนข้างสูง เพราะในการเปลี่ยนระดับในการทดลองแต่ละครั้งต้องเสียเวลา และอาจกระทบต่อกระบวนการอื่นๆของโรงงานกรณีศึกษา

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากการใช้วิธีการออกแบบการทดลอง เพื่อออกแบบลดการเกิดเสียงดังเกิน 50 เดซิเบล ของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝน ได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุการเกิดของปัญหาพบว่าเสียงที่ดังเกิน 50 เดซิเบล โดยการใช้สมการถดถอยเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อเสียงของมอเตอร์นั้นเกิดจากแกนเพลลาความเรียบผิวและค่าการแกว่ง โดยได้สร้างสมการถดถอยคือ

$$Y \text{ (dB)} = 25.4 + 3394 X_3 + 3195 X_4$$

โดยที่ ปัจจัย  $X_3$  คือ ค่าความเรียบของแกนเพลลาและปัจจัย  $X_4$  คือ ค่าการแกว่งของแกนเพลลา (มิลลิเมตร)

ในการทดลองถึงแม้ว่าแกนเพลลาความเรียบผิวและค่าการแกว่งอยู่ในค่ามาตรฐานแล้ว ค่ามาตรฐานอยู่ที่ 0.005 มิลลิเมตร แต่ก็ยังทำให้เกิดเสียงดังมากกว่า 50 เดซิเบล จึงได้สร้างสมการทำนายหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยใหม่ และได้ค่ามาตรฐานใหม่อยู่ที่ไม่เกิน 0.004 มิลลิเมตร จากนั้นทำการวิเคราะห์พบว่ามีสองกระบวนการที่ส่งผลต่อค่าความเรียบและค่าการแกว่งของแกนเพลลา คือกระบวนการประกอบแกนเพลลาเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์ที่มีผลกระทบต่อค่าการแกว่งของแกนเพลลา และอีกกระบวนการหนึ่งที่มีผลต่อค่าความเรียบของแกนเพลลา คือ กระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์ ทำการออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียลสำหรับทั้งสองกระบวนการ โดยเริ่มจากกระบวนการประกอบแกนเพลลาเข้ากับแกนอาร์เมเจอร์ พบว่าปัจจัยระยะสวมอัด ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม และแรงกดของเครื่องกดมีผลต่อค่าการแกว่งของแกนเพลลา หลังจากนั้นหาค่าที่เหมาะสมสำหรับแต่ละปัจจัยที่จะทำไม่ให้เกิดค่าการแกว่งของแกนเพลลาเกิน 0.004 มิลลิเมตร คือ ระยะสวมอัดต้องอยู่ที่ 29.4 มิลลิเมตร ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม อยู่ที่ 0.4 MPa และแรงกด 50 kN ส่วนกระบวนการใส่คอมมิวเตเตอร์นั้นก็เช่นกัน มีปัจจัยระยะสวมอัด ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม และแรงกดของเครื่องกดมีผลต่อค่าความเรียบของแกนเพลลา และค่าที่เหมาะสมของระยะสวมอัดอยู่ที่ 98.2 มิลลิเมตร ความดันจากเครื่องต้นกำเนิดลม 0.6 MPa และแรงกด 30 kN จากการตั้งค่าดังกล่าวเมื่อนำมาใช้ในกระบวนการจริงในการผลิตพบว่า ค่าระดับความเข้มเสียงของมอเตอร์ปั๊มน้ำฝนสำหรับที่ปั๊มน้ำฝนรถยนต์เสียงดังไม่เกินมาตรฐานที่ 50 เดซิเบล โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 47 เดซิเบล

### ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเฉพาะรุ่นหนึ่งของมอเตอร์ปิดน้ำฝนสำหรับปิดน้ำฝน ซึ่งอยู่ในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์เท่านั้น การวิจัยต่อไปอาจจะขยายผลไปยังรุ่นที่เหลื่อมมอเตอร์ปิดน้ำฝน หรือจะใช้ประยุกต์เข้ากับชิ้นส่วนรถยนต์แบบอื่น เป็นต้น



## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2540. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม (ประมวลผลด้วย MINITAB).

พิมพ์ครั้งที่ 1 สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

จรรย์ ประจันบาล. 2551. การหาค่าที่เหมาะสมเพื่อการผลิตเอมไซม์เบต้า-กลูคาเนสจากเชื้อรา *Aspergillus terreus* ASKU 10 ด้วยการหมักแบบแห้งและการใช้ฟางข้าวหมักร่วมกับเชื้อส่งเสริมการเจริญเติบโตเพื่อการเพาะปลูกข้าวโพดฝักอ่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์. 2555. การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย. แหล่งที่มา :

<http://www.watpon.com>, 19 ธันวาคม 2555.

ณัฐดนัย พรรณเจริญวงษ์. 2552. ออกแบบเครื่องผลิตปลาร้าผงที่มีประสิทธิภาพในการทำงาน.

วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ณัฐวุฒิ ศักดิ์สว่างวงษ์. 2552. สมการถดถอยของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำในการผลิตพาทาลิกแอนไฮไดรด์. ใน การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21.

บุญชม ศรีสะอาด. 2541. การวิจัยเบื้องต้น. สุวีริยาสาส์น, กรุงเทพฯ.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. สำนักพิมพ์ที่ออป, กรุงเทพฯ.

พวงศักดิ์ ชาลีกุล. 2551. ออกแบบการทดลองลดความแปรผันจากระบบการวัดสำหรับหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มาลิน อยู่แขก. 2552. การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดสินค้าบกพร่องในกระบวนการขึ้นรูปฟาดึง สำหรับกระป๋องบรรจุอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัฐนาฏ ประชุมหิสร. 2553. การออกแบบการทดลองสำหรับตัวแปรของการกัดอาร์คด้วยไฟฟ้าบนเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 410. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สิริพงศ จิงถาวรณ และ ณัฐวุฒิ ขุนสอาดศรี. 2554. การปรับปรุงกระบวนการเจียรไนเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอกของเพลาด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. ใน การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติประจำปี 2554.

โสภิตา ท่วมมี. 2550. การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่นโดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษาในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วิฑูลย์ ภัคดีศรี. 2555. ศึกษาปัจจัยที่ควบคุมได้ที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมดูดของเครื่องดักฝุ่นแบบดงกรองในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์. ใน การประชุมงานวิชาการแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9.

วีรเทพ เฉลิมสมิทธิชัย. 2550. การศึกษาปริมาณธาตุที่เหมาะสมในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กดิบ วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

เอก มณีคำและชุมพล ขวงไย. 2554. การศึกษาการวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมมิกสำหรับขาเบรครถยนต์โดยการออกแบบทดลอง. ใน การประชุมวิชาการหน่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม.

Jianbiao Pan. **Minitab DOE Tutorial**. Available Source: <http://www.calpoly.edu>. February 21, 2010

Montgomery D.C. and Runger C. 2002. **Applied statistics and probability for engineer**. Third Edition. John Wiley & Suons, Inc, USA.

Montgomery D.C. 2001. **Design and analysis of experiments fifth Edition**. John Wiley & Suons, Inc, USA.

## ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นายพลกฤษณ์ อนุกุล  
 เกิดวันที่ 31 ธันวาคม 2527  
 สถานที่เกิด อำเภอเมืองแพร่ จังหวัดแพร่  
 ประวัติการศึกษา วศ.บ. (เกษตรศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตศรีราชา  
 ตำแหน่งปัจจุบัน หัวหน้าแผนกควบคุมคุณภาพ  
 สถานที่ทำงานปัจจุบัน บริษัท ไทยซัมมิท มิทซูบะ อิเล็กทริก เมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด  
 ผลงานดีเด่นและ / หรือรางวัล -  
 ทางวิชาการ  
 ทู่นการศึกษาที่ได้รับ -