การปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธี ซิกซ์ ซิกม่า ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
กรณีศึกษา บริษัท ไทยซัมมิทเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด

T061908

นางสาวกนกวรรณ ดีปัญญา
นายธนวัฒน์ ธงอาษา
นายชัยทวี สมัญญา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 61908
วัน,เดือน,ปี 24 ก.ค. 2549

b.....
ส.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUALITY IMPROVEMENT BY SIX SIGMA APPROACH IN AUTOMOTIVE - PART INDUSTRY: A CASE STUDY IN THAI SUMMIT ENGINEERING CO., LTD.

MISS KANOKWAN DEEPANYA

MR. TANAWAT TONGASA

MR. CHAITAWEE SAMANYA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธี ซิกซ์ ซิกม่า ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ กรณีศึกษา บริษัท ไทยซัมมิทเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด QUALITY IMPROVEMENT BY SIX SIGMA APPROACH IN AUTOMOTIVE – PART INDUSTRY: A CASE STUDY IN THAI SUMMIT ENGINEERING CO., LTD.

นักศึกษา	นางสาวกนกวรรณ ดีปัญญา	รหัสประจำตัว	45015884
	นายธนวัฒน์ ธงอาษา	รหัสประจำตัว	45015885
	นายชัยทวี สมัญญา	รหัสประจำตัว	45015892

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ดร. สิทธิพร พิมพ์สกุล)

(รศ. พรศักดิ์ อรรถวานิช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธี ซิกซ์ ซิกม่าในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ กรณีศึกษา บริษัท ไทยซัมมิทเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
นักศึกษา	นางสาวกนกวรรณ ดีปัญญา นายธนวัฒน์ ธงอาษา นายชัยทวี สมัญญา
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล รศ. พรศักดิ์ อรรถวานิช

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนที่มีชื่อว่า Pump Plunger ของสายการผลิตแม่แรง (Oil Jack) วิธีการทาง ซิกซ์ ซิกม่า ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าผลต่างของเส้นผ่าศูนย์กลางด้านหัวและท้ายของชิ้นงาน Pump Plunger ซึ่งเป็นข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้าและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ปริมาณของเสียลดลง หน่วยวัดผลระดับการปรับปรุงของการวิจัยครั้งนี้ คือปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นในหน่วย DPPM ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสียเท่ากับ 135,666 DPPM

ขั้นตอนในการวิจัยจะดำเนินตามขั้นตอนตามวิธีการทางซิกซ์ซิกม่า ทั้ง 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนการนิยามปัญหา ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต ตามลำดับ เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการ คือ แผนภาพอธิบายกระบวนการ (Process Mapping) ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) วิเคราะห์ผลและเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Key Process Input Variable: KPIV) การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) จากการดำเนินการคุณภาพโดยนำ วิธีการทางซิกซ์ซิกม่า ในระยะเวลา 2 เดือน พบว่า ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นงาน Pump Plunger ของสายการผลิตแม่แรง (Oil Jack) ลดลงจากเดิม 135, 666 DPPM เป็น17, 864 DPPM หรือเมื่อเปรียบเทียบในระดับ σ สามารถปรับปรุงจากระดับ 2.6σ เป็นที่ระดับ 3.6σ นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของเส้นผ่าศูนย์กลางด้านหัวและท้ายของชิ้นงาน Pump Plunger ลดต่ำลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Quality Improvement by Six Sigma Approach in Automotive – part Industry: A Case Study in Thai Summit Engineering Co., Ltd.
Student	Miss Kanokwan Deepanya
	Mr. Tanawat Tongasa
	Mr. Chaitawee Samanya
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2004
Thesis Advisor	Dr. Sittiporn Pimsakul
	Associate Professor Pornsak Attavanich

ABTRACT

The objective of this research is to reduce defective parts of pump plunger, a component in oil jack production line. Six Sigma approach is applied for improving a production process and identifying parameters affecting the difference of diameters at both ends of the Pump Plunger. This thesis also determines appropriatc conditions of these parameters. Matrix for evaluating the improvement in this thesis is defect part per million(DPPM). Prior to improvement, the current production line produces 135,666 DPPM.

This research follows 5 steps in Six Sigma approach, including define phase, measure phase, analyze phase, improve phase, and control phase. Statistical tool for implementing these steps consist of process mapping, fish bone diagram, cause & effect matrix, failure mode and effect analysis (FMEA), key process input variable (KPIV) , and design of experiment. The results of the Six Sigma implemenntation are reduction of pump plunger defective parts from 135,666 DPPM to 17,864 DPPM or improvement from 2.6σ level to 3.6σ level and reduction of the difference of diameters at both ends of the pump plunger.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อ ดร. สิทธิพร พิมพ์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความรู้ทางทฤษฎี หลักการ ตลอดจนแนวทางการแก้ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำวิจัยอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ พรศักดิ์ อรรถวานิช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ อาจารย์เชาวลิต หามนตรี และคณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องภายในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณ ไวพจน์ วงค์ฟู ผู้จัดการฝ่ายโปรดักชั่นแมส คุณ อำนวยพร อัคจันทร์ (พี่เป็ด) คุณ วชิราภรณ์ พึ่งแม้น (พี่จอย) คุณ พรชัย คำมูล (พี่หมี) คุณ ภาณุวัฒน์ หุ่นตระกูล (พี่อาร์ม) ที่อนุญาตให้คณะผู้วิจัยได้ใช้สถานที่ในการดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณสมาชิกทุกท่านที่ได้ให้ข้อมูลและเข้าร่วมระดมความคิดเห็นในการทำการวิจัย ตลอดจนพี่พนักงานในโรงงานกรณีศึกษาทุกท่านที่ให้ความร่วมมือในการทดลองเป็นอย่างดี

ท้ายนี้ คณะผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครูอาจารย์ พี่น้อง เพื่อนนิสิต นอกจากนั้น ขอขอบคุณทุกท่านที่มิได้กล่าวถึงไว้ ณ ที่นี้ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจแก่คณะผู้ทำการวิจัยเสมอมาจนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

นางสาวกนกวรรณ ดีปัญญา
นายธนวัฒน์ ธงอาษา
นายชัยทวี สมัญญา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... จ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา 2

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 3

1.5 แนวทางของการดำเนินการวิจัย 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การกำหนดแผนงานในการแก้ปัญหา 5

2.1.1 การกำหนดปัญหา 5

2.1.2 ผลรวมสัดส่วนของเสีย 5

2.1.3 แผนภาพกระบวนการผลิต 6

2.2 การวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา 6

2.2.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด 6

2.2.2 ผังแสดงเหตุและผล 8

2.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ 9

2.2.4 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ 12

2.3 การวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา 17

2.3.1 การทดสอบสมมติฐาน 17

2.3.2 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน 17

2.3.3 การใช้ P-Value ในการทดสอบสมมติฐาน 18

2.3.4 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจาก 2 ประชากร 18

2.3.5 การทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวนจาก 2 ประชากร 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ 20
2.4.1 การออกแบบการทดลอง 20
2.4.2 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ 21
2.4.3 หลักการพื้นฐานสำหรับการออกแบบการทดลอง 21
2.4.4 วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง 21
2.4.5 แนวทางในการออกแบบการทดลอง 22
2.4.5 คำจำกัดความ 23
2.4.6 ลำดับขั้นการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง 23
2.4.7 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 24
2.5 การ ควบคุมกระบวนการผลิต 26
2.5.1 แผนภูมิควบคุม 27
2.5.2 ประเภทของแผนภูมิควบคุม 28
2.5.3 เกณฑ์การเลือกใช้แผนภูมิแต่ละประเภท 28
2.5.4 วิธีการสร้างแผนภูมิควบคุม 29
2.5.5 การอธิบายความหมายแผนภูมิควบคุม 33
2.5.6 ข้อควรระวังในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม 35

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

3.1 การกำหนดแผนงานในการแก้ปัญหา 37
3.1.1 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน 37
3.1.2 การกำหนดปัญหา 38
3.1.3 การศึกษาสภาพปัญหาในปัจจุบัน 38
3.1.4 การคำนวณผลรวมสัดส่วนของเสีย 39
3.1.5 การศึกษากระบวนการผลิต 42
3.1.6 การกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานและเครื่องมือที่เลือกใช้ 43
3.2 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา 45
3.2.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด 45
3.2.2 การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล 49
3.2.3 การวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล 51
3.2.4 การวิเคราะห์ประเภทของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ 53
3.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าสำหรับการทดสอบสมมติฐาน 61
3.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐาน 61
3.3.3 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน 78
3.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ 78
3.4.1 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 79
3.4.2 กำหนดตัวแปรตอบสนอง 79
3.4.3 การออกแบบการทดลอง 80
3.4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 82
3.4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 85
3.4.6 ค่าของเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง 89
3.5 การทดสอบยืนยันผล 89
3.5.1 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล 90
3.5.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 90
3.6 การควบคุมกระบวนการผลิต 92

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 การนิยามปัญหา 93
4.2 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา 93
4.2.1 ผลจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด 93
4.2.2 ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล 93
4.2.3 ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ 94
4.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา 94
4.3.1 การคำนวณสิ่งตัวอย่าง 94
4.3.2 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน 94
4.4 การปรับปรุงและแก้ไขกระบวนการ 95
4.5 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล 95

บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 บทนำ 97
5.2 บทสรุปขั้นตอนต่างๆ ในการดำเนินการวิจัย 97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.3 ข้อจำกัดในการทำงานวิจัย 99
5.4 ข้อเสนอแนะ 99

รายการอ้างอิง 100
ภาคผนวก ก ..... ผก 1
ภาคผนวก ข ..... ผข 1
ภาคผนวก ค ..... ผค 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ลำดับของความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี....16
ตารางที่ 2.2 ค่าดัชนีและสัดส่วนประมาณการของผลิตภัณฑ์บกพร่องของกระบวนการ....16
ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่สำหรับคำนวณพิกัดควบคุมแผนภูมิ....30
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงการคำนวนผลรวมสัดส่วนของเสียในหน่วยจำนวนของเสียต่อล้านหน่วย (DPPM)....40
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงเครื่องมือที่เลือกใช้และตัววัดผลของขั้นตอนต่างๆ....43
ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงผลค่าตัวแปรนำเข้าที่สามารถควบคุมได้และไม่สามารถควบคุม....51
ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและผลกระทบของกระบวนการ....52
ตารางที่ 3.5 ตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ....54
ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงสาเหตุของปัญหาและค่า RPN....59
ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงระดับของปัจจัยในการทดสอบสมมติฐาน....61
ตารางที่ 3.8 แสดงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะนำไปทำการทดลอง....79
ตารางที่ 3.9 ตารางแสดงผลการทดลอง....81
ตารางที่ 3.10 ตารางแสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ....89
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบสมมติฐานแต่ละปัจจัย....95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ชิ้นงาน Pump Plunger 2
รูปที่ 1.2 ผลิตภัณฑ์ภายในบริษัท 2
รูปที่ 2.1 สภาวะกระบวนการ 13
รูปที่ 2.2 การแจกแจงของตัวสถิติ $\bar{x}$ ภายใต้ H_0 และ H_1 18
รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของกระบวนการหรือระบบที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง 21
รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงตัวแปรตอบสนองที่มีผลจากอิทธิพลหลัก 24
รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงตัวแปรตอบสนองที่มีผลจากอันตรกิริยา 25
รูปที่ 2.6 ภาพแสดงระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของการทดลองแบบ 2^k Factorial Designs 26
รูปที่ 2.7 แสดงว่ากระบวนการยังอยู่ภายใต้การควบคุมกระบวนการ 27
รูปที่ 2.8 แสดงว่ากระบวนการไม่ได้อยู่ภายใต้การควบคุม 27
รูปที่ 2.9 แนวความคิดแผนภูมิควบคุม 29
รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างแผนภูมิควบคุม 33
รูปที่ 2.11 ตัวแบบของความไม่สุ่ม 33
รูปที่ 2.12 ตัวแบบของข้อมูลที่มิได้มีตัวแบบแบบปกติ 34
รูปที่ 2.13 ความผันแปรที่มากกว่าความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติ 35
รูปที่ 3.1 แผนภาพพาเรโตแสดงปริมาณของเสียของสายการผลิตผลิตภัณฑ์แม่แรง 38
รูปที่ 3.2 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าผลต่างของชิ้นงาน 39
รูปที่ 3.3 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต 39
รูปที่ 3.4 แผนภาพพาเรโตแสดงปริมาณของเสียในหน่วย DPPM 41
รูปที่ 3.5 แผนภาพกระบวนการผลิตของชิ้นงาน Pump Plunger 42
รูปที่ 3.6 แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัดในกระบวนการผลิต Pump Plunger 46
รูปที่ 3.7 ตาราง ANOVA สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด 47
รูปที่ 3.8 ตาราง ANOVA สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด เมื่ออันตรกิริยามีนัยสำคัญ 47
รูปที่ 3.9 ค่าความผันแปรจากแหล่งต่างๆของระบบการวัด 48
รูปที่ 3.10 การระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล 50
รูปที่ 3.11 แผนภาพพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 52
รูปที่ 3.12 แผนภาพพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของค่า RPN 60
รูปที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของ δ/σ ที่ใช้ในการคำนวณสิ่งตัวอย่าง 62
รูปที่ 3.14 การคำนวณสิ่งตัวอย่าง 62
รูปที่ 3.15 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานที่ความเร็วรอบที่ 3200 Rpm 63
รูปที่ 3.16 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานที่ความเร็วรอบที่ 3900 Rpm 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.17 ตารางผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงาน ในกระบวนการปกติที่ความเร็วรอบ 3900 Rpm และที่ 3200 Rpm ของความเร็วรอบต่ำสุด 64

รูปที่ 3.18 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ความเร็วรอบ 3900 Rpm และที่ 3200 Rpm ของความเร็วรอบต่ำสุด 65

รูปที่ 3.19 ตารางแสดงผลการทดสองความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ความเร็วรอบ 3900 Rpm และ ค่าความเร็วรอบที่ 3200 Rpm 66

รูปที่ 3.20 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานที่แรงดันที่ 8 Kgf/cm^3 67

รูปที่ 3.21 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานที่แรงดันที่ 10 Kgf/cm^3 67

รูปที่ 3.22 ตารางผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงาน ในกระบวนการปกติที่ระดับแรงดันที่ 8 Kgf/cm^{3}และที่ระดับแรงดันที่ 10 Kgf/cm^3 ของค่าระดับแรงดันสูงสุด 68

รูปที่ 3.23 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ระดับแรงดันที่ 8 Kgf/cm^{3}และที่ระดับแรงดันที่ 10 Kgf/cm^{3}ของค่าระดับแรงดันสูงสุด 69

รูปที่ 3.24 ตารางแสดงผลการทดสองความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ระดับแรงดันที่ 8 Kgf/cm^3 และ ที่ระดับแรงดันที่ 10 Kgf/cm^3 70

รูปที่ 3.25 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานที่แรงดันที่ 15 Kgf/cm^3 71

รูปที่ 3.26 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานที่แรงดันที่ 20 Kgf/cm^3 71

รูปที่ 3.27 ตารางผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงาน ในกระบวนการปกติที่ระดับ แรงดันที่ 15 Kgf/cm^{3}และที่ระดับแรงดันที่ 20 Kgf/cm^3 ของค่าระดับแรงดันสูงสุด 72

รูปที่ 3.28 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ระดับแรงดันที่ 15 Kgf/cm^{3}และที่ระดับแรงดันที่ 20 Kgf/cm^{3}ของค่าระดับแรงดังสูงสุด 73

รูปที่ 3.29 ตารางแสดงผลการทดสองความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ระดับแรงดันที่ 15 Kgf/cm^3 และ ที่ระดับแรงดันที่ 20 Kgf/cm^3 74

รูปที่ 3.30 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานใช่แกนบาเดิมในกระบวนการปกติ 75

รูปที่ 3.31 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานใช่แกนบาใหม่ 75

รูปที่ 3.32 ผลการทดสอบการเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงาน ในกระบวนการปกติที่ใช้แกนบาเดิมและที่ใช้แกนบาใหม่ 76

รูปที่ 3.33 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ใช่แกนบาเดิมและที่ใช่แกนบาใหม่ 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.34 แสดงผลการทดสองความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ใช่แกนบาเดิมและ ที่ใช่แกนบาใหม่ 78
รูปที่ 3.35 การคำนวณการทดลองซ้ำ 80
รูปที่ 3.36 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าตัวแปรตอบสนอง 82
รูปที่ 3.37 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง 83
รูปที่ 3.38 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล 83
รูปที่ 3.39 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต 84
รูปที่ 3.40 กราฟนอร์มัลพล็อตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ 85
รูปที่ 3.41 แผนภาพพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีความสำคัญ 85
รูปที่ 3.42 ภาพผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง 86
รูปที่ 3.43 ภาพอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง 86
รูปที่ 3.44 แสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Coded Units) 87
รูปที่ 3.45 แสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Un-Coded Units) 88
รูปที่ 3.46 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 89
รูปที่ 3.47 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าผลต่างของชิ้นงาน 91
รูปที่ 3.48 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในอุตสาหกรรมและธุรกิจบริการปัจจุบันจำเป็นต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงองค์กรของตนเพื่อเพิ่มศักยภาพการแข่งขันในสภาวการณ์ที่มีการเติบโตในอัตราสูงและต่อเนื่อง ทั้งการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือคุณภาพบริการ รวมถึงการพิจารณาในส่วนของการลดต้นทุนในการผลิต โดยยังคงไว้ซึ่งคุณภาพที่ดีที่ลูกค้าพึงพอใจและยอมรับได้ จากอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจและธุรกิจในปัจจุบันทำให้ธุรกิจและอุตสาหกรรมจำเป็นต้องมีการพัฒนาองค์กรของตนในด้านต่างๆโดยเฉพาะการนำเทคนิคหรือหลักการด้านวิศวกรรมอุตสาหการเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการผลิต ซึ่งที่ผ่านมาในอดีตนั้น จะเป็นลักษณะของการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับการแข่งขันในสภาวการณ์ปัจจุบัน

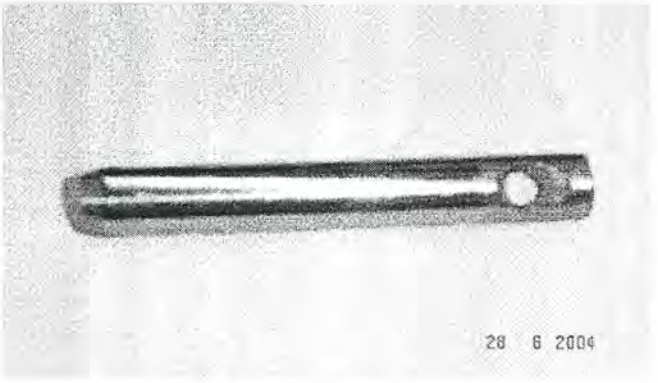
ในส่วนของอุตสาหกรรมยานยนต์ที่ผลิตชิ้นส่วนของอุปกรณ์แม่แรงยกรถมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการและเทคโนโลยีการผลิตค่อนข้างบ่อย จึงจำเป็นต้องพิจารณาในส่วนของจุดคุ้มทุนที่ได้ลงทุน และคำนึงถึงผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งกุญแจสำคัญที่จะช่วยให้การดำเนินการขององค์กรเหล่านี้มีประสิทธิภาพนั้น ต้องสามารถที่จะทำให้องค์กรพัฒนาอย่างรวดเร็ว กล่าวอีกนัยคือ การพัฒนาแบบก้าวกระโดด โดยนำหลักการและเทคนิคของ ซิกซ์ ซิกม่า ที่ได้รับความสนใจอย่างสูงในอุตสาหกรรมยานยนต์ในปัจจุบันมาประยุกต์ใช้ในองค์กร

ทั้งนี้ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนของสายการผลิตของผลิตภัณฑ์แม่แรง (Oil Jack) ในปัจจุบันโรงงานที่คณะผู้วิจัยใช้ทำในกรณีศึกษามีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นนั้นไม่คุ้มค่าต่อการนำกลับไปทำใหม่ (Rework) ทางบริษัทจึงต้องขายเป็นเศษเหล็ก นอกจากนี้ยังได้รับข้อร้องเรียนจากลูกค้าในกรณีที่ผลิตภัณฑ์ไม่ได้คุณภาพ ซึ่งสิ่งเหล่านี้ถือเป็นการสูญเสียที่ควรทำให้เกิดขึ้นน้อยลง จึงควรมีการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ส่งมอบมีจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพลดน้อยลงให้มากที่สุดหรือแทบไม่มีเลย (Zero Defect)

ทางบริษัทจึงเล็งเห็นว่า การที่จะประสบความสำเร็จในอุตสาหกรรมที่มีการแข่งขันอย่างมากนี้ สิ่งสำคัญที่จะทำให้ยอดขายของบริษัทเพิ่มขึ้นและนำไปสู่กำไรของบริษัทนั้นคือ การสร้างความพึงพอใจสูงสุดของลูกค้า โดยมีการพัฒนาและปรับปรุงทั้งทางคุณภาพตลอดจนการลดต้นทุนการผลิต การวางแผนเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ และการยกระดับคุณภาพอย่างรวดเร็วนั้นควรที่จะมีการวัดคุณภาพโดยอาศัยวิธีทางสถิติ คือวิธีการทาง ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma Approach) เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการวิจัยเกี่ยวกับคุณภาพในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนที่มีชื่อว่า Pump Plunger ซึ่งเป็นชิ้นส่วนในสายการผลิตของผลิตภัณฑ์แม่แรง (Oil Jack) ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งการผลิตในปัจจุบันมีของเสียเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากคิดเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของเปอร์เซ็นต์ของเสียทั้งหมดของสายการผลิตของผลิตภัณฑ์แม่แรง (Oil Jack) ส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการแข่งขัน กลุ่มผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการศึกษาเพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและเพิ่มความด้านสามารถของกระบวนการผลิตด้วยวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า

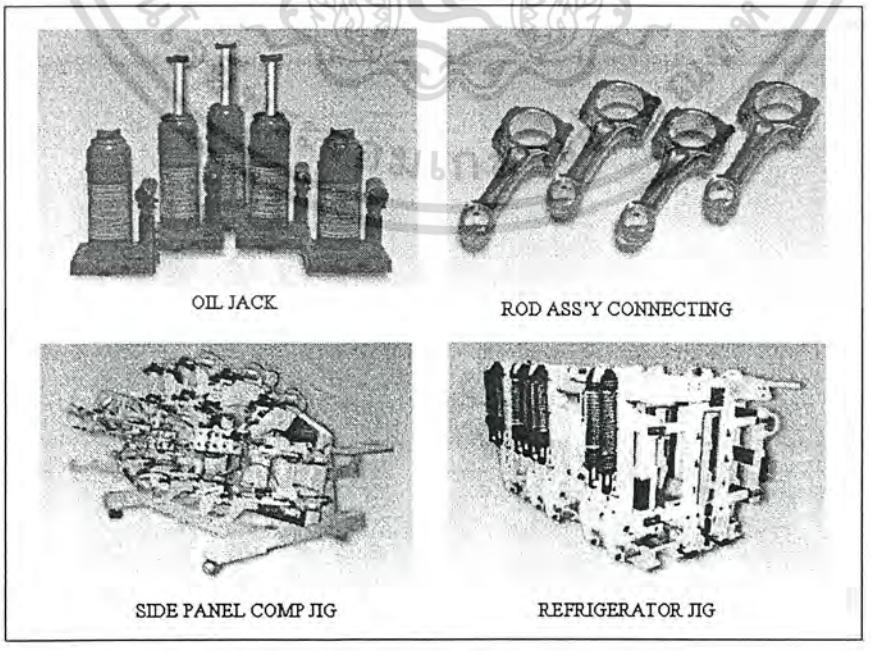
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 ชิ้นงาน Pump Plunger

1.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา

บริษัทไทยซัมมิทเอ็นจิเนียริ่งจำกัด ได้ทำการก่อตั้งขึ้นเมื่อวันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2531 ด้วยทุนจดทะเบียนจำนวน 50 ล้านบาท ตั้งอยู่ที่ 4/3 หมู่1 ถนนบางนาตราด บางโฉลง บางพลี สมุทรปราการ บนเนื้อที่ 3,900 ตารางเมตร มีพนักงานปฏิบัติงานประมาณ 350 คน โดยทางบริษัทได้ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับรถยนต์และชิ้นส่วนรถยนต์ ส่งให้กับลูกค้าหลายราย อาทิเช่น Thai Swedish Assembly Co.,Ltd. ,Isuzu Motor (Thailand) Co.,Ltd. , Siam Nissan Automobile Co.,Ltd. , Honda Automobile Co.,Ltd. เป็นต้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดที่ลูกค้ากำหนดไว้ และในปัจจุบันทางบริษัทได้รับการรับรองด้านคุณภาพ อาทิเช่น QS 9000



รูปที่ 1.2 ผลิตภัณฑ์ภายในบริษัท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทางบริษัทได้ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ดังรูปที่ 1.2 ได้แก่ แม่แรง (Oil Jack) อุปกรณ์จับยึดชิ้นส่วนรถยนต์ (Side Panel Comp Jig and Refrigerator Jig) ข้อเหวี่ยงรถยนต์ (Rod Assembly Connecting) เป็นต้น

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและปรับปรุงกระบวนการผลิตของชิ้นงาน Pump Plunger ที่มีความผันแปรสูงให้มีค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการเพิ่มขึ้นไม่ต่ำกว่า 20% ของค่าดัชนีดังกล่าวก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือของวิธีการ ซิกซ์ ซิกม่า

1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. ทำการศึกษาเฉพาะชิ้นงาน Pump Plunger ใน ของสายการผลิตของผลิตภัณฑ์แม่แรง (Oil Jack) ของบริษัทไทยซัมมิทเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด

2. ทำการปรับปรุงคุณภาพเฉพาะ Pump Plunger ในของสายการผลิตของผลิตภัณฑ์แม่แรง (Oil Jack) ของบริษัทไทยซัมมิทเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด

3. ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองต่างๆ ด้วยเทคนิคทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 13 ช่วยในการคำนวณ

1.5 แนวทางของการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย สามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ขั้นตอน โดยใช้วิธีการทาง ซิกซ์ ซิกม่า คือ

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
2. กำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิต (Define Phase)
    - 2.1 เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิต
    - 2.2 กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
    - 2.3 พิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน ปริมาณของเสียในปัจจุบัน
    - 2.4 ศึกษากระบวนการผลิตของชิ้นงานที่ทำการศึกษาจากแผนภาพอธิบายกระบวนการ (Process Mapping)
3. การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measurement Phase)
    - 3.1 วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gage R & R)
    - 3.2 ระดมความคิดเพื่อแจกแจง สาเหตุและผลกระทบของกระบวนการที่เลือก โดยใช้ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) และตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)
    - 3.3 ระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis: FMEA)
    - 3.4 วิเคราะห์ผล และเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Key Process Input Variable: KPIV) เบื้องต้นเพื่อนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 สรุปผลและวางแผนขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

4.1 จากปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (KPIV) ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ด้วย FMEA นำมาทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าด้วยเครื่องมือทางสถิติ เช่น การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) หรือ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเลือกปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่จะนำไปทำการทดลองในขั้นตอนถัดไป

4.3 สรุปผลและวางแผนขั้นตอนต่อไป

5. การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

5.1 ทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงฟังก์ชันระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญและตัวแปรตอบสนองที่ต้องการ และกำหนดตัวแปรและข้อจำกัดต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อการทดลอง

5.2 กำหนดขั้นตอนการทดลองและวิธีการเก็บข้อมูล

5.3 ทำการทดลองตามแผนการที่วางไว้

5.4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

6. การทดสอบยืนยันผล (Confirmation & Implementation)

6.1 ทดสอบความถูกต้อง เพื่อยืนยันผลการสรุปที่ได้จากการสรุปผลการทดลองในขั้นตอนที่แล้ว

6.2 นำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต

7. การควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase)

7.1 พิจารณาลักษณะและข้อจำกัดของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะทำการควบคุม

7.2 พิจารณาเลือกแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับตัวแปรนั้น ๆ

7.3 กำหนดวิธีการวัด ขนาดกลุ่มตัวอย่าง และความถี่ในการวัด

7.4 เก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง

7.5 สรุปผลการปรับปรุงที่ได้โดยพิจารณาจากระดับของเสียที่สามารถลดได้โดยดูจากค่าของเสียที่เกิดขึ้นในหน่วย DPPM

8. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

9. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดปริมาณของเสียอันเนื่องมาจากการไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพในกระบวนการผลิต
2. กำหนดแนวทางการป้องกันของเสียในอนาคต
3. รับรู้ข้อมูลการผลิตและของเสียโดยต่อเนื่อง ไม่ให้เกิดของเสียจากสาเหตุเดิม
4. สามารถลดระยะเวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์ออกสู่ตลาดและสามารถแข่งขันกับคู่แข่ง
5. สามารถกำหนดเป็นแนวทางปฏิบัติในผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ ในอนุกรมที่ลักษณะใกล้เคียงกันต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิธีการทาง ซิกซ์ ซิกม่า เป็นมาตรการซึ่งใช้วัดคุณภาพการดำเนินงานโดย มีแนวคิดที่ว่า การควบคุมคุณภาพโดยการลดความแปรปรวนเพื่อให้เกิดส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยที่สุด ซึ่งส่งผลให้การดำเนินงานยิ่งมีประสิทธิภาพมากขึ้น ขั้นตอนทุกขั้นตอนของการทำงานทุกประเภทจะถูกควบคุมอย่างมีระบบ โดยที่พนักงานจะต้องรู้สึกว่ามิใช่การทำงานหนักยิ่งขึ้น ซึ่งวิธีการทาง ซิกซ์ ซิกม่า เป็นกลยุทธ์ที่สามารถนำมาใช้ปรับปรุงและพัฒนากระบวนการในทุกระดับ อย่างไรก็ตาม หากเข้าใจหลักการเพียงน้อยนิดก็จะสามารถทำงานได้อย่างไม่ยากเย็นนัก

ซึ่งหลัก Smarter Six Sigma Solutions (S^4) ของ Forrest W.Breyfogle (1999)ได้อธิบายถึงการประยุกต์ใช้วิธีการทาง ซิกซ์ ซิกม่า โดยประกอบไปด้วยเครื่องมือทางสถิติแบบธรรมดา ไปจนถึงสถิติชั้นสูง โดยผู้ปฏิบัติสามารถทำการคัดเลือกเครื่องมือทางสถิติตามหลัก Smarter Six Sigma Solutions (S^4) ให้เหมาะกับสภาพแวดล้อมของแต่ละปัญหาในองค์การ ซึ่งในการนำเอาวิธีการทาง ซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้ในการวิจัยครั้งนี้จะมีกรรมวิธีที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ระยะ คือ 1) ระยะการกำหนดแผนงานในการแก้ปัญหา (Define Phase) ซึ่งจะเป็นการกำหนดรายละเอียดและขั้นตอนของโครงการ รวมถึงการหาความต้องการของลูกค้า 2) ระยะการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) เป็นการทำความเข้าใจกับกระบวนการ 3) ระยะการวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) เป็นการหาสาเหตุหลักๆที่ทำให้เกิดของเสีย 4) ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) เป็นการกำจัดต้นเหตุหลักๆ ของของเสีย 5) ระยะการควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase) เป็นการคงสภาพของการปรับปรุงไว้ให้ต่อเนื่อง

2.1 การกำหนดแผนงานในการแก้ปัญหา

2.1.1 การกำหนดปัญหา

การกำหนดปัญหา (Problem Statement) คือ การระบุปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาและแก้ไขซึ่งปัญหานั้นๆ จะต้องสัมพันธ์กับส่วนที่มีผลกระทบต่อลูกค้าหรือผลกระทบทางด้านคุณภาพ (CTQ's: Critical to Quality)

2.1.2 ผลรวมสัดส่วนของเสีย

ผลรวมสัดส่วนของเสีย (Rolled Throughput) คือ การคำนวณของสัดส่วนของเสียครั้งแรกและไม่รวมสัดส่วนของเสียที่ได้มาจากการซ่อมแซม การคำนวณสัดส่วนของเสียก็เพื่อเป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการควบคุมกระบวนการผลิต ซึ่งแสดงดังสมการดังต่อไปนี้

$$\text{จำนวนของเสียต่อหน่วยการผลิต (DPU)} = \frac{\text{จำนวนของเสียที่เกิดขึ้น}}{\text{จำนวนที่ผลิตทั้งหมด}} \qquad (2.1)$$

$$\text{จำนวนของเสียต่อหน่วยการผลิตล้านหน่วย (DPPM)} = \text{จำนวนของเสียต่อหน่วยการผลิต} \times 10^6 \qquad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 แผนภาพกระบวนการผลิต

แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Map) เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาสาเหตุของปัญหา ซึ่งการสร้างแผนภาพของกระบวนการผลิตจะทำอย่างละเอียดทุกขั้นตอนในการประกอบผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะสามารถระบุตัวแปรสำคัญในกระบวนการผลิต (Process Input) และผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต (Process Output) ขั้นตอนนี้จึงเปรียบเสมือนการตรวจวิเคราะห์กระบวนการผลิต ซึ่งอาจทำให้เราทราบถึงสิ่งผิดปกติหรือทราบสาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องในการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนนี้อาจเป็นขั้นตอนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหา โดยการทดลองตั้งสมมติฐานโดยการใช้ข้อมูลทางสถิติที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธีต่อไป

การสร้างแผนการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ต้องใช้การระดมสมองและทีมงานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะได้รายละเอียดที่สำคัญและครบถ้วนของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภาพการเคลื่อนที่นั้นจะต้องสามารถบอกถึงสาเหตุแห่งการบกพร่องของผลิตภัณฑ์ (Cause of Poor Quality: COPQ) การสร้างแผนการเคลื่อนที่ของผลิตภัณฑ์ จำเป็นอย่างยิ่งในการระบุที่มาของข้อบกพร่องและสิ่งที่ซ่อนในกระบวนการผลิต (Hidden Factory) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้สูญเสียเวลา เงิน ทรัพยากร และพื้นที่ในการจัดเก็บ

2.2 การวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา

2.2.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2546) กล่าวถึงการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) มีจุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ถึงแหล่งที่มาของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 ประเภท คือ

1. ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด (Gross Error): เกิดจากสาเหตุที่เป็นสาเหตุผิดพลาด (Special Causes) ของระบบการวัดเช่น การขาดความรู้ ความเข้าใจใน เครื่องมือวัดและวิธีการวัดของพนักงาน หรือการอ่านค่าผิดพลาด เป็นต้น

2. ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Error): ส่วนใหญ่มักเกิดจากโครงสร้างของเครื่องมือวัด หรือปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อค่าวัด

3. ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error): เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติ (Common Causes) ของความผันแปรของระบบการวัดซึ่งไม่กำจัดทิ้งได้

เพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องและความแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลอง และจะเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดจากค่าวัดที่ได้เพื่อแยกแหล่งความผันแปรออกเป็นความผันแปรจากชิ้นงาน (Part-to-Part Variation; PV) ความผันแปรจากพนักงานวัด (Appraiser Variation; AV) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation; IV) และความผันแปรจากอุปกรณ์การวัด (Equipment Variation; EV) ในการดำเนินการเพื่อวิเคราะห์ระบบการวัด จำเป็นต้องดำเนินการทั้งในส่วนของความถูกต้อง (Accuracy) และการวิเคราะห์ความแม่นยำ (Precision)

2.2.1.1 <u>การวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัด</u>

มีคุณสมบัติที่ต้องพิจารณา 3 ประการ คือ

1. ค่าความเอนเอียง (Bias) คือ ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการวัดจากค่าอ้างอิงหรือค่ามาตรฐาน (Master) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของระบบการวัดที่ได้จากการออกแบบระบบการวัดสามารถปรับปรุงแก้ไขด้วยการเปลี่ยนเครื่องมือวัดหรือออกแบบระบบการวัดใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความมีเสถียรภาพ (Stability) คือ คุณสมบัติด้านอายุการใช้งานของอุปกรณ์วัด โดยพิจารณาจากความผันแปรโดยรวมในระบบการวัดที่ได้จากการวัดงานมาตรฐาน (Master) ชิ้นหนึ่งตลอดช่วงเวลา สามารถปรับปรุงแก้ไขด้วยการสอบเทียบ (Calibrate)

3. คุณสมบัติเชิงเส้นตรง (Linearity) คือ การที่ค่าความเอนเอียง (Bias) ของระบบการวัดจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปตลอดย่านวัดของระบบการวัดดังกล่าว เป็นลักษณะความผิดพลาดที่ไม่ค่อยพบเนื่องจากการวัดในแต่ละย่านวัดมักใช้ระบบการวัดแต่ละชนิดที่เหมาะสมสำหรับย่านวัด ซึ่งสามารถปรับปรุงแก้ไขด้วยการสอบเทียบทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนย่านวัด

2.2.1.2 <u>การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด</u>

มีคุณสมบัติที่ต้องพิจารณา 2 ประการ คือ

1. ความทวนซ้ำ (Repeatability) คือ ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่อง กับงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกันและพนักงานคนเดียวกัน

2. ความทำซ้ำ (Reproducibility) คือ ค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของการวัดกับงานชิ้นเดียวกันกับเครื่องมือเดียวกัน แต่ต่างพนักงานกัน

การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดทำได้โดยการเลือกพนักงานวัด 2 ถึง 4 คน เลือกชิ้นงานอย่างสุ่มจากกระบวนซึ่งโดยทั่วไปจะแนะนำไว้ที่ 10 สิ่งตัวอย่างหากไม่สามารถปฏิบัติได้ต้องพยายามให้ (จำนวนของสิ่งตัวอย่าง) x (จำนวนพนักงานวัด) มากกว่า 15 และสิ่งตัวอย่างที่เลือกมานี้จะต้องมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพยายามให้มีความผันแปรครอบคลุมความผันแปรของกระบวนการ และทำการทดลองให้พนักงานวัดอย่างสุ่มจนครบโดยปกติจะแนะนำให้มีการวัดซ้ำสำหรับพนักงานวัดแต่ละคนด้วยจำนวน 2 ถึง 4 ครั้งต่อชิ้นงานแต่ละชิ้น ระบบการวัดจะต้องสามารถตรวจจับความแตกต่างของชิ้นงานได้โดยข้อมูลจะต้องได้รับการจำแนกไม่น้อยกว่า 5 ประเภท ซึ่งจำนวนประเภทข้อมูลสามารถประมาณการได้จากสมการที่ 2.1 ดังนี้

$$\text{จำนวนประเภทของข้อมูล} = \sqrt{2}\,\frac{\text{PV}}{\text{Gage R \& R}} \qquad (2.3)$$

โดยที่ PV คือ ความผันแปรจากชิ้นงาน (Part-to-Part Variation)

Gage R&R คือ ความผันแปรโดยรวม

การประเมินการทวนซ้ำได้และความทำซ้ำได้ อาจเรียกว่า "Gage R&R" มี 3 วิธี

1. วิธีอาศัยพิสัย (Range Method) ซึ่งเหมาะกับกรณีของการทดลองในช่วงสั้นๆ และไม่มีการวัดซ้ำ ดังนั้นวิธีการดังกล่าวนี้แม้ว่าจะมีข้อดีคือ ประเมินผลได้ง่าย แต่ก็มีข้อเสียที่สำคัญคือ ไม่สามารถแยกความทวนซ้ำได้ (Repeatability) ออกจากความทำซ้ำได้ (Reproducibility)

2. วิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย (Average and Range Method) เหมาะกับการทดลองทำซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างของพนักงานวัดแต่ละคน ซึ่งวิธีการนี้สามารถทำให้แยกความทวนซ้ำได้ (Repeatability) ออกจากความทำซ้ำได้ (Reproducibility) ได้ แต่ไม่สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่าความทวนซ้ำ (Repeatability) ได้

3. วิธีอาศัยวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) เหมาะกับการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้มาจาก การออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่าพนักงานและชิ้นงาน เป็นสาเหตุความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือไม่และวิธีการนี้เป็นวิธีการที่สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงาน และพนักงานวัดออกจากค่าความทวนซ้ำ (Repeatability) ได้ แต่อย่างไรก็ดีวิธีการนี้มีข้อเสียตรงที่มีความยุ่งยากในการคำนวณ จึงมีข้อแนะนำให้ใช้วิธีการนี้ในกรณีที่ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ เหมาะกับชิ้นงานทดสอบที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง

เกณฑ์ในการประเมิน %Gage R &R มีดังนี้

%Gage R &R < 10% ยอมรับความสามารถระบบการวัดได้

10% ≤ %Gage R & R < 30% ยอมรับได้ขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งที่ประยุกต์ใช้

%Gage R & R ≥ 30% ไม่สามารถยอมรับความสามารถระบบการวัดได้

ในการอธิบายความหมายผลการวิเคราะห์จากตาราง ANOVA จะต้องเริ่มจากการวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของอันตรกิริยา (Interaction Effect) ระหว่างพนักงานและชิ้นงานก่อนเสมอ ซึ่งถ้าพบว่าอันตรกิริยาระหว่างพนักงานและชิ้นงานมีนัยสำคัญ แสดงว่าเมื่อเปลี่ยนชิ้นงานให้พนักงานคนเดิมทำการวัดแล้ว ผลการวัดจะเปลี่ยนไป ซึ่งจะพบว่าอันตรกิริยามีผลมาก และในกรณีที่อันตรกิริยามีนัยสำคัญนี้ไม่มีความจำเป็นต้องตีความหมายจากอิทธิพลหลัก (Main Effect) ของพนักงานวัด หรือของชิ้นงานอีก เพราะว่าอิทธิพลหลักของพนักงานวัดจะดูเหมือนว่ามีผลอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่แท้จริงแล้วมีอิทธิพลมาก

2.2.2 ผังแสดงสาเหตุและผล

วีระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์ (2546) กล่าวว่า ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกล่าวคือ คุณลักษณะทางคุณภาพคือผลที่เกิดขึ้นจากสาเหตุคือปัจจัยต่างๆ ที่เป็นต้นตอของคุณลักษณะอันนั้น การสร้างผังแสดงเหตุและผลที่จะเอื้อประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาได้จริงๆ ไม่ใช่เรื่องง่ายผู้ที่สามารถสร้างผังก้างปลาได้ถูกต้อง คือ ผู้ที่มีโอกาสแก้ปัญหาทางคุณภาพได้ถูกต้อง เช่นเดียวกันข้อสังเกตเกี่ยวกับผังแสดงเหตุและผล จะต้องทำการแยกแยะและเลือกสรรเพื่อหาปัจจัยอันเป็นสาเหตุแห่งปัญหานั้นควรใช้การปรึกษาหารือในกลุ่มคนหลายๆ ความคิดมาร่วมกัน เพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างไปจะก่อผลเสียภายหลังได้ (อาจทำให้การแก้ปัญหาผิดจุดได้) เลือกคุณลักษณะของปัญหาและปัจจัยสาเหตุในรูปของขนาดหรือปริมาณที่สามารถใส่หน่วยวัดลงไปได้ เพราะในที่สุดแล้วผลสรุปจากผังก้างปลาจะต้องนำไปแก้ไขปรับปรุงตัวแปรต่างๆ ในการผลิตการนำผังแสดงเหตุและผล ไปใช้งานจะต้องก่อนสรุปปัญหาควรใส่น้ำหนักหรือคะแนนให้กับปัจจัยสาเหตุแต่ละตัว เพื่อจะได้ใช้การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาซึ่งแนวทางเสนอแนะนี้จะนำไปผังแสดงเหตุและผลที่ได้ไปเชื่อมโยงกับ FMEA

2.2.2.1 <u>ประเภทของการวิเคราะห์สาเหตุและผล</u>

การวิเคราะห์สาเหตุและผล มี 2 ประเภทดังนี้

1. แผนภาพก้างปลา (Fishbone Diagram) คือ การเข้าสู่การระดมสมองที่ถือปฏิบัติกันมาแล้วเขียนเป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลโดยแผนภาพนี้จะเป็นเครื่องมือที่ดีมากเพื่อทราบว่าผลกระทบที่สำคัญเพียงประการเดียวที่จะวิเคราะห์คืออะไร

2. ตารางสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) คือ แผนภาพในรูปตารางที่แสดงถึงความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างผลลัพธ์ของกระบวนการ(Y's) KPOV และปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ (X's) KPIV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2547) ได้นิยามเกี่ยวกับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) สำหรับกระบวนการไว้ว่าหมายถึงเทคนิคเชิงวิเคราะห์ (Analytical Technique) หนึ่งที่ใช้โดยวิศวกรหรือทีมงานที่รับผิดชอบด้านการผลิตหรือสายงานประกอบสำหรับเป็นวิธีการในการสร้างความมั่นใจว่าแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง (Potential Failure Modes) ตลอดจนสาเหตุและกลไกที่เกี่ยวข้องต่างๆ ได้รับการพิจารณาและระบุแล้วโดยการดำเนินการในขั้นตอนของการวางแผนกระบวนการผลิต

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2547) ได้กล่าวถึงแนวคิดในการดำเนินการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบสำหรับกระบวนการให้มีประสิทธิผลมากที่สุดนั้น มีแนวคิด 3 ประการคือ

1. การดำเนินการโดยคณะทำงาน (Team) โดยคณะทำงานที่ดีควรประกอบด้วยบุคคลประมาณ 6-8 คนที่อยู่ในระดับผู้จัดการและมีความรู้สึกดีในด้านเทคโนโลยีเฉพาะด้าน โดยประธานคณะทำงานควรมีคุณสมบัติเพิ่มเติมอีกประการหนึ่งคือ ความเข้าใจอย่างดีในการแก้ปัญหาและคณะทำงานที่ดีควรมีสมาชิกในลักษณะแบบข้ามสายงาน (Cross-Functional Team) ซึ่งควรประกอบด้วยฝ่ายพัฒนาและวิจัยผลิตภัณฑ์ ฝ่ายวิศวกรรม ฝ่ายประกันคุณภาพ ฝ่ายทดสอบ โดยทำงานในรูปแบบคณะทำงานควรอยู่ในลักษณะการทวีประโยชน์ (Synergy) ร่วมกัน คือพยายามให้สมาชิกคนหนึ่งเรียนรู้เทคนิค โนฮาว และเทคโนโลยีเฉพาะด้านจากสมาชิกคนอื่นๆ

2. การดำเนินการผ่านการวิเคราะห์หน้าที่ของกระบวนการ โดยคณะจัดทำจะเริ่มจากการกำหนดกระบวนการที่ต้องการศึกษา แล้วบ่งชี้ถึงหน้าที่ (Function) ของกระบวนการแล้วให้วิเคราะห์ว่ามีอะไรที่จะทำให้หน้าที่ของกระบวนการดังกล่าวไม่ได้รับการตอบสนองโดยผลดังกล่าวจะหมายถึงข้อบกพร่อง (Failure) ที่ขาดว่าจะเกิดและจะเรียกลักษณะของข้อบกพร่องว่า "ลักษณะของข้อบกพร่อง (Failure Mode)" ของกระบวนการ นอกจากนี้แล้วจะต้องพิจารณาถึงแนวความคิดในการทำงานของกระบวนการ (Process Concept) เพื่อการกำหนดถึงสาเหตุที่มีความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดลักษณะของข้อบกพร่องรวมถึงการบ่งชี้ถึงลูกค้าของกระบวนการ โดยลูกค้าของกระบวนการท้ายน้ำ (Downstream Process) จนถึงผู้ใช้รายสุดท้ายและลูกค้าที่กำหนดนี้เองจะทำให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นแก่ลูกค้าเนื่องจากลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น เมื่อได้ทำการวิเคราะห์หน้าที่ของกระบวนการและได้กำหนดถึงสาเหตุลักษณะข้อบกพร่องตลอดจนผลกระทบที่เกิดขึ้นแล้วผู้วิเคราะห์จะต้องทำการประเมินค่าความเสี่ยง (Risk) โดยอาศัยตัวเลขประเมินลำดับก่อนหลังของความเสี่ยง (Risk Priority Number; RPN) คือ

$$RPN = S \times O \times D$$

โดย S = ความรุนแรง (Severity) พิจารณาจากผลกระทบที่เกิดขึ้นกับลูกค้า

O = โอกาสที่เกิดขึ้น (Occurrence) พิจารณาจากความเป็นไปได้ในการเกิด สาเหตุของข้อบกพร่อง

D = ความสามารถในการตรวจจับ (Detection) โดยพิจารณาได้จาก คุณสมบัติด้านความสามารถของระบบการควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน

เมื่อทำการวิเคราะห์ความเสี่ยง (RPN) ที่ลักษณะของข้อบกพร่องแต่ละตัวแล้วจะทำการพิจารณาเลือกลักษณะข้อบกพร่องที่มีค่าความเสี่ยงมากๆ แต่มีจำนวนไม่มากนักมาทำการกำหนดโครงการแก้ไขเพื่อลดค่าความเสี่ยงต่อไป

3. การดำเนินการโดยเน้นการปรับปรุงอย่างไม่สิ้นสุด แนวความคิดที่สำคัญประการสุดท้ายของการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ คือการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องไม่สิ้นสุดดังนั้นเอกสารเกี่ยวกับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบจะต้องได้รับการทบทวนอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้เอกสารอยู่ในลักษณะของเอกสารที่มีชีวิต

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือเติบโตขึ้นเรื่อยๆ ปัจจัยสำคัญประการหนึ่งของการทำให้การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบประสบความสำเร็จ คือ ความตรงต่อเวลาที่กำหนด (Timeliness) ซึ่งหมายความว่าการดำเนินงาน FMEA อย่างมีประสิทธิผลควรจะอยู่ในรูปก่อนการเกิดเหตุการณ์ (Before-The-Event) มากกว่าเป็นการที่จะเป็นการแก้ไขเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแล้ว (After-The-Fact) กล่าวคือ การดำเนินงาน FMEA ควรจะทำให้เสร็จสิ้นก่อนการผลิตผลิตภัณฑ์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลานี้จะสามารถกระทำได้ง่าย ลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นได้มาก ตลอดจนประหยัดค่าใช้จ่ายในการแก้ไข

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2547) ได้กล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินงาน FMEA ให้เกิดประสิทธิผลมากที่สุดจะต้องดำเนินการภายใต้รูปแบบคณะทำงานหรือทีม ที่เวลาเริ่มต้นที่เร็วที่สุดเท่าที่สามารถจะกระทำได้ โดยมีขั้นตอนทั่วไปในการจัดทำ FMEA ดังต่อไปนี้

1. การกำหนดกลยุทธ์ในการจัดทำ FMEA

เนื่องจากการจัดทำ FMEA มีรายละเอียดค่อนข้างมาก ดังนั้นการวิเคราะห์ FMEA สำหรับทุกๆ กระบวนการในการผลิตส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ จึงเป็นสิ่งที่เกือบจะเป็นไปไม่ได้เลย เนื่องจากต้องใช้เวลาในการจัดทำค่อนข้าง มาก จึงมีความจำเป็นต้องเลือกกระบวนการบางกระบวนการขึ้นมาวิเคราะห์โดย FMEA ซึ่งควรจะพิจารณาในประเด็นต่างๆดังนี้

- มีการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีใหม่
- ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตอยู่ได้รับการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมค่อนข้างมาก
- มีปัญหาของกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างเรื้อรัง
- มีการควบคุมการทำงานของพนักงานปฏิบัติงานค่อนข้างมาก
- มีความผันแปรค่อนข้างสูงโดยไม่ทราบว่ามีสาเหตุจากแหล่งใด

2. การทบทวนกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้ คณะทำงาน FMEA จะต้องทำความเข้าใจกับกระบวนการที่ได้รับเลือกไว้ในขั้นตอนที่ 1 โดยการทำความเข้าใจนี้ควรเริ่มต้นจากการทำกระบวนการให้อยู่ในรูปของแผนภาพหรือแผนภูมิแสดงการไหลของกระบวนการและจากแผนภูมินี้เองจะทำให้รับทราบถึงกระบวนการผลิตในทุกขั้นตอน ตลอดจนความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้า (Input) และผลผลิต (Output) ตลอดจนจุดวัดที่แต่ละกระบวนการ ในการทบทวนกระบวนการนี้ สมาชิกในคณะทำงานทุกคนควรจะศึกษาเพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับหน้าที่ (Function) แนวความคิด (Concept) ในการทำงานของกระบวนการ ซึ่งการศึกษานี้มาจากการอภิปรายภายในกลุ่ม และในกรณีที่กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่มีใช้งานอยู่แล้ว การศึกษาควรอยู่ภายใต้หลักการ 3 จริง คือ ไปยังสถานที่เกิดเหตุการณ์จริง (Genba) เพื่อสังเกตของจริง (Genbutsu) ภายใต้สภาพแวดล้อมจริง (Genjitsu) เพื่อค้นหาสภาวะผิดปกติทั้งที่มีความจำเป็นที่ผู้สังเกตจะต้องเข้าใจถึงสภาวะที่ควรจะเป็นผู้ที่สังเกตจะต้องเข้าใจถึงสภาวะที่ควรจะเป็นของกระบวนการโดยอาศัยหลักการทางทฤษฎี (Genri) และกฎเกณฑ์ต่างๆ (Gensoku) โดยอาจเรียกรวมๆ หลักการนี้ว่าหลักการ 5จริง (5G)

3. การระดมสมองค้นหาแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง

ในการระดมสมองนี้ มีความจำเป็นต้องตรวจสอบถึงความเข้าใจก่อนว่าสมาชิกในกลุ่มคณะทำงานมีความเข้าใจในหน้าที่และแนวความคิดในการทำงานของกระบวนการแล้วหรือยังเพื่อกำหนดถึงแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง (Potential Failure Modes) ซึ่งการดำเนินการนี้ควรให้สมาชิกทุกคนในคณะทำงานอิสระในการใช้ความคิดผ่านการวิเคราะห์หน้าที่ของกระบวนการเพื่อการกำหนดแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง และในการระดม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมองควรเชิญบุคคลที่มีความรู้และเกี่ยวข้องอย่างมากมาร่วมออกความคิดเห็นด้วย อาทิ พนักงานปฏิบัติงานหน้างาน หรือหัวหน้างานเป็นต้น

ในการระดมสมองนี้นอกจากการรวบรวมความคิดเห็นด้วยลักษณะของข้อบกพร่องที่สมาชิกคณะทำงานได้เสนอแล้ว ควรจะให้สมาชิกแต่ละคนพยายามเสริมต่อความคิด (Synergy) จากการอภิปรายกลุ่มร่วมกันด้วย โดยการเสริมต่อความคิดนี้จะเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้คณะทำงานสามารถบ่งชี้ปัญหาได้ครอบคลุมมากที่สุด

4. การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องแต่ละรายการ

ในขั้นตอนนี้ ให้ทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องแต่ละรายการ โดยเริ่มจากการพิจารณาถึงลูกค้า ที่หมายถึงกระบวนการถัดไปจนกระทั่งถึงผู้ใช้สุดท้ายแล้วพิจารณาว่าข้อบกพร่องดังกล่าวมีผลกระทบประการใดต่อลูกค้าโดยลูกค้าที่เป็นกระบวนการถัดไปจะพิจารณาจากผลกระทบต่อความสามารถในการนำผลิตภัณฑ์จากกระบวนการที่พิจารณาไปทำผลิตต่อ สำหรับลูกค้าที่เป็นผู้ใช้สุดท้ายจะพิจารณาจากผลกระทบต่อประโยชน์ใช้สอยที่ลดลงที่ลูกค้าพึงได้รับจากผลิตภัณฑ์และความรุนแรง (Severity – S) จากผลกระทบที่พิจารณานี้จะได้รับการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงลูกค้า หรือเปลี่ยนแปลงการใช้งานเท่านั้น จากนั้นให้พิจารณาถึงสาเหตุการเกิดลักษณะข้อบกพร่องที่พิจารณา โดยสาเหตุจะต้องมาจากการพิจารณาแนวความคิดในการทำงานของกระบวนการ หรือในกรณีที่เป็นลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นแล้วอาจจะต้องพิจารณาถึงหลักการ 3G เมื่อทราบสาเหตุแล้ว จะพิจารณาความเสี่ยงโดยประเมินถึงโอกาสการเกิด (Occurrence – O) จากความเป็นไปได้ (Likelihood) ที่สาเหตุดังกล่าวจะเกิดขึ้นซึ่งอาจจะผ่านการวิเคราะห์ความผันแปรเชิงสถิติหรืออาศัยประสบการณ์และความรู้สึก (Gut Feeling) เมื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบแล้ว ในลำดับสุดท้ายของขั้นตอนนี้จะพิจารณาถึงระบบการควบคุมกระบวนการที่ใช้ในปัจจุบัน (Current Control) เพื่อพิจารณาว่ากระบวนการทวนสอบทางวิศวกรรม (Engineering Verification) หรือระบบควบคุมที่ใช้ในปัจจุบันมีความสามารถในการบ่งชี้ลักษณะข้อบกพร่องก่อนที่จะเกิดขึ้น หรือเมื่อเกิดขึ้นแล้วแต่สามารถในการบ่งชี้ก่อนส่งให้ลูกค้าได้ดีเพียงไร และจะพิจารณาความเสี่ยงโดยประเมินถึงความสามารถในการตรวจจับ (Detection – D) ของระบบ โดยผลการประเมินนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อได้รับการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทวนสอบทางวิศวกรรมหรือระบบควบคุมกระบวนการที่ใช้ในปัจจุบันเท่านั้น

5. การประเมินตัวเลขแสดงความเสี่ยง

ภายหลังจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องแต่ละรายการแล้วให้ทำการประเมินค่าความเสี่ยงโดยพิจารณาองค์ประกอบทั้งสามประการ คือ ความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (S) โอกาสในการเกิดสาเหตุ (O) และความสามารถในการตรวจจับลักษณะข้อบกพรอง (D) ดังนั้น

$$RPN = S \times O \times D$$

โดย RPN หมายถึง ตัวเลขแสดงลำดับของความเสี่ยง (Risk Priority Number)

เนื่องจากการให้คะแนน RPN จะเป็นการให้คะแนนจากการประเมินที่กำหนดไว้ล่วงหน้าจึงมีความจำ เป็นต้องทำการทวนสอบผลการให้คะแนน RPN ดังกล่าวโดยอาศัยหลักการพาเรโต (Pareto Principle) ที่กำหนดให้ลักษณะข้อบกพร่องที่มีความสำคัญจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย (Vital Few Failure Modes) และลักษณะข้อบกพร่องที่มีความสำคัญจะมีจำนวนมาก (Trivial Few Failure Modes) ซึ่งถ้าผลการทวนสอบโดยแผนภาพพาเรโตมิได้เป็นไปตามหลักการดังกล่าวนี้จะมีความจำเป็นต้องทำการทบทวนให้คะแนนประเมินความเสี่ยงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การกำหนดมาตรการตอบโต้เพื่อลดความเสี่ยง

ภายหลังการวิเคราะห์ความเสี่ยงแล้ว ให้ทำการเขียนลักษณะข้อบกพร่องที่มีความรุนแรงและหรือ ความเสี่ยงมากขึ้นมาพิจารณากำหนดมาตรการตอบโต้ โดยการกำหนดมาตรการตอบโต้นี้มาจากพื้นฐานของเทคโนโลยีเฉพาะด้าน (Intrinsic Technology) และเมื่อกำหนดมาตรการการตอบโต้แล้วให้การดำเนินการปฏิบัติการ (Action) โดยการดำเนินการให้อยู่ในรูปแบบคณะทำงานที่มีการมอบหมายอย่างเป็นทางการ

7. การประเมินผลความเสี่ยงภายหลังการปฏิบัติการตอบโต้

หลังจากมีการตอบโต้เรียบร้อยแล้ว ผู้วิเคราะห์จะต้องทำการประเมินค่าความเสี่ยงในรูป RPN โดยอาศัยกฎเกณฑ์เดิมอีกครั้งเพื่อพิจารณาว่าความเสี่ยงของลักษณะข้อบกพร่องที่พิจารณาได้ลดลงหรือไม่

8. การติดตามผลและจัดทำมาตรฐาน

ในขั้นตอนสุดท้ายของการดำเนินการ FMEA ในรอบแรกจะได้จากการติดตามผลเพื่อสร้างความมั่นใจว่ามาตรการตอบโต้ที่กำหนดไว้ได้รับการนำการไปปฏิบัติอย่างมีประสิทธิผลหรือไม่ และถ้ามีประสิทธิผลดีแล้วก็ควรจะดำเนินการจัดทำเป็นมาตรฐานต่อไป

เมื่อมีการนำมาตรการตอบโต้ไปใช้แล้วและควบคุมอย่างได้ผลดีแล้ว ก็ควรจะดำเนินการวิเคราะห์ FMEA อีกเพื่อความพยายามในการลดความเสี่ยงลงอย่างต่อเนื่อง ดังที่ได้กล่าวมาแล้วถึงแนวคิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องไม่สิ้นสุด

ธนากร เกียรติบรรลือ (2543) กล่าวถึงประโยชน์ของการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบว่าช่วยให้พิจารณาทางเลือกตั้งแต่ขั้นตอนแรกของการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งเพิ่มศักยภาพของกระบวนการผลิตและความเชื่อถือสร้างความมั่นใจว่ารูปแบบของความล้มเหลวความผิดพลาดของปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ รวมถึงผลกระทบที่อาจตามมาได้รับการพิจารณาอย่างละเอียดถี่ถ้วนมาก่อนแสดงรายการของปัญหาหลักต่างๆ และระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นขึ้นมา FMEA สามารถบันทึกผลของการปรับปรุงหลังจากมีมาตรฐานการแก้ไขให้ถูกต้องอย่างใดอย่างหนึ่งได้ทันที เป็นพื้นฐานสำหรับการกำหนดรายการทดสอบเพิ่มเติมระหว่างการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการผลิต ช่วยรวบรวมข้อมูลในอดีตสำหรับเป็นเอกสารอ้างอิงในอนาคต โดยนำมาใช้วิเคราะห์รูปแบบของปัญหาหรือข้อบกพร่องต่างๆ สำหรับการพิจารณาเรื่องความเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่าการปรับปรุงและการพัฒนาต่างๆ มีผู้รับผิดชอบหรือช่วยให้วิศวกรประจำกระบวนการผลิตสร้างระบบป้องกันปัญหาที่สามารถประเมินผลได้เมื่อมีการประชุมทบทวน ขั้นสุดท้ายของการพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต

2.2.4 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2544) ได้กล่าวถึงความหมายและแนวความคิดของการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) คือองค์ประกอบที่แน่นอนประการหนึ่งของเครื่องจักร อุปกรณ์ วิธีการ วัตถุดิบ และพนักงานที่ก่อให้เกิดการผลิต

"ความสามารถของกระบวนการ" หมายถึง ความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติที่ได้รับการวัดของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการที่ศึกษา

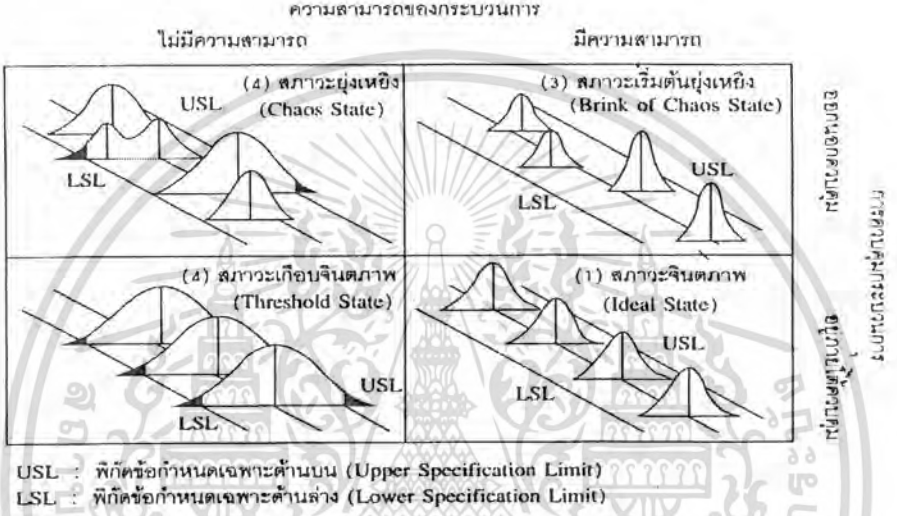
"การศึกษาความสามารถของกระบวนการ" หมายถึง การกำหนดตัวพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการแล้วทำการวัดเพื่อรวบรวมข้อมูลที่แสดงถึงค่าของพารามิเตอร์ดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ" หมายถึง การประเมินความผันแปรของกระบวนการและวิเคราะห์ความผันแปรนี้กับข้อกำหนดหรือข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ตลอดจนพิจารณาถึงแหล่งความผันแปรต่างๆเพื่อหาทางลดความผันแปรที่ศึกษาต่อไป

2.2.4.1 ความมีเสถียรภาพของกระบวนการ

ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจะมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดกับการควบคุมกระบวนการดังในรูปที่ 2.1 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2544)



รูปที่ 2.1 สภาวะกระบวนการ

ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการที่อาศัยข้อมูลจากการวัดสิ่งตัวอย่างนั้น มีความจำเป็นต้องพิจารณาก่อนเสมอว่า ข้อมูลดังกล่าวมีความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติ หรือสาเหตุผิดธรรมชาติ ที่สามารถพิจารณาได้ การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการนี้จัดเป็นส่วนที่มีความสำคัญมากของโปรแกรมการปรับปรุงคุณภาพโดยรวม โดยข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการนี้ สามารถใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ อาทิ

1. การคาดการณ์ว่ากระบวนการมีความสามารถในการผลิตได้ตามข้อกำหนดเฉพาะได้ดีเพียงใด
2. การช่วยเหลือนักออกแบบหรือนักวิจัยพัฒนาในการตัดสินใจเลือกหรือเปลี่ยนแปลงกระบวนการ
3. การช่วยกำหนดความถี่ของการชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการเฝ้าพินิจการระบวนการ
4. การกำหนดความต้องการด้านสมรรถนะสำหรับอุปกรณ์ใหม่
5. การเลือกผู้ส่งมอบ และควบคุมผู้ส่งมอบ
6. การวางแผนลำดับขั้นตอนของกระบวนการผลิตเมื่อมีอิทธิพลร่วม (Interaction) ของกระบวนการ
7. การลดความผันแปรในกระบวนการผลิต
8. การลดต้นทุนคุณภาพ (Cost of Quality) ด้วยการลดต้นทุนด้านข้อบกพร่องด้านคุณภาพอันเนื่องมาจากการลดปริมาณข้อบกพร่องของกระบวนการลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.2 <u>ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ</u>

ในการปรับปรุงคุณภาพมีความจำเป็นต้องกำหนดตัววัดที่จะทำให้ผู้เกี่ยวข้องได้ตระหนักถึงการลดความผันแปรรอบค่าเป้าหมายอย่างต่อเนื่องจึงได้กำหนดให้วัดความสามารถของกระบวนการในรูปของความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตซึ่งถือเป็นดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index; PCI) โดยนิยามว่า (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2544)

$$PCI = \frac{\text{ความคลาดเคลื่อนอนุโลมที่ยอมให้เกิด}}{\text{ความสามารถของกระบวนการ}} \tag{2.4}$$

โดย Osuga เรียก PCI สำหรับการศึกษาในระยะสั้นว่า ดัชนี C_p ดังนั้น

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{ST}} \tag{2.5}$$

โดยที่ σ_{ST} คือ ความเบี่ยงเบนระยะสั้น (Short – Term)

สำหรับดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการในระยะยาว จะแทนด้วยดัชนี P_p โดย

$$P_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{LT}} \tag{2.6}$$

โดยที่ σ_{LT} คือ ความเบี่ยงเบนระยะยาว (Long – Term)

ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการทั้ง C_p และ P_p นี้จะมีข้อดีคือ ทำให้ผู้เกี่ยวข้องดำเนินลดความผันแปรได้อย่างต่อเนื่องโดยพิจารณาจากค่าของความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะในรูปแบบของความสามารถกระบวนการ อย่างไรก็ตามดัชนีดังกล่าวอาจจะทำให้ผู้เกี่ยวข้องมีความเข้าใจสับสนอยู่บ้างโดยเฉพาะพนักงานระดับปฏิบัติการ ทั้งนี้เพราะว่าค่า C_p และ P_p นี้ "ยิ่งมียิ่งค่าสูง ยิ่งดี" ในขณะที่คนทั่วไปมักจะเข้าใจความผันแปรของกระบวนการในความหมายเดียวกับอัตราส่วน C_R และ P_R คือ "ยิ่งมีค่าต่ำ ยิ่งดี" นอกจากนี้แล้วยังมีข้อเสียเหมือนกับกรณีอัตราส่วน C_R และ P_Rคือ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากกระบวนการต้องมีการแจกแจงแบบปกติและถ้าหากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมิได้มีการแจกแจงแบบปกติแล้วการตีความหมายก็อาจจะผิดความหมายไปบ้าง นอกจากนี้แล้วข้อกำหนดเฉพาะจะต้องมีความคลาดเคลื่อนอนุโลมแบบสมมาตรกัน ซึ่งจะทำให้ค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะอยู่ที่ตำแหน่งปรับตั้งของกระบวนการ แต่ถ้าหากความคลาดเคลื่อนอนุโลมนี้ไม่สมมาตรกันแล้วค่าของข้อกำหนดเฉพาะก็จะไม่เท่ากับตำแหน่งปรับตั้งของกระบวนการ ซึ่งจะไม่สามารถคำนวณและตีความหมายตามที่กล่าวมาแล้วได้

จากที่ได้กล่าวถึงดัชนี C_p ที่เป็นตัววัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการมาแล้ว โดยดัชนีดังกล่าวจะสะท้อนเพียงแค่ผลจากการออกแบบ (คือค่าการกระจายของผลิตภัณฑ์เนื่องจากกระบวนการ) เท่านั้นแต่มิได้สะท้อนถึงผลจากการควบคุม (คือค่าตำแหน่งของกระบวนการ) แต่เพียงอย่างใดทำให้ผู้วิเคราะห์ไม่ทราบถึงผลที่เป็นจริงจากกระบวนการ

Kane (1986) ได้กำหนดให้ใช้ดัชนีที่สะท้อน ถึงค่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งของกระบวนการ และเรียกว่า C_{pk} โดยที่ k มาจาก Katayori ในภาษาญี่ปุ่นที่มีความหมายถึง ความเบี่ยงเบนไป หรือ การเลื่อนออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $k = \frac{\text{ระยะระหว่างตำแหน่งของกระบวนการจากค่ากลางของสเปก}}{\left(\frac{1}{2}\right)\text{ของความคลาดเคลื่อนอนุโลม}}$ (2.7)

$$= \frac{2|m - x|}{USL - LSL} \quad (2.8)$$

เมื่อ $C_{pk} = C_p(1 - k)$

2.2.4.3 การปฏิบัติการแก้ไขเมื่อกระบวนการไม่มีความสามารถด้านสมรรถนะ

ในการพิจารณาความสามารถของกระบวนการเพื่อการปฏิบัติแก้ไขกรณีกระบวนการไม่มีความสามารถนั้น สามารถสรุปได้ กล่าวคือ ในกรณีที่ความสามารถด้านสมรรถนะมีค่าต่ำและความสามารถด้านศักยภาพมีค่าต่ำด้วย ก็มีความจำเป็นต้องดำเนินการลดความผันแปรของกระบวนการลง ด้วยการออกแบบใหม่เพื่อให้กระบวนการมีความมั่นคงต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือออกแบบข้อกำหนดเฉพาะของกระบวนการ ที่ใช้อยู่แล้วเสียใหม่ รวมถึงการออกแบบอุปกรณ์จับยึด (Jig and Fixture) เสียใหม่ รวมถึงการแก้ไขด้วยการฝึกอบรมพนักงานใหม่ด้วยในกรณีที่ความสามารถทางด้านสมรรถนะของกระบวนการมีค่าต่ำแต่ความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพมีค่าสูงแล้ว แสดงว่ามีปัญหาด้านการควบคุมกระบวนการจึงมีความจำเป็นต้องหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าปรับตั้งของกระบวนการ แล้วทำการปรับค่าปรับตั้งเพื่อให้ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการมีค่าสูงขึ้น

นอกจากนี้แล้ว ในการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงความสามารถของกระบวนการนี้ ควรมีการพิจารณาร่วมกันถึงดัชนีความสามารถของกระบวนการทั้งการศึกษาแบบระยะสั้นและระยะยาวด้วย ซึ่งถ้าหากพบว่า C_{pk} และ P_{pk} มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าต่ำ แสดงว่ากระบวนการดังกล่าวขาดความสามารถอันเนื่องมาจากการออกแบบกระบวนการจึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปรของกระบวนการแล้วทำการกำหนดค่าที่เหมาะสมเพื่อลดความผันแปรของกระบวนการแล้วทำการกำหนดค่าที่เหมาะสมเพื่อลดขนาดความผันแปรของกระบวนการลงจึงถือว่าปัญหาดังกล่าวนี้เป็นปัญหาด้านเทคโนโลยี แต่ถ้าหากเป็นกรณีที่ P_{pk} มีค่าต่ำ แต่ C_{pk} มีค่าสูงแล้ว แสดงกระบวนการดังกล่าวดังกล่าวมีปัญหาด้านการควบคุมค่อนข้างมาก

ส่วนการประมาณลำดับความสามารถของกระบวนการสามารถเทียบได้จาก ตารางที่ 2.1 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2544) และส่วนการประมาณค่าสัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องของกระบวนการที่ดัชนี C_p ต่างๆ ดังตารางที่ 2.2 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2544) สำหรับการประมาณค่าสัดส่วนของผลิตภัณฑ์บกพร่องของกระบวนการในระยะยาวนั้นสามารถพิจารณาประเมินค่าและอธิบายความหมายเช่นเดียวกับ กรณีอัตราส่วน P_R ซึ่งขอให้ผู้อ่านพิจารณาค่าด้วยตัวเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ลำดับของความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี C_p

ค่าดัชนี C_p	ลำดับของความสามารถของกระบวนการ
$2.00 \leq C_p$	ดีเหลือเชื่อ
$1.67 \leq C_p < 2.00$	ดีเลิศ
$1.33 \leq C_p < 1.67$	ดี
$1.00 \leq C_p < 1.33$	พอใช้
$0.67 \leq C_p < 1.00$	ไม่ดี
$C_p < 0.67$	ไม่ดีมาก

ตารางที่ 2.2 ค่าดัชนีและสัดส่วนประมาณการของผลิตภัณฑ์บกพร่องของกระบวนการ

ระดับคุณภาพของกระบวนการ (ระยะสั้น)	ดัชนี C_p	สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง (PPM)	
		ข้อกำหนดเฉพาะแบบพิกัดด้านเดียว	ข้อกำหนดเฉพาะแบบพิกัดสองเดียว
6 σ	2	0.001248	0.002496
5.5 σ	1.83	0.02124	0.04248
5 σ	1.67	0.3002	0.6
4.5 σ	1.5	3.45	7
4 σ	1.33	31.79	64
3.5 σ	1.17	232.70	465
3 σ	1	1,350	2,700
2.5 σ	0.83	6.210	12,420
2 σ	0.67	22,750	45,500
1.5 σ	0.5	66,810	133,620
1 σ	0.33	158,700	317,400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา

2.3.1 การทดสอบสมมติฐาน

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2544) กล่าวถึงการทดสอบสมมติฐาน (Test of Hypothesis) ว่าเป็นกระบวนการตัดสินใจเพื่อยืนยันความเชื่ออย่างใดอย่างหนึ่งเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่อธิบายสภาวะที่เกิดขึ้นจริงและเรียกข้อความที่แสดงถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่หมายถึงสภาวะที่เกิดขึ้นจริงว่า สมมติฐานเชิงสถิติ (Statistical Hypothesis) ได้แก่ สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis;H_0) และสมมติฐานอื่น (Alternative Hypothesis;H_1) โดย สมมติฐานหลัก คือสมมติฐานที่เชื่อว่าเป็นสภาวะที่เกิดขึ้นจริงและต้องทำการทดสอบเพื่อจะปฏิเสธสมมติฐานนี้ ส่วนสมมติฐานอื่นคือ สภาวะที่ต้องการยืนยันด้วยเหตุผลการตัดสินใจแบบทดสอบสมมติฐานนี้มีโอกาสในการผิดพลาด ได้ 2 ชนิด คือ

1. ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) คือการปฏิเสธสมมติฐานหลัก ทั้งที่ในความเป็น จริงสมมติฐานหลักถูกต้องอยู่แล้ว เรียกว่า ระดับนัยสำคัญ (Significant Level) แทนด้วยสัญลักษณ์ α

2. ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) คือการไม่ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ทั้งที่ในความเป็นจริงสมมติฐานหลักไม่ถูกต้อง แทนด้วยสัญลักษณ์ ß โดยนิยาม (1-ß) ว่าอำนาจในการทดสอบ (Power of Test)

ในการทดสอบสมมติฐานนั้นต้องออกแบบวิธีการตัดสินใจ โดยการกำหนดค่าระดับนัยสำคัญ นี้โดยปกติผู้ตัดสินใจจะต้องกำหนดค่าต่ำๆ โดยนิยมที่ค่า 0.05 หรือ 0.01 และนิยมให้อำนาจในการทดสอบ(Power of Test) มีค่าสูงที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้การตัดสินใจเลือก H_1 หรือปฏิเสธ H_0 ต้องกระทำอย่างมีเหตุผลรองรับที่ชัดเจนจริงๆ ซึ่งเรียกว่า การตัดสินใจแบบยืนยัน (Strong Conclusion) ในขณะเดียวกันก็มีโอกาสสูงมากต่อการเลือก H_0 ที่อยู่ภายใต้ข้อกำหนดแล้วว่าถ้าให้ H_0 เป็นจริงก่อน ดังนั้นจึงถือว่าการตัดสินใจเลือก H_0 นี้เป็นการตัดสินใจแบบไม่ยืนยัน (Weak Conclusion) และแทนที่จะเรียกการตัดสินใจดังกล่าวว่า "การยอมรับ H_0" (Accept H_0) ควรเปลี่ยนเป็น "การไม่มีเหตุผลอย่างเพียงพอต่อการปฏิเสธ H_0"(Fail to Reject H_0)

2.3.2 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

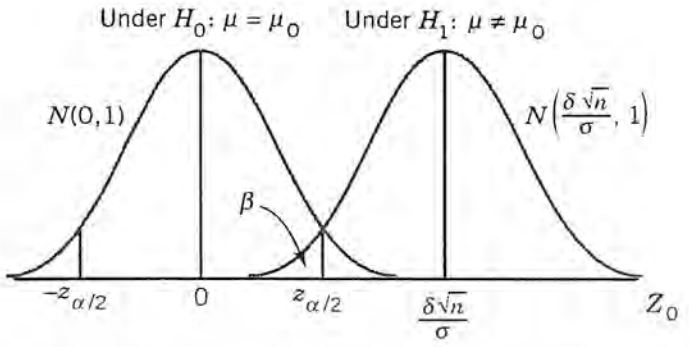
ในการตัดสินใจโดยการทดสอบสมมติฐาน สามารถดำเนินการได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ตั้งสมมติฐานตามสิ่งที่ต้องการทดสอบ ซึ่งอาจจะเป็นสมมติฐานแบบสองด้าน หรือสมมติฐานแบบด้านเดียว(ด้านบนหรือด้านล่าง)

2. กำหนดวิธีการตัดสินใจ ด้วยการพิจารณาถึงตัวสถิติสำหรับการทดสอบพารามิเตอร์รวมถึงการแจกแจงของตัวสถิติดังกล่าว ซึ่งอธิบายขนาดความผันแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ระหว่างเงื่อนไขของการทดลอง (Reproducibility) และกำหนดช่วงการปฏิเสธและการยอมรับ ภายใต้กำหนดค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด

3. ออกแบบการทดลองด้วยการกำหนดขนาดตัวอย่าง โดยให้อำนาจในการทดสอบอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.2 (Montgomery, 2002)

61908
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การแจกแจงของตัวสถิติ $\bar{x}$ ภายใต้ H_0และ H_1

$$N \cong \frac{(z_{\alpha/2} + z_{\beta})^2 \sigma^2}{\delta^2} \qquad (2.9)$$

โดย δ คือ ความแตกต่างของตัวสถิติที่มากที่สุดที่ยอมรับได้

σ คือ ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

α คือ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 1 หรือ ระดับนัยสำคัญ (Significant Level)

β คือ ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดแบบที่ 2

4. ดำเนินการทดลองและตัดสินใจตามที่ออกแบบไว้โดยหากข้อมูลอยู่ภายในช่วงการยอมรับให้สรุปว่าไม่มีเหตุผลในการปฏิเสธสมมติฐานเนื่องจากข้อมูลอยู่ในช่วงความผันแปรที่เกิดจากสาเหตุธรรมชาติ แต่ถ้าหากข้อมูลอยู่ในช่วงการปฏิเสธให้ทำการปฏิเสธสมมติฐาน

2.3.3 การใช้ P-Value ในการทดสอบสมมติฐาน

P-Value คือ ความน่าจะเป็นที่ตัวสถิติทดสอบมีค่าเท่ากับค่าสังเกต (Observed Value) ที่เป็นไปได้น้อยที่สุดเมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริงหรืออาจกล่าวได้ P-Value เปรียบเสมือนค่าน้อยที่สุดของระดับนัยสำคัญซึ่งจะนำไปสู่การปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ โดยการ ใช้ P-Value เป็นการทำเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาในการกำหนดระดับนัยสำคัญในการตัดสินใจซึ่งมักจะมีความเห็นไม่ตรงกันในการยอมรับระดับนัยสำคัญโดยทั่วไปในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางสถิติมักแสดง P-Value ไว้ดังนั้นในโครงงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ P-Value เท่ากับ 0.05 ในการทดสอบสมมติฐาน

2.3.4 การทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยจาก 2 ประชากร

ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยนี้ มีสมมติฐานในการทดสอบ (ปารเมศ ชุติมา, 2545) คือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดย μ_1 คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรจากระดับปัจจัยที่ 1 และ μ_2 คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรจากระดับปัจจัยที่ 2 เนื่องจากค่าเฉลี่ยมีการแจกแจงแบบ Z และ t ดังนั้นจึงใช้ตัวสถิติในการทดสอบ (Test Statistic) คือ Z_0 และ t_0 เมื่อทราบและไม่ทราบความแปรปรวนของประชากรตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดและเกณฑ์การปฏิเสธสมมติฐาน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เมื่อทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2

$$Z_0 = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} \quad (2.10)$$

ปฏิเสธสมมติฐานเมื่อ $|Z_0| > Z_{\alpha/2}$

2. เมื่อไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 แต่ทราบว่า $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$

$$t_0 = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{S_P\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2.11)$$

$$S_P^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad (2.12)$$

$$V = n_1 + n_2 - 2 \quad (2.13)$$

ปฏิเสธสมมติฐานเมื่อ $|t_0| > t_{\alpha/2,v}$

3. เมื่อไม่ทราบค่า σ_1^2 และ σ_2^2 แต่ทราบว่า $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

$$t_0 = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}} \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(S_1^2/n_1\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(S_2^2/n_2\right)^2}{n_2 - 1}} - 2 \qquad (2.15)$$

ปฏิเสธสมมติฐานเมื่อ $|t_0| > t_{\alpha/2,v}$

โดยการทดสอบทั้ง 3 ประเภทนี้มีอยู่ภายใต้ข้อกำหนดว่าข้อมูลต้องมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) และได้มาจากการสุ่มอิสระ (Random) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบความเป็นไปตามข้อกำหนดดังกล่าวก่อน

2.3.5 การทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวนจาก 2 ประชากร

ในการทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวนนี้ มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$
$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดย σ_1^2 คือ ค่าความแปรปรวนของประชากรจากระดับปัจจัยที่ 1 และ σ_2^2 คือ ค่าความแปรปรวนของประชากรจากระดับปัจจัยที่ 2 เนื่องจากสัดส่วนของความแปรปรวนมีการแจกแจงแบบ F ดังนั้นจึงใช้ตัวสถิติในการทดสอบ (Test Statistic) คือ F_0

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} \qquad (2.16)$$

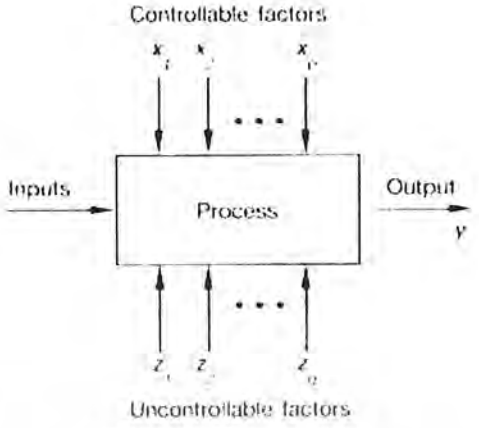
ปฏิเสธสมมติฐานเมื่อ $F_0 > F_{1-\alpha/2,n1-1,n2-1}$ หรือ $F_0 < F_{1-\alpha/2,n1-1,n2-1}$ เมื่อ $F_{1-\alpha,\,v1,v2} = \frac{1}{F_{\alpha,\,v2,v1}}$

2.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

2.4.1 การออกแบบการทดลอง

ปารเมศ ชุติมา (2545) ได้นิยามเกี่ยวกับกระบวนการ คือ การรวมเอาคนงาน เครื่องจักร วิธีการ และทรัพยากรอื่นๆเข้าด้วยกันเพื่อเปลี่ยนอินพุต (เช่น วัตถุดิบ) ไปสู่เอาต์พุตที่มีผลตอบออกมาในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่าซึ่งเราสามารถเห็นได้ ตัวแปรกระบวนการบางชนิด $x_1, x_2, \ldots x_p$ เป็นตัวแปรที่เราสามารถควบคุมได้ ในขณะที่ตัวแปรบางตัว $z_1, z_2, \ldots z_q$ เป็นตัวแปรที่เราไม่สามารถควบคุมได้และรบกวนระบบ (Noise Inputs) ดังรูปที่ 2.3 (Montgomery, 2001)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของกระบวนการหรือระบบที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

2.4.2 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

ปารเมศ ชุติมา (2545) ได้กล่าวถึงความหมายว่าการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติ ซึ่งทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่เหมาะสมได้ ถ้าต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่มีอยู่ และเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง วิธีการทางสถิติเป็นเพียงวิธีเดียวที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้

2.4.3 หลักการพื้นฐานสำหรับการออกแบบการทดลอง

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ

1. เรพิเคชั่น (Replication) หมายถึง การทดลองซ้ำ เรพิเคชั่น มีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรก เรพิเคชั่นทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดพื้นฐานสำหรับพิจาณาว่า ความแตกต่างของข้อมูลที่ได้จากทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สอง ถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง

2. แรนดอมไมเซชั่น (Randomization) เป็นพื้นฐานหลังการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกการแบบลอง แรมดอมไมเซชั่น หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็น แบบสุ่ม วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูลจะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่ม ที่มีการกระจายแบบอิสระการทำแรนดอมไมซ์ การทดลองทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่นอกอาจปรากฏในการทดลองได้

3. บล็อกกิง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่งความเที่ยงตรงให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจหมายถึงส่วนหนึ่งของใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันเดียวกันมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุ

2.4.4 วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง

1. หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลตอบ Response (y)

2. หาวิธีการตั้งค่าของ Input(x) ที่มีผลต่อค่าผลตอบ Response (y) เพื่อทำให้ Response (y) อยู่ที่ค่าที่ต้องการ

3. หาวิธีการตั้งค่าของ Input(x) ที่มีผลต่อค่าผลตอบ Response (y) เพื่อทำให้ Response (y) มีค่าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หาวิธีการตั้งค่าของ Input (x) ที่มีผลต่อค่าผลตอบ Response (y) เพื่อทำให้ผลของตัวแปรที่เราไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Factors) $z_1, z_2, ...z_n$ มีค่าน้อยที่สุด

นั้นคือใช้เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริงหรือความเชื่อจากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการการผลิต ค้นหา ข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

2.4.5 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองมีความจำเป็นที่ต้องทำความเข้าใจอย่างถ่องแท้ล่วงหน้าว่า เรากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บนั่นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินงานอาจทำได้ดังต่อไปนี้

1. ทำความเข้าใจถึงปัญหา

บางคนอาจคิดว่าขั้นตอนนี้ง่ายและตรงไปตรงมา แต่ในความเป็นจริงแล้วขั้นตอนนี้ไม่ได้ง่ายอย่างที่คิดในขั้นตอนนี้ต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลองและบ่อยครั้งที่ต้องหาข้อมูลอินพุตจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง เช่น แผนกวิศวกรรม แผนกประกันคุณภาพ แผนกผลิต แผนกการตลาด ผู้บริหาร ลูกค้า และแผนกบุคคลด้วยเหตุนี้การออกแบบการทดลองทุกครั้งจึงควรกำหนดให้มีการทำงานเป็นทีม

2. เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต

ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่นำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างการทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงและกำหนดระดับที่เกิดขึ้นในการทดลองจะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดให้อย่างไรและจะวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้นผู้ทำการทดลองต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมากทั้งความรู้ทั้งประสบการณ์และความรู้ทางทฤษฎี มีความจำเป็นที่เราต้องตรวจสอบดูว่าปัจจัยที่กำหนดขึ้นมาทั้งหมดมีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือการกรองปัจจัย เราควรกำหนดให้ระดับต่างๆการเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญ

3. เลือกตัวแปรตอบสนอง

ในการเลือกตัวแปรผลตอบต้องแน่ใจว่า ตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษา บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการจะเป็นตัวแปรผลตอบ เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งๆ อาจมีผลตอบสนองหลายตัว ซึ่งมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรผลตอบ และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไรก่อนเริ่มดำเนินการทดลองจริง

4. เลือกการออกแบบการทดลอง

ถ้ากิจกรรมการวางแผนก่อนการทดลองทำได้อย่างถูกต้อง ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ง่ายมากการเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการทดลองที่จะเก็บข้อมูลและการตัดสินใจว่าควรใช้วิธีบล็อก หรือ แรนดอมไมเซชั่น อย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ ในการเลือกการออกแบบต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา ในการทดลองทางวิศวกรรมศาสตร์ส่วนมาจะทราบตั้งแต่เบื้องต้นแล้วว่า ปัจจัยบางตัวมีผลต่อผลตอบที่เกิดขึ้น ดังนั้นจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่างและประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทำการทดลอง

เมื่อทำการทดลองต้องติดตามกระบวนการอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับวิธีการทดลองในขั้นตอนนี้จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในขั้นตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่เกิดขึ้น

6. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

ควรนำวิธีการทางสถิติมาใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ออกแบบไว้เป็นอย่างดีและทำตามที่ออกแบบไว้ได้ วิธีการทางสถิติก็ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบคือ ทำให้ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพ

7. สรุปและข้อเสนอแนะ

เมื่อเราได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้จะนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วยโดยเฉพาะยิ่งเมื่อนำเสนอผลงาน นอกจากนี้ยังต้องทำการยืนยันผลเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุป

2.4.5 คำจำกัดความ

- อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม
- ปัจจัย (Factor) หมายถึง สิ่งที่คิดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณสมบัติในตัวผลิตภัณฑ์
- ระดับของปัจจัย (Level of Factor) หมายถึง สภาวะต่างๆ ของปัจจัยหนึ่ง ๆ ที่ทำการกำหนดในการทดลอง
- ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หมายถึง ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็ก ๆ น้อย ๆ และไม่สามารถควบคุมได้

2.4.6 ลำดับขั้นการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

การนิยามปัญหา เป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้ จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองการเลือกปัจจัยที่มีผลและระดับปัจจัยเป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิตเพื่อระบุว่ามีปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้นควรจะมีช่วงในการทดลองเป็นอย่างไร เพื่อระบุระดับของปัจจัยในการทดลองสุดท้ายคือ ระบุว่าระดับที่ใช้เป็นแบบใดในรูปแบบต่อไปนี้

แบบกำหนด (Fixed Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุม หรือกำหนดค่าได้แน่นอน

แบบสุ่ม (Random Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุม หรือกำหนดค่าของปัจจัยได้แน่นอน

แบบผสม (Mixed Levels) หมายถึง การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดได้และแบบสุ่ม

การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทำการทดลอง จะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาและการวัดค่านั้นจะต้องแม่นยำรวมทั้งความถูกต้องของเครื่องวัดด้วย การเลือกแบบทดสอบจะต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูลที่ทำซ้ำในการทดลองความเหมาะสมข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยงและต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

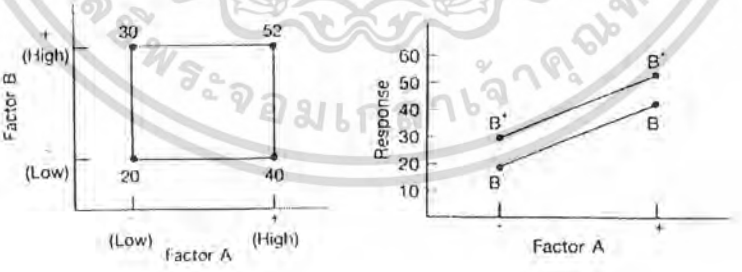
การทำการทดลอง ในขณะทำการทดลอง จะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้นั่นคือ ต้องมีการสุ่ม การทำซ้ำ ข้อควรระวังในขณะทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้ความผิดพลาด (Error) ที่ออกมาน้อยที่สุด

การวิเคราะห์ข้อมูล ในการวิเคราะห์ข้อมูล จะใช้ความรู้ทางสถิติมาวิเคราะห์และสรุปผลรวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้นก่อนที่จะตีความข้อมูล วิธีทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผล (Effect) เท่าใดได้แน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเป็นเปอร์เซ็นต์ ในการสรุปผลและข้อเสนอแนะเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว จะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ ซึ่งอาจแสดงในรูปกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ

2.4.7 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

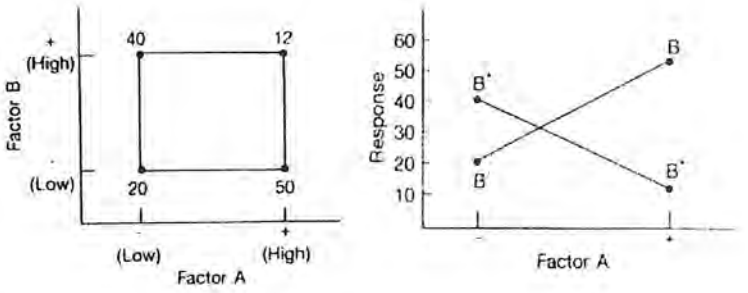
การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) เป็นการศึกษาที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนองในทุกๆ ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Treatment Combination) ที่มีจำนวน 2 ปัจจัยขึ้นไปโดยทุก ๆ ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของปัจจัยนำเข้าทุกตัวจะได้รับการศึกษาไปพร้อม ๆกัน

ผลกระทบจากปัจจัยนำเข้า จะนิยามด้วยการตรวจสอบค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองที่ศึกษาที่เกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนำเข้านี้เรียกว่า "อิทธิพลหลัก" (Main Effect) "ส่วนอิทธิพลร่วม" (Interaction) จะหมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองในระดับของปัจจัยนำเข้าตัวหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันในระดับต่าง ๆ ของปัจจัยนำเข้าตัวอื่น ๆ ซึ่งแสดงได้โดยพิจารณาจากแผนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับ Response เนื่องจากการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนั้นๆ จะเรียกว่า อิทธิพลหลัก (Main Effect) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 (Montgomery, 2001) และในบางกรณีจะพบว่าความแตกต่างของ Response ระหว่างระดับของปัจจัยหนึ่งมีค่าไม่เท่ากันในทุกระดับของปัจจัยอื่น ซึ่งแสดงว่าเกิดความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าวเรียกว่าอันตรกิริยา (Interaction) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (Montgomery, 2001) โดยค่าจุดต่างๆคือตัวแปรตอบสนอง เมื่อมีปัจจัย 2 ตัว คือ A และ B โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ และ สูง ซึ่งจะแทนระดับทั้งสองด้วยเครื่องหมาย "-" และ "+" ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงตัวแปรตอบสนองที่มีผลจากอิทธิพลหลัก (Main Effect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงตัวแปรตอบสนองที่มีผลจากอันตรกิริยา (Interaction Effect)

2.4.7.1 ประโยชน์ของการทดลองแบบแฟกทอเรียล

1. ในกรณีที่ต้องการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยนำเข้าจำนวนหลายตัวจะใช้จำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดลองจำนวนที่น้อยกว่าการทดลองทีละ 1 ปัจจัย (One-factor-at-a-time)

2. ใช้เวลาในการทดลองที่น้อยกว่า เนื่องจากเป็นการศึกษาปัจจัยหลายตัวพร้อมๆกัน

3. ผลสรุปจากการทดลองแบบแฟกทอเรียลสามารถที่จะสรุปผลได้ครอบคลุมมากกว่าเนื่องจากสามารถพิจารณาในส่วนของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยในการทดลองด้วย

2.4.7.2 รูปแบบต่างๆของการทดลองแบบแฟกทอเรียล

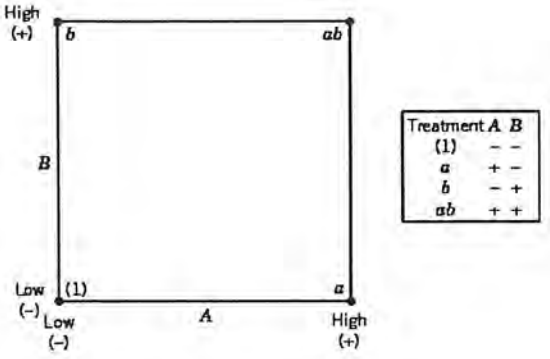
รูปแบบต่างๆการทดลองแบบแฟกทอเรียล มีดังนี้

1. รูปทั่วไปของการทดลองแบบแฟกทอเรียล (General Full Factorial Designs) จะกำหนดค่าของปัจจัยนำเข้าในระดับต่างๆที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลอง และทำการทดลองในทุกๆระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

2. การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล (Fractional Factorial Design) เป็นสับเซตของการทดลอง General Full Factorial Designs คือจะลดจำนวนของการทดลอง โดยพิจารณาเลือกจำนวนการทดลองจาก Treatment Combination ในผลกระทบที่ระดับสูงของตัวแปรซึ่งเรียกว่า "Generator"

3. การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k (2^k Factorial Designs) เป็นการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบหนึ่งไม่ว่าจะเป็นแบบ Full Factorial หรือเป็นแบบ Fractional Factorial Design โดยในแต่ละปัจจัยนำเข้าจะกำหนดค่าเพียง 2 ระดับในการทดลองและทำการทดลองในทุกๆระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของตัวแปรตอบสนองในการวิจัย ตัวอย่างภาพแสดงระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญของการทดลองแบบ 2^k Factorial Designs ในรูปที่ 2.6 (Montgomery, 2002)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดง Treatment Combination ใน 2^k Factorial Design

ใช้กับการทดลองที่มีปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัย ซึ่งเป็นการทดลองที่มีหลายปัจจัย (Multiple Factor Experiment) และเนื่องจากปัจจัยมากกว่า 1 ปัจจัย ดังนั้นนอกจากจะเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่สนใจแล้ว ยังอาจเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม ได้ด้วย

อิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) คือ ผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปแล้วมีผลทำให้อิทธิพล (Effect) ของอีกปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงด้วย ดังตัวอย่างการเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วมหรือปฏิสัมพันธ์ซึ่งเมื่อไม่มีอิทธิพลของปัจจัยร่วมแสดงดัง (1) และเมื่อมีอิทธิพลของปัจจัยร่วมแสดงดัง (2) โดย A และ B คือ ปัจจัย 2 ปัจจัย เหตุที่ใช้เนื่องจากการออกแบบ 2^k แฟกทอเรียลนั้นเหมาะสมกับรูปแบบ (Model) ที่มีความเป็นเส้นตรง (Linearity) จึงจะมีความถูกต้องในการตีความข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นหากว่าอิทธิพลของปัจจัยต่อตัวแปรตอบสนองมีความเป็นเส้นตรง (Linearity)ไม่ดีแล้วจะหันมาใช้แบบ 3^kแฟกทอเรียลแทนจะเหมาะสมกว่า

แผนการทดลองแบบแฟรกชั่นนอลแฟกทอเรียล (Fractional Factorial Design) เป็นการประยุกต์จากการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟรกชั่นนอลแฟกทอเรียล จะใช้กับการทดลองหลายปัจจัยที่มีปัจจัยเป็นจำนวนมากจึงต้องทำการตัดปัจจัยบางตัวออกโดยอาศัยหลักการคอนฟาวด์ (Confound)

การคอนฟาวด์ (Confound) เป็นเทคนิคที่ใช้ช่วยในการออกแบบทำให้ขนาดของบล็อกเล็กลงจากเดิม ซึ่งในการออกแบบนี้จะเกิดผลทำให้สารสนเทศเกี่ยวกับอิทธิพลของทรีตเมนต์ (Treatment Effect) รวมปะปนอยู่กับอิทธิพลของบล็อก (Block Effect) เสมอการเลือกอิทธิของ ทรีตเมนต์ที่จะทำการคอนฟาวด์ (Confound Effect) จะเลือกจากความรู้ในกระบวนการผลิตเป็นตัวกำหนดโดยเลือกทรีตเมนต์ที่คาดว่าจะมีผลน้อยต่อตัวผลิตภัณฑ์

การประมาณการทดสอบเอฟ (Approximate F-test) ในการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่มีปัจจัย 3 ปัจจัยหรือมากกว่าซึ่งจะเป็นรูปแบบกำหนดรูปแบบอื่นๆและการออกแบบที่ซับซ้อนบ่อยครั้ง พบว่าไม่สามารถทดสอบทางสถิติได้อย่างถูกต้องในบางอิทธิพลของทรีตเมนต์ซึ่งการแก้ไขหนทางหนึ่งที่เป็นไปได้คือ การตั้งสมมุติฐานว่าในบางปฏิสัมพันธ์บางอิทธิพลสามารถที่จะละเลยได้

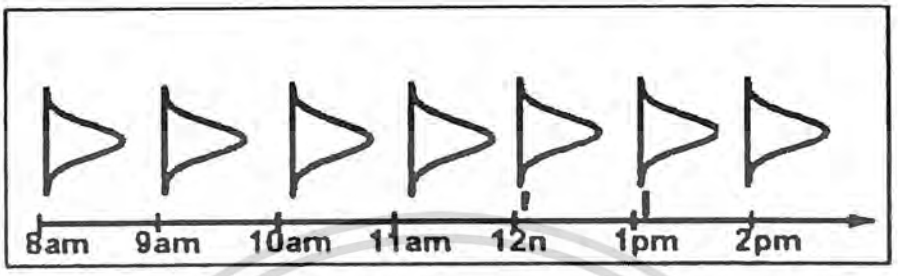
2.5 การควบคุมกระบวนการผลิต

การควบคุมกระบวนการผลิตเป็นการนำสถิติมาใช่ในการควบคุมกระบวนการผลิตว่าได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากที่กำหนดไว้หรือไม่ เนื่องจากในการผลิตความแปรปรวนของกระบวนการย่อมเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา โดยมีผล

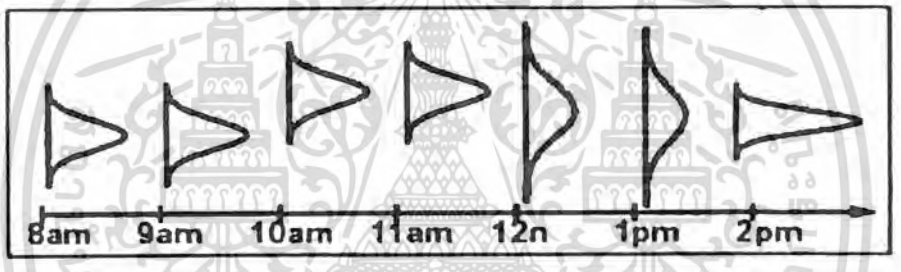
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาจากปัจจัยต่างๆทั้งที่สามารถควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ ดังนั้น จึงต้องมีวิธีการเตือนให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ดังแสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 2.7 (อลงกต กาญจนคช, 2546) และรูปที่ 2.8 (อลงกต กาญจนคช, 2546)

เพื่อที่จะแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการเฝ้าติดตามกระบวนการ คือ แผนภูมิควบคุม ทั้งนี้เพื่อต้องการควบคุมค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของกระบวนการให้คงที่ตลอดเวลา



รูปที่ 2.7 แสดงว่ากระบวนการยังอยู่ภายใต้การควบคุมกระบวนการ (มีความแปรปรวนน้อย)



รูปที่ 2.8 แสดงว่ากระบวนการไม่ได้อยู่ภายใต้การควบคุม (มีความแปรปรวนมาก)

2.5.1 แผนภูมิควบคุม

วีระพงษ์ เฉลิมจิระวัฒน์ (2546) ได้อธิบายความหมายของแผนภูมิควบคุม (Control Chart) ดังนี้ แผนภูมิควบคุม คือ แผนภูมิหรือกราฟที่จัดทำขึ้นล่วงหน้า โดยอาศัยข้อมูลจากขอบเขตที่กำหนด (Specification) ที่ระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงานที่ดำเนินการผลิตและต้องการจะควบคุม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง โดยการตรวจวัดคุณภาพของชิ้นงานซึ่งในการวัดข้อมูลอาจจะอยู่ในลักษณะ 2 แบบ คือ ข้อมูลที่ได้มาจากการวัด (Variable Data) และข้อมูลที่ได้จากการนับ (Attribute Data) จากนั้นเขียนบันทึกลงในแผนภูมินั้นๆซึ่งปกติจะมีเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นขอบเขตกลาง คือเส้นขนาดหรือจำนวนที่เป็นข้อกำหนดหรือเป้าหมายในการผลิตเส้นขอบเขตควบคุมบนและเส้นควบคุมล่างเป็นค่าที่อนุญาตให้มีความคลาดเคลื่อนในการผลิตเกิดขึ้นได้ และอยู่ในขอบเขตนี้ก็ถือว่าผลการยอมรับได้แต่หากว่าค่าที่ได้นอกเหนือขอบเขตควบคุม (ไม่ว่าในทางมากกว่าหรือต่ำกว่า) ถือว่าการผลิตในขณะนั้นยอมรับไม่ได้จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องโดยทันที

โดยธรรมชาติของกระบวนการผลิตทั้งหลายย่อมมีความผันแปร (Variation) เกิดขึ้นกับชิ้นงานหรือผลผลิตได้ โดยความผันแปรบางชนิดเป็นเรื่องปกติและอนุญาต หรือยอมรับให้เกิดขึ้นได้ในการผลิตโดยไม่ก่อความเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่ความผันแปรบางชนิดมีผลกระทบมากและมีผลเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ขนาดของชิ้นงานหรือคุณสมบัติบางประการผิดไปจากมาตรฐานที่กำหนดดังนั้นการเข้าใจในสาเหตุความผันแปรจึงเป็นสิ่งสำคัญโดยสาเหตุความผันแปรต่างๆมีผลมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ชนิด คือ

1. สาเหตุที่เป็นปกติวิสัย หรือเป็นธรรมชาติของการผลิต (Chance Cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่ไม่มีความรุนแรงและไม่มีผลต่อคุณภาพของสินค้าที่ผลิตได้เกิดจากความผันแปรหรือความแตกต่างเล็กๆน้อยๆของวัตถุดิบและปัจจัยการผลิตต่างๆซึ่งแน่นอนว่าไม่มีของสองสิ่งที่เหมือนกันทุกประการ วัตถุดิบ 100 ชิ้นที่มีขนาดตรงกันตามข้อกำหนดทั้ง 100 ชิ้นก็จะมีขนาดแต่ละชิ้นที่แตกต่างกันออกไปเพียงแต่ว่าความแตกต่างเหล่านั้นอยู่ในพิกัดที่ขอบเขตข้อกำหนดได้อนุญาตเอาไว้แล้วในพิกัดความเผื่อ (Tolerance) ของชิ้นงาน ฉะนั้นความผันแปรในคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสาเหตุที่เป็นปกติวิสัยของการผลิตจึงเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ในการควบคุมด้วยแผนภาพแผนภูมินี้ นั่นคือ กระบวนการผลิตที่เขียนแสดงด้วยแผนภูมิควบคุมแล้วไม่มีจุดใดจุดหนึ่งอยู่นอกเส้นควบคุม

2. สาเหตุที่ระบุได้หรือสาเหตุที่จำกัดได้ (Assignable Cause) เป็นลักษณะของความผันแปรที่เกิดจากความผิดพลาด ความผิดปกติ ความชำรุด ความไม่ได้เกณฑ์ ฯลฯของปัจจัยการผลิตต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และไม่ใช่เป็นปกติวิสัยหรือธรรมชาติของการผลิตนั้นๆ จำเป็นจะต้องได้รับการกำจัดหรือแก้ไขจึงจะทำให้คุณภาพของงานกลับเข้าสู่สภาวะปกติอีกครั้งได้ในแผนภูมิควบคุมเมื่อมีจุด (ซึ่งเขียนจากการเก็บข้อมูลและวัดค่าชิ้นงานตัวอย่างจากการผลิต) ปรากฏว่าอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุมย่อมแสดงได้ว่าเกิดมีสาเหตุที่ระบุได้เกิดขึ้นมาในกระบวนการผลิตนั้นแล้วและเรียกสภาวะการผลิตนั้นว่ากระบวนการผลิตอยู่นอกควบคุม (The Process is Out of Control) ส่วนกระบวนการผลิตที่มีผลงานซึ่งเขียนแสดงด้วยแผนภูมิควบคุมแล้วไม่มีจุดใดอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุมเราเรียกว่า กระบวนการผลิตนั้นอยู่ในควบคุม (The Process is In Control) ส่วนความผันแปรเล็กๆน้อยๆระหว่างจุดต่างๆที่พล็อตต่อเนื่องกันนั้นเป็นผลจาก สาเหตุที่เป็นปกติวิสัย ซึ่งยอมรับให้มีได้ในกระบวนการผลิตนั้นๆ

2.5.2 ประเภทของแผนภูมิควบคุม

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2546) ได้กล่าวว่าแผนภูมิควบคุมมีหลายประเภทด้วยกันขึ้นอยู่กับประเภทของข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์แต่หากพิจารณาอย่างกว้างๆแล้วจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. แผนภูมิควบคุมแบบข้อมูลผันแปร (Variable Control Chart) ซึ่งเป็นแผนภูมิที่ควบคุมข้อมูลจากการวัด ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้กัน 2 อย่างคือ แผนภูมิ $\overline{X}-R$ สำหรับข้อมูลแบบกลุ่ม และแผนภูมิ $X-MR$ สำหรับข้อมูลเชิงเดี่ยว (แผนภูมิอื่นๆอาทิ $\overline{X}-S$ จะไม่นิยมใช้เพราะยากในการคำนวณทางสถิติที่ขัดแย้งกับหลักการการทำให้ง่าย)

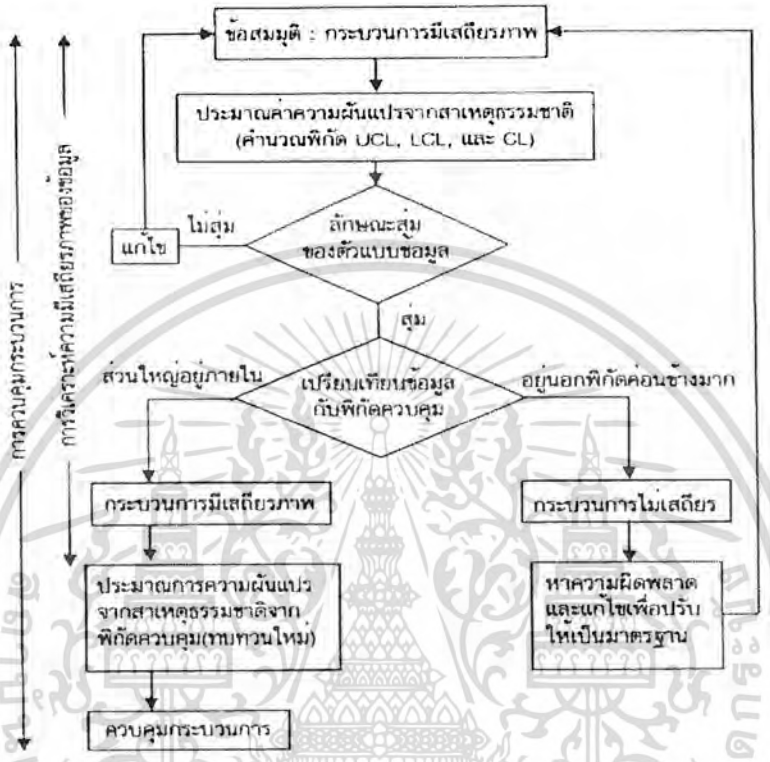
2. แผนภูมิควบคุมแบบข้อมูลแอตทริบิวส์ (Attribute Control Chart) ซึ่งเป็นแผนภูมิที่ควบคุมข้อมูลจากการนับและมีลักษณะแบบช่วง ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้กัน 2 อย่างคือ แผนภูมิ p สำหรับการตรวจสอบข้อมูลจากการสุ่มตรวจและแผนภูมิ u สำหรับการตรวจสอบข้อมูลภายในหนึ่งหน่วยมาตรฐาน (ในกรณีที่จำนวนสุ่มตรวจหรือหน่วยมาตรฐานมีขนาดคงที่ตลอด อาจจะทำให้แผนภูมิควบคุมง่ายขึ้นด้วยการควบคุมจำนวนนับด้วยแผนภูมิ np หรือ c โดยลำดับ)

2.5.3 เกณฑ์การเลือกใช้แผนภูมิแต่ละประเภท

แผนภูมิควบคุมจะอยู่บนแนวคิดดังรูปที่ 2.9 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2544) ซึ่งจะพบว่าในชั้นแรกต้องดำเนินการให้กระบวนการที่เก็บข้อมูลเป็นมาตรฐานก่อนเสมอ จึงสามารถประยุกต์แผนภูมิควบคุมจะใช้ได้ทั้งการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของกระบวนการผ่านการวิเคราะห์ข้อมูล และถ้าหากกระบวนการมีเสถียรภาพจะสามารถใช้แผนภูมิควบคุมในการคาดการณ์ขนาดความผันแปรภายใต้สาเหตุธรรมชาติซึ่งสามารถใช้ควบคุมกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปได้ ซึ่งในปกติคิวซีสตอรี่ของคิวซีเซอร์เคิลจะมีการใช้แผนภูมิควบคุมในการวิเคราะห์เสถียรภาพในขั้นตอนการสังเกตการณ์ การวิเคราะห์สาเหตุ และการติดตามผล ในขณะที่ใช้แผนภูมิควบคุมเพื่อควบคุมกระบวนการในขั้นตอนการค้นหาปัญหาและขั้นตอนการทำให้เป็นมาตรฐาน



รูปที่ 2.9 แนวความคิดแผนภูมิควบคุม

2.5.4 วิธีการสร้างแผนภูมิควบคุม

ในการสร้างแผนภูมิควบคุมเพื่อวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของกระบวนการจะมีรายละเอียดของแต่ละแผนภูมิควบคุมค่อนข้างมาก แต่ในที่นี้จะขอกล่าวสรุปเพียงแผนภูมิ 2 ประเภท คือประเภทข้อมูลผันแปรและประเภทข้อมูลแอตทริบิวส์เท่านั้น

2.5.4.1 <u>แผนภูมิควบคุมประเภทข้อมูลผันแปร</u>

ขั้นตอนต่อนี้ใช้กับการสร้างแผนภูมิประเภทวัด ได้แก่ $\bar{X}-R$ และ $X-MR$

1. ทำการรวบรวมข้อมูล(ในกรณีที่ต้องการควบคุมกระบวนการจะต้องใช่ข้อมูลไม่ต่ำกว่า 20 กลุ่ม)

2. ทำการคำนวณความแตกต่างของข้อมูล (ให้คำนวณ R แต่ละกลุ่มและ $\bar{R}$ สำหรับแผนภูมิ $\bar{X}-R$ หรือให้คำนวณ MR ของข้อมูลแต่ละลำดับต่อเนื่องพร้อมค่า $\overline{MR}$)

3. คำนวณพิกัดควบคุม R และ MR โดย ค่า D3, D4 เป็นไปตามตารางที่ 2.3 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2544)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิ R	แผนภูมิ MR
$UCL = D_4R$	UCL = 3.267MR
CL = R	CL = MR
$LCL = D_3R$	LCL = 0

ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่สำหรับคำนวณพิกัดควบคุมแผนภูมิ $\overline{X} - R$

ขนาดข้อมูลย่อยในกลุ่ม	D_3	D_4	A_2
2	-	3.267	1.880
3	-	2.574	1.023
4	-	2.282	0.729
5	-	2.114	0.577
6	-	2.004	0.483
7	0.076	1.924	0.419
8	0.136	1.864	0.373

4. ให้พล็อตกราฟ R หรือ MR และลากเส้นพิกัดควบคุม เพื่อสร้างแผนภูมิ R หรือ แผนภูมิ MR
5. ให้ตีความหมายแผนภูมิ Rและ MR
   - ถ้าค่า R หรือ MR มีค่าเพียง 1 ค่า 2 ค่า หรือ 3 ค่า แสดงว่าข้อมูลขาดคุณสมบัติในการแยกแยะความผันแปร (Resolution) ที่ข้อมูลที่พิจารณาไร้คุณภาพต้องกลับไปแก้ไขระบบการวัด
   - ถ้าค่า R หรือ MR ไม่สุ่ม (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 2.5.5) ให้พิจารณาคุณภาพของ ข้อมูลใหม่ เพราะข้อมูลขาดคุณสมบัติด้านการสอดคล้องกัน (Consistency)
   - ถ้าค่า R หรือ MR ออกนอกพิกัดควบคุม ให้ตัดข้อมูลชุดนั้นออกจากการพิจารณาและคำนวณค่า $\overline{R}$ หรือ $\overline{MR}$ ใหม่จากสูตร

$$\overline{R}_{\text{ใหม่}} = \frac{\text{ผลรวม R เดิม - ผลรวม R ที่จะตัดทิ้ง}}{\text{จำนวนกลุ่มข้อมูลเดิม - จำนวนกลุ่มข้อมูลที่ตัดทิ้ง}} \qquad (2.15)$$

หรือ

$$\overline{MR}_{\text{ใหม่}} = \frac{\text{ผลรวม MR เดิม - ผลรวม MR ที่จะตัดทิ้ง}}{\text{จำนวนข้อมูลเดิม - จำนวนข้อมูลที่ตัดทิ้ง}} \qquad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และคำนวณพิกัดควบคุม UCL และ LCL ใหม่อีกครั้ง

6. คำนวณค่ากลางของข้อมูลแต่ละกลุ่ม (คือค่า X สำหรับแผนภูมิ X- R) แล้วพิจารณาค่ากลางจากข้อมูลทั้งหมด คือ X สำหรับแผนภูมิ X- R หรือ X สำหรับแผนภูมิ X- MR โดยการคำนวณนี้จะพิจารณาจากข้อมูลที่เหลือจากขั้นที่ 5 แล้วเท่านั้น

7. คำนวณพิกัดควบคุม $\overline{\overline{X}}$ หรือ X โดย

แผนภูมิ $\overline{\overline{X}}$	แผนภูมิ X
$UCL = \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R}$	$UCL = \overline{X} + 2.66\overline{MR}$
$CL = \overline{\overline{X}}$	$CL = \overline{X}$
$LCL = \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R}$	$LCL = \overline{X} - 2.66\overline{MR}$

โดยที่ $\overline{R}$ และ $\overline{MR}$ จะต้องใช้ผลการคำนวณตามขั้นตอนที่ (5) และค่า A_2 พิจารณาได้จากตารางที่ 2.3

8. ให้พล็อตกราฟ $\overline{X}$ หรือ X และลากเส้นพิกัดควบคุม เพื่อสร้างแผนภูมิ $\overline{X}$ หรือแผนภูมิ X

9. ให้ตีความหมายแผนภูมิ $\overline{X}$ หรือ X

- ถ้าค่า $\overline{X}$ หรือ X ไม่สุ่ม (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 2.5.5) ให้พิจารณาคุณภาพของข้อมูลใหม่ เพราะขาดคุณสมบัติด้านความสม่ำเสมอ
- ถ้าค่า $\overline{X}$ หรือ X ออกนอกพิกัดควบคุม ให้ตัดข้อมูลชุดนั้นออกจากการพิจารณาและคำนวณค่า X หรือ X ใหม่จากสูตร

$$\overline{\overline{X}}_{ใหม่} = \frac{\text{ผลรวม } \overline{X} \text{ เดิม} - \text{ผลรวม } \overline{X} \text{ ที่จะตัดออก}}{\text{จำนวนกลุ่มข้อมูลเดิม} - \text{จำนวนกลุ่มข้อมูลที่ตัดออก}} \quad (2.17)$$

หรือ

$$\overline{X}_{ใหม่} = \frac{\text{ผลรวม X เดิม} - \text{ผลรวม X ที่จะตัดออก}}{\text{จำนวนข้อมูลเดิม} - \text{จำนวนข้อมูลที่ตัดออก}} \quad (2.18)$$

และคำนวณพิกัดควบคุม UCL และ LCL ใหม่อีกครั้ง

2.5.4.2 <u>แผนภูมิควบคุมประเภทข้อมูลแอตทริบิวส์</u>

ขั้นตอนต่อไปนี้ใช้กับการสร้างแผนภูมิประเภทข้อมูลแอตทริบิวส์ ได้แก่ np, p, c และ u

1. ให้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล (ให้กรณีต้องการควบคุมกระบวนการจะต้องให้ข้อมูลไม่ต่ำกว่า 20 กลุ่ม)
2. ในกรณีต้องการสร้างแผนภูมิ p และ u จะต้องคำนวณจากสูตร

$$p = \frac{\text{จำนวนนับ(np)}}{\text{ขนาดสิ่งตัวอย่าง(n)}} \quad (2.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ

$$u = \frac{\text{จำนวนนับทั้งหมด}(c)}{\text{จำนวนหน่วยมาตราฐาน}(n)} \quad (2.20)$$

3. ให้คำนวณค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวสถิติในแต่ละแผนภูมิโดย

ถ้าเป็นแผนภูมิ np; $\bar{np} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนนับทุกกลุ่มย่อย}(\sum np)}{\text{จำนวนกลุ่มย่อย}}$ (2.21)

ถ้าเป็นแผนภูมิ p; $\bar{p} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนนับทุกกลุ่มย่อย}(\sum np)}{\text{ผลรวมในสิ่งตัวอย่างทุกกลุ่มย่อย}(\sum n)}$ (2.22)

ถ้าเป็นแผนภูมิ c; $\bar{c} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนนับทุกกลุ่มย่อย}(\sum c)}{\text{จำนวนกลุ่มย่อย}}$ (2.23)

ถ้าเป็นแผนภูมิ u; $\bar{u} = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนนับทุกกลุ่มย่อย}(\sum c)}{\text{ผลรวมของหน่วยมาตรฐานในทุกกลุ่มย่อย}}$ (2.24)

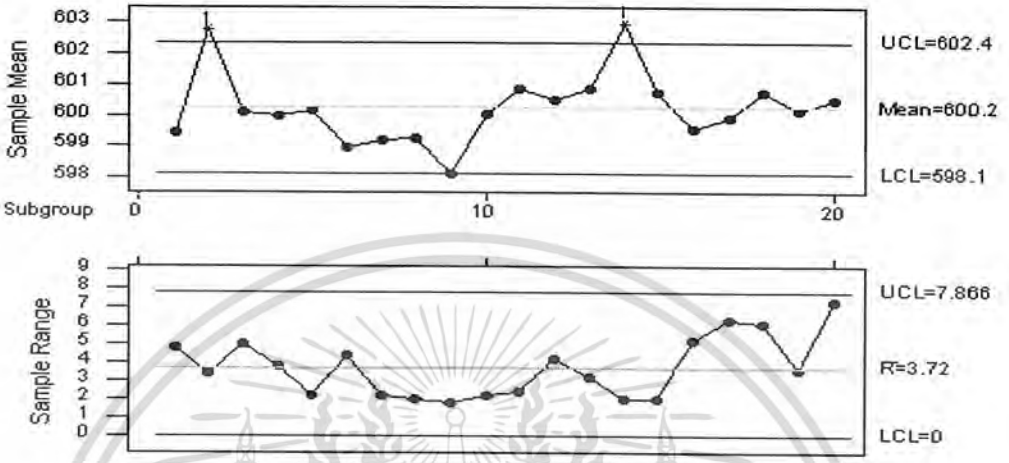
4. คำนวณพิกัดควบคุมดังนี้

แผนภูมิ c	แผนภูมิ u
$UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$	$UCL = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n}$
$CL = \bar{c}$	$CL = \bar{u}$
$LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$	$LCL = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n}$

แผนภูมิ np	แผนภูมิ p
$UCL = \bar{np} + 3\sqrt{\bar{np}\left[1 - \frac{\bar{np}}{n}\right]}$	$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
$CL = \bar{np}$	$CL = \bar{p}$
$LCL = \bar{np} - 3\sqrt{\bar{np}\left[1 - \frac{\bar{np}}{n}\right]}$	$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ให้พล็อตกราฟ และลากเส้นพิกัดควบคุม เพื่อสร้างแผนภูมิควบคุม np, p, c หรือ u ในรูปที่ 2.10 (Minitab, 2000) แสดงตัวอย่างแผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$



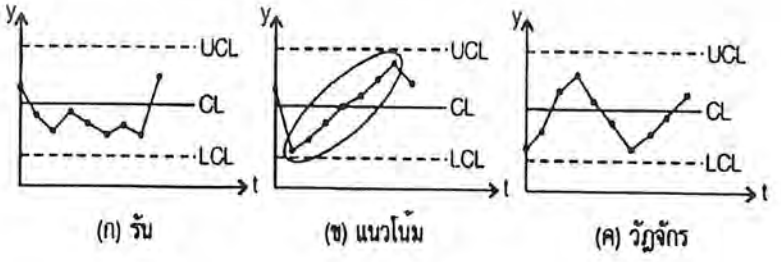
รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างแผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$

2.5.5 การอธิบายความหมายแผนภูมิควบคุม

การอธิบายความหมายแผนภูมิควบคุมจะอยู่บนแนวความคิดของการสุ่มรอบค่ากลางดังนั้น การอธิบายความหมายจะต้องเริ่มต้นจากการอธิบายความหมายของความสุ่มก่อนเสมอ แล้วจึงพิจารณาว่าความสุ่มอยู่ในลักษณะสมมาตรภายใต้ขนาดความผันแปรจากธรรมชาติหรือไม่ ดังนั้นการตีความหมายตามลำดับดังนี้

2.5.5.1 <u>ความไม่สุ่ม</u>

ในการทดสอบความสุ่มของข้อมูลจะอาศัยทฤษฎีรัน (Theory of Runs) ถ้าหากพิจารณาอย่างง่ายๆ อาจพิจารณาได้จากตัวแบบของรัน แนวโน้ม และวัฏจักรดังแสดงในรูปที่ 2.11 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2544)



รูปที่ 2.11 ตัวแบบของความไม่สุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวแบบรันดังรูปที่ 2.11(ก) จะหมายถึงจำนวนจุดต่อเนื่องที่อยู่ทางด้านใดด้านหนึ่งของค่ากลาง (ค่ามัธยฐาน) ซึ่งอาจจะสอดคล้องกับเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งดังต่อไปนี้

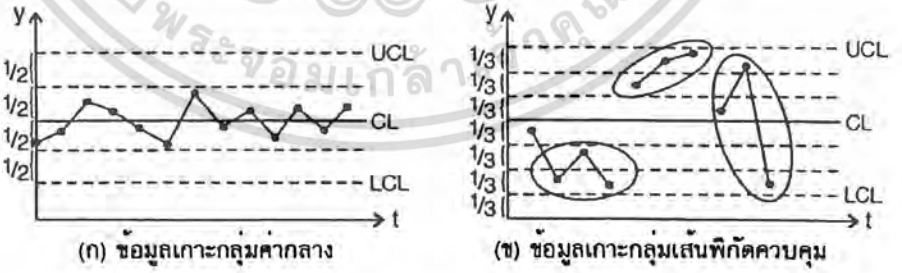
- มีจุด 7 จุดต่อเนื่องอยู่ทางด้านใดด้านหนึ่งของค่ามัธยฐาน
- มี 10 จุดใน 11 จุดต่อเนื่องอยู่ทางด้านใดด้านหนึ่งของค่ามัธยฐาน
- มี 12 จุดใน 14 จุดต่อเนื่องอยู่ทางด้านใดด้านหนึ่งของค่ามัธยฐาน
- มี 16 จุดใน 20 จุดต่อเนื่องอยู่ทางด้านใดด้านหนึ่งของค่ามัธยฐาน

สำหรับตัวแบบแนวโน้มดังรูปที่ 2.11(ข) จะหมายถึงกรณีที่มี 7 จุดต่อเนื่องขึ้นหรือลง และตัวแบบวัฏจักรที่แสดงถึงการเกาะตัวของข้อมูลในลักษณะเหมือนกันภายใต้ระยะเวลาเท่ากัน ดังรูปที่ 2.11 (ค) โดยตัวแบบทั้ง 3 ดังที่กล่าวมานี้จะระบุถึงความไม่สุ่มของข้อมูลซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการพิจารณาสาเหตุที่เกิดขึ้นทั้งการชักสิ่งตัวอย่างการวัดและกระบวนการผลิต

อนึ่ง ในกรณีรันที่เปรียบเทียบกับเส้นมัธยฐานนั้น ถ้าแผนภูมิ $\bar{X}$ หรือ X สามารถใช้เปรียบเทียบกับเส้นกลาง (CL) ได้เลย เพราะในกรณีนี้ถือว่ากราฟมีลักษณะสมมาตรที่ $\bar{\bar{X}}$ และ $\bar{X}$ มีค่าเดียวกับเส้นมัธยฐาน แต่หากเป็นกรณีแผนภูมิ R, p, np, c และ u ที่มีลักษณะเบ้ขวาอยู่แล้วโดยธรรมชาติ หากต้องการตีความหมายให้ถูกต้อง ควรลากเส้นมัธยฐานเพื่อการตัดสินใจ (แต่ในทางปฏิบัติหลายองค์กรมักนิยมให้เส้นกลาง (CL) แทนค่ามัธยฐานเลย ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการตีความหมาย)

2.5.5.2 ตัวแบบสมมาตร

ข้อมูลมีความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาตินั้น นอกจากมีลักษณะแบบสุ่มแล้วยังมีลักษณะกระจายอย่างสมมาตรรอบค่ากลาง(CL) ระหว่าง UCL และ LCL ด้วย ดังนั้นถ้าหากมีข้อมูลกระจายรอบค่า CL อย่างเดียวหรือมีข้อมูล 2 ใน 3 จุดต่อเนื่อง 3 ใน 7 จุดต่อเนื่อง หรือ 4 ใน 10 จุดต่อเนื่องอยู่ในช่วง 1/3 ใกล้พิกัดควบคุมแล้วจะถือว่าข้อมูลดังกล่าวมีความผิดพลาดจากสาเหตุที่ผิดธรรมชาติเพราะว่ามิได้มีความผันแปรแบบสมมาตรดังรูปที่ 2.12 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2544)



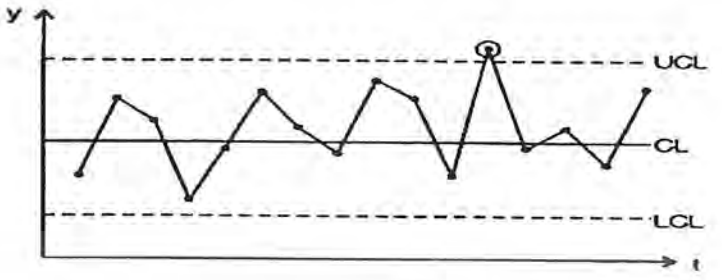
รูปที่ 2.12 ตัวแบบของข้อมูลที่มิได้มีตัวแบบแบบปกติ

2.5.5.3 ขนาดความผันแปรมากกว่าค่าคาดหมาย

หลังจากที่ได้พิจารณาแล้วว่าข้อมูลมีพฤติกรรมแบบสุ่มรอบค่ากลางในลักษณะสมมาตร(หรือเป็นตัวแบบปกติแล้ว) จะพิจารณาในขั้นสุดท้ายคือ ขนาดของความผันแปรของข้อมูลมากกว่าความผันแปรจากสาเหตุจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติที่ได้มีการคาดหมายไว้หรือไม่ ถ้าหากเกินพิกัดแสดงว่า ความผันแปรดังกล่าวมีสาเหตุผิดธรรมชาติดังรูปที่ 2.13 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2544)



รูปที่ 2.13 ความผันแปรที่มากกว่าความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติ

หลังจากที่ได้ตีความหมายความผันแปรในแผนภูมิควบคุมแต่ละตัวแบบดังได้กล่าวมานี้แล้ว ก็จะต้องพิจารณาว่าข้อมูลดังกล่าวแสดงสภาวะเสถียรภาพหรือไม่ โดยอาศัยทฤษฎีความผันแปรของ ดร. เดมมิ่ง ที่ว่า ถ้าหากอยู่ในสภาวะเสถียรภาพแล้ว ข้อมูลส่วนใหญ่จะต้องมีสาเหตุความผันแปรจากธรรมชาติโดยสมาคมคุณภาพแห่งอเมริกา (ASQ) ได้แนะนำว่าถ้าข้อมูลอยู่ระหว่าง 20 – 25 กลุ่มแล้ว ควรมีข้อมูลที่มีความผันแปรจากสาเหตุผิดธรรมชาติไม่เกิน 2 กลุ่มจึงถือได้ว่ากระบวนการมีความเสถียร ซึ่งสามารถใช้พิกัดควบคุมในการคาดการณ์ขนาดความผันแปรเพื่อการควบคุมกระบวนการต่อไป

2.5.6 ข้อควรระวังในการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุม

การใช้แผนภูมิควบคุมมีข้อควรระวังต่างๆหลายประการด้วยกันต่อไปนี้

1. ทำความเข้าใจในจุดประสงค์ให้แจ่มชัด ทั้งนี้เพราะว่าแผนภูมิควบคุมมีจุดประสงค์ในการประยุกต์ใช้ 2 ประการ คือ การวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูล และการวิเคราะห์ความผันแปร ดังที่กล่าวมาแล้ว เพราะในการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพจะใช้ข้อมูลที่ผันแปรตามเวลาด้วยจำนวนเท่าใดก็ได้ ขณะที่การทำให้เป็นมาตรฐานหรือการควบคุมกระบวนการต้องประมาณการด้วยข้อมูลไม่ต่ำกว่า 20 ตัว สำหรับกรณีวิเคราะห์ความผันแปร ข้อมูลจะมีจำนวนเท่าใดก็ได้และไม่จำเป็นต้องเป็นข้อมูลตามลำดับเวลา

2. ในกรณีวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพและควบคุมกระบวนการแผนภูมิควบคุมจะต้องมีการศึกษาตามลำดับเวลาของข้อมูลเท่านั้น ถ้าหากข้อมูลมิได้อยู่ในลักษณะดังกล่าวแล้วจะไม่สามารถตีความหมายจากแผนภูมิควบคุมดังกล่าวได้

3. การตีความหมายแผนภูมิควบคุมตามข้อ (2) จะต้องตีความหมายความสุ่มความเป็นตัวแบบปกติ และขนาดความผันแปรภายในพิกัดควบคุมโดยลำดับเสมอ (ในการประยุกต์สำหรับอุตสาหกรรมไทย ส่วนมากมักจะพิจารณาเฉพาะขนาดของความผันแปรว่าเกินพิกัดควบคุมหรือไม่เท่านั้นโดยมิได้คำนึงถึงตัวแบบของความผันแปรเลย ทำให้การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมไม่มีประสิทธิผลเท่าที่ควร

4. ในกรณีวิเคราะห์ความผันแปร จะไม่สามารถตีความหมายสุ่มได้ เพราะข้อมูลมิได้เป็นข้อมูลตามลำดับเวลา และถ้าข้อมูลอยู่นอกเส้นพิกัดควบคุมจะถือว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากค่ากลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ในการตีความหมายแผนภูมิควบคุมประเภทข้อมูลวัดคือแผนภูมิ $\overline{X}-R$ หรือ X-MR จะต้องพิจารณาความผันแปรจากค่าพิสัย (X หรือ MR) ก่อนเสมอถ้าหากความผันแปรอยู่ในลักษณะที่เป็นธรรมชาติ จึงจะตีความหมายจากแผนภูมิ $\overline{X}$ หรือ X ก็ได้ (ในขณะที่การประยุกต์ในอุตสาหกรรมไทย รวมทั้งตำราจำนวนมากทั้งภาษาไทยและต่างประเทศ มักจะให้ตีความหมายจากแผนภูมิ $\overline{X}$ หรือ X ก่อนเสมอซึ่งไม่ถูกต้องทั้งนี้เพราะว่า $\overline{X}$ จะมีความหมายต่อเมื่อความผันแปรใน X จะต้องมีสาเหตุตามธรรมชาติเท่านั้นดังที่ได้กล่าวมาแล้ว)

6. ในการวิเคราะห์แผนภูมิควบคุมนี้ จะมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความผันแปรว่ามีสาเหตุจากธรรมชาติหรือไม่ ดังนั้น พิกัดควบคุมจะต้องทำการประมาณ จากข้อมูลที่มาจากกระบวนการที่มีการทำให้เป็นมาตรฐานแล้วเท่านั้นและไม่สามารถใช้พิกัดของสเปคมาควบคุมได้ ทั้งนี้เพราะว่าพิกัดของสเปคใช้ประเมินถึงคุณสมบัติความสามารถในการสับเปลี่ยนของผลิตภัณฑ์เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการทำงานจริงที่ใช้ในการศึกษา และทำงานตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า โดยขั้นตอนที่ใช้ในการทำงานจะมีด้วยกัน 5 ขั้นตอนดังนี้ คือ

1. การกำหนดแผนงานในการแก้ปัญหา (Define Phase)
2. การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)
3. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)
4. การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)
5. การควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase)

3.1 การกำหนดแผนงานในการแก้ปัญหา

วิธีการทางซิกซ์ ซิกมา ระยะที่ 1 การนิยามปัญหา (Define) เครื่องที่จะนำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 3 เครื่องมือดังนี้

- การกำหนดสถานะของปัญหา (Problem Statement) เพราะจะทำให้ทราบขอบเขตความสำคัญของปัญหารวมไปจนถึงที่มาของปัญหา ซึ่งจำไปสู่แนวทางในการแก้ไขต่อไป
- การศึกษาแผนภาพกระบวนการ (Process Mapping) เพราะจะช่วยให้คณะผู้วิจัยสามารถเข้าใจรายละเอียดต่าง ๆ ของกระบวนการผลิตและวิธีการปฏิบัติงานย่อยในการดำเนินการผลิตที่จะสนับสนุนในการหาสาเหตุของปัญหาต่าง ๆ ที่อยู่ในกระบวนการผลิตได้
- คำนวณหาผลรวมสัดส่วนของเสีย (DPU, DPPM) เพราะต้องการทราบสถานะการดำเนินการผลิตของกระบวนการที่มีการจำแนกลงไปในกระบวนการย่อย ๆ ซึ่งช่วยในการบ่งชี้กระบวนการย่อยใดที่เป็นจุดวิกฤตของกระบวนการรวมทั้งหมดที่ควรปรับปรุงแก้ไขเป็นอันดับแรก

นอกจากนี้ในขั้นตอนการนิยามปัญหาขังเริ่มตั้งแต่การกำหนดทีมงานและทำการระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์สภาพของปัญหาในปัจจุบันของกระบวนการผลิตเพื่อเป็นการบ่งชี้ให้เห็นถึงลักษณะของปัญหา นำไปสู่การกำหนดปัญหา ด้วยการวิเคราะห์ปริมาณของเสียเฉลี่ย สัดส่วนของเสียที่เกิดในแต่ละกระบวนการ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์และกระบวนการที่นำไปทำการศึกษาโดยการกำหนดเทคนิคและเครื่องมือต่าง ๆ เพื่อความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ยังขั้นตอนต่าง ๆ ของวิธีการซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งในขั้นตอนของการนิยามปัญหานี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญขั้นตอนหนึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

3.1.1 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน

ในการกำหนดทีมงานดำเนินงานที่คัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญในส่วนของกระบวนการที่เลือกทำการปรับปรุงเพื่อช่วยในการสนับสนุนการทดลองและระดมความคิดด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่าง ๆ ที่ใช้ในการดำเนินงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมายซึ่งทีมงานดำเนินงานประกอบไปด้วยบุคคลที่มาจากส่วนต่าง ๆ ดังนี้

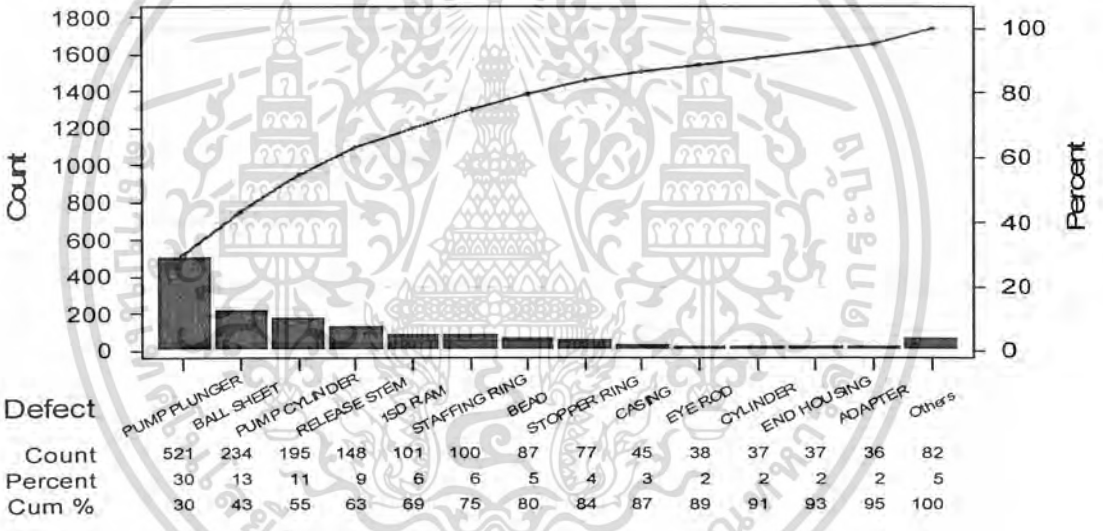
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทีมงานในการดำเนินงาน

- ผู้จัดการโรงงาน (Plant Manager) 1 ท่าน
- วิศวกรควบคุมการผลิต (Process Engineer (PE)) 1 ท่าน
- วิศวกรฝ่ายควบคุมกระบวนการด้วยวิธีการทางสถิติ (Statistical Process Control (SPC) Engineer) 2 ท่าน
- วิศวกรฝ่ายประกันคุณภาพ (Quality Assurance (QA) Engineer) 1 ท่าน

3.1.2 การกำหนดปัญหา

การกำหนดปัญหาเป็นการคัดเลือกผลิตภัณฑ์และกระบวนการที่ใช้แสดงค่าตัวแปรตอบสนอง ซึ่งจะนำข้อมูลในอดีตในช่วงระยะเวลา 5 เดือนมาพิจารณา ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในสายการผลิตผลิตภัณฑ์แม่แรง (Oil Jack) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.1



Defect	PUMP PLUNGER	BALL SHEET	PUMP CYLINDER	RELEASE STEM	ISD RAM	STAFFING RING	BEAD	STOPPER RING	CASING	EYE ROD	CYLINDER	END HOUSING	ADAPTER	Others
Count	521	234	195	148	101	100	87	77	45	38	37	37	36	82
Percent	30	13	11	9	6	6	5	4	3	2	2	2	2	5
Cum %	30	43	55	63	69	75	80	84	87	89	91	93	95	100

รูปที่ 3.1 แผนภาพพาเรโตแสดงปริมาณของเสียของสายการผลิตผลิตภัณฑ์แม่แรง (Oil Jack)

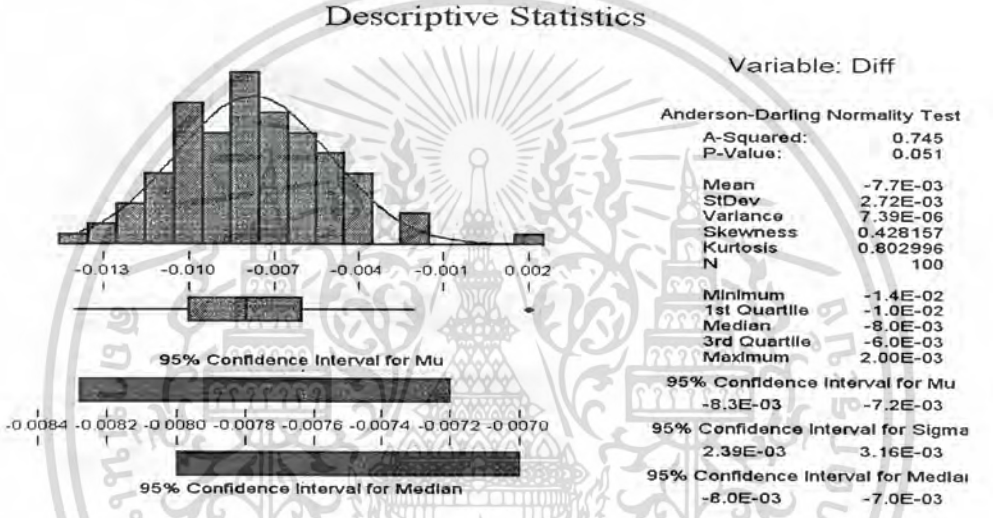
จากรูปที่ 3.1 พบว่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในสายการผลิตผลิตภัณฑ์แม่แรง (Oil Jack) มีปริมาณของเสียที่เกิดจากชิ้นส่วนที่มีชื่อว่า Pump Plunger มีปริมาณของเสียสูงสุด ทางคณะผู้วิจัยจึงทำการเลือกชิ้นส่วนที่มีชื่อว่า Pump Plunger ทำการศึกษาวิจัย เพื่อที่จะทำการลดของเสียให้ลดลง อันจะเป็นผลให้ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการไม่ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยใช้วิธีการทาง ซิกซ์ซิกม่า

3.1.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

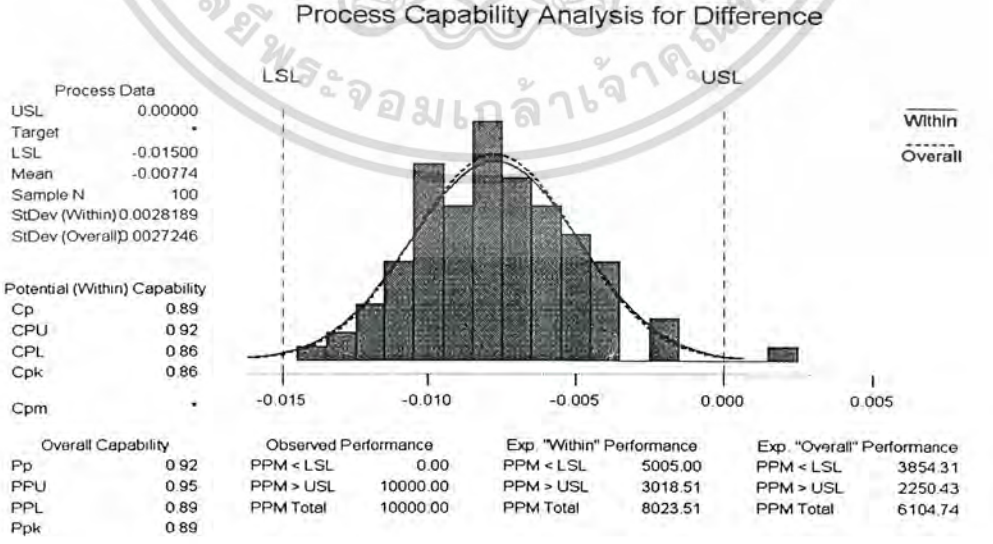
ชิ้นส่วนที่ทำการศึกษาเป็นชิ้นส่วนหนึ่งของสายการผลิตผลิตภัณฑ์แม่แรง (Oil Jack) ที่มีชื่อว่า Pump Plunger ซึ่งทำการศึกษาด้วยการวัดความสามารถของกระบวนการผลิตแสดงให้เห็นด้วยค่าความสามารถของกระบวนการซึ่งค่านี้มีความสำคัญกับชิ้นส่วนที่ทำการศึกษา ที่จะบ่งชี้ว่าผลิตภัณฑ์เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าหรือไม่ จากการเก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลในช่วงเดือน มกราคมถึงพฤษภาคม พ.ศ.2547 พบว่า มีค่าดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิตที่เป็นตัวแทนของช่วงเวลาการผลิตระยะยาว (P_{pk}) เท่ากับ 0.89 ส่วนดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิตที่เป็นตัวแทนของช่วงเวลาการผลิตในระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 0.86 นั้นแสดงถึงสมรรถนะของกระบวนการ (C_{pk}) ซึ่งค่อนข้างต่ำโดยที่ข้อกำหนดของลูกค้ากำหนดให้มีค่าผลต่างของชิ้นงาน ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านหัวลบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านท้ายของชิ้นงาน Pump Plunger มีค่าผลต่างเท่ากับ -0.015 ซึ่งพบว่ามีจำนวนชิ้นงานที่ไม่ได้ตามข้อกำหนดของลูกค้าเกิดขึ้นเท่ากับ 135,666 DPPM (ภาคผนวก ข) ซึ่งจัดอยู่ในช่วงประมาณ 2.6σ นับได้ว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างต่ำ จึงต้องทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ ซึ่งแสดงกราฟสถิติเชิงพรรณนาของค่าผลต่างของชิ้นงานดังรูปที่ 3.2 และกราฟแสดงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าผลต่างของชิ้นงาน



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพปัญหาในปัจจุบันสามารถสรุปปัญหาได้ดังนี้

- กระบวนการผลิตมีความสามารถในการควบคุมค่อนข้างต่ำ เนื่องจากมีกระบวนการประกอบย่อยเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังไม่ทราบว่าปัจจัยใดหรือพารามิเตอร์ใดที่มีความสำคัญต่อคุณภาพของตัวผลิตภัณฑ์
- หลักเกณฑ์ในการยอมรับหรือปฏิเสธผลิตภัณฑ์ยังไม่ได้มาตรฐาน โดยที่สามารถตรวจสอบได้ในลักษณะการทำการวัดค่าของชิ้นงานแล้วพบว่าผ่านการทดสอบแต่หากเมื่อมีการสุ่มตรวจสอบอีกครั้งโดย QA โดยส่วนใหญ่พบว่าไม่ผ่านการทดสอบ ทำให้เกิดเป็นของเสีย และไม่สามารถนำกลับไปแก้ไขชิ้นงานใหม่ (Rework) ได้
- หากทำการทดสอบวัดค่าของชิ้นงาน ณ กระบวนการกลึง แล้วไม่ผ่านการทดสอบนั้นไม่สามารถนำชิ้นไปส่งต่อไปยังกระบวนการถัดไปเพื่อประกอบกับชิ้นงานอื่นได้

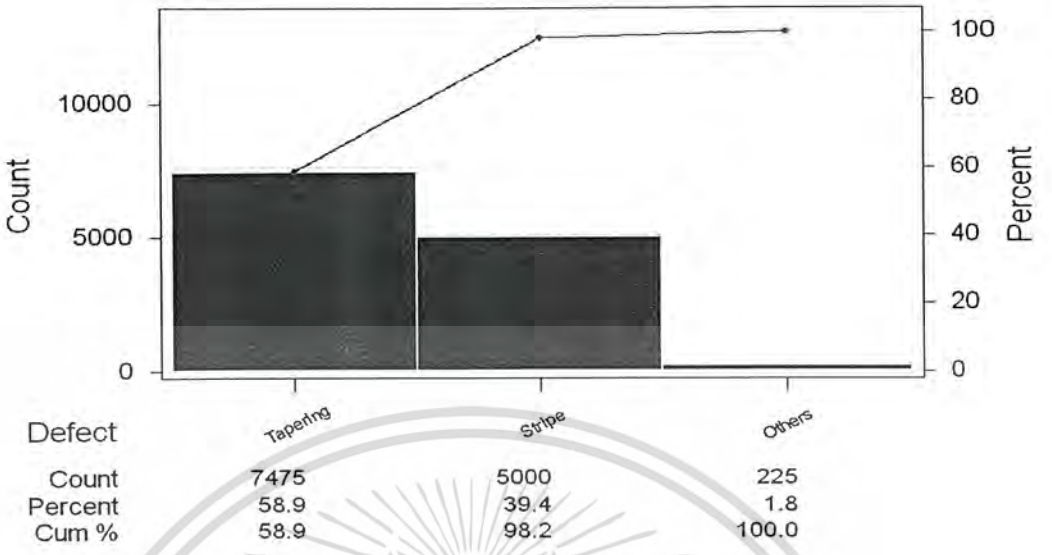
3.1.4 การคำนวณผลรวมสัดส่วนของเสีย

ทำการศึกษาผลรวมสัดส่วนของเสียของชิ้นส่วน Pump Plunger ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งแสดงปริมาณของเสียในช่วงเดือนมกราคม ถึง เดือนพฤษภาคม 2547 โดยการคำนวณจากปริมาณของเสียต่อชิ้นงานของทั้ง 5 เดือน เพื่อหาปริมาณของเสียในหน่วย DPPM ดังสมการการที่ 2.1 และ 2.2 จากนั้นจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการโดยใช้แผนภาพพาเรโตวิเคราะห์ว่าลักษณะงานเสียแบบใดมีปริมาณของเสียเป็นจำนวนมากที่สุด ดังรูปที่ 3.4

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงการคำนวนผลรวมสัดส่วนของเสียในหน่วยจำนวนของเสียต่อล้านหน่วย (DPPM)

ลักษณะของเสีย	ปริมาณที่ผลิตต่อเดือน	มกราคม		กุมภาพันธ์		มีนาคม		เมษายน		พฤษภาคม		ปริมาณของเสียรวม	ปริมาณที่ผลิตรวม	จำนวนของเสียต่อหน่วยการผลิต	จำนวนของเสียต่อล้านหน่วย
		ของเสีย	%ของเสีย	ของเสีย	%ของเสีย	ของเสีย	%ของเสีย	ของเสีย	%ของเสีย	ของเสีย	%ของเสีย				
งานเรียว	8,000	78	0.975	58	0.725	75	0.9375	38	0.475	50	0.625	299	40,000	0.007475	7,475
ผิวลาย	8,000	47	0.5875	4	0.05	17	0.2125	9	0.1125	127	1.5875	204	40,000	0.005	5,000
ระยะ 62 มม	8,000	6	0.075	1	0.0125	1	0.0125	1	0.0125	0	0	9	40,000	0.000225	225
ผลรวม	24,000	131	1.6375	63	0.7875	93	1.1625	48	0.6	177	2.2125	512	120,000	0.0127	12,700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผนภาพพาเรโตแสดงปริมาณของเสียในหน่วย DPPM

จากรูปที่ 3.4 แสดงถึงปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต Pump Plunger โดยคำนวณจากผลรวมสัดส่วนของเสียซึ่งแสดงในหน่วยของ DPPM จากค่าปริมาณของเสียโดยรวมทั้งกระบวนการผลิตมีค่า 12,700 DPPM และหากพิจารณาแยกเป็นของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิตตามลักษณะ โดยพิจารณาจากแผนภาพพาเรโตของปริมาณของเสียที่เกิดในกระบวนการผลิต ซึ่งยึดหลัก 80:20 ในการคัดเลือกลักษณะของเสียที่มีความสำคัญมาพิจารณาก่อน ทำให้ได้ลักษณะของเสียที่มีค่าปริมาณของเสียสูง 2 ลักษณะคือ ชิ้นงานเรียว มีปริมาณของเสียเท่ากับ 7,475 DPPM ชิ้นงานผิวลายมีปริมาณของเสียเท่ากับ 5,000 DPPM ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงเลือกที่จะทำการศึกษาชิ้นงาน Pump Plunger ที่มีลักษณะของเสียที่เกิดชิ้นงานเรียวเนื่องจากค่าผลต่าง ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านหัวและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านท้ายไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 การศึกษากระบวนการผลิต

การศึกษากระบวนการผลิตได้อธิบายกระบวนการผลิตชิ้นงาน Pump Plunger ด้วยแผนภาพอธิบายกระบวนการผลิตโดยรวม (Process Mapping) ดังแสดงในรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 แผนภาพกระบวนการผลิตของชิ้นงาน Pump Plunger

จากรูปที่ 3.5 แสดงแผนภาพกระบวนการผลิตของชิ้นงาน Pump Plunger โดยกระบวนการผลิตมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำวัตถุดิบเข้ามายังสายการผลิต
2. นำวัตถุดิบเข้ายังกระบวนการกลึงซึ่งในกระบวนการนี้เครื่องจักรจะทำการผลิตชิ้นงานโดยอัตโนมัติจนกระทั่งได้ชิ้นงาน Pump Plunger
3. หลังจากที่ผ่านกระบวนการกลึงได้ชิ้นงาน Pump Plunger แล้วจะนำชิ้นงานเข้ากระบวนการเจาะบริเวณท้ายชิ้นงานดังแสดงรูปชิ้นงานดังรูปที่ 1.1
4. พนักงานประจำเครื่องทำการตรวจสอบขนาดต่างๆ ของชิ้นงาน
5. นำชิ้นงานชุบน้ำมัน
6. นำชิ้นงานเรียงบรรจุเข้ากล่องบรรจุชิ้นงาน
7. คิวซีประจำสายการผลิตแม่แรง (Oil Jack) ตรวจสอบ
8. จัดเก็บชิ้นงานเตรียมจัดส่งให้ลูกค้าแผนกต่อไป
9. จัดส่งไปยังแผนกประกอบชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์แม่แรง (Oil Jack)

เมื่อได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตดังรูปที่ 3.5 คณะผู้วิจัยทำการศึกษาเฉพาะกระบวนการกลึงเนื่องจากเป็นกระบวนการที่สำคัญที่ส่งผลให้เกิดชิ้นงานเรียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 การกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานและเครื่องมือที่เลือกใช้

ในการกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานซึ่งแสดงเครื่องมือที่เลือกใช้และการวัดผลต่างๆ ของขั้นตอนต่างๆ ไว้ในตารางที่ 3.2 ซึ่งในตารางนี้จะเป็นการบอกถึงเครื่องมือที่ใช้ในการทำตั้งแต่ การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหาไปจนถึง การควบคุมกระบวนการผลิต

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงเครื่องมือที่เลือกใช้และตัววัดผลของขั้นตอนต่างๆ

วงจร (Phase)	เครื่องมือที่เลือกใช้	ตัววัดผล	ประโยชน์ในการดำเนินงาน
การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)	การศึกษาระบบการวัด (Gage R&R)	ค่า % Gage/TV	- เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถของระบบการวัดในส่วนของความแม่นยำและเที่ยงตรง เพื่อยืนยันก่อนดำเนินการในขั้นตอนต่อไป
	การระดมความคิดเพื่อแจกแจงสาเหตุและผลกระทบของกระบวนการ 1. ผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram) 2. ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)	ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Key Process Input Variable : KPIV)เบื้องต้น	1. ผังก้างปลาจะเป็นแผนภาพใช้บ่งชี้สาเหตุต่างของปัญหาโดยละเอียดทำให้เห็นภาพรวมของปัญหาทั้งระบบอีกทั้งครอบคลุมปัจจัยนำเข้าทั้งหมดซึ่งทำให้เห็นรากเหง้าของปัญหา 2. ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล เป็นการให้คะแนนแก่ปัจจัยที่เป็นทั้งปัจจัยนำเข้าและผลของกระบวนการว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยแค่ไหนเพื่อให้สามารถลดปัจจัยที่ไม่เกี่ยวข้องออกไปได้บางส่วน
	3.วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis : FMEA)		3. วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ เป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่ทำให้เห็นถึงความรุนแรง ความถี่ การตรวจจับได้ของแต่ละปัญหากล่าวคือช่วยกลั่นกรองปัจจัยนำเข้าหรือสาเหตุของปัญหาที่ได้จากการระดมความคิดของทีมงานที่มีหลักการอย่างสมเหตุสมผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3. 2 ตารางแสดงเครื่องมือที่เลือกใช้และตัววัดผลของขั้นตอนต่างๆ (ต่อ)

วงจร (Phase)	เครื่องมือที่เลือกใช้	ตัววัดผล	ประโยชน์ในการดำเนินงาน
	การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (C_{pk} , P_{pk})	ความสามารถของกระบวนการ (C_{pk} , P_{pk})	- เป็นค่าที่สามารถแสดงถึงความสามารถของกระบวนการเมื่อเทียบกับข้อกำหนดของลูกค้าทำให้ทราบว่ากระบวนการทำงานปัจจุบันมีความสามารถในการทำงานเป็นเช่นไร
การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)	การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) - 2 Sample t - test	P-Value น้อยกว่า 0.05	- เพื่อเปรียบเทียบว่าระดับในแต่ละปัจจัยนั้นมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกันหรือไม่ซึ่งเปรียบเทียบทั้งค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนทั้งนี้เพื่อเป็นการคัดเลือกเฉพาะปัจจัยที่มีความแตกต่างกันเท่านั้น
การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)	การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k	P-Value น้อยกว่า 0.05	- เป็นการพิจารณาว่าในแต่ละระดับของทุกปัจจัยที่มีความสำคัญนั้นส่งผลกระทบโดยตรงหรือไม่เพื่อสามารถคัดเลือกปัจจัยมาทำการหาค่าระดับที่เหมาะสม
	การทดสอบการยืนยันผล	ความสามารถของกระบวนการ (C_{pk} , P_{pk}) ค่าผลรวมสัดส่วนของเสีย (DPU , DPPM)	- เพื่อเป็นการยืนยันว่าค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมนั้นสามารถนำไปดำเนินการผลิตได้ในกระบวนการผลิตจริง
การควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase)	การควบคุมคุณภาพของกระบวนการโดยอาศัยสถิติ (Statistical Process Control : SPC)	ค่าผลรวมสัดส่วนของเสีย (DPU , DPPM)	- เพื่อเป็นการควบคุมให้ปัจจัยต่างๆอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้และหากเกิดเหตุการณ์ที่ปัจจัยออกนอกเส้นควบคุมก็มีมาตรการในการดำเนินการแก้ไขไม่ให้เกิดของเสียเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการระดมความคิดของทีมงานดำเนินการเพื่อการกำหนดเครื่องมือต่างๆ ที่จะใช้ในการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อให้สามารถดำเนินการได้สอดคล้องตามแผนที่กำหนดไว้ตามวงจรการดำเนินงานของวิธีการทาง ซิกซ์ ซิกม่า

3.2 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

วิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า ระยะที่ 2 คือ การวัด (Measurement) เครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 3 เครื่องมือดังนี้

- การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) เพราะก่อนที่จะเริ่มดำเนินการใดๆในวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า นั้นถ้าผลลัพธ์ (KPIV) ที่เราต้องการปรับปรุงนั้นจำเป็นจะต้องมีความน่าเชื่อถือ ดังนั้น ระบบการวัดของเครื่องมือต่างๆ ในกระบวนการที่ทำการศึกษาวิจัยจะต้องเป็นระบบการวัดมีความแม่นยำถูกต้อง
- การวิเคราะห์หาสาเหตุและผล (Cause & Effect Analysis) ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพราะเครื่องมือทั้งสามนี้ช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการ กล่าวคือ ช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาจนถึงรากเหง้าของปัญหา (Root Cause) ซึ่งปัญหาต่างๆเหล่านั้นจะเป็นปัจจัยนำเข้าสำคัญที่ส่งผลต่อผลลัพธ์ของกระบวนการที่ต้องการปรับปรุงโดยมีการกลั่นกรองปัจจัยนำเข้าตามลำดับ
- การศึกษาความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Study) เพราะเป็นดัชนีบ่งชี้ให้เห็นสมรรถนะของกระบวนการปัจจุบันก่อนที่จะมีการปรับปรุง ซึ่งดัชนีชี้วัดนี้จะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับกระบวนการหลังการปรับปรุง

จากขั้นตอนของการนิยามปัญหาให้ทราบถึงลักษณะของปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการซึ่งจะนำไปสู่การกำหนดสาเหตุของปัญหาโดยกำหนดปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (KPIV) ของกระบวนการที่ประกอบไปด้วยขั้นตอนของการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gage R&R) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญก่อนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้เทคนิคหรือเครื่องมือของซิกซ์ ซิกม่าอื่นๆ หลังจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gage R&R) พิสูจน์ได้แล้วว่าระบบการวัดของกระบวนการดี จึงนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาจากแผนภาพสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) การวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ของปัญหาต่างๆ ตามลำดับโดยผลที่ได้จากขั้นตอนของการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ทำให้ทราบถึงปัญหาที่เป็นปัจจัยนำเข้าสำคัญ (KPIV) จะนำไปวิเคราะห์ทางหลักสถิติในขั้นตอนของการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่อไปมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด

ระบบการวัดเป็นเสมือนกลไกในการควบคุมผลิตภัณฑ์และกระบวนการเพื่อเป็นการประกันคุณภาพสู่ลูกค้า กระบวนการวัดมีองค์ประกอบหลักๆ คือเครื่องมือวัด พนักงานวัดซึ่งมีสาเหตุมาจากทักษะ ความชำนาญและระดับการฝึกฝน วิธีการวัด ชิ้นงานที่วัด สิ่งแวดล้อมในการวัดที่มีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ ความชื้น และธรรมชาติ เนื่องจากแต่ละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบมีความไม่เท่ากัน จึงเกิดความผันแปรในระบบการวัดการวิเคราะห์ระบบความแม่นยำของเครื่องมือวัดมีความสำคัญมาก เนื่องจากการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพหรือการป้องกันปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพนั้นต้องมีความมั่นใจในความเสถียรภาพของเครื่องมือวัด ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดเพื่อทำการแยกแหล่งความผันแปรออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ความผันแปรเนื่องมาจากชิ้นงาน (Part-to-Part Variation) และความผันเนื่องมาจากพนักงานวัด (Appraiser Variation)

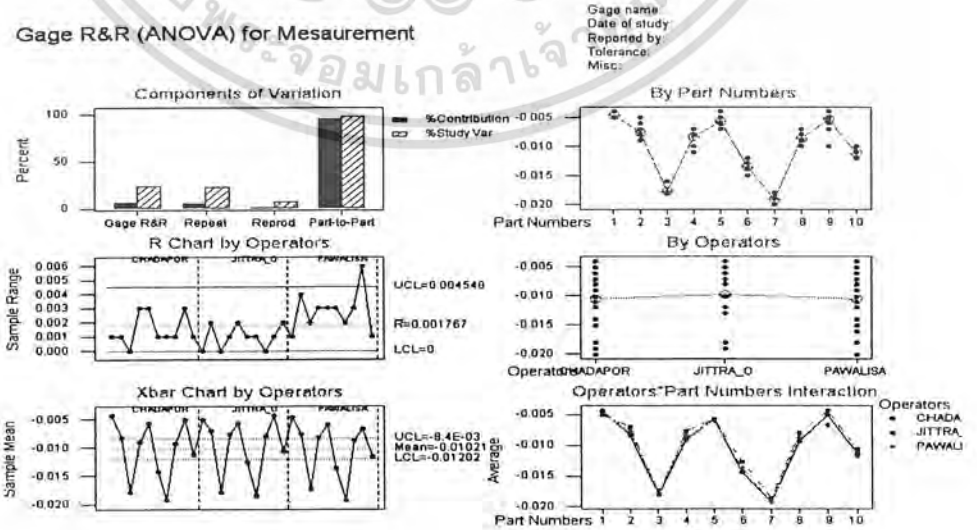
3.2.1.1 <u>การออกแบบการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด</u>

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. คัดเลือกพนักงานที่มีทักษะและได้รับการฝึกอบรมมาเป็นอย่างดี จำนวนทั้งสิ้น 3 คน
2. คัดเลือกชิ้นงานในกระบวนการผลิตแบบสุ่มที่ผ่านการตรวจสอบในเรื่องอื่นๆแล้วจำนวนทั้งสิ้น 10 ชิ้นงาน
3. ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดให้มั่นใจว่าเครื่องมือมีความถูกต้องโดยอ้างอิงจากการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องมือวัด
4. ผู้ที่ทำการทดสอบแต่ละคนทำการวัดชิ้นงานมาตรฐานทั้ง 10 ชิ้น แบบสุ่มโดยไม่ทราบผลการทดสอบของผู้ที่ทำการทดสอบรายอื่นๆ
5. ทำการทดสอบจนผู้ที่ทำการทดสอบทั้ง 3 คนทำการทดสอบชิ้นงานชิ้นเดิมคนละ 3 ครั้งจนครบ ทั้ง 10 ชิ้น แล้วทำการบันทึกค่าซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ผก 1
6. บันทึกค่าลงใน Program Minitab และ หาค่าผลลัพธ์ของ Gage R&R

3.2.1.2 <u>ผลของการวิเคราะห์เชิงสถิติ</u>

แสดงแผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัดในกระบวนการผลิต Pump Plunger ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนภาพการประเมินความผันแปรของการวัดในกระบวนการผลิต Pump Plunger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวิเคราะห์ แผนภูมิควบคุม R Chart by Operators ในรูปที่ 3.6 จะเห็นว่ามีค่าพิสัย (Range-R) มากกว่า 3 ค่าที่อยู่ในพิกัดควบคุม (Control Limit) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบการวัดมีความสามารถในการแยกแยะความแตกต่าง (Resolution) ของข้อมูลวัดได้ อีกทั้งพิสัยเกือบทั้งหมดอยู่ในพิกัดควบคุม (Control Limit) แสดงว่ากระบวนการวัดมีความสม่ำเสมอ (Consistency) ฉะนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองมีคุณภาพเพียงพอที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ในส่วนของแผนภูมิ Xbar Chart by Operator นั้นพบว่าค่า Xbar โดยส่วนใหญ่ออกนอกพิกัดควบคุม แสดงว่าความผันแปรส่วนใหญ่มาจากความแตกต่างระหว่างชิ้นงานตัวอย่าง และชี้ให้เห็นว่าระบบการวัดสามารถตรวจจับความแตกต่างระหว่างชิ้นงานตัวอย่างได้ จึงสรุปได้ว่าชิ้นงานตัวอย่างที่เลือกมามีความเหมาะสมต่อการนำมาทดลองเพื่อประเมินความแม่นยำของระบบการวัด

เมื่อพบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีคุณภาพเพียงพอ และชิ้นงานตัวอย่างที่เลือกมาใช้ในการทดลองมีความเหมาะสมแล้วทำการวิเคราะห์ระบบการวัดโดย วิธี ANOVA ดังรูปที่ 3.7 แสดงผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

Two-Way ANOVA Table with Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part Numbers	9	0.0021172	0.0002352	262.103	0.00000
Operators	2	0.0000090	0.0000045	4.989	0.01888
Operators*Part Numbers	18	0.0000162	0.0000009	0.621	0.86861
Repeatability	60	0.0000867	0.0000014		
Total	89	0.0022290			

รูปที่ 3.7 ตาราง ANOVA สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด

เมื่อพิจารณาค่า P-Value ของอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างพนักงานวัดกับชิ้นงานตัวอย่าง (Operators*Part Numbers) ในรูปที่ 3.4 พบว่ามีค่า P-Value เท่ากับ 0.86861 (มากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05) สรุปว่าอันตรกิริยาระหว่างพนักงานวัดกับกับชิ้นงานตัวอย่างไม่มีนัยสำคัญฉะนั้นจึงทำการรวมค่าความความผันแปรของอันตรกิริยาดังกล่าวเข้ากับ รีพีททะบิลิตี้ เพื่อเพิ่มองศาความอิสระ (Degree of Freedom) ซึ่งได้ผลดังรูปที่ 3.8

Two-Way ANOVA Table without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part Numbers	9	0.0021172	0.0002352	178.455	0.00000
Operators	2	0.0000090	0.0000045	3.397	0.03851
Repeatability	78	0.0001028	0.0000013		
Total	89	0.0022290			

รูปที่ 3.8 ตาราง ANOVA สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด เมื่ออันตรกิริยามีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการพิจารณาในรูปที่ 3.8 ค่า P-Value ของพนักงานวัด (Operators) พบว่ามีค่า P-Value เท่ากับ 0.03851 (น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05) แสดงว่า อิทธิพลจากพนักงานวัดมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาค่า P-Value ของชิ้นงานตัวอย่าง (Part Numbers) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.0000 (น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05) จึงสรุปว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบการวัดมีแหล่งที่มาจากความผันแปรจากชิ้นงานตัวอย่างและพนักงานวัดที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และในระบบการวัดดังกล่าวนี้สามารถประมาณค่าความผันแปรจากแหล่งต่างๆ ได้ดังรูปที่ 3.9

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)	
Total Gage R&R	1.42E-06	5.19	
Repeatability	1.32E-06	4.81	
Reproducibility	1.05E-07	0.38	
Operators	1.05E-07	0.38	
Part-To-Part	2.60E-05	94.81	
Total Variation	2.74E-05	100.00	
Source	**StdDev (SD)**	**Study Var (5.15*SD)**	**%Study Var (%SV)**
Total Gage R&R	1.19E-03	6.14E-03	22.79
Repeatability	1.15E-03	5.91E-03	21.93
Reproducibility	3.25E-04	1.67E-03	6.20
Operators	3.25E-04	1.67E-03	6.20
Part-To-Part	5.10E-03	2.63E-02	97.37
Total Variation	5.24E-03	2.70E-02	100.00
Number of Distinct Categories = 6			

รูปที่ 3.9 ค่าความผันแปรจากแหล่งต่างๆของระบบการวัด

3.2.1.3 <u>การประเมินระบบการวัดและการสรุปผลการทดลอง</u>

การประเมินระบบการวัดจากรูปที่ 3.9 สามารถสรุปได้ว่า

- ค่าระบบการวัด (Total Gage R&R) 22.79 เปอร์เซ็นต์
- ค่าความผันแปรจากเครื่องมือวัด (Repeatability) 21.93 เปอร์เซ็นต์
- ค่าความผันแปรจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility) 6.20 เปอร์เซ็นต์
- ค่าความผันแปรจากชิ้นงาน (Part-To-Part) 97.37 เปอร์เซ็นต์

สามารถสรุปผลการทดลองได้ว่า ค่าที่วัดได้มีค่าระบบการวัด (Total Gage R&R) เพียง 22.79 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ และ จากแผนภูมิควบคุม $\overline{X}-R$ แสดงดังรูปที่ 3.6 หรือจากค่า Number of Distinct

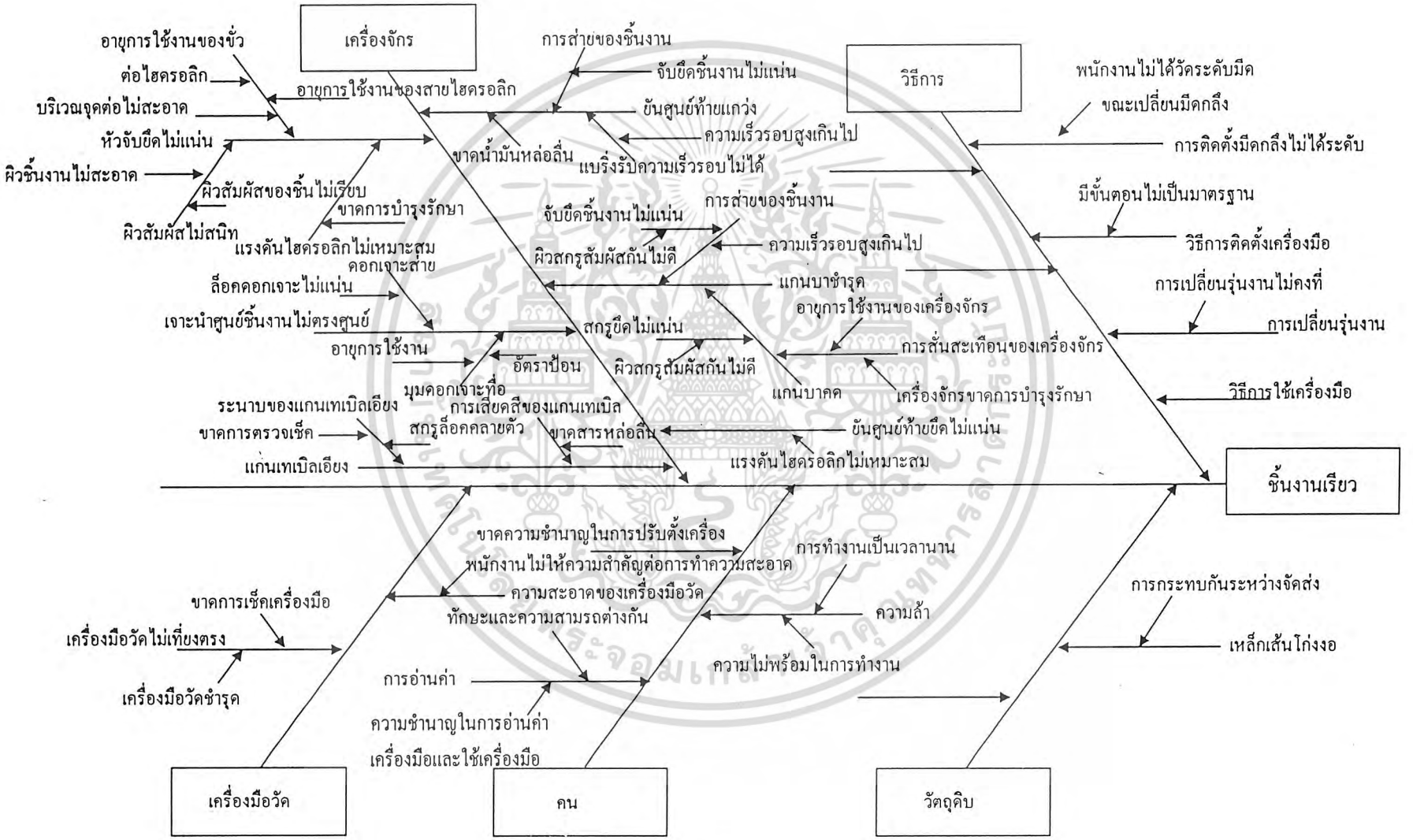
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Categories ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6 โดยเกณฑ์มาตราฐานของความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างของข้อมูลจะมีค่ามากกว่าเท่ากับ 5 (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546) สรุปได้ว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างของระบบการวัดได้ค่อนข้างละเอียด นั่นคือ ระบบการวัดนี้ว่ามีความแม่นยำเพียงพอที่จะใช้สำหรับดำเนินการในขั้นตอนถัดไป ที่ได้วางแผนไว้ในขั้นตอนของการนิยามปัญหา โดยทำการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผลก่อนเพื่อให้ทราบถึงต้นเหตุของปัญหาเพื่อให้ได้ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

3.2.2 การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล

การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) เป็นการระดมสมองเพื่อค้นหาสาเหตุสำหรับการวิเคราะห์ที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่สุดโดยสร้างภาพความสัมพันธ์ที่เป็นไปได้ระหว่างสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและจะเกิดในอนาคตซึ่งต้องเจาะจงถึงเงื่อนไขที่เป็นสาเหตุของข้อกำหนด จากลูกค้าด้วยการระดมความคิดกับทีมงานซึ่งจะ ได้แผนภาพการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งจะได้ปัจจัยนำเข้าต่างๆ จากนั้นต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อจำแนกว่าปัจจัยนำเข้าใดที่สามารถควบคุมได้และไม่สามารถควบคุมได้และไม่สามารถควบคุมได้ หากไม่สามารถควบคุมได้ต้องทำการตัดปัจจัยเหล่านั้นทิ้ง โดยเฉพาะปัจจัยนำเข้าที่สามารถควบคุมได้เท่านั้นนำมาพิจารณาดังแสดงดังตารางที่ 3.3 จากนั้นนำไปทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างผลของกระบวนการและ ปัจจัยนำเข้าในขั้นตอนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram)

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงผลค่าตัวแปรนำเข้าที่สามารถควบคุมได้และไม่สามารถควบคุม

ปัจจัยนำเข้าที่สามารถควบคุมได้	ปัจจัยนำเข้าที่ไม่สามารถควบคุมได้
แกนบาชำรุด	ความล้า
แกนเทเบิลเอียง	การอ่านค่า
ยันศูนย์ท้ายแกว่ง	ขาดความชำนาญในการปรับตั้งเครื่อง
เจาะนำศูนย์ชิ้นงานไม่ตรงศูนย์	วิธีการใช้เครื่องมือ
หัวจับยึดชิ้นงานไม่แน่น	
ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น	
การติดตั้งมีดกลึงไม่ได้ระดับ	
เหล็กเส้นโก่งงอ	
ความสะอาดของเครื่องมือวัด	
ไม่ปฏิบัติงานตามขั้นตอน	
การเปลี่ยนรุ่นงาน	

จากตารางที่ 3.3 จะสรุปถึงปัจจัยนำเข้าที่สามารถควบคุมได้และปัจจัยนำเข้าที่ไม่สามารถควบคุมได้ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทำการระดมสมองจากพนักงานที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตชิ้นงาน Pump Plunger

3.2.3 การวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล

จากตารางจำแนกปัจจัยนำเข้าได้เลือกเฉพาะปัจจัยนำเข้าที่สามารถควบคุมได้เท่านั้นมาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) ดังแสดงในตารางที่ 3.4 เนื่องจากไม่สามารถปรับปรุงปัจจัยนำเข้าที่ไม่สามารถควบคุมได้ โดยกำหนดเกณฑ์ในการให้คะแนนความสัมพันธ์กันระหว่างปัจจัยนำเข้ากับผลลัพธ์ของกระบวนการดังนี้

0 = ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับผลลัพธ์ของกระบวนการ

1 = ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับผลลัพธ์ของกระบวนการน้อยมาก

3 = ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับผลลัพธ์ของกระบวนการปานกลาง

5 = ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับผลลัพธ์ของกระบวนการสูง

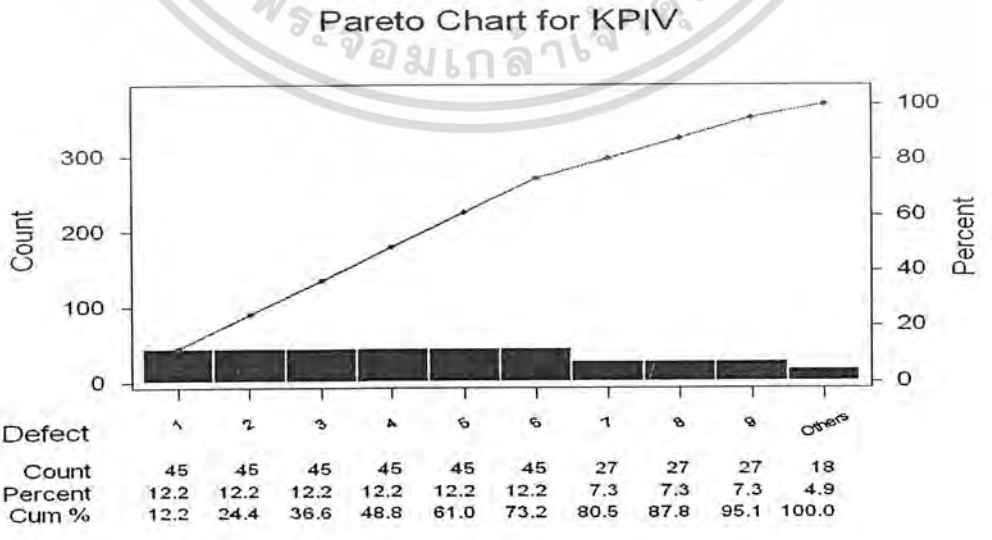
ในการพิจารณาตามความสัมพันธ์ของปัจจัยนำเข้ากับผลลัพธ์ของกระบวนการนั้นจะให้คะแนนความสัมพันธ์จากการระดมความคิดของทีมงานดังในตารางที่ 3.4 เมื่อนำคะแนนความสัมพันธ์ของทั้งสองปัจจัยนั้นมาจัดลำดับความสำคัญจากมากไปน้อยโดยการใช้แผนภาพพาเรโตดังแสดงในรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและผลกระทบของกระบวนการ

ลำดับ	น้ำหนักความสำคัญจากลูกค้า	ชิ้นงานเรียว (9)	คะแนนรวม
	ปัจจัยนำเข้า	คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับผลลัพธ์ของกระบวนการ	
1	แกนบาชำรุด	5	45
2	แกนเทเบิลเอียง	5	45
3	ยันศูนย์ท้ายแกว่ง	5	45
4	เจาะนำศูนย์ชิ้นงานไม่ตรงศูนย์	5	45
5	หัวจับยึดชิ้นงานไม่แน่น	5	45
6	ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น	5	45
7	การติดตั้งมีดกลึงไม่ได้ระดับ	3	27
8	เหล็กเส้นโก่งงอ	3	27
9	ความสะอาดของเครื่องมือวัด	3	27
10	ไม่ปฏิบัติงานตามขั้นตอน	1	9
11	การเปลี่ยนรุ่นงาน	1	9
	คะแนนรวม		369

จากตารางที่ 3.4 เป็นการนำปัจจัยนำเข้าที่สามารถควบคุมได้มาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับผลลัพธ์ของกระบวนการซึ่งคะแนนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับผลลัพธ์ของกระบวนการได้มาจากการระดมสมองของคณะผู้วิจัยและพนักงานที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 3.11 แผนภาพพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจัดเรียงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญด้วยแผนภาพพาเรโตแล้วทางคณะทำการวิจัยได้เลือกปัจจัยนำเข้าทั้งหมด ไปทำการวิเคราะห์ ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) เพื่อกลั่นกรองปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อคือค่าผลต่างที่ทำให้เกิดชิ้นงานเรียวในขั้นตอนต่อไป

3.2.5 การวิเคราะห์ประเภทของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

หลังจากที่ได้พิจารณาเลือกปัจจัยที่สำคัญจากการพิจารณา ด้วยการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) แล้วในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยเหล่านั้นมาวิเคราะห์ประเภทความล้มเหลวและผลกระทบ (FMEA) เพื่อที่จะศึกษาถึงลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของปัจจัยต่างๆเหล่านี้พร้อมกับพิจารณาผล กระทบที่เกิดขึ้นด้วยดังตารางที่ 3.5 ตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบโดยเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาจะคำนึงถึงการให้คะแนนของ Risk Priority Number (RPN) ให้กับแต่ละปัญหา

การคำนวณค่า RPN ได้มาจากผลคูณค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวคือ S x O x D เมื่อ

S = ความรุนแรง (Severity) พิจารณาจากผลกระทบที่เกิดขึ้นกับลูกค้า

O = โอกาสที่เกิดขึ้น (Occurrence) พิจารณาจากความเป็นไปได้ในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง

D = ความสามารถในการตรวจจับ (Detection) โดยพิจารณาได้จากคุณสมบัติด้านความสามารถของระบบการควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน

ค่า S , O และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นค่าระดับความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหา คือค่า RPN เท่ากับ 1 ซึ่งมาจาก 1x1x1 หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยมากและความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกันและสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์ ในขณะที่ค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของปัญหา คือ ค่า RPN เท่ากับ 1,000 ซึ่งมาจาก 10x10x10 หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมากและความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีมากรวมถึงความสามารถในการตรวจจับปัญหามีต่ำในการให้คะแนนของทั้ง 3 พารามิเตอร์นั้นจะทำการวิเคราะห์และให้คะแนนโดยการระดมความคิดของทีมงานซึ่งจะมีผู้เกี่ยวข้องกับกระบวนการหลายๆ ฝ่ายเพื่อที่จะทำการกลั่นกรองให้เหลือเฉพาะปัจจัยที่มีความสำคัญของปัญหาจากนั้นทำการใช้แผนภาพพาเรโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญดังแสดงในตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.12 ก่อนที่จะนำไปทดสอบสมมติฐานในขั้นตอนของการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

ชื่อผลิตภัณฑ์ : PUMP PLUNGER
ชื่อรุ่น : J-410-0004
คณะทำงาน : PE, SPC, QA

ชื่อกระบวนการผลิต: แม่แรง (OIL JACK)
ชื่อลูกค้า: กระบวนการประกอบ

หมายเลข FMEA: 01
วันเริ่มต้น: 23/08/2004
วันทบทวนสอบ:

หน้าที่ของกระบวนการ	แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มของผลจากข้อบกพร่อง	แนวโน้มของสาเหตุ	การควบคุมในปัจจุบัน	สภาพปัจจุบัน				วิธีการแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ	การแก้ไข	ผลการแก้ไข			
					SEA	OCC	DET	RPN				SED	OCC	DET	RPN
กลึง	1. แกนบาชำรุด	1.1 ชิ้นงานสวมไม่ได้	1.1.a แกนบาคดงอ	ยังไม่มีการควบคุม	8	3	10	240							
			1.1.b การส่ายของชิ้นงาน	ใช่การวัดหลังติดตั้งชิ้นงาน	8	2	4	64							
	2. แกนเทเบิลเอียง	2.1 ชิ้นงานสวมไม่ได้	2.1.aระนาบแกนเทเบิลเอียง	ตรวจสอบซ้ำด้วยสายตา	7	1	7	49							
			2.1.b การสึกหรอของอุปกรณ์จับยึด	ตรวจสอบตามแผนการซ่อมบำรุง	7	2	3	42							
	3. ขันศูนย์ท้ายแกว่ง	3.1 ชิ้นงานสวมไม่ได้	3.1.a ความเร็วรอบไม่เหมาะสม	ใช่การวัดหลังติดตั้งชิ้นงาน	8	3	4	96							

ตารางที่ 3.5 ตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (ต่อ)

ชื่อผลิตภัณฑ์ : PUMP PLUNGER
ชื่อรุ่น : J-410-0004
คณะทำงาน : PE, SPC, QA

ชื่อกระบวนการผลิต: แม่แรง (OIL JACK)
ชื่อลูกค้า: กระบวนการประกอบ

หมายเลข FMEA: 01
วันเริ่มต้น: 23/08/2004
วันทบทวนสอบ:

หน้าที่ของกระบวนการ	แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มของผลจากข้อบกพร่อง	แนวโน้มของสาเหตุ	การควบคุมในปัจจุบัน	สภาพปัจจุบัน				วิธีการแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ	การแก้ไข	ผลการแก้ไข			
					SEA	OCC	DET	RPN				SED	OCC	DET	RPN
กลึง	3. ยันศูนย์ท้ายแกว่ง	3.1 ชิ้นงานสวมไม่ได้	3.1.b ชนิดของแบริ่งไม่เหมาะสม	ปฏิบัติตามคู่มือ	8	2	3	48							
	4. เจาะนำศูนย์ชิ้นงานไม่ตรงศูนย์	4.1ชิ้นงานสวมไม่ได้	4.1.a ดอกเจาะนำศูนย์ส่าย	ตรวจสอบซ้ำด้วยสายตา	8	1	7	56							
			4.1.b มุมดอกเจาะทื่อ	ใช้อุปกรณ์วัดหลังจากชิ้นงานเสร็จ	8	1	5	40							

ตารางที่ 3.5 ตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (ต่อ)

ชื่อผลิตภัณฑ์ : PUMP PLUNGER
ชื่อรุ่น : J-410-0004
คณะทำงาน : PE, SPC, QA

ชื่อกระบวนการผลิต: แม่แรง (OIL JACK)
ชื่อลูกค้า: กระบวนการประกอบ

หมายเลข FMEA: 01
วันเริ่มต้น: 23/08/2004
วันทบทวนสอบ:

หน้าที่ของกระบวนการ	แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มของผลจากข้อบกพร่อง	แนวโน้มของสาเหตุ	การควบคุมในปัจจุบัน	สภาพปัจจุบัน				วิธีการแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ	การแก้ไข	ผลการแก้ไข			
					SEA	OCC	DET	RPN				SED	OCC	DET	RPN
กลึง	5. หัวจับยึดชิ้นงานไม่แน่น	5.1 ชิ้นงานสวมไม่ได้	5.1.a ไฮดรอลิกซึมบริเวณจุดต่อ	ตรวจสอบซ้ำด้วยสายตา	8	1	7	56							
			5.1.b ผิวสัมผัสไม่สนิท	ตรวจสอบซ้ำด้วยสายตา	8	1	7	56							
			5.1.c แรงดันไฮดรอลิกไม่เหมาะสม	ตรวจสอบซ้ำด้วยสายตา	8	3	7	168							
	6.ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น	6.1 ชิ้นงานสวมไม่ได้	6.1a แรงดันไฮดรอลิกไม่เหมาะสม	ไม่มีการควบคุม	8	3	10	240							

ตารางที่ 3.5 ตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (ต่อ)

ชื่อผลิตภัณฑ์ : PUMP PLUNGER
ชื่อรุ่น : J-410-0004
คณะทำงาน : PE, SPC, QA

ชื่อกระบวนการผลิต: แม่แรง (OIL JACK)
ชื่อลูกค้า: กระบวนการประกอบ

หมายเลข FMEA: 01
วันเริ่มต้น: 23/08/2004
วันทบทวนสอบ:

หน้าที่ของกระบวนการ	แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มของผลจากข้อบกพร่อง	แนวโน้มของสาเหตุ	การควบคุมในปัจจุบัน	สภาพปัจจุบัน SEA	สภาพปัจจุบัน OCC	สภาพปัจจุบัน DET	สภาพปัจจุบัน RPN	วิธีการแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ	การแก้ไข	ผลการแก้ไข SED	ผลการแก้ไข OCC	ผลการแก้ไข DET	ผลการแก้ไข RPN
กลึง	7. การติดตั้งมีดกลึงไม่ได้ระดับ	7.1 ชิ้นงานสวมไม่ได้	7.1. a พนักงานไม่ได้วัดระดับมีดขณะเปลี่ยนมีดกลึง	ตรวจสอบหลังการติดตั้ง	8	1	4	32							
			7.1. b แป้นมีดไม่สะอาด	ตรวจสอบหลังการติดตั้ง	8	1	4	32							
	8. เหล็กเส้นโก่งงอ	8.1 ของเสีย	8.1.a การกระทบกันระหว่างจัดส่ง	มีตรวจสอบระหว่างในขั้นตอนนี้	7	1	3	21							
	9. ความสะอาดของเครื่องมือวัด	9.1 ทำให้อ่านค่าผิดพลาดไปจากค่าจริง	9.1 a พนักงานไม่ให้ความสำคัญต่อการทำความสะอาด	ไม่มีการควบคุม	3	2	10	60							

ตารางที่ 3.5 ตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (ต่อ)

ชื่อผลิตภัณฑ์ : PUMP PLUNGER
ชื่อรุ่น : J-410-0004
คณะทำงาน : PE, SPC, QA

ชื่อกระบวนการผลิต: แม่แรง (OIL JACK)
ชื่อลูกค้า: กระบวนการประกอบ

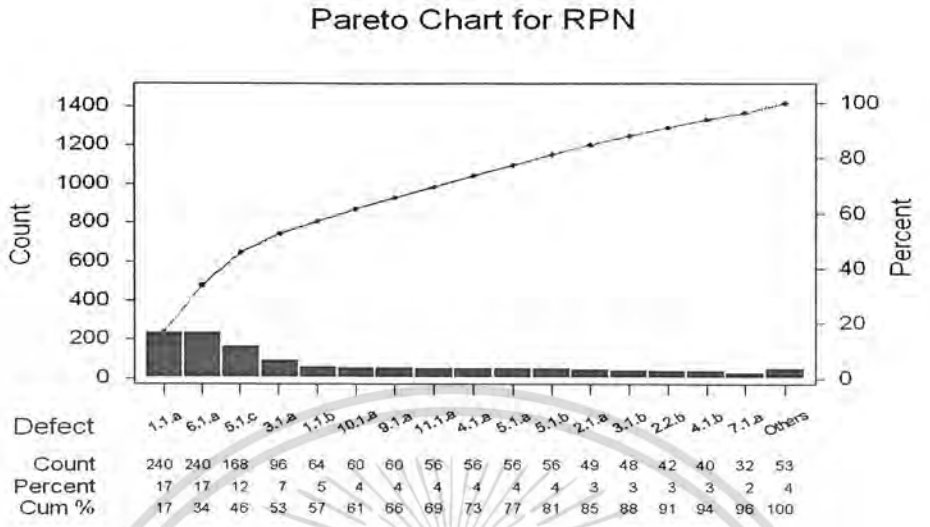
หมายเลข FMEA: 01
วันเริ่มต้น: 23/08/2004
วันทบทวนสอบ:

หน้าที่ของกระบวนการ	แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มของผลจากข้อบกพร่อง	แนวโน้มของสาเหตุ	การควบคุมในปัจจุบัน	สภาพปัจจุบัน				วิธีการแก้ไข	ผู้รับผิดชอบ	การแก้ไข	ผลการแก้ไข			
					SEA	OCC	DET	RPN				SED	OCC	DET	RPN
กลึง	10. พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอน	10.1 ของเสียบางส่วน	10.1 a พนักงานไม่ให้ความสำคัญต่อขั้นตอนการทำงาน	ไม่มีการควบคุม	2	3	10	60							
	11. การเปลี่ยนรุ่นงาน	11.1 ของเสีย	11.1a การปรับอุปกรณ์จับยึด	ตรวจสอบหลังการติดตั้ง	7	2	4	56							

ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงสาเหตุของปัญหาและค่า RPN

แนวโน้มของสาเหตุ	แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง	คะแนนค่าความเสี่ยง (RPN)
แกนบาคด	แกนบาชำรุด	240
แรงดันไฮดรอลิกที่ยันศูนย์ท้ายไม่เหมาะสม	ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น	240
แรงดันไฮดรอลิกที่หัวจับยึดชิ้นงานไม่เหมาะสม	หัวจับชิ้นงานไม่แน่น	168
ความเร็วรอบไม่เหมาะสม	ยันศูนย์ท้ายแกว่ง	96
การส่ายของชิ้นงาน	แกนบาชำรุด	64
พนักงานไม่ให้ความสำคัญต่อขั้นตอนการทำงาน	พนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอน	60
พนักงานไม่ให้ความสำคัญต่อการทำความสะอาด	ความสะอาดของเครื่องมือวัด	60
การปรับตั้งอุปกรณ์จับยึด	การเปลี่ยนรุ่นงาน	56
ผิวสัมผัสไม่สนิท	หัวจับชิ้นงานไม่แน่น	56
ไฮดรอลิกซึมบริเวณจุดต่อ	หัวจับชิ้นงานไม่แน่น	56
ดอกเจาะนำศูนย์ส่าย	เจาะนำศูนย์ชิ้นงานไม่ตรงศูนย์	56
ระนาบแกนเทเบิลเอียง	แกนเทเบิลเอียง	49
ชนิดของแบริ่งไม่เหมาะสม	ยันศูนย์ท้ายแกว่ง	48
การเสียดสีของแกนเทเบิล	แกนเทเบิลเอียง	42
มุมดอกเจาะที่อ	เจาะนำศูนย์ชิ้นงานไม่ตรงศูนย์	40
พนักงานไม่ได้วัดระดับมีดขณะเปลี่ยนมีดกลึง	การติดตั้งมีดกลึงไม่ได้ระดับ	32
แป้นมีดไม่สะอาด	การติดตั้งมีดกลึงไม่ได้ระดับ	32
การกระทบกันระหว่างการขนส่ง	เหล็กเส้นโก่งงอ	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แผนภาพพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของค่า RPN

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ได้นำผลคะแนน RPN ที่ได้มาจัดเรียงจากมากไปน้อยและพล็อตแผนภาพพาเรโต เพื่อพิจารณาลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยดังรูปที่ 3.9 และทำการเลือกปัจจัยนำเข้าที่มีคะแนน RPN มากกว่า 90 คะแนนเป็นปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์และทดสอบสมมติฐานต่อไป โดยปัจจัยนำเข้าที่เลือกมานั้นมีจำนวนทั้งหมด 4 ปัจจัยนำเข้า ดังต่อไปนี้

1. แกนบาชำรุด
2. หัวจับยึดชิ้นงานไม่แน่น (Pressure 1)
3. ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure 2)
4. ยันศูนย์แกว่ง (Speed)

3.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

วิธีการทาง ซิกซ์ซิกม่า ระยะที่ 3 คือ การวิเคราะห์ (Analysis) เครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 3 เครื่องมือ

- โปรแกรม Minitab เพราะเป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูง ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติพื้นฐาน และสามารถประมวลผลการประยุกต์สถิติเชิงวิศวกรรมที่ครอบคลุมทั้งด้านการควบคุมคุณภาพ ไปจนถึงการออกแบบการทดลอง ซึ่งโปรแกรม Minitab นี้สอดคล้องกับเครื่องมือที่ประกอบอยู่ในซิกซ์ซิกม่า
- การทดสอบสมมติฐานความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพราะต้องการพิจารณาการกระจายของสองกลุ่มประชากรว่าแตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของสองกลุ่มประชากรมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทดสอบสมมติฐานค่ากลาง (2 Sample t-tests) เพราะเป้าหมายของการวิจัยต้องการที่จะเน้นที่การเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยผลลัพธ์เป็นหลักโดยในทางปฏิบัติทั่วไปนั้นนิยมใช้การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วย

3.3.1 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าสำหรับการทดสอบสมมติฐาน

การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าสำหรับการทดสอบสมมติฐาน นี้จะเป็นการนำข้อมูลปัจจัยนำเข้าที่สำคัญจากหัวข้อที่ผ่านมาทั้ง 4 ปัจจัยซึ่งมีคะแนนความเสี่ยง (RPN) มากกว่า 90 คะแนน (ตามข้อกำหนดของลูกค้ากับบริษัท) จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) มากำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าก่อนนำไปทดสอบสมมติฐาน ซึ่งรายละเอียดได้แสดงดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงระดับของปัจจัยในการทดสอบสมมติฐาน

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	ต่ำ	สูง	
หัวจับยึดชิ้นงานไม่แน่น (Pressure 1)	15	20	Kgf/cm^3
ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure 2)	8	10	Kgf/cm^3
ยันศูนย์ท้ายแกว่ง (Speed)	3200	3900	Rpm
แกนบาคด	แบบเดิม	แบบใหม่	-

จากตารางที่ 3.7 เป็นการกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าในช่วงระดับที่ใช้ในกระบวนการผลิตชิ้นงาน Pump Plunger ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้ทำการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยใน 2 ระดับที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลองและสามารถทำการทดลองได้ง่าย

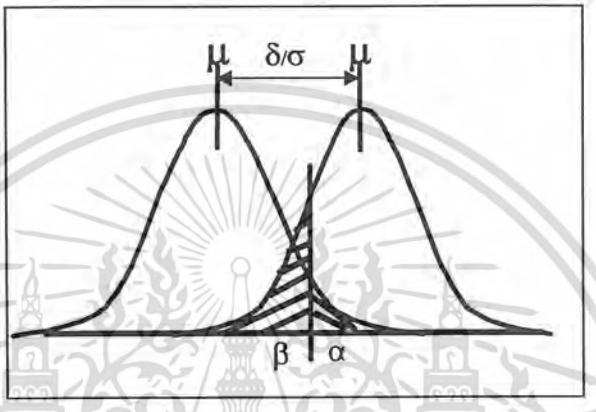
3.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐาน

จากการกำหนดปัจจัยนำเข้าเพื่อทดสอบสมมติฐานในหัวข้อผ่านมานั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐานโดยโปรแกรม Minitab มาช่วยในการทดสอบสมมติฐาน เพื่อหาปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดชิ้นงานเรียวซึ่งเมื่อได้ปัจจัยที่มีอิทธิพลทำให้เกิดชิ้นงานเรียว โดยแสดงจากการมีความแตกต่างกันระหว่างระดับปัจจัยของแต่ละปัจจัยนำเข้านำเข้าทั้ง 4 ปัจจัย ขั้นตอนการวิเคราะห์ผล เริ่มจากการคำนวณสิ่งตัวอย่าง การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้กราฟ การทดสอบสมมติฐาน ซึ่งจะแบ่งเป็นการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนองและการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของ ตัวแปรตอบสนองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.1 การคำนวณสิ่งตัวอย่าง

เป็นการวิเคราะห์เพื่อกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการดำเนินการทดสอบสมมติฐานว่ามีความเพียงพอ ที่จะยอมรับได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์หรือไม่โดยกำหนดค่าอัตราส่วนของ δ/σ เท่ากับ 1 เนื่องจากค่าอัตราส่วนนี้สามารถจำแนกความแตกต่างในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 3.13 สำหรับการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 4 ปัจจัยนั้นจะใช้จำนวนตัวอย่างดังแสดงต่อไปนี้



รูปที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของ δ/σ ที่ใช้ในการคำนวณสิ่งตัวอย่าง

Power and Sample Size

2-Sample t Test

Testing mean 1 = mean 2 (versus not =)

Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference

Alpha = 0.05 Sigma = 1

Difference	Sample Size	Power of Test:
1	30	0.9677

รูปที่ 3.14 การคำนวณสิ่งตัวอย่าง

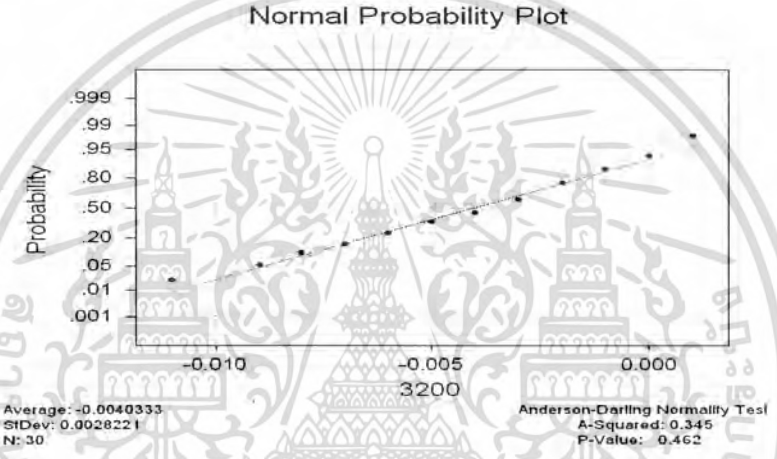
จากรูปที่ 3.14 สามารถสรุปได้ว่า จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองอย่างน้อยจะมีค่าเท่ากับ 30 ชิ้นซึ่งจะให้ค่าระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ และค่ากำลังในการทดสอบ (Power of test: 1-ß) มีค่ามากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 4 ปัจจัยเท่ากับ 30 ตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

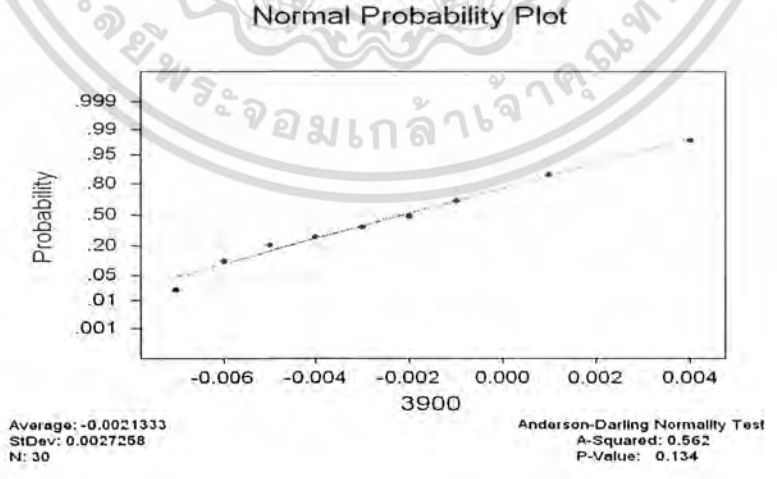
3.3.2.2 การวิเคราะห์สมมติฐานของระดับความเร็วรอบที่มีผลต่อชิ้นงานเรียว

1. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่าข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดค่าความเร็วรอบที่ 3900 Rpm คือ ค่าความเร็วรอบปกติที่ใช้ในกระบวนการปกติและค่าความเร็วรอบที่ 3200 Rpm คือค่าความเร็วรอบต่ำสุดที่คู่มือกำหนดให้ใช้ได้ จากการทดสอบสรุปได้ผลว่าข้อมูลมีการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากที่ระดับความเร็วรอบ 3200 Rpm มีค่า P-Value เท่ากับ 0.462 และที่ระดับความเร็วรอบ 3900 Rpm มีค่า P-Value เท่ากับ 0.134 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปกราฟที่ 3.15 และ 3.16



รูปที่ 3.15 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานที่ความเร็วรอบที่ 3200 Rpm



รูปที่ 3.16 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานที่ความเร็วรอบที่ 3900 Rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ความเร็วรอบ 3900 Rpm และ ค่าความเร็วรอบที่ 3200 Rpm คือค่าความเร็วรอบต่ำสุดที่คู่มือกำหนดให้ ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานเรียวต่อไปโดยมีสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 3900 Rpm และกำหนด σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 3200 Rpm ดังแสดงในรูปที่ 3.17 และกราฟการทดสอบความแปรปรวนแสดงดังรูปที่ 3.18

Test for Equal Variances

Level1 3200 Rpm

Level2 3900 Rpm

ConfLvl 95.0000

Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
2.18E-03	2.82E-03	3.97E-03	30	3200 Rpm
2.10E-03	2.73E-03	3.83E-03	30	3900 Rpm

F-Test (normal distribution)

Test Statistic: 1.072

P-Value : 0.853

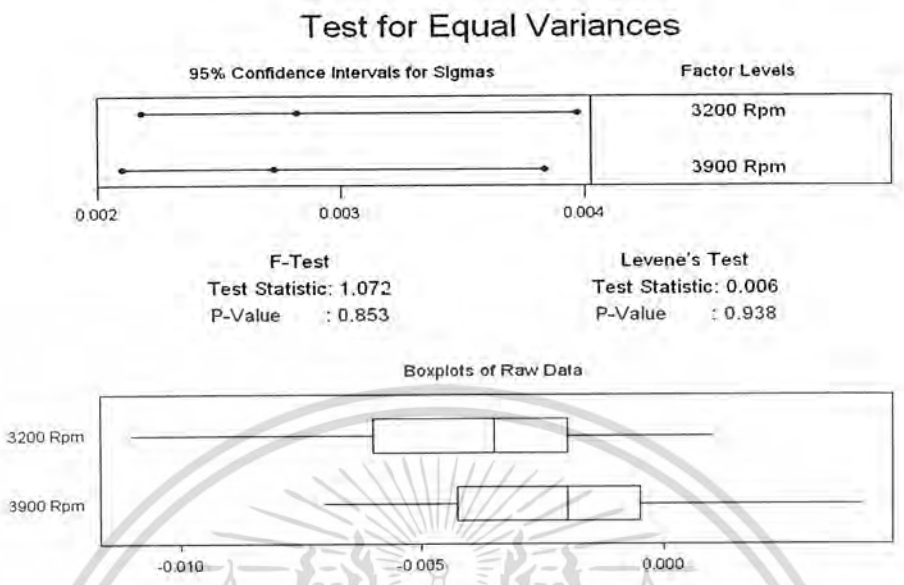
Levene's Test (any continuous distribution)

Test Statistic: 0.006

P-Value : 0.938

รูปที่ 3.17 ตารางผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ความเร็วรอบ 3900 Rpm และที่ 3200 Rpm ของความเร็วรอบต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ความเร็วรอบ 3900 Rpm และที่ 3200 Rpm ของความเร็วรอบต่ำสุด

จากผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงาน พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.853 ซึ่งมากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานทั้ง 2 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ความเร็วรอบ 3900 Rpm และ ค่าความเร็วรอบที่ 3200 Rpm คือค่าความเร็วรอบต่ำสุด โดยสมมติฐานในการทดสอบมีดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ความเร็วรอบ 3900 Rpm และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานที่ความเร็วรอบ 3200 Rpm ดังแสดงในรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Two-Sample T-Test and CI: 3200 Rpm, 3900 Rpm

Two-sample T for 3200 Rpm vs 3900 Rpm

	N	Mean	StDev	SE Mean
3200 Rpm	30	-0.00403	0.00282	0.00052
3900 Rpm	30	-0.00213	0.00273	0.00050

Difference = mu 3200 Rpm - mu 3900 Rpm

Estimate for difference: -0.001900

95% CI for difference: (-0.003334, -0.000466)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -2.65 P-Value = 0.010 DF = 58

Both use Pooled StDev = 0.00277

รูปที่ 3.19 ตารางแสดงผลการทดสองความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานใน
กระบวนการปกติที่ความเร็วรอบ 3900 Rpm และ ค่าความเร็วรอบที่ 3200 Rpm

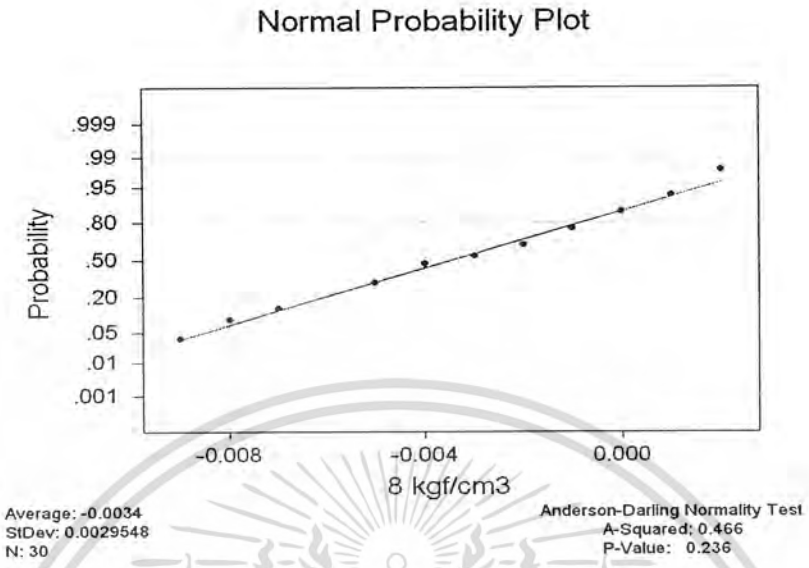
จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.010 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าชิ้นงานทั้ง 2 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.3.2.3 การวิเคราะห์สมมติฐานของระดับแรงดันยันศูนย์ท้ายที่มีผลต่อชิ้นงานเรียว

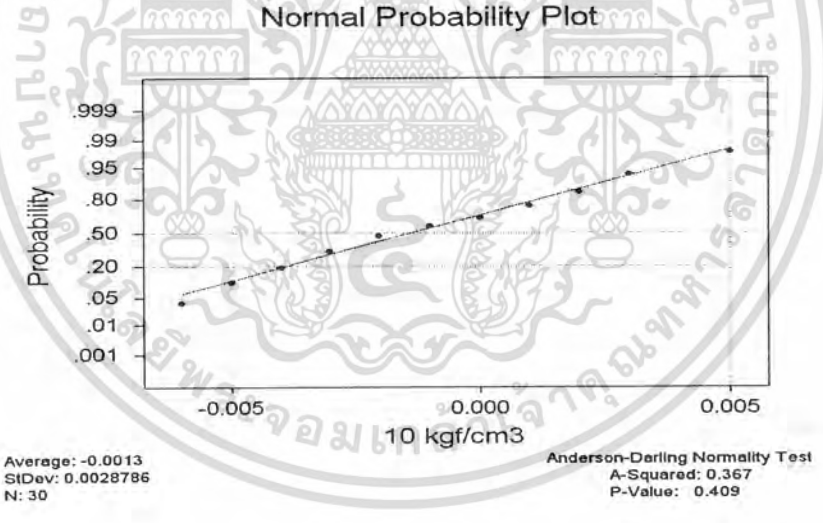
1. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่าข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดค่าระดับแรงดันที่ 8 Kgf/cm^{3}คือ ค่าระดับแรงดันที่ใช้ในกระบวนการปกติและค่าระดับแรงดันที่ 10 Kgf/cm^{3}คือค่าระดับแรงดันสูงสุดที่คู่มือกำหนดให้ โดยได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากที่ระดับแรงดันที่ 8 Kgf/cm^{3}มีค่า P-Value เท่ากับ 0.236 และที่ระดับแรงดันที่ 10 Kgf/cm^3 มีค่า P-Value เท่ากับ 0.409 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปกราฟที่ 3.20 และ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานที่แรงดันที่ 8 Kgf/cm^3



รูปที่ 3.21 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานที่แรงดันที่ 10 Kgf/cm^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ค่าระดับแรงดันที่ 8 Kgf/cm^{3}และ ค่าระดับแรงดันที่ 10 Kgf/cm^{3}คือค่าระดับแรงดันสูงสุดที่คู่มือกำหนดให้ ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานเรียวต่อไป โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานที่ระดับแรงดันที่ 8 Kgf/cm^3 และกำหนด σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานที่ค่าระดับแรงดันที่ 10 Kgf/cm^3 ดังแสดงในรูปที่ 3.22 และกราฟการทดสอบความแปรปรวนแสดงดังรูปที่ 3.23

Test for Equal Variances

Level1 8 kgf/cm^3

Level2 10 kgf/cm^3

ConfLvl 95.0000

Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
2.28E-03	2.95E-03	4.16E-03	30	8 kgf/cm^3
2.22E-03	2.88E-03	4.05E-03	30	10 kgf/cm^3

F-Test (normal distribution)

Test Statistic: 1.054

P-Value : 0.889

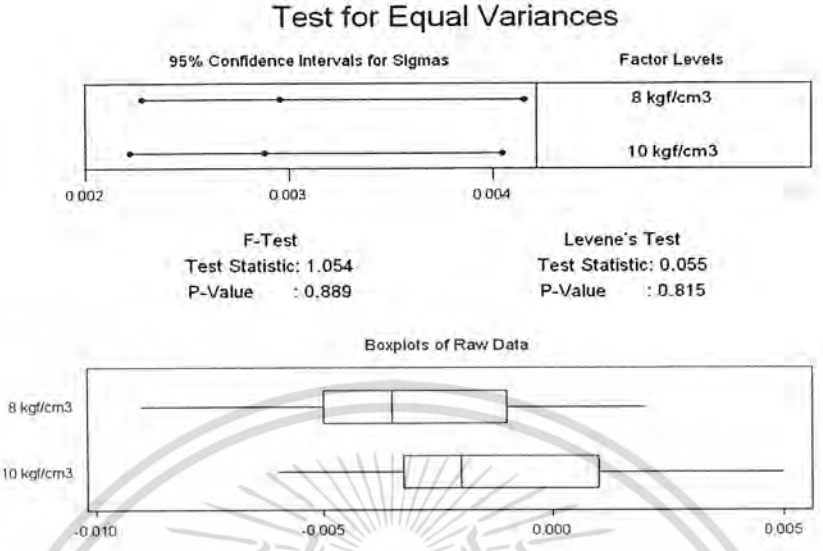
Levene's Test (any continuous distribution)

Test Statistic: 0.055

P-Value : 0.815

รูปที่ 3.22 ตารางผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ระดับแรงดันที่ 8 Kgf/cm^{3}และที่ระดับแรงดันที่ 10 Kgf/cm^{3}ของค่าระดับแรงดันสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ระดับแรงดันที่ 8 Kgf/cm^3 และที่ระดับแรงดันที่ 10 Kgf/cm^3 ของค่าระดับแรงดันสูงสุด

จากผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงาน พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.889 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานทั้ง 2 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์และขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ระดับแรงดันที่ 8 Kgf/cm^3 และ ระดับแรงดันที่ 10 Kgf/cm^3 คือแรงดันสูงสุดที่คู่มือกำหนดให้ โดยสมมติฐานในการทดสอบมีดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$
$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ระดับแรงดันที่ 8 Kgf/cm^3 และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานที่ระดับแรงดันที่ 10 Kgf/cm^3 ดังแสดงในรูปที่ 3.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Two-Sample T-Test and CI: 8 kgf/cm^3, 10 kgf/ cm^3

Two-sample T for 8 kgf/cm^3 vs 10 kgf/cm^3

	N	Mean	StDev	SE Mean
8 kgf/cm^3	30	-0.00340	0.00295	0.00054
10 kgf/cm^3	30	-0.00130	0.00288	0.00053

Difference = mu 8 kgf/cm3 - mu 10 kgf/cm3

Estimate for difference: -0.002100

95% CI for difference: (-0.003608, -0.000592)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -2.79 P-Value = 0.007 DF = 58

Both use Pooled StDev = 0.00292

รูปที่ 3.24 ตารางแสดงผลการทดสองความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงาน
ในกระบวนการปกติที่ระดับแรงดันที่ 8 Kgf/cm^3 และ ที่ระดับแรงดันที่ 10 Kgf/cm^3

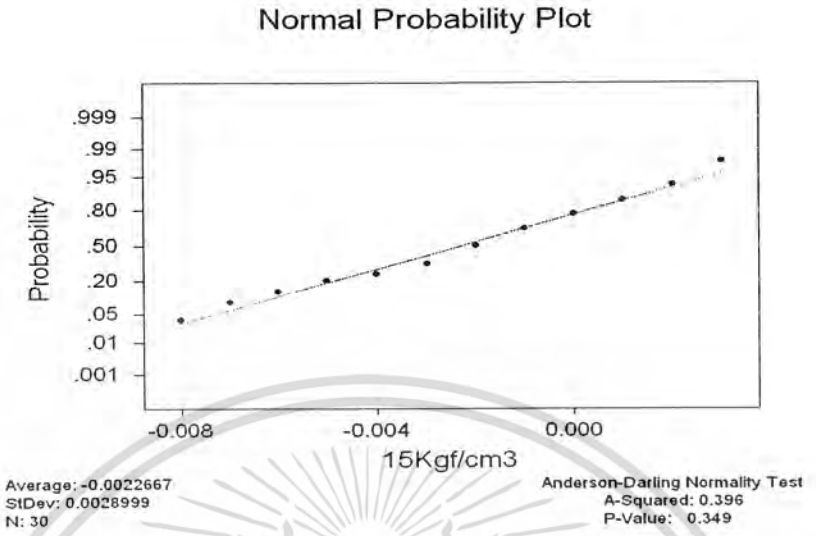
จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.007 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าชิ้นงานทั้ง 2 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.3.2.4 <u>การวิเคราะห์สมมติฐานของระดับแรงดันหัวจับที่มีผลต่อชิ้นงานเรียว</u>

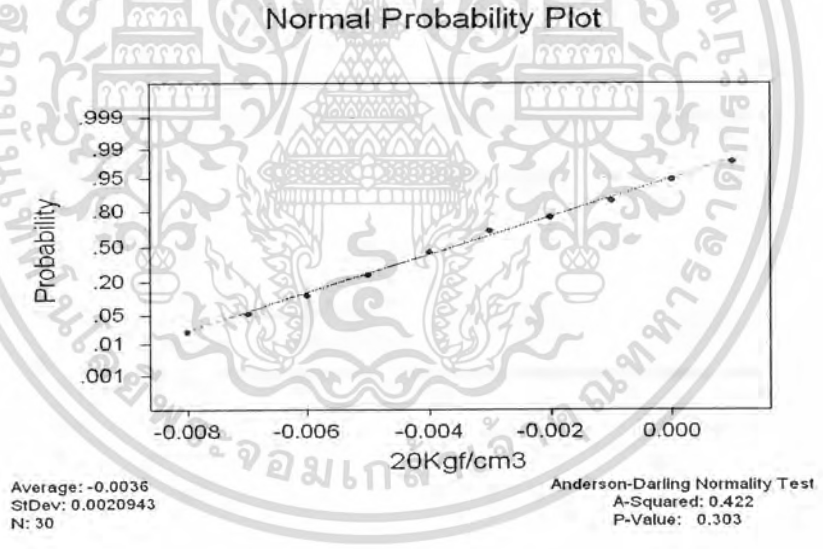
1. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่าข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่โดยกำหนดค่าระดับแรงดันที่ 15 Kgf/cm^3 คือ ค่าระดับแรงดันที่ใช้ในกระบวนการปกติและค่าระดับแรงดันที่ 20 Kgf/cm^3 คือค่าระดับแรงดันสูงสุดที่คู่มือกำหนดให้ โดยได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากที่ระดับแรงดันที่15 Kgf/cm^3 มีค่า P-Value เท่ากับ 0.349 และที่ระดับแรงดันที่ 20 Kgf/cm^3 มีค่า P-Value เท่ากับ ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปกราฟที่ 3.25 และ 3.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานที่แรงดันที่ 15 Kgf/cm^3



รูปที่ 3.26 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานที่แรงดันที่ 20 Kgf/cm^3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ค่าระดับแรงดันที่ 15 Kgf/cm^3 และ ค่าระดับแรงดันที่ 20 Kgf/cm^3 คือค่าระดับแรงดันสูงสุดที่คู่มือกำหนดให้ ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานเรียวต่อไป โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานที่ระดับแรงดันที่ 15 Kgf/cm^3 และกำหนด σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานที่ค่าระดับแรงดันที่ 20 Kgf/cm^3 ดังแสดงในรูปที่3.27 และกราฟการทดสอบความแปรปรวนแสดงดังรูปที่ 3.28

Test for Equal Variances

Level1 15Kgf/cm^3

Level2 20Kgf/cm^3

ConfLvl 95.0000

Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
2.24E-03	2.90E-03	4.08E-03	30	15Kgf/cm^3
1.62E-03	2.09E-03	2.95E-03	30	20Kgf/cm^3

F-Test (normal distribution)

Test Statistic: 1.917

P-Value : 0.085

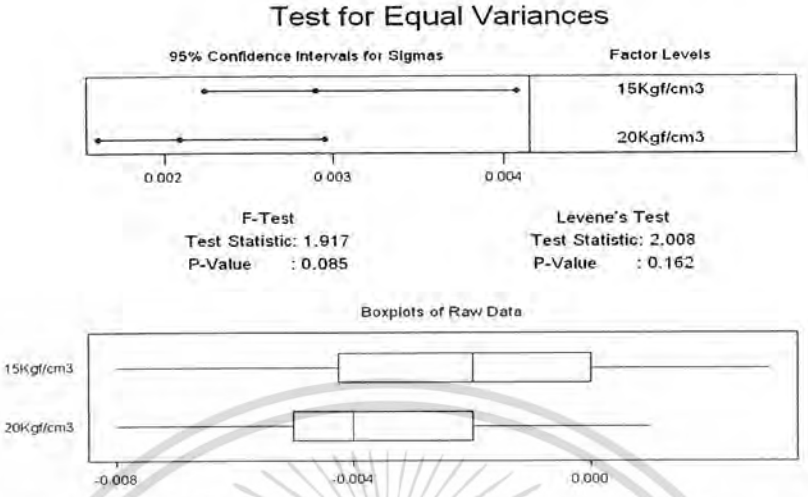
Levene's Test (any continuous distribution)

Test Statistic: 2.008

P-Value : 0.162

รูปที่ 3.27 ตารางผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ระดับแรงดันที่ 15 Kgf/cm^3 และที่ระดับแรงดันที่ 20 Kgf/cm^3 ของค่าระดับแรงดันสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.28 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ระดับแรงดันที่ 15 Kgf/cm^3 และที่ระดับแรงดันที่ 20 Kgf/cm^3 ของค่าระดับแรงดันสูงสุด

จากผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงาน พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.085 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานทั้ง 2 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์และขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ระดับแรงดันที่ 15 Kgf/cm^3 และ ระดับแรงดันที่ 20 Kgf/cm^3 คือแรงดันสูงสุดที่คู่มือกำหนดให้ โดยสมมติฐานในการทดสอบมีดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$
$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ระดับแรงดันที่ 15 Kgf/cm^3 และ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานที่ระดับแรงดันที่ 20 Kgf/cm^3 ดังแสดงในรูปที่ 3.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Two-Sample T-Test and CI: 15Kgf/cm3, 20Kgf/cm3

Two-sample T for 15Kgf/cm^3 vs 20Kgf/cm^3

	N	Mean	StDev	SE Mean
15 kgf/cm^3	30	-0.00227	0.00290	0.00053
20 kgf/cm^3	30	-0.00360	0.00209	0.00038

Difference = mu 15Kgf/cm^3 - mu 20Kgf/cm^3

Estimate for difference: 0.001333

95% CI for difference: (0.000026, 0.002641)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 2.04 P-Value = 0.046 DF = 58

Both use Pooled StDev = 0.00253

รูปที่ 3.29 ตารางแสดงผลการทดสองความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานใน
กระบวนการปกติที่ระดับแรงดันที่ 15 Kgf/cm^3 และ ที่ระดับแรงดันที่ 20 Kgf/cm^3

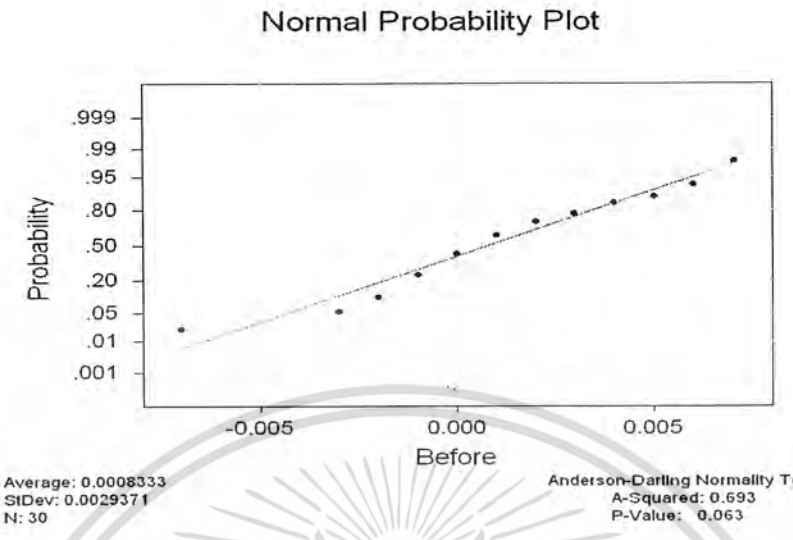
จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.046 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าชิ้นงานทั้ง 2 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.3.2.5 <u>การวิเคราะห์สมมติฐานระหว่างแกนบาชำรุด</u>

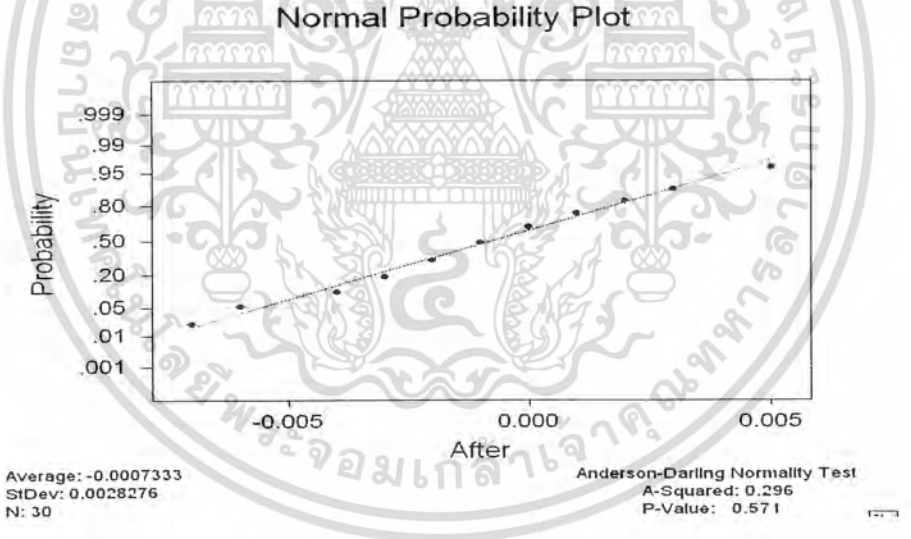
1. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่าข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนดแกนบาเดิม คือค่าผลต่างของชิ้นงานที่ใช่แกนบาเดิมในกระบวนการปกติและแกนบาใหม่ คือค่าผลต่างของชิ้นงานที่ใช่แกนบาใหม่ โดยได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากที่ระดับแกนบาเดิมมีค่า P-Value เท่ากับ 0.063 และ ที่ระดับแกนบาใหม่มีค่า P-Value เท่ากับ 0.571 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปกราฟที่3.30 และ 3.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานใช่แกนบาเดิมในกระบวนการปกติ



รูปที่ 3.31 กราฟนอร์มัลพล็อตของชิ้นงานใช่แกนบาใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบสมมติฐาน

ในการทดสอบสมมติฐานในขั้นแรกต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ แกนบาเดิม คือ ค่าผลต่างของชิ้นงานที่ใช่แกนบาเดิมในกระบวนการปกติและแกนบาใหม่ คือค่าผลต่างของชิ้นงานที่ใช่แกนบาใหม่ ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นข้อกำหนดในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานเรียวต่อไป โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดยกำหนดให้ σ_1^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานที่ใช่แกนบาเดิม และกำหนด σ_2^2 แทนค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานที่ใช่แกนบาใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.32 และกราฟการทดสอบความแปรปรวนแสดงดังรูปที่ 3.33

Test for Equal Variances

Level1 Before

Level2 After

ConfLvl 95.0000

Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
2.27E-03	2.94E-03	4.13E-03	30	Before
2.18E-03	2.83E-03	3.98E-03	30	After

F-Test (normal distribution)

Test Statistic: 1.079

P-Value : 0.839

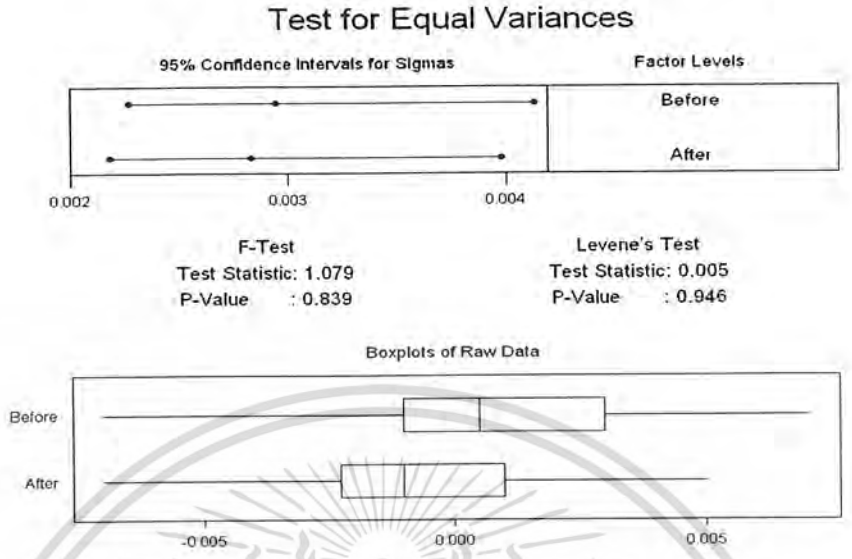
Levene's Test (any continuous distribution)

Test Statistic: 0.005

P-Value : 0.946

รูปที่ 3.32 ผลการทดสอบการเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงาน ในกระบวนการปกติที่ใช้แกนบาเดิมและที่ใช้แกนบาใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงาน
ในกระบวนการปกติที่ใช่แกนบาเดิม และที่ใช่แกนบาใหม่

จากผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงาน พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.839 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 จึงสรุป ได้ว่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานทั้ง 2 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ และขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติของชิ้นงานที่ใช่แกนบาเดิมและ ค่าผลต่างของชิ้นงานที่ใช่แกนบาใหม่ โดยสมมติฐานในการทดสอบมีดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้ μ_1 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ใช่แกนบาเดิมและ μ_2 แทนค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานที่ใช่แกนบาใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Two-Sample T-Test and CI: Before, After

Two-sample T for before vs after

	N	Mean	StDev	SE Mean
Before	30	0.00083	0.00294	0.00054
After	30	-0.00073	0.00283	0.00052

Difference = mu before - mu after

Estimate for difference: 0.001567

95% CI for difference: (0.000077, 0.003057)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 2.10 P-Value = 0.040 DF = 58

Both use Pooled StDev = 0.00288

รูปที่ 3.34 แสดงผลการทดสองความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการปกติที่ใช่แกนบาเดิมและ ที่ใช่แกนบาใหม่

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.040 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าชิ้นงานทั้ง 2 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

3.3.3 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน

จากผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย พบว่า ค่า P-Value ของปัจจัยนั้นมีค่าน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าค่าเฉลี่ยของการทดสอบของผลต่างของชิ้นงานของแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ นั้นซึ่งในที่นี้พบว่าปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญมีผล คือ หัวจับยึดชิ้นงานไม่แน่น ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น ยันศูนย์ท้ายแกว่ง แกนบาคด ซึ่งสาเหตุของปัญหาที่ได้ทั้ง 4 ปัจจัยดังกล่าวนั้นจะนำไปพิจารณาและวิเคราะห์ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการซึ่งเกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงค่าผลต่างของชิ้นงานให้ดีขึ้น

3.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

วิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า ระยะที่ 4 คือ การปรับปรุง (Improve) เครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1 เครื่องมือ

- การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพราะการออกแบบการทดลองนั้นสามารถที่จะช่วยปรับปรุงกระบวนการที่ศึกษาอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจาก การออกแบบการทดลองนั้นจะช่วยสรุปผลสุดท้าย ที่ต้องการทั้งหมดของซิกซ์ ซิกม่า กล่าวคือ จะช่วยให้สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (KPIV) ที่เหมาะสมซึ่งส่งผลต่อค่าผลลัพธ์ที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การออกแบบการทดลองที่มีสองระดับ (2^k Full Factorial Design) เพราะการออกแบบทดลองแบบนี้เป็นการออกแบบการทดลองที่มีประโยชน์และนิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรม เนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลอง รวมทั้งช่วยกลั่นกรองปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญได้โดยเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

หลังจากทำการทดสอบสมมติฐานในหัวข้อที่ผ่านมา โดยการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าผลต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านหัวและด้านท้ายของชิ้นงาน และ เมื่อได้ผลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าผลต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านหัวและด้านท้ายของชิ้นงานแล้ว คณะผู้วิจัยจะนำปัจจัยดังกล่าวไปทำการทดลอง โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลอง ดำเนินการทดลอง ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง วิเคราะห์ผลการทดลอง และหาค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมสำหรับปัจจัยนั้นๆ โดยที่จะส่งผลต่อค่าผลต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านหัวและด้านท้ายของชิ้นงานที่ต่ำที่สุด

3.4.1 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่นำเข้าทั้ง 4 ปัจจัยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าผลต่างของชิ้นงานมี 4 ปัจจัย โดยในการปรับปรุงนั้นทางคณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองปัจจัยนำเข้าเพียง 3 ปัจจัย คือ หัวจับยึดชิ้นงานไม่แน่น (Pressure 1) ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure 2) ยันศูนย์ท้ายแกว่ง (Speed) ส่วนปัจจัยที่เป็นแกนบาคดนั้นทางคณะผู้วิจัยไม่สามารถนำมาทำการออกแบบการทดลองได้เนื่องด้วยข้อกำหนดทางด้านเทคนิคและต้นทุนในการทดลอง ซึ่งทางคณะผู้วิจัยได้นำปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยที่กล่าวข้างต้นมากำหนดระดับของแต่ละปัจจัยเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 3.8 ดังนี้

ตารางที่ 3.8 แสดงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะนำไปทำการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	ต่ำ	สูง	
หัวจับยึดชิ้นงานไม่แน่น (Pressure 1)	15	20	Kgf/cm^3
ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure 2)	8	10	Kgf/cm^3
ยันศูนย์ท้ายแกว่ง (Speed)	3200	3900	Rpm

3.4.2 ตัวแปรตอบสนอง

ค่าตัวแปรตอบสนองที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง คือ ค่าผลต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านหัวและด้านท้ายของชิ้นงานวัดในหน่วยมิลลิเมตร ณ. กระบวนการผลิตโดยเป็นค่าที่วัดจากการนำค่าเส้นผ่านศูนย์กลางด้านหัวลบกับค่าเส้นผ่านศูนย์กลางด้านท้ายของชิ้นงาน Pump Plunger ซึ่งในข้อกำหนดของลูกค้ากำหนดให้มีผลต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านหัวและด้านท้ายของชิ้นงานมีค่าต่ำที่สุดไม่เกิน -0.015 มิลลิเมตร เนื่องจากค่าผลต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านหัวและด้านท้ายของชิ้นงานของชิ้นงานเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าเกิดงานเรียวขึ้นซึ่งส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ทำให้ประกอบกับชิ้นส่วนถัดไปมีปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองนี้จะใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k โดย k คือ จำนวนของปัจจัยที่นำมาทดลอง และ 2 คือ จำนวนระดับของแต่ละปัจจัย และกำหนดให้ทีละระดับของแต่ละปัจจัยเป็น ต่ำ (-) กับสูง (+) ขั้นตอนการออกแบบการทดลองมีดังนี้

3.4.3.1 <u>การทดลองซ้ำ</u>

ในการวิเคราะห์จำนวนการทดลองซ้ำนี้ จะใช้อัตราส่วนของค่า δ/σ เท่ากับ 1.5 เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่นิยมใช้ในทางปฏิบัติ เพื่อให้สามารถจำแนกความแตกต่างของค่าเฉลี่ยได้ และกำลังการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.90 ($\beta = 0.01$) โดยสามารถคำนวณทดลองซ้ำโดยโปรแกรม Minitab ได้ดังนี้

Power and Sample Size

2-Level Factorial Design

Sigma = 1 Alpha = 0.05

Factors: 3 Base Designs: 3, 8

Blocks: none

Center Points

Per Block	Effect	Reps	Power of Test
0	1.5	2	0.7480
0	1.5	3	0.9314
0	1.5	4	0.9825
0	1.5	5	0.9958

รูปที่ 3.35 การคำนวณการทดลองซ้ำ

จากรูปที่ 3.35 สามารถสรุปผลการคำนวณพบว่า จำนวนการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ จะมีค่ากำลังของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.9314 ซึ่ง มากกว่าค่ากำลังของการทดสอบ (Power of Test) ที่กำหนดไว้ที่ 0.90 ดังนั้น การทดลองนี้จึงใช้การออกแบบการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ นั่น คือ จะได้ว่าการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เป็นแบบ 2^3 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 3 ซ้ำ และจะได้ลำดับของการทดลองเป็นการทดลองแบบสุ่มรวมทั้งสิ้น 24 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

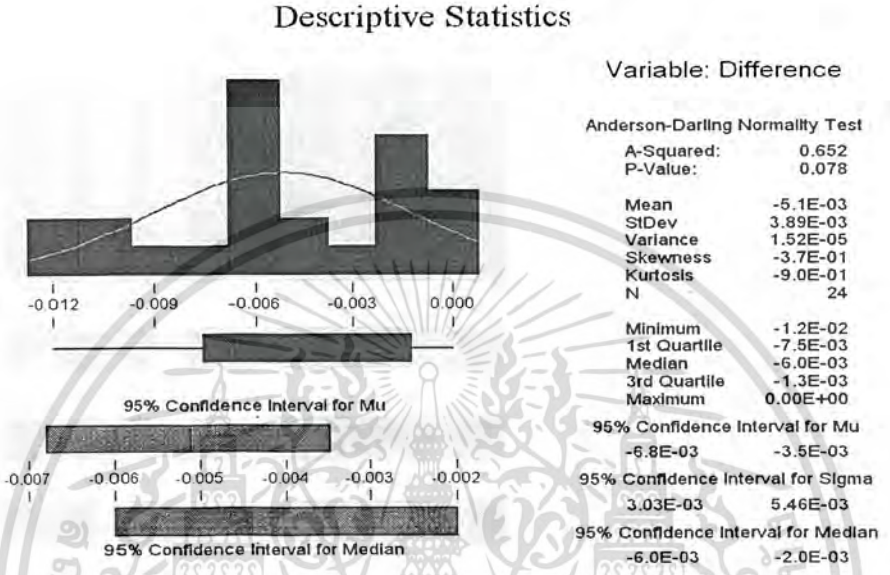
ตารางที่ 3.9 ตารางแสดงผลการทดลอง

Std Order	Run Order	Center Pt	Blocks	Speed	Pressure1	Pressure2	Difference
11	1	1	1	3200	10	15	-0.009
13	2	1	1	3200	8	20	-0.006
8	3	1	1	3900	10	20	0.000
3	4	1	1	3200	10	15	-0.006
23	5	1	1	3200	10	20	-0.011
22	6	1	1	3900	8	20	-0.006
12	7	1	1	3900	10	15	-0.004
21	8	1	1	3200	8	20	-0.001
7	9	1	1	3200	10	20	-0.011
14	10	1	1	3900	8	20	0.000
18	11	1	1	3900	8	15	-0.006
6	12	1	1	3900	8	20	0.000
17	13	1	1	3200	8	15	-0.002
19	14	1	1	3200	10	15	-0.012
9	15	1	1	3200	8	15	-0.006
15	16	1	1	3200	10	20	-0.012
16	17	1	1	3900	10	20	-0.006
10	18	1	1	3900	8	15	-0.003
4	19	1	1	3900	10	15	-0.001
24	20	1	1	3900	10	20	-0.006
2	21	1	1	3900	8	15	-0.001
5	22	1	1	3200	8	20	-0.002
1	23	1	1	3200	8	15	-0.004
20	24	1	1	3900	10	15	-0.008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ผลของการทดลองที่ได้จากการทดลองทั้ง 24 การทดลองนั้น สามารถสรุปผลค่าตัวแปรตอบสนองได้ดังรูปที่ 3.36



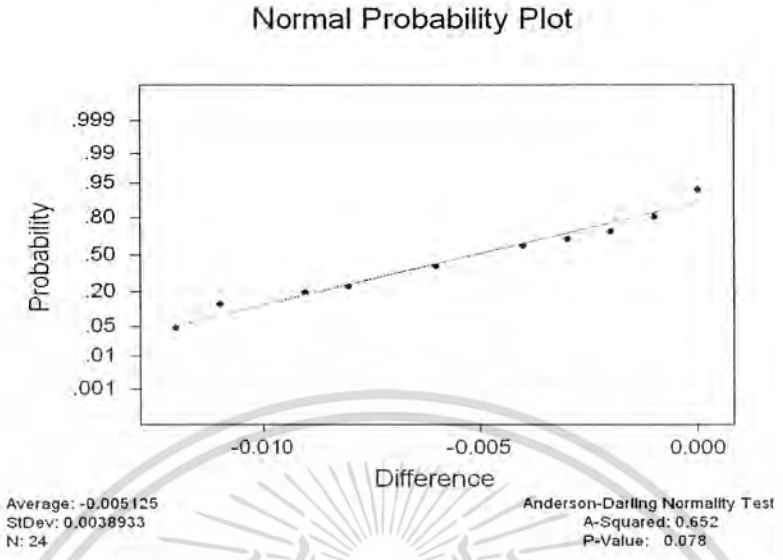
รูปที่ 3.36 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าตัวแปรตอบสนอง

ในการออกแบบการทดลองนั้น จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่สำคัญ คือ NID $(0, \sigma^2)$ จึงต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขของ NID $(0, \sigma^2)$ หรือไม่ โดยการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ประกอบด้วย การตรวจสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองภายในเงื่อนไข 3 ประการ คือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

3.4.4.1 <u>การทดสอบสมมติฐานของความเป็นปกติ</u>

การทดสอบสมมติฐานของความปกติ (Normality Assumption) สามารถตรวจสอบได้ด้วยการทดสอบการกระจายของค่าส่วนตกค้างของค่าตัวแปรตอบสนอง ซึ่งจากกราฟการกระจายของค่าส่วนตกค้างค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้ควรเป็นเส้นตรงและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ แสดงดังรูปที่ 3.37

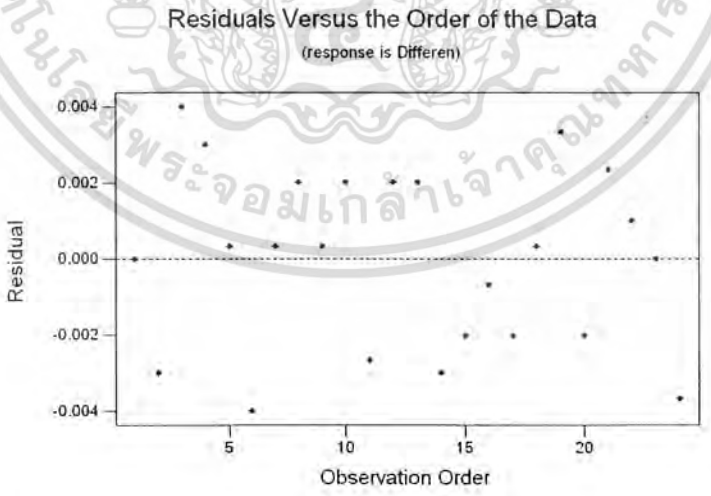
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.37 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง

3.4.4.2 <u>การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ</u>

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบโดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล แสดงดังรูปที่ 3.38 โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบใดๆควรที่จะมีการกระจายที่ไม่แน่นอน



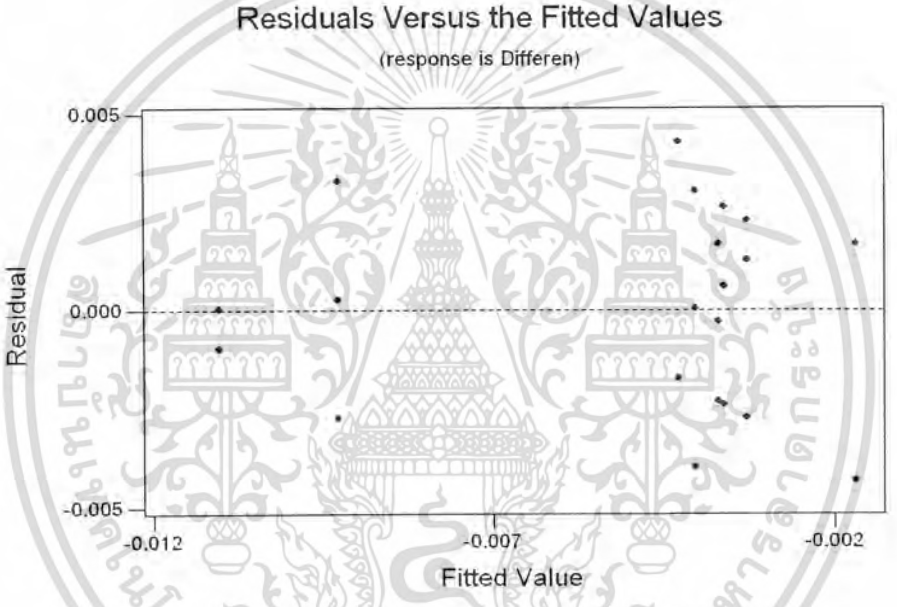
รูปที่ 3.38 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

3.4.4.3 <u>ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน</u>

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 3.39 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรที่จะมีการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน



รูปที่ 3.39 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

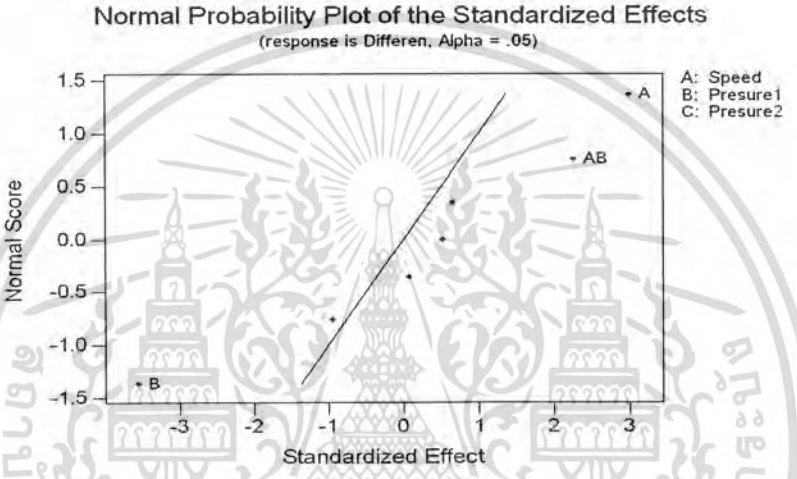
จากกราฟสังเกตได้ว่า ค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ ดังนั้นสรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทดสอบความถูกต้องของตัวแปรตอบสนองที่นำมาทดลองนี้ พบว่า ข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายเป็นแบบปกติ มีความอิสระต่อกัน และมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลองที่ว่า NID (0, σ^2)

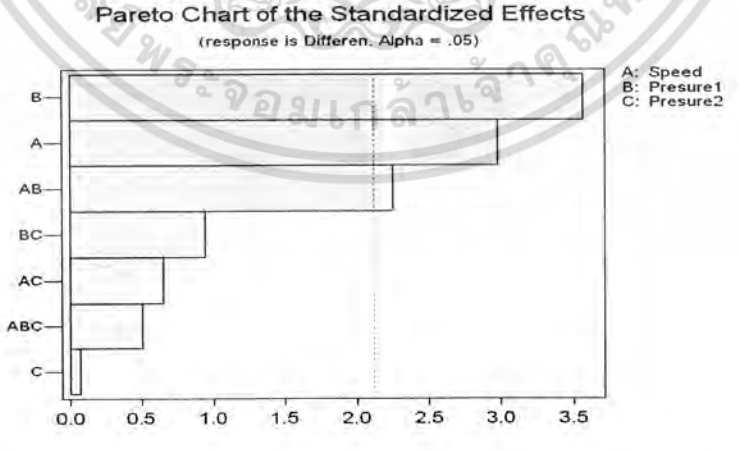
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลของการออกแบบการทดลองเบื้องต้นด้วยโปรแกรม Minitab สามารถแสดงผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญออกมาในรูปของกราฟ Normal Probability Plot และแผนภาพพาเรโต แสดงดังรูปที่ 3.40 และ รูปที่ 3.41 ตามลำดับ รวมถึงการแสดงผลของการออกแบบการทดลองของผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ดังรูปที่ 3.42 กับผลของอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ดังรูปที่ 3.43

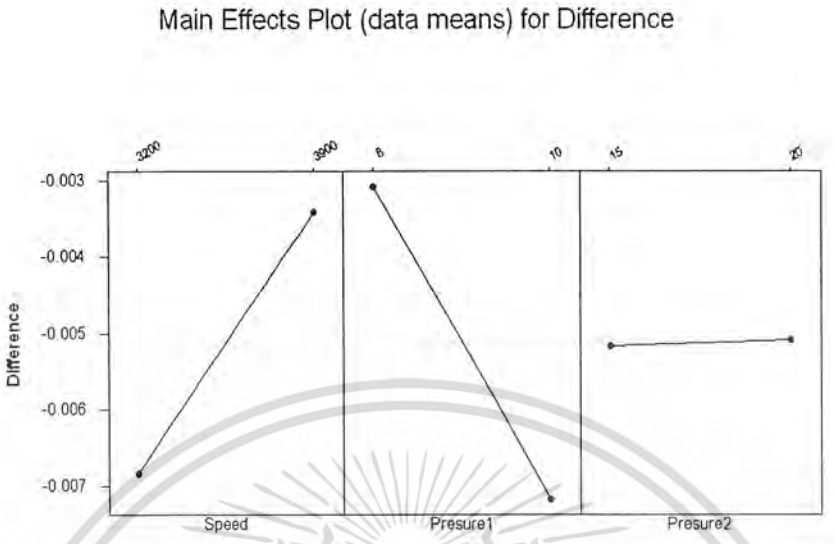


รูปที่ 3.40 กราฟนอร์มัลพล็อตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ

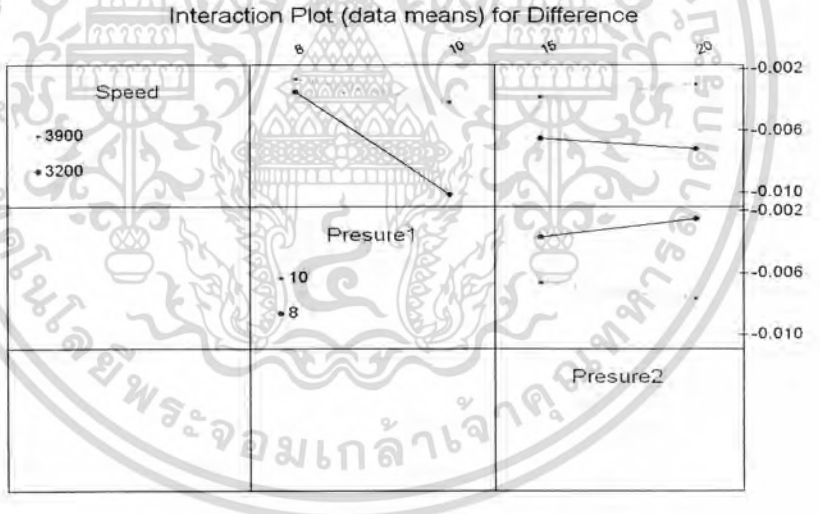


รูปที่3.41 แผนภาพพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีความสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.42 ภาพผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ 3.43 ภาพอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม Minitab สามารถแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Coded Units) ได้ดังรูปที่ 3.44 และแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Un-Coded Units) ได้ดังรูปที่ 3.45

Estimated Effects and Coefficients for Difference (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		-0.005125	0.000573	-8.95	0.000
Speed	0.003417	0.001708	0.000573	2.98	0.009
Presure1	-0.004083	-0.002042	0.000573	-3.56	0.003
Presure2	0.000083	0.000042	0.000573	0.07	0.943
Speed*Presure1	0.002583	0.001292	0.000573	2.25	0.039
Speed*Presure2	0.000750	0.000375	0.000573	0.65	0.522
Presure1*Presure2	-0.001083	-0.000542	0.000573	-0.95	0.358
Speed*Presure1*Presure2	0.000583	0.000292	0.000573	0.51	0.618

Analysis of Variance for Difference (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.00017013	0.00017013	0.00005671	7.20	0.003
2-Way Interactions	3	0.00005046	0.00005046	0.00001682	2.14	0.136
3-Way Interactions	1	0.00000204	0.00000204	0.00000204	0.26	0.618
Residual Error	16	0.00012600	0.00012600	0.00000788		
Pure Error	16	0.00012600	0.00012600	0.00000788		
Total	23	0.00034863				

รูปที่ 3.44 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Coded Units)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Estimated Coefficients forDifference using data in un-coded units	
Term	Coef
Constant	-0.080333
Speed	0.000016667
Pressure1	0.0093571
Pressure2	0.0110952
Speed*Pressure1	-2.14286E-06
Speed*Pressure2	-2.57143E-06
Pressure1*Pressure2	-0.00140000
Speed*Pressure1*Pressure2	3.333333E-07

รูปที่ 3.45 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (Un-Coded Units)

ผลจากการออกแบบการทดลอง 2^3 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 3 ครั้ง สามารถวิเคราะห์ผลได้ว่า มีปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองเพียง 2 ปัจจัยเท่านั้น คือ ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure1) ยันศูนย์ท้ายแกว่ง (Speed) เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ส่วนปัจจัยหัวจับยึดชิ้นงานไม่แน่น ไม่มีนัยสำคัญในขั้นตอนการออกแบบการทดลองนั้น สาเหตุเนื่องมาจากปัจจัยนี้มีนัยสำคัญไม่สูงนักในขั้นตอนของการทดสอบสมมติฐานซึ่งมีค่า P-Value เท่ากับ 0.046 จึงอาจส่งผลให้เมื่อทำการออกแบบการทดลองที่มีการทำการทดลองทุกปัจจัยไปพร้อมๆกันแล้วทำให้ปัจจัยนี้ไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นประกอบด้วย

หลัก (Main Effects)

- ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure 1)
- ยันศูนย์ท้ายแกว่ง (Speed)

ผลจากรูปที่ 3.45 พบว่ารูปแบบของการทดลองนี้มีลักษณะของพจน์ที่เป็นสมการซึ่งสามารถหาสมการถดถอยที่เป็นตัวแทนของการทดลองได้ดังนี้

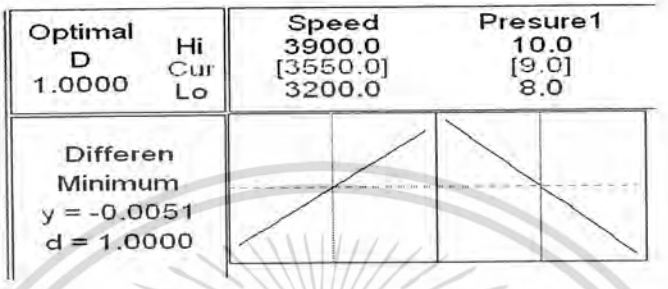
Difference = -0.080333 +0.000016667*ยันศูนย์ท้ายแกว่ง (Speed) +0.0093571*ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure 1)

จากสมการดังกล่าวสามารถคำนวณหาค่าผลลัพธ์ที่เหมาะสมตามต้องการ โดยโปรแกรม Minitab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6 ค่าของเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง

จากตัวแบบถดถอยข้างต้น สามารถพยากรณ์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ค่าผลต่างของชิ้นงานในกระบวนการผลิตมีค่าที่ต่ำที่สุด ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 3.46



รูปที่ 3.46 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากรูปที่ 3.46 สามารถสรุประดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยนำเข้าที่สำคัญได้ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ตารางแสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ

ปัจจัย	การกำหนดระดับที่เหมาะสม
ยันศูนย์ท้ายแกว่ง (Speed)	3550 Rpm
ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure 1)	9 Kgf/cm^3

จากตารางที่ 3.10 เมื่อพิจารณาทั้ง 2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญพร้อมกันในการดำเนินการพบว่าค่าของผลต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์ กลางด้านหัวและด้านท้ายของชิ้นงาน (Pump plunger) ที่ต่ำที่สุด คือ -0.0051 มิลลิเมตร เมื่อปรับค่าความเร็วรอบที่ 3550 Rpm และปรับค่าความดันลม (Pressure 1) ที่ 9 Kgf/cm^3 เพื่อให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองที่ต้องการคือค่าผลต่างของชิ้นงานที่ต่ำที่สุด

3.5 การทดสอบยืนยันผล

ในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 2 ปัจจัย จากขั้นตอนที่ผ่านมาโดยจะทำการปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 2 ปัจจัยตามค่าที่กำหนดไว้เพื่อตรวจสอบดูว่าค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของชิ้นงานเป็นไปตามผลการทดลองหรือไม่พร้อมกับนำงานดังกล่าว ผ่านกระบวนการผลิตจนสมบูรณ์เพื่อตรวจสอบค่า เฉลี่ยของค่าผลต่างของชิ้นงานของผลิตภัณฑ์ในลักษณะชิ้นงานสำเร็จรูปในขั้นการตรวจสอบก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้า และพิจารณาปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในหน่วย PPM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล

3.5.1.1 จุดประสงค์ของการทดสอบ

1. เพื่อตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของของชิ้นงานหลังจากปรับค่าปัจจัยนำเข้าทั้ง 2 ปัจจัย คือ ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure1) และยันศูนย์ท้ายแกว่ง (Speed)

2. เพื่อตรวจสอบความสามารถของกระบวนการหลังการปรับค่าปัจจัยนำเข้าทั้ง 2 ปัจจัย คือยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure1) และยันศูนย์ท้ายแกว่ง (Speed)

3.5.1.2 การเตรียมการทดลอง

การเตรียมการทดลองเป็นการจัดเตรียมชิ้นงานทดลองเพื่อทดสอบผลที่ระดับของปัจจัยในหัวข้อที่ผ่านมาในกระบวนการผลิตจริงซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. จำนวนสิ่งตัวอย่าง จะเก็บข้อมูลจากสิ่งตัวอย่างเป็นจำนวน 100 ตัว
2. ทำการทดลองที่สภาพการปฏิบัติงานจริงของการผลิต

3.5.1.3 ขั้นตอนในการทดสอบ

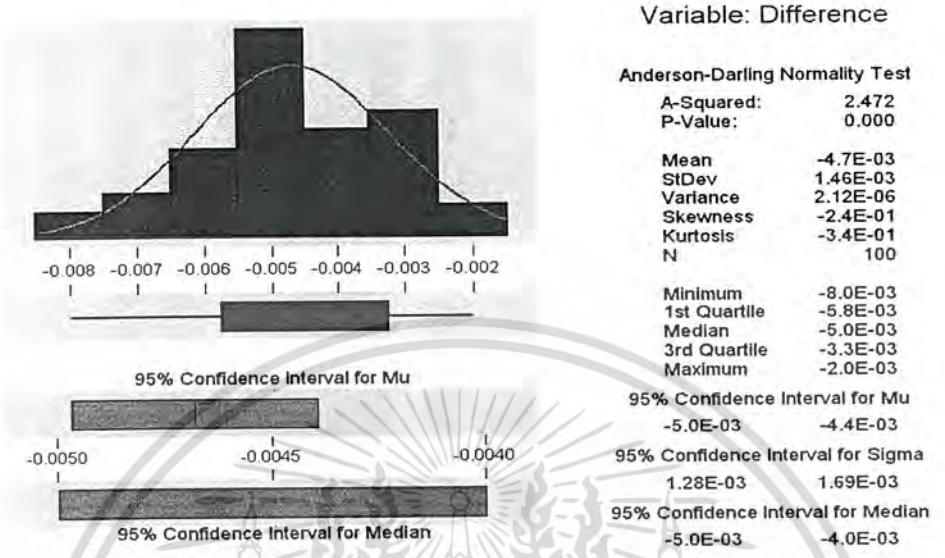
นำสิ่งตัวอย่างที่เตรียมในขั้นตอนการเตรียมการผ่านเข้ากระบวนการผลิตตามสภาพการปฏิบัติงานจริงของการผลิตและเก็บข้อมูลของค่าผลต่างของชิ้นงานจากกระบวนการผลิตที่ได้ปรับค่าปัจจัยนำเข้าทั้ง 2 ปัจจัยตามค่าที่ได้กำหนดไว้ โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนคือ ทำการทดลองและบันทึกผลตามแผนที่วางไว้แล้วนำข้อมูลการทดลองมาใส่ในโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.5.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.5.2.1 การทดสอบค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงาน

จากข้อมูลการทดสอบที่ได้นำมาพล็อตกราฟการกระจายของค่าเฉลี่ยของผลต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านหัวและด้านท้ายของชิ้นงานดังในรูปที่ 3.47 พบว่า ค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านหัวและด้านท้ายของชิ้นงานเท่ากับ -0.00468 มิลลิเมตร ซึ่งค่าผลต่างของชิ้นงานลดลงประมาณ -0.00306 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานก่อนการปรับปรุงกระบวนการ จะเห็นได้ว่า ที่สภาวะของปัจจัยทั้งสองดังการทดสอบสามารถที่จะลดค่าค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงานได้จริง ดังนั้น จึงใช้สภาวะของปัจจัยทั้งสองดังการทดลองในการใช้งานจริง เพื่อลดค่าเฉลี่ยของผลต่างของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

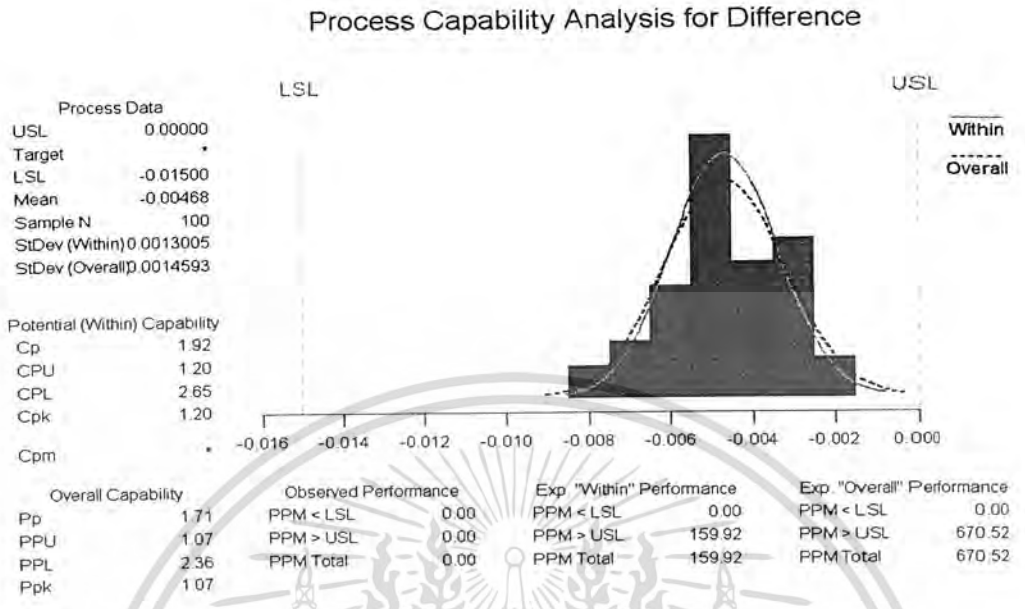


รูปที่ 3.47 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าผลต่างของชิ้นงาน

3.5.2.2 การทดสอบความสามารถของกระบวนการผลิต

จากข้อมูลการทดสอบที่ได้ นำมาวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ซึ่งพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านหัวและด้านท้ายของชิ้นงานตามข้อกำหนดของลูกค้ารวมถึงค่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.48 พบว่าค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการผลิต (C_{pk}) เท่ากับ 1.20 เมื่อเทียบกับค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการผลิต (C_{pk}) ก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 0.89 ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 0.34 และค่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นเท่ากับ 17,864 DPPM เมื่อเทียบกับค่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นก่อนการปรับปรุงมีปริมาณของเสียเท่ากับ 135,666 DPPM ซึ่งลดปริมาณของเสียลงประมาณ 117,802 DPPM (ภาคผนวก ข) เมื่อเทียบกับค่าของเสียที่เกิดขึ้น จะเห็นว่าที่สภาวะของปัจจัยทั้งสองดังการทดสอบสามารถเพิ่มค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการและลดค่าปริมาณของเสียที่เกิด ขึ้นได้จริง ดังนั้นจึงใช้สภาวะของปัจจัยทั้งสองตามการทดลองในการปฏิบัติงานจริง เพื่อเพิ่มค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการและลดค่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.48 กราฟแสดงการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต

3.6 การควบคุมกระบวนการผลิต

วิธีการทาง ซิกซ์ซิกม่า ระยะที่ 5 การควบคุม (Control) เครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 1 เครื่องมือดังนี้

- เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control; SPC) เพราะแผนภูมิการควบคุมกระบวนการช่วยในการตรวจจับความผิดปกติของปัจจัยที่ต้องการควบคุม สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้แผนภูมิควบคุม $\bar{X}-R$ เนื่องจากปัจจัยควบคุมเป็นค่าต่อเนื่อง (Variable)

จากขั้นตอนของการปรับปรุงและแก้ไขกระบวนการที่ผ่านมาทำให้เราทราบถึงปัจจัยนำที่มีนัยสำคัญต่อผลลัทธ์ของกระบวนการและได้กำหนดค่าของการกำหนดปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อค่าผลต่างชิ้นงานที่เป็นผลลัพธ์ของกระบวนการที่เราศึกษาแล้วเพื่อให้การผลิตมีคุณภาพที่ดีอย่างสม่ำเสมอจำเป็นต้องมีการควบคุมปัจจัยเหล่านั้น ซึ่งการกระทำในส่วนนี้เราจำเป็นต้องมีความเข้าใจในเรื่องนี้แก่พนักงานประจำเครื่องจักรเหล่านั้นก่อน เพราะถือว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงจากการเคยชินที่ได้ทำมาเป็นเวลานาน ซึ่งอาจจะไปขัดแย้งกับความรู้สึกของพนักงานประจำเครื่องจักร จะเป็นผลให้เกิดการปฏิบัติงานโดยไม่ซื่อตรง กล่าวคือ ช่างจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามที่ได้จากการวิจัยเมื่อมีหัวหน้างานมาตรวจสอบ แต่พอลับหลังอาจจะปรับค่ามาอยู่เหมือนเก่าก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลลัพธ์การดำเนินงานตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า โดยทางคณะผู้วิจัย ได้ทำการนำเสนอในบทนี้เป็นผลลัพธ์จากการดำเนินการทั้ง 5 ขั้นตอนตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การนิยามปัญหา

ผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนนี้คือ ทีมงานได้ทำการระดมความคิดและดำเนินงานเพื่อให้สามารถลดปริมาณของเสียได้ตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้โดยพิจารณาจากข้อมูลในอดีต 5 เดือนของสายการผลิตแม่แรง (Oil Jack) พบว่า Pump Plunger มีต้นทุนการผลิตและสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิต จากนั้นทำการกำหนดเครื่องมือและตัววัดผลต่างๆเพื่อนำไปใช้ในแต่ละขั้นตอนของการดำเนินงาน ซึ่งจะดำเนินการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาจากการนิยามปัญหานี้ในขั้นตอนต่อไป

4.2 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา

การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา ขั้นตอนนี้คือผลของการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดและผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผลโดยนำผลลัพธ์ที่ได้เหล่านี้ ไปใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาซึ่งสามารถสรุป ได้ดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

ผลจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดสามารถสรุปผลได้ว่า ค่าความแปรปรวนที่เกิดจากระบบการวัดทั้งสิ้น (Total Gage R&R) เพียง 22.79 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 30 ตามเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ระบบการวัดนี้ยังมีความสามารถในการแยกความแตกต่างของข้อมูล (Number of Distinct Categories) ได้เท่ากับ 6 โดยเกณฑ์มาตรฐานของความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างของข้อมูลจะที่มีค่าเท่ากับ 5 สรุปได้ว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ค่อนข้างละเอียด แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดในกระบวนการผลิตมีความถูกต้องและแม่นยำน่าเชื่อถือ เหมาะสำหรับการใช้ทดสอบชิ้นงานที่ทีมงานใช้ในการทำการวิจัยต่อไป

4.2.2 ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล

ได้ปัจจัยนำเข้าซึ่งมีทั้งปัจจัยที่ควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ จากนั้นพิจารณาปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ทั้งสิ้น 11 ปัจจัย มาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างผลของกระบวนการและปัจจัยนำเข้าด้วยตารางสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) แล้วจัดเรียงลำดับคะแนนตามความสำคัญด้วยผังพาเรโต ทางทีมงานได้เลือกปัจจัยทั้ง 11 ปัจจัยเนื่องจากมีปัจจัยที่สำคัญไม่มากนัก จากนั้นนำไปวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

จากการนำจัดลำดับความสำคัญด้วยแผนภาพพาเรโต ในขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) พบว่าปัจจัยนำเข้าที่ทดสอบที่สำคัญที่มีแนวโน้มกับผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของชิ้นงานนี้มีทั้งสิ้น 4 ปัจจัยได้แก่ หัวจับยึดชิ้นงานไม่แน่น ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น ยันศูนย์ท้ายแกว่ง แกนบาชำรุด ซึ่งปัจจัยที่ได้เลือกทั้งหมดนี้ จะนำไปวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่อไป

4.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากการนำปัจจัยนำเข้านำเข้าทั้ง 4 ปัจจัย มาวิเคราะห์ผล เริ่มจากการคำนวณสิ่งตัวอย่าง การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ การวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้กราฟ การทดสอบสมมติฐาน ซึ่งจะแบ่งเป็นการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของตัวแปรตอบสนองและการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตอบสนองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสรุปดังตารางที่ 4.1

4.3.1 การคำนวณสิ่งตัวอย่าง

จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองอย่างน้อยจะมีค่าเท่ากับ 30 ชิ้นซึ่งจะให้ค่าระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ และค่ากำลังในการทดสอบ (Power of test: 1-β) มีค่ามากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 4 ปัจจัยเท่ากับ 30 ตัวอย่าง

4.3.2 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน

จากผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย พบว่า ค่า P-Value ของปัจจัยนั้นมีค่าน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าค่าเฉลี่ยของการทดสอบของผลต่างของชิ้นงานของแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ นั้นซึ่งในที่นี้พบว่าปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญมีผล คือ หัวจับยึดชิ้นงานไม่แน่น ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น ยันศูนย์ท้ายแกว่ง แกนบาคด โดยสามารถสรุประดับของปัจจัยที่สำคัญดังกล่าว ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบสมมติฐานแต่ละปัจจัย

ปัจจัย	ระดับ	ค่า P-Value			ความมีนัยสำคัญ
		นอร์มัลพล็อต	ความเท่ากันของค่าความแปรปรวน	ความเท่ากันของค่าเฉลี่ย	
ยันศูนย์ท้ายแกว่ง (Speed)	3200 Rpm 3900 Rpm	0.462 0.134	0.853	0.010	มีนัยสำคัญ
หัวจับยึดชิ้นงานไม่แน่น (Pressure1)	15 Kgf/cm^3 20 Kgf/cm^3	0.349 0.303	0.083	0.046	มีนัยสำคัญ
ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure 2)	8 Kgf/cm^3 10 Kgf/cm^3	0.236 0.409	0.889	0.007	มีนัยสำคัญ
แกนบาคด	แบบเดิม แบบใหม่	0.063 0.571	0.839	0.040	มีนัยสำคัญ

ผลลัพธ์ของขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ได้ทั้ง 4 ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นนั้นจะนำไปพิจารณาและวิเคราะห์ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการซึ่งเกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงค่าผลต่างของชิ้นงานให้ดีขึ้น

4.4 การปรับปรุงและแก้ไขกระบวนการ

สรุปผลขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนี้ เป็นการนำปัจจัยนำเข้าจากขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้ง 3 ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าผลต่างของชิ้นงาน (Pump plunger) มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับของแต่ละปัจจัยที่เหมาะสมโดยการออกแบบการทดลองเป็น 2^3 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 3 ครั้งซึ่งสามารถสรุปผลลัพธ์ของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการได้เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองทั้งสิ้น 2 ปัจจัย คือ ยันศูนย์ท้ายแกว่ง (Speed) และ ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure 1) จากนั้นนำปัจจัยดังกล่าวไปหาค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าผลลัพธ์ของกระบวนการที่ดีที่สุดและต้องทำการยืนยันผลการทดลองดังกล่าวก่อนนำไปใช่ในกระบวนการผลิตจริงต่อไป

4.5 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล

จากผลการทดสอบค่าผลต่างของชิ้นงานพบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -0.00468 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ลดลงจากเดิม และมีปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นเพียง 17,864 PPM เพราะฉะนั้น สภาวะทั้งสองของปัจจัย คือยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure 1) เท่ากับ 9 Kgf/cm^3 และ ยันศูนย์ท้ายแกว่ง (Speed) เท่ากับ 3550 Rpm มีความเหมาะสมที่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงในกระบวนการผลิต ทั้งนี้เพื่อทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของชิ้นงานมีค่าลดลงจากเดิม

ในขั้นตอนของการควบคุมกระบวนการนั้นทางทีมงาน ได้ทำการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อกระบวนการผลิตโดยใช้การควบคุมตามแบบที่ทางโรงงานได้ใช้ปฏิบัติงานอยู่แล้ว ทั้งเนื่องจากในด้านข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาในการวิจัยทางคณะผู้วิจัยจึงไม่สามารถนำผลการควบคุมกระบวนการผลิตมานำเสนอได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 บทนำ

ในการดำเนินการวิจัยที่ผ่านมา เป็นการนำวิธีการทางซิกซ์ซิกม่า เข้าประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มความสามารถของกระบวนการผลิตและลดของเสียที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานที่มีชื่อว่า Pump Plunger ของสายการผลิตแม่แรง(Oil Jack) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอน 5 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase) ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measurement Phase) ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (analyze Phase) ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase) ตามลำดับ โดยในการวิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังกล่าว แล้วผลลัพธ์ที่ได้สามารถกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ ซึ่งส่งผลให้ค่าผลลัพธ์ของกระบวนการ (KPOV) ดีขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังบทสรุปผลการวิจัยในแต่ละขั้นตอนตามวิธีการของ ซิกซ์ ซิกม่า ดังต่อไปนี้

5.2 บทสรุปขั้นตอนต่างๆ ในการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนของการนิยามปัญหา จะเป็นการพิจารณาที่มาของปัญหา ซึ่งในส่วนนี้ทีมงานวิจัยจะพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของสายการผลิตแม่แรง (Oil Jack) ทั้งหมดพบว่า ชิ้นงาน Pump Plunger มีเปอร์เซ็นต์ของเสียที่เกิดขึ้นสูงสุด ทีมงานวิจัยจึงทำการเลือกชิ้นงาน Pump Plunger มาทำการลดของเสียและเพิ่มความสามารถของกระบวนการและส่วนที่สำคัญของขั้นตอนของการนิยามปัญหานั้นก็คือ การศึกษากระบวนการผลิตและการคำนวนหาผลรวมสัดส่วนของเสีย เพื่อให้ทราบถึงสถานะของกระบวนการผลิตในปัจจุบัน โดยจะพิจารณาของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตย่อย นอกจากนี้ในขั้นตอนของการนิยามปัญหาได้มีการกำหนดขั้นตอนการดำเนินงาน และเครื่องมือที่เลือกใช้ สำหรับขั้นตอนทั้ง 5 ขั้นตอนของวิธีการซิกซ์ซิกม่า โดยจะกล่าวถึงเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับแต่ละขั้นตอน พร้อมกับตัววัดผล ซึ่งในการดำเนินการวิจัยจะต้องมีทีมงานที่ให้ความร่วมมือและมีทักษะความเชี่ยวชาญในการปฏิบัติงานที่แตกต่าง เพื่อเป็นการสนับสนุนในการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นให้สำเร็จ

ในขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหานี้เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก ในการพิจารณาหาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ(KPIV) ของกระบวนการที่ทำการวิเคราะห์โดยในลักษณะการดำเนินการของขั้นตอนนี้จำเป็นต้องมีการระดมความคิดจากทีมงานที่มีทักษะความเชี่ยวชาญที่แตกต่างกัน เพื่อที่สามารถค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา (Root Cause) ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่อาจแฝงอยู่ในกระบวนการ หรือ อาจจะถูกละเลยในการพิจารณา ซึ่งจำเป็นต้องมีการระดมความคิดจากทีมงาน และสิ่งที่จำเป็นต้องพิจารณาเป็นอันดับแรกของขั้นตอนนี้ก็คือ การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gage R&R) ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าระบบการวัด มีแม่นยำน่าเชื่อถือ เหมาะสำหรับการใช้ทดสอบชิ้นงานที่ทีมงานใช้ในการทำการวิจัยต่อไป ดังนั้นเมื่อระบบการวัดเหมาะสมแล้วจึงทำการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) เพื่อได้ปัจจัยนำเข้าแล้วทำการพิจารณาเฉพาะปัจจัยนำเข้าที่สามารถควบคุมได้เท่านั้น จากนั้นนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้า (KPIV) และผลของกระบวนการ (KPOV) ในตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล (Cause &

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Effect Matrix) เพื่อเป็นการกลั่นกรองหาปัจจัยนำเข้า (KPIV) ซึ่งได้จัดลำดับความสัมพันธ์ที่สูงโดยใช้ผังพาเรโต จากนั้นนำปัจจัยนำเข้า (KPIV) ที่ได้จากผังพาเรโตที่มีความสัมพันธ์ที่สูง มาวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) ตามกระบวนการผลิตต่อเพื่อเป็นการกลั่นกรองหาปัจจัยนำเข้า (KPIV) ที่สำคัญ ซึ่งจะได้ปัจจัยที่มีค่าตัวเลขแสดงลำดับของความเสี่ยง (RPN) มากกว่า 90 คะแนน (ตามข้อตกลงระหว่างลูกค้ากับทางบริษัท) ซึ่งมี 4 ปัจจัยไปทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่อไป

ส่วนขั้นตอนของการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเป็นการอธิบายถึงปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยสำหรับทดสอบสมมติฐาน รวมถึงขั้นตอนที่ใช้ในการทำการทดลองปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัย จากการพิจารณาในขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ได้แก่ หัวจับยึดชิ้นงานไม่แน่น (Pressure 2) ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure 1) ยันศูนย์ท้ายแกว่ง (Speed) แกนบาชำรุด ในการทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐานโดยใช้โปรแกรม Minitab เข้ามาช่วยในการทดสอบสมมติฐาน โดยใช้จำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดลอง 30 สิ่งตัวอย่าง แล้วทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ วิเคราะห์การกระจายของข้อมูล วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยก่อน จากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานทั้งความแปรปรวนและค่าเฉลี่ย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะได้ปัจจัยที่มีความแตกต่างจากผลการทดสอบสมมติฐานได้แก่ หัวจับยึดชิ้นงานไม่แน่น (Pressure 2) ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure 1) ยันศูนย์ท้ายแกว่ง (Speed) แกนบาชำรุด เพื่อนำไปทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนี้ เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญที่สุดของวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งเป็นการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k เป็น 2^3 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Minitab ใช้วิเคราะห์ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง แล้วทำการวิเคราะห์ผลการทดลองซึ่งได้ผลดังนี้ ปัจจัยหลัก (Main Effects) มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองคือ 1. ยันศูนย์ท้ายไม่แน่น (Pressure1) 2. ยันศูนย์ท้ายแกว่ง (Speed) ส่วนอันตรกิริยา (Interaction Effect) ไม่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองเลย ดังนั้นจึงนำเฉพาะปัจจัยหลักไปหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการปรับค่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญ เพื่อให้ได้ค่าผลต่างของชิ้นงานต่ำที่สุดคือ -0.005 โดยต้องเปลี่ยนความเร็วรอบเท่ากับ 3,550 Rpm และความดันยันศูนย์ท้ายเท่ากับ 9 Kgf/cm^3 ก่อนนำไปใช้ในกระบวนการผลิตทางทีมงานวิจัยได้ทดสอบยืนยันผลการทดลองโดยทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการโดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของชิ้นงานซึ่งเป็นข้อกำหนดของลูกค้า และค่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นได้ว่า ค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) ท่ากับ 1.20 ซึ่งเพิ่มขึ้นประมาณ 0.34 เมื่อเทียบกับค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการผลิต (C_{pk}) ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ และค่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นเท่ากับ 17,864 PPM ซึ่งลดประมาณ 117,802 PPM เมื่อเทียบกับค่าของเสียที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นค่าที่ลดลงจากเดิม ดังนั้นสภาวะของปัจจัยทั้งสองจึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต เพื่อทำให้ค่าผลต่างของชิ้นงานมีค่าลดลงจากเดิมต่อไป

ในการควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อที่จะทำให้กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามข้อกำหนดของลูกค้าซึ่งได้ปัจจัยที่วิเคราะห์มาจากขั้นตอนของการปรับปรุงกระบวนการจะมีการนำเทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control; SPC) มาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในกระบวนการแล้วทำให้ผลลัพธ์ของกระบวนการดีขึ้นโดยเลือกใช้แผนภูมิควบคุมแบบ $\bar{X}-R$ เพื่อตรวจจับและควบคุมสิ่งผิดปกติที่จะเกิดขึ้น ซึ่งทางทีมงานวิจัยได้ใช้แผนการควบคุมเดิมของทางโรงงานที่พนักงานได้ใช้อยู่เพื่อให้พนักงานคุ้นเคยกับการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อจำกัดในการทำงานวิจัย

เนื่องจากในการดำเนินงานวิจัยเป็นลักษณะของการทำงานวิจัยแบบทำการประยุกต์ ใช้หลักการและเทคนิคทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการเพื่อเพิ่มดัชนีความสามารถของกระบวนการผลิต และลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานซึ่งในระหว่างการดำเนินงานวิจัยนั้น อาจเกิดอุปสรรคต่างๆ ที่เป็นข้อจำกัดหรือทำให้การดำเนินงานวิจัย ในบางระยะเกิดปัญหาด้วยเหตุผลจากผู้ทำการวิจัยไม่ได้ทำงานอยู่ที่โรงงานจึงส่งผลทำให้บางครั้งความร่วมมือและประสานงานของการดำเนินการวิจัยไม่สอดคล้องและเป็นไปในแนวทางเดียวกัน รวมทั้งการวิจัยนี้เป็นการประยุกต์วิธีการตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและลดจำนวนของเสียให้น้อยลงนั้นจึงมีขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการผลิต ที่มีการนำวิธีการของการออกแบบการทดลองเข้ามาใช้วิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่ส่งผลต่อระบบ จึงจำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้สำหรับการทดลองอีกทั้งการที่จำเป็นต้องหยุดกระบวนการ เพื่อปรับเปลี่ยนระดับของปัจจัยนั้นจึงส่งผลกระทบโดยตรงต่อราบได้ขององค์กร ซึ่งในบางครั้งถ้าการทดลองที่ได้ลงมือปฏิบัติแล้วไม่ประสบความสำเร็จนั้นจะทำให้เกิดผลเสียต่างๆ ต่อองค์กรก็ได้

5.4 ข้อเสนอแนะ

ในการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดของเสียโดยประยุกต์วิธีการตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า นั้นสามารถที่จะปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้นจากการปรับปรุงครั้งแรกได้อีกโดยสามารถพิจารณาปรับปรุงและทำการกำหนดตัวแปรตอบสนอง หรือผลลัพธ์ของกระบวนการตัวอื่นๆ ได้อีก และนอกจากนี้ยังสามารถที่จะพิจารณาตัวแปรตอบสนองที่มากกว่าหนึ่งตัวไปพร้อมกันได้อีกด้วย เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายที่ใช้สำหรับการออกแบบการทดลอง อีกทั้งประหยัดเวลาที่ใช้ในการทดลอง และดำเนินการผลิตอีกด้วย ในการประยุกต์วิธีการตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า นั้นทุกคนในองค์กรจำเป็นต้องมีการพัฒนาทักษะความรู้ความสามารถไปพร้อมๆ กันตั้งแต่พนักงานระดับปฏิบัติการไปจนถึงผู้บริหารระดับสูงเพื่อที่จะสามารถทำให้การดำเนินการแก้ไขปรับปรุงปัญหาต่างๆ ของกระบวนการมีความสอดคล้องกันไป

การดำเนินการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ค่าความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) ค่อนข้างต่ำ หลังจากการปรับปรุงแนวทางในการดำเนินการต่อไปที่จะทำให้ค่าความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) ดีขึ้นนั้นจะต้องพยายามมุ่งเน้นที่จะลดความแปรปรวนของกระบวนการกล่าวคือ ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการน้อยลงซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อค่าความสามารถของกระบวนการที่เพิ่มขึ้น โดยในการทดสอบสมมติฐานในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาควรให้ความสำคัญต่อการทดสอบความแปรปรวนมากกว่าการทดสอบค่าเฉลี่ยดังการวิจัยที่ผ่านมาที่พิจารณาค่าเฉลี่ยเป็นหลัก

สำหรับการปรับปรุงกระบวนการหรือคุณภาพขององค์กรที่ต้องการพัฒนาและปรับปรุงองค์กรแบบก้าวกระโดดโดยการประยุกต์วิธีการตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า นั้นผู้บริหารขององค์กรจำเป็นต้องเป็นผู้นำ และให้การสนับสนุนให้บุคคลากรในองค์กรนั้นมีความเข้าใจและความรู้เกี่ยวกับวิธีการตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า จึงจะช่วยให้การพัฒนาเป็นไปตามเป้าหมายที่ต้องการ รวมไปจนถึงการกระตุ้นทางตรงและทางอ้อมที่จะสนับสนุนให้บุคลากรขององค์กรนั้นมีความร่วมมือและมัทัศนะคติที่ดีต่อการปรับปรุงและพัฒนา มิฉะนั้นแล้วการนำวิธีการทางของ ซิกซ์ ซิกม่า เข้ามาใช้ในองค์กรอาจจะไม่ประสบความสำเร็จและอาจจะส่งผลเสียต่อองค์กรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอ้างอิง

- กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรมเล่มที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545
- กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรมเล่มที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 4, กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545
- กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ.พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2544
- กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด. พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546
- กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ.พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร: บริษัท เทคนิคอล แอพโพรช เคาน์เซลลิ่งแอนด์เทรนนิ่ง จำกัด, 2547
- กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างาน คิวซีเซอร์เคิล.พิมพ์ครั้งที่ 5, กรุงเทพมหานคร: บริษัท เทคนิคอล แอพโพรช เคาน์เซลลิ่งแอนด์เทรนนิ่ง จำกัด, 2546
- โกบาตะ โทโมโซ. 5G เพื่อการพัฒนาคุณภาพ.แปลโดย ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์และคณะ.พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542
- ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย.การควบคุมคุณภาพสำหรับนักบริหารและกรณีศึกษา.พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร: บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด, 2538
- เบรย์โฟกี ทรีม ฟอร์เรส คับบลิว. คู่มือปฏิบัติ Six Sigma เพื่อสร้างความเป็นเลิศในองค์กร.แปลและเรียบเรียงโดย ดร.ณัฏฐพันธ์ เขจรนันทน์และคณะ.พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร: เอ็กซเปอร์เน็ท, 2545
- ปารเมศ ชุติมา.การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม.พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่ง-จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.2545
- ธนากร เกียรติบรรลือ .FMEA การวิเคราะห์ความล้มเหลวในการผลิต.วารสาร Industrial Technology Review. ฉบับที่ 73 .กรกฎาคม 2543 หน้า 101-105.
- เทวินทร์ สิริโชคชัยกุล.ก้าวสู่สากลด้วย QS-9000.กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) 2540
- อากิยามา คะเนโอะ.ขั้นตอนเชิงปฏิบัติของกิจกรรมวิศวกรรมคุณค่า.พิมพ์ครั้งที่ 3, กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2544
- รุ่งโรจน์ อักษรสาร.การปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่องด้วยวิธีซิกซ์ ซิกม่าในอุตสาหกรรมผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ.มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. 2542
- อลงกต กาญจนคช. การปรับปรุงความแข็งของแผ่นกระดาษลูกฟูกด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง.วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฮิโตชิ คูเมะ. **วิธีทางสถิติเพื่อการพัฒนาคุณภาพ.**แปลโดย วิระพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์.พิมพ์ครั้งที่ 10, กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546
- ฮิโตชิ โอกุระ. **Why – Why Analysis.**แปลโดย วิเชียร เบญจวัฒนาผล และสมชัย อัครทิวา.พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545
- Automative Industry Action Group (AIAG).**Potential Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).** 3rd edition, July 2001
- Automative Industry Action Group (AIAG). **Statistical Process Control (SPC).**2 th Printing.Michigan.USA.1995
- Automative Industry Action Group (AIAG). **Measurement System Analysis (MSA).**3 rd edition, Michigan.USA.2002
- Forrest, W.Breyfogle III .**Implementing Six Sigma Smarter Solutions Using Statistical Methods.**USA: John Wiley Sons, 1999
- Forrest, W.Breyfogle III .**Implementing Six Sigma Smarter Solutions Using Statistical Methods.**USA: 2nd edition John Wiley Sons, 2003
- Minitab Inc. (2000) **MINITAB User's Guide: Data Analysis and Quality Tools,** Release 13
- Montgomery, D.C., and Runger, G.C. **Applied Statistics and Probability for Engineers.** 3rd edition, John Wiley & Sons, 2002
- Montgomery, D.C. **Introduction to Statistical Quality Control.** 4th edition, John Wiley & Sons, 2001
- Montgomery, D.C. **Design and Analysis of Experiments.** 5th edition, John Wiley & Sons, 2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ผ.ก. 1 ผลการทดสอบความแม่นยำของระบบการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.ก. 1 ผลการทดสอบความแม่นยำของระบบการวัดที่กระบวนการผลิต Pump Plunger

ชิ้นงาน	พนักงานคนที่ 1			พนักงานคนที่ 2			พนักงานคนที่ 3		
ตัวอย่าง	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	-0.004	-0.004	-0.005	-0.004	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005
2	-0.008	-0.008	-0.009	-0.005	-0.009	-0.009	-0.007	-0.008	-0.006
3	-0.018	-0.018	-0.018	-0.016	-0.018	-0.018	-0.018	-0.018	-0.018
4	-0.011	-0.008	-0.008	-0.007	-0.010	-0.008	-0.008	-0.008	-0.007
5	-0.007	-0.006	-0.004	-0.004	-0.007	-0.007	-0.005	-0.007	-0.005
6	-0.015	-0.014	-0.014	-0.012	-0.015	-0.014	-0.012	-0.013	-0.013
7	-0.019	-0.019	-0.020	-0.018	-0.020	-0.020	-0.019	-0.019	-0.018
8	-0.009	-0.009	-0.010	-0.007	-0.009	-0.010	-0.008	-0.008	-0.008
9	-0.004	-0.007	-0.004	-0.010	-0.006	-0.004	-0.004	-0.005	-0.004
10	-0.011	-0.012	-0.011	-0.011	-0.012	-0.012	-0.010	-0.012	-0.010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ผ.ข. 1 ตารางการผลการทดสอบสมมติฐานแต่ละปัจจัยทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข. 1 ตารางการผลการทดสอบสมมติฐานแต่ละปัจจัย

3200 Rpm		
หัว	ท้าย	เรียว
10.992	10.995	-0.003
10.993	10.993	0.000
10.990	10.998	-0.008
10.989	11.000	-0.011
10.990	10.994	-0.004
10.988	10.997	-0.009
10.995	10.996	-0.001
10.989	10.992	-0.003
10.987	10.989	-0.002
10.990	10.995	-0.005
10.993	10.996	-0.003
10.989	10.995	-0.006
10.991	10.999	-0.008
10.990	10.990	0.000
10.993	10.999	-0.006
10.991	10.993	-0.002
10.993	10.995	-0.002
10.993	10.996	-0.003
10.990	10.993	-0.003
10.991	10.993	-0.002
10.990	10.996	-0.006
10.989	10.994	-0.005
10.988	10.992	-0.004
10.989	10.995	-0.006
10.990	10.997	-0.007
10.992	10.995	-0.003
10.989	10.994	-0.005
10.993	10.994	-0.001
10.990	10.994	-0.004
10.994	10.993	0.001

3900 Rpm		
หัว	ท้าย	เรียว
10.993	10.994	-0.001
10.991	10.995	-0.004
10.989	10.993	-0.004
10.990	10.996	-0.006
10.990	10.992	-0.002
10.989	10.990	-0.001
10.991	10.992	-0.001
10.992	10.995	-0.003
10.992	10.993	-0.001
10.992	10.994	-0.002
10.988	10.993	-0.005
10.992	10.991	0.001
10.995	10.994	0.001
10.995	10.994	0.001
10.988	10.994	-0.006
10.993	10.992	0.001
10.991	10.996	-0.005
10.991	10.992	-0.001
10.989	10.991	-0.002
10.984	10.991	-0.007
10.993	10.989	0.004
10.989	10.995	-0.006
10.996	10.995	0.001
10.995	10.998	-0.003
10.991	10.994	-0.003
10.990	10.993	-0.003
10.993	10.992	0.001
10.991	10.997	-0.006
10.990	10.991	-0.001
10.993	10.994	-0.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข. 1 ตารางการผลการทดสอบสมมติฐานแต่ละปัจจัย (ต่อ)

แกนบาคด (ก่อน)		
หัว	ท้าย	เรียว
10.994	10.996	-0.002
10.993	10.994	-0.001
10.994	10.995	-0.001
10.997	10.994	0.003
10.991	10.991	0.000
10.996	10.993	0.003
10.993	10.991	0.002
10.993	10.993	0.000
10.997	10.990	0.007
10.993	10.994	-0.001
10.993	10.994	-0.001
10.998	10.992	0.006
10.994	10.993	0.001
10.993	10.992	0.001
10.995	10.991	0.004
10.994	10.995	-0.001
10.997	10.992	0.005
10.992	10.993	-0.001
10.994	10.991	0.003
10.996	10.990	0.006
10.994	10.993	0.001
10.992	10.995	-0.003
10.993	10.993	0.000
10.987	10.994	-0.007
10.994	10.994	0.000
10.993	10.995	-0.002
10.997	10.996	0.001
10.992	10.991	0.001
10.996	10.995	0.001
10.992	10.992	0.000

แกนบาคด (หลัง)		
หัว	ท้าย	เรียว
10.993	10.993	0.000
10.993	10.995	-0.002
10.993	10.997	-0.004
10.997	10.996	0.001
10.995	10.998	-0.003
10.993	10.993	0.000
10.992	10.994	-0.002
10.994	10.996	-0.002
10.996	10.998	-0.002
10.998	10.993	0.005
10.996	10.997	-0.001
10.991	10.990	0.001
10.998	10.997	0.001
10.998	10.993	0.005
10.996	10.994	0.002
10.995	10.993	0.002
10.996	10.996	0.000
10.994	10.997	-0.003
10.993	10.994	-0.001
10.994	10.995	-0.001
10.995	10.992	0.003
10.996	10.996	0.000
10.993	10.995	-0.002
10.993	10.996	-0.003
10.993	10.999	-0.006
10.998	10.995	0.003
10.995	10.996	-0.001
10.993	10.997	-0.004
10.989	10.996	-0.007
10.994	10.995	-0.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข. 1 ตารางการผลการทดสอบสมมติฐานแต่ละปัจจัย (ต่อ)

อุปกรณ์จับยึด 20 kgf/cm^3		
หัว	ท้าย	เรียว
10.988	10.995	-0.007
10.990	10.994	-0.004
10.991	10.996	-0.005
10.996	10.995	0.001
10.989	10.994	-0.005
10.992	10.997	-0.005
10.990	10.994	-0.004
10.991	10.992	-0.001
10.992	10.998	-0.006
10.989	10.994	-0.005
10.988	10.996	-0.008
10.992	10.995	-0.003
10.992	10.996	-0.004
10.990	10.992	-0.002
10.991	10.994	-0.003
10.993	10.997	-0.004
10.990	10.995	-0.005
10.989	10.995	-0.006
10.992	10.996	-0.004
10.994	10.995	-0.001
10.990	10.994	-0.004
10.993	10.993	0.000
10.992	10.994	-0.002
10.991	10.997	-0.006
10.992	10.995	-0.003
10.992	10.995	-0.003
10.990	10.991	-0.001
10.992	10.996	-0.004
10.991	10.994	-0.003
10.994	10.995	-0.001

อุปกรณ์จับยึด 15 kgf/cm^3		
หัว	ท้าย	เรียว
10.990	10.992	-0.002
10.989	10.995	-0.006
10.991	10.993	-0.002
10.990	10.991	-0.001
10.992	10.990	0.002
10.990	10.995	-0.005
10.992	10.994	-0.002
10.995	10.995	0.000
10.995	10.994	0.001
10.988	10.996	-0.008
10.989	10.997	-0.008
10.989	10.992	-0.003
10.990	10.991	-0.001
10.997	10.995	0.002
10.991	10.993	-0.002
10.993	10.996	-0.003
10.990	10.991	-0.001
10.991	10.993	-0.002
10.990	10.993	-0.003
10.992	10.992	0.000
10.988	10.994	-0.006
10.991	10.995	-0.004
10.995	10.992	0.003
10.993	10.993	0.000
10.992	10.997	-0.005
10.991	10.998	-0.007
10.990	10.992	-0.002
10.991	10.992	-0.001
10.990	10.993	-0.003
10.990	10.989	0.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผข. 1 ตารางการผลการทดสอบสมมติฐานแต่ละปัจจัย (ต่อ)

อุปกรณ์จับยึด 10 kgf/cm^3		
หัว	ท้าย	เรียว
10.993	10.996	-0.003
10.990	10.993	-0.003
10.993	10.993	0.000
10.998	10.995	0.003
10.994	11.000	-0.006
10.998	10.993	0.005
10.998	10.995	0.003
10.992	10.995	-0.003
10.996	10.996	0.000
10.993	10.997	-0.004
10.994	10.994	0.000
10.993	10.995	-0.002
10.993	10.998	-0.005
10.992	10.994	-0.002
10.992	10.998	-0.006
10.997	10.995	0.002
10.990	10.994	-0.004
10.997	10.996	0.001
10.995	10.996	-0.001
10.995	10.997	-0.002
10.996	10.995	0.001
10.993	10.991	0.002
10.994	10.998	-0.004
10.993	10.995	-0.002
10.995	11.000	-0.005
10.993	10.996	-0.003
10.995	10.994	0.001
10.995	10.996	-0.001
10.994	10.997	-0.003
10.996	10.994	0.002

อุปกรณ์จับยึด 8 kgf/cm^3		
หัว	ท้าย	เรียว
10.989	10.997	-0.008
10.990	10.995	-0.005
10.992	10.993	-0.001
10.988	10.993	-0.005
10.992	10.993	-0.001
10.988	10.990	-0.002
10.987	10.994	-0.007
10.988	10.990	-0.002
10.989	10.994	-0.005
10.990	10.990	0.000
10.987	10.992	-0.005
10.991	10.992	-0.001
10.989	10.991	-0.002
10.989	10.994	-0.005
10.992	10.991	0.001
10.989	10.998	-0.009
10.995	10.993	0.002
10.989	10.994	-0.005
10.990	10.995	-0.005
10.990	10.995	-0.005
10.987	10.994	-0.007
10.992	10.996	-0.004
10.992	10.995	-0.003
10.992	10.991	0.001
10.992	10.994	-0.002
10.991	10.992	-0.001
10.990	10.993	-0.003
10.989	10.993	-0.004
10.988	10.997	-0.009
10.991	10.991	0.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ผ.ค. 1 ตารางการประเมินระดับของเสียและความสามารถของกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผค. 1 ตารางการประเมินระดับของเสียและความสามารถของกระบวนการ

Capability Index(C_{pk})	Process Sigma Short Term	Process Sigma Long Term	Yield	Defect Per 1,000,000	Defect Per 100,000	Defect Per 10,000	Defect Per 1,000	Defect Per 100
2	6	4.5	99.99966	3	0.34	0.034	0.0034	0.00034
1.97	5.9	4.4	99.99946	5	0.54	0.054	0.0054	0.00054
1.93	5.8	4.3	99.99915	9	0.85	0.085	0.0085	0.00085
1.9	5.7	4.2	99.9987	13	1.34	0.134	0.0134	0.00134
1.87	5.6	4.1	99.9979	21	2.1	0.207	0.021	0.0021
1.83	5.5	4	99.9968	32	3.2	0.32	0.032	0.0032
1.8	5.4	3.9	99.995	48	4.8	0.48	0.048	0.0048
1.77	5.3	3.8	99.993	72	7.2	0.72	0.072	0.0072
1.73	5.2	3.7	99.989	108	10.8	0.08	0.11	0.011
1.7	5.1	3.6	99.984	159	15.9	1.6	0.16	0.016
1.67	5	3.5	99.98	233	23.3	2.3	0.23	0.023
1.63	4.9	3.4	99.97	337	33.7	3.4	0.34	0.034
1.6	4.8	3.3	99.95	483	48.3	4.8	0.48	0.048
1.57	4.7	3.2	99.93	687	68.7	6.9	0.69	0.069
1.53	4.6	3.1	99.9	968	97	10	0.97	0.097
1.5	4.5	3	99.87	1,350	135	13	1.3	0.13

ตารางที่ ผค. 1 ตารางการประเมินระดับของเสียและความสามารถของกระบวนการ (ต่อ)

Capability Index (C_{pk})	Process Sigma Short Term	Process Sigma Long Term	Yield	Defect Per 1,000,000	Defect Per 100,000	Defect Per 10,000	Defect Per 1,000	Defect Per 100
1.47	4.4	2.9	99.81	1,866	187	19	1.9	0.19
1.43	4.3	2.8	99.74	2,555	256	26	2.6	0.26
1.4	4.2	2.7	99.65	3,467	347	35	3.5	0.35
1.37	4.1	2.6	99.5	4,661	466	47	4.7	0.47
1.33	4	2.5	99.4	6,210	621	62	6.2	0.62
1.3	3.9	2.4	99.2	8,198	820	82	8.2	0.82
1.27	3.8	2.3	98.9	10,724	1,072	107	11	1.1
1.23	3.7	2.2	98.6	13,903	1,390	139	14	1.4
1.2	3.6	2.1	98.2	17,864	1,786	179	18	1.8
1.17	3.5	2	97.7	22,750	2,275	228	23	2.3
1.13	3.4	1.9	97.1	28,716	2,872	287	29	2.9
1.1	3.3	1.8	96.4	35,930	3,593	359	36	3.6
1.07	3.2	1.7	95.5	44,565	4,457	446	45	4.5
1.03	3.1	1.6	94.5	54,799	5,480	548	55	5.5
1	3	1.5	93.3	66,807	6,681	668	67	6.7

ตารางที่ ผค. 1 ตารางการประเมินระดับของเสียและความสามารถของกระบวนการ (ต่อ)

Capability Index (C_{pk})	Process Sigma Short Term	Process Sigma Long Term	Yield	Defect Per 1,000,000	Defect Per 100,000	Defect Per 10,000	Defect Per 1,000	Defect Per 100
0.97	2.9	1.4	91.9	80,757	8,076	808	81	8.1
0.93	2.8	1.3	90.3	96,801	9,680	968	97	9.7
0.9	2.7	1.2	88.5	115,070	11,507	1,151	115	12
0.87	2.6	1.1	86.4	135,666	13,567	1,357	136	14
0.83	2.5	1	84.1	158,655	15,866	1,587	159	16
0.8	2.4	0.9	81.6	184,060	18,406	1,841	184	18
0.77	2.3	0.8	78.8	211,855	21,186	2,119	212	21
0.73	2.2	0.7	75.8	241,964	24,196	2,420	242	24
0.7	2.1	0.6	72.6	274,253	27,425	2,743	274	27
0.67	2	0.5	69.1	308,538	30,854	2,085	309	31
0.63	1.9	0.4	65.5	344,578	34,458	2,446	345	34
0.6	1.8	0.3	61.8	382,089	38,209	3,821	382	38
0.57	1.7	0.2	57.9	420,740	42,074	4,207	421	42
0.53	1.6	0.1	54	460,172	46,017	4,602	460	46
0.5	1.5	0	50	500,000	50,000	5,000	500	50

ตารางที่ ผค. 1 ตารางการประเมินระดับของเสียและความสามารถของกระบวนการ (ต่อ)

Capability Index (C_{pk})	Process Sigma Short Term	Process Sigma Long Term	Yield	Defect Per 1,000,000	Defect Per 100,000	Defect Per 10,000	Defect Per 1,000	Defect Per 100
0.47	1.4	-0.1	46	539,828	53,983	5,398	540	54
0.43	1.3	-0.2	42.1	579,260	57,926	5,793	579	58
0.4	1.2	-0.3	38.2	617,911	61,791	6,179	618	62
0.37	1.1	-0.4	34.5	655,422	65,542	6,554	655	66
0.33	1	-0.5	30.9	691,462	69,146	6,915	691	69
0.3	0.9	-0.6	27.4	725,747	72,575	7,257	726	73
0.27	0.8	-0.7	24.2	758,036	75,804	7,580	758	76
0.23	0.7	-0.8	21.2	788,145	78,814	7,881	788	79
0.2	0.6	-0.9	18.4	815,940	81,594	8,159	816	82
0.17	0.5	-1	15.9	841,345	84,134	8,413	841	84
0.13	0.4	-1.1	13.6	864,334	86,433	8,643	864	86
0.1	0.3	-1.2	11.5	884,930	88,493	8,849	885	88
0.07	0.2	-1.3	9.7	903,199	90,320	9,032	903	90
0.03	0.1	-1.4	8.1	919,243	91,924	9,192	919	92
0	0	-1.5	6.7	933,193	93,319	9,332	933	93