

การลดรอบระยะเวลาในการผลิตของกระบวนการผลิตตลับลูกปืนเม็ดกลม



นางสาวสลักจิตต์ พุทธจักร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

CYCLE TIME REDUCTION IN BALL BEARING PRODUCTION PROCESS

Miss Salakjitt Buddhachakara



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดรอบระยะเวลาในการผลิตของกระบวนการผลิต ตลับลูกปืนเม็ดกลม
โดย	นางสาวสลักจิตต์ พุทธิจักร
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจันทร์ชัย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญวา ธรรมพิทักษ์กุล)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

สัจจิตต์ พุทธิจักร : การลดรอบระยะเวลาในการผลิตของกระบวนการผลิตตลับลูกปืน
เม็ดกลม. (CYCLE TIME REDUCTION IN BALL BEARING PRODUCTION
PROCESS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ, หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดรอบระยะเวลาในการผลิตของตลับลูกปืนเม็ดกลมรุ่น
7040 (BB7040) เนื่องจากคำสั่งซื้อของลูกค้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลให้กำลังการผลิตไม่เพียงพอ โดยกระบวนการที่เป็นจุดคอขวดคือ กระบวนการขัดผิวด้านใน (Bore Grinding Process) ของชิ้นงานวงแหวนด้านใน (Inner Ring) ซึ่งก่อนปรับปรุงมีรอบเวลาในการผลิต 2.98 วินาทีต่อชิ้นงาน ในขณะที่รอบเวลาการผลิตที่สอดคล้องกับเป้าหมายเท่ากับ 2.78 วินาทีต่อชิ้นงาน และในขณะเดียวกันต้องสามารถควบคุมไม่ให้ความหยابผิวของชิ้นงานเกินกว่าค่าที่ลูกค้ากำหนดไว้ โดยการวิจัยนี้ได้ดำเนินการตามแนวทางของซิกซ์ซิกม่า ทั้ง 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการนิยามปัญหา (Define) การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve) และการควบคุมกระบวนการ (Control)

เริ่มต้นของการทำวิจัยโดยการกำหนดเป้าหมายและการตรวจสอบสภาพของปัญหาเบื้องต้นพบว่าขั้นตอนที่ใช้เวลามากที่สุดคือ เวลาที่ใช้สำหรับการขัดชิ้นงาน (Grinding Time) จากนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยตารางวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบ (Cause & Effect Matrix) จนได้แนวทางในการแก้ไขปัญหา จากนั้นจึงใช้หลักการการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (One Half-Fraction Factorial Design) เพื่อตรวจสอบพารามิเตอร์ปรับตั้งเครื่องจักรทั้ง 6 ปัจจัย ที่ส่งผลกระทบต่อรอบเวลาการผลิตและความหยابผิวของชิ้นงาน ซึ่งปัจจัยทั้งหมดมีผลต่อรอบเวลาผลิตและความหยابผิว จากนั้นจึงใช้วิธีการออกแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Design) ประเภทการออกแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design) เพื่อหาพารามิเตอร์การปรับตั้งเครื่องจักรที่ดีที่สุดเพื่อให้รอบเวลาในการผลิตต่ำที่สุด จากนั้นยืนยันการทดลองเพื่อยืนยันว่าการตั้งค่าเครื่องใหม่สามารถลดรอบเวลาและสามารถควบคุมความหยابผิวของชิ้นงานได้ตามข้อกำหนดของลูกค้าโดยต้องมีค่าไม่เกิน 1.0 ไมครอนเมตร และสุดท้ายคือขั้นตอนการติดตามควบคุม โดยวางแผนเพื่อควบคุมกระบวนการให้สามารถรักษาผลของการปรับปรุงไว้ได้

ผลจากการปรับปรุงสามารถลดรอบเวลาผลิตโดยเฉลี่ยจาก 2.98 วินาทีต่อชิ้น เหลือ 2.75 วินาทีต่อชิ้น หรือคิดเป็น 7.71% โดยสามารถควบคุมความหยابผิวของชิ้นงานโดยเฉลี่ยได้ตามข้อกำหนดของลูกค้าอยู่ที่ค่า 0.84 ไมครอนเมตร ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดเฉพาะของลูกค้า

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2556

5570953421 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: SIX SIGMA / DESIGN OF EXPERIMENT / CENTRAL COMPOSITE DESIGN / CYCLE TIME REDUCTION

SALAKJITT BUDDHACHAKARA: CYCLE TIME REDUCTION IN BALL BEARING PRODUCTION PROCESS. ADVISOR: ASST. PROF. WIPAWEE THARMMAPHORNPHILAS, pp.

This research aims to reduce the cycle time in the production of ball bearings Model 7040 (BB7040) because the customer's purchase order has risen so continuously that it affects to the insufficient capacity of production. The process of polishing an inner diameter process (Bore Grinding) is the bottle neck. Currently, the cycle time is 2.98 seconds per piecework. While the target of cycle time is equivalent to 2.78 seconds per piecework, it must control the surface of the roughness not exceeding the identified specification. The study is applying Six Sigma Methodology which composed of 5 phases starting from defining the problem (Definition Phase), determining the cause of the problem (Measurement Phase), analyzing the cause of the problem (Analytical Phase), rectifying the problem (Improvement Phase) and controlling the process (Control Phase).

The start of the research has set the target and has examined the preliminary problem and found that the longest time consuming process is the grinding time. After that, analyzing the problem by applying Cause and Effect Matrix until the problem has been rectified.

The experimental design is employed to determine the proper machine settings. There are 6 parameters that can be experimented. At the beginning, the One Half-Fraction Factorial Design is conducted to screen the factors. However, none of the factors can be removed from the experiment. A Central Composite Design (CCD) is performed to find the optimal factor levels by setting the surface roughness within a specification in order to obtain the minimum cycle time.

The result of the development can reduce the average cycle of production time from 2.98 seconds per piecework to 2.75 seconds per piecework in average. It can control the average of the surface roughness in accordance to the customer's specification of 0.84 micron meters.

Department: Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือและสละเวลาให้คำแนะนำจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา แนวคิด ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็นต่างๆ และตรวจสอบข้อบกพร่อง อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำวิจัยจึงขอถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อังศุมาลิน เสนจินทร์ชัย และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญญา ธรรมพิทักษ์กุล กรรมการ ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณหัวหน้างาน ผู้ช่วยผู้จัดการส่วนงานวิศวกรแผนก Ball Bearing เพื่อนร่วมงานทุกคนที่ช่วยให้ข้อมูล ระดมความคิดเห็น คอยช่วยอำนวยความสะดวก และติดต่อประสานงานในกระบวนการเป็นอย่างดีเสมอมาในการทำการวิจัยนี้ ตลอดจนพนักงานในโรงงานที่ให้ความร่วมมือ

นอกจากนี้ผู้ทำวิจัยขอขอบพระคุณคณะครูอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้การเรียนการสอน ด้าน สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน

สุดท้ายขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับครอบครัว โดยเฉพาะคุณแม่รวมพร พุทธิจักร ที่เป็นผู้ให้กำลังใจในการเรียนและสนับสนุนทุนทรัพย์สำหรับการศึกษาของผู้ทำวิจัยมาตลอด และอีกหลายคนที่ไม่ได้กล่าวนามที่มีส่วนช่วยให้วิทยานิพนธ์ครั้งนี้เสร็จสิ้นโดยสมบูรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษา.....	1
1.2 ผลผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต.....	2
1.3 สภาพปัญหาและความสำคัญของปัญหา.....	5
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	9
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....	9
1.6 ขั้นตอนการทำวิจัย.....	10
1.7 สิ่งที่น่าสนใจ.....	11
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	11
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
2.1 ชิกซ์ ชิกมา (Six Sigma).....	12
2.2.1 ประวัติและความเป็นมา.....	12
2.1.2 ความหมายและนิยาม.....	12
2.1.3 ขั้นตอนและการประยุกต์ใช้.....	13
2.2 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (DOE: Design Of Experiment) (ปารเมศ ชูติมา, 2545) 14	
2.2.1 การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (One Half-Fraction Factorial Design: 2^{k-1}).....	16
2.3 วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM).....	17
2.3.1 การออกแบบส่วนประกอบกลาง (Central Composite Design).....	17
2.4 เครื่องมือคุณภาพสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล.....	18
2.4.1 การระดมความคิด (Brainstorming).....	18

2.4.2	แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram).....	18
2.4.3	ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effective Diagram).....	18
2.4.4	ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix).....	20
2.5	แผนควบคุม (Control Chart).....	20
2.5.1	แผนภูมิ X-R Chart	22
2.6	การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต (Process Capability Analysis)	23
2.6.1	การประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตในระยะสั้น (Short Term : ST).....	23
2.6.2	การประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตในระยะยาว (Long Term : LT).....	24
2.7	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรหัสและโครงสร้างของหินขัด	25
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
2.8.1	การประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกมา ในการปรับปรุงกระบวนการ	28
บทที่ 3	การศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา	32
3.1	การจัดตั้งคณะทำงาน	32
3.2	กระบวนการผลิตขึ้นรูปตลับลูกปืนเม็ดกลม	32
3.3	สภาพปัญหาปัจจุบัน	41
3.4	สรุปการศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา.....	46
บทที่ 4	การวัดและการกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา.....	47
4.1	การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable: KPIV).....	47
4.1.1	แผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram)	47
4.1.2	ตารางสาเหตุและผล (Cause-Effect Matrix).....	49
4.1.3	แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram).....	53
4.2	สรุปผลจากการระดมความคิดเพื่อระบุแนวทางในการแก้ไขปัญหา	55
4.3	สรุปการวัดและการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของปัญหา.....	58
บทที่ 5	การวิเคราะห์สาเหตุและการกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา	59
5.1	การเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของชิ้นงาน	59
5.2	การกำหนดตัวแปรตอบสนอง	60
5.3	การกำหนดปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัย	60

5.3.1	ปัจจัยนำเข้า.....	60
5.3.2	ระดับของปัจจัย.....	60
5.4	กำหนดรูปแบบการทดลอง.....	61
5.5	ขั้นตอนดำเนินการทดลอง.....	64
5.6	ผลการดำเนินการทดลอง.....	66
5.7	การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	68
5.7.1	ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	68
5.7.1.1	ตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลองสำหรับรอบเวลาการผลิต.....	68
5.7.1.2	ตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลองสำหรับค่าความหยาบผิว.....	71
5.7.2	การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	74
5.7.2.1	การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อเวลาที่ใช้ในการผลิต.....	74
5.7.2.2	การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน.....	77
5.8	สรุปผลการทดลอง.....	79
บทที่ 6	การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	80
6.1	การออกแบบการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของค่าปัจจัย.....	81
6.2	กำหนดรูปแบบการทดลอง.....	82
6.3	ขั้นตอนดำเนินการทดลอง.....	86
6.4	ผลการดำเนินการทดลอง.....	86
6.5	การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	86
6.5.1	การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อเวลาที่ใช้ในการผลิต.....	86
6.5.2	การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน.....	86
6.6	การวิเคราะห์ตัวแบบถดถอย.....	90
6.7	ตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลอง.....	93
6.7.1	ตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลองสำหรับรอบเวลาการผลิต.....	93
6.7.2	ตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลองสำหรับค่าความหยาบผิว.....	96
6.8	การเลือกสถานะที่เหมาะสมสำหรับการผลิต.....	99
6.9	การวิเคราะห์สถานะที่เหมาะสมสำหรับการผลิต.....	100

6.10	สรุปขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ	101
บทที่ 7	การยืนยันผลการทดลอง	103
7.1	การทดสอบเพื่อยืนยันผล	103
7.2	การประเมินผลการทดสอบสำหรับรอบเวลาการผลิต	104
7.3	การประเมินผลการทดสอบสำหรับค่าความหยาบผิว	105
7.4	สรุปการทดสอบเพื่อยืนยันผล	108
บทที่ 8	การควบคุมกระบวนการ	110
8.1	มาตรฐานการทำงาน	110
8.2	แผนภูมิควบคุมคุณภาพ	120
8.2	สรุปผลการควบคุมกระบวนการ	121
บทที่ 9	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	123
9.1	การศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา	123
9.2	การวัดและการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของปัญหา	123
9.3	การวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัย	124
9.4	การปรับปรุงกระบวนการ	124
9.5	การยืนยันผลและการติดตามควบคุมกระบวนการ	125
9.6	ข้อจำกัดในงานวิจัย	127
9.7	ข้อเสนอแนะ	127
รายการอ้างอิง	129
ภาคผนวก	132
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	137

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1. 1 ความสามารถสูงสุดในการผลิตของเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการ.....	6
ตารางที่ 2. 1 ตารางแสดงชนิดของแผนภูมิควบคุม.....	22
ตารางที่ 2. 2 ค่าแนะนำสำหรับค่าที่ต่ำที่สุดของดัชนี C_{pk}	25
ตารางที่ 2. 3 ตารางลำดับความหยابและความละเอียดของหินขัด	26
ตารางที่ 2. 4 ตารางความแข็งของตัวยึดเกาะเม็ดหินขัด.....	26
ตารางที่ 2. 5 ตารางอัตราส่วนของเม็ดหินขัดต่อปริมาตรของหินขัด	27
ตารางที่ 4. 1 การวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบ โดยใช้ Cause & Effect Matrix.....	50
ตารางที่ 4. 2 ตารางสรุปผลลำดับของคะแนนจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่สำคัญ	54
ตารางที่ 4. 3 สาเหตุและแนวทางแก้ไขโดยแบ่งตามปัจจัยต่างๆ.....	55
ตารางที่ 4. 4 ตารางแสดงค่าปรับตั้งในปัจจุบันของเครื่องจักร.....	57
ตารางที่ 5. 1 ตารางแสดงปัจจัยในสภาวะปัจจุบันและระดับของปัจจัยที่จะทำการทดลอง	61
ตารางที่ 5. 2 ตารางการออกแบบ (Design Matrix) เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง	63
ตารางที่ 5. 3 ตารางผลการทดลอง.....	67
ตารางที่ 6. 1 ตารางการออกแบบ (Design Matrix) เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง	84
ตารางที่ 6. 2 ตารางผลการทดลอง Central composite design (CCD).....	87
ตารางที่ 6. 3 แสดงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักร	102
ตารางที่ 7. 1 ตารางการผลการทดสอบสำหรับรอบเวลาการผลิต (หน่วย : วินาที).....	104
ตารางที่ 7. 2 ตารางการผลการทดสอบสำหรับค่าความหยابผิว (หน่วย : ไมโครเมตร).....	104
ตารางที่ 7. 3 ตารางสรุปผลสรุปการทดสอบเพื่อยืนยัน	109
ตารางที่ 8. 1 แบบฟอร์มการตรวจสอบโปรแกรมการทำงานของเครื่องจักร Bore grinding	119
ตารางที่ 9. 1 แสดงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักร	125
ตารางที่ 9. 2 ตารางสรุปผลสรุปการทดสอบเพื่อยืนยัน	126

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1. 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์.....	2
รูปที่ 1. 2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ตลับลูกปืนเม็ดกลม.....	2
รูปที่ 1. 3 ส่วนประกอบของตลับลูกปืนเม็ดกลม (Ball Bearing).....	3
รูปที่ 1. 4 กระบวนการผลิตตลับลูกปืนเม็ดกลม	4
รูปที่ 1. 5 ปริมาณการผลิตต่อเดือนในแต่ละรุ่นของผลิตภัณฑ์	5
รูปที่ 1. 6 ความสามารถสูงสุดในการผลิตของเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการ	7
รูปที่ 2. 1 กระบวนการในการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง DMAIC.....	13
รูปที่ 2. 2 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ (ปารเมศ ชูติมา, 2545).....	15
รูปที่ 2. 4 การออกแบบส่วนประกอบกลาง สำหรับ k=2 และ k=3 (ปารเมศ ชูติมา, 2545).....	17
รูปที่ 2. 5 แผนภูมิแสดงเหตุและผล (Cause and Effective Diagram)	19
รูปที่ 2. 6 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)	20
รูปที่ 2. 7 ตัวอย่างแสดงแผนภูมิควบคุม 2 กรณี	21
รูปที่ 3. 1 กระบวนการผลิตตลับลูกปืนเม็ดกลม (Ball Bearing)	33
รูปที่ 3. 2 กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน (Turning Process).....	34
รูปที่ 3. 3 กระบวนการลบคมชิ้นงาน (Barrel Process)	35
รูปที่ 3. 4 กระบวนการลบคมชิ้นงาน (Barrel Process)	35
รูปที่ 3. 5 กระบวนการล้างชิ้นงาน (Washing Process).....	36
รูปที่ 3. 6 กระบวนการขัดผิวหน้าของชิ้นงาน (Side Lap Process)	36
รูปที่ 3. 7 กระบวนการขัดผิวด้านนอกของชิ้นงาน (O.D. Grinding Process).....	37
รูปที่ 3. 8 กระบวนการขัดผิวด้านในของชิ้นงาน (Bore Grinding Process)	38
รูปที่ 3. 9 กระบวนการขัดผิวร่องนำบอล (Raceway Grinding Process).....	39
รูปที่ 3. 10 กระบวนการขัดละเอียดบนผิวของร่องนำบอล (Raceway Super Finish Process)	40
รูปที่ 3. 11 กระบวนการประกอบชิ้นส่วน (Ball Bearing Assembly Process).....	41
รูปที่ 3. 12 เปรียบเทียบความสามารถสูงสุดของเครื่องจักรกับความต้องการของลูกค้ารุ่น BB7040	42
รูปที่ 3. 13 รอบเวลาในการผลิตต่อชิ้นโดยเฉลี่ย (Cycle Time) ของผลิตภัณฑ์รุ่น BB7040.....	43
รูปที่ 3. 14 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร Bore Grinding.....	44
รูปที่ 3. 15 เวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนย่อยของการทำงานของเครื่องจักร Bore Grinding	45
รูปที่ 4. 1 แผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) ของปัญหาเวลาของการขัดสูงเกินไป (Grinding Time High).....	48

รูปที่ 4. 2	พารेट (Pareto Principle) ของปัญหาเวลาการขัดนาน (Grinding Time High).....	53
รูปที่ 5. 1	การปรับปรุงในส่วนของชิ้นงานก่อนเข้ากระบวนการขัดผิวด้านใน.....	59
รูปที่ 5. 2	รายละเอียดการเลือกมิติ (Resolution) และจำนวนทดลองโดยโปรแกรม Minitab.....	62
รูปที่ 5. 3	รายละเอียดการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab	62
รูปที่ 5. 4	เครื่องควบคุม สำหรับปรับพารามิเตอร์	64
รูปที่ 5. 5	หน้าจอแสดงผลพารามิเตอร์	65
รูปที่ 5. 6	หน้าจอแสดงเวลาที่ใช้ในการผลิต.....	65
รูปที่ 5. 7	การตรวจสอบค่าความหยาบของชิ้นงาน	66
รูปที่ 5. 8	แผนภาพ Probability Plot ของรอบเวลาการผลิต.....	69
รูปที่ 5. 9	แผนภาพ Residual Versus Order ของรอบเวลาการผลิต	70
รูปที่ 5. 10	แผนภาพ Residual Versus Fitted Value ของรอบเวลาการผลิต	71
รูปที่ 5. 11	แผนภาพ Probability Plot ของค่าความหยาบผิว.....	72
รูปที่ 5. 12	แผนภาพ Residual Versus Order ของค่าความหยาบผิว	73
รูปที่ 5. 13	แผนภาพ Residual Versus Fitted Value ของค่าความหยาบผิว	74
รูปที่ 5. 14	ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิต	75
รูปที่ 5. 15	แผนภาพ Normal Plot ของปัจจัยมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิต	76
รูปที่ 5. 16	แผนภูมิพารेटของปัจจัยมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิต.....	76
รูปที่ 5. 17	ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน	77
รูปที่ 5. 18	แผนภาพ Normal Plot ของปัจจัยมีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน.....	78
รูปที่ 5. 19	แผนภูมิพารेटของปัจจัยมีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน.....	78
รูปที่ 6. 1	รายละเอียดการเลือกแบบการทดลองและจำนวนทดลองโดยโปรแกรม Minitab.....	83
รูปที่ 6. 2	รายละเอียดการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab	83
รูปที่ 6. 3	ผลการวิเคราะห์ CCD หาปัจจัยที่มีผลต่อรอบเวลาผลิต	89
รูปที่ 6. 4	ผลการวิเคราะห์ CCD หาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิว	90
รูปที่ 6. 5	ผลการวิเคราะห์ตัวแบบถดถอยสำหรับรอบเวลาการผลิตโดยวิธีแบบขั้นบันได	91
รูปที่ 6. 6	ผลการวิเคราะห์ตัวแบบถดถอยสำหรับค่าความหยาบผิวโดยวิธีแบบขั้นบันได	92
รูปที่ 6. 7	แผนภาพ Probability Plot ของรอบเวลาการผลิต	94
รูปที่ 6. 8	แผนภาพ Residual Versus Order ของรอบเวลาการผลิต	95
รูปที่ 6. 9	แผนภาพ Residual Versus Fitted Value ของรอบเวลาการผลิต	96
รูปที่ 6. 10	แผนภาพ Probability Plot ของค่าความหยาบผิว.....	97
รูปที่ 6. 11	แผนภาพ Residual Versus Order ของค่าความหยาบผิว	98

รูปที่ 6. 12 แผนภาพ Residual Versus Fitted Value ของค่าความหยาบผิว	99
รูปที่ 6. 13 รูปแสดงสถานะที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักรด้วยฟังก์ชัน Response.....	100
รูปที่ 7. 1 แผนภาพแสดงค่าทางสถิติของรอบเวลาการผลิตหลังการปรับตั้งเครื่องจักร	105
รูปที่ 7. 2 แผนภาพแสดงค่าทางสถิติของความหยาบผิวหลังการปรับตั้งเครื่องจักร	106
รูปที่ 7. 3 แผนภาพเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวก่อนและหลังการปรับตั้งเครื่องจักร	107
รูปที่ 7. 4 แผนภาพแสดงความสามารถของกระบวนการหลังจากปรับตั้งเครื่องจักร.....	108
รูปที่ 8. 1 แผนภาพ (Drawing) แสดงค่า specification ของชิ้นงาน จาก Turning Process	112
รูปที่ 8. 2 แผนภาพแสดงมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Process Drawing) ที่กระบวนการ Turning	113
รูปที่ 8. 3 แผนภาพแสดงมาตรฐานการควบคุมโปรแกรมของเครื่องจักร	114
รูปที่ 8. 4 แผนภาพเอกสารและบันทึกสำหรับการปรับเปลี่ยนโปรแกรมของเครื่องจักร.....	116
รูปที่ 8. 5 แผนภาพแสดงมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Process Drawing) ที่.....	118
รูปที่ 8. 6 แผนภาพการควบคุมรอบเวลาการผลิต	120
รูปที่ 8. 7 แผนภาพการควบคุมค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน.....	121

บทที่ 1

บทนำ

ในกลุ่มบริษัทอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มีการแข่งขันทางด้านการตลาดที่สูง ไม่ว่าจะเป็นการแข่งขันทางด้านคุณภาพของสินค้าหรือการพัฒนาเทคโนโลยี ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่เพิ่มสูงขึ้นนั่นเอง ดังนั้นเพื่อสร้างความได้เปรียบทางด้านการแข่งขันและเพิ่มโอกาสทางธุรกิจ ผู้ผลิตจะต้องมีการปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิต รวมถึงพิจารณาด้านความคุ้มค่าของการลงทุนควบคู่ไปกับการพัฒนาคุณภาพของสินค้าให้สอดคล้องกับมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด และจากการขยายตัวของกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ประเภท Ball Bearing, Pivot และ Motor Pivot ซึ่งใช้เพื่อประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย แต่เนื่องจากความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรมีจำกัด ส่งผลให้ปริมาณความสามารถในการผลิตไม่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการของลูกค้า ดังนั้นบริษัทจึงต้องการเพิ่มความสามารถในการผลิตเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า

1.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานการศึกษา

โรงงานที่ทำการศึกษา เป็นโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ที่ก่อตั้งขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2541 ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมนวนคร จ.ปทุมธานี มีพนักงานทั้งหมดประมาณ 2,000 คน ได้ดำเนินธุรกิจด้านชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์สำหรับเครือข่าย อุปกรณ์ระบบดิจิทัลส่วนบุคคล รวมถึงเทคโนโลยีในระดับไมโครและนาโน ซึ่งเป็นการผลิตชิ้นส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีความแม่นยำ ส่วนผลิตภัณฑ์สินค้าและบริการของบริษัท ได้แก่ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ประเภท ตลับลูกปืนเม็ดกลม (Ball Bearing), ไพวอท และ มอเตอร์ไรวอท ซึ่งใช้เพื่อประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งสินค้าที่ผลิตได้ส่งขายให้กับทั้งลูกค้าทั่วไปและบริษัทในกลุ่มฐานการผลิตที่มีอยู่ทั้งในและนอกประเทศ โดยบริษัทมุ่งให้ความสำคัญต่อการรักษาคุณภาพให้ได้ตามมาตรฐานและการจัดส่งตามเวลาที่กำหนด นอกจากนี้บริษัทยังได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO 9001:2000, 14001, TL 9000 และ ISO/TS 16949:2002 บริษัทมีโรงงานในประเทศไทย และประเทศญี่ปุ่น



รูปที่ 1. 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

1.2 ผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต

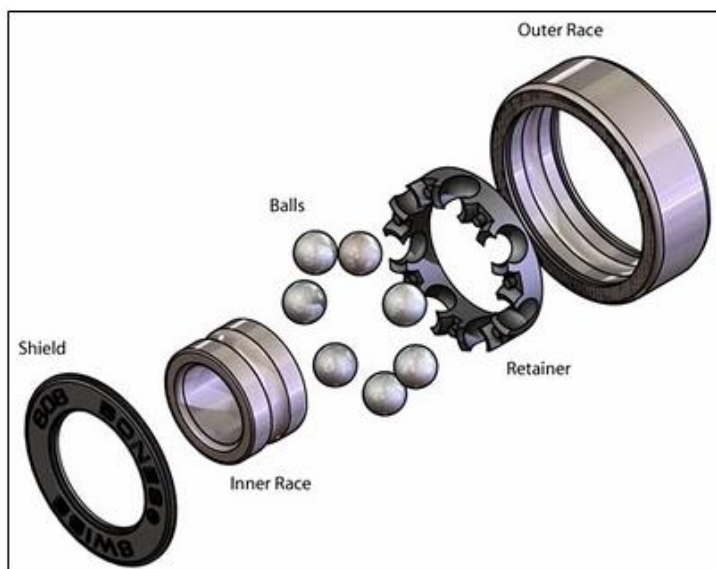
ผลิตภัณฑ์ตลับลูกปืนเม็ดกลมรูปที่ 1.2 เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในโรงงานการศึกษาซึ่งเป็นส่วนประกอบของแกนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์หรือที่เรียกว่า ไผวอท โดยบางส่วนจะผลิตให้กับบริษัทที่ประกอบเอชดีซี (HDC: Hard Disk Component) และผลิตส่งให้กับโรงงานในเครือบริษัท เพื่อที่จะใช้ผลิตเป็นไผวอทต่อไป



รูปที่ 1. 2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ตลับลูกปืนเม็ดกลม

ตลับลูกปืนเม็ดกลม เป็นลูกกลิ้งที่สามารถใช้รองรับทั้งแรงในแนวรัศมี (Radial Load) ที่บริเวณวงแหวนภายในและภายนอก (Inner and Outer Ring) และรับแรงในแนวแกน (Thrust

Load) ที่บริเวณด้านบนและด้านล่างของวงแหวน (Top and Bottom Race) โดยมีตัวยึดลูกกลิ้งภายในตลับลูกปืนเรียกว่า รีเทนเนอร์ (Retainer) หรือ เคจ (Cage) หรือ เซพพาเรเตอร์ (Separator) ดังรูปที่ 1.3

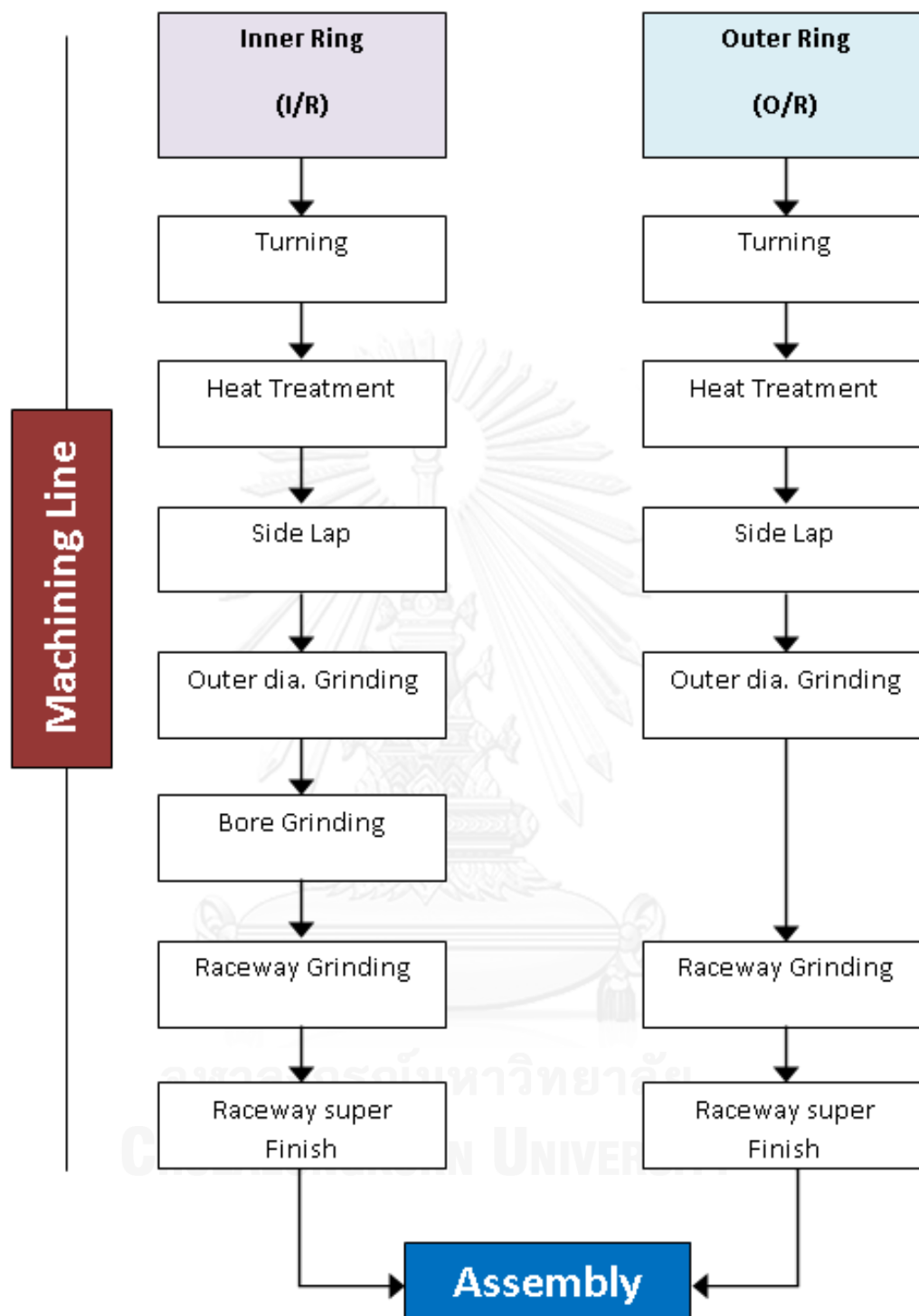


รูปที่ 1. 3 ส่วนประกอบของตลับลูกปืนเม็ดกลม (Ball Bearing)

กระบวนการผลิตตลับลูกปืนเม็ดกลม สามารถแบ่งสายการผลิตได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1. กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องจักร (Machining Line) ประกอบไปด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติมีหน้าที่ขึ้นรูปในส่วนของวงแหวนภายในและภายนอก (Outing Ring and Inner Ring)
2. กระบวนการประกอบชิ้นส่วน (Assembly line) มีหน้าที่ในการประกอบชิ้นส่วนต่างๆจนกลายเป็นผลิตภัณฑ์

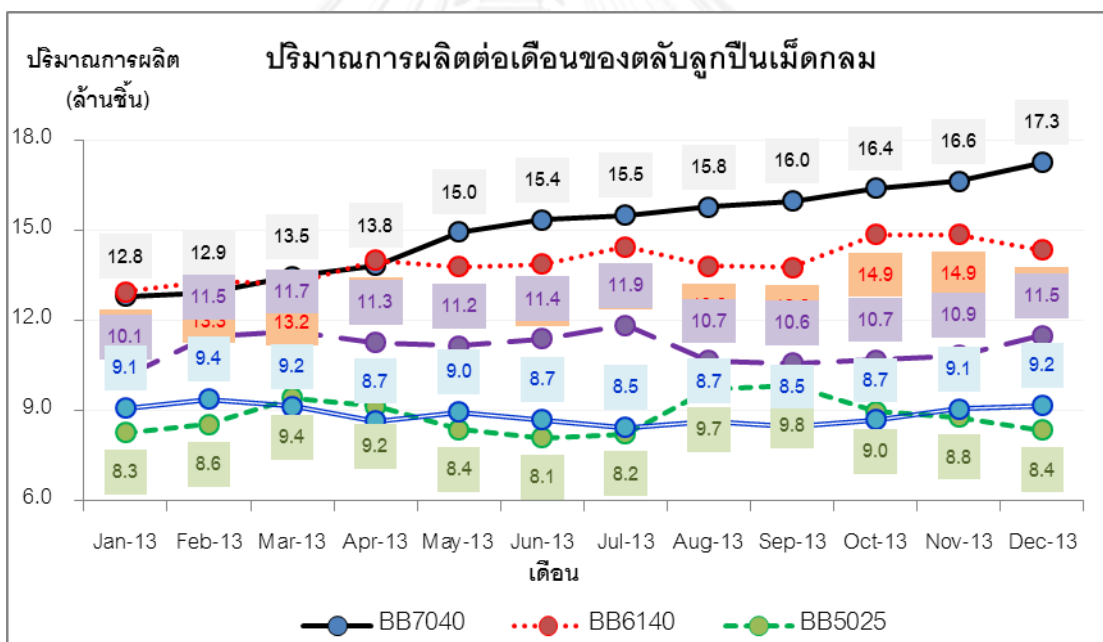
ซึ่งสามารถอธิบายและแสดงรายละเอียดของกระบวนการผลิตตลับลูกปืนเม็ดกลม ตั้งแต่กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องจักรจนถึงกระบวนการประกอบได้ดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1. 4 กระบวนการผลิตตลับลูกปืนเม็ดกลม

1.3 สภาพปัญหาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมภายในประเทศได้มีการเติบโตอย่างต่อเนื่องและมีการแข่งขันกันทางธุรกิจที่มากขึ้นทั้งด้านการเพิ่มกำลังการผลิต การส่งมอบสินค้าที่รวดเร็วและการลดต้นทุนการผลิต ซึ่งในภาคอุตสาหกรรมหลายองค์กรได้พยายามคิดหาแนวทางใหม่ๆ ในการจัดการเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในทางธุรกิจ และพยายามปรับปรุงในทุกส่วนของกระบวนการเพื่อให้มีการผลิตที่ต่อเนื่อง รวดเร็ว ต้นทุนถูก ได้คุณภาพ และสร้างความพึงพอใจต่อลูกค้า ซึ่งได้แก่ การออกแบบ การจัดการและการปรับปรุงด้านการผลิต รวมถึงการพัฒนาบุคลากรในระดับต่าง ๆ ให้มีความรู้ ทักษะ และความสามารถที่สูงขึ้นและจากการขยายตัวของกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ส่งผลทำให้บริษัทซึ่งเป็นผู้ส่งสินค้าประเภทลับลูกปืนเม็ดกลม มีปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะลับลูกปืนเม็ดกลมรุ่น 7040 (BB7040) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการของลูกค้าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับรุ่นอื่นๆ ดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 ปริมาณการผลิตต่อเดือนในแต่ละรุ่นของผลิตภัณฑ์

จากรูปที่ 1.5 ปริมาณการผลิตของลับลูกปืนเม็ดกลมของบริษัทพบว่า ลูกคามีแนวโน้มต้องการลับลูกปืนเม็ดกลมรุ่น 7040 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือน มิถุนายน 2556 โดยจะมีคำสั่งซื้อสูงที่สุดที่เดือนธันวาคม 2556 เป็นจำนวน 17 ล้านชิ้น ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับลับลูกปืนเม็ดกลมรุ่นอื่นๆ จะเห็นว่าในรุ่นอื่นๆ ปริมาณการสั่งซื้อยังมีแนวโน้มขึ้นๆลงๆ

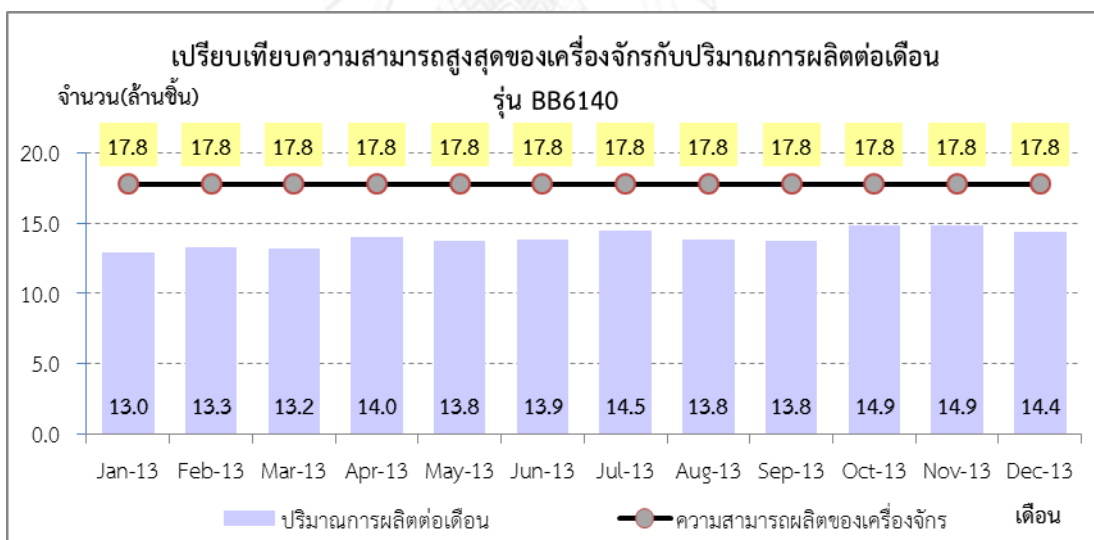
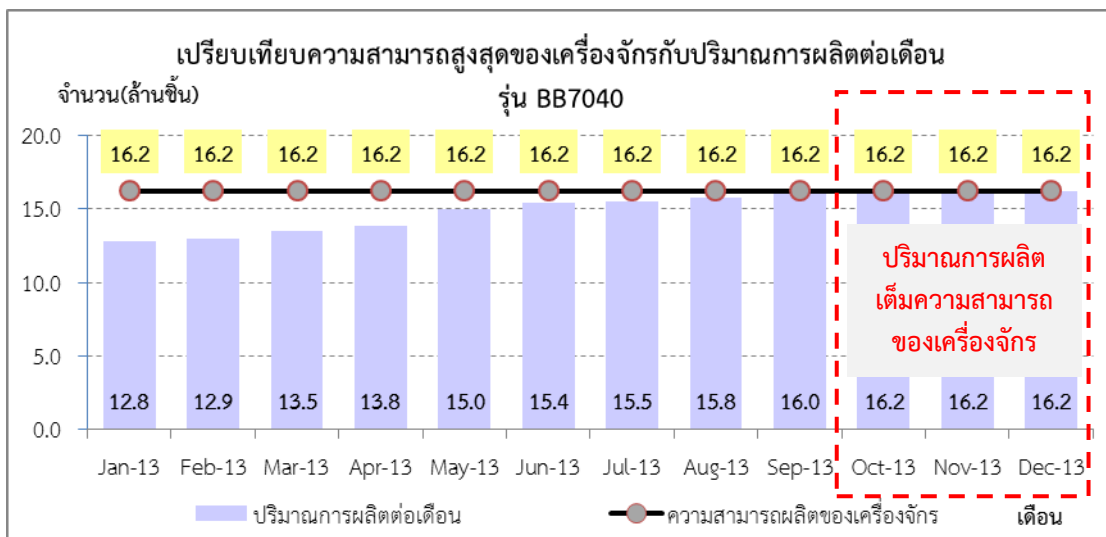
ซึ่งเมื่อมาพิจารณาในเรื่องของความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการ โดยแบ่งตามรุ่นของผลิตภัณฑ์จะได้ดังตารางที่ 1.1 ซึ่งในแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์นั้นจะแยกเครื่องจักรในการผลิตเนื่องจากใช้เครื่องมือ (Tooling) และปัจจัยปรับตั้งเครื่องจักร (Setup Parameter) นั้นแตกต่างกัน

ตารางที่ 1.1 ความสามารถสูงสุดในการผลิตของเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการ

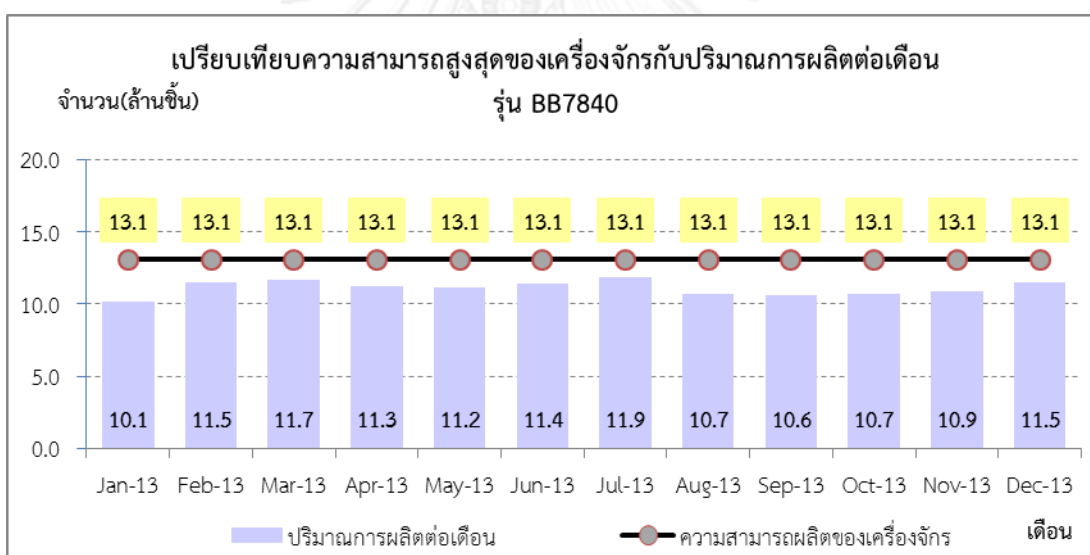
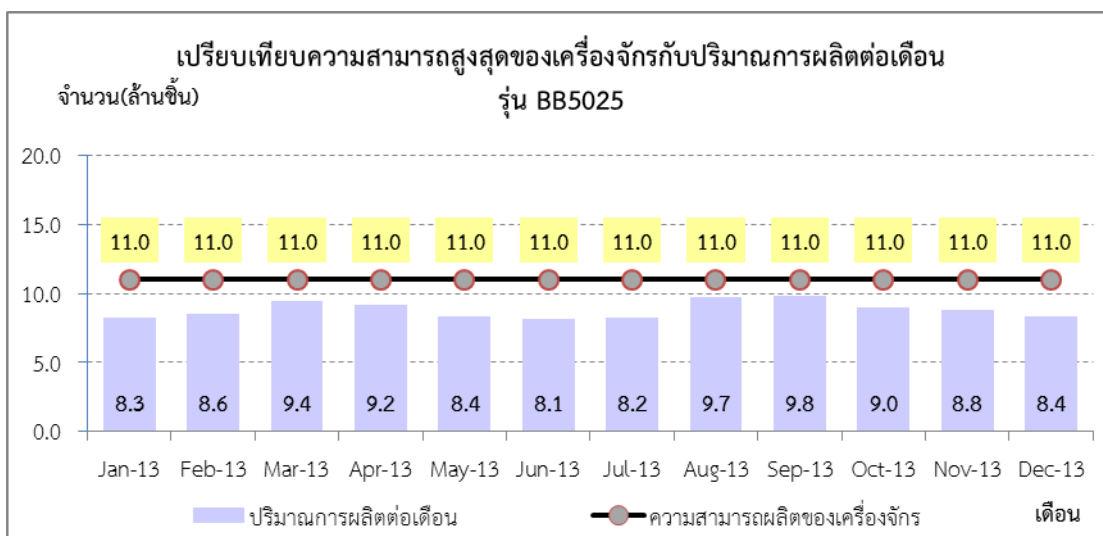
กระบวนการ	ความสามารถสูงสุดในการผลิตของเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการ (หน่วย : ล้านชิ้น)									
	BB 7040		BB 6140		BB 5025		BB 7840		BB 8050	
	I/R	O/R	I/R	O/R	I/R	O/R	I/R	O/R	I/R	O/R
Turning	18.4	18.5	19.1	19.5	11.8	12.0	14.1	14.2	10.7	11.1
Side Lap	19.0	19.1	20.8	21.0	13.5	13.6	15.3	14.9	13.0	12.7
OD Grinding	18.3	18.4	19.5	19.2	11.4	11.7	13.8	14.2	10.5	10.6
Bore Grinding	16.2		17.8		11.0		13.1		10.3	
R/W Grinding	18.5	18.8	19.3	19.5	11.8	12.0	14.0	14.0	10.8	11.0
Super Finishing	18.2	18.5	19.0	19.3	11.6	11.7	13.7	13.9	10.5	10.6
Assembly	20.0		22.0		12.0		15.0		13.0	

จากตารางที่ 1.1 ความสามารถสูงสุดของเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการ จะพบว่าในการผลิตตัปลูกปืนเม็ดกลมนั้น เฉพาะชิ้นงานวงแหวนในเท่านั้นที่จะต้องผ่านกระบวนการขัดผิวด้านใน (Bore Grinding Process) ซึ่งเป็นกระบวนการขัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน (Inner Diameter: ID) และเป็นกระบวนการที่กำหนดความสามารถในการผลิตของตัปลูกปืนเม็ดกลมในแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เป็นจุดคอขวด (Bottle Neck) ส่วนกระบวนการอื่นๆนั้นแยกเครื่องจักรผลิตสำหรับวงแหวนในและวงแหวนนอก และเมื่อพิจารณาเป็นรายรุ่นผลิตภัณฑ์จะเห็นได้ว่า ถึงแม้กระบวนการขัดผิวด้านในจะเป็นกระบวนการที่เป็นจุดคอขวด แต่ในรุ่น BB6140, BB5025, BB7840 และ BB8050 นั้นความสามารถสูงสุดของเครื่องจักรก็ยังเพียงพอต่อปริมาณคำสั่งซื้อรายเดือนยกเว้นรุ่น BB7040 ที่ปัจจุบันความสามารถในการผลิตสามารถผลิตชิ้นงานได้สูงสุดที่ 16.2 ล้านชิ้นต่อเดือนนั้นมีแนวโน้มที่ในอนาคตจะไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าในเดือนตุลาคม 2556 ซึ่งปริมาณคำสั่งจะอยู่ที่ 16.3 ล้านชิ้นตามรูป 1.5 แต่เมื่อความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรมีเพียงแค่ว่า 16.2 ล้านชิ้น ทำให้ผลิตภัณฑ์รุ่น BB7040 นั้นตั้งแต่เดือนตุลาคม 2557 เป็นต้นมาทำการผลิตเต็มความสามารถของเครื่องจักรแต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ตามรูป 1.6 ทำให้ทางบริษัทจะต้องทำการสั่งซื้อชิ้นงานจากบริษัทลูกข่ายที่ประเทศญี่ปุ่นซึ่งจะทำให้ต้นทุนในการผลิตของ

รุ่น BB7040 นั้นเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ทางบริษัทที่ทำการวิจัยต้องการที่จะเพิ่มความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรให้มากที่สุด



รูปที่ 1. 6 ความสามารถสูงสุดในการผลิตของเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการ



รูปที่ 1. 6 เปรียบเทียบความสามารถสูงสุดของเครื่องจักรกับความต้องการของลูกค้าในแต่ละรุ่น (ต่อ)

1.5.3 กระบวนการขัดผิวด้านใน ทำการทดลองเพื่อหาหินขัดที่เหมาะสมกับค่าปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อช่วยลดเวลาในการขัด โดยจะเปรียบเทียบกับ 2 รหัส (code) คือ GC220 M 7V5S และ GC180 N 7V5S เท่านั้นเนื่องจากเป็นรหัสหินขัดที่ทางบริษัทคู่ค้า (Supplier) มีอยู่แล้วสามารถสั่งซื้อมาทำการทดลองได้ทันที และเป็นรหัส (code) ที่มีใช้ตามอุตสาหกรรมทั่วไปจึงมีแนวโน้มที่จะสามารถสั่งได้ในปริมาณมากโดยที่ราคาไม่แตกต่างจากรหัสที่ใช้ในปัจจุบัน

1.5.4 ทำการปรับค่าปรับตั้งเครื่องจักรของเครื่องจักร (Bore Grinding Machine Condition) โดยจะทำการทดลองเบื้องต้น เก็บข้อมูล วัดผล และทดลองใช้งานจริงประมาณ 2 สัปดาห์

1.5.5 ในการทดลองที่กระบวนการขัดผิวด้านในทำการทดลองทั้งหมดที่เครื่องจักรหมายเลข 11 เท่านั้น

1.5.6 พิจารณาด้านทุนหลังจากทำปรับปรุงในส่วนขอ ปริมาณของเสียที่จะเกิดขึ้น และต้นทุนของหินขัดอันเนื่องมาจากอายุการใช้งาน

1.6 ขั้นตอนการทำวิจัย

1.6.1 การศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา (Define Phase) ศึกษาสภาพทั่วไปของโรงงานและขั้นตอนการทำงานของกระบวนการหลักในการผลิตสลับลูกปืนเม็ดกลมมีการจัดตั้งคณะทำงานเพื่อช่วยในการระดมสมอง รวบรวมข้อมูล เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อรอบเวลาการผลิต และเลือกมาดำเนินการแก้ไขปรับปรุง

1.6.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.6.3 การวัดและการกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา (Measure Phase) โดยการระดมสมองจากคณะทำงานเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาการรอบเวลาการผลิต ผ่านแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram), ตารางสาเหตุและผล (Cause-Effect Matrix) และคัดกรองเบื้องต้นด้วยแผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) เพื่อให้ได้มาถึงสาเหตุที่มีผลกระทบต่อรอบเวลาการผลิตมากที่สุด และวางแผนกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหาต่อไป

1.6.4 การวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัย (Analysis Phase) ทำการวิเคราะห์เพื่อคัดกรองปัจจัย โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design Of Experiment : DOE) เพื่อที่จะปัจจัยที่มีผลกระทบต่อรอบเวลาผลิตอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงต่อไป

1.6.5 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) ทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักรโดยใช้เทคนิคพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Mythology : RSM) เพื่อให้ได้รอบเวลาในการผลิตที่น้อยที่สุด

1.6.6 การยืนยันผลและการติดตามควบคุมกระบวนการ (Control Phase) ทำการทดสอบยืนยันผลการทดลอง โดยการปรับตั้งปัจจัยตามที่ได้ทดลองที่กระบวนการผลิตจริงและเก็บข้อมูลเป็นเวลา 1 เดือน และจัดทำแผนควบคุมและมาตรฐานการทำงาน

1.6.7 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย และข้อเสนอแนะ

1.6.8 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 สิ่งที่น่าสนใจ

1.7.1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในที่เหมาะสมที่กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน

1.7.2 รหัสของหินขัดที่เหมาะสม

1.7.3 ค่าปรับตั้งเครื่องจักรเครื่องจักรที่เหมาะสม

1.7.4 รอบเวลาการผลิตของกระบวนการขัดผิวด้าน หลังจากการทำวิจัยแล้ว

1.7.5 ต้นทุนหลังจากทำปรับปรุงในส่วนของหินขัด ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น และต้นทุนของหินขัดอันเนื่องมาจากอายุการใช้งาน

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.8.1 สามารถเพิ่มความสามารถในการผลิตของตลับลูกปืนเม็ดกลมรุ่น 7040

1.8.2 สามารถตอบสนองความต้องการตลับลูกปืนเม็ดกลมรุ่น 7040 ของลูกค้าได้

1.8.3 สามารถใช้เป็นต้นแบบในการเพิ่มความสามารถในการผลิตของขบวนการอื่นได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่ผู้ทำวิจัยได้ศึกษาและนำทฤษฎีเกี่ยวข้องกับการลดรอบระยะเวลาในการผลิตของผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับงานทำวิจัยนี้ และยังได้มีการศึกษาทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับเอกสารและงานวิจัยอื่นๆที่กระบวนการหรือวิธีดำเนินงานคล้ายคลึงกันกับงานวิจัยนี้เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางและเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการดำเนินงานวิจัยนี้ อีกด้วย

2.1 ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)

2.2.1 ประวัติและความเป็นมา

ในปี 1988 มิเกล เจ แฮร์รี่ (Mikel J. Harry) วิศวกรของบริษัทโมโตโรลา (Motorola) ได้มีการประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกมา มาปรับปรุงคุณภาพสินค้า ลดต้นทุน และใช้เป็นแผนกลยุทธ์ขององค์กรจนประสบความสำเร็จ หลังจากนั้นได้มีบริษัทชั้นนำอื่นได้แก่ บริษัทเจเนอรัล อิเล็กทริก (General Electric : GE), บริษัทอลลี ซิกแนล (Allied Signal) และบริษัทโซนี่ (Sony) ได้นำเอาซิกซ์ ซิกมาไปประยุกต์ใช้จนประสบความสำเร็จเช่นกัน จนกระทั่ง ซิกซ์ ซิกมา ได้ถูกเผยแพร่ไปยังบริษัทต่างๆ โดยได้เข้าไปมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมองค์กร และพัฒนาแนวคิดของการบริหารคุณภาพในองค์กร

จุดเริ่มต้นของแนวคิดของ ซิกซ์ ซิกมา ซึ่งเป็นสัญลักษณ์ภาษากรีก (σ) ใช้ในการอธิบายความผันแปรในกระบวนการ และการกระจายตัวของข้อมูลที่เบี่ยงเบนไปจากค่ากลางของข้อมูล โดยค่าความผันแปรนี้จะทำการเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ (Specification Limits) ของผลิตภัณฑ์ และถ้าข้อมูลของผลิตภัณฑ์ขึ้นใดมีค่าออกนอกเหนือข้อกำหนดเฉพาะนี้ก็จะถือว่าผลิตภัณฑ์นั้นเป็นผลิตภัณฑ์บกพร่อง (Defect) ซึ่งถ้ากระบวนการใดมีความสามารถของกระบวนการอยู่ที่ระดับ 6 ซิกมา นั้นจะหมายถึงระยะห่างระหว่างค่ากลางของกระบวนการและข้อกำหนดเฉพาะในแต่ละข้างจะมีค่าเป็น 6 เท่าของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งจะมีโอกาสในการสร้างผลิตภัณฑ์บกพร่องเพียง 3.4 ชิ้นในผลิตภัณฑ์ล้านชิ้น (Part Per Million :PPM) เท่านั้น

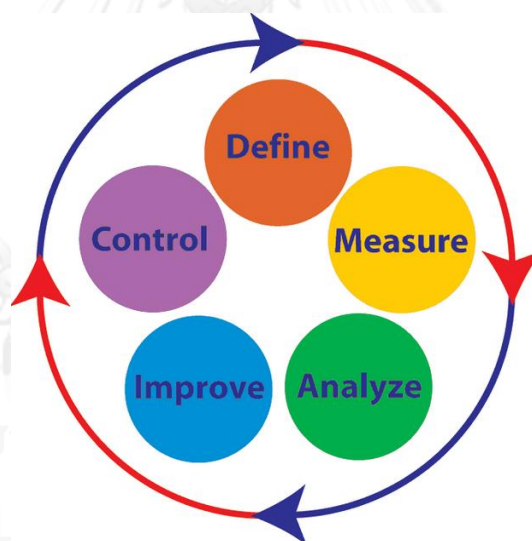
2.1.2 ความหมายและนิยาม

Cavanaugh, Neuman and Pande (2005) กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกมา หมายถึงการเข้าใกล้ความสมบูรณ์แบบของผลิตภัณฑ์และการบริการแก่ลูกค้า โดยในมุมมองทางสถิติ นั้น เป้าหมายของซิกซ์ ซิกมา ก็คือการลดความแปรปรวนเพื่อให้เกิดส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยที่สุด ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์หรือบริการของคุณเกือบทั้งหมดจะมีคุณค่าเท่ากับหรือเหนือกว่าความคาดหวังของลูกค้า ดังนั้น ซิกซ์ ซิกมา จึงเป็นเครื่องมือที่ทรงพลังที่สามารถช่วยปรับปรุงระดับผลิตภัณฑ์และการบริการเหล่านั้นให้มีคุณภาพและความแม่นยำมากขึ้น

วรภัทร ภูเจริญ, กาญจนา สร้อยระย้า และ ธนกฤต จรัสรุ่งขวลิต (2546) ให้ความหมายของ ซิกซ์ ซิกมา ว่าเป็นการประสมประสานกันของเทคนิคต่างทางด้านสถิติ และเทคนิคการจัดการสมัยใหม่ เช่น ดัชนีวัดผลงาน (Key Performance Indicators) และ เทคนิค PDCA (Plan วางแผน, Do ดำเนินการ, Check ตรวจสอบ, Action ปฏิบัติ ปรับปรุง) นำมาลดความผันแปร เพื่อให้ได้ค่าความเบี่ยงมาตรฐานที่น้อยๆ ซึ่งจะทำให้ให้มาซึ่งสินค้าและบริการที่มีคุณภาพที่สม่ำเสมอใกล้เคียงกัน และเป็นไปตามความต้องการหรือความคาดหวังของลูกค้ามากขึ้น

2.1.3 ขั้นตอนและการประยุกต์ใช้

ขั้นตอนในการดำเนินงานของ ซิกซ์ ซิกมา สามารถนำไปใช้ได้หลายวัตถุประสงค์ แต่ที่สำคัญคือ ใช้ในการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ (Process Improvement) ซึ่งเป็นการมองหาว่าอะไรคือตัวแปรสำคัญที่ต้องปรับปรุง และการออกแบบกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ใหม่ (Process Design / Product Design) ซึ่งเป็นการพัฒนากระบวนการหรือผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้ผลออกมาดีที่สุด ซึ่งหลักการดำเนินงานของซิกซ์ ซิกมา นั้นประกอบด้วยกระบวนการ DMAIC คือกระบวนการในการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Cavanaugh et al., 2005; ดร.วรภัทร ภูเจริญ และคณะ, 2546) ดังรูปที่ 2.1 โดยมีความและรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 2. 1 กระบวนการในการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง DMAIC

ก) ขั้นตอนการนิยามหรือการระบุปัญหา (Define Phase)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเลือกโครงการที่จะทำการปรับปรุงหรือออกแบบ ทั้งนี้จะเน้นถึงความต้องการของลูกค้าเป็นหลักด้วย เพื่อให้โครงการที่เลือกจะทำนั้นเป็นเรื่องที่สำคัญจริงๆ เมื่อทำแล้วต้องคุ้มค่า ตรงประเด็น และไม่เสียเวลาไปเปล่าประโยชน์

ข) ขั้นตอนการวัด (Measure Phase)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการวัดของเสียและกระบวนการ เช่น การวัดความสามารถของกระบวนการ วัดประสิทธิผล ฯลฯ เพื่อนำมาวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ

ค) ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

เป็นขั้นตอนวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อค้นหาหรือพิสูจน์ตัวแปรที่สำคัญที่สุดในการบวนการ (Key Process Variables) ที่เป็นต้นตอของสาเหตุของปัญหาที่ได้นิยามไว้ ในขั้นตอนนี้มีความสำคัญมาก เพราะถ้าหากหาตัวแปรไม่เจอหรือหาผิดก็จะไม่สามารถปรับปรุงได้ หรือไม่ก็ปรับปรุงผิดที่

ง) ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

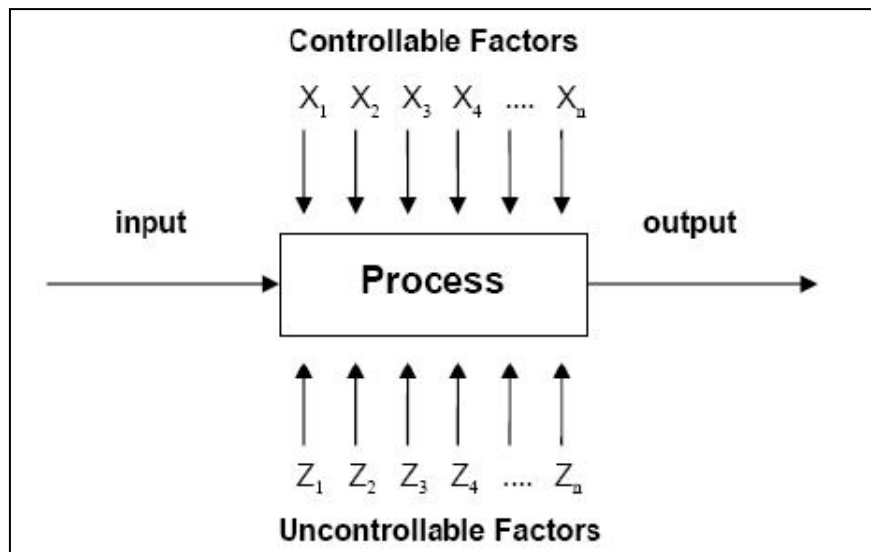
ในขั้นตอนนี้จะทำการหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตอบสนองของกระบวนการกับปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองของกระบวนการและหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่จะทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองของกระบวนการที่ดีที่สุด

จ) ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

ขั้นตอนนี้ก็จะเป็นการจัดทำวิธีการควบคุมปัจจัยต่างๆ เพื่อให้กระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมอย่างสม่ำเสมอ และเพื่อให้มั่นใจได้ว่าปัญหาหรือของเสียนั้นจะลดลงหรือไม่เกิดขึ้นอีก

2.2 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (DOE: Design Of Experiment) (ปารเมศ ชูติมา, 2545)

เป็นกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ ตามปกติแล้วการทดลองถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบ ซึ่งกระบวนการและระบบสามารถแทนด้วยแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2. 2 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ (ปารเมศ ชูติมา, 2545)

จากรูปที่ 2.2 กระบวนการ คือการรวมเอาคนงาน เครื่องจักร วิธีการ และทรัพยากร มารวมเข้าด้วยกัน เพื่อเปลี่ยนอินพุต (เช่น วัตถุดิบ) ไปสู่เอาต์พุตที่มีผลออกมาในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่า โดยมีปัจจัย 2 ชนิด คือ ปัจจัยที่เราที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึงว่าเราสามารถที่จะกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินการทดลองได้ และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึงว่าเราไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยได้ ดังนั้นวัตถุดิบประสงค์ทดลองจะเกี่ยวข้องกับ

- หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อ Y
- หาวิธีการตั้งค่าของ X ที่มีผลต่อ Y เพื่อให้ Y อยู่ที่ค่าต้องการ
- หาวิธีการตั้งค่าของ X ที่มีผลต่อ Y เพื่อให้ Y มีค่าน้อย
- หาวิธีการตั้งค่าของ X ที่มีผลต่อ Y เพื่อให้ผลของตัวแปรที่เราไม่สามารถควบคุมได้ Z_1, Z_2, \dots, Z_q มีค่าน้อยที่สุด

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ

1) เรพลีเคชัน (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ เรพลีเคชันมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรกคือ ทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ประการที่สองคือ ถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเรพลีเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบ

2) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลอง และลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูลหรือความผิดพลาดจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

3) บล็อกกิ้ง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ

2.2.1 การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ (One Half-Fraction Factorial Design: 2^{k-1})

การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลถูกนำมาใช้มากในเรื่องของการกรองเพื่อหาปัจจัยที่ผลกล่าวคือในการทดลองหนึ่งอาจจะมีปัจจัยมากมายที่อยู่ในความสนใจ เราจะใช้การออกแบบเช่นนี้เพื่อค้นหาว่าปัจจัยใดบ้าง เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองเพื่อกรองปัจจัยนี้ส่วนมากจะใช้ในตอนเริ่มต้นโครงการ เนื่องจากโดยมากแล้วในขณะนั้นจะมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่มีแนวโน้มว่าจะเป็นปัจจัยที่มีผลน้อย หรือไม่มีผลต่อผลตอบสนองที่กำลังพิจารณาอยู่ ซึ่งปัจจัยที่มีผลจะถูกนำไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองต่อไป

มิติของการออกแบบ (Resolution Design)

เนื่องจากการออกแบบที่มีมิติ III, IV และ V มีความสำคัญ ซึ่งสามารถนิยามและยกตัวอย่างสำหรับการออกแบบเหล่านี้ ดังต่อไปนี้

การออกแบบมิติ III (Resolution III) การออกแบบเหล่านี้จะไม่มีผลหลัก (Main Effect) ใดๆ ที่จะคู่แฝดแฝง (Alias) กับผลหลักตัวอื่นๆ แต่ผลหลักจะคู่แฝดแฝงกับอันตรกิริยาสองปัจจัย (Two-way Interaction) และอันตรกิริยาสองปัจจัยอาจจะคู่แฝดแฝงซึ่งกันและกันได้

การออกแบบมิติ IV (Resolution IV) การออกแบบเหล่านี้จะไม่มีผลหลัก (Main effect) ใดๆ ที่จะคู่แฝดแฝง (Alias) กับผลหลักตัวอื่นๆ หรือกับอันตรกิริยาสองปัจจัย (Two-way Interaction) ใดๆ แต่อันตรกิริยาสองปัจจัย (Two-way Interaction) อาจจะคู่แฝดแฝงซึ่งกัน

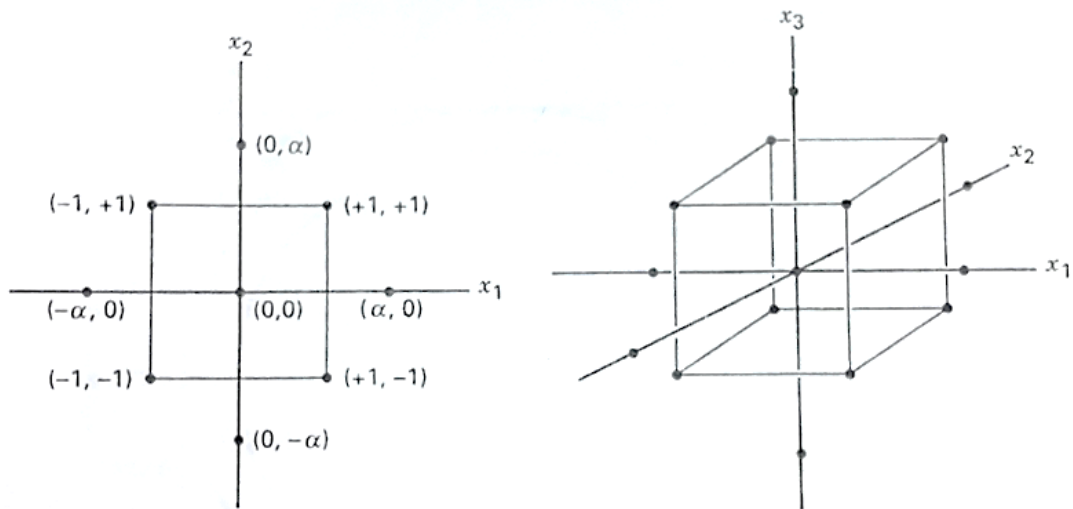
การออกแบบมิติ V (Resolution V) การออกแบบเหล่านี้จะไม่มีผลหลัก (Main effect) หรืออันตรกิริยาสองปัจจัย (Two-way Interaction) ใดๆ ที่จะคู่แฝดแฝง (Alias) กับผลหลักหรืออันตรกิริยาสองปัจจัย (Two-way Interaction) ใดๆ ตัวอื่นๆ แต่อันตรกิริยาสองปัจจัย (Two-way Interaction) จะคู่แฝดแฝง (Alias) กับอันตรกิริยาสามปัจจัย (Three-way Interaction)

2.3 วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM)

เป็นวิธีที่ใช้หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดได้ โดยที่วิธีพื้นผิวตอบสนองเป็นวิธีที่สร้างสมการของความสัมพันธ์ของแปรอิสระกับตัวแปรตอบสนองโดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย (Regression) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Settings) ของระดับในแต่ละปัจจัยที่สนใจ (Montgomery, 2001) และเป็นกรรวมเอาเทคนิคทางคณิตศาสตร์และสถิติที่เป็นประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ปัญหาซึ่งแสดงผลตอบสนองต่อผลจากตัวแปรต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดหรือความเหมาะสมต่อผลสนองนั้น (ปารเมศ ชูติมา, 2545)

2.3.1 การออกแบบส่วนประกอบกลาง (Central Composite Design)

เป็นเทคนิคหนึ่งในวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองที่ได้รับความนิยมในการออกแบบและการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตที่ใช้การออกแบบการทดลอง (Myers and Montgomery, 2002) และโดยทั่วไปแล้ว การออกแบบส่วนประกอบกลางจะประกอบด้วย 2^k แฟกทอเรียลที่มี n_f หน่วยทดลอง, 2^k หน่วยทดลองในแนวแกนหรือในแนวรูปดาว (star) และ n_c หน่วยทดลองที่จุดศูนย์กลาง (ปารเมศ ชูติมา, 2545)



รูปที่ 2.3 การออกแบบส่วนประกอบกลาง สำหรับ $k=2$ และ $k=3$ (ปารเมศ ชูติมา, 2545)

ในทางปฏิบัติ การออกแบบส่วนประกอบกลางจะเกิดขึ้นจากการทดลองแบบเป็นอันดับ (Sequential Experimentation) กล่าวคือการออกแบบ 2^k แฟกทอเรียล ถูกนำมาใช้เมื่อมีการสร้างข้อมูลเข้ากับแบบจำลองที่หนึ่ง เมื่อพบว่าแบบจำลองอันดับที่หนึ่งไม่เหมาะสมกับข้อมูลชุดนี้ จึงมีการทำการทดลองเพิ่มในแนวแกนหรือในแนวรูปดาวเพื่อให้สามารถใส่พจน์ ควอดราติก ลงในแบบจำลองได้ อย่างไรก็ตาม ถ้าหากเรารู้ว่าข้อมูลที่ได้มานั้นสามารถการสร้างเข้ากับแบบจำลองที่เป็นควอด

ราติกได้เราก็สามารถทำการออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบส่วนประกอบกลางได้ทันทีโดยไม่ต้องออกแบบ 2^k แฟกทอเรียล เพื่อการสร้างข้อมูลให้เข้ากับแบบจำลองอันดับที่หนึ่ง (ปารเมศ ชุตติมา , 2545)

2.4 เครื่องมือคุณภาพสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพในกระบวนการทำงาน ช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา การเลือกปัญหา การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา การค้นหาและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่แท้จริงเพื่อการแก้ไขได้ถูกต้อง ตลอดจนช่วยในการจัดทำมาตรฐานและควบคุมติดตามผลอย่างต่อเนื่องอีกด้วย

2.4.1 การระดมความคิด (Brainstorming)

เป็นวิธีการรวบรวมความคิดเห็นจากกลุ่มคนให้มากที่สุดภายในระยะเวลาอันสั้น การระดมความคิดเป็นวิธีการประชุมชนิดหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพมาก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ใช้ในการเลือกปัญหา สาเหตุของปัญหา และวิธีการแก้ปัญหาหรือหาข้อยุติในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง โดยอาศัยความคิดของกลุ่มบุคคลเป็นเครื่องตัดสิน

2.4.2 แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram)

เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของความบกพร่องกับปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยหากข้อมูลที่เก็บมาได้นั้นมีเสถียรภาพ (Stability) แล้วนั้น ข้อมูลที่มีความสำคัญมากจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย และข้อมูลที่มีความสำคัญเพียงเล็กน้อยจะมีจำนวนมาก (Vital Few , Trivial Many) ตัวแบบของความมีเสถียรภาพของข้อมูลนั้น จะมีลักษณะข้อมูลที่มีความสำคัญมาก (ประมาณ 80% ของตัววัดความสำคัญทั้งหมด) มาจากประเภทข้อมูลจำนวนเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 20% ของประเภทของข้อมูลทั้งหมด) เรียกกฎหลักการพาเรโตนี้ว่า กฎ 80-20

เมื่อไรจึงจะใช้แผนผังพาเรโต

- เมื่อต้องการกำหนดสาเหตุที่สำคัญ (Critical Factor) ของปัญหา เพื่อแยกออกมาจากสาเหตุอื่นๆ (Possible Causes)
- เมื่อต้องการยืนยันผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการแก้ปัญหา โดยเปรียบเทียบระหว่าง “ก่อนทำ” กับ “หลังทำ”
- เมื่อต้องการค้นหาปัญหาและคำตอบในการดำเนินกิจกรรมแก้ปัญหา

2.4.3 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effective Diagram)

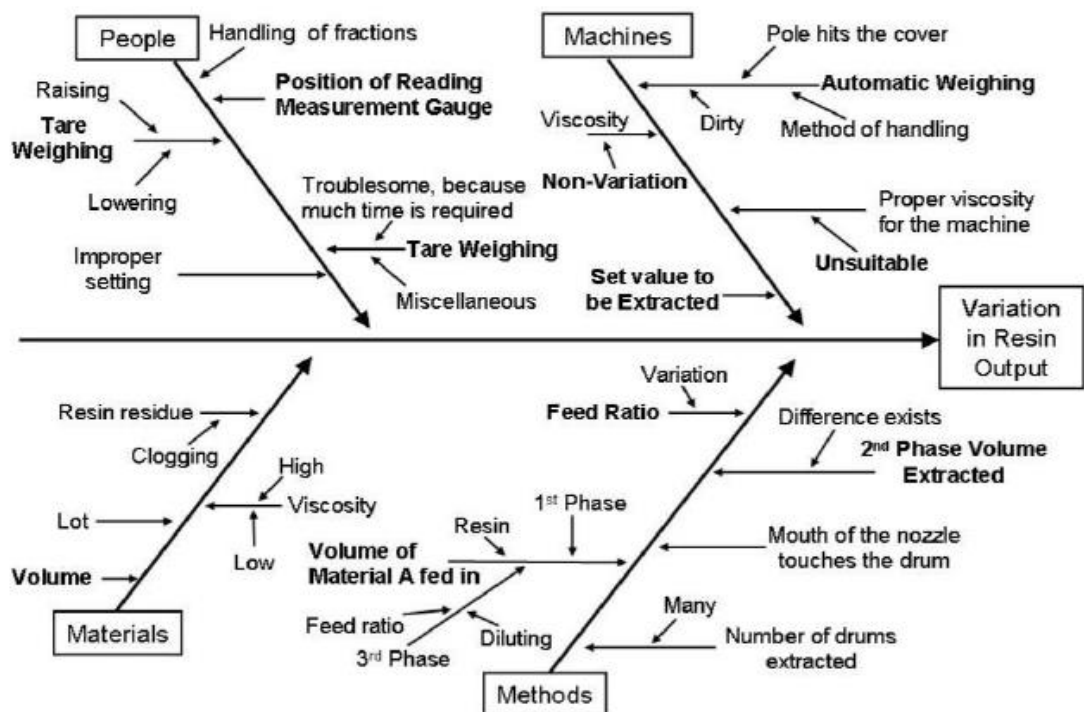
ผังแสดงเหตุและผล เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) หรือแผนภาพของอิชิคาว่า (Ishikawa Diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงสาเหตุ (Cause) และผล (Effect)

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของคุณภาพกับสาเหตุของมัน โดยการดึงเอาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดออกมาเรียงเรียงสาเหตุที่มีผลต่อคุณภาพ มีประโยชน์ในการใช้เป็นเครื่องมือในการระดมสมองจากสมาชิกภายในกลุ่ม ทำให้เห็นปัญหาอย่างเป็นระบบและทราบสาเหตุของผลที่เกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุที่ได้นั้นจะละเอียดลึกซึ้งและมีขั้นตอนตามเหตุตามผล สะดวกที่จะนำสาเหตุนั้น ๆ ไปพิจารณาแก้ไข อีกทั้งเป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปประยุกต์ในการอภิปรายให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์แผนภูมิแก๊งปลาโดยส่วนมากมักจะใช้หลักการ 4M 1E เป็นกลุ่มปัจจัยที่จะนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่างๆ ซึ่ง 4M 1E นี้มาจาก

1. M Man คนงาน หรือพนักงานปฏิบัติการ
2. M Machine เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก
3. M Material วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการ
4. M Method กระบวนการทำงาน
5. E Environment อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศทำงาน

ตัวอย่างของการใช้งานผังแสดงเหตุและผล ดังรายละเอียดในรูป 2.4



รูปที่ 2. 4 แผนภูมิแสดงเหตุและผล (Cause and Effective Diagram)

2.4.4 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

เป็นตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองที่ทำการศึกษากับปัจจัยนำเข้าที่ได้จากการระดมสมองโดยใช้ผังแสดงเหตุและผล โดยจะวิเคราะห์ถึงระดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อแปรตอบสนอง โดยอาศัยความรู้ ความชำนาญ และประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของผู้ร่วมการระดมสมอง ผลลัพธ์ที่สำคัญของการทำตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล จะต้องทำแผนภูมิพาเรโตเพื่อเรียงปัจจัยตามลำดับผลกระทบที่มีต่อปัญหาที่ทำการพิจารณา ทำให้สามารถพิจารณาเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในระดับต้นๆ มาทำการแก้ไขก่อน หรือนำผลที่ได้มาใช้ในการประเมินแผนการควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต ตัวอย่างของตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล รูปที่ 2.5

Cause and Effect Matrix

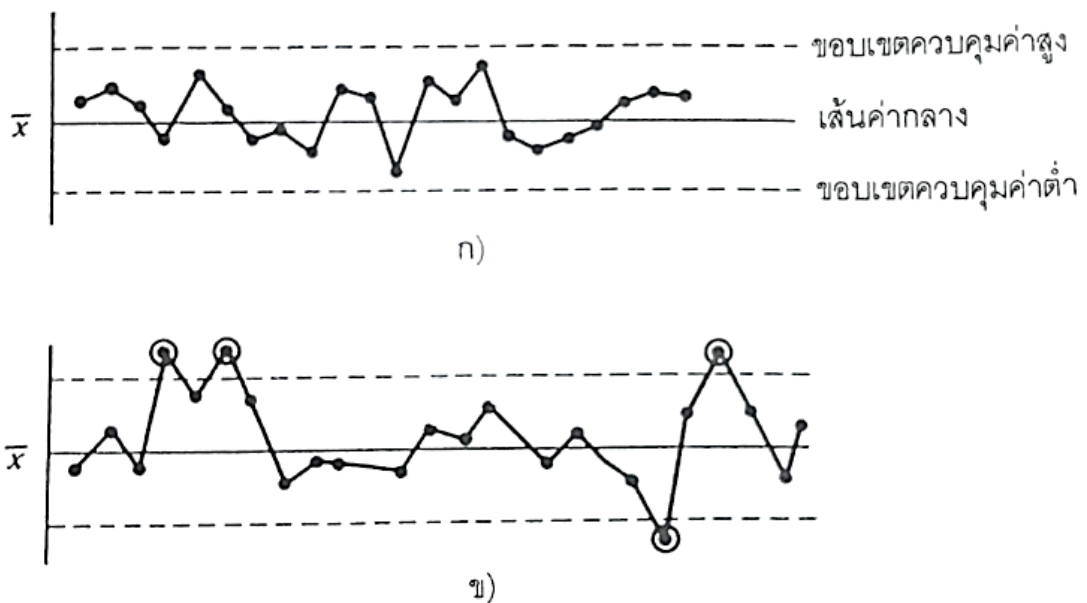
		Key Process Output Variables																		
																	Customer Importance			
																	Customer Rank			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
		KPOV1	KPOV2	KPOV3	KPOV4	KPOV5														
		Process Step		KPIV													Rank	Rating	Total	
Process Steps & Key Process Input Variables	1	Step 1	KPIV1														1		0	
	2		KPIV2														1		0	
	3	Step 2	KPIV3														1		0	
	4		KPIV4														1		0	
	5																			
	6																			
	7																			
	8																			
	9																			
	10																			
	11																			
	12																			
	13																			
	14																			
	15																			
	16																			
	17																			
	18																			
	19																			
	20																			
		Reverse Total	0	0	0	0	0													
		Reverse Score	0	0	0	0	0													
		Reverse Rank	1	1	1	1	1													
		Target																		
		LSL																		
		USL																		

รูปที่ 2. 5 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

2.5 แผนควบคุม (Control Chart) (ศุภชัย นาทะพันธ์, 2551)

แผนภูมิควบคุม คือ แผนภูมิหรือแผนกราฟที่เขียนขึ้นล่วงหน้าโดยอาศัยข้อมูลจากข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) ที่ระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงานที่ทำการผลิตและต้องการจะควบคุมนั้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งโดยการตรวจวัดค่าซึ่งวัดได้ (Variable) ที่เรียกว่าค่าวัด หรือการนับจำนวนของค่าที่เป็น

หน่วยนับ (Attribute) แล้วเขียนบันทึกลงในแผนภูมินั้นๆ ซึ่งจะมี 3 เส้น (โดยปกติ) ได้แก่ เส้นค่ากลาง คือเส้นที่แสดงขนาดหรือจำนวนที่เป็นข้อกำหนดหรือเป้าหมายของการผลิต พร้อมกับเส้นแสดงขอบเขตควบคุมค่าสูงและเส้นแสดงขอบเขตควบคุมค่าต่ำที่อนุญาตให้มีความคลาดเคลื่อนในการผลิตเกิดขึ้นได้และหากอยู่ในเขตควบคุมนี้ก็ยิ่งถือว่า ผลการผลิตยอมรับได้ แต่หากค่าที่ได้อยู่นอกเหนือเขตควบคุม (ไม่ว่าทางมากกว่าหรือต่ำกว่า) ถือว่า การผลิตในขณะนั้นยอมรับไม่ได้ จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องในทันทีต่อไป ตัวอย่างของแผนภูมิควบคุมจะแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2. 6 ตัวอย่างแสดงแผนภูมิควบคุม 2 กรณี

- ก. แสดงแผนควบคุมซึ่งบ่งบอกถึงสถานภาพในการผลิตขณะนั้นว่า อยู่ในควบคุม
- ข. แสดงแผนควบคุมซึ่งบ่งบอกถึงสถานภาพในการผลิตขณะนั้นอยู่นอกควบคุม จะต้องได้รับการแก้ไขและกำจัดสาเหตุของปัญหา

แม้ว่าแผนภูมิควบคุมจะมีหลากหลายชนิดก็ตาม แต่ที่พบเสมอและมีหลักการเดียวกันก็คือ แผนภูมิควบคุมชนิด 3 ซิกมา (3-Sigma Control Chart) กล่าวคือเป็นแผนภูมิที่มีระยะห่างของเส้นขอบเขตควบคุมค่าสูง (Upper Control Limit : UCL) ห่างจากเส้นค่ากลาง (Center Line : CL) อยู่เท่ากับ 3 ซิกมา หรือ $3s$ เมื่อ s = ค่าเบี่ยงมาตรฐานของข้อมูลจากระบวนการผลิต ซึ่งเกิดจากสาเหตุที่เป็นปกติวิสัยในกระบวนการผลิตนั้นและหากมีเส้นขอบเขตควบคุมค่าต่ำ (Lower Control Limit : LCL) ก็ห่างหรือต่ำกว่าค่ากลางอยู่ $-3s$ เช่นกัน

ชนิดของแผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุมแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ โดยพิจารณาจากคุณลักษณะของตัวแปรที่เขียนแผนภูมิ คือ

1. แผนภูมิควบคุมชนิดข้อมูลมีค่าต่อเนื่องหรือเป็นข้อมูลจากหน่วยวัด (Continuous Value)
2. แผนภูมิควบคุมชนิดข้อมูลมีค่าเป็นค่าแจกแจงนับ (Discrete Value) หรือมีค่าเต็มหน่วย ซึ่งเป็นข้อมูลจากหน่วยนับ

รายละเอียดแสดงอยู่ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2. 1 ตารางแสดงชนิดของแผนภูมิควบคุม

ลักษณะจำเพาะของค่าที่จะควบคุม	ชื่อแผนภูมิควบคุมที่ใช้
1. ข้อมูลมีค่าต่อเนื่องหรือเป็นข้อมูลจากหน่วยวัด	\bar{x} -R Chart แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและพิสัย
	x Chart แผนภูมิควบคุมค่าวัด
2. ข้อมูลมีค่าเป็นค่าแจกแจงนับ	pn Chart แผนภูมิควบคุมจำนวนชิ้นงานที่เป็นของเสีย
	p Chart แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย
	c Chart แผนภูมิควบคุมจำนวนตำหนิ
	u Chart แผนภูมิควบคุมจำนวนตำหนิต่อชิ้น

2.5.1 แผนภูมิ \bar{X} -R Chart

เป็นแผนภูมิควบคุมที่อาศัยค่าหน่วยวัด (x) และค่าเฉลี่ย (\bar{x}) ของกลุ่มข้อมูลในการควบคุม โดยหน่วยวัด (x) อาจเป็นขนาดความยาว น้ำหนัก ความหนาแน่น ความถี่จำเพาะ เป็นต้น โดยที่ \bar{x} จะหาได้จากค่าเฉลี่ยของ x ในกลุ่มย่อย (Subgroup) และ R หรือพิสัยก็คือค่าพิสัยของ x ในกลุ่มย่อยนั้น เรามักจะใช้ \bar{x} Chart คู่กับ R Chart เพื่อควบคุมความผันแปรภายในกลุ่มย่อย

2.6 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต (Process Capability Analysis)

ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) คือ ความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ที่ได้รับจากกระบวนการที่ศึกษา หรือ ความผันแปรโดยธรรมชาติที่ได้รับการวัดของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการที่ศึกษา (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2550)

ในการประเมินผลความสามารถในกระบวนการจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. ความสามารถเชิงศักยภาพ (Process Potential Capability) คือ ความสามารถผันแปรโดยสาเหตุธรรมชาติของกระบวนการที่เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า เมื่อกำหนดให้ตำแหน่งของกระบวนการอยู่ตรงกลางของข้อกำหนดเฉพาะ
2. ความสามารถเชิงสมรรถนะ (Process Performance Capability) คือ ความตรงต่อข้อกำหนดเฉพาะของลูกค้า ของผลิตภัณฑ์จากกระบวนการภายใต้ตำแหน่งที่เป็นจริงของกระบวนการ

การประเมินความสามารถของกระบวนการนั้น จะทำการประเมินโดยผ่านดัชนีวัดตัวหนึ่งๆ ที่เรียกว่า ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ ซึ่งการประเมินความสามารถของกระบวนการนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ การประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตในระยะสั้น (Short Term) และ การประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตในระยะยาว (Long Term)

2.6.1 การประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตในระยะสั้น (Short Term : ST)

เป็นการประเมินความสามารถของกระบวนการภายในสภาวะเดียวกัน (Within condition) โดยไม่ได้คำนึงถึงความผันแปรต่างๆ หรือการศึกษาภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma(ST)} \quad (2.1)$$

$$C_{pk} = \min \left[\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma(ST)}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma(ST)} \right] \quad (2.2)$$

เมื่อ C_p คือ ดัชนีความสามารถเชิงศักยภาพของกระบวนการ (Process Potential Capability)

Cpk คือ ดัชนีความสามารถเชิงสมรรถนะของกระบวนการ (Process Performance Capability)

C(ST) คือ ความผันแปรระยะสั้นของกระบวนการ

2.6.2 การประเมินความสารถของกระบวนการผลิตในระยะยาว (Long Term : LT)

เป็นการประเมินความสารถของกระบวนการโดยรวมความผันแปรที่เกิดขึ้นระหว่างเงื่อนไข (Between condition) หรือการควบคุมภายใต้สภาพจริงของกระบวนการ (อาจจะไม่อยู่ภายใต้การควบคุมก็ได้) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma(LT)}$$

(2.3)

$$P_{pk} = \min \left[\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma(LT)}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma(LT)} \right]$$

(2.4)

เมื่อ P_p คือ ดัชนีความสามารถเชิงศักยภาพของกระบวนการ (Process Potential Capability)

P_{pk} คือ ดัชนีความสามารถเชิงสมรรถนะของกระบวนการ (Process Performance Capability)

C(LT) คือ ความผันแปรระยะยาวของกระบวนการ

Montgomery (1996) ได้แนะนำถึงค่าที่เหมาะสมสำหรับการประเมินค่าดัชนีความสามารถเชิงสมรรถนะของกระบวนการดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2. 2 ค่าแนะนำสำหรับค่าที่ต่ำที่สุดของดัชนี C_{pk}

ประเภทของกระบวนการ	ค่าดัชนี C_{pk} ที่ต่ำที่สุด	
	ข้อกำหนดเฉพาะแบบสองด้าน	ข้อกำหนดเฉพาะแบบด้านเดียว
กระบวนการทั่วไป(ใช้งานอยู่)	1.33	1.25
กระบวนการทั่วไป(ใหม่)	1.50	1.45
กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยหรือพารามิเตอร์วิกฤต (ใช้งานอยู่)	1.50	1.45
กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยหรือพารามิเตอร์วิกฤต (ใหม่)	1.67	1.6

2.7 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับรหัสและโครงสร้างของหินขัด

ในส่วนนี้จะอธิบายเกี่ยวกับความรู้เบื้องต้นของหินขัด โดยจะอธิบายพร้อมยกตัวอย่างจากรหัสหินที่ใช้ในโรงงานกรณีศึกษา

รหัสหินขัด GC220 M 7V5S

GC คือ ชนิดของวัสดุที่ใช้ทำเม็ดหินขัด (Abrasive Grain)

GC เป็นเม็ดหินขัดชนิด Green silicon carbide สีเม็ดหินขัดเป็นสีเขียวเป็นหินขัดที่ทำการผลิตแบบอัดขึ้นรูป ประกอบด้วยสารประกอบ SiC มากกว่า 99% ซึ่งเป็นตัวช่วยในการต้านทานความร้อนสูง และการสึกกร่อน ในขณะที่ส่วนผสมอื่นเป็นตัวช่วยในด้านความเหนียว การยึดหยุ่น การต้านทานแรงกระแทก

220 คือ ขนาดของเม็ดหินขัด (Grain Size)

Grain Size เป็นตัวเลขแสดงลำดับความหยาบและความละเอียดของหินขัด สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระดับ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2. 3 ตารางลำดับความหยาบและความละเอียดของหินขัด

ระดับหยาบ	หมายเลข 8, หมายเลข 10, หมายเลข 12, หมายเลข 14, หมายเลข 16, หมายเลข 20, หมายเลข 24, หมายเลข 30, หมายเลข 36, หมายเลข 46, หมายเลข 54, หมายเลข 60, หมายเลข 70, หมายเลข 80, หมายเลข 90, หมายเลข 100, หมายเลข 120, หมายเลข 150, หมายเลข 180, หมายเลข 220
ระดับละเอียด	หมายเลข 240, หมายเลข 280, หมายเลข 320, หมายเลข 360 ,หมายเลข 400, หมายเลข 500, หมายเลข 600, หมายเลข 700 ,หมายเลข 800, หมายเลข 1000, หมายเลข 1200, หมายเลข 1500 ,หมายเลข 2000, หมายเลข 2500, หมายเลข 3000 , หมายเลข 4000, หมายเลข 6000, หมายเลข 8000

M คือ ระดับความแข็งของตัวยึดเกาะเม็ดหินขัด (Grade)

Grade เป็นตัวอักษรที่ระบุความแข็งของตัวยึดเกาะเม็ดหินขัดจะมีตั้งแต่ A ถึง Z โดยที่ ตัวอักษรใกล้เคียง A ส่วนผสมของตัวประสานจะน้อยจะส่งผลทำให้หินนิ่ม ถ้าตัวเลขใกล้เคียง Z ส่วนผสมของตัวประสานจะมากจะส่งผลทำให้หินแข็ง และจะนำไปใช้งานในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันออกไป สามารถแบ่งได้เป็น 5 ระดับ ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2. 4 ตารางความแข็งของตัวยึดเกาะเม็ดหินขัด

อ่อนมาก	อ่อน	ปานกลาง	แข็ง	แข็งมาก
(Super soft)	(Soft)	(Medium)	(Hard)	(Super hard)
A ,B ,C ,D ,E ,F ,G	H ,I ,J ,K	L ,M ,N ,O	P ,Q ,R ,S	T ,U ,V ,W ,X ,Y ,Z

โดยส่วนใหญ่ ในกระบวนการผลิตทั่วไป จะนิยมใช้ความแข็งของตัวยึดเกาะตั้งแต่ H, I, J, K, L, M, N, O และจะใช้ในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันตามลักษณะงาน ดังนี้

H, I, J, K จะนิยมนำไปใช้ในขั้นตอนขัดหยาบ ที่ป้อนกินงานมากๆ และไม่คุมขนาดความละเอียดมาก

L, M, N, O จะนิยมนำไปใช้ในขั้นตอนขัดละเอียด หรืองานขัดขึ้นรูปที่ต้องการความแม่นยำสูง

การเลือกใช้ความแข็งของตัวยึดเกาะเม็ดหินขัด จะส่งผลโดยตรงกับความสามารถในการขัดงาน และอายุการใช้งานของหินขัด แต่จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับรูปแบบของการใช้งานซึ่งรวมถึงคุณภาพของชิ้นงานอันได้แก่ ขนาดความหยาบของผิวงานด้วย

7 คือ โครงสร้างของหินขัด (Structure)

Structure เป็นตัวเลขแสดงอัตราส่วนของเม็ดหินขัดต่อปริมาตรของหินขัดทั้งหมด ซึ่งลำดับของตัวเลขจะแสดงอัตราส่วนของเม็ดหินขัดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตารางอัตราส่วนของเม็ดหินขัดต่อปริมาตรของหินขัด

โครงสร้าง (Structure)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
อัตราส่วนของ เม็ดหินขัด															
Percentage of grain (%)	62	60	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34

V คือ ลักษณะของตัวเชื่อมประสานเม็ดหินขัด (Features of bonds)

V เป็นตัวเชื่อมประสานเม็ดหินขัด ชนิด Vitriified ซึ่งเป็นแร่ฟันม้า (Feldspar) หลอมละลายเข้ากับดินเหนียว ขึ้นรูปด้วยการอัดและหล่อด้วยอุณหภูมิ 1,200 ~1,350 °C

5S คือ สัญลักษณ์แสดงรายละเอียดย่อยของตัวเชื่อมประสานเม็ดหินขัด (Bond subdivision symbols)

5S เป็นสัญลักษณ์แสดงรายละเอียดย่อยของตัวเชื่อมประสานเม็ดหินขัดชนิด Vitriified มีสีขาว เหมาะกับการใช้งานควบคู่กับเม็ดหินขัดประเภท GC

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 การประยุกต์ใช้ซิกซ์ ซิกมา ในการปรับปรุงกระบวนการ

จากขั้นตอนการดำเนินงานของ ซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอน (DMAIC) นั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายวัตถุประสงค์ แต่ที่สำคัญและถูกนำไปใช้บ่อยคือ นำไปใช้ในการแก้ไขปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งเป็นการมองหาว่าอะไรคือตัวแปรสำคัญที่ต้อง และนำไปปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Cavanaugh et al., 2005; วรภัทร ภูเจริญ และคณะ, 2546) ดังนั้นจึงมีหลายงานวิจัยที่ได้นำเอาหลักการและแนวทางการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอน อันได้แก่ ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase), ขั้นตอนการวัดสภาพของปัญหา (Measure Phase), ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase), ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไข (Improvement Phase), ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase) มาเป็นเครื่องมือที่ช่วยปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตเพื่อลดข้อบกพร่องและของเสียให้น้อยลง

Jamaluddin, Razali, and Mustafa (2011) และ Kutasthien, and Boonsompong (2011) เห็นว่าคุณภาพมีความสำคัญกับกระบวนการผลิตแบบปริมาณมาก ซึ่งต้องอาศัยความแม่นยำของกระบวนการและต้องมีความผันแปรในกระบวนการน้อย ดังนั้นจึงได้นำเอาได้นำเทคนิค DMAIC และหลักการปรุงอย่างต่อเนื่องอย่าง ซิกซ์ ซิกมา เข้ามาใช้เพื่อลดส่วนส่วนของเสียในกระบวนการ Wafer dice (Jamaluddin et al., 2011) และการลดปัญหา Tombstone Capacitor ที่กระบวนการ Print Circuit Cable Assembly (Kuptasthien et al., 2011) โดยหลังจากปรับปรุงกระบวนการแล้วนั้นสามารถลดขนาดของ Chipping ลง ซึ่งส่งผลให้สามารถลดของเสียลงได้ 50% (Jamaluddin et al., 2011) และลดของเสียจากปัญหา Tombstone Capacitor จาก 1,554 DPPM เหลือ 314 DPPM นอกจากนั้นยังสัดส่วนของชิ้นงานดีเพิ่มขึ้นเป็น 99.66% (Kuptasthien et al., 2011)

Jindadee, Asawarungsaengkul, and Deeying (2011) และ Asawarungsaengkul, and Sukamta, (2011) มีการประยุกต์ใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา มาปรับปรุงกระบวนการ Laser Spot Welding จุดประสงค์เพื่อทำการลดปัญหา Undercut (Jindadee et al., 2011) และปรับปรุงสัดส่วนงานดีของกระบวนการ Gram Load Adjusting (Asawarungsaengkul et al., 2011) โดยได้นำเอาเครื่องมือคุณภาพ เช่น ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effective Diagram), ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA : Failure Mode and Effect Analysis) เข้ามาช่วยวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาที่เกิดขึ้นและหลังจากการปรุงปรุงพารามิเตอร์ของกระบวนการแล้วสามารถลดปริมาณของเสีย Undercut ลงได้ จาก 0.5% เหลือ 0.32% (Jindadee et al., 2011) และสามารถเพิ่มสัดส่วนชิ้นงานดีที่ Gram Load Adjusting เพิ่มขึ้นจาก 98.59% เพิ่มเป็น 99.14% (Asawarungsaengkul et al., 2011)

2.8.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองในหาพารามิเตอร์ของกระบวนการหรือเครื่องจักรที่เหมาะสม

เนื่องจากเทคนิคการออกแบบการทดลองเป็นกระบวนการวางแผนการทดลองและนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติและหาข้อสรุปว่าปัจจัยนำเข้าใดบ้างมีผลต่อสิ่งทีให้ความสนใจในผลิตภัณฑ์หรือสิ่งทีออกมาจากระบบโดยทั่วไปการทดลองจะถูกใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหรือระบบ (ปารเมศ ชูติมา, 2545) ดังนั้นการออกแบบการทดลองจึงนิยมใช้ในการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับพารามิเตอร์ของกระบวนการหรือพารามิเตอร์ของเครื่องจักรเพื่อที่จะนำเอาไปใช้เพื่อปรับปรุงต่อไป ซึ่งการออกแบบการทดลองยังสามารถที่จะวิเคราะห์ปัจจัยหรือพารามิเตอร์หลายๆตัวในครั้งเดียวกัน ทำให้ประหยัดเวลา และต้นทุนในการทำการทดลองมากกว่าการทดลองแบบลองผิดลองถูก

1). การประยุกต์ให้เทคนิคการออกแบบการทดลองกับลักษณะกระบวนการแบบที่มีตัวแปรตอบสนองเพียง 1 ตัวแปร (Single response) ซึ่งจะเป็นการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าเพื่อให้ค่าของตัวแปรตอบสนองนั้น้อยู่ที่ค่าที่ต้องการเช่น ลดของเสียให้น้อยที่สุด

Asawarungsaengkul, Deeying, and Boonpalit (2011) ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลกับ 5 ปัจจัย ได้แก่ Width of track, Insert Surface Gap, Gap between stopper and the insert, Average laser power และ Welding time เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของที่จะทำให้สัดส่วนของเสียที่กระบวนการ Laser Spot Welding น้อยที่สุด หลังจากปรับปรุงโดยพารามิเตอร์ใหม่ทำให้สัดส่วนของเสียลดลงจาก 0.5472% หรือ 5,472 DPPM เหลือ 0.1775% หรือ 1,775 DPPM.

Kutasthien et al. (2011) ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลกับ 3 ปัจจัย คือ Solder volume, Pad spacing และ Reflow profile เพื่อลดปัญหา Tombstone Capacitor ให้น้อยที่สุดที่กระบวนการ Print Circuit Cable เมื่อทำการปรับปรุงปัจจัยทั้ง 3 แล้วนั้นของเสียลดลงจาก 1,554 DPPM เหลือ 314 DPPM.

Jamaluddin et al. (2011) ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลกับ 3 ปัจจัย ได้แก่ Cutting mode, Feed Speed และ Spindle speed เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการลดขนาดของ Chipping ซึ่งมีผลทำให้สามารถลดของเสียลง 50% ที่กระบวนการ Wafer dice

Jindadee et al. (2011) ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลกับ 5 ปัจจัย ได้แก่ stopper height, Nitrogen flow rate at laser zone, Nitrogen flow rate at cooling zone, laser power และ laser time เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการลดปัญหา undercut ให้น้อยที่สุด หลังจากปรับปรุงพบว่าของเสียลดลงจาก 0.5% เหลือ 0.32%

หม่นซ์ พระพุทธคุณ และ อีรเดช วุฒิพรพันธ์ (2554) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลกับ 4 ปัจจัย ได้แก่ขนาดของหิน ขนาดของทราย อัตราผสมมวลรวม และระยะเวลา

การบ่มคอนกรีต เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตคอนกรีตที่สามารถรับแรงอัดได้ในช่วง 240 ถึง 260 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ (2555) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน เพื่อหา สภาวะที่เหมาะสมของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย คือ ระยะเวลาให้ความร้อนกับเรซิน แรงฉีดยาเรซิน แรงอัด แม่พิมพ์ และเวลาในการฉีดยาเรซิน เพื่อทำให้เกิดขนาดรวมของโพรงอากาศเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยหลังจาก การทดลองได้ขนาดรวมของโพรงอากาศเท่ากับ 218.25 ไมครอน

Krajnik, Kopac, and sluga (2005) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบส่วนประกอบกลาง (CCD) กับงานวิจัยการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องกลึง 4 ปัจจัย คือ Component height, Dressing feed-rate, Control wheel speed และ In-feed speed เพื่อให้ได้ค่าความหยาบผิวของ ชิ้นงานน้อยที่สุด โดยหลังการทดลองจะได้ค่าความหยาบผิวเท่ากับ 0.589 ไมโครเมตร

2). การประยุกต์ให้เทคนิคการออกแบบการทดลองกับลักษณะกระบวนการแบบที่มีตัวแปร ตอบสนองหลายตัวแปร (Multiple response) ซึ่งจะเป็นการค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่เพื่อให้ ค่าตามเงื่อนไขของตัวแปรตอบสนองแต่ละตัว

Asawarungsaengkul et al. (2011) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเชิง แฟคทอเรียลกับ 6 ปัจจัย ได้แก่ Preload movement range, Feedback coefficient, Feedback accept tolerance, Delay time before measurement, Tolerance in to adjust, และ Data buffer size เพื่อหาสภาวะของปัจจัยที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยของค่า Gram load ตรงตามเป้าหมาย และให้ค่าความแปรปรวนน้อยที่สุด จากผลการทดลองจะได้ ค่าเฉลี่ย Gram load อยู่ที่ 2.4926 กรัม ค่าความแปรปรวน ($\ln s^2$) เท่ากับ -9.9853

สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ และ ชีรยุทธ์ ยุกชีว (2552) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง เชิงแฟคทอเรียลกับ 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราการป้อนผงดินลงในแม่พิมพ์, แรงในการอัดขึ้นรูปกระเบื้อง และอุณหภูมิการเผา เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้การผลิตกระเบื้องแผ่น (ขนาด 8x10 นิ้ว) มี ขนาดของด้านทั้ง 2 อยู่ในช่วงที่ต้องการ หลังจากที่ได้ปรับตั้งค่าแล้วจะได้ขนาดของกระเบื้องอยู่ที่ 199x249 มิลลิเมตร

เอราวิล ถาวร และ ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา (2554) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบ ส่วนประกอบกลาง (CCD) กับงานวิจัยการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตแกนกระทู้ กอล์ฟที่มีผลต่อผลตอบสนองหลายตัว โดยมีปัจจัยที่ต้องการควบคุม 5 ปัจจัยคือ ความเร็วรอบของ การกลึงหยาบ อัตราป้อนของการกลึงหยาบ ความลึกตัดของการกลึงหยาบ ความเร็วรอบของการกลึง ละเอียด และอัตราป้อนของการกลึงละเอียด และมีผลตอบสนองที่ต้องการ 3 ตัวคือ เส้นผ่าน ศูนย์กลางให้ได้ตามค่าเป้าหมาย ความหยาบผิวและรอบเวลาผลิตจะต้องมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งหลังจาก การทดลองจะได้ค่าของปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้ได้ค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8725 มิลลิเมตร ความหยาบผิว 2.50 ไมโครเมตร และรอบเวลาผลิต 37 วินาที

จากการศึกษางานวิจัยตามที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นพบว่าหลักการของซิกซ์ ซิกมา นั้นช่วยให้การวิเคราะห์หาต้นตอของปัญหาและหาแนวทางในการแก้ไข ซึ่งจะทำให้องค์กรสามารถสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าและยังสามารถเพิ่มความสามารถในกระบวนการผลิตได้ด้วย นอกจากนี้แล้ววิธีการออกแบบการทดลองก็เป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะช่วยให้วิเคราะห์หาเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยที่ใช้เวลาและทรัพยากรให้คุ้มค่าที่สุด เพื่อให้ได้มาซึ่งผลสนองที่ได้ตรงตามเป้าหมาย ดังนั้นในการทำวิจัยในหัวข้อการลดรอบระยะเวลาในการผลิตของกระบวนการผลิตสลับลูกปืนเม็ดกลมนี้จึงเหมาะสมที่จะนำขั้นตอนการดำเนินงาน ทั้ง 5 ขั้นตอน (DMAIC) และเครื่องมือของซิกซ์ ซิกมา มาเป็นแนวทางในการดำเนินงานวิจัย และใช้หลักการของการออกแบบการทดลองมาช่วยในการหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งค่าเครื่องจักรต่อไป



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3

การศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา

ในบทนี้จะกล่าวถึง การจัดตั้งคณะทำงาน ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการหลักในการผลิตตลับลูกปืนเม็ดกลม (Ball Bearing) คำอธิบายรายละเอียดของกระบวนการ การนิยามปัญหา และการรวบรวมข้อมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิพาเรโต ทำการกำหนดปัจจัย นำมาจัดระดับความสำคัญ และเลือกมาดำเนินการแก้ไขปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

3.1 การจัดตั้งคณะทำงาน

จากการประสานงานกับแผนกต่าง ๆ ทำให้ได้ตัวแทนของแผนกต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยผู้จัดการแผนกวิศวกรกระบวนการผลิต วิศวกรกระบวนการผลิต ซุปเปอร์ไวเซอร์แผนกการผลิต วิศวกรแผนกซ่อมบำรุง ช่างเทคนิคแผนกควบคุมกระบวนการผลิต และวิศวกรควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต รวมจำนวนพนักงานที่เข้าร่วมในทีมงานทั้งหมด 6 คนและเพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ จึงกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบดังต่อไปนี้

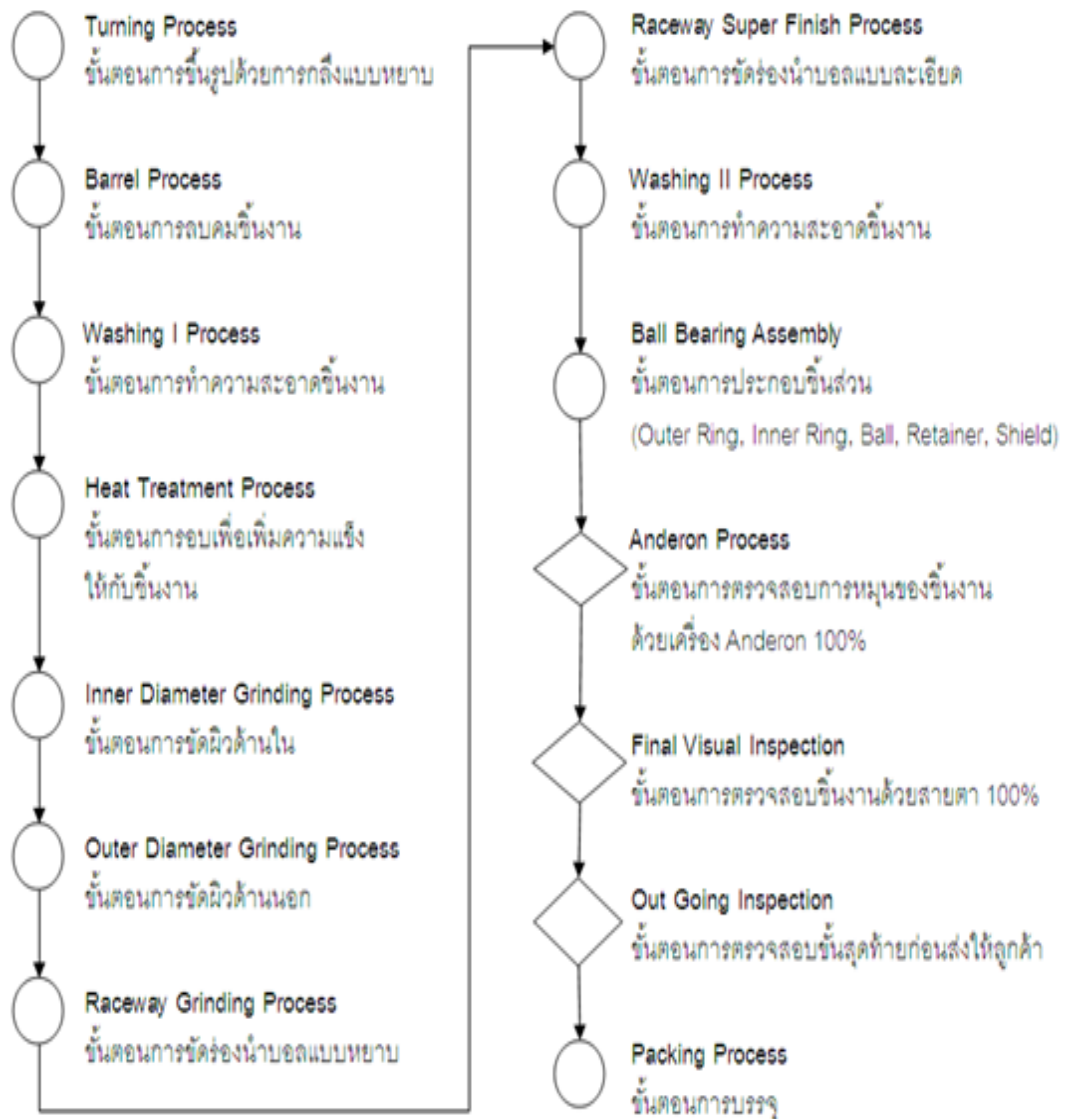
หัวหน้าทีมคือ วิศวกรกระบวนการผลิต (Process Engineer) มีหน้าที่ออกแบบการทดลอง กำหนดนัดหมายการประชุมและเป็นผู้นำการประชุมระดมสมองของทีมงานในการดำเนินการ

ที่ปรึกษาคือ ผู้จัดการแผนกควบคุมกระบวนการผลิต (Process Engineering Manager) มีหน้าที่ให้คำปรึกษาและเสนอแนะในที่ประชุม เช่น กรณีที่มีความคิดเห็นไม่ตรงกันและหาข้อสรุปในการประชุม

สมาชิกทีมคือ ซุปเปอร์ไวเซอร์แผนกการผลิต วิศวกรแผนกซ่อมบำรุง ช่างเทคนิคแผนกควบคุมกระบวนการผลิต และวิศวกรควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต มีหน้าที่ร่วมกันวิเคราะห์ข้อบกพร่อง การช่วยกันระดมสมอง การวิเคราะห์ความรุนแรง การออกแบบการทดลอง รวมถึงการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

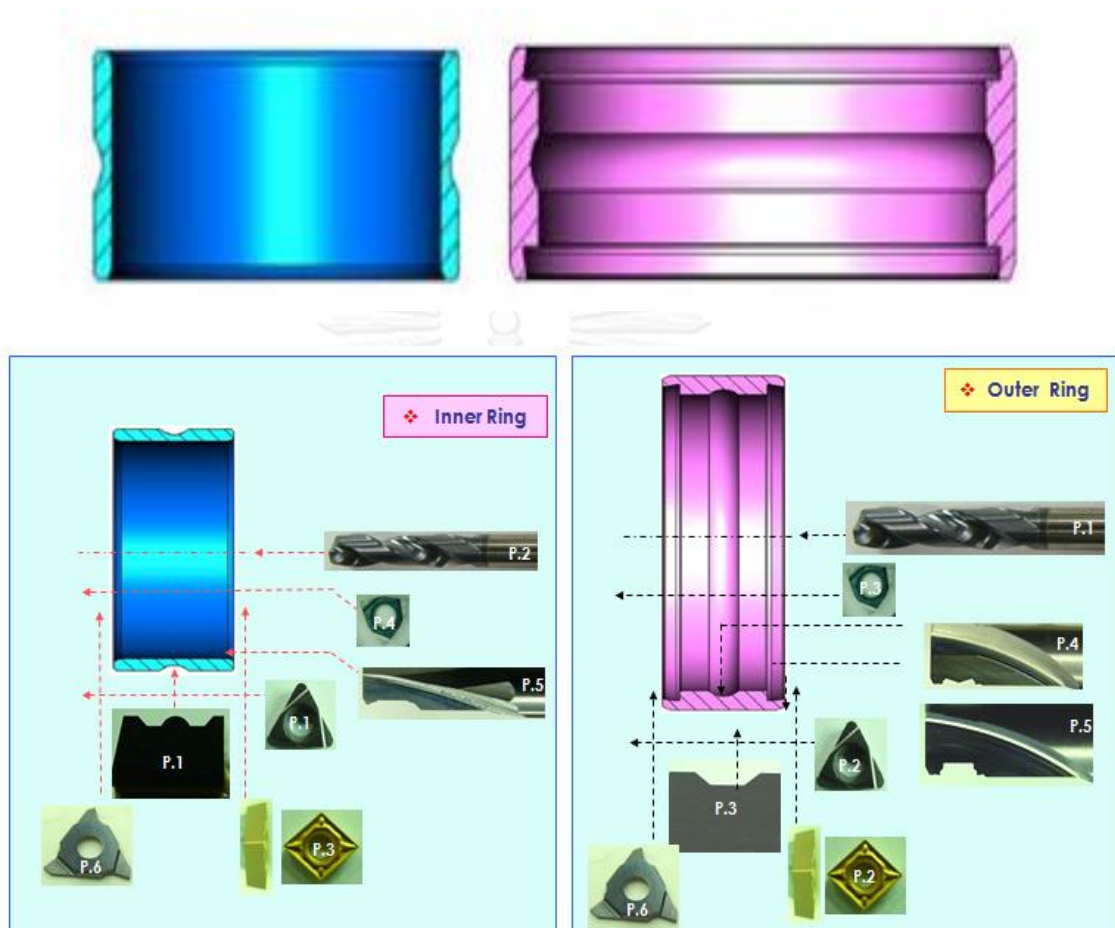
3.2 กระบวนการผลิตขึ้นรูปตลับลูกปืนเม็ดกลม

กระบวนการผลิตตลับลูกปืนเม็ดกลมที่ได้หยิบยกเป็นกรณีศึกษานี้ มีลักษณะเป็นสายการผลิตแบบต่อเนื่อง ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการเครื่องจักรอัตโนมัติที่มีหน้าที่ขึ้นรูปในส่วนของบอล, วงแหวนด้านนอก, วงแหวนด้านใน และ กระบวนการประกอบชิ้นงานที่มีหน้าที่ในการประกอบชิ้นส่วนต่างๆจนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ตลับลูกปืนเม็ดกลม ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3. 1 กระบวนการผลิตตลับลูกปืนเม็ดกลม

ก. กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน (Turning Process) โดยขั้นตอนนี้จะขึ้นรูปชิ้นงานจาก เหล็กเส้น (Steel Bar) ด้วยวิธีการเจาะและกลึงขึ้นรูปเป็นชิ้นงานเพื่อให้ได้เป็นแหวนวงนอก และ แหวนวงใน เพื่อที่จะนำไปประกอบเป็นตลับลูกปืนเม็ดกลมต่อไป ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3. 2 กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน (Turning Process)

ข. กระบวนการลบคมชิ้นงาน (Barrel Process) เป็นกระบวนการลบคม ลบครีบต่าง ๆ ออกจากชิ้นงาน ยังช่วยขัดเงาชิ้นงานอีกด้วย ดังรูป 3.3



รูปที่ 3. 3 กระบวนการลบคมชิ้นงาน (Barrel Process)

ค. กระบวนการอบชิ้นงาน (Heat Treatment) เป็นกระบวนการที่เพิ่มความแข็งให้กับชิ้นงานดังรูปที่ 3.4



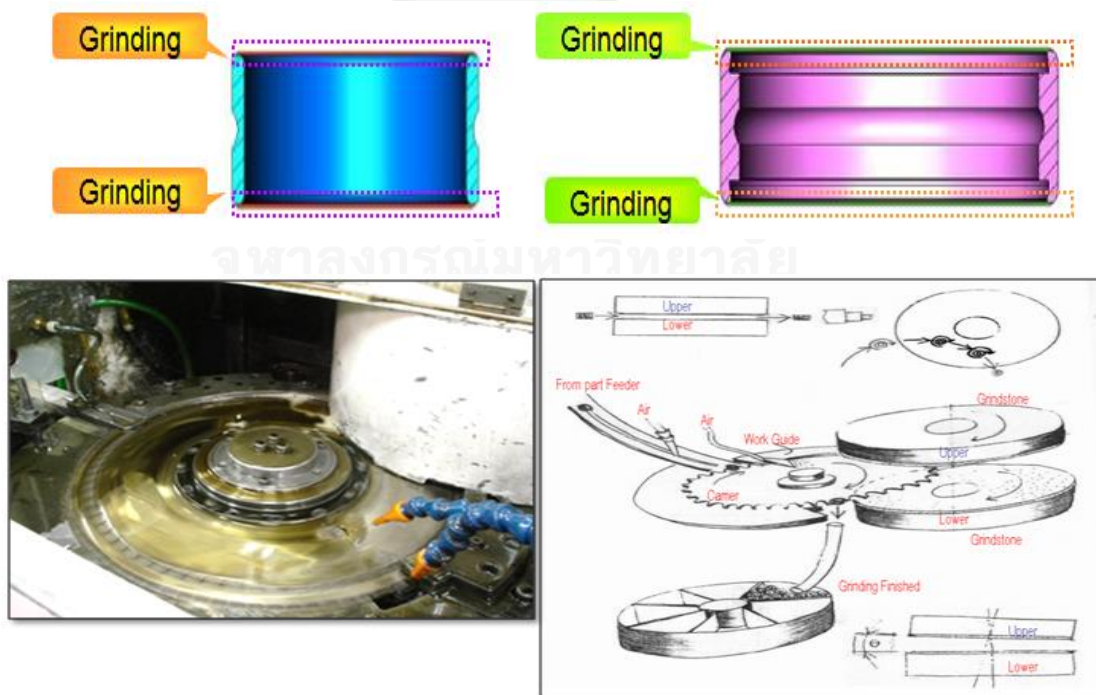
รูปที่ 3. 4 กระบวนการลบคมชิ้นงาน (Barrel Process)

ง. กระบวนการล้างชิ้นงาน (Washing Process) จะล้างคราบน้ำมันหลังจากผ่านการขัดผิว เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.5



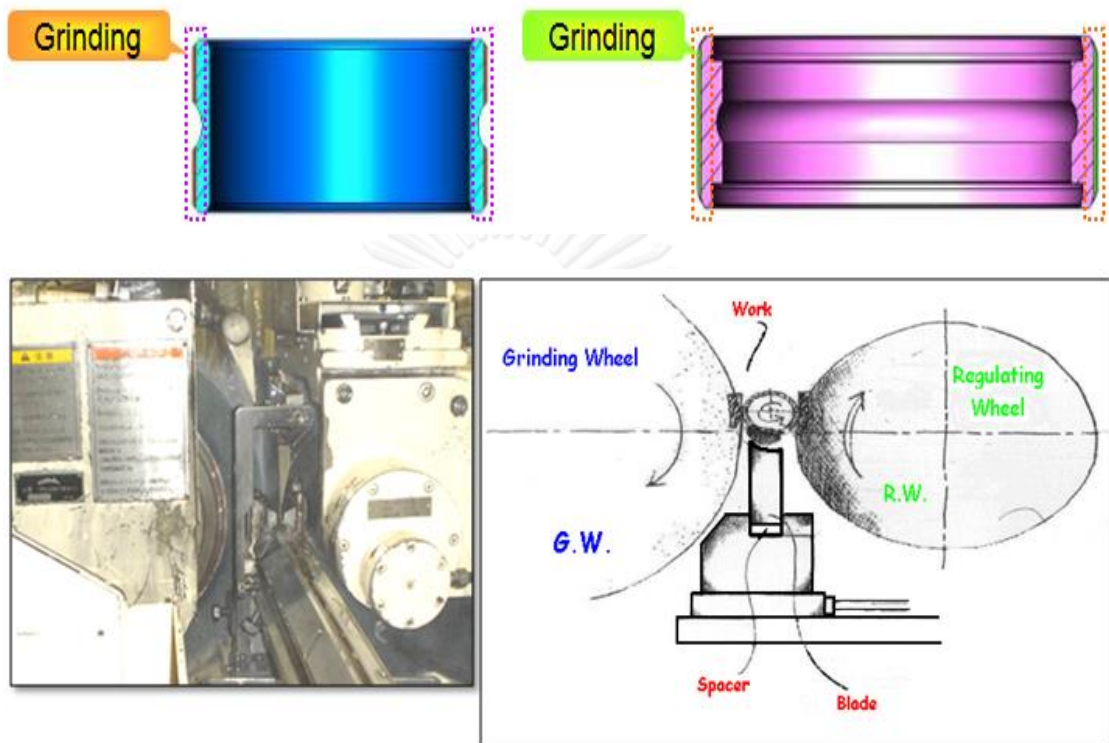
รูปที่ 3. 5 กระบวนการล้างชิ้นงาน (Washing Process)

จ. กระบวนการขัดผิวหน้าของชิ้นงาน (Side Lap Process) โดยขั้นตอนนี้จะมีอุปกรณ์ลำเลียงชิ้นงาน (Carrier) เป็นตัวหมุนนำชิ้นงานเลื่อนผ่านหินขัด (Grinding wheel) ที่มีทั้งด้านบนและด้านล่าง ซึ่งจะควบคุมความหนาของผิวงานและความสูงของชิ้นงานให้ได้ตามค่าที่กำหนด ดังรูปที่ 3.6



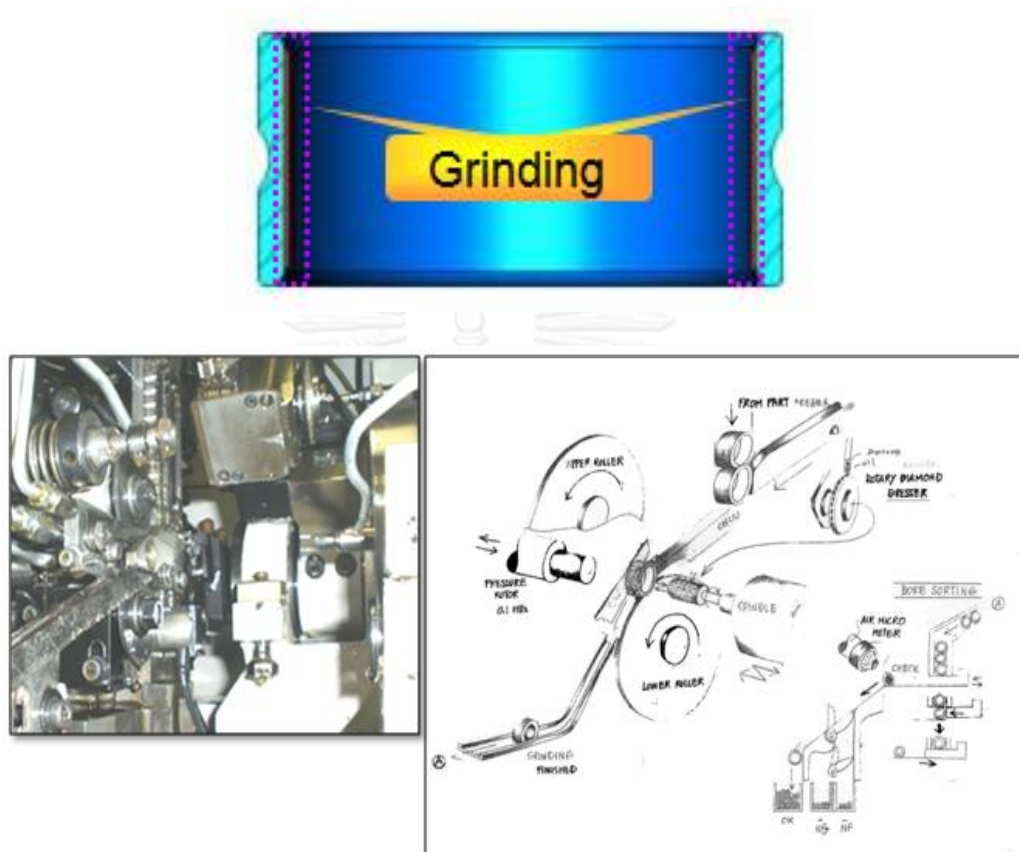
รูปที่ 3. 6 กระบวนการขัดผิวหน้าของชิ้นงาน (Side Lap Process)

ฉ. กระบวนการขัดผิวด้านนอกของชิ้นงาน (O.D. Grinding Process) เป็นกระบวนการขัดผิวด้านนอกของชิ้นงานด้วยหินขัด ซึ่งจะควบคุมความกลม ความหยาบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกและค่าต่างๆ ให้ได้ตามที่กำหนด ดังรูปที่ 3.7



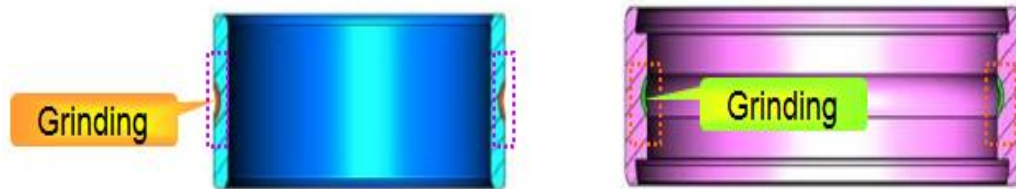
รูปที่ 3. 7 กระบวนการขัดผิวด้านนอกของชิ้นงาน (O.D. Grinding Process)

ข. กระบวนการขัดผิวด้านในของชิ้นงาน (Bore Grinding Process) เป็นกระบวนการขัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นงานวงแหวนด้านในด้วยหินขัด โดยควบคุมความกลม ความหยาบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และค่าต่างๆให้ได้ตามที่กำหนด ดังรูปที่ 3.8

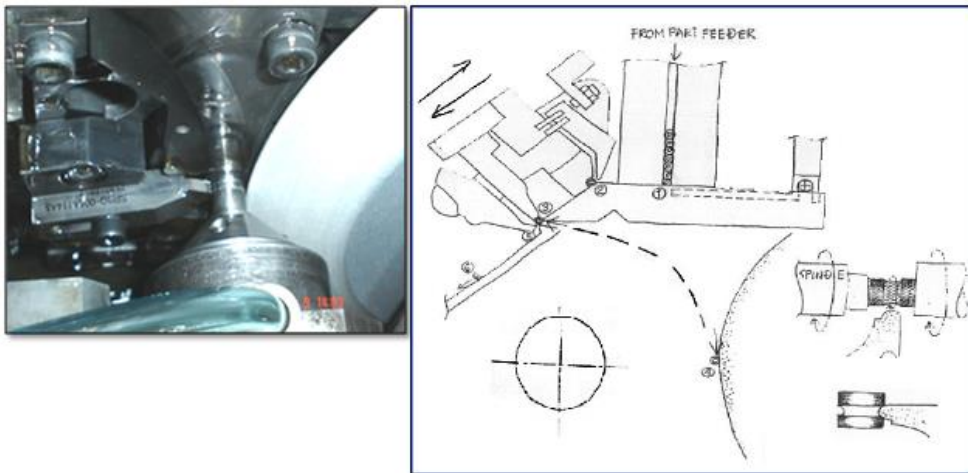


รูปที่ 3. 8 กระบวนการขัดผิวด้านในของชิ้นงาน (Bore Grinding Process)

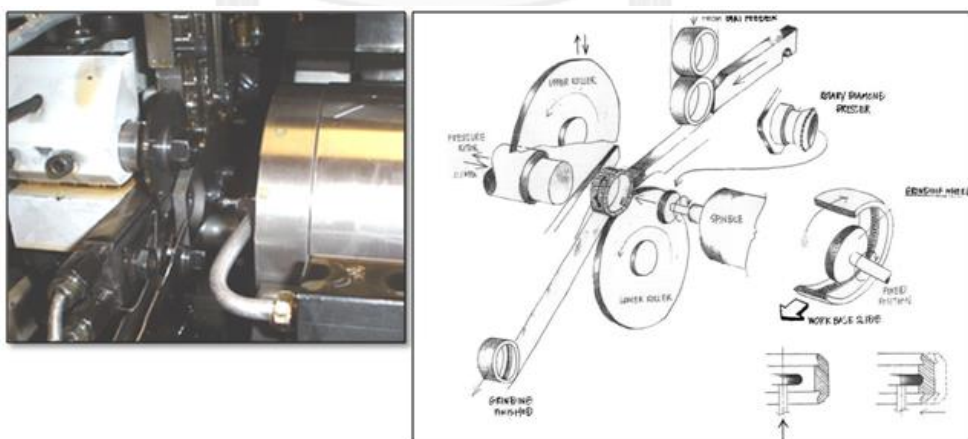
ซ. กระบวนการขัดผิวร่องนำบอล (Raceway Grinding Process) เป็นกระบวนการขัดผิวร่องนำบอลของตัวหีนขัด โดยควบคุมความกลม ความหยาบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและค่าต่างๆ ของร่องนำบอลให้ได้ตามที่กำหนด ดังรูปที่ 3.9



กระบวนการขัดผิวร่องนำบอลของวงแหวนด้านใน

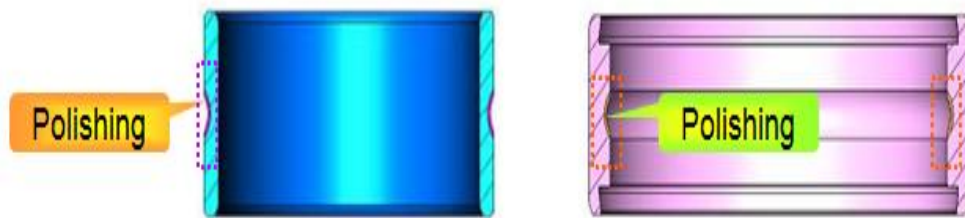


กระบวนการขัดผิวร่องนำบอลของวงแหวนด้านนอก

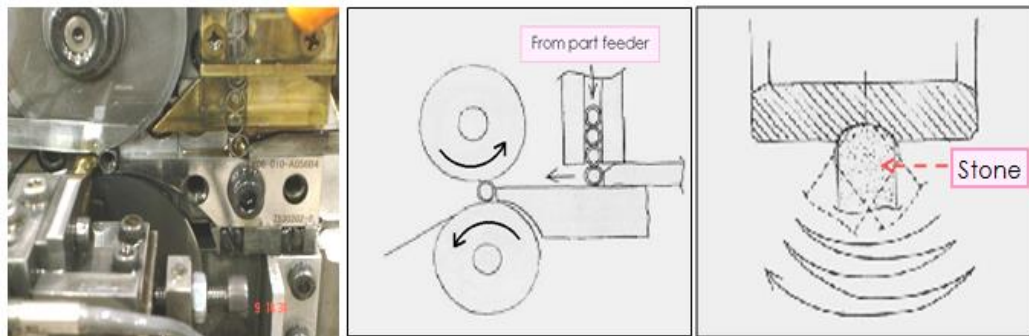


รูปที่ 3. 9 กระบวนการขัดผิวร่องนำบอล (Raceway Grinding Process)

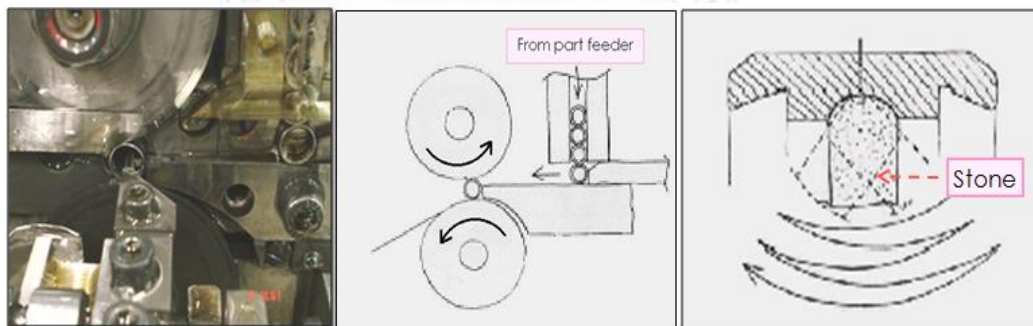
ณ. กระบวนการขัดละเอียดบนผิวของร่องนำบอล (Raceway Super Finish Process) เป็นกระบวนการขัดละเอียดด้วยหินขัดขั้นสุดท้ายก่อนส่งไปทำการประกอบเป็นตลับลูกปืนเม็ดกลม โดยควบคุมความกลม ความหยาบ และค่าต่างๆให้ได้ตามที่กำหนด ดังรูปที่ 3.10



กระบวนการขัดละเอียดบนผิวของร่องนำบอลของวงแหวนด้านใน

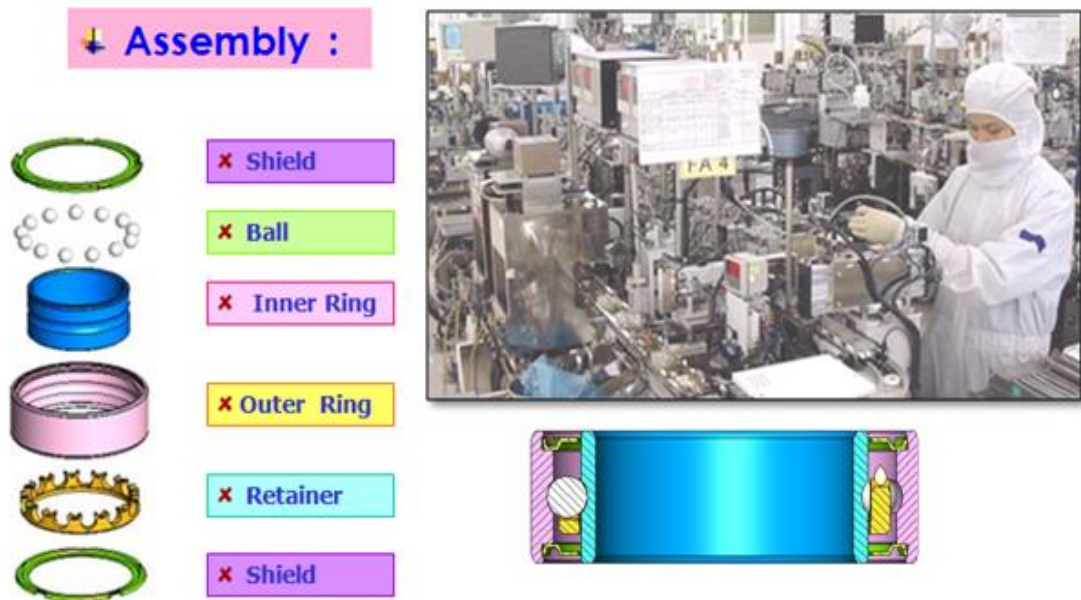


กระบวนการขัดละเอียดบนผิวร่องนำบอลของวงแหวนด้านนอก



รูปที่ 3. 10 กระบวนการขัดละเอียดบนผิวของร่องนำบอล (Raceway Super Finish Process)

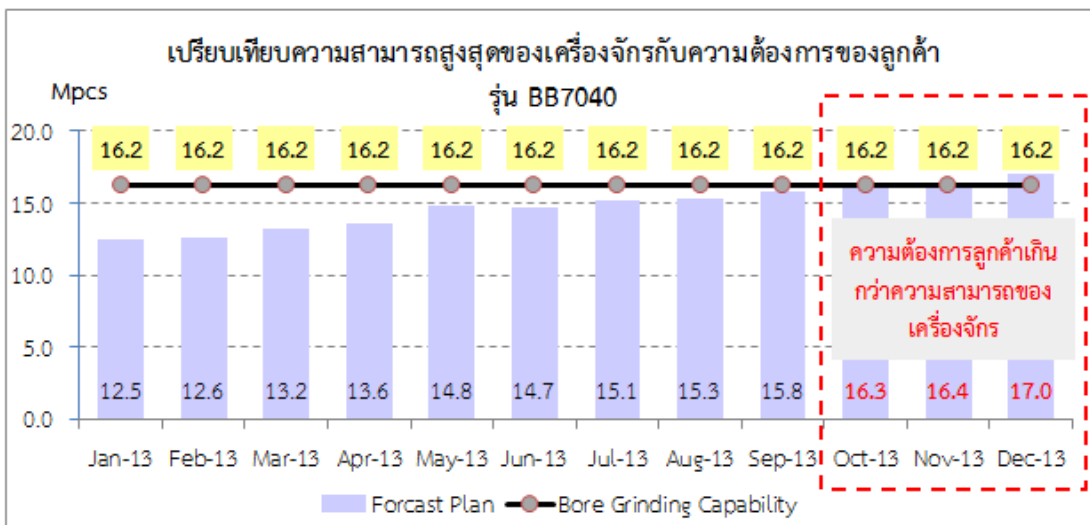
ญ. กระบวนการประกอบชิ้นส่วน (Ball Bearing Assembly Process) เป็นกระบวนการ ประชิ้นส่วนวงแหวนด้านนอก,วงแหวนด้านใน, บอล, ตัวประกอบบอล และฝาปิด เข้าด้วยกันเป็น ตลับลูกปืนเม็ดกลมโดยควบคุมค่าและฟังก์ชันการใช้งานให้ได้ตามที่ลูกค้ากำหนด ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3. 11 กระบวนการประกอบชิ้นส่วน (Ball Bearing Assembly Process)

3.3 สภาพปัญหาปัจจุบัน

จากความสามารถสูงสุดของเครื่องจักรในแต่ละกระบวนการ จะพบว่าในการผลิตตลับลูกปืนเม็ดกลมนั้น เฉพาะชิ้นงานวงแหวนในเท่านั้นที่จะต้องผ่านกระบวนการขัดผิวด้านใน ซึ่งเป็นกระบวนการขัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในและเป็นกระบวนการที่กำหนดความสามารถในการผลิตของตลับลูกปืนเม็ดกลมในแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เป็นจุดคอขวด (Bottle neck) ส่วนกระบวนการอื่น ๆ นั้นแยกเครื่องจักรผลิตสำหรับวงแหวนในและวงแหวนนอก และเมื่อพิจารณาเป็นรายรุ่นผลิตภัณฑ์จะเห็นได้ว่า ถึงแม้กระบวนการขัดผิวด้านในจะเป็นกระบวนการที่เป็นจุดคอขวด แต่ในรุ่น BB6140, BB5025, BB7840 และ BB8050 นั้นความสามารถสูงสุดของเครื่องจักรก็ยังไม่เพียงพอต่อปริมาณคำสั่งซื้อรายเดือนยกเว้นรุ่น BB7040 ที่ปัจจุบันความสามารถในการผลิตสามารถผลิตชิ้นงานได้สูงสุดที่ 16.2 ล้านชิ้นต่อเดือน นั้นมีแนวโน้มที่ในอนาคตจะไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าตั้งแต่เดือนตุลาคม 2556 ซึ่งปริมาณคำสั่งจะอยู่ที่ 16.3 ล้านชิ้น เป็นต้นไป ตามรูป 3.12



รูปที่ 3. 12 เปรียบเทียบความสามารถสูงสุดของเครื่องจักรกับความต้องการของลูกค้ารุ่น BB7040

จากการเก็บข้อมูลในอดีตของกระบวนการการขัดผิวเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน พบว่าปัจจุบัน ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตต่อชิ้นเฉลี่ยอยู่ที่ 2.98 วินาทีต่อชิ้น จากเครื่องจักรทั้งหมด 27 เครื่อง ดังนั้น จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ต่อเดือนสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{จำนวนที่ผลิตได้ต่อเดือน} = \frac{(\text{เวลาการทำงานต่อเดือนในหน่วยวินาที}) \times \text{จำนวนเครื่องจักร} \times \text{Yield}}{\text{ระยะเวลาในการผลิตหน่วยวินาที}}$$

(3.1)

โดยเวลาในการทำงานนั้นคิดจาก 21 วันทำงาน และเครื่องจักรทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้นปัจจุบัน กระบวนการขัดผิวเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน สามารถผลิตชิ้นงานต่อเดือนอยู่ที่

$$\begin{aligned}
 \text{จำนวนที่ผลิตได้ต่อเดือน} &= \frac{(21 \times 24 \times 60 \times 60) \times 27 \times 98.7\%}{2.98} \\
 &= 16.225 \text{ ล้านชิ้นต่อเดือน}
 \end{aligned}$$

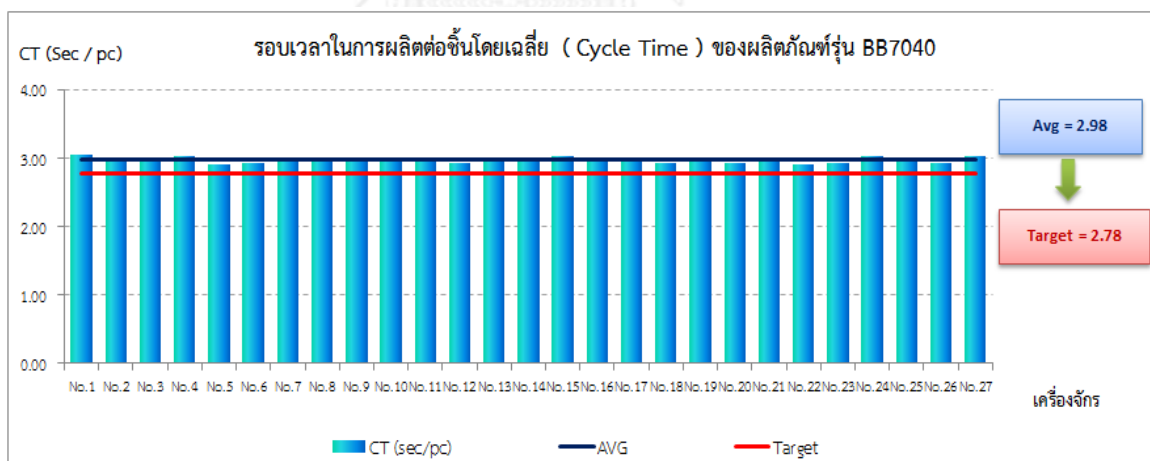
แต่เนื่องจากบริษัทต้องการที่จะผลิตให้ได้อย่างน้อย 17 ล้านชิ้นต่อเดือนโดยยังใช้จำนวนเครื่องจักรเท่าที่มีอยู่ 27 เครื่องนั้น เพื่อให้เพียงพอต่อความปริมาณการสั่งซื้อในเดือนพฤศจิกายนเป็นต้นไปนั้น โดยยังใช้จำนวนเครื่องจักรเท่าที่มีอยู่ 27 เครื่อง สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{รอบเวลาการผลิตหน่วยวินาที} = \frac{(\text{เวลาการทำงานต่อเดือนในหน่วยวินาที}) \times \text{จำนวนเครื่องจักร}}{(\text{จำนวนชิ้นงานที่ต้องการผลิตได้ต่อเดือน} / \text{Roll Yield})} \quad (3.2)$$

ซึ่งเวลาในการทำงานนั้นคิดจาก 21 วันทำงาน เครื่องจักรทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน จำนวนเครื่องจักรทั้งหมด 27 เครื่อง และ Roll Yield 96.5% ตั้งแต่กระบวนการตัดผิวเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน จนถึงกระบวนการประกอบชิ้นงาน ดังนั้นรอบเวลาในการผลิตชิ้นงานที่กระบวนการตัดผิวเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน ควรมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{รอบเวลาการผลิตหน่วยวินาที} &= \frac{(21 \times 24 \times 60 \times 60) \times 27}{(17,000,000 / 96.5\%)} \\ &= 2.78 \text{ วินาทีต่อชิ้น} \end{aligned}$$

ดังนั้นจึงจะต้องลดเวลาในการผลิตต่อชิ้นลง 0.20 วินาทีเพื่อให้รอบเวลาการผลิตเป็น 2.78 วินาทีต่อชิ้น จึงจะเพียงพอต่อความปริมาณการสั่งซื้อในเดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือนธันวาคม 2556 ดังรูปที่ 3.13



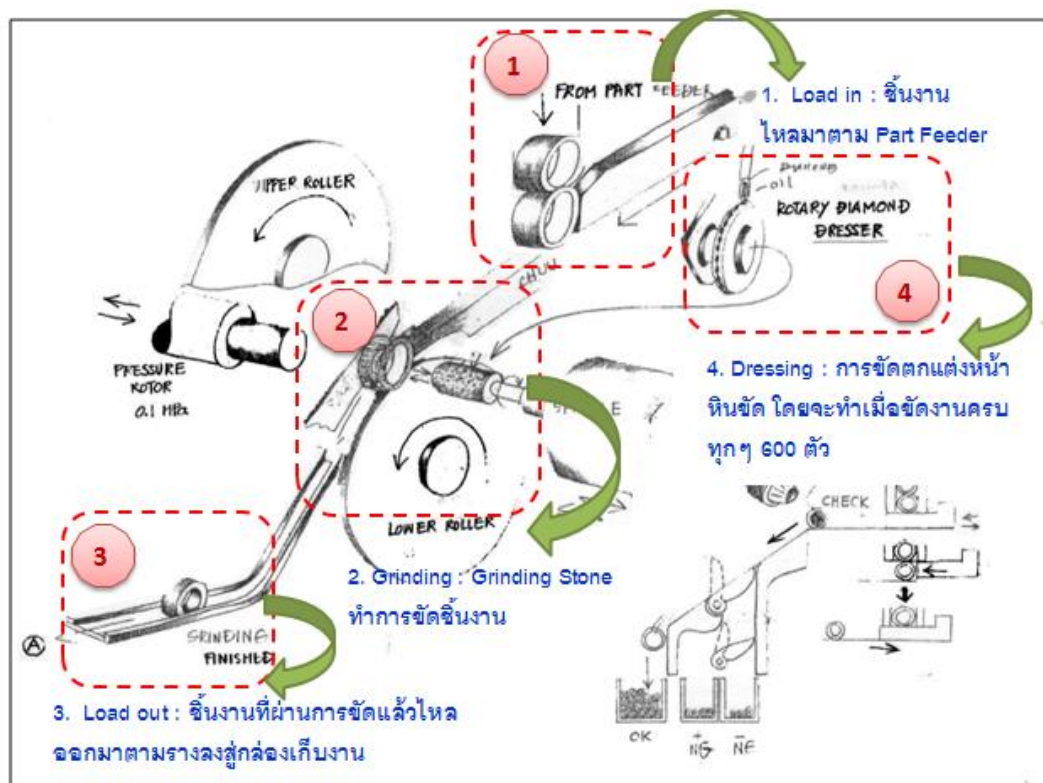
รูปที่ 3. 13 รอบเวลาในการผลิตต่อชิ้นโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์รุ่น BB7040

ซึ่งเมื่อทำการวิเคราะห์ถึงรายละเอียดของเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานในกระบวนการตัดผิวด้านใน จากการทำงานของเครื่องจักร สามารถแยกขั้นตอนย่อยได้ดังนี้

- Load in : ชิ้นงานไหลมาตามท่อส่งงาน (Part Feeder)

- Grinding : หินขัดทำการขัดชิ้นงาน
- Load out : ชิ้นงานที่ผ่านการขัดแล้วไหลออกมาตามรางลงสู่กล่องเก็บงาน
- Dressing : การขัดตบแต่งหน้าหินขัด โดยจะทำเมื่อขัดงานครบทุกๆ 600 ตัว

โดยสามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 3.14

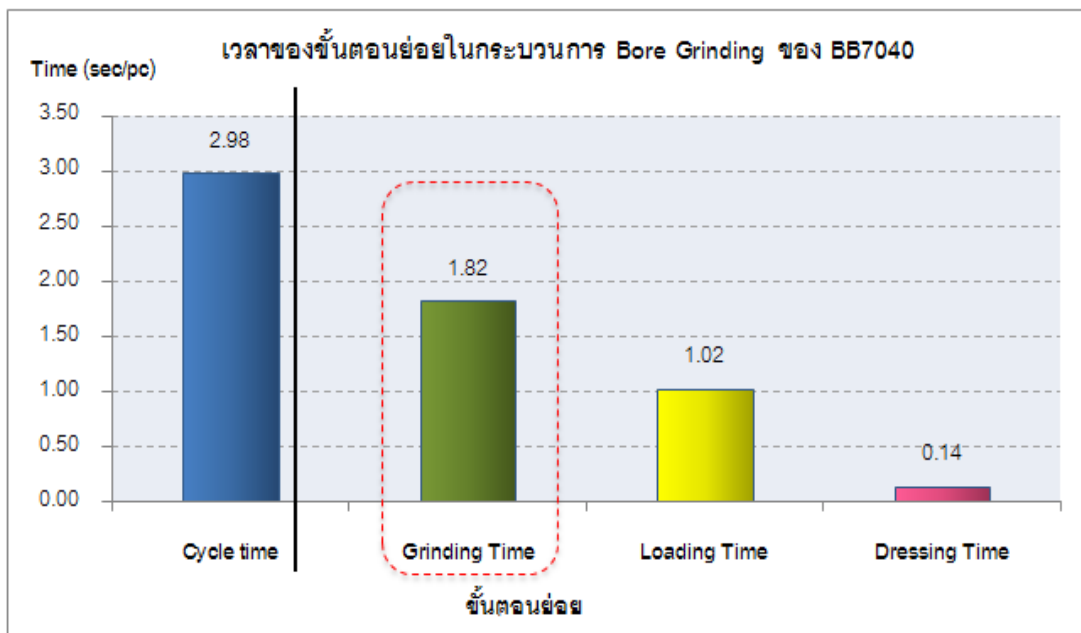


รูปที่ 3. 14 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร Bore Grinding

จากรูปที่ 3.14 สามารถอธิบายได้ว่าใน 1 รอบของการผลิตชิ้นงาน 1 ชิ้นที่กระบวนการขัดผิวด้านใน จะประกอบไปด้วยเวลาของ การขัดชิ้นงาน (Grinding Time), การเคลื่อนที่ของชิ้นงาน (Loading Time) และการขัดตบแต่งขัดหินขัด (Dressing Time) ซึ่งสามารถอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Cycle Time (sec/pc)} = \text{Grinding Time} + \text{Loading Time} + \text{Dressing Time} \quad (3.3)$$

และสามารถอธิบายได้ตามรูปที่ 3.15



รูปที่ 3. 15 เวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนย่อยของการทำงานของเครื่องจักร Bore Grinding

จากรูปที่ 3.15 จะเห็นว่าในกระบวนการขัดผิวด้านในนั้น ในรอบเวลาการผลิตชิ้นงาน 2.98 วินาทีต่อชิ้น นั้นประกอบไปด้วย

- เวลาในการขัด (Grinding Time) คือ 1.82 วินาทีต่อชิ้น
- เวลาในการเคลื่อนที่ชิ้นงาน (Loading Time) คือ 1.02 วินาทีต่อชิ้น
- เวลาในการขัดตกแต่งหินขัด (Dressing Time) คือ 0.14 วินาทีต่อชิ้น

ดังนั้นเมื่อต้องการที่จะลดรอบเวลาการผลิตชิ้นงานนั้นสามารถเลือกที่จะลดเวลาในการขัด หรือเวลาในการเคลื่อนที่ชิ้นงาน หรือเวลาในการขัดตกแต่งหินขัด หรือลดทั้ง 3 แบบเลย แต่เนื่องจากเวลาในการเคลื่อนที่ชิ้นงานนั้นขึ้นอยู่กับระยะทางของท่อส่งงาน (Part Feeder) ซึ่งถ้าจะทำการลดให้สั้นลงนั้นจะต้องมีการปรับแต่งเครื่องจักรด้วย และถ้าจะทำการลดเวลาในการขัดตกแต่งหินขัด นั้นก็คือยึดจำนวนชิ้นงานที่การขัดก่อนที่จะปรับแต่งหน้าหิน ซึ่งจะทำให้มีผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน ดังนั้นจึงเลือกที่จะทำการลดเวลาในการขัดชิ้นงานซึ่งเป็นเวลาที่ใช้มากที่สุดในรอบการผลิตชิ้นงานที่กระบวนการขัดผิวด้านใน

3.4 สรุปการศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา

การตรวจสอบสภาพของปัญหาเบื้องต้นพบว่าตลับลูกปืนเม็ดกลมรุ่น 7040 (BB7040) มีแนวโน้มที่กำลังการผลิตจะไม่เพียงพอเนื่องมาจากคำสั่งซื้อที่เพิ่มขึ้น และเมื่อทำการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าที่กระบวนการขัดผิวด้านในเป็นกระบวนการคอขวด โดยมีเป้าหมายของรอบเวลาการผลิตต้องเท่ากับ 2.78 วินาทีต่อชิ้นงาน ถึงจะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตให้เพียงพอกับความต้องการของลูกค้า ซึ่งก่อนปรับปรุงมีรอบเวลาในการผลิต 2.98 วินาทีต่อชิ้นงาน และจากการวิเคราะห์ที่กระบวนการ Bore grinding นั้นพบว่าขั้นตอนที่ใช้เวลามากที่สุดคือ เวลาที่ใช้สำหรับการขัดชิ้นงาน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4

การวัดและการกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา

หลังจากที่เรานิยามปัญหาได้แล้ว การดำเนินการในขั้นตอนนี้จะเป็นการระดมสมองเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในกระบวนการขัดผิวด้านใน (Bore Grinding) โดยจะแสดงในแผนภาพแสดงเหตุและผลของปัจจัย ที่มีผลต่อปัญหารอบเวลาในการขัดชิ้นงาน และนำปัจจัยที่ระบุแผนภาพมาเข้าสู่กระบวนการระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบ เพื่อค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์ต่อไป

4.1 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable: KPIV)

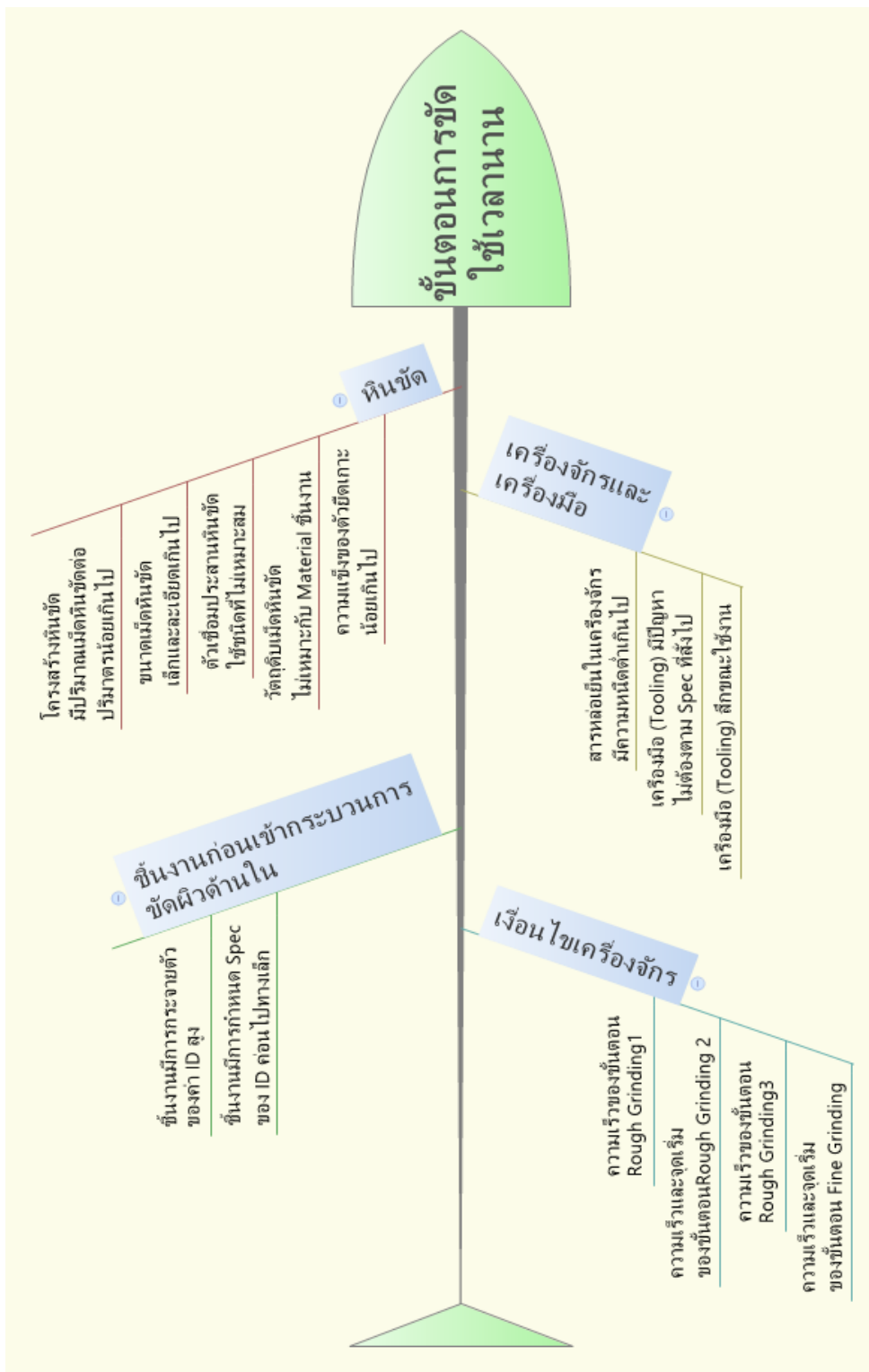
จากการนิยามปัญหา เราสรุปได้ว่าจะทำการปรับปรุงเวลาในการขัด (Grinding Time) ดังนั้นจึงได้ทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อเวลาในการขัด โดยใช้วิธีการระดมสมองจากทีมงานที่มีความเชี่ยวชาญและคุ้นเคยในกระบวนการ ซึ่งประกอบด้วยประกอบด้วย วิศวกรกระบวนการผลิต ชูเปอร์ ไวเซอร์แผนกการผลิตในแต่ละกะ วิศวกรแผนกซ่อมบำรุง ช่างเทคนิคแผนกควบคุมกระบวนการผลิตในแต่ละกะ และวิศวกรควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1.1 แผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram)

เป็นวิธีการระดมสมองแบบดั้งเดิม โดยเขียนเป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ดีมากเมื่อใช้วิเคราะห์ผลกระทบที่สำคัญที่ละตัว ซึ่งจะพิจารณาปัจจัยในด้านต่าง ๆ ดังนี้

- ชิ้นงานก่อนเข้ากระบวนการขัดผิวด้านใน (Inner Ring before Bore Grinding)
- หินขัด (Grinding Stone)
- เครื่องจักร (Machine)
- เงื่อนไขเครื่องจักร (Machine Condition)

จากการระดมความคิดของทีมงานทั้งหมดนั้น จะวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความเป็นไปได้ทุกตัว ที่จะส่งผลกระทบต่อปัญหาที่เราสนใจ นั่นก็คือเวลาในการขัดที่สูง นั่นเอง ซึ่งรายละเอียดต่างๆ จะแสดงไว้ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4. 1 แผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) ของปัญหาเวลาของการขัดสูง

4.1.2 ตารางสาเหตุและผล (Cause-Effect Matrix)

เป็นแผนภาพในรูปแบบตารางที่แสดงถึงความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างผลของกระบวนการ (Y's) และปัจจัยป้อนเข้ากระบวนการ (X's) ซึ่งหลังจากที่ได้มีการระดมสมองในการทำแผนภาพก้างปลาแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากปัจจัยในด้านต่างๆ โดยใช้ตารางสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) โดยวิเคราะห์ถึงผลกระทบใน 2 ด้านดังนี้

1. ด้านความสามารถในการผลิต (Capability) คือ รอบเวลาในการผลิต
2. ด้านคุณภาพของชิ้นงาน (Quality) คือ ความหยาบของผิวของเส้นผ่านศูนย์กลางใน (ID Roughness)

เนื่องจากการลดรอบเวลาในการผลิตนั้น คือการเพิ่มความเร็วในการตัด และลดระยะของการตัดให้น้อยลง ซึ่งอาจจะส่งผลถึงความหยาบของชิ้นงานได้เช่นกัน ซึ่งค่าความหยาบนั้นก็เป็นหนึ่งในข้อกำหนดเฉพาะของลูกค้า (Specification) ดังนั้นเราจึงวิเคราะห์ผลกระทบในทั้ง 2 ด้านไปพร้อมๆ กัน และนำมาจัดลำดับความสำคัญเพื่อที่จะได้นำมาแก้ไขต่อไป ดังตารางที่ 4.1 โดยใช้วิธีการระดมสมองจากทีมงานที่มีความเชี่ยวชาญและคุ้นเคยในกระบวนการมาช่วยวิเคราะห์และกำหนดคะแนนที่จะใช้ในการประเมินความรุนแรงของผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง ดังนี้

ค่าความสำคัญของตัวแปรตอบสนอง

- 1: มีความสำคัญน้อย
- 5: มีความสำคัญปานกลาง
- 10: มีความสำคัญมาก

คะแนนความรุนแรงของผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง

- 1: ไม่ส่งผลกระทบ
- 3: ส่งผลกระทบเล็กน้อย
- 5: ส่งผลกระทบปานกลาง
- 7: ส่งผลกระทบค่อนข้างมาก
- 10: ส่งผลกระทบมาก

ตารางที่ 4. 1 การวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบ โดยใช้ Cause & Effect Matrix

Rate of Important to productivity and quality (1-10)		10	5	Total X's	Rank X's	
Factor	C-E Matrix	a	b			
		Cycle Time High	ID Roughness			
INPUT		OUTPUT				
ชิ้นงานก่อน เข้า กระบวนการ ขัดผิวด้านใน	A	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเล็กเกินไป : การกำหนดข้อกำหนดเฉพาะ (specification) ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นงาน จากกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน (Turning Process) เล็กไปซึ่งคาดว่าจะสามารถปรับให้ใหญ่ขึ้นได้โดยที่ไม่กระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานและยังช่วยให้ลดเวลาการขัดที่กระบวนการขัดผิวด้านใน (Bore Grinding) ได้อีกด้วย ซึ่งปัจจุบันกำหนดอยู่ที่ $\varnothing 3.935 +0.03/-0.00$ mm	10	7	135	1
	B	เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานก่อนเข้ากระบวนการขัดผิวด้านใน (Bore Grinding) มีการกระจายตัวสูง ซึ่งชิ้นงานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ค่อนข้างมาทางเล็กก็ใช้เวลาในการขัดมากกว่าชิ้นงานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ค่อนข้างมาทางมาก	3	5	55	8
หินขัด	C	ลักษณะของตัวเชื่อมประสานเม็ดหินขัด (Bond) ชนิด Vitrified ซึ่งเป็นแร่ฟันม้า ไม่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน	1	3	25	13
	D	ชนิดของวัสดุที่จัดทำเม็ดหินขัด (Abrasive) Green silicon carbide สี เม็ดหินขัดเป็นสีเขียวไม่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งาน	1	5	35	9

ตารางที่ 4. 1 การวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบ โดยใช้ Cause & Effect Matrix (ต่อ)

Rate of Important to productivity and quality (1-10)		10	5	Total X's	Rank X's	
Factor	C-E Matrix	a	b			
		Cycle Time High	ID Roughness			
INPUT		OUPUT				
หินขัด	E	ระดับความแข็งของตัวยึดเกาะเม็ดหินขัด (Grade) น้อยเกินไป ทำให้หินขัดนิ่ม ส่งผลให้ต้องใช้ความเร็วในการขัดให้ช้าลง	7	7	105	6
	F	โครงสร้างของหินขัด (Structure) อัตราส่วนของเม็ดหินขัดต่อปริมาตรของหินขัดทั้งหมด น้อยเกินไป ทำให้หินขัดนิ่ม ส่งผลให้ต้องใช้ความเร็วในการขัดให้ช้าลง	1	5	35	10
	G	ขนาดของเม็ดหินขัด (Grain size) ละเอียดเกินไป ส่งผลให้ต้องใช้ความเร็วในการขัดให้ช้าลง	7	7	105	7
ค่าปรับตั้งเครื่องจักร	I	น้ำยาหล่อเย็น (Coolant) มีความหนืดต่ำเกินไป ทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องจักรสูง ส่งผลให้เครื่องจักรแข็งเตือนบ่อย	1	5	35	11
	J	เครื่องมือ (Tooling) ที่สั่งทำมีปัญหาไม่ตรงตามข้อกำหนดเฉพาะหรือหลุดจากการตรวจสอบ หรือไม่เปลี่ยนเครื่องมือ (Tooling) ตามระยะเวลา ทำให้ขณะใช้งานเกิดการเสียหายของเครื่องมือ ส่งผลให้เครื่องจักรต้องหยุดเพื่อทำการแก้ไข	1	5	35	12
	K	โปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรในขั้นตอนการขัดแบบหยาบรอบที่ 1 (Rough Grinding 1) คาดว่าน่าจะเพิ่มความเร็วของหินขัดได้อีก โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน	10	7	135	5

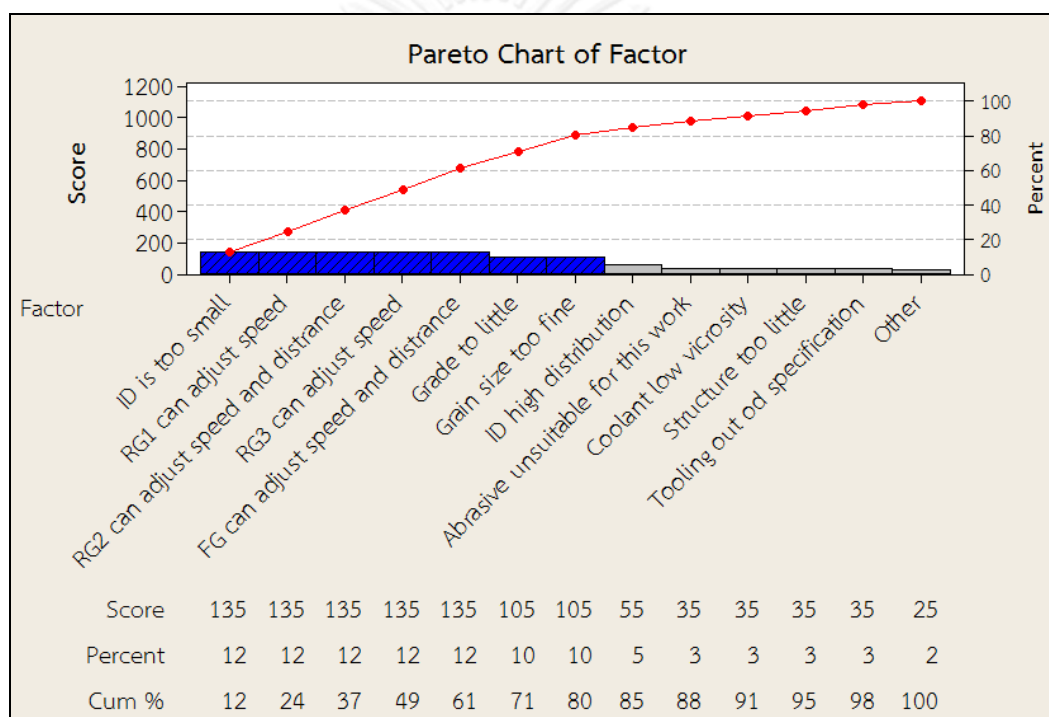
ตารางที่ 4. 1 การวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบ โดยใช้ Cause & Effect Matrix (ต่อ)

Rate of Important to productivity and quality (1-10)		10	5	Total X's	Rank X's	
Factor	C-E Matrix	a	b			
		Cycle Time High	ID Roughness			
INPUT		OUPUT				
ค่าปรับตั้งเครื่องจักร	L	โปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรในขั้นตอนการขัดแบบหยาบรอบที่ 2 (Rough Grinding 2) คาดว่าน่าจะเพิ่มความเร็วและลดระยะทางการขัด ของหินขัดได้อีก โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน	10	7	135	2
	M	โปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรในขั้นตอนการขัดแบบหยาบรอบที่ 3 (Rough Grinding 3) คาดว่าน่าจะเพิ่มความเร็วของหินขัดได้อีก โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน	10	7	135	3
	N	โปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรในขั้นตอนการขัดแบบละเอียด (Fine Grinding) คาดว่าน่าจะเพิ่มความเร็วของและลดระยะทางการขัดของหินขัดได้อีก โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน	10	7	135	4
Total Y's		870	465	1,335		
Rank Y's		1	2			

Score: 1=No Effect 3=Weak 5=Medium 7=Strong 9=Vary Strong

4.1.3 แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram)

แผนผังที่ประกอบไปด้วยกราฟแท่งและกราฟเส้นในแผนผังเดียวกันโดยจะใช้เพื่อการเปรียบเทียบความสำคัญของข้อมูล โดยหลังจากที่เราได้ทำการให้คะแนนถึงความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาของเวลาในการขัดที่สูงได้แล้วนั้น ต่อไปเราจะทำการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยโดยนำค่าคะแนน (Score) ที่คำนวณได้มาจัดเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยโดยอาศัยหลักการพาเรโต (Pareto Principle) โดยลำดับของการปฏิบัติการจะพิจารณาโดยใช้กฎตัวเลข 80 : 20 โดยประมาณจากค่าคะแนนที่ได้มาจากการวิเคราะห์สาเหตุและผลกระทบ ข้างต้นสามารถนำมาสร้างแผนภาพพาเรโต ดังรูปที่ 4.2 เพื่อทำการคัดเลือกปัจจัยที่สำคัญและนำมาดำเนินการแก้ไขต่อไป



รูปที่ 4. 2 พาเรโตของปัญหาเวลาการขัดนาน

- หมายเหตุ :
- RG1 หมายถึง Rough Grinding 1
 - RG2 หมายถึง Rough Grinding 2
 - RG3 หมายถึง Rough Grinding 3
 - FG หมายถึง Fine Grinding

จากแผนภาพพาเรโตสามารถสรุปผลลำดับของคะแนนจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่สำคัญได้ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4. 2 ตารางสรุปผลลำดับของคะแนนจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่สำคัญ

ลำดับ	สาเหตุ	Score
1	เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเล็กเกินไป การกำหนดข้อกำหนดเฉพาะของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของชิ้นงาน จากกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานเล็กไปซึ่งคาดว่าสามารถปรับให้ใหญ่ขึ้นได้โดยที่ไม่กระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานและยังช่วยลดเวลาการขัดที่กระบวนการขัดผิวด้านในได้อีกด้วย ซึ่งปัจจุบันกำหนดอยู่ที่ $\varnothing 3.935 +0.03/-0.00$ mm	135
2	โปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรในขั้นตอนการขัดแบบหยาบรอบที่ 2 (Rough Grinding 2) คาดว่าน่าจะเพิ่มความเร็วและลดระยะทางการขัด ของหินขัดได้อีก โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน	135
3	โปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรในขั้นตอนการขัดแบบหยาบรอบที่ 3 (Rough Grinding 3) คาดว่าน่าจะเพิ่มความเร็วของหินขัดได้อีก โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน	135
4	โปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรในขั้นตอนการขัดแบบละเอียด (Fine Grinding) คาดว่าน่าจะเพิ่มความเร็วของและลดระยะทางการขัด ของหินขัดได้อีก โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน	135
5	โปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรในขั้นตอนการขัดแบบหยาบรอบที่ 1 (Rough Grinding 1) คาดว่าน่าจะเพิ่มความเร็วของหินขัดได้อีก โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน	135
6	ระดับความแข็งของตัวยึดเกาะเม็ดหินขัด (Grade) น้อยเกินไป ทำให้หินขัดนี้มีส่วนให้ต้องใช้ความเร็วในการขัดให้ช้าลง	105
7	ขนาดของเม็ดหินขัด (Grain size) ละเอียดเกินไป ส่งผลให้ต้องใช้ความเร็วในการขัดให้ช้าลง	105

4.2 สรุปผลจากการระดมความคิดเพื่อระบุแนวทางในการแก้ไขปัญหา

จากการระดมความคิด วิเคราะห์และสรุปหาสาเหตุของปัญหาเวลาในการขัดนาน (Grinding Time High) แล้วนั้น เราสามารถระบุแนวทางแก้ไขโดยแบ่งตามปัจจัยต่างๆ ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4. 3 สาเหตุและแนวทางแก้ไขโดยแบ่งตามปัจจัยต่างๆ

Factor	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
ชิ้นงานก่อน เข้า กระบวนการ ขัดผิวด้านใน	การกำหนดข้อกำหนดเฉพาะเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของชิ้นงาน จากกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานยังไม่เหมาะสม	เพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในจากขบวนการกลึงเพื่อลดระยะเวลาการขัดลง
ค่าปรับตั้งของ เครื่องจักร	โปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรในขั้นตอนการขัดแบบหยาบรอบที่ 2 (Rough Grinding 2) คาดว่าน่าจะเพิ่มความเร็วและลดระยะทางการขัด ของหินขัดได้อีก โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน	จะทำการลดเวลาที่ใช้ในการขัด โดยการลดระยะการขัดของหินขัดลงและเพิ่มความเร็ว (speed) ของการขัดในช่วงการขัดอย่างหยาบและ ละเอียด โดยใช้การออกแบบการทดลอง (DOE) ในการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับทั้ง 6 ปัจจัย
	โปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรในขั้นตอนการขัดแบบหยาบรอบที่ 3 (Rough Grinding 3) คาดว่าน่าจะเพิ่มความเร็วของหินขัดได้อีก โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน	
	โปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรในขั้นตอนการขัดแบบละเอียด (Fine Grinding) คาดว่าน่าจะเพิ่มความเร็วของและลดระยะทางการขัด ของหินขัดได้อีก โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน	
	โปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรในขั้นตอนการขัดแบบหยาบรอบที่ 1 (Rough Grinding 1) คาดว่าน่าจะเพิ่มความเร็วของหินขัดได้อีก โดยไม่กระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน	

ตารางที่ 4.3 สาเหตุและแนวทางแก้ไขโดยแบ่งตามปัจจัยต่างๆ (ต่อ)

Factor	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
หินขัด	ระดับความแข็งของตัวยึดเกาะเม็ดหินขัด (Grade) น้อยเกินไป ทำให้หินขัดนิ่ม ส่งผลให้ต้องใช้ความเร็วในการขัดให้ช้าลง	พิจารณาหารหัส (Code) ของหินขัดที่เหมาะสมกับค่าปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อช่วยลดภาระของเครื่องจักร และช่วยเรื่องความละเอียดของผิวงาน
	ขนาดของเม็ดหินขัด (Grain size) ละเอียดยเกินไป ส่งผลให้ต้องใช้ความเร็วในการขัดให้ช้าลง	

จากตารางที่ 4.3 เราสามารถสรุปแนวทางในการปรับปรุงปัญหาเวลาการขัดนาน ที่กระบวนการขัดผิว ด้านในของชิ้นงาน โดยแบ่งได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

ชิ้นงานก่อนเข้า Bore Grinding

จะทำการปรับปรุงโดยการเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในจากกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน เพื่อช่วยลดระยะเวลาการขัดที่กระบวนการขัดผิวด้านในของชิ้นงานซึ่งขั้นตอนนี้จะเกี่ยวเนื่องและสัมพันธ์กับการปรับตั้งค่าปรับตั้งของเครื่องจักรเพราะเราจะทำการลดระยะเวลาในการขัด ซึ่งจะทำให้ได้ก็ต่อเมื่อมีการเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในจากกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานเข้ามาช่วย

ค่าปรับตั้งของเครื่องจักร (Bore Grinding Machine Condition)

จากโปรแกรมการทำงานในปัจจุบัน ดังตารางที่ 4.4 นั้น เราจะทำการลดเวลาที่ใช้ในการขัด โดยการลดระยะเวลาการขัดของหินขัดลงและเพิ่มความเร็วของการขัดในช่วงการขัดอย่างหยาบ และละเอียดโดยใช้การออกแบบการทดลอง ในการทำการทดลองเพื่อหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมทั้ง 6 ปัจจัย โดยตัวแปรตอบสนองจะทำการวัดจากการทำออกแบบการทดลอง (Response: Y) นั้นจะประกอบไปด้วย

- รอบเวลาในการผลิต
- ค่าความหยาบของผิวชิ้นงาน

โดยจะดำเนินขั้นตอนนี้ต่อจากการเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในจากกระบวนการกลึง

ตารางที่ 4. 4 ตารางแสดงค่าปรับตั้งในปัจจุบันของเครื่องจักร

ค่าปรับตั้งของเครื่องจักร Bore Grinding	จุดเริ่มต้นการขัด (mm)	ความเร็วในการขัด (mm/sec)
ขั้นตอนที่ 1: การขัดแบบหยาบรอบที่ 1 (Rough Grinding 1)	N/A	0.0500
ขั้นตอนที่ 2: การขัดแบบหยาบรอบที่ 2 (Rough Grinding 2)	0.3500	0.0370
ขั้นตอนที่ 3: การขัดแบบหยาบรอบที่ 3 (Rough Grinding 3)	N/A	0.0300
ขั้นตอนที่ 4: การขัดแบบละเอียด (Fine Grinding)	0.1000	0.0040

หินขัด (Grinding Stone)

หลังจากที่มีการปรับปรุงค่าปรับตั้งการทำงานของเครื่องจักร แล้วนั้น มีแนวโน้มที่จะส่งผลให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานนั้นเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเพิ่มความเร็วในการขัด ซึ่งในส่วนนี้เราจะทำการพิจารณาหารหัสของหินขัดที่เหมาะสมกับ ค่าปรับตั้งเครื่องจักร โดยทำการปรึกษากับทางผู้ขาย (Supplier) เพื่อช่วยลดภาระของเครื่องจักรและช่วยเรื่องความละเอียดของผิวงาน โดยขั้นตอนนี้จะทำหลังการการปรับปรุงโปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรแล้ว

ปัจจุบัน	ปรับปรุง
GC220 M 7V5S	GC180 N 7V5S

ซึ่งรหัสดังกล่าวนี้ เป็นรหัสของหินขัดที่ทางผู้ขายมีอยู่แล้วสามารถสั่งเข้ามาทำการทดลองได้ทันที และเป็นรหัสที่มีใช้อยู่ตามอุตสาหกรรมทั่วไปจึงมีแนวโน้มที่จะสามารถสั่งได้ในปริมาณมาก โดยที่ราคาไม่แตกต่างจากรหัสที่ใช้ในปัจจุบัน โดยจะพิจารณาจากปัจจัยดังต่อไปนี้

- ค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน
- สัดส่วนของงานดี (Yield)
- ราคาต้นทุนต่อชิ้นงาน (Life Time)

4.3 สรุปการวัดและการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของปัญหา

จากการระดมสมองจากคณะทำงานเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในกระบวนการขัดผิวด้านในที่มีผลต่อปัญหาเวลาในการขัดชิ้นงาน ผ่านแผนภาพ, ตารางสาเหตุและผล และคัดกรองเบื้องต้นด้วยแผนผังพาเรโต ซึ่งทำให้ได้มาถึงสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุดนั่นก็คือ ชิ้นงานก่อนเข้ากระบวนการขัดผิวด้านใน, ค่าปรับตั้งของเครื่องจักร และ หินขัด

โดยแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าว คือการขยายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในของชิ้นงานจากกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน เพื่อช่วยลดระยะเวลาการขัดที่กระบวนการขัดผิวด้านใน โดยที่จะต้องมีการปรับตั้งค่าการทำงานของเครื่องจักรให้สอดคล้องกัน ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยนั้นต้องทำควบคู่กันไป และจากการประเมินของทางคณะทำงานได้ประเมินว่าถ้ามีการปรับโปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรนั้นอาจจะส่งผลกระทบต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน ดังนั้นจึงอาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยนรหัสของหินขัดเพื่อนำมาช่วยลดค่าความหยาบผิวอีกทางหนึ่ง ซึ่งปัจจัยเรื่องของการปรับตั้งการทำงานของเครื่องจักร นั้นจะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

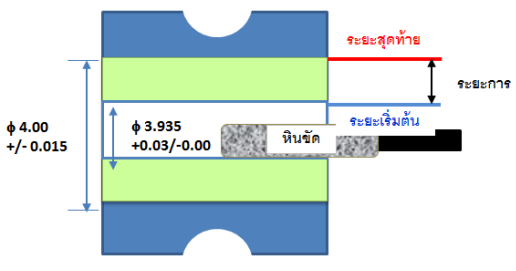
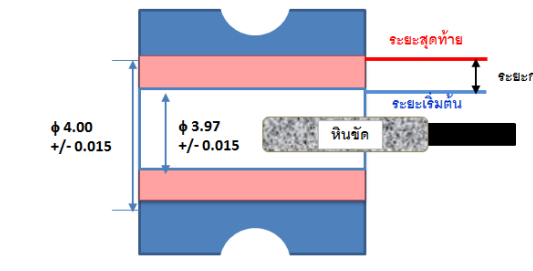
บทที่ 5

การวิเคราะห์สาเหตุและการกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา

ในบทนี้เราจะกำหนดแนวทางในการทดลองและทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาเวลาการขัดนาน (Grinding Time High) โดยบทนี้จะเน้นไปที่การคัดกรองปัจจัยในส่วนของค่าปรับตั้งการทำงานของเครื่องจักร (Bore Grinding Machine Condition) เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเวลาผลิตมากที่สุด โดยผลจากการทดลองจะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่น่าจะมีผลกับรอบเวลาการผลิต และศึกษาการมีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย ที่จะเป็นแนวทางในการปรับปรุงและวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

5.1 การเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของชิ้นงาน

เนื่องจากการปรับปรุงค่าปรับตั้งของเครื่องจักรนั้นจะต้องมีการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของชิ้นงานจากกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน (Turning Process) มาก่อน ทั้งนี้เพื่อช่วยลดระยะการขัดและยังสอดคล้องกับลักษณะการทำงานของเครื่องจักรที่กระบวนการขัดผิวด้านอีกด้วย โดยมี การเพิ่มขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของชิ้นงานจาก $3.95 + 0.003 \text{ } \pm 0.00$ มิลลิเมตร เป็น 3.97 ± 0.015 มิลลิเมตร ตามรายละเอียดในรูปที่ 5.1

ปัจจุบัน	การปรับปรุง
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในจากกระบวนการกลึง เท่ากับ $3.935 + 0.03/-0.00$ mm.	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในจากกระบวนการกลึง เท่ากับ 3.97 ± 0.015 mm.
	

รูปที่ 5. 1 การปรับปรุงในส่วนของชิ้นงานก่อนเข้ากระบวนการขัดผิวด้านใน

5.2 การกำหนดตัวแปรตอบสนอง

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตของกระบวนการขัดผิวด้านใน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักคือการลดรอบเวลาการผลิต แต่เนื่องจากการลดรอบเวลาในการผลิตนั้น คือการเพิ่มความเร็วในการขัด และลดระยะของการขัดให้น้อยลง ซึ่งอาจจะส่งผลถึงความหยาบของชิ้นงานได้เช่นกัน ซึ่งค่าความหยาบนั้นก็เป็นหนึ่งใน ข้อกำหนดเฉพาะของลูกค้า เราจึงต้องวิเคราะห์ผลกระทบในทั้ง 2 ด้านไปพร้อมๆกัน ดังนั้นตัวแปรตอบสนองที่เราต้องการที่จะศึกษา คือ

- 1) รอบเวลาในการผลิต
- 2) ความหยาบของผิวของเส้นผ่านศูนย์กลางใน

5.3 การกำหนดปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัย

5.3.1 ปัจจัยนำเข้า

การทำงานของเครื่องจักร Bore Grinding นั้นถูกควบคุมจากโปรแกรมที่มี 6 ตัวแปรที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ จากสภาพปัจจุบันของพารามิเตอร์และช่วงการปรับเปลี่ยนของแต่ละตัว จะแสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งพารามิเตอร์จะสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือความเร็วและตำแหน่งเริ่มต้น

ความเร็วของการขัด (Grinding Speed) แสดงให้เห็นถึงความเร็วของเครื่องโดยที่มีทั้งหมด 4 ระดับ คือ การขัดแบบหยาบ 1-3 และการขัดละเอียด ซึ่งทั้งหมดเหล่านี้ 4 ความเร็วสามารถปรับได้ซึ่งเป็นปัจจัย C, D, E, F และในตารางที่ 5.1

ตำแหน่งเริ่มการขัด (Grinding Starting Position) เป็นตำแหน่งเริ่มต้นของแต่ละขั้นตอนในการขัด โดยในการทำงานเครื่องจะช่วยให้การปรับตำแหน่งเริ่มต้นของการขัดหยาบ 2 และขัดละเอียด ซึ่งปัจจัยเหล่านี้คือ A และ B ในตารางที่ 5.1

5.3.2 ระดับของปัจจัย

ในการทดลองนี้กำหนดระดับของปัจจัย (Levels) เป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed Levels) เนื่องจากปัจจัยที่เลือกมาทำการทดลองทั้ง 6 ตัวนี้ เป็นตัวแปรที่สามารถกำหนดค่าได้แน่นอน โดยอาศัยความรู้พื้นฐานและความสามารถของเครื่องมือและเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องในการผลิตผลิตภัณฑ์ และเนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้ทฤษฎีการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (One Half Fraction Factorial Design : 2^{k-1}) ในการวิเคราะห์ ดังนั้นปัจจัยแต่ละตัวจึงมีระดับ 2 ระดับ ซึ่งจะแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5. 1 ตารางแสดงปัจจัยในสถานะปัจจุบันและระดับของปัจจัยที่จะทำการทดลอง

สัญลักษณ์ ของปัจจัย	ปัจจัย	สถานะปัจจุบัน ของเครื่องจักร	ระดับของปัจจัย		หน่วย
			ต่ำ (-)	สูง (+)	
A	จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Starting position)	0.0350	0.0250	0.0350	มิลลิเมตร
B	จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด (Fine Grinding Starting position)	0.0100	0.0050	0.0100	มิลลิเมตร
C	ความเร็วในการขัดหยาบ 1 (Rough Grinding 1 Speed)	0.0500	0.0500	0.0550	มิลลิเมตร / วินาที
D	ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed)	0.0370	0.0370	0.0470	มิลลิเมตร / วินาที
E	ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed)	0.0300	0.0300	0.0400	มิลลิเมตร / วินาที
F	ความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed)	0.0040	0.0040	0.0045	มิลลิเมตร / วินาที

5.4 กำหนดรูปแบบการทดลอง

ในขั้นตอนนี้จะทำการเลือกการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทีเรียล และมีจุดศูนย์กลาง (One Half-Fraction Factorial Design with Center Point : 2^{k-1}) มาใช้เพราะสามารถทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อกระบวนการและเกิดขึ้นพร้อมกันได้ เมื่อมีการทำการทดลองควรทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยไปพร้อมกันมากกว่าทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยตัวใดตัวหนึ่ง เพราะจะทำให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งในเรื่องการประหยัดเวลาและต้นทุน และยังทำให้ทราบถึงอิทธิพลหลัก (Main Effect) อิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัย และการมีความโค้ง (Curvature) ของปัจจัยอีกด้วย

ในการดำเนินการออกแบบการทดลอง ได้นำเอาโปรแกรม Minitab เข้ามาช่วยในการสร้าง ตารางการออกแบบ (Design Matrix) โดยในงานวิจัยนี้มีปัจจัยที่ต้องการศึกษาทั้งหมด 6 ปัจจัย จากนั้นเลือกระดับของมิติ (Resolution) เท่ากับระดับ VI จะได้รับการทดลองจำนวน 32 การทดลอง (run) ดังรูปที่ 5.2 รวมกับอีก 1 จุดศูนย์กลาง เท่ากับว่าจะได้รับการทดลองทั้งหมด 33 การทดลอง รายละเอียดเป็นดังรูปที่ 5.2 และตารางที่ 5.3

ในการทดลองนี้ ผู้ทำวิจัยจะทำการเก็บผลการทดลอง 10 ข้อมูลต่อการทดลอง 1 ครั้ง หลังจากนั้นจะนำค่าเฉลี่ยจากข้อมูลทั้ง 10 ข้อมูลในการวิเคราะห์ต่อไป

Available Factorial Designs (with Resolution)

Run	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4	Full	III												
8		Full	IV	III	IV	III								
16			Full	V	IV	IV	IV	III	III	III	III	III	III	III
32				Full	VI	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
64					Full	VII	V	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
128						Full	VIII	VI	V	V	IV	IV	IV	IV

Available Resolution III Plackett-Burman Designs

Factors	Runs	Factors	Runs	Factors	Runs
2-7	12, 20, 24, 28, ..., 48	20-23	24, 28, 32, 36, ..., 48	36-39	40, 44, 48
8-11	12, 20, 24, 28, ..., 48	24-27	28, 32, 36, 40, 44, 48	40-43	44, 48
12-15	20, 24, 28, 36, ..., 48	28-31	32, 36, 40, 44, 48	44-47	48
16-19	20, 24, 28, 32, ..., 48	32-35	36, 40, 44, 48		

รูปที่ 5. 2 รายละเอียดการเลือกมิติ (Resolution) และจำนวนทดลองโดยโปรแกรม Minitab

Fractional Factorial Design					
Factors:	6	Base Design:	6, 32	Resolution:	VI
Runs:	33	Replicates:	1	Fraction:	1/2
Blocks:	1	Center pts (total):	1		

รูปที่ 5. 3 รายละเอียดการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab

ตารางที่ 5. 2 ตารางการออกแบบ (Design Matrix) เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

Case	MVC Condition						Cycle Time (sec)										Roughness (um)											
	A	B	C	D	E	F	CT_1	CT_2	CT_3	CT_4	CT_5	CT_6	CT_7	CT_8	CT_9	CT_10	Ra_1	Ra_2	Ra_3	Ra_4	Ra_5	Ra_6	Ra_7	Ra_8	Ra_9	Ra_10		
1	0.0250	0.0050	0.0500	0.0370	0.0300	0.0040																						
2	0.0350	0.0050	0.0500	0.0370	0.0300	0.0045																						
3	0.0250	0.0100	0.0500	0.0370	0.0300	0.0045																						
4	0.0350	0.0100	0.0500	0.0370	0.0300	0.0040																						
5	0.0250	0.0050	0.0550	0.0370	0.0300	0.0045																						
6	0.0350	0.0050	0.0550	0.0370	0.0300	0.0040																						
7	0.0250	0.0100	0.0550	0.0370	0.0300	0.0040																						
8	0.0350	0.0100	0.0550	0.0370	0.0300	0.0045																						
9	0.0250	0.0050	0.0500	0.0470	0.0300	0.0045																						
10	0.0350	0.0050	0.0500	0.0470	0.0300	0.0040																						
11	0.0250	0.0100	0.0500	0.0470	0.0300	0.0040																						
12	0.0350	0.0100	0.0500	0.0470	0.0300	0.0045																						
13	0.0250	0.0050	0.0550	0.0470	0.0300	0.0040																						
14	0.0350	0.0050	0.0550	0.0470	0.0300	0.0045																						
15	0.0250	0.0100	0.0550	0.0470	0.0300	0.0045																						
16	0.0350	0.0100	0.0550	0.0470	0.0300	0.0040																						
17	0.0250	0.0050	0.0500	0.0370	0.0400	0.0045																						
18	0.0350	0.0050	0.0500	0.0370	0.0400	0.0040																						
19	0.0250	0.0100	0.0500	0.0370	0.0400	0.0040																						
20	0.0350	0.0100	0.0500	0.0370	0.0400	0.0045																						
21	0.0250	0.0050	0.0550	0.0370	0.0400	0.0040																						
22	0.0350	0.0050	0.0550	0.0370	0.0400	0.0045																						
23	0.0250	0.0100	0.0550	0.0370	0.0400	0.0045																						
24	0.0350	0.0100	0.0550	0.0370	0.0400	0.0040																						
25	0.0250	0.0050	0.0500	0.0470	0.0400	0.0040																						
26	0.0350	0.0050	0.0500	0.0470	0.0400	0.0045																						
27	0.0250	0.0100	0.0500	0.0470	0.0400	0.0045																						
28	0.0350	0.0100	0.0500	0.0470	0.0400	0.0040																						
29	0.0250	0.0050	0.0550	0.0470	0.0400	0.0045																						
30	0.0350	0.0050	0.0550	0.0470	0.0400	0.0040																						
31	0.0250	0.0100	0.0550	0.0470	0.0400	0.0040																						
32	0.0350	0.0100	0.0550	0.0470	0.0400	0.0045																						
33	0.0300	0.0075	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043																						

หมายเหตุ : A : Rough2 Start B : Fine Start C : Rough1 Speed

D : Rough2 Speed E : Rough3 Speed F : Fine Speed

5.5 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

ผู้วิจัยดำเนินการทดลองตามลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab โดยก่อนดำเนินการทดลองนั้นได้มีการประชุมเพื่ออธิบายทำความเข้าใจกับสมาชิกในทีมเกี่ยวกับแผนการทดลองและเพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องดำเนินการจัดเตรียมความพร้อมของเครื่องจักรและอุปกรณ์ เพื่อจะได้ผลการทดลองที่มีความถูกต้อง การตั้งค่าตรงตามระดับที่ต้องการ และได้วิธีการที่ถูกต้อง อีกทั้งยังต้องมีการควบคุมเพื่อไม่ให้งานทดลองนี้หลุดไปปะปนกับงานที่ผลิตจริง เนื่องจากต้องใช้สายการผลิตเดียวกัน โดยมีขั้นตอนปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. ทำการปรับพารามิเตอร์ของเครื่องจักรให้ได้ตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่กำหนดไว้ในลำดับการทดลองจากโปรแกรม Minitab โดยผ่านเครื่องควบคุมสำหรับปรับพารามิเตอร์ ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5. 4 เครื่องควบคุม สำหรับปรับพารามิเตอร์

2. หลังจากการปรับพารามิเตอร์ของเครื่องจักรแล้ว ให้ตรวจสอบความถูกต้องของเงื่อนไขเครื่องจักรโดยผ่านหน้าจอแสดงผลพารามิเตอร์ ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 หน้าจอแสดงผลพารามิเตอร์

3. การอ่านข้อมูลของเวลาที่ใช้ในการผลิตในแต่ละการทดลองได้จากมอนิเตอร์ (Monitor) ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 หน้าจอแสดงเวลาที่ใช้ในการผลิต

4. การตรวจสอบค่าความหยาบของชิ้นงาน (Roughness) จากเครื่องมือวัดความหยาบ ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5. 7 การตรวจสอบค่าความหยาบของชิ้นงาน

5.6 ผลการดำเนินการทดลอง

หลังจากการดำเนินการทดลองตามขั้นตอนข้างต้นแล้วนั้น ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ตารางผลการทดลอง

Case	M/C Condition						Cycle Time (sec.)										Roughness (um)									
	A	B	C	D	E	F	CT_1	CT_2	CT_3	CT_4	CT_5	CT_6	CT_7	CT_8	CT_9	CT_10	Ra_1	Ra_2	Ra_3	Ra_4	Ra_5	Ra_6	Ra_7	Ra_8	Ra_9	Ra_10
1	0.0250	0.0050	0.0500	0.0370	0.0300	0.0040	2.85	2.85	2.80	2.85	2.75	2.80	2.90	2.85	2.80	2.80	0.868	0.871	0.866	0.884	0.882	0.870	0.867	0.872	0.888	0.865
2	0.0350	0.0050	0.0500	0.0370	0.0300	0.0045	3.00	3.00	3.10	3.00	3.10	2.95	3.00	3.00	2.95	3.00	0.885	0.912	0.897	0.890	0.880	0.885	0.877	0.892	0.891	0.875
3	0.0250	0.0100	0.0500	0.0370	0.0300	0.0040	3.15	3.15	3.10	3.00	3.00	3.20	3.10	3.00	3.00	3.10	0.754	0.755	0.757	0.749	0.758	0.752	0.744	0.756	0.747	0.764
4	0.0350	0.0100	0.0500	0.0370	0.0300	0.0045	2.80	2.80	2.75	2.70	2.70	2.70	2.70	2.75	2.80	2.80	0.867	0.890	0.867	0.868	0.875	0.841	0.889	0.872	0.876	0.854
5	0.0250	0.0050	0.0550	0.0370	0.0300	0.0040	2.95	3.00	2.95	3.00	2.90	2.90	3.00	2.90	2.95	2.90	0.749	0.750	0.750	0.736	0.749	0.762	0.760	0.748	0.734	0.851
6	0.0350	0.0100	0.0550	0.0370	0.0300	0.0040	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.90	2.90	0.749	0.751	0.765	0.759	0.750	0.782	0.752	0.759	0.757	0.754
7	0.0250	0.0100	0.0550	0.0370	0.0300	0.0045	2.95	3.00	2.95	3.00	2.90	2.90	3.00	3.00	2.95	3.00	0.866	0.877	0.888	0.876	0.859	0.873	0.861	0.857	0.860	0.865
8	0.0350	0.0100	0.0550	0.0370	0.0300	0.0045	2.80	2.70	2.80	2.75	2.75	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	0.918	0.926	0.914	0.923	0.924	0.928	0.928	0.922	0.936	0.924
9	0.0250	0.0050	0.0500	0.0470	0.0300	0.0045	2.80	2.70	2.80	2.75	2.75	2.80	3.05	3.00	2.95	3.00	0.809	0.814	0.810	0.811	0.818	0.827	0.800	0.826	0.788	0.803
10	0.0350	0.0050	0.0500	0.0470	0.0300	0.0040	2.95	2.90	2.95	2.95	2.90	3.00	3.05	3.00	2.95	3.00	0.802	0.799	0.800	0.806	0.788	0.774	0.810	0.802	0.794	0.789
11	0.0250	0.0100	0.0500	0.0470	0.0300	0.0040	2.85	2.85	2.90	2.85	2.90	2.75	2.90	2.85	2.80	2.80	0.913	0.931	0.936	0.913	0.916	0.922	0.900	0.915	0.892	0.913
12	0.0350	0.0100	0.0500	0.0470	0.0300	0.0045	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.70	2.75	2.70	0.786	0.777	0.800	0.794	0.791	0.798	0.797	0.780	0.793	0.785
13	0.0250	0.0050	0.0550	0.0470	0.0300	0.0040	2.95	2.85	3.00	2.95	2.90	3.00	2.85	3.00	2.80	2.95	0.906	0.924	0.932	0.903	0.927	0.926	0.911	0.987	0.889	0.900
14	0.0350	0.0050	0.0550	0.0470	0.0300	0.0045	2.85	2.85	2.80	2.85	2.75	2.90	2.85	2.80	2.80	2.80	0.900	0.914	0.910	0.911	0.918	0.927	0.910	0.926	0.899	0.908
15	0.0250	0.0100	0.0550	0.0470	0.0300	0.0045	2.95	3.00	2.95	3.00	2.90	2.90	3.00	2.90	2.95	2.90	0.809	0.814	0.810	0.801	0.804	0.812	0.800	0.823	0.797	0.808
16	0.0350	0.0100	0.0550	0.0470	0.0300	0.0040	2.80	2.75	2.80	2.75	2.75	2.75	2.85	2.85	2.85	2.80	0.963	0.942	0.974	0.951	0.986	0.941	0.961	0.970	0.921	0.954
17	0.0250	0.0050	0.0500	0.0370	0.0400	0.0045	2.95	2.85	3.00	2.95	2.90	3.00	2.85	3.00	2.90	2.95	0.844	0.851	0.850	0.859	0.850	0.852	0.853	0.855	0.857	0.854
18	0.0350	0.0050	0.0500	0.0370	0.0400	0.0040	2.80	2.85	2.80	2.85	2.80	2.90	2.80	2.80	2.80	2.85	0.851	0.883	0.854	0.849	0.835	0.835	0.879	0.845	0.860	0.849
19	0.0250	0.0100	0.0500	0.0370	0.0400	0.0045	2.95	3.10	3.10	3.00	3.10	3.15	3.10	2.90	3.00	3.00	0.985	0.997	0.990	0.994	1.008	0.983	0.997	0.982	0.975	0.985
20	0.0350	0.0050	0.0550	0.0370	0.0400	0.0040	2.80	2.70	2.75	2.80	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	0.849	0.850	0.850	0.836	0.849	0.862	0.860	0.848	0.834	0.851
21	0.0250	0.0050	0.0550	0.0370	0.0400	0.0045	2.95	2.85	3.00	2.95	2.90	3.00	2.85	3.00	2.80	2.95	0.970	0.983	1.008	0.994	0.974	0.983	0.982	0.968	0.976	0.975
22	0.0350	0.0100	0.0550	0.0370	0.0400	0.0045	2.80	2.80	2.85	2.90	2.80	2.85	2.85	2.80	2.80	2.85	0.968	0.971	0.966	0.984	0.982	0.970	0.967	0.972	0.988	0.965
23	0.0250	0.0100	0.0550	0.0370	0.0400	0.0040	2.95	3.00	2.95	3.00	2.90	2.90	3.00	3.00	2.95	3.00	0.844	0.851	0.850	0.859	0.850	0.852	0.854	0.859	0.857	0.855
24	0.0350	0.0100	0.0550	0.0370	0.0400	0.0040	2.80	2.80	2.75	2.70	2.70	2.70	2.70	2.75	2.80	2.80	0.876	0.890	0.867	0.868	0.875	0.861	0.889	0.872	0.876	0.903
25	0.0250	0.0050	0.0500	0.0470	0.0400	0.0040	2.95	2.85	3.00	2.95	2.90	3.00	2.85	3.00	2.80	2.95	1.002	1.103	1.109	1.121	1.101	1.075	1.106	1.012	1.028	1.034
26	0.0350	0.0050	0.0500	0.0470	0.0400	0.0045	2.90	2.85	2.80	2.80	2.80	2.80	2.90	2.85	2.80	2.80	1.035	0.983	1.008	0.982	1.078	1.102	1.091	1.183	1.054	1.099
27	0.0250	0.0100	0.0500	0.0470	0.0400	0.0045	2.95	3.00	2.95	3.00	3.10	3.00	3.00	2.95	3.00	2.95	0.886	0.877	0.900	0.893	0.892	0.898	0.897	0.880	0.893	0.885
28	0.0350	0.0100	0.0500	0.0470	0.0400	0.0040	2.70	2.70	2.75	2.65	2.70	2.70	2.60	2.70	2.65	2.65	1.102	1.113	1.054	1.031	1.201	1.075	1.106	1.122	1.008	1.100
29	0.0250	0.0050	0.0550	0.0470	0.0400	0.0045	2.95	2.85	3.00	2.95	2.90	3.00	2.85	2.95	2.80	2.90	0.902	0.892	0.900	0.905	0.889	0.875	0.910	0.902	0.892	0.909
30	0.0350	0.0050	0.0550	0.0470	0.0400	0.0040	2.80	2.80	2.85	2.90	2.80	2.85	2.85	2.80	2.80	2.85	0.909	0.876	0.910	0.911	0.918	0.907	0.900	0.887	0.899	0.909
31	0.0250	0.0100	0.0550	0.0470	0.0400	0.0040	2.95	3.00	2.95	2.90	2.90	3.00	2.90	2.95	2.90	2.90	1.113	1.097	0.998	1.065	1.058	1.108	0.997	0.900	0.887	0.899
32	0.0350	0.0100	0.0550	0.0470	0.0400	0.0045	2.95	3.00	2.95	2.90	2.90	2.90	2.90	2.95	2.90	2.90	0.913	0.922	0.898	0.931	0.906	0.931	0.921	0.920	0.901	0.904
33	0.0300	0.0075	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	2.90	2.80	2.85	2.95	2.90	2.80	2.80	2.75	2.80	2.95	0.913	0.922	0.898	0.931	0.906	0.931	0.921	0.920	0.901	0.904

หมายเหตุ : A : Rough2 Start B : Fine Start C : Rough1 Speed

D : Rough2 Speed E : Rough3 Speed F : Fine Speed

5.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อนทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลผลการทดลองมาวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อรอบเวลาการผลิตและความหยาบผิวของชิ้นงาน เพื่อใช้ในการกำหนดค่าปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป

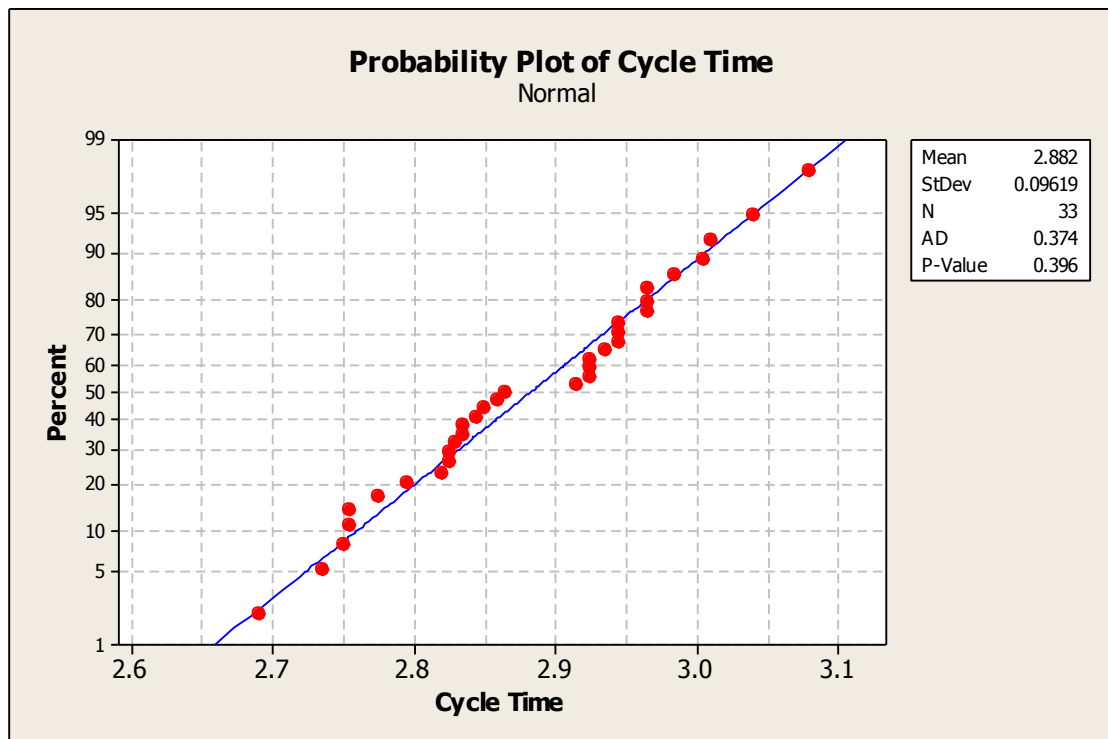
5.7.1 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองนั้นเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลก่อนนำมาวิเคราะห์ โดยจะทำการตรวจสอบว่าข้อมูลมีรูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ TextRunij TextRun NID (0, TextRun2) หรือไม่ โดยทำการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่ สมมติฐานการแจกแจงปกติ, สมมติฐานของความเป็นอิสระ และสมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

5.7.1.1 ตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลองสำหรับรอบเวลาการผลิต

1. การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)

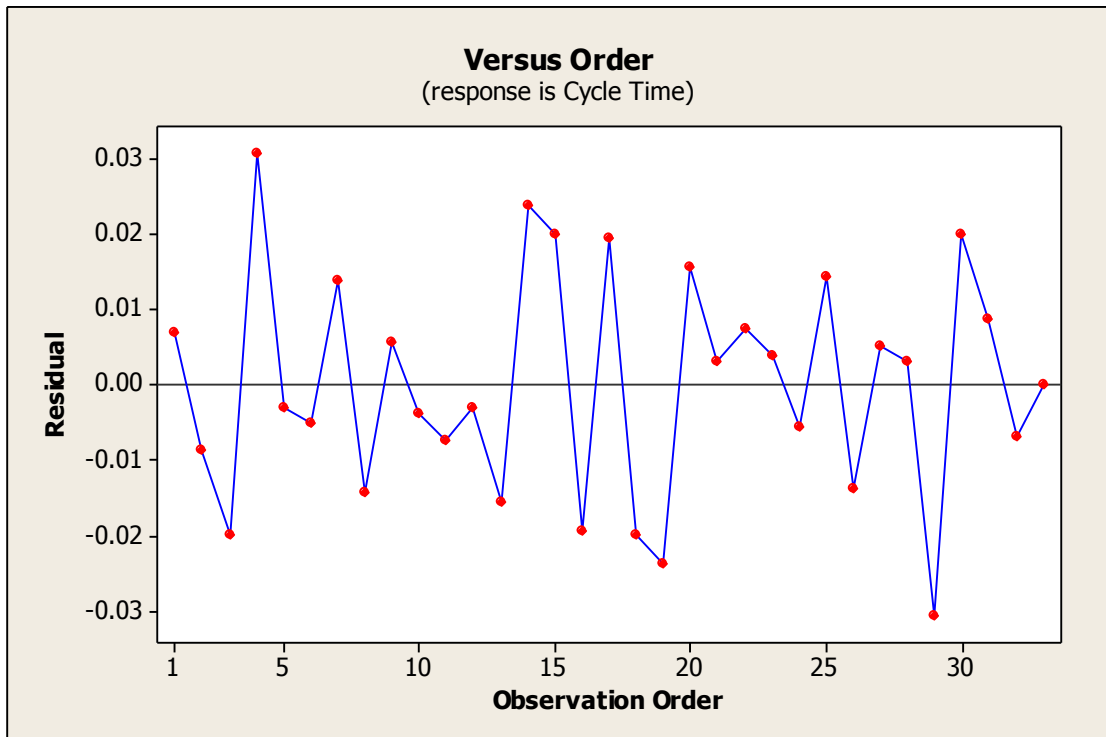
การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติหรือไม่และถ้าหากผลการทดสอบพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติจะมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ซึ่งจากรูปที่ 5.8 เป็นการทดสอบความเป็นปกติของรอบเวลาการผลิต พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ



รูปที่ 5. 8 แผนภาพ Probability Plot ของรอบเวลาการผลิต

2. การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Assumption)

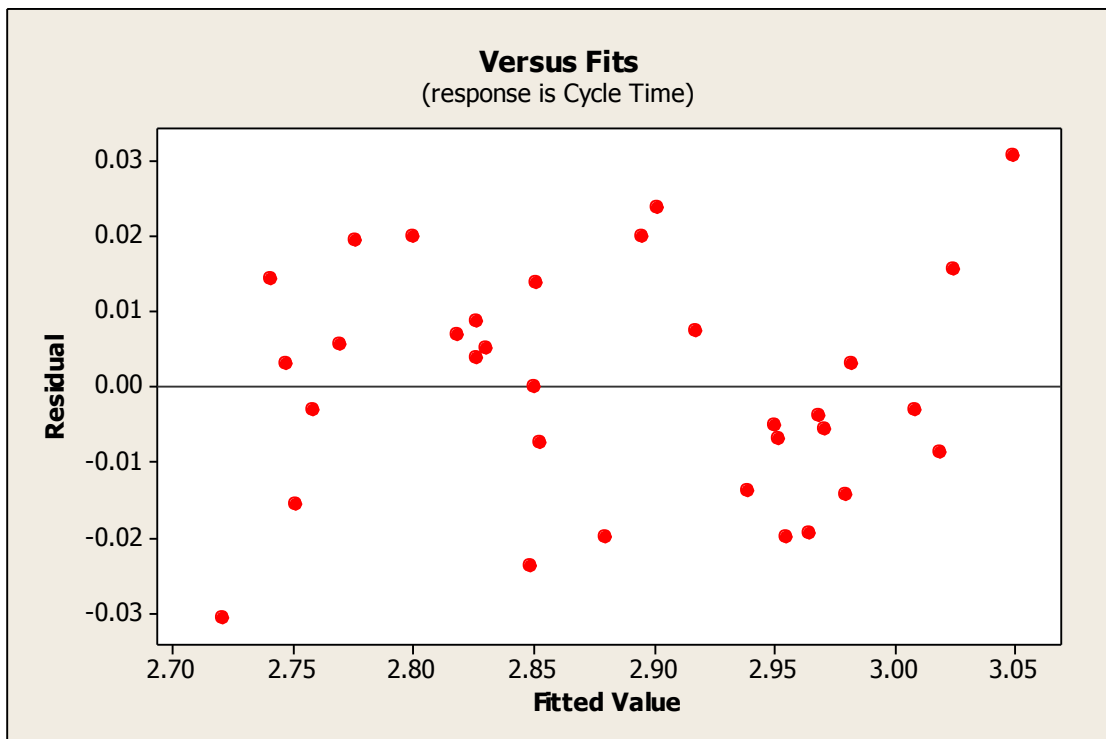
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independence of Residual) สามารถตรวจสอบได้จากการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับแรกของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยการกระจายตัวของส่วนตกค้างควรมีรูปแบบที่มีอิสระต่อกัน ไม่ควรมีลักษณะเป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบที่แน่นอน ซึ่งจากรูปที่ 5.9 เป็นการทดสอบความของส่วนตกค้างของรอบเวลาการผลิต พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5. 9 แผนภาพ Residual Versus Order ของรอบเวลาการผลิต

3. การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน สามารถตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลเป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด ซึ่งจากรูปที่ 5.10 เป็นการทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิต พบว่าข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบกรวยปากเปิด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

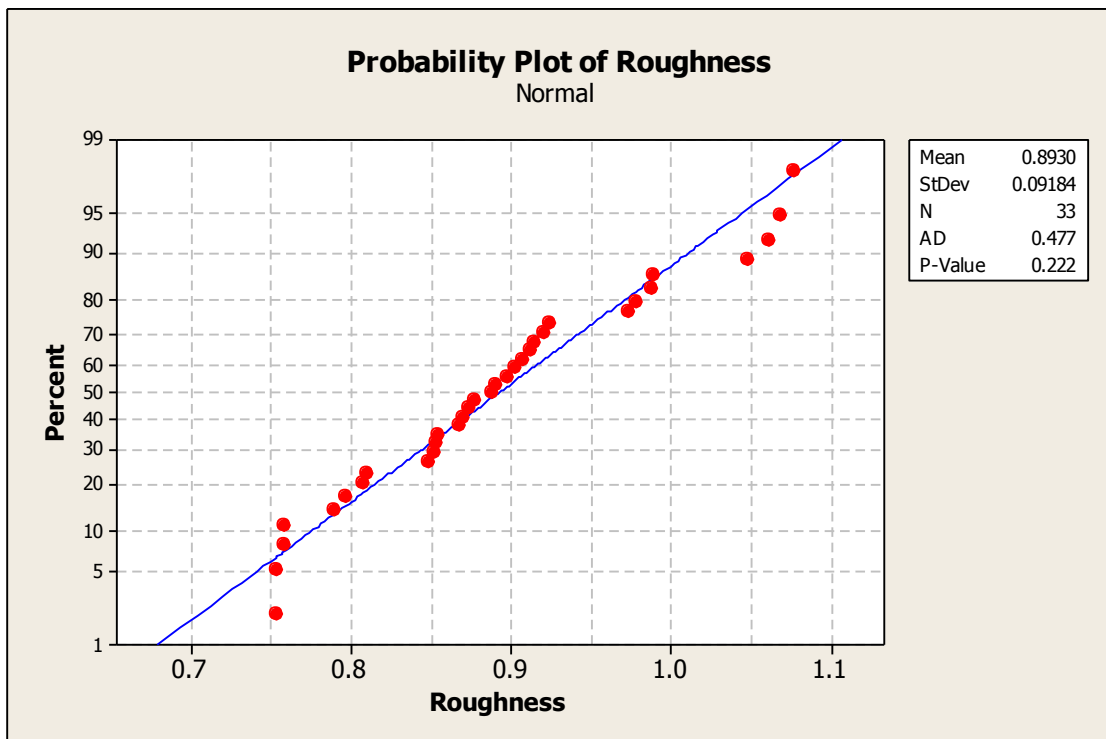


รูปที่ 5. 10 แผนภาพ Residual Versus Fitted Value ของรอบเวลาการผลิต

5.7.1.2 ตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลองสำหรับค่าความหยาบผิว

1. การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)

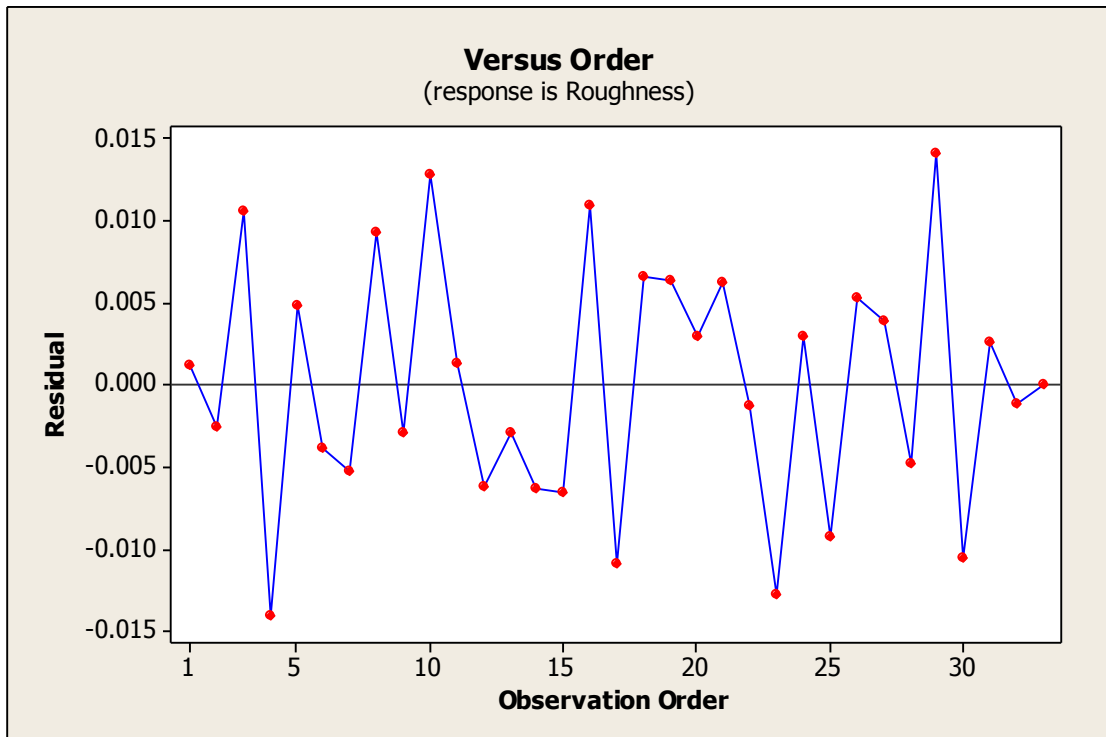
การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติหรือไม่และถ้าหากผลการทดสอบพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติจะมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ซึ่งจากรูปที่ 5.11 เป็นการทดสอบความเป็นปกติของค่าความหยาบผิว พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ



รูปที่ 5. 11 แผนภาพ Probability Plot ของค่าความหยาบผิว

2. การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Assumption)

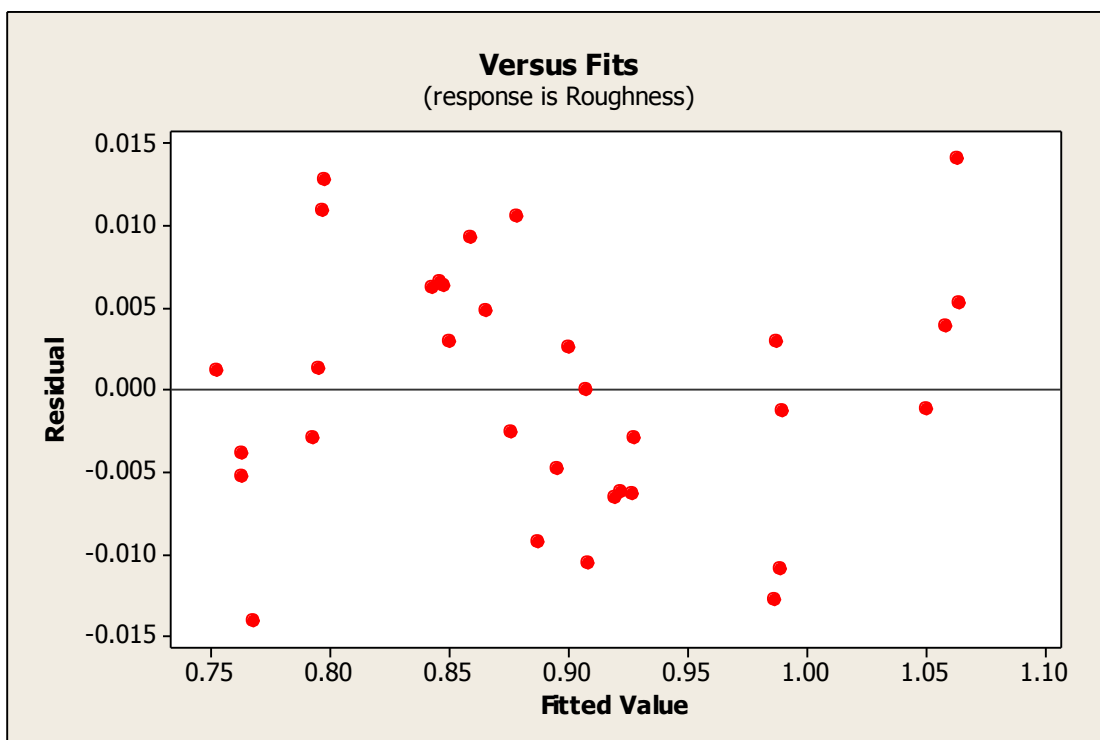
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independence of Residual) สามารถตรวจสอบได้จากการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับแรกของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยการกระจายตัวของส่วนตกค้างควรมีรูปแบบที่มีอิสระต่อกัน ไม่ควรมีลักษณะเป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบที่แน่นอน ซึ่งจากรูปที่ 5.12 เป็นการทดสอบความของส่วนตกค้างของค่าความหยาบผิว พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 5. 12 แผนภาพ Residual Versus Order ของค่าความหยาบผิว

3. การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน สามารถตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลเป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด ซึ่งจากรูปที่ 5.13 เป็นการทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของค่าความหยาบผิว พบว่าข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบกรวยปากเปิด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



รูปที่ 5. 13 แผนภาพ Residual Versus Fitted Value ของค่าความหยาบผิว

5.7.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ใช้โปรแกรม Minitab เข้ามาช่วยในการทดสอบปัจจัยนำเข้า และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ใดบ้างที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

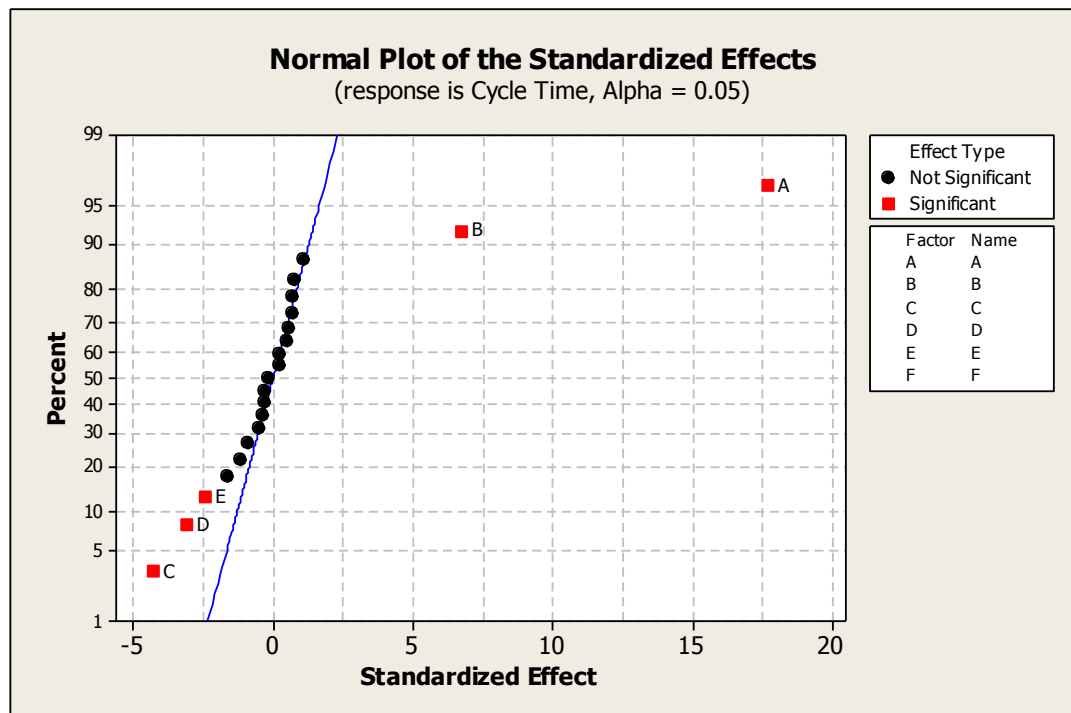
5.7.2.1 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อเวลาที่ใช้ในการผลิต

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Minitab มาวิเคราะห์จะได้ว่าปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั้นคือปัจจัยที่มีค่าออกนอกแนวเส้นตรงของกราฟ Normal Plot of the Effects คือปัจจัย A จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Starting position), ปัจจัย B จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด (Fine Grinding Starting position), ปัจจัย C ความเร็วในการขัดหยาบ 1 (Rough Grinding 1 Speed), ปัจจัย D ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed), และปัจจัย E ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักทั้งหมด และไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยคู่ใดๆที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 5.14, 5.15 และ 5.16

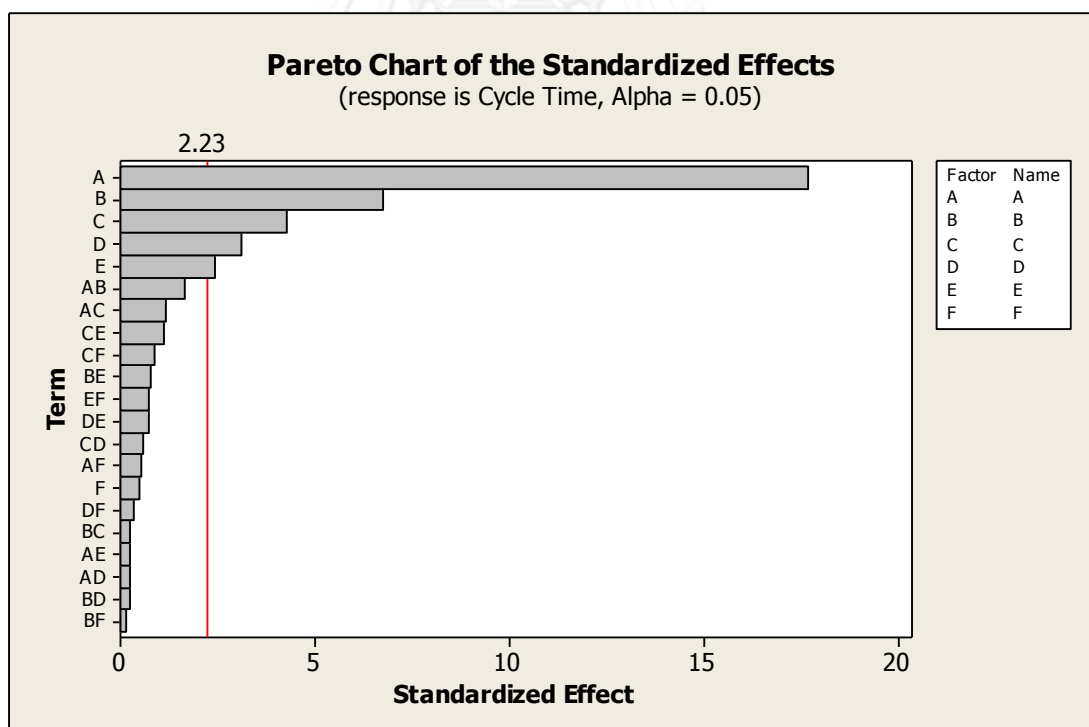
Factorial Fit: Cycle Time versus A, B, C, D, E, F					
Estimated Effects and Coefficients for Cycle Time (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		2.88344	0.004735	608.94	0.000
A	0.16750	0.08375	0.004735	17.69	0.000
B	0.06375	0.03188	0.004735	6.73	0.000
C	-0.04063	-0.02031	0.004735	-4.29	0.002
D	-0.02938	-0.01469	0.004735	-3.10	0.011
E	-0.02312	-0.01156	0.004735	-2.44	0.035
F	-0.00437	-0.00219	0.004735	-0.46	0.654
A*B	-0.01562	-0.00781	0.004735	-1.65	0.130
A*C	-0.01125	-0.00563	0.004735	-1.19	0.262
A*D	-0.00250	-0.00125	0.004735	-0.26	0.797
A*E	-0.00250	-0.00125	0.004735	-0.26	0.797
A*F	0.00500	0.00250	0.004735	0.53	0.609
B*C	0.00250	0.00125	0.004735	0.26	0.797
B*D	0.00250	0.00125	0.004735	0.26	0.797
B*E	0.00750	0.00375	0.004735	0.79	0.447
B*F	-0.00125	-0.00063	0.004735	-0.13	0.898
C*D	0.00563	0.00281	0.004735	0.59	0.566
C*E	0.01063	0.00531	0.004735	1.12	0.288
C*F	-0.00812	-0.00406	0.004735	-0.86	0.411
D*E	0.00687	0.00344	0.004735	0.73	0.485
D*F	-0.00313	-0.00156	0.004735	-0.33	0.748
E*F	0.00687	0.00344	0.004735	0.73	0.485
Ct Pt		-0.03344	0.027202	-1.23	0.247

S = 0.0267862 PRESS = 0.0746634
R-Sq = 97.58% R-Sq(pred) = 74.78% R-Sq(adj) = 92.25%

รูปที่ 5. 14 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิต



รูปที่ 5. 15 แผนภาพ Normal Plot ของปัจจัยมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิต



รูปที่ 5. 16 แผนภูมิพารेटอของปัจจัยมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิต

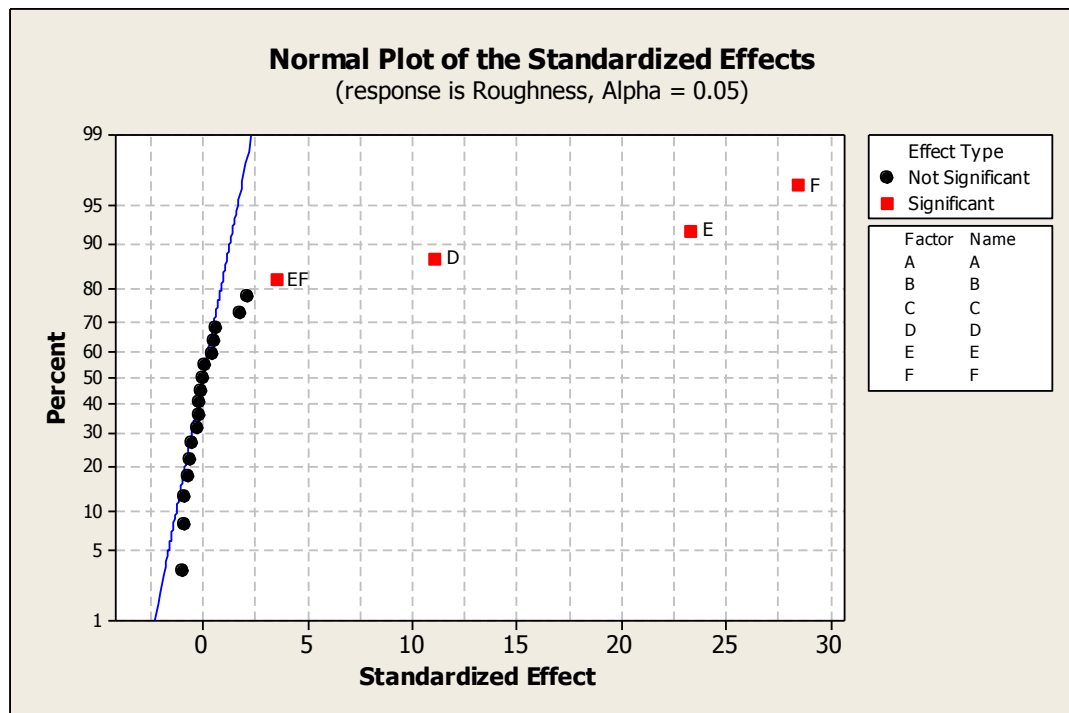
5.7.2.2 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Minitab มาวิเคราะห์จะได้ว่าปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั้นคือปัจจัยที่มีค่าออกนอกแนวเส้นตรงของกราฟ Normal Plot of the Effects คือ ปัจจัย D ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed), ปัจจัย E ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed) และปัจจัย F ความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed) ซึ่งเป็นปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาระหว่าง ปัจจัย E ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed) และปัจจัย F ความเร็วในการขัดละเอียดที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 5.17, 5.18 และ 5.19

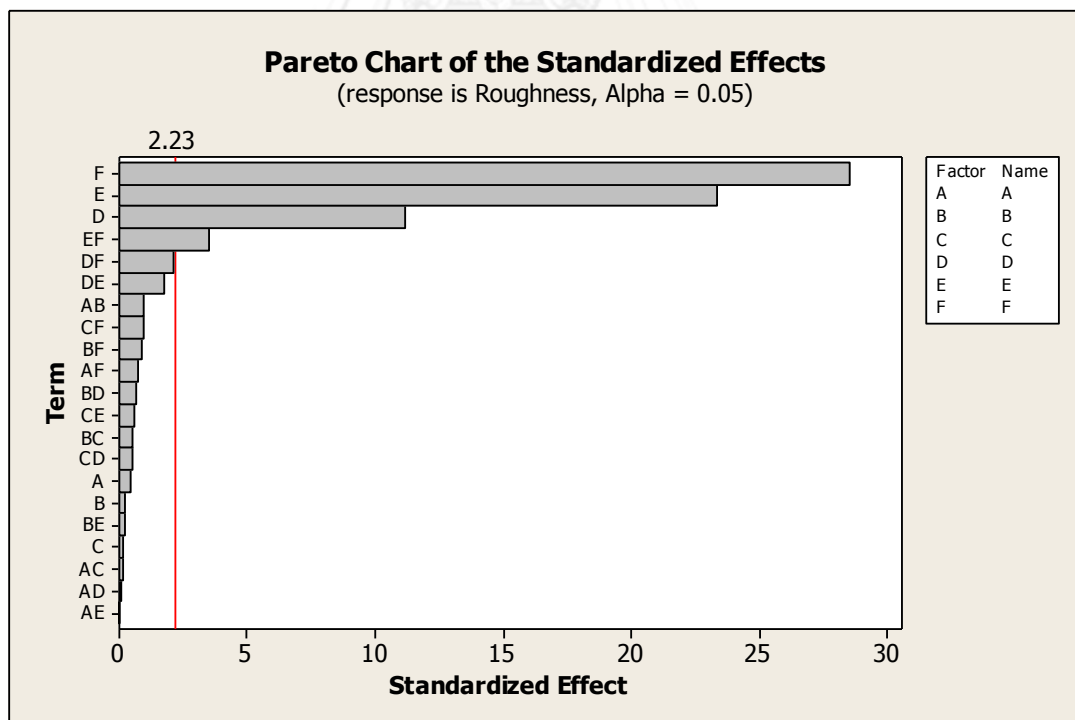
Factorial Fit: Roughness versus A, B, C, D, E, F					
Estimated Effects and Coefficients for Roughness (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.892560	0.002357	378.67	0.000
A	0.001918	0.000959	0.002357	0.41	0.693
B	-0.001105	-0.000552	0.002357	-0.23	0.819
C	-0.000833	-0.000416	0.002357	-0.18	0.863
D	0.052482	0.026241	0.002357	11.13	0.000
E	0.110043	0.055021	0.002357	23.34	0.000
F	0.134455	0.067228	0.002357	28.52	0.000
A*B	-0.004483	-0.002241	0.002357	-0.95	0.364
A*C	-0.000605	-0.000302	0.002357	-0.13	0.900
A*D	0.000255	0.000128	0.002357	0.05	0.958
A*E	-0.000005	-0.000002	0.002357	-0.00	0.999
A*F	-0.003467	-0.001734	0.002357	-0.74	0.479
B*C	-0.002333	-0.001166	0.002357	-0.49	0.631
B*D	-0.002967	-0.001484	0.002357	-0.63	0.543
B*E	-0.000933	-0.000466	0.002357	-0.20	0.847
B*F	-0.004295	-0.002147	0.002357	-0.91	0.384
C*D	0.002280	0.001140	0.002357	0.48	0.639
C*E	0.002870	0.001435	0.002357	0.61	0.556
C*F	-0.004368	-0.002184	0.002357	-0.93	0.376
D*E	0.008330	0.004165	0.002357	1.77	0.108
D*F	0.009918	0.004959	0.002357	2.10	0.062
E*F	0.016583	0.008291	0.002357	3.52	0.006
Ct Pt		0.014640	0.013540	1.08	0.305

S = 0.0133336 PRESS = 0.0184335
R-Sq = 99.34% R-Sq(pred) = 93.17% R-Sq(adj) = 97.89%

รูปที่ 5. 17 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน



รูปที่ 5. 18 แผนภาพ Normal Plot ของปัจจัยมีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน



รูปที่ 5. 19 แผนภูมิพารेटอของปัจจัยมีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน

5.8 สรุปผลการทดลอง

จากผลการวิเคราะห์เพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองนั้น ผลของปัจจัย A จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Starting position), ปัจจัย B จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด (Fine Grinding Starting position), ปัจจัย C ความเร็วในการขัดหยาบ 1 (Rough Grinding 1 Speed), ปัจจัย D ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed), และปัจจัย E ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed) มีผลต่อรอบเวลาการผลิต

ส่วนผลของปัจจัย D ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed), ปัจจัย E ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed), ปัจจัย F ความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed) และปัจจัย EF อันตรกิริยาระหว่าง ปัจจัย E ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed) และปัจจัย F ความเร็วในการขัดละเอียด ส่งผลกระทบต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

ดังนั้นเมื่อเราพิจารณาการตอบสนองทั้งสองร่วมกัน จะเห็นว่าไม่มีปัจจัยใดใน 6 ปัจจัยที่จะถูกตัดออกจากการทดลองต่อไป

บทที่ 6

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

หลังจากได้มีการคัดกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองโดยวิธีการการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลาง (One Half-Fraction Factorial Design with Center Point : 2^{k-1}) ในขั้นตอนของการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาซึ่งเป็นการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab แล้วนั้นพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญนั้นแสดงในตารางที่ 6.1 ดังนั้นในระยะเวลาการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนี้จะทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อให้ได้ตัวแปรตอบสนองซึ่งคือ รอบเวลาในการผลิตที่น้อยที่สุดและค่าความหยาบผิวของชิ้นงานนั้นต้องไม่เกินค่าที่ลูกค้ากำหนด (1.0 um max)

ตารางที่ 6. 1 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง	
		เวลาการผลิต	ค่าความหยาบผิว
A	จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Starting position)	✓	
B	จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด (Fine Grinding Starting position)	✓	
C	ความเร็วในการขัดหยาบ 1 (Rough Grinding 1 Speed)	✓	
D	ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed)	✓	✓
E	ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed)	✓	✓
F	ความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed)		✓

ตารางที่ 6. 2 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ (ต่อ)

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนอง	
		เวลาการผลิต	ค่าความหยาบผิว
EF	อันตรกิริยาระหว่างความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed) และความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed)		✓

6.1 การออกแบบการทดลองเพิ่มเติมเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของค่าปัจจัย

เนื่องจากผู้ทำวิจัยต้องการที่จะหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อให้ได้ตัวแปรตอบสนองซึ่งคือรอบเวลาในการผลิตที่น้อยที่สุดและค่าความหยาบผิวของชิ้นงานนั้นต้องไม่เกินค่าที่ลูกค้ากำหนด โดยจะทำการวิเคราะห์หาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมกับตัวแปรทั้ง 2 ตัวไปพร้อมกัน และผู้ทำวิจัยยังต้องการที่จะวิเคราะห์หาอิทธิพลอันเนื่องมาจากความโค้งที่อาจจะเกิดขึ้นกับตัวแบบ ดังนั้นวิธีการที่ผู้วิจัยเลือกที่จะนำมาออกแบบการทดลองเพิ่มเติมในส่วนนี้คือ การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบสนอง (Response Surface Design) แบบ Central Composite Design (CCD) ซึ่งจะช่วยให้สามารถหาค่าของปัจจัยปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุด โดยมีระดับของปัจจัยนำเข้าทั้ง 6 ตัว ตามรายละเอียดในตารางที่ 6.2

จากปัจจัยในตารางที่ 6.2 นั้นแบ่งได้เป็น 2 ประเภท นั่นคือ ปัจจัยด้านระยะทางได้แก่ ปัจจัย A และ B และปัจจัยด้านความเร็วได้แก่ ปัจจัย C,D,E และ F ซึ่งถ้าต้องการให้รอบเวลาในการผลิตน้อยที่สุดนั้นสามารถพยากรณ์ได้ทันทีว่า ปัจจัยด้านระยะทางนั้นต้องมีระดับของปัจจัยเข้าใกล้ค่าต่ำที่สุดและปัจจัยทางด้านความเร็วต้องมีระดับปัจจัยใกล้ค่าสูงที่สุด แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้มีค่าเป้าหมายด้านค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นระดับของปัจจัยในด้านความเร็วอาจจะไม่สามารถใช้ระดับของปัจจัยที่สูงที่สุดได้เพราะอาจจะส่งผลให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานมีค่าสูงเกินกว่าที่ลูกค้ากำหนดได้ ดังนั้นผู้วิจัยได้นำ DOE มาช่วยหาค่าที่เหมาะสม โดยพิจารณาตัวแปรตอบสนองทั้งสองตัวไปพร้อมกัน เพื่อให้ได้ค่ารอบเวลาต่ำที่สุดและความหยาบไม่เกินเป้าหมาย

ตารางที่ 6. 3 ระดับของปัจจัยนำเข้าทั้ง 6 ตัว

สัญลักษณ์ ของปัจจัย	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		หน่วย
		ต่ำ (-)	สูง (+)	
A	จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Starting position)	0.0250	0.0350	มิลลิเมตร
B	จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด (Fine Grinding Starting position)	0.0050	0.0100	มิลลิเมตร
C	ความเร็วในการขัดหยาบ 1 (Rough Grinding 1 Speed)	0.0500	0.0550	มิลลิเมตร / วินาที
D	ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed)	0.0370	0.0470	มิลลิเมตร / วินาที
E	ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed)	0.0300	0.0400	มิลลิเมตร / วินาที
F	ความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed)	0.0040	0.0045	มิลลิเมตร / วินาที

6.2 กำหนดรูปแบบการทดลอง

ในขั้นตอนนี้จะทำการเลือกการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design แบบ Half design โดยไม่ใส่ Block ดังนั้นจะได้จำนวนการทดลอง (run) ทั้งหมดเท่ากับ 53 การทดลอง ดังรูปที่ 6.1 และในการดำเนินการออกแบบการทดลองได้นำเอาโปรแกรม Minitab เข้ามาช่วยในการสร้างตารางการออกแบบ (Design Matrix) รายละเอียดเป็นดังรูปที่ 6.2 และตารางที่ 6.3

แต่เนื่องจากการทดลองแบบ Central composite design สามารถทำเนื่องจากการทำการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลและมีจุดศูนย์กลาง (One Half-Fraction Factorial Design with Center Point : 2^{k-1}) จากบที่ 5 ได้ ดังนั้นเราสามารถนำการทดลอง 33 การทดลองก่อนหน้านี้มาใช้ได้ โดยที่ผู้ทำวิจัยจะได้ทำการทดลองเพิ่มอีก 20 การทดลอง ซึ่งจะทำให้เท่ากับ 53 การทดลอง ตามที่ได้ออกแบบไว้ตาม รูปที่ 6.1 และในการทดลองนี้ ผู้ทำวิจัยจะทำการเก็บผลการทดลอง 10 ข้อมูลต่อการทดลอง 1 ครั้ง หลังจากนั้นจะนำค่าเฉลี่ยจากข้อมูลทั้ง 10 ข้อมูลในการวิเคราะห์ต่อไป

Create Response Surface Design - Display Available Designs

Available Response Surface Designs (with Number of Runs)

Design		Factors								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Central Composite full	unblocked	13	20	31	52	90	152			
	blocked	14	20	30	54	90	160			
Central Composite half	unblocked				32	53	88	154		
	blocked				33	54	90	160		
Central composite quarter	unblocked							90	156	
	blocked							90	160	
Central Composite eighth	unblocked									158
	blocked									160
Box-Behnken	unblocked		15	27	46	54	62		130	170
	blocked			27	46	54	62		130	170

Help OK

รูปที่ 6. 1 รายละเอียดการเลือกแบบการทดลองและจำนวนทดลองโดยโปรแกรม Minitab

Central Composite Design

Factors: 6 Replicates: 1
 Base runs: 53 Total runs: 53
 Base blocks: 1 Total blocks: 1

Two-level factorial: Half fraction

Cube points: 32
 Center points in cube: 9
 Axial points: 12
 Center points in axial: 0

Alpha: 2.37841

รูปที่ 6. 2 รายละเอียดการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab

ตารางที่ 6. 4 ตารางการออกแบบเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

Case	M/C Condition						Cycle Time (sec.)									
	A	B	C	D	E	F	CT_1	CT_2	CT_3	CT_4	CT_5	CT_6	CT_7	CT_8	CT_9	CT_10
1	0.025	0.005	0.05	0.037	0.03	0.004										
2	0.035	0.005	0.05	0.037	0.03	0.005										
3	0.025	0.01	0.05	0.037	0.03	0.005										
4	0.035	0.01	0.05	0.037	0.03	0.004										
5	0.025	0.005	0.055	0.037	0.03	0.005										
6	0.035	0.005	0.055	0.037	0.03	0.004										
7	0.025	0.01	0.055	0.037	0.03	0.004										
8	0.035	0.01	0.055	0.037	0.03	0.005										
9	0.025	0.005	0.05	0.047	0.03	0.005										
10	0.035	0.005	0.05	0.047	0.03	0.004										
11	0.025	0.01	0.05	0.047	0.03	0.004										
12	0.035	0.01	0.05	0.047	0.03	0.005										
13	0.025	0.005	0.055	0.047	0.03	0.004										
14	0.035	0.005	0.055	0.047	0.03	0.005										
15	0.025	0.01	0.055	0.047	0.03	0.005										
16	0.035	0.01	0.055	0.047	0.03	0.004										
17	0.025	0.005	0.05	0.037	0.04	0.005										
18	0.035	0.005	0.05	0.037	0.04	0.004										
19	0.025	0.01	0.05	0.037	0.04	0.004										
20	0.035	0.01	0.05	0.037	0.04	0.005										
21	0.025	0.005	0.055	0.037	0.04	0.004										
22	0.035	0.005	0.055	0.037	0.04	0.005										
23	0.025	0.01	0.055	0.037	0.04	0.005										
24	0.035	0.01	0.055	0.037	0.04	0.004										
25	0.025	0.005	0.05	0.047	0.04	0.004										
26	0.035	0.005	0.05	0.047	0.04	0.005										
27	0.025	0.01	0.05	0.047	0.04	0.005										
28	0.035	0.01	0.05	0.047	0.04	0.004										
29	0.025	0.005	0.055	0.047	0.04	0.005										
30	0.035	0.005	0.055	0.047	0.04	0.004										
31	0.025	0.01	0.055	0.047	0.04	0.004										
32	0.035	0.01	0.055	0.047	0.04	0.005										
33	0.025	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
34	0.035	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
35	0.03	0.005	0.053	0.042	0.035	0.004										
36	0.03	0.01	0.053	0.042	0.035	0.004										
37	0.03	0.008	0.05	0.042	0.035	0.004										
38	0.03	0.008	0.055	0.042	0.035	0.004										
39	0.03	0.008	0.053	0.037	0.035	0.004										
40	0.03	0.008	0.053	0.047	0.035	0.004										
41	0.03	0.008	0.053	0.042	0.03	0.004										
42	0.03	0.008	0.053	0.042	0.04	0.004										
43	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
44	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.005										
45	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
46	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
47	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
48	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
49	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
50	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
51	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
52	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
53	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										

หมายเหตุ : A : Rough2 Start B : Fine Start C : Rough1 Speed D : Rough2 Speed
E : Rough3 Speed F : Fine Speed

ตารางที่ 6.3 ตารางการออกแบบเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง (ต่อ)

Case	M/C Condition						Roughness (um)									
	A	B	C	D	E	F	Ra_1	Ra_2	Ra_3	Ra_4	Ra_5	Ra_6	Ra_7	Ra_8	Ra_9	Ra_10
1	0.025	0.005	0.05	0.037	0.03	0.004										
2	0.035	0.005	0.05	0.037	0.03	0.005										
3	0.025	0.01	0.05	0.037	0.03	0.005										
4	0.035	0.01	0.05	0.037	0.03	0.004										
5	0.025	0.005	0.055	0.037	0.03	0.005										
6	0.035	0.005	0.055	0.037	0.03	0.004										
7	0.025	0.01	0.055	0.037	0.03	0.004										
8	0.035	0.01	0.055	0.037	0.03	0.005										
9	0.025	0.005	0.05	0.047	0.03	0.005										
10	0.035	0.005	0.05	0.047	0.03	0.004										
11	0.025	0.01	0.05	0.047	0.03	0.004										
12	0.035	0.01	0.05	0.047	0.03	0.005										
13	0.025	0.005	0.055	0.047	0.03	0.004										
14	0.035	0.005	0.055	0.047	0.03	0.005										
15	0.025	0.01	0.055	0.047	0.03	0.005										
16	0.035	0.01	0.055	0.047	0.03	0.004										
17	0.025	0.005	0.05	0.037	0.04	0.005										
18	0.035	0.005	0.05	0.037	0.04	0.004										
19	0.025	0.01	0.05	0.037	0.04	0.004										
20	0.035	0.01	0.05	0.037	0.04	0.005										
21	0.025	0.005	0.055	0.037	0.04	0.004										
22	0.035	0.005	0.055	0.037	0.04	0.005										
23	0.025	0.01	0.055	0.037	0.04	0.005										
24	0.035	0.01	0.055	0.037	0.04	0.004										
25	0.025	0.005	0.05	0.047	0.04	0.004										
26	0.035	0.005	0.05	0.047	0.04	0.005										
27	0.025	0.01	0.05	0.047	0.04	0.005										
28	0.035	0.01	0.05	0.047	0.04	0.004										
29	0.025	0.005	0.055	0.047	0.04	0.005										
30	0.035	0.005	0.055	0.047	0.04	0.004										
31	0.025	0.01	0.055	0.047	0.04	0.004										
32	0.035	0.01	0.055	0.047	0.04	0.005										
33	0.025	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
34	0.035	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
35	0.03	0.005	0.053	0.042	0.035	0.004										
36	0.03	0.01	0.053	0.042	0.035	0.004										
37	0.03	0.008	0.05	0.042	0.035	0.004										
38	0.03	0.008	0.055	0.042	0.035	0.004										
39	0.03	0.008	0.053	0.037	0.035	0.004										
40	0.03	0.008	0.053	0.047	0.035	0.004										
41	0.03	0.008	0.053	0.042	0.03	0.004										
42	0.03	0.008	0.053	0.042	0.04	0.004										
43	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
44	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.005										
45	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
46	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
47	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
48	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
49	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
50	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
51	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
52	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										
53	0.03	0.008	0.053	0.042	0.035	0.004										

หมายเหตุ : A : Rough2 Start B : Fine Start C : Rough1 Speed D : Rough2 Speed
E : Rough3 Speed F : Fine Speed

6.3 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง

ผู้วิจัยดำเนินการทดลองตามลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab โดยดำเนินการเหมือนเดิมโดยทำการทดลองตามขั้นตอน ในหัวข้อที่ 5.4

6.4 ผลการดำเนินการทดลอง

หลังจากการดำเนินการทดลองตามขั้นตอนข้างต้นแล้วนั้น ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 6.4

6.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ขั้นตอนนี้จะทำการวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด สำหรับการลดรอบเวลาการผลิตและควบคุมค่าความหยาบไม่ให้เกินค่าที่ลูกค้ากำหนด

6.5.1 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อเวลาที่ใช้ในการผลิต

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Minitab มาวิเคราะห์จะได้ว่าปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิตที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือปัจจัย A จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Starting position), ปัจจัย B จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด (Fine Grinding Starting position), ปัจจัย C ความเร็วในการขัดหยาบ 1 (Rough Grinding 1 Speed), ปัจจัย D ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed), และปัจจัย E ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed) ดังรูปที่ 6.3

6.5.2 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อความหยาบผิวของชิ้นงาน

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Minitab มาวิเคราะห์จะได้ว่าปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อความหยาบผิวของชิ้นงานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือปัจจัย D ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed), ปัจจัย E ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed) และปัจจัย F ความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed) ซึ่งเป็นปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย E ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed) และปัจจัย F ความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed) ดังรูปที่ 6.4

ตารางที่ 6. 5 ตารางผลการทดลอง Central composite design (CCD)

Case	M/C Condition						Cycle Time (sec.)									
	A	B	C	D	E	F	CT_1	CT_2	CT_3	CT_4	CT_5	CT_6	CT_7	CT_8	CT_9	CT_10
1	0.0250	0.0050	0.0500	0.0370	0.0300	0.0040	2.85	2.85	2.80	2.85	2.75	2.80	2.90	2.85	2.80	2.80
2	0.0350	0.0050	0.0500	0.0370	0.0300	0.0045	3.00	3.00	3.10	3.00	3.10	2.95	3.00	3.00	2.95	3.00
3	0.0250	0.0100	0.0500	0.0370	0.0300	0.0045	2.85	2.90	2.85	2.90	2.90	2.80	2.80	2.85	2.85	2.90
4	0.0350	0.0100	0.0500	0.0370	0.0300	0.0040	3.15	3.15	3.10	3.00	3.00	3.20	3.10	3.00	3.00	3.10
5	0.0250	0.0050	0.0550	0.0370	0.0300	0.0045	2.80	2.80	2.75	2.75	2.70	2.70	2.70	2.75	2.80	2.80
6	0.0350	0.0050	0.0550	0.0370	0.0300	0.0040	2.95	3.00	2.95	3.00	2.90	2.90	3.00	2.90	2.95	2.90
7	0.0250	0.0100	0.0550	0.0370	0.0300	0.0040	2.85	2.85	2.85	2.95	2.80	2.85	2.85	2.85	2.90	2.90
8	0.0350	0.0100	0.0550	0.0370	0.0300	0.0045	2.95	3.00	2.95	3.00	2.90	2.90	3.00	3.00	2.95	3.00
9	0.0250	0.0050	0.0500	0.0470	0.0300	0.0045	2.80	2.70	2.80	2.75	2.75	2.75	2.80	2.80	2.80	2.80
10	0.0350	0.0050	0.0500	0.0470	0.0300	0.0040	2.95	2.90	2.95	2.95	2.90	3.00	3.05	3.00	2.95	3.00
11	0.0250	0.0100	0.0500	0.0470	0.0300	0.0040	2.85	2.85	2.90	2.85	2.90	2.75	2.90	2.85	2.80	2.80
12	0.0350	0.0100	0.0500	0.0470	0.0300	0.0045	2.95	3.05	3.00	2.95	3.10	3.00	3.05	3.00	2.95	3.00
13	0.0250	0.0050	0.0550	0.0470	0.0300	0.0040	2.75	2.75	2.75	2.70	2.75	2.75	2.75	2.70	2.75	2.70
14	0.0350	0.0050	0.0550	0.0470	0.0300	0.0045	2.95	2.85	3.00	2.95	2.90	3.00	2.85	3.00	2.80	2.95
15	0.0250	0.0100	0.0550	0.0470	0.0300	0.0045	2.85	2.85	2.80	2.85	2.75	2.75	2.90	2.85	2.80	2.80
16	0.0350	0.0100	0.0550	0.0470	0.0300	0.0040	2.95	3.00	2.95	3.00	2.90	2.90	3.00	2.90	2.95	2.90
17	0.0250	0.0050	0.0500	0.0370	0.0400	0.0045	2.80	2.75	2.80	2.75	2.75	2.75	2.85	2.85	2.85	2.80
18	0.0350	0.0050	0.0500	0.0370	0.0400	0.0040	2.95	2.85	3.00	2.95	2.90	3.00	2.85	3.00	2.90	2.95
19	0.0250	0.0100	0.0500	0.0370	0.0400	0.0040	2.80	2.85	2.80	2.85	2.80	2.90	2.80	2.80	2.80	2.85
20	0.0350	0.0100	0.0500	0.0370	0.0400	0.0045	2.95	3.10	3.10	3.00	3.10	3.15	3.10	2.90	3.00	3.00
21	0.0250	0.0050	0.0550	0.0370	0.0400	0.0040	2.80	2.70	2.75	2.80	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.70
22	0.0350	0.0050	0.0550	0.0370	0.0400	0.0045	2.95	2.85	3.00	2.95	2.90	3.00	2.85	3.00	2.80	2.95
23	0.0250	0.0100	0.0550	0.0370	0.0400	0.0045	2.80	2.80	2.85	2.90	2.80	2.85	2.85	2.80	2.80	2.85
24	0.0350	0.0100	0.0550	0.0370	0.0400	0.0040	2.95	3.00	2.95	3.00	2.90	2.90	3.00	3.00	2.95	3.00
25	0.0250	0.0050	0.0500	0.0470	0.0400	0.0040	2.80	2.80	2.75	2.75	2.70	2.70	2.70	2.75	2.80	2.80
26	0.0350	0.0050	0.0500	0.0470	0.0400	0.0045	2.95	2.85	3.00	2.95	2.90	3.00	2.85	3.00	2.80	2.95
27	0.0250	0.0100	0.0500	0.0470	0.0400	0.0045	2.90	2.85	2.80	2.85	2.80	2.80	2.90	2.85	2.80	2.80
28	0.0350	0.0100	0.0500	0.0470	0.0400	0.0040	2.95	3.00	2.95	3.00	2.90	3.10	3.00	3.00	2.95	3.00
29	0.0250	0.0050	0.0550	0.0470	0.0400	0.0045	2.70	2.70	2.75	2.65	2.75	2.75	2.60	2.70	2.65	2.65
30	0.0350	0.0050	0.0550	0.0470	0.0400	0.0040	2.95	2.85	3.00	2.95	2.90	3.00	2.85	2.95	2.80	2.90
31	0.0250	0.0100	0.0550	0.0470	0.0400	0.0040	2.80	2.80	2.85	2.90	2.80	2.85	2.85	2.85	2.80	2.85
32	0.0350	0.0100	0.0550	0.0470	0.0400	0.0045	2.95	3.00	3.00	2.95	2.90	3.00	2.90	2.95	2.90	2.90
33	0.0250	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	2.95	3.00	2.95	2.95	3.00	2.90	2.95	2.95	3.00	3.00
34	0.0350	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	2.70	2.70	2.70	2.80	2.75	2.75	2.75	2.75	2.70	2.70
35	0.0300	0.005	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	2.95	2.95	2.95	2.95	3.00	2.90	2.95	2.95	3.00	3.00
36	0.0300	0.1000	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	2.75	2.80	2.75	2.65	2.70	2.80	2.70	2.75	2.80	2.70
37	0.0300	0.008	0.0500	0.0420	0.0350	0.0043	3.00	2.95	2.85	2.90	3.00	3.00	2.95	2.90	2.85	3.00
38	0.0300	0.008	0.0550	0.0420	0.0350	0.0043	2.80	2.75	2.80	2.70	2.70	2.75	2.75	2.80	2.70	2.80
39	0.0300	0.008	0.0525	0.0370	0.0350	0.0043	2.90	2.95	2.90	2.95	2.95	2.90	2.85	2.95	2.90	2.90
40	0.0300	0.008	0.0525	0.0470	0.0350	0.0043	2.85	2.75	2.80	2.75	2.85	2.85	2.70	2.80	2.85	2.70
41	0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0300	0.0043	2.90	2.85	2.95	2.85	2.90	2.90	2.85	2.95	2.90	2.85
42	0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0400	0.0043	2.80	2.80	2.75	2.75	2.90	2.90	2.85	2.85	2.80	2.90
43	0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0040	2.90	2.90	2.80	2.80	2.85	2.95	2.90	2.85	2.80	2.80
44	0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0045	2.80	2.85	2.85	2.90	2.85	2.85	2.85	2.90	2.85	2.90
45	0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	2.90	2.85	2.80	2.85	2.85	2.90	2.90	2.80	2.90	2.85
46	0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	2.80	2.80	2.85	2.90	2.80	2.85	2.80	2.90	2.85	2.90
47	0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	2.85	2.90	2.85	2.80	2.90	2.85	2.80	2.90	2.85	2.85
48	0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	2.80	2.80	2.85	2.90	2.90	2.85	2.80	2.90	2.90	2.85
49	0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	2.80	2.90	2.85	2.75	2.80	2.85	2.75	2.90	2.80	2.90
50	0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	2.85	2.90	2.85	2.85	2.80	2.85	2.85	2.80	2.85	2.85
51	0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	2.80	2.80	2.85	2.90	2.85	2.85	2.85	2.90	2.90	2.85
52	0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	2.85	2.85	2.95	2.85	2.80	2.80	2.85	2.85	2.90	2.90
53	0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	2.90	2.80	2.85	2.95	2.90	2.80	2.80	2.75	2.80	2.95

ตารางที่ 6.4 ตารางผลการทดลอง Central composite design (CCD) (ต่อ)

M/C Condition						Roughness (um)									
A	B	C	D	E	F	Ra_1	Ra_2	Ra_3	Ra_4	Ra_5	Ra_6	Ra_7	Ra_8	Ra_9	Ra_10
0.0250	0.0050	0.0500	0.0370	0.0300	0.0040	0.754	0.755	0.757	0.749	0.758	0.752	0.744	0.756	0.747	0.764
0.0350	0.0050	0.0500	0.0370	0.0300	0.0045	0.868	0.871	0.866	0.884	0.882	0.870	0.867	0.872	0.888	0.865
0.0250	0.0100	0.0500	0.0370	0.0300	0.0045	0.885	0.912	0.897	0.890	0.880	0.885	0.877	0.892	0.891	0.875
0.0350	0.0100	0.0500	0.0370	0.0300	0.0040	0.754	0.755	0.757	0.749	0.758	0.752	0.744	0.756	0.747	0.764
0.0250	0.0050	0.0550	0.0370	0.0300	0.0045	0.867	0.890	0.867	0.868	0.875	0.841	0.889	0.872	0.876	0.854
0.0350	0.0050	0.0550	0.0370	0.0300	0.0040	0.749	0.750	0.750	0.736	0.749	0.762	0.760	0.748	0.734	0.851
0.0250	0.0100	0.0550	0.0370	0.0300	0.0040	0.749	0.751	0.765	0.759	0.750	0.782	0.752	0.759	0.757	0.754
0.0350	0.0100	0.0550	0.0370	0.0300	0.0045	0.866	0.877	0.888	0.876	0.859	0.873	0.861	0.857	0.860	0.865
0.0250	0.0050	0.0500	0.0470	0.0300	0.0045	0.918	0.926	0.914	0.923	0.924	0.928	0.926	0.922	0.936	0.924
0.0350	0.0050	0.0500	0.0470	0.0300	0.0040	0.809	0.814	0.810	0.811	0.818	0.827	0.800	0.826	0.788	0.803
0.0250	0.0100	0.0500	0.0470	0.0300	0.0040	0.802	0.799	0.800	0.806	0.788	0.774	0.810	0.802	0.794	0.789
0.0350	0.0100	0.0500	0.0470	0.0300	0.0045	0.913	0.931	0.936	0.913	0.916	0.922	0.900	0.915	0.892	0.913
0.0250	0.0050	0.0550	0.0470	0.0300	0.0040	0.786	0.777	0.800	0.794	0.791	0.798	0.797	0.780	0.793	0.785
0.0350	0.0050	0.0550	0.0470	0.0300	0.0045	0.906	0.924	0.932	0.903	0.927	0.926	0.911	0.987	0.889	0.900
0.0250	0.0100	0.0550	0.0470	0.0300	0.0045	0.900	0.914	0.910	0.911	0.918	0.927	0.910	0.926	0.899	0.908
0.0350	0.0100	0.0550	0.0470	0.0300	0.0040	0.809	0.814	0.810	0.801	0.804	0.812	0.800	0.823	0.797	0.808
0.0250	0.0050	0.0500	0.0370	0.0400	0.0045	0.963	0.942	0.974	0.951	0.986	0.941	0.961	0.970	0.921	0.954
0.0350	0.0050	0.0500	0.0370	0.0400	0.0040	0.844	0.851	0.850	0.859	0.850	0.852	0.853	0.855	0.857	0.854
0.0250	0.0100	0.0500	0.0370	0.0400	0.0040	0.851	0.883	0.854	0.849	0.835	0.835	0.879	0.845	0.860	0.849
0.0350	0.0100	0.0500	0.0370	0.0400	0.0045	0.985	0.997	0.990	0.994	1.008	0.983	0.997	0.982	0.975	0.985
0.0250	0.0050	0.0550	0.0370	0.0400	0.0040	0.849	0.850	0.850	0.836	0.849	0.862	0.860	0.848	0.834	0.851
0.0350	0.0050	0.0550	0.0370	0.0400	0.0045	0.970	0.983	1.008	0.994	0.974	0.983	0.982	0.968	0.976	0.975
0.0250	0.0100	0.0550	0.0370	0.0400	0.0045	0.968	0.971	0.966	0.984	0.982	0.970	0.967	0.972	0.988	0.965
0.0350	0.0100	0.0550	0.0370	0.0400	0.0040	0.844	0.851	0.850	0.859	0.850	0.852	0.854	0.859	0.857	0.855
0.0250	0.0050	0.0500	0.0470	0.0400	0.0040	0.876	0.890	0.867	0.868	0.875	0.861	0.889	0.872	0.876	0.903
0.0350	0.0050	0.0500	0.0470	0.0400	0.0045	1.002	1.103	1.109	1.121	1.101	1.075	1.106	1.012	1.028	1.034
0.0250	0.0100	0.0500	0.0470	0.0400	0.0045	1.035	0.983	1.008	0.982	1.078	1.102	1.091	1.183	1.054	1.099
0.0350	0.0100	0.0500	0.0470	0.0400	0.0040	0.886	0.877	0.900	0.893	0.892	0.898	0.897	0.880	0.893	0.885
0.0250	0.0050	0.0550	0.0470	0.0400	0.0045	1.102	1.113	1.054	1.031	1.201	1.075	1.106	1.122	1.008	1.100
0.0350	0.0050	0.0550	0.0470	0.0400	0.0040	0.902	0.892	0.900	0.905	0.889	0.875	0.910	0.902	0.892	0.909
0.0250	0.0100	0.0550	0.0470	0.0400	0.0040	0.909	0.876	0.910	0.911	0.918	0.907	0.900	0.887	0.899	0.909
0.0350	0.0100	0.0550	0.0470	0.0400	0.0045	1.113	1.097	0.998	1.065	1.058	1.108	0.997	0.989	1.046	1.112
0.0250	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	0.872	0.936	0.894	0.919	0.923	0.896	0.905	0.943	0.890	0.894
0.0350	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	0.914	0.902	0.896	0.956	0.947	0.930	0.928	0.949	0.924	0.918
0.0300	0.005	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	0.878	0.893	0.929	0.882	0.945	0.951	0.908	0.947	0.912	0.880
0.0300	0.1000	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	0.938	0.945	0.918	0.922	0.906	0.935	0.913	0.952	0.928	0.909
0.0300	0.008	0.0500	0.0420	0.0350	0.0043	0.900	0.855	0.912	0.925	0.877	0.869	0.922	0.938	0.903	0.884
0.0300	0.008	0.0550	0.0420	0.0350	0.0043	0.910	0.938	0.927	0.953	0.926	0.944	0.905	0.918	0.924	0.930
0.0300	0.008	0.0525	0.0370	0.0350	0.0043	0.888	0.892	0.904	0.866	0.853	0.896	0.900	0.891	0.905	0.878
0.0300	0.008	0.0525	0.0470	0.0350	0.0043	0.920	0.958	0.944	0.917	0.938	0.923	0.946	0.904	0.911	0.936
0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0300	0.0043	0.828	0.960	0.839	0.854	0.865	0.837	0.881	0.890	0.842	0.888
0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0400	0.0043	0.909	0.945	0.922	0.948	0.955	0.892	0.938	0.949	0.940	0.932
0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0040	0.840	0.872	0.826	0.877	0.865	0.823	0.869	0.881	0.842	0.850
0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0045	0.922	0.946	0.907	0.963	0.942	0.935	0.961	0.911	0.920	0.938
0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	0.932	0.904	0.874	0.941	0.956	0.887	0.894	0.958	0.906	0.912
0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	0.936	0.910	0.942	0.903	0.875	0.924	0.931	0.913	0.876	0.914
0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	0.873	0.922	0.927	0.864	0.936	0.966	0.905	0.937	0.911	0.920
0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	0.897	0.932	0.934	0.862	0.969	0.895	0.946	0.909	0.912	0.888
0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	0.926	0.863	0.956	0.926	0.934	0.882	0.892	0.936	0.914	0.875
0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	0.948	0.833	0.961	0.937	0.889	0.984	0.933	0.916	0.878	0.929
0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	0.928	0.886	0.865	0.962	0.919	0.984	0.933	0.916	0.878	0.929
0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	0.943	0.933	0.891	0.875	0.929	0.884	0.948	0.956	0.899	0.928
0.0300	0.008	0.0525	0.0420	0.0350	0.0043	0.913	0.922	0.898	0.931	0.906	0.931	0.921	0.920	0.901	0.904

Estimated Regression Coefficients for Cycle Time				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	2.86155	0.007905	361.999	0.000
A	0.07853	0.005630	13.948	0.000
B	0.03088	0.005630	5.485	0.000
C	-0.01941	0.005630	-3.448	0.002
D	-0.01824	0.005630	-3.239	0.003
E	-0.01471	0.005630	-2.612	0.015
F	-0.00382	0.005630	-0.679	0.503
A*A	0.00406	0.021258	0.191	0.850
B*B	0.02406	0.021258	1.132	0.268
C*C	0.01406	0.021258	0.661	0.514
D*D	-0.02594	0.021258	-1.220	0.234
E*E	0.00406	0.021258	0.191	0.850
F*F	-0.00094	0.021258	-0.044	0.965
A*B	-0.01000	0.005803	-1.723	0.097
A*C	-0.00781	0.005803	-1.346	0.190
A*D	-0.00344	0.005803	-0.592	0.559
A*E	-0.00344	0.005803	-0.592	0.559
A*F	0.00031	0.005803	0.054	0.957
B*C	-0.00094	0.005803	-0.162	0.873
B*D	-0.00094	0.005803	-0.162	0.873
B*E	0.00156	0.005803	0.269	0.790
B*F	-0.00281	0.005803	-0.485	0.632
C*D	0.00063	0.005803	0.108	0.915
C*E	0.00313	0.005803	0.538	0.595
C*F	-0.00625	0.005803	-1.077	0.292
D*E	0.00125	0.005803	0.215	0.831
D*F	-0.00375	0.005803	-0.646	0.524
E*F	0.00125	0.005803	0.215	0.831
S = 0.0328289 PRESS = 0.150724				
R-Sq = 91.48% R-Sq(pred) = 52.34% R-Sq(adj) = 82.28%				

รูปที่ 6. 3 ผลการวิเคราะห์ CCD หาปัจจัยที่มีผลต่อรอบเวลาผลิต

Estimated Regression Coefficients for Roughness				
Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.909382	0.003827	237.611	0.000
A	0.001752	0.002726	0.643	0.526
B	0.000224	0.002726	0.082	0.935
C	0.000776	0.002726	0.285	0.778
D	0.025983	0.002726	9.532	0.000
E	0.054052	0.002726	19.830	0.000
F	0.066185	0.002726	24.280	0.000
A*A	0.004964	0.010292	0.482	0.634
B*B	-0.001336	0.010292	-0.130	0.898
C*C	-0.003536	0.010292	-0.344	0.734
D*D	0.001664	0.010292	0.162	0.873
E*E	-0.009936	0.010292	-0.965	0.344
F*F	-0.008186	0.010292	-0.795	0.434
A*B	-0.001929	0.002810	-0.686	0.499
A*C	0.000010	0.002810	0.004	0.997
A*D	0.000440	0.002810	0.157	0.877
A*E	0.000310	0.002810	0.110	0.913
A*F	-0.001421	0.002810	-0.506	0.617
B*C	-0.000854	0.002810	-0.304	0.764
B*D	-0.001171	0.002810	-0.417	0.680
B*E	-0.000154	0.002810	-0.055	0.957
B*F	-0.001835	0.002810	-0.653	0.520
C*D	0.001452	0.002810	0.517	0.610
C*E	0.001747	0.002810	0.622	0.540
C*F	-0.001871	0.002810	-0.666	0.512
D*E	0.004477	0.002810	1.594	0.124
D*F	0.005271	0.002810	1.876	0.072
E*F	0.008604	0.002810	3.062	0.005

S = 0.0158943 PRESS = 0.0305361
R-Sq = 97.79% R-Sq(pred) = 89.30% R-Sq(adj) = 95.40%

รูปที่ 6. 4 ผลการวิเคราะห์ CCD หาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิว

6.6 การวิเคราะห์ตัวแบบถดถอย

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยการวิเคราะห์ตัวแบบถดถอยพหุคูณ สามารถนำปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้งหมดคือของปัจจัย A : จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Starting position), ปัจจัย B : จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด (Fine Grinding Starting position), ปัจจัย C : ความเร็วในการขัดหยาบ 1 (Rough Grinding 1 Speed), ปัจจัย D: ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed), ปัจจัย E : ความเร็วในการขัดหยาบ (Rough Grinding Speed) และ ปัจจัย F : ความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed) กับตัวแปรตอบสนองมาหาความสัมพันธ์กัน โดยใช้โปรแกรม Minitab โดยผู้ทำวิจัยได้เลือกวิธีการแบบเพิ่มตัวแปรอิสระ

แบบขั้นบันได (Stepwise Regression) มาทำการทดสอบ โดยมีหลักการคือ จะพิจารณาตัดตัวแปรอิสระที่มีอยู่ในตัวแบบออกหลังจากเพิ่มตัวแปรอิสระตัวใหม่เข้าไปในตัวแบบ ทั้งนี้เนื่องจากตัวแปรอิสระเดิมที่อยู่เดิมในตัวแบบอาจมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระตัวใหม่ที่ใส่เข้าไปทำให้ไม่มีความจำเป็นในการเก็บตัวแปรอิสระเดิมไว้ในตัวแบบ ทำเช่นนี้เรื่อยไปจนไม่สามารถเพิ่มตัวแปรใหม่เข้าไปในตัวแบบหรือไม่สามารถตัดตัวแปรที่มีอยู่ในตัวแบบได้จึงจะหยุด ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 6.5 และ 6.6 ดังนี้

Stepwise Regression: Cycle Time versus A, B, C, D, E					
Alpha-to-Enter: 0.05 Alpha-to-Remove: 0.05					
Response is Cycle Time on 5 predictors, with N = 53					
Step	1	2	3	4	5
Constant	2.403	2.310	2.718	2.871	2.974
A	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
T-Value	10.02	11.89	12.95	14.19	15.20
P-Value	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B		12.4	12.4	12.4	12.4
T-Value		4.68	5.09	5.58	5.98
P-Value		0.000	0.000	0.000	0.000
C			-7.8	-7.8	-7.8
T-Value			-3.20	-3.51	-3.76
P-Value			0.002	0.001	0.000
D				-3.6	-3.6
T-Value				-3.29	-3.53
P-Value				0.002	0.001
E					-2.9
T-Value					-2.85
P-Value					0.007
S	0.0457	0.0385	0.0354	0.0323	0.0301
R-Sq	66.31	76.56	80.61	84.19	86.51
R-Sq(adj)	65.65	75.62	79.43	82.87	85.08

รูปที่ 6.5 ผลการวิเคราะห์ตัวแบบถดถอยสำหรับรอบเวลาการผลิตโดยวิธีแบบขั้นบันได

จากรูปที่ 6.5 การวิเคราะห์ตัวแบบถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรอิสระแบบขั้นบันได (Stepwise Regression) สำหรับผลตอบสนองรอบเวลาการผลิต แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตัวสนองมีทั้งหมด 4 ตัว คือ A : จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Starting position), ปัจจัย B : จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด (Fine Grinding Starting position), ปัจจัย C : ความเร็วใน

การขัดหยาบ 1 (Rough Grinding 1 Speed), ปัจจัย D: ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed) และปัจจัย E : ความเร็วในการขัดหยาบ (Rough Grinding Speed) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 6.1 โดยมีค่า R^2 (Adjust) = 85.08% ถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างสูง จึงถือได้ว่าสมการของรอบเวลาการผลิตมีความเหมาะสม

$$\begin{aligned} \text{Cycle Time} = & 2.974 + 15.7 (\text{Rough grinding 2 starting position}) \\ & +12.4 (\text{Fine grinding starting position}) -7.8 (\text{Rough grinding 1 speed}) \\ & -3.6 (\text{Rough grinding 2 speed}) -2.9 (\text{Rough grinding 3 speed}) \quad (6.1) \end{aligned}$$

Stepwise Regression: Roughness versus D, E, F, EF

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

Response is Roughness on 4 predictors, with N = 53

Step	1	2	3
Constant	0.4108	0.5205	0.3023
EF	3281	7551	7551
T-Value	10.40	14.76	25.08
P-Value	0.000	0.000	0.000
E		-21.3	-21.3
T-Value		-9.04	-15.36
P-Value		0.000	0.000
D			5.20
T-Value			9.77
P-Value			0.000
S	0.0423	0.0264	0.0155
R-Sq	67.95	87.83	95.87
R-Sq(adj)	67.32	87.34	95.62
Mallows Cp	324.2	94.8	3.1

รูปที่ 6. 6 ผลการวิเคราะห์ตัวแบบถดถอยสำหรับค่าความหยาบผิวโดยวิธีแบบขั้นบันได

จากรูปที่ 6.6 การวิเคราะห์ตัวแบบถดถอยแบบเพิ่มตัวแปรอิสระแบบขั้นบันได (Stepwise Regression) สำหรับผลตอบสนองค่าความหยาบผิว แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตัวสนองมี

ทั้งหมด 3 ตัว คือ ปัจจัย D: ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed), ปัจจัย E : ความเร็วในการขัดหยาบ (Rough Grinding Speed) และ อันตรกิริยาระหว่าง ปัจจัย E ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed) และปัจจัย F ความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 6.2 โดยที่มีค่า R^2 (Adjust) = 95.62% ถือว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างสูงจึงถือได้ว่าสมการของค่าความหยาบผิว มีความเหมาะสม

$$\begin{aligned} \text{Roughness} = & 0.3023 + 7551 (\text{Rough grinding 3 speed} * \text{Fine grinding speed}) \\ & -21.3 (\text{Rough grinding 3 speed}) + 5.20 (\text{Rough grinding 2 speed}) \quad (6.2) \end{aligned}$$

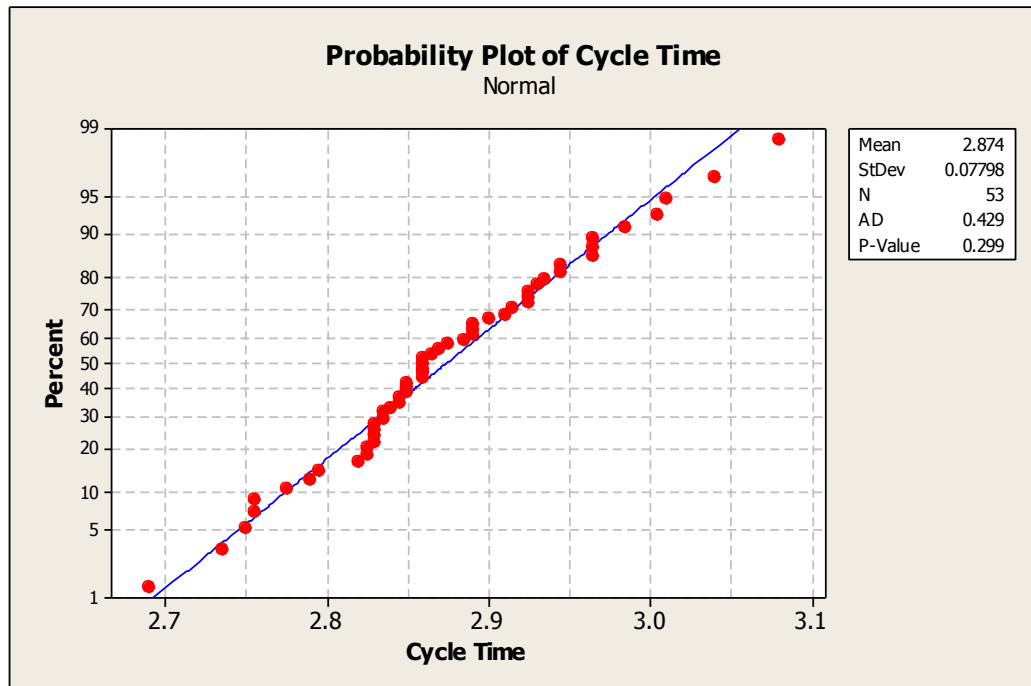
6.7 ตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลอง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองนั้นเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลก่อนนำมาวิเคราะห์ โดยจะทำการตรวจสอบว่าข้อมูลมีรูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ TextRun_{ij} TextRun NID (0, TextRun^2) หรือไม่ โดยทำการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองตามสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่ สมมติฐานการแจกแจงปกติ, สมมติฐานของความเป็นอิสระ และสมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

6.7.1 ตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลองสำหรับรอบเวลาการผลิต

1. การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)

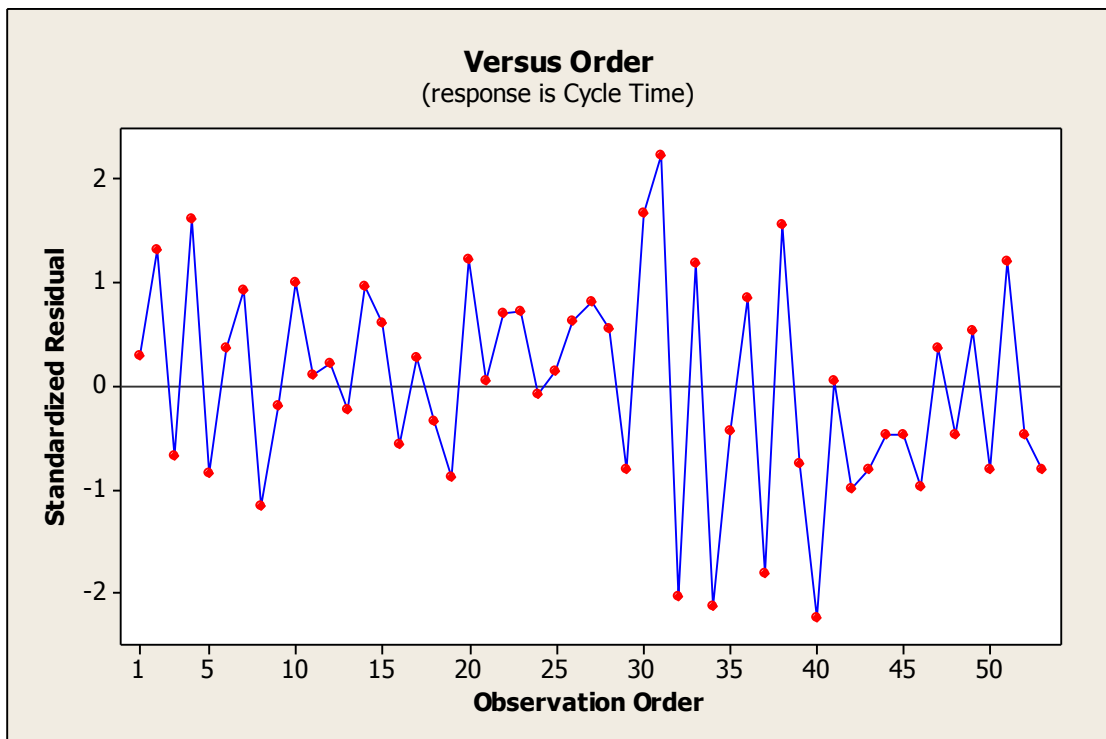
การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติหรือไม่และถ้าหากผลการทดสอบพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติจะมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ซึ่งจากรูปที่ 6.7 เป็นการทดสอบความเป็นปกติของรอบเวลาการผลิต พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ



รูปที่ 6. 7 แผนภาพ Probability Plot ของรอบเวลาการผลิต

2. การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Assumption)

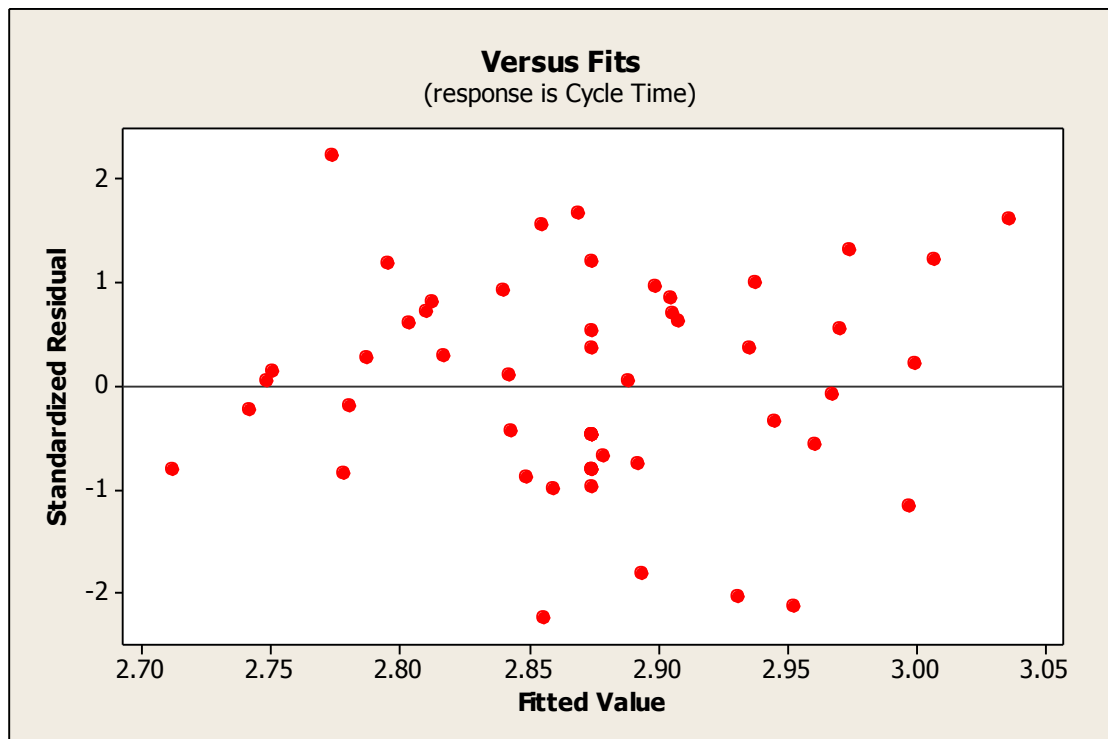
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independence of Residual) สามารถตรวจสอบได้จากการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับแรกของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยการกระจายตัวของส่วนตกค้างควรมีรูปแบบที่มีอิสระต่อกัน ไม่ควรมีลักษณะเป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบที่แน่นอน ซึ่งจากรูปที่ 6.8 เป็นการทดสอบความของส่วนตกค้างของรอบเวลาการผลิต พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 6. 8 แผนภาพ Residual Versus Order ของรอบเวลาการผลิต

3. การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน สามารถตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลเป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด ซึ่งจากรูปที่ 6.9 เป็นการทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของรอบเวลาการผลิต พบว่าข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบกรวยปากเปิด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

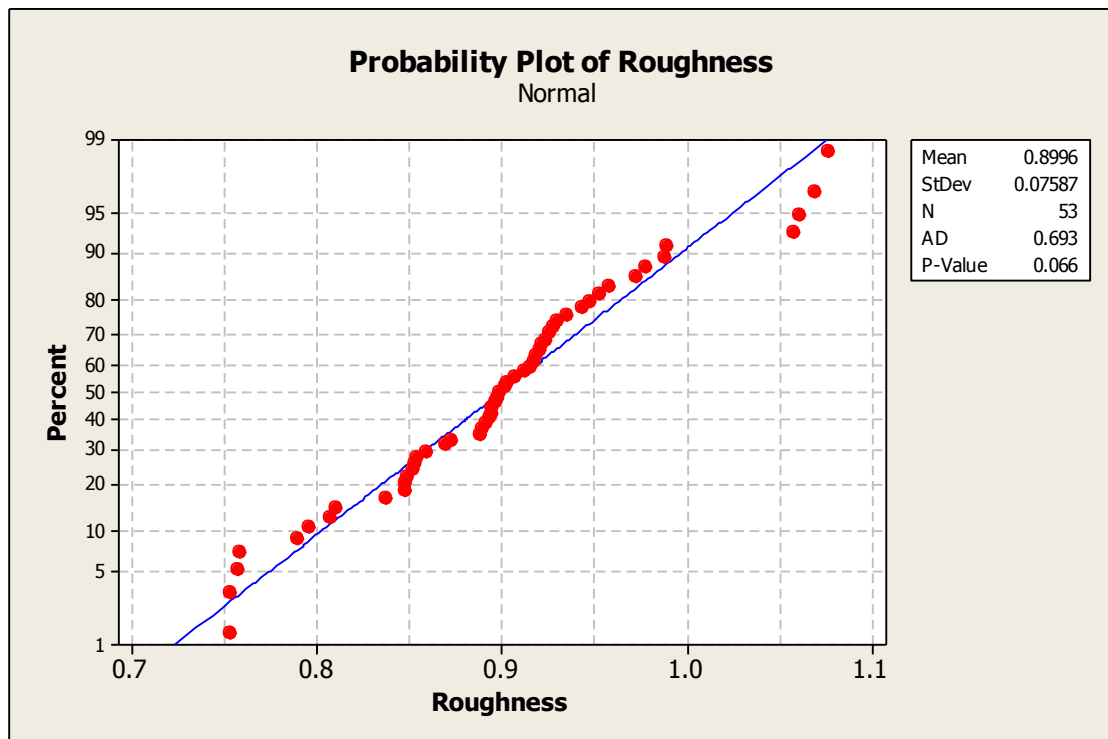


รูปที่ 6. 9 แผนภาพ Residual Versus Fitted Value ของรอบเวลาการผลิต

6.7.2 ตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลองสำหรับค่าความหยาบผิว

1. การทดสอบสมมติฐานการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)

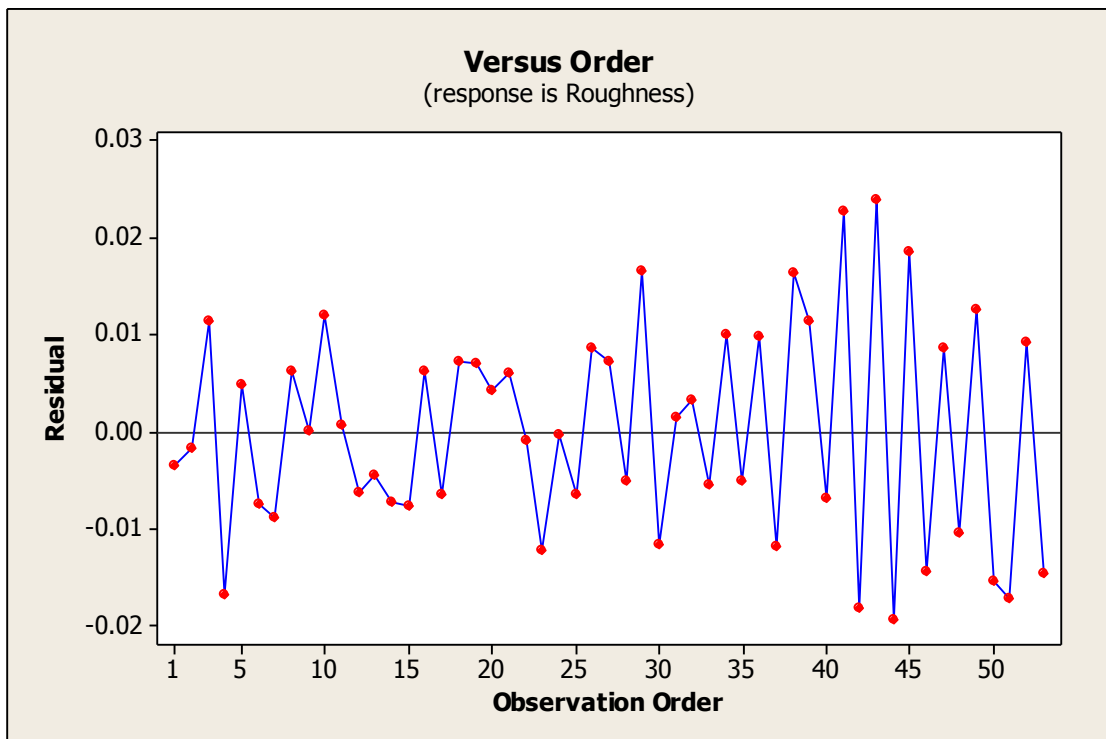
การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติหรือไม่และถ้าหากผลการทดสอบพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติจะมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ซึ่งจากรูปที่ 6.10 เป็นการทดสอบความเป็นปกติของค่าความหยาบผิว พบว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ



รูปที่ 6. 10 แผนภาพ Probability Plot ของค่าความหยาบผิว

2. การทดสอบสมมติฐานความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent Assumption)

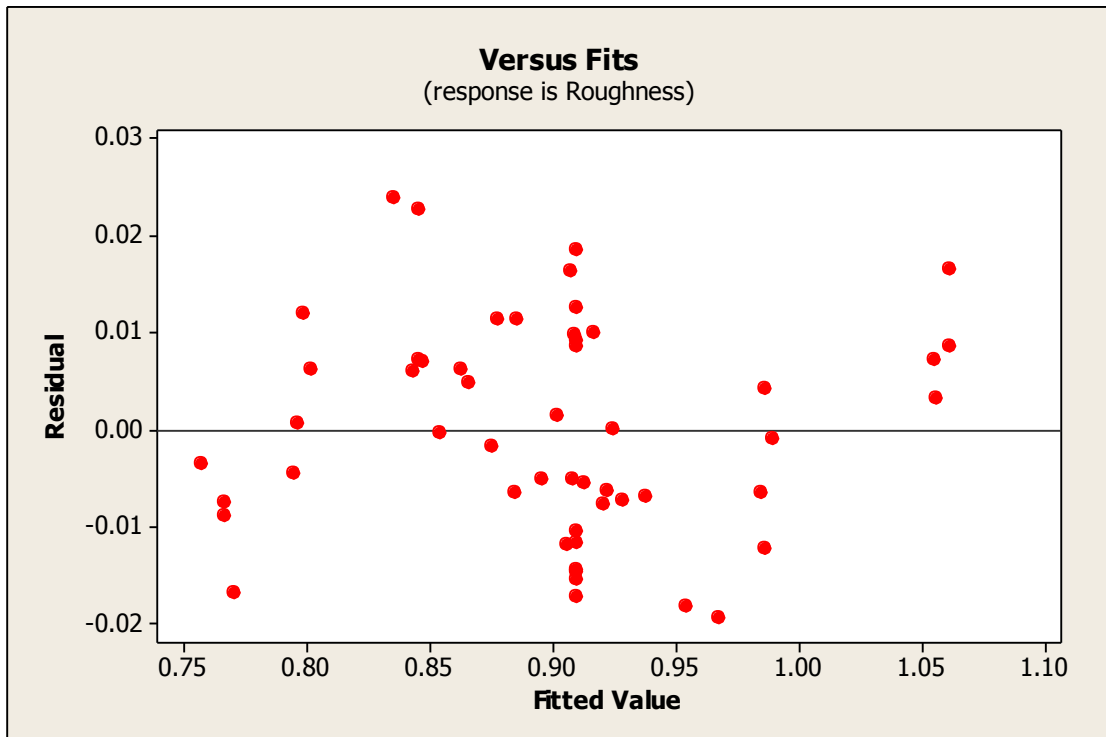
การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independence of Residual) สามารถตรวจสอบได้จากการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับแรกของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยการกระจายตัวของส่วนตกค้างควรมีรูปแบบที่มีอิสระต่อกัน ไม่ควรมีลักษณะเป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบที่แน่นอน ซึ่งจากรูปที่ 6.11 เป็นการทดสอบความของส่วนตกค้างของค่าความหยาบผิว พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 6. 11 แผนภาพ Residual Versus Order ของค่าความหยาบผิว

3. การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน (Variance Stability)

การทดสอบสมมติฐานความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน สามารถตรวจสอบได้โดยพิจารณาจากแผนภาพการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ซึ่งเป็นแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลเป็นแนวโน้ม หรือเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด ซึ่งจากรูปที่ 6.12 เป็นการทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนของค่าความหยาบผิว พบว่าข้อมูลไม่มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบกรวยปากเปิด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน



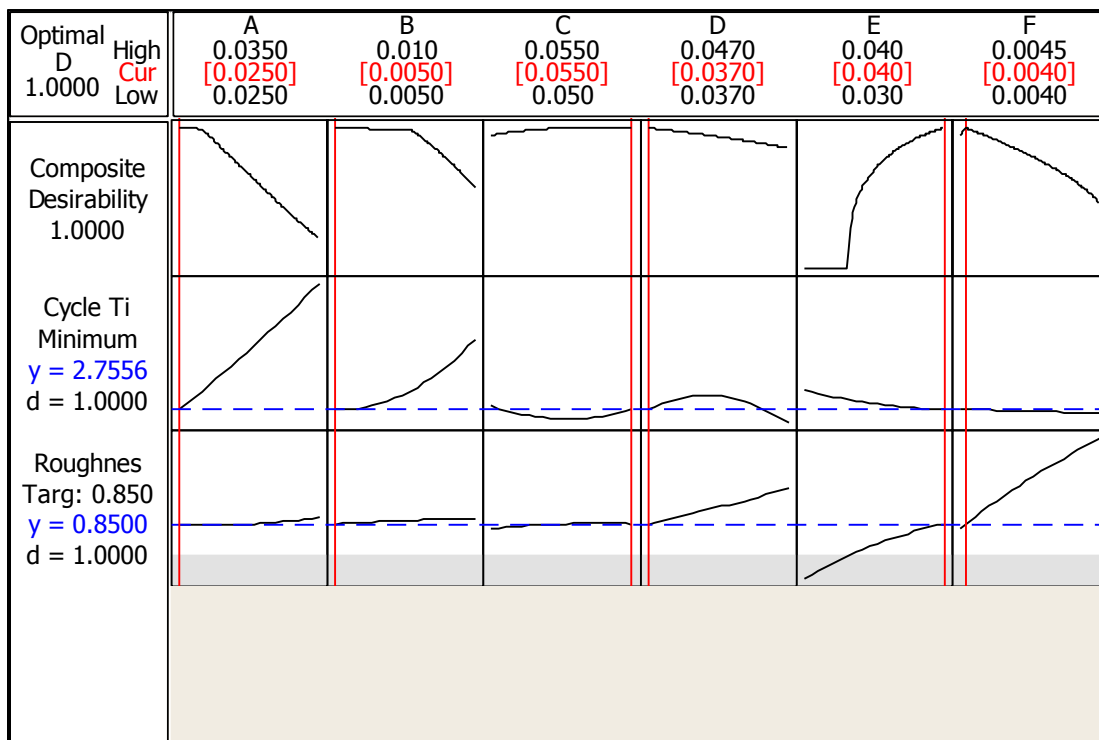
รูปที่ 6. 12 แผนภาพ Residual Versus Fitted Value ของค่าความหยาบผิว

6.8 การเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิต

จากตัวแบบถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์และทดสอบความถูกต้องแล้วข้างต้นแล้วนั้น ต่อไปผู้ทำวิจัยจะทำการพยากรณ์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักรด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab โดยที่กำหนดให้รอบเวลาในการผลิตที่น้อยที่สุด และค่าความหยาบผิวของชิ้นงานนั้นต้องไม่เกินค่าที่ลูกค้ากำหนด (1.0 um max) ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากฟังก์ชัน Response Optimizer ที่แสดงรายละเอียดในรูปที่ 6.9 ได้แก่

- A : จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ 2 คือ 0.025 มิลลิเมตร
- B : จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด คือ 0.005 มิลลิเมตร
- C : ความเร็วในการขัดหยาบ 1 คือ 0.055 มิลลิเมตร ต่อ วินาที
- D : ความเร็วในการขัดหยาบ 2 คือ 0.037 มิลลิเมตร ต่อ วินาที
- E : ความเร็วในการขัดหยาบ 3 คือ 0.040 มิลลิเมตร ต่อ วินาที
- F : ความเร็วในการขัดละเอียด คือ 0.004 มิลลิเมตร ต่อ วินาที

ซึ่งทำให้เวลาการผลิตเท่ากับ 2.76 วินาที และค่าความหยาบผิวเท่ากับ 0.85 ไมโครเมตร



รูปที่ 6. 13 รูปแสดงสถานะที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักรด้วยฟังก์ชัน Response Optimizer

6.9 การวิเคราะห์สถานะที่เหมาะสมสำหรับการผลิต

จากผลของฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab ที่แสดงในรูปที่ 6.9 นั้น ปัจจัยในเรื่องของระยะทางของการขัด ได้แก่ ปัจจัย A (จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ 2) และ ปัจจัย B (จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด) ซึ่งเมื่อมีค่าปรับตั้งที่ระดับต่ำลงจะส่งผลให้รอบเวลาในการผลิตต่ำลงเช่นกัน และปัจจัยเหล่านี้ยังไม่มีผลกระทบต่อค่าความหยาบผิว ดังนั้นสถานะที่เหมาะสมจึงเป็นที่ระดับต่ำ

ในส่วนของปัจจัยด้านความเร็ว ได้แก่ ปัจจัย C (ความเร็วในการขัดหยาบ 1) และปัจจัย E (ความเร็วในการขัดหยาบ 3) ซึ่งเมื่อมีค่าปรับตั้งที่ระดับสูงขึ้นจะส่งผลให้รอบเวลาในการผลิตต่ำลง และปัจจัยเหล่านี้ส่งผลกระทบบต่อค่าความหยาบน้อย ดังนั้นสถานะที่เหมาะสมจึงเป็นที่ระดับสูง แต่ปัจจัย D (ความเร็วในการขัดหยาบ 2) และปัจจัย F (ความเร็วในการขัดละเอียด) ซึ่งเป็นปัจจัยในเรื่องของความเร็วเช่นกันนั้น ถึงแม้ว่าจะมีการปรับค่าปรับตั้งที่ระดับสูงขึ้นจะส่งผลให้รอบเวลาในการผลิตต่ำลงก็ตาม แต่เนื่องจากทั้ง 2 ปัจจัยนั้นมีผลต่อค่าความหยาบมากด้วยเช่นกัน ดังนั้นเพื่อให้ค่าความ

หยาบผิวนั้นได้ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายและไม่เกินค่ากำหนดเฉพาะของลูกค้ำ จึงทำให้ปัจจัย D (ความเร็วในการขัดหยาบ 2) และปัจจัย F (ความเร็วในการขัดละเอียด) มีสถานะที่เหมาะสมในระดับต่ำนั่นเอง

เช่นเดียวกับสมการที่ 6.2 จะเห็นได้ว่า ปัจจัย D (ความเร็วในการขัดหยาบ 2) มีค่าสัมประสิทธิ์เป็น (+) แสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความเร็วในการขัดหยาบ 2 เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหยาบสูงขึ้น ส่วนปัจจัย E (ความเร็วในการขัดหยาบ 3) ค่าสัมประสิทธิ์เป็น (-) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าความเร็วในการขัดหยาบ 2 เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหยาบต่ำลง แต่เนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย E ความเร็วในการขัดหยาบ 3 และปัจจัย F ความเร็วในการขัดละเอียด นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์เป็น (+) และมีค่ามากกว่าหลายเท่าเมื่อเทียบกับปัจจัย E (ความเร็วในการขัดหยาบ 3) แสดงให้เห็นว่าอันตรกิริยาระหว่าง ปัจจัย E และปัจจัย F เมื่อมีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าความหยาบสูงขึ้นมาก ดังนั้น ปัจจัย D (ความเร็วในการขัดหยาบ 2) และ ปัจจัย F ความเร็วในการขัดละเอียด จึงมีสถานะที่เหมาะสมอยู่ค่าต่ำสุด เพื่อที่จะทำให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานนั้น ไม่สูงเกินค่าที่ลูกค้ำกำหนดนั่นเอง

6.10 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ

ในขั้นตอนการแก้ไขเพื่อปรับปรุงกระบวนการนี้ได้นำเอาปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่ได้สรุปมาแล้วจากขั้นตอนการคัดกรองปัจจัย ซึ่งได้ปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองรอบเวลาการผลิตและความหยาบผิว ทั้งหมด 6 ปัจจัย ได้แก่ จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Starting position), จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด (Fine Grinding Starting position), ความเร็วในการขัดหยาบ 1 (Rough Grinding 1 Speed), ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed), ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed) และ ความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed) ซึ่งในขั้นตอนนี้ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการได้เลือกการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบ (Response surface design) แบบ Central composite design (CCD) มาช่วยในเรื่องของการหาค่าของปัจจัยปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุด และจากการออกแบบการทดลองสามารถสรุปได้ว่าค่าปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมนั้น มีรายละเอียดตามตารางที่ 6.5 ซึ่งจากการปรับระดับที่เหมาะสมของปัจจัยจากการออกแบบการทดลองดังกล่าวจะให้รอบเวลาในการผลิตที่น้อยที่สุดและค่าความหยาบผิวของชิ้นงานนั้นต้องไม่เกินค่าที่ลูกค้ำกำหนด ซึ่งจำเป็นต้องมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการทดลองในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 6.6 แสดงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักร

สัญลักษณ์ ของปัจจัย	ปัจจัย	สภาวะใหม่ของ เครื่องจักร	หน่วย
A	จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Starting position)	0.0250	มิลลิเมตร
B	จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด (Fine Grinding Starting position)	0.0050	มิลลิเมตร
C	ความเร็วในการขัดหยาบ 1 (Rough Grinding 1 Speed)	0.0550	มิลลิเมตร / วินาที
D	ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed)	0.0370	มิลลิเมตร / วินาที
E	ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed)	0.0400	มิลลิเมตร / วินาที
F	ความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed)	0.0040	มิลลิเมตร / วินาที

บทที่ 7

การยืนยันผลการทดลอง

ในบทที่ผ่านมาได้มีการเอานำปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญไปทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้รอบเวลาในการผลิตที่น้อยที่สุดและค่าความหยาบผิวของชิ้นงานจะต้องไม่เกินค่าที่ลูกค้ากำหนด ซึ่งผลจากการทดลองดังกล่าวนี้เป็นเพียงค่าจากการประเมินโดยโปรแกรม Minitab เท่านั้น เพื่อความมั่นใจว่าปัจจัยปรับตั้งเครื่องจักรนั้นสามารถใช้งานได้จริงและไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตจริง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องนำปัจจัยปรับตั้งเครื่องจักรดังกล่าวไปทำการทดสอบเพื่อทำการยืนยันผลอีกครั้งกับกระบวนการผลิตจริง เพื่อที่จะยืนยันได้เวลาผลจากการทำงานจริงมีความสอดคล้องกับการทดลองหรือไม่

7.1 การทดสอบเพื่อยืนยันผล

ก่อนดำเนินการทดลองนั้นได้มีการประชุมเพื่ออธิบายทำความเข้าใจกับสมาชิกในทีมเกี่ยวกับแผนการทดลองและเพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องดำเนินการจัดเตรียมความพร้อมของเครื่องจักร อุปกรณ์ และบุคคล เพื่อสนับสนุนในการทดลอง โดยมีขั้นตอนปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. ทำการปรับปรุงค่าปรับตั้งของเครื่องจักรให้ได้ตามสภาวะที่เหมาะสมตามตารางที่ 6.5 โดยเครื่องจักรที่จะทำการทดสอบ คือ เครื่องจักรหมายเลข 11
2. จะทำการทดลองผลิตจริงกับชิ้นงาน Inner Ring รุ่น 7040 ทั้งหมด 30 lots หรือเท่ากับชิ้นงาน 150,000 ชิ้น
3. การเก็บข้อมูลในส่วนของรอบเวลาการผลิตจะทำการสุ่มจากงานทั้งหมด 13 lots โดยจะสุ่มเก็บ lot ละ 10 ตัว
4. การเก็บข้อมูลในส่วนของค่าความหยาบผิวนั้นจะทำการสุ่มจากงานทั้งหมด 13 lots โดยจะสุ่ม lot ละ 3 ตัว เพื่อไปวัดค่าความหยาบผิวที่เครื่องมือวัด

โดยผลการทดสอบรอบเวลาการผลิตเป็นไปตามรายละเอียดดังตารางที่ 7.1 และผลการทดสอบค่าความหยาบผิวเป็นไปตามรายละเอียดดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7. 1 ตารางการผลการทดสอบสำหรับรอบเวลาการผลิต (หน่วย : วินาที)

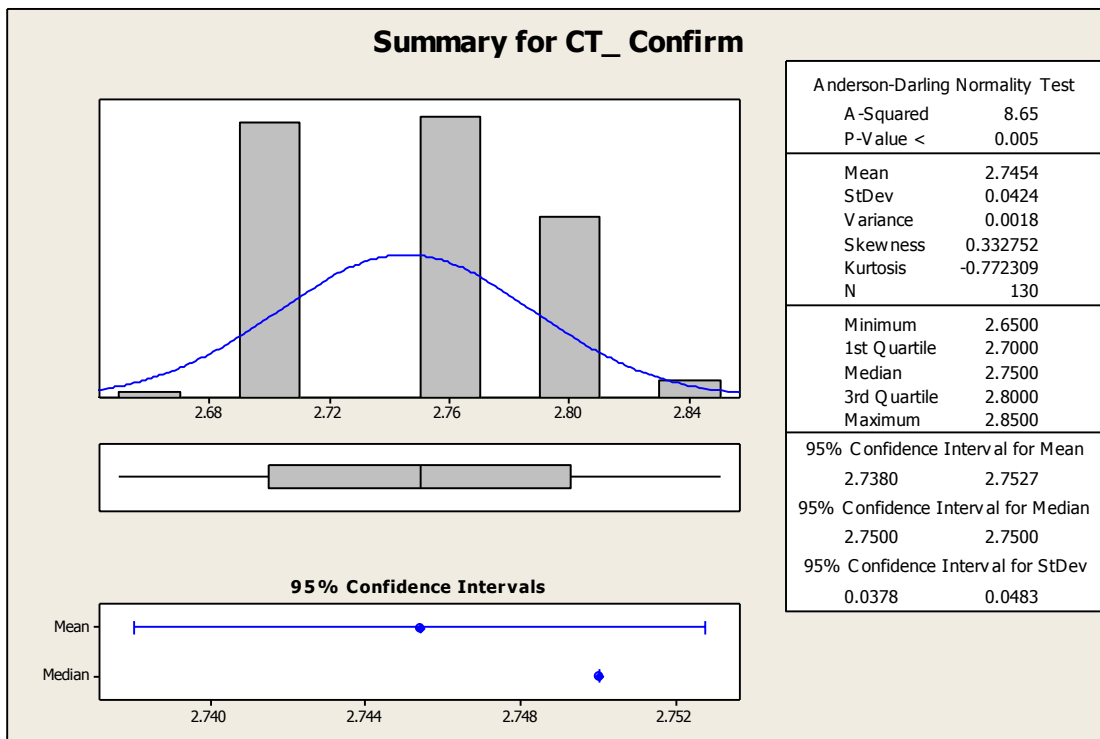
No.	Lot_1	Lot_2	Lot_3	Lot_4	Lot_5	Lot_6	Lot_7	Lot_8	Lot_9	Lot_10	Lot_11	Lot_12	Lot_13
1	2.75	2.75	2.70	2.80	2.70	2.70	2.75	2.75	2.85	2.70	2.80	2.85	2.80
2	2.75	2.75	2.70	2.80	2.75	2.75	2.80	2.70	2.80	2.70	2.75	2.80	2.80
3	2.70	2.85	2.75	2.75	2.70	2.70	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75
4	2.70	2.75	2.70	2.75	2.75	2.75	2.75	2.75	2.80	2.75	2.70	2.75	2.75
5	2.75	2.75	2.65	2.70	2.70	2.70	2.70	2.80	2.75	2.70	2.70	2.70	2.75
6	2.80	2.80	2.70	2.70	2.70	2.70	2.80	2.75	2.80	2.75	2.75	2.80	2.75
7	2.70	2.70	2.75	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.80	2.70	2.80	2.70	2.80
8	2.75	2.80	2.70	2.75	2.80	2.80	2.75	2.75	2.75	2.75	2.70	2.75	2.70
9	2.70	2.80	2.70	2.80	2.70	2.70	2.80	2.70	2.80	2.70	2.75	2.80	2.75
10	2.75	2.70	2.75	2.80	2.70	2.70	2.80	2.80	2.80	2.75	2.70	2.80	2.70
AVG.	2.74	2.77	2.71	2.76	2.72	2.72	2.76	2.75	2.79	2.73	2.74	2.77	2.76

ตารางที่ 7. 2 ตารางการผลการทดสอบสำหรับค่าความหยาบผิว (หน่วย : ไมโครเมตร)

No.	Lot_1	Lot_2	Lot_3	Lot_4	Lot_5	Lot_6	Lot_7	Lot_8	Lot_9	Lot_10	Lot_11	Lot_12	Lot_13
1	0.848	0.839	0.909	0.789	0.873	0.818	0.879	0.874	0.914	0.900	0.802	0.818	0.833
2	0.823	0.843	0.797	0.832	0.852	0.868	0.864	0.847	0.836	0.841	0.783	0.868	0.815
3	0.870	0.841	0.877	0.825	0.839	0.871	0.849	0.913	0.875	0.890	0.854	0.871	0.893

7.2 การประเมินผลการทดสอบสำหรับรอบเวลาการผลิต

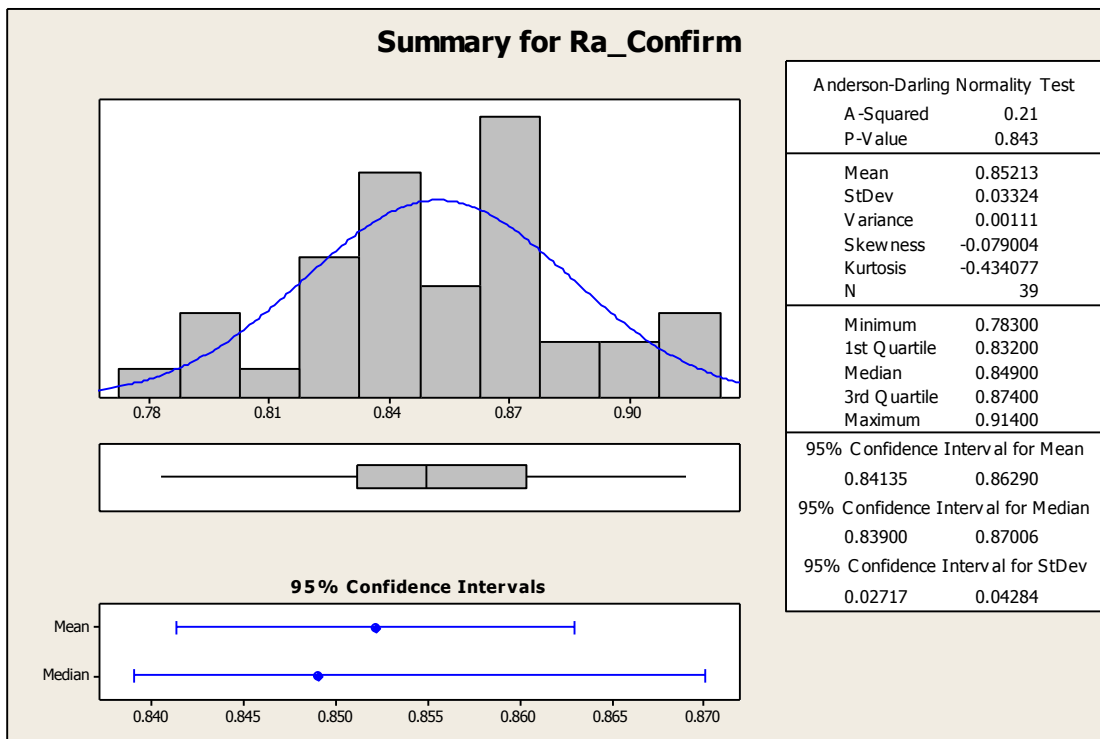
จากการได้ทดลองโดยการผลิตงานจริงและบันทึกกรอบเวลาการผลิต พบว่ารอบเวลาการผลิต หลังการทดสอบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.75 วินาที และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.0424 วินาที ดังรายละเอียดในรูปที่ 7.1 ซึ่งค่าเฉลี่ยของรอบเวลาการผลิตที่ได้จากการทดลองนั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ประเมินได้จากโปรแกรม Minitab คือ 2.76 วินาที



รูปที่ 7. 1 แผนภาพแสดงค่าทางสถิติของรอบเวลาการผลิตหลังการปรับตั้งเครื่องจักร

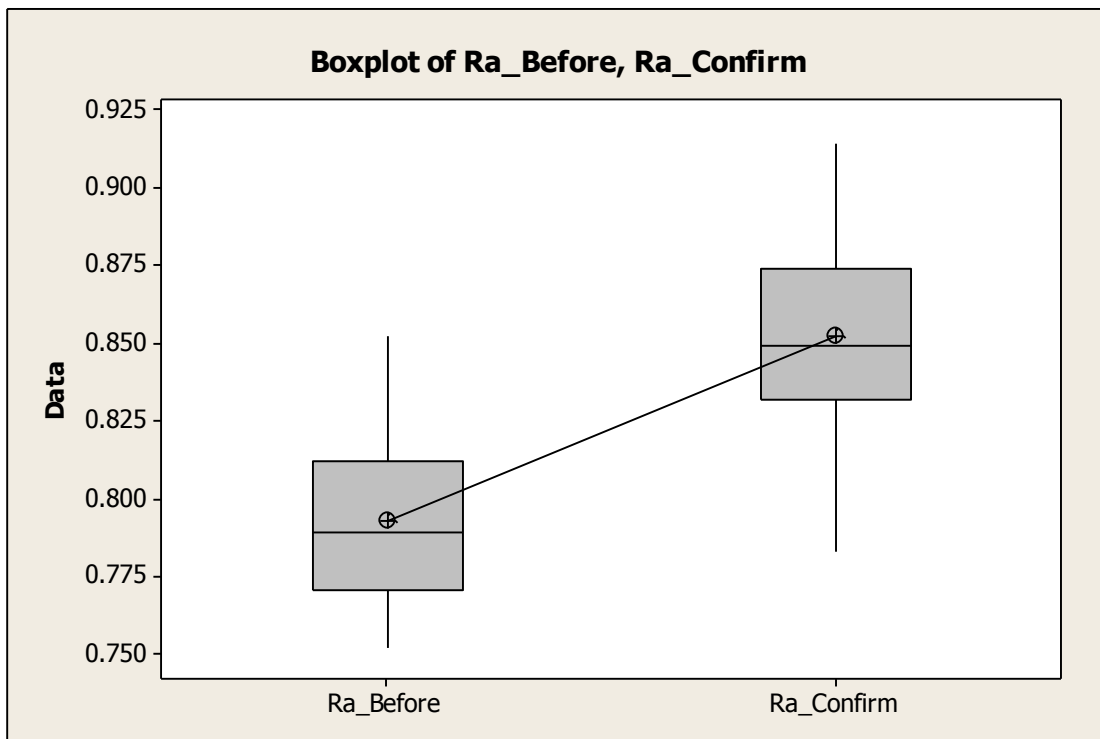
7.3 การประเมินผลการทดสอบสำหรับค่าความหยาบผิว

จากการได้ทดลองโดยการผลิตงานจริงและบันทึกค่าความหยาบผิว พบว่าค่าความหยาบผิวหลังการทดสอบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.85213 ไมโครเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.03324 ไมโครเมตร ดังรายละเอียดในรูปที่ 7.2 ซึ่งค่าเฉลี่ยของค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดลองนั้นมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ประเมินได้จากโปรแกรม Minitab คือ 0.85 ไมโครเมตร



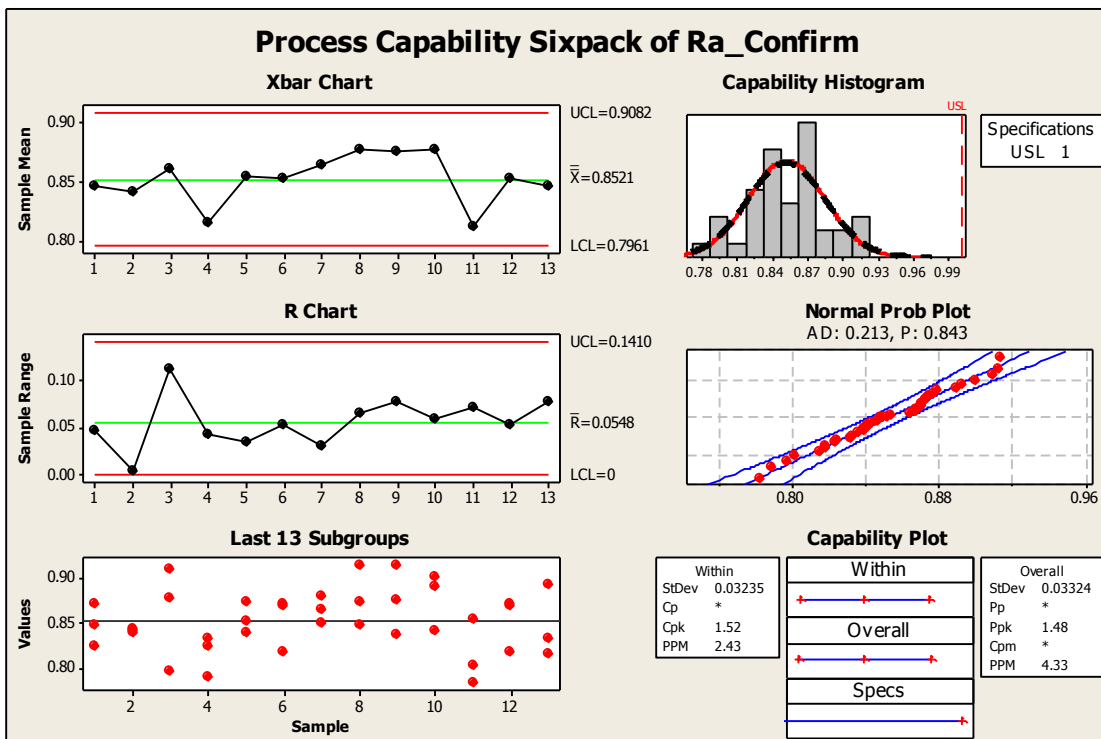
รูปที่ 7. 2 แผนภาพแสดงค่าทางสถิติของความหยาบผิวหลังการปรับตั้งเครื่องจักร

จากการที่ทางทีมงานได้เคยระดมความคิดในการประเมินถึงปัจจัยในเรื่องของหินขัดว่าจะมีผลกระทบต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานในบทยที่ 4 มาแล้วนั้น หลังจากที่ผู้วิจัยได้ทดสอบการปรับตั้งค่าของเครื่องจักรตามค่าที่ได้วิเคราะห์ในบทยที่ 6 แล้วพบว่าค่าความหยาบผิวหลังจากที่มีการปรับตั้งเครื่องจักรแล้วนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบค่าความหยาบผิวก่อนการปรับตั้งเครื่องจักรดังรายละเอียดในรูปที่ 7.3 นั้น แต่ก็ยังสามารถควบคุมให้อยู่ในข้อกำหนดเฉพาะของลูกค้า (Specification) นั่นคือ ไม่เกิน 1.0 ไมโครเมตร (1.0 μm max) ได้



รูปที่ 7. 3 แผนภาพเปรียบเทียบค่าความหยาบผิวก่อนและหลังการปรับตั้งเครื่องจักร

แต่จากการประเมินทางสถิติของความสามารถของกระบวนการ (Process Capability) พบว่ามีค่าดัชนีความสามารถเชิงสมรรถนะ (C_{pk}) ของของความหยาบผิวมีค่าเท่ากับ 1.52 ดังรายละเอียดในรูปที่ 7.4 นั้นก็ถือว่ายอมรับความสามารถของกระบวนการได้ ตามตารางการประเมินค่าดัชนีความสามารถเชิงสมรรถนะของกระบวนการ ตารางที่ 2.2 (Montgomery, 1996) ดังนั้นทางทีมงานจึงได้ประชุมหารือและสรุปผลว่าในเมื่อสามารถปรับปรุงรอบเวลาผลิตได้โดยที่ค่าความหยาบนั้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยนั้นทางทีมงานยอมรับได้ ดังนั้นจะยังคงใช้งานหินขัด โดยใช้รหัสเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นคือ GC220 M 7V5S ต่อไป



รูปที่ 7. 4 แผนภาพแสดงความสามารถของกระบวนการหลังจากปรับตั้งเครื่องจักร

7.4 สรุปการทดสอบเพื่อยืนยันผล

จากการทดสอบยืนยันผลเป็นการทดลองปฏิบัติงานจริงด้วยปัจจัยต่างๆในระดับที่เหมาะสม โดยกำหนดค่าปัจจัยตามที่ได้จากการวิเคราะห์ในบทที่ 6 จากนั้นได้ทดลองโดยการผลิตงานจริงและบันทึกค่าของตัวแปรตอบสนองทั้งสองตัว พบว่ารอบเวลาการผลิตหลังการทดสอบเท่ากับ 2.75 วินาที ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ประเมินได้จากโปรแกรมนั้นคือ 2.76 วินาที และค่าความหยาบผิวของชิ้นงานหลังการทดสอบเท่ากับ 0.852 ไมครอนเมตร ซึ่งมากกว่าค่าที่ประเมินได้จากโปรแกรมเล็กน้อยนั้นคือ 0.850 ไมครอนเมตร และมีค่าดัชนีความสามารถเชิงสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) เท่ากับ 1.52 ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้ว่าปัจจัยปรับตั้งเครื่องจักรและรหัสหินขัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริง รายละเอียดตามตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7. 3 ตารางสรุปผลสรุปการทดสอบเพื่อยืนยัน

ตัวแปรตอบสนอง	หน่วย	ก่อนการปรับปรุง	การประเมินจากโปรแกรม	หลังการปรับปรุง
รอบเวลาการผลิต	วินาที			
ค่าเฉลี่ย		2.98	2.76	2.75
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.0514		0.0424
ค่าความหยาบผิว	ไมครอนเมตร			
ค่าเฉลี่ย		0.798	0.850	0.852
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.0271		0.0332
Cpk		2.58		1.52
รหัสหินขัด		GC220 M 7V5S (รหัสเดิมที่ใช้อยู่)		GC220 M 7V5S (รหัสเดิมที่ใช้อยู่)

บทที่ 8

การควบคุมกระบวนการ

หลังจากได้ทำการทดสอบยืนยันผลเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ต่อไปก็จะดำเนินการผลิตจริงซึ่งใน
บทนี้ก็จะเป็นการตรวจติดตามและควบคุมหลังการปรับปรุง เพื่อให้แน่ใจว่ากระบวนการนั้นได้มีการ
ปรับค่าระดับของปัจจัยเป็นไปตามที่ได้ทดลองสรุปผลไว้หรือไม่ โดยผู้ทำวิจัยและทีมงานได้จัดทำ
แผนการควบคุมที่มีการกำหนดรอบเวลาและผู้ที่ทำการตรวจสอบ รวมถึงจัดทำมาตรฐานการทำงาน
ใหม่ในส่วนปัจจัยที่ได้มีการปรับปรุง และนอกจากนี้มีการใช้แผนภูมิควบคุมเพื่อให้มีการตรวจติดตามไม่ให้
ชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องออกนอกค่าที่กำหนด

8.1 มาตรฐานการทำงาน

จากการปรับปรุงกระบวนการของงานวิจัยนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ คือชิ้นงานจาก
กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน (Turning process) ซึ่งเป็นกระบวนการก่อนหน้ากระบวนการขัดผิวด้าน
ใน (Bore grinding) และการปรับตั้งเครื่องจักร Bore grinding ซึ่งมีการปรับเปลี่ยนมาตรฐานการ
ทำงานให้ถูกต้องตรงกับค่าได้ทำการทดลองไว้ดังนี้

1. กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน (Turning process)

มีการกำหนด specification ของเส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของชิ้นงาน จาก Turning
Process ใหม่ คือ 3.97 ± 0.015 มิลลิเมตร เพื่อให้สัมพันธ์กับการปรับปรุงโปรแกรมการทำงานของ
เครื่องจักร (Bore Grinding Machine Condition) ดังนั้นจึงมีการจัดทำแผนภาพ (Drawing) ใหม่ดัง
รายละเอียดตามรูป 8.1 และ จัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Process Drawing) รายละเอียดตามรูป
8.2

2. กระบวนการขัดผิวด้านใน (Bore grinding)

ทุกครั้งที่ปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์สำหรับปรับตั้งเครื่องจักรใหม่นั้นจะต้องปฏิบัติตาม
มาตรฐานการควบคุมโปรแกรมของเครื่องจักร ของทางแผนก Process engineering ดังรายละเอียด
ตามรูป 8.3 และ 8.4 จัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Process Drawing) รายละเอียดตามรูป 8.5
และได้มีการจัดทำแผนการควบคุมค่าปรับตั้งของเครื่องจักรดังรายละเอียดตารางที่ 8.1 โดยที่การ
ควบคุมค่าปรับตั้งดังกล่าวนี้ได้กำหนดให้มีพนักงานประจำเครื่องทำการตรวจสอบทุกครั้งก่อนเริ่ม
ทำงานในทุกกะ โดยให้พนักงานตรวจสอบค่าปรับตั้งตามรายละเอียดต่อไปนี้

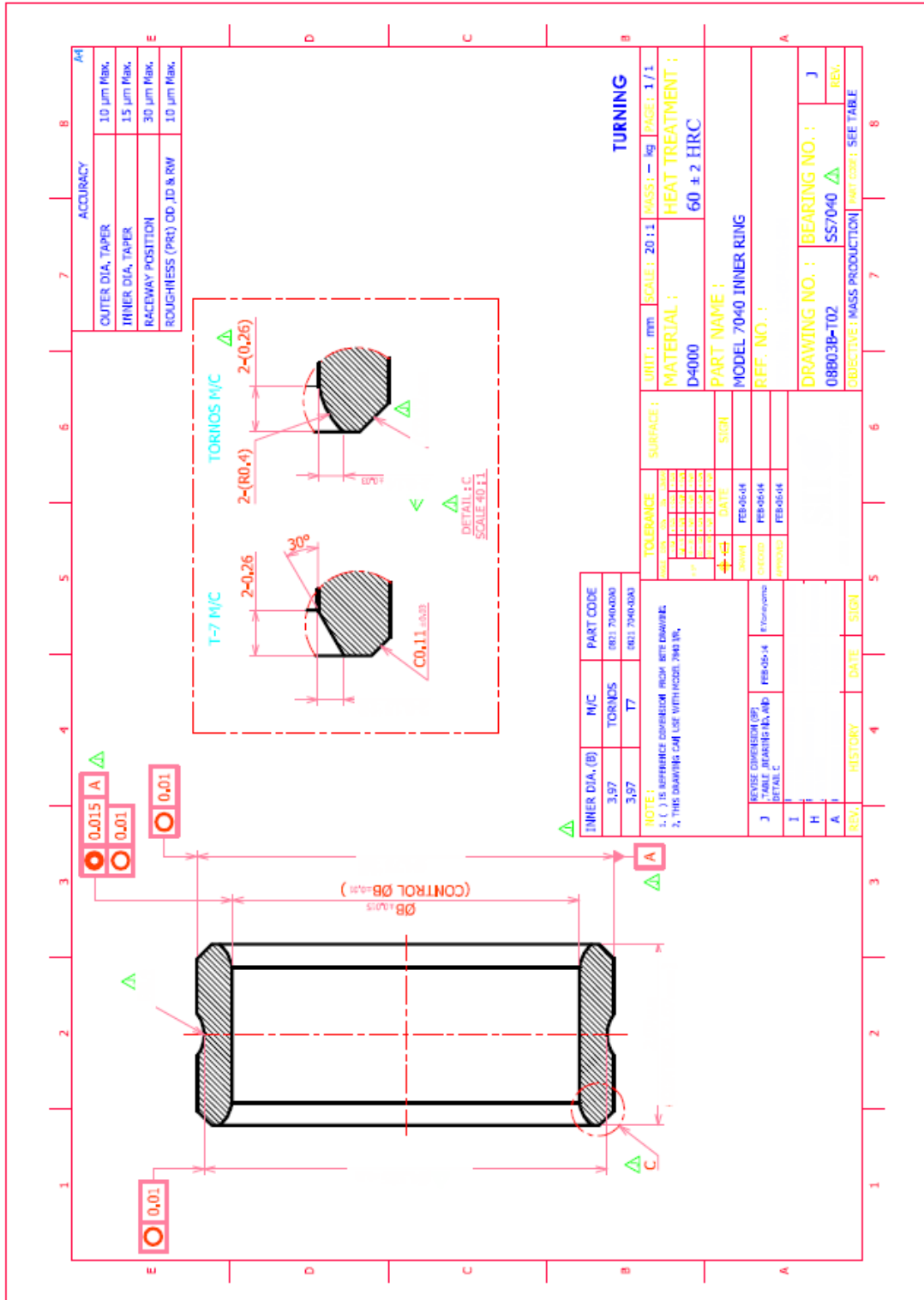
จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ2 (Rough Grinding 2 Starting position)	0.0250
จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด (Fine Grinding Starting position)	0.0050
ความเร็วในการขัดหยาบ 1 (Rough Grinding 1 Speed)	0.0550

ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed)	0.0470
ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed)	0.0339
ความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed)	0.0040

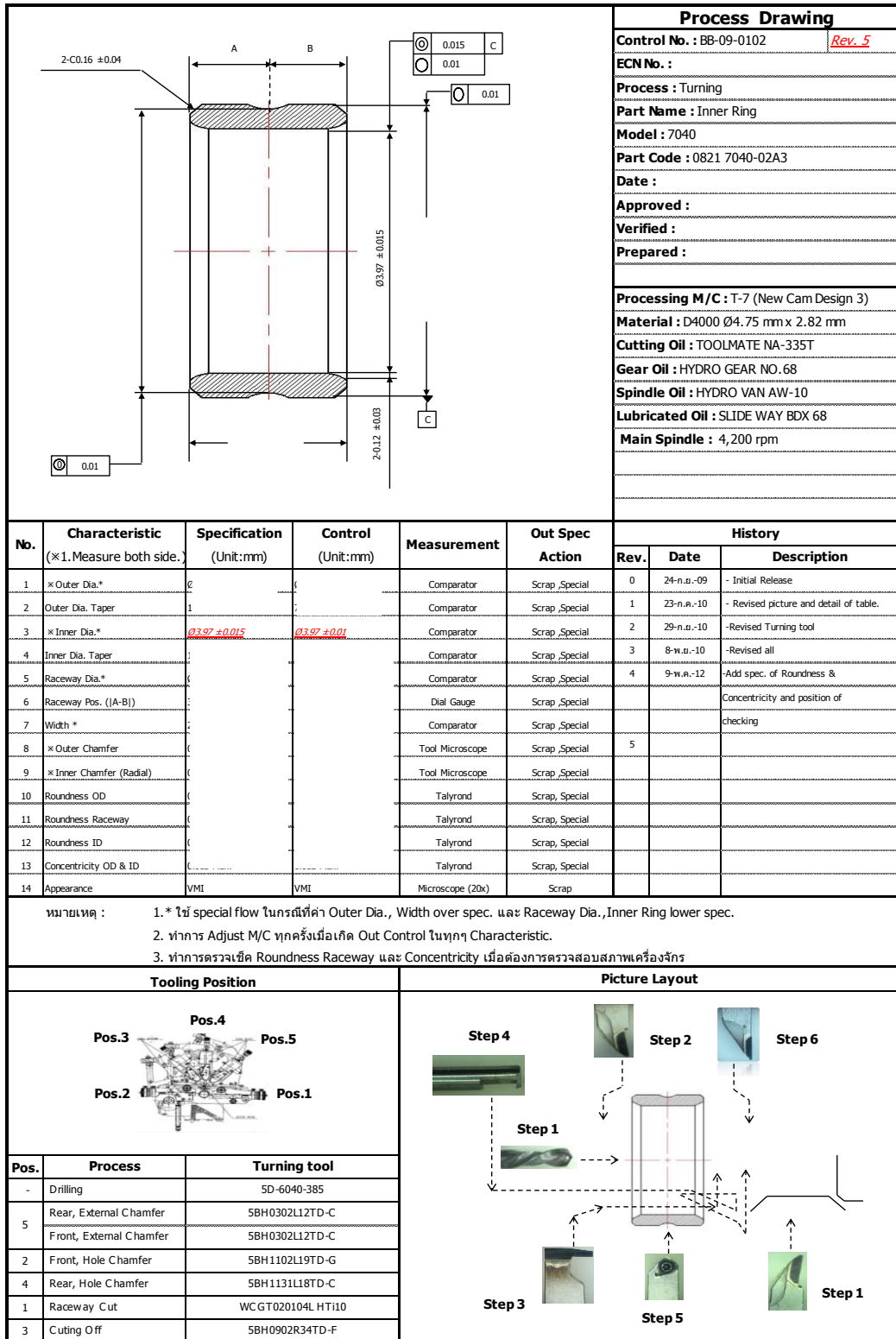
และหากไม่เป็นไปตามที่กำหนดดังต่อไปนี้ให้พนักงานดำเนินการแก้ไขทันที หรือถ้ามีปัญหาใดๆ ให้แจ้งหัวหน้างานหรือวิศวกรควบคุมกระบวนการทราบโดยทันที



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 8. 1 แผนภาพ (Drawing) แสดงค่า specification ของชิ้นงาน จาก Turning Process

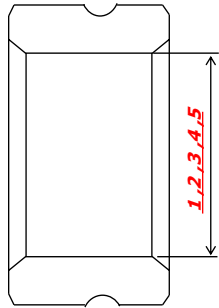


รูปที่ 8. 2 แผนภาพแสดงมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Process Drawing) ที่กระบวนการ Turning

Process Eng.	Established Date : 01/06/00	Revised Date : 29/11/05	Revision No. 5	P. 1/2												
Doc.No. WS-102-013-B Work Standard	มาตรฐานการควบคุมโปรแกรมของเครื่องจักร															
<p>1. วัตถุประสงค์ (Purpose) เพื่อระบุถึงวิธีการ และขั้นตอนในการปฏิบัติอย่างชัดเจนในการจัดเก็บรักษา และควบคุมโปรแกรมของเครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยตรง ในแผนก Ball Bearing</p> <p>2. ขอบเขต (Scope) ระบุถึงส่วนงานผู้รับผิดชอบ ขั้นตอนในการปฏิบัติ ที่ใช้ในการจัดเก็บรักษาและควบคุมโปรแกรมของเครื่องจักรในส่วนงานของแผนก Ball Bearing</p> <p>3. เอกสารที่เกี่ยวข้อง (Reference Document) N/A</p> <p>4. คำจำกัดความ (Definition / Terminology) N/A</p> <p>5. ระเบียบวิธีปฏิบัติงาน (Procedure)</p> <p>5.1 โปรแกรมของเครื่องจักรแบ่งตามการจัดเก็บได้ 2 ประเภท</p> <p>5.1.1 ผู้รับผิดชอบทางส่วนงาน Maintenance ทำการจัดเก็บโปรแกรมของเครื่องจักรที่สามารถจัดเก็บแบบ Software ได้ให้จัดเก็บบันทึกลงใน Diskette หรือแผ่น CD Rom</p> <p>5.1.2 โปรแกรมของเครื่องจักรที่ได้จัดเก็บบันทึกลงเป็น Diskette หรือแผ่น CD Rom แล้ว ทางส่วนงาน Process Engineering จะทำการจัดเก็บแผ่น Master Program โดยการจัดเก็บให้บันทึกลงใน Master Machine Program List (WS-102-013-B Form-1)</p> <p>5.2 การ Run Program No. ให้กำหนดดังนี้</p> <div style="text-align: center;"> <p style="text-align: right;">หมายเลขตั้งแต่ 001 ~ 999 Process user ส่วนงาน BB = Ball Bearing</p> </div> <p>- การกำหนด Process user จะกำหนดโดยใช้ Code ต่อไปนี้</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Code</th> <th>Process user</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>T</td> <td>Turning</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>Grinding</td> </tr> <tr> <td>H</td> <td>Heat</td> </tr> <tr> <td>W</td> <td>Washing</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>Assembly</td> </tr> </tbody> </table>					Code	Process user	T	Turning	G	Grinding	H	Heat	W	Washing	A	Assembly
Code	Process user															
T	Turning															
G	Grinding															
H	Heat															
W	Washing															
A	Assembly															
Seiko Instruments (Thailand) Ltd.																

รูปที่ 8. 3 แผนภาพแสดงมาตรฐานการควบคุมโปรแกรมของเครื่องจักร

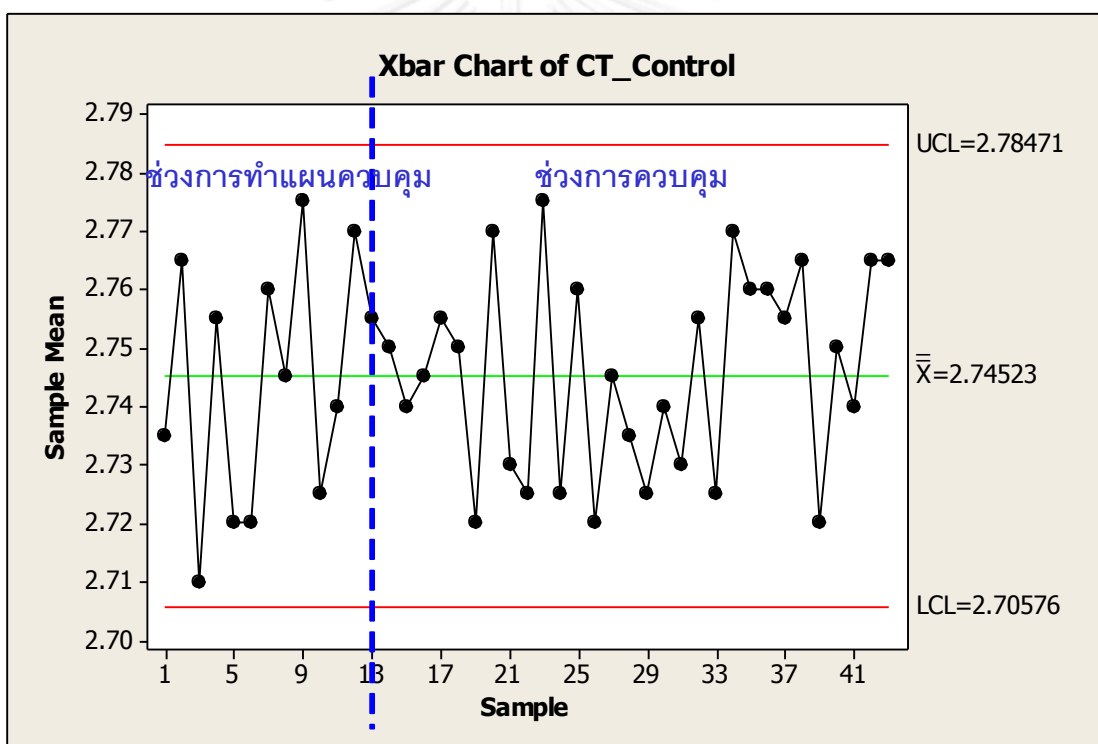
Model		6140	7040	7840*	5025	8050	History		
Part Code		0821 6140-02A0 0821 6140-02B0	0821 7040-02A0 0821 7040-02A3 0821 7040-02B1 0821 7040-02D0		0821 5025-02A1	0821 8050-02A1	Rev.	Date	Description
1	Inner Dia. (mm)	Control Specification	Ø4.0 -0.0015/-0.0035 Ø4.0 -0.000/-0.005	Ø4.0 -0.0015/-0.0035 Ø4.0 -0.000/-0.005	Ø2.5 -0.0015/-0.0035 Ø2.5 -0.000/-0.005	Ø5.0 -0.0015/-0.0035 Ø5.0 -0.000/-0.005	0	20-11-03	- Initial Release
2	Inner Dia. Taper		2.0 µm Max.	2.0 µm Max.	2.0 µm Max.	2.0 µm Max.	16	15-11-09	- Revised Code Grinding stone model 6140
3	Inner Roundness		1.0 µm Max.	1.0 µm Max.	1.0 µm Max.	1.0 µm Max.	17	4-11-09	- Revised part code model 6140, 7040, 8025, 8050 and symbol dimension.
4	Surface Roughness (Prt)		1.7 µm Max.	1.0 µm Max.	1.0 µm Max.	1.0 µm Max.	18	23-11-10	- Revised picture and detail of table.
5	Appearance	VMI	VMI	VMI	VMI	VMI			
Processing Condition		6140	7040	7840*	5025	8050			
Code		CBX 200 M 180V N1P7(0)	GC 200 M 745S		BZ70N M2 200V	BZ70N M2 200V			
Size (mm)		4.7x4.2x4.7x3.132	2.7x2.8x4.7x3.132		2.2x2.5x3.175x9.1	3.6x2.8x4.7x3.132			
Maker		Noritake	Korenura		FSK	FSK			
Code		CBF 320 N 195 KCP3M VCP			BZ23M M2 200V				
Size (mm)		4.7x4.2x4.7x3.132			2.2x2.5x3.175x16.0				
Maker		Korenura			FSK				
Code			CF-11575/42D-8T-0.3R, CF-10352/42D-8T-0.3R-8H						
Maker			Asahi						
Rotary Diamond									
Code									
Maker									
หมายเหตุ :		1. * Inner Ring ของ Model 7840 ใช้ร่วมกับ Model 7040. 2. ** For model 5025 Grind Stone of Spindle. - Spindle M20, Grind stone code BZ70N M2 200V Size 2.2x2.5x3.175x9.1 mm - Spindle M15, Grind stone code BZ325M M2 200V Size 2.2x2.5x3.175x16.0 mm 3. ขนาดของ ID Dia. จะคิด 2 ด้าน. 4. Inner Dia. Taper คือ ค่า ID Dia. ค่าแรก - ค่า ID Dia. ค่าอื่น จากมาตรฐาน ID Dia. 2 จอ. 5. * 1 Adjust M/C; Scrap; but If width is inside width standard, judge as "Ok". 6. * 2 Adjust M/C; Scrap; but for width big, can be rework. 7. * 3 Adjust M/C; Scrap.							



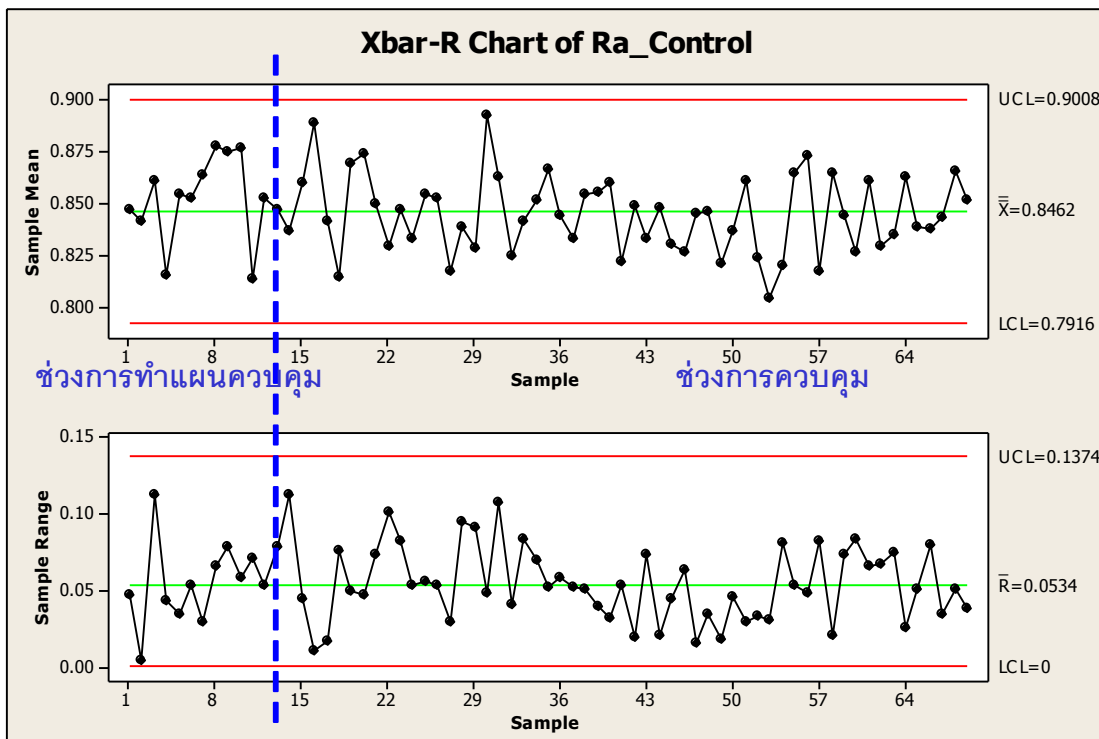
รูปที่ 8. 5 แผนภาพแสดงมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Process Drawing) ที่กระบวนการ Bore grinding

8.2 แผนภูมิควบคุมคุณภาพ

นอกจากการจะทำมาตรฐานสำหรับการควบคุมปัจจัยนำเข้าต่างๆ แล้วนั้น ในส่วนนี้จะดำเนินการควบคุมในส่วนของตัวแปรตอบสนองนั้นก็คือ รอบเวลาการผลิตและค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน ซึ่งในการตรวจสอบและควบคุมจะเป็นหน้าที่ในส่วนของแผนกควบคุมคุณภาพ (Quality control) พนักงานควบคุมคุณภาพจะทำการสุ่มชิ้นงานเพื่อไปวัดค่าที่เครื่องมือวัด โดยรอบเวลาการผลิตให้สุ่มทุกกะ กะละ 1 ครั้ง ครั้งละ 10 ตัว และ ค่าความหยาบผิวให้สุ่มทุกๆ 3 ชั่วโมงๆ ละ 3 ตัว ซึ่งแผนภูมิควบคุมที่นำมาใช้คือแผนภูมิ \bar{x} สำหรับรอบเวลาการผลิต และแผนภูมิ $\bar{x} - R$ สำหรับค่าความหยาบผิว ตามรายละเอียดที่รูป 8.6 และ 8.7



รูปที่ 8. 6 แผนภาพการควบคุมรอบเวลาการผลิต



รูปที่ 8. 7 แผนภาพการควบคุมค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน

จากรูป 8.6 และ 8.7 พบว่ารอบเวลาการผลิตและค่าความหยาบผิวที่พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มชิ้นงานไปวัดค่านั้น ยังคงอยู่ภายใต้การควบคุม โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.745 วินาที สำหรับรอบเวลาการผลิต และ 0.8462 ไมครอนเมตร สำหรับค่าความหยาบผิว ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยที่ได้ทำการลองยืนยันผลไปในบทที่ 7



8.2 สรุปผลการควบคุมกระบวนการ

ในส่วนของการควบคุมกระบวนการนี้เป็นการตรวจติดตามและควบคุมกระบวนการในการดำเนินการผลิตจริง โดยมีการติดตามควบคุมทั้งปัจจัยนำเข้าคือ ชิ้นงานจากกระบวนการ Turning และพารามิเตอร์ปรับตั้งโปรแกรมเครื่องจักรที่กระบวนการขัดผิวด้านใน ส่วนตัวแปรตอบสนอง คือ รอบเวลาการผลิตและค่าความหยาบผิว ซึ่งแบ่งลักษณะการติดตามควบคุมตามรายละเอียดการควบคุมดังต่อไปนี้

ปัจจัยนำเข้า ได้ทำการควบคุมและติดตามโดยใช้ การจัดทำแผนภาพ (Drawing), มาตรฐานการปฏิบัติงาน (Process Drawing) และแบบฟอร์มการตรวจสอบ (Check sheet)

ตัวแปรตอบสนอง ได้ทำการควบคุมและติดตามโดยใช้แผนภูมิ \bar{x} และแผนภูมิ $\bar{x} -R$

และจากการที่ได้ทดลองใช้เครื่องมือต่างๆในการควบคุมติดตาม พบว่ารอบเวลาการผลิตและค่าความหยาบผิวนั้นสามารถควบคุมได้ โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.745 วินาที สำหรับรอบเวลาการผลิต และ 0.8462 ไมครอนเมตร สำหรับค่าความหยาบผิว ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยที่ได้ทำการทดสอบไว้



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 9

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดรอบระยะเวลาในการผลิตของตลับลูกปืนเม็ดกลมรุ่น 7040 (BB7040) ที่กระบวนการขัดผิวด้านใน (Bore Grinding Process) ซึ่งการวิจัยนี้ได้ดำเนินการตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา (Define) การวัดและการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของปัญหา (Measure) การวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัย (Analyze) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve) และการยืนยันผลและการติดตามควบคุมกระบวนการ (Control) ซึ่งก่อนปรับปรุงนั้นมีรอบระยะเวลาในการผลิต 2.98 วินาทีต่อชิ้นงาน ในขณะที่รอบระยะเวลาการผลิตที่สอดคล้องกับเป้าหมายเท่ากับ 2.78 วินาทีต่อชิ้นงาน และในขณะเดียวกันต้องสามารถควบคุมไม่ให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานเกินกว่าค่าที่ลูกค้ากำหนดไว้ โดยบทสรุปของการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

9.1 การศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของทางกระบวนการผลิตตลับลูกปืนเม็ดกลม พบว่าตลับลูกปืนเม็ดกลมรุ่น 7040 (BB7040) มีแนวโน้มที่กำลังการผลิตจะไม่เพียงพอเนื่องจากคำสั่งซื้อที่เพิ่มขึ้น และเมื่อทำการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าที่กระบวนการขัดผิวด้านใน (Bore Grinding Process) เป็นกระบวนการคอขวด โดยมีเป้าหมายของรอบระยะเวลาการผลิตต้องเท่ากับ 2.78 วินาทีต่อชิ้นงาน ถึงจะสามารถเพิ่มกำลังการผลิตให้เพียงพอกับความต้องการของลูกค้า ซึ่งก่อนปรับปรุงมีรอบระยะเวลาในการผลิต 2.98 วินาทีต่อชิ้นงาน และจากการวิเคราะห์ที่กระบวนการ Bore grinding นั้นพบว่าขั้นตอนที่ใช้เวลามากที่สุดคือ เวลาที่ใช้สำหรับการขัดชิ้นงาน (Grinding Time) ซึ่งจะนำไปเป็นหัวข้อของปัญหาที่จะทำการหาสาเหตุในขั้นตอนต่อไป

9.2 การวัดและการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพของปัญหา

จากการระดมสมองจากคณะทำงานเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในกระบวนการ Bore Grinding ที่มีผลต่อปัญหาเวลาในการขัดชิ้นงาน ผ่านแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram), ตารางสาเหตุและผล (Cause-Effect Matrix) และคัดกรองเบื้องต้นด้วยแผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) ซึ่งทำให้ได้มาถึงสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุดนั่นก็คือ ชิ้นงานก่อนเข้า Bore Grinding, โปรแกรมการทำงานของเครื่องจักร (Bore Grinding Machine Condition) และ หินขัด (Grinding Stone)

โดยแนวทางการการแก้ไขปัญหาดังกล่าว คือการขยายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านในของชิ้นงานจากกระบวนการ Turning เพื่อช่วยลดระยะการขัดที่กระบวนการขัดผิวด้านในโดยที่จะต้องมีการปรับโปรแกรมการทำงานของเครื่องจักร ให้สอดคล้องกัน ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยนั้นต้องทำควบคู่กันไป และจากการประเมินของทางคณะทำงานได้ประเมินว่าถ้ามีการปรับโปรแกรมการทำงานของ

เครื่องจักรนั้นอาจจะส่งผลกระทบต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน ดังนั้นจึงอาจจะต้องมีการปรับเปลี่ยนรหัสของหินขัดเพื่อนำมาช่วยลดค่าความหยาบผิวอีกทางหนึ่ง ซึ่งปัจจัยเรื่องของการโปรแกรมการทำงานของเครื่องจักร นั้นจะนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

9.3 การวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัย

เมื่อการทำงานของเครื่อง Bore Grinding นั้นถูกควบคุมจากโปรแกรมที่มี 6 ตัวแปร ซึ่งเรากำหนดให้ปัจจัยนำเข้า และกำหนดให้ตัวแปรตอบสนองคือรอบเวลาการผลิตและค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน เมื่อนำปัจจัยนำเข้าทั้ง 6 ปัจจัย ซึ่งได้แก่ จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Starting position), จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด (Fine Grinding Starting position), ความเร็วในการขัดหยาบ 1 (Rough Grinding 1 Speed), ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed), ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed) และ ความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed) มาคัดกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (One Half Fraction Factorial Design : 2^{k-1}) จากผลการทดลองพบว่า มี 5 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อรอบเวลาการผลิต และมีอีก 3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงาน ดังนั้นปัจจัยทั้ง 6 มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเราจะได้นำ 6 ปัจจัยดังกล่าวนี้ไปหาค่าที่เหมาะสมเพื่อที่จะทำการปรับปรุงกระบวนการต่อไป

9.4 การปรับปรุงกระบวนการ

ในขั้นตอนการแก้ไขเพื่อปรับปรุงกระบวนการนี้ได้นำเอาปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่ได้สรุปมาแล้วจากขั้นตอนการคัดกรองปัจจัย ซึ่งได้ปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองรอบเวลาการผลิตและความหยาบผิว ทั้งหมด 6 ปัจจัย ได้แก่ จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Starting position), จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด (Fine Grinding Starting position), ความเร็วในการขัดหยาบ 1 (Rough Grinding 1 Speed), ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed), ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed) และ ความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed) ซึ่งในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการได้เลือกการออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวผลตอบแบบ Central composite design (CCD) มาช่วยในเรื่องของการหาค่าของปัจจัยปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุด และจากการออกแบบการทดลอง สามารถสรุปได้ว่าค่าปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสมนั้น มีรายละเอียดตามตารางที่ 9.1 ซึ่งจากการปรับระดับที่เหมาะสมของปัจจัยจากการออกแบบการทดลองดังกล่าวจะให้รอบเวลาในการผลิตที่น้อยที่สุดและค่าความหยาบผิวของชิ้นงานนั้นต้องไม่เกินค่าที่ลูกค้ากำหนด ซึ่งจำเป็นต้องมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการทดลองในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 9. 1 แสดงสถานะที่เหมาะสมสำหรับการปรับตั้งเครื่องจักร

สัญลักษณ์ ของปัจจัย	ปัจจัย	สถานะใหม่ของ เครื่องจักร	หน่วย
A	จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ2 (Rough Grinding 2 Starting position)	0.0250	มิลลิเมตร
B	จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด (Fine Grinding Starting position)	0.0050	มิลลิเมตร
C	ความเร็วในการขัดหยาบ 1 (Rough Grinding 1 Speed)	0.0550	มิลลิเมตร / วินาที
D	ความเร็วในการขัดหยาบ 2 (Rough Grinding 2 Speed)	0.0370	มิลลิเมตร / วินาที
E	ความเร็วในการขัดหยาบ 3 (Rough Grinding 3 Speed)	0.0400	มิลลิเมตร / วินาที
F	ความเร็วในการขัดละเอียด (Fine Grinding Speed)	0.0040	มิลลิเมตร / วินาที

9.5 การยืนยันผลและการติดตามควบคุมกระบวนการ

จากการทดสอบยืนยันผลเป็นการทดลองปฏิบัติงานจริงด้วยปัจจัยต่างๆในระดับที่เหมาะสม โดยกำหนดค่าปัจจัยตามที่ได้จากการวิเคราะห์ในบทที่ 6 จากนั้นได้ทดลองโดยการผลิตงานจริงและบันทึกค่าของตัวแปรตอบสนองทั้งสองตัว พบว่ารอบเวลาการผลิตหลังการทดสอบเท่ากับ 2.75 วินาที ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ประเมินได้จากโปรแกรมนั้นคือ 2.76 วินาที และค่าความหยาบผิวของชิ้นงานหลังการทดสอบเท่ากับ 0.852 ไมครอนเมตร ซึ่งมากกว่าค่าที่ประเมินได้จากโปรแกรมเล็กน้อยนั้นคือ 0.850 ไมครอนเมตร และมีค่าดัชนีความสามารถเชิงสมรรถนะของกระบวนการ (Cpk) เท่ากับ 1.52

ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้ว่าปัจจัยปรับตั้งเครื่องจักรและรหัสหินขัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริง ตามรายละเอียดในตารางที่ 9.2

ตารางที่ 9. 2 ตารางสรุปผลสรุปการทดสอบเพื่อยืนยัน

ตัวแปรตอบสนอง	หน่วย	ก่อนการปรับปรุง	การประเมินจากโปรแกรม	หลังการปรับปรุง
รอบเวลาการผลิต	วินาที			
ค่าเฉลี่ย		2.98	2.76	2.75
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.0514		0.0424
ค่าความหยابผิว	ไมครอนเมตร			
ค่าเฉลี่ย		0.798	0.850	0.852
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		0.0271		0.0332
Cpk		2.58		1.52
รหัสหินขัด		GC220 M 7V5S (รหัสเดิมที่ใช้อยู่)		GC220 M 7V5S (รหัสเดิมที่ใช้อยู่)

ในส่วนของการควบคุมกระบวนการนี้เป็นการตรวจติดตามและควบคุมกระบวนการในการดำเนินการผลิตจริง โดยมีการติดตามควบคุมทั้งปัจจัยนำเข้าคือ ชิ้นงานจากกระบวนการ Turning และพารามิเตอร์ปรับตั้งโปรแกรมเครื่องจักรที่กระบวนการ Bore grinding ส่วนตัวแปรตอบสนอง คือ รอบเวลาการผลิตและค่าความหยابผิว ซึ่งแบ่งลักษณะการติดตามควบคุมตามรายละเอียดการควบคุมดังต่อไปนี้

ปัจจัยนำเข้า ได้ทำการควบคุมและติดตามโดยใช้ การจัดทำแผนภาพ (Drawing), มาตรฐานการปฏิบัติงาน (Process Drawing) และแบบฟอร์มการตรวจสอบ (Check sheet)

ตัวแปรตอบสนอง ได้ทำการควบคุมและติดตามโดยใช้แผนภูมิ Xbar และแผนภูมิ Xbar-R

และจากการที่ได้ทดลองใช้เครื่องมือต่างๆในการควบคุมติดตาม พบว่ารอบเวลาการผลิตและค่าความหยาบผิวนั้นสามารถควบคุมได้ โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.745 วินาที สำหรับรอบเวลาการผลิต และ 0.8462 ไมครอนเมตร สำหรับค่าความหยาบผิว ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยที่ได้ทำการทดสอบไว้

9.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย

1. การทำวิจัยครั้งนี้ต้องทำควบคู่ไปกับการผลิตชิ้นงานในกระบวนการผลิตจริง จึงทำให้ในการทดลองแต่ละครั้งต้องมีการแข่งกับแผนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไว้ล่วงหน้า เนื่องจากจะต้องมีการวางแผนเพื่อหยุดเครื่องและปรับเปลี่ยนโปรแกรมการทำงานของเครื่องจักรตามวิธีในการดำเนินงานวิจัย ทำให้การวิจัยอาจจะต้องใช้เวลาในช่วงของการออกแบบการทดลองและขั้นตอนการปรับปรุงมากเป็นพิเศษ

2. ชิ้นงานที่กระบวนการ Turning นั้นมีการปรับเปลี่ยนค่า Specification ซึ่งสามารถใช้ได้กับโปรแกรมการทำงานของเครื่อง Bore grinding ที่ผู้วิจัยได้เสนอเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้กับโปรแกรมเดิมที่ใช้ในกระบวนการผลิตจริง ดังนั้นจึงต้องทำเครื่องหมายไว้ที่ lot ของชิ้นงานทดลอง และจะต้องขึ้นงานออกจากกระบวนการผลิตจริงเนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อสายการผลิตได้ อีกทั้งยังไม่สามารถทดลองในปริมาณมากได้

3. ในการวิจัยนี้ไม่สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงได้ เนื่องจากมีการปรับปรุงโดยการปรับตั้งค่าเครื่องจักร และเพิ่มขั้นตอนทำงานของพนักงานในการตรวจสอบเท่านั้น โดยในส่วนของการปรับตั้งค่าของเครื่องจักรนั้น ค่าใช้จ่ายก็คือค่าไฟฟ้าซึ่งไม่สามารถแยกคำนวณเป็นมูลค่าได้ เนื่องจากค่าไฟฟ้าต่อเดือนนั้นคิดรวมกันทั้งโรงงาน และในส่วนค่าใช้จ่ายของพนักงานนั้นไม่มีส่วนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากยังสามารถใช้จำนวนคนเท่าเดิม

9.7 ข้อเสนอแนะ

1. ในการวิจัยเพื่อการลดรอบเวลาการผลิตของชิ้นงานรุ่น 7040 ที่กระบวนการ Bore grinding นี้สามารถนำไปประยุกต์ได้ชิ้นงานรุ่นอื่นๆ หรือกับในสายการผลิตอื่นที่มีลักษณะการทำงานของเครื่องจักรที่เหมือนหรือคล้ายกับกระบวนการขัดผิวด้านในได้อีกด้วย

2. การปรับปรุงในเรื่องการลดรอบเวลาการผลิตควรมีการขยายผลไปในผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ และสายการผลิตอื่นๆ ถึงแม้ว่าจะยังไม่มีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาในเรื่องของผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า แต่มันจะอาจสามารถลดปริมาณเครื่องจักรลงได้ นั่นก็คือสามารถเพิ่มความสามารถของเครื่องจักรและยังสามารถมีเครื่องจักรเหลือเพื่อนำไปใช้งานอย่างอื่นหรือเหลือพอสำหรับการตัดสินใจในการขยายโรงงานในอนาคตได้อีกด้วย

3. หลังการปรับปรุงกระบวนการแล้ว ต้องมีการปรับปรุงเอกสารต่างๆให้เป็นปัจจุบันตามผลการทดลอง เพื่อป้องกันการดำเนินงานที่ผิดพลาดของพนักงาน และหลังจากการทดลองสำเร็จแล้วจะต้องมีการจัดฝึกอบรมพนักงานให้มีความรู้ความเข้าใจในวิธีการทำงานแบบใหม่อีกด้วย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายการอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.
- ฉนวนัช พระพุทธคุณ และ อีรเดช วุฒิพรพันธ์. การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จโดยวิธีการทดลองเชิงแฟกทอเรียล. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 21 2 (พฤษภาคม-สิงหาคม 2554): 313-320.
- ชัยพันธ์ พัทธิกุล. การลดของเสียในกระบวนการประกอบฐานรองรับมอเตอร์โดยแนวทางซิกซ์ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- เดโช บุญครอง. การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสำหรับการศึกษาผลกระทบของแขนจับหัวอ่าน/เขียนในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- ธิดาเดียว มยุรีสุวรรณค์. การควบคุมคุณภาพในอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.
- นันท์ชญาณ์ จารัตน์. การลดปริมาณอนุภาคเป็อร์โซอิกเล็กทริกทรานส์ดีวเซอร์ที่หลุดออกมาจากแขนจับหัวอ่านเขียน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.
- ปารเมศ ชุตินา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- วรภัทร ภูเจริญ, กาญจนา สร้อยระย้า และ ธนภฤต จรัสรุ่งขวลิต. เข้าใจ Six Sigma. กรุงเทพมหานคร : บริษัท อริยชน จำกัด, 2546.
- ศุภชัย นาทะพันธ์. การควบคุมคุณภาพ. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2551.
- สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ. การลดสัดส่วนของเสียที่เกิดจากโรงอากาศในกระบวนการขึ้นรูปไมโครชิป. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 22 3 (กันยายน-ธันวาคม 2555): 610-621.
- สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ และ อีรยฤทธิ์ ยกชีว. การปรับปรุงคุณภาพของกระเบื้องปิสกิตโดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง. ในการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, หน้า 159-164. 21-22 ตุลาคม 2552 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552.

- โสภิตา ท่วมมี. การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่น โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2550.
- อนุสิทธิ์ อ่ำไพบูลย์. ปัจจัยที่เหมาะสมของการเชื่อมแบบ MAG-M. ในการประชุมวิชาการข่ายงาน วิศวกรรมอุตสาหกรรม, หน้า 2-6. 21-22 ตุลาคม 2552 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2552.
- อาทิตย์ หงสพันธ์. การลดข้อบกพร่องในกระบวนการพ่นสีตัวถังรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรม อุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- เอราวิล ถาวร และ ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา. การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิต แกนกระทุ้งคลัตช์ที่มีผลต่อผลตอบสนองหลายตัวกรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วน รถจักรยานยนต์. ในการประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติประจำปี 2554, หน้า 345-348. 8-9 กันยายน 2554 ณ โรงแรม เอส ดี อเวนิว กรุงเทพฯ, 2554.
- Asawarungsaengkul, K., Deeying, J., and Boonpalit, P. Quality Improvement on the Laser Spot Welding Process of a Suspension Manufacturer. Proceedings of 5th PSU-NUS International Conference on Engineering and Technology (ICET-2011), pp 648-652. May 2-3 2011, Phuket, Thailand.
- Asawarungsaengkul, A., and Sukamta, S. Process Yield Improvement on the Gram Load Adjusting Process of a Suspension Manufacturer. IEEE International Conference on Quality and Reliability (2011) : 317-321.
- Cavanaugh, Neuman and Pande. เส้นทางสู่ Six Sigma. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ที่อป จำกัด, 2548.
- FactoryMax./การเลือกหินเจียรระโนอย่างไรให้เหมาะสมกับงาน [ออนไลน์]./แหล่งที่มา: <http://www.factorymax.co.th/index.php/abrasive-today/150-abrasive-tools-today-23> [3 กันยายน 2556].
- Jindadee, A., Asawarungsaengkul, K., and Deeying J. Determination of the Appropriate Laser Spot Welding Parameters to Reduce the Undercut Defect of the Suspension Using Split-Plot Design. The 4th International Data Storage Technology Conference 2011.
- Jamaluddin, Z., Razali, A.M., and Mustafa, Z. Wafer dice process improvement using Six sigma approach. 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability (2011) : 31-35.
- Kutasthien, N., and Boonsompong, T. Reduce of Tombstone Capacitor Problem by Six Sigma Technique: A Case Study of Circuit Cable Assembly Line. 2011 IEEE International Conference on Quality and Reliability (2011) : 546-550.

- Krajnik, P., Kopac, J., and sluga, A. Design of grinding factor based on response surface methodology. Journal of Materials Processing Technology 162-163 (2005): 629-636.
- Montgomery, D.C. Design and analysis of experiments. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons, 2005.
- Montgomery, D.C., and Runger, G.C. Applied Statistics and Probability for engineers. 3rd Ed. NY: John Wiley & Sons, 2003.
- Myers, R.H. Response surface methodology : process and product optimization using designed experiments. 2nd Ed. New York : J. Wiley, 2002.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

คำศัพท์

A

Analysis Phase	การวิเคราะห์และคัดกรองปัจจัย
Assembly line	กระบวนการประกอบชิ้นส่วน

B

Ball Bearing	ตลับลูกปืนเม็ดกลม
Barrel Process	กระบวนการลบคมชิ้นงาน
Bore Grinding Machine Condition	ค่าปรับตั้งเครื่องจักรของเครื่องจักร
Bore Grinding Process	กระบวนการขัดผิวด้านใน
Bottle Neck	จุดคอขวด

C

Carrier	อุปกรณ์ลำเลียงชิ้นงาน
Cause-Effect Matrix	ตารางสาเหตุและผล
Check sheet	แบบฟอร์มการตรวจสอบ
Control Phase	การติดตามควบคุมกระบวนการ

D

Define Phase	การศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา
Design Of Experiment : DOE	การออกแบบการทดลอง
Drawing	แผนภาพ
Dressing	การขัดตกแต่งขัดหินขัด

F

Fine Grinding Speed	ความเร็วในการขัดละเอียด
---------------------	-------------------------

Fine Grinding Starting position	จุดเริ่มต้นในการขัดละเอียด
Fish Bone Diagram	แผนภาพก้างปลา
	G
Grinding wheel	หินขัดแบบแผ่นกลม
Grinding	การขัดชิ้นงาน
	H
Heat Treatment	กระบวนการอบชิ้นงาน
	I
Improve Phase	การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ
Inner Diameter: ID	เส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน
Inner Ring	วงแหวนด้านใน
	K
Key Performance Indicators	ดัชนีวัดผลงาน
	L
Loading	การเคลื่อนที่ของชิ้นงาน
	M
Machining Line	กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเครื่องจักร
Measure Phase	การวัดและการกำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหา
	O
O.D. Grinding Process	กระบวนการขัดผิวด้านนอกของชิ้นงาน
Outer Diameter : OD	เส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก
Outer Ring	วงแหวนด้านนอก

P

Pareto Diagram	แผนผังพาเรโต
Pareto Principle	หลักการพาเรโต
Part Feeder	ท่อส่งงาน
Process Drawing	มาตรฐานการปฏิบัติงาน
Process Engineer	วิศวกรกระบวนการผลิต
Process Engineering Manager	ผู้จัดการแผนกควบคุมกระบวนการผลิต

Q

Quality control: QC	แผนกควบคุมคุณภาพ
---------------------	------------------

R

Raceway Grinding Process	กระบวนการขัดผิวร่องนำบอล
Raceway Super Finish Process	กระบวนการขัดละเอียดบนผิวของร่องนำบอล
Radial Load	แรงในแนวรัศมี
Response Surface Mythology : RSM	เทคนิคพื้นผิวตอบสนอง
Rough Grinding 1 Speed	ความเร็วในการขัดหยาบ 1
Rough Grinding 2 Speed	ความเร็วในการขัดหยาบ 2
Rough Grinding 3 Speed	ความเร็วในการขัดหยาบ 3
Rough Grinding 2 Starting position	จุดเริ่มต้นในการขัดหยาบ 2

S

Side Lap Process	กระบวนการขัดผิวหน้าของชิ้นงาน
Specification Limits	ข้อกำหนดเฉพาะ
Steel Bar	เหล็กเส้น
Supplier	บริษัทคู่ค้า

T

Thrust Load

แรงในแนวแกน

Tooling

เครื่องมือ

Turning Process

กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน

W

Washing Process

กระบวนการล้างชิ้นงาน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสลักจิตต์ พุทธจักร เกิดเมื่อวันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2526 สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนขอนแก่นวิทยายน จังหวัดขอนแก่น และได้เข้าศึกษาต่อจนสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2547 ภายหลังจากจบการศึกษาได้เข้าทำงานที่บริษัท บริษัท Seiko Instruments (Thailand) Ltd ในตำแหน่งวิศวกรกระบวนการ หลังจากนั้นจึงได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2555



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY