การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง : กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

DEFECTS REDUCTION IN THE MOTORCYCLE SPARE PARTS PRODUCTION BY APPLYING THE DESIGN OF EXPERIMENTS: A CASE STUDY OF MOTORCYCLE PARTS MANUFACTURING INDUSTRY COMPANY

เอกพล ทับพร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง : กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

เอกพล ทับพร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง : กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์
ชื่อ - นามสกุล	นายเอกพล ทับพร
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ณฐา คุปตัษเฐียร, Ph. D.
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ให้ต่ำลง 50 เปอร์เซ็นต์ โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการและการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ

การดำเนินการเริ่มจากการใช้เครื่องมือคุณภาพ ได้แก่ ใบตรวจสอบมาช่วยเก็บรวบรวมข้อมูลของเสีย จากนั้นใช้แผนภาพสาเหตุและผล แผนภูมิพาเรโตมาช่วยในการวิเคราะห์และคัดเลือกปัญหา พบว่าปัญหาหลักเกิดจากความไม่เหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกลึงปอกวัสดุ จากนั้นนำปัญหาไประดมสมองเพื่อวิเคราะห์การกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบด้วยหลักการการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) โดยมีปัจจัยที่ใช้ศึกษา 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราป้อนและความลึกตัด โดยกำหนดความเร็วรอบเท่ากับ 3,500, 3,800 และ 4,000 รอบ/นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.1, 0.2 และ 0.33 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัดเท่ากับ 1.0, 1.25 และ 1.5 มม.

ผลการวิจัยพบว่าถ้าต้องการค่าความหยาบผิวของชิ้นงานดีที่สุดควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ของความเร็วรอบเท่ากับ 3,500 รอบ/นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.20 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัดเท่ากับ 1.00 มม.และจากการดำเนินการนำผลวิจัยไปปรับใช้สามารถลดมูลค่าของเสียเฉลี่ยได้จาก 73,440 บาท/เดือน เหลือ 28,450 บาท/เดือน ลดลง 44,990 บาท/เดือน คิดเป็นร้อยละ 61.14

คำสำคัญ : การลดของเสีย การออกแบบการทดลอง ชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

Thesis Title	The Defects Reduction in the Motorcycle Spare Parts Production by Applying the Design of Experiments : A Case Study of Motorcycle Parts Manufacturing Industry Company
Name – Surname	Mr.Ekkapol Tubpond
Program	Industrial Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Natha Kuptasthien, Ph.D.
Academic Year	2017

ABSTRACT

The major purpose of this research was to reduce the imperfection of the procedure caused by factors that influenced workpieces with rough surfaces of the motorcycle handlebar weights in metal turning process of SS400 Low Carbon Steel.

The research instruments used to identify and select the problems in order to further the experiment were seven quality tools such as Cause-and-effect diagram and Pareto diagram. These quality tools found that the main problems were caused by the improper of the parameters used in turning material procedure. The study then decided to apply an experimental design techniques including factorial and the 3k factorial design, which ultimately considered three factors in each level; speeds of spindle, feed of rate and depth of cut. In addition, the experiment required speeds of spindle at 3,500, 3,800 and 4,000 rev / min, feed of rate at 0.1, 0.2 and 0.33 mm / rev. and depth of cut at 1.0, 1.25 and 1.5 mm.

The study findings reveal that the desired average surface roughness of the workpiece should set the parameters of the speeds of spindle at 3,500 rev / min, feed of rate at 0.2 mm / rev and depth of cut at 1.00 mm. The procedure can reduce the value of the waste (61.14%) from 73,440 baht / month to 28,450 Baht / month.

Keywords : waste reduction, design of experiment, motorcycle parts

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.ณฐา คุปตัษเฐียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ และดร.กรกฎ เหมสถาปัตย์ กรรมการสอบ ที่กรุณาได้ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้และเสนอแนะแนวทางต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สำนักงานบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำในเรื่องระเบียบการจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ครอบครัวและเพื่อนๆ ทุกคนที่ช่วยให้กำลังใจในการวิจัยครั้งนี้ ถึงแม้จะประสบปัญหาและอุปสรรคต่างๆ มากมาย แต่ด้วยความช่วยเหลือของทุกท่านที่กล่าวมานี้ทั้งหมด เป็นแรงผลักดันให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

เอกพล ทับพร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย (3)

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (4)

กิตติกรรมประกาศ (5)

สารบัญ (6)

สารบัญตาราง (8)

สารบัญภาพ (10)

บทที่

1 บทนำ 14

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 14

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 21

1.3 สมมติฐานการวิจัย 21

1.4 ขอบเขตการวิจัย 21

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 22

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 23

2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24

2.1 ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) 24

2.2 ความสูญเสีย (Wastes) 26

2.3 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (Quality Tools) 28

2.4 งานกลึง (Turning Operation) 33

2.5 การวัดผลประสิทธิภาพของชิ้นงาน 39

2.6 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ (Material Property) 41

2.7 สมมติฐาน 43

2.8 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น 46

2.9 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 61

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 66

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

3 วิธีดำเนินการวิจัย 71

3.1 ศึกษาโครงสร้างผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต 71

3.2 การศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต 87

3.3 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น และดำเนินการทดลองโดยใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ สามระดับ (3k Factorial Design) 98

3.4 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง 103

3.5 เสนอแนวทางการปรับปรุงต่อผู้บริหาร 104

3.6 ดำเนินการปรับปรุงและเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง 104

3.7 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย 104

4 ผลการดำเนินงานวิจัย 106

4.1 ผลการวิเคราะห์และผลการทดลองปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย 106

4.2 ผลการดำเนินการปรับปรุง ปัญหาผิว Ø 31 mm. มีรอย 116

4.3 ผลการดำเนินการปรับปรุง 118

5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 119

5.1 สรุปผลการศึกษา 119

5.2 อภิปรายผลการวิจัย 119

5.3 ข้อเสนอแนะ 120

รายการอ้างอิง 121

ภาคผนวก 123

ภาคผนวก ก แบบฟอร์มสั่งผลิตชิ้นงาน 124

ภาคผนวก ข การออกแบบอุปกรณ์กันกระแทก 125

ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ 127

ประวัติผู้เขียน 149

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ความสูญเสียจากการผลิตชิ้นงานเสีย ในช่วงเดือน มิ.ย.-พ.ย. พ.ศ.2558 14
ตารางที่ 1.2 ความสูญเสียจากการผลิตชิ้นงานเสีย ในช่วงเดือน มิ.ย.-พ.ย. พ.ศ.2558 (ต่อ) 15
ตารางที่ 1.3 จำนวนชิ้นงานเสียเฉลี่ยแยกตามประเภทของสภาพปัญหา 19
ตารางที่ 1.4 จำนวนของเสียแยกตามประเภทของปัญหา 20
ตารางที่ 2.1 ค่าความเร็วตัดของวัสดุชนิดต่างๆ 34
ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีเหล็ก SS400 42
ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติเชิงกลเหล็ก SS400 42
ตารางที่ 2.4 แสดงสมมติฐานทางสถิติและการวิจัย 44
ตารางที่ 2.5 รูปแบบการทดลองที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน 51
ตารางที่ 2.6 รูปแบบการทดลองที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน (ต่อ) 52
ตารางที่ 2.7 แสดงการช่วงการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของ ปัจจัย Aปัจจัย B และปัจจัย C 54
ตารางที่ 2.8 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแบบจำลอง 3 ปัจจัย แบบ Fixed Effects 65
ตารางที่ 2.9 ปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการศึกษา 69
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ตัดเฉือนก่อนปรับปรุง 93
ตารางที่ 3.2 แนวทางการแก้ไขสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น 98
ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง 101
ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง (ต่อ) 102
ตารางที่ 3.5 แสดงข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง (ต่อ) 103
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง 109
ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง(ต่อ) 110
ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง(ต่อ) 111

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตัดเฉือน
ในขั้นตอนการกลึงละเอียด 115
ตารางที่ 4.5 แนวทางการแก้ไขสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น 116
ตารางที่ 4.6 วิธีการแก้สภาพปัญหาที่เกิดขึ้น 117

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 มูลค่าของเสียที่เกิดขึ้นในช่วงเดือน มิ.ย.-ธ.ค. พ.ศ. 2558 15
รูปที่ 1.2 ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) 16
รูปที่ 1.3 ขั้นตอนหลักของการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ 17
รูปที่ 1.4 กรรมวิธีการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand)แบบสังเขป 18
รูปที่ 1.5 แผนภูมิพาเรโต (Pareto- Chart) 20
รูปที่ 2.1 ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) 25
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านและไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพด้านความหยาบผิวเฉลี่ย 25
รูปที่ 2.3 ตำแหน่งติดตั้งตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) 26
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างใบตรวจสอบ (Check Sheets) 29
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) 30
รูปที่ 2.6 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) 30
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างกราฟ (Graph) 31
รูปที่ 2.8 ฮิสโตแกรม (Histogram) 32
รูปที่ 2.9 ผังแสดงการกระจาย (Scatter Diagram) 32
รูปที่ 2.10 การเคลื่อนที่ในงานกลึง 33
รูปที่ 2.11 มีดกลึงที่ใช้กลึงปอก 36
รูปที่ 2.12 การวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) 39
รูปที่ 2.13 ค่าความหยาบผิวสูงสุด (Ry) 40
รูปที่ 2.14 ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยสิบจุด (Rz) 40
รูปที่ 2.15 เครื่องวัดความหยาบผิว Mahr รุ่น Surf GD 120 41
รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะโครงสร้างของเหล็ก SS400 42
รูปที่ 2.17 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ 46
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการระบุสาเหตุของปัญหาโดยการใช้แผนภูมิก้างปลา 50
รูปที่ 2.19 แสดงขั้นตอนการเข้าไปที่การออกแบบการทดลอง DOE 54
รูปที่ 2.20 กำหนดปัจจัยที่ต้องการ คือ ปัจจัย A, ปัจจัย B และ ปัจจัย C 55
รูปที่ 2.21 แสดงการตั้งค่าชื่อของปัจจัย ระดับปัจจัยและการทดลองซ้ำ (Replicate) 55

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.22 แสดงการกำหนดระดับการทดลองที่คอลัมน์เลเวล (Levels) 56
รูปที่ 2.23 กำหนดค่าค่าพารามิเตอร์ของทั้ง 3 ปัจจัย ที่ได้จากโรงงานกรณีศึกษา 56
รูปที่ 2.24 แสดงการเลือกปฏิเสธข้อมูลแบบสุ่ม 57
รูปที่ 2.25 ผลการวิเคราะห์จากการใช้โปรแกรมมินิแทบ เวอร์ชัน 16 ออกแบบการทดลอง 57
รูปที่ 2.26 ตัวอย่างกราฟ 4 ประเภทสำหรับนำมาวิเคราะห์ความพอเพียงของข้อมูล 58
รูปที่ 2.27 ตัวอย่างกราฟการกระจาย 58
รูปที่ 2.28 ตัวอย่างกราฟแสดงความแปรปรวนของข้อมูล 58
รูปที่ 2.29 ตัวอย่างฮิสโตแกรม 59
รูปที่ 2.30 ตัวอย่างกราฟการกระจายตัวแบบสุ่ม 59
รูปที่ 2.31 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีผล 60
รูปที่ 2.32 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของปัจจัย A และ ปัจจัย B 61
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 72
รูปที่ 3.2 ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) 73
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งติดตั้งตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) 73
รูปที่ 3.4 แผนภูมิกระบวนการผลิต (Flow Process Chart) 74
รูปที่ 3.5 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) เกรด SS400 75
รูปที่ 3.6 การเชื่อมไฟฟ้า 75
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการตัดวัตถุดิบ 76
รูปที่ 3.8 ชิ้นงานจากกระบวนการตัด 76
รูปที่ 3.9 หัวจับชิ้นงานชนิด 3 ฟันจับ 77
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการกลึงฐาน 77
รูปที่ 3.11 ชิ้นงานจากกระบวนการกลึงฐาน 78
รูปที่ 3.12 การป้อนชิ้นงาน 79
รูปที่ 3.13 รางสำหรับลำเลียงชิ้นงาน 79
รูปที่ 3.14 ขั้นตอนการเจาะ 79
รูปที่ 3.15 การตรวจสอบโดยใช้ปลั๊กเกจ 80

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.16 ชิ้นงานจากกระบวนการเจาะ 80
รูปที่ 3.17 เครื่องกัดซีเอนซี (CNC Milling Machine) 81
รูปที่ 3.18 การปาดบ่าชิ้นงาน 81
รูปที่ 3.19 ชิ้นงานจากกระบวนการปาดบ่า 81
รูปที่ 3.20 ขั้นตอนการกลึงหยาบ 82
รูปที่ 3.21 ชิ้นงานจากกระบวนการการกลึงหยาบ 82
รูปที่ 3.22 ขั้นตอนการกลึงละเอียด 83
รูปที่ 3.23 ชิ้นงานจากกระบวนการการกลึงละเอียด 83
รูปที่ 3.24 การใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ตรวจสอบขนาดชิ้นงาน 84
รูปที่ 3.25 การใช้ปลั๊กเกจตรวจสอบขนาดรูชิ้นงาน 85
รูปที่ 3.26 การใช้เครื่องวัดขนาดชิ้นงานละเอียดแบบแสงเงา 85
รูปที่ 3.27 เครื่องมือวัดชิ้นงานแบบ 3 มิติ 86
รูปที่ 3.28 เครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness) 86
รูปที่ 3.29 การบรรจุชิ้นงานบรรจุลงกล่อง 87
รูปที่ 3.30 ปัญหาชิ้นงาน Ø 31 mm. ผิวลาย 88
รูปที่ 3.31 ปัญหา Ø 31 mm. เป็นรอย 88
รูปที่ 3.32 ปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย 89
รูปที่ 3.33 ปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย 89
รูปที่ 3.34 ปัจจัยพื้นฐานของการกลึงปอก 90
รูปที่ 3.35 ค่าความแข็งแรงของวัสดุ ณ อุณหภูมิห้อง 91
รูปที่ 3.36 ค่าความแข็งแรงของวัสดุ ณ อุณหภูมิห้อง 92
รูปที่ 3.37 แผนภูมิก้างปลา (Cause & Effect Diagram) 94
รูปที่ 3.38 ปัญหาการวางชิ้นงานซ้อนกันลงภาชนะ 96
รูปที่ 3.39 ปัญหา Ø 31 mm. มีรอย 97
รูปที่ 3.40 แผนภูมิภาพเหตุและผลของปัญหา Ø 31 mm. เป็นรอย 97
รูปที่ 4.1 การเตรียมชิ้นงาน 107

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.2 การทดสอบหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุ 107
รูปที่ 4.3 การเก็บข้อมูลค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน 107
รูปที่ 4.4 มีดกลึงคาร์ไบด์ เกรด (TN60) 108
รูปที่ 4.5 กราฟ 4 IN 1 (Four in one) 112
รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) 114
รูปที่ 4.7 Interaction Plot for Roughness Average 115
รูปที่ 4.8 การออกแบบอุปกรณ์ช่วยสำหรับป้องกันการกระแทก 117
รูปที่ 4.9 ผลลัพธ์การลดมูลค่าของเสียได้ตามเป้าหมาย 118

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สภาพปัจจุบันเศรษฐกิจของประเทศมีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น และมีสภาพการแข่งขันทางด้านธุรกิจมากขึ้นด้วย ส่งผลให้องค์กรธุรกิจทุกระดับในประเทศ จำเป็นต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการผลิตของตนเอง เพื่อให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งทางธุรกิจรายอื่นได้ ซึ่งไม่ใช่เพียงแค่ด้านราคาที่ต่ำกว่าแต่ยังรวมถึงด้านคุณภาพที่ดีกว่าอีกด้วย อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ในปัจจุบันมีแนวโน้มการผลิตที่สูงขึ้นทำให้องค์กรธุรกิจมีการแข่งขันในเรื่องของคุณภาพ (Quality) และการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า (Satisfaction) เป็นสำคัญ เพื่อที่จะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเงื่อนไขความพึงพอใจของลูกค้านั้นจะเกิดจากการที่ลูกค้าได้รับผลิตภัณฑ์ หรือ บริการ ที่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ลูกค้าต้องการ ตามที่ได้ตกลงกันภายใต้ข้อกำหนดของชิ้นงาน (Specification) เช่น ด้านมิติของชิ้นงาน (Dimensions) ด้านค่าความหยาบของพื้นผิวที่ต้องการ (Required Roughness) จากการสั่งผลิตชิ้นงานชนิดต่างๆ ภายใต้กระบวนการแปลงสภาพหลากหลายรูปแบบที่ถูกส่งผ่านด้วยเทคนิคกรรมวิธีการผลิตชิ้นงาน (Manufacturing Process) ที่มีประสิทธิภาพ

กรรมวิธีการผลิต (Manufacturing Process) ที่เป็นกระบวนการแปลงสภาพชิ้นงานให้มีคุณลักษณะ มีภาพลักษณ์ต่างๆที่แตกต่างกันออกไปภายใต้ขอบเขตของการออกแบบชิ้นงาน ซึ่งกรรมวิธีการผลิตที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบ โดยขึ้นอยู่กับประเภทของชิ้นงานนั้นๆ เช่น การกลึง การกัด การไส การตะไบ การเจาะหรือกระบวนการตัดเฉือน เป็นต้น โดยกระบวนการผลิตที่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน คือ กระบวนการตัดเฉือนชิ้นงานทรงกระบอกด้วยกรรมวิธีการกลึงปอกวัสดุความเร็วสูง หรือเรียกว่า (High speed Machining ; HSM) โดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติซีเอ็นซี (Computer Numerical Control ; CNC) ที่สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ได้

บริษัทตัวอย่างได้ดำเนินการก่อตั้งขึ้นเมื่อวันที่ 14 มกราคม 2543 จดทะเบียนมีฐานะเป็นห้างหุ้นส่วนจำกัด บริษัทตั้งอยู่ เลขที่ 18/278 ม.3 แยก 8 ซ.เพชรเกษม 77 ถ.เพชรเกษม แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160 โดยบริษัทตัวอย่างดำเนินธุรกิจประเภทรับผลิตงานตามคำสั่งซื้อของลูกค้า (Make to order) เช่น ชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ ชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนข้อต่อระบบประปาและอื่นๆ ในช่วงเดือน มิ.ย.-พ.ย. พ.ศ. 2558 ทางบริษัทฯได้รับคำสั่งซื้อจากลูกค้าเพื่อดำเนินการผลิตเป็นจำนวนทั้งสิ้น 19 รายการ โดยผลิตภัณฑ์แต่ละรายการผลิตที่ทางบริษัทตัวอย่างได้

ดำเนินการผลิตนั้นจะมีของเสียเกิดขึ้นในทุกๆรายการ ซึ่งจำนวนของเสียเฉลี่ยต่อเดือนที่เกิดขึ้นนั้น เมื่อนำมาคิดเป็นมูลค่างานเสียจะแสดงให้เห็นถึงความสูญเสียเฉลี่ยต่อเดือนที่เกิดขึ้นของบริษัท ตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 1.1 ความสูญเสียจากการผลิตชิ้นงานเสีย ในช่วงเดือน มิ.ย.-พ.ย. พ.ศ. 2558

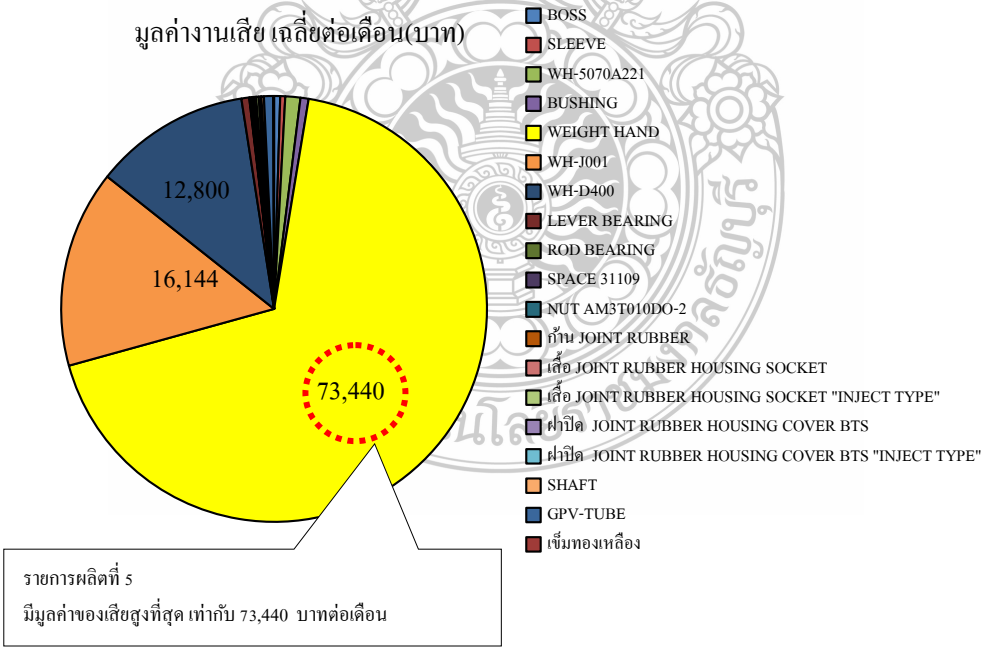
ตารางที่ 1.1 ความสูญเสียจากการผลิตชิ้นงานเสีย ในช่วงเดือน มิ.ย.-พ.ย. พ.ศ. 2558

ลำดับที่	รายการ	จำนวนยอดผลิตจริง (ชิ้น)	เฉลี่ยต่อเดือน (ชิ้น)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวนงานเสียเฉลี่ยต่อเดือน(ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์จำนวนงานเสีย	มูลค่างานเสียเฉลี่ยต่อเดือน (บาท)
1	BOSS	120,000	20,000	4	125	1.92	500
2	SLEEVE	108,000	18,000	8	51	0.78	408
3	WH-5070A221	120,000	20,000	13	95	1.46	1,235
4	BUSHING	150,000	25,000	5	133	2.04	665
5	WEIGHT HAND	864,000	144,000	18	4,080	62.51	73,440
6	WH-J001	240,000	40,000	16	1,009	15.46	16,144
7	WH-D400	210,000	35,000	16	800	12.26	12,800
8	LEVER BEARING	30,000	5,000	8	80	1.23	640
9	ROD BEARING	27,000	4,500	5	9	0.14	45
10	SPACE 31109	12,000	2,000	7	18	0.28	126
11	NUT AM3T010DO-2	21,000	3,500	5	8	0.12	40
12	ก้าน JOINT RUBBER (25-01-15-005)	4,800	800	12	14	0.21	168
13	เสื้อ JOINT RUBBER HOUSING SOCKET	4,800	800	18	10	0.15	180
14	เสื้อ JOINT RUBBER HOUSING SOCKET "INJECT TYPE"	4,800	800	19	11	0.17	209
15	ฝาปิด JOINT RUBBER HOUSING COVER BTS	4,800	800	14	13	0.20	182
16	ฝาปิด JOINT RUBBER HOUSING COVER BTS "INJECT TYPE"	4,800	800	13	3	0.05	39

ตารางที่ 1.2 ความสูญเสียจากการผลิตชิ้นงานเสีย ในช่วงเดือน มิ.ย.-พ.ย. พ.ศ.2558 (ต่อ)

ลำดับที่	รายการ	จำนวนยอดผลิตจริง (ชิ้น)	เฉลี่ยต่อเดือน (ชิ้น)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวนงานเสียเฉลี่ยต่อเดือน (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์จำนวนงานเสีย	มูลค่างานเสียเฉลี่ยต่อเดือน (บาท)
17	SHAFT	12,000	2,000	8	25	0.38	200
18	GPV-TUBE	18,000	3,000	22	34	0.52	748
19	เข็มทองเหลือง	9,000	1,500	8	9	0.14	72
รวม		**1,965,000**	**327,500**	**-**	**6,527**	**100.00**	**107,841**

จากตารางที่ 1.1 ได้นำข้อมูลความสูญเสียจากการผลิตชิ้นงานเสียของทุกรายการผลิต มานำเสนอในภาพแบบของกราฟวงกลมเพื่อให้ง่ายต่อการอนุมานและเปรียบเทียบข้อมูล โดยได้นำเสนอในรูปแบบของกราฟวงกลมแสดงมูลค่าของเสียของผลิตภัณฑ์ต่างๆที่เกิดขึ้นในสายการผลิตของบริษัทตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 1.1 มูลค่าของเสียที่เกิดขึ้นในช่วงเดือน มิ.ย.-พ.ย. พ.ศ. 2558



รูปที่ 1.1 มูลค่าของเสียที่เกิดขึ้นในช่วงเดือน มิ.ย.-ธ.ค. พ.ศ. 2558

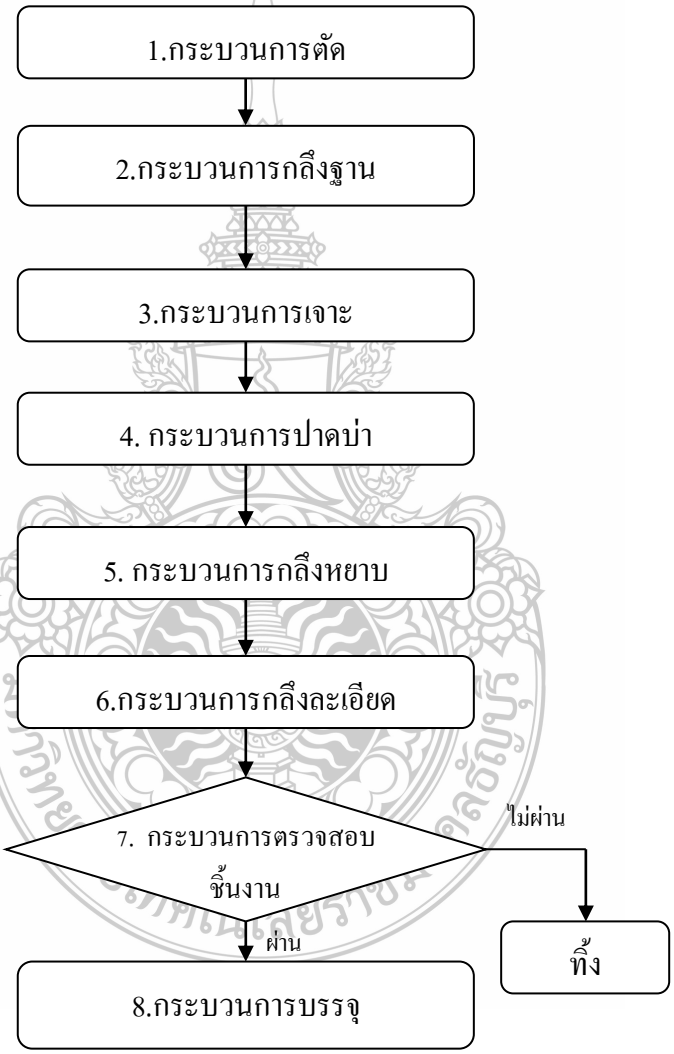
จากข้อมูลสถิติดังตารางที่ 1.1 พบว่าในทุกๆ รายการผลิตทั้งสิ้น 19 รายการ มีของเสียเกิดขึ้นทุกรายการ โดยรายการผลิตที่มีของเสียที่เกิดขึ้นสูงที่สุด เมื่อพิจารณาจากมูลค่าของความสูญเสีย พบว่ารายการผลิตที่ 5 ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) มีมูลค่าเฉลี่ยต่อเดือน เท่ากับ 73,440 บาท/เดือน คิดเป็นร้อยละ 62.51 ของมูลค่างานเสียทั้งหมด ด้วยเหตุนี้จึงเลือกรายการผลิตที่ 5 หรือชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) ดังแสดงในรูปที่ 1.2 มาเป็นหัวข้อในการวิจัยเพื่อแก้ไขความสูญเสียที่เกิดขึ้นกับบริษัทตัวอย่าง

รูปที่ 1.2 ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand)

ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) เป็นชิ้นส่วนประกอบของรถจักรยานยนต์ ผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) เกรด SS400 ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 31 มิลลิเมตร ความยาวเท่ากับ 33 มิลลิเมตร ค่าความหยาบของพื้นผิวเฉลี่ยที่ต้องการ (Roughness Average) อยู่ในช่วง 2-6 ไมครอน และชิ้นงานต้องไม่เกิดความผิดปกติของลักษณะพื้นผิว (Surface Texture) เช่น ชิ้นงานมีผิวลายหรือมีรอยใดๆ ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์นี้ (Weight Hand) ตามข้อกำหนดของลูกค้า โดยมีตำแหน่งติดตั้งอยู่ที่ปลายแฮนด์หรือคอบังคับเลี้ยวทั้ง 2 ข้างของรถจักรยานยนต์มีหน้าที่หลัก คือเพื่อรักษาความสมดุลของแฮนด์รถจักรยานยนต์ขณะที่เคลื่อนตัวและมีหน้าที่รอง คือช่วยลดความเสียหายของชิ้นส่วนและตัวถัง (Body) ของรถจักรยานยนต์ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุล้มและมีการลื่นไถล ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์จะรับหน้าที่เสียดสีกับพื้นผิวของวัตถุแทนการเสียดสีโดยตรงจากปลายแฮนด์ที่เป็นโลหะซึ่งจะช่วยลดความเสียหายโดยตรงได้

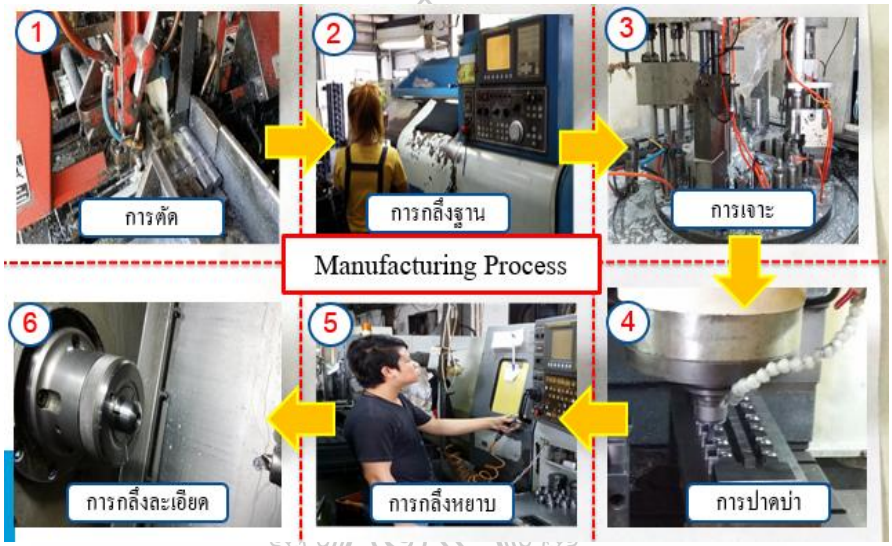
กระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ ชนิดชิ้นส่วนตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) ของบริษัทตัวอย่างเริ่มต้นจากฝ่ายตลาดรับคำสั่งซื้อจากลูกค้ามาพิจารณาเพื่อวางแผนการผลิต

จากฝ่ายวางแผนการผลิต โดยปริมาณการผลิตจะแปรผันตามความต้องการของลูกค้าที่ต้องการในแต่ละรุ่น โดยกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ ประกอบด้วย 8 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การตัด (Cutting) 2) การกลึงฐาน (Machining 1) 3) การเจาะ (Drilling) 4) การปาดบ่า (Milling Step) 5) การกลึงหยาบ (Machining 2) 6) การกลึงละเอียด (Machining 3) 7)การตรวจสอบชิ้นงาน (Inspection) 8)กระบวนการบรรจุ (Packing) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ขั้นตอนหลักของการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ และดังแสดงในรูปที่ 1.4 กรรมวิธีการผลิตแบบสังเขป



รูปที่ 1.3 ขั้นตอนหลักของกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์

จากขั้นตอนหลักของการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ทั้ง 8 ขั้นตอน ทางผู้ดำเนินการและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสายการผลิต เช่น หัวหน้างานที่มีประสบการณ์ คณะผู้ดำเนินงานด้านคุณภาพและพนักงานในสายการผลิตได้มีการศึกษาสภาพปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น โดยพบว่าทุกๆขั้นตอนการผลิตจะมีของเสีย (Waste) เกิดขึ้นทุกๆขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนที่มีของเสียเกิดขึ้นสูงที่สุด คือ ขั้นตอนที่ 6 การกลึงละเอียด (Machining 3)



รูปที่ 1.4 กรรมวิธีการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) แบบสังเขป

จากการเก็บรวมรวมข้อมูลประเภทของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) ในช่วงเดือน มิ.ย.-พ.ย. พ.ศ.2558 พบว่ามีจำนวนชิ้นงานเสียเฉลี่ยแยกตามประเภทของสภาพปัญหาหลักจำนวนทั้งสิ้น 16 ประเภท โดยได้มีการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาเบื้องต้นก่อน โดยใช้ปริมาณของปริมาณของค่าเฉลี่ยของเสียเป็นเกณฑ์จากมากไปน้อย โดยเลือกเฉพาะ 5 อันดับแรกของปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น ก่อนที่จะนำปัญหาเหล่านี้ไปคัดเลือกปัญหาโดยใช้เครื่องมือคุณภาพ แสดงดังตารางที่ 1.3 ตารางแสดงจำนวนชิ้นงานเสียเฉลี่ยแยกตามประเภทของสภาพปัญหา

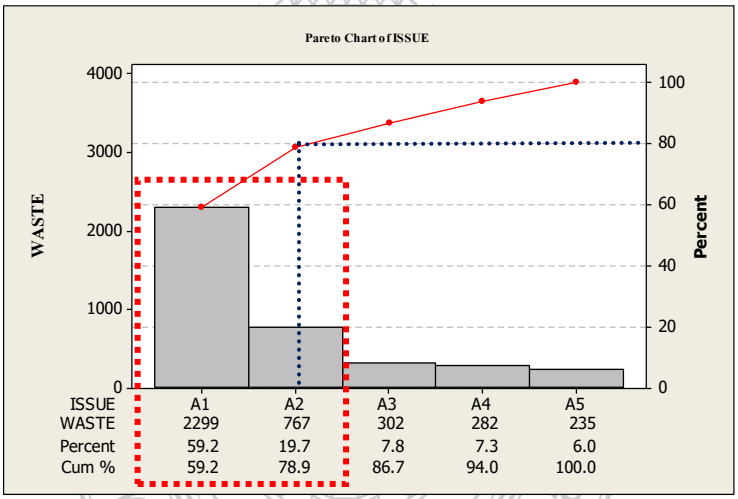
ตารางที่ 1.3 จำนวนชิ้นงานเสียเฉลี่ยแยกตามประเภทของสภาพปัญหา

ลำดับ	หัวข้อปัญหา	เดือน มิ.ย.-พ.ย. พ.ศ.2558							
		มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	AVG	RANK
1	Matt แตก	304	318	275	295	304	317	302	**3**
2	ตามด	287	312	263	218	301	311	282	**4**
3	Ø 20 ผิวลาย/รอย	231	211	264	262	245	198	235	**5**
4	Ø 31 ผิวลาย	2398	2314	2434	2154	2147	2348	2299	**1**
5	รอยกระแทก/ซอฟจอ	5	21	4	14	18	14	13	
6	Ø 31มีรอย	814	785	785	735	744	740	767	**2**
7	Ø 20 คอใหญ่	0	0	0	0	0	0	0	
8	ปาดเสีย	85	8	19	74	26	87	50	
9	เลื่อยสั้น	0	0	0	0	0	0	0	
10	งานสั้นสำเร็จ	43	8	10	33	98	29	37	
11	Ø 20 บ่ารอย (กึ่งปาด)	2	7	3	8	9	5	6	
12	ระยะ 4 mm.ใหญ่	11	28	17	27	16	7	18	
13	Ø 31 เก็บไม่หมด	45	21	28	14	16	13	23	
14	รูเจาะเอียง	2	2	2	1	5	17	5	
15	เจาะเสียเป็นรอย	44	24	14	70	9	29	32	
16	รู 6.1 mm.ใหญ่	17	8	6	11	15	14	12	
		รวม						**4,080**	

จากการตารางที่ 1.3 แสดงจำนวนชิ้นงานเสียเฉลี่ยแยกตามประเภทของสภาพปัญหา พบว่าปัญหาที่พบมากที่สุดและรองลงมา ได้แก่ 1) ปัญหา Ø 31 mm. มีจำนวนชิ้นงานเสียเฉลี่ยเท่ากับ 2,299 ชิ้นต่อเดือน 2) ปัญหา Ø 31 mm. เป็นรอยมีจำนวนชิ้นงานเสียเฉลี่ยเท่ากับ 767 ชิ้นต่อเดือน 3) ปัญหาวัสดุแตก มีจำนวนชิ้นงานเสียเฉลี่ยเท่ากับ 302 ชิ้นต่อเดือน 4) ปัญหาตามดมีจำนวนชิ้นงานเสียเฉลี่ยเท่ากับ 282 ชิ้นต่อเดือน และ 5) ปัญหา Ø 20 ผิวลาย/รอย มีจำนวนชิ้นงานเสียเฉลี่ยเท่ากับ 235 ชิ้นต่อเดือน ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำไปจัดทำตารางจำนวนของเสียแยกตามประเภทของปัญหาและแผนภาพพาเรโต (Pareto-Chart) เพื่อแสดงเปอร์เซ็นต์ลำดับความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตมากที่สุด ดังตารางที่ 1.4 และ รูปที่ 1.5

ตารางที่ 1.4 จำนวนของเสียแยกตามประเภทของปัญหา

ลำดับ	รายงานข้อมูลเฉลี่ยในช่วงเดือน มิ.ย.-พ.ย. พ.ศ. 2558				
	ปัญหา (ISSUE)	สัญลักษณ์	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	จำนวนของเสียสะสม (ชิ้น)	% สะสม
1	Ø 31 ม.ม.ผิวลาย	A1	2,299	2,299	59.17
2	Ø 31 ม.ม.มีรอย	A2	767	3,066	78.92
3	Matt แตก	A3	302	3,368	86.69
4	ตามด	A4	282	3,650	93.95
5	Ø 20 ม.ม.ผิวลาย/รอย	A5	235	3,885	100.00
รวม			3,885		



รูปที่ 1.5 แผนภูมิพาเรโต (Pareto- Chart)

จากกราฟแผนภูมิพาเรโต (Pareto- Chart) ข้างต้น จะเห็นว่ากราฟแท่งของข้อมูลที่มีค่าสูงสุดอยู่ทางด้านซ้ายและเรียงลำดับมาทางขวามือตามค่าที่ลดลงเพื่อเปรียบเทียบลำดับความสำคัญหรือปริมาณของปัญหาระหว่างข้อมูลชนิดต่างๆ โดยเมื่อใช้หลักการวิเคราะห์แบบ 80:20 จะพบว่าปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสายการผลิตมากที่สุด คือ 1) ปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย ดังรูปที่ 3.31 และ 2) ปัญหา Ø 31 mm. เป็นรอย ซึ่งความสูญเสียดังกล่าวนี้ทางบริษัทได้ดำเนินการแก้ไขมาโดยตลอด โดยคาดหวังว่าจะสามารถลดจำนวนมูลค่าของเสียให้น้อยลงได้ แต่ในสภาพความเป็นจริงชี้ให้เห็นว่าทาง

บริษัทตัวอย่างไม่สามารถที่จะลดข้อบกพร่องให้ต่ำลงได้ ตรงกันข้ามกันระดับของเสียมีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ

ด้วยเหตุนี้จึงได้พิจารณาและเล็งเห็นถึงปัญหาความสูญเสียที่เกิดขึ้น ที่จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงและแก้ไขอย่างถูกต้อง โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการและการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อสภาพปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น เพื่อสามารถหาสาเหตุของรากเหง้าปัญหา (Root Cause) ได้อย่างถูกต้องและสามารถลดมูลค่าของเสียในกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand)ให้ต่ำลงอย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์ จากมูลค่างานเสียเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 73,440 บาท/เดือน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงานและเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะในกระบวนการกลึงละเอียดของชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์

1.2.2 เพื่อลดจำนวนงานเสียจากปัญหาผิวลายในกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์

1.2.3 เพื่อลดจำนวนงานเสียจากปัญหาผิวเป็นรอยข่วนในกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์

1.2.4 เพื่อลดมูลค่าของเสียจากการผลิตชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพให้ลดลง 50 เปอร์เซ็นต์

1.3 สมมติฐานการวิจัย

การศึกษานี้จะทำให้ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน รวมถึงทราบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในกระบวนการกลึงละเอียดของชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ และสามารถลดมูลค่าของเสียให้ต่ำลงได้อย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาสายการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) ณ บริษัทตัวอย่าง โดยผู้วิจัยทำการศึกษามูลค่าของความสูญเสียจากการผลิตงานเสีย ในช่วงเดือน มิ.ย.-พ.ย. พ.ศ. 2558 ของกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการและการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

แบบสามระดับ (3^k Factorial Design) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อสภาพปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 7 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดการดำเนินการดังนี้

1.5.1 ศึกษาโครงสร้างผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต เป็นขั้นตอนของการศึกษารายละเอียดของผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิต

1.5.2 ศึกษาสภาพของปัญหาและเก็บข้อมูลชิ้นงานที่ไม่ผ่านคุณภาพ เป็นขั้นตอนของการศึกษาสภาพปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและดำเนินการเก็บข้อมูลชิ้นงานที่ไม่ผ่านคุณภาพ

1.5.3 วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาเพื่อกำหนดปัจจัยที่จะนำมาพิจารณา เป็นขั้นตอนของการหาสาเหตุข้อบกพร่องของกระบวนการผลิตและกำหนดปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิต

1.5.4 ออกแบบการทดลองเบื้องต้นและดำเนินการทดลองโดยใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^k เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน

1.5.5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น เป็นขั้นตอนของการประมวลผลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง

1.5.6 ออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลอง โดยใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3^k เป็นขั้นตอนของการวางแผนการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

1.5.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง เป็นขั้นตอนการนำผลการทดลองมาสังเคราะห์

1.5.8 เสนอวิธีการปรับปรุงต่อผู้บริหาร เป็นขั้นตอนการนำที่มาของเหตุผลและความสำคัญของสภาพปัญหาเสนอต่อผู้บริหารเพื่อขออนุมัติการปรับปรุงแก้ไข

1.5.9 ดำเนินการปรับปรุงและเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง เป็นขั้นตอนการปรับปรุงมาตรฐานการปฏิบัติงานและดำเนินการเก็บข้อมูลหลังการเปลี่ยนมาตรฐานการทำงาน

1.5.10 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

1.6 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบสาเหตุของการเกิดปัญหาผิวลายและปัญหาผิวมีรอยในกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand)

1.6.2 ทราบแนวทางการควบคุมปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อของคุณภาพของชิ้นงานได้

1.6.3 สามารถลดมูลค่าของเสียจากการผลิตชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพให้ลดลงได้อย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาบทนี้ได้รวบรวมรายละเอียดของทฤษฎีและผลงานวิจัยต่างๆที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานและเป็นตัวช่วยในการลดมูลค่าของเสียในกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) ให้ต่ำลงอย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทฤษฎีและผลงานวิจัยต่างๆที่มีเกี่ยวข้องในการดำเนินงานมีรายละเอียดดังนี้

ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand)

ความสูญเสีย (Wastes)

เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (Quality Tools)

งานกลึง (Turning Operation)

การวัดผลประสิทธิภาพของชิ้นงาน

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ (Material Property)

สมมุติฐาน (Hypothesis)

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

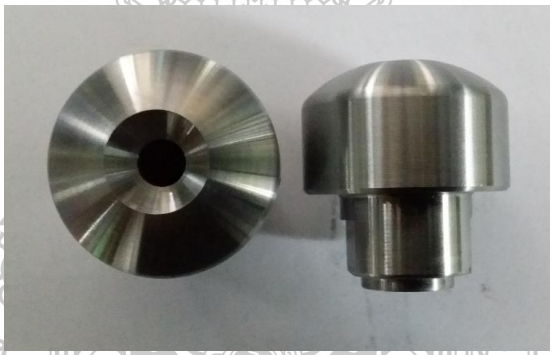
วิจารณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

2.1 ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand)

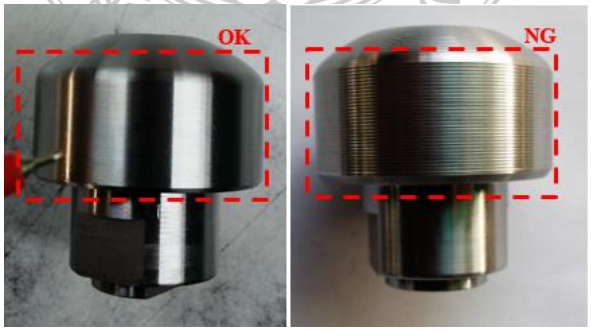
ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) เป็นหนึ่งในชิ้นส่วนประกอบรถจักรยานยนต์ชิ้นจากหลายๆชิ้นที่มีความสำคัญต่อการขับขี่เพราะจะช่วยรักษาความสมดุลของแฮนด์รถจักรยานยนต์ไม่ให้เอียงซ้ายหรือเอียงขวามากหรือน้อยจนเกินไปในขณะที่รถจักรยานยนต์เคลื่อนตัวไปด้วยความเร็วคงที่และยังช่วยลดความเสียหายของตัวถัง (Body) และชิ้นส่วนประกอบอื่นๆ เช่น ชุดไฟเบอร์ ชุดพักเท้า และส่วนอื่นๆของรถจักรยานยนต์ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุล้มและมีการลื่นไถลตัว โดยตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์จะรับหน้าที่เสียดสีกับพื้นผิวของวัตถุแทนการเสียดสีโดยตรงจากปลายแฮนด์ที่เป็นโลหะซึ่งจะช่วยลดความเสียหายโดยตรงได้ ชิ้นส่วนตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) ดังรูปที่ 2.1 ตามกำหนดของลูกค้า มีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 31 มิลลิเมตร ความยาวเท่ากับ 33 มิลลิเมตร ผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) เกรด SS400 มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของพื้นผิวที่ต้องการ (Required Average ; Ra) เท่ากับ 2-6 ไมครอน ตามข้อกำหนดของลูกค้าและชิ้นงานจะต้องไม่ความผิดปกติที่ผิวของชิ้นงานด้วย ดังตัวอย่าง

ชิ้นงานที่ผ่านและไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพด้านความหยาบผิวเฉลี่ย ดังรูปที่ 2.2 ตำแหน่งติดตั้งตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์นี้มีตำแหน่งติดตั้งอยู่ที่ปลายแฮนด์หรือคอบังคับเลี้ยวทั้ง 2 ข้างของรถจักรยานยนต์ ดังรูปที่ 2.3

ความสำคัญของชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ ประเภทตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ระบุว่ารถจักรยานยนต์ทุกรุ่นที่มีความจุกระบอกสูบตั้งแต่ 50-1300 ซีซี จะต้องมีการติดตั้งตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ทุกคันจากโรงงานผู้ผลิต เพราะถือเป็นชิ้นส่วนประกอบชิ้นหนึ่งที่มีความสำคัญ ในการออกแบบตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์แต่ละรุ่น ขึ้นอยู่กับขนาดของรถจักรยานยนต์ซึ่งแยกตามกำลังของเครื่องยนต์ เช่น รถจักรยานยนต์ที่มีความจุกระบอกสูบ 100 ซีซี จะใช้ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 31 มิลลิเมตร ความยาวเท่ากับ 33 มิลลิเมตรแต่ถ้ารถจักรยานยนต์ที่มีความจุกระบอกสูบมากกว่า 100 ซีซีขึ้นไปจะใช้ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) ซึ่งจะแตกต่างกันที่ขนาดด้านความยาว ความสูงและน้ำหนักของชิ้นงานของชิ้นงานแต่ยังคงหน้าที่หลักและหน้าที่รองเดิม



รูปที่ 2.1 ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (WEIGHT HAND)



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านและไม่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพด้านความหยาบผิวเฉลี่ย

รูปที่ 2.3 ตำแหน่งติดตั้งตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (WEIGHT HAND)

2.2 ความสูญเสีย (Wastes) [1]

ความสูญเสียเป็นสิ่งที่ใช้ชี้วัดความสำเร็จของทุกๆกิจกรรมรวมถึงกระบวนการผลิตด้วย หากกระบวนการผลิตใดๆที่ผลิตของเสียออกมาจำนวนมากกว่าชิ้นงานดี ก็อาจจะส่งผลกระทบต่อด้านผลกำไร ตรงกันข้ามหากกระบวนการผลิตใดสามารถควบคุมกระบวนการให้ผลิตออกมาแต่ชิ้นงานดีได้ ก็อาจจะสามารถประสบความสำเร็จได้ด้วยผลกำไรที่จะได้รับ แต่ในสภาพความเป็นจริงชี้ให้เห็นว่าไม่มีอุตสาหกรรมการผลิตใดที่ปราศจากของเสีย (Waste) โดยของเสียจะเกิดขึ้นหลากหลายรูปแบบซึ่งสามารถจำแนกตามเหตุการณ์ต่างๆที่ก่อให้เกิดความสูญเสียได้ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์แยกแยะและนำไปสู่การดำเนินการปรับปรุงการแก้ไข โดยความสูญเสียมี 7 ประการ (7 Wastes) ประกอบด้วย

2.2.1 ความสูญเสียจากกระบวนการผลิต (Processing) ความสูญเสียนี้มีสาเหตุมาจากกระบวนการผลิตที่ขาดประสิทธิภาพ อาจจะเกิดมาจากกระบวนการที่ขาดการออกแบบหรือการวางแผนการทำงานที่ไม่รอบคอบ การทำงานที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่า หรือเกิดจากเครื่องมือและอุปกรณ์สนับสนุนทางด้านการผลิตเกิดข้อบกพร่องทำให้ผลิตงานเสียเกิดขึ้น การผลิตงานเสียทำให้องค์กรต้องแก้ไขชิ้นงานภายหลังการผลิตหรือต้องเพิ่มปรับปรุงคุณภาพให้ตัวชิ้นงาน ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนโดยไม่จำเป็น

2.2.2 ความสูญเสียจากการผลิตงานเสีย (Defect) หรือของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตภายในโรงงาน (Internal Defect) จากขั้นตอนการผลิต โดยของเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากขาดการตรวจสอบขาดการยืนยันหรือการประกันคุณภาพชิ้นงานระหว่างกระบวนการ ทำให้กระบวนการผลิตถัดไปนำชิ้นงานเสียมาผลิตต่อส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เกิดขึ้นเป็นงานเสีย ความสูญเสียนี้อาจเกิดจากความละเลยของพนักงาน ขาดการความชำนาญด้านปรับปรุงแก้ไขปัญหาหน้า

งาน รวมไปถึงหัวหน้าไม่ควบคุมดูแล ปล่อยให้งานเสียผ่านไปยังกระบวนการถัดไป และเมื่อองค์กรมีการตรวจสอบ ก็พบว่าเกิดของเสียเป็นจำนวนมาก ความสูญเสียประเภทนี้ นอกจากจะทำให้ต้นทุนเพิ่มแล้ว ยังต้องเสียเวลาแก้ไข ซ่อมแซมให้งานออกมาตรงตามที่ต้องการหรือคัดแยกทิ้งไปทั้งหมด

2.2.3 ความสูญเสียจากการผลิตเกินความจำเป็น (Over Production) ความสูญเสียประเภทนี้อาจจะเกิดมาจากการพยากรณ์ความต้องการสินค้าที่ผิดพลาดทำให้ทางผู้ผลิตสำคัญผิดในด้านปริมาณการผลิตส่งผลกระทบให้ผลิตชิ้นงานออกมามากเกินความจำเป็น หรือเกิดภาวะการเร่งผลิตชิ้นงานเพื่อทำให้งานระหว่างทำมีมากเกินความต้องการใช้งานในขณะนั้น (Work in process) ความสูญเสียประเภทนี้อาจจะมีผลมาจากความต้องการต้นทุนต่อหน่วยต่ำที่สุด ผู้ประกอบการจึงผลิตสินค้าในแต่ละครั้งเป็นปริมาณมาก โดยไม่คำนึงว่างานที่ผลิตได้นั้น จะนำไปใช้หมดในขั้นตอนการผลิตถัดไป หรือขายให้ลูกค้าได้หรือไม่

2.2.4 ความสูญเสียจากการเคลื่อนไหว (Motion) ความสูญเสียนี้เกิดได้จากจัดสภาพแวดล้อมการทำงานไม่ดี คือ จัดวางตำแหน่งระหว่างคนและอุปกรณ์ต่างๆ ไม่เหมาะสม พนักงานต้องก้ม เอื้อม เอียง ลุกเดิน รีบ เช่น พนักงานต้องเอื้อมไปหยิบของจากด้านหลังเพื่อนำไปเป็นชิ้นส่วนประกอบงาน แต่การเคลื่อนไหวนี้ทำให้ร่างกายเมื่อยล้า และการทำงานก็เกิดความล่าช้า หรือเสียหายได้

2.2.5 ความสูญเสียจากการรอคอย (Waiting) การสูญเสียเวลาไปกับการรอ มีสาเหตุมาจากความความล่าช้าที่เกิดขึ้นจากกระบวนการก่อนหน้า เช่น เครื่องจักรบกพร่อง การรอนำเข้าวัตถุดิบ การรอรับช่วงงาน เนื่องจากพนักงานใหม่ยังไม่เข้าใจงาน การรอการแก้ไขงานที่ผิดพลาด เช่น การผลิตชิ้นงานไม่ได้ขนาดจากกระบวนการตัด ส่งผลให้ไม่สามารถนำชิ้นงานไปเข้ากระบวนการกลึงฐานได้ เป็นต้น

2.2.6 ความสูญเสียจากวัสดุคงคลัง (Inventory) ความสูญเสียนี้เกิดจากการสั่งซื้อวัสดุมาเก็บไว้เกินความจำปืน โดยคาดหวังว่าจะมีวัสดุใช้ไม่ขาดตกบกพร่อง วิธีการปฏิบัตินี้ทำให้เกิดต้นทุนเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น เช่น ต้องเสียค่าบำรุงรักษาวัสดุ ค่าเช่าพื้นที่จัดเก็บ ค่าแรงงานต่างๆ และหากการจัดการด้านวัสดุคงคลังไม่ดีพอ วัสดุอาจเสื่อมคุณภาพได้

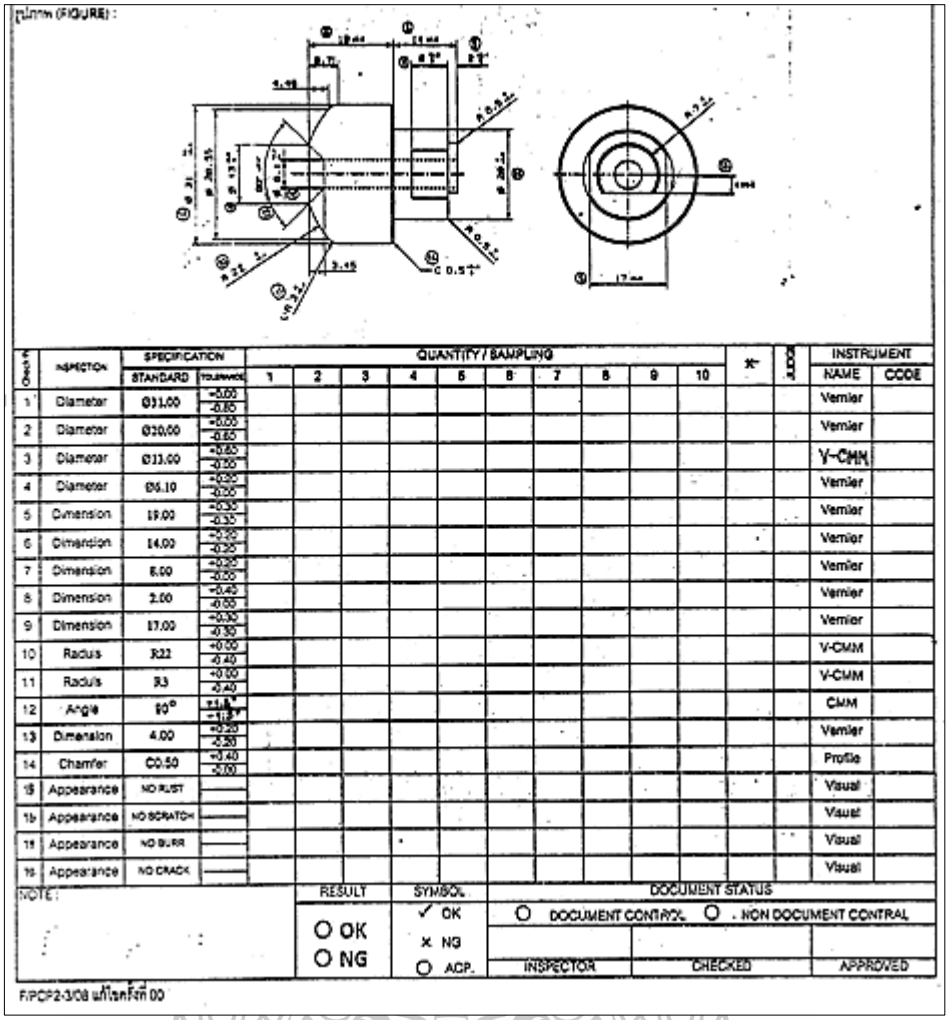
2.2.7 ความสูญเสียจากการขนส่ง (Transportation) หรือ การขนย้ายแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการย้ายระหว่างสถานี่งาน จากชั้นบนลงชั้นล่าง จากพื้นที่เก็บวัสดุสู่สถานี่ผลิตงาน เพื่อส่งต่อไปยังกระบวนการผลิตถัดไป ความสูญเสียเหล่านี้ ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มแก่วัสดุ สินค้า หรือองค์กร ฉะนั้น องค์กรต้องควบคุมให้มีการขนส่งหรือกิจกรรมการเคลื่อนย้ายของวัสดุให้น้อยที่สุด

2.3 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (Quality Tools)

การควบคุมคุณภาพจะประยุกต์ใช้หลักการควบคุมกระบวนการผลิตโดยอาศัยวิธีทางสถิติ (Statistical Process Control) [2], [3] ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้แก้ปัญหาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้กระบวนการสามารถดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล การดำเนินการใช้เครื่องมือคุณภาพจะใช้อย่างเป็นลำดับขั้นตอน โดยเริ่มจากการใช้ใบตรวจสอบ (Check-Sheets) มาช่วยเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียและแสดงผลของการเปรียบเทียบด้วยกราฟ (Graph) จากนั้นนำปัญหาไประดมสมองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาแสดงด้วยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) จากนั้นใช้แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) มาช่วยในการวิเคราะห์และคัดเลือกปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการมากที่สุด โดยใช้หลักการ 80:20 เพื่อนำไปสู่การดำเนินการแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพ

2.3.1 ใบตรวจสอบ (Check-Sheets)

ใบตรวจสอบ คือ ฟอร์มสำหรับการทำการบันทึกข้อมูลซึ่งได้รับการออกแบบให้สามารถเก็บข้อมูลได้ตามวัตถุประสงค์เพื่อการตีความหมายจากผลการบันทึกหรือใช้เก็บข้อมูลต่างๆที่ต้องการ เช่น ข้อมูลงานเสีย ข้อมูลกระบวนการผลิต ข้อมูลผลจากการออกแบบการทดลอง เป็นต้น โดยผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการผลิตจะเป็นผู้บันทึก ใบตรวจสอบข้อมูลนั้นมีหลายประเภท ทั้งนี้ก็เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน ตั้งแต่การตรวจสอบวัตถุดิบนำเข้า การตรวจสอบชิ้นงานระหว่างกระบวนการผลิต ตลอดจนถึงผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ตัวอย่างใบตรวจสอบดังแสดงในรูปที่ 2.4



Check	INSPECTION	SPECIFICATION STANDARD	TOLERANCE	QUANTITY / SAMPLING 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	*	CODE	INSTRUMENT NAME	CODE
1	Diameter	Ø31.00	+0.00 -0.85													Vernier	
2	Diameter	Ø20.00	+0.00 -0.65													Vernier	
3	Diameter	Ø13.00	+0.65 -0.00													V-CMM	
4	Diameter	Ø6.10	+0.30 -0.00													Vernier	
5	Dimension	19.00	+0.30 -0.35													Vernier	
6	Dimension	14.00	+0.30 -0.30													Vernier	
7	Dimension	8.00	+0.30 -0.00													Vernier	
8	Dimension	2.00	+0.40 -0.00													Vernier	
9	Dimension	17.00	+0.30 -0.30													Vernier	
10	Radius	R22	+0.00 -0.40													V-CMM	
11	Radius	R3	+0.00 -0.40													V-CMM	
12	Angle	90°														CMM	
13	Dimension	4.00	+0.30 -0.30													Vernier	
14	Chamfer	C0.50	+0.40 -0.00													Profile	
15	Appearance	NO RUST														Visual	
15	Appearance	NO SCRATCH														Visual	
15	Appearance	NO BURR														Visual	
16	Appearance	NO CRACK														Visual	

NOTE :

RESULT: O OK O NG

SYMBOL: ✓ OK × NG O ACP.

DOCUMENT STATUS: O DOCUMENT CONTROL O NON DOCUMENT CONTROL

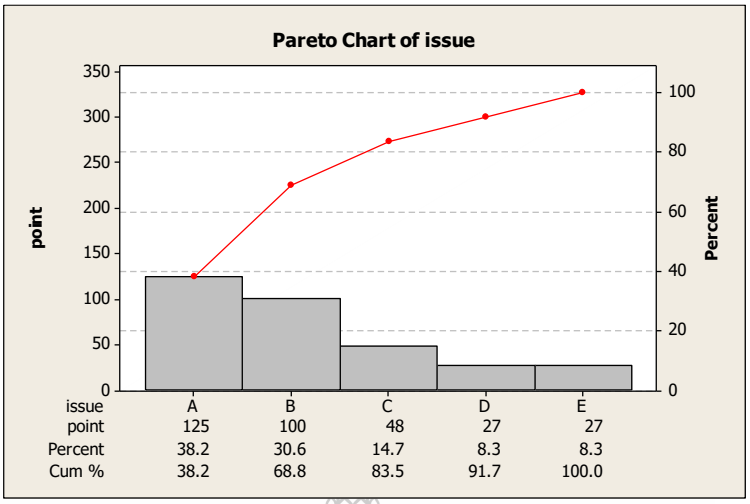
INSPECTOR	CHECKED	APPROVED

F/PCP2-3/08 แก้ไขครั้งที่ 00

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างใบตรวจสอบ (Check Sheets) [3]

2.3.2 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

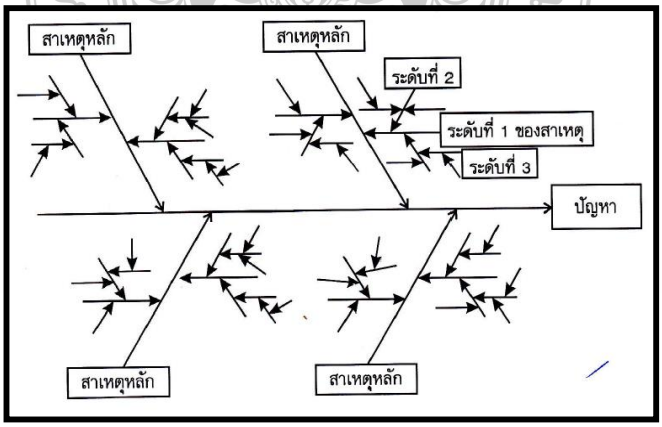
เป็นแผนภูมิที่ใช้สำหรับแสดงปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยเรียงลำดับปัญหาเหล่านั้นตามความถี่ที่พบจากมากไปหาน้อย และแสดงขนาดความถี่มากน้อยด้วยกราฟแท่ง ควบคู่ไปกับการแสดงค่าสะสมของความถี่ด้วยกราฟเส้น โดยแกน y มี 2 แกนคือ แกนซ้ายมือแทนความถี่และแกนขวามือแทนเปอร์เซ็นต์ แกน x แทนสาเหตุ แผนภูมิพาเรโตจะใช้เลือกปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการและสร้างผลกระทบต่อกระบวนการมากที่สุด โดยปัญหาอาจจะเกิดขึ้นน้อยแต่สร้างข้อบกพร่องด้านคุณภาพจำนวนมาก ส่วนปัญหาปลีกย่อยมีอยู่มากมายแต่ไม่ส่งผลกระทบด้านคุณภาพมากนัก ดังนั้นจึงควรเลือกแก้ไขปัญหาที่สำคัญซึ่งถ้าแก้ไขได้จะลดข้อบกพร่องด้านคุณภาพลงได้มาก ตัวอย่างหนึ่งของแผนภูมิพาเรโต ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) [4]

2.3.3 แสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

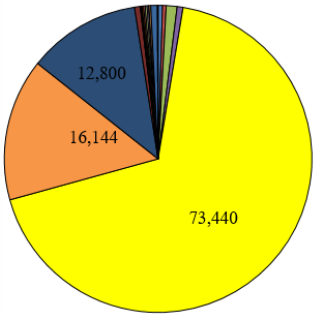
ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) หรือผังก้างปลา (Fishbone Diagram) หรือผังอิชิกาวา (Ishikawa Diagram) เป็นแผนผังที่นิยมเลือกใช้ดำเนินต่อจากแผนภูมิพาเรโต ภายหลังจากการวิเคราะห์ปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการด้วยหลักการ 80:20 แล้ว ก็นำปัญหาที่ได้นั้นมาแจกแจงสาเหตุของปัญหาแบ่งเป็น 4 ประการ คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machines) วิธีการ (Method) วัตถุดิบ (Material) ตัวอย่างรูปแบบของผังแสดงเหตุและผลแสดงดังรูปที่ 2.6



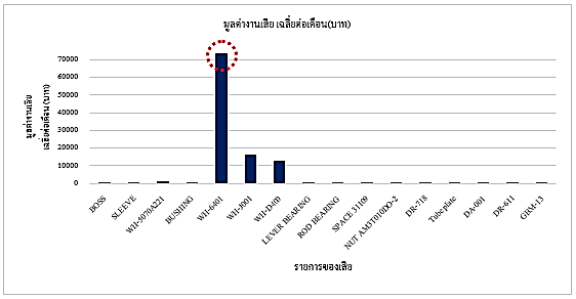
รูปที่ 2.6 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) [4]

2.3.4 กราฟ (Graph)

กราฟ หมายถึง แผนภาพที่แสดงการเปรียบเทียบหรือการอนุมานข้อมูลด้วยตัวเลขจากผลการวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งสามารถทำให้ง่ายต่อการเข้าใจและพิจารณา กราฟเป็นส่วนหนึ่งของการรายงานหรือนำเสนอข้อมูล ที่สามารถทำให้ผู้อ่านเข้าใจข้อมูลต่างๆได้สะดวก รวดเร็วต่อการแปลความหมาย และสามารถให้รายละเอียดของการเปรียบเทียบได้ดีกว่าการนำเสนอด้วยวิธีการอื่น กราฟทำให้เห็นลักษณะข้อมูลต่างๆ ได้ทันทีจากเส้นรูป รูปแท่งเหลี่ยม และวงกลม ทำให้เข้าใจเนื้อหาได้ง่าย อ่านได้อย่างรวดเร็ว หรือสามารถเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละข้อได้ชัดเจน ตัวอย่างกราฟดังแสดงในรูปที่ 2.7



กราฟวงกลม

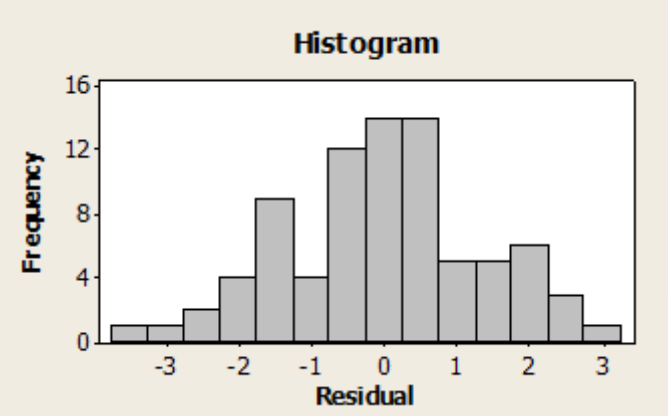


กราฟแท่ง

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างกราฟ (Graph) [5]

2.3.5 ฮิสโตแกรม (Histogram)

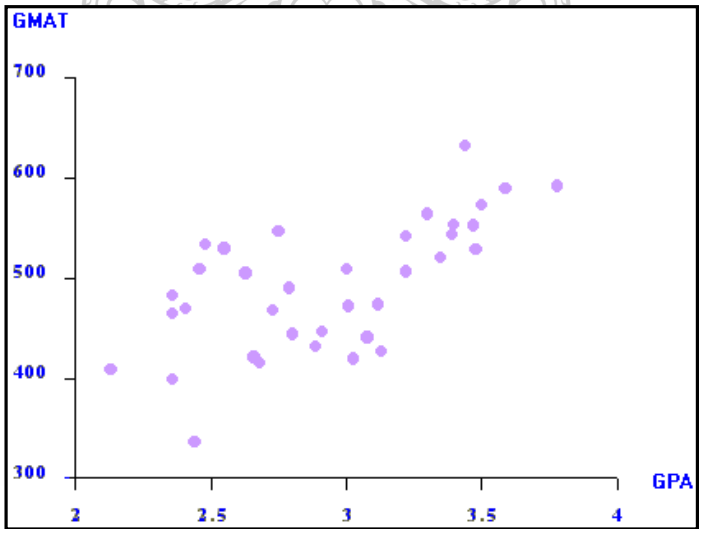
เป็นกราฟแท่งที่ใช้แสดงความถี่ของข้อมูลที่จัดเป็นหมวดหมู่ โดยที่แท่งกราฟมีความกว้างเท่ากัน และมีด้านข้างติดกัน ซึ่งจัดตัวอย่างให้ศูนย์กลางของฮิสโตแกรมเป็นค่าความถี่สูงสุด ส่วนความถี่รองลงมาจะกระจายลดหลั่นไปตามลำดับ รูปแบบโดยทั่วไปของฮิสโตแกรม ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ฮิสโตแกรม (Histogram) [6]

2.3.6 แผนผังแสดงการกระจาย (Scatter Diagram)

เป็นแผนผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว ว่าสัมพันธ์กันในลักษณะใด ซึ่งจะสามารถหาสหพันธ์ (Correlation) ของตัวแปรทั้งสองตัวที่แสดงด้วยแกน x และแกน y ของกราฟ ว่าสหพันธ์เป็นบวก คือ ตัวแปรมีความสัมพันธ์แปรตามกัน หรือมีสหพันธ์เป็นลบคือตัวแปร มีความสัมพันธ์แปรผกผันต่อกันตัวอย่างหนึ่งของผังแสดงการกระจาย ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ผังแสดงการกระจาย (Scatter Diagram) [6]

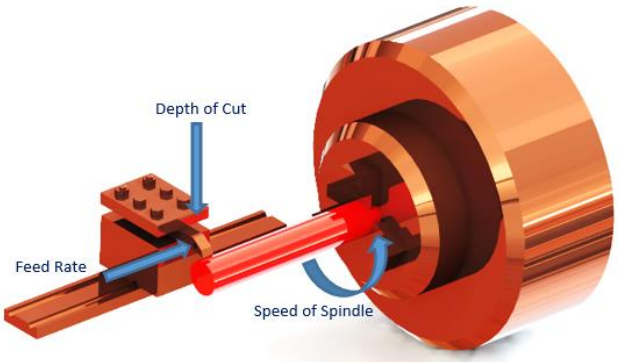
2.4 งานกลึง (Turning Operation)

กระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) จะต้องผ่านกรรมวิธีการผลิตด้วยการกลึงซึ่งเป็นแปรรูปชิ้นงานโลหะหรือวัสดุอื่นโดยใช้เครื่องมือปาดผิว เรียกว่า เครื่องกลึง (มีเศษโลหะเกิดขึ้นในขณะแปรรูป) ใช้ชิ้นงานมีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงกลม ที่แตกต่างที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของชิ้นงาน การกลึงมีสองลักษณะใหญ่ คือ

1) การกลึงปาดหน้า คือ การตัดโลหะโดยให้มีดตัดชิ้นงานไปตามแนวขวาง

2) การกลึงปอก คือ การตัดโลหะโดยให้มีดตัดเคลื่อนที่ตัดชิ้นงานไปตามแนวขนานกับแนวแกนของชิ้นงาน

การกลึงปอกชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) โดยใช้เครื่องกลึงแบบอัตโนมัติ (CNC Lathe Machine) สามารถปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับการตัดเฉือนได้ ซึ่งพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการควบคุมเครื่องจักรสามารถหาค่าได้จาก 3 แหล่ง ได้แก่ 1) จากการคำนวณด้วยสูตร 2) จากประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน และ 3) คู่มือหรือคำแนะนำจากผู้ผลิตเครื่องมือตัด ซึ่งเมื่อได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ร่วมกับการใช้ปัจจัยพื้นฐานสำหรับการกลึงปอก สิ่งที่ได้จากกระบวนการแปรรูปนี้ คือ ชิ้นงาน (Dimensions) และความหยาบผิวของชิ้นงาน (Roughness) โดยองค์ประกอบพื้นฐานของการตัดเฉือนนี้เกิดจากการเคลื่อนที่สำคัญ 3 ประการ[7],[8] ดังนี้



รูปที่ 2.10 การเคลื่อนที่ในงานกลึง

2.4.1 ความลึกในการตัด (Depth of Cut) ความลึกในการตัดทำให้เศษโลหะไหลออกมาทุกครั้งที่ทำการกลึงหยาบหรือการกลึงละเอียด [7] ในการตั้งความลึกในการตัด และอัตราการป้อนตัด

จะต้องคำนึงถึงความสามารถในการรับภาระของแรงกระทำของมีดตัดที่กระทำต่อชิ้นงาน และความสามารถของเครื่องจักร ถ้าป้อนตัดลึกจะใช้ความเร็วรอบน้อยกว่าป้อนตัดตื้น

2.4.2 อัตราป้อน (Feed Rate) หมายถึง ระยะทางการเดินป้อนของมีดกลึงไปตามความยาวของชิ้นงาน [7] ในแต่ละรอบของการหมุนของเพลาเครื่องหรือการป้อนตัดอาจพิจารณาจากความหนาของเศษตัด หมุนครบหนึ่งรอบ มีหน่วยวัดเป็น มิลลิเมตร/รอบ หรือ ฟุต/รอบ ในการป้อนตัดงานละเอียดจะใช้อัตราป้อนที่ต่ำกว่าการ กลึกปอกงานหยาบ

2.4.3 ความเร็วตัด (Cutting Speed) คือ ความยาวหรือระยะทางของเศษโลหะที่ถูกมีดกลึงตัดเฉือนออกมาในขณะกลึงว่ามีความยาวกี่เมตรในเวลา 1 นาที ความเร็วตัดจึงมีหน่วยเป็น เมตร/นาที ในการตัดเฉือนนั้นวัสดุมีดตัดจะต้องมีความแข็งกว่าวัสดุชิ้นงานถึงจะทำการตัดเฉือนได้ องค์ประกอบที่มีผลกระทบต่อความเร็วตัด ได้แก่ วัสดุที่ใช้ทำมีดตัดถ้าหากมีส่วนผสมพิเศษหรือการการเคลือบผิวด้วยเทคนิคต่างๆ ก็จะสามารถใช้ความเร็วตัดสูงขึ้นได้ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความเร็วตัดของวัสดุชนิดต่างๆ [7]

ชนิดของวัสดุ	**ความเร็วตัด (เมตร/นาที)**	
	มีดกลัดเหล็กกล้ารอบสูง	**มีดกัดคาร์ไบด์**
เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ	90-120	270-450
เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง	70-100	225-400
เหล็กกล้าคาร์บอนสูง	30-70	145-300
เหล็กหล่อ (ชนิดอ่อน)	100-150	325-500
เหล็กหล่อ (ชนิดปานกลาง)	70-150	225-400
เหล็กหล่อ (ชนิดแข็ง)	30-100	145-375
เหล็กกล้าผสม	30-90	145-350
อลูมิเนียมและทองเหลืองผสม	200-300	500-950
เหล็กกล้าไร้สนิม	65-90	200-300

วัสดุชิ้นงานถ้ามีความแข็งมากความเร็วตัดที่ใช้จะต่ำถ้าวัสดุที่อ่อนความเร็วตัดก็จะสูง ความลึกในการตัด (Depth of Cut) ถ้าป้อนความลึกมาก ต้องลดความเร็วตัดเพื่อรักษาอายุการใช้งานของคมตัด หลักเกณฑ์การเลือกใช้ความเร็วตัดมีดังนี้ คือ

1) วัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือตัด (Cutting Tools) [8] จะวิเคราะห์การเลือกใช้จากการผลิต ซึ่งใช้วัสดุคาร์ไบด์เกรดที่ให้ความแข็งสูงจะเหมาะสำหรับงานที่ต้องการความคงทนทนต่อการเสียดสีและทนต่อการสึกหรอสูง แต่ก็ต้องคำนึงถึงความเหนียวให้เพียงพอเพื่อป้องกันการแตกหักและเสียหายก่อนเวลาอันควรรวมทั้งต้องคำนึงถึงสภาวะและเงื่อนไขการใช้งานด้วย ดังเช่นกลุ่มงานตัดโลหะ โดยวัสดุคาร์ไบด์ (Carbide) มีดเล็บคาร์ไบด์ (Carbide Cutting Tool) ทำขึ้นได้โดยการทางโลหะผงเท่านั้น โดยผงโลหะของทังสเตนคาร์ไบด์และโคบอลต์จะถูกอัดให้มีรูปร่างตามต้องการแล้วนำเข้าสู่กระบวนการกึ่งยึดเหนี่ยวในเตาซึ่งมีบรรยากาศของไฮโดรเจนที่อุณหภูมิ 1,550 องศา จากนั้นจึงทำผิวสำเร็จโดยการเจียรไน

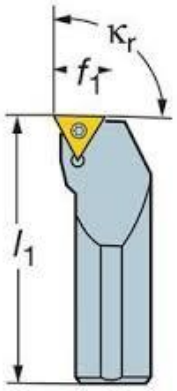
เครื่องมือคาร์ไบด์นี้มีส่วนผสมของทังสเตนคาร์ไบด์อยู่ประมาณ 94 % และโคบอลต์ 6 % เหมาะสมกับการตัดปาดเหล็กหล่อและวัสดุอื่นๆ จำนวนมากยกเว้นเหล็กกล้า เนื่องจากเศษตัดจะยึดติดหรือเชื่อมตัวเข้ากับผิวหน้าคาร์ไบด์และผังตัวลงในเครื่องมือตัดอย่างเร็ว อย่างไรก็ตามข้อบกพร่องนี้อาจแก้ไขได้โดยการเติมไททาเนี่ยมและแทนทาลัมคาร์ไบด์ เข้าผสมพร้อมกันกับเพิ่มปริมาณของโคบอลต์ ซึ่งในเครื่องมือตัดของคาร์ไบด์ที่เหมาะแก่การปฏิบัติสำหรับเหล็กกล้าจะประกอบไปด้วยทังสเตนคาร์ไบด์ 82 % ไททาเนี่ยมคาร์ไบด์ 10 % และโคบอลต์ 8 % ส่วนผสมนี้จะมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำเป็นผลให้มีแนวโน้มการสึกหรอที่ด้านบนหรือความเป็นแอ่งลดน้อยลง เนื่องจากการแปรเปลี่ยนส่วนประกอบจะทำให้คาร์ไบด์มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไป โดยคาร์ไบด์ระดับคุณภาพต่างๆ สามารถหาซื้อให้เหมาะสมกับการปฏิบัติการทั่วไปคาร์ไบด์จะสามารถคงตัวไว้ได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,200 องศา ดังนั้นความแข็งขณะร้อนแดงของวัสดุนี้จึงมีเหนือว่าวัสดุโดยทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นวัสดุจากการสังเคราะห์ที่แข็งที่สุดเท่าที่ผลิตขึ้นได้ และ ยังมีความแข็งแรงทางด้านแรงอัดสูงเป็นอย่างยิ่ง อย่างไรก็ตามมีข้อเสียในด้านที่มีความเปราะสูง มีความต้านทานต่อการกระทบกระแทกต่ำและต้องการฐานรองรับอย่างมั่นคงแข็งแรงเพื่อป้องกันการแตกร้าว ทั้งยังทำการเจียรไนได้อย่างลำบากเฉพาะกับล้อขัดซิลิกอนคาร์ไบด์ หรือ เพชรเท่านั้น โดยจะต้องรักษามุมห่าง (Clearance Angle) ไว้ให้ต่ำที่สุด

เครื่องมือตัดคาร์ไบด์จะสามารถทำการตัดด้วยอัตราเร็ว 2 – 3 เท่า ของเครื่องมือตัดจากโลหะผสมหล่อแต่ในอัตราการป้อนที่น้อยกว่ามาก ในแง่เศรษฐกิจแล้วจึงควรนำเครื่องมือคาร์ไบด์มาใช้ให้มากที่สุด โดยเครื่องจักรสำหรับเครื่องมือคาร์ไบด์จะต้องมีความมั่นคงแข็งแรง มีกำลังพอเพียงและมีช่วงของการป้อนและอัตราเร็วรอบที่เหมาะสมสำหรับวัสดุต่างๆ ทังสเตนคาร์ไบด์ที่มีความ

ละเอียดของเกรนสูง (Micrograin Carbide) จะมีความแข็งและความแข็งแรงสูงเป็นอย่างยิ่ง ใช้งานในที่ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือตัดคาร์ไบด์ปกติเนื่องจากอัตราเร็วตัดที่ใช้มีค่าต่ำจนเกินไปและในกรณีซึ่งเครื่องมือตัดโดยทั่วไปไม่สามารถทนต่อการสึกหรอได้ รวมทั้งปฏิบัติการขึ้นรูปหรือการตัดขาด เครื่องมือคาร์ไบด์อาจเคลือบชั้นตัวประสาน (Bonded Layer) ที่ขนาดความหนา 0.05 - 0.08 มิลลิเมตร ของไททาเนี่ยมคาร์ไบด์ อลูมินัมออกไซด์ (Aluminum Oxide) หรือไททาเนี่ยมไนไตรด์ (Titanium Nitride) เพื่อลดความร้อนจากการวิ่งผ่านของเศษตัดบนเครื่องมือและการแพร่ซึมหรือการยึดติดของเศษตัดรวมทั้งป้องกันการเกิดแอ่งจากการสึกหรอโดยเครื่องมือที่ เคลือบด้วยอลูมินัมออกไซด์ จะสามารถทำการตัดด้วยอัตราเร็วใกล้เคียงกัน 2 เท่าของอัตราเร็วที่ได้จากการเคลือบด้วยสารอื่น อย่างไรก็ดีเครื่องมือตัดที่มีการเคลือบนี้ไม่เหมาะสมกับชิ้นงานที่มีสะเก็ดมาก หรือ มีทรายเจือปนอยู่

2) ชนิดของวัสดุ (Material) ที่จะนำมาทำการตัดเฉือน คือ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (medium carbon steel) เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.35-0.5% เป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กคาร์บอนต่ำ ใช้ทำชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลทั่วไป เหล็กประเภทนี้สามารถทำการอบชุบความร้อนได้โดยทั่วๆไปวัสดุงานที่แข็งมากจะใช้ความเร็วตัดช้ากว่าวัสดุที่อ่อนกว่า เพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักร

3) รูปร่างของคมตัด (Form Cutting Tool) มีดกลึงที่ใช้ในการกลึงปอกในขั้นตอนการกลึงละเอียด คือ รูปทรงสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 2.11 หรือมีดกลึงชนิด T (Triangle) มีมุม 60 องศา สามารถกลึงปอกได้ทั้ง 3 มุม การเลือกขนาดรัศมีปลายมีดกลึง (R) ขึ้นอยู่กับความละเอียดของผิวปาดหน้าที่ต้องการ ถ้าต้องการผิวละเอียดต้องใช้ขนาดรัศมี (R) ที่มีขนาดเล็ก เช่น 0.2 – 0.4 mm



รูปที่ 2.11 มีดกลึงที่ใช้กลึงปอก [11]

4) การระบายความร้อน (Cutting lubricant) ความเร็วตัดของวัสดุบางชนิดอาจเพิ่มค่าพารามิเตอร์สำหรับการตัดเฉือนให้สูงขึ้นได้เมื่อ มีการระบายความร้อนที่ถูกต้อง ซึ่งสำหรับทุกๆ เงื่อนไขการทดลองจะใช้สารระบายความร้อนนี้ จะช่วยรักษาอุณหภูมิของคมตัดไม่ให้ร้อนสูงเกินไปขณะทำงานและช่วยควบคุมปัจจัยที่อาจจะส่งผลกระทบต่อการทดลอง

5) อายุการใช้งานของเม็ดมีด (Tool Life) เป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อต้นทุนในกระบวนการผลิตเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นงานที่มีปริมาณการผลิตครั้งละมากๆ (Mass Production) มักจะมีการควบคุมเงื่อนไขในการตัดเฉือนให้เหมาะสมกับอายุการใช้งานของมีดกลึง เพื่อให้ต้นทุนที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนเครื่องมืออยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม อายุมีด คือ เมื่อมีดตัดเสื่อมสภาพ มีการเปลี่ยนมีดนำมีดใหม่มาทดแทนและลับมีดที่เสียหรือเครื่องมือเดิม การสึกหรอของคมตัดจะเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีดมีการหมดสภาพมีขนาดเกินที่กำหนดไว้ ซึ่งขนาดของการสึกหรอของคมตัดที่ใช้เป็นเครื่องมือในการประมาณอายุการใช้งานของมีดตัด (Tool Life) [11] การศึกษาถึงการวัดอายุของมีดทำให้เราสามารถทราบถึงการแตกหักที่เกิดจากชิ้นงานการสึกหรอมากเกินไปทำให้เกิดการแตกหักของปลายมีดคมตัด หรืออาจเกิดการสึกหรอใช้งานไม่ได้และทำให้ข้อแตกต่างของการออกแบบและการเลือกเครื่องมือไม่เหมาะสม ปกติอายุคมมีดของมีดจะเกิดประโยชน์หรือประสิทธิภาพสูงสุดในกระบวนการผลิตและจะทำให้เกิดการสึกหรอที่มีลักษณะค่อยๆ เกิดที่ด้านข้างของมีดตัด (มีดตัดทำงานติดต่อกัน) ส่วนการสึกหรอด้านหน้านั้นเกิดจากเศษกลึงที่ไหลออกจากมีดตัดหรือในพื้นที่เท่าๆ กัน การสึกหรอที่เกิดจากเศษกลึงไหลผ่านมีดตัดจะทำให้เกิดการสึกหรอลักษณะเป็นแอ่งลึก

กฎทั่วไปในการใช้ความเร็วตัด และอัตราป้อน

1) ถ้า อัตราป้อน (Feed Rate) เพิ่ม ต้องลดลงความเร็วรอบ (Speed of Spindle) เมื่อความลึกของการตัดคงที่เพราะเงื่อนไขการตัดเฉือนทั้ง 2 นี้ เพิ่มขึ้นจะทำให้อายุการใช้งานของเครื่องมือตัดลดลง เนื่องจากที่บริเวณปลายเม็ดมีดจะรับภาระงานหนักและจะมีอุณหภูมิสูงมากส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องมือตัดลดลง

2) ถ้าความเร็วรอบ (Speed of Spindle) ความเร็ว เพิ่มขึ้น Feed อัตราป้อนต้องลดลง เมื่อความลึกของการตัดคงที่ ถ้าความลึกในการตัดเพิ่มขึ้น Speed ต้องลดลงเมื่อ Feed คงที่ [7] ซึ่งในการคำนวณก็ใช้หลักการหาเส้นรอบวงของชิ้นงานกลึง คูณด้วยความเร็วรอบของชิ้นงาน จึงมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$V = \frac{\pi.d.n}{1,000} \quad \text{(เมตร/นาที)} \qquad (2.1)$$

V = ความเร็วตัดงานกลึง (เมตร/นาที)

n = ความเร็วรอบชิ้นงานกลึง (รอบ/นาที)

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานของงานกลึง (มิลลิเมตร)

2.4.5 ความเร็วรอบ (Speed of Spindle) หมายถึง ความเร็วรอบของชิ้นงานหรือความเร็วรอบของเครื่องมือตัดที่หมุนได้ในเวลา 1 นาที มีหน่วยวัดเป็น รอบ/นาที ในการคำนวณหาได้จากสูตร [7]

$$n = \frac{1,000.v}{\pi.d} \quad \text{(รอบ/นาที)} \qquad (2.2)$$

V = ความเร็วตัดงานกลึง (เมตร/นาที)

n = ความเร็ว รอบชิ้นงานกลึง (รอบ/นาที)

d = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานของงานกลึง (มิลลิเมตร)

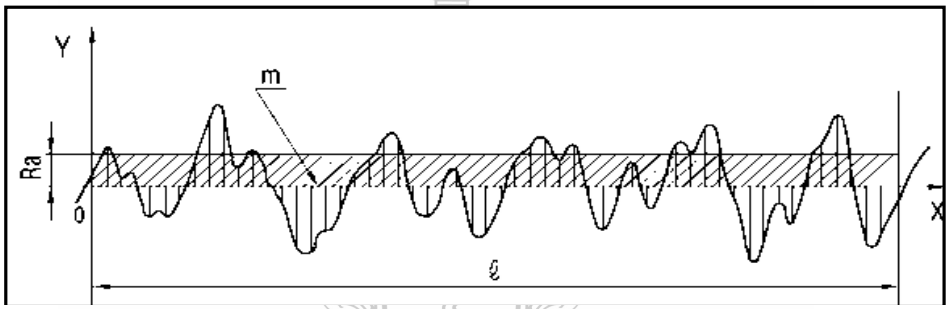
จากสมการที่ (2.1) และ (2.2) จะสังเกตว่าทั้งสมการมีความสัมพันธ์กันในเรื่องความเร็วตัดและความเร็วรอบ ซึ่งดูได้จากตัวแปรร่วมที่ใช้ศึกษา จากสมการสามารถทดลองหาค่าความเร็วรอบหรือพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการตัดเฉือนได้ในหน่วย รอบ/นาที ดังเช่นตัวอย่าง การกลึงปอกตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) ชิ้นงานที่ต้องการมีขนาด 31 ม.ม. เลือกใช้ความเร็วตัดสูงสุดจากตารางค่าความเร็วตัดของวัสดุชนิดต่างๆ สำหรับการตัดเฉือน ฉะนั้นจะต้องใช้ความเร็วรอบ เท่ากับ (1,000 x 400) / (3.14 x 31) เท่ากับ 4,109 รอบ/นาที ซึ่งสามารถถ้าเปรียบหาค่าเปอร์เซนต์ตวามแตกต่างได้ โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์จากประสบการณ์ของผู้ปฏบัติงานให้ค่าความเร็วรอบ เท่ากับ 4,000 รอบ/นาที จะหาเปอร์เซนต์ตวามแตกต่างได้จากสูตร[(ค่าทดลอง – ค่าจริง)] / ค่าจริง x 100 เมื่อแทนค่าจะได้ [(4,000 – 4,109)] / 4,109 x 100 เท่ากับ 2.65 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งวิเคราะห์ได้ว่ามีค่าเปอร์เซนต์ความแตกต่างที่ยอมรับได้ เพราะมีค่าไม่เกิน 50 เปอร์เซนต์

2.5 การวัดผลประสิทธิภาพของชิ้นงาน

2.5.1 การวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Roughness average: Ra) [9]

ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยหมายถึง ค่าเฉลี่ยจากการคำนวนค่ากลางระหว่างจุดยอดและจุดก้นแอ่ง เพื่อกำหนดเส้นกึ่งกลาง (Mean) แล้วนำค่าที่ห่างจากเส้นกึ่งกลางด้านบนมาหักล้างกับค่าที่ห่างจากเส้นกึ่งกลางลงด้านล่างเทียบกับระยะทาง ซึ่งสามารถเขียนสมการในการคำนวณได้ดังสมการ

$$Ra = \frac{1}{\ell}\int_0^{\ell} |f(x)|\,dx \qquad (2.3)$$

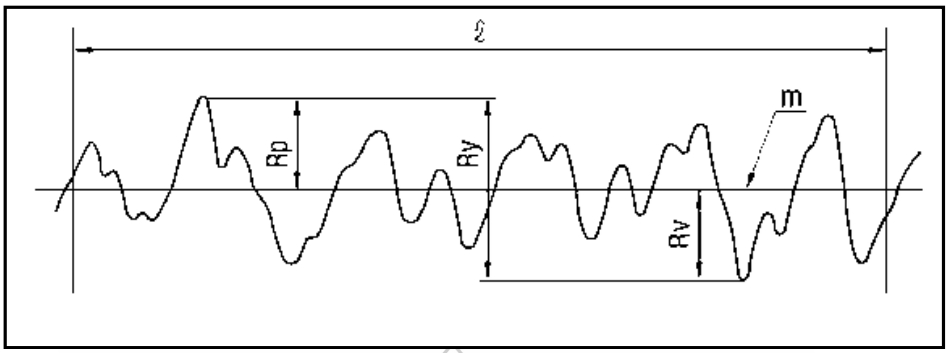


รูปที่ 2.12 การวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) [9]

ความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิต (Roughness average : Ra) [10] ความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิตเป็นการแสดงความหยาบพื้นผิวด้วยค่าเฉลี่ยทางเลขาคณิตของผิวที่วัด ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้กันมากที่สุด และหลายมาตรฐานมักอ้างอิงค่านี้ในการกำหนดมาตรฐานความหยาบผิว การหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ยเลขคณิตได้จากการรวมพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นเหนือเส้นกึ่งกลาง (M - Line) กับพื้นที่ยอดแหลมของคลื่นใต้เส้นกึ่งกลางหารด้วยความยาวเฉลี่ย (Lm) โดยที่ค่าของ Ra มีหน่วยวัดเป็นไมโครเมตร

ค่าความหยาบผิวสูงสุด (Ry : Maximum Peak) ค่าความหยาบสูงสุด [10] หมายถึง ความต่างสูงสุดระหว่างจุดต่ำสุดถึงจุดสูงสุดโดยคำนวณค่า Ry จากค่าสูงสุดจากเส้นกึ่งกลาง รวมกับค่าต่ำสุดของจุดก้นแอ่งที่ลึกที่สุด ดังสมการ

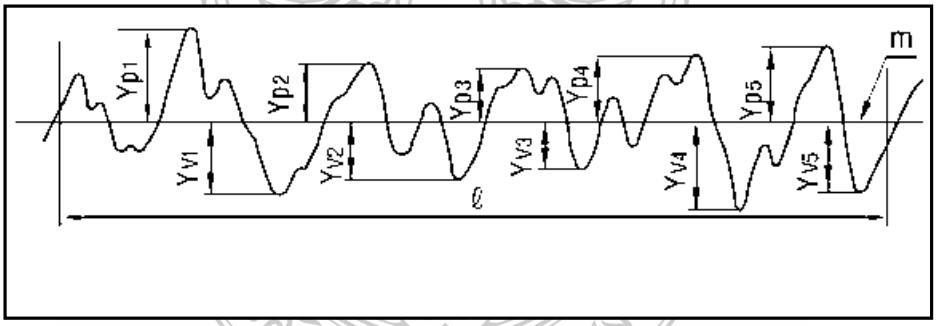
$$Ry = Rp + Rv \qquad (2.4)$$



รูปที่ 2.13 ค่าความหยาบผิวสูงสุด (Ry) [9]

ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยสิบจุด (Rz : Ten - Point Mean Roughness) ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยสิบจุด หมายถึง ค่าส่วนต่างสูงสุดจากเส้นกึ่งกลางทางด้านบน 5 ตำแหน่ง และ ส่วนต่างจากจุดต่ำสุดถึงเส้นกึ่งกลาง 5 ตำแหน่ง [10] โดยคำนวนค่า Rz จากค่าสูงสุดจากเส้นกึ่งกลางจำนวน 5 ตำแหน่ง รวมกับค่าต่ำสุดของจุดก้นแอ่งที่ลึกที่สุดอีก 5 ตำแหน่ง ดังสมการ

$$Rz = \frac{(Yp_1 + Yp_2 + Yp_3 + Yp_4 + Yp_5) + (Yv_1 + Yv_2 + Yv_3 + Yv_4 + Yv_5}{5} \quad (2.5)$$

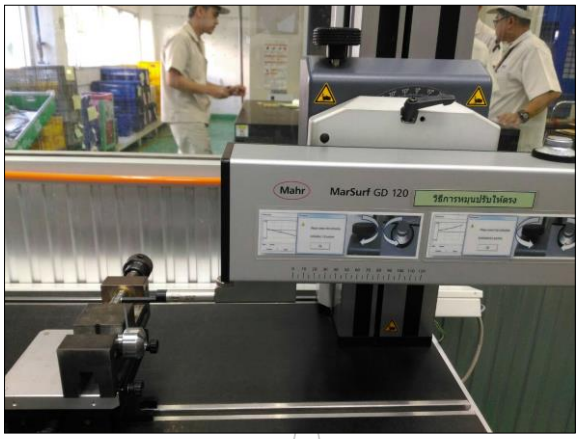


รูปที่ 2.14 ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยสิบจุด (Rz) [10]

2.5.2 เครื่องวัดความหยาบผิว (Roughness Tester)

เครื่องมือที่ใช้ในคุณภาพผิวของชิ้นงานแบบตั้งโต๊ะ

ก. โดยการวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ยด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว ยี่ห้อ Mahr รุ่น Surf GD 120 เป็นเทคโนโลยีจากประเทศเยอรมันดังแสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 เครื่องวัดความหยาบผิว Mahr รุ่น Surf GD 120

2.6 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ (Material Property)

2.6.1 เหล็ก SS400 เป็นเหล็กรีดร้อนสำหรับงานโครงสร้างทั่วไปผลิตภัณฑ์เหล็กรีดร้อนกลุ่มนี้ตามมอก. 1479 จัดเป็นมาตรฐานบังคับโดยผู้ใช้งานอาจคุ้นเคยกับการเรียกชื่อชั้นคุณภาพตามมาตรฐานญี่ปุ่น (JIS) [12] โดยมีตั้งแต่ชั้นคุณภาพ SS 330 จนถึงSS 540 โดยชั้นคุณภาพที่ใช้งานกันมากคือ SS 400 ความแตกต่างของแต่ละชั้นคุณภาพที่ชัดเจนคือระดับของความต้านแรงดึง (Tensile strength) โดยระดับความต้านแรงดึงต่ำที่สุดที่กำหนดไว้จะตรงกับตัวเลขที่ตามหลังอักษร SS ของแต่ละชั้นคุณภาพ

สำหรับคุณลักษณะที่ต้องการคือ เหล็กแผ่นมีผิวเรียบเกลี้ยงสม่ำเสมอไม่มีสะเก็ดออกไซด์ที่ฝังตัวในเนื้อเหล็ก (Rolled-in scale) และเนื้อเหล็กต้องไม่มีการแยกชั้น (Lamination) ของเนื้อเหล็ก ใช้ในงานโครงสร้างทั่วไปเช่นโครงสร้างสะพานเรือรถไฟบรรทุกสินค้า (Rolling stock) และโครงสร้างอื่นๆ

เหล็กเกรด SS400 คือเหล็กเหนียวธรรมดา คุณสมบัติสามารถต่อเชื่อมได้ดี เหมาะสำหรับเชื่อมและเป็นโครงสร้างได้ เหล็กเหนียวจะมีความยืดหยุ่น ไม่แตกหักง่าย เทียบเคียงกับเหล็กชั้นคุณภาพ คือ ST โดยทั้งสองเกรดนี้เหมาะกับงานโครงสร้าง ซึ่ง SS400 จะสามารถเทียบเท่ากับชั้นคุณภาพ ASTM A36 แต่ยังไม่สามารถเทียบได้กับ ST37 เพราะมีค่าความต้านทานแรงดึงต่างกัน มาตรฐานและชั้นคุณภาพ: มอก.1479 ชั้นคุณภาพ SS 330, SS 400, SS 490, SS 540มาตรฐานและชั้นคุณภาพอื่นที่มีสมบัติใกล้เคียง: JIS G3101 ชั้นคุณภาพ SS 330, SS 400, SS 490,SS 540

รูปที่ 2.16 แสดงลักษณะโครงสร้างของเหล็ก SS400 [12]

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีเหล็ก SS400 [12]

ส่วนประกอบทางเคมี	เปอร์เซ็นต์
C	0.35-0.5
Si	0.15-0.35
Mn	0.5-0.7
P	0.05
S	0.05

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติเชิงกลเหล็ก SS400 [12]

ความหนาแน่น(Kg/m^3)	7,700-8,030
โมดูลัสความยืดหยุ่น(Gpa)	365
ความทนต่อแรงดึง(MPa)	480
ความแข็ง ณ จุดคราก	245
ความแข็ง(สภาพอบอ่อน)(HB)	116-152

โดยข้อกำหนดทางด้านการผลิตระหว่างผู้ผลิตและลูกค้าได้ระบุว่าวัสดุ (Material) ที่จะนำมาทำการตัดเฉือนเพื่อแปรรูปเป็นตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) คือ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (medium carbon steel) เกรด ss 400 เมื่อพิจารณาพบว่า เป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.35-0.5 % และมีความแข็ง(สภาพอบอ่อน) ประมาณ 116-152 (HB) เพราะฉะนั้น ในการ

พิจารณาเลือกใช้เครื่องมือตัดจะต้องเลือกใช้ให้มีคุณสมบัติสูงกว่าค่าพื้นฐานของวัสดุที่จะนำมาตัดเฉือนเพื่อควบคุมการวิจัยให้มีประสิทธิภาพ

2.7 สมมติฐาน (Hypothesis)

2.7.1 ความหมายสมมติฐาน

สมมติฐาน (Hypothesis) คือ คำตอบผลสรุปของผลการวิจัยที่วิเคราะห์จากค่าที่ใช้ในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน ซึ่งอาจเป็นจริงหรืออาจเป็นเท็จก็ได้ โดยคำตอบของสมมติฐานจะช่วยให้ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยร่วม (Interaction) จากปัจจัยพื้นฐานสำหรับการกลึงปอก 3 ปัจจัยหลักที่ศึกษา คือ ความเร็วรอบ (Speed of Spindle) อัตราป้อน (Feed Rate) และความลึกตัด (Depth of Cut) โดยมีตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Roughness Average ; Ra) และสามารถวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดได้ตามต้องการ

2.7.2 ประโยชน์ของสมมติฐาน

1) เพื่อตรวจสอบสมมติฐานที่ตั้งไว้

2) จำกัดขอบเขตของการวิจัยให้ดำเนินไปตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้

3) ช่วยให้เข้าใจอย่างชัดเจนเกี่ยวกับเรื่องที่จะวิจัย

2.7.3 ลักษณะของสมมติฐานที่ดี

1) สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของการวิจัย และตอบปัญหาการวิจัย

2) สามารถทดสอบได้ด้วยข้อมูลหลักฐานต่างๆ

3) ใช้ภาษาที่ชัดเจนเข้าใจง่ายและรัดกุม

4) สมเหตุสมผลโดยตั้งมาจากหลักของ เหตุผลตามทฤษฎีและผลการวิจัยที่ผ่านมา

2.7.4 หลักในการเขียนสมมติฐาน

1) ใช้ข้อความที่เฉพาะเจาะจงกะทัดรัดชัดเจน สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของการวิจัย

2) เขียนสมมติฐานหลังจากที่ได้ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวของกับการวิจัย

3) โดยทั่วไปจะเขียนสมมติฐานก่อนการเก็บรวบรวมข้อมูล

4) เขียนในรูปที่สามารถทดสอบได้จากข้อมูลที่จะไปรวบรวม

5) กรณีที่มีความซับซ้อนควรแยกสมมติฐานออกเป็นข้อๆ ซึ่งในการวิจัยครั้งนั้นจะทำการทดสอบเป็นรายข้อไป

2.7.5 ประเภทสมมติฐาน

สมมติฐานสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่ สมมติฐานทางการวิจัย (Research Hypothesis) และสมมติฐานทางสถิติ (Statistical Hypothesis)

ตารางที่ 2.4 แสดงสมมติฐานทางสถิติและการวิจัย [14]

สมมติฐานทางการวิจัย (Research Hypothesis)	**สมมติฐานทางสถิติ (Statistical Hypothesis)**
แบบมีทิศทาง (Directional Hypothesis)	ไร้นัยสำคัญ (Null Hypothesis)
แบบไม่มีทิศทาง (Non Directional Hypothesis)	สมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis)

จากตารางที่ 2.4 สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อนี้

1) สมมติฐานทางการวิจัย (Research Hypothesis) เป็นคำตอบที่คาดคะเนไว้ล่วงหน้าและเป็นข้อความในเชิงภาษาที่เขียนเกี่ยวข้องกันระหว่างตัวแปร

1.1 แบบมีทิศทาง (Directional Hypothesis) ระบุบทิศทางของความแตกต่างระหว่างกลุ่ม

1.2 แบบไม่มีทิศทาง (Non Directional Hypothesis) ไม่กำหนดทิศทางของความแตกต่างหรือความสัมพันธ์

สมมติฐานทางการวิจัย เป็นเพียงการคาดคะเนยังไม่เป็นความรู้ที่เชื่อถือได้จนกว่าจะได้รับการทดสอบ โดยใช้วิธีการทางสถิติและความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปร

2) สมมติฐานทางสถิติ (Statistical hypothesis)

สมมติฐานทางสถิติ (Statistical hypothesis) คือ ประโยคหรือข้อความที่กล่าวเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของการแจกแจงความน่าจะเป็นซึ่งอาจจะเป็นจริงหรือเท็จก็ได้ [14] ข้อความหรือประโยคดังกล่าวนี้ต้องระบุกลุ่มของประชากรที่เกี่ยวข้องมาด้วยกลุ่มหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งกลุ่มได้

สมมติฐานทางสถิติที่เขียนไว้ในเชิงปริมาณการเท่ากันของค่าสถิติเราเรียกว่าสมมติฐานที่ไม่มีความแตกต่างกัน ภาษานักวิจัยเรียกว่า (Null Hypothesis) หรือสมมติฐานหลักแทนด้วย H_0 ส่วนสมมติฐานที่มีความแตกต่างกันเรียกว่า (Alternative Hypothesis) หรือสมมติฐานรองแทนด้วยสัญลักษณ์ H_1 [14]

2.7.6 การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานเป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้ในการตัดสินใจ (Decision-Making Process) กล่าวคือ ช่วยนักวิทยาศาสตร์หรือนักวิจัยในการตัดสินใจว่าสมมติฐานเกี่ยวกับประชากรที่ตั้งไว้ ถูกหรือผิดโดยศึกษาจากข้อมูลที่เก็บจากกลุ่มตัวอย่าง [14]

1) ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

1.1) ขั้นที่ 1 ตั้งสมมติฐาน H_0 และ H_1

การตั้งสมมติฐานสำหรับใช้ในการตรวจสอบจะตั้งได้ 2 ทางเลือก คือ

H_0 : ระดับของปัจจัยไม่มีผลต่อการผลิต

H_1 : ระดับของปัจจัยมีผลต่อการผลิต

1.2) ขั้นที่ 2 กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ ระดับ (α) ที่นิยมตั้ง คือ 0.05 และ 0.01

1.3) ขั้นที่ 3 ทดสอบโดยใช้ซอฟแวร์ทางสถิติ

1.4) ขั้นที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

1.5) ขั้นที่ 5 ทดสอบระดับของปัจจัยที่เหมาะสม

1.6 ขั้นที่ 6 สรุปผลการทดสอบ

2) การทดสอบสมมติฐานทำได้ 2 ลักษณะ คือ

2.1) การทดสอบแบบมีทิศทาง (Direction Test) หรือ การทดสอบแบบทางเดียว (One-Tailed Test) เป็นการทดสอบที่มุ่งพิจารณาในแง่ของความแตกต่างที่มากกว่าหรือน้อยกว่าเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง การทดสอบแบบนี้สมมติฐานอื่น (Alternative Hypothesis) จะอยู่ในรูปที่แสดงให้เห็นว่าค่าของกลุ่มหนึ่งมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าของอีกกลุ่มหนึ่ง

2.2) การทดสอบแบบไม่มีทิศทาง (Non-Direction Test) หรือ การทดสอบแบบสองทาง (Two-tailed test) เป็นการทดสอบแบบนี้มุ่งพิจารณาความแตกต่างเท่านั้น กล่าวคือ มุ่งทดสอบว่าแต่ละกลุ่มที่นำมาเปรียบเทียบกัน มีความแตกต่างกันในสิ่งที่สนใจจะศึกษาหรือไม่ โดยไม่คำนึงถึงว่าจะแตกต่างกันไปในทิศทางใด เช่น

การทดสอบสมมติฐานจะเกิดลักษณะของความผิดพลาดในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน ซึ่งความผิดพลาดทั้ง 2 ประเภทนี้สามารถเกิดขึ้นได้ขณะทดสอบสมมติฐาน ถ้าหากค่า H_0 ถูกปฏิเสธ ทั้งๆที่ H_0 ถูกต้อง จะเกิดความผิดพลาดประเภทที่1 ขึ้น แต่ถ้าหาก H_0 ไม่ถูก

ปฏิเสธทั้งๆที่ H_0 นั้นไม่ถูกต้อง ความผิดพลาดประเภทที่ 2 ก็จะเกิดขึ้น ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดทั้ง 2 ประเภท ก่อให้เกิดสัญลักษณ์พิเศษคือ α และ β [14],[15]

$$\alpha = \text{P(type I error)} = \text{P(reject } H_0 \text{ / } H_0 \text{ is true)}$$

$$\beta = \text{P(type II error)} = \text{P(fail to reject } H_0 \text{ / } H_0 \text{ is false)}$$

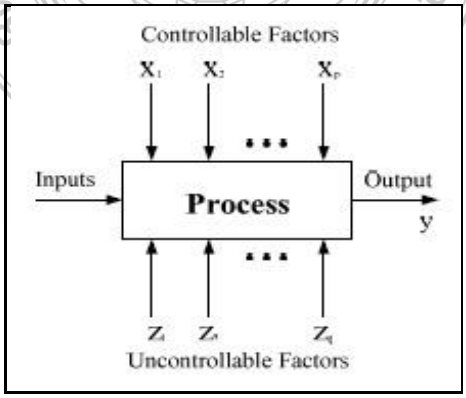
โดยที่ α หมายถึง ความเสี่ยงในการปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ทั้งที่สมมติฐานหลักเป็นจริง แต่ β หมายถึง ความเสี่ยงในการยอมรับสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ทั้งที่สมมติฐานหลักไม่เป็นจริงและจากความเสี่ยงของทั้งสองแบบนี้จึงต้องมีการกำหนดจำนวนซ้ำของการทดลองไว้ เพื่อให้มีความเชื่อมั่นหรือมีความเสี่ยงในการยอมรับข้อมูลตามที่กำหนดไว้ และในการวิเคราะห์ก็มักจะกำหนดให้ค่าของ α มีค่าคงที่และค่าของ β ให้มีค่าน้อยที่สุด

2.8 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น

2.8.1 กลยุทธ์ในการทดลอง (Strategy of Experimentation)

ไม่ว่าจะอยู่ในสาขาวิชาใดก็ตาม จะต้องมีความเกี่ยวข้องกับการทดลองบ้างไม่มากก็น้อย ทั้งนี้เพื่อทำให้เราทราบหรือค้นพบถึงบางสิ่งบางอย่างเกี่ยวกับกระบวนการหรือระบบบางอย่าง โดยคำศัพท์แล้ว การทดลองจะหมายถึง การทดสอบ เราอาจจะให้คำนิยามของการทดลองว่าเป็นการทดสอบหรือเป็นชุดทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงกับตัวแปรขาเข้า หรือ Input Variable เพื่อว่าเราจะสามารถสังเกตหรือบ่งชี้ถึงเหตุผลของการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นกับผลตอบขาออกได้ [14]

ในการทดลองใดๆก็ตาม ผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับวิธีการเก็บข้อมูล ตามปกติแล้วการทดลองถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบ ซึ่งทั้งกระบวนการและระบบสามารถที่จะแทนด้วยแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ [15]

เราอาจจะมองได้ว่ากระบวนการต้องประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ เช่น เครื่องจักร วิธีการ และทรัพยากรอื่นๆเข้าด้วยกัน เพื่อเปลี่ยนอินพุต (เช่นวัตถุดิบ) ไปสู่เอาต์พุตที่มีผลตอบออกมาในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่า ซึ่งเราสามารถเห็นได้ ดังตัวแปรกระบวนการบางชนิด $x_1, x_2, ..., x_p$ เป็นตัวแปรที่เราสามารถควบคุมได้ ในขณะที่ตัวสแปรบางตัว $z_1, z_2, ..., z_p$ เป็นตัวแปรที่เราไม่สามารถควบคุมได้ (ถึงแม้ว่าในบางครั้งเราอาจจะควบคุมตัวแปรพวกนี้ได้ในขณะทำการทดลองก็ตาม) [14] ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดลองอาจจะเกี่ยวข้องกับการหาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อ y การหาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลค่าผลต่อ y เพื่อทำให้ y อยู่ที่ค่าที่ต้องการ การหาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลต่อ y เพื่อทำให้ y มีค่าน้อย และการหาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลต่อ y เพื่อให้ผลของตัวแปรที่เราไม่สามารถควบคุมได้ $z_1, z_2, ..., z_p$ มีค่าน้อยที่สุด

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการทดลองส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายตัว และวัตถุประสงค์ของบุคคลที่ทำการทดลอง (เรียกว่า ผู้ทดลอง) ก็คือ หาผลกระทบของปัจจัยเหล่านี้กับผลตอบของระบบ เรียกการวางแผนและการดำเนินการทดลองว่า กลยุทธ์ของการทดลอง (Strategy of Experimentation) ซึ่งมีกลยุทธ์หลายอย่างที่ผู้ทดลองสามารถนำไปใช้ได้ เช่น แบบหนึ่งปัจจัยต่อครั้ง (One-Factor-At-A-Time) หรือการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) [15] ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อๆไป

2.8.2 หลักการพื้นฐาน

วชิรพงษ์ (2546) ได้กล่าวไว้ว่า การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติขั้นสูงที่ใช้ในการปรับตั้งค่าสภาวะของกระบวนการให้เป็นไปตามสภาพที่เราต้องการ ซึ่งข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดระหว่างวิธีการโดยทั่วไปกับเทคนิคของการออกแบบการทดลองคือ วิธีการโดยทั่วไปมักเป็นแบบการลองผิดลองถูกหรือการใช้การทดลองปรับตั้งค่าของกระบวนการทีละค่า (One - Factor - At - A - Time) เช่น ถ้าหากเราสงสัยว่าเราควรที่จะต้องปรับตั้งค่าของอุณหภูมิในการอบชิ้นงาน เวลาที่ใช้ในการอบ และส่วนผสมของชิ้นงานเป็นเท่าไรดี จึงจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพสูงสุดไม่เป็นของเสีย ดังนั้นแนวทางที่เรามักใช้กันโดยทั่วไป ก็คือเรามักที่จะไปลองปรับตั้งในส่วนของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบก่อน (ในขณะที่คงค่าของเวลาที่ใช้ในการอบกับอัตราส่วนผสมเอาไว้) เมื่อทดลองจนได้ค่าของอุณหภูมิที่เราต้องการแล้วจึงค่อยไปปรับตั้งเรื่องของเวลา (และก็คงค่าของอุณหภูมิกับอัตราส่วนผสมไว้) จากนั้นสุดท้ายจึงไปทำการปรับตั้งเรื่องของอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม (โดยการคงค่าของอุณหภูมิกับเวลาไว้) และเราอาจทำซ้ำวงจรนี้ไปเรื่อยๆ เพื่อที่จะหาจุดที่ดีที่สุดของกระบวนการ ซึ่งลักษณะการทำเช่นนี้เรียกว่า One - Factor - At - A - Time นั่นเอง โดยทั่วไปแล้วการทดลองแบบ One - Factor - At - A - Time จะให้ผลของการเข้าสู่จุดหมายที่

เราต้องการของกระบวนการได้ช้ามากและสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์และเก็บข้อมูลสูงและยังไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับกระบวนการที่มีผลของความสัมพันธ์ร่วม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยกันเอง [15]

นอกจากนี้ Montgomery (2005) ยังได้กล่าวไว้อีกว่า ถ้าหากต้องการให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด เราจะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง คำว่า “การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment)” หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งที่จำเป็น ถ้าเราต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่เรามีอยู่ และถ้ายิ่งปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้ [14]

2.8.3 ข้อดีของเทคนิคการออกแบบการทดลอง

วชิรพงษ์ (2546) ได้อธิบายข้อดีของเทคนิคการออกแบบการทดลองไว้ดังนี้คือ ให้ผลของความแม่นยำ และความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างสูง โดยสามารถระบุออกมาเป็นค่าตัวเลขทางสถิติที่แสดงถึงค่าระดับความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีความรวดเร็วในการดำเนินงานการตรวจสอบสาเหตุของปัญหา โดยทั่วไปแล้วถ้าหากเรามีปัจจัยในการทดสอบอยู่ประมาณ 10 ปัจจัย ซึ่งในการดำเนินการทดสอบดูว่าปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลจริงๆต่อกระบวนการด้วยวิธีแบบ One - Factor - At - A - Time จะใช้เวลานานถึง 1 ปีในการตรวจสอบได้ครบทุกปัจจัย แต่ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองจะใช้เวลาเพียงแค่ 1 - 3 อาทิตย์เท่านั้นในการตรวจสอบปัจจัย [16]

2.8.4 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

Montgomery (2005) กล่าวว่า การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องในการทดลองจะต้องมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ล่วงหน้าว่าเรากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการอาจจะทำได้ดังต่อไปนี้ [14]

1) การทำความเข้าใจถึงปัญหา บางคนอาจคิดว่าขั้นตอนนี้ง่ายและตรงไปตรงมา แต่ในความเป็นจริงแล้ว ขั้นตอนนี้ไม่ได้ง่ายอย่างที่คิด ในขั้นตอนนี้เราอาจจะต้องพยายามพัฒนา

แนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และบ่อยครั้งที่เราต้องหาข้อมูลอินพุตจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง ถ้อยแถลงของปัญหาที่มีความชัดเจนจะมีผลอย่างมากต่อความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์และคำตอบสุดท้ายของปัญหานั้นๆ ด้วยเหตุนี้เองการออกแบบการทดลองทุกครั้งควรจะมีการทำงานเป็นทีม

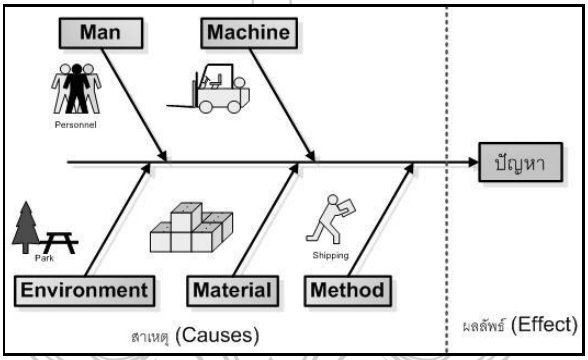
2) การเลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดให้อย่างไรและจะวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมาก ซึ่งความรู้นี้อาจจะได้มาจากประสบการณ์และความรู้จากทางทฤษฎี มีความจำเป็นที่เราจะต้องตรวจสอบดูว่า ปัจจัยที่กำหนดขึ้นมาทั้งหมดนี้มีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือการกรองปัจจัย (Screening) เราควรกำหนดให้ระดับต่างๆที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ การเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัย เราควรจะเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆ หมายถึงว่า ขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้ควรมีค่ากว้างๆ และเมื่อเราได้เรียนรู้เพิ่มขึ้นว่า ตัวแปรใดมีความสำคัญและระดับใดที่ทำให้เกิดผล-ลัพธ์ที่ดีที่สุด เราอาจจะลดขอบเขตลงมาให้แคบลงได้ [14]

วชิรพงษ์ (2546) ยังได้กล่าวเพิ่มเติมอีกว่า ในขั้นตอนการระบุหาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อกระบวนการนี้ เราใช้วิธีการประชุมกลุ่มเพื่อช่วยกันระดมความคิดเห็นจากประสบการณ์แล้วพิจารณาดูว่ามีปัจจัยใดบ้างที่อาจจะส่งผลต่อปัญหาที่เราสนใจ เช่น ถ้าหากปัญหาของเราคือ อัตราของเสียในการผลิตสูง ดังนั้นจากการประชุมร่วมกับพนักงานที่เกี่ยวข้องและเป็นพนักงานที่มีประสบการณ์ในการผลิตตรงพื้นที่ปัญหานั้นก็จะทำให้สามารถระบุรายการของปัจจัยต่างๆมากมายที่อาจจะส่งผลต่ออัตราการเกิดของเสียได้ เช่น เวลาในการอบชิ้นงาน (อบนานเสียมาก อบเร็วได้ชิ้นงานดีมากกว่า) อุณหภูมิในการอบ (ความร้อนสูงให้คุณภาพดีกว่าความร้อนต่ำ) ฯลฯ ซึ่งประสบการณ์ต่างๆเหล่านี้เป็นพื้นฐานที่สำคัญในการก้าวไปสู่ขั้นต่อไปของการออกแบบการทดลอง โดยจะส่งผลให้การดำเนินการมีความรวดเร็วมากขึ้นไม่ต้องไปเสียเวลาตรวจสอบทุกปัจจัย (เช่น ถ้าจากประสบการณ์ที่ผ่านมาทำให้เรามั่นใจได้ว่า ปัจจัยเรื่องความชื้นในส่วนผสมไม่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน ดังนั้นเราก็ไม่จำเป็นต้องนำเอาปัจจัยเรื่องความชื้นมาบรรจุไว้ในการทดลองก็ได้) ซึ่งจะเห็นได้ว่า “ประสบการณ์ขององค์กร (Wisdom of Organization)” นั้น เป็นองค์ประกอบหนึ่งของการออกแบบการทดลอง เพราะเป็นจุดเริ่มต้นของการดำเนินงานคือ การใช้ประสบการณ์คาดคะเนว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อปัญหาที่เราสนใจ ซึ่งถ้าหากเราไม่มีส่วนของประสบการณ์องค์กรเข้ามาเกี่ยวข้องเลย (เช่น ทีมงาน

เป็นพนักงานใหม่ทั้งหมด) การออกแบบการทดลองก็ยังคงดำเนินต่อไปได้ แต่จะใช้เวลาที่นานขึ้น เพราะต้องเสียเวลาในการตรวจสอบทุกๆปัจจัยที่มีอยู่ทั้งหมด [16]

โดยทั่วไปแล้วทีมงานของการออกแบบการทดลองการทดลองนั้นจะต้องประกอบไปด้วยพนักงานอย่างน้อย 1 คนขึ้นไปที่เป็นพนักงานที่มีประสบการณ์สูงที่ปฏิบัติงานอยู่ในพื้นที่ของปัญหานั้นมาเป็นระยะเวลาค่อนข้างนาน ทั้งนี้ก็เพื่อจุดประสงค์ในการช่วยคณะทำงานท่านอื่นๆ ในการระดมความคิดหาปัจจัยที่คาดว่าส่งผลต่อกระบวนการและได้นำเอาปัจจัยทั้งหลายเหล่านี้ไปดำเนินการออกแบบการทดลองได้ต่อไป

เครื่องมือคุณภาพที่มักนิยมมาใช้ในการช่วยระดมความคิดเพื่อระบุสาเหตุที่คาดว่าน่าจะส่งผลต่อปัญหานั้นได้แก่ แผนภูมิก้างปลา (C&E Diagram), FMEA, Selection Matrix เป็นต้น



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการระบุสาเหตุของปัญหาโดยการใช้แผนภูมิก้างปลา [16]

เมื่อระบุได้แล้วว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะส่งผลต่อปัญหาที่เราสนใจ ดังนั้นขั้นตอนถัดไปคือการกำหนดค่าระดับในการทดลองของปัจจัยแต่ละตัว เช่น หากปัจจัยที่เราคาดว่าน่าจะมีผลต่ออัตราการเกิดของเสียคือ อุณหภูมิและเวลาในการอบชิ้นงาน ดังนั้นเราก็ลองปรับเปลี่ยนค่าอุณหภูมิที่ระดับ 100 กับ 200 องศาเซลเซียสและลองตั้งเวลาในการอบที่ 45 กับ 60 นาที เป็นต้น ซึ่งการตั้งค่าระดับในการทดลองของปัจจัยนี้ต้องพึงระวังว่าเราจะต้องเลือกระดับความแตกต่างที่ไม่น้อยจนเกินไป (เช่น ทำการทดลองที่ 10 องศาเซลเซียส กับ 10.5 องศาเซลเซียส) หรือเลือกระดับที่แตกต่างกันมากจนเกินไป (เช่น ทำการทดลองที่ 0 องศาเซลเซียส กับ 200 องศาเซลเซียส) เป็นต้น เนื่องจากการที่เรากำหนดค่าระดับของปัจจัยในการทดลองที่แคบเกินไปหรือกว้างเกินไป อาจจะส่งผลให้เราไม่สามารถเห็นผลของการทดลองที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน

3) การเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทดลองควรแน่ใจว่าตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงมาตรฐาน (หรือทั้งคู่) ของกระบวนการจะเป็นตัวแปรผลตอบ เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจจะมีผลตอบหลายตัว และมีความจำเป็นอย่างมากที่เราจะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรผลตอบ และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไรก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง [16]

4) เลือกการออกแบบการทดลอง ถ้ากิจกรรมการวางแผนก่อนการทดลองทำได้อย่างถูกต้อง ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่ง่ายมาก การเลือกการออกแบบการทดลองเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และตัดสินใจว่าควรใช้วิธีบล็อคหรือใช้การสุ่มอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ ในการเลือกการออกแบบเราจำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา ในการทดลองทางวิศวกรรมศาสตร์ส่วนมากเราจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่า ปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อผลตอบที่เกิดขึ้น ดังนั้นเราจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่าง และประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้น [16]

วชิรพงษ์ (2546) ยังได้กล่าวเพิ่มเติมอีกว่า ชนิดของรูปแบบการทดลองนั้นมีให้เลือกอยู่อย่างหลากหลาย แต่เราจำเป็นต้องเลือกมาเพียงแค่ 1 - 2 รูปแบบเท่านั้นเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งหลักเกณฑ์ในการพิจารณาว่าเราควรที่จะเลือกรูปแบบการทดลองแบบไหนนั้น ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ดังต่อไปนี้ ได้แก่ เวลาที่มีให้เพื่อการวิเคราะห์ ระดับความถูกต้องในการวิเคราะห์ งบประมาณที่มีให้ในการออกแบบการทดลอง เป็นต้น [16] โดยทั้งนี้เราสามารถสรุปรูปแบบของการทดลองที่นิยมใช้กันในปัจจุบันได้ดังตารางที่ 2.5 และ 2.6

ตารางที่ 2.5 รูปแบบการทดลองที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน [16]

รูปแบบการทดลอง	**ลักษณะการทดลอง**	**เวลาในการวิเคราะห์**	**ความถูกต้อง**	**งบประมาณ**
Single Factor	การทดลองสำหรับหนึ่งปัจจัยโดยปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยสำคัญที่คาดว่ามีผลกระทบสูงสุดต่อปัญหา	รวดเร็ว	ปานกลาง	น้อย
Factorial Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบ	ใช้เวลานาน	มากที่สุด	มาก

ตารางที่ 2.6 รูปแบบการทดลองที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน (ต่อ)

รูปแบบการทดลอง	ลักษณะการทดลอง	เวลาในการวิเคราะห์	ความถูกต้อง	งบประมาณ
3^k Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัยและเป็นการทดลองเต็มรูปแบบแต่กำหนดระดับของแต่ละปัจจัยอยู่ที่ปัจจัยละ 3 ระดับเท่านั้น	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
3^{k-p} Design	การทดลองที่มีมากกว่าหนึ่งปัจจัย แต่ไม่ทำการทดลองแบบเต็มรูปแบบทั้งหมด (ลดรูป)	รวดเร็ว	น้อย	น้อย

5) การทดลองเมื่อทำการทดลองเราจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับวิธีการทดลองในขั้นตอนนี้ จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น [16]

6) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อวิเคราะห์ว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และถ้าเราทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติก็คือ ทำให้ผู้ที่มีอำนาจในการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพ และถ้านำเอาวิธีการทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ และสามัญสำนึก จะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ [16]

7) สรุปผลและข้อเสนอแนะ เมื่อได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้เราจะนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเราต้องการนำเสนอผลงานนี้ให้ผู้อื่นฟัง นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อจะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย [16]

2.8.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบจากโปรแกรมทางสถิติ

1) โดยในการวิเคราะห์จะใช้ซอฟแวร์ช่วยทางด้านสถิตมาช่วยในการพิจารณาภายหลังจากที่ได้ดำเนินการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) ซึ่งจะ

เริ่มวิเคราะห์จากความเพียงพอของข้อมูลหรือการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking) โดยจะพิจรณาจากกราฟ 4 IN 1 การอ่านผลจากตาราง ANOVA และการสรุปผลจากสมมติฐาน

2) อ่านผลจากตาราง ANOVA

การอ่านผลจากตาราง ANOVA เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือเรียกว่า ANOVA ซึ่งอ่านจากค่า P - Value ที่ได้จากตารางสรุป ANOVA ว่ามีความสอดคล้องกับสมมติฐานแบบใด

โดยถ้า ค่า P - Value > ค่านัยสำคัญ หรือ α (0.05) ให้ยอมรับ H_0 ปฏิเสธ H_1

ค่า P - Value <= ค่านัยสำคัญ หรือ α (0.05) ให้ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ H_1

3) สรุปผลจากสมมติฐาน

การสรุปผลจากสมมติฐานคือ การตัดสินใจว่าผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้แบบใด

4) การหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด (Factorial Plot)

โดยฟังชั่น Response Optimization ซึ่งเป็นฟังชั่นที่ใช้หาค่าที่เหมาะที่สุดของแต่ละปัจจัย และเป็นฟังชั่นที่ใช้วัดความพึงพอใจ โดยรวมของผลตอบสนอง (Composite Desirability : D) ซึ่งความพึงพอใจของผลตอบมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 ซึ่งถ้าค่า D มีค่า เท่ากับ 1 หมายถึง ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์

ตัวอย่าง การประยุกต์ใช้การทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มรูปแบบ โดยการออกแบบการทดลองกล่าวถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงหลังการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) ซึ่งมีปัจจัย ดังนี้ คือ

1) ปัจจัย A = Weld current 1 กำหนดให้มี 3 ระดับ (Level)

2) ปัจจัย B = Weld current 2 กำหนดให้มี 3 ระดับ (Level)

3) ปัจจัย C = Squeeze Time กำหนดให้มี 3 ระดับ (Level)

โดยทดลอง 2 เรพลิเคต (Replicates)

เนื่องจากการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยข้างต้น ในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาปรับค่าพารามิเตอร์ Weld Current 1 = 1456 A ปรับค่าพารามิเตอร์ Weld Current 2 = 1406 A และ ปรับค่าพารามิเตอร์ Squeeze Time = 85 s ดังตารางที่ 2.7

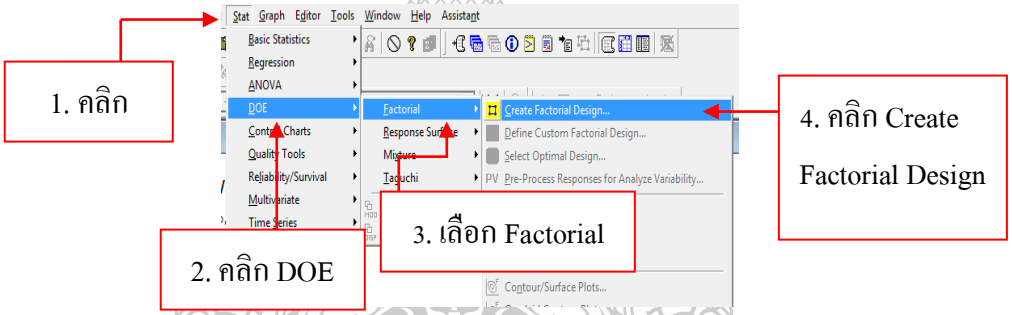
ตารางที่ 2.7 แสดงการช่วงการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของปัจจัย Aปัจจัย B และปัจจัย C

Weld Current 1	Weld Current 2	Squeeze Time
1451 KV	1401 KV	80 s
1456 KV	1406 KV	85 s
1461 KV	1411 KV	90 s

2.8.6 การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมมินิแทบ เวอร์ชัน 16 (Minitab Version 16)

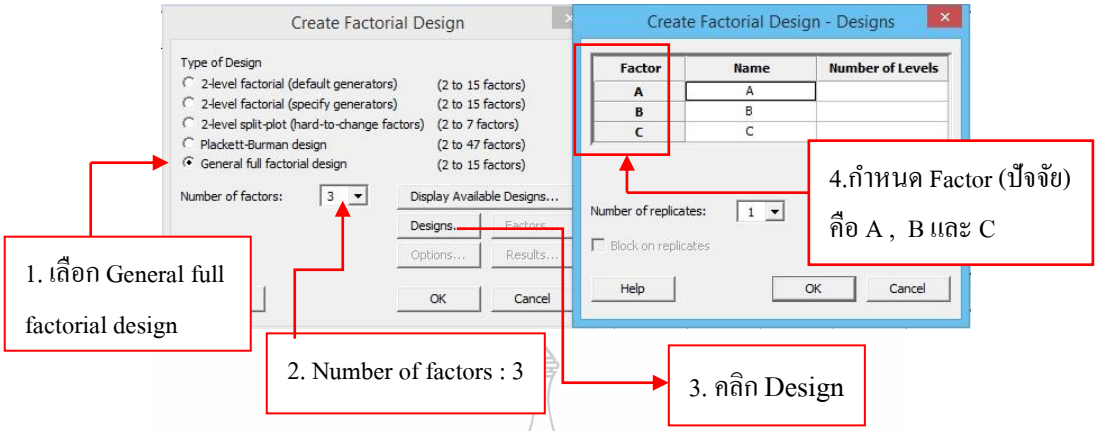
จากตารางที่ 2.7 ปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยข้างต้นจะทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลสำหรับ 2 ปัจจัย (Two - Factor Factorial Design) โดยใช้โปรแกรมมินิแทบ เวอร์ชัน 16 ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1) เปิดโปรแกรมมินิแทบ เวอร์ชัน 16 คลิกที่ Stat เลื่อนเมาส์ลงมาคลิกที่ DOE แล้วเลือกที่ Factorial จากนั้นคลิก Create Factorial Design



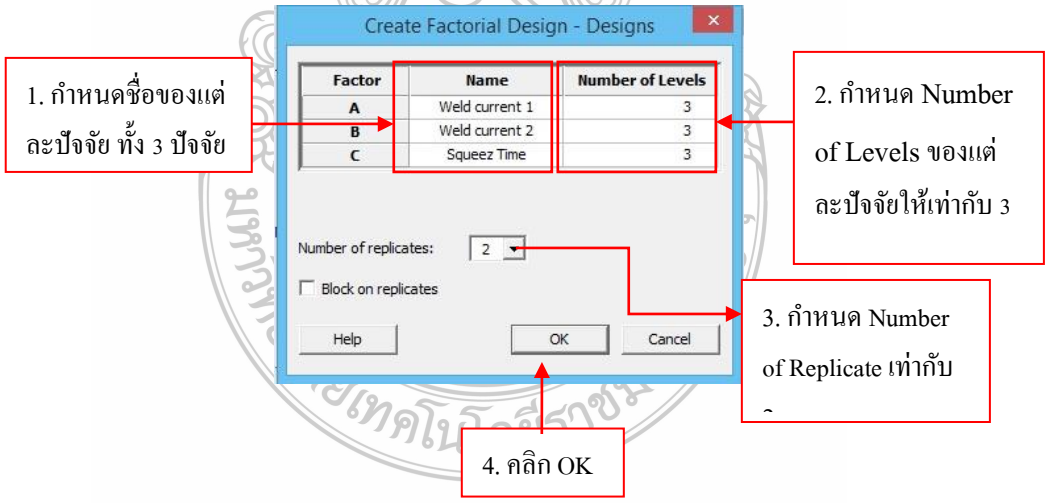
รูปที่ 2.19 แสดงขั้นตอนการเข้าไปที่การออกแบบการทดลอง DOE

2) เลือก General full factorial design เพื่อเลือกแฟคทอเรียลแบบเต็มรูปแบบ ให้ Number of factors : 3 จากนั้น กดเลือก Design และกำหนด Factor (ปัจจัย) 3 คือ A , B และ C



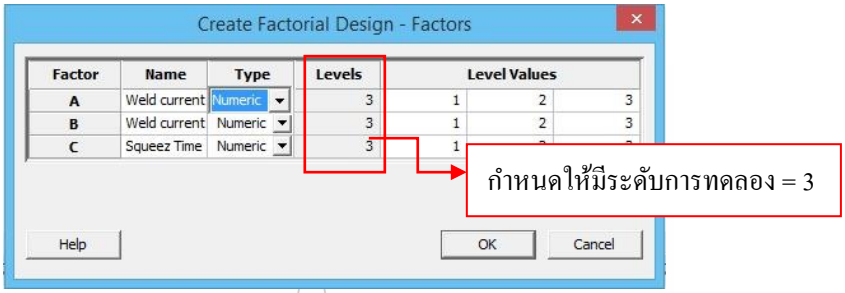
รูปที่ 2.20 กำหนดปัจจัยที่ต้องการ คือ ปัจจัย A, ปัจจัย B และ ปัจจัย C

3) กำหนดชื่อที่คอลัมน์ Name ของปัจจัย (Factor) A คือ Weld Current 1, ปัจจัย (Factor) B คือ Weld Current 2 และ ปัจจัย (Factor) C คือ Squeeze Time โดยที่คอลัมน์ Number of Levels หรือระดับการทดลองให้เท่ากับ 3 และ Number of Replicate เท่ากับ 2 ดังรูปที่ 2.21 จากนั้นคลิก OK



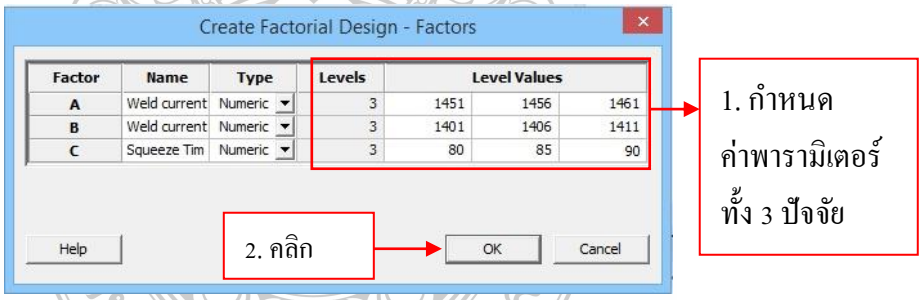
รูปที่ 2.21 แสดงการตั้งค่าชื่อของปัจจัย ระดับปัจจัยและการทดลองซ้ำ (Replicate)

4) หลังจากคลิก OK จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ชื่อ Create Factorial Design จากนั้นให้คลิก Factors... จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ชื่อ Create Factorial Design - Factors แสดงดังรูปที่ 2.22 และกำหนดระดับการทดลองเท่ากับ 3 ทั้ง 3 ปัจจัย ที่คอลัมน์เลเวล Levels



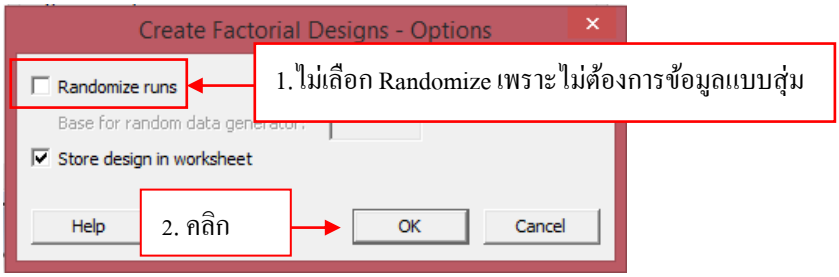
รูปที่ 2.22 แสดงการกำหนดระดับการทดลองที่คอลัมน์เลเวล (Levels)

5) จากนั้นกำหนดค่าพารามิเตอร์ของทั้ง 3 ปัจจัย ที่ได้จากโรงงานกรณีศึกษาจากตารางที่ 2.7 ที่คอลัมน์เลเวล แวลู (Level Value) ได้แก่ค่า Weld Current 1 (ปัจจัยA), Weld Current 1 (ปัจจัยที่ B) และ ค่า Squeeze Time (ปัจจัย C) แล้วคลิก OK



รูปที่ 2.23 กำหนดค่าค่าพารามิเตอร์ของทั้ง 3 ปัจจัย ที่ได้จากโรงงานกรณีศึกษา

6) หลังจากคลิก OK จะกลับมาที่ไดอะล็อกบ็อกซ์ชื่อ Create Factorial Design คลิก Options... จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ชื่อ Create Factorial Design - Options ให้เลือก ☑ ที่ Randomize เพื่อเอาเครื่องหมายออก RANDOMIZE RUNS บ่งบอกว่าไม่ต้องการข้อมูลแบบสุ่ม แล้วคลิก OK



รูปที่ 2.24 แสดงการเลือกปฏิเสธข้อมูลแบบสุ่ม

ได้ผลการออกแบบการทดลองดังรูปที่ 2.25 และตารางการทดลอง ดังตารางที่ 2.8

Results for: Worksheet 2

Multilevel Factorial Design

Factors:	3	Replicates:	2
Base runs:	27	Total runs:	54
Base blocks:	1	Total blocks:	1

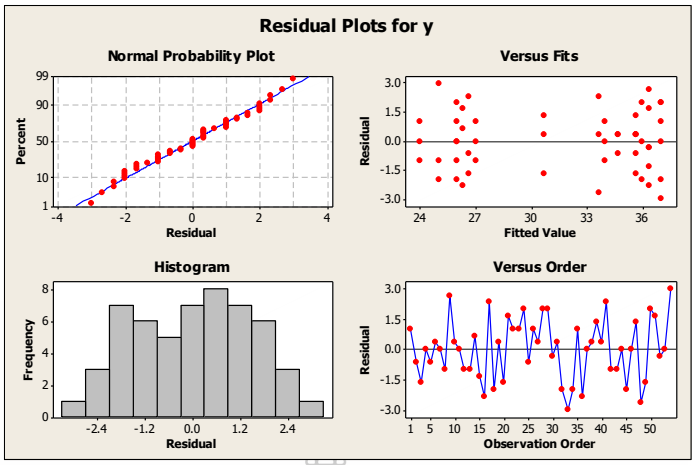
Number of levels: 3, 3, 3

รูปที่ 2.25 ผลการวิเคราะห์จากการใช้โปรแกรมมินิแทบ เวอร์ชัน 16 ออกแบบการทดลอง

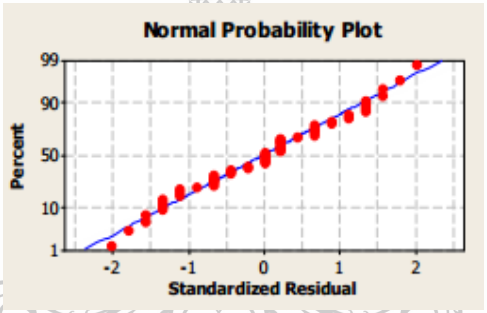
จากรูปที่ 2.25 การออกแบบการทดลองกำหนดให้ปัจจัย (Factors) คือเท่ากับ 3 ปัจจัย โดยทดลอง 2 เรพลิเคต (Replicates) ครั้งละ 27 (Base runs) ได้ทั้งหมด (Total runs) เท่ากับ 54 ครั้ง และได้ระดับการทดลอง (Number of levels) เท่ากับ 3 ครั้ง ได้ข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง

7) วิเคราะห์เงื่อนไขความพอเพียงจากกราฟ

การวิเคราะห์ความพอเพียงของข้อมูลจากกราฟ 4 IN 1 (Four in one) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.26

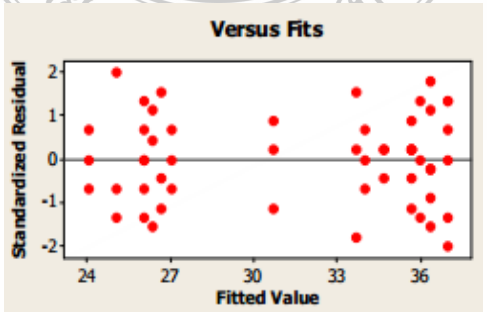


รูปที่ 2.26 ตัวอย่างกราฟ 4 ประเภทสำหรับนำมาวิเคราะห์ความพอเพียงของข้อมูล



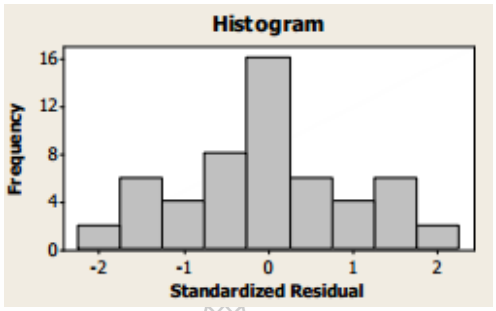
รูปที่ 2.27 ตัวอย่างกราฟการกระจาย

จากรูปที่ 2.27 ก. คือกราฟการกระจายที่มีการกระจายปกติตัวบนเส้นตรง ซึ่งแสดงถึงข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบการทดลองมีความเพียงพอ



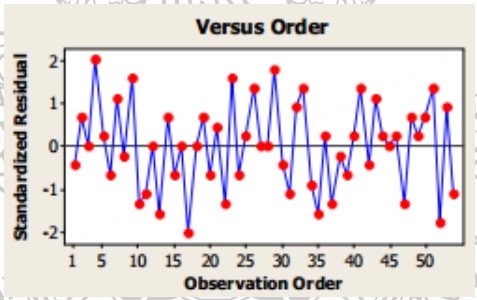
รูปที่ 2.28 ตัวอย่างกราฟแสดงความแปรปรวนของข้อมูล

จากรูปที่ 2.28 กราฟความแปรปรวนเพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลมีความแปรปรวนแตกต่างกันหรือไม่ โดยดูจากข้อมูลกระจายตัวถ้าข้อมูลกระจายตัวเท่าๆกันรอบเส้นกราฟค่า 0 แสดงว่าความแปรปรวนของข้อมูลไม่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.29 ตัวอย่างฮิสโตแกรม

จากรูปที่ 2.29 ค. ฮิสโตแกรมที่มีข้อมูลการกระจายตัวแบบปกติลักษณะของกราฟจะเป็นแบบระฆังคว่ำ

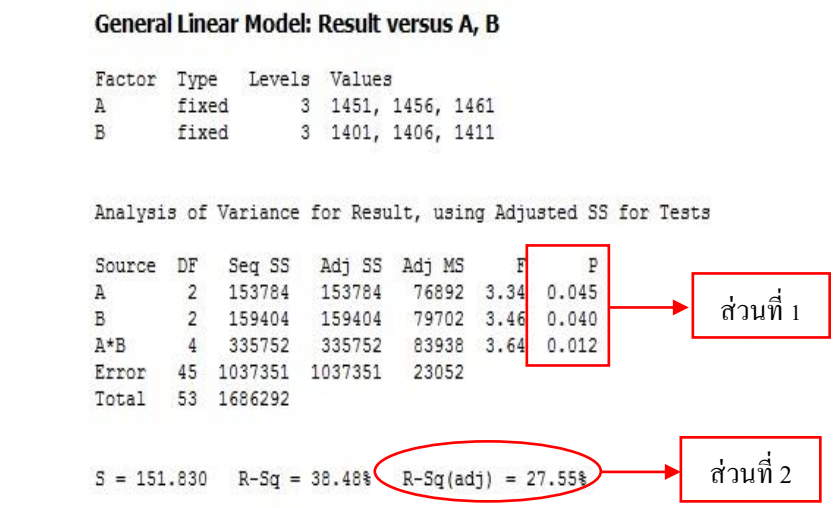


รูปที่ 2.30 ง. ตัวอย่างกราฟการกระจายตัวแบบสุ่ม

จากรูปที่ 2.30ง. กราฟการกระจายตัวแบบสุ่ม ใช้ตรวจสอบข้อมูลว่ามีการกระจายตัวแบบสุ่มหรือไม่ ถ้าการกระจายตัวมีลักษณะนอกเหนือจากรูปที่ 2.30 ง. หรือข้อมูลอาจจะมีรูปแบบไม่ชัดเจน แสดงว่าข้อมูลมีลักษณะแบบสุ่ม

8) อ่านผลจากตาราง ANOVA

การอ่านผลจากตาราง ANOVA เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ความแปรปรวนหรือเรียกว่า ANOVA ซึ่งอ่านจากค่า P - Value ที่ได้จากตารางสรุป ANOVA ว่ามีความสอดคล้องกับสมมติฐานแบบใด



General Linear Model: Result versus A, B

Factor	Type	Levels	Values
A	fixed	3	1451, 1456, 1461
B	fixed	3	1401, 1406, 1411

Analysis of Variance for Result, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	153784	153784	76892	3.34	0.045
B	2	159404	159404	79702	3.46	0.040
A*B	4	335752	335752	83938	3.64	0.012
Error	45	1037351	1037351	23052		
Total	53	1686292				

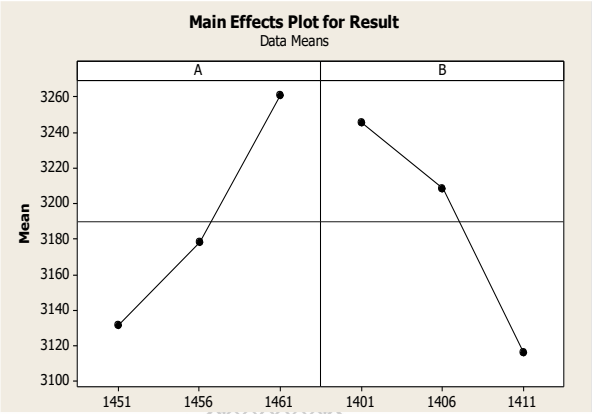
S = 151.830 R-Sq = 38.48% R-Sq(adj) = 27.55%

รูปที่ 2.31 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีผล

จากรูปที่ 2.31 ส่วนที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ปัจจัย A (Weld current 1) ค่า P-Value = 0.045 และปัจจัย B (Weld current 2) ค่า P - Value = 0.040 ซึ่งน้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) ที่กำหนดไว้ ซึ่งต้องปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) แสดงว่าระดับของ Weld Current 1 และ Weld Current 2 มีผลต่อความต้านทานแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย A หรือ Weld Current 1 และ ปัจจัย B หรือ Weld Current 2 ซึ่งค่า P - Value = 0.012 น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ ($\alpha = 0.05$) ที่กำหนดไว้ ซึ่งต้องปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) แสดงว่าระดับของ Weld Current 1 และ Weld Current 2 มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ส่วนที่ 2 ถ้าพิจารณาถึงค่า R - Sq(adj) ปัจจัยตอบสนองตามค่าความต้านทานแรงดึงซึ่งมีค่าเท่ากับ 27.55 % แสดงให้เห็นถึงระดับความสัมพันธ์ผันแปรอยู่ในระดับที่พึงพอใจ การวิเคราะห์ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีอิทธิพลต่อผลตอบสนอง (Response) ทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งทางผู้จัดทำ ได้มีการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้ฟังก์ชัน Factorial Plot เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์

จากการวิเคราะห์พบว่าระดับของปัจจัย A หรือ Weld Current 1 ซึ่งได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด คือ 1461 A ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 3260 Kgf และระดับของปัจจัย B หรือ Weld Current 2 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด คือ 1401 A ซึ่งส่งผลให้ได้ค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 3240 Kgf ดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงของปัจจัย A และ ปัจจัย B

4.2.1 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย (Factorial Plot)

ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยและวัดค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลลัพธ์ (Composite Desirability : D) ซึ่งจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 - 1 ถ้าค่า D มีค่าเท่ากับ 0 หมายความว่า ผลลัพธ์ตัวใดตัวหนึ่งหรือมากกว่าอยู่นอกขีดจำกัดที่ยอมรับได้ ถ้าค่า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายความว่า ผลลัพธ์นั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ ในกรณีที่ผลลัพธ์มีค่าเดียวจะทำให้ค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลลัพธ์ (Composite Desirability) จะมีค่าเท่ากับค่าความพึงพอใจของผลลัพธ์นั้น (Desirability) ค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงในกระบวนการเชื่อมต้านทานแบบจุด (Resistance Spot Welding : RSW) สำหรับการเชื่อมลูกหมากกันโคลง ซึ่งวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้านทานแรงดึง ซึ่งถ้าพบว่า D เท่ากับ 1 แสดงว่าผลลัพธ์นั้นมีความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์

2.9 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

ปรเมศ (2545) ได้กล่าวไว้ว่า การทดลองส่วนมากในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงผลของปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ในกรณีเช่นนี้ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial

Design) จะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิรูปสูงที่สุด การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ในการทดลอง 1 เรพลิเคต (Replicate) จะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล เราจะกล่าวว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน [15]

ปรเมศ (2545) ได้ให้นิยามคำว่า “ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง” ไว้ว่า หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) เนื่องจากว่ามันเกี่ยวข้องกับปัจจัยเบื้องต้นของการทดลอง [15]

นอกจากนี้ปรเมศ (2545) ยังได้กล่าวอีกว่า ในการทดลองบางอย่าง เราอาจจะพบว่าความแตกต่างของผลตอบที่เกิดขึ้นบนระดับต่างๆ ของปัจจัยหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับอื่นๆ ทั้งหมดของปัจจัยอื่น ซึ่งหมายถึงว่า ผลตอบของปัจจัยหนึ่งจะขึ้นกับระดับของปัจจัยอื่นๆ นั่นเอง และเราเรียกเหตุการณ์นี้ว่า การมีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง [15]

2.9.1 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 3 ปัจจัย

ปรเมศ (2545) ได้ให้ความหมายของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 3^k ไว้ว่า การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 3^k หมายถึง การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ กำหนดให้สัญลักษณ์ของปัจจัยและอันตรกิริยาแทนด้วยตัวอักษรใหญ่และระดับทั้งสามของแต่ละปัจจัยมีค่าเป็น ต่ำ ปานกลาง และสูง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามอาจจะใช้เป็นตัวเลข 0 (ต่ำ) , (ปานกลาง) และ(สูง) การทดลองร่วมปัจจัยในการออกแบบ 3^k จะแทนด้วยตัวเลข k ตัว โดยที่ตัวเลขตัวแรกแทนระดับปัจจัย A, ตัวเลขตัวที่สองแทนระดับปัจจับ B,.....,เลขตัวที่ k แทนระดับปัจจัย k ตัวอย่างเช่น ในการออกแบบ 3^2 ตัวเลข 00 หมายถึง การทดลองร่วมปัจจัย A และ B อยู่ที่ระดับต่ำ , 01 หมายถึง การทดลองร่วมปัจจัยที่ A อยู่ที่ระดับต่ำ และ B อยู่ในระดับปานกลาง [15]

ในการออกแบบ 3^k เมื่อปัจจัยมีลักษณะเป็นเชิงประมาณ เราจะแทนระดับต่ำ, ปานกลาง และสูง ด้วย -1, 0 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งการใช้สัญลักษณ์เช่นนี้จะทำได้ง่ายในการสร้างแบบจำลองถดถอยของผลตอบที่เกิดจากแต่ละระดับของปัจจัย ตัวอย่างเช่น การออกแบบ 3^k ให้ x_1 แทนปัจจัย A และ x_2 แทนปัจจัย B แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง y กับ x_1 และ x_2 สามารถแสดงได้โดย

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \varepsilon$$

สังเกตว่าจะมีระดับที่สามของปัจจัยเพิ่มเข้ามาในแบบจำลอง ซึ่งทำให้เราสามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและปัจจัยที่สนใจในลักษณะที่เป็นสมการแบบควอดราติก (Quadratic)

การออกแบบ 3^k ไม่ได้เป็นการออกแบบที่ดีที่สุดในการสร้างแบบจำลองแสดงความสัมพันธ์แบบควอดาติก ซึ่งในกรณีเช่นนี้การออกแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design) ที่จะกล่าวต่อไปจะเป็นทางเลือกที่ดีกว่า

1) รูปทั่วไปของการออกแบบ 3^k

แนวความคิดของการออกแบบ 3^k และ 3^3 สามารถขยายไปสู่กรณีของปัจจัย k ตัว แต่ละตัวประกอบด้วย 3 ระดับ นั่นคือ การออกแบบแฟกทอเรียลแบบ 3^3 สัญลักษณ์แบบดิจิทัลถูกนำมาใช้แทนการทดลองร่วมปัจจัยที่เกิดขึ้น เช่น 0120 หมายถึง การทดลองร่วมปัจจัยในการออกแบบ 3^4 ที่มี Aและ D อยู่ที่ระดับต่ำ B อยู่ที่ระดับปานกลาง C อยู่ที่ระดับสูง การออกแบบ 3^k นี้ จะประกอบการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสิ้น 3^k การทดลอง และมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 3^{k-1} จากการทดลองร่วมปัจจัยเหล่านี้จะทำให้เกิดผลรวมของกำลังสองของผลหลัก k ที่แต่ละตัวมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 2 อันตรกิริยาแบบสองปัจจัยจำนวน c_2^k ซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 4;....; และอัตรกิริยาแบบ k ปัจจัย ซึ่งมีระดับขั้นความเสรี 2^k ถ้ามีการทดลองทั้งสิ้น n เรพลิเคต จะทำให้เกิดขั้นความเสรีทั้งหมดเท่ากับ $n3^{k-1}$ และค่าความผิดพลาดของระดับความเสรีเท่ากับ 3^k (n-1)

ค่าผลรวมของกำลังสองสำหรับผลหลักและอันตรกิริยาสามารถคำนวณได้โดยวิธีการตามปกติของการออกแบบแฟคทอเรียลธรรมดาแล้วอันตรกิริยาแบบสามปัจจัยและสูงกว่าจะไม่ถูกแยกอีกต่อไป อย่างไรก็ตาม อันตรกิริยาแบบ h ปัจจัยจะมีส่วนประกอบแบบเชิงตั้งฉาก จำนวน 2^{h-1} ตัว ซึ่งแต่ละตัวจะมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 2 ตัวอย่างเช่น อันตรกิริยาสี่ปัจจัย ABCD จะมีส่วนประกอบเชิงตั้งฉาก จำนวน $2^{4-1} = 8$ ซึ่งเขียนได้ คือ $ABCD^2$, ABC^2D, AB^2CD ABCD, ABC^2D^2, AB^2C^2D, และ $AB^2C^2D^2$ ในการเขียนส่วนประกอบเหล่านี้ สังเกตว่าตัวเลขยกกำลังของตัวอักษรแรกจะมีค่าเท่ากับ 1 แล้ว ให้นำพจน์นี้มายกกำลังสองและตัวเลขยกกำลังจะลดลงโดยใช้อดูลัส 3 ดังตัวอย่างต่อไปนี้

$$A^2BCD = (A^2BCD)^2 = A^4B^2C^2D^2 = AB^2C^2D^2$$

อันตรกิริยาของส่วนประกอบเหล่านี้ไม่มีความหมายในทางกายรูปแต่ละประการใด และจะมีประโยชน์ในการสร้างการออกแบบที่ซับซ้อน

จะเห็นได้ว่าขนาดของการออกแบบจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตามขนาดของ k ตัวอย่าง เช่น การออกแบบ 3^3 จะประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งสิ้น 27 ตัวต่อหนึ่งเรพลิเคต,การออกแบบ 3^4 จะมี 81 ตัว, การออกแบบ 3^5 จะมี 243 ตัว ,..., เช่นนี้เรื่อยไป ดังนั้น บ่อยครั้งที่เราจะทำการทดลองแบบ 3^k เพียง 1 เรพลิเคตเท่านั้น และนำอันตรกิริยาขั้นสูงมารวมกันเพื่อให้ได้ค่าประมาณของค่าความผิดพลาด ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ถ้าอันตรกิริยาแบบ 3 ปัจจัย หรือมากกว่าสามารถละเลยได้ ดังนั้นการออกแบบ 3^k ที่มีเพียง 1 เรพลิเคต จะให้ค่าระดับขั้นเสรีสำหรับความผิดพลาดเท่ากับ 48 ซึ่งการออกแบบเช่นนี้ยังคงใหญ่เกินไปสำหรับปัจจัย k

การวิเคราะห์กรณีที่ปัจจัย A มีจำนวนระดับเท่ากับ a, ปัจจัย B มีจำนวนระดับเท่ากับ b, ปัจจัย C มีจำนวนระดับเท่ากับ c ต่อไปเช่นนี้เรื่อยๆ และทั้งหมดนี้ถูกจัดให้อยู่ในลักษณะของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล ซึ่งจะมีจำนวนข้อมูลที่ได้ทั้งหมดในการทดลองเท่ากับ $abc...n$ และจะต้องมีอย่างน้อย 2 เรพลิเคต ($n \geq 2$) เพื่อที่จะทำให้สามารถหาค่าผลรวมของกำลังสองที่เกิดจากความผิดพลาดได้ ถ้าอันตรกิริยาที่เป็นไปได้ทั้งหมดถูกนำเข้าไปพิจารณาในแบบจำลอง

ถ้าปัจจัยในการทดลองทั้งหมดเป็นแบบค่าตายตัว เราสามารถที่จะคิดสูตรและทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลหลักและอันตรกิริยาได้โดยง่าย สำหรับแบบจำลองแบบผลตายตัว ตัวทดสอบเชิงสถิติสำหรับผลหลักและอันตรกิริยาสามารถหาได้โดยสร้างค่ากำลังสองเฉลี่ยของสิ่งนั้นขึ้น แล้วหารด้วยค่ากำลังสองเฉลี่ยของความผิดพลาดและการทดสอบสมมติฐานจะใช้ F - Test แบบทดสอบปลายด้านบนหนึ่งด้าน จำนวนระดับขั้นความเสรีสำหรับผลหลักของปัจจัยใดๆ มีค่าเท่ากับจำนวนระดับของปัจจัยนั้นลบด้วย 1 และจำนวนระดับขั้นความเสรีของอันตรกิริยามีค่าเท่ากับผลคูณของระดับขั้นความเสรีของส่วนประกอบของอันตรกิริยานั้นๆ

ตัวอย่างเช่น พิจารณาแบบจำลองการวิเคราะห์ความแปรปรวน 3 ปัจจัย

$$y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \begin{cases} i = 1,2,...,a \\ j = 1,2,...,b \\ k = 1,2,...,c \\ l = 1,2,...,n \end{cases} \qquad (2.44)$$

สมมติว่า A, B และ C มีค่าตายตัว ตารางสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงได้ดังตารางที่ 2.8 ค่าของ F - Test ของผลหลักและอันตรกิริยาหาได้โดยตรงจากค่ากำลังสองเฉลี่ยคาดหมายที่ได้

ตารางที่ 2.8 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแบบจำลอง 3 ปัจจัย แบบ Fixed Effects

Source of Variation	**Sum of Squares**	**Degrees of Freedom**	**Mean Square**	F_0
A	SS_A	$a-1$	MS_A	$F_0 = MS_{AB} / MS_E$
B	SS_B	$b-1$	MS_b	$F_0 = MS_B / MS_E$
C	SS_C	$c-1$	MS_c	$F_0 = MS_C / MS_E$
AB	SS_{AB}	$(a-1)(b-1)$	MS_{AB}	$F_0 = MS_{AB} / MS_E$
AC	SS_{AC}	$(a-1)(c-1)$	MS_{AC}	$F_0 = MS_{AC} / MS_E$
BC	SS_{BC}	$(b-1)(c-1)$	MS_{BC}	$F_0 = MS_{BC} / MS_E$
ABC	SS_{ABC}	$(a-1)(b-1)(c-1)$	MS_{ABC}	$F_0 = MS_{ABC} / MS_E$
Error	SS_E	$abc(n-1)$	MS_E	
Total	SS_T	$abcn-1$		

การคำนวณด้วยมือสำหรับค่าผลรวมทั้งหมดของกำลังสองในตารางที่ 2.9 มีสูตรในการคำนวณดังนี้

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c}\sum_{l=1}^{n} y_{ijkl}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} \tag{2.45}$$

ค่าผลรวมของกำลังสองของผลหลักหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$SS_A = \frac{1}{bcn}\sum_{i=1}^{a} y_{i...}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} \tag{2.46}$$

$$SS_B = \frac{1}{acn}\sum_{j=1}^{b} y_{.j..}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} \tag{2.47}$$

$$SS_C = \frac{1}{abn}\sum_{k=1}^{c} y_{..k.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} \tag{2.48}$$

เพื่อที่จะคำนวณค่าผลรวมของกำลังสองแบบ 2 ปัจจัยของอันตรกิริยา เราจะต้องสร้างตารางผลรวม ซึ่งประกอบด้วยเซลล์จำนวน $A\times B$, $A\times C$ และ $B\times C$ เซลล์ขึ้นมา ซึ่งเกิดจากการยุบตารางเบื้องต้นให้อยู่ในรูปแบบของตารางแบบ 2 ทาง จำนวน 3 ตาราง เพื่อคำนวณค่าต่างๆเหล่านี้ ค่าผลรวมกำลังสองหาได้จาก

$$SS_{AB} = \frac{1}{cn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij..}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_B$$
$$= SS_{Subtotals(AB)} - SS_A - SS_B \quad (2.49)$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{c} y_{i.k.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_C$$
$$= SS_{Subtotals(AC)} - SS_A - SS_C \quad (2.50)$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y_{.jk.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_B - SS_C$$
$$= SS_{Subtotals(BC)} - SS_B - SS_C \quad (2.51)$$

ค่าผลรวมของกำลังสองของอันตรกิริยาแบบ 3 ปัจจัย หาได้จากสูตร

$$SS_{ABC} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c} y_{.jk.}^2 - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC}$$
$$= SS_{Subtotals(ABC)} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} \quad (2.52)$$

ค่าผลรวมของกำลังสองของความผิดพลาดหาได้จากการลบผลรวมของกำลังสองทั้งหมดที่เกิดจากผลหลักและอันตรกิริยาจากผลรวมทั้งหมดกำลังสอง

$$SS_E = SS_T - SS_{Subtotals(ABC)} \quad (2.53)$$

2.10 วิจารณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวรรณกรรม เอกสาร ตำราและบทความวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องจากแหล่งความรู้ต่างๆ เป็นสิ่งที่มีความสำคัญกับบทความวิจัยนี้เป็นอย่างมาก เนื่องจากผู้วิจัยได้ทราบแนวทางการดำเนินงานที่ชัดเจนมากกว่าการทำความเข้าใจด้วยตนเองแบบไม่แสวงหาความรู้จากต่างที่ การศึกษางานวิจัยต่างๆ นอกจากจะให้แบบแผนการดำเนินงานแล้วยังให้หลักการ แนวคิด เทคนิค วิธีการรวมถึงผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือของนักวิจัยหลายๆท่านดังที่ท่านได้ตั้งใจศึกษามา เช่น ดวงรัตน์ ชีวปัญญาโรจน์ และศุภศักดิ์ พงษ์อนันต์ [1] ได้เขียนหนังสือเกี่ยวกับความสูญเสีย 7 ประการ ซึ่งสามารถนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาต่อยอดไปสู่การลดของเสียได้เช่นเดียวกับปรัชญา พจน์จำเนียร [2] ได้ศึกษาการลดจำนวนชิ้นงานแหว่งในกระบวนการเชื่อมซีโอทูของชิ้นส่วนรถยนต์ ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพ [3]โดยใช้แผ่น

ตรวจสอบสำหรับเก็บข้อมูล [4] แล้วใช้แผนภูมิภาพการจัดลำดับ (Pareto Diagram) [4] ใช้แผนภูมิแสดงเหตุและผล [5] ในการวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา (Root Cause) และใช้กราฟสำหรับการอนุมานข้อมูล [6] เพื่อนำไปสู่การดำเนินการแก้ไขปรับปรุงแก้ไขอย่างมีระบบ

การนำสถิติมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยเป็นสิ่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก การจะสร้างความน่าเชื่อถือจากข้อมูลที่ทางผู้วิจัยได้เก็บค่าและศึกษามานั้น สิ่งที่จะสามารถพยากรณ์ความถูกต้อง ความแม่นยำของข้อมูลได้นั้นก็คือ การใช้หลักการทางสถิติเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และประเมินผล เพราะฉะนั้นประโยชน์ของหลักการสถิติสำหรับงานวิจัยนี้ คือ ช่วยในการวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อสภาพปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นเพื่อสามารถหาสาเหตุของรากเหง้าปัญหาได้อย่างถูกต้องและสามารถลดมูลค่าของเสียและช่วยในการลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ได้ ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ คือ ปัญหาผิวลายและผิวมีรอย โดยปัญหาดังกล่าวเกิดจากปัจจัยพื้นฐานทางด้านการกลึง [7],[8] ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราป้อนและความลึกตัด ที่มีความสัมพันธ์กับผลตอบสนองของค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน [9],[10] และจะสัมพันธ์กับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงปัจจัยที่ได้มีการควบคุม คือ ชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง [11] และชนิดของวัสดุตัดเฉือน [12] ซึ่งปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการได้ศึกษาได้มีการอ้างอิงจากงานวิจัยที่ความเกี่ยวข้องต่างๆ ดังนี้ ชัยพฤกษ์ อาภาเวท และคณะ [17] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราการตั้งมีดลึกและอัตราการป้อนที่มีผลต่อแรงตัดเฉือนที่เกิดขึ้นระหว่างการกลึงชิ้นงานเหล็ก St.37 โดยในงานวิจัยนี้ใช้มีดเล็บแบบ Carbide Tip K10 และทำการวัดแรงแบบสเตรนเกจซึ่งสามารถวัดแรงที่เกิดขึ้นระหว่างการกลึงได้ทั้ง 3 แรง จากนั้นทำการตั้งมีดกลึงให้มีค่าอัตราการตั้งมีดลึกได้แก่ 0.3, 0.5, 0.8, 1.0 และ 1.2 มิลลิเมตร โดยกำหนดค่าอัตราป้อนที่ 0.04, 0.07, 0.1, 0.16, 0.2 และ 0.28 มิลลิเมตร/รอบ จากนั้นทำการกลึงและบันทึกค่าแรงกระทำจากเครื่องวัด จากการศึกษาพบว่าแรงการตัดเฉือนจะแปรผันตรงกับอัตราการป้อนตัดและอัตราการกินลึก

สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และคณะ [18] ได้ศึกษาสภาวะการตัดที่เหมาะสมในการกลึงปาดหน้าพลาสติกไนลอนหล่อด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ โดยใช้วิธีการทางสถิติสำหรับการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมมินิแท็ป รุ่น14 (Minitab R.14) ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ความเร็วรอบ (Speed) อัตราป้อนมีด (Feed) และความลึกในการตัด (Depth of Cut) ที่ให้ค่าความขรุขระผิว (Ra) ที่ยอมรับได้ การทดลองนี้ใช้ความเร็วรอบ ที่ 600, 750 และ 900 รอบ/นาที อัตราป้อนมีดที่ 150, 300 และ 600 มิลลิเมตร/นาที และความลึกในการตัดที่ 0.1, 0.2 และ 0.3 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาทำการวัดค่าความขรุขระผิว เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขที่ต้องการ เช่นเดียวกันกับ จุฬาลักษณ์ โรจนานุกูล และสุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ [19] ได้ศึกษาอิทธิพลตัวแปรที่มีผลต่อความขรุขระผิว

และค่าความคลาดเคลื่อนขนาด ในการกลึงไม้มะพร้าว โดยใช้มีดคาร์ไบด์ ปัจจัยที่ทำการทดลอง คือ ความเร็วตัดอัตราป้อน และความลึกในการตัดที่ให้ค่าความขรุขระผิวที่ยอมรับได้ในกระบวนการตัดแต่งเฟอร์นิเจอร์ก่อนนำไปขัดผิวค่าความขรุขระผิวอยู่ในช่วง 3.0 – 9.0 μm. ในการทดลองใช้ไม้มะพร้าวที่มีความชื้น 11 – 13 % โดยกำหนดความเร็วตัดในช่วง 150 - 353 เมตร/นาที อัตราป้อน 0.05 – 0.2 มิลลิเมตร/ รอบ จากการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลความขรุขระผิว คือ อัตราป้อน และความเร็วตัด มีแนวโน้มว่าค่าความขรุขระผิวจะลดลง เมื่อใช้อัตราป้อนต่ำลง และใช้ความเร็วตัดเพิ่มขึ้น

พงษ์พันธ์ ราชภักดี และเฉลิมพล คล้ายนิล [20] ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในการกลึงเหล็กกล้าสแตนเลสเกรด AISI 316 ที่มีผลต่อการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงและความขรุขระพื้นผิว โดยใช้เม็ดมีดกลึงซีเมนต์คาร์ไบด์เคลือบด้วยไทเทเนี่ยมไนไตรด์ภายใต้ค่าความเร็วตัด อัตราป้อน และความลึกในการตัดที่แตกต่างกัน มีการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติ และศึกษาอิทธิพลของอัตราการกำจัดเนื้อโลหะในการวัดการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงและการวัดค่าความขรุขระพื้นผิว ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มอัตราป้อนและอัตราการกำจัดเนื้อโลหะส่งผลให้ค่าความขรุขระพื้นผิวเพิ่มสูงขึ้น

วิมล บุญรอด [21] ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อความขรุขระของผิวอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075 โดยใช้มีดกลึงเครื่องหมายการค้า Plansee Tizit ชนิด DCGT 070204fn-27 เกรด H10T ตัวแปรที่ใช้ศึกษา คือ ความเร็วตัดในช่วง130-220 ม./นาที อัตราป้อน 0.02-0.1 มม./รอบ และความลึกในการตัด 0.45-0.85 มม. ผลการทดลองพบว่าอัตราป้อนมีผลต่อความขรุขระผิวสูงที่สุด โดยค่าความขรุขระผิวมีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อใช้อัตราป้อนต่ำ กัมพล เพชรคง [22] ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความขรุขระผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดในการกลึงไม้ตาลโตนดโดยใช้ใบมีดคาร์ไบด์ โดยปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง คือความเร็วตัดเท่ากับ 170-392 ม./นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.03-0.2 มม./รอบ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลความขรุขระผิวชิ้นงานอยู่ในช่วง 3.0-9.0 μm. และปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิว คือ อัตราป้อนและความเร็วตัด โดยพบว่าค่าความขรุขระผิวจะลดลงเมื่อใช้อัตราป้อนต่ำลงและใช้ความเร็วตัดเพิ่มขึ้น N. Muthukrishnan *et al.* [23] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแปรรูปอะลูมิเนียมซิลิกอนคาร์ไบด์ผสม โดยทำการศึกษาความขรุขระผิวของอะลูมิเนียมซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมภายใต้วัสดุคมตัดคือ PCD จากกระบวนการกลึง โดยกำหนดสภาวะในการทดลองคือ ความเร็วตัด เท่ากับ 6.19, 5.31 และ 3.52 ม./นาที ความลึกตัด เท่ากับ 3.02, 2.63 และ 1.54 มม. และอัตราป้อน เท่ากับ 5.09, 3.77 และ 2.81 มม./รอบ ผลการวิจัยพบว่าถ้าต้องการค่าความขรุขระผิวน้อยที่สุด ควรจะกำหนดเงื่อนไขในการตัดเฉือนที่อัตราป้อน 2.81 มม./รอบ ความเร็วตัดที่ 3.52 ม./นาที จากงานวิจัยที่ได้ศึกษามามีปัจจัยที่นักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาเหมือนกัน ได้แก่ ปัจจัย 3 ปัจจัย คือ

ความเร็วรอบ (Speed of Spindle : S) อัตราป้อน (Feed Rate : F) และความลึกตัด (Depth of Cut : D) โดยตัวแปรตอบสนอง คือค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุ (Roughness ; Ra) แสดงดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการศึกษา

			Condition			
ลำดับ	**ชื่องาน-ชื่อผู้แต่ง**	**เครื่องมือที่ใช้**	**S**	**F**	**D**	**ผลตอบสนอง**
1	**สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และคณะ** การศึกษาสภาวะการตัดที่เหมาะสมในการกลึงปาดหน้าพลาสติกไนลอนหล่อด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ โดยใช้วิธีการทางสถิติสำหรับการออกแบบการทดลอง	DOE	Y	Y	Y	Ra
2	**จุฬาลักษณ์ โรจนานุกูล และสุรสิทธิ์ ระวังวงศ์** อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความขรุขระผิวและการสึกหรอของเม็ดมีดในการกลึงไม้มะพร้าวสำหรับทำชิ้นส่วนเฟอร์นิเจอร์	DOE	Y	Y	Y	Ra
3	**พงษ์พันธ์ ราชภักดี และเฉลิมพล คล้ายนิล** อิทธิพลของตัวแปรในการกลึงเหล็กกล้าสแตนเลสเกรด AISI 316 ที่มีผลต่อการสึกหรอของเม็ดมีดกลึงและความขรุขระพื้นผิว	DOE	Y	Y	Y	Ra
4	**วิมล บุญรอด** การศึกษาปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อความขรุขระของผิวอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075	DOE	Y	Y	Y	Ra
5	**กัมพล เพชรคง** ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความขรุขระผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดในการกลึงไม้ตาลโตนดโดยใช้ใบมีดคาร์ไบด์	DOE	Y	Y		Ra
6	**N. Muthukrishnan** ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแปรรูปอะลูมิเนียมซิลิกอนคาร์ไบด์ผสม	DOE	Y	Y	Y	Ra

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอายุการใช้งานอัตราการสึกหรอของเครื่องมือตัดและคุณภาพผิวงานในการกลึงวัสดุแข็ง ศึกษาโดย Ty G. Drawson and Thomas R. Kurfess [24] ใช้เหล็กเพลา 52100

ความแข็ง 58–62 HRC เป็นวัสดุทดลอง มีรูปแบบการทดลอง 13 แบบ ซึ่งมีเงื่อนไขแตกต่างกัน ใบมีดตัดเป็น CBN ต่างชนิด ผลการศึกษาพบว่าที่อัตราป้อนต่ำกว่า 0.05 มม./รอบ จะมีความแปรปรวนของค่าความขรุขระของพื้นผิวมากแต่หากเพิ่มอัตราป้อนจะทำให้ค่าความขรุขระของพื้นผิวเข้าใกล้ค่าความขรุขระของพื้นผิวทางทฤษฎีและยังพบว่าการเลือกใช้วัสดุตัดชนิด Low CBN content มีสมรรถนะในการตัดเฉือนวัสดุได้ดีกว่าการเพิ่มความเร็วตัด ทำให้อายุการใช้งานของมีดลดน้อยลงที่ใช้ในการกลึงปอกแก่ค่าพารามิเตอร์ภายใต้สภาวะการตัดเฉือนที่แตกต่างกันออกไป

จากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทางผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัยที่จะใช้ในการศึกษา ได้แก่ ความเร็วรอบ (Speed of Spindle) อัตราป้อน (Feed Rate) และความลึกตัด (Depth of Cut) รวมถึงรายละเอียดของการดำเนินการวิจัยนี้ให้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ศึกษามาเพื่อลดเวลาในการค้นหาปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่องานวิจัยและเพื่อต้องการให้ผลลัพธ์ของการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องเป็นมีแนวทางเดียวกันกับผลงานวิจัยที่ได้ศึกษามา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

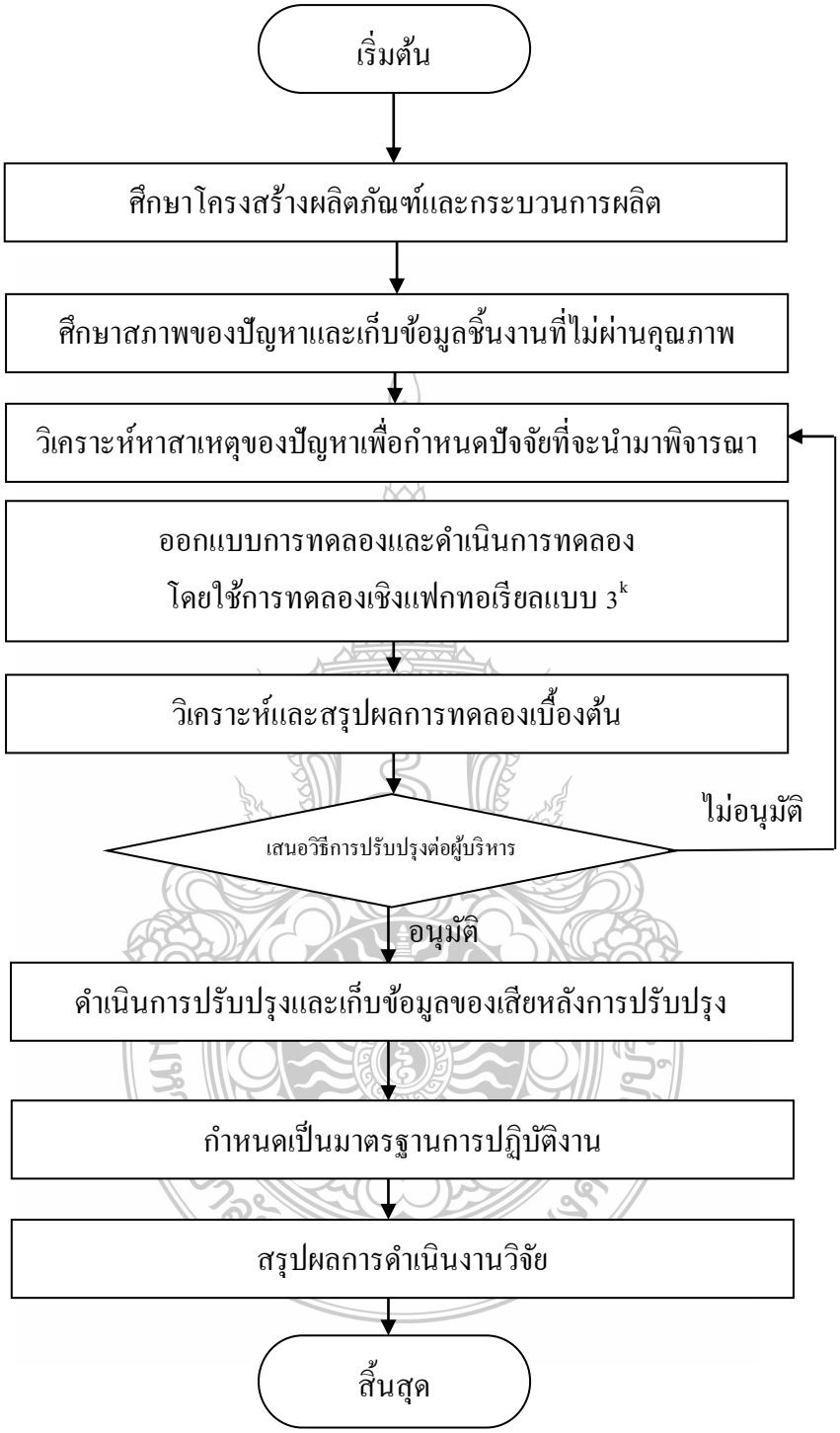
บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงลำดับขั้นตอนและแนวทางที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยการลดของเสียในกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านวิศวกรรมและเทคนิคออกแบบการทดลอง กรณีศึกษาบริษัทตัวอย่างรับผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกล โดยการดำเนินงานวิจัยนี้เริ่มจากการการศึกษาโครงสร้างผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) จากนั้นก็ดำเนินการเก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ โดยนำสภาพปัญหาไปวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด จากนั้นก็ระดมสมอง (Brain Storming) เพื่อหารากเหง้าของปัญหา (Root Cause) เพื่อกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยที่จะนำมาพิจารณา ขั้นต่อไปก็นำปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อผลตอบสนองมาเข้าสู่กระบวนการออกแบบการทดลองทางวิศวกรรมเพื่อพิจารณาหาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานและวิเคราะห์ผลการทดลอง เสนอวิธีการปรับปรุงต่อผู้บริหาร ดำเนินการปรับปรุง เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง กำหนดเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานและสรุปผลการดำเนินการวิจัย โดยสามารถแสดงขั้นตอนดังกล่าวเป็นแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (Flow - Chart) ได้ดังรูปที่ 3.1

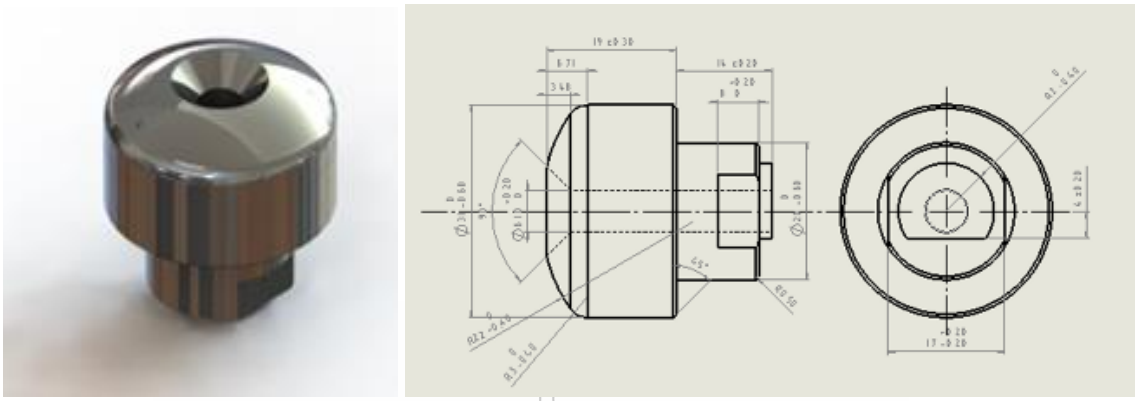
3.1 ศึกษาโครงสร้างผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต

3.1.1 ข้อมูลผลิตภัณฑ์

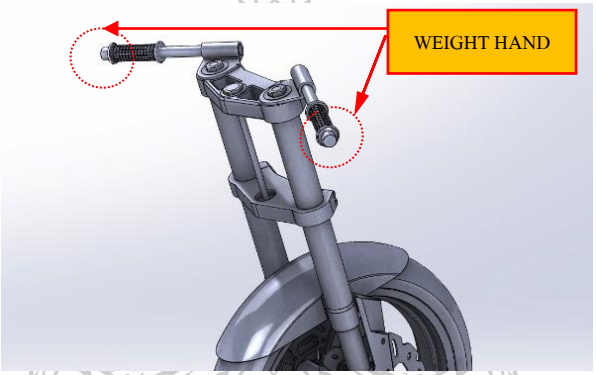
ตามข้อกำหนดของลูกค้าสำหรับการสั่งผลิตชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) ต้องผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) เกรด SS400 ชิ้นงานมีรูปทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 31 มิลลิเมตร ความยาวเท่ากับ 33 มิลลิเมตร มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (Required Average) เท่ากับ 2-6 ไมครอน ชิ้นงานต้องไม่เกิดความผิดปกติของลักษณะพื้นผิว (Surface Texture) เช่น ผิวลายหรือผิวมีรอย เป็นต้น ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์นี้มีตำแหน่งติดตั้งอยู่ที่ปลายแฮนด์หรือคอบังคับเลี้ยวทั้ง 2 ข้างของรถจักรยานยนต์ แสดงดังรูปที่ 3.2 ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) และรูปที่ 3.3 ตำแหน่งติดตั้งตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand)



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.2 ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand)



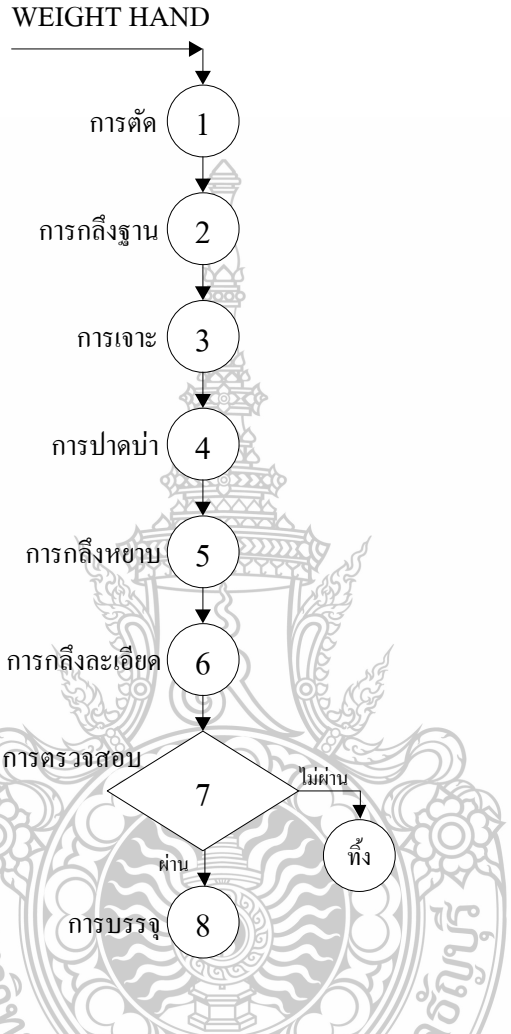
รูปที่ 3.3 ตำแหน่งติดตั้งตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand)

3.1.2 กระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand)

บริษัทตัวอย่างที่ใช้เป็นสถานที่ในการวิจัยนี้ดำเนินธุรกิจประเภทรับผลิตชิ้นงานตามคำสั่งซื้อของลูกค้า (Make to order) จากการศึกษารายการผลิตทั้ง 19 รายการพบว่ารายการผลิตที่ส่งผลกระทบด้านมูลค่างานเสียต่อบริษัทตัวอย่างมากที่สุด คือ รายการผลิตที่ 5 หรือตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) ซึ่งได้แสดงไว้ในบทที่ 1

กระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) มีสายการผลิตเป็นแบบต่อเนื่อง (Continuous Production System) มีการผลิตครั้งละมาก (Mass Production) ในการดำเนินการผลิตนั้นจะใช้องค์ประกอบร่วมที่สำคัญ ได้แก่ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัสดุ (Materials) และวิธีการ (Method) เป็นสิ่งสนับสนุนที่สำคัญของกระบวนการ เพื่อให้การดำเนินการผลิตเป็นไปอย่างมี

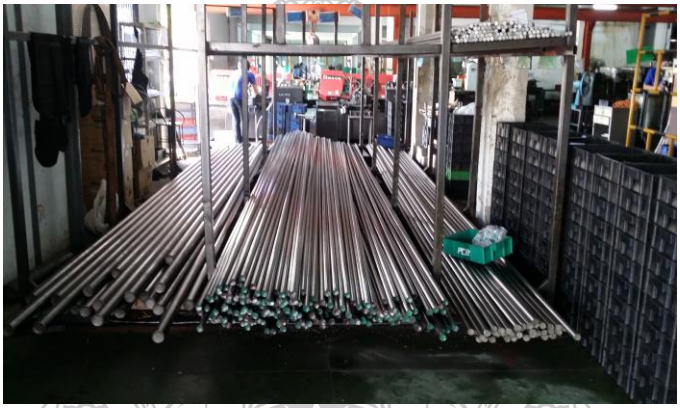
ประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดและขั้นตอนหลักของกระบวนการผลิตออกเป็น 8 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.4 แผนภูมิกระบวนการผลิต (Flow Process Chart)



รูปที่ 3.4 แผนภูมิกระบวนการผลิต (Flow Process Chart)

1. ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการการตัด (Cutting) เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการทั้งหมด โดยเริ่มจากการเตรียมเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) เกรด SS400 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35.5 มิลลิเมตร ความยาว 6 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งผ่านการตรวจสอบคุณภาพแล้ว จำนวนทั้งสิ้น 10 เส้น ลำเลียงขึ้นเครื่องเลื่อยสายพาน ยี่ห้อ AMADA รุ่น HA-250 โดยผู้ปฏิบัติงานจะเรียงเหล็กออกเป็น 2 ชั้น โดยแต่ละชั้นจะมี 5 แถว จากนั้นก็ตรวจสอบแนวการวางตัวของเหล็กให้ได้ระดับตามมาตรฐาน ต่อไปก็จะทำการประสานเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยการเชื่อมไฟฟ้า

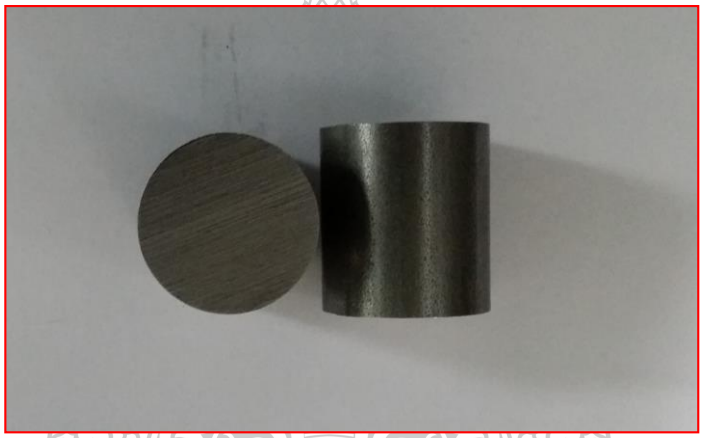
ที่ด้านท้ายของชิ้นงานดังแสดงดังรูปที่ 3.6 เพื่อป้องกันการเคลื่อนและบิดตัวของวัตถุดิบในขณะทำการตัดซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพด้านขนาดและยังส่งผลถึงการแตกหักของใบเลื่อยสายพานด้วย โดยเมื่อเตรียมชิ้นงานเสร็จแล้ว ผู้ควบคุมเครื่องจักรจะดำเนินการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเลื่อยสายพาน โดยกำหนดความเร็วตัด (Speed Cutting) เท่ากับ 50 เมตร/นาที แรงกดของใบเลื่อย (Force) เท่ากับ 14.72 นิวตัน และระยะห่างการตัดเท่ากับ 34.5±0.2 มิลลิเมตร เพื่อเริ่มกระบวนการตัดแสดงดังรูปที่ 3.7 ในระหว่างรอการตัดชิ้นงานพนักงานผู้ควบคุมเครื่องจักรจะทำหน้าที่ทำหน้าที่เกลี่ยชิ้นงานที่ตัดเสร็จแล้วดังรูปที่ 3.8 ลงอ่างน้ำมันหล่อเย็นเพื่อป้องกันการเกิดสนิมบนตัวชิ้นงานและทำความสะอาดชิ้นงานด้วยลม จากนั้นก็ตักชิ้นงานด้วยตะแกรงไปเทใส่ในภาชนะที่เตรียมไว้และโดยแต่ละภาชนะจะบรรจุชิ้นงาน 100 ชิ้น



รูปที่ 3.5 เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) เกรด SS400

รูปที่ 3.6 การเชื่อมไฟฟ้า

รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการตัดวัตถุดิบ



รูปที่ 3.8 ชิ้นงานจากกระบวนการตัด

2. ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการการกลึงฐาน (Machining 1) ในขั้นตอนนี้จะนำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการตัดในขั้นตอนแรกมาเข้าสู่กระบวนการการกลึงฐาน โดยการปอกผิวที่ตำแหน่งฐานของชิ้นงานให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 20 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ขนาดตามข้อกำหนด โดยในขั้นตอนนี้จะใช้พนักงานผู้ปฏิบัติงานทำงานร่วมกับเครื่องจักรอัตโนมัติซีเอ็นซี (Computer Numerical Control ; CNC) ที่ถูกป้อนชุดคำสั่งในการกลึงไว้แล้ว (NC CODE) โดยวิศวกรควบคุม ซึ่งพนักงานทำหน้าที่ป้อนชิ้นงาน (Load) และถอดชิ้นงาน (Unload) โดยขั้นตอนนี้พนักงานจะป้อนชิ้นงานที่ตำแหน่งหัวจับชิ้นงานชนิด 3 ฟันจับ (A Three-Jaw Universal Geared Scroll Chuck) ของเครื่องจักรครั้งละ 1 ชิ้น ดังรูปที่ 3.9 จากนั้นก็กดปุ่มเริ่มดำเนินการกลึงฐาน ดังรูปที่ 3.10 และรอจนเสร็จสิ้นกระบวนการ ซึ่ง

ชิ้นงาน 1 ชิ้นจะใช้เวลาในการผลิตประมาณ 53 วินาที โดยระหว่างรอการกลึงฐานพนักงานก็จะนำชิ้นงานที่ผลิตเสร็จดังรูปที่ 3.11 แล้วมาทำการตรวจสอบหาตำหนิบนตัวชิ้นงานด้วยการใช้สายตาตรวจสอบ (Visual Control) และทำความสะอาดเศษขี้เหล็กที่ติดมากับตัวชิ้นงานด้วยลมอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นก็นำชิ้นงานไปวางในภาชนะ โดยจะบรรจุ 100 ชิ้น/ภาชนะ และจะบันทึกจำนวนชิ้นงานลงในใบบันทึก (Tag Card)

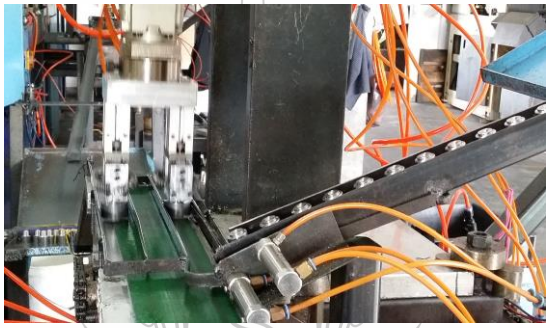
รูปที่ 3.9 หัวจับชิ้นงานชนิด 3 ฟันจับ

รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการกลึงฐาน

รูปที่ 3.11 ชิ้นงานจากกระบวนการกลึงฐาน

3. ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการการเจาะ (Drilling) ในขั้นตอนนี้จะนำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการการกลึงฐานในขั้นตอนที่ 2 มาเข้าสู่กระบวนการเจาะด้วยเครื่องเจาะแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi Automation Drilling) ที่ควบคุมการทำงานด้วยระบบอัตโนมัติ (Programmable Logic Controller : PLC) โดยใช้พนักงานเป็นผู้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งชิ้นงานจะถูกป้อนลงบนถาดสไสด์ดังรูปที่ 3.12 โดยอาศัยหลักการของแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อให้ชิ้นงานไหลไปตามรางบังคับดังรูปที่ 3.13 เพื่อนำพาชิ้นงานเข้ากระบวนการเจาะ โดยชิ้นงานจะถูกเจาะรูด้วยคมตัดของดอกสว่านจำนวน 2 ครั้ง ครั้งแรกจะถูกเจาะด้วยดอกสว่านขนาด 5.9 มิลลิเมตร ที่ความลึก 2.5 มิลลิเมตร และครั้งที่สองชิ้นงานจะถูกเจาะด้วยดอกสว่านขนาด 6.1 มิลลิเมตร ที่ความลึก 2.5 มิลลิเมตร เช่นเดียวกัน โดยจะใช้เวลาในการเจาะประมาณ 22 วินาที/ชิ้น ดังรูปที่ 3.14 ซึ่งการตรวจสอบในขั้นตอนนี้จะตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานด้วยอุปกรณ์ช่วยในการตรวจสอบคือ ปลั๊กเกจ (Plug Gauge) แสดงดังรูปที่ 3.15 ขั้นตอนการเจาะ และรูปที่ 3.16 ชิ้นงานจากกระบวนการการเจาะ

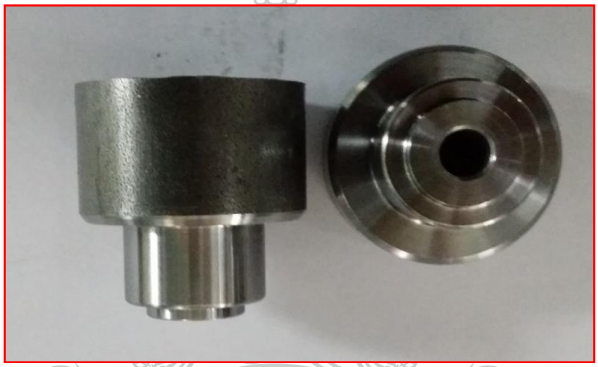
รูปที่ 3.12 การป้อนชิ้นงาน



รูปที่ 3.13 รางสำหรับลำเลียงชิ้นงาน

รูปที่ 3.14 ขั้นตอนการเจาะ

รูปที่ 3.15 การตรวจสอบโดยใช้ปลั๊กเกจ



รูปที่ 3.16 ชิ้นงานจากกระบวนการเจาะ

4. ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการการปาดบ่า (Milling Step) ในขั้นตอนนี้จะนำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการเจาะมาทำการปาดบ่าที่ชิ้นงานให้ได้ขนาดตามข้อกำหนด โดยใช้เครื่องกัดซีเอนซี (CNC Milling Machine) ชนิด (Machining Center) ดังรูปที่ 3.17 ซึ่งใช้พนักงานผู้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร ทำหน้าที่ป้อนชิ้นงาน (Load) และถอดชิ้นงาน (Unload) ที่อุปกรณ์จับยึด (Jig) จำนวน 2 ชุด ชุดละ 16 ชิ้น จากนั้นทำการขันแน่นอุปกรณ์จับยึดเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของชิ้นงานก่อนเข้าสู่กระบวนการปาดบ่า โดยขั้นตอนนี้จะใช้เวลาการปาดบ่าประมาณ 287 วินาที/ชุด ดังรูปที่ 3.18 ซึ่งระหว่างรอการปาดบ่าพนักงานก็จะนำชิ้นงานที่ผลิตเสร็จแล้วมาทำการตรวจสอบหาตำหนิบนตัวชิ้นงานด้วยการใช้สายตาตรวจสอบ (Visual Control) และทำความสะอาดเศษเหล็กที่ติดมากับตัวชิ้นงานด้วยลมอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะบรรจุชิ้นงานลงภาชนะ 100 ชิ้น และบันทึกจำนวนของชิ้นงานลงในใบบันทึก (Tag Card) และรูปที่ 3.19 ชิ้นงานจากกระบวนการปาดบ่า

รูปที่ 3.17 เครื่องกัดซีเอนซี (CNC Milling Machine)

รูปที่3.18 การปาดบ่าชิ้นงาน

รูปที่ 3.19 ชิ้นงานจากกระบวนการปาดบ่า

5. ขั้นตอนที่ 5 การกลึงหยาบ (Machining 2) ในขั้นตอนนี้จะนำชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนการปาดบ่ามาเข้าสู่กระบวนกลึงหยาบด้วยการกลึงปอกผิววัสดุแบบหยาบเพื่อลดขนาดของชิ้นงานอย่างรวดเร็วเพื่อให้ได้ขนาดใกล้เคียงกับข้อกำหนด โดยขั้นตอนนี้จะใช้เครื่องกลึงแบบอัตโนมัติ (CNC Lathe Machine) ดังรูปที่ 3.20 ใช้เม็ดมีดคาร์ไบด์ เกรด TNGG 160404 – GN โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับการตัดเฉือนที่ความเร็วตัด (Speed of Spindle) เท่ากับ 1450 รอบ/นาที อัตราป้อน (Feed Rate) เท่ากับ 0.30 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกป้อนตัด (Depth of Cut) เท่ากับ 2 มิลลิเมตร โดยขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 25 วินาที/ชิ้น ดังรูปที่ 3.21 ชิ้นงานจากกระบวนการการกลึงหยาบ

รูปที่ 3.20 ขั้นตอนการกลึงหยาบ

รูปที่ 3.21 ชิ้นงานจากกระบวนการการกลึงหยาบ

6. ขั้นตอนที่ 6 การกลึงละเอียด (Machining 3) ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการผลิตขั้นสุดท้ายก่อนจะนำชิ้นงานไปตรวจสอบคุณภาพ (Inspection) และบรรจุภัณฑ์ (Packing) เพื่อเตรียมจัดส่งให้ลูกค้า การกลึงละเอียดเป็นขั้นตอนการเก็บผิวชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานมีความขนาด (Dimension) และความละเอียดผิว (Surface Roughness) ตามข้อกำหนด (Specification) โดยขั้นตอนนี้จะใช้เครื่องกลึงแบบอัตโนมัติ (CNC Lathe Machine) FEMCO รุ่น HL-25 สามารถปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับการตัดเฉือนได้ ภายใต้การเลือกใช้มีดกลึงคาร์ไบด์ เกรด (TN-60) ซึ่งมีเงื่อนไขในการตัดเฉือน ณ.ปัจจุบัน ดังนี้ ความเร็วรอบ (Speed of Spindle) 3,500-4,000 รอบ/นาที อัตราป้อน (Feed Rate) เท่ากับ 0.10-0.33 มม./รอบ และความลึกตัด (Depth of Cut) เท่ากับ 1.00-1.50 มม. โดยขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 25 วินาที/ชิ้น แสดงดังรูปที่ 3.22 ขั้นตอนกลึงละเอียด และรูปที่ 3.23 ชิ้นงานจากกระบวนการการกลึงละเอียด

รูปที่ 3.22 ขั้นตอนการกลึงละเอียด

รูปที่ 3.23 ชิ้นงานจากกระบวนการการกลึงละเอียด

7. ขั้นตอนที่ 7 การตรวจสอบชิ้นงาน (Inspection) ในขั้นตอนนี้จะทำการตรวจชิ้นงานที่ผ่านกลึงละเอียดมาแล้วมาทำการตรวจสอบด้วยการตรวจสอบ 5 แบบ ได้แก่ 1) การตรวจสอบสายตา (Visual Control) 2) การใช้เครื่องมือช่วยสำหรับการตรวจสอบ เช่น เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์แบบดิจิตอล ดังรูปที่ 3.24 การใช้ปลั๊กเกจดังรูปที่ 3.25 3) การตรวจสอบด้วยเครื่องวัดขนาดชิ้นงานละเอียดแบบแสงเงา (Profile Projector) ดังรูปที่ 3.26 4) เครื่องมือวัดชิ้นงานแบบ 3 มิติ (Coordinate Measuring Machine ; CMM) ดังรูปที่ 3.27 และ 5) เครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness) ยี่ห้อ Mahr รุ่น Surf GD 120 ดังรูปที่ 3.28

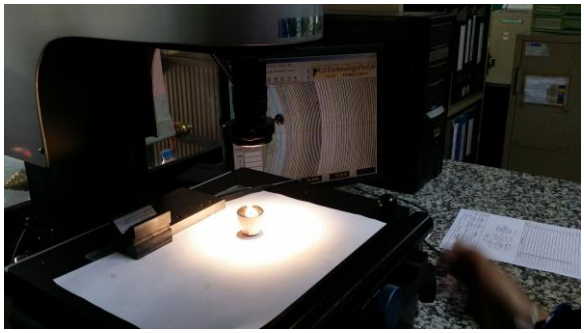
รูปที่ 3.24 การใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ตรวจสอบขนาดชิ้นงาน

วัตถุประสงค์ของกระบวนการนี้จะเป็นการตรวจสอบแบบ 100 เปอร์เซนต์ เพื่อคัดแยกชิ้นงานเสียจากกระบวนการกลึงละเอียด (Machining 3) ออกจากชิ้นงานดี ซึ่งการตรวจสอบนี้จะใช้เครื่องมือวัดละเอียด คือ เวอร์เนียคาลิปเปอร์ โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการวัดละเอียดจะใช้รายละเอียดจากใบตรวจสอบที่แสดงไว้ในบทที่ 2 ซึ่งจะพิจาณาด้านมิติของชิ้นงาน (Dimension) เช่น การตรวจสอบความยาว การตรวจสอบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง การตรวจสอบความลึกของชิ้นงาน เป็นต้น

รูปที่ 3.25 การใช้ปลั๊กเกจตรวจสอบขนาดรูชิ้นงาน

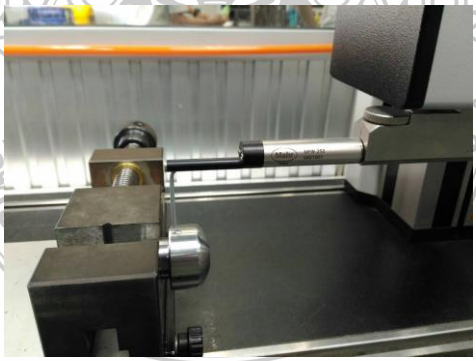
รูปที่ 3.26 การใช้เครื่องวัดขนาดชิ้นงานละเอียดแบบแสงเงา

จากการตรวจสอบ (Visual Control) แบบ 100 เปอร์เซนต์ ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนการสุ่มตรวจสอบของหน่วยงานประกันคุณภาพ QA เพื่อให้แน่ใจว่างานที่ส่งออกไปได้ตรงตามคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้ากำหนด โดยเครื่องวัดขนาดชิ้นงานละเอียดแบบแสงเงาเป็นเครื่องวัดขนาดชิ้นงานที่มีความแม่นยำสูง ด้วยหลักการใช้เลนส์และแสงกระทำโดยตรงฉายเป็นภาพชิ้นงานแสดงผลบนจอแสดงผลอ่านค่าเป็นแบบ Digital Readout สามารถส่องภาพแบบทึบแสงได้ โดยจะใช้ตรวจสอบบริเวณส่วนโค้งและส่วนตัดของชิ้นงาน ซึ่งจะสุ่มชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบทั้งหมดจากการตรวจสอบ (Visual Control) แบบ 100 เปอร์เซนต์ โดยทุกๆ ชิ้นงานจำนวน 100 ชิ้น จะทำการสุ่มจำนวน 3 ชิ้น ตามมาตรฐานของโรงงานกำหนดไว้



รูปที่ 3.27 เครื่องมือวัดชิ้นงานแบบ 3 มิติ

เครื่องมือวัดชิ้นงานแบบ 3 มิติ (Coordinate Measuring Machine ; CMM) เป็นการวัดแบบไม่สัมผัส (Non-Contact Coordinate Measurement Machine) โดยเป็นเครื่องมือวัดละเอียดที่สามารถวัดชิ้นงานที่มีรูปร่างสลับซับซ้อนด้วยการตอบสนองลักษณะของชิ้นงานที่เป็นไปตามเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตและมิติ (Geometry Dimensional and Tolerancing: GD&T) อีกทั้งยังสามารถนำผลการวัดที่ได้จากเครื่อง CMM ไปเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้ใน CAD ไฟล์ และยังสามารถแสดงค่าความแตกต่างระหว่างค่าที่อ่านได้จากเครื่อง CMM กับค่าจาก CAD ไฟล์ โดยจะใช้ตรวจสอบขนาดทางกายภาพของชิ้นงานและยังสามารถตรวจสอบค่าความร่วมศูนย์ของชิ้นงานได้อีกด้วย



รูปที่ 3.28 เครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness)

การใช้เครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness) นี้จะเป็นขั้นตอนการสุ่มตรวจสอบของหน่วยงานประกันคุณภาพ QA เพื่อสร้างความมั่นใจในสินค้าที่ส่งออกไปให้ได้ตรงตามต้องการ

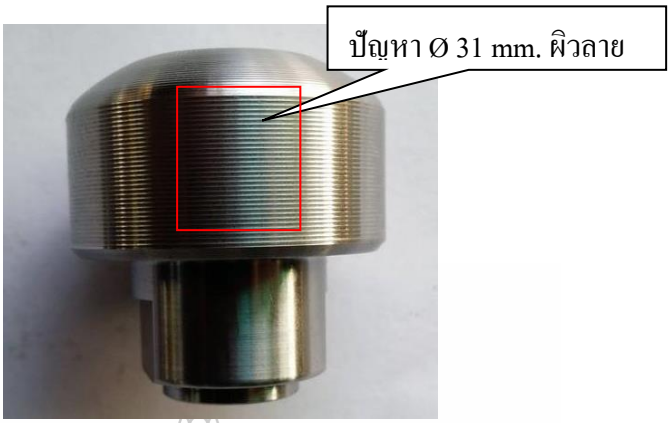
ของผลิตภัณฑ์ที่ลูกค้ากำหนด โดยการสุ่มชิ้นงานจากขั้นตอนการตรวจสอบมาทดสอบหาคุณลักษณะทางกายภาพของชิ้นงานตามเงื่อนไขของการตรวจสอบเพื่อยืนยันคุณภาพของชิ้นงาน ซึ่งจะสุ่มชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบทั้งหมดจากการตรวจสอบ โดยทุกๆ ชิ้นงานจำนวน 100 ชิ้น จะทำการสุ่มจำนวน 3 ชิ้น ตามมาตรฐานของโรงงานกำหนดไว้ หรือในรุ่นการผลิตต่างๆกันก็จะใช้ตารางการสุ่มเพื่อการยอมรับเป็นเอกสารกำหนด หรือตามที่ลูกค้าระบุมาเป็นข้อกำหนดเฉพาะในการผลิต

8. ขั้นตอนที่ 8 กระบวนการบรรจุ (Packing) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการทั้งหมด โดยพนักงานจะนำชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบแล้ว มาชุบน้ำมันกันสนิมอีกครั้งและจะบรรจุชิ้นงานบรรจุลงภาชนะที่เตรียมไว้ภายในโฟมกันกระแทกเพื่อป้องกันปัญหาชิ้นงานมีรอย ดังรูปที่ 3.29 และในระหว่างการจัดส่งจะซีลด้วยพลาสติกคลุมไว้อีกชั้นป้องกันไฟเพื่อป้องกันการเกิดสนิมและป้องกันเศษฝุ่นละอองมาติดที่ตัวชิ้นงาน

รูปที่ 3.29 การบรรจุชิ้นงานบรรจุลงกล่อง

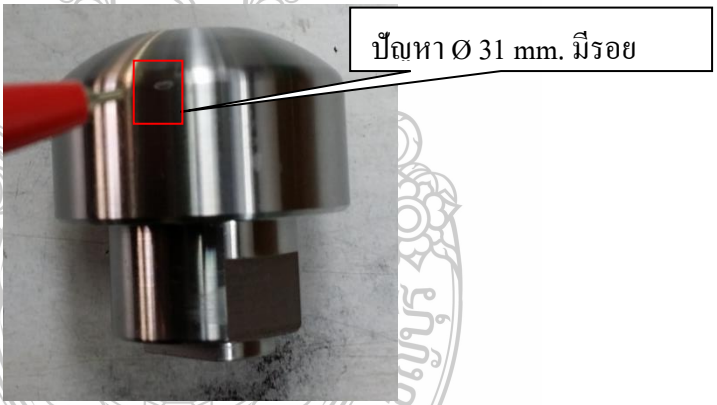
3.2 การศึกษาและวิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

จากการที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลความสูญเสียจากกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) ในช่วงเดือน มิ.ย.-พ.ย. พ.ศ.2558 พบว่าบริษัทตัวอย่างได้ผลิตชิ้นงานที่ไม่ผ่านคุณภาพ คิดเป็นมูลค่าเฉลี่ยต่อเดือน เท่ากับ 73,440 บาท/เดือน หรือเท่ากับร้อยละ 62.51 ของมูลค่างานเสียทั้งหมด และจากการคัดเลือกปัญหาด้วยกราฟพาเรโต (Pareto- Chart) ซึ่งแสดงในบทที่ 1 โดยใช้หลักการวิเคราะห์แบบ 80:20 จะพบว่าปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสายการผลิตมากที่สุด คือ 1) ปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย ดังรูปที่ 3.30 และ 2) ปัญหา Ø 31 mm. เป็นมีรอย ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.30 ปัญหาชิ้นงาน Ø 31 mm. ผิวลาย

ตัวอย่างชิ้นงานผิวลายที่พนักงานผู้ตรวจสอบ (Inspector) ตรวจสอบพบเจอในขั้นตอนที่ 7 การตรวจสอบ (Inspection) และได้แยกประเภทของงานเสียไว้สำหรับการจำหน่ายซาก

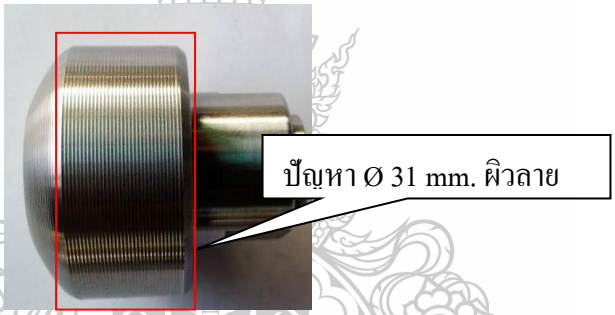


รูปที่ 3.31 ปัญหา Ø 31 mm. เป็นรอย

3.2.1 การวิเคราะห์สภาพปัญหาสภาพปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย

ปัญหา Ø 31 mm. ผิวลายนั้นเกิดขึ้นที่บริเวณผิวของชิ้นงานที่ตำแหน่ง Ø 31 mm. มีลักษณะเป็นลูกคลื่นทั่วบริเวณของชิ้นงานดังรูปที่ 3.32 หรือบางครั้งจะเกิดแต่บางตำแหน่งดังรูปที่ 3.33 มีตำแหน่งการเกิดไม่คงที่ ซึ่งตำแหน่งที่เกิดขึ้นจะจำกัดขอบเขตที่บริเวณ Ø 31 mm. และลายที่เกิดขึ้นนั้นมีทิศทางเป็นแนวเดียวกันกับทิศทางการกลึง โดยสภาพปัญหานี้สามารถพิจารณาด้วยสายตา

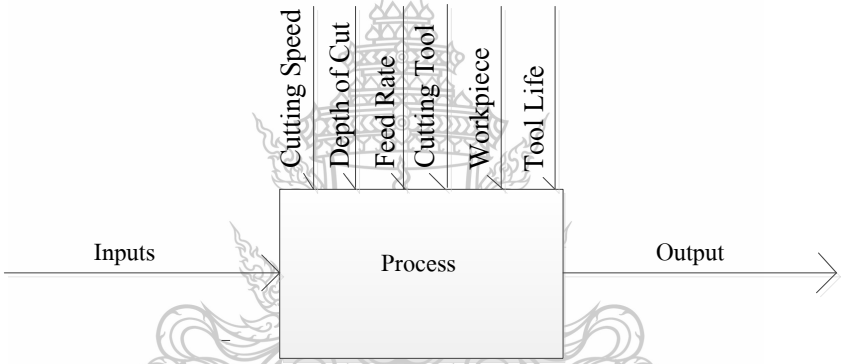
สำหรับการตรวจสอบได้ (Visual Control) ซึ่งสภาพปัญหาดังกล่าวนี้เกิดในขั้นตอนที่ 6 การกลึงละเอียด (Machining 3) แต่จะตรวจสอบพบในขั้นตอนที่ 7 (Inspection) เนื่องจากในขั้นตอนที่ 6 ผู้ปฏิบัติงานจะมีหน้าที่ป้อนและบรรจุชิ้นเข้าเครื่องจักรเท่านั้น โดยปัญหาดังกล่าวสามารถที่จะตรวจสอบได้อีกหนึ่งวิธี คือ การสุ่มตรวจสอบความหยาบผิวของชิ้นงานจะใช้เครื่องวัดค่าความหยาบผิวทดสอบเพื่อประเมินผล ซึ่งข้อกำหนดของลูกค้าต้องการค่าความหยาบผิวเฉลี่ย เท่ากับ 2-6 ไมครอน โดยชิ้นงานที่มีผิวลายหรือมีความขรุขระของผิวมากแสดงว่ามีความหยาบมาก เมื่อนำไปทดสอบค่าความหยาบผิวจะได้ผลเกินข้อกำหนดของลูกค้า ตรงกันข้ามถ้าชิ้นงานมีความขรุขระน้อยก็แสดงว่ามีความหยาบน้อย เมื่อนำไปทดสอบค่าความหยาบผิวจะได้ผลตามข้อกำหนดของลูกค้า แต่ในบางครั้งชิ้นงานที่มีผิวลายบางตำแหน่ง เมื่อนำไปทดสอบค่าความหยาบผิวจะได้ผลตามข้อกำหนดของลูกค้า ซึ่งจำเป็นต้องใช้เกณฑ์การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Control) มาประกอบการพิจารณาเพื่อประเมินผลการตรวจสอบอีกทางด้วย



รูปที่ 3.32 ปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย

รูปที่ 3.33 ปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย

โดยปัญหา Ø 31 mm. มีผิวลาย จากการสำรวจพบว่าเกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตที่ 6 การกลึงละเอียด (Machining 3) โดยสภาพปัญหาดังกล่าวนี้ผู้วิจัยได้มีการศึกษาและมีการระดมสมอง (Brain Storming) จากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสายการผลิต เช่น หัวหน้างานที่มีประสบการณ์ คณะผู้ดำเนินงานและพนักงานในสายการผลิตถึงแนวทางการลดปัญหาการผลิตงานเสีย ซึ่งจากการวิเคราะห์สภาพปัญหาหน้างานที่เกิดขึ้นและอ้างอิงจากความสอดคล้องของงานทฤษฎีและวิจัยต่างๆที่ได้ทำการศึกษามาว่าน่าจะเกิดจากปัจจัยพื้นฐานของการกลึงปอก ได้แก่ อัตราป้อน (Feed Rate) ความเร็วตัด (Cutting Speed) ระยะป้อนลึก (Depth of Cut) มีดกลึง (Cutting Tool) ชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Workpiece) และการสึกหรอของมีดกลึง (Tool Life) โดยมีผลตอบสนอง คือความละเอียดของผิวชิ้นงาน (Surface Roughness) ดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 ปัจจัยพื้นฐานของการกลึงปอก

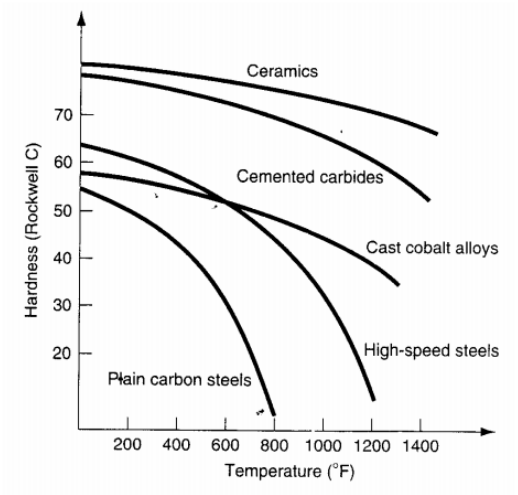
การค้นหาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา Ø 31 mm. มีผิวลายนั้น ผู้วิจัยจะวิเคราะห์จากปัจจัยพื้นฐานของการกลึงปอก จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังที่กล่าวมาในบทที่ 2 พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความหยาบผิวของวัสดุมี 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ อัตราป้อน (Feed Rate) ความเร็วตัด (Cutting Speed) และระยะป้อนลึก (Depth of Cut) และอีก 3 ปัจจัยเป็นปัจจัยเลือกที่ถูกควบคุมระหว่างการปฏิบัติงานเพื่อไม่ให้เกิดความแปรผันของผลตอบสนอง ได้แก่ มีดกลึง (Cutting Tool) ชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Workpiece) และการสึกหรอของมีดกลึง (Tool Life)

มีดกลึง (Cutting Tool) เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ถูกควบคุมสำหรับกระบวนการตัดเฉือนที่ใช้ในกระบวนการ คือ มีดกลึงคาร์ไบด์ เกรด (TN-60) ซึ่งมีค่าความแข็งแรง 90 HRA ณ. อุณหภูมิห้อง แสดงดังรูปที่ 3.35

Material	Hardness	Transverse Rupture Strength lb/in.^{2}	(MPa)
Plain carbon steel	60 HRC	750,000	(5200)
High-speed steel	65 HRC	600,000	(4100)
Cast cobalt alloy	65 HRC	325,000	(2250)
Cemented carbide (WC)			
Low Co content	93 HRA, 1800 HK	200,000	(1400)
High Co content	90 HRA, 1700 HK	350,000	(2400)
Cermet (TiC)	2400 HK	250,000	(1700)
Alumina (Al_2O_3)	2100 HK	60,000	(400)
Cubic boron nitride	5000 HK	100,000	(700)
Polycrystalline diamond	6000 HK	150,000	(1000)
Natural diamond	8000 HK	215,000	(1500)

รูปที่ 3.35 ค่าความแข็งแรงของวัสดุ ณ อุณหภูมิห้อง

จะเห็นว่าความแข็งแรงของวัสดุต่างๆที่อุณหภูมิต่างกัน ค่าความแข็งแรงของวัสดุจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จากกราฟจะพบว่าวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนจะสูญเสียความแข็งแรงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ส่วนวัสดุซีเมนต์คาร์ไบด์จะยังคงความแข็งได้มากที่อุณหภูมิสูงๆ เมื่อพิจารณาพบว่า มีความเหมาะสมที่เลือกใช้วัสดุตัดเฉือนมีดกลึงคาร์ไบด์มาทำการกลึงปอกชิ้นงานที่ต้องการทำการตัดเฉือน (Workpiece) คือ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง ดังรูปที่ 3.36 ซึ่งชิ้นงานที่จะทำการตัดเฉือนในขั้นตอนที่ 6 การกลึงละเอียด (Machining 3) นั้นจะถูกประกันคุณภาพด้านมิติของชิ้นงาน (Dimensions) มาแล้วจากการสุ่มตรวจด้วย (Inspectors)



รูปที่ 3.36 ความสัมพันธ์ของชนิดวัสดุกับค่าความแข็ง

มีดกลึง (Cutting Tool) ที่ใช้จะมีการควบคุมอายุการใช้งาน (Tool Life) ของเม็ดมีดโดยพิจารณาจากจำนวนชิ้นงาน (Parts Count) ซึ่งการทำงานก่อนปรับปรุงจะใช้เม็ดกลึงชิ้นงาน 400 ชิ้นต่อมุม ถึงจะเริ่มเปลี่ยนมุมของเม็ดมีดอีกครั้ง โดยเม็ดมีด 1 ชิ้น ราคา 300 บาทต่อหน่วย โดยสาเหตุที่ผู้วิจัยไม่ได้นำปัจจัยมีดกลึง (Cutting Tool) มาเป็นปัจจัยหลักในการวิเคราะห์ เนื่องจากการเฝ้าติดตามสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดปัญหาชิ้นงานผิวลายเกิดขึ้น ผู้ควบคุมสายการผลิตได้ทดลองเปลี่ยนเม็ดมีดใหม่มาใช้แทนเม็ดมีดเดิม เพราะสันนิษฐานว่าเม็ดมีดเดิมอาจจะเกิดปัญหา การสึกหรอของมีดมัด (Tool Wear) หรืออาจจะเกิดการแตกหักของใบมีดจึงได้ทดลองเปลี่ยนเม็ดมีดใหม่มาใช้แทนเม็ดมีดเดิมและเริ่มกระบวนการการกลึงละเอียด (Machining 3) ด้วยเงื่อนไขการตัดเฉือนแบบเดิม ซึ่งพบว่าชิ้นงานที่ออกมาประมาณ 10 ชิ้นแรกเป็นชิ้นงานดี แต่พอเริ่มชิ้นงานที่ 11 ผลที่ได้กลับตรงกันข้ามเกิดเป็นชิ้นงานเสีย(Waste) คือ Ø 31 mm. ผิวลาย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถึงจะทดลองเปลี่ยนเม็ดมีดใหม่แต่ยังไม่สามารถแก้ไขสภาพปัญหาได้

ด้วยเหตุนี้ทำให้ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ต่อเนื่องไปในเรื่องของการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของการตัดเฉือนที่ไม่เหมาะสมของปัจจัยพื้นฐานการกลึง 3 ปัจจัย อาจจะส่งผลให้เกิดปัญหาเรื่องชิ้นงานผิวลายเกิดขึ้น โดยจากการสำรวจหน้างานพบว่าการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของการตัดเฉือนในสภาพการทำงานปัจจุบันนั้นถูกปรับตั้งโดยหัวหน้างาน ซึ่งถูกกำหนดจากประสบการณ์ของหัวหน้างานและมีการปรับเปลี่ยนแบบไม่คงที่ตามสถานการณ์ของกระบวนการ

การปรับค่าพารามิเตอร์ของผู้ควบคุมสายการผลิตจะปรับครั้งแรกในกรณีมีการตั้งค่าเครื่องจักรก่อนที่จะเริ่มการผลิตและจะมีการปรับตั้งพารามิเตอร์อีกครั้งในกรณีที่ชิ้นงานที่ได้จาก

กระบวนการผลิตเกิดข้อบกพร่อง คือปัญหาผิวลาย ซึ่งเมื่อเกิดปัญหาผิวลายทางผู้ควบคุมสายการผลิตจะทำการเพิ่มและลดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ (Speed of Spindle) อัตราป้อน (Feed Rate) และความลึกตัด (Depth of Cut) ดังกล่าวโดยไม่มีค่าที่แน่นอนซึ่งจะปรับตั้งค่าจนกว่าชิ้นงานที่ได้ไม่เกิดข้อบกพร่อง ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นตัวแปรหนึ่งที่อาจจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน ซึ่งผู้วิจัยมองว่าการกำหนดพารามิเตอร์ในลักษณะนี้มีลักษณะเหมือนกับการลองผิดลองถูกหรือการใช้การทดลองปรับตั้งค่าของกระบวนการทีละค่า (One Factor At a Time) จากผู้ควบคุมสายการผลิตเพื่อให้ชิ้นงานมีคุณภาพ ซึ่งการกำหนดค่าพารามิเตอร์ลักษณะนี้จะมีความไม่แน่นอนของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตัดเฉือน ซึ่งจะใช้เป็นช่วงของค่าพารามิเตอร์แต่ไม่ทราบว่าช่วงไหนที่เหมาะสมที่สุด

โดยเงื่อนไขในการตัดเฉือน ณ.ปัจจุบัน พบว่ามีการใช้พารามิเตอร์เป็นช่วง ได้แก่ ความเร็วรอบ (Speed of Spindle) 3,500-4,000 รอบ/นาที อัตราป้อน (Feed Rate) เท่ากับ 0.10-0.33 มม./รอบ และความลึกตัด (Depth of Cut) เท่ากับ 1.00-1.50 มม. ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวเป็นค่าที่ถูกกำหนดขึ้นโดยอาศัยประสบการณ์และการลองผิดลองถูกหรือการใช้การทดลองปรับตั้งค่าของกระบวนการทีละค่า (One Factor At a Time) ดังที่กล่าวมาจากผู้ควบคุมสายการผลิต ดังตารางที่ 3.1

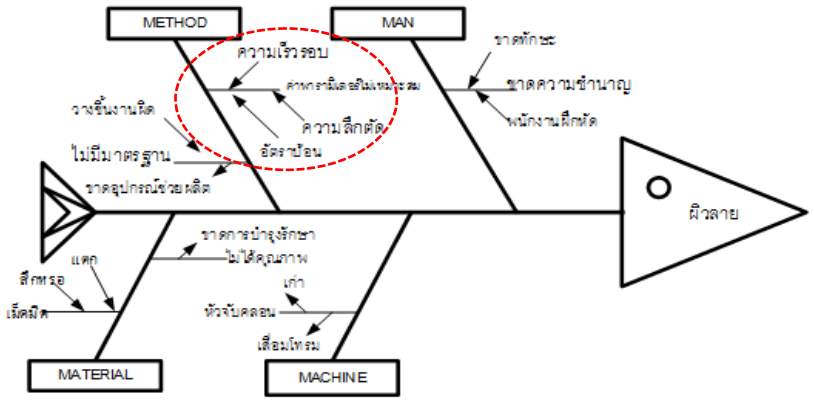
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ตัดเฉือนก่อนปรับปรุง

Factor	**ตัวแปร**	**Level**		
		Low	**Medium**	**High**
ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	A	3,500	3,800	4,000
อัตราป้อน (มม./รอบ)	B	0.1	0.2	0.33
ความลึกตัด (มม.)	C	1.00	1.25	1.50

จากตารางที่ 3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ตัดเฉือนก่อนปรับปรุง โดยพบว่ารูปแบบที่ 1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์จะเป็นการทดลอง เท่ากับ กำหนดความเร็วรอบ (Speed of Spindle) 3,500 รอบ/นาที จะใช้อัตราป้อน (Feed Rate) เท่ากับ 0.10 มม./รอบ และความลึกตัด (Depth of Cut) เท่ากับ 1.00 มม. แต่เมื่อนำไปปรับใช้ ยังคงพบปัญหา Ø 31 mm. ผิวลายเกิดขึ้น ทางผู้ควบคุมจึงเปลี่ยนเงื่อนไขการตัดเฉือนเป็นรูปแบบที่ 2 เท่ากับ กำหนดความเร็วรอบ (Speed of Spindle) 3,800 รอบ/นาที จะใช้อัตราป้อน (Feed Rate) เท่ากับ 0.20 มม./รอบ และความลึกตัด (Depth of Cut) เท่ากับ 1.25

มม. และเมื่อนำไปปรับใช้ ยังคงพบปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย ทางผู้ควบคุมจะเปลี่ยนเงื่อนไขการตัดเฉือนเป็นรูปแบบที่ 3 เท่ากับ กำหนดความเร็วรอบ (Speed of Spindle) 4,000 รอบ/นาที จะใช้อัตราป้อน (Feed Rate) เท่ากับ 0.33มม./รอบ และความลึกตัด (Depth of Cut) เท่ากับ 1.50 มม.และเมื่อนำไปปรับใช้ ยังคงพบปัญหา Ø 31 mm.ตามลำดับ จากการสำรวจหน้างานพบว่า การเปลี่ยนเม็ดมีดใหม่แต่ละครั้งจะพบชิ้นงานที่ผ่านข้อกำหนด ประมาณ 10 ชิ้นแรก จากนั้นจะเริ่มพบงานที่ไม่ผ่านข้อกำหนดหรือของเสียเกิดขึ้นในทุกๆรูปแบบการทดสอบ โดยยังพบว่าเมื่อเปลี่ยนเงื่อนไขการตัดเฉือนเป็นรูปแบบที่ 3 เท่ากับ กำหนดความเร็วรอบ (Speed of Spindle) 4,000 รอบ/นาที จะใช้อัตราป้อน (Feed Rate) เท่ากับ 0.33 มม./รอบ และความลึกตัด (Depth of Cut) เท่ากับ 1.50 มม.จะส่งผลกระทบด้านอายุการใช้งาน (Tool Life) ของเม็ดมีดด้วย ทำให้อายุการใช้งานของเม็ดมีดสั้นลงจาก 400 ชิ้นต่อมุมมีด เหลือประมาณ 320 ชิ้นต่อมุมมีด

โดยจากรูปแบบการปรับค่าพารามิเตอร์ลักษณะนี้ยังขาดมาตรฐานการปรับตั้งที่ชัดเจนทางผู้วิจัยได้นำประเด็นปัญหาเสนอต่อผู้บริหารเพื่อขออนุมัติให้จัดตั้งกลุ่มคุณภาพขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยประกอบด้วยผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตฯ ได้แก่ วิศวกรผู้ควบคุมสายการผลิต 4 คน และหัวหน้าสายการผลิต 2 คน ผู้ตรวจสอบคุณภาพ 2 คน เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหา เนื่องจากบุคคลกลุ่มนี้จะเข้าใจสภาพปัญหาชัดเจนและมีประสบการณ์การทำงานมากกว่า 5 ปี ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะหาสาเหตุของรากเหง้าปัญหา (Root Cause) ได้ชัดเจนและสามารถลดผลกระทบได้ โดยก่อนที่จะไปหาแนวทางการแก้ไขปัญหาทางผู้วิจัยต้องการระบุปัญหาให้ชัดเจนขึ้น จึงได้ใช้เครื่องมือคุณภาพ คือแผนภูมิก้างปลา (Cause & Effect Diagram) มาช่วยในการวิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 แผนภูมิก้างปลา (Cause & Effect Diagram)8

จากการวิเคราะห์แผนภูมิก้างปลา (Cause & Effect Diagram) พบว่าปัญหาผิวลายอาจจะเกิดมาจากหลายสาเหตุ ได้แก่ ผู้ปฏิบัติงาน เครื่องจักร วัสดุนำเข้า และวิธีการ

ผู้ปฏิบัติงานหรือพนักงานผู้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร จะทำหน้าที่ป้อนชิ้นงาน (Load) และถอดชิ้นงาน (Unload) เท่านั้น ในระหว่างที่เกิดปัญหาต่างๆ พนักงานจะหยุดการทำงานจองเครื่องจักรและนำปัญหาไปแจ้งต่อหัวหน้างานเพื่อให้มาระบุและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น เช่น เมื่อเกิดปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย พนักงานจะหยุดเครื่องและไปแจ้งต่อหัวหน้างาน โดยวิธีแก้ไขปัญหาคือจะใช้รูปแบบการปรับค่าพารามิเตอร์แบบ , แบบ 2 และแบบ 3 ซึ่งจากวิธีการดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าผู้ปฏิบัติงานไม่น่าจะมีอิทธิพลทำให้เกิดปัญหาผิวลายเกิดขึ้น แต่ได้เห็นรากเหง้าของปัญหาหนึ่ง คือความไม่แน่นอนของการใช้รูปแบบพารามิเตอร์

เครื่องจักรที่ใช้ในขั้นตอนที่ 6 การกลึงละเอียด (Machining 3) คือ เครื่องกลึงแบบอัตโนมัติ (CNC Lathe Machine) FEMCO รุ่น HL-25 สามารถปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับการตัดเฉือนได้ ซึ่งในบริษัทตัวอย่างมีจำนวน 5 เครื่อง ซึ่งเครื่องจักรทุกๆเครื่องได้ผ่านการตรวจสอบและการบำรุงรักษาเครื่องตามแผนการซ่อมบำรุงทุกวัน เช่น การตรวจสอบระดับและคุณภาพของน้ำมันหล่อเย็นโดยกำหนดให้เปลี่ยนน้ำมันหล่อเย็นที่ใช้ในการลดอุณหภูมิระหว่างการกลึงทุกวัน การตรวจสอบบาลานซ์ของหัวจับชิ้นงานให้ได้ค่าตามมารฐานเพื่อป้องกันปัญหาการสั่นคลอนระหว่างการกลึง เป็นต้น ฉะนั้นจะเห็นว่าปัญหาด้านเครื่องจักรไม่น่าจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการ

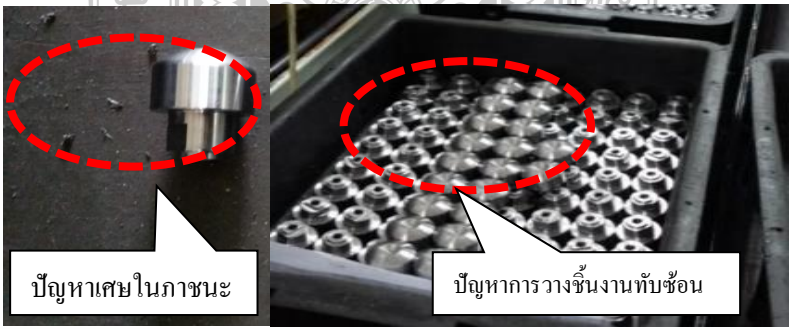
วัสดุนำเข้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต คือ เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (Medium Carbon Steel) เกรด SS400 ที่ผ่านการประกันคุณภาพ (Quality Assurance) จากผู้ส่งมอบวัตถุดิบ (Suplier) ตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อและผู้ผลิต เพราะฉะนั้นเหล็กที่นำเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตจะเป็นเหล็กที่ได้คุณภาพ แต่ในระหว่างกระบวนการผลิตยังเกิดปัญหาขึ้น คือ ปัญหาวัสดุแตกหรือปัญหา Matt แตก เป็นปัญหาที่ตรวจพบด้วยการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Control) ซึ่งปัญหานี้เมื่อนำชิ้นงานไปส่องกล้องจุลทรรศน์จะพบว่าองค์ประกอบของธาตุในตัววัสดุไม่จับตัวเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อพบเจอปัญหาดังกล่าวทางบริษัทตัวอย่างจะดำเนินการแจ้งไปทางผู้ส่งมอบวัตถุดิบเพื่อรับสิทธิ์การประกันสินค้า

วิธีการปรับค่าพารามิเตอร์จะถูกปรับเป็นช่วงๆ ได้แก่ ความเร็วรอบ (Speed of Spindle) 3,500-4,000 รอบ/นาที อัตราป้อน (Feed Rate) เท่ากับ 0.10-0.33 มม./รอบ และความลึกตัด (Depth of Cut) เท่ากับ 1.00-1.50 มม. ซึ่งเมื่อเกิดปัญหาผิวลายทางผู้ควบคุมสายการผลิตจะทำการเพิ่มและลดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ (Speed of Spindle) อัตราป้อน (Feed Rate) และความลึกตัด (Depth of Cut) ดังกล่าวโดยไม่มีค่าที่แน่นอนซึ่งจะปรับตั้งค่าจนกว่าชิ้นงานที่ได้ไม่

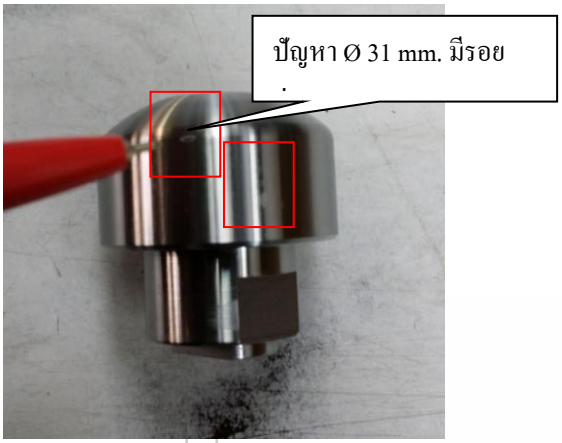
เกิดข้อบกพร่อง ซึ่งปัจจัยดังกล่าวเป็นตัวแปรหนึ่งที่อาจจะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน ซึ่งผู้วิจัยมองว่าปัจจัยและระดับของปัจจัยดังกล่าวน่าจะเป็นสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นที่ควรจะได้รับการปรับปรุงและแก้ไข โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการและการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

3.2.2 การวิเคราะห์สภาพปัญหาสภาพปัญหา Ø 31 mm. เป็นรอย

ปัญหา Ø 31 mm. เป็นรอยนั้นเกิดขึ้นที่บริเวณผิวของชิ้นงานที่ตำแหน่ง Ø 31 mm. โดยมีลักษณะเป็นรอยกระแทกเล็กดังรูปที่ 3.37 หรือที่บริเวณผิว Ø 31 mm. มีรอยข่วนที่มีตำแหน่งการเกิดไม่คงที่ โดยปัญหาเรื่อง Ø 31 เป็นรอย มีค่าเฉลี่ยการเกิดปัญหา เท่ากับ 767 ชิ้น/เดือน ซึ่งผู้วิจัยจัดให้อยู่ในลำดับที่สองของการแก้ไขสภาพปัญหา ซึ่งสภาพปัญหาดังกล่าวนี้จากการสำรวจพบว่าเกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตที่ 6 การกลึงละเอียดชิ้นงานเช่นเดียวกันกับขั้นตอนแรก โดยพบว่าภายหลังจากการกลึงละเอียดเสร็จแล้ว พนักงานจะหยิบชิ้นงานกลึงออกจากเครื่องและจะวางชิ้นงานลงบนภาชนะที่เตรียมไว้ ซึ่งรูปแบบการวางชิ้นงานพนักงานจะวางชิ้นงานติดกันและทับซ้อนกันเป็นชั้นๆ หรือแค่บรรจุงานให้เต็มภาชนะเท่านั้นดังรูปที่ 3.38 โดยไม่ได้สนใจว่าอาจจะเกิดปัญหาชิ้นงานชนหรือกระแทกกัน และจากการสำรวจภาชนะบรรจุชิ้นงานพบว่า ภาชนะที่ใช้บรรจุชิ้นงานเป็นภาชนะเก่าที่มีเศษเหล็กติดฝังแน่นอยู่ที่ภาชนะโดยรอบ ซึ่งผู้วิจัยและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสายการผลิต พิจารณาว่ามีความเป็นไปได้ว่าชิ้นงานอาจจะกระแทกกันหรือเสียดสีกับเศษที่ฝังอยู่ในภาชนะในระหว่างที่มีการเคลื่อนย้ายชิ้นงานจากขั้นตอนที่ 6 ไป ขั้นตอนที่ 7 โดยการลากภาชนะชิ้นงานกับพื้น ส่งผลให้เกิดปัญหา Ø 31 เป็นรอยดังรูปที่ 3.39

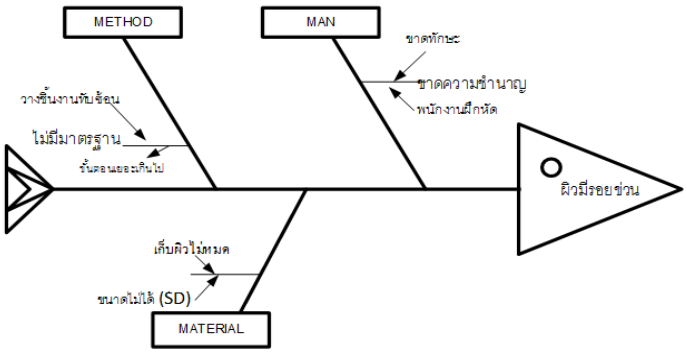


รูปที่ 3.38 ปัญหาการวางชิ้นงานซ้อนกันลงภาชนะ



รูปที่ 3.39 ปัญหา Ø 31 mm. มีรอย

จากสภาพปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้ได้นำปัญหาไปหาสาเหตุของรากเหง้าปัญหา (Root Cause) เพื่อต้องการลดผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยใช้แผนภูมิก้างปลา (Cause & Effect Diagram) มาช่วยในการวิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 3.40



รูปที่ 3.40 แผนภูมิภาพเหตุและผลของปัญหา Ø 31 mm. เป็นรอย

จากรูปที่ 3.38 แสดงการวิเคราะห์สาเหตุและผลด้วยแผนภูมิก้างปลา (Cause & Effect Diagram) มาช่วยในการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาของสภาพปัญหา Ø 31 มีรอย ซึ่งในการดำเนินการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ได้วิเคราะห์ปัญหาด้านต่างๆ ได้แก่ วัสดุ ผู้ปฏิบัติงานและคนงาน

วัสดุที่นำเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตจะถูกขนส่งลงจากรถบรรทุกโดยชิ้นงานจะถูกวางทับซ้อนกันมาหลายชิ้น ในการสุ่มตรวจสอบคุณลักษณะวัตถุดิบนำเข้า พบว่า วัตถุดิบนั้นๆเกิดมีรอยที่ผิวงานเกิดขึ้นแต่ทางพนักงานตรวจสอบ (Inspector) ก็ได้อนุมัติเพราะจะตรวจสอบด้านมิติของชิ้นงาน (Dimensions) และเมื่อพิจารณาถึงกระบวนการผลิตจะพบว่าวัตถุดิบนั้นๆจะถูกแปรรูปด้วยกระบวนการกลึงปอกอีก 3 ขั้นตอน ซึ่งได้มีการปอกผิวนอกชิ้นงานสำเร็จสิ้น จึงได้ลงความเห็นว่าวัสดุนำเข้าไม่จะส่งผลกระทบต่อปัญหา Ø 31 มีรอย

ผู้ปฏิบัติงานหรือพนักงานผู้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร จะทำหน้าที่ป้อนชิ้นงาน (Load) และถอดชิ้นงาน (Unload) โดยในการถอดชิ้นงานของจากเครื่องจักรเพื่อวางลงในภาชนะที่เตรียมไว้พนักงานก็จะวางชิ้นงานลงในกล่องตามวิธีการก่อนปรับปรุงที่กำหนดไว้ ซึ่งวิธีการนี้เมื่อวิเคราะห์ต่อเนื่องทางผู้วิจัยและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสายการผลิตได้ลงความเห็นว่าปัญหาดังกล่าวเกิดจากวางชิ้นงานติดกันและทับซ้อนกันและปัญหาเศษที่ฝังอยู่ในภาชนะเป็นเหตุประกอบร่วมที่ส่งผลให้เกิดปัญหา Ø 31 mm. เป็นรอยข่วน โดยจากการสำรวจหน้างานพบว่าระหว่างที่มีการเคลื่อนย้ายชิ้นงานจากขั้นตอนที่ 6 ไป ขั้นตอนที่ 7 ชิ้นงานมีเสียดสีและกระแทกกับชิ้นงานที่อยู่เคียงข้างรวมถึงมีการเสียดสีกับเศษที่ฝังแน่นอยู่ที่ภาชนะ โดยเศษเหล็กนี้มาจากการกระเด็นระหว่างระหว่างการกลึงชิ้นงาน และภาชนะที่ใช้เป็นภาชนะที่มีการหมุนเวียนใช้ในทุกกระบวนการตั้งแต่กระบวนการตัดชิ้นงาน กระบวนการเจาะ เป็นต้น ส่งผลให้เกิดปัญหา Ø 31 เป็นรอยข่วนเกิดขึ้น จากความสูญเสียของทั้ง 2 ปัญหาข้างต้นสามารถนำมาเขียนแนวทางการแก้ไขสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แนวทางการแก้ไขสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น

หัวข้อของปัญหา	สาเหตุ	รายละเอียดของปัญหา	แนวทางการแก้ไข
1.ปัญหาผิวลาย	วิธีการ	1) กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการตัดเฉือนไม่เหมาะสมเนื่องมาจากการลองผิดลองถูก	1) ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experimental) มาทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
2. ปัญหาผิวมีรอย	วิธีการ	2) พนักงานวางชิ้นงานทับซ้อนกันและชิ้นงานเกิดการเสียดสีกับเศษที่ฝังแน่น	2) สร้างมาตรฐานการบรรจุชิ้นงานและใช้อุปกรณ์กันกระแทกมาใช้สำหรับการบรรจุชิ้นงาน

3.3 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น และดำเนินการทดลองโดยใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design)

จากการระดมความคิดเห็นของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต การรวบรวมข้อมูลและการศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น พบว่าจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) เกิดจากอิทธิพลของปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ (Speed of Spindle) อัตราป้อน (Feed Rate) และความลึกตัด (Depth of Cut) โดยตัวแปรตอบสนอง คือค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุ (Roughness ; Ra) เพราะฉะนั้นผู้วิจัยจึงได้นำปัจจัยดังกล่าวมาใช้ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อสภาพปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น เพื่อสามารถหาสาเหตุของรากเหง้าปัญหา (Root Cause) ได้อย่างถูกต้องและสามารถลดมูลค่าของเสียให้ต่ำลงอย่างน้อย 50% ในขั้นตอนนี้จะกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อปัญหาชิ้นงานเป็นรอยที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) โดยใช้โปรแกรม Minitab 16 มาช่วยในการดำเนินการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ สามระดับ (3^k Factorial Design) เพื่อคัดแยกปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญออกไป

3.3.1 การกำหนดสมมติฐานการทดลอง

การตั้งสมมติฐานนั้นจะตั้งโดยใช้หลักการทางสถิติ ซึ่งจะวิเคราะห์ปัจจัยหลัก (Main Effect) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหรือปัจจัยร่วม (Interaction) ที่มีผลตอบสนองต่อความหยาบผิวของชิ้นงานสำเร็จ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยสามารถพิจารณาแบบจำลองการวิเคราะห์ ความแปรปรวน 3 ปัจจัย ได้ดังสมการที่ 1

$$Y_{ijk} = \mu+\alpha i+\beta j+\gamma k+(\alpha\beta)ij+(\alpha\gamma)ik+(\beta\gamma)jk+:\ (\alpha\beta\gamma)ijk \qquad (1)$$

โดยที่ y คือ ความหยาบของผิวชิ้นงาน μ คือค่าเฉลี่ยรวม (Grand mean) α คือ ความเร็วรอบ β คือ อัตราป้อน γ คือ ความลึกตัด และ $\alpha\beta$, $\alpha\gamma$, $\beta\gamma$, $\alpha\beta\gamma$ คือ ปัจจัยร่วมหรือปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างตัวแปร

1. สมมติฐานที่ 1 อิทธิพลของความเร็วรอบมีผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงาน

   H_0 : αi = 0 ทุกๆค่า i เมื่อ i = 1,2,…..,a : ปัจจัย A ไม่มีผลต่อ Ra

   H_1 : αi $\neq$ 0 บางค่า i : ปัจจัย A มีผลต่อ Ra

2. สมมติฐานที่ 2 อิทธิพลของอัตราป้อนมีผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงาน

H_0 : β_j = 0 ทุกๆค่า j เมื่อ j = 1,2,…..,b : ปัจจัย B ไม่มีผลต่อ Ra

H_1 : β_j $\neq$ 0 บางค่า j : ปัจจัย B มีผลต่อ Ra

3. สมมติฐานที่ 3 อิทธิพลของความลึกตัดมีผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงาน

H_0 : γ_k = 0 ทุกๆค่า k เมื่อ k = 1,2,…..,c : ปัจจัย C ไม่มีผลต่อ Ra

H_1 : γ_k $\neq$ 0 บางค่า k : ปัจจัย C มีผลต่อ Ra

4. สมมติฐานที่ 4 อิทธิพลของร่วมของความเร็วรอบและอัตราป้อนมีผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงาน

H_0 : $(\alpha\beta)_{ij}$ = 0 ทุกๆค่า i และ j เมื่อ i = 1,2,..,a และ j = 1,2,..,b

H_1 : $(\alpha\beta)_{ij}$ $\neq$ 0 บางค่า i และ j

5. สมมติฐานที่ 5 อิทธิพลของร่วมของความเร็วรอบและความลึกตัดมีผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงาน

H_0 : $(\alpha\gamma)_{ik}$ = 0 ทุกๆค่า i และ k เมื่อ i = 1,2,…..,a และ k = 1,2,…..,c

H_1 : $(\alpha\gamma)_{ik}$ $\neq$ 0 บางค่า i และ k

6. สมมติฐานที่ 6 อิทธิพลของร่วมของอัตราป้อนและความลึกตัดมีผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงาน

H_0 : $(\beta\gamma)_{jk}$ = 0 ทุกๆค่า j และ k เมื่อ j = 1,2,…..,b และ k = 1,2,…..,c

H_1 : $(\beta\gamma)_{jk}$ $\neq$ 0 บางค่า j และ k

7. สมมติฐานที่ 7 อิทธิพลของร่วมของความเร็วรอบอัตราป้อนและความลึกตัดมีผลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นงาน

H_0 : $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = 0 ทุกๆค่า i , j และ k

H_1 : $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ $\neq$ บางค่า i , j และ k

3.3.2 การออกแบบการทดลองและการเก็บข้อมูล

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดลองต่อเนื่องจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเพื่อค้นหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ สามระดับ (3^k Factorial Design) ที่ประกอบด้วย k ปัจจัย ในระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ โดยปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ โดยนำปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีผลต่อความความหยาบของผิวที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) มาทำการทดลองทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ สามระดับ (3^k Factorial Design) ซึ่งจะต้องทำการทดลองทั้งหมด $3\times3\times3\times3\times...\times3 = 3^k$ การทดลอง

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ สามระดับ (3^k Factorial Design) โดยกำหนดให้ปัจจัย (Factors) คือเท่ากับ 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 เรพลิเคต (Replicates) ได้ทั้งหมด (Total runs) เท่ากับ 81 ครั้ง ดังรูปที่ 3.39

Multilevel Factorial Design

Factors:	3	Replicates:	3
Base runs:	27	Total runs:	81
Base blocks:	1	Total blocks:	1

Number of levels: 3, 3, 3

รูปที่ 3.39 ผลการออกแบบการทดลองใช้โปรแกรมมินิแทบ เวอร์ชัน 16

ผลการออกแบบการทดลองใช้โปรแกรมมินิแทบ เวอร์ชัน 16 จะได้ว่าควรทำการทดลองซ้ำ 2 เรพลิเคต (Replicates) แต่ว่าผู้วิเคราะห์จะทำการทดลองซ้ำจริง 3 เรพลิเคต จะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด (Total runs) เท่ากับ 81 ครั้งจากผลการออกแบบการทดลองนี้สามารถแสดงเป็นตารางแสดงข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง ดังตารางที่ 3.3 ถึง ตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Speed	Feed Rate	Depth of cut	Ra	Visual
1	60	1	1	3500	0.10	1.00		
2	73	1	1	3500	0.10	1.25		
3	38	1	1	3500	0.10	1.50		
4	4	1	1	3500	0.20	1.00		
5	51	1	1	3500	0.20	1.25		
6	54	1	1	3500	0.20	1.50		
7	16	1	1	3500	0.33	1.00		
8	22	1	1	3500	0.33	1.25		
9	61	1	1	3500	0.33	1.50		
10	11	1	1	3800	0.10	1.00		
11	63	1	1	3800	0.10	1.25		
12	33	1	1	3800	0.10	1.50		
13	50	1	1	3800	0.20	1.00		
14	7	1	1	3800	0.20	1.25		

ตารางที่ 3.4 แสดงข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Speed	Feed Rate	Depth of cut	Ra	Visual
15	68	1	1	3800	0.20	1.50		
16	32	1	1	3800	0.33	1.00		
17	27	1	1	3800	0.33	1.25		
18	77	1	1	3800	0.33	1.50		
19	52	1	1	4000	0.10	1.00		
20	35	1	1	4000	0.10	1.25		
21	15	1	1	4000	0.10	1.50		
22	62	1	1	4000	0.20	1.00		
23	26	1	1	4000	0.20	1.25		
24	8	1	1	4000	0.20	1.50		
25	55	1	1	4000	0.33	1.00		
26	71	1	1	4000	0.33	1.25		
27	36	1	1	4000	0.33	1.50		
28	14	1	1	3500	0.10	1.00		
29	20	1	1	3500	0.10	1.25		
30	47	1	1	3500	0.10	1.50		
31	70	1	1	3500	0.20	1.00		
32	9	1	1	3500	0.20	1.25		
33	37	1	1	3500	0.20	1.50		
34	46	1	1	3500	0.33	1.00		
35	21	1	1	3500	0.33	1.25		
36	56	1	1	3500	0.33	1.50		
37	66	1	1	3800	0.10	1.00		
38	74	1	1	3800	0.10	1.25		
39	79	1	1	3800	0.10	1.50		
40	19	1	1	3800	0.20	1.00		
41	5	1	1	3800	0.20	1.25		
42	75	1	1	3800	0.20	1.50		
43	2	1	1	3800	0.33	1.00		
44	65	1	1	3800	0.33	1.25		
45	31	1	1	3800	0.33	1.50		
46	34	1	1	4000	0.10	1.00		
47	25	1	1	4000	0.10	1.25		
48	78	1	1	4000	0.10	1.50		
49	3	1	1	4000	0.20	1.00		

ตารางที่ 3.5 แสดงข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Speed	Feed Rate	Depth of cut	Ra	Visual
50	49	1	1	4000	0.20	1.25		
51	17	1	1	4000	0.20	1.50		
52	76	1	1	4000	0.33	1.00		
53	43	1	1	4000	0.33	1.25		
54	30	1	1	4000	0.33	1.50		
55	48	1	1	3500	0.10	1.00		
56	1	1	1	3500	0.10	1.25		
57	44	1	1	3500	0.10	1.50		
58	10	1	1	3500	0.20	1.00		
59	69	1	1	3500	0.20	1.25		
60	45	1	1	3500	0.20	1.50		
61	23	1	1	3500	0.33	1.00		
62	40	1	1	3500	0.33	1.25		
63	42	1	1	3500	0.33	1.50		
64	29	1	1	3800	0.10	1.00		
65	39	1	1	3800	0.10	1.25		
66	58	1	1	3800	0.10	1.50		
67	57	1	1	3800	0.20	1.00		
68	64	1	1	3800	0.20	1.25		
69	18	1	1	3800	0.20	1.50		
70	53	1	1	3800	0.33	1.00		
71	12	1	1	3800	0.33	1.25		
72	28	1	1	3800	0.33	1.50		
73	6	1	1	4000	0.10	1.00		
74	72	1	1	4000	0.10	1.25		
75	59	1	1	4000	0.10	1.50		
76	13	1	1	4000	0.20	1.00		
77	80	1	1	4000	0.20	1.25		
78	24	1	1	4000	0.20	1.50		
79	81	1	1	4000	0.33	1.00		
80	41	1	1	4000	0.33	1.25		
81	67	1	1	4000	0.33	1.50		

3.4 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ภายหลังจากที่ได้ดำเนินการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ สามระดับ (3^k Factorial Design) โดยใช้โปรแกรม Minitab 16 แล้ว ในขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์ความเพียงพอของข้อมูล โดยจะพิจรณาจากผลการทดลองดังนี้

1. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)
2. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยอ่านค่า P-value ที่ได้จากตารางสรุป ANOVA โดยถ้า ค่า P-value > α (0.05) ให้ยอมรับสมมติฐาน

   P-value <= α (0.05) ให้ปฏิเสธสมมติฐาน

จาการวิเคราะห์ผลการทดสอบจะทำให้ทราบผลของอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยร่วม (Interaction) ที่มีผลต่อความหยาบของผิวที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) และสามารถวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดได้จากการวิเคราะห์จาก Factorial Plot ในโปรแกรม Minitab 16 เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดได้ตามต้องการ

3.5 เสนอแนวทางการปรับปรุงต่อผู้บริหาร

จากการดำเนินการทดลองดังที่กล่าวมาข้างต้น ในขั้นตอนนี้เป็นการนำเสนอแนวทางปรับปรุงที่ได้จากการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) ต่อผู้บริหาร เพื่อใคร่ขออนุมัติให้สามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) โดยผู้วิจัยจะนำเสนอรายละเอียดของที่มาและความสำคัญของสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นกับบริษัทตัวอย่าง รวมทั้งอธิบายขั้นตอนการดำเนินการทั้งหมดโดยจะแสดงรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (Flow - Chart) ได้ดังรูปที่ 3.1 ข้างต้น เพื่อให้ผู้บริหารและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการดำเนินงานเข้าใจการดำเนินงานเพิ่มมากขึ้น

3.6 ดำเนินการปรับปรุงและเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง

หลังจากที่ประชุมอนุมัติเห็นชอบให้ดำเนินการแก้ไขและทำการออกแบบทดลองได้ ผู้วิจัยและทีมงานปรับปรุงคุณภาพ จะเริ่มดำเนินการปรับปรุงและแก้ไขทันที โดยจะดำเนินการระดมสมอง (Brain Storming) และแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบเพื่อเริ่มปฏิบัติตามแผนการดำเนินงานที่วางไว้ให้สำเร็จลุล่วง

ระหว่างการดำเนินการทดลองจะมีการเก็บข้อมูลเป็นระยะๆ เพื่อทำการตรวจสอบผลตอบสนองที่เกิดขึ้น หากยังไม่ได้ตามวัตถุประสงค์ทางทีมงานปรับปรุงคุณภาพต้องทำการวิเคราะห์หาแนวการปรับปรุงแก้ไขใหม่และอาจจะมีการปรับปรุงแก้ไขหลายๆครั้งจนกว่าความสูญเสียจะลดลงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ และเมื่อครบระยะตามแผนการปรับปรุงจะนำผลที่ได้มาทำการสรุปผลการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์ประเมินผลการดำเนินการปรับปรุงและจัดทำเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานต่อไป

3.7 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

การสรุปผลการวิจัยเรื่องการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานในกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองมาช่วยในการวิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้น โดยใช้เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7QC Tools) มาช่วยหาสาเหตุของสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อที่จะหาสาเหตุของปัญหาและผลกระทบ (Problem or Effect) ได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) เพื่อคัดแยกปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญออกไป (Screen Out Factor) จากนั้นนำปัจจัยที่มีนัยสำคัญมาพิจารณาเพื่อหาระดับของปัจจัยหลักที่เหมาะสมที่สุดโดยการใช้ (Factorial Plot) หรือเพื่อหาระดับของปัจจัยร่วมที่เหมาะสมที่สุดโดยการใช้ (Interaction Plot) ที่จะส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน

โดยหัวข้อที่สรุปผลจะสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้กำหนดไว้ สรุปข้อเสนอแนะและปัญหาต่างๆที่พบในงานวิจัย เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงในการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตต่อไป

บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษารวบรวมข้อมูลและศึกษาสภาพปัญหา Ø 31 mm. ผิวลายและปัญหา Ø 31 mm. มีรอย รวมถึงการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ สามระดับ (3^k Factorial Design) ตามที่ได้มีการวางแผนไว้ในบทที่ 3 ในบทที่ 4 นี้จะแสดงรายละเอียดของผลการดำเนินการทดสอบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) ซึ่งจะสามารถช่วยวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลระทบต่อปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย และผลการปรับปรุงแก้ไขปัญหา Ø 31 mm. มีรอย ในกระบวนการผลิตชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) โดยมีผลการดำเนินงานวิจัยดังนี้

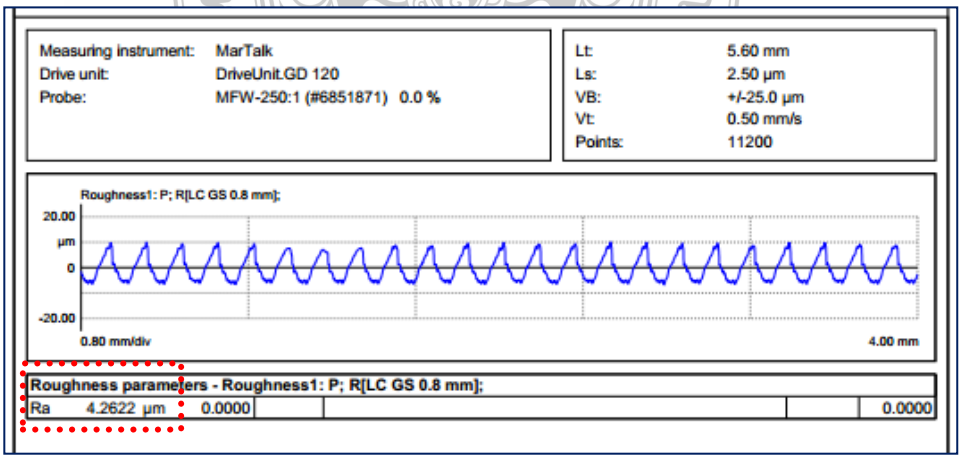
4.1 ผลการวิเคราะห์และผลการทดลองปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย

จากการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Minitab 16 มาช่วยในการดำเนินการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ สามระดับ (3^k Factorial Design) เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) โดยปัจจัยที่ใช้ในการศึกษามีปัจจัย 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ (Speed of Spindle) อัตราป้อน (Feed Rate) และความลึกตัด (Depth of Cut) และตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุ (Roughness ; Ra) ซึ่งจากที่ได้ทำการออกแบบการตารางการทดสอบไว้สำหรับการกล่าวละเอียดในขั้นตอนที่ 6 ภายใต้เงื่อนไขที่ถูกควบคุมซึ่งมีชิ้นงานทดสอบทั้งสิ้น 81 ชิ้น ทางผู้วิจัยได้เตรียมชิ้นงานโดยระบุเป็นหมายเลข 1-81 ดังรูปที่ 4.1 เพื่อให้ง่ายต่อการแยกแยะการทดลองและการหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุ (Roughness ; Ra) ด้วยเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness) ยี่ห้อ Mahr รุ่น Surf GD 120 ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจะทำการวัดผิวสำเร็จของวัสดุเพื่อเก็บข้อมูลค่าความหยาบผิวของชิ้นงานจากโปรแกรม Mahr ดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.1 การเตรียมชิ้นงาน

รูปที่ 4.2 การทดสอบหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุ

ทางผู้วิจัยจะนำชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนที่ 6 การกลึงละเอียด (Machining 3) ทั้ง 81 ชิ้นมาทำการทดสอบเพื่อหาค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุ (Roughness ; Ra) ตามมาตรฐานการทดสอบของเครื่องวัดความหยาบผิว (Surface Roughness) ยี่ห้อ Mahr รุ่น Surf GD 120



รูปที่ 4.3 การเก็บข้อมูลค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

จากตารางการออกแบบการทดลองโดยใช้โดยใช้โปรแกรม Minitab 16 ผู้วิจัยได้นำมาใช้เป็นแผนการในการทดสอบโดยจะกำหนดปัจจัยที่ใช้ศึกษา 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราป้อนและความลึกตัดโดยกำหนดความเร็วรอบเท่ากับ 3,500, 3,800 และ 4,000 รอบ/นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.1, 0.2 และ 0.33 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัดเท่ากับ 1.0, 1.25 และ 1.5 มม. เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการตัดเฉือน โดยจะใช้เลือกใช้มีดกลึงคาร์ไบด์เครื่องหมายการค้าเกรด (TN60) ดังรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นชนิดปัจจุบันที่โรงงานเลือกใช้โดยกำหนดให้ใช้เม็ดมีดสำหรับการกลึงละเอียด 1 งาน/ มุมมีด ซึ่งที่ตัวเม็ดมีดเป็นแบบสามเหลี่ยมซึ่งมี 3 มุม โดยควบคุมการตัดเฉือนภายใต้สภาวะการใช้น้ำหล่อเย็นที่ได้คุณภาพตามมาตรฐาน สำหรับการปอกผิววัสดุจะทำการทดสอบบนเครื่องบนเครื่องกลึงอัตโนมัติ ที่ผ่านการตรวจสอบการบำรุงรักษาเครื่องจักร (Preventive Maintenance) อย่างมีประสิทธิภาพ โดยกำหนดเงื่อนไขการตัดเฉือนภายใต้ตารางการทดสอบในตารางที่ 4.1 ถึง ตารางที่ 4.3 จากนั้นจะนำชิ้นงานมาทดสอบค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุ (Roughness ; Ra) มาบันทึกลง ตารางบันทึกผลการออกแบบการทดลอง

รูปที่ 4.4 มีดกลึงคาร์ไบด์ เกรด (TN60)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Speed	Feed Rate	Depth of cut	Ra	Visual Check
1	60	1	1	3500	0.10	1.00	4.2625	PASS
2	73	1	1	3500	0.10	1.25	4.4433	PASS
3	38	1	1	3500	0.10	1.50	4.1269	PASS
4	4	1	1	3500	0.20	1.00	2.4887	PASS
5	51	1	1	3500	0.20	1.25	2.6991	PASS
6	54	1	1	3500	0.20	1.50	4.4125	PASS
7	16	1	1	3500	0.33	1.00	4.1269	PASS
8	22	1	1	3500	0.33	1.25	4.0934	PASS
9	61	1	1	3500	0.33	1.50	4.1167	PASS
10	11	1	1	3800	0.10	1.00	4.3298	PASS
11	63	1	1	3800	0.10	1.25	4.3215	PASS
12	33	1	1	3800	0.10	1.50	4.2622	PASS
13	50	1	1	3800	0.20	1.00	3.5841	PASS
14	7	1	1	3800	0.20	1.25	5.6585	PASS
15	68	1	1	3800	0.20	1.50	4.1574	PASS
16	32	1	1	3800	0.33	1.00	4.7539	PASS
17	27	1	1	3800	0.33	1.25	3.5147	PASS
18	77	1	1	3800	0.33	1.50	4.4712	PASS
19	52	1	1	4000	0.10	1.00	4.8367	PASS
20	35	1	1	4000	0.10	1.25	3.7982	PASS
21	15	1	1	4000	0.10	1.50	3.5991	PASS
22	62	1	1	4000	0.20	1.00	2.7177	PASS
23	26	1	1	4000	0.20	1.25	5.3685	PASS
24	8	1	1	4000	0.20	1.50	4.3589	PASS
25	55	1	1	4000	0.33	1.00	2.8977	PASS
26	71	1	1	4000	0.33	1.25	4.3715	PASS
27	36	1	1	4000	0.33	1.50	3.5854	PASS
28	14	1	1	3500	0.10	1.00	4.2622	PASS
29	20	1	1	3500	0.10	1.25	4.4325	PASS

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Speed	Feed Rate	Depth of cut	Ra	Visual Check
30	47	1	1	3500	0.10	1.50	4.0934	PASS
31	70	1	1	3500	0.20	1.00	2.4642	PASS
32	9	1	1	3500	0.20	1.25	2.7332	PASS
33	37	1	1	3500	0.20	1.50	3.4241	PASS
34	46	1	1	3500	0.33	1.00	2.6709	PASS
35	21	1	1	3500	0.33	1.25	3.5043	PASS
36	56	1	1	3500	0.33	1.50	3.4958	PASS
37	66	1	1	3800	0.10	1.00	3.6944	PASS
38	74	1	1	3800	0.10	1.25	5.6612	PASS
39	79	1	1	3800	0.10	1.50	4.9975	PASS
40	19	1	1	3800	0.20	1.00	2.9294	PASS
41	5	1	1	3800	0.20	1.25	5.5476	PASS
42	75	1	1	3800	0.20	1.50	5.5936	PASS
43	2	1	1	3800	0.33	1.00	2.9921	PASS
44	65	1	1	3800	0.33	1.25	5.6892	PASS
45	31	1	1	3800	0.33	1.50	4.6973	PASS
46	34	1	1	4000	0.10	1.00	3.3591	PASS
47	25	1	1	4000	0.10	1.25	2.1329	PASS
48	78	1	1	4000	0.10	1.50	2.2307	PASS
49	3	1	1	4000	0.20	1.00	4.8859	PASS
50	49	1	1	4000	0.20	1.25	6.4655	NOPASS
51	17	1	1	4000	0.20	1.50	4.1771	PASS
52	76	1	1	4000	0.33	1.00	3.1975	PASS
53	43	1	1	4000	0.33	1.25	5.4547	PASS
54	30	1	1	4000	0.33	1.50	4.3206	PASS
55	48	1	1	3500	0.10	1.00	2.7539	PASS
56	1	1	1	3500	0.10	1.25	4.4142	PASS
57	44	1	1	3500	0.10	1.50	4.1167	PASS
58	10	1	1	3500	0.20	1.00	2.4904	PASS

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลจากการออกแบบการทดลอง (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Speed	Feed Rate	Depth of cut	Ra	Visual Check
59	69	1	1	3500	0.20	1.25	2.7539	PASS
60	45	1	1	3500	0.20	1.50	5.5932	PASS
61	23	1	1	3500	0.33	1.00	5.9301	PASS
62	40	1	1	3500	0.33	1.25	5.5575	PASS
63	42	1	1	3500	0.33	1.50	3.0666	PASS
64	29	1	1	3800	0.10	1.00	5.2458	PASS
65	39	1	1	3800	0.10	1.25	6.6879	NOPASS
66	58	1	1	3800	0.10	1.50	9.1882	NOPASS
67	57	1	1	3800	0.20	1.00	4.7903	PASS
68	64	1	1	3800	0.20	1.25	5.9071	PASS
69	18	1	1	3800	0.20	1.50	3.5540	PASS
70	53	1	1	3800	0.33	1.00	3.0917	PASS
71	12	1	1	3800	0.33	1.25	4.7345	PASS
72	28	1	1	3800	0.33	1.50	7.4704	NOPASS
73	6	1	1	4000	0.10	1.00	4.8362	PASS
74	72	1	1	4000	0.10	1.25	3.0748	PASS
75	59	1	1	4000	0.10	1.50	4.2474	PASS
76	13	1	1	4000	0.20	1.00	5.1672	PASS
77	80	1	1	4000	0.20	1.25	6.3817	NOPASS
78	24	1	1	4000	0.20	1.50	4.5526	PASS
79	81	1	1	4000	0.33	1.00	4.2332	PASS
80	41	1	1	4000	0.33	1.25	5.3523	PASS
81	67	1	1	4000	0.33	1.50	6.3849	NOPASS

4.1.1 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น

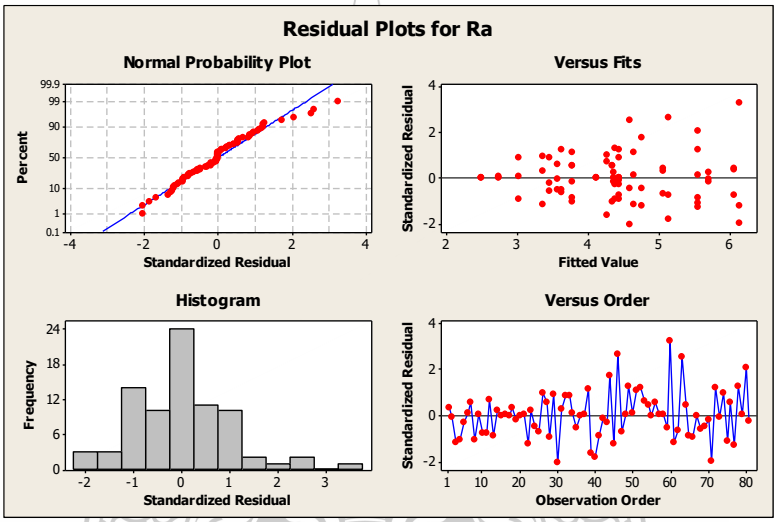
จากการดำเนินการทดสอบ ได้นำผลการทดสอบค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุ (Roughness ; Ra) มาบันทึกลงแผ่นตรวจสอบ จากนั้นดำเนินการการวิเคราะห์การทดสอบเชิงแฟกทอเรียลแบบ สามระดับ (3^k Factorial Design) โดยใช้โปรแกรม Minitab 16 ตามแผนการดำเนินงานที่ได้วางแผนไว้ ใน

ขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์ความเพียงพอของข้อมูล โดยจากการใช้โปรแกรม Minitab Function : Stat > DOE > Factorial >Analysis Factorial Design วิเคราะห์ความพอเพียงจากกราฟ 4 in 1 Graph ที่แสดงส่วนที่เหลือของผล (Residual Plot for Y) ทั้ง 4 กราฟเพื่อการทดสอบพาราเมตริก โดยข้อมูลทั้ง 4 เงื่อนไขจะใช้ตรวจสอบความเพียงพอของการทดลอง โดยจะพิจารณาจากผลการทดลองดังนี้

4.1.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

1) วิเคราะห์เงื่อนไขความพอเพียงจากกราฟ

การวิเคราะห์ความพอเพียงของข้อมูลจากกราฟ 4 IN 1 (Four in one) ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟ 4 IN 1 (Four in one)

จากกราฟการกระจาย (Normal Probability Plot) ของค่าส่วนตกค้างโดยดูจากการกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งการกระจายตัวของข้อมูลมีการกระจายตัวรอบเส้นตรงแบบปกติ ซึ่งแสดงได้ว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ

จากกราฟ Versus Fits แสดงการตรวจสอบความเป็นอิสระ(Independent) จาก พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวที่เป็นแบบอิสระ ไม่เป็นรูปแบบแน่นอนแสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกันทั้งด้านบวกและด้านลบไม่เป็นลักษณะของรูปแบบลำโพงปากเปิดด้านใดด้านหนึ่ง จึงอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ข้อมูลพิจารณาได้

จาก กราฟฮิสโตแกรม (Histogram) แสดงลักษณะข้อมูลที่อยู่ทั้งสองฝั่งซึ่งเป็นการกระจายตัวในรูปแบบปกติ โดยจะมีลักษณะเป็นรูปแบบการกระจายแบบระฆังคว่ำแสดงได้ว่าข้อมูลที่ได้มีการกระจายตัวแบบปกติสามารถใช้เพื่อการพิจารณาได้

จากกราฟการกระจายตัวแบบสุ่ม (Versus Order) ใช้ตรวจสอบข้อมูลว่ามีการกระจายตัวแบบสุ่มหรือไม่ ถ้าการกระจายตัวมีลักษณะนอกเหนือจากรูปหรือข้อมูลอาจจะมีรูปแบบไม่ชัดเจน แสดงว่าข้อมูลมีลักษณะแบบสุ่ม

4.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนจากผลลัพธ์ (ANOVA)

จากการนำข้อมูลการออกแบบการทดลองไปใช้ในการปรับตั้งค่าที่เครื่องกลึงอัตโนมัติ FEMCO รุ่น HL-25 เพื่อทำการทดสอบการกลึงละเอียดภายใต้เงื่อนไขการทดลองตามการออกแบบการทดลอง แบบ General Full Factorial Design แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะอ่านค่า P-value ที่ได้จากตารางสรุป ANOVA โดยถ้า ค่า P-value > α (0.05) ให้ยอมรับสมมติฐาน ตรงกันข้ามถ้าค่า P-value <= α (0.05) ให้ปฏิเสธสมมติฐาน โดยค่า P-value คือค่าที่ใช้ในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบจะทำให้ทราบผลของอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยร่วม (Interaction) ที่มีผลต่อความหยาบของผิวที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (WEIGHT HAND) และสามารถวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดได้จากการวิเคราะห์จาก Interaction Plot ในโปรแกรม Minitab 16 เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดได้ตามต้องการ โดยมีผลจากตาราง (ANOVA) ดังนี้

General Linear Model: Ra versus A, B, C

Factor	Type	Levels	Values
A	fixed	3	3500, 3800, 4000
B	fixed	3	0.10, 0.20, 0.33
C	fixed	3	1.00, 1.25, 1.50

Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	15.599	15.599	7.799	7.09	0.002
B	2	0.187	0.187	0.094	0.09	0.919
C	2	10.521	10.521	5.260	4.78	0.012
A*B	4	15.794	15.794	3.949	3.59	0.011
A*C	4	5.196	5.196	1.299	1.18	0.330
B*C	4	3.293	3.293	0.823	0.75	0.563
A*B*C	8	19.540	19.540	2.443	2.22	0.040
Error	54	59.407	59.407	1.100		
Total	80	129.538				

S = 1.04887 R-Sq = 54.14% R-Sq(adj) = 32.06%

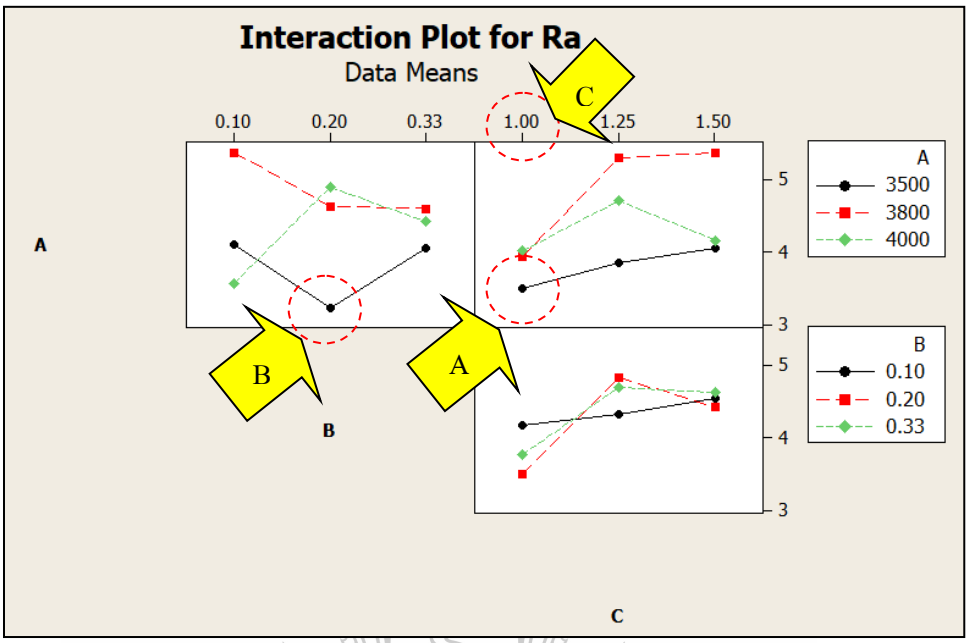
รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่าปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยร่วม (Interaction) ที่มีอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลระทบต่อปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ ปัจจัยหลัก คือ ความเร็วรอบ (A) และความลึกตัด (C) และปัจจัยร่วม คือ ปฏิสัมพันธ์ร่วมความเร็วรอบและอัตราป้อน (AB), และ ปฏิสัมพันธ์ร่วมความเร็วรอบ อัตราป้อนและความลึกตัด (ABC) ซึ่งจากผลการทดสอบจะเห็นว่าทั้งปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยร่วม (Interaction) ล้วนแต่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง วิจัยได้จึงได้นำปัจจัยดังกล่าวไปวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดด้วยการใช้ฟังก์ชัน (Interaction Plot) ต่อไป

4.1.3 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ส่งผลกระทบต่ออิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลระทบต่อปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย ซึ่งผลตอบสนองที่ต้องการคือ ความหยาบผิวของชิ้นงานน้อยที่สุด โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากโปรแกรมช่วยทางด้านสถิติ Minitab Version 16 ด้วยการหาจากการใช้ Interaction Plot มาทำการวิเคราะห์ด้วยฟังค์ชั่น Stat>DOE>Factorial>Factorial Plots>Interaction Plot

โดยวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วมความเร็วรอบ อัตราป้อนและความลึกตัด (ABC) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 Interaction Plot for Roughness Average

จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด โดยวิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Interaction Plot ถ้าต้องการค่าความหยาบผิวของชิ้นงานดีที่สุดควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ของความเร็วรอบเท่ากับ 3,500 รอบ/นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.20 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัดเท่ากับ 1.00 มม. ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตัดเฉือนในขั้นตอนการกลึงละเอียด

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย	หน่วย
ความเร็วรอบ	3,500	(รอบ/นาที)
อัตราป้อน	0.2	(มม./รอบ)
ความลึกตัด	1.00	(มม.)

4.1.4 การดำเนินการปรับปรุง

จากผลการทดลองที่ผ่านมาทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการและทราบถึงระดับปัจจัยที่ให้ผลตอบสนองต่อกระบวนการที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงนำแนวทางในการกำหนดปัจจัยไปเสนอต่อผู้บริหารและชี้แจงต่อผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสายการผลิตให้ทราบด้วยความเข้าใจและดำเนินงานโดยใช้วิธีการทำงานและการปรับตั้งเป็นมาตรฐานใหม่ โดยควบคุมตามแผนการผลิตที่มีคำสั่งจากลูกค้าเป็นระยะเวลา 3 เดือน ตั้งแต่เดือน ก.พ.–เม.ย. 2559

4.2 ผลการดำเนินการปรับปรุงปัญหา Ø 31 mm. มีรอย

จากสภาพปัญหา Ø 31 เป็นรอยข่วน ซึ่งในการดำเนินการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาพบว่าเกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 6 การกลึงละเอียด (Machining 3) ทางผู้วิจัยและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสายการผลิตได้ลงความเห็นว่าปัญหาดังกล่าวเกิดจากพนักงานผู้ปฏิบัติงานจะวางชิ้นงานสำเร็จลงในภาชนะที่เตรียมไว้ โดยการบรรจุชิ้นงานพนักงานจะวางติดกัน ทับซ้อนกันของชิ้นงานและปัญหาเศษที่ฝังอยู่ในภาชนะเป็นเหตุผลประกอบร่วมที่ส่งผลกระทบให้เกิดปัญหา Ø 31 mm. มีรอยข่วน โดยจากการสำรวจหน้างานพบว่าระหว่างที่มีการเคลื่อนย้ายชิ้นงานจากขั้นตอนที่ 6 ไป ขั้นตอนที่ 7 ชิ้นงานจะมีเสียดสีและกระแทกกับชิ้นงานที่อยู่เคียงข้างรวมถึงมีการเสียดสีกับเศษที่ฝังแน่นอยู่ที่ภาชนะส่งผลให้เกิดปัญหา Ø 31 เป็นรอยข่วนเกิดขึ้น

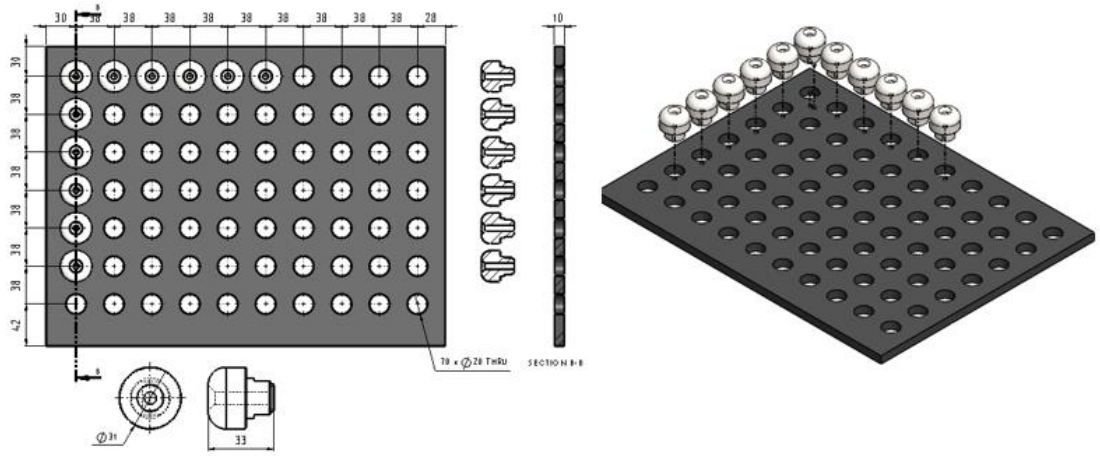
การดำเนินการปรับปรุงแก้ไขทางคณะผู้วิจัยได้นำปัญหา Ø 31 เป็นรอยข่วน ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (WEIGHT HAND) มาร่วมกันระดมความคิด (Brain Stroming) เพื่อกำหนดแนวทางการแก้ไขสาเหตุของ แสดงดังตารางที่ 4.5 แนวทางการแก้ไขสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.5 แนวทางการแก้ไขสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น

หัวข้อของปัญหา	สาเหตุของปัญหา	รายละเอียดของปัญหา	แนวทางการแก้ไข
1. Ø 31 เป็นรอย	วิธีการ/คน/อุปกรณ์	1) การบรรจุทับซ้อนกัน 2) มีเศษเหล็กฝังอยู่ที่ภาชนะ 3) ขาดอุปกรณ์ป้องกันการกระแทก	1) กำหนดวิธีการปฏิบัติงานในการบรรจุชิ้นงานใหม่ 2) จัดหาอุปกรณ์ช่วยสำหรับป้องกันการกระแทก

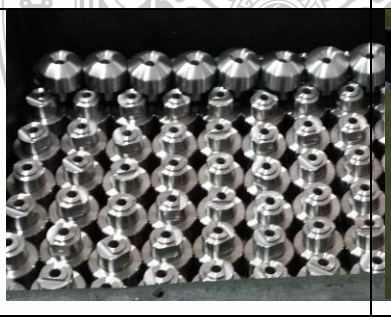
4.2.1 การดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

หลังจากการนำเสนอแนวทางการแก้ไขปรับปรุงต่อผู้บริหารและผ่านการพิจารณาอนุมัติการดำเนินงานแล้ว ผู้จัดทำโครงงานได้เริ่มดำเนินการปรับปรุง โดยมีรายละเอียดแสดงดังรูปที่ 4.8 และดังตารางที่ 4.6 วิธีการแก้สภาพปัญหาที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.8 การออกแบบอุปกรณ์ช่วยสำหรับป้องกันการกระแทก

ตารางที่ 4.6 วิธีการแก้สภาพปัญหาที่เกิดขึ้น

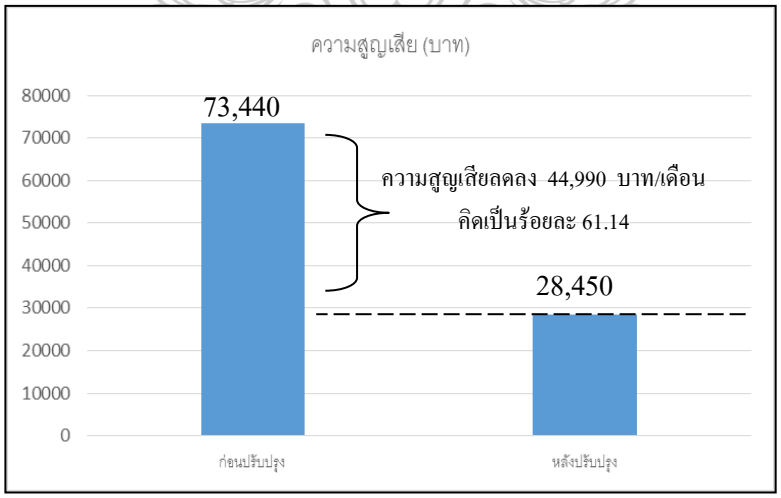
รายละเอียดของปัญหา	**ภาพประกอบ (ก่อนปรับปรุง)**	**ภาพประกอบ (หลังปรับปรุง)**
1) การบรรจุทับซ้อนกันและขาดอุปกรณ์ป้องกันการกระแทก		

จากตารางที่ 4.6 ผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์กันกระแทกโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสำหรับการออกแบบเพื่อทำการสั่งผลิต โดยวัสดุที่ใช้คือฟองน้ำแบบแข็งเนื่องจากสามารถดูดซับแรงกระแทกได้เป็นอย่างดีและมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำจึงเลือกนำมาปรับใช้ในขั้นตอนที่ 6 กระบวนการกลึงละเอียด ซึ่งจากการที่นำอุปกรณ์ดังกล่าวมาทดลองปรับใช้ในกระบวนการ พบว่า โดยกำหนดวิธีปฏิบัติงานให้

พนักงานจะต้องใช้อุปกรณ์กันกระแทกทุกครั้งและจะต้องวางชิ้นงานลงในหลุมที่ออกแบบไว้ ซึ่งเมื่อทดลองใช้สามารถป้องกันการกระแทกกันระหว่างชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและการแก้ไขปัญหาเรื่อง Ø 31 เป็นรอยข่วนได้จริง โดยทางผู้วิจัยได้กำหนดวิธีปฏิบัติงานให้กับพนักงานผู้รับผิดชอบได้ปฏิบัติใช้อย่างเป็นมาตรฐาน

4.3 ผลการดำเนินการปรับปรุง

จากการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการและการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3k Factorial Design) และเครื่องมือด้านวิศวกรรมอุตสาหการ เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อสภาพปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น เพื่อสามารถหาสาเหตุของรากเหง้าปัญหา (Root Cause) ของสภาพปัญหาทั้ง 2 ปัญหาจนนำไปสู่การแก้ไขและได้ทดลองปฏิบัติใช้ โดยเก็บข้อมูลในช่วงเดือน ก.พ.–เม.ย. 2559 พบว่ารายการผลิตที่ 5 ดังตารางที่ 4.5 ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) มีปริมาณของเสียเฉลี่ยต่อเดือนลดลงจาก 4,080 ชิ้นต่อเดือน เหลือ 1,581 ชิ้นต่อเดือน ลดลง 2,499 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 61.25 โดยมูลค่าของเสียเฉลี่ยลดลงจาก 73,440 บาท/เดือน เหลือ 28,450 บาท/เดือน ลดลง 44,990 บาท/เดือน คิดเป็นร้อยละ 61.14 ซึ่งได้ผลลัพธ์การลดมูลค่าของเสียได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ 50 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ผลลัพธ์การลดมูลค่าของเสียได้ตามเป้าหมาย

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษางานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนงานเสียจากปัญหาผิวลายและปัญหาผิวมีรอยในกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงาน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะในกระบวนการกลึงละเอียดของชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand) เพื่อนำไปสู่การลดปริมาณของเสียเฉลี่ยต่อเดือนจาก 4,080 ชิ้นต่อเดือน เหลือ 1,581 ชิ้นต่อเดือน ลดลง 2,499 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 61.25 ซึ่งร้อยละของการลดลงสูงกว่าวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ที่ร้อยละ 50.00 โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการและการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อสภาพปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น ในการศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องเกิดจากการระดมความคิด วิเคราะห์ จนได้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อปัญหาผิวลายและปัญหามีรอยของชิ้นงาน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ถูกนำมาวิเคราะห์ได้ปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดสอดคล้องตามสมมติฐานที่ตั้งไว้และสามารถสรุปผลการทดลองเชิงสถิติ ซึ่งการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเชิงสถิติ สามารถแสดงถึงค่าระดับความสำคัญของตัวแปรหรือปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตได้อย่างแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือ

5.1 สรุปผลและการอภิปรายผลการวิจัย

5.1.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของชิ้นงาน

จากการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการและการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อสภาพปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น พบว่าปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยร่วม (Interaction) ที่มีอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลระทบต่อปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ ปัจจัยหลัก คือ ความเร็วรอบ (A) และความลึกตัด (C) และปัจจัยร่วม คือ ปฏิสัมพันธ์ร่วมความเร็วรอบและอัตราป้อน (AB), และ ปฏิสัมพันธ์ร่วมความเร็วรอบ อัตราป้อนและความลึกตัด (ABC) ซึ่งจากผลการวิจัยดังกล่าวมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของหลายผู้วิจัย เช่นวิมล บุญรอด [21] กัมพล เพชรคง [22] และสุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ [18] เป็นต้น ซึ่งได้ทำการวิจัยในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน

5.1.2 จำนวนงานเสียเฉลี่ยที่ลดลงจากปัญหาผิวลายและปัญหามีรอย

จากการปรับปรุงและแก้ปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นด้วยเครื่องมือทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการและการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองช่วยให้สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณของเสียเฉลี่ยต่อเดือนลดลงจาก 4,080 ชิ้นต่อเดือน เหลือ 1,581 ชิ้นต่อเดือน ลดลง 2,499 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 61.25

5.1.3 การเปรียบเทียบมูลค่าของเสียจากการผลิตก่อนและหลังปรับปรุง

จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่วิเคราะห์ด้วยฟังก์ชัน Interaction Plot ทำให้ทราบว่าถ้าต้องการค่าความหยาบผิวของชิ้นงานดีที่สุดควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ ค่าพารามิเตอร์ของความเร็วรอบเท่ากับ 3,500 รอบ/นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.20 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัดเท่ากับ 1.00 มม. ไปทดลองปรับใช้พบว่าสามารถลดมูลค่าของเสียลดลงจาก 73,440 บาท/เดือน เหลือ 28,450 บาท/เดือน ลดลง 44,990 บาท/เดือน คิดเป็น 61.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งได้ผลลัพธ์การลดมูลค่าของเสียสูงกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ 50 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าเป้าหมาย 11.14 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับจากการทดสอบการนำค่าพารามิเตอร์ไปปรับใช้พบว่ายังมีของเสียเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก นั้นแสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการทดสอบอาจจะยังไม่เพียงพอต่อการที่จะแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้ ฉะนั้นผู้ที่จะนำงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้นั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านอื่นๆที่ผู้วิจัยไม่ได้ทดสอบหรือมองข้ามไปด้วย รวมถึงเครื่องมือสำหรับงานวิจัยที่เหมาะสม เนื่องจากงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นนั้นใช้เฉพาะชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (Weight Hand)

รายการอ้างอิง

[1] ดวงรัตน์ ชีวปัญญาโรจน์ และศุภศักดิ์ พงษ์อนันต์. **ความสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes)**. กรุงเทพฯ: สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2544.

[2] ปรัชญา พจน์จำเนียร **"การลดจำนวนชิ้นงานแหว่งในกระบวนการเชื่อมซีโอทูของชิ้นส่วนรถยนต์"**, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2551.

[3] โยชิโนบุ นายาทานิ และคณะ. **7 New QC Tools เครื่องมือสู่คุณภาพยุคใหม่**. แปลโดย วิฑูรย์ สิมะโชคดี. พิมพ์ครั้งที่ 1: กรุงเทพฯ, 2541.

[4] Euqene L, Grant and Richard S, Leavenworth. Statistical Quality Control, New York: 7th Mc graw – Hill.1999.

[5] เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล. **การควบคุมคุณภาพ (Quality Control),** พิมพ์ครั้งที่ 9 . กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ประกอบเมไตร, 2541.

[6] ผศ.สุภชัย นาทะพันธ์.**การควบคุมคุณภาพ (Quality Control),** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น (บมจ.) , 2556.

[7] http://www.csmltd.co.th/index.php?lay=show&ac=article&Id

[8] www.rsu.ac.th/engineer/esc/images/engineer.pdf

[9] http://th.misumi-ec.com/pdf/tech/mech/p2839_thai.pdf

[10] http://engineeringman.blogspot.com/2008/07/blog-post_712.html

[11] http://www.maxsteelthai.com/index.php?option=com_content&view=article&id=112%3A-steel-metallurgy&catid=42&lang=th

[12] ชีวิน จันทร์**สุนทร "การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของภาพพิมพ์ กรณีศึกษาการทดสอบขั้นสุดท้ายของการผลิตเครื่องพิมพ์อิงค์เจ็ท"** , วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553.

[13] Douglas C. Montgomery. **"Design and Analysis of Experiments."** 6th ed. The United States of America : John Wiley & Sons, INC, 2005.

[14] ปรเมศ ชุติมา. **"การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม"**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2545.

[15] วชิรพงษ์ สารีสิงห์. **“ลดของเสียในกระบวนการผลิตด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง”.** วารสารเพื่อการเพิ่มผลผลิต. 45(8) : หน้า 36 – 37. 2546.

[16] ชัยพฤกษ์ อาภาเวท, อาคม มณีคันโท, และสมพงษ์ พิริยายนต์. **การศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรในการกลึงกับลักษณะเศษที่เกิดขึ้นของเหล็กกล้า St.37.** 2550.

[17] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ . **“การศึกษาสภาวะการตัดที่เหมาะสมในการกลึงปาดหน้าพลาสติกไนลอนหล่อด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ”** . ผลงานวิจัยภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ,2551

[18] จุฬาลักษณ์ โรจนานุกูล, และสุรสิทธิ์ ระวังวงศ์. **“การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงไม้มะพร้าวด้วยใบมีคาร์ไบด์”**.2550

[19] พงษ์พันธ์ ราชภักดี, และเฉลิมพล คล้ายนิล. **อิทธิพลของสภาวะการกลึงเหล็กกล้าสเตนเลส AISI316 ด้วยใบมีดคาร์ไบด์ที่มีผลต่อการสึกหรอใบมีดตัดและความขรุขระของพื้นผิว.** 2550.

[20] วิมล บุญรอด . **“อิทธิพลของปัจจัยในการกลึงปอกต่อความขรุขระของผิวอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง ผลงานวิจัย”** ,ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2555.

[21] กัมพล เพชรคง**, “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงไม้ตาลโตนดด้วยใบมีดคาร์ไบด์”** การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, สงขลา, หน้า 787-795.20-22 ตุลาคม 2551.

[22] N. Muthukrishnan and J.P. Davim, “**Optimization of Machining Parameters of Al/SiC-MMC with ANOVA and ANN Analysis”.** Journal of Materials Processing Technology, Vol. 209, pp. 225-232. 2009.

[23] T.G. Dawson and T.R. Kurfess, **“Tool life, Wear Rates,and Surface Quality in Hard Turning”** Transaction of the North American Manufacturing Research Institution of SME, Vol. 29, pp. 175 – 182. 2001.

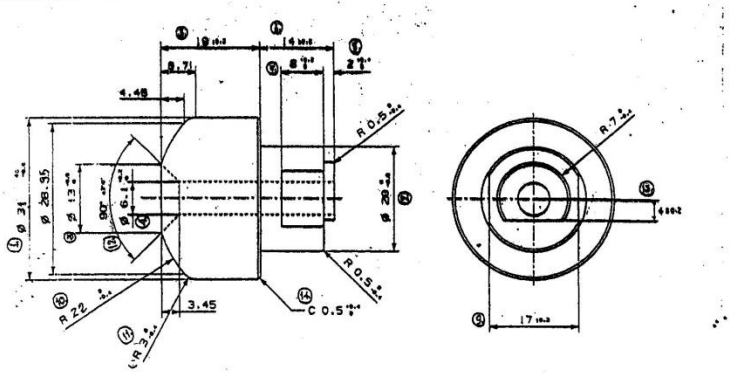
ภาคผนวก ก

แบบฟอร์มสั่งผลิตชิ้นงาน

ใบบันทึกผลการตรวจ / INSPECTION DATA RECORD

DOCUMENT FORM NO: INS-NST-014			
ลูกค้า/ผู้รับช่วง(CUSTOMER/SUPPLIER): NST	DOC. ISSUED: ณัฐ	DOC. CHECKED: ณัฐ	DOC. APPROVED: ณัฐ (แทน)
ชื่อชิ้นงาน(PART NAME): WEIGHT HAND A.STRG HNDL			
หมายเลขชิ้นงาน(PART NO.): 53103-KWWM-**6401** รุ่น (MODEL):	จนท. QC	หน. แผนก QC	ผจก. ฝ่าย
วัตถุดิบ(MATERIAL): SS400 / หมายเลขล็อต(LOT NO.)	DATE (ORG.): 21/05/14	แก้ไข (REVISE): 02	DATE (REV.): 01/10/14
ขนาดตัวอย่าง(SAMPLE SIZE):			

รูปภาพ (FIGURE) :



Check Point	INSPECTION	SPECIFICATION STANDARD	SPECIFICATION TOLERANCE	QUANTITY / SAMPLING 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	✱	JUDGE	INSTRUMENT NAME	INSTRUMENT CODE
1	Diameter	Ø31.00	+0.00 -0.60													Vernier	
2	Diameter	Ø20.00	+0.00 -0.60													Vernier	
3	Diameter	Ø13.00	+0.60 -0.00													V-CMM	
4	Diameter	Ø6.10	+0.20 -0.00													Vernier	
5	Dimension	19.00	+0.30 -0.30													Vernier	
6	Dimension	14.00	+0.20 -0.20													Vernier	
7	Dimension	8.00	+0.20 -0.00													Vernier	
8	Dimension	2.00	+0.40 -0.00													Vernier	
9	Dimension	17.00	+0.30 -0.30													Vernier	
10	Raduis	R22	+0.00 -0.40													V-CMM	
11	Raduis	R3	+0.00 -0.40													V-CMM	
12	Angle	90°	+1.5° -1.5°													CMM	
13	Dimension	4.00	+0.20 -0.20													Vernier	
14	Chamfer	C0.50	+0.40 -0.00													Profile	
15	Appearance	NO RUST														Visual	
16	Appearance	NO SCRATCH														Visual	
17	Appearance	NO BURR														Visual	
18	Appearance	NO CRACK														Visual	

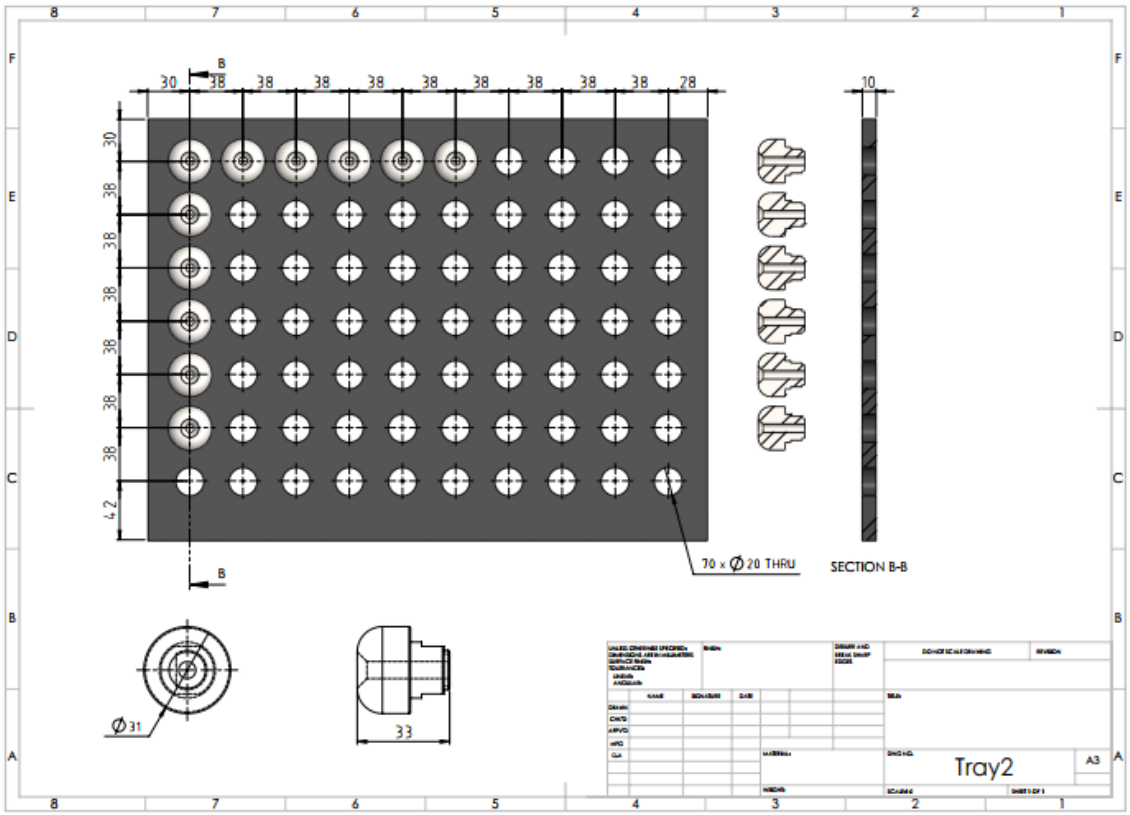
NOTE :

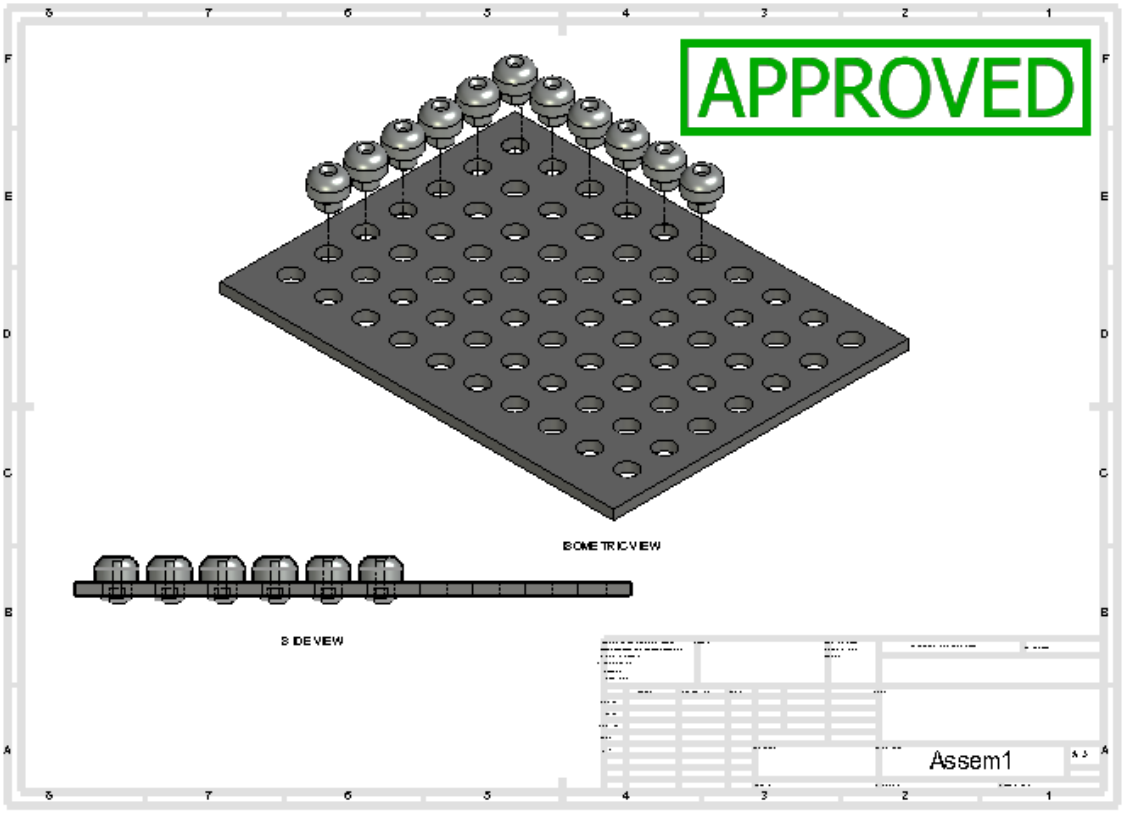
RESULT	SYMBOL	DOCUMENT STATUS
○ OK	✓ OK	○ DOCUMENT CONTROL ○ NON DOCUMENT CONTRAL
○ NG	x NG	
	○ ACP.	INSPECTOR / CHECKED / APPROVED

F/PCP2-3/08 แก้ไขครั้งที่ 00

ภาคผนวก ข

การออกแบบอุปกรณ์กันกระแทก


30
38
38
38
38
38
38
38
38
38
28
10
30
38
38
38
38
38
38
42
B
B
70 x Ø 20 THRU
SECTION B-B
Ø 31
33
Tray2
A3


APPROVED
ISOMETRIC VIEW
SIDE VIEW
Assem1

ภาคผนวก ค

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

นวัตกรรมอุตสาหกรรมไทยก้าวไกลสู่ประชาคมโลก
PROCEEDINGS
IE Network 2016
Conference
Local Industrial Innovations
for Global Community
July 7-8, 2016
Kosa Hotel, Khon Kaen, Thailand

คณะกรรมการดำเนินงาน

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. กิตติชัย ไตรรัตนศิริชัย	อธิการบดีมหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร. ศุภชัย ปทุมนากุล	รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและการถ่ายทอดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศาสตราจารย์ ดร. อภิรัฐ ศิริธราธิวัตร	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์	รองคณบดีฝ่ายวิจัย บัณฑิตศึกษา และอุตสาหกรรมสัมพันธ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ประธานกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน พีรพัฒนา	หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รองประธานกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คมกฤช ปิติฤกษ์	รองหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อาจารย์ ดร. อภิชาติ บุญมา	รองหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

กรรมการ

ศาสตราจารย์ ดร. ศุภชัย ปทุมนากุล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร. พรเทพ ขอขจายเกียรติ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา เศรษฐนันท์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร. ชาญณรงค์ สายแก้ว	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร. ศีขรินทร์ สุขโต	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
รองศาสตราจารย์ ดร. ดนัยพงศ์ เชษฐโชติศักดิ์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมธูรณ์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขอังคณา แถลงกัณฑ์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปาพจน์ เจริญอภิบาล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนา ราษฎร์ภักดี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรวัฒน์ เหล่านภากุล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ หอมดี	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการมหาวิทยาลัยขอนแก่น
อาจารย์ ดร.ปนิทัศน์ สุรียธนาภาส	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อาจารย์ ดร.ศิรวดี อรัญนารถ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อาจารย์ ดร.ฐนวรรธน์ นิยะโมสถ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อาจารย์ อ.พีระพงศ์ ท้าวเพชร	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อาจารย์ อ.ทวี นาครัชตะอมร	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

กรรมการและเลขานุการ

อาจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ เถื่อนแก้วสิงห์	โปรแกรมวิชาช่างกลโรงงาน คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

คณะกรรมการดำเนินงาน

ผู้ช่วยเลขานุการ

นางกรรณิการ์ เรืองศรีวิรัตน์	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
นางสาวธิดารัตน์ บุตรราช	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
นางสาวณัฏฐา ศักดิ์ศิลาพร	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ศรีสุรภานนท์
รองศาสตราจารย์ ดร.อำพล การุณสุนทวงษ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ธนัญญา วสุศรี
รองศาสตราจารย์ ดร.วารุณี เปรมานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบุญ เจริญวิไลศิริ
รองศาสตราจารย์ ดร.วารุณี เปรมานนท์
อาจารย์ สุทธิพงษ์ โสภา
รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์
รองศาสตราจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ ชุติมา
รองศาสตราจารย์ สันติรัฐ นันสะอาง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุชา วัฒนาภา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล มณฑาทิพย์กุล
อาจารย์ ดร.ปรัชญา เพียสุระ
อาจารย์ แบ๊งค์ งามอรุณโชติ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศาสตราจารย์ ดร.ก้องกิติ พูสวัสดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย กานตานันทะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิสุทธิ์ สุพิทักษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรธิภา องค์คุณารักษ์
อาจารย์ ดร.วรวุฒิ หวังวัชรกุล
อาจารย์ ดร.ไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล
อาจารย์ ดร.ศักดิ์ดา คำจันทร์
อาจารย์ ดร.พัชรา ศรีพระบุ
อาจารย์ ดร.วรญา เนื่องมัจฉา
อาจารย์ ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ
รองศาสตราจารย์.ดร.ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑา พิชิตลำเค็ญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรางค์ กลั่นคำสอน
อาจารย์ ดร.พัชรี โตแก้ว ทองรัตนะ
อาจารย์ ดร.เชฏฐา ชำนาญหล่อ
อาจารย์ ดร.วิเรขา คำจันทร์
อาจารย์ ดร.ชาตินักรบ แสงสว่าง
อาจารย์ สุวิวัฒน์ สืบสานกุล
อาจารย์ ปริญญา พัฒนวสันต์พร

มหาวิทยาลัยมหิดล

รองศาสตราจารย์ ดร.ชะอรสิน สุขศรีวงศ์
รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัย นาทะพันธ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บันลือ เอมะรุจิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รณชัย ศิโรเวฐนุกูล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภชัญ ราษฎร์ศิริ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย ปฐมศิริ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วเรศรา วีระวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตวงยศ สุภีกิตย์
อาจารย์ ดร.จิรพรรณ เลี่ยงโรคาพาธ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถกร เก่งพล
รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธชัย บันเทิงจิตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชยธัช เผือกสามัญ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์
รองศาสตราจารย์ รัตนา อัตภูมิสุวรรณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐนารี สุขเสกสรร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พิพิณนนท์ พูลสวัสดิ์
อาจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม

มหาวิทยาลัยบูรพา

รองศาสตราจารย์ ดร.เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จันทร์ฑา นาควชิรตระกูล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธีรวัฒน์ สมสิริกาญจนคุณ
อ.ดร.ฤฎูวัลย์ จันทรสา

ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาต โสภาแดง
รองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ฉัตรทินวัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งฉัตร ชมภูอินไหว
รองศาสตราจารย์ ดร.ชนนาถ กฤตวรกาญจน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกฎ ใยบัวเทศ ทิพยาวงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ เสรีรัตน์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.เสมอจิตร หอมรสสุคนธ์
รองศาสตราจารย์ ดร.บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักย์ ธรรมนิวิฏฐ์
รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวัสดิ์ ภาระราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัยรัตน์ ตันติไพบูลย์วุฒิ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย
อาจารย์ ดร.พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์
รองศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ฒิไชย

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร
อาจารย์ ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์
อาจารย์ ดร.คเณศ พันธุ์สวาสดิ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์
อาจารย์ ดร.สิทธิชัย แช่เหล่ม

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ รัตนวิไล
รองศาสตราจารย์ ดร.นิกร ศิริวงศ์ไพศาล
อาจารย์ สุริยา จิรสถิตสิน
รองศาสตราจารย์ วนิดา รัตนมณี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สงวน ตั้งโพธิธรรม
อาจารย์ ภาคภูมิ ธีรสันติกุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร. วิโรจน์ ศรีสุรภานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุมพล มณฑาทิพย์กุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปภัศร ชัยวัฒน์
รองศาสตราจารย์ ดร. ธนัญญา วสุศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำพล การุณสุนทวงษ์
อาจารย์ ดร.วิศิษฎ์ศรี วิยะรัตน์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

รองศาสตราจารย์ ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน
อาจารย์ ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีสัจจา วิทยศักดิ์
อาจารย์ วิสาข์ เจ่าสกุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล

ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์
อาจารย์ ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์

มหาวิทยาลัยรังสิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนวรรณ อัศวไพบูลย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สินี สุขกรมใส มอเย่อร์
อาจารย์ ดร.พิษณุ มนัสปิติ
อาจารย์ ศิลปชัย วัฒนเสย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ วรรณศรี
อาจารย์ ดร.สุรเชษฐ์ เถื่อนแก้วสิงห์
อาจารย์ ดร.อธิวัฒน์ บุญมี

มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาธิต รุ่งฤดีสมบัติกิจ
ว่าที่ร้อยตรีจอมภพ ละออ

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อาจารย์ ดร.โรจนี หอมชาลี

สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อัญชลี สุพิทักษ์

มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
อาจารย์อรอุมา กอสนาน

มหาวิทยาลัยสยาม
อาจารย์ ชาณิดา พิทยานนท์

มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย รัตนวงษ์
อาจารย์ ดร.ธรณินทร์ สัจจวิริยทรัพย์

มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์
อาจารย์ปิยะณัฐ โตอ่อน
อ.ดร.ทศพร แจ่มใส

ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
อาจารย์อำนาจ อมฤก

มหาวิทยาลัยทักษิณ
อาจารย์ ดร.กฤษฎา พัชรสิทธิ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวดล กัญญาคำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
อาจารย์ ดร.ธีรินทร์ คงพันธุ์
อาจารย์ สถิตเทพ สังข์ทอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จักรนรินทร์ ฉัตรทอง
อาจารย์ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
อาจารย์ พงษ์ศักดิ์ เกิดลาภี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทร์มณี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิจิตรสวัสดิ์ สุขสวัสดิ์ ณ อยุธยา

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สถาพร จันทวี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จักรนรินทร์ ฉัตรทอง

บริษัท เอ็มโฟกัส จำกัด
ดร.ปรีชา พันธุมสินชัย

ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ศาสตราจารย์ ดร. ศุภชัย ปทุมนากุล
รองศาสตราจารย์ ดร.สมจิตร อาจอินทร์
รองศาสตราจารย์ ดร. ดนัยพงศ์ เชษฐโชติศักดิ์
รองศาสตราจารย์ ดร. ชาญณรงค์ สายแก้ว
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนา ราษฎร์ภักดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขอังคณา แถลงกัณฑ์
อาจารย์ ดร. สมศักดิ์ หอมดี
อาจารย์ ดร. อภิชาติ บุญมา
อาจารย์ ดร.ปนิทัศน์ สุรียธนาภาส
อาจารย์ ดร.ศิรวดี อรัญนารถ
อาจารย์ โกวิทย์ พลหาญ
รองศาสตราจารย์ ดร. พรเทพ ขอขจายเกียรติ
รองศาสตราจารย์ ดร. กาญจนา เศรษฐนันท์
รองศาสตราจารย์ ดร. ศีขรินทร์ สุขโต
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน พีรพัฒนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปาพจน์ เจริญอภิบาล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รักน้อย อัครรุ่งเรืองกุล
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คมกฤช ปิติฤกษ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรวัฒน์ เหล่านภากุล
อาจารย์ ดร.ฐนวรรธน์ นิยะโมสถ
อาจารย์ ดร.อาทิตย์ อภิโชติธนกุล
อาจารย์ ทวี นาครัชตะอมร

กำหนดการประชุม

การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2559
(IE Network Conference 2016)
ระหว่างวันที่ 6-8 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 ณ โรงแรมโฆษะ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น

วันพุธที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

15.00 น.	18.00 น.	ลงทะเบียน
15.30 น.	17.00 น.	ประชุมสามัญหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
18.00 น.	20.00 น.	งานเลี้ยงต้อนรับ (Welcome Party)
10:45 น.	11:00 น.	***รับประทานอาหารว่าง***

วันพฤหัสบดีที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2559

08.00 น.	09.00 น.	ลงทะเบียน
09.00 น.	09.45 น.	พิธีเปิดการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2559 - กล่าวต้อนรับ และรายงานการจัดประชุมวิชาการฯ โดย ผศ.ดร.ปณิธาน พีรพัฒนา หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ - กล่าวเปิดการประชุมวิชาการฯ โดย ศ.ดร.อภิรัฐ ศิริธราธิวัชร คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
09.45 น.	10.45 น.	การบรรยายพิเศษ โดย คุณวนัส แต้ไพสิฐพงษ์ ประธานเจ้าหน้าที่บริหาร บริษัท เบทาโกร จำกัด (มหาชน)
10.45 น.	11.00 น.	***รับประทานอาหารว่าง***
11.00 น.	12.00 น.	การบรรยายพิเศษ โดย คุณโฆษิต สุขสิงห์ ผู้ช่วยกรรมการผู้อำนวยการใหญ่ บริษัท ไทยเบฟเวอเรจ จำกัด (มหาชน)
12.00 น.	13.00 น.	***รับประทานอาหารกลางวัน***

Parallel Session 1									
Room		ห้องกรีนA	ห้องกรีนB	มงกุฎหยก	มงกุฎทับทิม	มงกุฎแก้ว	มงกุฎเงิน	มงกุฎทอง	มงกุฎนาก
Topic		Materials and Manufacturing Engineering	Materials and Manufacturing Engineering	Operations Research	Quality Engineering	Work Study, Plant Layout, Ergonomic, Safety Management	Supply Chain and Logistics	Engineering Management	Engineering Management + Other Related
13:00 น.	13:15 น.	15	165	14	18	6	9	8	4
13:15 น.	13:30 น.	16	173	53	43	57	11	25	157
13:30 น.	13:45 น.	22	178	83	45	72	63	70	168
13:45 น.	14:00 น.	24	182	85	48	75	97	95	210
14:00 น.	14:15 น.	26	192	87	105	234	130	101	235
14:15 น.	14:30 น.	28	207	127	107	324	246	245	372
14:30 น.	14:45 น.	96	212	206	155	430	302	407	64
14:45 น.	15:00 น.	374	298	422	348	439	404	425	412
15:00 น.	15:15 น.	***รับประทานอาหารว่าง***							

วันศุกร์ที่ 8 กรกฎาคม พ.ศ. 2559 (ต่อ)

Parallel Session 4									
Room		ห้องกรีนA	ห้องกรีนB	มงกุฎหยก	มงกุฎทับทิม	มงกุฎแก้ว	มงกุฎเงิน	มงกุฎทอง	มงกุฎนาก
Topic		Materials and Manufacturing Engineering	Materials and Manufacturing Engineering	Operations Research	Quality Engineering	Work Study, Plant Layout, Ergonomic, Safety Management	Production and Operation Management	Supply Chain and Logistics	Maintenance and Reliability Engineering
10:30 น.	10:45 น.	71	135	102	219	23	154	116	169
10:45 น.	11:00 น.	406	239	108	279	40	163	128	185
11:00 น.	11:15 น.	267	300	110	59	167	380	352	286
11:15 น.	11:30 น.	269	304	368	124	337	384	390	398
11:30 น.	11:45 น.	319	371	429	148	358	385	432	399
11:45 น.	12:00 น.	323	377	449	419	440	149	435	415
12:00 น.	13:00 น.	***พักรับประทานอาหารกลางวัน***							

Parallel Session 5									
Room		ห้องกรีนA	ห้องกรีนB	มงกุฎหยก	มงกุฎทับทิม	มงกุฎแก้ว	มงกุฎเงิน	มงกุฎทอง	มงกุฎนาก
Topic		Materials and Manufacturing Engineering	Materials and Manufacturing Engineering	Green and Sustainability in Industrial Engineering	Quality Engineering	Work Study, Plant Layout, Ergonomic, Safety Management	Production and Operation Management	Production and Operation Management	Others Related to Industrial Engineering and Innovation
13:00 น.	13:15 น.	150	201	99	197	35	47	202	82
13:15 น.	13:30 น.	189	215	172	200	114	67	231	213
13:30 น.	13:45 น.	208	271	224	211	119	74	227	241
13:45 น.	14:00 น.	278	272	232	225	287	79	255	320
14:00 น.	14:15 น.	221	378	295	251	291	80	303	347
14:15 น.	14:30 น.	226	391	331	252	297	100	307	351
14:30 น.	14:45 น.	299	394	345	313	413	382	362	402
14:45 น.	15:00 น.	242	84	436	335	417	433	428	414
15:00 น.	15:15 น.	***รับประทานอาหารว่าง***							

Parallel Session 6									
Room		ห้องกรีนA	ห้องกรีนB	มงกุฎหยก	มงกุฎทับทิม	มงกุฎแก้ว	มงกุฎเงิน	มงกุฎทอง	มงกุฎนาก
Topic		Materials and Manufacturing Engineering	Materials and Manufacturing Engineering	Supply Chain and Logistics	Quality Engineering	Others Related to Industrial Engineering and Innovation	Production and Operation Management	Production and Operation Management	
15:15 น.	15:30 น.	237	408	60	81	86	191	76	
15:30 น.	15:45 น.	256	409	61	392	132	193	288	
15:45 น.	16:00 น.	257	431	434	446	216	194	290	
16:00 น.	16:15 น.	281	450	441	447	233	322	373	
16:15 น.	16:30 น.	355	451	453		318	365		

สารบัญ

Topic: Production and Operations Management (ต่อ)		หน้า
ID_255	การเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตโดยการลดความสูญเปล่าและสมดุลการผลิตด้วยแบบจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์	58
ID_288	การศึกษาขั้นตอนการทำงานเพื่อลดต้นทุนกรณีศึกษา ไร่สับปะรด อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง	59
ID_290	การประยุกต์ใช้ Six Sigma ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์แหนมปลากราย กรณีศึกษาแหนมปลากรายของชุมชนบ้านโนนสวรรค์ จ.หนองคาย	60
ID_303	การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต: กรณีศึกษา สายการผลิตเครื่องดื่มเต้าหู้นมสด	61
ID_307	การแก้ไขปัญหาในการผลิตผ้า กรณีศึกษา โรงงานตัวอย่าง	62
ID_322	การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานในโรงสีข้าวด้วยการบริหารคุณภาพแบบเบ็ดเสร็จ	63
ID_329	การปรับปรุงประสิทธิภาพสายงานประกอบ กรณีศึกษา บริษัทผลิตเครื่องถ่ายเอกสาร	64
ID_333	การวางแผนการผลิตกระจกแผ่นเรียบสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	65
ID_336	การออกแบบระบบการวางแผนการผลิตล้ออัลลอย	66
ID_362	การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อขัดข้องและผลกระทบเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการกลึงกระบอกสูบรถแทรคเตอร์ล้อยาง	67
ID_365	การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์	68
ID_367	การพยากรณ์อนุกรมเวลาสำหรับวางแผนการจัดซื้อสารฝนหลวง	69
ID_373	การลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักรโดยใช้เทคนิค SMED กรณีศึกษา กระบวนการไฟน์แบลังกิงเพรส	70
ID_380	การลดความสูญเสียในกระบวนการย้อมสีผ้าด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องและผลกระทบ	71
ID_382	การวิเคราะห์การเลือกที่ตั้งพื้นที่จัดเก็บนั่งร้านสำหรับงานซ่อมบำรุงโรงไฟฟ้า	72
ID_384	การออกแบบตัวเสริมกันกระแทกเพื่อลดปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการจัดเก็บและการขนย้ายสินค้า กรณีศึกษา บริษัทผลิตเฟอร์นิเจอร์	73
ID_385	การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตด้วยการลดของเสียและลดเวลาในกระบวนการผลิต กรณีศึกษาบริษัทผลิตนาฬิกาข้อมือ	74
ID_411	การวางแผนการผลิตและการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคการวิเคราะห์กิจกรรมร่วม กรณีศึกษา โรงงานผลิตเบเกอรี่	75
ID_421	การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเสื้อแจ็คเก็ต	76
ID_428	การลดเวลาในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ HG Blank	77
ID_433	การกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมแบบพลวัตสำหรับธุรกิจจำหน่ายปุ๋ยเคมีหลายชนิด	78

Topic:	Work Study, Plant Layout, Ergonomic, Safety Management	หน้า
ID_006	การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองสถานการณ์ ARENA กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมทอผ้า	81
ID_012	การลดเวลาในกระบวนการเจาะรูก้อนปั๊มไฮดรอลิกขนาด 30 ตัน กรณีศึกษา บริษัท พี เอ ดับเบิ้ลยู เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด	82

Topic: Production and Operation Management Paper ID:365

การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง : กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

Defects Reduction in the Motorcycle Spare parts Production by Apply the Design of Experiments : A case study of Motorcycle Parts Manufacturing Industry Company

เอกพล ทับพร[1*] และ ณฐา คุปตัษเฐียร[1]
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
E-mail: pew_ek@hotmail.com *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการลดปริมาณของเสียที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องด้านความหยาบผิวหรือปัญหาผิวลายของชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ของรถจักรยานยนต์ ในกระบวนการกลึงปอกวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400 จากการดำเนินการใช้เครื่องมือคุณภาพแบบเก่า ได้แก่ ใบตรวจสอบ แผนภาพสาเหตุและผล แผนภูมิพาเรโตมาช่วยในการวิเคราะห์และคัดเลือกปัญหา พบว่าสภาพปัญหาหลักเกิดจากความไม่เหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกลึงปอกวัสดุ จากการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3k Factorial Design) โดยมีปัจจัยที่ใช้ศึกษา 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราป้อนและความลึกตัดโดยกำหนดความเร็วรอบเท่ากับ 3,500, 3,800และ 4,000 รอบ/นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.1, 0.2 และ 0.33 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัดเท่ากับ 1.0, 1.25 และ 1.5 มม.จากผลการวิจัยพบว่าถ้าต้องการค่าความหยาบผิวของชิ้นงานดีที่สุดควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ของความเร็วรอบเท่ากับ 4,000 รอบ/นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.10 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัดเท่ากับ 1.25 มม.และจากการดำเนินการนำผลวิจัยไปปรับใช้สามารถลดมูลค่าของเสียเฉลี่ยได้จาก 73,440 บาท/เดือน ลดลงเหลือ 28,450 บาท/เดือน คิดเป็นร้อยละ 38.74

คำสำคัญ: อัตราป้อน การออกแบบการทดลอง ชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง : กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

Defects Reduction in the Motorcycle Spare parts Production by Apply the Design of Experiments : A case study of Motorcycle Parts Manufacturing Industry Company

เอกพล ทับพร[1*] และ ณฐา คุปตัษเฐียร[1]
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
E-mail: pew_ek@hotmail.com *

Ekkapol Tubpond [*] and Natha Kuptasthien
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of TechnologyThanyaburi
E-mail: pew_ek@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการลดปริมาณของเสียที่เกิดจากอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องด้านความหยาบผิวหรือปัญหาผิวลายของชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ของรถจักรยานยนต์ ในกระบวนการกลึงปอกวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400 จากการดำเนินการใช้เครื่องมือคุณภาพแบบเก่า ได้แก่ ใบตรวจสอบ แผนภาพสาเหตุและผล แผนภูมิพาเรโตมาช่วยในการวิเคราะห์และคัดเลือกปัญหา พบว่าสภาพปัญหาหลักเกิดจากความไม่เหมาะสมของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกลึงปอกวัสดุ จากการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) โดยมีปัจจัยที่ใช้ศึกษา 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราป้อนและความลึกตัดโดยกำหนดความเร็วรอบเท่ากับ 3,500, 3,800และ 4,000 รอบ/นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.1, 0.2 และ 0.33 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัดเท่ากับ 1.0, 1.25 และ 1.5 มม.จากผลการวิจัยพบว่าถ้าต้องการค่าความหยาบผิวของชิ้นงานดีที่สุดควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ของความเร็วรอบเท่ากับ 4,000 รอบ/นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.10 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัดเท่ากับ 1.25 มม.และจากการดำเนินการนำผลวิจัยไปปรับใช้สามารถลดมูลค่าของเสียเฉลี่ยได้จาก 73,440 บาท/เดือน ลดลงเหลือ 28,450 บาท/เดือน คิดเป็นร้อยละ 38.74

คำหลัก อัตราป้อน การออกแบบการทดลอง ชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์

Abstract

This research has a major purpose to reduce the defect caused by the influential factors affecting workpieces with rough surfaces of the motorcycle handlebar weights in metal turning process SS400 Low Carbon Steel. Seven quality tools are used in the operations; using Cause and Effect Diagram and Pareto diagram to Analyze and select the problems. It found that the main problems were caused by the Inappropriate of the parameters which were are used in turning material. From the operation solutions to the problems with the applying experimental design techniques factorial ,3k Factorial Design. Three factors were used in this study, each factor has 3 levels; Speeds of spindle, Feed of Rate and Depth of Cut . By requiring Speeds of spindle 3,500, 3,800 and 4,000 rev / min, Feed of Rate 0.1, 0.2 and 0.33 mm / rev. and Depth of Cut 1.0, 1.25 and 1.5 mm.

The study findings revealed that the desired average surface roughness of the workpiece would be the best should set the parameters of the Speeds of spindle 4,000 rev / min, Feed of Rate

0.1mm / rev. and Depth of Cut 1.25 mm., and can reduce the value of the waste the average cost from 73,440 baht / month to 28,450 Baht / month 38.74 as a percentage

Keywords Feed Rate, Design of experiment, Motorcycle Parts

1. บทนำ

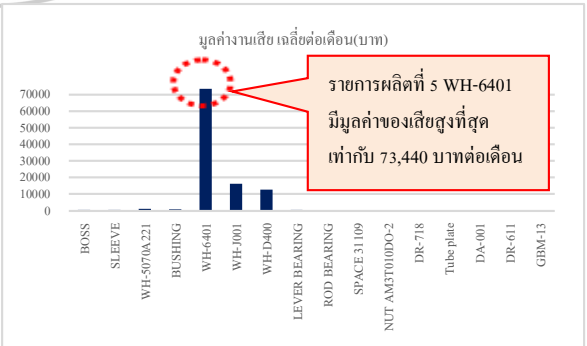
ในสภาพปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ในประเทศไทยมีแนวโน้มการเจริญเติบโตที่สูงขึ้นและมีสภาพการแข่งขันทางด้านธุรกิจมากขึ้นด้วย ส่งผลให้องค์กรธุรกิจทุกระดับในประเทศจำเป็นต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพกระบวนการผลิตของตนเอง เพื่อให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งทางธุรกิจรายอื่นได้ ซึ่งไม่ใช่เพียงแค่ด้านราคาที่ต่ำกว่าแต่ยังรวมถึงด้านคุณภาพที่ดีกว่าอีกด้วย

บริษัทตัวอย่างดำเนินธุรกิจประเภทรับผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ตามคำสั่งซื้อของลูกค้า (Make to order) เช่น ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ คันสตาร์ต แกนโช๊ค ก้านเบรค พักเท้า เป็นต้น ในช่วงเดือน มิ.ย.-พ.ย. พ.ศ.2558 บริษัทฯ ได้รับคำสั่งซื้อจากลูกค้าเพื่อดำเนินการผลิตเป็นจำนวนทั้งสิ้น 16 รายการ ดังตารางที่ 1 โดยจากการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณของเสียทั้ง 6 เดือน พบว่ารายการผลิตที่ 5 ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (WEIGHT HAND ; WH-6401) มียอดผลิตเฉลี่ยต่อเดือนสูงที่สุดเท่ากับ 144,000 ชิ้น คิดเป็น 43.97 เปอร์เซ็นต์ของยอดการผลิตทั้งหมด และมีปริมาณของเสียเฉลี่ยต่อเดือน เท่ากับ 4,080 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นมูลค่าของเสีย เท่ากับ 73,440 บาทต่อเดือน ซึ่งผู้วิจัยได้นำข้อมูลดังกล่าวมาเสนอในรูปแบบของกราฟแท่งเพื่อให้ง่ายต่อการอนุมานและเปรียบเทียบข้อมูลความสูญเสียแสดงดังรูปที่ 1 จากความสูญเสียดังกล่าวเป็นความสูญเสียที่ส่งผลกระทบต่อบริษัทตัวอย่างทั้งทางตรงและทางอ้อมเป็นอย่างมาก ซึ่งควรที่จะได้รับการปรับปรุงและแก้ไขอย่างเร่งด่วน

ตารางที่ 1 รายการผลิตในช่วงเดือน มิ.ย.-พ.ย. พ.ศ. 2558

ลำดับที่	รายการ	จำนวนยอดผลิตจริง (ชิ้น)	ยอดผลิตเฉลี่ยต่อเดือน (ชิ้น)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวนงานเสียเฉลี่ยต่อเดือน(ชิ้น)	สัดส่วนของเสีย	มูลค่างานเสียเฉลี่ยต่อเดือน (บาท)
1	BOSS	120,000	20,000	4	125	0.0063	500
2	SLEEVE	108,000	18,000	8	51	0.0028	408
3	WH-5070A221	120,000	20,000	13	95	0.0048	1,235
4	BUSHING	150,000	25,000	5	133	0.0053	665
5	WH-6401	864,000	144,000	18	4,080	0.0283	73,440
6	WH-J001	240,000	40,000	16	1,009	0.0252	16,144
7	WH-D400	210,000	35,000	16	800	0.0229	12,800
8	LEVER BEARING	30,000	5,000	8	80	0.0160	640
9	ROD BEARING	27,000	4,500	5	9	0.0020	45
10	SPACE 31109	12,000	2,000	7	18	0.0090	126
11	NUT AM3T010DO-2	21,000	3,500	5	8	0.0023	40
12	DR-718	4,800	800	12	14	0.0175	168
13	Tube plate	4,800	800	18	10	0.0125	180
14	DA-001	4,800	800	19	11	0.0138	209
15	DR-611	4,800	800	14	13	0.0163	182
16	GBM-13	4,800	800	13	3	0.0038	39
รวม		1,965,000	327,500	-	6,527	0.2184	107,841

ด้วยเหตุนี้ทางคณะผู้วิจัยจึงได้พิจารณาและเล็งเห็นถึงปัญหาความสูญเสียที่เกิดขึ้นที่จำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงและแก้ไขอย่างถูกต้อง โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการและการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อสภาพปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น เพื่อสามารถหาสาเหตุของรากเหง้าปัญหา (Root Cause) ได้อย่างถูกต้องและสามารถลดมูลค่าของเสียให้ต่ำลงอย่างน้อย 50% จากสภาพปัจจุบัน

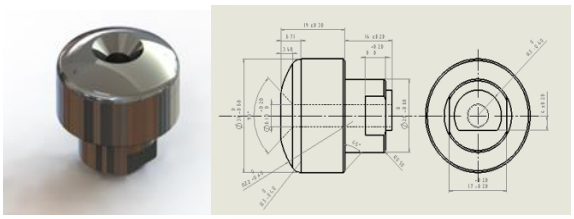


รูปที่ 1 มูลค่างานเสียทุกรายการผลิต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

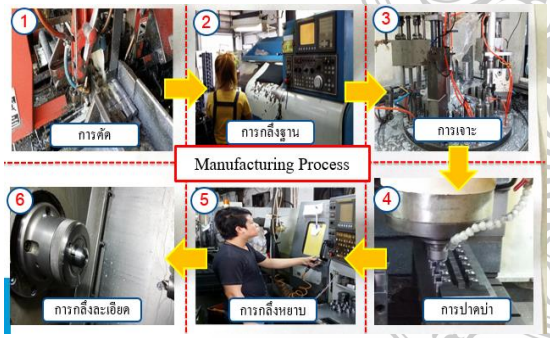
2.1 โครงสร้างผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต

ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (WEIGHT HAND ; WH-6401) เป็นชิ้นส่วนประกอบของรถจักรยานยนต์ยี่ห้อหนึ่ง ผลิตจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) เกรด SS400 ผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 31 มิลลิเมตร ความสูงเท่ากับ 33 มิลลิเมตร มีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 123 กรัม ดังรูปที่ 2

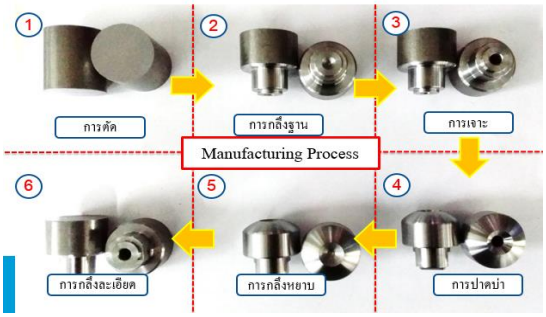


รูปที่ 2 ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (WEIGHT HAND ; WH-6401)

กระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ 1) การตัด (Cutting) 2) การกลึงฐาน (Machining 1) 3) การเจาะ (Drilling) 4) การปาดบ่า (Milling Step) 5) การกลึงหยาบ (Machining 2) 6) การกลึงละเอียด (Machining 3) ดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4



รูปที่ 3 กระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์

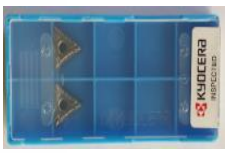


รูปที่ 4 ชิ้นงานจากกระบวนการผลิต

2.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ คือเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) เกรด SS400 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 33 มิลลิเมตร สูง 34 มิลลิเมตร ที่ผ่านกระบวนการกลึงหยาบ ดังรูปที่ 5(a) มีคุณสมบัติทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 2 มีค่าความแข็ง (สภาพอบอ่อน) 167-229 (HB) เลือกใช้มีดกลึงคาร์ไบด์เครื่องหมายการค้า KYOCERA เกรด (TNMG1 6040XP-TN60) ดังรูปที่ 5(b) เป็นเม็ดมีดสำหรับการปอกผิววัสดุบนเครื่องกลึงอัตโนมัติ FEMCO รุ่น HL-25 โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ภายใต้สภาวะการตัดเฉือนที่แตกต่างกันออกไป จากนั้นจะวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวยี่ห้อ Mahr รุ่น Surftest PS1 ดังรูปที่ 5(c) และเปรียบเทียบลักษณะของผิวชิ้นงานกลึงโดยการใช้ กล้องจุลทรรศน์ ความละเอียด 500 เท่าดังรูปที่ 5(d) ภายหลังจากการผ่านกระบวนการตัดเฉือนตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้

(a)



(b)

รูปที่ 5 วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

คุณสมบัติทางกายภาพ	SS400
ความหนาแน่น	7,860 (kg/m3)
จุดหลอมเหลว	1,430 องศาเซลเซียส
ความต้านทานแรงดึง	190-210 (MPa)
ความแข็ง	160 (HB)
องค์ประกอบทางเคมี	(C) 0.42 % - 0.48 % (Si) 0.15 % - 0.35 % (Mn) ไม่ได้ถูกควบคุม (P) 0.05% สูงสุด (S) 0.05% สูงสุด

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) เกรด SS400

2.3 การทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) คือ การออกแบบที่ประกอบด้วย k ปัจจัย ในระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ โดยปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับ โดยนำปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยร่วม (Interaction) ที่มีผลต่อความขุรขระของผิวที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (WEIGHT HAND ; WH-6401) มาทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ สามระดับ (3^k Factorial Design) ซึ่งจะมีการเพิ่มค่ากลางเข้าไปเพื่อเพิ่มระดับความน่าเชื่อถือของข้อมูลให้เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะต้องทำการทดลองทั้งหมด $3\times3\times3\times3\times...\times3 = 3^k$ การทดลอง

2.4 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพในกระบวนการผลิตซึ่งช่วยในการเก็บข้อมูล ศึกษา วิเคราะห์และแก้ไขสภาพทั่วไปของปัญหาซึ่งประกอบด้วย แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet) ฮิสโตแกรม (Histogram) ผังพาเรโต (Pareto Diagram) กราฟ (Graph) ผังแสดงเหตุ (Cause & Effect Diagram) ผังการกระจาย (Scatter Diagram) และแผนภูมิควบคุม (Control Chart) [1]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของวิมล บุญรอด [2] ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อความขรุขระของผิวอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง เกรด 7075 โดยใช้มีดกลึงเครื่องหมายการค้า Plansee Tizit ชนิด DCGT 070204fn-27 เกรด H10T ตัวแปรที่ใช้ศึกษา คือ ความเร็วตัดในช่วง130-220 ม./นาที อัตราป้อน 0.02-0.1 มม./รอบ และความลึกในการตัด 0.45-0.85 มม. ผลการทดลองพบว่าอัตราป้อนมีผลต่อความขรุขระผิวสูงที่สุด โดยค่าความขรุขระผิวมีแนวโน้มลดต่ำลงเมื่อใช้อัตราป้อนต่ำ

กัมพล เพชรคง [3] ได้ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความขรุขระผิวและค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดในการกลึงไม้ตาลโตนดโดยใช้ใบมีดคาร์ไบด์ โดยปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง คือความเร็วตัดเท่ากับ 170-392 ม./นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.03-0.2 มม./รอบ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลความขรุขระผิวชิ้นงานอยู่ในช่วง 3.0-9.0 μm. และปัจจัยที่ส่งผลต่อความขรุขระผิว คือ อัตราป้อนและความเร็วตัด โดยพบว่าค่าความขรุขระผิวจะลดลงเมื่อใช้อัตราป้อนต่ำลงและใช้ความเร็วตัดเพิ่มขึ้น

สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ และคณะ [4] ได้ศึกษาสภาวะการตัดที่เหมาะสมในการกลึงปาดหน้าพลาสติกไนลอนหล่อด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ โดยใช้วิธีการทางสถิติสำหรับการออกแบบการทดลอง ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ความเร็วรอบ (Speed) อัตราป้อนมีด (Feed) และความลึกในการตัด (Depth of Cut) ที่ให้ค่าความขรุขระผิว (Ra) ที่ยอมรับได้ การทดลองนี้ใช้ความเร็วรอบ ที่ 600, 750 และ 900 รอบ/นาที อัตราป้อนมีดที่ 150, 300 และ 600 มิลลิเมตร/นาที และความลึกในการตัดที่ 0.1, 0.2 และ 0.3 มิลลิเมตร จากนั้นนำมาทำการวัดค่าความขรุขระผิว เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของเงื่อนไขที่ต้องการ

N. Muthukrishnan *et al.* [5] ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแปรรูปอะลูมิเนียมซิลิกอนคาร์ไบด์ผสม โดยทำการศึกษาความขรุขระผิวของอะลูมิเนียมซิลิกอนคาร์ไบด์ผสมภายใต้วัสดุคมตัดคือ PCD จากกระบวนการกลึง โดยกำหนดสภาวะในการทดลองคือ ความเร็วตัด เท่ากับ 6.19, 5.31 และ 3.52 ม./นาที ความลึกตัด เท่ากับ 3.02, 2.63 และ 1.54 มม. และอัตราป้อน เท่ากับ 5.09, 3.77 และ 2.81 มม./รอบ ผลการวิจัยพบว่าถ้าต้องการค่าความขรุขระผิวน้อยที่สุด ควรจะกำหนดเงื่อนไขในการตัดเฉือนที่อัตราป้อน 2.81 มม./รอบ ความเร็วตัดที่ 3.52 ม./นาที

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอายุการใช้งานอัตราการสึกหรอของเครื่องมือตัดและคุณภาพผิวงานในการกลึงวัสดุแข็ง ศึกษาโดย Ty G. Drawson and Thomas R. Kurfess [6] ใช้เหล็กเพลา 52100 ความแข็ง 58–62 HRC เป็นวัสดุทดลอง มีรูปแบบการทดลอง 13 แบบ ซึ่งมีเงื่อนไขแตกต่างกัน ใบมีดตัดเป็น CBN ต่างชนิด ผลการศึกษาพบว่าที่อัตราป้อนต่ำกว่า 0.05 มม./รอบ จะมีความแปรปรวนของค่าความขรุขระของพื้นผิวมากแต่หากเพิ่มอัตราป้อนจะทำให้ค่าความขรุขระของพื้นผิวเข้าใกล้ค่าความขรุขระของพื้นผิวทางทฤษฎีและยังพบว่าการเลือกใช้วัสดุตัดชนิด Low CBN content มีสมรรถนะในการตัดเฉือนวัสดุได้ดีกว่าการเพิ่มความเร็วตัด ทำให้อายุการใช้งานของมีดลดน้อยลงที่ใช้ในการกลึงปอกแก่ค่าพารามิเตอร์ภายใต้สภาวะการตัดเฉือนที่แตกต่างกันออกไป

จากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทางผู้วิจัยได้กำหนดปัจจัยที่จะใช้ในการศึกษารวมถึงรายละเอียดของการดำเนินการวิจัยนี้ให้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ศึกษามา

3. วิธีการทดลอง

3.1 การศึกษาและวิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้น

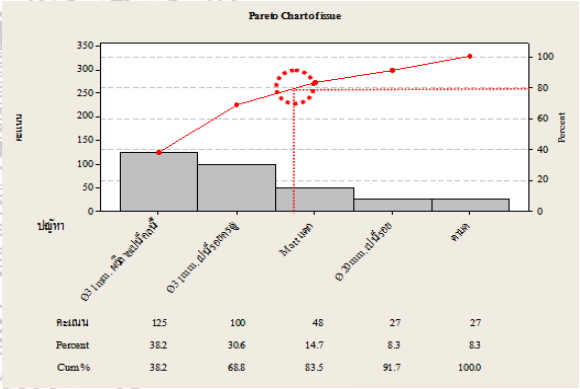
จากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลกระบวนการผลิตตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ทั้ง 6 ขั้นตอนพบว่าขั้นตอนที่มีของเสียเกิดขึ้นมากที่สุด คือขั้นตอนการกลึงละเอียด (Machining 3) ในขั้นตอนนี้เป็นการเก็บผิวชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานมีขนาด (Dimension) และความละเอียดผิว (Surface Roughness) ตามข้อกำหนด (Specification) โดยขั้นตอนนี้จะใช้เครื่องกลึงแบบอัตโนมัติ (CNC Lathe Machine) ที่สามารถปรับค่าพารามิเตอร์สำหรับการตัดเฉือนได้ ซึ่งมีเงื่อนไขในการตัดเฉือน ณ.ปัจจุบัน ดังนี้ ความเร็วรอบ (Speed of Spindle) 3,500-4,000 รอบ/นาที อัตราป้อน (Feed Rate) เท่ากับ 0.10-0.33 มม./รอบ และความลึกตัด (Depth of Cut) เท่ากับ 1.00-1.50 มม. ซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวเป็นค่าที่ถูกกำหนดขึ้นโดยอาศัยประสบการณ์และการลองผิดลองถูกหรือการใช้การทดลองปรับตั้งค่าของกระบวนการทีละค่า (One Factor At a Time) จากผู้ควบคุมสายการผลิตเพื่อให้ชิ้นงานมีคุณภาพ ซึ่งการกำหนดค่าพารามิเตอร์ลักษณะนี้จะมีความไม่แน่นอนของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตัดเฉือน ซึ่งจะใช้เป็นช่วงของค่าแต่ไม่ทราบว่าช่วงไหนที่เหมาะสมที่สุด

ในการปรับค่าพารามิเตอร์นี้ทางผู้ควบคุมสายการผลิตจะปรับครั้งแรกในกรณีมีการตั้งค่าเครื่องจักรก่อนที่จะเริ่มการผลิตและจะมีการปรับตั้งพารามิเตอร์อีกครั้งในกรณีที่ชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการผลิตเกิดข้อบกพร่อง คือปัญหาผิวลาย ซึ่งเมื่อเกิดปัญหาผิวลายทางผู้ควบคุมสายการผลิตจะทำการเพิ่มและลดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของปัจจัยดังกล่าวโดยไม่มีค่าที่แน่นอนซึ่งจะปรับตั้งค่าจนกว่าชิ้นงานที่ได้ไม่เกิดข้อบกพร่อง โดยประเภทของเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตอนกลึงละเอียด (Machining 3) มีหลายสภาพปัญหา เช่น 1) ปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย 2) ปัญหา Ø 31 mm. เป็นรอยครูดจากเศษ. 3) ปัญหาวัสดุแตก 4) ปัญหาตามด และ 5ปัญหา Ø 20 mm. เป็นรอย เป็นต้น จากสภาพปัญหาดังกล่าว นี้ผู้วิจัยได้นำหัวข้อของสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นไปจัดลำดับความสำคัญจากปัญหาที่มีความสำคัญมากที่สุดไปหาความสำคัญน้อยที่สุดและมีการใช้หลักการประเมินตัวเลขความเสี่ยงชี้นำ (Risk Priority Number ; RPN) โดย RPN = ผลคูณของระดับความรุนแรงของผลกระทบและโอกาสหรือความถี่ของสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องและระดับความสามารถในการตรวจจับ เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกหัวข้อของสภาพปัญหาที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อกระบวนการมากที่สุดมาพิจารณาแก้ไขก่อน แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลรวมค่าคะแนนความเสี่ยงชี้นำ

ปัญหา	S	O	D	คะแนน	คะแนนสะสม	%ปัญหา
1. Ø 31 mm. ผิวลาย	5	5	5	125	125	38.23
2. Ø 31 mm. เป็นรอยครูด	5	5	4	100	225	68.81
3. วัสดุแตก (Matt แตก)	4	3	4	48	273	83.49
4. ตามด	3	3	3	27	300	91.74
5. Ø 20 ผิวเป็นรอย	3	3	3	27	327	100.00

จากตารางที่ 2 แสดงผลรวมค่าคะแนนความเสี่ยงชี้นำสะสมและเปอร์เซนต์ความเสี่ยงชี้นำสะสม โดยผลจากการประเมินจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตนี้ พบว่าปัญหา Ø 31 mm. ผิวลายส่งผลกระทบต่อสายการผลิตมากที่สุด ซึ่งวิเคราะห์ได้จากตัวเลขความเสี่ยงชี้นำที่มีค่ามากที่สุด (RPN = 125) และจากลำดับความสำคัญของแต่ละปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ สามารถนำไปจัดทำแผนภาพพาเรโต (Pareto-Chart) เพื่อแสดงเปอร์เซ็นต์ลำดับความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตมากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 6

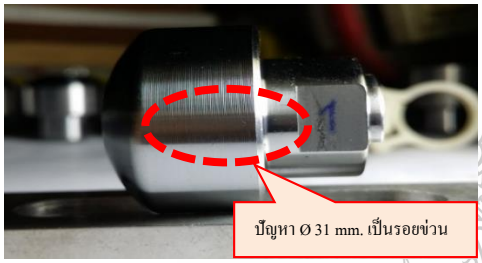


รูปที่ 6 แผนภูมิพาเรโต (Pareto- Chart)

โดยเมื่อใช้หลักการวิเคราะห์แบบ 80:20 จะพบว่าปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสายการผลิตมากที่สุด คือปัญหา 1) ปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย และ 2) ปัญหา Ø 31 mm. เป็นรอยข่วน ดังรูปที่ 7 และ ดังรูปที่ 8

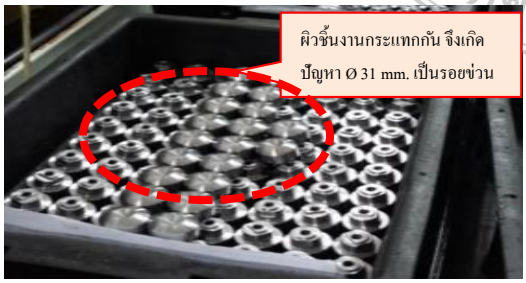
รูปที่ 7 ปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย

ปัญหาชิ้นงานผิวลายนั้นเกิดจากการเลือกเงื่อนไขในการตัดเฉือนที่ไม่เหมาะสม เช่น ความเร็วรอบ อัตราป้อน และความลึกตัดซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะได้มาจากการอาศัยประสบการณ์และการลองผิดลองถูกหรือการใช้การทดลองปรับตั้งค่าของกระบวนการทีละค่าจากผู้ควบคุมแผนกผลิตดังที่กล่าวไว้



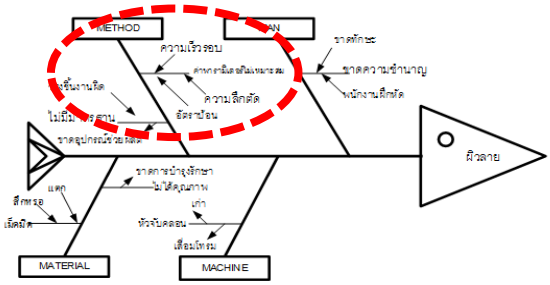
รูปที่ 8 ปัญหา Ø 31 mm. เป็นรอยข่วน

ปัญหาชิ้นงานมีรอยข่วนที่บริเวณผิว Ø 31 mm. โดยเกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 6 การกลึงละเอียด (Machining 3) เมื่อพนักงานถอดชิ้นงานที่ผ่านการปอกผิวแบบละเอียดแล้ว จากนั้นพนักงานบรรจุชิ้นงานลงภาชนะที่เตรียมไว้ แต่ด้วยขาดมาตรฐานการวางชิ้นงาน ส่งผลให้พนักงานวางชิ้นงานทับซ้อนกันดังรูปที่ 9 จึงเป็นเหตุให้เกิดการกระแทกระหว่างผิวของชิ้นงานเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหา Ø 31 mm. เป็นรอยข่วน

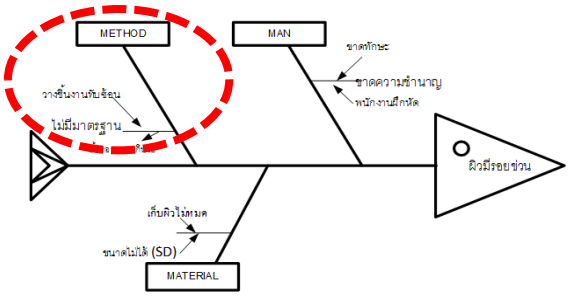


รูปที่ 9 ปัญหาการวางชิ้นงานซ้อนกันลงภาชนะ

จากสภาพปัญหาดังกล่าวทางบริษัทตัวอย่างได้อนุมัติให้จัดตั้งกลุ่มคุณภาพขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นโดยประกอบด้วยผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตฯ ได้แก่ วิศวกรผู้ควบคุมสายการผลิต 4 คน และหัวหน้าสายการผลิต 2 คน ผู้ตรวจสอบคุณภาพ 2 คน เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาเนื่องจากบุคคลกลุ่มนี้จะเข้าใจสภาพปัญหาชัดเจนและมีประสบการณ์การทำงานมากกว่า 5 ปี ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะหาสาเหตุของรากเหง้าปัญหา (Root Cause) ได้ชัดเจนและสามารถลดผลกระทบได้ ซึ่งได้ใช้แผนภูมิก้างปลา (Cause & Effect Diagram) มาช่วยในการวิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 10 และดังรูปที่ 11



รูปที่ 10 แผนภูมิภาพเหตุและผลของปัญหา Ø 31 mm. ผิวลาย



รูปที่ 11 แผนภูมิภาพเหตุและผลของปัญหา Ø 31 mm. เป็นรอยข่วน

ซึ่งจากรายละเอียดการวิเคราะห์แผนภูมิก้างปลา (Cause & Effect Diagram) ของทั้ง 2 ปัญหาข้างต้นข้างต้นสามารถนำมาเขียนแนวทางการแก้ไขสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แนวทางการแก้ไขสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น

หัวข้อของปัญหา	สาเหตุ	รายละเอียดของปัญหา	แนวทางการแก้ไข
1.ปัญหาผิวลาย	วิธีการ	1) กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการตัดเฉือนไม่เหมาะสม	1) ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of

		เนื่องมาจากการลองผิดลองถูก	Experimental) เข้ามาแก้ไข
2. ปัญหาผิวเป็นรอยข่วน	คน	1) พนักงานวางชิ้นงานทับซ้อนกัน โดยขาดมาตรฐานที่ถูกต้องและอุปกรณ์กันกระแทกของชิ้นงาน	1) สร้างมาตรฐานการบรรจุชิ้นงาน และใช้อุปกรณ์กันกระแทกมาใช้สำหรับการบรรจุชิ้นงาน

การแก้ไขปัญหา Ø 31 mm. เป็นรอยข่วนนั้น สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ทันที โดยได้สร้างมาตรฐานการปฏิบัติงานสำหรับการวางชิ้นงานสำเร็จและได้มีการนำเอาแผ่นโฟมมาช่วยในการวางชิ้นงาน เพื่อป้องกันการกระแทกระหว่างขอบของชิ้นงาน ดังรูปที่ 12

รูปที่ 12 การนำเอาแผ่นโฟมมาช่วยในการวางชิ้นงาน

3.2 วิธีการดำเนินการ

- การดำเนินการทดลองแก้ไขปัญหาผิวลาย

เริ่มจากการกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งได้มาจากการระดมสมอง (Brainstorming) ของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสายการผลิต มาช่วยในการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของปัจจัยได้มาจากค่าอ้างอิงที่ใช้ ณ.ปัจจุบัน โดยปัจจัยที่ใช้ในการศึกษามี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าพารามิเตอร์สำหรับการตัดเฉือน

Factor	ตัวแปร	Level		
		Low	Medium	High
ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)	A	3,500	3,800	4,000
อัตราป้อน (มม./รอบ)	B	0.1	0.2	0.33
ความลึกตัด (มม.)	C	1.00	1.25	1.50

โดยจะดำเนินการทดสอบโดยนำชิ้นงานทดสอบมาผ่านกระบวนการกลึงปอกผิวภายใต้สภาวะการตัดเฉือนที่แตกต่างกัน โดยชิ้นงานที่ผ่านการกลึงปอกจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 31 มิลลิเมตร ยาว 33 มิลลิเมตร

โดยจะใช้ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาเพื่อทำการออกแบบการทดลองมี 3 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบ (Speed of Spindle) อัตราป้อน (Feed Rate) และความลึกตัด (Depth of Cut) จากนั้นจะวัดค่าความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุ (Roughness ; Ra) ด้วยเครื่องวัดความหยาบผิวยี่ห้อ Mahr รุ่น Surftest PS1 ซึ่งจะทำการวัดผิวสำเร็จของวัสดุที่ระยะห่างจากหน้าตัดของชิ้นงานเท่ากับ 12 มม. จากนั้นทำสุ่มการวัดความหยาบของผิวชิ้นงานเฉลี่ย 3 ตำแหน่งและเปรียบเทียบลักษณะของผิวชิ้นงานกลึงโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ความละเอียด 500 เท่า ภายหลังจากการผ่านกระบวนการตัดเฉือนตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ โดยกำหนดจำนวนการทดลองซ้ำ เท่ากับ 3 ครั้ง (Replicates ; n = 3) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การทดลองแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้ คือ

3.2.1 การตั้งสมมติฐานการวิจัย

การตั้งสมมติฐานนั้นจะตั้งโดยใช้หลักการทางสถิติ ซึ่งจะวิเคราะห์ปัจจัยหลัก (Main Effect) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหรือปัจจัยร่วม (Interaction) ที่มีผลตอบสนองต่อความหยาบผิวของชิ้นงานสำเร็จ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยสามารถพิจารณาแบบจำลองการวิเคราะห์ความแปรปรวน 3 ปัจจัย ได้ดังสมการที่1

$$Y_{ijk} = \mu+\alpha i+\beta j+\gamma k+(\alpha\beta)ij +(\alpha\gamma)ik +(\beta\gamma)jk +: (\alpha\beta\gamma)ijk \quad (1)$$

โดยที่ y คือ ความหยาบของผิวชิ้นงาน μ คือ ค่าเฉลี่ยรวม (Grand mean) α คือ ความเร็วรอบ β คือ อัตราป้อน γ คือ ความลึกตัด และ $\alpha\beta$, $\alpha\gamma$, $\beta\gamma$, $\alpha\beta\gamma$ คือ ปัจจัยร่วมหรือปฏิสัมพันธ์ร่วมระหว่างตัวแปร

Main Effect

H_{01} : αi = 0 ทุกๆค่า i เมือ i = 1,2

H_{02} : βj = 0 ทุกๆค่า j เมือ j = 1,2

H_{03} : γk = 0 ทุกๆค่า j เมือ j = 1,2

2 - Interaction

H_{04} : $(\alpha\beta)ij$ = 0 ทุกๆค่า i และ j

H_{05} : $(\alpha\gamma)ik$ = 0 ทุกๆค่า i และ k

H_{06} : $(\beta\gamma)jk$ = 0 ทุกๆค่า j และ k

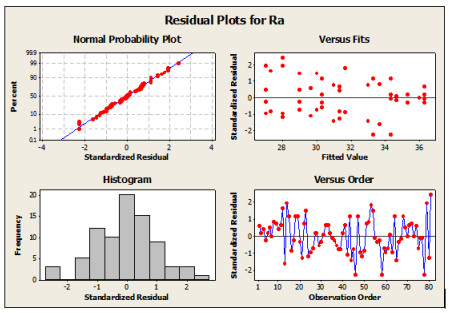
3 - Interaction

H_{07} : $(\alpha\beta\gamma)ijk$ = 0 ทุกๆค่า I , j และ k

3.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking) ดังรูปที่ 13

(1) จากกราฟซ้ายบนค่า Residual มีการเกาะกลุ่มอยู่บนเส้นตรง มีค่าใกล้เคียงกับเส้นตรงแสดงให้เห็นว่ามีการกระจายแบบ Normal

(2) จากกราฟขวาบนจุดบนกราฟมีการกระจายตัวแบบสุ่ม แสดงว่าประชากรมีความแปรปรวนเท่ากัน



รูปที่ 13 Residual Plot for Roughness Average

3.2.3 อภิปรายผลการทดสอบด้วยโปรแกรมช่วยทางด้านสถิติ Minitab Version 16

จากการวิเคราะห์ความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking) หรือเงื่อนไขความพอเพียงของข้อมูลแล้ว จะเริ่มการทดสอบวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยอ่านค่า (P-value) ที่ได้จากตารางสรุป ANOVA

โดยถ้าค่า P-value > α (0.05) ให้ยอมรับสมมติฐานหลัก แต่ถ้าค่า P-value <= α (0.05) ให้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ซึ่งจะพิจารณาจากปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยร่วม (Interaction) ที่คาดว่าจะมีผลตอบสนอง ดังนี้

Multilevel Factorial Design

General Linear Model: Ra versus Speed, Feed Rate, Depth of Cut

Factor	Type	Levels	Values
Speed	fixed	3	3500, 3800, 4000
Feed Rate	fixed	3	0.10, 0.20, 0.33
Depth of Cut	fixed	3	1.00, 1.25, 1.50

Analysis of Variance for Ra, using Adjusted SS for Tests

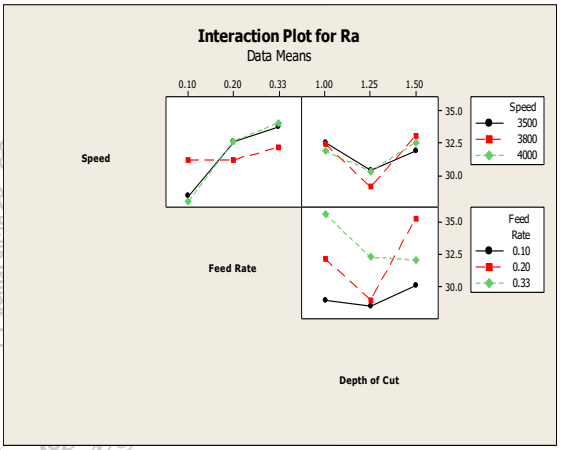
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	2	436.000	436.000	218.000	66.51	0.022
B	2	261.333	261.333	130.667	39.86	0.035
C	1	50.074	50.074	50.074	15.28	0.010
A*B	4	355.667	355.667	88.917	27.13	0.000
A*C	2	78.815	78.815	39.407	12.02	0.000
B*C	2	11.259	11.259	5.630	1.72	0.014
A*B*C	4	46.185	46.185	11.546	3.52	0.012
Error	36	118.000	118.000	3.278		
Total	53	1357.333				

S = 1.81046 R-Sq = 91.31% R-Sq(adj) = 87.20%

จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) พบว่าปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยร่วม (Interaction) ที่มีอิทธิพลต่อความหยาบผิวของวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด ss-400 คือ ปัจจัยหลัก ได้แก่ A,B, และ C ปัจจัยร่วม ได้แก่ AB, AC, BC และ ABC ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผู้วิจัยได้นำปัจจัยดังกล่าวไปวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดด้วยการใช้ฟังก์ชัน (Response Optimizer) ต่อไป

3.2.4 การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

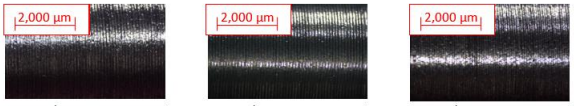
การหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ส่งผลกระทบต่อความหยาบผิวของชิ้นงานน้อยที่สุด สามารถวิเคราะห์ได้จากโปรแกรมช่วยทางด้านสถิติ Minitab Version 16 ด้วยการหาจากการใช้ Response Optimizer มาทำการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 Interaction Plot for Roughness Average

4. ผลการทดลอง

จากการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดวิเคราะห์ด้วย Response Optimizer ทำให้ทราบว่าถ้าต้องการค่าความหยาบผิวของชิ้นงานดีที่สุดควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ของความเร็วรอบเท่ากับ 4,000 รอบ/นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.10 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัดเท่ากับ 1.25 มม. ซึ่งผู้วิจัยได้นำผลการทดสอบไปยืนยันด้วยการตรวจสอบเปรียบเทียบลักษณะของผิวชิ้นงานกลึงโดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ ความละเอียด 500 เท่า และทำการตรวจสอบด้วยสายตาด้วยเครื่องสายตา (Visual Control) ดังรูปที่ 15



ก) ความเร็วรอบ 3000 รอบ/นาที อัตราป้อน 0.10 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกตัด 1.25 มม.

ข) ความเร็วรอบ 3800 รอบ/นาที อัตราป้อน 0.10 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกตัด 1.25 มม.

ค) ความเร็วรอบ 4000 รอบ/นาที อัตราป้อน 0.10 มิลลิเมตร/รอบ ความลึกตัด 1.25 มม.

รูปที่ 15 แสดงลักษณะผิวงานกลึงปอกวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 ด้วยมีด KYOCERA เกรด (TNMG1 6040XP-TN60)

5. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งกระทบผลต่อความหยาบผิวของวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เกรด SS400 โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) มาช่วยในการคัดกรองปัจจัยที่มีผลตอบสนองต่อความหยาบผิวเฉลี่ยของวัสดุทดสอบ โดยผู้วิจัยพบว่าถ้าต้องการค่าความหยาบผิวของชิ้นงานดีที่สุดควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ของความเร็วรอบเท่ากับ 4,000 รอบ/นาที อัตราป้อนเท่ากับ 0.10 มิลลิเมตร/รอบ และความลึกในการตัดเท่ากับ 1.25 มม.

จากการนำค่าระดับปัจจัยมาปรับใช้จริง โดยเก็บข้อมูลในช่วงเดือน ก.พ.–เม.ย. 2559 พบว่ารายการผลิตที่ 5 ตุ้มน้ำหนักปลายแฮนด์ (WEIGHT HAND ; WH-6401) มีปริมาณของเสียเฉลี่ยต่อเดือนลดลงจาก 4,080 ชิ้นต่อเดือน เหลือ 1,581 ชิ้นต่อเดือน ลดลง 2,499 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นมูลค่าของเสียที่ลดลงจาก 73,440 บาทต่อเดือน ลดลงเหลือ 28,450 บาท/เดือน คิดเป็นร้อยละ 38.74

เอกสารอ้างอิง

[1] สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. เครื่องคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools). แหล่งที่มา http://youth.ftpi.or.th, 19 ตุลาคม 2553

[2] วิมล บุญรอด อิทธิพลของปัจจัยในการกลึงปอกต่อความขรุขระของผิวอะลูมิเนียมหล่อกึ่งของแข็ง ผลงานวิจัยภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2555

[3] กัมพล เพชรคง, “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงไม้ตาลโตนดด้วยใบมีดคาร์ไบด์” การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 20-22 ตุลาคม 2551, โรงแรมบีพีสมิหลาบีช, จ.สงขลา, หน้า 787-795.

[4] สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ การศึกษาสภาวะการตัดที่เหมาะสมในการกลึงปาดหน้าพลาสติกไนลอนหล่อด้วยเครื่องกลึงอัตโนมัติ ผลงานวิจัยภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ,2551

[5] N. Muthukrishnan and J.P. Davim, “Optimization of Machining Parameters of Al/SiC-MMC with ANOVA and ANN Analysis”Journal of Materials Processing Technology, Vol. 209, 2009, pp. 225-232.

[6] T.G. Dawson and T.R. Kurfess, “Tool life, Wear Rates,and Surface Quality in Hard Turning” Transaction of the North American Manufacturing Research Institution of SME, Vol. 29, 2001, pp. 175 – 182.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นาย เอกพล ทับพร

วัน เดือน ปีเกิด 26 มิถุนายน 2531

ที่อยู่ 370 ซ.เพชรเกษม 110 ต.หนองค้างพลู อ.หนองแขม-ก.ท.ม. 10160

การศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จากมหาวิทยาลัยธนบุรี พ.ศ. 2554

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ.2554 – ปัจจุบัน ตำแหน่งผู้ช่วยสอน
มหาวิทยาลัยธนบุรี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี