

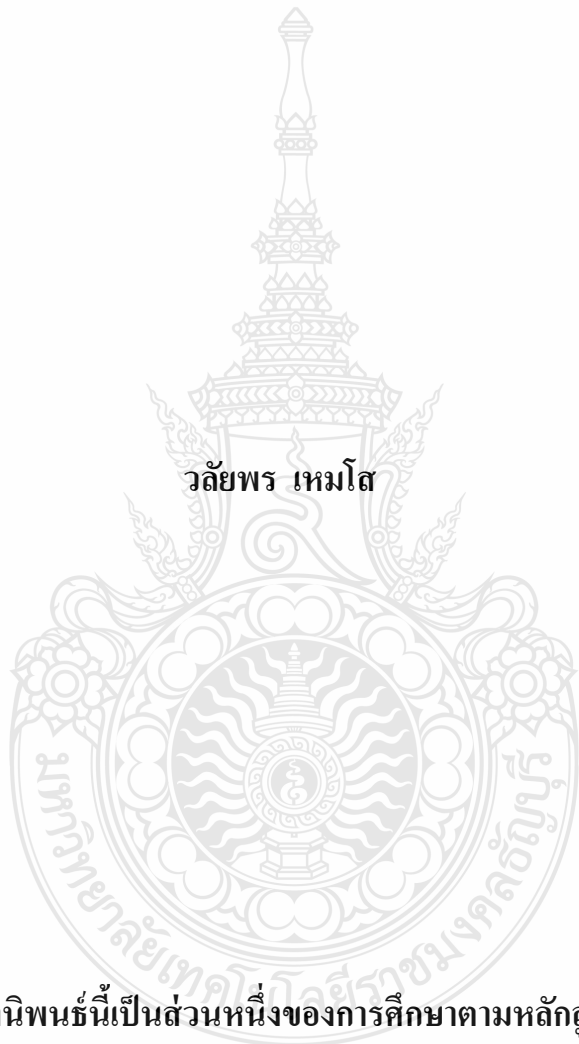
การลดของเสียจากกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์  
โดยประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC

DEFECT REDUCTION FROM BRAKE PADS PRODUCTION  
BY USING DMAIC METHOD

วัลย์พร เหมโส

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2556  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การลดของเสียจากกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์  
โดยประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC



วัลย์พร เหมโส

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2556  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียจากกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ โดยประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC
ชื่อ - นามสกุล	นางสาววลัยพร เหมโส
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ระพี กาญจนะ, D.Eng.
ปีการศึกษา	2556

### บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ โดยประยุกต์ใช้หลักการดีเอ็มเอไอซี ของ ชิกส์ ชิคม่า โดยมุ่งหวังที่จะลดปริมาณของเสีย อันเกิดจากปัญหาชิ้นงานร้าวลง 30% ตามนโยบายของบริษัทตัวอย่าง กระบวนการที่เลือกมาทำการศึกษา คือ กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานร้อนของผ้าเบรครถยนต์โมเดล X068 โดยการควบคุมค่าการอัดตัวของชิ้นงาน อยู่ที่ระหว่าง 50-100 ไมครอน จะทำให้ระบบการวัดดังกล่าวมีความถูกต้องและความแม่นยำสูงขึ้น

ขั้นตอนการศึกษาทั้งหมดแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ขั้นตอนการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น โดยได้ทำการศึกษาความสามารถของกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ 2) ขั้นตอนการวัด เพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา 3) ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยการวิเคราะห์ที่ละสาเหตุ ทีละปัจจัย 4) ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยทำการออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  Full Factorial เพื่อหาความสัมพันธ์และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 และ 5) ขั้นตอนการควบคุมตัวแปรต่างๆ ได้นำวิธีการทางสถิติ มาช่วยในการควบคุมกระบวนการผลิต

หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต ตามหลักการดีเอ็มเอไอซี ของ ชิกส์ ชิคม่า ทำให้พบว่ามีจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานไม่ได้คุณภาพที่กระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานร้อนของผ้าเบรครถยนต์โมเดล X068 ลดลงจากเดิม 6.63% เหลือเพียง 2.58% ของปริมาณของเสียทั้งหมด ดังนั้นการปรับปรุงครั้งนี้สามารถลดปริมาณของเสียลงได้ 61.07% ซึ่งตรงกับเป้าหมายของบริษัทที่วางเอาไว้ที่ 30%

คำสำคัญ : ของเสีย ขึ้นรูปร้อน ชิ้นงานร้าว ดีเอ็มเอไอซี

<b>Thesis Title</b>	Defect Reduction from Brake Pads Production by Using DMAIC Method
<b>Name - Surname</b>	Ms. Walaiporn Hemso
<b>Program</b>	Industrial Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Mrs. Rapee Kanchana, D.Eng.
<b>Academic Year</b>	2013

## ABSTRACT

This research aims to reduce the amount of defects generated within the process of brake pad production by using DMAIC method stage of Six Sigma. According to the case study company's target, the amount of defects caused by pad crack problem should be decreased by 30%. The cure pressing process of disc brake pad model X068 production is selected for this study. In order to accuracy and precision measurement system, the specification of disc brake pad is controlled with the compression value ranging from 50 -100 um.

The research methodology consists of 5 steps: (1) Define phase, the process capability index of disc brake pad production is evaluated, (2) Measure phase, the root causes of problem are determined, (3) Analysis phase, each one factor is analyzed, (4) Improve phase, the design of experiments (DOE) with  $2^k$  Full Factorial is used to investigate the relationship and the optimal value of each factor at a significant level of 0.05, and (5) Control phase, the statistical process control (SPC) is applied to control the process.

After improvement by implementing the DMAIC method, it found that the scrap rate is reduced from 6.63% to 2.58% of all defect rates. Thus, with this improvement the amount of defects can be reduced by 61.07% of company policy.

**Keywords** : defect, press cure, pad crack, DMAIC methodology



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความช่วยเหลือที่ดียิ่งจาก ดร.ระพี กาญจนะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ณฐา คุปต์ชัยเชียร ดร.ชัยยะ ปราณิดพลกรัง กรรมการการสอบและ ดร.เพ็ญสุดา พันธุศรีคำ ผู้ทรงคุณวุฒิ ที่กรุณาได้ให้ความรู้คำปรึกษา แนวคิด ข้อเสนอแนะ ข้อคิดเห็นต่างๆ และตรวจสอบข้อบกพร่อง อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัย ในครั้งนี้ งานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม หลักสูตรปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และเสนอแนะแนวทางต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ จึงขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สำนักงานทะเบียนบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีทุกท่าน ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำระเบียบการจัดทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

วิทยานิพนธ์นี้สามารถเสร็จสิ้นได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และจะไม่สามารถเสร็จสิ้นได้ถ้าปราศจากกำลังใจจากครอบครัว เพื่อนๆ ทุกคน ในการวิจัยครั้งนี้ ถึงแม้จะประสบปัญหาและอุปสรรคต่างๆ มากมาย แต่ด้วยความช่วยเหลือของทุกท่านที่กล่าวมา ณ ที่นี้ทั้งหมดจึงเป็นแรงผลักดันให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

วัลย์พร เหมโส

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(10)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(15)
บทที่ 1 บทนำ.....	17
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	17
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....	22
1.3 สมมติฐานงานวิจัย.....	22
1.4 เป้าหมายและตัวชี้วัดงานวิจัย.....	22
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....	23
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	23
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	24
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมปริทัศน์.....	25
2.1 ข้อมูลทั่วไปของผ้าเบรครถยนต์.....	25
2.2 ประวัติและความเป็นมาของดีเอ็มเอไอซี (DMAIC) ของซิกส์ ซิกมา.....	32
2.3 ความหมายของกระบวนการซิกส์ ซิกมา.....	32
2.4 โครงสร้างทีมบริหารแบบซิกส์ ซิกมา.....	35
2.5 ขั้นตอนการดำเนินงานของ DMAIC.....	37
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	81
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	84
3.1 การศึกษาภาพรวมของกระบวนการการผลิตผ้าเบรค.....	86
3.2 การจัดตั้งทีมงานในการแก้ไขปัญหา.....	87

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 การอบรมเทคนิคซิกม่า ให้กับคณะทำงาน.....	87
3.4 ขั้นตอนการคัดเลือกปัญหา (Define Phase).....	88
3.5 ขั้นตอนการวัด (Measure Phase).....	88
3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase).....	92
3.7 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase).....	95
3.8 ขั้นตอนการควบคุม(Control Phase).....	95
บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย.....	97
4.1 ผลการศึกษาขั้นตอนการขึ้นรูปรีออนผ้าเบรค (Cure Pressing Process).....	97
4.2 การจัดตั้งทีมงานในการแก้ไขปัญหา.....	109
4.3 การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define phase).....	110
4.4 การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure phase).....	114
4.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase).....	131
4.6 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase).....	145
4.7 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase).....	156
4.8 บทสรุปการดำเนินงาน.....	165
4.9 ดำเนินงานการปรับปรุงในส่วนอื่นๆและการตรวจติดตาม.....	166
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	174
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	174
5.2 อภิปรายผลการดำเนินงาน.....	176
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	176
รายการอ้างอิง.....	179
ภาคผนวก.....	183
ภาคผนวก ก ข้อมูลที่ใช้ประกอบในการทำวิทยานิพนธ์.....	184
ภาคผนวก ข อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับโมเดล X068.....	194

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ค ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Minitab .....	197
ภาคผนวก ง ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	210
ประวัติผู้เขียน.....	226



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 รายการสินค้าส่งออกต่างประเทศในปี 2555- ไตรมาสแรก ปี 2556 .....	18
ตารางที่ 1.2 ปริมาณงานที่ไม่ได้คุณภาพของสายการผลิตชนิดขึ้นรูปรีด (Cure Pressing) ในเดือนมกราคม – กรกฎาคม 2553 .....	19
ตารางที่ 1.3 ปริมาณงานไม่ได้คุณภาพ โดยแยกตามกระบวนการผลิต(มกราคม-กรกฎาคม 2553).....	20
ตารางที่ 1.4 เปอร์เซ็นต์งานไม่ได้คุณภาพ โดยจำแนกตามโมเดล (มกราคม-กรกฎาคม 2553)	20
ตารางที่ 1.5 เปอร์เซ็นต์งานที่ไม่ได้คุณภาพ โมเดล X068 เมื่อเทียบกับงานที่ทำการผลิต 103,428 ชิ้น .....	21
ตารางที่ 1.6 ปริมาณงานไม่ได้คุณภาพ โดยแยกตามประเภทของชิ้นงาน โมเดล X068 (มกราคม- กรกฎาคม 2553) .....	21
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระหว่างอัตราของเสีย (PPM) ที่ระดับคุณภาพซีกมาต่างๆ.....	34
ตารางที่ 2.2 สรุปความหมายของค่าดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ .....	44
ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนขั้นตอนการไหลของกระบวนการ (Process Mapping).	46
ตารางที่ 2.4 เกณฑ์การให้ลำดับชั้นผลกระทบของความรุนแรง (S: Severity) .....	55
ตารางที่ 2.5 การให้ลำดับโอกาสเกิดความผิดพลาด (O: Occurrence).....	56
ตารางที่ 2.6 โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ (D: Detection).....	56
ตารางที่ 2.7 ความสัมพันธ์กับลักษณะของสมมติฐานทางเลือก .....	62
ตารางที่ 2.8 สัญลักษณ์ของผลกระทบ หรืออิทธิพลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยและความสัมพันธ์ ร่วมกันระหว่างปัจจัย .....	72
ตารางที่ 2.9 สัญลักษณ์ของปัจจัยและระดับปัจจัย .....	72
ตารางที่ 2.10 สัญลักษณ์ของผลรวมข้อมูลการทดลองในแต่ละวิธีปฏิบัติ .....	72
ตารางที่ 2.11 ชนิดของข้อมูล .....	77
ตารางที่ 2.12 การเลือกแผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลตัวแปรใช้กับกระบวนการเชิงป้องกัน .....	77
ตารางที่ 2.13 การเลือกแผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลคุณสมบัติใช้กับกระบวนการ เชิงแก้ปัญหา .....	78
ตารางที่ 2.14 สูตรในการคำนวณขอบเขตควบคุม.....	78
ตารางที่ 2.15 ค่าคงที่สำหรับการคำนวณขอบเขตควบคุม .....	79

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ .....	113
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ .....	119
ตารางที่ 4.3 ผลสรุปลำดับคะแนนในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบที่สำคัญ .....	122
ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ระบบการวัดพนักงานตรวจสอบชิ้นงานรีว .....	123
ตารางที่ 4.5 มาตรฐานแรงอัดที่กำหนดโดยลูกค้ำ (Friction Compression Requirement) .....	127
ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องทดสอบการอัดผ้าเบรก .....	128
ตารางที่ 4.7 ข้อมูลผลการทดสอบการอัดตัวของชิ้นงานที่ระดับอุณหภูมิ 140 °C และ 160 °C .....	135
ตารางที่ 4.8 ข้อมูลผลการทดสอบการอัดตัวของชิ้นงานที่จำนวนการอัด-คาย 4 และ 7 รอบ .....	137
ตารางที่ 4.9 ข้อมูลผลการทดสอบการอัดตัวของชิ้นงานที่ระดับระยะช่องว่างการคายก๊าซ 1 และ 5 mm .....	139
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบการอัดตัวของชิ้นงานที่ระยะเวลาการอัดตัวของเครื่องจักร .....	141
ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบการอัดตัวของชิ้นงานที่ระดับแรงดัน 8/8 ตัน และ 8/4 ตัน .....	143
ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานของข้อบกพร่องทั้ง 5 ปัจจัย .....	145
ตารางที่ 4.13 คุณลักษณะของปัจจัยป้อนเข้าในแบบการทดลอง .....	146
ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองแบบ 2 <sup>3</sup> Full Factorial .....	147
ตารางที่ 4.15 ผลการนำเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหาชิ้นงานรีวของกระบวนการ ขึ้นรูปชิ้นงานรีว (Cure Pressing) .....	151
ตารางที่ 4.16 ปัญหาหลัก 7 อันดับในกระบวนการผลิตผ้าเบรกรถยนต์ ของโมเดล X068 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ.2553 .....	161
ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการก่อน-หลังการปรับปรุง .....	165
ตารางที่ 4.18 การนำเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหาชิ้นงานเสียจากกระบวนการอื่นๆ ...	167
ตารางที่ 4.19 สรุปปัญหาที่ดำเนินการแก้ไขเพิ่มเติมในกระบวนการผลิตผ้าเบรกรถยนต์ ของโมเดล X068 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2553- พฤษภาคม พ.ศ.2554 .....	171
ตารางที่ 5.1 สรุปแนวทางการแก้ไขปัญหาผ้าเบรกรีว .....	174
ตารางที่ 5.2 สรุปแนวทางในการแก้ไขปัญหาชิ้นงานไม่ได้คุณภาพอื่นๆ .....	175

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 แนวโน้มการใช้จ่ายภาคครัวเรือนที่เป็นไปในแนวทางเดียวกับปริมาณการผลิต และปริมาณจำหน่ายรถยนต์ในประเทศ .....	17
รูปที่ 2.1 จุดที่ทำการประกอบเบรคในรถยนต์ .....	26
รูปที่ 2.2 ระบบและส่วนประกอบของเบรค .....	26
รูปที่ 2.3 ลักษณะการประกอบคิสเบรครถยนต์ .....	27
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างครัมเบรครถยนต์ (Drum Brake Pad) .....	28
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างจำนวนผ้าเบรค 18 ชิ้น ที่ผ่านการขึ้นรูปร้อนจากเครื่องจักรขนาด 600 ตัน .....	28
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างแม่พิมพ์และชิ้นงานที่ขึ้นรูปแบบเย็นแบบ 2 ชิ้นงาน .....	29
รูปที่ 2.7 เครื่องทดสอบไดนาโมและโรเตอร์ขณะทำการทดสอบ .....	30
รูปที่ 2.8 การทดสอบด้านเสียงทั้งในห้องทดลองและการทดสอบวิ่งจริง .....	31
รูปที่ 2.9 การทดสอบเสียงโดยกล้องเลเซอร์ และเครื่องทดสอบแรงสั่นสะเทือน (Laser Camera & Laser Vibrometer).....	31
รูปที่ 2.10 ลักษณะการกระจายตัวแบบปกติและระดับของเสียง .....	34
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างโครงสร้างของทีมงาน ซิกส์ ซิกมา .....	35
รูปที่ 2.12 แสดงขั้นตอนการดำเนินการตามวิธีการดีเอ็มเอไอซี .....	38
รูปที่ 2.13 แผนภูมิพาเรโตวิเคราะห์ 10 ปัญหาคุณภาพเครื่องเจาะ ใอน้ำ.....	39
รูปที่ 2.14 ตัวอย่างกราฟ P-Chart .....	43
รูปที่ 2.15 ตัวอย่างขั้นตอนในการไหลของกระบวนการ (Process Mapping) .....	46
รูปที่ 2.16 ความแตกต่างของการวิเคราะห์ความถูกต้อง และความแม่นยำ.....	48
รูปที่ 2.17 โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผลแบบวิเคราะห์ความผันแปร .....	51
รูปที่ 2.18 โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผลแบบจำแนกตามกระบวนการ .....	51
รูปที่ 2.19 โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผลแบบกำหนดรายการสาเหตุ .....	52
รูปที่ 2.20 ตัวอย่างการจัดทำแผนภาพพาเรโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา .....	58
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างกราฟ Interaction Plots กรณีไม่พบผลกระทบร่วม .....	69
รูปที่ 2.22 กราฟอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย (2-Factor Interactions) .....	70
รูปที่ 2.23 วิธีการของการเฝ้าติดตาม .....	76

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.24 การกระจายของจุดบนแผนภูมิควบคุมแสดงความผิดปกติในกระบวนการผลิต .....	81
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	84
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างลักษณะผลิตภัณฑ์ผ้าเบรกโมเดล X068 .....	86
รูปที่ 3.3 ชิ้นงานที่นำมาทดสอบหมายเลข FF2.....	86
รูปที่ 3.4 บรรยากาศการฝึกอบรมและการทำแบบทดสอบของทีมงาน .....	87
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา.....	93
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างผ้าเบรครถยนต์ FF2 (Disc Brake Pad).....	97
รูปที่ 4.2 กระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์.....	98
รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการล้างเหล็กทรงหลัง .....	99
รูปที่ 4.4 ชิ้นงานหลังจากที่ผ่านกระบวนการยิงผิวงานด้วยเม็ดเหล็ก .....	99
รูปที่ 4.5 การเคลือบกาว (Adhesive Coating) บนเหล็กทรงหลัง .....	100
รูปที่ 4.6 เครื่องอบกาวและเหล็กทรงหลังที่ผ่านขั้นตอนการอบกาวให้แห้ง.....	100
รูปที่ 4.7 การชั่งน้ำหนักเคมีภัณฑ์และการเตรียมเคมีภัณฑ์ .....	101
รูปที่ 4.8 ถังผสมเคมี (Mixing tank) และการปรับตั้งค่า (Mixing Program Setup).....	101
รูปที่ 4.9 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนชนิด 160 ตัน.....	102
รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการตั้งค่าแรงดัน, อุณหภูมิ และรอบเวลาของการอัดขึ้นรูป .....	102
รูปที่ 4.11 การไหลคองผ้าเบรกลงในแม่พิมพ์ก่อนที่จะทำการอัดขึ้นรูปร้อน .....	103
รูปที่ 4.12 วางเหล็กทรงหลังบนแม่พิมพ์ก่อนทำการอัด และลักษณะชิ้นงานที่ทำการขึ้นรูป แล้วเสร็จ .....	103
รูปที่ 4.13 เตาอบผ้าเบรกและลักษณะสีของผ้าเบรกที่ผ่านกระบวนการอบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว.....	104
รูปที่ 4.14 เครื่องปาดหน้าผ้าเบรก (Grinding) และชิ้นงานตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการ .....	104
รูปที่ 4.15 เครื่องเผาหน้าผ้าเบรก และลักษณะหน้าผ้าเบรกที่ผ่านกระบวนการการเผาหน้าผ้า.....	105
รูปที่ 4.16 ลักษณะชิ้นงานที่ผ่านการทำสีผ้าเบรก (Painting Process) .....	105
รูปที่ 4.17 เครื่องพิมพ์ข้อความ (Ink Jet Marking) และลักษณะตัวอย่างที่ผ่านการพิมพ์ .....	106
รูปที่ 4.18 ตัวอย่างชิ้นงานที่ทำการประกอบชิ้นส่วนย่อย (Accessory).....	106
รูปที่ 4.19 เครื่องทดสอบความแข็งผิวหน้าผ้าเบรก (Rockwell Hardness: HRR).....	107
รูปที่ 4.20 เครื่องทดสอบแรงเฉือนและลักษณะชิ้นงานหลังจากที่ทำการทดสอบ .....	107



## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.21 เครื่องทดสอบความหนาแน่นของเนื้อผ้าเบรคและลักษณะตัวอย่างชิ้นงาน ที่นำมาทำการทดสอบ.....	107
รูปที่ 4.22 ตัวอย่างการบรรจุภัณฑ์ผ้าเบรคและตัวอย่างการบรรจุชิ้นงานลงกล่อง.....	108
รูปที่ 4.23 ตัวอย่างการบรรจุชิ้นงานลงกล่องเพื่อเตรียมจัดส่งให้ลูกค้า.....	108
รูปที่ 4.24 โครงสร้างของทีมงานในการแก้ไขปัญหาชิ้นงานร้าว .....	109
รูปที่ 4.25 แผนภาพพาเรโตจำแนกตามลักษณะอาการของปัญหา.....	110
รูปที่ 4.26 แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียช่วงเดือนมกราคม -กรกฎาคมพ.ศ. 2553 .....	111
รูปที่ 4.27 กระบวนการที่จะก่อให้เกิดปัญหาผ้าเบรคร้าว .....	115
รูปที่ 4.28 ตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปร้อน, การอบ และการเผาหน้าผ้าเบรค ที่รอยใหญ่ขึ้น.....	116
รูปที่ 4.29 ตัวอย่างชิ้นงานที่ตัดเพื่อดูรอยร้าวภายในเนื้อผ้าเบรค .....	116
รูปที่ 4.30 แผนภาพเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาชิ้นงานร้าว .....	117
รูปที่ 4.31 แผนภาพพาเรโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา.....	121
รูปที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับ.....	124
รูปที่ 4.33 กราฟการประมาณค่าแบบช่วงเปอร์เซ็นต์รีพีทเทเบิลิตีและเปอร์เซ็นต์รีโพรดิวซิเบิลิตี	125
รูปที่ 4.34 ตัวอย่างชิ้นงานที่นำมาใช้ทำการทดสอบ.....	126
รูปที่ 4.35 เครื่องทดสอบแรงอัด (Link Compression Machine) .....	126
รูปที่ 4.36 ตัวอย่างกราฟระหว่างการทดสอบการอัดผ้าเบรค (Compressibility Test) .....	127
รูปที่ 4.37 การทวนสอบข้อมูลการวัดการอัดตัวของผ้าเบรค.....	130
รูปที่ 4.38 ผลการคำนวณ Gage R&R จากโปรแกรม Minitab .....	130
รูปที่ 4.39 กระบวนการการวิเคราะห์ที่ละสาเหตุทีละปัจจัย (One Factor at a Time) .....	131
รูปที่ 4.40 ลักษณะตัวอย่างการทดสอบการอัด โดยเครื่องทดสอบแรงอัดผ้าเบรค .....	132
รูปที่ 4.41 ผลลัพธ์การคำนวณจำนวนตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน .....	133
รูปที่ 4.42 ชิ้นงานที่ทำการผลิตที่อุณหภูมิ 140 °C และ 160 °C.....	134
รูปที่ 4.43 ลักษณะคล้ายรอยร้าว (Suspect crack) ของชิ้นงานที่ผลิตที่อุณหภูมิ 140 °C .....	134
รูปที่ 4.44 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการอัดชิ้นงานที่อุณหภูมิ 140 °Cและ 160 °C..	135
รูปที่ 4.45 ชิ้นงานที่ทำการผลิตจากการขึ้นรูปที่ 4 รอบ (Bump)และ 7 รอบ (Bump).....	136

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.46 รูปภาพชิ้นงานที่หลังจากทำการผลิตที่ 7 รอบ (Bump).....	137
รูปที่ 4.47 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการอัด-คายชิ้นงานที่ 4 รอบ และ 7 รอบ.....	137
รูปที่ 4.48 ชิ้นงานที่ผลิตที่ระยะช่องว่างการคายก๊าซ 1 mm และ 5mm.....	139
รูปที่ 4.49 ตัวอย่างชิ้นงานที่รั่วภายในแต่ค่าแรงอัดอยู่ที่ 93.1 ไมครอน (um) .....	139
รูปที่ 4.50 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการอัดชิ้นงานที่ช่องว่างการคายก๊าซ 1 และ 5 mm.....	140
รูปที่ 4.51 ชิ้นงานที่ทำการผลิตที่ระยะเวลาการอัด 90 วินาทีและ 130 วินาที .....	141
รูปที่ 4.52 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการอัดชิ้นงานที่ระยะเวลาการอัด (Dwell Time) ต่างกัน.....	142
รูปที่ 4.53 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองที่ 8/8 ต้นและ 8/4 ต้น .....	143
รูปที่ 4.54 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการอัดชิ้นงานที่แรงดัน 8/8 ต้นและ 8/4 ต้น .	144
รูปที่ 4.55 ผลการวิเคราะห์ค่า P-value ของ 2 <sup>3</sup> Full Factorial โดยโปรแกรม Minitab.....	148
รูปที่ 4.56 พารโตกราฟผลการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม ที่ส่งผลต่อค่าแรงอัด.....	149
รูปที่ 4.57 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม Response Optimizer .....	150
รูปที่ 4.58 ผิวของผ้าเบรค ก่อนการปรับปรุงชิ้นงานจะมีลักษณะรอยร้าวเล็กๆอยู่ทั่วไป.....	152
รูปที่ 4.59 ผิวของผ้าเบรคหลังการปรับปรุง ลักษณะผิวชิ้นงานจะเรียบมัน.....	152
รูปที่ 4.60 ผิวหน้าของผ้าเบรคหลังการทดสอบการใช้งานก่อนและหลังการปรับปรุง.....	153
รูปที่ 4.61 กราฟ Capability Sixpack of X068 ก่อนและหลังการดำเนินการปรับปรุง.....	154
รูปที่ 4.62 สุ่มตรวจรอยร้าวภายในเนื้อผ้าเบรค ผลลัพธ์คือไม่พบรอยร้าวภายในเนื้อผ้าเบรค .....	155
รูปที่ 4.63 เอกสารมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Standard Operation Procedure) .....	156
รูปที่ 4.64 ตัวอย่างเอกสารการผลิต (Manufacturing Operation Card).....	157
รูปที่ 4.65 การปรับตั้งอุณหภูมิและพารามิเตอร์ที่เครื่องขึ้นรูปร้อน.....	158
รูปที่ 4.66 การใช้เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิผิว (Thermocouple) ในการตรวจวัดอุณหภูมิ .....	158
รูปที่ 4.67 หัวหน้าไลน์ผลิตขึ้นรูปร้อนทำการจดบันทึกค่าที่อ่านได้ลงในเอกสาร MOC.....	158
รูปที่ 4.68 แผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$ สำหรับค่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่วัดได้.....	159

## สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.69 สรุปผลการดำเนินการแก้ไขปัญหาชิ้นงานไม่ได้คุณภาพก่อนและหลังการปรับปรุง โมเดล X068).....	162
รูปที่ 4.70 แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-chart) ช่วง เดือนตุลาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2553....	163
รูปที่ 4.71 แสดงค่าชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตที่ลดลง 36.65% .....	166
รูปที่ 4.72 ลักษณะชิ้นงานเลื่อน (Slip) ซึ่งเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้ชิ้นเสียรูป .....	168
รูปที่ 4.73 ตัวอย่างของแบบ (Drawing) ที่ใช้สำหรับตรวจเช็คเทียบกับชิ้นงานจริง.....	168
รูปที่ 4.74 เอกสารตัวอย่าง (Limit Sample) ที่ติดหน้ากระบวนการผลิตชิ้นรูปร้อน .....	169
รูปที่ 4.75 ตัวอย่างชิ้นงานบิ่น (Clip) จากกระบวนการขนย้ายชิ้นงาน.....	169
รูปที่ 4.76 ลักษณะ โต๊ะวางงานและสายพานลำเลียงชิ้นงานหลังจากทำการปรับปรุง.....	170
รูปที่ 4.77 ลักษณะชิ้นงานชิมไม่เต็มรูป (Pocket Not Full) .....	170
รูปที่ 4.78 เครื่องมือช่วยในการเกลี่ยผงผ้าเบรค.....	171
รูปที่ 4.79 สรุปผลการดำเนินการแก้ไขปัญหาชิ้นงานเลื่อน (Slip), ปัญหาชิ้นงานบิ่น (Clip) และปัญหาชิ้นงานชิมไม่เต็มรูป (Pocket not full) ก่อนและหลังการปรับปรุง .....	172
รูปที่ 4.80 สรุปผลการดำเนินการแก้ไขปัญหาชิ้นงานเลื่อน (Slip), ปัญหาชิ้นงานบิ่น (Clip) และปัญหาชิ้นงานชิมไม่เต็มรูป (Pocket not full) ก่อนและหลังการปรับปรุง .....	173
รูปที่ 5.1 สรุปผลการแก้ไขจากการดำเนินงานทั้งสองครั้ง .....	176

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AM	After Market
COPQ	Cause of Poor Quality
Cpk	Process Capability Index
CTQ	Critical to Quality
DOE	Design of Experiment
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
Gage R&R	Gage Repeatability & Reproducibility
KPIV	Key Process Input Value
KPOV	Key Process Output Value
LSL	Lower Specification Limit
MOC	Manufacturing Operation Card
MSA	Measurement System Analysis
NAO	Non Asbestos Organic
NESDB	National Economic and Social Development Board
O	Occurrence
OEM	Original Equipment Manufacturer
PPM	Part Per Million
P-value	Probability value
QC	Quality Control
QCC	QC Circle
QFD	Quality Function Deployment
RPN	Rick Priority Number
S	Severity
SD	Standard Deviation
SOP	Standard Operation Procedure
SPC	Statistical Process Control
TPS	Toyota Production System

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

TQM	Total Quality Management
USL	Upper Specification Limit
VCS	Vehicle Control System
VDG	Vent Distance Gap
WI	Work Instruction

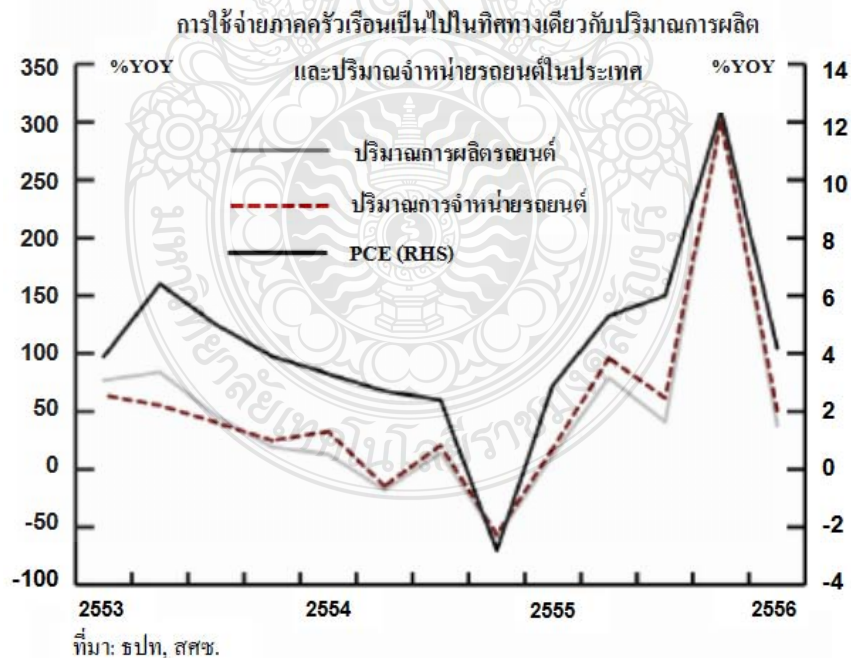


# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์และอุปกรณ์ชิ้นส่วนรถยนต์ มีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อสภาพเศรษฐกิจของประเทศไทย เนื่องจากมีการปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลให้สถานะการลงทุนขยายตัวเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังข้อมูลจาก สำนักยุทธศาสตร์และการวางแผนเศรษฐกิจมหภาค (NESDB) ได้เปิดเผยว่า ไตรมาสที่ 4 ในปี 2553 ปริมาณการจำหน่ายรถยนต์อยู่ที่ 20.7% จากนั้นไตรมาสที่ 4 ปี 2554 ปริมาณการจำหน่ายรถยนต์เกิดการหดตัว 56.3% และในไตรมาสสุดท้ายของปี 2555 ปริมาณการจำหน่ายรถยนต์ขยายตัว 300.2% และตลอดทั้งปี 2555 ปริมาณการจำหน่ายรถยนต์มีการขยายตัว 89.0% ทั้งนี้ การจำหน่ายรถยนต์ในประเทศไทยทั้งปีสูงถึง 1.25 ล้านคัน เทียบกับค่าเฉลี่ยประมาณ 500,000 – 700,000 คันต่อปี และมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากนโยบาย การสนับสนุนรถยนต์คันแรกของรัฐบาล [1]



รูปที่ 1.1 แนวโน้มการใช้จ่ายภาคครัวเรือนที่เป็นไปในแนวทางเดียวกับปริมาณการผลิตและปริมาณจำหน่ายรถยนต์ในประเทศ [1]

จากข้อมูลการส่งออก แสดงดังตารางที่ 1.1 พบว่ายอดการส่งออกสินค้าอุตสาหกรรมไปยังต่างประเทศมีการขยายตัวของการส่งออก โดยได้รับปัจจัยสนับสนุนมาจากการขยายตัวของอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ ซึ่งได้รับปัจจัยสนับสนุนจากต้นทุนที่ต่ำและการขยายกำลังการผลิตรถยนต์อย่างต่อเนื่องในปีที่ผ่านมา สังเกตได้จากอัตราการส่งออกของรถยนต์เฉลี่ยในปี 2555 อยู่ที่ 26.3% ของสินค้าส่งออกทั้งหมด และไตรมาสแรกในปี 2556 มีเปอร์เซ็นต์การส่งออกอยู่ที่ 16.8% เมื่อเทียบกับไตรมาสแรกของปี 2555 ซึ่งถือว่ามียอดการส่งออกรถยนต์ที่สูงกว่า

ตารางที่ 1.1 รายการสินค้าส่งออกต่างประเทศในปี 2555- ไตรมาสแรก ปี 2556 [1]

%YoY	2555					2556				
	ทั้งปี	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	สัดส่วน Q1/56
สินค้าเกษตร	-22.1	-25.4	-23.1	-25.4	-13.6	3.2	13.4	-10.7	8.9	8.6
ข้าว	-28.0	-38.7	-36.9	-34.1	5.0	8.6	31.3	-20.2	22.9	1.9
ยาง	-31.1	-26.6	-27.5	-39.7	-30.6	-8.7	-2.7	-11.8	-11.1	4.2
มันสำปะหลัง	9.0	-10.5	33.3	11.1	10.6	34.9	27.0	2.3	101.1	1.2
สินค้าอุตสาหกรรม	6.1	2.0	6.1	-4.8	25.4	8.1	22.9	-0.6	4.9	88.5
สินค้าเกษตรแปรรูป	4.1	12.9	3.6	-3.2	4.4	-1.7	7.0	-9.7	-0.9	12.2
น้ำตาล	8.9	40.8	3.1	8.7	-27.0	-37.4	-35.7	-43.2	-31.7	1.3
สิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม	-12.0	-15.3	-15.7	-15.5	0.5	1.3	12.9	-3.6	-3.7	3.3
อิเล็กทรอนิกส์	0.9	-8.3	3.8	-14.7	34.4	3.6	31.6	2.6	-11.3	13.9
เครื่องใช้ไฟฟ้า	2.2	-7.9	1.0	-8.7	35.2	13.4	16.5	13.4	11.2	5.3
ผลิตภัณฑ์โลหะ	21.3	-5.4	-0.6	24.2	72.3	55.9	97.9	65.0	18.1	6.0
ยานยนต์	26.3	2.6	33.7	10.3	77.0	16.8	35.6	4.1	14.9	13.7
ทองคำ	12.8	-14.7	-34.1	130.1	-36.0	-86.8	-94.3	-87.7	-36.9	0.4

ด้วยเหตุนี้เองอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ จึงมีความจำเป็นจะต้องพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อเพิ่มจำนวนการผลิตให้ทันต่อการจัดส่งและต้องทำการผลิตชิ้นส่วนที่มีคุณภาพ เพื่อที่จะตอบสนองต่อความต้องการของผู้ผลิตรถยนต์ เช่นกัน แนวทางการลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องให้น้อยลง จึงเป็นวิธีการหนึ่งในการเพิ่มจำนวนการผลิต และยังช่วยในการปรับปรุงคุณภาพการผลิตและผลิตภัณฑ์ ดังนั้น โรงงานอุตสาหกรรมยานยนต์และอุปกรณ์ชิ้นส่วนยานยนต์ จึงจำเป็นต้องหาเครื่องมือและวิธีการเพื่อลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องให้

ได้มากที่สุด และเพื่อให้ได้ผลประโยชน์ที่สูงที่สุด ซึ่งการลดต้นทุนดังกล่าวจะต้องไม่กระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้า โดยการลดต้นทุนด้วยการบริหารคุณภาพ (Quality Management) ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยเน้นเป้าหมายที่สำคัญ คือ ให้กระบวนการผลิตทุกขั้นตอนเป็นไปอย่างมีคุณภาพ ซึ่งต้องไม่มีผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องเกิดขึ้นและเพื่อลดต้นทุน จากการผลิตผลิตภัณฑ์ที่บกพร่อง และจากการซ่อมแซมผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ดี จึงมีกลยุทธ์ที่ถูกนำมาใช้ เช่น หลักการ ซิกส์ ซิกม่า (Six Sigma) [2] กระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ (Lean Manufacturing) [3] การจัดการคุณภาพเชิงรวม (TQM: Total Quality Management) [4] และ TPS (Toyota Production System) [5] เป็นต้น

เช่นเดียวกันกับกรณีบริษัทตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ที่ผลิตภัณฑ์หลักของบริษัท เป็นผ้าเบรครถยนต์ ซึ่งบริษัทมีนโยบายที่จะทำการผลิตสินค้าให้เกิดคุณภาพสูงสุด และมีความต้องการที่จะปรับปรุงโรงงานอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากฐานการผลิตในประเทศไทยเป็นแหล่งการผลิตของตลาดหลังการขาย (After Market: AM) ที่ส่งออกไปยังต่างประเทศทั่วโลก ทางผู้บริหารจึงมีนโยบายที่จะทำการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อให้สามารถผลิตชิ้นงานได้ทันเวลา และลดของเสียในกระบวนการผลิต ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้น ในกระบวนการผลิต พบว่ามีปัญหาของเสียจำนวนมากในสายการผลิตชนิดขึ้นรูปร้อน (Cure Pressing) ซึ่งปัญหาที่พบ ได้จำแนกไว้ ดังตารางที่ 1.2 แสดงข้อมูลปริมาณงานที่ไม่ได้คุณภาพของสายการผลิตชนิดขึ้นรูปร้อน ในเดือนมกราคม – กรกฎาคม 2553 หลังการเก็บข้อมูล สามารถแสดงยอดการผลิตต่อของเสียในแต่ละเดือนได้ดังนี้

ตารางที่ 1.2 ปริมาณงานที่ไม่ได้คุณภาพของสายการผลิตชนิดขึ้นรูปร้อน (Cure Pressing) ในเดือนมกราคม – กรกฎาคม 2553

เดือน	ยอดการผลิต(ชิ้น)	ของเสีย(ชิ้น)	%ของเสีย
มกราคม	110,196	1,856	1.68
กุมภาพันธ์	100,216	2,867	2.86
มีนาคม	46,680	1,173	2.51
เมษายน	53,624	1,516	2.83
พฤษภาคม	61,628	1,808	2.93
มิถุนายน	32,572	2,983	9.16
กรกฎาคม	29,848	1,791	6.00
รวม	454,268	13,994	3.22



จะเห็นได้ว่าปริมาณงานที่ไม่ได้คุณภาพของสายการผลิตชนิดขึ้นรูปร้อน ในช่วงเดือน มกราคม-กรกฎาคม 2553 มีสัดส่วนของเสียโดยรวมอยู่ที่ 3.22% ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาข้อมูล ของการเกิดของเสียโดยแยกตามกระบวนการของสายการผลิตชนิดขึ้นรูปร้อน ซึ่งมีอยู่ 5 ขั้นตอนหลัก ดังตารางที่ 1.3 พบว่ากระบวนการขึ้นรูปร้อน (Cure Pressing) และกระบวนการเผาหน้าผ้าเบรค (Scorching) มีปริมาณการเกิดของเสียมากที่สุด

ตารางที่ 1.3 ปริมาณงานไม่ได้คุณภาพ โดยแยกตามกระบวนการผลิต (มกราคม-กรกฎาคม 2553)

เดือน	กระบวนการ					รวม
	ขึ้นรูปร้อน (Press Cure)	เผาหน้าผ้า (Scorching)	อบร้อน (Oven Cure)	อบสี (Finishing)	บรรจุ (Packing)	
มกราคม	1,768	0	358	124	0	2,250
กุมภาพันธ์	2,105	99	233	0	0	2,437
มีนาคม	1,478	483	0	0	0	1,961
เมษายน	1,442	1,093	0	0	0	2,535
พฤษภาคม	1,771	437	0	0	49	2,257
มิถุนายน	415	499	0	50	27	991
กรกฎาคม	697	816	0	0	50	1,563
<b>รวม</b>	<b>9,676</b>	<b>3,427</b>	<b>591</b>	<b>174</b>	<b>126</b>	<b>13,994</b>
<b>คิดเป็น %</b>	<b>2.23</b>	<b>0.79</b>	<b>0.14</b>	<b>0.04</b>	<b>0.03</b>	<b>3.22</b>

จากจำนวนของเสียทั้งหมด 13,994 ชิ้น พบว่าโมเดล X068 เป็นโมเดลที่พบปัญหาชิ้นงาน ไม่ได้คุณภาพมากที่สุด จากยอดการผลิตทั้งหมด 103,428 ชิ้น โดยพบของเสียจำนวน 6,868 ชิ้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของเสียเท่ากับ 6.63% แสดงดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 เปอร์เซนต์งานไม่ได้คุณภาพ โดยจำแนกตามโมเดล (มกราคม-กรกฎาคม 2553)

โมเดล	ยอดการผลิต(ชิ้น)	ของเสีย(ชิ้น)	%ของเสีย
X068	103,428	6,868	6.63
AA039	28,317	1,587	5.60
AA003	78,944	3,289	4.17
AA004	243,579	9,950	4.08
<b>รวม</b>	<b>454,268</b>	<b>13,994</b>	<b>3.22</b>

ทำการแยกประเภทของปัญหางานเสียที่เกิดขึ้นของโมเดล X068 โดยแสดงดัง ตารางที่ 1.5 จากข้อมูลจะพบว่าเกิดปัญหางานร้าวถึง 4.01% ของชิ้นงานโมเดล X068 ที่ทำการผลิต หรือคิดเป็น 60.37% จากปัญหาคุณภาพของโมเดล X068 ทั้งหมด และเมื่อคิดเป็นมูลค่าความเสียหายมีค่าเท่ากับ 373,554.60 บาท (มกราคม – กรกฎาคม 2553)

ตารางที่ 1.5 เปอร์เซ็นต์งานที่ไม่ได้คุณภาพโมเดล X068 เมื่อเทียบกับงานที่ทำการผลิต 103,428 ชิ้น

รายการ	จำนวนของเสีย(ชิ้น)	%ของเสีย
1.งานร้าว (Crack)	4,146	4.01
2.งานเลื่อน (Slip)	1,298	1.25
3.ไม่เต็ม (Not Full)	894	0.86
4.งานบิ่น (Clip)	197	0.19
5.เครื่องจักร (M/C)	168	0.16
6.มีเม็ดโลหะ(Color)	106	0.10
7.งานเหลือ (Unset)	59	0.06
<b>รวม</b>	<b>6,868</b>	<b>6.63</b>

นำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาอัตราส่วนของปัญหางานเสียที่เกิดขึ้น ได้ดังตารางที่ 1.6

ตารางที่ 1.6 ปริมาณงานไม่ได้คุณภาพ โดยแยกตามประเภทของชิ้นงานโมเดล X068 (มกราคม-กรกฎาคม 2553)

รายการ	สรุป		%มูลค่าความเสียหาย
	จำนวน(ชิ้น)	มูลค่า(บาท)	
1.งานร้าว (Crack)	4,146	373,554.60	60.37
2.งานเลื่อน (Slip)	1,298	116,949.80	18.90
3.ไม่เต็ม (Not Full)	894	80,549.40	13.20
4.งานบิ่น (Clip)	197	17,749.70	2.87
5.เครื่องจักร (M/C)	168	15,136.80	2.45
6.มีเม็ดโลหะ(Color)	106	9,550.60	1.54
7.งานเหลือ (Unset)	59	5,315.90	0.86
<b>รวม</b>	<b>6,868</b>	<b>618,806.80</b>	<b>100.00</b>

ซึ่งปัญหาชิ้นงานร้าวที่เกิดขึ้นนั้น เกิดขึ้นที่กระบวนการขึ้นรูปรีออน (Cure Pressing) โดยมีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอยู่ที่ 60.37% เมื่อเทียบกับปริมาณของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้น ในกระบวนการและมีมูลค่าความเสียหายระหว่างการผลิตเป็นมูลค่า 373,554.60 บาท หรือ 53,365 บาทต่อเดือน จะพบว่าของเสียที่เกิดขึ้นนี้ไม่สามารถนำกลับไปทำใหม่ (Rework) ได้ จึงจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคที่มีความเหมาะสมมาทำการปรับปรุงสภาพการผลิต เพื่อให้ลดต้นทุน ที่สูญเสียไปจากการผลิตชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพ และเพื่อให้ได้งานที่มีคุณภาพสามารถที่จะแข่งขันในตลาดได้

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นว่าแนวทางการแก้ไขปัญหาโดย DMAIC ของซิกส์ ซิกม่า จึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหา โดยผู้วิจัยพบว่าวิธีการ DMAIC ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาในหลายองค์กร และประสบความสำเร็จ เช่น การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียม [6] การลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการประกอบสปินเดิลมอเตอร์ [7] และการลดของเสียแขนจับหัวอ่านด้วยวิธีการซิกส์ ซิกม่า [8] เป็นต้น หรือในต่างประเทศเองก็ได้มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย เช่น การจัดการการให้บริการของธนาคาร [9] หรือการปรับปรุงกระบวนการผลิตแผงวงจร [10] เป็นต้น จึงเห็นได้ว่าวิธีการ DMAIC นี้ น่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาช่วยแก้ปัญหาชิ้นงานร้าวในกระบวนการการผลิตผ้าเบรครถยนต์ที่เกิดขึ้นได้

## 1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

เพื่อลดปริมาณชิ้นงานไม่ได้คุณภาพที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์โมเดล X068 ลง 30 % โดยประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC ของซิกส์ ซิกม่า

## 1.3 สมมติฐานงานวิจัย

เมื่อนำแนวทาง DMAIC มาช่วยในการปรับปรุงกระบวนการจะทำให้ระบบการดำเนินการลดของเสียมีความเป็นลำดับและชัดเจน สามารถวิเคราะห์ปัญหาและรากเหง้าของสาเหตุเพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการผลิต เช่นกันนั้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต ของบริษัท ภิรมย์ศึกษาและสามารถทำให้ปริมาณของเสียลดลงได้ 30%

## 1.4 เป้าหมายและตัวชี้วัดงานวิจัย

เพื่อปรับปรุงระบบการผลิตผ้าเบรครถยนต์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะลดปัญหาชิ้นงานไม่ได้คุณภาพโมเดล X068 เหลือต่อเดือนจากเดิม 6.63% เป็น 4.64%

## 1.5 ขอบเขตงานวิจัย

1.5.1 งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์โมเดล X068 ของสายการผลิตชนิดขึ้นรูปร้อนของบริษัททรีทีศึกษานั้น

1.5.2 ในการเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุงช่วงมกราคม - กรกฎาคม 2553 และติดตามผลหลังการปรับปรุงช่วงแรกในเดือนตุลาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2553 และช่วงที่สองในเดือนมีนาคม - พฤษภาคม พ.ศ. 2554

## 1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ขั้นตอน ตามแนวทางของ DMAIC ซึ่งมีรายละเอียดโดยสังเขป ดังนี้

1.6.1 การสำรวจสภาพการดำเนินงานทางการผลิต ปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและตัวแปรหลักที่มีผลกระทบของกระบวนการปัจจุบันนั้น เพื่อให้เกิดความเข้าใจของแต่ละขั้นตอน โดยละเอียด และทราบว่ามีส่วนใดบ้างที่อาจมีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุกขั้นตอน

1.6.2 การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase) เป็นการกำหนดหัวข้อปัญหา โดยพิจารณาจากปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อความต้องการของลูกค้า (Critical to Quality) หรือต่อบริษัท ซึ่งในการศึกษานี้ ศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิต กระบวนการขึ้นรูปร้อน (Cure Pressing) โดยทำการพิจารณาจากแผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) และวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index)

1.6.3 การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) โดยทำการศึกษากระบวนการผลิตทั้งกระบวนการ (Process Mapping) การวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) การวิเคราะห์ความผิดพลาดและผลกระทบในกระบวนการ (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาโดยแผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) และการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบวัด (Measurement System Analysis)

1.6.4 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) เป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์สาเหตุที่เกิดขึ้น โดยการทดสอบความมีนัยสำคัญด้วยเครื่องมือทางสถิติ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อเลือกปัจจัยที่สำคัญ เพื่อทำการทดลองและวิเคราะห์ผล ในขั้นต่อไป

1.6.5 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) เป็นการนำแนวทางการแก้ปัญหาที่ได้วิเคราะห์ไว้มาทำการปฏิบัติ เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาคือที่ดีที่สุด ซึ่งในการศึกษานี้

จะทำการศึกษาเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต และทำการออกแบบการทดลอง (DOE) โดยการกำหนดตัวแปรและข้อกำหนดต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อ การทดลอง

1.6.6 การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase) โดยทำการพิจารณาเลือกแผนภูมิควบคุม ที่เหมาะสมกับตัวแปรนั้นๆ การกำหนดวิธีการวัด และการเก็บข้อมูลหลังจากการปรับปรุง

1.6.7 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

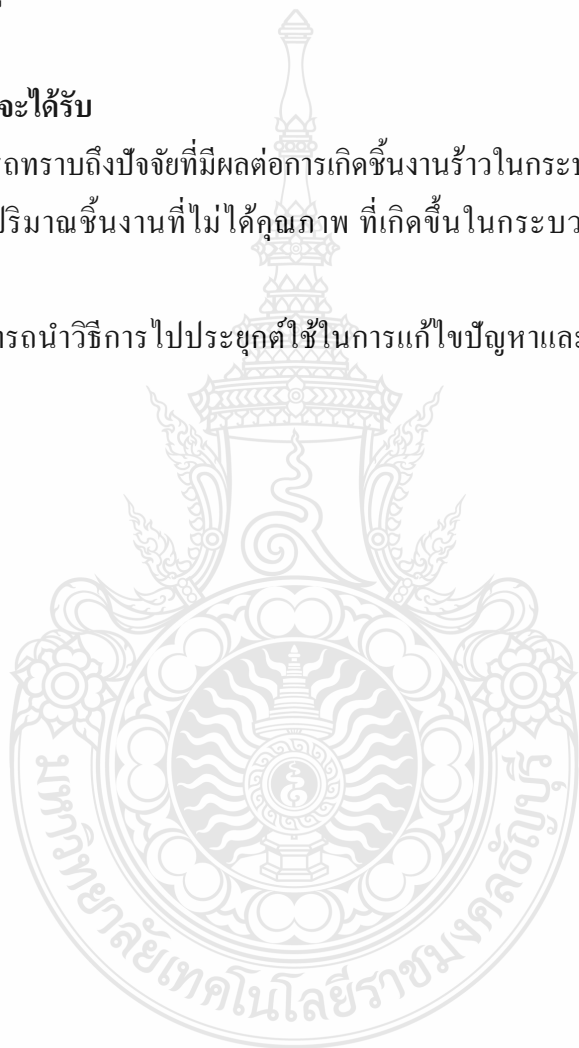
1.6.8 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 สามารถทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดขึ้นงานร้าวในกระบวนการผลิต

1.7.2 ลดปริมาณชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ โมเดล X068 ลง 30%

1.7.3 สามารถนำวิธีการไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาและปรับปรุงกระบวนการ ในสายการผลิตอื่นๆได้



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและวรรณกรรมปริทัศน์

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าและรวบรวมแนวคิด ทฤษฎี ตำรา วารสาร ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาสรุปสาระสำคัญอันจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาในครั้งนี้อย่างย่อต่อไปนี้

- 2.1 ข้อมูลทั่วไปของผ้าเบรครถยนต์
- 2.2 ประวัติและความเป็นมาของ ดีเอ็มเอไอซี (DMAIC) ของ ชิเกส ชิโกมา
- 2.3 ความหมายของกระบวนการ ชิเกส ชิโกมา
- 2.4 โครงสร้างทีมบริหารแบบชิเกส ชิโกมา
- 2.5 ขั้นตอนการดำเนินงานของ DMAIC
- 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

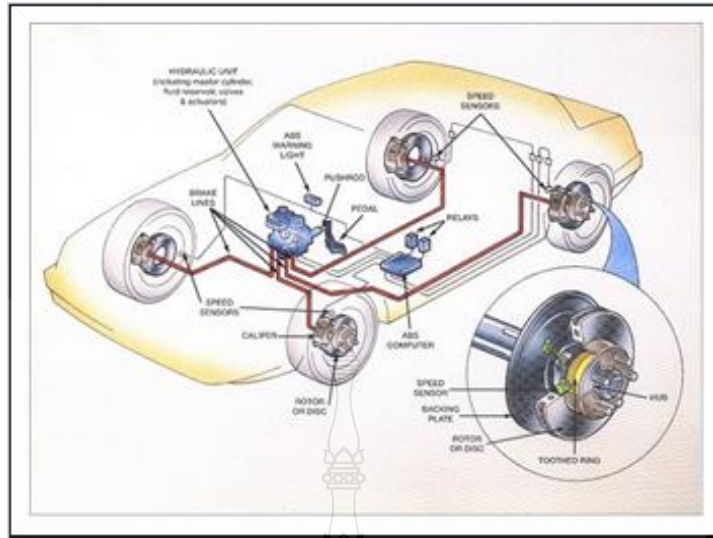
#### 2.1 ข้อมูลทั่วไปของผ้าเบรครถยนต์

##### 2.1.1 ประวัติและความเป็นมาของผ้าเบรครถยนต์

ผ้าเบรครถยนต์ได้ถูกคิดค้นขึ้นในปี ค.ศ. 1897 โดย เฮอร์เบิร์ต ฟรูด (Herbert Froot) ซึ่งได้เป็นผู้ทำการคิดค้นประดิษฐ์เบรคที่ทำจากผ้าฝ้ายทอเพื่อใช้หยุดรถเกวียนลาก และเมื่อเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรมรถยนต์ ก็ได้ตระหนักว่ารถยนต์ต้องการผ้าเบรคที่มีความทนทานมากขึ้นและสามารถหยุดรถที่มีความเร็วสูงขึ้นได้ หลังจากนั้นไม่นานเค้าก็สามารถทำการพัฒนาวัสดุที่ตอบสนองต่อความต้องการนี้ได้ ซึ่งเป็นระยะเวลาประมาณ 113 ปี นับตั้งแต่วงการอุตสาหกรรมยานยนต์ของโลกได้เริ่มขึ้น [11]

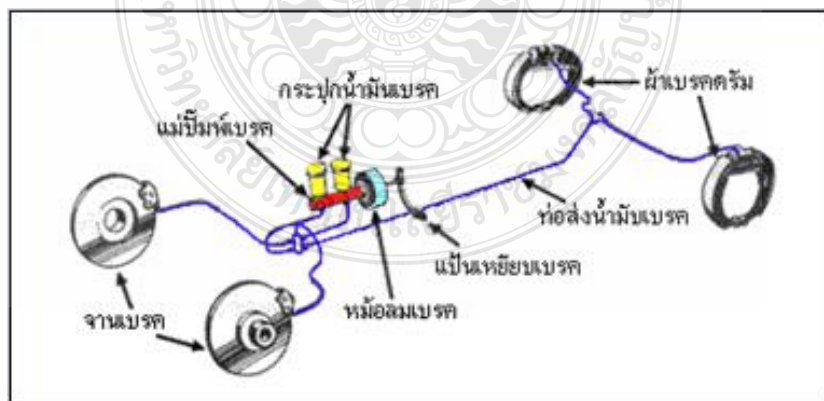
##### 2.1.2 ระบบเบรครถยนต์

ผลิตภัณฑ์ผ้าเบรครถยนต์ (Brake Pad) เป็นส่วนประกอบหนึ่งของชิ้นส่วนยานยนต์ที่มีความสำคัญที่ช่วยในการหยุดรถในขณะที่รถกำลังวิ่ง โดยเบรคจะทำหน้าที่ชะลอความเร็วของรถตามความต้องการของผู้ขับขี่ ดังรูปที่ 2.1 แสดงจุดที่ทำการประกอบเบรคในรถยนต์



รูปที่ 2.1 จุดที่ทำการประกอบเบรกในรถยนต์

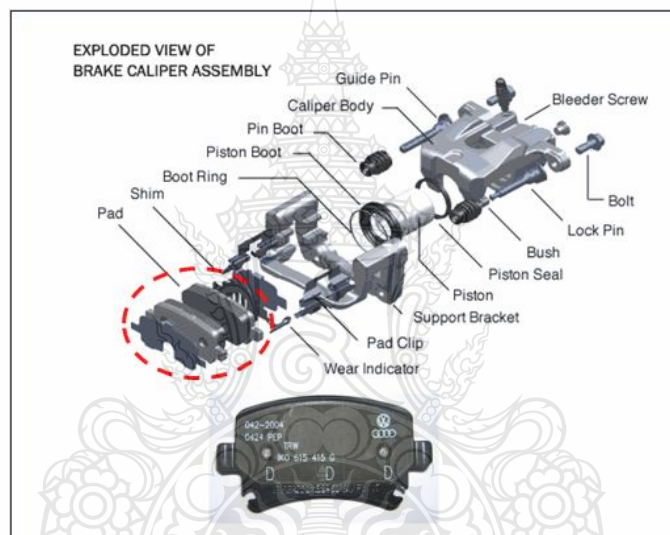
โดยหลักการหยุดรถทั่วไป จะใช้หลักการการถ่ายทอดแรงเหยียบไปที่แป้นเบรก ไปถึงตัวอุปกรณ์หยุดล้อด้วยระบบไฮดรอลิกซ์ (Hydraulic) โดยที่แรงเหยียบจากแป้นเบรก จะถูกส่งไปที่แม่ปั๊มน้ำมันเบรก เพื่อดันน้ำมันเบรกไปตามท่อน้ำมันเบรก ผ่านวาล์วแยกส่วนน้ำมันเบรกไปจนถึงตัวเบรก จากลูกปั๊มน้ำมันเบรกจะดันผ้าเบรกไปเสียดทานกับชุดจานเบรกที่อยู่ใกล้กับจานดิสก์เบรก หรือ ครัมเบรก เมื่อเกิดความฝืด ล้อก็เริ่มหมุนช้าลง ชลดความเร็วลง และหยุดได้ในที่สุด โดยแสดงระบบการเบรก ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระบบและส่วนประกอบของเบรก

### 2.1.3 ชนิดของระบบเบรก

1. ดิสเบรก (Disc Brake Pad) ประกอบด้วย แผ่นจานดิสก์ ติดตั้งลงบนแกนเพลาล้อ เมื่อรถเคลื่อนที่ แผ่นจานดิสก์ จะหมุนไปพร้อมล้อ จากนั้นจะมีอุปกรณ์ที่เราเรียกว่าคาลิปเปอร์ (Caliper) ซึ่งมีผ้าเบรกที่ประกบอยู่ด้านนอกและด้านในของจานเบรก ทำงานโดยผ้าเบรกจับตัวแบบหนีบกดกับจานเบรก ข้อดีของผ้าเบรกชนิดนี้ คือ ระบายความร้อนได้เร็วเนื่องจากสัมผัสกับอากาศอยู่ตลอดเวลา, จับตัวและรีดน้ำได้เร็วเวลาลุยน้ำ, ดูแลและบำรุงรักษาง่ายกว่าดรัมเบรก แต่มีข้อเสียคือ ไม่เหมาะกับรถที่ใช้บรรทุกสิ่งของเนื่องจากมีหน้าสัมผัสเพื่อก่อให้เกิดแรงเสียดทานน้อยกว่าระบบดรัมเบรก แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะการประกอบดิสเบรกรถยนต์

2. ดรัมเบรก (Drum Brake Pad) ประกอบด้วยตัวดรัม (Drum) เป็นโลหะวงกลมยึดติดกับคอกล้อ หมุนไปพร้อมล้อ และชุดฝักเบรก ซึ่งประกอบด้วยผ้าเบรก กลไกปรับตั้งเบรก สปริงดึงกลับ และลูกสูบปั๊มเบรก - สายน้ำมันเบรก จะเชื่อมต่อกับตัวลูกสูบในการดันผ้าเบรกให้เสียดทานกับดรัม เพื่อให้เกิดความฝืด ดังรูปที่ 2.4 มีข้อดี คือ การจับตัวมันคงกว่าดิสเบรก เนื่องจากหน้าสัมผัสของผ้าเบรกที่มากกว่า เหมาะสำหรับรถที่ต้องบรรทุกน้ำหนัก แต่มีข้อเสีย คือ ระบายความร้อนได้ไม่ค่อยดี





รูปที่ 2.4 ตัวอย่างดรัมเบรครถยนต์ (Drum Brake Pad)

#### 2.1.4 ชนิดของการขึ้นรูปผ้าเบรครถยนต์

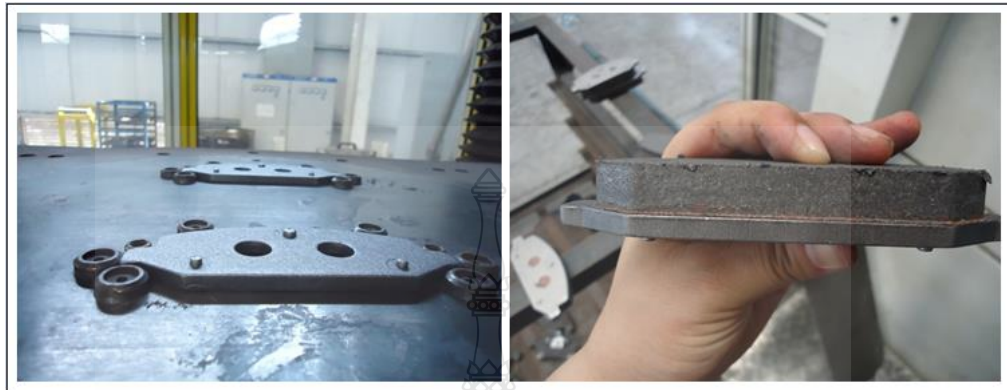
1. การขึ้นรูปโดยการอัดแบบร้อน (Cure Pressing) เป็นการขึ้นรูปผ้าเบรคด้วยความร้อนของแม่พิมพ์ ที่อุณหภูมิสูงมากกว่า  $120^{\circ}\text{C}$  และมีการอัดและคายตัวของระบบไฮดรอลิก (Hydraulic) เพื่อไล่อากาศที่อยู่ในผิวผ้าเบรค โดยเครื่องจักรที่นิยมใช้จะอยู่ที่ 150 ตัน ถึง 600 ตัน โดยขึ้นอยู่กับปริมาณงานที่ได้ในแต่ละครั้งของการขึ้นรูป ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างจำนวนผ้าเบรค 18 ชั้น ที่ผ่านการขึ้นรูปร้อนจากเครื่องจักรขนาด 600 ตัน

2. การขึ้นรูปโดยการอัดแบบเย็น (Press Forming) เป็นการขึ้นรูปผ้าเบรคด้วยการอัดของแม่พิมพ์ที่อุณหภูมิต่ำ และมีการอัดและคายตัวของระบบไฮดรอลิก (Hydraulic) เพื่อไล่อากาศ

ที่อยู่ในผิวผ้าเบรก โดยเครื่องจักรที่นิยมใช้จะอยู่ที่ 150 ตัน ถึง 250 ตัน โดยทั่วไปชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปแบบเย็นจะอยู่ที่ 1-2 ชิ้นงาน ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างแม่พิมพ์และชิ้นงานที่ขึ้นรูปแบบเย็นแบบ 2 ชิ้นงาน

#### 2.1.5 ชนิดของเนื้อผ้าเบรก

เนื้อผ้าเบรก หรือ ผงผ้าเบรกที่นำมาทำการอัดนั้น จะประกอบไปด้วยสารเคมีตั้งต้นตามลักษณะเฉพาะของสูตร (Formula) ที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งาน โดยในปัจจุบันมีชนิดของเนื้อผ้าเบรกที่นิยมผลิตอยู่ 4 ชนิดด้วยกัน [12]

1. โลหะ (Metallic) เป็นกลุ่มวัสดุที่ใช้เหล็กเป็นองค์ประกอบโครงสร้างพื้นฐาน และแสดงสมบัติของแรงเสียดทานเพียงบางส่วน ในกลุ่มนี้มีลักษณะเด่นตรงที่มีความปลอดภัยสูงมากต่อระบบทางเดินหายใจ และมีความสามารถในการทนต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง ได้ดีและมีการคายความร้อนได้เร็ว แต่ยังมีข้อจำกัดในด้านการควบคุมไม่ให้เกิดเสียงดังและฝุ่นดำ

2. สารอินทรีย์ (Non Asbestos Organic: NAO) เป็นกลุ่มวัสดุที่ใช้ใยสังเคราะห์ที่เป็นอโลหะ มีน้ำหนักเบา เพื่อทำหน้าที่ เป็นโครงสร้างพื้นฐานและแสดงสมบัติของแรงเสียดทาน ในกลุ่มนี้มีลักษณะเด่น ตรงที่ น้ำหนักเบา ง่ายต่อการควบคุมไม่ให้เกิดฝุ่นหรือเสียง และให้แรงเสียดทานสูงพอสมควร แต่จะมีข้อจำกัดตรงที่ส่วนมากจะต้องการส่วนผสมหลายชนิด การทนอุณหภูมิการใช้งานที่สูงมากๆ ไม่ค่อยดี การดูดซับ และคายความร้อน ได้ยาก และที่สำคัญใยสังเคราะห์บางตัวที่ไม่ใช่แร่ใยหิน (Asbestos) อาจยังคงมีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจอยู่บ้าง

3. กึ่งโลหะ (Semi- Metallic) เป็นผ้าเบรกที่พัฒนามาจากผ้าเบรกชนิด NAO โดยมีส่วนผสมของผงคาร์บอน (Carbon Steel Fiber) และเรซิน (Resin) ซึ่งเมื่อผ่านความร้อน เรซินจะ

ละลายออกมาเคลือบผิวหน้าเบรคเวลาได้รับความร้อนทดแทนผิวหน้าเดิมที่เสื่อมสภาพตามการใช้งาน ซึ่งจะทำให้ผ้าเบรคมีผิวหน้าเรียบอยู่เสมอ ซึ่งเป็นส่วนผสมของวัสดุคิบและโลหะอ่อนงานเบรคไม่เป็นรอย ช่วยลดการสึกหรอต่ำ ทนความร้อนสูง และไม่ทำให้เกิดคราบเขม่าดำ

4. เซรามิก (Ceramic) ผ้าเบรคชนิดนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ อะราไมด์ (Aramide Fiber) แต่ก็ยังคงมีเส้นใยโลหะอยู่ (ประมาณ 15% และกึ่งโลหะ 40%) และใช้ทองแดง (Cu) แทนโลหะ ดังนั้น จึงทำให้สึกหรอน้อยลงและถ่ายเทความร้อนดีกว่า ผ้าเบรคแบบเซรามิกจะเกิดความฝืดยากกว่าแบบอื่นๆ และเย็นได้ไวกว่า มีอายุการใช้งานนาน เสียงเงียบเบากว่า และทำให้อัลดูสะอาด

#### 2.1.6 ประสิทธิภาพของผ้าเบรค

ผ้าเบรคที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติตามที่ลูกค้าต้องการ ดังนี้ [12]

1. มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน (Long Lift) ความต้านทานการกัดกร่อน (Resistance to Corrosion) หรือมีอัตราการสึกกร่อนของเนื้อผ้าเบรคที่ต่ำ (Low Wear Rate) โดยในขั้นตอนการตรวจเช็คนี้จะทำการทดสอบโดยวิธีการไดนาโม (Dynamo Test) โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นน้ำหนักของเนื้อผ้าเบรคที่หายไป (Pad Wear) และน้ำหนักโรเตอร์ที่หายไป (Rotor Wear) โดยมีหน่วยเป็นกรัมและระยะทางในการวิ่งซึ่งมีหน่วยเป็นกิโลเมตร โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นระยะการวิ่งของผ้าเบรค (Pad Lift) และระยะการใช้งานของโรเตอร์ (Rotor Lift) โดยลูกค้าจะเป็นผู้กำหนดสถานะในการทดสอบ ดังรูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างเครื่องทดสอบไดนาโม (Dynamo Test)



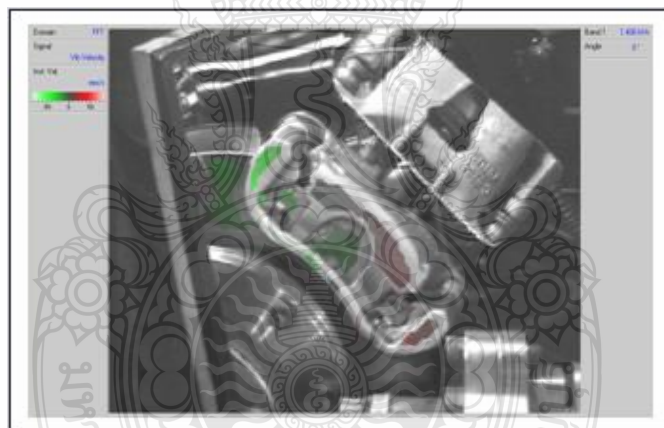
รูปที่ 2.7 เครื่องทดสอบไดนาโมและโรเตอร์ขณะทำการทดสอบ

2. ไม่มีเสียง (Low Noise) ผ้าเบรคที่ดีจะต้องไม่มีเสียงขณะทำการใช้งาน ดังนั้นจึงมีการทดสอบด้านเสียงในทุกๆ ช่วงความถี่โดยเครื่องทดสอบเสียงไดนาโม (Noise Dynamo) ดังรูปที่

2.8 และมีการทดสอบ ให้ความเที่ยงตรงและแม่นยำของแหล่งที่มาของเสียงจากตำแหน่งบนคาลิเปอร์ และความสั่นสะเทือนบนพื้นผิวผ้าเบรค ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 การทดสอบด้านเสียงทั้งในห้องทดลองและการทดสอบวิ่งจริง



รูปที่ 2.9 การทดสอบเสียงโดยกล้องเลเซอร์ และเครื่องทดสอบแรงสั่นสะเทือน (Laser Camera & Laser Vibrometer)

3. การทดสอบประสิทธิภาพ (Performance Test) หรือการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของผ้าเบรค ( $\mu$ ) ในขณะที่ทำการทดสอบการวิ่งที่สภาวะต่างกัน เช่น อัตราเร็ว (Speed) แรงดัน (Pressure) เวลา (Time) และอุณหภูมิ (Temperature) ต่างกันตามข้อกำหนดของลูกค้า [13] โดยใช้เครื่องไดนามิโมาทำการทดสอบ ดังรูปที่ 2.10 ดังที่กล่าวไว้แล้ว



4. คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties Test) จะเป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของเนื้อผ้าเบรค เช่น การทดสอบค่าความหนาแน่น (Specific Gravity Density) การทดสอบแรงเฉือน (Shear Strength) การทดสอบค่าความแข็ง (Hardness Test) และการทดสอบค่าการอัด (Compression) โดยการทดสอบนี้ สามารถแบ่งได้เป็นสองแบบคือ แบบปกติหรือเย็น (Cold Compression) และแบบร้อนที่ 300°C (Hot Compression)

## 2.2 ประวัติและความเป็นมาของ ดีเอ็มเอไอซี (DMAIC) ของ ซิกส์ ซิกม่า

วิธีการ ดีเอ็มเอไอซี (DMAIC) นั้นเป็นวิธีทางกระบวนการหนึ่งของซิกส์ ซิกม่า (Six Sigma) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาในช่วงทศวรรษที่ 1980 โดยบริษัทโมโตโรล่า (Motorola) หลายบริษัทได้นำ ซิกส์ ซิกม่า มาใช้เป็นแผนกลยุทธ์ของกิจการและประสบความสำเร็จมากมาย เริ่มจาก บริษัทเจเนอรัล อิเล็กทริก (General Electric), บริษัทโซนี่ รวมไปถึงบริษัทโมโตโรล่าเอง หลังจากนั้นซิกส์ ซิกม่า ก็ถูกแพร่ไปยังบริษัทต่างๆ โดยได้เข้าไปมีบทบาทในการเปลี่ยนแปลง วัฒนธรรมองค์กรและพัฒนาแนวคิดของการบริหารคุณภาพขึ้นมาใหม่จากระดับล่างสู่ระดับบนทั่วทั้งองค์กร ในช่วงต้นปี 1980 บริษัทต่างๆ จึงเรียนรู้ว่าภายใต้การแข่งขันที่รุนแรง ผู้ชนะในธุรกิจนั้นไม่ใช่เพียงแค่มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว แต่ต้องทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจแบบเบ็ดเสร็จด้วย กล่าวได้ว่าบริษัทโมโตโรล่า เป็นผู้ริเริ่มนำแนวคิดนี้มาใช้ตั้งแต่ช่วงปี 1980 เพื่อปรับปรุงคุณภาพโดยลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตให้เกิดขึ้นน้อยที่สุดจนประสบความสำเร็จ สามารถลดต้นทุนในการผลิตและในขณะเดียวกันระดับความพึงพอใจของลูกค้าก็เพิ่มขึ้นมากด้วย เนื่องจากบริษัทได้ตระหนักถึงปัญหาเหล่านี้จึงได้มีการค้นคว้าวิจัย และพัฒนาแนวทางหนึ่งขึ้นมาเรียกว่าซิกส์ ซิกม่า โดยไมเคิล เจ แฮร์รี่ (Mikel J.Harry) และจากการนำวิธีการซิกส์ ซิกม่า นี้มาใช้ ทำให้บริษัทโมโตโรล่า เป็นบริษัทที่ประสบความสำเร็จและมีการพัฒนาทางด้านคุณภาพอย่างรวดเร็วจนได้รับรางวัล Malcolm Baldrige Nation Quality Award เมื่อปี 1988 นอกจากความสำเร็จที่เกิดขึ้นในบริษัทโมโตโรล่าแล้ว บริษัทเจเนอรัลอิเล็กทริก (General Electric) ก็เป็นอีกบริษัทหนึ่งที่น่าซิกส์ ซิกม่า ไปใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป บริษัทหลายๆบริษัทก็เริ่มที่จะนำกลยุทธ์ ซิกส์ ซิกม่า มาใช้ในองค์กรของตนเองกันอย่างแพร่หลาย จนปัจจุบันสามารถกล่าวได้ว่าซิกส์ ซิกม่า เป็นกลยุทธ์ตัวหนึ่งที่องค์กรหรือบริษัทต่างๆ ทั่วโลกนำมาใช้เพื่อสร้างความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจ กลยุทธ์ซิกส์ ซิกม่า จึงถือได้ว่าเป็นกลยุทธ์ระดับโลก (World Class Strategy) [14]

### 2.3 ความหมายของกระบวนการซิกส์ ซิกม่า

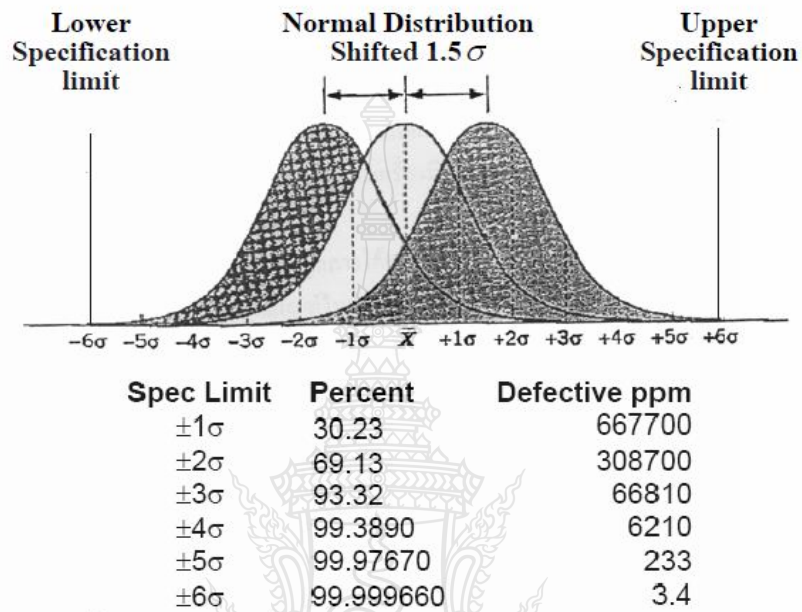
ซิกม่า (Sigma;  $\sigma$ ) เป็นตัวอักษรในภาษากรีก ในทางสถิติใช้แทนความหมายระดับความผันแปรของกระบวนการ หรือเรียกเป็นภาษาวิชาการว่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation:  $\sigma$ , SD) โดยใช้สำหรับนักสถิติในการวัดค่าความเปลี่ยนแปลงสำหรับกระบวนการใดๆ ในอดีตบริษัททั่วไปจะยอมรับระดับความสามารถของซิกม่า ที่ 3 หรือ 4 โดยกระบวนการเหล่านี้สามารถสร้างปัญหาได้ระหว่าง 6,200 และ 67,000 ต่อจำนวน 1,000,000 ครั้ง โดยค่า  $\sigma$  แสดงได้ตามความสัมพันธ์ ดังนี้

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\mu)^2}{N}} \quad (2.1)$$

โดยที่  $x$  คือ ค่ากลางของชุดข้อมูล  
 $\mu$  คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล  
 $N$  คือ จำนวนของข้อมูล

ซิกส์ ซิกม่า เป็นกระบวนการที่นำมาใช้ซึ่งหลักการและเทคนิคที่ได้มีการยอมรับกันแล้ว ถึงคุณภาพอย่างต่อเนื่องและเข้มข้น เป็นหลักการซึ่งได้จากการผนวกหลักการพื้นฐานของนักริเริ่มด้านคุณภาพต่างๆ ไว้มากมาย ซิกส์ ซิกม่า มีเป้าหมายเพื่อให้ธุรกิจดำเนินไปอย่างไร้ข้อผิดพลาด (Error Free) [15] โดยที่ระดับหกซิกม่านั้น จะยอมรับให้เกิดของเสียได้ที่ปริมาณ 3.4 ชิ้นในการผลิต 1 ล้านชิ้น หรือที่เรียกว่า 3.4 พีพีเอ็ม (Part Per Million, PPM) ซึ่งหากเป็นไปตามเส้นโค้งการกระจายตัวตามปกติ (Normal Distribution Curve) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 จริงๆ ทางสถิติที่ระดับซิกส์ ซิกม่า จะมีของเสียที่อยู่นอกขอบเขตของการยอมรับเท่ากับ 0.002 ชิ้น ต่อ 1 ล้านชิ้น แต่เหตุผลที่หลักการซิกส์ ซิกม่า ใช้อยู่ในปัจจุบันมีการยอมรับของเสียที่ 3.4 พีพีเอ็ม (PPM) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ก็เพราะว่า ในขณะที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในบริษัทโมโตโรล่า ได้พบว่าไม่มีระบบการผลิตใดเลยที่จะไม่ถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก นั่นก็คือเราไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกเพื่อไม่ให้ส่งผลถึงความเบี่ยงเบนของข้อมูลได้ ถ้าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติเปอร์เซ็นต์ภายใต้ในข้อกำหนด มีค่าเท่ากับ 99.999998% และของเสียมีเพียง 0.002 พีพีเอ็ม ซึ่งระบบที่ไม่มี ความแปรปรวนเลยเป็นเพียงระบบในอุดมคติ (Ideal System) ดังนั้น โมโตโรล่าจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลใหม่ในกระบวนการผลิต เพื่อหาความแปรปรวนที่เกิดจากปัจจัยภายนอก อันส่งผลถึงการคลาดเคลื่อนของค่ากึ่งกลางซึ่งได้ข้อสรุปจากการวิเคราะห์ คือ

ค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลอันเนื่องมาจากปัจจัยภายนอกที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.4 ถึง 1.6 เท่าของซิกม่า จึงนำค่าเฉลี่ยคือ 1.5 เท่า ของซิกม่า เป็นค่าเบี่ยงเบนของค่ากึ่งกลางข้อมูลที่ยอมรับซึ่งนำมาใช้ในทฤษฎีซิกส์ ซิกม่า ที่ระดับ ซิกส์ ซิกม่า เปอร์เซนต์ภายใต้ข้อกำหนดมีค่าเท่ากับ 99.999660% และของเสียเท่ากับ 3.4 พีพีเอ็ม



รูปที่ 2.10 ลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ และระดับของเสีย [14]

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระหว่างอัตราของเสีย (PPM) ที่ระดับคุณภาพซิกม่าต่างๆ

ขอบเขตข้อกำหนด	เปอร์เซ็นต์	จำนวนของเสียใน 1 ล้านชิ้น
± 1σ	30.23	697,700
± 2σ	69.13	308,700
± 3σ	93.32	66,810
± 4σ	99.379	6,210
± 5σ	99.9767	233
± 6σ	99.99966	3.4

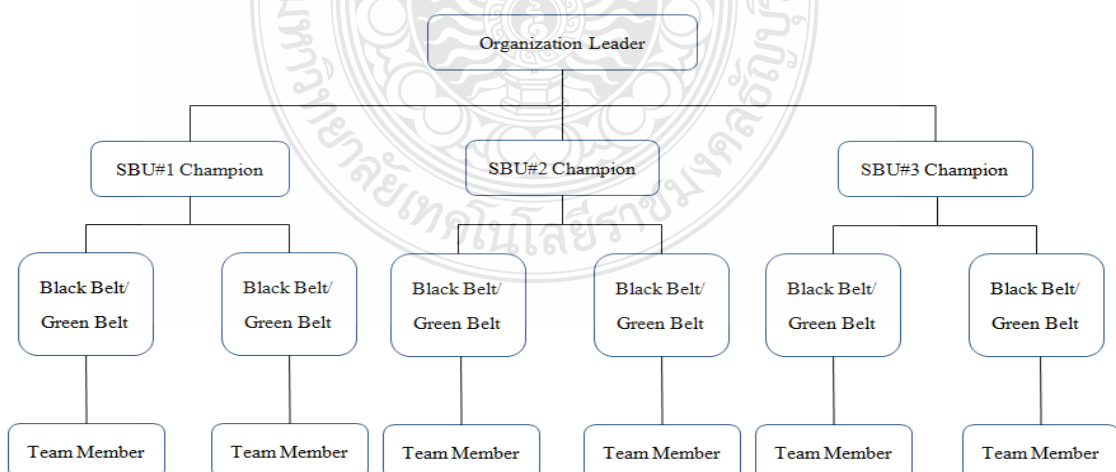
การควบคุมคุณภาพในระดับซิกส์ ซิกม่า คือ มาตรการซึ่งใช้วัดคุณภาพการดำเนินงานแนวคิดของซิกส์ ซิกม่า คือ การควบคุมคุณภาพที่ระดับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงมากเท่าไร

ยังสามารถลดค่าความแปรปรวนในกระบวนการผลิตให้ค่าน้อย ซึ่งส่งผลให้การดำเนินงานยังมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ขั้นตอนทุกขั้นตอนของการทำงานทุกประเภทจะถูกควบคุมอย่างเป็นระบบ ซึ่งการควบคุมคุณภาพในระดับ ชิกส์ ชิกม่านั้น จึงเป็นกลยุทธ์และวิธีการดำเนินงาน ซึ่งทำให้หลายบริษัทสามารถประสบความสำเร็จในการปฏิบัติงานด้านคุณภาพ เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ คือ ความสามารถในการทำกำไรของบริษัท [16]

ในปัจจุบันชิกส์ ชิกม่า ถูกมองว่าเป็นระบบการจัดการระบบหนึ่ง ซึ่งไม่ใช่แค่การมุ่งเน้นให้เกิดข้อผิดพลาดที่ 3.4 พีพีเอ็ม เท่านั้น แต่ประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่างๆ ที่สำคัญที่จะทำให้ระบบการจัดการแบบชิกส์ ชิกม่า ประสบผลสำเร็จก็คือ มีการจัดตั้งทีม มีการฝึกอบรมและแบ่งหน้าที่ของแต่ละคนในทีม จนไปถึงการปฏิบัติตามกระบวนการดีเอ็มเอไอซี (DMAIC) ซึ่งจะถูกล่าไว้ในหัวข้อถัดไป

## 2.4 โครงสร้างทีมบริหารแบบ ชิกส์ ชิกม่า

จากรูปที่ 2.11 รูปแบบการจัดผังองค์กรสำหรับโครงการ ชิกส์ ชิกม่า ซึ่งจะเห็นว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกับรูปแบบทีมงานสำหรับการดำเนินโครงการอื่นๆ ที่มีผู้บริหารสูงสุดขององค์กรเป็นประธานโครงการ และมีผู้บริหารระดับรองลงมาดูแลสายงานการปรับปรุงที่ตัวเองรับผิดชอบ โดยที่หน่วยงานธุรกิจหลักของบริษัท (Strategic Business Unit) เช่น หน่วยการผลิต หน่วยบริการ ลูกค้า หน่วยงานด้านการตลาด และจะเห็นได้ว่าการดำเนินโครงการ ชิกส์ ชิกม่า เป็นรูปแบบการปรับปรุงทั่วทั้งองค์กร (Company-Wide Improvement) คือ ดำเนินโครงการปรับปรุงทุกหน่วยงานไปพร้อมๆกัน ตั้งแต่เริ่มดำเนินโครงการเพื่อให้ได้ผลอย่างรวดเร็ว [17]



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างโครงสร้างของทีมงาน ชิกส์ ชิกม่า



โครงสร้างและหน้าที่รับผิดชอบของทีม ซิกส์ ซิกม่า ประกอบด้วย

2.4.1 แชมป์เปียน (Champion) เป็นชื่อเรียกผู้ที่มีความรับผิดชอบสูงสุดต่อผลสำเร็จในงานหรือผู้บริหารระดับสูง (Executive-Level Management) โดยสนับสนุนให้เป้าหมายของงานสำคัญประสบความสำเร็จ รมรงค์และผลักดันให้เกิดองค์กร ซิกส์ ซิกม่า และเกิดกระบวนการการปรับปรุงองค์กรอย่างต่อเนื่อง จัดอุปสรรค ให้รางวัลหรือค่าตอบแทน ตอบปัญหา อนุมัติโครงการ กำหนดวิสัยทัศน์โครงการ สนับสนุนทรัพยากรในด้านบุคลากร งบประมาณ เวลา สถานที่ กำลังใจและความชัดเจนในหน้าที่ ผลักดันให้มีจำนวน แบล็คเบลท์ (Black Belt) และกรีนเบลท์ (Green Belt) ที่เหมาะสมในองค์กร มีหน้าที่ติดตามความก้าวหน้าของโครงการปรับปรุงให้สอดคล้องกับเป้าหมายขององค์กร ส่งเสริมและสนับสนุนการสร้างวัฒนธรรมในการปรับปรุงให้เกิดขึ้นในองค์กร โดยอาศัยการสื่อสารการตั้งคำถามเพื่อท้าทายให้เกิดแนวความคิดแบบ ซิกส์ ซิกม่า มีการชมเชยและการให้ประกาศนียบัตรแก่พนักงานในองค์กร มีการคัดเลือกโครงการปรับปรุงที่ดีเยี่ยมและการให้รางวัลเมื่อพนักงานปฏิบัติงานมีประสิทธิภาพ

2.4.2 มาสเตอร์แบล็คเบลท์ (Master Black Belt) คือ ผู้ชำนาญการด้านเทคนิคและเครื่องมือสถิติ เป็นผู้มีความรู้และความเชี่ยวชาญในการทำงานเป็นอย่างดีและสามารถถ่ายทอดและให้การอบรมเพื่อสร้างทีม แบล็คเบลท์ (Black Belt) และกรีนเบลท์ (Green Belt) ตลอดโครงการปรับปรุงได้ เป็นผู้ช่วยเลือกโครงการปรับปรุงให้แก่แชมป์เปียน (Champion) และเป็นผู้มีความคิดสร้างสรรค์ในการคัดเลือกโครงการปรับปรุง โดยมองในภาพรวมใหญ่ขององค์กร ได้แก่การปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานและการเสนอโครงการปรับปรุงที่เชื่อมโยงกันระหว่างหน่วยงานต่างๆ เป็นต้น

2.4.3 แบล็คเบลท์ (Black Belt) คือ ผู้บริหารโครงการ (Project Manager) และผู้ประสานงาน (Facilitator) ได้รับการรับรองว่าเป็นสายดำชั้นครู แบล็คเบลท์ เป็นการบ่งบอกถึงระดับความสามารถสูงสุดของนักกีฬา 유도 จะทำหน้าที่เป็นหัวหน้าโครงการบริหารลูกทีมที่มีลักษณะข้ามสายงานซึ่งในการบริหาร ซิกส์ ซิกม่า จะประกอบไปด้วยการทำโครงการย่อยที่คัดเลือกจากปัญหาที่มีอยู่ในกระบวนการต่างๆขององค์กร กระจายกลยุทธ์และนโยบายของบริษัทไปยังระดับปฏิบัติการ ผลักดันความคิดของแชมป์เปียน (Champion) ให้เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นผู้ค้นหาปัญหาและอุปสรรคที่อยู่ในองค์กรและวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีความจำเป็นในการทำให้องค์กรบรรลุความพึงพอใจของลูกค้า เป็นผู้บริหารโครงการในแต่ละขั้นตอนตามแนวทาง ซิกส์ ซิกม่า ประกอบด้วยกระบวนการการวัด การวิเคราะห์ การปรับปรุง และการควบคุม โดยให้เกิดการกระจายผลการปรับปรุงไปสู่การปฏิบัติ รายงานความก้าวหน้าของโครงการให้ผู้บริหารระดับสูงรับทราบแบล็คเบลท์จะต้องทำหน้าที่ในการโน้มน้าวทีมงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คัดเลือกเครื่องมือที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงได้อย่าง

เหมาะสม เก็บรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงการปรับปรุงจากแหล่งข้อมูลต่างๆภายในองค์กร ทั้งจากพนักงานจนถึงระดับผู้จัดการ สร้างความมั่นใจว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงสามารถคงอยู่ได้ตลอดไป แบล็คเบลท์ต้องได้รับการฝึกอบรมเพื่อให้มีความรู้ที่สำคัญในการปรับปรุงการทำงาน ซึ่งความรู้หลักๆ ของแบล็คเบลท์ เพื่อทำการโครงการปรับปรุงที่จะได้รับประกอบด้วย ความรู้ทางสถิติ ทางด้านการบริหารโครงการ ทางด้านการสื่อสารและการเป็นผู้นำโครงการ และความรู้เพื่อการปรับปรุงคุณภาพอื่นๆ เป็นต้น

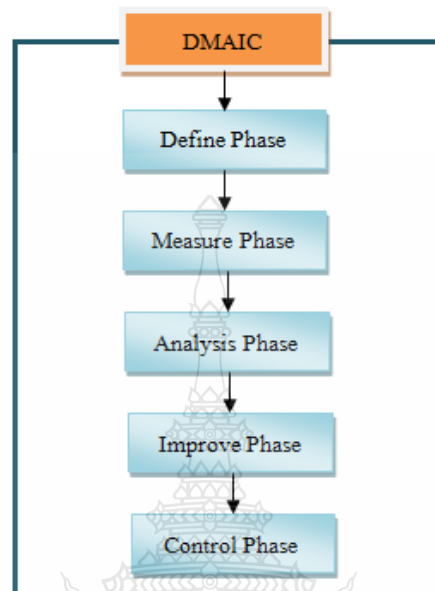
2.4.4 กรีนเบลท์ (Green Belt) คือ พนักงานที่ทำหน้าที่โครงการ เป็นผู้ที่รับการรับรองว่ามีความสามารถเทียบเท่ากับนักกีฬายูโดในระดับสายเขียว ซึ่งในการบริหาร ชิคส์ ชิคม่า นั้น ผู้ที่ทำหน้าที่เป็นกรีนเบลท์ จะเป็นผู้ช่วยของแบล็คเบลท์ ในการทำงาน ทำหน้าที่ในการปรับปรุงโดยใช้เวลาส่วนหนึ่งของการทำงานปกติ นำวิธีการปรับปรุงตามแนวทาง ชิคส์ ชิคม่า ไปใช้ในโครงการได้ สามารถนำเอาแนวความคิดและวิธีการปรับปรุงไปขยายผลต่อในหน่วยงานของตนเองได้

2.4.5 สมาชิกในทีม (Team Member) ในโครงการทุกโครงการจะต้องมีสมาชิกทำงาน 4-6 คน โดยเป็นตัวแทนของคนที่ทำงานในกระบวนการที่อยู่ในขอบข่ายของโครงการ ส่วนสำคัญที่สุดในการทำ ชิคส์ ชิคม่า คือ โครงการ แชมป์เปียน ซึ่งจะมีหน้าที่ในการดูแลและให้การสนับสนุน และจัดหางบประมาณที่เพียงพอให้แต่ละ ชิคส์ ชิคม่า และยังคงคอยสนับสนุนแบล็คเบลท์ในการทำโครงการต่างๆ ซึ่งบุคคลทั้งสองนี้ถือว่าเป็นรากฐานของความสำเร็จ เมื่อ แชมป์เปียนและแบล็คเบลท์ได้ทำการคัดเลือกพนักงานมาทำโครงการนี้แล้ว ก็จะต้องทำการฝึกอบรม ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ๆ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการทั้ง 4 ของ ชิคส์ ชิคม่า นั่นคือ การวัดผล การวิเคราะห์ การปรับปรุง และควบคุม ซึ่งถือว่าเป็นกระบวนการในการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าและเพิ่มผลกำไรให้สูงขึ้น ซึ่งทั้ง 4 ส่วนจะประกอบไปด้วย ส่วนประกอบย่อยๆ คือ การทำสถิติ การทำเทียบเคียง (Benchmark) การออกแบบทดลอง และการสรุปผล

## 2.5 ขั้นตอนการดำเนินงานของ DMAIC

ขั้นตอนในการดำเนินงานนี้จะมุ่งเน้นที่การแก้ไขปัญหาในกระบวนการเป็นหลัก โดยผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการดำเนินงานนี้คือคณะผู้ทำงานที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะดำเนินงานตามกระบวนการ DMAIC คือกระบวนการในการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2.12 โดยก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการหลักนั้น จะต้องทำการนิยามถึงปัญหาที่ต้องการจะนำมาปรับปรุงเสียก่อนโดยควรเลือกปัญหาที่เป็นปัญหาที่สำคัญ เป็นต้นเหตุที่ทำให้ลูกค้าไม่พอใจและส่งผลกระทบต่อกระบวนการหรือเป็นปัญหาที่เห็นสิ่งสมควรปรับปรุงอย่างชัดเจนมาทำการแก้ปัญหาก่อน จากนั้นทำการเลือกลักษณะของตัว

แปรตอบสนอง (Response Variable) เพื่อมาทำการศึกษาและเป็นตัววัดผลในการปรับปรุง (Key Process Output Value, KPOV) จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการในขั้นตอนต่างๆ ต่อไป [10]



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการดำเนินการตามวิธีการดีเอ็มเอไอซี [10]

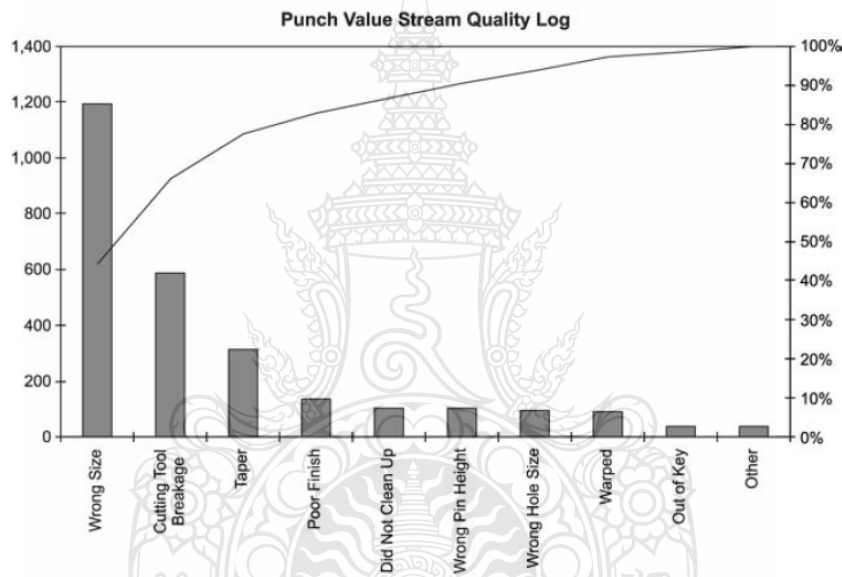
โดยขั้นตอนดีเอ็มเอไอซี (DMAIC) มีทั้งหมด 5 ขั้นตอน เริ่มต้นจาก

2.5.1 การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase) คือ ขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายของสิ่งที่ต้องการศึกษาหรือแก้ปัญหอย่างชัดเจน โดยการเลือกโครงการและวิเคราะห์ถึงผลกระทบและผลประโยชน์ที่จะได้รับ รวมถึงกำหนดระยะเวลาของโครงการ โดยเครื่องมือที่นิยมนำมาใช้ในขั้นตอนนี้ เช่น การกำหนดปัญหา (Problem Statement) และแผนภูมิพารेटอ เป็นต้น

1. การกำหนดปัญหา (Problem Statement) ในขั้นตอนนี้จะทำการระบุปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาและแนวทางการแก้ไข ซึ่งปัญหานั้นๆ จะต้องสัมพันธ์ในส่วนที่มีผลกระทบต่อลูกค้า ข้อร้องเรียนของลูกค้า (Customer Requirement) หรือปัญหาทางด้านคุณภาพ (CTQ's: Critical to Quality) [6] เป็นต้น

2. แผนภูมิพารेटอ (Pareto Chart) เป็นกราฟแท่งที่ใช้แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของความบกพร่อง กับปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยสาเหตุของความบกพร่องอาจเป็นไปได้ในรูปชนิดของความบกพร่อง หรือเครื่องจักรที่ก่อให้เกิดความบกพร่อง ในขณะที่ปริมาณของเสียอาจเป็นจำนวนชิ้นงานเสีย มูลค่าความเสียหายจากของเสีย ความถี่ของการเกิดงานเสีย

เป็นต้น โดยได้มีการนำแผนภูมิพารेटอไปใช้ในการจัดลำดับโครงการที่จะดำเนินงานในการพัฒนากระบวนการของบริษัท วิลสัน ทูล (Wilson Tool) โดยบริษัทเป็นผู้นำหนึ่งในโลกในการจัดส่งเครื่องมือสำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับเจาะ-ขึ้นรูป (Punch Press), ขึ้นรูปเบรค (Press Brake) หรือเครื่องมือตอก (Stamping) โดย วิลสัน ทูล ได้ทำการวิเคราะห์โดยแผนภูมิพารेटอเพื่อหาปัญหาที่เกิดขึ้นสูงที่สุด [18] จากรูปที่ 2.13 แสดงแผนภูมิพารेटอ สำหรับเครื่องเจาะไอน้ำ (Punch Value Steam) โดยแสดงถึง 10 ปัญหาคุณภาพของเครื่องเจาะไอน้ำ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผนภูมิพารेटอเป็นเครื่องมืออ่านค่าสำหรับวิเคราะห์ปัญหาทางคุณภาพที่ง่ายอีกวิธีหนึ่งซึ่งช่วยให้การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาง่ายขึ้น



รูปที่ 2.13 แผนภูมิพารेटอวิเคราะห์ 10 ปัญหาคุณภาพเครื่องเจาะไอน้ำ [18]

3. ดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index) เป็นตัวบ่งชี้ความสามารถของกระบวนการซึ่งเน้นในเรื่องของความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการและความเข้าใกล้ค่าเป้าหมายที่ต้องการ โดยจะช่วยให้เจ้าของกระบวนการ ผู้บริหารและลูกค้าเกิดความเข้าใจได้ว่า [19]

1) กระบวนการที่มีส่วนเกี่ยวข้องอยู่นั้นจะมีความสามารถในการให้ผลลัพธ์ได้ตามที่ต้องการหรือออกแบบไว้หรือไม่ ซึ่งเป็นการสะท้อนให้เห็นถึงความอยู่ตัวของความผันแปรที่เกิดจากสาเหตุชนิดสามัญ (Common Cause)

2) มีความสามารถในการควบคุมความผันแปรที่มีอยู่ในกระบวนการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่เรารู้หรือลูกค้าต้องการได้ดีแค่ไหน อย่างไร

3) ชิ้นงานที่ผลิตออกมามีแนวโน้มของการเกิดของเสียที่มีขนาดโตเกินไป (เข้าใกล้หรืออยู่นอกขอบเขตกำหนดด้านบน) หรือมีขนาดเล็กเกินไป (เข้าใกล้หรืออยู่นอกขอบเขตกำหนดด้านล่าง) เพื่อที่จะสามารถช่วยให้เจ้าของกระบวนการ สามารถปรับกระบวนการเข้าหาจุดที่มีความเหมาะสมได้อย่างถูกต้องทิศทาง และมีความเหมาะสมในเชิงเศรษฐกิจ

โดยการคำนวณค่าดัชนีนี้แสดงความสามารถของกระบวนการนั้น ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการวัดคุณภาพของกระบวนการ ดังนี้

1) การประเมินความสามารถกระบวนการของกระบวนการที่มีข้อมูลวัด เป็นการวัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ เพื่อพิจารณาว่ากระบวนการนั้นมีความสามารถแค่ไหน (Potential Capability Indices) โดยมีดัชนีเป็น  $C_p$  (C ย่อมาจาก Capability หรือความสามารถส่วน P Process หรือกระบวนการ) ซึ่งจะไม่สนใจว่าค่าเฉลี่ยหรือตำแหน่งของกระบวนการ ( $\bar{x}$ ) จะตั้งอยู่ตรงกลาง (Centering) ของเขตกำหนดหรือไม่

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \quad (2.2)$$

โดยที่ USL: Upper Specification Limit หรือขอบเขตกำหนดด้านบน

LSL: Lower Specification Limit หรือขอบเขตกำหนดด้านล่าง

$\sigma$ : Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การวัดความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ พร้อมด้วยตำแหน่งของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ว่าตั้งอยู่ตรงกลางของขอบเขตกำหนดหรือไม่สำหรับกระบวนการที่กำลังดำเนินอยู่ โดยวัดค่าดัชนีอยู่ในรูป  $C_{pk}$  โดยค่าที่น้อยที่สุดของดัชนีนี้แสดงความสามารถของกระบวนการที่เป็นขอบเขตกำหนดด้านบน ( $C_{pu}$ ) หรือดัชนีนี้แสดงความสามารถของกระบวนการที่จะเป็นขอบเขตกำหนดด้านล่าง ( $C_{pl}$ )

$$C_{pk} = C_p(1 - k) \quad (2.3)$$

$$C_{pu} = \frac{USL - \bar{x}}{3\sigma} \quad (2.4)$$

$$C_{pu} = \frac{x - LSL}{3\sigma} \quad (2.5)$$

โดยที่ ค่า k คือ ระยะที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ห่างจากตรงกลางของขอบเขตกำหนด อัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ ในการศึกษาอัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะสั้น ( $C_p$ ) จะสนใจเฉพาะความผันแปรของกระบวนการที่ถือว่าค่าที่กำหนดของกระบวนการอยู่กับที่ และในการศึกษาความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการนี้จะถือว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการที่แสดงถึงผลจากค่าที่กำหนดของกระบวนการจะอยู่ตรงกลางข้อกำหนดเฉพาะ

$$C_R = \frac{6\sigma}{USL - LSL} \quad (2.6)$$

2) การประเมินความสามารถของกระบวนการที่มีข้อมูลแบบนับ จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น จะสามารถทำการประเมินความสามารถของกระบวนการได้ ก็ต่อเมื่อข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลวัดหรือข้อมูลที่มีลักษณะเชิงผันแปร แต่ถ้าข้อมูลที่น่าสนใจเป็นแบบข้อมูลนับหรือข้อมูลที่มีลักษณะเชิงคุณภาพก็สามารถทำการประเมินความสามารถของกระบวนการได้เช่นเดียวกัน

ในการประเมินดัชนีความสามารถของกระบวนการของข้อมูลแบบนับนี้ จะอาศัยแนวความคิดเดียวกับการประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลวัด กล่าวคือให้ทำการประเมินความผันแปรของกระบวนการเปรียบเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดเฉพาะเพื่อทำการกำหนดสัดส่วนของเสียจากกระบวนการที่ศึกษา แต่เนื่องจากข้อมูลแบบนับเป็นข้อมูลที่ไม่มีความสัมพันธ์อธิบายความผันแปรจึงมีความจำเป็นต้องกำหนดข้อมูลนับให้อยู่ในรูปของจำนวนของเสีย เพื่อการเทียบเคียงให้อยู่ในรูปของสเกลของการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (Z) อาจจะเรียกว่า  $Z_{\text{equivalent}}$  หรือ  $\text{Benchmark}$  สำหรับการแปลงให้เป็นดัชนีความสามารถของกระบวนการ

อย่างไรก็ตามในการกำหนดค่าความสามารถของกระบวนการในกรณีข้อมูลแบบนับนี้จะขึ้นอยู่กับเกณฑ์การตัดสินใจของผู้วิเคราะห์เป็นสำคัญ เช่น ถ้าหากต้องการประเมินถึงความสามารถของกระบวนการในรูปแบบสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นแล้วก็สามารถใช้ค่าสัดส่วนโดยเฉลี่ยของเสีย ( $\bar{p}$ ) เป็นตัววัดความสามารถของกระบวนการได้ แต่ถ้าหากต้องการประเมินในรูปดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการเพื่อการเปรียบเทียบผลการปรับปรุงกระบวนการก็จะสามารถ

แสดงอยู่ในรูปของดัชนี  $P_p, P_{pk}$  ดังนั้น ในการประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบนี้ จะต้องเริ่มต้นจากการหาค่า  $\bar{P}$  ก่อนเสมอ

$$\bar{P} = \frac{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยรวม} (\sum np)}{\text{จำนวนตรวจสอบโดยรวม} (\sum n)} \quad (2.7)$$

ดังนั้น ในการประเมินค่า  $\bar{P}$  จะต้องประเมินจากข้อมูลโดยรวม ค่าดัชนีประเมินจากค่า  $\bar{P}$  จึงถือเป็นดัชนีความสามารถของกระบวนการแบบระยะยาวเสมอ โดยความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการอาจจะประเมินได้ในรูปอัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะยาว ( $P_R$ ) หรือดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการแบบระยะยาว ( $P_p$ ) สำหรับความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการจะประเมินได้ในรูปดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาว ( $P_{pk}$ )

$$P_{pBench} = \frac{1}{3} Z_{Bench} \quad (2.8)$$

โดยที่  $Z_{Bench}$  จะได้จากกรณีกำหนดให้สัดส่วนของเสียมีค่าเท่ากันทั้งสองด้าน

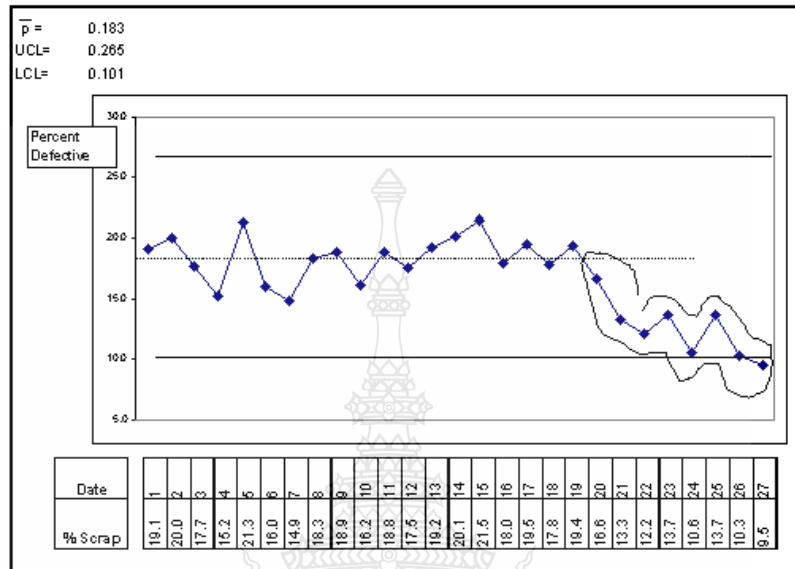
$$P_{RBench} = \frac{1}{P_{pBench}} \quad (2.9)$$

$$P_{pkBench} = \frac{1}{3} Z_{Bench} \quad (2.10)$$

โดยที่  $Z_{Bench}$  ได้จากการกำหนดให้สัดส่วนของเสียอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของค่ากลางเพียงด้านเดียว

3) การประเมินความสามารถกระบวนการจากแผนภูมิควบคุม  $p$  และ  $np$  ด้วยแผนภูมิควบคุม  $p$  และ  $np$  ดังรูปที่ 2.14 ที่ใช้ควบคุมสัดส่วนและจำนวนของเสียโดยลำดับ จะสามารถประมาณค่าสัดส่วนโดยเฉลี่ยของเสีย ( $\bar{p}$ ) จากค่ากลางของแผนภูมิควบคุม  $\bar{p}$  และในกรณีแผนภูมิควบคุม  $np$  จะสามารถหา  $\bar{p}$  ได้จากสมการ 2.7 และเมื่อได้ค่า  $\bar{p}$  แล้วจะสามารถหา  $Z_{Bench}$  จาก

ตารางแจกแจง แบบปกติมาตรฐาน จากนั้นสามารถหาค่าอัตราส่วนความสามารถกระบวนการ และ  
 ดัชนีความสามารถกระบวนการจากสมการที่ 2.8, 2.9 และ 2.10



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างกราฟ P-Chart [20]

หมายเหตุ

1. หากแผนภูมิควบคุม p มีจุดออกนอกพิสัยควบคุมต้องทำการตัดออกและคำนวณค่า p ใหม่เสมอ
2. การประเมินความสามารถกระบวนการจากแผนภูมิควบคุม u และ c แผนภูมิควบคุม u และ c จะเป็นแผนภูมิควบคุมข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ โดยจะมีการแจกแจงเป็นแบบปัวซอง (Poisson) ที่มีฟังก์ชันความน่าจะเป็น คือ

$$P(\text{จำนวนข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์}) = \frac{U^x e^{-u}}{x!} \quad (2.11)$$

โดยมีการแจกแจงแบบปัวซอง และนิยามให้

$$\bar{U} = \frac{\text{จำนวนรวมข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ } (\sum c)}{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ตรวจสอบ } (\sum n)} \quad (2.12)$$



เมื่อได้  $\bar{p}$  แล้วจะสามารถคำนวณดัชนีนี้แสดงความสามารถของกระบวนการเหมือนกรณี  
แผนภูมิควบคุม  $p$  ทุกประการ

4) ความหมายของค่าดัชนีนี้แสดงความสามารถของกระบวนการ

(1) อัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ ( $C_R$  และ  $P_R$ ) ยังมีค่าน้อยกว่า 0.88 ซึ่งแสดงว่าความสามารถของกระบวนการยิ่งสูง ซึ่งหมายถึง ความผันแปรจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ของกระบวนการในการดำเนินงานภายใต้การควบคุมระยะสั้นมีค่าไม่เกิน 88% ของช่วงความคลาดเคลื่อนอนุโลมทั้งหมดจะเป็น “ช่วงเพื่อ (Safety Zone)” สำหรับปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ของค่าปรับแต่งของกระบวนการ

(2) ดัชนีความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการ ( $C_p$  และ  $P_p$ ) ถ้ายังมีค่ามากกว่า 1.33 แสดงว่า กระบวนการมีความผันแปรน้อยหรือมีความมั่นคงสูง

(3) ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ ( $C_{pk}$  และ  $P_{pk}$ ) ถ้ายังมีค่ามากกว่า 1.33 แสดงว่า การเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรน้อยหรือมีความมั่นคงสูง

หมายเหตุ

1. ถ้าค่าดัชนี  $C_p$  และ  $C_{pk}$  ยังมีค่ามากกว่า 1.33 แสดงว่า กระบวนการมีความผันแปรน้อยหรือมีความมั่นคงสูง

2. ถ้าค่าดัชนี  $C_p$  กับค่า  $C_{pk}$  มีค่าที่ไม่เท่ากัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการไม่อยู่ตรงกลางของขอบเขตกำหนด หากค่า  $C_{pk} = C_{pu}$  ก็แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเข้าใกล้ด้าน USL มากกว่า หรือหนีห่างจากด้าน LSL มากเกินไป

ซึ่งที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุปข้อมูลเป็นตารางได้ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สรุปความหมายของค่าดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ

ดัชนี	ค่ามาตรฐาน	ความหมาย
$C_p$ & $P_p$	>1.33	กระบวนการมีความผันแปรน้อยหรือมีความมั่นคงสูง
$C_R$ & $P_R$	< 0.88	แสดงว่าความสามารถของกระบวนการยิ่งสูง ซึ่งหมายถึง ความผันแปรจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ของกระบวนการในการดำเนินงานภายใต้การควบคุมระยะสั้นมีค่าไม่เกิน 88 %
$C_{pk}$ & $P_{pk}$	>1.33	การเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรน้อยหรือมีความมั่นคงสูง

### 2.5.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

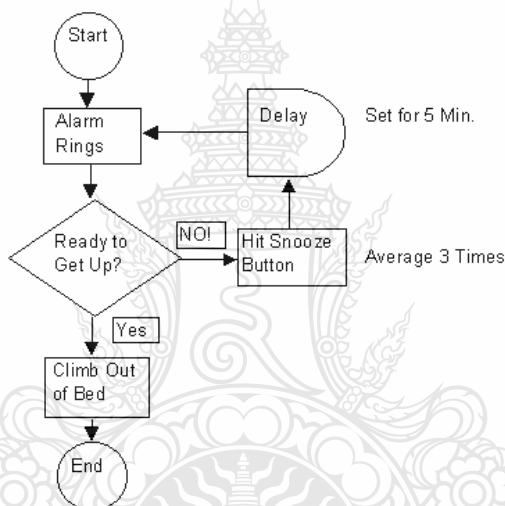
คือ ขั้นตอนการวัดกระบวนการที่เกี่ยวข้องในสถานะปัจจุบัน โดยการกำหนดจุดวิกฤติต่อคุณภาพ (Critical to Quality, CTQ) โดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment, QFD) และขั้นตอนของกระบวนการ (Process Mapping) การวิเคราะห์ผลกระทบต่อความล้มเหลว (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) การกระจายตัวทางสถิติ (Descriptive Statistics) แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) และการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis, MSA) เป็นต้น

1. แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Mapping) ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาสาเหตุของปัญหา ซึ่งในการสร้างแผนภาพของกระบวนการผลิตจะต้องทำอย่างละเอียดทุกขั้นตอนในการประกอบผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะได้สามารถระบุถึงตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการผลิต (Process Input) รวมทั้งผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต (Process Output) ซึ่งขั้นตอนนี้จึงเป็นการตรวจวิเคราะห์ของกระบวนการผลิต ซึ่งอาจจะทำให้เราทราบถึงสิ่งผิดปกติหรือทราบสาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องในการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนนี้อาจเป็นขั้นตอนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาโดยการทดลองและการตั้งสมมติฐาน หรือโดยการใช้ข้อมูลทางด้านสถิติที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธี การสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์ต้องใช้การระดมสมองและทีมงานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะได้รายละเอียดที่สำคัญและครบถ้วนของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภาพการไหลนั้นจะต้องสามารถบอกถึงสาเหตุแห่งความบกพร่องของผลิตภัณฑ์ (Cause of Poor Quality : COPQ) เพื่อนำมาสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์ จำเป็นอย่างยิ่ง ในการ

ระบุที่มาของข้อบกพร่องและสิ่งที่ย้อนในกระบวนการผลิต (Hidden Factory) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้สูญเสียเวลา เงิน ทรัพยากร และพื้นที่ในการจัดเก็บ

โดยขั้นตอนในการไหลของกระบวนการ (Process Mapping) จะไม่สามารถทำให้สำเร็จได้โดยง่าย หากไม่มีการกำหนดขอบเขตแต่ละกระบวนการให้ชัดเจนก่อนลงมือทำ เทคนิคต่อไปนี้จะช่วยให้สามารถกำหนดรายละเอียดของแต่ละกระบวนการได้ชัดเจน และมีประโยชน์ในการนำไปใช้งานจริง [20]

แสดงตัวอย่างขั้นตอนการไหล ดังรูปที่ 2.15 และสัญลักษณ์ที่สำคัญในการเขียนขั้นตอนการไหลของกระบวนการแสดงดังตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างขั้นตอนในการไหลของกระบวนการ (Process Mapping) [20]

ตารางที่ 2.3 สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนขั้นตอนการไหลของกระบวนการ (Process Mapping)

ลำดับ	สัญลักษณ์	ความหมาย
1	○	การผลิต
2	➔	การเคลื่อนที่
3	□	การตรวจสอบ
4	D	เกิดการขัดข้องต้องรอคอย
5	▽	การเก็บ

2. วิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลวัด (Measurement System Analysis) [21] โดยปกติวัดต่างๆ ล้วนแต่จะมีค่าคงที่ของคุณสมบัติเฉพาะต่างๆ ค่าหนึ่งซึ่งถือเป็น “ค่าจริง” ของวัตถุตามคุณสมบัติเฉพาะนั้นๆ โดยพบว่า “การวัด” จะเป็นการกำหนดค่าที่เป็นตัวเลขให้กับคุณสมบัติเฉพาะเหล่านั้น ในการกระบวนการวัดหรือระบบการวัดจะมีองค์ประกอบหลักๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด วิธีการวัด สิ่งที่ได้รับจากการวัด และสิ่งแวดล้อมในการวัด แต่เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้ จะมีความไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้เกิดความผันแปรในระบบการวัดขึ้น ซึ่งความผันแปรนี้มีอยู่ด้วยกันสองลักษณะ คือ ความผันแปรที่เป็นไปด้วยสาเหตุธรรมชาติ (Common Cause of Variation) ซึ่งความผันแปรจะอยู่ในลักษณะเสถียรภาพที่สามารถทำนายได้ แต่ความผันแปรอีกลักษณะหนึ่ง คือ ความผันแปรที่เป็นไปด้วยสาเหตุแห่งความผิดพลาด (Special Cause of Variation) ความผันแปรนี้จะไม่เสถียรและไม่สามารถทำนายได้ในการวัด เพื่อการประกันคุณภาพจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการตรวจจับสาเหตุแห่งความผิดพลาดแล้วทำการกำจัดทิ้งควบคู่ไปกับการพยายามลดสาเหตุธรรมชาติแห่งความผันแปรอย่างต่อเนื่อง

สาเหตุด้านความผันแปรของระบบการวัดเหล่านี้ จะมีผลทำให้ค่าวัดที่ได้เบี่ยงเบนไปจากค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัดเสมอ กล่าวคือ ถ้าให้  $X$  หมายถึงค่าที่วัดได้ และ  $\mu$  หมายถึง ค่าจริงของสิ่งที่ได้รับจากการวัดแล้ว ซึ่งจะได้ว่า  $X = \mu + \epsilon$  โดยจะเรียก  $\epsilon$  นี้ว่าค่าคลาดเคลื่อนของค่าวัด (Measurement Error) ในการวิเคราะห์ระบบการวัดนี้มีจุดมุ่งหมายสำคัญ ในการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัดแล้วทำการปรับปรุง

จากความคลาดเคลื่อนของค่าที่มีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้ และกำจัดไม่ได้จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน อันได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด ซึ่งเป็นผลมาจากความผิดพลาด (Special Cause) เช่น การขาดความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัด ซึ่งสามารถกำจัดได้โดยการกำหนดขั้นตอนและวิธีการวัดที่แน่นอน การฝึกอบรมพนักงานวัด การทำมาตรฐานของสิ่งที่ได้รับการวัด เป็นต้น เมื่อดำเนินการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐานแล้วก็จะดำเนินการสอบเทียบเครื่องมือเพื่อกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ หลังจากนั้นจะมีการลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มซึ่งสาเหตุมาจากธรรมชาติ (Common Cause) ต่างๆ ด้วยการประเมินถึงแหล่งความผันแปรต่างๆ ทั้งจากเครื่องมือวัด พนักงานวัด ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อค่าวัด

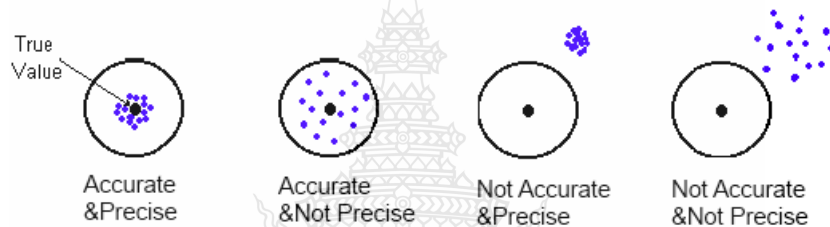
การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จะเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัด เพื่อแยกแยะแหล่งของความผันแปรต่างๆ ดำเนินการปรับปรุงในการวิเคราะห์ จะสนใจในการ

วิเคราะห์ความถูกต้อง (Accuracy) และการวิเคราะห์ความแม่นยำ (Precision) ของระบบการวัดแล้ว พยายามปรับให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ซึ่งความแม่นยำของการวัดจะประกอบไปด้วย

1) ความสามารถในการทำซ้ำ หรือรีพีทาทะบิลิตี้ (Repeatability) หมายถึง ความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

2) ความสามารถในการทำเหมือน หรือรีโพรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility) หมายถึง ความแตกต่างของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขต่างกัน

จากรูปที่ 2.16 แสดงถึงความแตกต่างของการวิเคราะห์ความถูกต้อง (Accuracy) และการวิเคราะห์ความแม่นยำ (Precision) ในการพยายามที่จะพัฒนาระบบการวัดให้บรรลุเป้าหมายทั้งการวิเคราะห์ความถูกต้องและการวิเคราะห์ความแม่นยำ [20]



รูปที่ 2.16 ความแตกต่างของการวิเคราะห์ความถูกต้อง และความแม่นยำ

สำหรับการศึกษาความสามารถของระบบการวัดแบบอาศัยข้อมูล จะเป็นการประเมิน โดยการเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทำการตรวจสอบกับพิสัยของข้อกำหนดเฉพาะ ซึ่งจะทำให้สามารถ ประเมินผลของข้อมูลออกมาเป็นยอมรับ และปฏิเสธ หรือ ผ่านและไม่ผ่าน การประเมินผลจะออกมา ในรูปของความมีประสิทธิภาพของการตรวจสอบ (Screen Effectiveness) อันจะหมายถึง ความสามารถ ของระบบการวัดในการแยกแยะงานไม่คือออกจากงานที่ดี ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการยอมรับจะขึ้นอยู่กับ เปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดในการตรวจสอบ (%Error) ดังนี้

(1) <10% Error สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้

(2) 10% ถึง 30% อาจยอมรับได้ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่าย ในการวัด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ ฯลฯ

(3) >30% ไม่สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้ และมีความ จำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปรแล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

ในการประเมินผลกระบวนการวัดมีขั้นตอนดังนี้

1) ทำการเลือกสิ่งตัวอย่างงานจากกระบวนการผลิตประมาณ 20-30 ชิ้น โดยพยายามให้สิ่งตัวอย่างงานดังกล่าวประกอบไปด้วย สิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณภาพดี สิ่งตัวอย่างงานที่คุณภาพไม่ดี และสิ่งตัวอย่างงานที่มีคุณภาพก้ำกึ่งในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน

2) เลือกพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบมา 2-4 คน โดยพนักงานที่เลือกมาจะต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพ ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดี และผ่านการสอบประเมินผลแล้ว

3) ทำการเลือกพนักงานขึ้นมาก่อนหนึ่งคน แล้วให้ตรวจสอบสิ่งตัวอย่างสุ่มเพื่อประเมินผลของพนักงานแต่ละคนนี้ความจำเป็นต้องทำการตรวจสอบ “ซ้ำ” อย่างน้อยชิ้นงานละ 2-3 ครั้ง

4) ทำการเลือกพนักงานคนที่สองขึ้นมาแล้วดำเนินการตรวจสอบอย่างสุ่มเหมือนข้อ 3 และทำเช่นนี้กับพนักงานคนอื่นๆ อีกจนครบทุกคนตามที่วางแผนไว้

5) ดำเนินการประเมินผลด้วยดัชนีต่างๆ ดังนี้

$$\% \text{รีพีทะบิลิตี} \text{ของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2.13)$$

$$\% \text{ความไม่ไปอัสของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2.14)$$

$$\% \text{ประสิทธิผลด้านรีพีทะบิลิตี} \text{ของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ทุกคนตรวจสอบได้เหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2.15)$$

$$\% \text{ประสิทธิผลด้านความไม่ไปอัสของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ทุกคนตรวจสอบถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}} \quad (2.16)$$

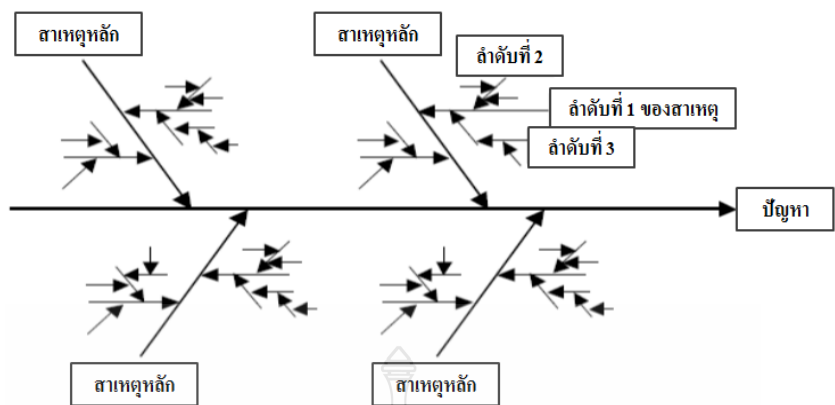
เปอร์เซ็นต์รีพีทะบิลิตีจะใช้การวิเคราะห์ความแม่นยำในขณะที่ เปอร์เซ็นต์ความไม่ไปอัสจะใช้วิเคราะห์ความถูกต้อง (ไปอัส หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการวัดอ้างอิง) และในการเปรียบเทียบเกณฑ์การยอมรับกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (% Error) จะได้เท่ากับ 100 ลบค่าเปอร์เซ็นต์เหล่านี้เป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (% Error)

6) ดำเนินการตัดสินใจเพื่อปฏิบัติการแก้ไขจากดัชนีที่คำนวณได้จากดัชนีตามสมการที่ 2.13 หากค่า เปอร์เซ็นตรีพิทหะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบได้ต่ำกว่าเกณฑ์ (น้อยกว่า 90%) แสดงถึงการขาดความแม่นยำของพนักงานจำเป็นต้องทำการฝึกอบรมพนักงานรวมทั้งการประเมินผลพนักงานใหม่แต่หากเปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบได้ต่ำกว่าเกณฑ์ หมายถึง การตรวจสอบของพนักงานขาดความถูกต้องจำเป็นต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบเสียใหม่ และหากเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านริพิทหะบิลิตี้ของการตรวจสอบ และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของการตรวจสอบได้ต่ำกว่าเกณฑ์ จะหมายถึงระบบการตรวจสอบขาดความแม่นยำ และขาดความถูกต้องจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุจากดัชนีข้างต้นแล้วทำการแก้ไขให้ถูกต้อง เพื่อให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

3. ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผลสำหรับปัญหาที่ทำการศึกษา ซึ่งแผนภาพนี้มีส่วนช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาที่มีความง่ายและเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ที่มีประโยชน์สำหรับนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและผล สำหรับประเด็นปัญหาที่พิจารณา ซึ่งแผนภาพนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นครั้งแรก โดยศาสตราจารย์ ดร.คาโอริ อิชิกาวา แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว เมื่อ ค.ศ.1943 โดยครั้งแรกนั้น ดร.อิชิกาวา ได้ใช้แผนภาพนี้ในการอธิบายถึงวิธีการในการตรวจจับ และแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อคุณภาพในการผลิต ให้แก่กลุ่มวิศวกร จากบริษัท คาวาซากิ สตีลเวิร์ค จำกัด

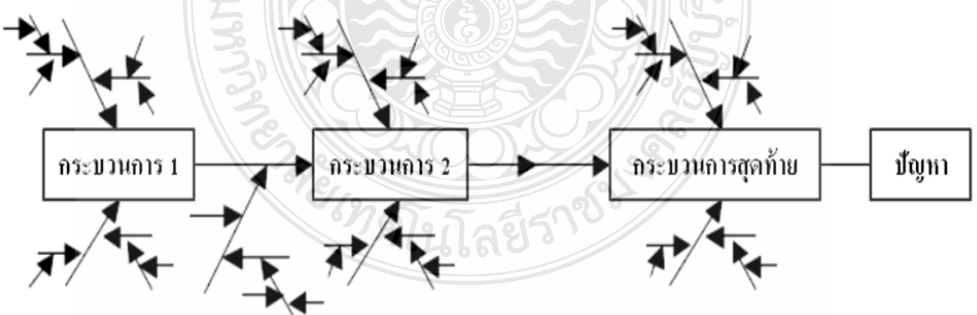
สำนักมาตรฐานอุตสาหกรรมแห่งญี่ปุ่น (JIS) ได้นิยามความหมายของแผนภาพสาเหตุและผลไว้ว่าเป็น แผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์อย่างมีระบบระหว่างผลที่แน่นอนประการหนึ่งกับสาเหตุต่างๆ ที่เกี่ยวข้องโดยจำแนกแผนภาพสาเหตุและผลนี้ ออกเป็น 3 ประเภทดังนี้ [22]

1) การวิเคราะห์ความผันแปร (Dispersion Analysis) จะใช้แสดงสาเหตุของการเกิดความผันแปรในคุณภาพที่แสดงด้วยหัวปลาตามลำดับก่อนหลังด้วยการตั้งคำถามว่า “ทำไมจึงเกิดความผันแปรขึ้น” เป็นเช่นนี้เรื่อยๆ ดังแสดงในโครงสร้างรูปที่ 2.17 โดยผู้สร้างแผนภาพสาเหตุและผลประเภทนี้จะต้องนึกไว้เสมอว่า ความผันแปรทุกตัวสามารถตรวจจับและทำให้ลดลงได้ โดยจุดแข็งของแผนภาพสาเหตุและผลประเภทนี้จะช่วยแสดงอย่างเป็นระบบถึงปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปร



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผลแบบวิเคราะห์ความผันแปร

2) การจำแนกตามกระบวนการผลิต (Process Classification) โดยแผนภาพสาเหตุและผลประเภทนี้ ใช้สำหรับแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล โดยมีการจำแนกตามกระบวนการย่อยต่างๆ เช่น ในตัวอย่างของกระบวนการประกอบงาน ดังโครงสร้างในรูปที่ 2.18 โดยแผนภาพสาเหตุและผลประเภทนี้จะมีจุดเด่นคือ สามารถสร้างได้ง่าย และสื่อข้อความได้ความหมายดี เพราะสามารถสร้างแผนภาพสาเหตุและผลที่แต่ละกระบวนการย่อยแล้วจึงนำมาต่อกระบวนการกัน แต่มีจุดอ่อนคือทำให้ดูเหมือนว่ามีสาเหตุซ้อนสาเหตุ สาเหตุของกระบวนการย่อยต้นน้ำ (Upstream) จะเป็นสาเหตุของกระบวนการท้ายน้ำ (Downstream) ทำให้มีสาเหตุมากกว่าหนึ่งปัจจัย ซึ่งทำให้ยากต่อการวิเคราะห์

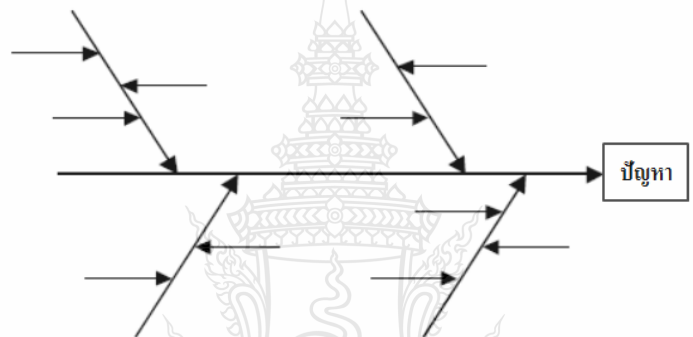


รูปที่ 2.18 โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผลแบบจำแนกตามกระบวนการ

3) การกำหนดรายการของสาเหตุ (Cause Enumeration) แผนภาพสาเหตุและผลแบบนี้จะมีโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.19 เหมือนกรณีการวิเคราะห์ความผันแปร แต่จะมีความแตกต่างกัน



ตรงที่ว่า แผนภาพสาเหตุและผลประเภทนี้จะมุ่งผู้รายการสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา (ตามหัวปลา) ค่อนข้างง่าย แต่มีข้อเสียคือ มีความยากในการสร้างค่อนข้างมาก เพราะนอกจากจะต้องระดมสมองหาสาเหตุที่คาดว่าจะเป็นไปได้ทั้งหมดแล้ว ยังจำเป็นต้องมีการทบทวนอยู่เสมอด้วย เพื่อให้มั่นใจว่าสาเหตุหลักๆ มิได้ตกหล่นไปจากการพิจารณา โดยในการวิเคราะห์ปัญหาโดยกลุ่มกิจกรรมคุณภาพ (QC Circle: QCC) นั้น จะถือว่าแผนภาพสาเหตุและผลประเภทของการวิเคราะห์ความผันแปรนี้มีประโยชน์มากที่สุดเพราะใช้วิเคราะห์ปัญหาที่มีความผันแปร ในขณะที่แผนภาพสาเหตุและผลแบบกำหนดรายการของสาเหตุใช้วิเคราะห์ปัญหาที่เรื้อรัง เหมาะกับปัญหาการปรับปรุงคุณภาพและแผนภาพสาเหตุและผลแบบจำแนกตามกระบวนการเหมาะสมอย่างยิ่งกับการสร้างแผนการควบคุม



รูปที่ 2.19 โครงสร้างของแผนภาพสาเหตุและผลแบบกำหนดรายการสาเหตุ

4. การวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบในกระบวนการ (FMEA Process) เป็นการวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบในกระบวนการเพื่อช่วยเพิ่มความเที่ยงตรง (Reliability) ของกระบวนการเพื่อการผลิตหรือการออกแบบการควบคุมกระบวนการ [23]

1) จุดประสงค์ของ FMEA มีดังนี้ [24]

(1) สามารถที่จะพิจารณาและประเมินโอกาสที่จะเกิดภาวะความผิดพลาดของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ และผลกระทบต่างๆ

(2) แบ่งแยกกิจกรรมซึ่งสามารถที่จะกำจัดหรือลดโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด

(3) กระบวนการเตรียมเอกสารต่างๆ เพื่อส่งเสริมกิจกรรมดังกล่าวมาข้างต้น

2) ประโยชน์ในการประยุกต์ใช้วิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบ เมื่อมีการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบอย่างเหมาะสม ประโยชน์ของการใช้จะมีดังต่อไปนี้

(1) ทำให้มีความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น เนื่องจากจากวิธีการต่างๆ ของการทำงานของภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบจะใช้ผู้เชี่ยวชาญจากหลายหน่วยงาน ดังนั้น ความเข้าใจที่ดีขึ้นร่วมกันในการออกแบบและใช้งานจะเป็นสิ่งที่ทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

(2) ลดเวลาการทำงานหากภาวะความผิดพลาดและสาเหตุได้ถูกค้นพบก่อนที่จะมีการสร้างชิ้นงานต้นแบบหรือประกอบชิ้นงาน จะสามารถลดเวลาในการทดสอบชิ้นงานที่ได้รับการออกแบบอย่างไม่เหมาะสมไปได้มาก

(3) ลดต้นทุนการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ไม่เหมาะสม มักจะถูกออกแบบใหม่ที่ดีกว่าอยู่บ่อยครั้ง ดังนั้นหากมีการพบความผิดพลาดอย่างรวดเร็วก็จะสามารถลดจุดด้อยได้ก่อนอันจะทำให้มีการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบนี้บ่อยครั้ง เป็นผลให้ต้นทุนการผลิตลดลง

(4) ลดต้นทุนการรับประกันการซ่อม และเรียกกลับมาซ่อมหรือปรับปรุง การปรับปรุงให้การออกแบบและผลิตมีประสิทธิภาพจะสามารถลดปริมาณความเสียหายซึ่งเกี่ยวเนื่องโดยตรงกับต้นทุนการรับประกันการซ่อมและเรียกกลับมาซ่อม ซึ่งจะลดต้นทุนโดยรวมของผลิตภัณฑ์ และเป็นการส่งเสริมภาพลักษณ์ของบริษัทให้ดียิ่งขึ้น

(5) คุณภาพสูงขึ้น สิ่งทีกล่าวมาข้างต้นทั้งหมดล้วนแต่เป็นองค์ประกอบที่ช่วยให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็ผลให้ผู้ใช้มีความพึงพอใจมากยิ่งขึ้น

(6) สามารถเก็บข้อมูลดียิ่งขึ้น การสร้างและการเก็บข้อมูลที่เหมาะสมของภาวะผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบจะเป็นสิ่งที่จะต้องมีการเก็บข้อมูลในการออกแบบผลิตภัณฑ์ไว้ทั้งหมด ซึ่งจะป้องกันความผิดพลาดซึ่งจะเคยเกิดขึ้นในอดีตอันเกิดจากความตั้งใจที่ดี นอกเหนือจากนั้นการเก็บข้อมูลการปรับปรุงและวิเคราะห์ต่างๆ จะช่วยให้การออกแบบขั้นต่อไปในอนาคตมีความสะดวกยิ่งขึ้น

3) ชนิดของการวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบ เป็นวิธีการวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวอย่างเป็นระบบมีขั้นตอนสำหรับการค้นหาสาเหตุของความผิดพลาดก่อนที่จะเกิดขึ้นจริง เพื่อเป็นการป้องกันก่อนที่จะเกิดปัญหาร้ายแรงขึ้นมาภายหลัง และเป็นการลดความเสี่ยงของการเกิดปัญหา โดยทั่วไปแล้ว FMEA สามารถแบ่งตามวิธีการนำไปใช้งานได้หลายอย่าง คือ

(1) System FMEA จะใช้สำหรับการออกแบบหรือปรับปรุงระบบการทำงานในการใช้งานมักจะรวมอยู่ในขั้นตอนของ FMEA ชนิดอื่น ได้แก่ การสร้างแนวความคิดในการออกแบบและกำหนดรายละเอียดของระบบงาน การออกแบบ การพัฒนา การทดสอบ และการประเมินผลระบบ

(2) Design FMEA ซึ่งนิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลและการแก้ไขงานที่มีการทดลอง หรือปฏิบัติเป็นครั้งแรกมักจะพิจารณาเกี่ยวข้องกับกลุ่มของการรวมส่วนประกอบต่างๆ หรือส่วนย่อยๆ เข้าด้วยกันและส่วนของผลิตภัณฑ์ว่ามีหน้าที่การใช้งานตามที่ออกแบบเหมาะสมแล้วหรือไม่ และส่วนใดจะมีปัญหาจะป้องกันหรือลดระดับความเสี่ยงได้มากน้อยแค่ไหน

(3) Process FMEA ซึ่งนิยมใช้สำหรับกระบวนการผลิตมีลักษณะเหมือนกับ Design FMEA แต่จะทำการพิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตที่สำคัญ คือ พนักงาน เครื่องจักร วัสดุ วิธีการ การวัดและสภาพแวดล้อมของการผลิต โดยทั่วไปแล้วเครื่องจักรจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเมื่อจัดทำ Process FMEA

(4) Service FMEA เกี่ยวข้องกับการให้บริการเป็นหลัก โดยนิยมให้คนเป็นปัจจัยสำคัญที่สุด เมื่อจัดทำ Service FMEA

(5) Machinery FMEA ซึ่งนิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์เครื่องจักรอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้ โดยแบ่งเป็นส่วนประกอบต่างๆ เช่น โครงสร้างเครื่องจักร เครื่องมือส่วนทำความเย็น ส่วนส่งกำลัง ส่วนหล่อลื่น ชุดเกียร์ ตลับลูกปืน ฯลฯ

4) งานเอกสารของ FMEA การวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวที่เกิดขึ้นโดยวิธีการ FMEA ซึ่งถือว่าเป็นการวางระบบเตือนภัยล่วงหน้าและเป็นเทคนิคการป้องกันปัญหาชนิดหนึ่ง ซึ่งมีส่วนช่วยวิศวกรกระบวนการในการศึกษาสาเหตุและผลกระทบต่างๆ ก่อนที่กระบวนการจะถูกบันทึกลงแบบฟอร์มมาตรฐานของ FMEA โดยมักจะเริ่มต้นจากหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งของกระบวนการผลิต จะถูกนำมาพิจารณาอย่างละเอียดว่ามีชนิดหรือรูปแบบของปัญหาและความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นหรือเคยเกิดขึ้นมาแล้วมีอะไรบ้าง มีสาเหตุมาจากเรื่องใด และจะมีผลกระทบอย่างไรหลังจากนั้นจะมีการประมาณตัวเลขระดับความเสี่ยงหรือที่เรียกกันว่าค่า RPN ซึ่งมาจากคำว่า Risk Priority Number ให้กับแต่ละปัญหา

5) การคำนวณค่า RPN มาจากผลคูณค่าพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ  $S \times O \times D$  เมื่อ

S = Severity คือ เกณฑ์การให้ลำดับชั้นผลกระทบของความรุนแรง

O = Occurrence คือ การให้ลำดับโอกาสเกิดความผิดพลาด

D = Detection คือ โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ

ค่า S, O และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นเมื่อค่าระดับความเสียหายต่ำสุดของการเกิดปัญหา คือ ค่า RPN = 1 ซึ่งมาจาก  $1 \times 1 \times 1$  หมายความว่า ความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยมาก และความรุนแรงของผลกระทบ เมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกันและสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์ส่วนค่าระดับความเสียหายสูงสุดของการเกิดปัญหา คือ ค่า RPN = 1000 ซึ่งมาจาก  $10 \times 10 \times 10$  หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมาก เช่นพบทุกวันและระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้ก็มีมาก เช่นกระบวนการผลิตต้องหยุดทั้งหมด หรือลูกค้า ต้องยกเลิกสัญญาสั่งซื้อ เป็นต้น และยังไม่มีการตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าเลย

ทั้งนี้การให้คะแนนค่า S, O และ D ซึ่งประเมินค่าโดยมีการลำดับความสำคัญ [25] ดังตารางที่ 2.4, 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ

**ตารางที่ 2.4** เกณฑ์การให้ลำดับชั้นผลกระทบของความรุนแรง (S: Severity)

เกณฑ์ (ผลกระทบของระดับความรุนแรง)	ลำดับที่ (Rank)
อาจจะทำให้เกิดอันตรายกับเครื่องจักรอื่นหรือกับผู้นปฏิบัติงานอย่างสูง	10
อาจทำให้เกิดอันตรายกับเครื่องจักรอื่นหรือกับผู้นปฏิบัติงาน	9
ทำให้การผลิตหยุดชะงักอย่างมาก และผลิตจำนวน 100% อาจจะต้องกลายเป็น ผลิตภัณฑ์เสีย (Scrapped 100%)	8
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์อาจจะต้องมีการนำมาเลือกบางส่วนที่เสียออก (<100% เป็นผลิตภัณฑ์เสีย)	7
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์มีเสีย <100% แต่อาจไม่ต้องนำมาเลือกบางส่วนออก	6
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์จำนวน <100% อาจจะต้องมาผลิตอีกครั้ง (Reworked 100%)	5
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์อาจจะต้องมีการนำมาเลือกบางส่วนที่เสียออก แล้วนำส่วนที่เหลือมาทำอีกครั้ง (Reworked <100%)	4
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์จำนวนน้อยกว่า 100% อาจจะต้องนำมาทำใหม่ในสายการผลิต แต่ภายนอกสถานีการผลิต	3
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์จำนวนน้อยกว่า 100% อาจจะต้องนำมาทำใหม่ในสายการผลิต และภายในสถานีการผลิต	2
ไม่มีผลกระทบ	1

ตารางที่ 2.5 การให้ลำดับ โอกาสเกิดความผิดพลาด (O: Occurrence)

โอกาสในการเกิดความผิดพลาด (Occurrence Opportunity of Failure)	อัตราความเป็นไปได้ในการเกิดความ ผิดพลาด (Possible Failure Rate)	ลำดับที่ (Rank)
สูงมาก (ความผิดพลาดเกิดขึ้นเกือบ แน่นอน)	มากกว่าหรือเท่ากับ 1 ใน 2	10
	1 ใน 3 ถึง 1 ใน 2	9
สูง (ความผิดพลาดมีบ่อยครั้ง)	1 ใน 8 ถึง 1 ใน 3	8
	1 ใน 20 ถึง 1 ใน 8	7
โอกาสในการเกิดความผิดพลาด (Occurrence Opportunity of Failure)	อัตราความเป็นไปได้ในการเกิดความ ผิดพลาด (Possible Failure Rate)	ลำดับที่ (Rank)
ปานกลาง (ความผิดพลาดเกิดขึ้นบ้าง)	1 ใน 80 ถึง 1 ใน 20	6
	1 ใน 400 ถึง 1 ใน 80	5
	1 ใน 2,000 ถึง 1 ใน 400	4
ต่ำ (ความผิดพลาดมีเกิดขึ้นน้อยครั้ง)	1 ใน 15,000 ถึง 1 ใน 2000	3
	1 ใน 150,000 ถึง 1 ใน 15,000	2
ต่ำมาก (ความผิดพลาดมีโอกาสดัง น้อยมาก)	มากกว่า 1 ใน 1,500,000 ถึง 1 ใน 150,000	1

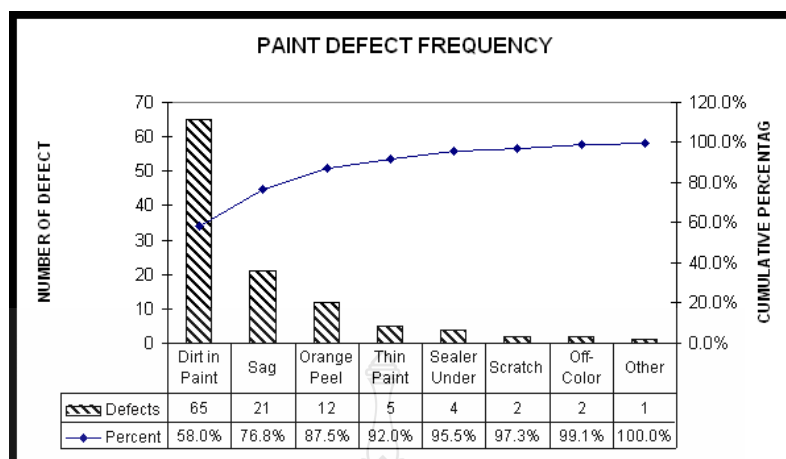
ตารางที่ 2.6 โอกาสที่จะตรวจจับ โดยการควบคุมกระบวนการ (D: Detection)

โอกาสการตรวจ (Detection Opportunity)	โอกาสที่จะตรวจจับ โดยการควบคุมกระบวนการ (Opportunity of Detection by Process Control)	ลำดับที่ (Rank)
ไม่สามารถตรวจจับได้ อย่างแน่นอน	การควบคุมการออกแบบไม่สามารถตรวจจับโอกาสที่ จะเป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาด(หรือไม่ มีการควบคุมการออกแบบเลย)	10
มีโอกาสตรวจจับได้ เล็กน้อยที่สุด	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับที่จะเป็น สาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้เล็กน้อยที่สุด	9

ตารางที่ 2.6 โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ (D: Detection) (ต่อ)

โอกาสการตรวจ (Detection Opportunity)	โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ (Opportunity of Detection by Process Control)	ลำดับที่ (Rank)
มีโอกาสตรวจจับได้เล็กน้อยมาก	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้เล็กน้อยมาก	8
มีโอกาสตรวจจับได้ต่ำมาก	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความ	7
มีโอกาสตรวจจับได้ต่ำ	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ต่ำ	6
มีโอกาสตรวจจับได้ปานกลาง	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ปานกลาง	5
มีโอกาสตรวจจับได้ค่อนข้างสูง	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ค่อนข้างสูง	4
มีโอกาสตรวจจับได้สูง	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้สูง	3
มีโอกาสตรวจจับได้สูงมาก	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้สูงมาก	2
มีโอกาสตรวจจับได้ค่อนข้างแน่นอน	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ค่อนข้างแน่นอน	1

6) การวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหาเป็นการจัดระดับความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) ซึ่งเป็นผลมาจากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการข้างต้น สามารถนำมาสร้างแผนภาพพาเรโต เพื่อทำการคัดเลือกสาเหตุที่สำคัญ และพิจารณาว่าสาเหตุใดบ้างที่เป็นสาเหตุที่ควรนำมาทำการแก้ไขปัญหา โดยหลักของการพิจารณาคัดเลือกสาเหตุที่สำคัญนั้นจะใช้หลักการพาเรโตที่ 80:20 คือ ข้อมูลที่มีความสำคัญจะมีเพียงจำนวนเล็กน้อย และข้อมูลที่มีความสำคัญเล็กน้อยมีจำนวนมาก ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างการจัดทำแผนภาพพาร์โตเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา [20]

### 2.5.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

คือ ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาที่เป็นต้นเหตุของการเกิดข้อบกพร่อง โดยเครื่องมือที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์หมีตัวอย่าง เช่น การหาจำนวนตัวอย่างที่ใช้ทำการทดลอง (Power and Sample Size) การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร (Correlation Analysis) เป็นต้น

#### 1. การตั้งสมมติฐานในการตรวจสอบ (Hypothesis Testing)

จากที่กล่าวมาแล้วในลำดับขั้นตอนการออกแบบการทดลองว่าในการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้วิธีทางสถิตินั้นจะมีความเสี่ยงเข้ามาเกี่ยวข้องอยู่เสมอ ดังนั้นการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจึงต้องอยู่ภายใต้ความเสี่ยงดังกล่าว โดย สมมติฐาน (Hypothesis) [26] คือ คำตอบที่คาดการณ์ไว้ล่วงหน้าอย่างมีเหตุผล ซึ่งโดยปกติจะเป็นข้อความที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ดังนั้นสมมติฐาน หรือคำตอบที่คาดการณ์ไว้ล่วงหน้า นั้น จะได้รับการยอมรับหรือไม่ก็ต้องมีการพิสูจน์ หรือทดสอบซึ่งในทางวิจัยเรียกว่า การทดสอบสมมติฐาน โดยสมมติฐานที่ตั้งขึ้น ไม่จำเป็นต้องได้รับการยืนยันเสมอไป ถึงแม้ว่าจะไม่ได้รับการยืนยันก็ไม่ได้หมายความว่า การวิจัยนั้นล้มเหลว และอาจจะมองได้ว่าเป็นการได้ค้นพบความรู้ใหม่ที่คนอาจจะเข้าใจผิดต่อไปก็ได้ ถ้าไม่ได้ทำวิจัยเรื่องนี้ซึ่งก็นับว่าเป็นการค้นพบที่เป็นประโยชน์ และอาจเป็นสิ่งที่นำไปสู่การตั้งสมมติฐานใหม่ เพื่อจะได้ทำการศึกษาค้นคว้าต่อไปว่าคำตอบที่ถูกต้องนั้นควรเป็นเช่นใด

การกำหนดสมมติฐานต้องเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลก่อนเสมอ ด้วยเหตุผลสองประการ คือ ประการแรกสมมติฐานที่สร้างขึ้นอย่างมีเหตุผล ซึ่งแสดงถึงความรู้พื้นฐานของผู้วิจัยที่มีต่อประเด็น

ของการศึกษา ประการที่สอง สมมติฐานที่ชี้ถึงทิศทางของการเก็บและการแปลความหมายข้อมูล กล่าวคือสมมติฐานที่ชี้ให้เห็นถึงกระบวนการเก็บข้อมูลว่าควรเป็นอย่างไรซึ่งทำให้ประหยัดเวลาและแรงงานมากกว่าการดำเนินการเก็บข้อมูลทั่วไป โดยไม่มีทิศทางที่แน่นอน

การตั้งสมมติฐานควรมีหลักการหรือเหตุผลที่เหมาะสม โดยอาศัยพื้นฐานมาจากการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อการวิจัย ทฤษฎีที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับเรื่องที่จะศึกษาไม่ว่าจะเป็นทางตรงหรือทางอ้อมก็ตาม เพื่อช่วยสนับสนุนให้เห็นว่าทำไมจึงตั้งสมมติฐาน วิธีการตั้งสมมติฐานจำเป็นต้องมีการกล่าวนำขึ้นมาก่อนที่จะมีการตั้งสมมติฐาน ไม่ควรตั้งสมมติฐานขึ้นมาลอยๆ โดยไม่ได้อ้างอิงมาจากทฤษฎีหรือข้อค้นพบที่เชื่อถือได้ และเหตุผลจากข้อเท็จจริงต่างๆที่เกี่ยวข้องจึงทำให้มีน้ำหนักน้อยกว่าสมมติฐานที่มีการอ้างอิง

1) ลักษณะการตั้งสมมติฐานทางวิจัยที่ดีควรมีดังนี้

(1) สมมติฐานที่ตั้งขึ้นควรมีความชัดเจนและเฉพาะเจาะจง ควรหลีกเลี่ยงคำที่มีความหมายกว้างเกินไป ซึ่งเป็นการยากต่อการที่จะทดสอบ เช่น บรรยากาศในโรงเรียนเหมาะสมต่อการเรียนรู้ของนักศึกษา คำว่า เหมาะสม เป็นคำที่มีความหมายกว้างเกินไป

(2) สมมติฐานที่ตั้งขึ้นต้องเป็นสิ่งที่ทดสอบได้

(3) สมมติฐานที่ตั้งขึ้นไม่ควรเป็นสิ่งที่มีขอบเขตกว้างเกินไป ซึ่งเป็นการยากต่อการทดสอบ และไม่สามารถที่จะสรุปข้อค้นพบให้ตรงกับเป้าหมายของสิ่งที่ต้องการจะศึกษาได้

(4) สมมติฐานควรตั้งให้สอดคล้องกับเรื่องที่ต้องการศึกษาตามความจริงที่ปรากฏอยู่ในปัจจุบัน

(5) ภาษาที่ใช้ในการตั้งสมมติฐานควรเป็นคำพูดที่ง่ายๆ ทั้งนี้เพื่อให้ความหมายเป็นสิ่งที่แจ่มชัดสำหรับคนทั่วไป

2) การประเมินสมมติฐานโดยเกณฑ์ต่างๆที่ใช้ในการประเมินคุณลักษณะที่ดีของสมมติฐาน มีดังต่อไปนี้

(1) สมมติฐานต้องอธิบายปรากฏการณ์ได้ คือ สมมติฐานต้องมีลักษณะอธิบายปรากฏการณ์ที่ผู้วิจัยมีปัญหาคือ เช่น นักเรียน เรียนคณิตศาสตร์ได้ช้ากว่าปกติ ผู้วิจัยอาจสงสัยว่า อาจเกิดการเลือกใช้ตำราที่ไม่เหมาะสมกับระดับความสามารถของผู้เรียน ผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐาน ถ้านักเรียนกลุ่มที่มีปัญหาคือได้เปลี่ยนไปใช้ตำราที่สอดคล้องกับความสามารถของตนเองแล้ว จะทำให้เรียนได้ดีขึ้น

(2) สมมติฐานต้องระบุความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ยกตัวอย่างเช่น ถ้าผู้วิจัยกล่าวแต่เพียงว่า นักเรียนไม่สามารถเรียนได้ดีเพราะมีปัญหาบางอย่าง ไม่นับว่าเป็นสมมติฐาน



เพราะไม่มีการกล่าวถึงตัวแปร แต่ถ้ากล่าวว่่านักเรียนซึ่งมีความถนัดทางคณิตศาสตร์สูง จะมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์สูงด้วย หรือความถนัดทางคณิตศาสตร์มีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์ ลักษณะดังกล่าวนี้จึงจะชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ผู้วิจัยมีความสนใจทางคณิตศาสตร์

(3) สมมติฐานต้องสามารถทดสอบได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของสมมติฐาน สมมติฐานต้องทดสอบได้ ผู้วิจัยอาจใช้วิธีอนุมานหรือสรุปความจากสมมติฐานเพื่อโยงไปยังข้อมูลที่สังเกตได้ ซึ่งสามารถใช้ยืนยันหรือขัดแย้งกับสมมติฐานนั้นๆ ได้ ถ้าสมมติฐานมีความถูกต้องปรากฏการณ์ที่ผู้วิจัยทำนายไว้จะเกิดขึ้นจริง ดังนั้นจึงเป็นไปได้ว่า ข้อมูลที่เก็บอาจขัดแย้งหรือสนับสนุนสมมติฐานนั้นๆ ก็ได้

สมมติฐานจะสามารถทำการทดสอบได้ก็ต่อเมื่อตัวแปรที่กล่าวถึงในสมมติฐานนั้นเป็นตัวแปรซึ่งสามารถวัดได้ ถ้าตัวแปรดังกล่าววัดไม่ได้ก็ย่อมเป็นไปได้ที่จะทดสอบสมมติฐานนั้น ดังนั้นคำจำกัดความเชิงปฏิบัติการจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมากในการสร้างสมมติฐาน ข้อระมัดระวังในการสร้างสมมติฐานก็คือ ผู้วิจัยต้องมีความมั่นใจเสมอว่าสามารถให้คำจำกัดความเชิงปฏิบัติการแก่ตัวแปรในสมมติฐานได้ นอกจากนี้ตัวแปรที่แสดงถึงค่านิยมทางสังคมก็เป็นสิ่งที่ควรหลีกเลี่ยงเช่นกัน เช่น การเข้าโปรแกรมแนะแนวช่วยให้นักเรียนประสบความสำเร็จในการศึกษาต่อในวิชาชีพสาขาต่างๆ เป็นสมมติฐานที่ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ (เพราะไม่ทราบว่าจะสำเร็จคืออะไร หรือวัดด้วยอะไร) อย่างไรก็ตามถ้าเปลี่ยนนักเรียนซึ่งผ่านโปรแกรมแนะแนวมาก่อนจะสามารถเก็บข้อมูลได้ง่ายขึ้น

(4) สมมติฐานควรสอดคล้องกับองค์แห่งความรู้ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันอยู่แล้ว สมมติฐานไม่ควรขัดแย้งกับทฤษฎี หรือเกณฑ์ต่างๆซึ่งเป็นที่ยอมรับ โดยทั่วไป เช่น สมมติฐานที่กล่าวว่่านักเรียนที่มาจากครอบครัวที่มีรายได้ต่ำจะมีความตั้งใจเรียนสูง และสอบได้คะแนนสูงกว่านักเรียนกลุ่มที่มาจากครอบครัวที่มีรายได้สูง เป็นสมมติฐานที่ขัดแย้งกับข้อค้นพบต่างๆ ไป กล่าวว่่า สถานภาพทางเศรษฐกิจและสังคมจะมีความสัมพันธ์ทางบวกกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ดังนั้นควรเปลี่ยนสมมติฐานดังกล่าวเสียใหม่ ให้สอดคล้องกับทฤษฎีซึ่งเป็นที่ยอมรับกัน โดยทั่วไป

(5) สมมติฐานควรอยู่ในลักษณะที่สั้นแต่มีความหมายชัดเจนในตัวเอง โดยการกำหนดสมมติฐานควรอยู่ในลักษณะที่ง่ายๆและชัดเจน ซึ่งนอกจากจะช่วยให้การทดสอบสมมติฐานเป็นไปอย่างสะดวกแล้ว ยังช่วยสรุปให้ผลงานของการวิจัยได้อย่างชัดเจนอีกด้วย ผู้วิจัยควรทำการเปลี่ยนรูปแบบของสมมติฐานทั่วไปให้กลายเป็นสมมติฐานย่อยๆ หรือสมมติฐานเฉพาะเสียก่อน

### 3) ประโยชน์ของสมมติฐานทางวิจัย

- (1) ช่วยให้ผู้วิจัยสามารถเลือกตัวแปรที่ต้องการศึกษาว่ามีตัวแปรอะไรบ้าง
- (2) ช่วยให้ผู้วิจัยเลือกข้อมูลที่จะนำมาศึกษาได้ถูกต้องตรงประเด็นเท่ากับเป็นการประหยัดทั้งเวลาและเงินทุนที่ต้องการใช้ในการวิจัย
- (3) ช่วยจำกัดขอบเขตการวิจัยและทำให้ปัญหาในการวิจัยชัดเจนขึ้น
- (4) ช่วยให้ผู้วิจัยรู้ว่าควรใช้แบบการวิจัย (Research Design) แบบใดจึงจะเหมาะสมกับปัญหาที่ผู้วิจัยต้องการศึกษา
- (5) ช่วยทำให้ผู้วิจัยทราบว่าจะใช้กลุ่มตัวอย่าง อย่างไร
- (6) ช่วยให้ผู้วิจัยทราบว่าจะเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างไร
- (7) ช่วยทำให้ผู้วิจัยทราบว่าจะใช้สถิติอะไรทดสอบสมมติฐาน
- (8) ช่วยกำหนดขอบเขตในการแปลความหมายของผลงานวิจัยว่าควรสรุปออกมาในรูปแบบใด

### 4) ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน [27]

- (1) การกำหนดปัญหา การวิจัยที่ดีควรเริ่มต้นด้วยปัญหา หรือคำถามเสมอเพราะการกำหนดคำถามของการวิจัยเป็นจุดเริ่มต้นในการวางแผนการวิจัย ในขั้นตอนต่อไป
- (2) การตั้งสมมติฐาน เป็นการคาดการณ์ หรือทำนายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป หรืออีกนัยหนึ่ง เป็นการคาดการณ์ถึงคำตอบที่เป็นไปได้ ของปัญหาการวิจัยที่ได้กำหนดไว้ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

ก. สมมติฐานหลักหรือสมมติฐานว่าง (Null Hypothesis) เป็นสมมติฐานที่ตั้งเพื่อทดสอบ และจะต้องตั้งอยู่ในรูปแบบที่ไม่ระบุความสัมพันธ์ โดยใช้สัญลักษณ์แทนด้วย  $H_0$

ข. สมมติฐานอื่นหรือสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis) เป็นสมมติฐานที่ตั้งเพื่อทดสอบ และจะต้องตั้งอยู่ในรูปแบบที่สามารถระบุความสัมพันธ์ได้ โดยใช้สัญลักษณ์แทนด้วย  $H_1$

ในกรณีที่สมมติฐานเป็นบริเวณแห่งการปฏิเสธ (Rejection Region) สมมติฐาน  $H_0$  จะมีความสัมพันธ์กับระดับนัยสำคัญ หรือ บริเวณวิกฤต (Critical Region) นั่นคือ บริเวณวิกฤตทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับนอกจากนั้นยังมีความสัมพันธ์กับลักษณะของสมมติฐานทางเลือกที่กำหนดดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ความสัมพันธ์กับลักษณะของสมมติฐานทางเลือก

รูปแบบสมมติฐาน	สัญลักษณ์	กราฟ
แบบสองด้าน	$H_0: \mu_1 = \mu_2$ $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$	
แบบด้านเดียว (ด้านบน)	$H_0: \mu_1 \leq \mu_2$ $H_1: \mu_1 > \mu_2$	
แบบด้านเดียว (ด้านล่าง)	$H_0: \mu_1 \geq \mu_2$ $H_1: \mu_1 < \mu_2$	

การตั้งสมมติฐานจะเป็นการตั้งด้วยความหวังที่จะปฏิเสธ ดังนั้นในการทำการทดสอบสมมติฐานย่อมมีความเสี่ยงที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 หากเราจะทำการปฏิเสธสมมติฐานหลักในทางปฏิบัติจะเริ่มจากการตั้งสมมติฐาน ออกแบบการทดลอง ดำเนินการสุ่มตัวอย่างแล้วทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเชื่อมั่นที่จะปฏิเสธสมมติฐานหลักนั้นๆ

(3) การทดสอบสมมติฐาน โดยการไปเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยรูปแบบการวิจัย (Design) และระเบียบวิธีวิจัย (Methodology) จากนั้นจึงนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคทางสถิติที่เหมาะสม ในการทดสอบสมมติฐานเราอาศัยวิธีการในการสุ่มตัวอย่าง การคำนวณค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบที่เหมาะสม และทำสรุปเพื่อปฏิเสธหรือยอมรับ  $H_0$  นอกจากนั้นยังต้องมีการกำหนดกลุ่มของค่าที่จะนำไปสู่การปฏิเสธ  $H_0$  ซึ่งกลุ่มค่านี้เรียกว่า พื้นที่วิกฤต หรือ พื้นที่ของการปฏิเสธของการทดสอบ

ในการตัดสินใจจากผลการทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติ อาจเกิดความผิดพลาดหรือคลาดเคลื่อนขึ้นได้ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ

**กรณีที่ 1** เมื่อเราปฏิเสธสมมติฐานหลัก โดยที่สมมติฐานหลักเป็นจริง การตัดสินใจดังกล่าวเป็นการกระทำความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I error) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $\alpha$  หรือ คือความ

น่าจะเป็นที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนของการทดสอบแบบที่ 1 นั้นเอง เช่น  $\alpha=0.05$  หรือ 5% หมายความว่า ในการทดสอบ สมมติฐาน 100 ครั้ง จะยอมให้เกิด ความคลาดเคลื่อนแบบที่ 1 เพียง 5 ครั้งเท่านั้น ดังสมการที่ 2.17

$$\alpha = P(\text{type I error}) = P(\text{reject } H_0 / H_0 \text{ is true}) \quad (2.17)$$

กรณีที่ 2 เมื่อสมมติฐานหลักไม่ถูกต้อง แต่สรุปว่าสมมติฐานหลักถูกต้อง การตัดสินใจดังกล่าว เป็นการกระทำความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II error) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $\beta$  และเรียก  $1 - \beta$  ว่าอำนาจในการทดสอบ (Power of Test) ดังสมการที่ 2.18 และ 2.19

$$\beta = P(\text{type II error}) = P(\text{reject } H_0 / H_0 \text{ is false}) \quad \text{หรือ} \quad (2.18)$$

$$\text{Power} = 1 - \beta = P(\text{reject } H_0 / H_0 \text{ is false}) \quad (2.19)$$

ขั้นตอนทั่วไปในการทดสอบสมมติฐานคือ การกำหนดความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภท 1 หรือ  $\alpha$  ซึ่งเรียกว่า ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ แล้วหลังจากนั้นก็ออกแบบวิธีการทดสอบให้มีค่าความน่าจะเป็นของความผิดพลาดประเภท 2 หรือ  $\beta$  ให้มีค่าน้อยตามที่เห็นว่าเหมาะสม

(4) การสรุปผล ถ้าข้อสรุปนั้นสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ก็ได้สมมติฐานใหม่ แต่ถ้าขัดแย้งกัน ก็อาจจำเป็นต้องเปลี่ยนสมมติฐานที่ตั้งไว้เดิม

5) การใช้ P-Value ในการทดสอบสมมติฐาน [28]

วิธีการรายงานผลการทดสอบสมมติฐานอีกวิธีหนึ่ง คือ การแสดงสมมติฐานหลักจะถูกปฏิเสธหรือไม่ที่ค่า  $\alpha$  หรือระดับนัยสำคัญที่กำหนด วิธีการของ P-Value ได้ถูกนำมาใช้อย่างมากเพื่อหลีกเลี่ยงความยุ่งยากดังกล่าว P-Value คือ ความน่าจะเป็นที่ค่าทดสอบทางสถิติจะมีค่าเป็นอย่างน้อยที่ทำให้ค่านี้มีค่ามากเท่ากับค่าสังเกตในทางสถิติ เมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง ดังนั้น P-Value นี้ จะแสดงถึงน้ำหนักของหลักฐานที่จะใช้ในการปฏิเสธ  $H_0$  และผู้ตัดสินใจสามารถสร้างข้อสรุปที่ระดับนัยสำคัญอื่นๆได้ นอกจากนี้เรายังสามารถนิยาม P-Value ว่าเป็นเหมือนกับค่าที่น้อยที่สุดของระดับนัยสำคัญ ซึ่งจะนำไปสู่การปฏิเสธสมมติฐานหลัก  $H_0$  ก็ได้

โดยปกตินิยามที่จะบอกว่าค่าทดสอบทางสถิติมีนัยสำคัญก็ต่อเมื่อสมมติฐานหลัก  $H_0$  ถูกปฏิเสธ ดังนั้นเราอาจพิจารณาค่า P-Value ว่าเป็นค่า  $\alpha$  ที่น้อยที่สุด ซึ่งทำให้ข้อมูลมีนัยสำคัญเมื่อรู้ค่า P-Value แล้ว ผู้ตัดสินใจก็สามารถทราบว่าคุณมามีนัยสำคัญอย่างไร โดยไม่ต้องอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งมีการกำหนดนัยสำคัญไว้ก่อน

## 2. การตรวจสอบสมมติฐานในการทดสอบที (T-test)

ในการทดสอบแบบที T-test จะทำบนสมมติฐานที่ว่าค่าตัวอย่างทั้ง 2 ได้มาจากกลุ่มประชากรที่เป็นอิสระและสามารถอธิบายโดยการแจกแจงปกติ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือค่าความแปรปรวนของประชากรที่มีค่าเท่ากันและค่าสังเกตเป็นตัวแปรสุ่มอิสระ สมมติฐานความเป็นอิสระต่อกันนั้นสำคัญมาก และถ้าลำดับการเก็บข้อมูลเป็นแบบสุ่ม สมมติฐานนี้จะเป็นที่ยอมรับได้ ความแปรปรวนที่เท่ากันและสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นปกติ สามารถตรวจสอบได้ง่ายโดยอาศัยกราฟทดสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Probability Plot)

ถ้าหากตัวอย่างที่ตั้งไว้ผิดอย่างมาก สมรรถนะการทดสอบแบบที จะได้รับผลกระทบด้วย โดยทั่วไปความผิดพลาดเล็กน้อยถึงปานกลางของสมมติฐานไม่ใช่สิ่งที่จะต้องกังวลมากนัก แต่ความผิดพลาดในการตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นอิสระ และการบ่งชี้ที่ชัดเจนว่าข้อมูลไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติเป็นสิ่งที่ไม่ควรจะถูกมองข้าม ซึ่งต้องระบุที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบและขีดความสามารถในการตรวจสอบความแตกต่างของมัธยฐานจะได้รับผลกระทบอย่างมากจากการตั้งสมมติฐานที่ผิดพลาดนี้ การแปลงรูป (Transformation) จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ นอกจากนี้ยังใช้การทดสอบสมมติฐานแบบนอนพาราเมตริก (Non-Parametric) เมื่อข้อมูลมีการแจกแจงแบบไม่ปกติ

## 3. การทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากร

1) การทดสอบค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่มเดียว เป็นการทดสอบเพื่อต้องการทราบค่าเฉลี่ยของประชากรเท่ากับค่าที่กำหนดไว้หรือคาดหวังไว้

2) การทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่ม เป็นการทดสอบเพื่อต้องการทราบค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งสองมีค่าแตกต่างกันหรือไม่

## 4. การทดสอบสัดส่วนของประชากร

1) การทดสอบสัดส่วนของประชากรกลุ่มเดียว เป็นการทดสอบสัดส่วนของประชากรกลุ่มเดียว เป็นการทดสอบเพื่อต้องการทราบว่าสัดส่วนของประชากรเท่ากับค่าที่กำหนดไว้หรือคาดหวังไว้หรือไม่

2) การทดสอบความแตกต่างระหว่างสัดส่วนของประชากรสองกลุ่ม เป็นการทดสอบความแตกต่างระหว่างประชากรสองกลุ่ม เป็นการทดสอบเพื่อต้องการทราบสัดส่วนของประชากรทั้งสองมีความแตกต่างกันหรือไม่

#### 2.5.4 ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

เป็นขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ โดยกำจัดข้อบกพร่องต่างๆ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่เป็นที่นิยมและมีการนำมาใช้เป็นจำนวนมาก คือ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) [6]

##### 1. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

โดยการออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบว่าปัจจัย (Factor) ใดหรือตัวแปร (Input Variable) ใดที่มีผลต่อสิ่งที่ให้ความสำคัญ (หรือความสนใจ) ในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output Response) ปัจจัย (Factor) ในการผลิตสามารถแบ่งเป็น [27]

1) ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต

2) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ ต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วจะทำการทดลองจากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลอง

##### 2. วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง

1) เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ข้อเท็จจริง หรือความเชื่อจากประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

2) เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

##### 3. คำจำกัดความ (Definition)

1) อิทธิพลหรือผล (Effect) คือ ผลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม

2) ปัจจัย (Factor) คือ สิ่งๆหนึ่งที่คิดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณสมบัติในตัวผลิตภัณฑ์

3) ระดับของปัจจัย (Level of Factor) คือ สภาวะต่างๆ ของปัจจัยหนึ่งๆ ที่ทำการกำหนดในการทดลอง

4) ปัจจัยรบกวน (Noise Factor) คือ ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็กน้อยและไม่สามารถควบคุมได้

#### 4. หลักในการออกแบบการทดลอง

1) การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลแต่ละตัวเท่าๆ กัน เพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้เท่าๆ กัน การทำแบบสุ่มยังสามารถแบ่งออกได้อีกเป็น 3 วิธี คือ

(1) แบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)

(2) แบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)

(3) แบบสุ่มแบบสมบูรณ์ภายในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

2) การทำซ้ำ (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูลเพื่อกำจัดเอาผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออก

3) การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการทำเสมอไปอะไรบางอย่างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหา นี้ จะเกี่ยวข้องไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองการเลือก

#### 5. ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

1) การนิยามปัญหาเป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้ อะไรบางอย่างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวข้องไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองการเลือก ปัจจัยที่มีผลและระดับปัจจัยเป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิต เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้นควรจะมีช่วงในการทดลองเป็นอย่างไร เพื่อระบุระดับของปัจจัยในการทดลองสุดท้าย คือ การระบุว่าระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed Levels) แบบสุ่ม (Random Levels) หรือแบบผสม (Mixed Levels) ซึ่งสามารถกล่าวโดยสังเขปได้ ดังต่อไปนี้

(1) แบบกำหนด (Fixed Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน

(2) แบบสุ่ม (Random Levels) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าของปัจจัยได้แน่นอน

(3) แบบผสม (Mixed Levels) หมายถึง การผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดได้และแบบสุ่ม

2) การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาและการวัดค่านั้นจะต้องแม่นยำรวมทั้งความถูกต้องของเครื่องวัดด้วย

3) การเลือกแบบทดลองจะต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูลที่ทำซ้ำ ในการทดลองความเหมาะสมข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้องทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวข้องกันในด้านความเสี่ยง และต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัย

4) ในขณะที่ทำการทดลองจะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ทำออกแบบไว้ นั่นคือ ต้องมีการสุ่ม การทำซ้ำ ข้อควรระวังในขณะที่ทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัดและความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้ความผิดพลาด (Error) ที่ออกมามีน้อยที่สุด ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผลรวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้น ก่อนที่จะตีความข้อมูลวิธีทางสถิติไม่อาจบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผล (Effect) เท่าใดได้แน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ความเชื่อมั่นเป็นเปอร์เซ็นต์ในการสรุปผล และข้อเสนอแนะเมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้วจะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ ซึ่งอาจแสดงในรูปกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ

## 6. การเลือกแบบการทดลอง

1) แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomize Design) ซึ่งใช้กับการทดลองปัจจัยเดียว (Single Factor Experiment) เป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้มีขนาดไม่โตนักและไม่มีปัจจัยรบกวนการทดลอง ซึ่งจะทำโดยยึดหลักการทำแบบสุ่ม (Randomization) และการทำซ้ำ (Replication) โดยมีขั้นตอนในการทำการทดลองดังนี้

(1) การกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) และปัจจัยที่สามารถทำการควบคุมได้ (Controllable Factor) ที่สนใจ

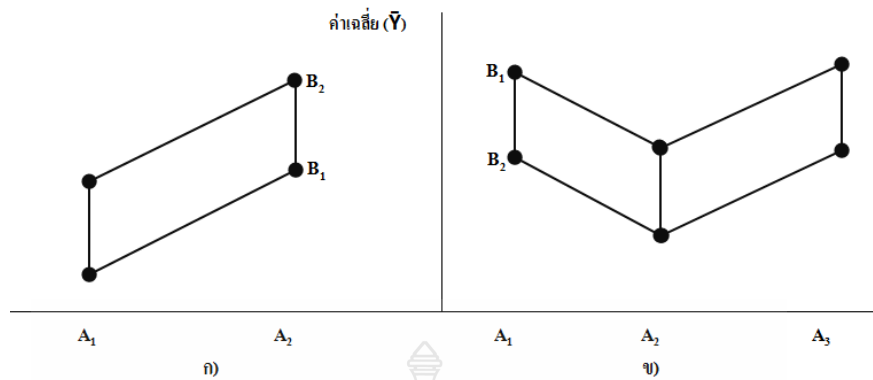
(2) ทำการทดลองโดยสุ่มแบบสมบูรณ์ (Complete Random) ในการวัดค่า

(3) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

2) แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม (Randomize Block Design) นั้นจะใช้กับการทดลองปัจจัยเดียว และมีปัจจัยรบกวน (Noise Factor) หลักการของแผนการทดลองแบบบล็อกสุ่ม คือ ต้องทำการสุ่มทุกครั้งและจะต้องทำซ้ำทุกการทดลองต้องทำการบล็อก (Blocking) สามารถลดปัจจัยรบกวนการบล็อก (Blocking) โดยอาจจะทำมากกว่า 1 บล็อก ก็ได้ซึ่งขึ้นกับจำนวนของปัจจัยรบกวน มีขั้นตอนในการทำการทดลองดังนี้

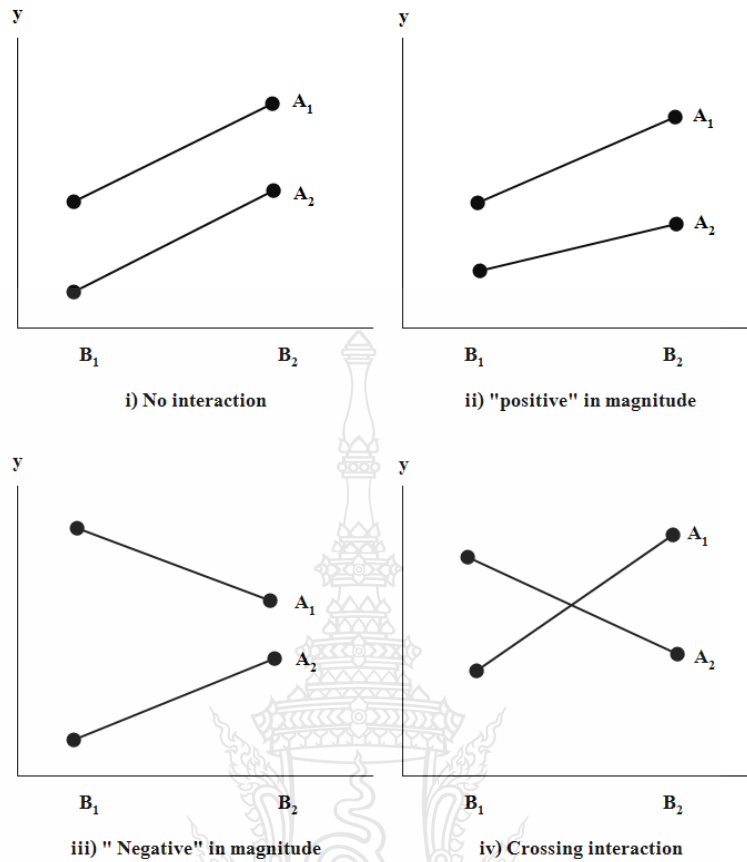


- (1) ออกแบบและวางแผนการทดลอง
  - (2) เก็บข้อมูล
  - (3) การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA Table) ซึ่งจะต้องมีผลของบล็อก (Block Effect) ด้วย
  - (4) แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) [28] เป็นการทดลองที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในการออกแบบแผนการทดลองเนื่องจากสามารถศึกษาปัจจัยได้หลายปัจจัยพร้อมกัน โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ ศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหรือที่เรียกว่า อัตรกิริยา (Interactions) เช่นกรณีที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ ปัจจัย A, B และ C ผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ
    - ประเภทที่ 1 ผลกระทบหลักหรือผลกระทบปัจจัยเดี่ยว (Main Effects) คือ ผลกระทบกรณี ที่สนใจพิจารณาปัจจัยเดี่ยว ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัย A ผลกระทบของปัจจัย B และผลกระทบของปัจจัย C
    - ประเภทที่ 2 ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Two-Factors or 2-ways Interactions) คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยพร้อมกันเป็นคู่ (ครั้งละ 2 ปัจจัย) ได้แก่ผลกระทบของปัจจัยร่วม (อัตรกิริยา) AB, AC และ BC
    - ประเภทที่ 3 ผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย (Three-Factors or 3-Ways Interactions) คือ ผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยสามปัจจัยพร้อมกัน ในที่นี้ ได้แก่ ผลกระทบร่วม ABC แต่โดยทั่วไปผู้ทดลองจะให้ความสำคัญแก่การศึกษาผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมของ 2 ปัจจัยเท่านั้น เนื่องจากผลกระทบร่วมตั้งแต่ 3 ปัจจัยขึ้นไป โดยทั่วไปจะมีค่าน้อยมาก จึงไม่นิยมนำมาพิจารณา
- การพิจารณาผลกระทบร่วมนั้นอาจจะพิจารณาได้โดยใช้การคำนวณผลต่างในแนวนอน (Horizontal) ดังรูปที่ 2.21 หรืออาจจะพิจารณาโดยใช้การคำนวณค่าผลต่างในแนวตั้ง (Vertical) ก็ทำได้เช่นกัน การใช้กราฟที่เรียกว่า กราฟผลกระทบร่วม (Interaction Plot) ถ้าเส้นกราฟขนานกัน แสดงว่าค่าต่างระหว่างเส้นมีค่าเท่ากันหรือคงที่ หมายถึงกรณีที่ไม่พบผลกระทบร่วม (No Interaction) ระหว่างปัจจัย



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างกราฟ Interaction Plots กรณีไม่พบผลกระทบร่วม

กรณีที่เส้นกราฟขนานกัน (i) แสดงว่าปัจจัย A และ B ไม่มีผลกระทบร่วมกัน กรณี (ii) เมื่อระดับปัจจัยสูงขึ้น (ค่าปัจจัยมากขึ้น) ค่าความแตกต่าง ณ ระดับของปัจจัยที่เหลือมีค่ามากขึ้น ( $\Delta_A$  ณ จุด  $B_2$  มีค่ามากกว่า  $\Delta_A$  ณ จุด  $B_1$ ) จึงเรียกผลกระทบนี้ว่า “Positive Interactions” ในกรณีที่ระดับปัจจัยมีค่ามากขึ้นค่าความแตกต่าง ณ ระดับของปัจจัยที่เหลือมีค่าลดลง (iii) ซึ่งเรียกการเกิดผลกระทบในลักษณะนี้ว่า “Negative Interactions” ( $\Delta_A$  ณ จุด  $B_2$  มีค่ามากกว่า  $\Delta_A$  ณ จุด  $B_1$ ) กรณีที่ (iv) กราฟมีลักษณะตัดกันอย่างเห็นได้ชัดเจน ( $\Delta_A$  ณ จุด  $B_1$  มีเครื่องหมายตรงข้ามกับ  $\Delta_A$  ณ จุด  $B_2$ ) ซึ่งเรียกว่า “Crossing Interaction” ค่าประมาณค่าผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย (Interaction Effects) สามารถประมาณได้ดังรูปที่ 2.22 และสมการที่ 2.20



รูปที่ 2.22 กราฟอันตรกิริยาระหว่าง 2 ปัจจัย (2-Factor Interactions)

$$\text{Two-Factor Interaction Effect (AB)} = \Delta_{AB} = \frac{(a+d) - (b+c)}{2} \quad (2.20)$$

	A1	A2
B1	a	b
B2	c	d

เมื่อ a คือ ค่าเฉลี่ยของค่าตอบสนอง ณ การทดลองปัจจัย A ที่ระดับ 1 ปัจจัย B ที่ระดับ 1  
 b คือ ค่าเฉลี่ยของค่าตอบสนอง ณ การทดลองปัจจัย A ที่ระดับ 2 ปัจจัย B ที่ระดับ 1  
 c คือ ค่าเฉลี่ยของค่าตอบสนอง ณ การทดลองปัจจัย A ที่ระดับ 1 ปัจจัย B ที่ระดับ 2  
 d คือ ค่าเฉลี่ยของค่าตอบสนอง ณ การทดลองปัจจัย A ที่ระดับ 2 ปัจจัย B ที่ระดับ 1

$$\text{ค่าประมาณผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effect)} = \bar{Y}_{\max} - \bar{Y}_{\min} \quad (2.21)$$

$$= |\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2| \quad (2.22)$$

สมการ 2.21 คือ กรณีทั่วไป นั่นคือ ปัจจัยหลัก ศึกษาที่  $c$  ระดับใดๆ

$c$  คือ จำนวนระดับของปัจจัยหลักที่สนใจ;  $c=2, 3, 4, 5, \dots$

สมการ 2.22 คือ กรณีที่ปัจจัยหลัก (Main Effect) ทดลองศึกษาที่ 2 ระดับเท่านั้น

$\bar{Y}_1$  คือ ค่าเฉลี่ยค่าตอบสนอง ณ การทดลองที่ปัจจัยหลักศึกษาที่ระดับที่ 1

### 7. การออกแบบการทดลองกรณี $2^k$ แฟคทอเรียล ( $2^k$ Factorial Design)

การออกแบบชนิดนี้ใช้ได้อย่างแพร่หลายสำหรับการทดลองต่างๆ ที่ประกอบไปด้วยปัจจัยหลายๆ ปัจจัย นอกจากนี้ยังเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงความสัมพันธ์ร่วมกันของปัจจัยเหล่านั้นต่อผลตอบสนองที่ต้องการด้วย โดยการออกแบบการทดลองกรณีหลายปัจจัย “การออกแบบเฉพาะ” จึงมีการออกแบบแนวคิดเพื่อให้ง่ายต่อการทำงานจริงต่อไป การออกแบบเฉพาะในที่นี้หมายถึง การออกแบบการทดลองใน 2 ระดับของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ เป็นจำนวน  $k$  ปัจจัย โดยระดับนี้อาจแทน “ระดับของปริมาณ (Quantitative Level)” เช่น อุณหภูมิ ความดัน เวลา หรือ “ระดับคุณภาพ (Quality Level)” เช่น ประสิทธิภาพของเครื่องจักร คน เป็นต้น โดยแบ่งออกเป็นระดับสูง (High) และระดับต่ำ (Low) หรือระดับที่มี (Yes) หรือไม่มี (No) ของปัจจัยนั้นๆ ในที่นี้จะแสดงถึงวิธีการพิเศษสำหรับการออกแบบและการวิเคราะห์โดยสมมติว่า

- 1) ปัจจัยของผลกระทบเป็นแบบคงที่ (Fixed Effect Model)
- 2) การออกแบบเป็นแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design)
- 3) ข้อมูลที่ได้รับจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

การออกแบบชนิด  $2^k$  มักใช้ในการทดลองเมื่อมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายตัว ซึ่งให้จำนวนการทดลองที่ต่ำที่สุดใน  $k$  ปัจจัยของการออกแบบหลายกรณีหลายปัจจัยที่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงถูกเรียกว่า “การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาจำนวนปัจจัย (Factor Screening Experiment)” เนื่องจากพิจารณาเพียง 2 ระดับในแต่ละปัจจัย นอกจากนี้มีการสมมติให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองเป็นแบบ “เชิงเส้น” ในช่วงของระดับการทดลองที่ได้เลือกไว้

การออกแบบในอนุกรมของ  $2^k$  แฟคทอเรียล แบบแรกนี้จะมีเพียง 2 ปัจจัย (Factor) คือ ปัจจัย A และปัจจัย B ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 2 ระดับเท่านั้นจึงเรียกการออกแบบการทดลอง

ชนิดนี้ว่า “การออกแบบการทดลองกรณี 2<sup>2</sup> แฟกทอเรียล” ซึ่งระดับของปัจจัยประกอบไปด้วยระดับต่ำ (Low) และระดับสูง (High) เท่านั้น ดังตารางที่ 2.8 และนอกจากนั้นแล้วยังกำหนดให้ระดับของปัจจัยแทนด้วยสัญลักษณ์ ดังแสดงใน ตารางที่ 2.9

**ตารางที่ 2.8** สัญลักษณ์ของผลกระทบ หรืออิทธิพลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยและความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัย

อิทธิพลที่เกิดขึ้นจาก		สัญลักษณ์
ปัจจัยหลักที่ 1	Main Effect of A	A
ปัจจัยหลักที่ 2	Main Effect of B	B
ความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างปัจจัย	Interaction of A and B	AB

**ตารางที่ 2.9** สัญลักษณ์ของปัจจัยและระดับปัจจัย

ระดับ		สัญลักษณ์	
ต่ำ	Low	-	-1
สูง	High	+	+1

ดังนั้น การออกแบบการทดลองชนิดนี้จึงประกอบไปด้วย 4 วิธีปฏิบัติ และสามารถเขียนวิธีปฏิบัติทั้งหมดด้วยสัญลักษณ์มาตรฐาน ซึ่งเรียกว่า Treatment Combination โดยการใช้อักษรภาษาอังกฤษตัวเล็ก สำหรับกรณีศึกษาปัจจัยที่ 2 กล่าวคือ

1) ถ้าองค์ประกอบทดลองหรือวิธีปฏิบัติที่มีการกำหนดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอยู่ในระดับสูง (High) จะมีการแสดงเป็นตัวอักษรตัวเล็ก

2) ถ้าองค์ประกอบทดลองหรือวิธีปฏิบัติที่มีการกำหนดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งอยู่ในระดับต่ำ (Low) จะไม่มีการแสดงเป็นตัวอักษร ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 2.10

**ตารางที่ 2.10** สัญลักษณ์ของผลรวมข้อมูลการทดลองในแต่ละวิธีปฏิบัติ

ปัจจัย		Treatment Combination
A	B	
Low	Low	(1)
High	Low	A
High	High	B
High	High	ab

หลักการเขียนสัญลักษณ์มาตรฐานนี้สามารถนำไปใช้ได้ในทุกๆกรณีของการออกแบบการทดลองกรณี  $2^k$  แฟคทอเรียล นอกจากนี้ยังมีข้อกำหนดเพิ่มเติมกล่าวคือ ผลจากวิธีปฏิบัติ A, B, ab และ (1) หมายถึง “ผลรวมในทุกๆครั้งของการทดลอง” ดังนั้นผลกระทบหลักของปัจจัยหนึ่งจะเป็นค่าเฉลี่ยของผลกระทบทั้งหมด (Total Effect) จากวิธีปฏิบัติที่เกิดขึ้นนี้ (ซึ่งสามารถแทนด้วยสัญลักษณ์มาตรฐาน) แต่มีเครื่องหมายบวก และลบที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามมีปริมาณที่เท่ากันในแต่ละเครื่องหมาย

#### 2.5.5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase)

เป็นการป้องกันข้อบกพร่องในอนาคต โดยจัดทำแผนการควบคุมและการติดตามในกระบวนการ รวมถึงควบคุมการสร้างระบบการป้องกันเพื่อความผิดพลาด การสร้างทีม การจัดทำเอกสารและระบบคุณภาพ เครื่องมือที่นิยมใช้ เช่น แผนภูมิควบคุมคุณภาพ (Control Chart) ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability)

##### 1. แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

แผนภูมิควบคุม (Control Chart) [29] คือ แผนภูมิหรือกราฟที่จัดทำขึ้นล่วงหน้า โดยอาศัยข้อมูลจากขอบเขตที่กำหนด (Specification) สามารถระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงานที่ดำเนินการผลิตและต้องการจะควบคุม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขั้นตอนใดตอนหนึ่ง โดยการตรวจวัดคุณภาพของชิ้นงานซึ่งในการวัดข้อมูลอาจจะอยู่ในลักษณะ 2 แบบ คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัด (Variable Data) และข้อมูลที่ได้จากการนับ (Attribute Data)

จากนั้นเขียนบันทึกลงในแผนภูมินั้นๆ ซึ่งโดยปกติจะมีเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นขอบเขตกลาง คือ เส้นที่แสดงขนาดหรือจำนวนที่เป็นข้อกำหนดหรือเป้าหมายในการผลิต ขอบเขตควบคุมบนและเส้นขอบเขตควบคุมล่างเป็นค่าที่อนุญาตให้มีความคลาดเคลื่อนในการผลิตเกิดขึ้นได้ และหากอยู่ในขอบเขตนี้ถือว่า ผลการผลิตยอมรับได้แต่หากว่าค่าที่ได้อยู่นอกเหนือขอบเขตควบคุม (ไม่ว่าในทางมากกว่าหรือต่ำกว่า) ถือว่าการผลิตในขณะนั้นยอมรับไม่ได้จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องโดยทันที

โดยธรรมชาติของกระบวนการผลิตทั้งหลายย่อมมีความผันแปร (Variation) ที่จะเกิดขึ้นกับชิ้นงานหรือผลผลิตได้ โดยความผันแปรบางชนิดเป็นเรื่องปกติและอนุญาตให้เกิดขึ้นได้ในการผลิต โดยไม่ก่อความเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่ความผันแปรบางชนิดมีผลกระทบมากและมีผลเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพราะทำให้ขนาดของชิ้นงานหรือคุณสมบัติ

บางประการผิดไปจากมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นการเข้าใจในสาเหตุแห่งความผันแปรจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยสาเหตุความผันแปรต่างๆ มีผลมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ชนิด คือ

สาเหตุที่เป็นปกติวิสัย หรือเป็นธรรมชาติของการผลิต (Chance Cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่ไม่มีความรุนแรง และไม่มีผลต่อคุณภาพของสินค้าที่ผลิตได้ เกิดจากความผันแปรหรือความแตกต่างเล็กๆ น้อยๆ ของวัตถุดิบและปัจจัยการผลิตต่างๆ ซึ่งแน่นอนว่าไม่มีของสองสิ่ง ที่เหมือนกันทุกประการวัตถุดิบ 100 ชิ้นที่มีขนาดตรงกันตามข้อกำหนดทั้ง 100 ชิ้นก็จะมีขนาดแต่ละชิ้นที่แตกต่างกันออกไป เพียงแต่ความแตกต่างเหล่านั้นอยู่ในพิสัยที่ขอบเขตข้อกำหนดได้อนุญาตเอาไว้แล้วในค่าพิสัยความเผื่อ (Tolerance) ของชิ้นงาน

ฉะนั้นความผันแปรในคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสาเหตุที่เป็นปกติวิสัยของการผลิตจึงเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ในการควบคุมคุณภาพด้วยแผนภูมิตั้งนี้ นั่นคือ กระบวนการผลิตที่เขียนแสดงด้วยแผนภูมิควบคุมแล้วไม่มีจุดใดจุดหนึ่งอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม (The Process is in Control)

สาเหตุที่ระบุได้หรือสาเหตุที่กำจัดได้ (Assignable Cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่เกิดจากความผิดพลาด ความผิดปกติ ความชำรุด ความไม่ได้เกณฑ์ ฯลฯ ของปัจจัยการผลิตต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และไม่ใช้เป็นปกติวิสัยหรือธรรมชาติของการผลิตนั้นๆ จำเป็นจะต้องได้รับการกำจัดหรือแก้ไขจึงจะทำให้คุณภาพของงานผลิตกลับเข้าสู่สภาวะปกติอีกครั้งได้

ในแผนภูมิควบคุมเมื่อมีจุด (ซึ่งเขียนจากการเก็บข้อมูล และวัดค่าชิ้นงาน ตัวอย่างจากการผลิต) ปรากฏว่าอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุมย่อมแสดงได้ว่าเกิดมีสาเหตุที่ระบุได้เกิดขึ้นมาในกระบวนการผลิตนั้นแล้ว และเรียกสภาวะการผลิตนั้นว่ากระบวนการผลิตอยู่นอกควบคุม (The Process is Out of Control)

โดยแผนภูมิควบคุม [17] เป็นวิธีเทคนิคอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ควบคุมการผลิตในระหว่างการผลิต เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการผลิตมีจุดใดเปลี่ยนแปลงหรือไม่หรือการเปลี่ยนแปลงนั้นๆ ยังอยู่ในพิสัยควบคุมหรือไม่ปกติ จะใช้แผนภูมิควบคุมกับระบบการผลิตสภาพปกติ หรือมีการผลิตสม่ำเสมอจะไม่ใช้กับการผลิตเป็นแบบเลวๆ หรือมีความผิดปกติโดยเด็ดขาด จุดมุ่งหมายที่ใช้เทคนิคของแผนภูมิควบคุมมีดังนี้

- 1) เพื่อหาเป้าหมายหรือมาตรฐานของการผลิต
- 2) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบว่าการผลิตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่
- 3) เพื่อใช้เป็นเครื่องมือเพื่อให้ได้เป้าหมายที่วางแผนล่วงหน้าไว้แล้ว

การนำแผนภูมิควบคุมมาใช้งานก่อนอื่นจำเป็นต้องเข้าใจลักษณะของเส้นควบคุม เสียก่อน คือ เส้นควบคุมข้อกำหนด (Specification Limit) หมายถึง ค่าขอบเขตข้อกำหนดของสินค้าหรือชิ้นงานที่โรงงานหรือรัฐบาลเป็นผู้กำหนดขึ้น ทั้งนี้เส้นควบคุมข้อกำหนดขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ออกแบบว่าต้องการเสี่ยงหรือความปลอดภัย (Safety Factor) ไว้ที่ระดับเท่าใด

เส้นควบคุมขีดความสามารถ (Process Capability Limit) หมายถึง ค่าขอบเขตจริงของความสามารถกระบวนการโดยทั่วไปคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของประชากร หรือคำนวณจากกลุ่มตัวอย่างที่จำนวนมาก เส้นควบคุมขีดความสามารถมีขนาดความกว้างเท่ากับค่าห่างจากค่าเฉลี่ยของประชากร  $\pm 3\sigma$  และกำหนดเส้นขอบเขตควบคุมสำหรับเป็นสัญญาณเตือนว่าเริ่มออกจากกระบวนการควบคุมหรือยังกำหนดในช่วงค่าเฉลี่ย  $\pm 2\sigma$

การใช้งานแผนภูมิควบคุมการในกระบวนการผลิต ควรมีเทคนิคต่อไปนี้เลือกบริเวณที่จะควบคุมก่อนอื่นก็คือ ปัญหาอะไรที่จะต้องทำและเรามีจุดมุ่งหมายอะไร จากการตัดสินใจในปัญหาทำให้ทราบทันทีอย่างชัดเจนว่าต้องการข้อมูลอะไร พิจารณาการใช้แผนภูมิควบคุมแบบไหน อาจจะ เป็นแผนภูมิ แบบ  $\bar{x}$ -R,  $\bar{x}$ , pn, p, c หรือ u Chart ก็ได้ ขึ้นอยู่กับโรงงานและผลิตภัณฑ์แต่ละแห่ง ทำแผนภูมิควบคุม

สำหรับการวิเคราะห์เก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่เหมาะสมแล้ว ใช้ข้อมูลที่ผ่านมาทำแผนภูมิ ถ้ามีจุดใดๆ ผิดปกติต้องทำการค้นหาเหตุผลที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนไปทันทีแล้วทำการแก้ไข สร้างแผนภูมิควบคุมสำหรับการควบคุมในโรงงาน หากว่าต้นเหตุที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยน ได้ขจัดหมดสิ้นแล้วจากในข้อ 3 และกระบวนการผลิตก็คงที่ให้พิจารณาอีกครั้งว่าผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้หรือไม่ หลังจากนั้นถ้าทุกอย่างเรียบร้อยก็ให้สรุปผลทั้งหมด เพื่อทำมาตรฐานวิธีการทำงาน (Standardize Working Procedure) หรืออาจจะมีปรับปรุงให้ดีขึ้น ถ้าจำเป็นต้องต่อเส้นควบคุมของแผนภูมิออกไป จากนั้นพล็อตข้อมูลที่เก็บได้ในแต่ละวันต่อไปควบคุมกระบวนการผลิต ถ้าการทำงานของคนงานและวิธีการผลิตเป็นแบบมาตรฐานแล้ว

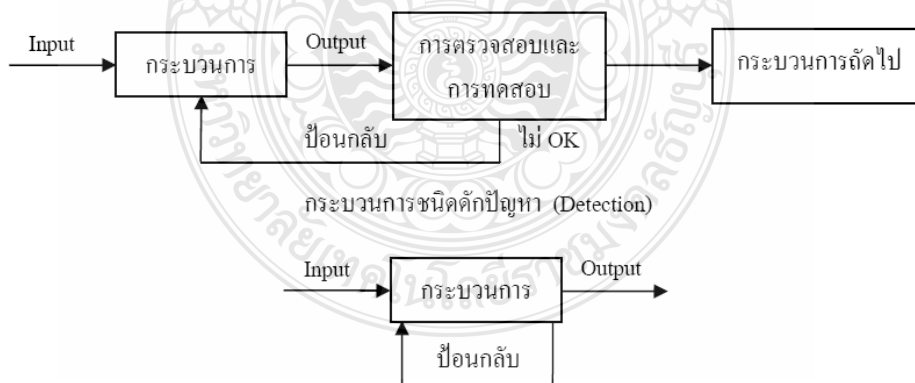
แผนภูมิควบคุมจะชี้แสดงออกให้เห็นว่าสถานะที่โรงงานอยู่ภายใต้การควบคุม ที่ดีหรือไม่ แต่ถ้าปรากฏว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นซึ่งจะต้องค้นหาสาเหตุทันทีแล้วแก้ไขให้ถูกต้องเสียจำนวนเส้นควบคุมใหม่ ถ้าเครื่องจักรหรือมาตรฐานการทำงานเปลี่ยนแปลงเส้นควบคุมต้องนำมาคำนวณใหม่ ถ้าการควบคุมของกระบวนการผลิตในโรงงานยังดีตลอดระดับคุณภาพที่แสดงบนแผนภูมิจะปรับดีเพิ่มขึ้น ในกรณีเช่นนี้ให้สังเกตแผนภูมิควบคุมเป็นระยะในการคำนวณเส้นควบคุมให้สังเกตกฎต่อไปนี้



- 1) ข้อมูลที่มีจุดผิดปกติ ซึ่งจะสามารถค้นพบสาเหตุหรือไม่มีการแก้ไข ควรจะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่
- 2) ข้อมูลที่มีจุดผิดปกติแต่ไม่พบสาเหตุหรือไม่มีการแก้ไขควรที่จะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่

ในการควบคุมโดย Statistical Process Control (SPC) [25] นั้นในการที่จะให้เจ้าของกระบวนการสามารถทราบผลการปฏิบัติงานของตนเอง และเป็นการก่อให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องจำเป็นต้องมีการเฝ้าติดตามเพื่อที่จะมีการป้อนกลับ (Feedback) ซึ่งจะมีรูปแบบและความเร็วในการป้อนกลับที่ต่างกันจะทำให้ได้ระบบการควบคุมกระบวนการที่ต่างระบบกัน โดยที่การป้อนกลับชนิดทันทีทันใดจะเป็นระบบการควบคุมกระบวนการที่เป็นเชิงป้องกัน (Prevention) อันเป็นวิธีการของการตรวจสอบ และทดสอบระหว่างที่กระบวนการกำลังดำเนินอยู่ หากพบว่ากระบวนการกำลังจะไม่อยู่ภายใต้ภาวะการควบคุมก็ให้ทำการป้อนกลับ แล้วทำการหยุดกระบวนการเพื่อสืบสวนหาสาเหตุทันที ส่วนการป้อนกลับชนิดหลังจากทราบความจริงแล้วจะเป็นระบบการควบคุมกระบวนการที่เป็นเชิงค้นปัญหา (Detection) เช่น การผลิตจนเสร็จแล้วค่อยมาป้อนกลับว่า พบข้อบกพร่องจากการตรวจสอบหรือทดสอบอะไรบ้าง ดังรูปที่ 2.23 สำหรับวิธีการของการเฝ้าติดตาม

นอกจากนี้ อาจกล่าวได้ว่า ระบบการควบคุมกระบวนการที่เป็นเชิงป้องกันจะเป็นกระบวนการ เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการเกิดของเสียส่วนระบบการควบคุมกระบวนการที่เป็นเชิงค้นปัญหาจะเป็นการควบคุมระดับการยอมรับได้ในการเกิดของเสีย



รูปที่ 2.23 วิธีการของการเฝ้าติดตาม

โดยจุดมุ่งหมายของ SPC ต้องการมุ่งเน้นไปที่กระบวนการเชิงป้องกัน แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องการกระบวนการเชิงค้นปัญหามาผสมกับเชิงป้องกันในบางครั้ง ดังนั้น เทคนิคด้านสถิติที่นำมา

ประยุกต์ใช้ เช่น แผนภูมิควบคุม จึงมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายและชนิดของข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกัน คือ ชนิดข้อมูลตัวแปร (Variable Data) และชนิดข้อมูลคุณสมบัตินี้ (Attribute Data) ดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 ชนิดของข้อมูล

ชนิดของข้อมูล	ความต่อเนื่องของข้อมูล	ตัวอย่างที่มาของข้อมูล
ตัวแปร (Variable)	1. มีความต่อเนื่อง (Continuous)	การชั่งน้ำหนัก
	2. ไม่มีความต่อเนื่อง (Discrete)	การนับจำนวนชิ้นงาน
คุณสมบัตินี้ (Attribute)	ไม่มีความต่อเนื่อง	การนับจำนวนชิ้นงานดีและไม่ดี

ก่อนที่จะมีการเลือกใช้ชนิดของแผนภูมิควบคุม เจ้าของกระบวนการต้องทำการเลือกคุณลักษณะทางคุณภาพ (Quality Characteristic) จะทำการควบคุมสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ คุณลักษณะของกระบวนการ (Process Characteristic) เช่น อุณหภูมิ เวลา และคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ (Product Characteristic) เช่น ความยืดหยุ่น

โดยที่เจ้าของกระบวนการทราบได้ จากคุณลักษณะพิเศษที่กำหนดโดยลูกค้าหรือตามที่ระบุไว้ในแผนควบคุม ผลจากการเลือกชนิดของคุณลักษณะทางคุณภาพก็จะทำให้ทราบได้ว่าข้อมูลที่ได้ นั้นเป็นข้อมูลชนิดใด โดยดูตัวอย่างการเลือกแผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลตัวแปรได้จาก ตารางที่ 2.12, 2.13 และ 2.14 และสำหรับข้อมูลคุณสมบัตินี้ได้จากตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.12 การเลือกแผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลตัวแปรใช้กับกระบวนการเชิงป้องกัน

ขนาดตัวอย่างหรือจำนวนค่าที่วัดแต่ละครั้ง (n)	เงื่อนไขในการเลือก	ชนิดของแผนภูมิควบคุม
1	ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสารเนื้อเดียวกัน (เช่น ก๊าซ, สารเคมี) หรือธรรมชาติของกระบวนการต้องการเพียง 1 ค่า	<i>X-MR Chart</i>
ขนาดตัวอย่างหรือจำนวนค่าที่วัดแต่ละครั้ง (n)	เงื่อนไขในการเลือก	ชนิดของแผนภูมิควบคุม
น้อยกว่า 9	ไม่สะดวกในการคำนวณค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ )	<i>Median-R Chart</i>
	สะดวกในการคำนวณค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ )	$\bar{X}$ -R Chart
มากกว่า 9	ไม่สะดวกในการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)	$\bar{X}$ -R Chart
	สะดวกในการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S)	$\bar{X}$ -S Chart

ตารางที่ 2.13 การเลือกแผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลคุณสมบัติใช้กับกระบวนการเชิงดัดปัญหา

ความคงที่ของจำนวนตัวอย่าง (n)	เงื่อนไขในการเลือก	ชนิดแผนภูมิควบคุม
คงที่	สนใจการควบคุมจำนวนชิ้นงานที่เป็นชิ้นงานเสีย (Defective หรือ Nonconforming Product)	$p$ Chart หรือ $np$ Chart
ไม่คงที่	สนใจการควบคุมจำนวนชิ้นงานที่เป็นชิ้นงานเสีย (Defective หรือ Nonconforming Product)	$p$ Chart
คงที่	สนใจการควบคุมจำนวนตำหนิ (Defect) หรือจำนวนข้อบกพร่อง (Nonconformities)	$u$ Chart หรือ $c$ Chart
ไม่คงที่	สนใจการควบคุมจำนวนตำหนิ (Defect) หรือจำนวนข้อบกพร่อง (Nonconformities)	$u$ Chart

ตารางที่ 2.14 สูตรในการคำนวณขอบเขตควบคุม

แผนภูมิควบคุม	CL	ขอบเขตควบคุม		สิ่งที่ต้องควบคุม	
		UCL	LCL		
$\bar{X}-R$	$\bar{X}$ Chart	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}}+A_2\bar{R}$	$\bar{\bar{X}}-A_2\bar{R}$	$\bar{X}$ (ค่าเฉลี่ย)
	$R$ Chart	$\bar{R}$	$D_4\bar{R}$	$D_3\bar{R}$	$\bar{R}$ (พิสัย)
$\bar{X}-S$	$\bar{X}$ Chart	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}}+A_3\bar{R}$	$\bar{\bar{X}}-A_3\bar{R}$	$\bar{X}$ (ค่าเฉลี่ย)
	$S$ Chart	$\bar{S}$	$D_4\bar{R}$	$D_3\bar{R}$	$\bar{S}$ (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)
$c$	$c$ Chart	$\bar{c}$	$\bar{c}+3\sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c}-3\sqrt{\bar{c}}$	$c$ (จำนวนตำหนิ)
$u$	$u$ Chart	$\bar{u}$	$\bar{u}+3\sqrt{\bar{u}}$	$\bar{u}-3\sqrt{\bar{u}}$	$n$ (จำนวนตำหนิต่อชิ้นงาน)
$X-MR$	$X$ Chart	$\bar{X}$	$\bar{X}+2.66\overline{MR}$	$\bar{X}-2.66\overline{MR}$	$X$ (ค่าใดๆ)
	$MR$ Chart	$\overline{MR}$	$D_4\bar{R}$	$D_3\bar{R}$	$MR$ (การเคลื่อนไหวของพิสัย)
$\bar{X}-S$	$\bar{M}$ Chart	$\bar{\bar{M}}$	$\bar{\bar{M}}+A_4\bar{R}$	$\bar{\bar{M}}-A_4\bar{R}$	$\bar{M}$ (ค่ามัธยฐาน)
	$R$ Chart	$R$	$D_4\bar{R}$	$D_3\bar{R}$	$R$ (พิสัย)
$P$	$P$ Chart	$\bar{P}$	$\bar{p}+3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\bar{p}-3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$p$ (สัดส่วนของเสีย)

ตารางที่ 2.15 ค่าคงที่สำหรับการคำนวณขอบเขตควบคุม

จำนวนตัวอย่างหรือ จำนวนค่าที่วัดได้ใน แต่ละครั้ง (n)	A2	D2	A4	D3	D4	A3	B3	B4
2	1.880	1.128	1.880	0	3.670	2.659	0	3.267
3	1.023	1.693	1.187	0	2.574	1.954	0	1.568
4	0.729	2.056	0.796	0	2.282	1.628	0	2.266
5	0.577	2.326	0.691	0	2.114	1.427	0	2.089
6	0.483	2.534	0.549	0	2.004	1.287	0.030	1.970
7	0.419	2.704	0.509	0.0076	1.924	1.182	0.118	1.882
8	0.373	2.847	0.434	0.136	1.864	1.099	0.185	1.815
9	0.337	2.970	0.412	0.184	1.816	1.032	0.239	1.761
10	0.308	3.078	0.365	0.223	1.777	0.975	0.284	1.716
11	0.285	3.173	0.350	0.256	1.744	0.927	0.321	1.676
12	0.266	3.258	0.317	0.283	1.717	0.886	0.354	1.646
13	0.249	3.336	0.306	0.307	1.693	0.85	0.382	1.618
14	0.235	3.407	0.282	0.328	1.672	0.817	0.406	1.594
15	0.223	3.472	0.274	0.347	1.653	0.789	0.428	1.572

แนวทางในการกำหนดจำนวนตัวอย่าง

1) ถ้าจำนวนตัวอย่างที่มากจะทำให้ขีดจำกัดควบคุมบนและขีดจำกัดควบคุมล่าง อยู่ใกล้เส้นกึ่งกลาง ทำให้แผนควบคุมแคบจึงสามารถบอกเหตุการณ์เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงไป ของกระบวนการผลิตได้ดีกว่า

2) จำนวนตัวอย่างมากทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบสูง

3) ถ้าการทดสอบตัวอย่างเป็นการทดสอบที่ทำให้ชิ้นงานถูกทำลายไป จำนวน ตัวอย่างไม่ควรใช้มากการรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้สร้างแผนภูมิควบคุม จะใช้ตารางบันทึกผลแตกต่างกันไปตามแต่ประเภทของแผนภูมิ

4) การคำนวณขีดจำกัดควบคุม และสร้างแผนภูมิควบคุมข้อมูล จากตัวอย่างที่เก็บไว้ นั้น จะถูกนำไปใช้คำนวณขีดจำกัดควบคุม เพื่อสร้างแผนภูมิควบคุมต่อไปขีดจำกัดควบคุม ประกอบด้วยขีดจำกัดควบคุมบน (UCL) เส้นกึ่งกลาง (CL) และขีดจำกัดควบคุมล่าง (LCL)

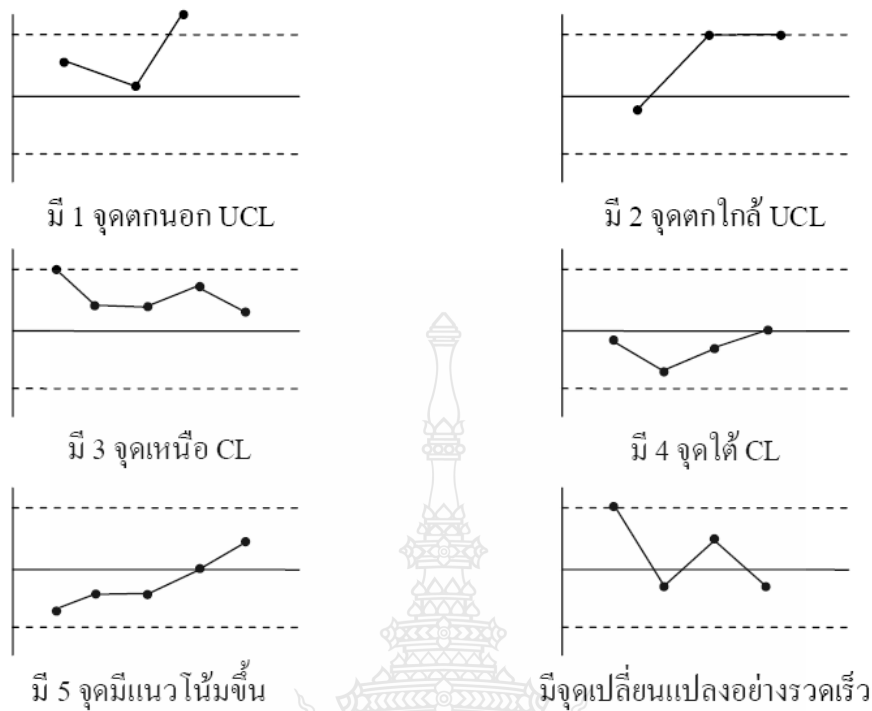
5) เขียนจุดและวิเคราะห์แผนภูมิควบคุม เมื่อได้แผนภูมิควบคุม แล้วเขียนจุดของตัวอย่างลงในแผนภูมิควบคุม จะได้จุดแสดงสภาพการผลิตว่าอยู่ในการควบคุมหรือไม่และสมควรหยุดกระบวนการผลิต เพื่อปรับตั้งกระบวนการผลิตใหม่หรือยัง

6) ปรับปรุงแผนภูมิควบคุม จุดที่เขียนแสดงในแผนภูมิที่สื่อความผิดพลาด จะถูกตัดออกแล้วนำจุดที่เหลือไปคำนวณขีดจำกัดควบคุมและสร้างแผนภูมิควบคุมใหม่ ซึ่งโดยทั่วไปจะได้แผนภูมิควบคุมที่แคบลงซึ่งอาจนำไปใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตในอนาคต หรือนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นเช่นนำไปใช้คำนวณสมรรถภาพกระบวนการ

7) แผนควบคุมจะนำไปใช้ เพื่อการพัฒนาคุณภาพสินค้าเป้าหมายสำคัญของการใช้แผนภูมิควบคุม เพื่อให้ผู้ผลิตสามารถปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของสินค้าอย่างต่อเนื่องตลอดไป การควบคุมคุณภาพ คือ การควบคุมให้ลักษณะคุณภาพมีค่าเฉลี่ยและการกระจาย ตามที่กำหนดค่าที่กำหนดนี้จะเรียกว่าขีดจำกัดข้อกำหนด (Specification Limit) โดยขีดจำกัดข้อกำหนดนี้ ประกอบด้วยขีดจำกัดข้อกำหนดบน (Upper Specification Limit) หรือที่เขียนย่อว่า USL และขีดจำกัดข้อกำหนดล่าง (Lower Specification Limit) หรือที่เขียนย่อว่า LSL ลักษณะคุณภาพบางชนิดอาจกำหนดเฉพาะขีดจำกัดข้อกำหนดล่างเพียงอย่างเดียว เช่น ความสามารถในการทนแรงดึงของเหล็กเส้น เป็นต้น

โดยลักษณะของจุดที่ควรให้ความสำคัญ ดังรูปที่ 2.24 คือ

- 1) มี 1 จุดตกนอก ULC และ LCL
- 2) มี 2 จุดติดต่อกันเกาะอยู่ใกล้ขีดจำกัดควบคุมบนหรือขีดจำกัดควบคุมล่าง
- 3) มี 5 จุดติดต่อกันที่อยู่ด้านใดด้านหนึ่งของเส้นกึ่งกลาง
- 4) มี 5 จุดติดต่อกันที่แสดงแนวโน้มขึ้นหรือลงตลอด
- 5) มีจุดที่เปลี่ยนระดับอย่างรวดเร็ว
- 6) มีจุดที่แสดงวัฏจักร



รูปที่ 2.24 การกระจายของจุดบนแผนภูมิควบคุมแสดงความผิดปกติในกระบวนการผลิต [6]

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเพิ่มปริมาณการผลิตสามารถทำได้หลายวิธีการ วิธีหนึ่งในหลายอุตสาหกรรมนิยมนำมาประยุกต์ใช้ได้แก่ การเพิ่มความสามารถในการผลิต โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่าและเต็มความสามารถมากที่สุด ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC ของ ซิกส์ ซิกมา มาใช้ในการศึกษา เพื่อหาข้อสรุปที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงในด้านต่างๆ เช่น

### 2.6.1 การประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ได้มีการนำหลักการ DMAIC ของ ซิกส์ ซิกมา ไปประยุกต์ใช้ในปรับปรุงงานกระบวนการในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น การเพิ่มเปอร์เซ็นต์ Overall Yield ของกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิส เพื่อทำการลดปริมาณของเสียจากค่ามูของชิ้นงาน ตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่กระบวนการก่อนหน้ากระบวนการตัดค่ามูของชิ้นงาน เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่ามูของชิ้นงานก่อนเข้ากระบวนการตัดค่ามูของชิ้นงาน และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิต ที่จะทำให้ค่ามูของชิ้นงานก่อนเข้ากระบวนการตัดค่ามูของชิ้นงานได้ตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ [8] การปรับปรุงกระบวนการของบริษัทงานพิมพ์ของบอร์ดตัวอย่างเพื่อทำการศึกษาขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุปัญหา โดยได้ทำการวิเคราะห์ความล่าช้า (Delay

Study), การศึกษากระบวนการไหล (Process Diagram) ศึกษาด้านเวลา (Time Study) และศึกษาการสุ่มตัวอย่างงาน (Work Sampling Study) จากนั้นในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (Analysis) พบว่าพื้นที่โดยทั่วไป พื้นที่จัดเก็บวัตถุดิบ และเครื่องมือต่างๆในการผลิต ไม่เกิดคุณค่าในการทำงาน และจากการวิเคราะห์ความสามารถในการผลิตพบว่า บริษัทสามารถทำการผลิตงานได้เพียง 143,400 บอร์ด โดยคิดเป็น 75% ของความต้องการทั้งหมด โดยที่ความต้องการของลูกค้าอยู่ที่ 200,000 บอร์ด หรือ 30% ของกิจกรรมของพนักงานไม่เกิดคุณค่า เนื่องจากสูญเสียไปในการเคลื่อนไหวที่เกินความต้องการ [10] การลดปริมาณของเสียในกระบวนการประกอบสปินเดิลมอเตอร์ของฮาร์ดดิสก์ โดยมีการปรับปรุงกระบวนการด้วยการออกแบบการทดลองแบบ 2 ปัจจัย เพื่อการปรับตั้งค่าความเร็วและแรงในการกด Hub ที่เหมาะสม หลังจากการปรับปรุง พบว่าจำนวนของเสียในกระบวนการประกอบสปินเดิลมอเตอร์ลดลงเหลือ 3,542 ชิ้นในหนึ่งล้านชิ้นของการผลิต [7] การปรับปรุงกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ เพื่อศึกษาแนวทางการลดของเสียในกระบวนการ พบว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดปัญหา คือ ความเข้มของแสง UV, เวลาการเปิดวาล์วของหลอดกาว และความดันของกาว ภายในหลอดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของหัวอ่านในแนวแกน x และ t และทำการปรับปรุงด้วยการออกแบบการทดลองแบบ 2<sup>3</sup> เพิ่มจุดกลาง เพื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย ทำให้มีผลิตภัณฑ์บกพร่องเป็น 0.0257% ลดลงจากเดิมคิดเป็น 79.58% [30] เป็นต้น

#### 2.6.2 การประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนรถยนต์

ได้นำหลักการมาประยุกต์ใช้เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตและปรับปรุงคุณภาพชิ้นงานซูบโครเมียมของชิ้นส่วนรถยนต์ ที่เป็นปัญหาเกิดรอยดำหนึ่ที่ชิ้นงาน และในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) ได้มีการนำเครื่องมือทางสถิติ เช่น ANOVA, Hypothesis Test มาช่วยในการวิเคราะห์ โดยสามารถลดระดับการเกิดของเสียลง 82% ซึ่งบรรลุเป้าหมายที่วางไว้ [6] การป้องกันการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ A01 โดยได้มีการปรับปรุงโดยจัดทำระบบ Poka-Yoke จัดทำเอกสารวิธีปฏิบัติงาน เอกสาร Q-Point ปรับเปลี่ยนวิธีปฏิบัติงานให้เหมาะสมและอบรมหน้าสถานีงาน ผลลัพธ์จากการปรับปรุงพบว่าเปอร์เซ็นต์ของของเสียลดลงจากเดิมจาก 4.2172% เป็น 0.2796% และ 0.0537% ในการปรับปรุงครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ตามลำดับ [31] การแก้ไขปัญหาคุดดำ (Black Dot) ของกระบวนการฉีดขึ้นรูปปุ่มฉุกเฉิน ในรถยนต์ โดยดำเนินการแก้ไขในสองส่วนด้วยกัน คือ ปัญหาภายในกระบวนการผลิต และปัญหาภายนอกที่ร้องเรียนโดยลูกค้า โดยหลังการปรับปรุงสามารถลดปัญหาคุดดำของกระบวนการฉีดขึ้นรูปปุ่มฉุกเฉินในรถยนต์ ในส่วนการปรับปรุงงานภายในจาก 3.88 % เหลือ 0.92 % และจากการร้องเรียนของลูกค้าจาก 0.22 % เหลือ 0.01 % ของปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมด [32]

### 2.6.3 การประยุกต์ใช้กับงานบริการ

นอกจากนั้นแล้วยังได้นำวิธีการ DMAIC ของ ซิกส์ ซิกมา ไปใช้เพื่อวิเคราะห์และพัฒนาคุณภาพการบริการของเคาท์เตอร์ธนาคาร โดยการวัดและเป้าหมายของโครงการ คือ อัตราของการมาใช้บริการและเวลาที่ลูกค้ารอคอย โดยใช้วิธีการทางสถิติ เช่น One-Way ANOVA และ K-Related Samples Nonparametric Test และผลลัพธ์ที่ได้รับจากการปรับปรุงคือ มีผลสำเร็จที่ดีเยี่ยมในการส่งเสริมความสามารถในการแข่งขันของธนาคาร โดยการพัฒนาคุณภาพของการบริการรวมไปถึงธนาคารได้รับประโยชน์อย่างมากจากการพัฒนาคุณภาพของการบริการ [9]

### 2.6.4 การประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตผ้าเบรกรถยนต์

ในอุตสาหกรรมผ้าเบรกรถยนต์เองก็ได้มีการประยุกต์ใช้ในการพัฒนาเนื้อผ้าเบรก โดยทำการใช้เปลือกของต้นปาล์ม (Palm Kernel Shell: PKS) ทดแทนแร่ใยหิน (Asbestos) และได้มีการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดย ANOVA ในขั้นตอนการวิเคราะห์และขั้นตอนการปรับปรุง มีการใช้ทาгуชิ (Tagushi) ในการออกแบบการทดลอง หลังการปรับปรุงพบว่าในการใช้เปลือกต้นปาล์มทดแทนแร่ใยหินได้ค่าทางกายภาพ (Physical Properties) ไม่มีความแตกต่างจากแร่ใยหิน [11] และมีการนำไปประยุกต์ใช้ในการลดปริมาณงานที่ไม่ได้คุณภาพในกระบวนการผลิตผ้าเบรกรถยนต์ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในส่วนของคุณทุนการผลิต [30]

### 2.6.5 การประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่นๆ

เช่น การปรับปรุงแนวทางการควบคุมคุณภาพในการลดของเสียที่เกิดจากระบบเดิมห้มีเครื่องพิมพ์โดยมีการนำเครื่องมือทางคุณภาพมาใช้ เช่น มีการแต่งตั้งทีมงานของบริษัทเพื่อทำการระดมสมอง (Brainstorming) การใช้แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหาและเลือกปัญหาตามหลัก 80% การใช้ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เทคนิคการวิเคราะห์รูปแบบของของเสียและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) และมีการนำแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย หรือแผนภูมิ P-Chart มาใช้ในการควบคุมสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องต่างๆ และแผนภูมิควบคุมร้อยละของเสียมาควบคุมสัดส่วนของเสียในแต่ละล็อต ซึ่งหลังจากปรับปรุงคุณภาพพบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับในระดับ  $\sigma$  สามารถปรับปรุงจาก  $2.55\sigma$  เป็น  $2.86\sigma$  [31] ในด้านกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมยา ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดเสถียรภาพในการทดสอบ เพื่อทำการวิเคราะห์เกี่ยวกับกระบวนการผลิตทางด้านอุตสาหกรรมยา โดยมีการประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านสถิติและอาศัยหลักการของ ซิกส์ ซิกมา เข้ามาช่วยทำให้ข้อมูล มีความน่าเชื่อถือทางด้านการทดสอบที่มีความเสถียรภาพ และความสามารถของกระบวนการผลิตมากยิ่งขึ้น [32]

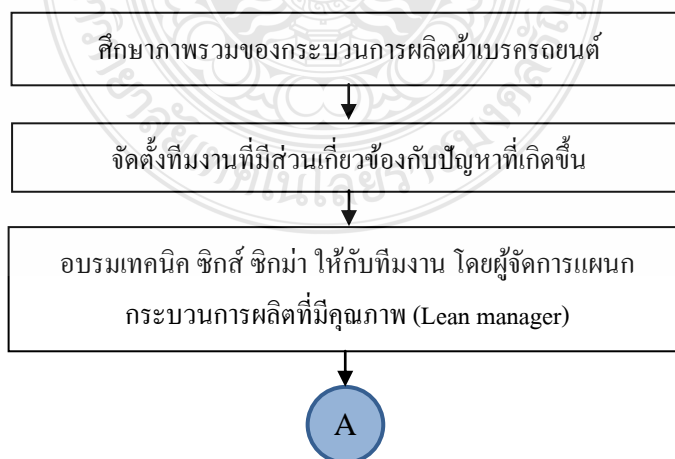


### บทที่ 3

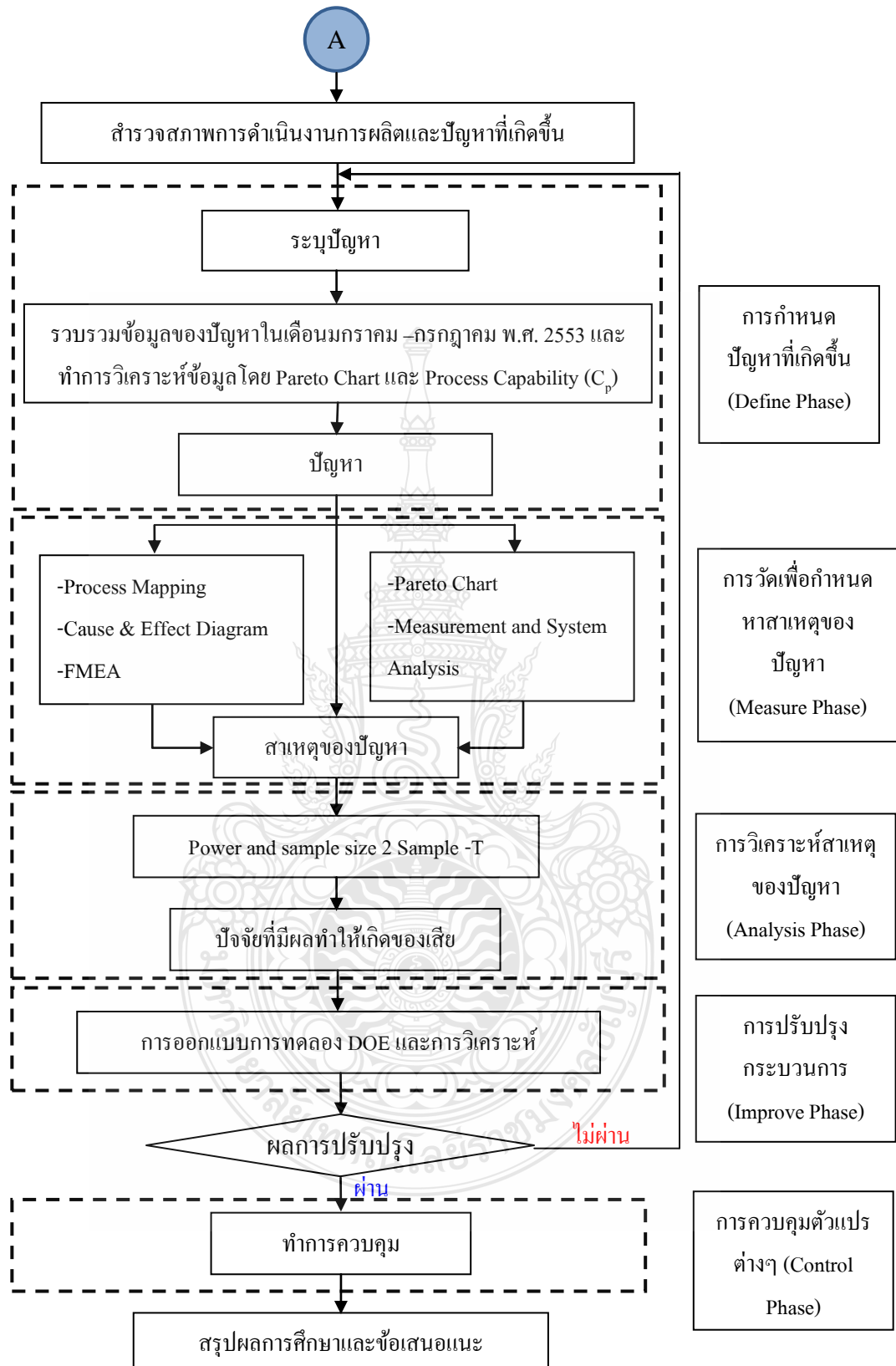
#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากทฤษฎีต่างๆ ที่นำมาใช้ในการทำวิจัยที่กล่าวมาในบทที่ 2 ในบทนี้ผู้ทำการวิจัยจะกล่าวถึงขั้นตอนการนำการดำเนินงานวิจัยมาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้ เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย ซึ่งจะเป็นการบรรยายเกี่ยวกับขั้นตอนการนำทฤษฎีการปรับปรุงคุณภาพด้วย DMAIC ของ ซิกส์ ซิกมา โดยนำเอาหลักการในเรื่องของการลดความผันแปรในกระบวนการผลิต มาประยุกต์ใช้ในการลดความสูญเสีย (Waste) รวมถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยเนื้อหาจะเน้นหลักการต่างๆ เป็นลักษณะภาพรวมและเหตุการณ์นำมาใช้เพื่อความเข้าใจในการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเหล่านี้ในขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งทั้งหมดนี้มีเป้าหมายคือ การปรับปรุงคุณภาพกระบวนการ การตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้า และช่วยลดต้นทุนภายในองค์กรลงอย่างมีประสิทธิภาพ

ระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ๆ โดยเริ่มจากการการระบุปัญหาและการวัด ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาและหาสาเหตุของปัญหา จากนั้นทำการวิเคราะห์ระบบการวัดและตรวจสอบแล้ววิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงด้วยวิธีการทางสถิติ เมื่อทราบสาเหตุที่แท้จริงแล้ว จึงทำการปรับปรุงโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองและการออกแบบใหม่ สุดท้ายคือขั้นตอนการควบคุม โดยวางแผนเพื่อควบคุมกระบวนการให้สามารถดำรงไว้ซึ่งผลของการปรับปรุง ซึ่งสามารถแสดงเป็นแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยได้ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย (ต่อ)

### 3.1 การศึกษาภาพรวมของกระบวนการการผลิตผ้าเบรก

เป็นการดำเนินการศึกษาภาพรวมของกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ ในโรงงานตัวอย่างที่ใช้เป็นกรณีศึกษา โดยทำการศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต ขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรอัตโนมัติ ซึ่งมีหน้าที่ในการขึ้นรูปชิ้นงานร้อน รวมถึงการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรแต่ละกระบวนการ เพื่อเป็นความรู้พื้นฐานของทีมงานให้มีความเข้าใจก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและดำเนินการปรับปรุงต่อไป โดยรวบรวมข้อมูลจากเอกสารในระบบคุณภาพของแต่ละแผนกที่เกี่ยวข้อง ซึ่งข้อมูลที่ได้รวบรวมจะใช้ตารางและกราฟในการแสดงข้อมูลและถ้าเป็นขั้นตอนต่างๆ จะใช้แผนภูมิการไหลในการแสดงขั้นตอนการดำเนินการเพราะสามารถทำให้ทีมงานสามารถทำความเข้าใจได้โดยง่ายยิ่งขึ้น

โดยผลิตภัณฑ์หลักของบริษัท จะเป็นการผลิตผ้าเบรครถยนต์ชนิดขึ้นรูปเย็น (Press Form) และชนิดขึ้นรูปร้อน (Press Cure) โดยโมเดลที่พบปัญหาชิ้นงานแตกร้าว ที่ผู้วิจัยนำมาทำการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางแก้ไขปัญหานั้นคือชนิดขึ้นรูปร้อน (Press Cure) แสดงดังรูปที่ 3.2 โมเดล X068 ซึ่งเป็นผงผ้าเบรคชนิดสารอินทรีย์ หรือ NAO ซึ่งตามมาตรฐานของห้องทดสอบผงผ้าเบรคพบว่า มีอุณหภูมิในการหลอมละลายเมื่อขึ้นรูปร้อนอยู่ที่ 140-170 องศาเซลเซียส และชิ้นงานหมายเลขที่นำมาเป็นตัวอย่างทดสอบ คือ FF2 ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างลักษณะผลิตภัณฑ์ผ้าเบรก โมเดล X068



รูปที่ 3.3 ชิ้นงานที่นำมาทดสอบหมายเลข FF2

### 3.2 การจัดตั้งทีมงานในการแก้ไขปัญหา

เมื่อทำการศึกษากระบวนการและได้หัวข้อที่จะทำการศึกษารวมถึงเป้าหมายในการปรับปรุงแล้ว ขั้นตอนต่อไปก็คือการจัดตั้งทีมงานที่มีความเกี่ยวข้องกับปัญหานั้น เป็นการคัดเลือกทีมงานที่มาจากหลายหน่วยงานที่มาร่วมกันแก้ไขปัญหาให้เป็นไปตามเป้าหมายที่วางเอาไว้ โดยทีมงานที่จัดตั้งขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาชิ้นงานรื้อนี้ จะต้องเป็นผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์เป็นอย่างดีในกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ ดังนั้นคณะทำงานดังกล่าวจึงต้องเป็นบุคคลที่มาจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ โดยการคัดเลือกจากแผนกการผลิต แผนกควบคุมกระบวนการผลิต และแผนกควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิต

### 3.3 การอบรมเทคนิคซิกส์ ซิกมา ให้กับคณะทำงาน

เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษาเอง ได้มีแผนกกระบวนการผลิตที่มีคุณภาพ (Lean Department) ที่คอยให้คำแนะนำ และได้มีนโยบายในการส่งเสริมสนับสนุนให้พนักงานมีการนำเอากระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ และนำขั้นตอน DMAIC ของซิกส์ ซิกมา มาใช้ในกระบวนการผลิตและกระบวนการตรวจสอบทางด้านคุณภาพอยู่แล้ว ทำให้พนักงานมีส่วนร่วมในการปรับปรุง และมีความรู้ ความเข้าใจในทฤษฎี หลักการ และเครื่องมือต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ (Lean Manufacturing) และขั้นตอนวิธีการ DMAIC ของซิกส์ ซิกมา ได้ในระดับหนึ่ง อีกทั้งยังได้จัดการฝึกอบรมหลักสูตรเรื่องซิกส์ ซิกมาให้กับทีมงาน โดยคุณฉวีวัฒน์ ผู้จัดการแผนกกระบวนการผลิตที่มีคุณภาพ ในช่วงวันหยุดสัปดาห์การทำงานที่ 32 เดือนสิงหาคม 2553 เพื่อต้องการให้ทีมงานมีความรู้ ความเข้าใจในทฤษฎี หลักการ และเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคซิกส์ ซิกมามากขึ้น



รูปที่ 3.4 บรรยากาศการฝึกอบรมและการทำแบบทดสอบของทีมงาน

### 3.4 ขั้นตอนการคัดเลือกปัญหา (Define Phase)

ผู้ทำการศึกษาได้มีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

#### 3.4.1 การระบุปัญหา (Define)

โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผ้าเบรค เพื่อทำการคัดเลือกปัญหาที่สำคัญมาทำการปรับปรุงและแก้ไข โดยเลือกเก็บข้อมูลเฉพาะ โมเดล X068 เท่านั้น ซึ่งการเก็บข้อมูลจะเริ่มจากการนำข้อมูลของเสียเดิมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจากแผนกควบคุมคุณภาพที่มีการบันทึกของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตในแต่ละกระบวนการและแต่ละกะการทำงานมาทำการรวบรวมข้อมูลของเสียเป็นระยะเวลา 7 เดือน คือเดือนมกราคม – กรกฎาคม พ.ศ. 2553 จากนั้นทีมงานจะทำการคัดเลือกปัญหามาจัดระดับความสำคัญ โดยแผนภูมิพาเรโตและคัดเลือกปัญหาโดยหลักการ 80:20 มาดำเนินการแก้ไขปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

#### 3.4.2 ความสามารถกระบวนการ (Process Capability Index)

โดยการนำข้อมูลสถิติของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างเดือนมกราคม - กรกฎาคม พ.ศ. 2553 มาทำการเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p Chart) เพื่อทำการศึกษาด้วยการวัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการสะท้อนด้วยค่า Process Capability ( $C_{pk}$ ) และแสดงถึงค่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งของกระบวนการเพื่อที่จะทำการพิจารณาว่าแผนภูมิต่ำเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณนั้นอยู่ในค่าควบคุม และค่าเฉลี่ยของขนาดควบคุมที่ผลิตได้จากกระบวนการนั้นไม่มีปัญหา หรือไม่มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนไปจากขนาดกำหนดที่ได้ตั้งเอาไว้ และกระบวนการไม่มีสาเหตุอื่นๆ (Assignable Cause) หรือไม่

### 3.5 ขั้นตอนการวัด (Measure Phase)

การดำเนินการในขั้นตอนนี้ เป็นขั้นตอนการวัดความผิดพลาดต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการปรับปรุง โดยเริ่มต้นจาก การสร้างแผนที่กระบวนการผลิตผ้าเบรค ทำให้สามารถทราบถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในแต่ละงานในกระบวนการ หลังจากนั้นนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาจากการศึกษาสร้างแผนภูมิการไหลของกระบวนการมาเข้าสู่การระดมสมอง เพื่อสร้างแผนภาพแสดงเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาที่ทำการศึกษา เพื่อแสดงเหตุและผลที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และนำปัจจัยที่ระบุแผนภาพมาเข้าสู่กระบวนการระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบเพื่อค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด และสุดท้ายทำการวิเคราะห์ระบบการวัดเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการวัดของพนักงานและเครื่องทดสอบการอัด ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนนี้ก็คือ สาเหตุของปัญหาที่ก่อให้เกิดปัญหา จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์

### 3.5.1 การสร้างแผนที่กระบวนการผลิต (Process Map)

การสร้างแผนภูมิการไหลของกระบวนการการผลิตผ้าเบรก จะทำให้ทีมสามารถทราบถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในแต่ละงานในกระบวนการ หลังจากนั้นนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาจากการศึกษาสร้างแผนที่กระบวนการผลิต นอกจากนั้นแล้วยังจะทำให้สามารถทราบถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในแต่ละงานในกระบวนการ และลักษณะงานไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Non Value Added) ในกระบวนการได้อีกด้วย

### 3.5.2 การวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

การดำเนินการในขั้นตอนนี้ เริ่มจากการศึกษาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลของปัญหาที่เชื่อว่าเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อทำให้เกิดปัญหาชิ้นงานร้าว ในการระบุสาเหตุของปัญหาต้องกระทำโดยวิธีการระดมสมองจากทีมงานที่จัดตั้งขึ้นมาและมีความเชี่ยวชาญหรือคุ้นเคยในกระบวนการผลิตนั้นๆ เพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างอาจจะทำให้เกิดการแก้ไขปัญหาผิดจุดได้ สาเหตุที่ระบุได้จากแผนภาพแสดงเหตุและผลจะเป็นการกำหนดปัจจัยเพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยหลักทางสถิติต่อไป โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลโดยอธิบายถึงปัจจัยนำเข้าโดยใช้แผนภาพก้างปลาและการระดมสมอง (Fish Bone Diagram) ซึ่งพิจารณาปัจจัยในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. ด้านพนักงาน (Man)
3. ด้านสิ่งแวดล้อม (Environment)
4. ด้านการวัด (Measurement)
5. ด้านวิธีการ (Method)
6. ด้านวัตถุดิบ (Material)

### 3.5.3 การวิเคราะห์ความผิดพลาดและผลกระทบในกระบวนการ (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)

หลังจากที่ได้มีการระดมสมองในการทำแผนภาพก้างปลาแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Mode and Effect Analysis) หรือที่เรียกว่า FMEA ซึ่งเป็นกลวิธีที่ใช้ในการเข้าถึงสาเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบ เพื่อใช้ในการศึกษาปัญหาที่เป็นไปได้ เพื่อป้องกันมิให้ปัญหาที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดปรากฏการณ์ขึ้นมา และเป็นการจัดลำดับความสำคัญเพื่อที่จะได้นำมาแก้ไขต่อไป

ขั้นตอนการวิเคราะห์ถึงผลกระทบอันเนื่องมาจากลักษณะข้อบกพร่อง

1. ระบุขั้นตอนการดำเนินงาน ซึ่งเป็นการแยกขั้นตอนต่าง ๆ ออกเป็นขั้นตอนย่อย

2. ระบุถึงปัจจัยป้อนเข้าที่น่าจะสำคัญต่อความผันแปร ในกระบวนการ (Potential Key Process Input Variation: Potential KPIV)

3. ระบุลักษณะข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด (Potential Failure Mode) โดยการตั้งคำถามว่าภายในขั้นตอนย่อย ๆ ของกระบวนการนั้น ถ้าการทำงานไม่เป็นไปตามหน้าที่ที่ต้องการแล้ว ลักษณะข้อบกพร่องจะเป็นอย่างไร

4. ระบุลักษณะผลกระทบของข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด (Potential Effect of Failure) โดยการตั้งคำถามว่าถ้าหากลักษณะข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มว่าจะเกิดขึ้นแล้วจะส่งผลกระทบต่อปัญหาที่สนใจอย่างไร

5. ให้คะแนนความรุนแรงของผลกระทบ (Severity of the Effect: S) โดยการให้คะแนนจะใช้หลักการที่แสดงในตารางที่ 2.5

6. ระบุสาเหตุที่มีแนวโน้มในการเกิดข้อบกพร่อง (Potential Causes of Failure)

7. ให้คะแนนโอกาสในการเกิด (Occurrence: O) ซึ่งโอกาสในการเกิดคือโอกาสของสาเหตุที่ได้รับการระบุถึงจะเกิดขึ้นและมีผลทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่อง โดยการให้คะแนนจะใช้หลักการที่แสดงในตารางที่ 2.6

8. ระบุการควบคุมในปัจจุบัน (Current Control) โดยให้รายละเอียดของการควบคุมเพื่อใช้ในการป้องกันมิให้ลักษณะข้อบกพร่องเกิดขึ้นมา

9. ให้คะแนนการตรวจจับ (Detection: D) ซึ่งการตรวจจับคือการประเมินถึงกิจกรรมที่กระทำในการควบคุมเพื่อสืบหาและตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องก่อนการผลิตหรือการส่งมอบให้ลูกค้า โดยการให้คะแนนจะใช้หลักการที่แสดงในตารางที่ 2.7 คำนวณตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) ซึ่งสามารถคำนวณจากผลคูณของคะแนนตามความรุนแรงของผลกระทบ คะแนนโอกาสในการเกิด และคะแนนการตรวจจับ

#### 3.5.4 การจัดลำดับความสำคัญของค่าความเสี่ยงชี้นำ (Risk Priority Number: RPN)

การจัดลำดับความสำคัญในการแก้ข้อบกพร่องจะดำเนินการโดยนำค่า RPN ที่คำนวณได้ มาจัดเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยโดยอาศัยหลักการพาเรโต (Pareto Principle) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของข้อมูลที่มีการจำแนกประเภทหรือแบบหลายพวก จากนั้นดำเนินการตัดสินใจเลือกข้อบกพร่องที่ต้องการแก้ไข ในงานวิจัยนี้ทางทีมงานจะเลือกข้อบกพร่องเฉพาะที่มีความสำคัญมาดำเนินการแก้ไขเท่านั้น โดยลำดับของการปฏิบัติการแก้ไข จะพิจารณาโดยใช้หลักการ 80: 20



### 3.5.5 วิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบวัด (Measurement System Analysis)

การวิเคราะห์ความแม่นยำเป็นการวัดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มหมายถึงความคลาดเคลื่อนที่ข้อมูลกระจายอย่างสุ่มรอบค่าที่แท้จริงค่าหนึ่ง โดยความคลาดเคลื่อนนี้จะมีลักษณะตัวแบบของการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ และมียุคประกอบของความผันแปรมาจากสาเหตุความคลาดเคลื่อน 4 สาเหตุคือ สาเหตุจากชิ้นงาน สาเหตุจากพนักงาน สาเหตุร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงาน และสาเหตุแบบสุ่ม ถ้าจะแบ่งคุณสมบัติด้านความแม่นยำสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประการคือ ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) ซึ่งหมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับชิ้นงานเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกันและความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) ซึ่งหมายถึงค่าความแตกต่างในการเฉลี่ยของการวัดกับงานชิ้นเดียวกัน ด้วยเครื่องมือเดียวกันแต่ต่างพนักงานกัน

ทางทีมได้มีข้อคิดเห็นร่วมกันว่าสาเหตุอีกประการหนึ่งที่ก่อให้เกิดปัญหาการหลุดรอดส่วนหนึ่งนั้น มาจากสาเหตุของพนักงานตรวจสอบรอยร้าวบนผิวผ้าเบรค ที่ไม่สามารถคัดแยกชิ้นงานดีและชิ้นงานเสียได้ เนื่องจากชิ้นงานบางชิ้นงานมีรอยร้าวขนาดเล็ก หรือบางชิ้นงานเกิดการร้าวภายในผิวผ้าเบรค ซึ่งยากต่อการตรวจสอบชิ้นงานด้วยสายตา ดังนั้นจึงมีการนำเครื่องวัดการอัดตัว (Compressibility Machine) ของผ้าเบรคมาช่วยในการสุ่มตรวจชิ้นงาน ดังนั้นจึงจะต้องทำการตรวจสอบระบบการวัดทั้งสองส่วน คือ พนักงานตรวจสอบและเครื่องจักร ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบการสุ่มตรวจชิ้นงานของพนักงานตรวจสอบ  
มีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้
  - 1) ทำการเลือกตัวอย่างงานมาตรฐานจากกระบวนการผลิตประมาณ 23 ชิ้น สำหรับตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้ ทีมงานจะเลือกใช้ชิ้นงานมาตรฐานจำนวน 23 ชิ้น ประกอบด้วยงานดี (Accept) 9 ชิ้น และงานเสีย (Reject) 14 ชิ้น
  - 2) ทำการกำหนดหมายเลขให้แก่ผ้าเบรคแต่ละชิ้น
  - 3) เลือกพนักงานตรวจสอบคุณภาพที่ได้รับการอบรมมาแล้วจำนวน 4 คน
  - 4) ให้พนักงานทำการตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่างจำนวนคนละ 2 รอบ รวมทั้งหมดจะเป็นการตรวจสอบจำนวน 8 ครั้ง
  - 5) วิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรมมาตรฐาน Minitab หัวข้อการวัด Attribute Agreement Analysis ซึ่งเกณฑ์ในการวัดผลดูจากค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการทำซ้ำ



(Repeatability) และค่าเปอร์เซ็นต์อคติของพนักงานตรวจสอบ (Bias) จะต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด โดยปกติค่าที่วัดได้จะต้องมีค่า 100 % ถึงจะอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องทดสอบแรงอัด (Compression) ขั้นตอนในการดำเนินงานมีดังนี้

1) ทำการเลือกชิ้นงานตัวอย่างงานมาตรฐานจากกระบวนการผลิตประมาณ 20-30 ชิ้น สำหรับตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์นี้ที่ทีมงานจะเลือกใช้ชิ้นงานแบบสุ่มมาจำนวน 25 ชิ้น สำหรับการวิเคราะห์

2) ทำการกำหนดหมายเลขให้แก่ชิ้นงานตัวอย่างแต่ละชิ้น

3) ตรวจสอบเครื่องทดสอบแรงอัด (Compressibility Machine) ว่าผ่านการสอบเทียบมาแล้วและยังอยู่ในช่วงเวลาที่ให้ใช้งานได้

4) เลือกพนักงานตรวจสอบคุณภาพและทำงานประจำวันที่เครื่องทดสอบแรงอัด (Compressibility Machine) จำนวน 2 คน

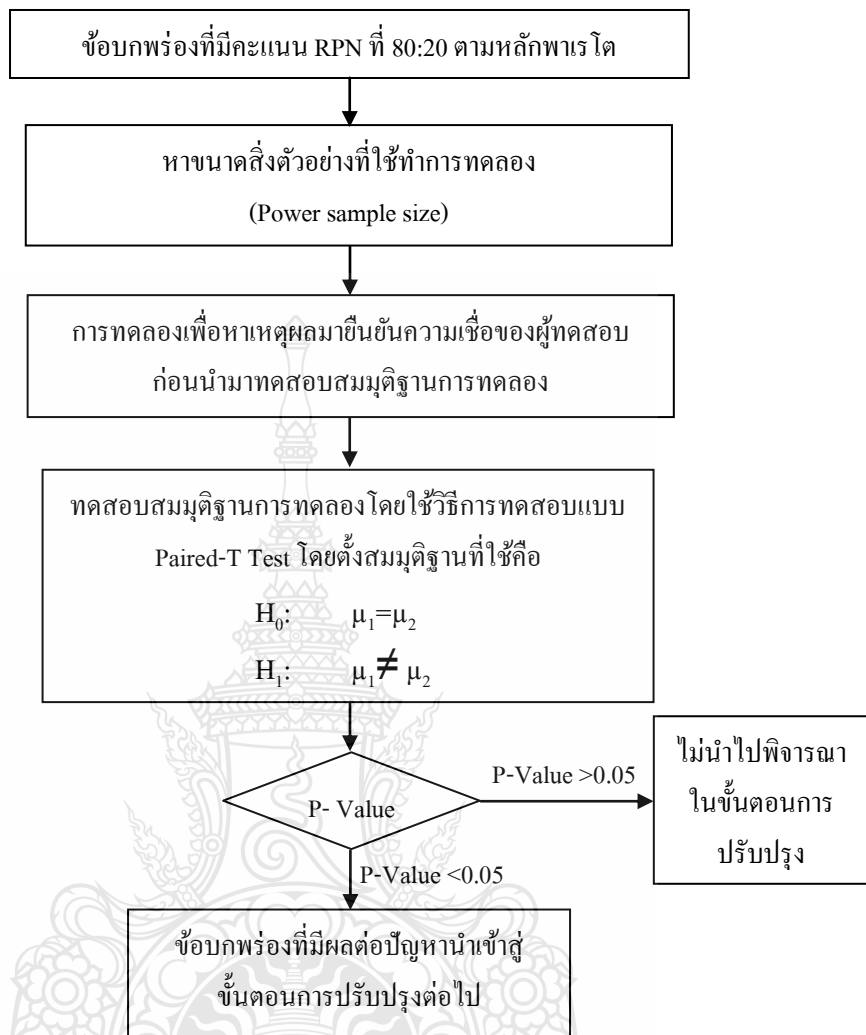
5) ทำการวัดอย่างสุ่มจำนวนคนละ 3 รอบ แล้วเก็บข้อมูล

6) วิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม Minitab มาช่วย วิธีทำการวิเคราะห์จะอาศัยค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย ( $\bar{x} - R$ ) ในการวิเคราะห์ ซึ่งวิธีนี้จะสามารถแยกความผันแปรออกเป็น Repeatability และ Reproducibility ออกจากกันได้ และเกณฑ์ในการวัดผลดูจากเปอร์เซ็นต์ Repeatability และ Reproducibility ซึ่งโดยทั่วไปเกณฑ์ในการยอมรับอยู่ที่น้อยกว่า 10 %

### 3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

หลังจากที่เราได้สรุปปัจจัยสำคัญที่น่าจะมีผลต่อปัญหาชิ้นงานร้าวของโมเดล X068 แล้ว ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนการพิสูจน์สมมุติฐานเพื่อหาว่าปัจจัยต่าง ๆ มีผลจริงหรือไม่ ก่อนที่จะนำปัจจัยเหล่านั้นไปดำเนินการแก้ไขต่อไป

รายละเอียดการศึกษาในขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการหาจำนวนงานตัวอย่างที่ใช้ทำการทดลอง (Power and Sample Size) จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ที่สาเหตุที่ละปัจจัย โดยใช้วิธีการทดสอบการวิเคราะห์แบบ Paired-T test เพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยตัวใดเป็นสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เกิดปัญหาชิ้นงานร้าว โดยในการทดลองนี้จะมีจุดมุ่งหมายเพื่อคัดกรองปัจจัยต่าง ๆ (Screening Factors) ที่สงสัยออกไปก่อน หรือเป็นการกรองเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาชิ้นงานร้าว อย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา

### 3.6.1 ขั้นตอนการหาขนาดตัวอย่างที่ใช้ทำการทดลอง (Power and Sample Size)

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาขนาดตัวอย่าง (Sample Size) ของการทดสอบความ มีนัยสำคัญของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่อง จะใช้โปรแกรม Minitab 2 sample T-test มาช่วยในการ คำนวณและอำนวยความสะดวก เนื่องจาก เป็นการวิเคราะห์กลุ่มประชากรสองกลุ่ม ซึ่งมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้ [27]

1. จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน (Sample Size) จะทำการปล่อย วางเอาไว้ให้โปรแกรมทำการคำนวณให้ว่ามีค่าเป็นเท่าไร

2. ค่าความแตกต่างสูงสุดของค่าจริงของประชากรที่ต้องการทำการตรวจจับ (Difference,  $\Delta$ ) โดยในที่นี้ผู้ทำการวิจัยได้ทำการกำหนดที่ 25 เนื่องจากเป็นค่าความแตกต่างของค่ามาตรฐานการอัดชิ้นงานที่กำหนดโดยลูกค้า คือ  $75 \pm 25$  ไมครอน (um)

3. อำนาจในการทดสอบสมมติฐาน (Power Values) หรือเป็นความน่าจะเป็นในการปฏิเสธสมมติฐานที่เป็นเท็จโดยในที่นี้กำหนดที่ 0.95

4. ความผันแปรของกระบวนการ (Standard Deviation) หรือระบบที่ศึกษา สำหรับในส่วนนี้จะทำการระบุค่าที่ 13 เนื่องจากเป็นค่าที่ได้จากกระบวนการผลิตเดิม

### 3.6.2 การทดลอง

การทดสอบสมมติฐานจำเป็นต้องมีการทำการทดลองก่อน เพื่อหาเหตุผลมายืนยันความเชื่อของผู้ทดสอบซึ่งถ้าเหตุผลที่ได้ไม่สามารถยืนยันความเชื่อของผู้ทดสอบได้แล้ว ผู้ทดสอบก็มีความจำเป็นที่จะต้องทำการยอมรับทางเลือกอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งจริงๆ แล้วการที่ยอมรับทางเลือกอีกทางเลือกหนึ่งนั้น มิใช่เป็นเพราะทางเลือกนั้นถูกต้อง แต่ที่เลือกเพราะไม่มีเหตุผลเพียงพอที่จะทำการปฏิเสธ (Fail to Reject) ทางเลือกนั้น ในทางกลับกันถ้าเหตุผลที่ได้นั้นสามารถทำการยืนยันความเชื่อของผู้ทดสอบได้ความเชื่อของผู้ทดสอบก็จะสามารถทำการยอมรับได้ ขั้นตอนนี้เป็น การนำข้อบกพร่องที่จะแนบ RPN ของหลักการพาเรโตที่ 80:20 คือ ข้อมูลที่มีความสำคัญจะมีเพียงจำนวนเล็กน้อย และข้อมูลที่มีความสำคัญเล็กน้อยมีจำนวนมาก มาทำการวิเคราะห์โดยการทดลอง เพื่อหาพารามิเตอร์หรือวิธีการแบบใหม่ของข้อบกพร่องนั้น ๆ และวัดผลด้วยค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบการอัดชิ้นงาน โดยทำการควบคุมปัจจัยอื่นๆ ให้คงที่ ก่อนนำพารามิเตอร์หรือวิธีการแบบใหม่ ของข้อบกพร่องนั้นมาทำการเปรียบเทียบกับแบบเก่า ด้วยการทดสอบสมมติฐานด้วยวิธี Paired T-test เพื่อดูความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

### 3.6.3 การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test Methods)

หลังจากที่ได้ผลทำการทดลองแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการตัดตัดสินใจผ่านการทดสอบสมมติฐาน โดยที่ตัวแบบของการตัดสินใจนี้มีอยู่ด้วยกัน 2 ทางเลือก คือ สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis:  $H_0$ ) คือ สมมติฐานที่สร้างขึ้นด้วยความหวังที่จะปฏิเสธ และการปฏิเสธสมมติฐานหลัก ทำให้ยอมรับสมมติฐานอื่นๆ (Alternative Hypothesis:  $H_1$ ) และผลการทดสอบที่ได้เมื่อนำค่า P-Value ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดแบบที่ 1 ของการทดสอบสมมติฐาน ( $\alpha$ ) ที่ระดับ 0.05 จะพบว่าค่า P-Value มีค่ามาก ซึ่งเกณฑ์ในการตัดสินใจคือ

ค่า P-Value  $< \alpha$  หมายถึงปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  (Accept  $H_1$ )

ค่า P-Value  $> \alpha$  หมายถึง ไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$

สำหรับการทดสอบสมมติฐานในขั้นตอนนี้จะใช้การทดสอบแบบ Paired T-test มาใช้ในการทดสอบเนื่องจากการทดลองเป็นการทดสอบสมมติฐานค่าสัดส่วน กรณี 2 กลุ่มประชากร

### 3.7 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

#### 3.7.1 การออกแบบการทดลองแบบ $2^k$ Full Factorial

ในขั้นตอนนี้จะทำการเลือกการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลมาใช้ เพราะสามารถทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อกระบวนการและเกิดขึ้นพร้อมๆกันได้ เมื่อมีการทำการทดลอง ควรทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยไปพร้อมๆกัน มากกว่าทำการเปลี่ยนค่าระดับปัจจัยตัวใดตัวหนึ่ง เพราะจะทำให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพมากกว่า ทั้งในเรื่องการประหยัดเวลาและต้นทุน และยังสามารถวิเคราะห์เรื่องอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยได้ด้วย โดยอิทธิพลร่วม (Interaction) คือผลของการที่ปัจจัยร่วมกันที่มีอยู่ในหลายๆกระบวนการ ถ้าไม่ได้ทำการทดลองแบบแฟกทอเรียลอาจจะไม่เห็นผลของอิทธิพลร่วม (Interaction) ได้ชัดเจนนัก

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการออกแบบและทำการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) กับปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) นั้น และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) ที่ดีที่สุด ก่อนนำไปสู่การดำเนินการควบคุมในขั้นตอนนี้ต่อไป

#### 3.7.2 การนำเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง

เมื่อได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละข้อบกพร่องที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ (KPOV) ที่ดีที่สุดแล้ว ขั้นตอนที่ต่อไปจะเป็นการนำเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของปัญหาที่มีความสำคัญและข้อบกพร่องที่ไม่มีความแตกต่าง แต่ต้องทำการปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น

### 3.8 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการติดตาม ตรวจสอบ และประเมินผลงานที่ปฏิบัติ โดยการเปรียบเทียบผลการทำงานก่อนการปฏิบัติงาน และหลังปฏิบัติงานว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด ถ้าผลลัพธ์ออกมาตามเป้า ก็จะนำไปจัดทำมาตรฐานสำหรับการปฏิบัติงานในครั้งต่อไป แต่ถ้าผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด โดยอาจสูงหรือต่ำกว่าที่ต้องการ ทีมงานคุณภาพก็ต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์หาสาเหตุ เพื่อทำการแก้ไขปรับปรุงใหม่ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

โดยสามารถใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้ เช่นการตรวจสอบ (Audit) และการควบคุมทางสถิติ (Statistical Process Control) เป็นต้น

### 3.8.1 การเก็บข้อมูลหลังการแก้ไขปรับปรุง

ผู้วิจัยจะทำการนำเสนอผลการเก็บข้อมูลใหม่หลังการปรับปรุงเพื่อทำการเปรียบเทียบผลการเกิดปัญหาซึ่งงานรื้อว ก่อนและหลังจากทำการปรับปรุงข้อบกพร่องต่าง ๆ โดยทำการนำเสนอเป็นช่วงดังนี้

#### ช่วงของการปรับปรุงครั้งที่ 1

ช่วงที่ 1.1 ช่วงก่อนการปรับปรุง (เดือนมกราคม-กรกฎาคม พ.ศ. 2553)

ช่วงที่ 1.2 ช่วงระหว่างการทำกรทดลอง (เดือนสิงหาคม- กันยายน 2553)

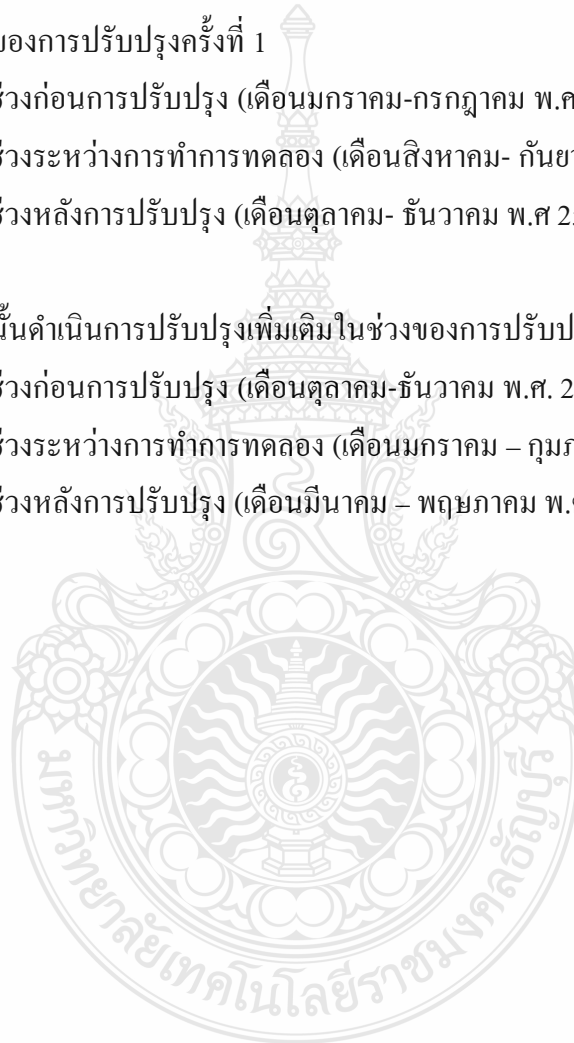
ช่วงที่ 1.3 ช่วงหลังการปรับปรุง (เดือนตุลาคม- ธันวาคม พ.ศ 2553)

#### จากนั้นดำเนินการปรับปรุงเพิ่มเติมในช่วงของการปรับปรุงครั้งที่ 2

ช่วงที่ 2.1 ช่วงก่อนการปรับปรุง (เดือนตุลาคม-ธันวาคม พ.ศ. 2553)

ช่วงที่ 2.2 ช่วงระหว่างการทำกรทดลอง (เดือนมกราคม – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554)

ช่วงที่ 2.3 ช่วงหลังการปรับปรุง (เดือนมีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ 2554)

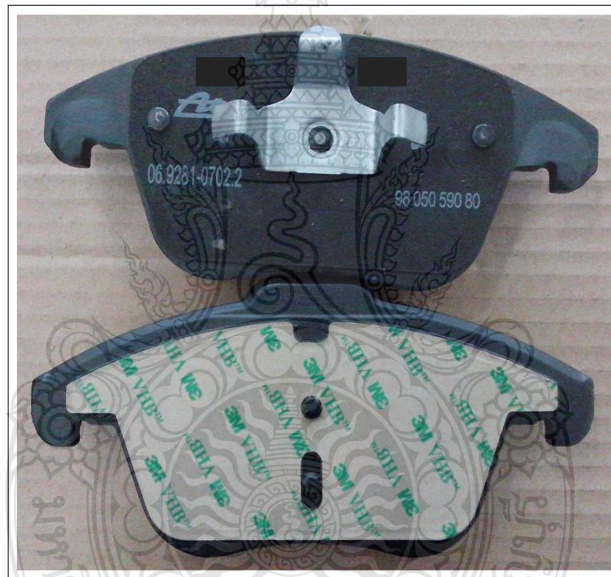


## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงานวิจัย

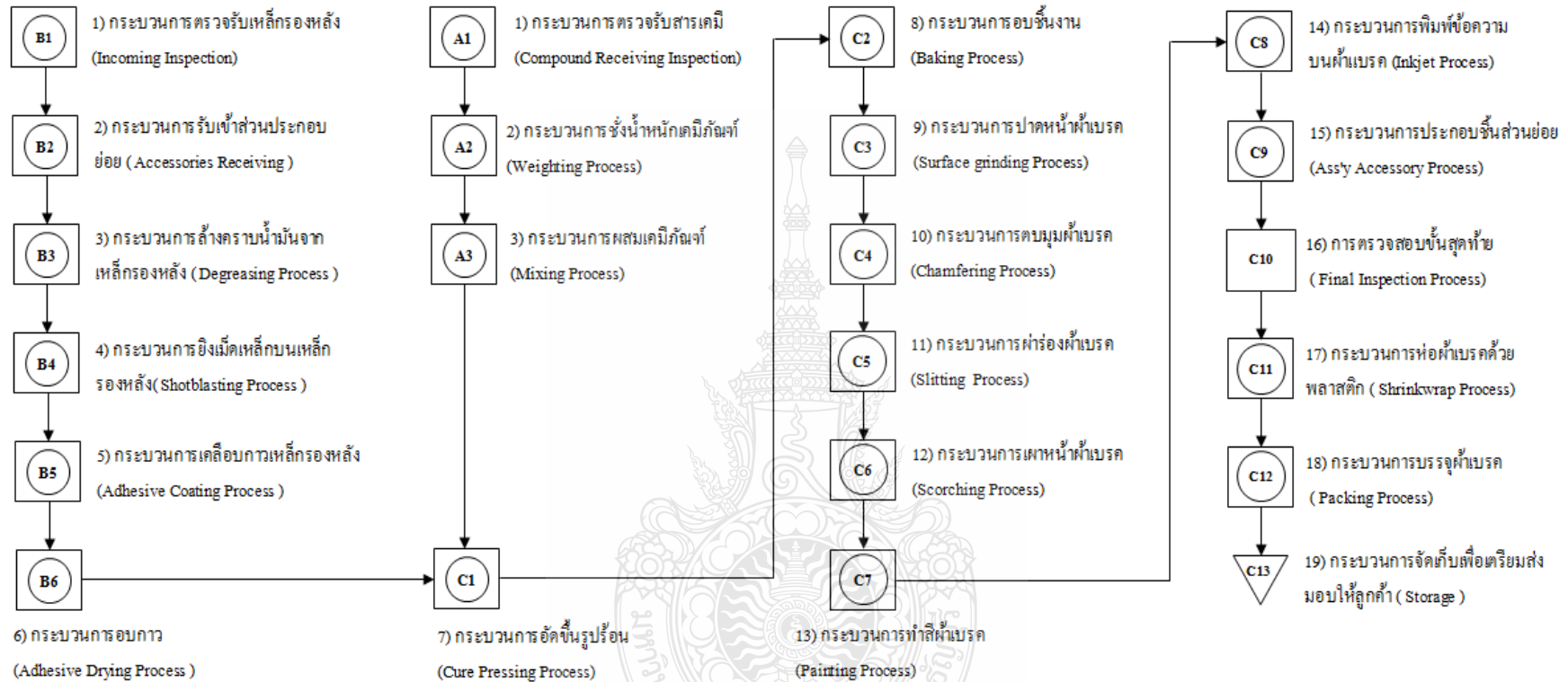
#### 4.1 ผลการศึกษาขั้นตอนการขึ้นรูปรีดผ้าเบรค (Cure Pressing Process)

ผลิตภัณฑ์ผ้าเบรครถยนต์ โมเดล X068 (Disc Brake Pad) ดังรูปที่ 4.1 เป็นส่วนประกอบหนึ่งของระบบรักษาความปลอดภัยในการขับขี่รถยนต์ (Vehicle Control System: VCS) ที่ทำหน้าที่ชะลอความเร็วของรถและช่วยในการหยุดรถ ตามความต้องการของผู้ขับขี่ โดยชนิดของผ้าเบรคที่ผู้วิจัยได้ใช้เป็นตัวอย่างในการทำการวิจัยนั้น เป็นผ้าเบรคชนิด NAO โมเดล X068 เบอร์ FF2



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างผ้าเบรครถยนต์ FF2 (Disc Brake Pad)

ด้วยลักษณะการใช้งานที่มีเสียงเสียด ฟุ้งผงน้อยและฝุ่นผงไม่ดำสกปรก จึงทำให้เป็นที่นิยมของท้องตลาด ณ เวลานี้และด้วยยอดขายที่สูงขึ้น เช่นกัน จึงทำให้เกิดการผลิตที่มากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดจำนวนของเสียมากขึ้นด้วยเช่นกัน และในกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ที่ได้หยิบยกเป็นกรณีศึกษานี้ ลักษณะของกระบวนการเป็นการผลิตด้วยเครื่องจักรส่วนใหญ่ โดยมีพนักงานเป็นผู้ควบคุมเครื่องจักรระหว่างกระบวนการผลิต และมีพนักงานที่มีหน้าที่ในการตรวจสอบงานหลังจากการผลิตเสร็จสมบูรณ์ โดยแสดงขั้นตอนการทำงาน ดังรูปที่ 4.2



ความหมายของสัญลักษณ์:

A คือ กระบวนการเตรียมผงผ้าเบรค (Mixing Process)

B คือ กระบวนการเตรียมแผ่นเหล็กทรงหลัง (Plate Preparation)

C คือ กระบวนการผลิตผ้าเบรคหลัก (Main Process)

รูปที่ 4.2 กระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์

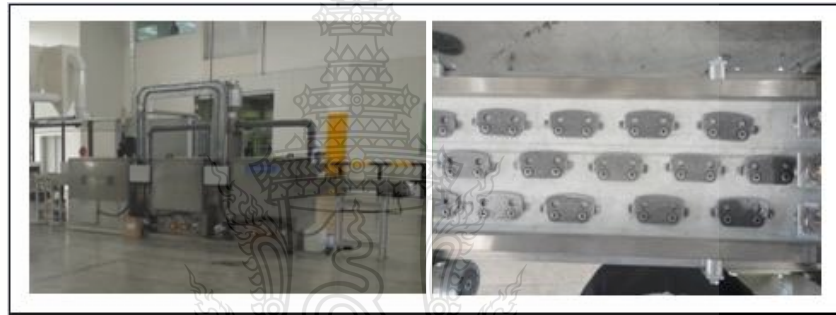
#### 4.1.1 กระบวนการรับวัตถุดิบ (Incoming Inspection)

เป็นขั้นตอนการรับวัตถุดิบที่ซึ่งประกอบไปด้วย การรับเหล็กทรงหลัง (B1) การรับเข้าส่วนประกอบย่อย (B2) และ การตรวจรับสารเคมี (A1) ซึ่งกระบวนการนี้จะเป็นขั้นตอนการรับวัตถุดิบจากส่วนงานจัดส่ง (Logistic) ร่วมกับส่วนงานคุณภาพ (Quality Incoming)

#### 4.1.2 กระบวนการเตรียมเหล็กทรงหลัง (Back Plate Preparation)

เป็นขั้นตอนในการจัดเตรียมเหล็กทรงหลังฟ้าเบรก ซึ่งประกอบไปด้วย

1. กระบวนการล้างคราบน้ำมัน (Degreasing): B3 เป็นการล้างทำความสะอาดเหล็กที่ประกอบไปด้วยขั้นตอนการล้างด้วยสารละลาย (Washing Process) ที่อุณหภูมิ 40-60°C และจากนั้นจะทำการล้างด้วยน้ำเปล่า (Rinsing Process) ที่อุณหภูมิ 40-60°C ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการล้างเหล็กทรงหลัง

2. การยิงเม็ดเหล็กบนแผ่นเหล็กทรงหลัง (Shot Basting Process): B4 เป็นกระบวนการที่ใช้เม็ดเหล็ก (Grit) ฟันลงไปกับผิวเหล็กทรงหลัง โดยสภาพผิวเหล็กทรงหลังหลังจากยิงเม็ดทราย จะต้องสะอาด ไม่มีคราบน้ำมัน ตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านการยิงทรายแสดง ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ชิ้นงานหลังจากที่ผ่านกระบวนการยิงฝางานด้วยเม็ดเหล็ก



3. การเคลือบกาวบนเหล็กทรงหลัง (Adhesive Coating): B5 เป็นการเคลือบกาว โดยการใช้ลูกกลิ้ง (Roller) เคลือบไปบนผิวหน้าของเหล็กทรงหลังให้ทั่วผิวหน้า ดังรูปที่ 4.5 และทำการตรวจเช็คน้ำหนักของกาว โดยใช้เครื่องชั่งทำการชั่งน้ำหนักกาว



รูปที่ 4.5 การเคลือบกาว (Adhesive Coating) บนเหล็กทรงหลัง

4. จากนั้นทำการนำแผ่นเหล็กทรงหลังที่พ่นกาวแล้ว ไปทำการอบ (Curing): B6 ให้กาวแห้ง ในเตาอบ (Oven) ที่อุณหภูมิ 60-80°C โดยใช้เวลาอบ 20-30 นาที หรือจะปล่อยให้เหล็กทรงหลังทิ้งไว้ 1 วันก็ได้ เพื่อรอให้กาวที่ถูกเคลือบแห้ง ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 เครื่องอบกาวและเหล็กทรงหลังที่ผ่านขั้นตอนการอบกาวให้แห้ง

#### 4.1.3 การชั่งน้ำหนักเคมีภัณฑ์ (Chemical Weighting): A2

ทำการชั่งโดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักแบบเชื่อมต่อกับระบบคอมพิวเตอร์ และจะต้องทำการชั่งให้ตรงสูตรที่จะทำการผลิต โดยดูจากชื่อและรหัสของเคมีภัณฑ์ ที่ระบุบนบรรจุภัณฑ์ โดยมี

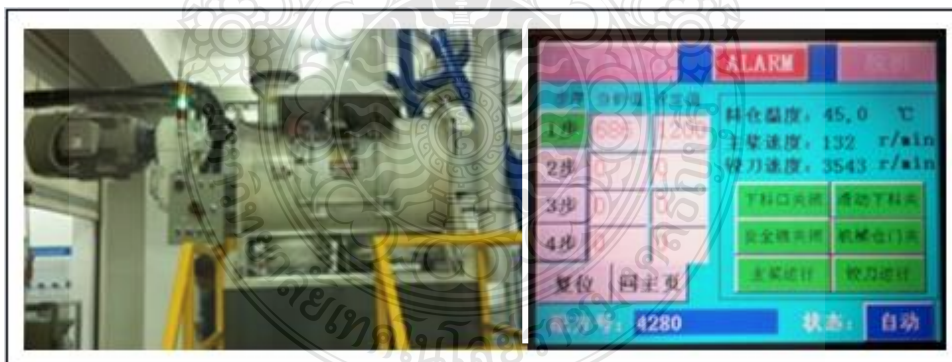
ระบบการป้องกันการผสมเคมีภัณฑ์ผิดสูตร โดยระบบหัวอ่านรหัสแท่ง (Scanner Barcode) ดังรูปที่ 4.7 แสดงการชั่งน้ำหนักและการเตรียมเคมีภัณฑ์



รูปที่ 4.7 การชั่งน้ำหนักเคมีภัณฑ์และการเตรียมเคมีภัณฑ์

#### 4.1.4 การผสมเคมีภัณฑ์ (Mixing): A3

ดำเนินการผสมเคมีภัณฑ์ ด้วยเครื่องผสมเคมีภัณฑ์ ก่อนทำการผสมเคมีจะต้องทำความสะอาดถังผสมก่อน และต้องทำการตรวจเช็คว่ามีสิ่งปนเปื้อน หรือเคมีภัณฑ์จากสูตรอื่นๆ ปนเปื้อน จากนั้นจึงทำการผสมเคมี โดยเรียงลำดับตามสูตรผสมเคมีภัณฑ์ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ถังผสมเคมี (Mixing Tank) และการปรับตั้งค่า (Mixing Program Setup)

เมื่อทำการผสมเคมีแล้วเสร็จ จะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างผงผ้าเบรค (Ready Mixed) ในห้องปฏิบัติการ (Laboratory) ทำการวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติของผงผ้าเบรค โดยทำการวิเคราะห์

ขนาดอนุภาคของผงฟ้าเบรค (Sieve Analysis) เปอร์เซนต์ความชื้น (Volatile Percentage) และความ  
เป็นเถ้าถ่าน (Ash Content) เป็นต้น

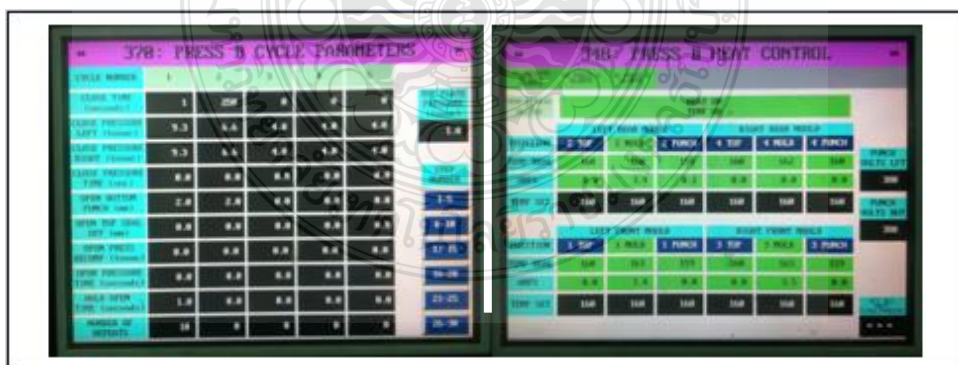
#### 4.1.5 กระบวนการขึ้นรูปรีออน (Cure Pressing Process): C1

ทำการอัดขึ้นรูปผงฟ้าเบรค โดยเครื่องอัดไฮดรอลิก (Hydraulic Press) ขนาด 160 ตัน  
ดังรูปที่ 4.9 โดยใช้ผงฟ้าเบรคหลัก (Main Mixed) สูตร X068 และผงรองหลัง (Under Layer) สูตร  
MX003 โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้



รูปที่ 4.9 เครื่องอัดขึ้นรูปรีออนชนิด 160 ตัน

1. ทำการตั้งค่าเครื่องอัด โดยตั้งค่าแรงดันเครื่องอัด (Pressure) เวลาในการอัด (Time)  
จำนวนครั้งของการอัดขึ้นรูป (Bump) และอุณหภูมิที่ผิวแม่พิมพ์ (Temperature) ตัวอย่างดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างการตั้งค่า แรงดัน อุณหภูมิ และรอบเวลาของการอัดขึ้นรูป

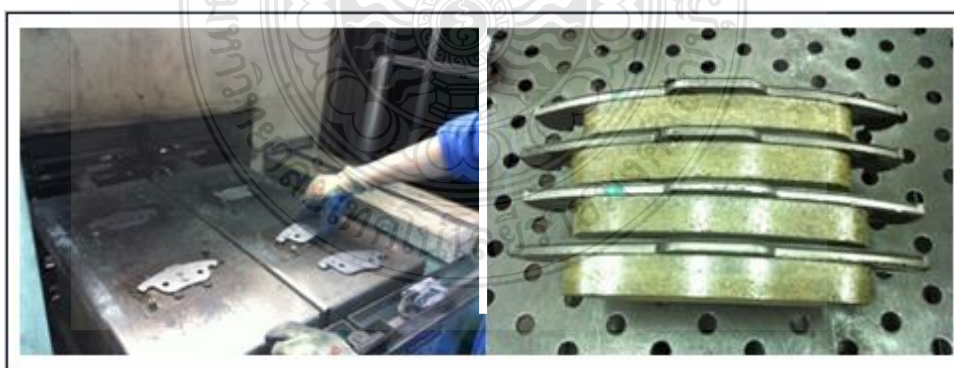


2. ขั้นตอนการชั่งและการนำผงผ้าเบรคลงในแม่พิมพ์ (Weighting & Leveling Process) แล้วทำการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน โดยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน โดยขั้นตอนนี้เป็นการอัดขึ้นงาน โดยไม่มีแผ่นเหล็กรองหลัง เพื่อหาค่าความหนาแน่นของผ้าเบรค (Green Density) ให้ได้ตามคุณสมบัติที่กำหนดก่อนทำการผลิตงานจริง



รูปที่ 4.11 การโหลดผงผ้าเบรคลงในแม่พิมพ์ก่อนที่จะทำการอัดขึ้นรูปร้อน

3. เมื่อทำการหาค่าความหนาแน่นของผ้าเบรคได้ค่าตามค่ามาตรฐานที่กำหนดแล้วก็ทำการผลิตชิ้นงาน โดยใช้แผ่นเหล็กรองหลัง (Back Plate) ประกอบ โดยการวางปิดลงไปบนแม่พิมพ์ก่อนที่จะทำการอัดขึ้นงาน และเมื่อได้ชิ้นงานจะต้องทำการตรวจสอบว่าชิ้นงานต้องไม่มีรอยร้าว (Crack) ไม่บิ่น (Clip) และผิวหน้าผ้าเบรคจะต้องไม่บวมหรือพองตัว (Blister)



รูปที่ 4.12 วางเหล็กรองหลังบนแม่พิมพ์ก่อนทำการอัด และลักษณะชิ้นงานที่ทำการขึ้นรูปแล้วเสร็จ

#### 4.1.6 กระบวนการอบผ้าเบรก (Baking Process): C2

เป็นการอบชิ้นงานด้วยเตาอบไฟฟ้า (Electrical Baking Oven) โดยทำการปรับตั้งค่าอุณหภูมิตามค่าที่กำหนดไว้ในเอกสารการปฏิบัติงาน ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 เตาอบผ้าเบรกและลักษณะสีของผ้าเบรกที่ผ่านกระบวนการอบเป็นที่เรียบร้อย

#### 4.1.7 กระบวนการปาดหน้าผ้าเบรก (Surface Grinding Process) การตบมุมผ้าเบรก (Chamfering Process) และกระบวนการฟาร่องผ้าเบรก (Slotting Process): C3, C4, C5

เป็นการทำงานด้วยเครื่องตกแต่งผ้าเบรกอัตโนมัติ (Automatic Continue Finishing Line) โดยชิ้นงานจะต้องได้ขนาดความหนาพร้อมแผ่นรองหลังตามขนาดที่กำหนด ความขนานของผ้าเบรก (Parallelism) รอยเส้นของหินปาดหน้าบนผิวหน้าผ้าเบรก (Ground Mark) โดยค่าต่างๆ ที่กล่าวถึงจะต้องอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 เครื่องปาดหน้าผ้าเบรก (Grinding) และชิ้นงานตัวอย่างหลังผ่านกระบวนการ

#### 4.1.8 กระบวนการเผาหน้าผ้าเบรก (Scorching Process): C6

ทำการเผาหน้าผ้าด้วยเครื่องเผาหน้าผ้าเบรกอัตโนมัติ โดยจะต้องปรับค่าอุณหภูมิ ความร้อนของเครื่องและปรับความเร็วของสายพานลำเลียง (Conveyor Speed) ตามมาตรฐานกำหนด และชิ้นงานจะต้องได้ค่าน้ำหนักที่หายไป (Weight Loss) ตามมาตรฐานที่กำหนดของสูตรเคมีนั้นๆ (Formula) และตามขนาดของชิ้นงาน (Pad Area)



รูปที่ 4.15 เครื่องเผาหน้าผ้าเบรก และลักษณะหน้าผ้าเบรกที่ผ่านกระบวนการการเผาหน้าผ้า

#### 4.1.9 กระบวนการทำสีผ้าเบรก (Painting Process): C7

โดยขั้นตอนแรก คือ การพ่นสีฝุ่นลงไปบนด้านหลังเหล็กทรงหลัง จากนั้นชิ้นงาน จะผ่านเข้าอบในเครื่องอบสี ซึ่งจะต้องทำการกำหนดอุณหภูมิความร้อนของเตาอบอยู่ที่ 200-220°C โดยชิ้นงานที่ได้สีจะต้องติดแน่น ไม่หลุดร่อน และความหนาของสีจะต้องอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด



รูปที่ 4.16 ลักษณะชิ้นงานที่ผ่านการทำสีผ้าเบรก (Painting Process)



#### 4.1.10 พิมพ์ข้อความบนผ้าเบรก (Printing Process): C8

เป็นการขึ้นชิ้นงานที่ทำการผลิต ซึ่งข้อความที่พิมพ์จะเป็นการกำหนดล็อต (Lot) ที่ทำการผลิต โมเดล และสูตรของผงผ้าเบรก หรือบางชิ้นงานที่นำส่งเข้ายุโรปจะต้องมีการพิมพ์ หมายเลขเฉพาะของชิ้นงานนั้นๆ (R90 Code)



รูปที่ 4.17 เครื่องพิมพ์ข้อความ (Ink Jet Marking) และลักษณะตัวอย่างที่ผ่านการพิมพ์

#### 4.1.11 การประกอบชิ้นส่วนประกอบย่อย (Accessory Process): C9

เช่น เป็นการประกอบตัวเตือนเบรก (Wear Indicator Clinching) เป็นต้น



รูปที่ 4.18 ตัวอย่างชิ้นงานที่ทำการประกอบชิ้นส่วนย่อย (Accessory)

#### 4.1.12 กระบวนการทดสอบทางคุณภาพ (Quality testing): C10

เพื่อหาค่าความแข็งแรง (Hardness Test) การทดสอบแรงเฉือน (Shear Test) เป็นการทดสอบแรงยึดติดของชิ้นงานระหว่างแผ่นเหล็กรองหลัง (Back Plate) กับเนื้อผ้าเบรก (Friction)

และทำการหาค่าความหนาแน่นของผ้าเบรคหลังการเผาผิวหน้า (Final Density) โดยการทดสอบ  
ทั้งหมดจะเป็นการทดสอบแบบสุ่ม (Sampling Test) ดังรูปที่ 4.16, 4.17 และ 4.18



รูปที่ 4.19 เครื่องทดสอบความแข็งผิวหน้าผ้าเบรค (Rockwell Hardness: HRR)



รูปที่ 4.20 เครื่องทดสอบแรงฉีกและลักษณะชิ้นงานหลังจากที่ทำการทดสอบ



รูปที่ 4.21 เครื่องทดสอบความหนาแน่นของเนื้อผ้าเบรคและลักษณะตัวอย่างชิ้นงานที่นำมาทำการ  
ทดสอบ



#### 4.1.13 กระบวนการบรรจุ (Packaging Process): C11, C12

จะทำการห่อผ้าเบรคด้วยถุงพลาสติกจากนั้นจะทำการบรรจุผ้าเบรคที่ห่อเสร็จแล้วลงไปในกล่องกระดาษบรรจุภัณฑ์ โดยการบรรจุชิ้นงานเป็นแพค (Pack) โดย 1 แพค อาจมีจำนวนชิ้นงาน 4 ถึง 5 กล่อง โดยขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ตัวอย่างการบรรจุภัณฑ์ผ้าเบรคและตัวอย่างการบรรจุชิ้นงานลงกล่อง

#### 4.1.15 การบรรจุชิ้นงานลงในกล่องกระดาษใบใหญ่เพื่อเตรียมจัดส่งให้ลูกค้า: C13 เป็นการเตรียมเพื่อจัดส่งผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้า ดังรูปที่ 4.23

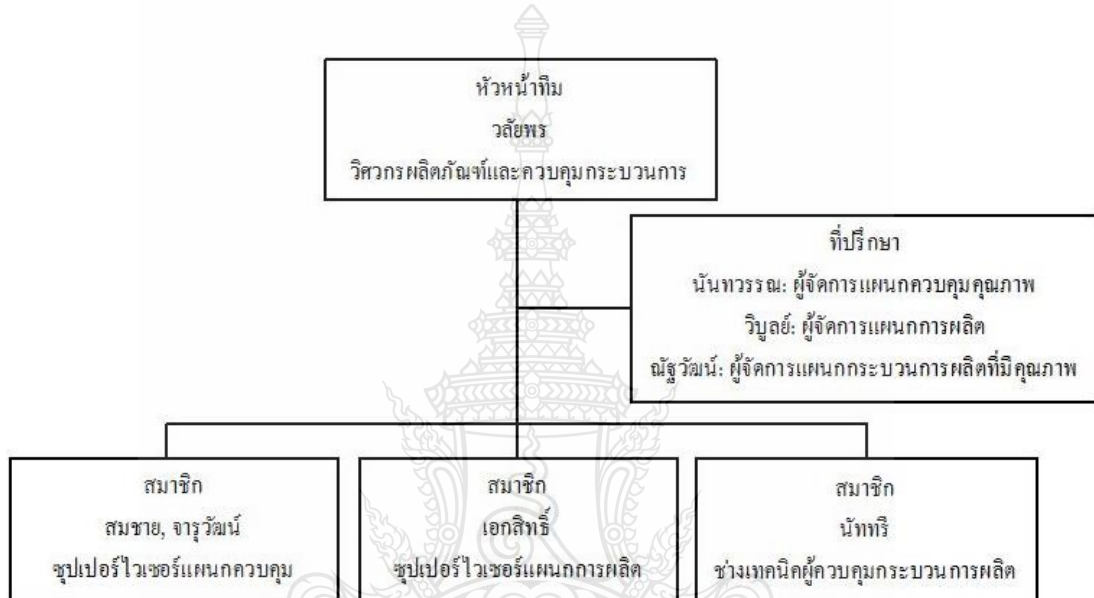


รูปที่ 4.23 ตัวอย่างการบรรจุชิ้นงานลงกล่องเพื่อเตรียมจัดส่งให้ลูกค้า

โดยกระบวนการที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นเป็นกระบวนการผ้าเบรคมาตรฐานของผลิตภัณฑ์โมเดล X068 ซึ่งผ้าเบรคต่างชนิดกัน ก็จะมีกระบวนการการผลิตที่แตกต่างกันออกไปเช่นกัน

## 4.2 การจัดตั้งทีมงานในการแก้ไขปัญหา

จากการประสานงานกับแผนกต่าง ๆ ทำให้ได้ตัวแทนของแผนกต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยผู้จัดการแผนกควบคุมคุณภาพ ผู้จัดการแผนกการผลิต ซุปเปอร์ไวเซอร์แผนกควบคุมคุณภาพ ซุปเปอร์ไวเซอร์แผนกการผลิต ช่างเทคนิคผู้ควบคุมกระบวนการผลิต และวิศวกรผลิตภัณฑ์ และควบคุมกระบวนการผลิต รวมจำนวนพนักงานที่เข้าร่วมในทีมงานทั้งหมด 7 คนและเพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงจัดแผนภูมิของคณะทำงาน ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 โครงสร้างของทีมงานในการแก้ไขปัญหาชิ้นงานร้าว

และได้มีการกำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบดังนี้

4.2.1 หัวหน้าทีมคือ วิศวกรผลิตภัณฑ์และควบคุมกระบวนการผลิต (Product/ Process Engineering) มีหน้าที่ออกแบบการทดลอง กำหนดนัดหมายการประชุมและเป็นผู้นำการประชุมระดมสมองของทีมงานในการดำเนินการ

4.2.2 ที่ปรึกษาคือ ผู้จัดการแผนกควบคุมคุณภาพ (Quality Manager) ผู้จัดการแผนกการผลิต (Production Manager) และผู้จัดการแผนกกระบวนการผลิตที่มีคุณภาพ (Lean Manager) มีหน้าที่ให้คำปรึกษาและเสนอแนะในที่ประชุม เช่น กรณีที่มีความคิดเห็นไม่ตรงกันและหาข้อสรุปในการประชุม

4.2.3 สมาชิกทีมคือ ซุปเปอร์ไวเซอร์แผนกควบคุมคุณภาพ ซุปเปอร์ไวเซอร์แผนกการผลิต ช่างเทคนิคผู้ควบคุมกระบวนการผลิต มีหน้าที่ร่วมกันวิเคราะห์ข้อบกพร่อง การช่วยกันระดมสมอง

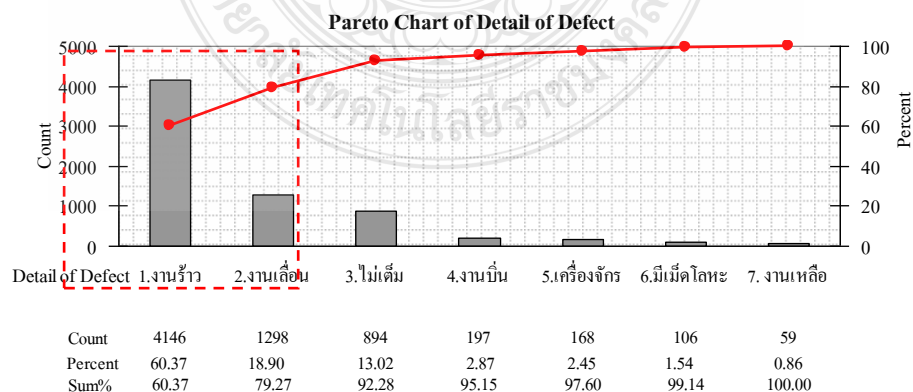
การวิเคราะห์ความรุนแรง การออกแบบการทดลอง รวมถึงการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

### 4.3 การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase)

ในขั้นตอนการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้นนี้จะเริ่มต้นจากการระบุหัวข้อปัญหาที่จะทำการแก้ไข โดยจะพิจารณาถึงปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อองค์กรมากที่สุด ซึ่งจะทำให้สามารถวิเคราะห์และดำเนินการแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นได้ ต่อมาจะเป็นขั้นตอนการกำหนดตัวชี้วัดการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทราบถึงลักษณะความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการ และสามารถกำหนดเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการด้วยวิธีการ ดีเอ็มเอ ไอซี (DMAIC) โดยขั้นตอนต่างๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.3.1 การระบุปัญหา (Define)

จากการศึกษาสภาพปัญหาการเกิดของเสียที่เกิดขึ้น ในช่วงเดือนมกราคม-กรกฎาคม พ.ศ. 2553 จากตารางที่ 1.4 พบว่าโมเดล X068 พบปัญหาชิ้นงานไม่ได้คุณภาพมากที่สุดคือ 6.63% เมื่อเทียบกับโมเดลอื่นๆ และพบว่ามีปัญหาชิ้นงานร้าวอยู่ที่ 60.37% ของปัญหาที่เกิดขึ้น หรือคิดเป็น 4.01% ของชิ้นงานที่ทำการผลิต อันมีสาเหตุมาจากชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการผลิตนั้นเกิดปัญหาไม่ผ่านตามเกณฑ์คุณภาพตามที่ลูกค้ากำหนด ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นของชิ้นงานยังสามารถแบ่งออกได้หลายลักษณะหรือหลายอาการ ดังนั้น เพื่อที่จะสามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องมีการระบุหัวข้อของปัญหาที่จะทำการแก้ไข โดยอาศัยเครื่องมือทางการควบคุมคุณภาพ คือ การจัดทำแผนภาพพารेटโต ซึ่งจะจำแนกตามลักษณะอาการของปัญหาด้านคุณภาพชิ้นงานที่เป็นผลทำให้เกิดของเสียในช่วงเดือนมกราคม - กรกฎาคม พ.ศ. 2553 โดยแสดงดังรูปที่ 4.25



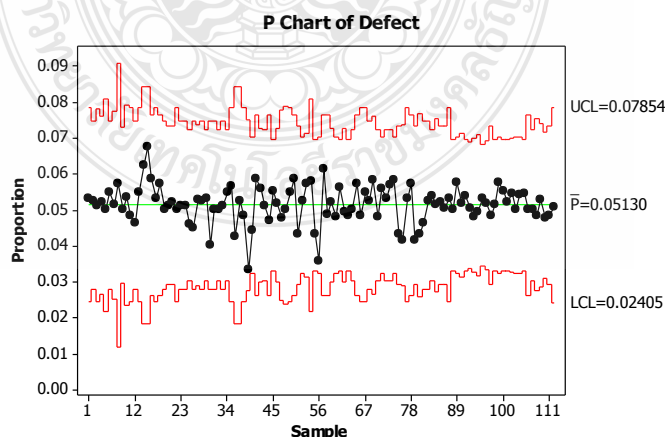
รูปที่ 4.25 แผนภาพพารेटโตจำแนกตามลักษณะอาการของปัญหา

จากรูปที่ 4.25 เมื่อทำการพิจารณาตามหลักการพาเรโตที่ 80:20 จากข้อมูลพบว่า ปัญหาที่จะต้องนำมาทำการแก้ไขมีอยู่ 2 ปัญหา คือปัญหาชิ้นงานร้าวและปัญหาชิ้นงานเลื่อน แต่ผู้วิจัยและทีมงานได้ทำการพิจารณาและเห็นสมควรว่าปัญหาชิ้นงานร้าวที่เป็นปัญหาสำคัญและเร่งด่วนที่สุดที่จะต้องดำเนินการแก้ไข เนื่องจากเมื่อชิ้นงานเกิดการร้าวจะไม่สามารถทำการแก้ไข หรือปรับแต่งให้ใช้งานได้ ส่วนปัญหาชิ้นงานเลื่อนสามารถทำการแก้ไขที่หน้างานได้ โดยการปรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปร้อนให้อยู่ในระยะเวลาที่กำหนดและเปรียบเทียบชิ้นงานจริงกับแบบ (Drawing) ก่อนที่จะทำการผลิตงาน โดยของเสียส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นนั้นมาจากลักษณะอาการของผิวชิ้นงานที่แตกร้าว (Crack) มากที่สุด โดยเฉลี่ยเท่ากับ 60.37% ของการเกิดของเสียทั้งหมด ดังนั้นจึงเลือกศึกษาถึงสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เกิดปัญหาชิ้นงานแตกร้าวก่อนเป็นอันดับแรกและทำการแก้ไขป้องกัน เพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นต่อไป

#### 4.3.2 ความสามารถกระบวนการ (Process Capability Index)

ในการศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบันของผลิตภัณฑ์ผ้าเบรค สามารถศึกษาด้วยการวัดความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการสะท้อนด้วยค่า Process Capability ( $C_{pk}$ ) และแสดงถึงค่าการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งของกระบวนการ

จากข้อมูลสถิติของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างเดือนมกราคม - กรกฎาคม พ.ศ. 2553 สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p Chart) ดังรูปที่ 4.26 ซึ่งจากแผนภูมิพบว่าค่าเฉลี่ยอยู่ในค่าควบคุม แสดงว่าค่าเฉลี่ยของขนาดควบคุมที่ผลิตได้จากกระบวนการนั้นไม่มีปัญหา หรือไม่มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนไปจากขนาดกำหนดที่ได้ตั้งเอาไว้ และกระบวนการไม่มีสาเหตุอื่นๆ (Assignable Cause) เกิดขึ้น โดยพบว่า ค่าของ  $\bar{p} = 0.05130$



รูปที่ 4.26 แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสียช่วงเดือนมกราคม - กรกฎาคม พ.ศ. 2553

ในการประเมินความสามารถด้านศักยภาพ จะถือว่ากระบวนการมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ค่ากลางของพิสัยข้อกำหนดเฉพาะ จึงสามารถทำการเทียบเคียงด้วยการให้ค่าสัดส่วนของเสียเท่ากันที่แต่ละด้านของการแจกแจง ในที่นี้จะเท่ากับ 0.02565 ค่าที่ได้เมื่อทำการเปิดหาค่า  $Z_{Bench}$  จากตารางการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานจะได้ค่า  $Z_{Bench} = 1.949$

จากสูตร ดัชนีความสามารถเชิงศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ดังสมการที่ 2.8

$$P_{PBench} = \frac{1}{3} Z_{Bench}$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} P_{PBench} &= \frac{1}{3}(1.949) \\ &= 0.648 \end{aligned}$$

เมื่อทำการพิจารณาดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ( $P_{PBench}$ ) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.648 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 สรุปผลการศึกษาได้ว่า ความสามารถของกระบวนการขึ้นรูปร้อนมีความผันแปรสูงและมีความมั่นคงน้อย ไม่อยู่ในระดับมาตรฐาน

จากสูตร อัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ( $P_{RBench}$ ) ดังสมการที่ 2.9

$$P_{RBench} = \frac{1}{P_{PBench}}$$

แทนค่า

$$\begin{aligned} P_{RBench} &= \frac{1}{0.648} \\ &= 1.543 \end{aligned}$$

เมื่อทำการพิจารณาอัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ( $P_{RBench}$ ) พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.543 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.88 แสดงว่ามีความผันแปรจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ในการดำเนินการระยะยาว (หรือผลจากการออกแบบกระบวนการ)

สำหรับการประเมินความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ จะพิจารณาโดยถือว่าผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งเมื่อเปิดจากตารางการแจกแจงแบบปกติ จะได้ค่า  $Z_{Bench} = 1.633$

จากสูตร ดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว ดังสมการที่ 2.10

$$P_{pkBench} = \frac{1}{3} Z_{Bench}$$

แทนค่า

$$P_{pkBench} = \frac{1}{3}(1.633)$$

$$= 0.544$$

เมื่อทำการพิจารณาดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ( $P_{pk Bench}$ ) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.544 ซึ่งน้อยกว่า 1.33 แสดงว่ามีการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่งกระบวนการมีความผันแปรอยู่มาก

สรุปการศึกษาความสามารถของกระบวนการในกระบวนการผลิตผ้าเบรค พบว่า ดัชนีความสามารถเชิงศักยภาพของกระบวนการระยะยาว อัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะยาว และดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาวไม่อยู่ในระดับมาตรฐาน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ

	$P_p Bench$	$P_R Bench$	$P_{pk Bench}$
ค่ามาตรฐาน	มากกว่า 1.33	น้อยกว่า 0.88	มากกว่า 1.33
ค่าที่คำนวณได้	0.648	1.543	0.544

จากที่กล่าวมาทั้งหมดในส่วนของขั้นตอนการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น เริ่มตั้งแต่การพิจารณาปัญหาที่มีความรุนแรงมากที่สุดที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการการผลิตผ้าเบรครถยนต์ ซึ่งสามารถจำแนกตามลักษณะอาการของปัญหาชิ้นงานที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ ปัญหาชิ้นงานร้าว โดยปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นส่งผลต่อความสามารถกระบวนการที่ต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งแสดงในรูปดัชนีความสามารถเชิงศักยภาพและดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ พบว่า

ความสามารถของกระบวนการสายงานการขึ้นรูปรีออนนั้นมีความแปรผันสูงและมีความมั่นคงน้อย ดังนั้นจากสภาพปัญหาข้างต้นนี้จึงมีความจำเป็นต้องหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขในขั้นตอนต่อไป

#### 4.4 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

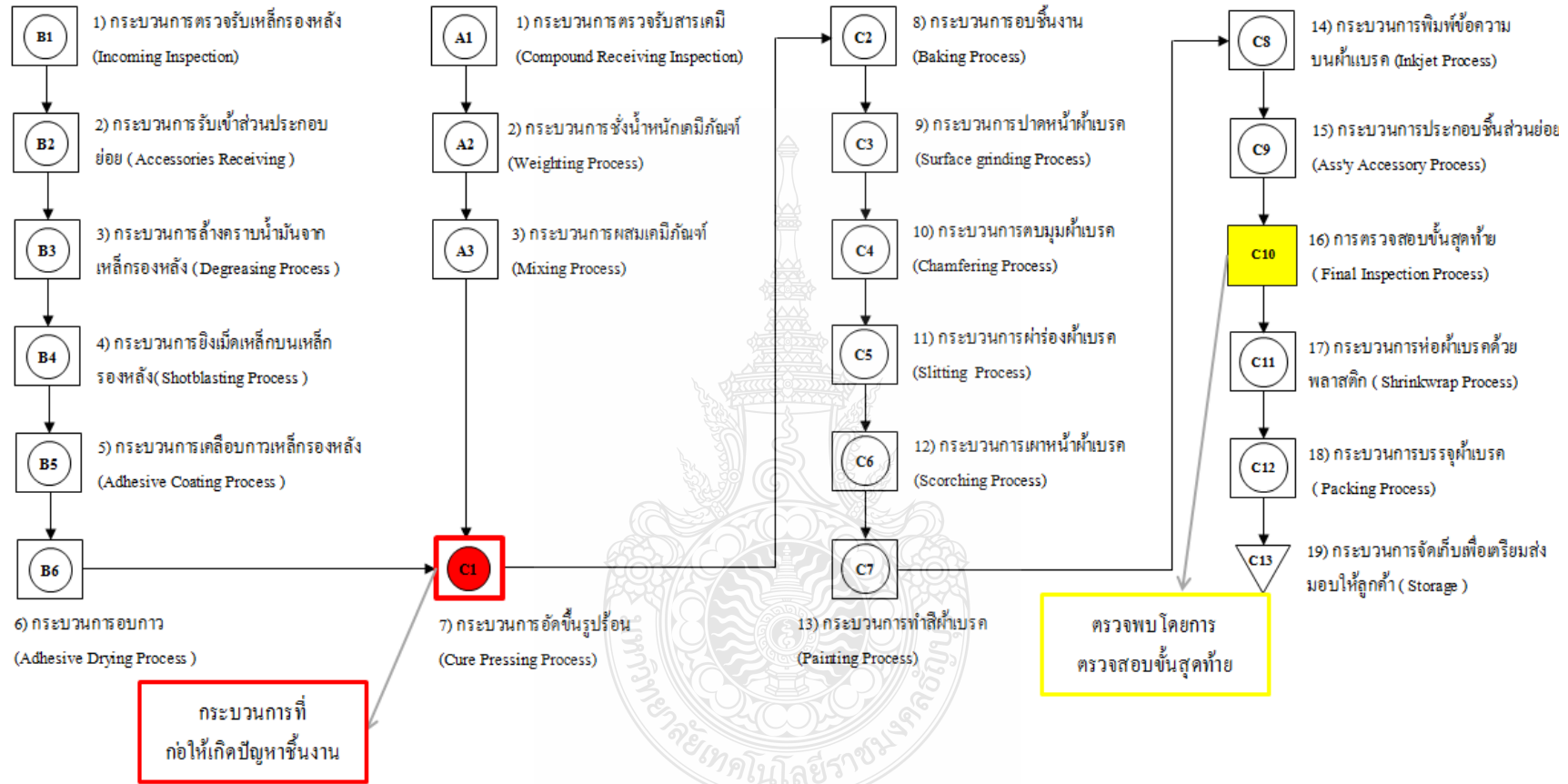
ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันในงานแต่ละกระบวนการ โดยอาศัยการสร้างแผนที่กระบวนการผลิต จากนั้นจะทำการลดความผิดพลาดจากพนักงานตรวจสอบ ชิ้นงานจากกระบวนการขึ้นรูปรีออน โดยวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับและแบบวัด ซึ่งการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 4.4.1 การสร้างแผนที่กระบวนการผลิต (Process Map)

การสร้างแผนที่กระบวนการผลิต เป็นงานขั้นตอนแรกของการศึกษาและพัฒนาคุณภาพของการผลิต เนื่องจากจะทำให้สามารถทราบถึงปัจจัยและความสัมพันธ์ในแต่ละงานในกระบวนการ และลักษณะงานที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Non Value Added) ในกระบวนการได้อีกด้วย แสดงแผนที่กระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ ดังรูปที่ 4.27



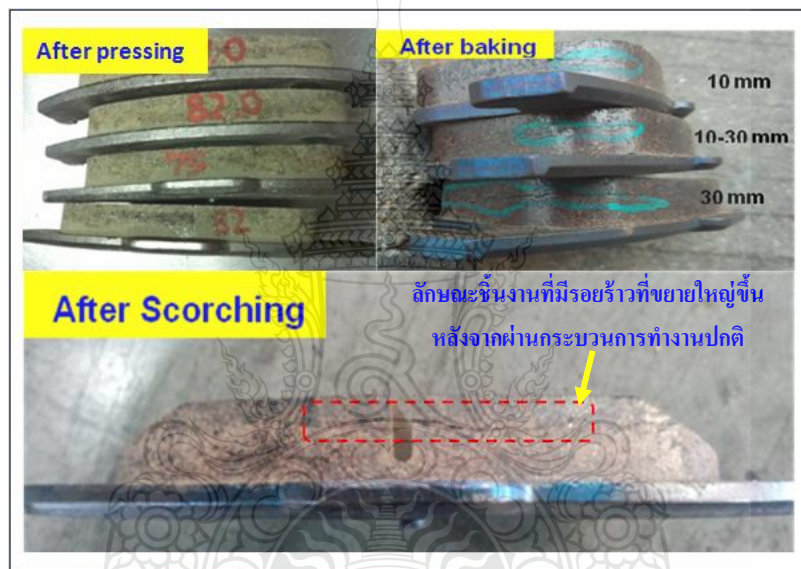




รูปที่ 4.27 กระบวนการที่จะก่อให้เกิดปัญหาผ้าเบรคร้าว



ผลจากการศึกษากระบวนการผลิตทั้งกระบวนการพบว่า ขั้นตอนที่ส่งผลทำให้เกิดปัญหาขึ้นงานร้าวจริง ๆ นั้นเกิดขึ้นที่กระบวนการขึ้นรูปรีออน เพราะจากข้อมูลเก่าที่ผ่านมาพบว่า เมื่อทำการตัดชิ้นงานหลังจากที่ทำการขึ้นรูปรีออนทำให้พบรอยร้าวภายในผิวผ้าเบรค และเมื่อชิ้นงานผ่านกระบวนการอบ (Baking Process) และกระบวนการเผาหน้าผ้าเบรค (Scorching Process) ที่ความร้อนสูงขึ้นจะทำให้การร้าวเกิดเพิ่มมากขึ้น และมีขนาดของรอยร้าวที่ใหญ่มากขึ้น ดังรูปที่ 4.28 และนอกจากนั้นแล้ว ปัญหาไม่ได้พบเพียงแค่วัสดุที่พื้นผิวภายนอก ซึ่งเรายังพบชิ้นงานที่ร้าวภายใน ซึ่งเป็นปัญหาที่ใหญ่กว่าและยากที่จะทำการตรวจจับที่ขั้นตอนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Final Inspection) โดยลักษณะชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.28 ตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปรีออน, การอบ และการเผาหน้าผ้าเบรคที่รอยใหญ่ขึ้น

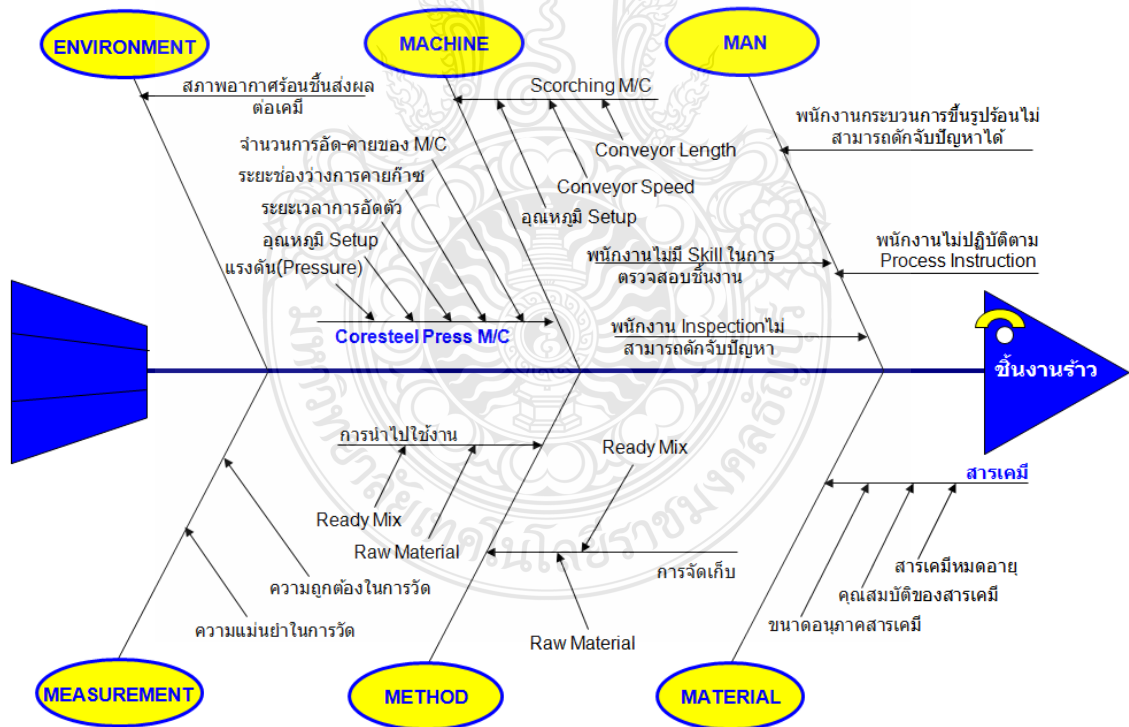


รูปที่ 4.29 ตัวอย่างชิ้นงานที่ตัดเพื่อดูรอยร้าวภายในเนื้อผ้าเบรค

#### 4.4.2 ผลการวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

เมื่อทำการศึกษาระบวนการผลิตผ้าเบรคทั้งกระบวนการอย่างละเอียดแล้ว จะพอทำให้ทราบว่า ตัวแปรนำเข้าที่สำคัญของกระบวนการมีอะไรบ้าง จากนั้นทำการระดมสมองร่วมกับทีมเพื่อทำการหาสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด

สำหรับหัวข้อปัญหาของโครงการวิจัยนี้คือ การเกิดปัญหาชิ้นงานร้าวที่กระบวนการขึ้นรูปรีดร้อนโมเดล X068 โดยผู้วิจัยและทีมงานที่ประกอบด้วยวิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องหลาย ๆ ฝ่ายได้ช่วยกันระดมสมอง (Brainstorm) เพื่อทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาดังกล่าว โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผลของปัจจัย ดังรูปที่ 4.30 ซึ่งจากแผนภาพแสดงเหตุและผลของปัจจัยนั้น จะพบว่าสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหานี้มีจำนวนมากมาย แต่ปัญหาหลัก ๆ จะมุ่งเน้นไปในส่วนของ การควบคุมพารามิเตอร์ของเครื่องจักรของกระบวนการขึ้นรูปรีดร้อน แต่ผู้วิจัยและทีมงานมีความจำเป็นต้องทำการคัดเลือกเฉพาะสาเหตุที่สำคัญ จึงนำปัจจัยทั้งหมดมาวิเคราะห์หาการขัดข้องและผลกระทบ เพื่อให้คะแนน และพิจารณาว่าสาเหตุใดบ้างที่เป็นที่ควรนำมาทำการแก้ไขปัญหา และนำคะแนนไปสร้างแผนภาพพารโตของขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4.30 แผนภาพเหตุและผลของปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหาชิ้นงานร้าว

#### 4.4.3 การวิเคราะห์ความผิดพลาดและผลกระทบในกระบวนการ (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA)

การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการนั้น จะทำการศึกษาและวิเคราะห์ถึงความผิดพลาดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นโดยจะทำการคิดอย่างเป็นระบบและคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการ ดังนั้นสาเหตุที่มีได้ตัดออกจากแผนภาพแสดงสาเหตุและผลจะถูกนำมาทำการวิเคราะห์ต่อในการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ เพื่อสามารถค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุดได้ดังตารางที่ 4.2



ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ

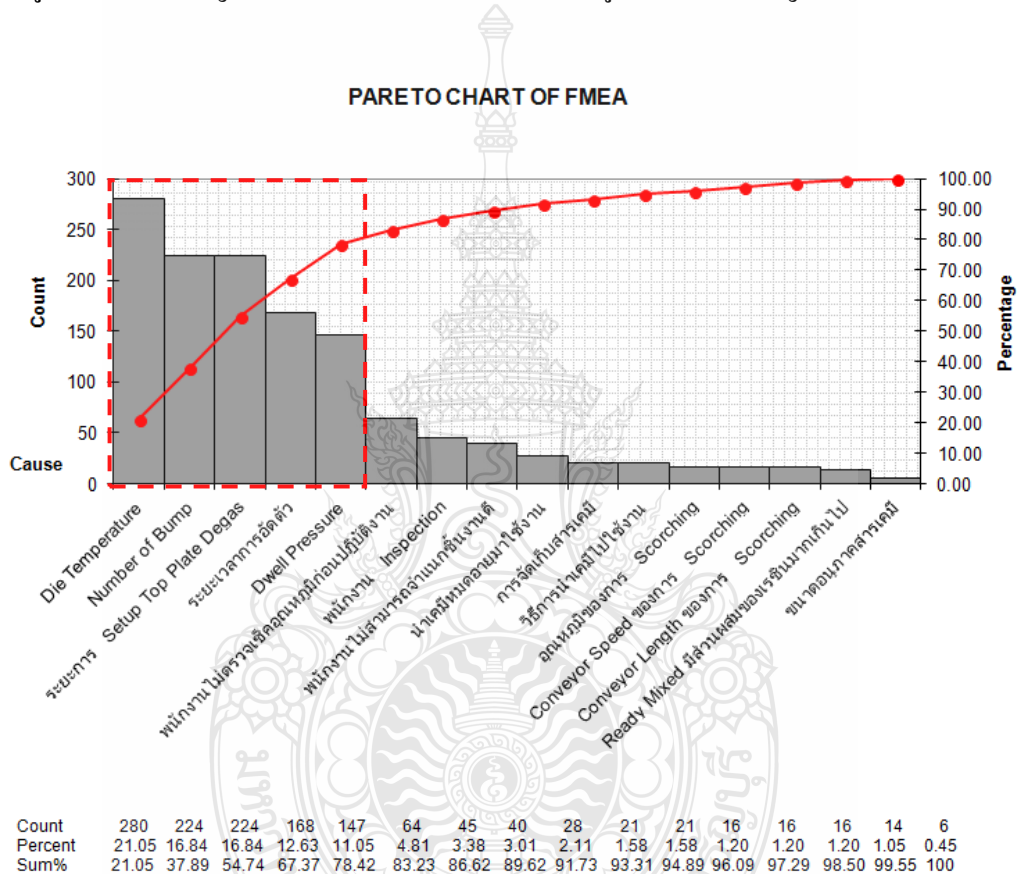
ปัจจัยนำเข้าหลักของกระบวนการ		ลักษณะความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้	ผลกระทบจากความผิดพลาด	S	สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด	O	การควบคุมในปัจจุบัน	D	RPN
				E		C		E	
				V		C		T	
Man	พนักงานขึ้นรูปร้อน	ไม่ตรวจเช็คอุณหภูมิก่อนปฏิบัติงาน	ส่งผลให้เกิดปัญหาชิ้นงานร้าว	8	พนักงานขาดการฝึกอบรม	4	การตรวจสอบและการปฏิบัติตาม WI	2	64
	พนักงานขึ้นรูปร้อน	ไม่สามารถจำแนกลักษณะชิ้นงานดีและชิ้นงานร้าวได้	ทำให้มีชิ้นงานร้าวผ่านไปยังกระบวนการถัดไป	5	พนักงานขาดการฝึกอบรม	4	ทำการฝึกอบรมในการจำแนกลักษณะชิ้นงาน	2	40
	พนักงาน Inspection	มีชิ้นงานร้าวที่ไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพงานที่กำหนด	ทำให้มีชิ้นงานร้าวผ่านไปยังกระบวนการถัดไป	5	พนักงานขาดการฝึกอบรมที่ถูกต้องในการตรวจสอบ	3	ทำการฝึกอบรมในการจำแนกลักษณะชิ้นงาน	3	45
Press Machine	จำนวนการอัด-คายของ M/C	จำนวนการอัด-คายตัว ที่มากหรือน้อยเกินไป	ส่งผลต่อปัญหาชิ้นงานร้าว	8	การกำหนด Condition ที่ไม่เหมาะสม	7	ทำการตรวจเช็คค่าจากหน้าจอ Control	4	224
	ระยะการ Setup Top Plate Degas	ระยะช่องว่างในการคายตัวที่มากหรือน้อยเกินไป	ส่งผลต่อปัญหาชิ้นงานร้าว	8	การกำหนด Condition ที่ไม่เหมาะสม	7	ทำการตรวจเช็คค่าจากหน้าจอ Control	4	224
	ระยะเวลาในการอัดตัว	การอัดตัวที่สั้นหรือนานเกินไป	ส่งผลต่อปัญหาชิ้นงานร้าว	8	การกำหนด Condition ที่ไม่เหมาะสม	7	Control โดยการเช็คค่า Green Density	3	168
	อุณหภูมิของการขึ้นรูปร้อน	อุณหภูมิของ Tooling สูงเกินไป	ส่งผลต่อปัญหาชิ้นงานร้าว	8	การกำหนด Condition ที่ไม่เหมาะสม	7	ตรวจเช็คค่าจากหน้าจอ Control และตรวจเช็คอุณหภูมิทุกครั้งที่ทำการผลิตและทำการ Record	5	280
	แรงดันของการอัดตัว	แรงดันของ M/C ที่ต่ำเกินไป	ส่งผลให้ชิ้นงานมีค่าความหนาแน่นที่ต่ำ	7	การกำหนด Condition ที่ไม่เหมาะสม	7	ตรวจเช็คค่าจากหน้าจอ Control และ Control โดยการเช็คค่า Green Density	3	147

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ (ต่อ)

ปัจจัยนำเข้าหลักของกระบวนการ		ลักษณะความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้	ผลกระทบจากความผิดพลาด	SEV	สาเหตุที่ทำให้เกิดความผิดพลาด	OC	การควบคุมในปัจจุบัน	DET	RPN
Scorch Machine	อุณหภูมิของการ Scorching	อุณหภูมิสูงเกินไป	ชิ้นงานหลุดร้อน	4	การตั้งค่าไม่ตรงตามมาตรฐาน	4	ทำการตรวจเช็คอุณหภูมิทุกครั้งที่ทำ การผลิตและทำการ Record	1	16
	Conveyor Speed	ความเร็วมากเกินไป	ส่งผลต่อสมรรถนะ	4	Control น้ำหนัก Weight Loss ทำให้ยากต่อการควบคุม	4	ทำการจับเวลา Conveyor และทดสอบ Weight Loss ก่อนเริ่มทำการผลิต	1	16
	Conveyor Length	Conveyor สั่นเกินไป	ส่งผลต่อสมรรถนะ	4	Control น้ำหนัก Weight Loss ทำให้ยากต่อการควบคุม	4	Depend on Conveyor Speed	1	16
Material	สารเคมีหมดอายุ	นำสารเคมีหมดอายุ มาใช้งาน	ส่งผลต่อสมรรถนะ	4	ไม่ทำการตรวจเช็ควันหมดอายุ ก่อนนำมาใช้งาน	2	การตรวจสอบและการปฏิบัติตาม WI	2	16
	คุณสมบัติของสารเคมี	มีส่วนผสม Resin มากเกินไป	ส่งผลต่อสมรรถนะ	4	เป็นสูตรเฉพาะไม่สามารถทำ การแก้ไขได้	2	Follow WI	1	8
	ขนาดอนุภาคสารเคมี	อนุภาคมีขนาดใหญ่	ส่งผลต่อปัญหาการ ประสานตัวของเนื้อผ้า เบรค	6	ใบมีดชำรุดทำให้อนุภาคมี ขนาดใหญ่	1	ทำการตรวจเช็คตามตารางการ บำรุงรักษาเชิงป้องกัน	1	6
Method	การจัดเก็บและการนำ Raw Material ไปใช้งาน	อุณหภูมิและ ความชื้น Storage Room สูงเกินไป	สารเคมีหมดอายุเร็ว	7	ขนาดของเครื่องปรับอากาศไม่ เหมาะสมกับการใช้งาน	3	ทำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพิ่มเพื่อลด อุณหภูมิและทำการติดตั้ง alarm เพื่อ ตรวจสอบ	1	21
	การจัดเก็บและการนำ Ready Mix ไปใช้งาน	อุณหภูมิและ ความชื้นในอากาศสูง	สารเคมีหมดอายุเร็ว	7	สภาพอากาศในไทย	3	ทำการปฏิบัติงานตาม WI เมื่อเคมีเหลือ เก็บลงในกล่องวางไว้ข้าง Line การผลิต	1	21

#### 4.4.4 การวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

จากค่าตัวเลขระดับความเสี่ยง (RPN) ซึ่งมาจากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการข้างต้นสามารถนำมาสร้างแผนภาพพาเรโต เพื่อทำการคัดเลือกสาเหตุที่สำคัญ และพิจารณาว่าสาเหตุใดบ้างที่เป็นสาเหตุที่ควรนำมาทำการแก้ไขปัญหาดังภาพที่ 4.31 โดยหลักของการพิจารณาคัดเลือกสาเหตุที่สำคัญนั้นจะใช้หลักการพาเรโตที่ 80:20 คือ ข้อมูลที่มีความสำคัญจะมีเพียงจำนวนเล็กน้อย และข้อมูลที่มีความสำคัญเล็กน้อยมีจำนวนมาก



รูปที่ 4.31 แผนภาพพาเรโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

จากรูปที่ 4.31 แสดงให้เห็นว่าข้อบกพร่องที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาชิ้นงานร้าว ของโมเดล X068 ในกระบวนการผลิตผ้าเบรค มีดังต่อไปนี้คือ อุณหภูมิ (Die Temperature) 280 คะแนน จำนวนการอัดตัวของเครื่องจักร (Number of Bump) 224 คะแนน ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ (Vent Distance Gap) 224 คะแนน ระยะเวลารออัดตัวของเครื่องจักร (Dwell Time) 168 คะแนน และแรงดัน ในช่วงเวลาการอัดตัว (Dwell Pressure) 147 คะแนน

ข้อบกพร่องที่ได้รับการคัดเลือกนี้มีระดับคะแนน RPN-Score อยู่ที่ 80:20 และข้อบกพร่องที่ก่อให้เกิดปัญหาเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ยังไม่มีมาตรฐานการผลิตที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดปัญหาน้อยที่สุด โดยจะได้ทำการศึกษาในขั้นตอนต่อไป ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลสรุปลำดับคะแนนในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบที่สำคัญ

ลำดับ	สาเหตุ	RPN-Score
1	อุณหภูมิของการขึ้นรูปรีออน (Die Temperature)	280
2	จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร (Number of Bump)	224
3	ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ (Vent Distance Gap)	224
4	ระยะเวลาการอัดตัวของเครื่องจักร (Dwell Time)	168
5	แรงดันการอัดตัว (Dwell Pressure)	147

#### 4.4.5 วิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบวัด (Measurement System Analysis)

สาเหตุอีกประการหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาส่วนหนึ่งนั้น มาจากสาเหตุของพนักงานตรวจสอบรอยร้าวบนผิวผ้าเบรก ที่ไม่สามารถคัดแยกชิ้นงานดีและชิ้นงานเสียได้ เนื่องจากชิ้นงานบางชิ้นงานมีรอยร้าวขนาดเล็ก ซึ่งยากต่อการตรวจสอบชิ้นงาน สาเหตุนี้จึงมีความจำเป็นในการที่จะต้องทำการศึกษา ดังนั้น การทำการวิจัยครั้งนี้ตัวแปรที่ทำการศึกษา คือ รอยร้าวบนผิวชิ้นงานเป็นตัวแปรที่มีลักษณะเชิงคุณภาพ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะมาจากการนับ ในขบวนการตรวจสอบรอยร้าวของฝ่ายผลิต ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญในการควบคุมคุณภาพชิ้นงานก่อนที่จะทำการประกอบชิ้นส่วนย่อย โดยรายละเอียดการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนี้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 1. การวิเคราะห์ระบบการวัดพนักงานตรวจสอบรอยร้าว

การตรวจสอบคุณภาพผิวชิ้นงานร้าวก่อนทำการประกอบชิ้นส่วนย่อยในโรงงานกรณีศึกษา มีพนักงานตรวจสอบอยู่ 4 คน โดยข้อมูลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนี้ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ระบบการวัดพนักงานตรวจสอบชิ้นงานร้าว

Attribute Repeatability and Reproducibility									
Part: Disk Brake Pad			Analysis By: Attapol Nimit						
No.	Expect	Operator 1		Operator 2		Operator 3		Operator 4	
		1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
2	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
3	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
4	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
5	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
6	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
7	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
8	OK	OK	OK	NG	NG	OK	OK	OK	OK
9	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
10	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
11	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
12	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
13	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
14	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	OK	OK
15	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
16	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
17	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
18	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
19	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
20	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
21	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
22	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
23	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

สัญลักษณ์ OK หมายถึง งานที่ผ่านมาตรฐานการผลิต

NG หมายถึง งานที่เกิดรอยร้าวที่ผิวชิ้นงาน

ผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ 4.32 และ 4.33



### Within Appraisers

#### Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
Operator 1	23	23	100.00	(87.79, 100.00)
Operator 2	23	23	100.00	(87.79, 100.00)
Operator 3	23	23	100.00	(87.79, 100.00)
Operator 4	23	23	100.00	(87.79, 100.00)

# Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

### Each Appraiser vs Standard

#### Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
Operator 1	23	23	100.00	(87.79, 100.00)
Operator 2	23	22	95.65	(78.05, 99.89)
Operator 3	23	23	100.00	(87.79, 100.00)
Operator 4	23	22	95.65	(78.05, 99.89)

# Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

#### Assessment Disagreement

Appraiser	# OK / NG	Percent	# NG / OK	Percent	# Mixed	Percent
Operator 1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Operator 2	0	0.00	1	11.11	0	0.00
Operator 3	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Operator 4	1	7.14	0	0.00	0	0.00

# OK / NG: Assessments across trials = OK / standard = NG.

# NG / OK: Assessments across trials = NG / standard = OK.

# Mixed: Assessments across trials are not identical.

### Between Appraisers

#### Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
23	21	91.30	(71.96, 98.93)

# Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

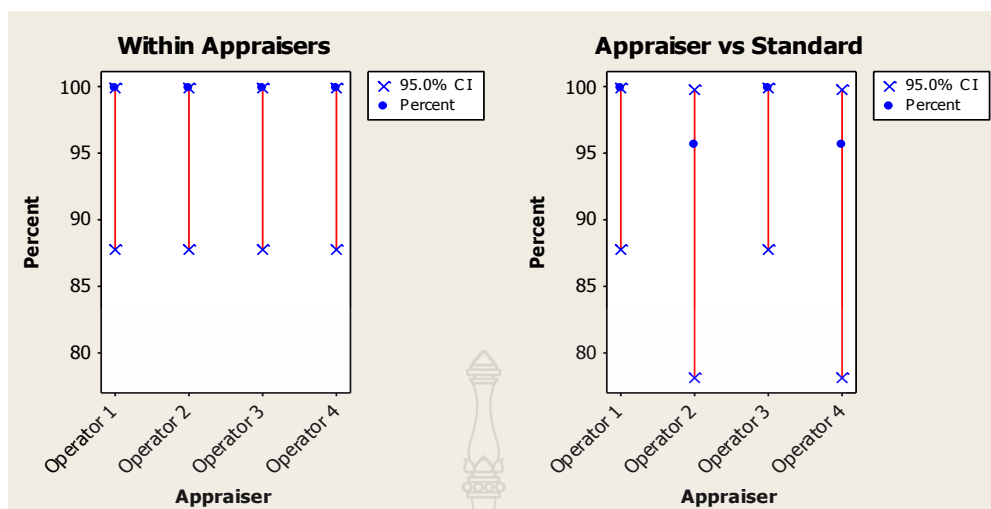
### All Appraisers vs Standard

#### Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
23	21	91.30	(71.96, 98.93)

# Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

รูปที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับ



รูปที่ 4.33 กราฟการประมาณค่าแบบช่วงเปอร์เซ็นต์รีพีททีละบิลิตี และเปอร์เซ็นต์รีโพรดิวซิบิลิตี

จากรูปที่ 4.32 และ 4.33 สามารถตีความหมายจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ได้ดังต่อไปนี้

1) ค่าเปอร์เซ็นต์รีพีททีละบิลิตีของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1, 2, 3 และ 4 มีค่าเท่ากันคือ เท่ากับ 100.0% และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่ารีพีททีละบิลิตีของพนักงานคนที่ 1, 2, 3 และ 4 จะอยู่ในช่วง เดียวกันคือ 87.79 ถึง 100.00

2) ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1 และ 3 จะมีค่าเท่ากันคือ 100.00% และพนักงานตรวจสอบคนที่ 2 และ 4 มีค่าเท่ากันคือ 95.65% และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับค่าความไม่ไบอัสของพนักงานคนที่ 1 และ 3 จะอยู่ในช่วง 87.79 ถึง 100.00 และพนักงานคนที่ 2 และ 4 จะอยู่ในช่วง 78.05 ถึง 99.89

3) ประสิทธิภาพด้านรีพีททีละบิลิตีเท่ากับ 91.30% ซึ่งแสดงว่าในการใช้พนักงาน 4 คน ตรวจสอบงานจำนวน 100 ชิ้น จะมีเพียง 91 ชิ้นเท่านั้นพนักงานทั้ง 4 คนตรวจสอบได้ผลลัพธ์เหมือนกัน และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับประสิทธิภาพด้านรีพีททีละบิลิตีจะอยู่ในช่วง 71.96 ถึง 98.93

4) ประสิทธิภาพความไม่ไบอัสเท่ากับ 91.30% แสดงว่าในการใช้พนักงาน 4 คน ตรวจสอบงาน 100 ชิ้น จะมีเพียง 91 ชิ้นเท่านั้นที่พนักงานทั้ง 4 คนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน และการประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% สำหรับประสิทธิภาพความไม่ไบอัสจะอยู่ในช่วง 71.96 ถึง 98.93

จากข้างต้นเปอร์เซ็นต์รีพิทเทบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบทั้ง 4 คน พบว่ามี เปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดในการตรวจสอบเท่ากับ 0.00% แสดงว่าพนักงานไม่มีความผิดพลาดจากการตรวจเช็ค และเปอร์เซ็นต์ความไม่ไบอัสพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดในการตรวจสอบของพนักงานคนที่ 1 และ 3 เท่ากับ 0.00% และพนักงานคนที่ 2 และ 4 เท่ากับ 4.35% แสดงว่าพนักงานไม่มีความผิดพลาดจากการตรวจเช็คเลย และสรุปได้ว่าพนักงานมีทักษะในการคัดแยกผลิตภัณฑ์ที่ดีและไม่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่มีความผิดพลาด ดังนั้นกระบวนการตรวจสอบของพนักงานจึงไม่ส่งผลต่อการหลุดรอดของปัญหาไปยังลูกค้า

2. การวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องทดสอบการอัดผ้าเบรค (Compression Machine)

1) ขั้นตอนการวิเคราะห์จะดำเนินการจัดเตรียมงานมาตรฐานจากกระบวนการผลิตจำนวน 25 ชิ้น โดยชิ้นงานนี้ผ่านการตรวจเช็คแล้วว่าไม่ร้าวและมีค่าการอัดอยู่ในมาตรฐาน โดยใช้พนักงานวัด 2 คน ทำการวัดคนละ 3 รอบ รวมทั้งสองคนจะเป็นจำนวนการวัด ทั้งหมด 150 ครั้ง โดยแสดงภาพตัวอย่างชิ้นงานทดสอบรูปที่ 4.34 และ Link Compression Test Machine ดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.34 ตัวอย่างชิ้นงานที่นำมาใช้ทำการทดสอบ

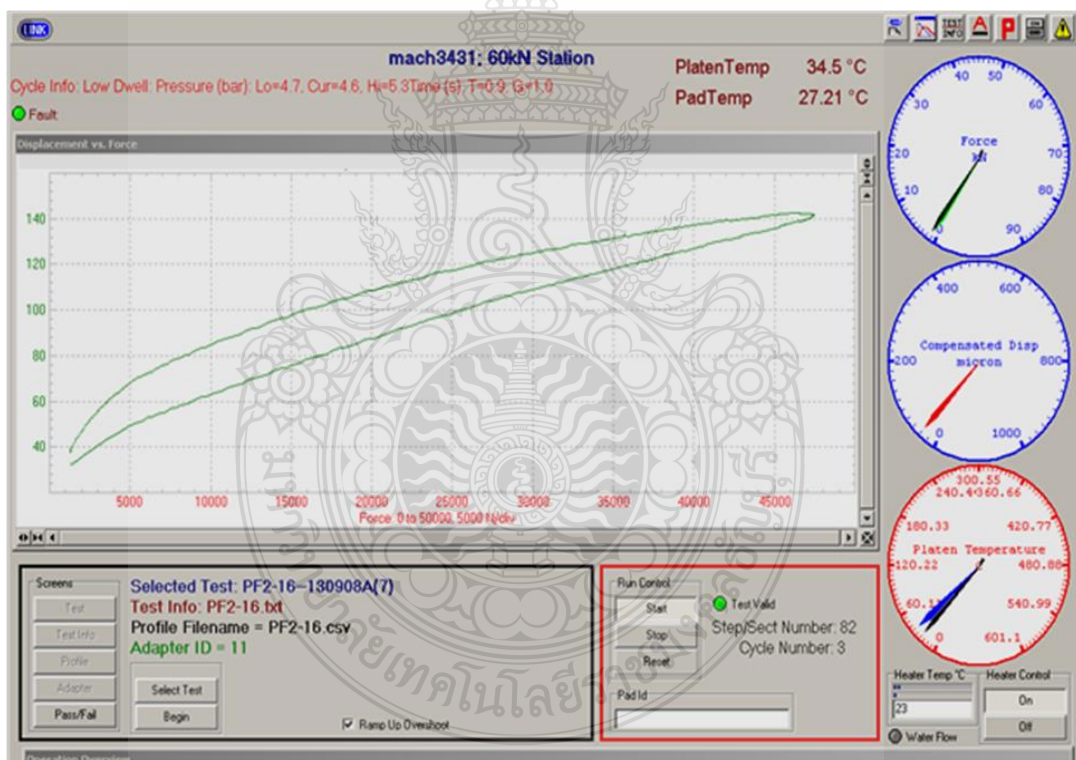


รูปที่ 4.35 เครื่องทดสอบแรงอัด (Link Compression Machine)

2) ในการทดสอบโดยเครื่องทดสอบแรงอัด (Compression) จะทำการทดสอบค่าการอัดที่แรงอัด 100 บาร์ (Bar) จำนวน 3 รอบ (Cycle) และค่ามาตรฐานแรงอัด คือ  $75 \pm 25$  ไมครอน (um) ดังตารางที่ 4.5 แสดงค่าแรงอัดมาตรฐานและขณะที่เครื่องทำการวัดชิ้นงานจะอยู่ในรูปของกราฟดังรูปที่ 4.36

ตารางที่ 4.5 มาตรฐานแรงอัดที่กำหนดโดยลูกก้ำ (Friction Compression Requirement)

Parameter	Procedure	Specification		Comment
		Nominal	Tolerance	
Ambien Compressibility	SAE J2468 or ISO 6310 (100 bar, 3 Cycle)	75 um	+/- 25um	Without Insulator



รูปที่ 4.36 ตัวอย่างกราฟระหว่างการทดสอบการอัดผ้าเบรก (Compressibility Test)

3) จากนั้นนำข้อมูลจากการวัดมาทำการวิเคราะห์ด้วยสถิติเพื่อตรวจสอบความมีนัยสำคัญของความผันแปรต่างๆ โดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ วิธีทำการวิเคราะห์จะอาศัยค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งวิธีนี้จะสามารถแยกความผันแปร

ออกเป็นเปอร์เซ็นต์รีพิทเทบิลิตี้ และเปอร์เซ็นต์โปรดักเทบิลิตี้ ออกจากกันได้ และเกณฑ์ในการวัดผลจะดูจากค่าเปอร์เซ็นต์รีพิทเทบิลิตี้ และเปอร์เซ็นต์โปรดักเทบิลิตี้ ซึ่งโดยทั่วไปเกณฑ์ในการยอมรับอยู่ที่น้อยกว่า 10% ซึ่งข้อมูลการวัดของพนักงาน โดยใช้เครื่องทดสอบการอัด (Compression Machine) โดยค่าที่ได้คือ ค่า K3 ซึ่งแสดงผลการทดสอบแรงอัดของผ้าเบรก แสดงดังตารางที่ 4.6

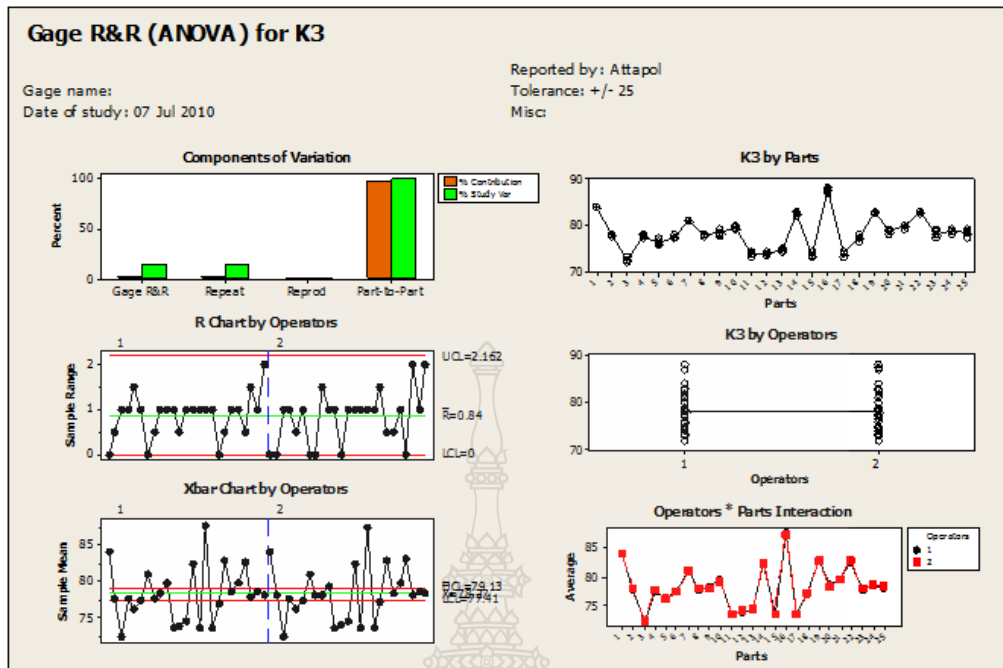
ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องทดสอบการอัดผ้าเบรก

No.	Operator 1			Operator 2		
	1st	2nd	3th	1st	2nd	3th
1	84	84	84	84	84	84
2	78	78	77.5	78	78	78
3	72	77	73	72	77	73
4	78	77	77.5	78	77	78
5	76	76	77	76	76	76.5
6	78	77	77	78	77	77
7	81	81	81	81	81	81
8	78	77.5	77.5	78	78	78
9	78	78	79	78	77.5	79
10	79	80	80	79	79	80
11	74	73	74	74	73	74
12	73.5	74	74	74	74	74
13	74.5	75	74	75	74.5	74
14	82	83	82	82	83	82
15	73	74	74	73	74	73.5
16	87	88	88	87	87.5	88
17	73	74	74	73	74	74
18	77	77	77	78	77	76.5

ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องทดสอบการอัดผ้าเบรก (ต่อ)

No.	Operator 1			Operator 2		
	1st	2nd	3th	1st	2nd	3th
19	82.5	83	83	83	82.5	83
20	78	79	79	78	78.5	78.5
21	79	80	80	79	80	80
22	83	82.5	82.5	83	83	83
23	77	78	78.5	77	78	79
24	79	78	79	78	77	79
25	78.5	79	77	79	79	77
Min.	72.00	73.00	73.00	72.00	73.00	73.00
Avg.	78.12	78.52	78.34	78.22	78.38	78.36
Max.	87.00	88.00	88.00	87.00	87.5	88.00
Stdev.	3.71	3.56	3.65	3.69	3.48	3.71

หลังจากทราบผลลัพธ์ข้อมูลการทดสอบแรงอัดตัวผ้าเบรกของพนักงาน โดยใช้เครื่องทดสอบอัด (Compression Machine) ครบแล้ว ดังตารางที่ 4.6 ขั้นตอนต่อไป เป็นการนำผลการทดสอบที่ได้มาทำการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.37 และ 4.38



รูปที่ 4.37 การทวนสอบข้อมูลการวัดการอัดตัวของผ้าเบรค

จากรูปที่ 4.37 พบว่า กราฟ X-bar Chart ไม่มีความแตกต่างกันของพนักงานที่นำมาวัดอย่างมีนัยสำคัญ และจากแผนภาพแสดงอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงานแสดงว่าพนักงานวัดไม่มีอิทธิพลร่วมกับชิ้นงาน กราฟที่พลอระหว่างชิ้นงาน แสดงว่า ชิ้นงานที่นำมาทดลองเป็นแบบสุ่ม ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน และกราฟที่พลอระหว่างพนักงานที่ทดลอง ทั้ง 2 คนไม่แตกต่างกัน

Gage R&R		%Contribution	
Source	VarComp	(of VarComp)	
Total Gage R&R	0.2448	1.76	
Repeatability	0.2448	1.76	
Reproducibility	0.0000	0.00	
Operators	0.0000	0.00	
Part-To-Part	13.6775	98.24	
Total Variation	13.9224	100.00	
Source	StdDev (SD)	Study Var	%Study Var
		(6 * SD)	(%SV)
Total Gage R&R	0.49481	2.9689	13.26
Repeatability	0.49481	2.9689	13.26
Reproducibility	0.00000	0.0000	0.00
Operators	0.00000	0.0000	0.00
Part-To-Part	3.69831	22.1899	99.12
Total Variation	3.73127	22.3876	100.00

รูปที่ 4.38 ผลการคำนวณ Gage R&R จากโปรแกรม Minitab



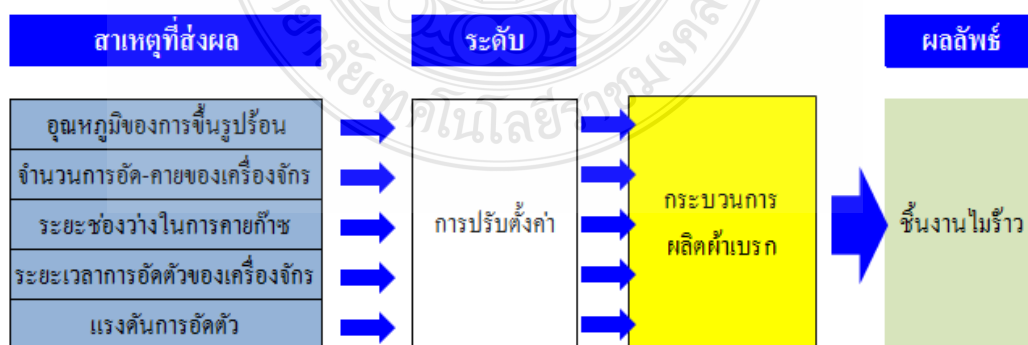
จากรูปที่ 4.38 ผลการทดสอบค่าความแม่นยำในระบบการวัดของเครื่องอัดผ้าเบรกพบว่า ค่า %Study Var ของการทดสอบซ้ำของเครื่องทดสอบแรงอัดและค่า เปอร์เซ็นตริฟิทัสบีลิตีต่ำกว่า 13.26% และ หมายความว่าค่าที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบ Compression ของผ้าเบรคมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้แบบมีเงื่อนไข

#### 4.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

จากขั้นตอนการวัดผล (Measure Phase) พบว่าสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษามีจำนวน 5 สาเหตุซึ่งประกอบไปด้วย

1. อุณหภูมิของการขึ้นรูปรีออน (Die Temperature)
2. จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร (Number of Bump)
3. ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ (Vent Distance Gap)
4. ระยะเวลาการอัดตัวของเครื่องจักร (Dwell Time)
5. แรงดันช่วงการอัดตัว (Dwell Pressure)

เพื่อกำหนดทิศทางในการปรับปรุงแก้ไขได้ถูกต้อง จึงทำการวิเคราะห์ปัญหา โดยอาศัยวิธีการทางสถิติ ซึ่งแนวทางการวิเคราะห์จะเริ่มทำการวิเคราะห์ทีละสาเหตุทีละปัจจัย (One Factor at a Time) โดยการดำเนินการทดลองเพื่อหาข้อมูลสนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าสาเหตุที่สงสัยนั้นคือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือความบกพร่องด้านคุณภาพ นอกจากนี้เมื่อมีการยืนยันว่าสาเหตุเหล่านั้นมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และสามารถสรุปได้ต่อไปว่าสาเหตุดังกล่าวอย่างมีผลกระทบเล็กน้อยเพียงใดอย่างมีนัยสำคัญ แสดงดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 กระบวนการการวิเคราะห์ทีละสาเหตุทีละปัจจัย (One Factor at a Time)

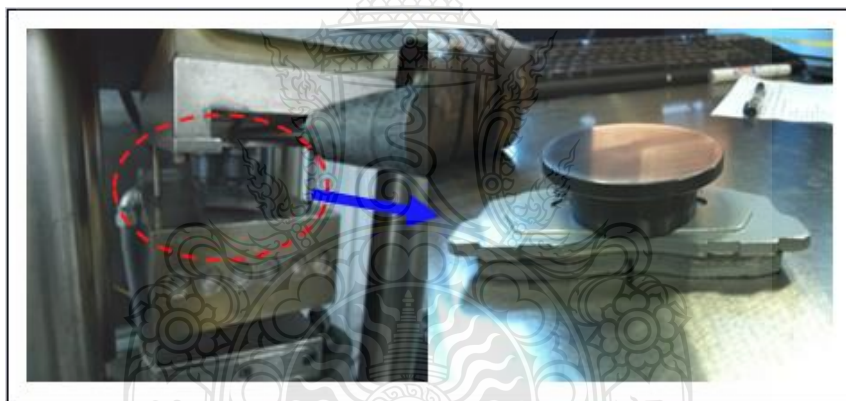


#### 4.5.1 แนวทางการวิเคราะห์

แนวทางการวิเคราะห์นั้นจะทำการวิเคราะห์ที่ละสาเหตุทีละปัจจัย (One Factor at a Time) โดยใช้วิธีการทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Pair Sample T-Test) โดยในการทดลองนี้จะมีจุดมุ่งหมายเพื่อคัดกรองปัจจัยต่างๆ (Screening Factors) ที่สงสัยออกไปก่อนหรือเป็นการกรองเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อค่าการอัดตัว (Compression) ของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญไปทำการออกแบบการทดลองในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) ต่อไป

#### 4.5.2 การทดสอบค่าการอัดตัวผ้าเบรก (Compression Test)

การทดสอบค่าการอัดตัว ซึ่งทำการทดสอบแรงอัดตัวของลูกสูบ (Piston) ลงบนผิวของผ้าเบรก โดยใช้เครื่องทดสอบแรงอัด Link Compression Tester ทำการทดสอบแรงอัดชิ้นงานหนึ่งจุด บริเวณกึ่งกลางของเหล็กทรงหลังผ้าเบรกและทำการบันทึกผลที่ได้รับจากการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 ลักษณะตัวอย่างการทดสอบการอัด โดยเครื่องทดสอบแรงอัดผ้าเบรก

#### 4.5.3 การหาจำนวนตัวอย่างที่ใช้ทำการทดลอง (Power and Sample Size)

การคำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองนี้จะคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab และกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

1. ระดับนัยสำคัญ ( $\alpha$ ) มีค่าเท่ากับ 0.05
2. กำหนดค่าความแตกต่างที่ต้องการตรวจจับที่ 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 ค่า
3. กำหนดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) มีค่าเท่ากับ 13 เนื่องจากค่ามาตรฐานของแรงอัดที่เก็บได้จากกระบวนการผลิตเดิม

4. กำหนดค่าความแตกต่างสูงสุดของกระบวนการ (Value of the Maximum Difference) อยู่ที่ 25 ไมครอน คือ ถ้าค่าแรงอัดตัวโดยเฉลี่ยของกระบวนการมีค่าแตกต่างจากค่ามาตรฐาน  $75 \pm 25$  ไมครอน

**Power Curve for 1-Sample t Test**

1-Sample t Test  
 Testing mean = null (versus not = null)  
 Calculating power for mean = null + difference  
 Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 13

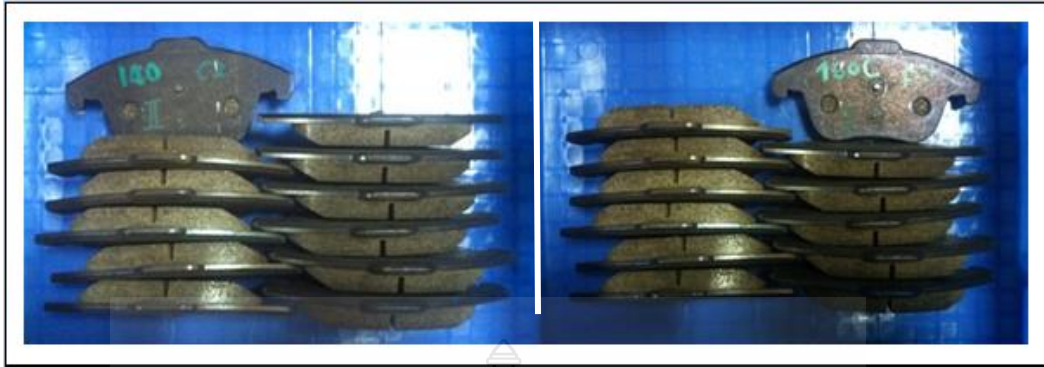
Difference	Sample Size	Power
25	2	0.169095
25	4	0.725245
25	6	0.959718
25	8	0.995879
25	10	0.999654
25	12	0.999974

รูปที่ 4.41 ผลลัพธ์การคำนวณจำนวนตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากรูปที่ 4.41 ผลลัพธ์การคำนวณ สามารถสรุปได้ว่าจำนวนตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองอย่างน้อย จะต้องมามีค่าเท่ากับ 4 ชิ้นงาน ซึ่งในการวิเคราะห์ครั้งนี้ทางทีมได้ข้อสรุปร่วมกันว่า จะทำการทดสอบชิ้นงานตัวอย่างที่ 12 ชิ้นงาน

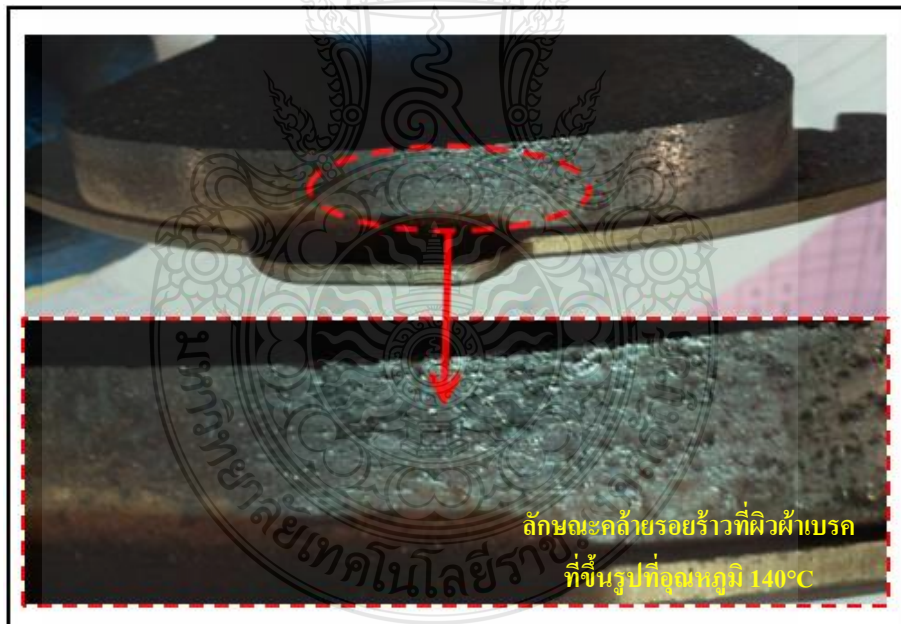
#### 4.5.4 การวิเคราะห์ปัจจัยอุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Tooling Die Surface Temperature)

จากผลการวิเคราะห์วัตถุดิบ NAO พบว่าการร้าวของชิ้นงาน เกิดจากปัจจัยด้านอุณหภูมิของแม่พิมพ์ โดยจากการตรวจสอบข้อมูลการผลิต ณ ปัจจุบัน พบว่าทำการปรับตั้งอุณหภูมิขึ้นรูปร้อนอยู่ที่  $150^{\circ}\text{C}$  ซึ่งในการออกแบบการทดลอง จะทำการควบคุมอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่ระดับอุณหภูมิต่างกันที่ระดับ  $140^{\circ}\text{C}$  และ  $160^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากเป็นค่าทางคุณสมบัติของการขึ้นรูปร้อนของผงฟ้าเบรคโมเดล X068 (ภาคผนวก ก) เพื่อที่จะต้องการทราบว่าที่ระดับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่ใช้การผลิตในปัจจุบัน จะส่งผลกระทบต่อค่าแรงอัดหรือไม่ ดังรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 ชิ้นงานที่ทำการผลิตที่อุณหภูมิ 140°C และ 160°C

จากการตรวจเช็คชิ้นงานพบว่าชิ้นงานที่ผลิตที่อุณหภูมิ 140°C เกิดรอยร้าวที่พื้นผิว (Suspect Crack) มากกว่าชิ้นงานที่ผลิตด้วย 160°C ดังรูปที่ 4.43 โดยคิดเฉลี่ยอยู่ที่ 100% และได้ผลลัพธ์ข้อมูลการทดสอบการอัดตัวผ้าเบรก ดังตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.43 ลักษณะค้ำยรอยร้าว (Suspect Crack) ของชิ้นงานที่ผลิตที่อุณหภูมิ 140°C

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลผลการทดสอบการอัดตัวของชิ้นงานที่ระดับอุณหภูมิ 140 °C และ 160 °C

ค่าการอัดตัวของชิ้นงาน (ไมครอน)												
ชิ้นงานที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
อุณหภูมิ 140 °C	101.1	81.6	85.7	75.2	90.1	79.6	78.6	75.3	89.5	82.7	82.0	79.1
อุณหภูมิ 160 °C	98.3	87.8	84.1	80.6	106.7	88.1	83.0	102.4	109.5	86.1	86.6	79.5

การทดสอบความแตกต่างของแรงอัดระหว่างชิ้นงานที่ผลิตโดยอุณหภูมิ 140 °C และ 160 °C โดยการตั้งสมมติฐานดังนี้

$H_0: \mu_{140C} = \mu_{160C}$ : อุณหภูมิไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยการอัดตัวของชิ้นงาน

$H_1: \mu_{140C} \neq \mu_{160C}$ : อุณหภูมิมีผลต่อค่าเฉลี่ยการอัดตัวของชิ้นงาน

กำหนดให้  $\mu_{140C}$ : ค่าเฉลี่ยการอัด ของชิ้นงาน เมื่อทำการขึ้นรูปร้อนที่ 140 °C

$\mu_{160C}$ : ค่าเฉลี่ยการอัดของชิ้นงาน เมื่อทำการขึ้นรูปร้อนที่ 160 °C

ผลการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังรูปที่ 4.44

Paired T-Test and CI: 140C, 160C				
Paired T for 140C - 160C				
	N	Mean	StDev	SE Mean
140C	12	83.38	7.36	2.12
160C	12	91.05	10.37	2.99
Difference	12	-7.67	9.05	2.61
95% CI for mean difference: (-13.43, -1.92)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -2.94 P-Value = 0.014				

รูปที่ 4.44 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการอัดชิ้นงานที่อุณหภูมิ 140 °C และ 160 °C

จากผลการทดสอบ เมื่อนำค่า P-Value ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดแบบที่ 1 ของการทดสอบสมมติฐาน ( $\alpha$ ) ที่ระดับ 0.05 จะพบว่าค่า P-Value มีค่า 0.014 ซึ่งเกณฑ์ในการตัดสินใจคือ

ค่า P-Value <  $\alpha$  หมายถึงปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  (Accept  $H_1$ )

ค่า P-Value >  $\alpha$  หมายถึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.014 ซึ่งน้อยกว่า 0.050 เพราะฉะนั้นจึงปฏิเสธ สมมติฐาน  $H_0$  และยอมรับ  $H_1$  จึงสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิการขึ้นรูปรีออนมีผลต่อค่าการอัดของชิ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปรีออนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.5.5 การวิเคราะห์ปัจจัยจำนวนรอบการอัด- คายของเครื่องจักร (Number of Bump)

จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร (Bump) เป็นช่วงเวลาที่ชุดแม่พิมพ์ทำการอัด และ คายตัว (Press and Degas) โดยอัดและคาย เรียกว่า 1 รอบ เพื่อที่จะทำให้ผงฟ้าเบรคเกิดการอัดตัว โดยจำนวนรอบของการอัด (Bump) จะส่งผลโดยตรงต่อการรีวของชิ้นงาน เนื่องจากถ้ามีจำนวนการอัดที่มากเกินไป จะทำให้ชิ้นงานรีวทันทีหลังจากที่ทำการขึ้นรูป และถ้ามีจำนวนการอัดที่น้อยจะทำให้ชิ้นงานคายก๊าซออกจากผิวชิ้นงานได้ไม่หมด ซึ่งจะทำให้เกิดการรีวภายใน ซึ่งจะไม่มีเกิดที่ผิวชิ้นงาน โดยข้อมูลจากฝ่ายผลิตเดิม มีการกำหนดจำนวนการอัด-คายอยู่ที่ 5 รอบ (Bump)

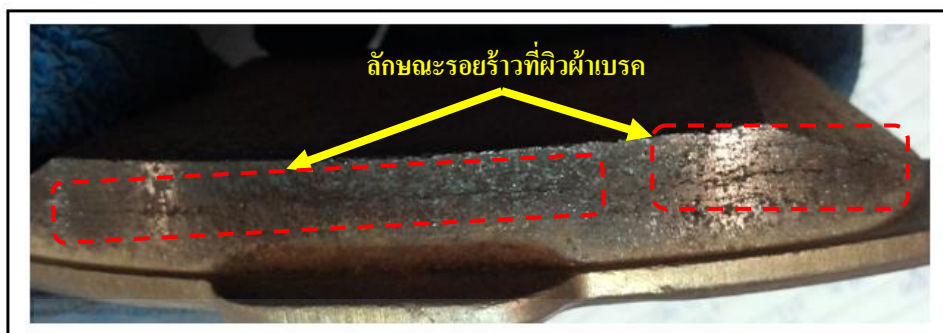
แนวทางการวิเคราะห์ จะทำการทดสอบอัตราการอัด-คาย ของแม่พิมพ์ที่ระดับต่างกันที่ระดับ 4 รอบ (Bump) และ 7 รอบ (Bump) เพื่อที่จะต้องการทราบว่าที่จำนวนรอบการอัดขึ้นรูปที่ใช้ในการผลิตปัจจุบัน จะส่งผลกระทบต่อค่าการอัดขึ้นงานที่เกิดขึ้นหรือไม่ แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่ทำการทดสอบดังรูปที่ 4.45 และผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.8



รูปที่ 4.45 ชิ้นงานที่ทำการผลิตจากการขึ้นรูปที่ 4 รอบ (Bump) และ 7 รอบ (Bump)

ซึ่งพบว่าเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ คือ ชิ้นงานที่ผลิตที่ 7 รอบ (Bump) เกิดรอยรีวที่พื้นผิวชิ้นงานอย่างเห็นได้ชัดเจน และบางชิ้นงานมีค่าแรงอัด สูงเกินกว่า 100 ไมครอน ดังรูปที่ 4.46 ส่วนชิ้นงานที่ 4 รอบ นั้นมีค่าแรงอัดที่ต่ำกว่า แต่ทางทีมผู้ทำการทดสอบไม่ได้ทำการตัดชิ้นงานเพื่อดูพื้นผิวด้านใน เนื่องจากที่ประชุมพิจารณาเห็นร่วมกันว่าจะทำการพิจารณาที่ค่าแรงอัด K3 เป็นหลัก





รูปที่ 4.46 รูปภาพชิ้นงานที่หลังจากทำการผลิตที่ 7 รอบ (Bump)

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลผลการทดสอบการอัดตัวของชิ้นงานที่จำนวนการอัด-คาย 4 และ 7 รอบ

ค่าการอัดตัวของชิ้นงาน (ไมครอน)												
ชิ้นงานที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4 Bump	84.5	81.0	78.0	78.1	79.0	83.0	82.0	76.2	91.3	89.2	82.0	78.3
7 Bump	93.3	86.2	85.6	103.7	104.5	85.6	91.2	78.0	98.3	101.5	83.3	81.9

การทดสอบความแตกต่างของแรงอัดระหว่างชิ้นงานที่ผลิตโดยระดับการอัด-คายของชิ้นงาน ที่ 4 รอบ และ 7 รอบ โดยการตั้งสมมติฐานดังนี้

$H_0: \mu_{4B} = \mu_{7B}$ : การคายก๊าซ ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยการอัดตัวของชิ้นงาน

$H_1: \mu_{4B} \neq \mu_{7B}$ : การคายก๊าซ มีผลต่อค่าเฉลี่ยการอัดตัวของชิ้นงาน

กำหนดให้  $\mu_{4B}$ : ค่าเฉลี่ยการอัด ของชิ้นงาน เมื่อทำการขึ้นรูปร้อนที่ 4 รอบ (Bump)

$\mu_{7B}$ : ค่าเฉลี่ยการอัด ของชิ้นงาน เมื่อทำการขึ้นรูปร้อนที่ 7 รอบ (Bump)

ผลการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผล ดังรูปที่ 4.47

Paired T-Test and CI: 4Bump, 7Bump				
Paired T for 4Bump - 7Bump				
	N	Mean	StDev	SE Mean
4Bump	12	81.88	4.61	1.33
7Bump	12	91.09	9.07	2.62
Difference	12	-9.21	8.31	2.40
95% CI for mean difference: (-14.49, -3.93)				
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -3.84 P-Value = 0.003				

รูปที่ 4.47 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการอัด-คายชิ้นงานที่ 4 รอบ และ 7 รอบ

จากผลการทดสอบ เมื่อนำค่า P-Value ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดแบบที่ 1 ของการทดสอบสมมติฐาน ( $\alpha$ ) ที่ระดับ 0.05 จะพบว่าค่า P-Value มีค่า 0.004 ซึ่งเกณฑ์ในการตัดสินใจคือ

ค่า P-Value <  $\alpha$  หมายถึงปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  (Accept  $H_1$ )

ค่า P-Value >  $\alpha$  หมายถึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$

จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.003 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 เพราะฉะนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  และยอมรับ  $H_1$  จึงสามารถสรุปได้ว่า จำนวนการอัด-คายของชิ้นงาน (Number of Bump) มีผลต่อค่าการอัดของชิ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปรีนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.5.6 ระยะของช่องว่างในการคายก๊าซ (Vent Distance Gap: VDG)

เป็นช่วงเวลาที่แม่พิมพ์อัด (Punch) ทำการเลื่อนต่ำลงเพื่อทำการคายก๊าซออกจากชิ้นงาน ระยะช่องว่างของการคายก๊าซจะส่งผลโดยตรงต่อการรีวของชิ้นงาน เนื่องจากถ้ามีช่องว่างการคายก๊าซที่มากเกินไป จะทำให้ชิ้นงานรีวที่ชัดเจนที่ผิวงานหลังจากชิ้นงานผ่านการขึ้นรูป การอบ และการเผาหน้าผ้า และถ้ามีช่องว่างการคายก๊าซที่สั้นจะทำให้ชิ้นงานเกิดการรีวภายในและเมื่อผ่านกระบวนการการอบและการเผาหน้าผ้าเบรค ชิ้นงานจะเพิ่มรอยรีวที่มากขึ้น โดยข้อมูลจากฝ่ายผลิตมีการกำหนดระยะช่องว่างการคายก๊าซเดิม ที่ 2 mm

แนวทางการวิเคราะห์ จะทำการควบคุมระยะช่องว่างการคายก๊าซที่ระดับต่างกันที่ระดับ 1 mm และ 5 mm เพื่อที่จะต้องการทราบว่าที่ระยะช่องว่างการคายก๊าซที่ใช้ในการผลิตปัจจุบันจะส่งผลกระทบต่อค่าการอัดชิ้นงานที่เกิดขึ้นหรือไม่ แสดงตัวอย่างชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.48 และค่าแรงอัดที่ได้จากการทดลองแสดงดัง ตารางที่ 4.9



รูปที่ 4.48 ชิ้นงานที่ผลิตที่ระยะช่องว่างการคายก๊าซ 1 mm และ 5 mm

หลังจากทำการทดลองพบว่าชิ้นงานที่ผลิตที่ 5 mm มีการร้าวที่มีขนาดใหญ่เกิดขึ้น แต่ค่าแรงอัดที่ได้ไม่ได้สูงเกินกว่าชิ้นงานที่ผลิตจาก 1 mm เลย แสดงดังรูปที่ 4.50



รูปที่ 4.49 ตัวอย่างชิ้นงานที่ร้าวภายในแต่ค่าแรงอัด อยู่ที่ 93.1 ไมครอน (um)

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลผลการทดสอบการอัดตัวของชิ้นงานที่ระดับระยะช่องว่าง การคายก๊าซ 1 และ 5 mm

ค่าการอัดตัวของชิ้นงาน (ไมครอน)												
ชิ้นงานที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 mm.	83.6	86.2	93.7	78.2	76.8	85.1	96.2	84.4	81.2	95.3	84.8	74.1
5 mm.	93.1	103.9	97.8	89.9	87.7	89.4	106.7	82.9	95.7	88.2	113.6	88.5

แนวทางการวิเคราะห์ จะทำการควบคุมระยะช่องว่างการคายก๊าซของแม่พิมพ์ที่ระดับต่างกันที่ระดับ 1 mm. และ 5 mm. เพื่อที่จะต้องการทราบว่าระยะช่องว่างการคายก๊าซที่ใช้ในการผลิตปัจจุบัน จะส่งผลกระทบต่อค่าการอัดชิ้นงานที่เกิดขึ้นหรือไม่ และต้องการทราบค่าที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต

การทดสอบความแตกต่างของแรงอัดระหว่างชิ้นงานที่ผลิตโดยระดับระยะช่องว่างการคายก๊าซ 1 และ 5 มิลลิเมตร โดยการตั้งสมมติฐานดังนี้

$H_0: \mu_{1mm.} = \mu_{5mm.}$  : ระยะช่องว่างการคายก๊าซไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยการอัดตัวของชิ้นงาน

$H_1: \mu_{1mm.} \neq \mu_{5mm.}$  : ระยะช่องว่างการคายก๊าซมีผลต่อค่าเฉลี่ยการอัดตัวของชิ้นงาน

กำหนดให้  $\mu_{1mm.}$  : ค่าเฉลี่ยการอัดของชิ้นงาน เมื่อทำการขึ้นรูปที่ 1 mm.

$\mu_{5mm.}$  : ค่าเฉลี่ยการอัดของชิ้นงาน เมื่อทำการขึ้นรูปที่ 5 mm.

ผลการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผลดังรูปที่ 4.50



### Paired T-Test and CI: 1mm., 5mm.

Paired T for 1mm. - 5mm.

	N	Mean	StDev	SE Mean
1mm.	12	84.97	7.12	2.06
5mm.	12	94.79	9.13	2.64
Difference	12	-9.83	9.29	2.68

95% CI for mean difference: (-15.73, -3.92)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -3.66 P-Value = 0.004

### รูปที่ 4.50 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการอัดขึ้นงานที่ช่องว่างการคายก๊าซ 1 และ 5 mm

จากผลการทดสอบ เมื่อนำค่า P-Value ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดแบบที่ 1 ของการทดสอบสมมติฐาน ( $\alpha$ ) ที่ระดับ 0.05 จะพบว่าค่า P-Value มีค่า 0.004 ซึ่งเกณฑ์ในการตัดสินใจคือ

ค่า P-Value <  $\alpha$  หมายถึงปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  (Accept  $H_1$ )

ค่า P-Value >  $\alpha$  หมายถึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$

จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.004 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 เพราะฉะนั้นจึงปฏิเสธ สมมติฐาน  $H_0$  และยอมรับ  $H_1$  จึงสามารถสรุปได้ว่า ระยะของช่องว่าง (Vent Distance Gap) ในการคายก๊าซ มีผลต่อค่าการอัดของขึ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปรีออนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.5.7 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในเรื่องระยะเวลาการอัดตัวของเครื่องจักร (Dwell Time)

ระยะเวลาในการอัดตัวของเครื่องจักร (Dwell Time) เป็นช่วงเวลาที่ชุดแม่พิมพ์ทำการอัดครั้งสุดท้าย เพื่อให้ขึ้นงานเกิดการหลอม (Curing) เป็นเนื้อเดียวกัน โดยข้อมูลจากฝ่ายผลิตเดิมมีการกำหนดระยะเวลาในขั้นตอนการอัดตัวอยู่ที่ 110 วินาที

แนวทางการวิเคราะห์ จะทำการทดสอบเวลาการอัดตัว (Dwell time) ของแม่พิมพ์ที่ระดับต่างกัน 90 วินาที และ 130 วินาที เพื่อที่จะต้องการทราบว่าเวลาที่ใช้ในการอัดตัวจะส่งผลกระทบต่อค่าการอัดขึ้นงานที่เกิดขึ้นหรือไม่ โดยตัวอย่างขึ้นงานที่นำมาทดสอบ ดังรูปที่ 4.51 และได้ค่าการอัด ดังตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.51 ชิ้นงานที่ทำการผลิตที่ระยะเวลาการอัด 90 วินาทีและ 130 วินาที

โดยพบว่าลักษณะของชิ้นงานที่ได้จากการผลิต แทบไม่มีความแตกต่างกันเลย และค่าการอัดที่ได้จากการทดสอบไม่มีความแตกต่างกันมากในเชิงของการผลิต

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบการอัดตัวของชิ้นงานที่ระยะเวลาการอัดตัวของเครื่องจักร

ค่าการอัดตัวของชิ้นงาน (ไมครอน)												
ชิ้นงานที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
90 sec.	98.2	93.2	102.2	84.1	93.8	96.1	93.9	87.8	92.6	77.2	87.1	88.8
130 sec.	83.1	91.6	88.3	87.8	89.2	88.9	85.7	95.2	104.1	87.2	90.6	100.1

การทดสอบความแตกต่างของแรงอัดระหว่างชิ้นงานที่ผลิตโดยเวลาการอัด ที่ 90 secs. และ 130 secs. โดยการตั้งสมมติฐานดังนี้

$H_0: \mu_{90S} = \mu_{130S}$ : ระยะเวลาการอัด (Dwell Time) ไม่มีผลค่าการอัดตัวของชิ้นงาน

$H_1: \mu_{90S} \neq \mu_{130S}$ : ระยะเวลาการอัด (Dwell Time) มีผลต่อค่าการอัดตัวของชิ้นงาน

กำหนดให้  $\mu_{90S}$ : ค่าการอัด ของชิ้นงาน เมื่อทำการขึ้นรูปร้อนที่ 90 Sec.

$\mu_{130S}$ : ค่าการอัด ของชิ้นงาน เมื่อทำการขึ้นรูปร้อนที่ 130 Sec.

ผลการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผลดังรูปที่ 4.52

### Paired T-Test and CI: 90sec, 130sec

Paired T for 90sec - 130sec

	N	Mean	StDev	SE Mean
90sec	12	91.25	6.71	1.94
130sec	12	90.98	6.05	1.75
Difference	12	0.27	9.55	2.76

95% CI for mean difference: (-5.80, 6.34)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.10 P-Value = 0.925

#### รูปที่ 4.52 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการอัดชิ้นงานที่ระยะเวลาการอัด (Dwell Time) ต่างกัน

จากผลการทดสอบ เมื่อนำค่า P-Value ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดแบบที่ 1 ของการทดสอบสมมติฐาน ( $\alpha$ ) ที่ระดับ 0.05 จะพบว่าค่า P-Value มีค่า 0.925 ซึ่งเกณฑ์ในการตัดสินใจคือ

ค่า P-Value <  $\alpha$  หมายถึงปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  (Accept  $H_1$ )

ค่า P-Value >  $\alpha$  หมายถึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$

จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.925 ซึ่งมากกว่าค่า 0.05 เพราะฉะนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน  $H_0$  จึงสามารถสรุปได้ว่าระยะเวลาการอัดตัวของเครื่องจักร (Dwell Time) ไม่มีผลต่อค่าการอัด ของชิ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปร้อนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

#### 4.5.8 การวิเคราะห์ปัจจัยแรงดันในช่วงอัดตัว (Dwell Pressure)

แรงดันช่วงการอัดตัว (Dwell Pressure) เป็นปัจจัยที่สำคัญสำหรับกระบวนการขึ้นรูปร้อนผ้าเบรก โดยในกระบวนการนี้มีการกดอัดแรงดันอยู่สองช่วงเวลา คือ ช่วงการอัดและคาย (Bump Pressure) และช่วงการอัดตัว (Dwell Pressure) โดยแรงดันจะส่งผลโดยตรงต่อค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน (Density) ค่าความแข็ง (Hardness) และค่าการอัดชิ้นงาน โดยข้อมูลจากฝ่ายผลิตมีการ ปรับตั้งค่าแรงดันทั้งสองช่วงเท่ากัน คือ ทั้งช่วงเวลา อัด-คาย (Bump Pressure) และ อัดตัว (Dwell Pressure) ที่ 8/8 ตัน แต่แรงดันนี้ไม่ได้ส่งผลโดยตรงต่อการรีวของชิ้นงานแต่จะมีผลต่อค่าความหนาแน่นของชิ้นงาน และค่าการอัดตัว

แนวทางการวิเคราะห์ จะทำการปรับค่าแรงดันของเครื่องจักรที่ช่วงอัดแช่ (Dwell Pressure) เท่ากับช่วงอัด-คาย (Bump Pressure) ที่ 8/8 ตัน และปรับค่าอัดแช่ (Dwell Pressure) ที่ครึ่งหนึ่งของ

อัด-คาย (Bump Pressure) ที่ 8/4 ตัน เพื่อที่จะต้องการทราบว่า แรงดันที่ใช้ในการผลิตปัจจุบัน จะส่งผลกระทบต่อค่าการอัดชิ้นงานที่เกิดขึ้นหรือไม่ และต้องการทราบค่าที่เหมาะสมในการผลิต ดังรูปที่ 4.53 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลอง และค่าการอัด จากการทดสอบชิ้นงานตัวอย่าง ดังตารางที่ 4.11



รูปที่ 4.53 ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองที่ 8/8 ตัน และ 8/4 ตัน

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบการอัดตัวของชิ้นงานที่ระดับแรงดัน 8/8 ตัน และ 8/4 ตัน

ค่าการอัดตัวของชิ้นงาน (ไมครอน)												
ชิ้นงาน ที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8/8 ตัน	83.2	91.6	81.9	84.7	90.0	92.8	87.2	92.2	82.0	101.2	98.1	79.4
8/4 ตัน	81.2	107.1	78.6	75.5	95.6	82.8	81.6	79.7	80.6	93.4	84.3	78.9

การทดสอบความแตกต่างของแรงอัดระหว่างชิ้นงานที่ผลิตโดยแรงดันช่วงอัดแช่ (Dwell Pressure) โดย 8/8 ตัน และ 8/4 ตัน โดยการจัดสมมติฐานดังนี้

$H_0: \mu_F = \mu_H$ : แรงดันไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยการอัดตัวของชิ้นงาน

$H_1: \mu_F \neq \mu_H$ : แรงดันมีผลต่อค่าเฉลี่ยการอัดตัวของชิ้นงาน

กำหนดให้  $\mu_{Full}$ : ค่าเฉลี่ยการอัดของชิ้นงาน เมื่อทำการขึ้นรูปร้อนที่ 8/8 ตัน

$\mu_{Half}$ : ค่าเฉลี่ยการอัดของชิ้นงาน เมื่อทำการขึ้นรูปร้อนที่ 8/4 ตัน

ผลการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab ได้ผลดังรูปที่ 4.54

### Paired T-Test and CI: 8/8tons, 8/4tons

Paired T for 8/8tons - 8/4tons

	N	Mean	StDev	SE Mean
8/8tons	12	88.69	6.81	1.97
8/4tons	12	84.94	9.14	2.64
Difference	12	3.75	8.22	2.37

95% CI for mean difference: (-1.47, 8.97)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 1.58 P-Value = 0.142

#### รูปที่ 4.54 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าการอัดชิ้นงานที่แรงดัน 8/8 ตันและ 8/4 ตัน

จากผลการทดสอบ เมื่อนำค่า P-Value ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดแบบที่ 1 ของการทดสอบสมมติฐาน ( $\alpha$ ) ที่ระดับ 0.05 จะพบว่าค่า P-Value มีค่า 0.142 ซึ่งเกณฑ์ในการตัดสินใจคือ

ค่า P-Value <  $\alpha$  หมายถึงปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$  (Accept  $H_1$ )

ค่า P-Value >  $\alpha$  หมายถึงไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน  $H_0$

จากผลการทดสอบที่ได้พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.142 ซึ่งมากกว่า 0.05 เพราะฉะนั้นจึงยอมรับสมมติฐาน  $H_0$  จึงสามารถสรุปได้ว่า แรงดันจากการขึ้นรูปชิ้นงานที่ระดับแรงดันเดียวกัน (Full Dwell Pressure) และที่แรงดัน 50% ของช่วงอัดแช่ (Half Dwell Pressure) ไม่มีผลต่อค่าการอัดของชิ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปร้อนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

จากขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อบกพร่องเพื่อพิสูจน์ว่าปัจจัยตัวใดเป็นสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้เกิดปัญหาชิ้นงานร้าว โดยส่งผลต่อค่าการอัดชิ้นงาน สามารถสรุปการทดสอบสมมติฐานของข้อบกพร่องทั้ง 5 ปัจจัย แสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบสมมุติฐานของข้อบกพร่องทั้ง 5 ปัจจัย

ลำดับ	สาเหตุ	สมมุติฐาน		ผลสมมุติฐาน
1	อุณหภูมิของการขึ้นรูปรีออน	$H_0: \mu_{140C} = \mu_{160C}$	อุณหภูมิของแม่พิมพ์ไม่มีผลต่อค่าการอัดตัว	ปฏิเสธ $H_0$
	(Tooling Die Temperature)	$H_1: \mu_{140C} \neq \mu_{160C}$	อุณหภูมิของแม่พิมพ์มีผลต่อค่าการอัดตัว	
2	ระยะเวลาการอัดตัวของเครื่องจักร	$H_0: \mu_{90S} = \mu_{130S}$	Dwell Time ไม่มีผลต่อค่าการอัดตัวของชิ้นงาน	ยอมรับ $H_0$
	(Dwell Time)	$H_1: \mu_{90S} \neq \mu_{130S}$	Dwell Time มีผลต่อค่าการอัดตัวของชิ้นงาน	
3	จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร	$H_0: \mu_{4B} = \mu_{7B}$	จำนวนการอัด-คายของชิ้นงานไม่มีผลต่อค่าการอัดตัว	ปฏิเสธ $H_0$
	(Number of Bump)	$H_1: \mu_{4B} \neq \mu_{7B}$	จำนวนการอัด-คายของชิ้นงานมีผลต่อค่าการอัดตัว	
4	ระยะของช่องว่างในการคายก๊าซ	$H_0: \mu_{1mm.} = \mu_{5mm.}$	ระยะช่องว่างการคายก๊าซไม่มีผลต่อค่าการอัดตัว	ปฏิเสธ $H_0$
	(Vent Distance Gap)	$H_1: \mu_{1mm.} \neq \mu_{5mm.}$	ระยะช่องว่างการคายก๊าซมีผลต่อค่าการอัดตัว	
5	ปัจจัยแรงดันในช่วงอัดตัว	$H_0: \mu_F = \mu_H$	ปัจจัย Dwell Pressure ไม่มีผลต่อค่าการอัดตัว	ยอมรับ $H_0$
	(Dwell Pressure)	$H_1: \mu_F \neq \mu_H$	ปัจจัย Dwell Pressure มีผลต่อค่าการอัดตัว	

จากผลการวิเคราะห์ข้อบกพร่องทั้ง 5 ปัจจัยดังตารางที่ 4.12 ทำให้ทราบว่าข้อบกพร่องที่มีผลต่อปัญหาและต้องทำการปรับปรุงคือ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Die Temperature) จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร (Number of Bump) และระยะของช่องว่างในการคายก๊าซ (Vent Distance Gap) ซึ่งในขั้นตอนต่อไปผู้ทำการวิจัยจะนำทั้ง 3 ข้อบกพร่องไปทำการปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

#### 4.6 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

##### 4.6.1 การออกแบบการทดลองแบบ $2^3$ Full Factorial

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการออกแบบ และทำการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรที่ตอบสนองของกระบวนการ กับปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนอง

ของกระบวนการ นั้นๆ และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยที่จะทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองของกระบวนการที่ดีที่สุด

จากการวิเคราะห์จากการทดลองวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อถ่วงน้ำหนักปัจจัยต่างๆ (Screening Factor) มีปัจจัยที่ต้องปรับปรุงคือ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Tooling Die Temperature) จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร (Number of Bump) และระยะของช่องว่างในการคายก๊าซ (Vent Distance Gap) โดยยังไม่ทราบค่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการดังนั้นผู้ทำการวิจัยจึงทำการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งมาจากการวิเคราะห์ร่วมกับฝ่ายผลิต และ โดยจากการอ้างอิงจากการวิเคราะห์ Paired T-Test ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 คุณลักษณะของปัจจัยป้อนเข้าในแบบการทดลอง

ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	Level		หน่วย
	1	2	
อุณหภูมิแม่พิมพ์	140	160	องศาเซลเซียส
จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร	4	7	ครั้ง
ระยะช่องว่างการคายก๊าซ	1	5	มิลลิเมตร

จากตารางที่ 4.13 เป็นคุณลักษณะของปัจจัยป้อนเข้าในแบบการทดลอง โดยมี 3 ปัจจัย ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ แบบการทดลองดังกล่าวจะใช้การทดลองแบบ  $2^k$  โดยการทดลองจะกำหนดค่าการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง เนื่องจากเป็นการออกแบบการทดลองเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงและเพื่อความแม่นยำในการทดสอบ ดังนั้นจึงเลือกทดลองแบบ  $2^k$  ได้แบบการทดลอง 16 การทดลอง จากนั้นได้ทำการทดลองซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลการทดลองแบบ  $2^3$  Full Factorial

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Temperature	Vent distance gap	Number of bump	Compression' K3 (micron)
1	5	1	1	140	1	4	71.0
2	8	1	1	160	1	4	75.3
3	4	1	1	140	5	4	85.5
4	6	1	1	160	5	4	87.7
5	15	1	1	140	1	7	96.4
6	3	1	1	160	1	7	99.9
7	16	1	1	140	5	7	109.7
8	12	1	1	160	5	7	114.9
9	14	1	1	140	1	4	71.6
10	7	1	1	160	1	4	75.8
11	10	1	1	140	5	4	86.0
12	2	1	1	160	5	4	88.3
13	13	1	1	140	1	7	96.5
14	9	1	1	160	1	7	98.6
15	1	1	1	140	5	7	110.3
16	11	1	1	160	5	7	115.5

จากตารางที่ 4.14 จะได้ผลการทดลองจำนวน 16 การทดลอง จากนั้นทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตอบสนองของกระบวนการกับปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองของกระบวนการนั้นๆ โดยผลการทดลองข้างต้นจะนำไปวิเคราะห์ความสัมพันธ์ร่วมของแต่ละปัจจัยโดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ [รายละเอียดดังภาคผนวก ค]

ผลการทดลองแบบ  $2^3$  Full Factorial โดยโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยเดียว และความแปรปรวนร่วมจากค่า P-Value ได้ผลลัพธ์ ดังรูปที่ 4.55 และได้ผลลัพธ์จากโปรแกรม Minitab ที่แสดงอยู่ในรูปของกราฟพาเรโต ดังรูปที่ 4.56



### Factorial Fit: K3 versus Temperature, Vent Distance Gap, Bump

Estimated Effects and Coefficients for K3 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		92.6875	0.1192	777.30	0.000
Temperature	3.6250	1.8125	0.1192	15.20	0.000
Vent Distance Gap	14.1000	7.0500	0.1192	59.12	0.000
Bump	25.0750	12.5375	0.1192	105.14	0.000
Temperature*Vent Distance Gap	0.1000	0.0500	0.1192	0.42	0.686
Temperature*Bump	0.3750	0.1875	0.1192	1.57	0.154
Vent Distance Gap*Bump	0.6500	0.3250	0.1192	2.73	0.026
Temperature*Vent Distance Gap*Bump	1.1000	0.5500	0.1192	4.61	0.002

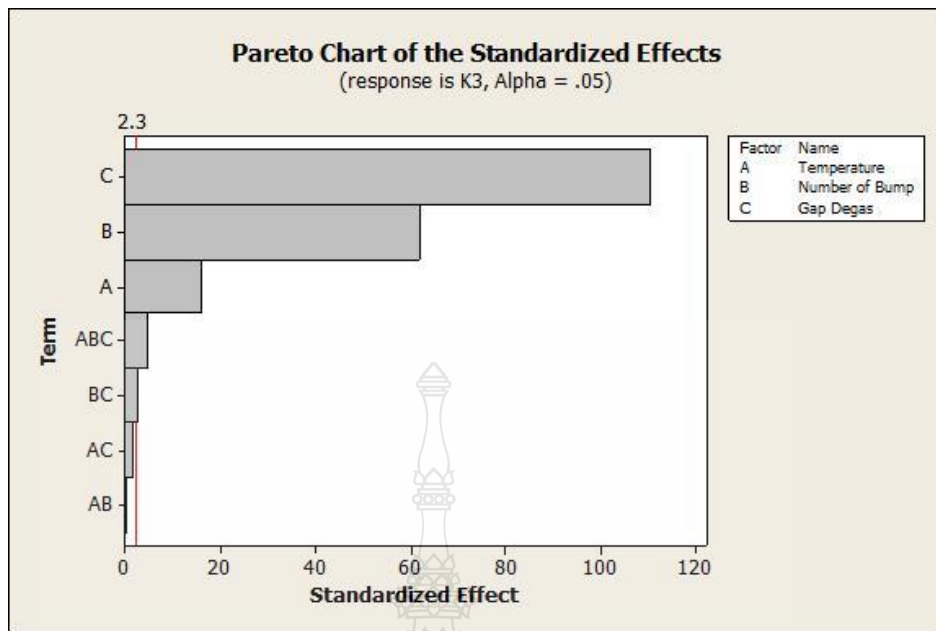
S = 0.476970 PRESS = 7.28  
R-Sq = 99.95% R-Sq(pred) = 99.78% R-Sq(adj) = 99.90%

#### รูปที่ 4.55 ผลการวิเคราะห์ค่า P-value ของ 2<sup>3</sup> Full Factorial โดยโปรแกรม Minitab

จากรูปที่ 4.56 สามารถทำการวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยเดียวของอุณหภูมิ มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ระยะช่องว่างการคายก๊าซ มีค่า P-Value เท่ากับ 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 สรุปได้ว่าทั้ง 3 ปัจจัย มีผลต่อค่าการอัดของชิ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปรีนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิ\*จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร มีค่า P-Value เท่ากับ 0.686 และอุณหภูมิ\*ระยะช่องว่างการคายก๊าซ มีค่า P-Value เท่ากับ 0.154 ซึ่งมากกว่า P-Value 0.05 สรุปได้ว่าไม่มีผลต่อค่าการอัดของชิ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปรีนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ปัจจัยร่วมระหว่าง จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร\*ระยะช่องว่างการคายก๊าซ มีค่า P-Value เท่ากับ 0.026 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 และ ปัจจัยร่วมระหว่างสามปัจจัย คือ อุณหภูมิ\*ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ\*จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร มีค่า P-Value เท่ากับ 0.002 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 สรุปได้ว่ามีผลต่อค่าการอัดของชิ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปรีนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



รูปที่ 4.56 พารेटอกราฟผลการวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อค่าแรงอัด

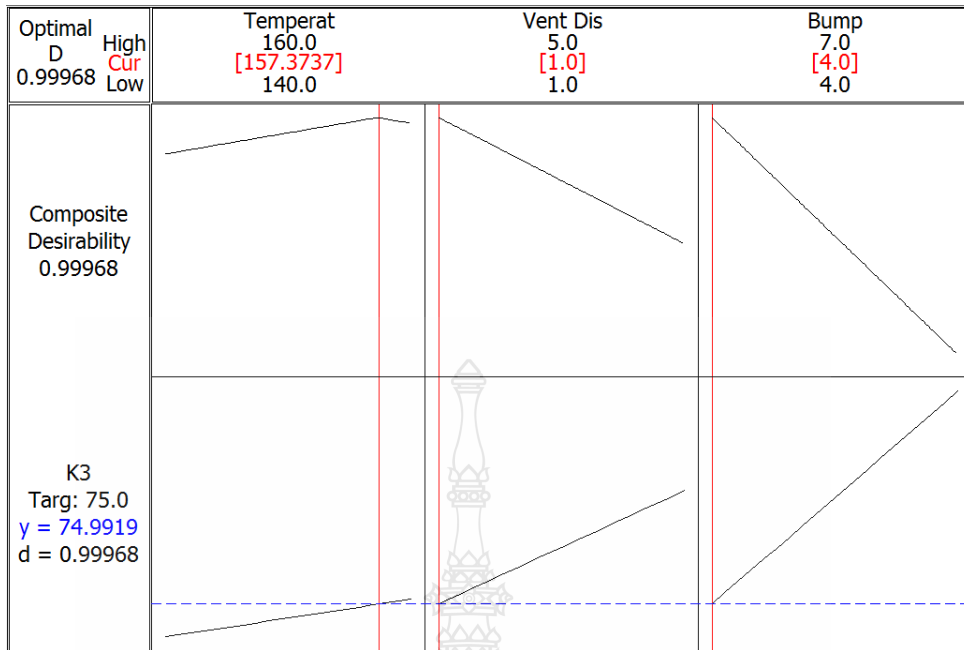
จากรูปที่ 4.56 พิจารณาแท่งกราฟพารेटอพบว่าปัจจัยหลักของอุณหภูมิ จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักรและระยะช่องว่างการคายก๊าซ มีผลต่อค่าการอัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

การวิเคราะห์กราฟปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย คือ จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร\*ระยะช่องว่างการคายก๊าซ มีผลต่อค่าการอัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

การวิเคราะห์กราฟปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ\*ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ\*จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร มีผลต่อค่าการอัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

ส่วนกราฟปัจจัยร่วมของอุณหภูมิ\*ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ อยู่ต่ำกว่าระดับเส้นสีแดง จึงไม่มีผลต่อค่าการอัดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 95%

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสม หรือ Response Optimizer เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุง โดยทำการป้อนปัจจัยหลักทั้ง 3 ปัจจัย ได้ผลลัพธ์จากโปรแกรม Minitab ที่แสดงอยู่ในรูปของกราฟ ดังรูปที่ 4.57



รูปที่ 4.57 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม Response Optimizer

จากรูปที่ 4.57 แสดงผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม Response Optimizer โดยโปรแกรม Minitab ทำให้ทราบแนวทางการปรับปรุงว่าควรมีการปรับค่าการทดลอง คือ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Die Temperature) ที่ 157 °C จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร (Number of Bump) ที่ 4 รอบ และ ระยะช่องว่างการคายก๊าซ (Vent Distance Gap) ที่ 1 mm สามารถทำให้ได้ค่าการอัด K3 ที่ต่ำลงและอยู่ในค่าที่ลูกค้ากำหนดที่สุดเมื่อทำการปรับปรุงแล้ว จากนั้นจะทำการควบคุมตัวแปรในขั้นตอนต่อไป

#### 4.6.2 การนำเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง

แนวทางการนำเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องของปัญหาที่มีความสำคัญและข้อบกพร่องที่ไม่มีความแตกต่างแต่ต้องทำการปรับปรุงให้ดีขึ้น สามารถอธิบายดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ผลการนำเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหาชิ้นงานร้าว ของกระบวนการขึ้นรูป  
ชิ้นงานรีออน (Cure Pressing)

แนวทางการปรับปรุง	จุดมุ่งหมาย	พิสูจน์ ชิกส์ ชิกมา
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ทำการปรับอุณหภูมิการขึ้นรูปให้สูงขึ้นจากเดิม จาก 150 °C เป็น 157 °C</li> <li>- เพิ่มขั้นตอนการสุ่มวัดอุณหภูมิจริงจากพื้นผิวของแม่พิมพ์ทุกครั้ง จากที่ทำการวัด 1 ครั้ง/shift เป็นทุกๆ 4 ชั่วโมง</li> </ul>	เพื่อแก้ไขปัญหาชิ้นงานค่าการอัด K3 สูงและลดปัญหาชิ้นงานร้าวให้ลดลง	ทำการทดสอบค่าการอัด K3 และตรวจเช็คจำนวนชิ้นงานร้าวหลังจากทำการปรับปรุง
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ทำการปรับตั้งค่าจำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร (Number of Bump) จากเดิม 5 รอบ โดยลดลงเหลือ 4 รอบ</li> <li>- ทำการปรับตั้งค่าเครื่องจักรโดยหัวหน้ากระบวนการผลิตและทำการบันทึกลงในเอกสารการ Manufacturing Operation Card ทุกครั้งที่เริ่มทำการผลิต</li> </ul>	เพื่อแก้ไขปัญหาชิ้นงานค่าการอัด K3 สูงและลดปัญหาชิ้นงานร้าวให้ลดลง	ทำการทดสอบค่าการอัด K3 และตรวจเช็คจำนวนชิ้นงานร้าวหลังจากทำการปรับปรุง
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ทำการปรับตั้งค่าระยะช่องว่างการคายก๊าซ (Vent Distance Gap) จากเดิม 2 mm. โดยลดลงเหลือ 1 mm.</li> <li>- ทำการปรับตั้งค่าเครื่องจักรโดยหัวหน้ากระบวนการผลิตและทำการบันทึก ลงในเอกสาร Manufacturing Operation Card ทุกครั้งที่เริ่มทำการผลิต</li> </ul>	เพื่อแก้ไขปัญหาชิ้นงานค่าการอัด K3 สูงและลดปัญหาชิ้นงานร้าวให้ลดลง	ทำการทดสอบค่าการอัด K3 และตรวจเช็คจำนวนชิ้นงานร้าวหลังจากทำการปรับปรุง

นำเสนอวิธีการปรับปรุง โดยการปรับตั้งอุณหภูมิการขึ้นรูปให้สูงขึ้นจากเดิม จาก 150 °C เป็น 157 °C ทำการปรับตั้งค่า จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร (Number of Bump) จากเดิม 5 รอบ (Bump) โดยลดลงเหลือ 4 รอบ (Bump) และทำการปรับค่าระยะช่องว่างการคายก๊าซ (Vent Distanc Gap) จากเดิม 2 mm เหลือ 1 mm ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงพบว่าไม่พบชิ้นงานร้าวเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งจากเดิมชิ้นงานจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.58 ที่ลักษณะของผ้าเบรคก่อนการปรับปรุง จะมีลักษณะคล้ายรอยร้าวที่ผิวของผ้าเบรคอยู่ทั่วไป



รูปที่ 4.58 ผิวของผ้าเบรค ก่อนการปรับปรุงชิ้นงานจะมีลักษณะรอยร้าวเล็กๆอยู่ทั่วไป

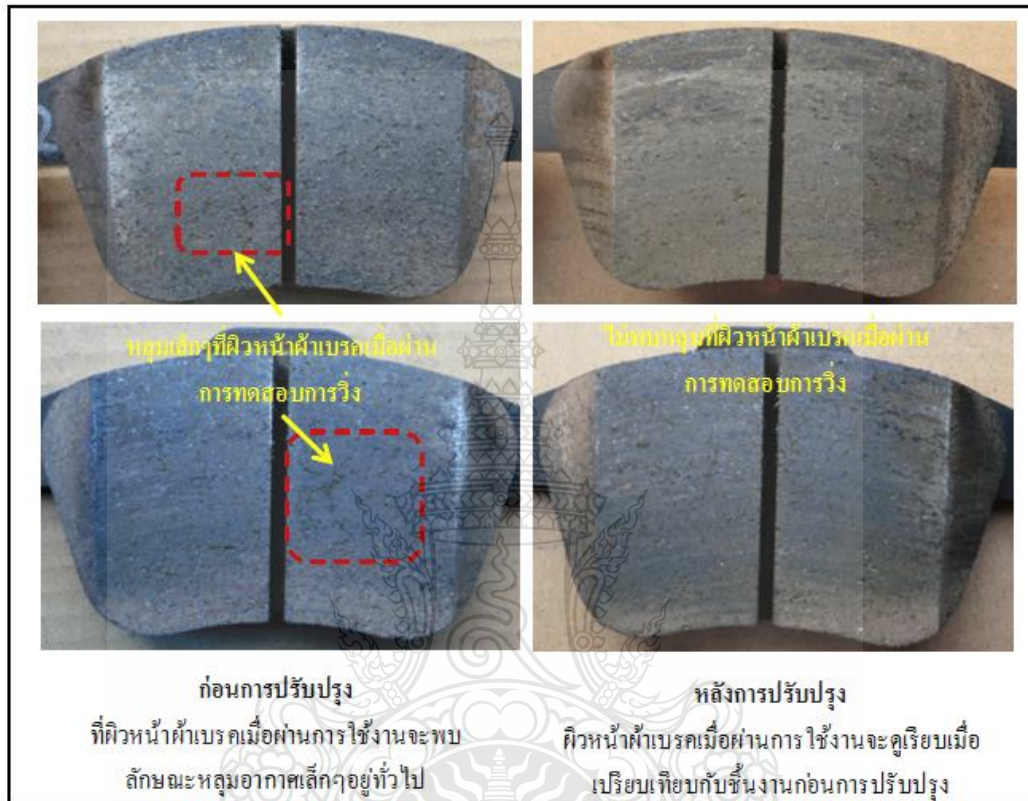
หลังจากทำการปรับปรุงพบว่าไม่มีรอยร้าวเกิดขึ้นที่ผิวผ้าเบรค และลักษณะพื้นผิวผ้าเบรคดูผิวมัน เรียบลื่น ดังรูปที่ 4.59



รูปที่ 4.59 ผิวของผ้าเบรคหลังการปรับปรุง ลักษณะผิวชิ้นงานจะเรียบมัน

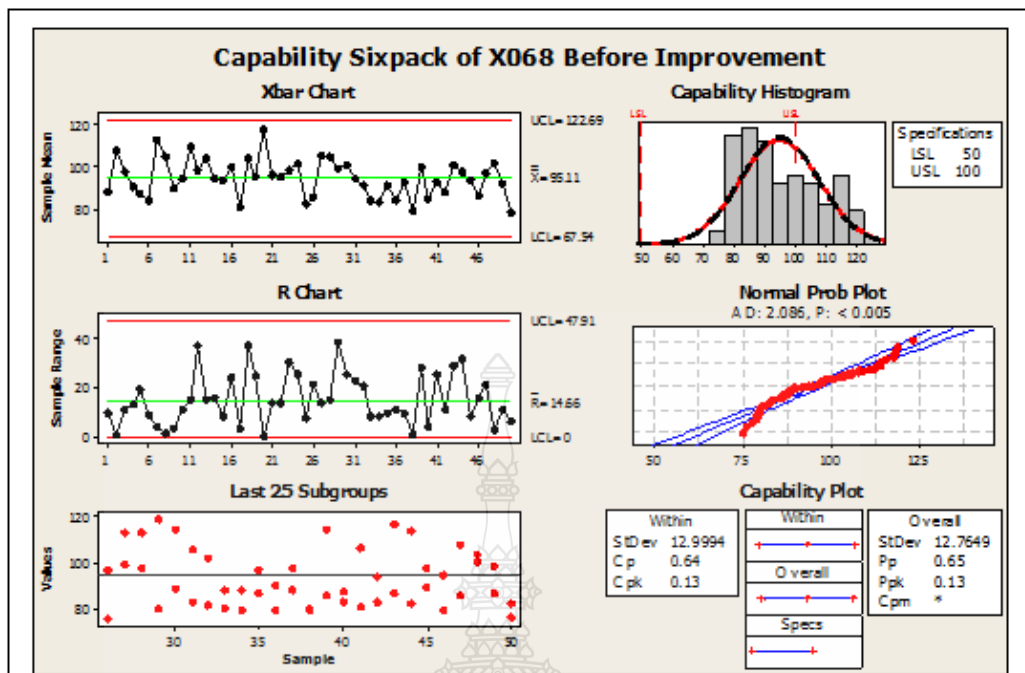


เมื่อทำการตรวจเช็คพื้นผิวหน้าผ้าเบรคหลังจากทำการทดสอบการใช้งาน พบว่า ก่อนการปรับปรุงลักษณะผิวผ้าเบรคจะมีลักษณะเหมือนมีหลุมอากาศหรือเป็นรูพรุนอยู่ทั่วหน้าผ้า และหลังจากทำการปรับปรุงพื้นผิวจะดูเรียบและไม่มีรูฟองอากาศ ดังรูปที่ 4.60

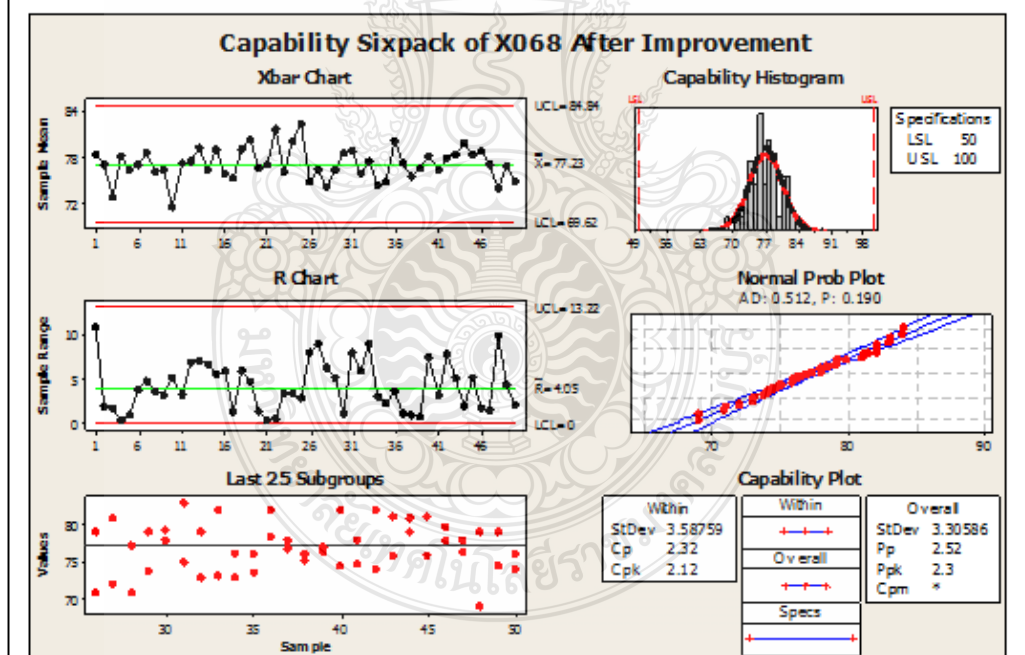


รูปที่ 4.60 ผิวหน้าของผ้าเบรคหลังการทดสอบการใช้งานก่อนและหลังการปรับปรุง

เมื่อทำการทดสอบ Capability Sixpact ของชิ้นงานเปรียบเทียบระหว่างก่อนปรับปรุง และหลังการปรับปรุง ได้ค่าการอัด ดังรูปที่ 4.61 จะพบว่าที่ก่อนการปรับปรุงค่าการอัด เฉลี่ยของ ชิ้นงานอยู่ที่ 95.11 ไมครอน และเมื่อหลังการปรับปรุงพบว่าได้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 77.23 ไมครอน จะเห็นได้ว่าลักษณะของค่าผลลัพธ์ที่ได้โดยรวมมีความเสถียร โดยสังเกตได้จากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของงาน หลังการปรับปรุงที่มีค่า Stdev Overall 3.30 ในขณะที่ก่อนการปรับปรุงมีค่า 12.76



## ก่อนการปรับปรุง



## หลังการปรับปรุง

รูปที่ 4.61 กราฟ Capability Sixpack of X068 ก่อนและหลังการดำเนินการปรับปรุง

จากนั้นทำการส่องชิ้นงานหลังการปรับปรุงมาทำการตัดกล้องจุลทรรศน์ (Spigot Hold) ของผ้าเบรค เพื่อส่องตรวจรอยร้าวภายในผิวผ้าเบรค ดังรูปที่ 4.62



รูปที่ 4.62 ส่องตรวจรอยร้าวภายในเนื้อผ้าเบรค ผลลัพธ์คือไม่พบรอยร้าวภายในเนื้อผ้าเบรค

ผลจากการส่องตรวจรอยร้าวภายในผิวผ้าเบรค พบว่าไม่พบลักษณะชิ้นงานที่มีรอยร้าว อยู่ภายในผิวผ้าเบรคอยู่เลย



#### 4.7 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

จากขั้นตอนของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการที่ผ่านมา ทำให้ทราบถึงปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อผลลัพธ์ของกระบวนการ และค่าระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม ซึ่งการควบคุมตัวแปรต่างๆ วัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่ได้จากขั้นตอนของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยการควบคุมจะอาศัยคู่มือการปฏิบัติงาน (Work Instruction: WI) และเทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 4.7.1 การควบคุมอุณหภูมิของการขึ้นรูปรีออน (Tooling Surface Temperature)

1. หลังจากที่ได้ดำเนินการปรับปรุงเป็นที่แล้วเสร็จทางทีมงานในส่วนของฝ่ายผลิตได้มีการแก้ไขเอกสารมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Standard Operation Procedure: SOP) และมีการแจ้งให้ส่วนงานที่เกี่ยวข้องรับทราบ เพื่อใช้เป็นเอกสารอ้างอิงในการแก้ไขเอกสารการผลิตอื่นๆ ดังรูปที่ 4.63

มาตรฐานการปฏิบัติงาน				FPT	Issued By: Apichart	Prepared By: Apichart	Approved By: Wiwat
กระบวนการ : CURE PRESSING (การอัดด้วยแม่พิมพ์รีออน)							
สำหรับผลิตภัณฑ์ :		Machine		วันที่	เปลี่ยนแปลงแก้ไข	แก้ไขโดย	ผู้อนุมัติ
PF2 16" ( B746-1191 )		Coresteel-160 cure pressing		6/8/2010	จัดทำเอกสารใหม่	อภิชาติ แยมโฆษ	วิวัฒน์ ศรีชมภู
หัวข้อปฏิบัติงาน		ผู้รับผิดชอบ / ความถี่ในการตรวจสอบ		Main Material : X068 Underlayer : MX003			
		พนักงาน	หัวหน้างาน	Operation Condition (ชื่อตำแหน่งการปฏิบัติงาน)		Control	
		กะละครั้ง	-	Item (รายการ)	Spec. (มาตรฐาน)	Frequency (ความถี่)	Record (บันทึก)
1	ต้องมั่นใจว่าหมายเลขชิ้นส่วน และเครื่องหมายบน Back Plate ถูกต้อง	กะละครั้ง	-	1	อุณหภูมิแม่พิมพ์	157±5°C	2 ครั้ง/กะ , วัด 3 จุด QC Chart
2	ต้องมั่นใจว่าเครื่อง Press อยู่ในสภาพดีโดยตรวจสอบตามใบตรวจเช็คเครื่องจักร	ก่อนเริ่มปฏิบัติ งานในกะแรก	-	2	การอัดครั้งที่ 1	10.0 วินาที	กะละครั้ง (ก่อนเริ่มปฏิบัติงาน) MOC
3	ต้องมั่นใจว่าเวลา อุณหภูมิและความดันได้ตั้งไว้ถูกต้อง แล้วบันทึกในใบสั่งผลิต	วันละครั้ง	วันละครั้งไม่		ใส่ Gas ครั้งที่ 1	10.0 วินาที	(ก่อนเริ่มปฏิบัติงาน) MOC
4	เริ่มต้นปฏิบัติงาน	ทุกขั้นตอน			จำนวนครั้งการอัด	4 ครั้ง	
	*ต้องแน่ใจว่าแผ่นเหล็กที่เคลือบกาวยังใช้งานได้				การอัดครั้งสุดท้าย	110.0 วินาที	
	ปกติแล้วจะใช้ภายใน 15 วันหลังเคลือบกาว				รอบเวลา	190 วินาที	
	*วางชิ้นงานที่อัดขึ้นรูปแล้วในแต่ละ Cavity ซึ่งมีทั้งหมด 4 Cavity ภายใน 1 นาที				Vent distance gap	1 mm.	
	*นำ Back Plate ด้านที่เคลือบกาววางบน Cavity			3	ความดัน Setup	8 tons	2 ครั้ง / กะ MOC
	*กดปุ่ม Start				การอัดและ ไล่ Gas	8 tons	(ก่อนเริ่มปฏิบัติงาน)
	*ถ้า Press เกิดหยุด เนื่องจากเหตุผิดปกติระหว่าง				การอัดครั้งสุดท้าย	8 tons	(ก่อนเริ่มปฏิบัติงาน)
	การอัดชิ้นงาน ให้ทำการแจ้งส่วนงานซ่อมบำรุง			4	ความหนา	18.6 ± 0.30 mm.	2 ครั้ง / กะ , 4 ชิ้น วัด 3 จุด MOC
	และนำชิ้นงานทั้งหมดจากแม่พิมพ์ที่ทิ้งใส่ตะกร้า Reject						(ก่อนเริ่มปฏิบัติงาน)
	บันทึกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแล้วติดต่อหัวหน้างานทันที			5	รูปลักษณะ	ไม่มีส่วนเกินของเนื้อ	ตรวจสอบทั้งหมดด้วย
						ผ้าเบรก ไม่แตกฉาว	สายตา
						ชิ้นงานเรียบร้อย	

รูปที่ 4.63 เอกสารมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Standard Operation Procedure)

2. การควบคุมกระบวนการผลิตมีการออกคำสั่งการผลิตโดยใช้เอกสารการผลิต (Manufacturing Operation Card: MOC) ซึ่งมีซูเปอร์ไวเซอร์เป็นผู้จัดเตรียมเอกสารสำหรับการผลิต ดังรูปที่ 4.64

MANUFACTURING OPERATION CARD CORSTEEL(TQ)														
REFERENCE	FQT1323			FORMULATION	X068/ MX003			BATCH NO.	TQ10112325					
CUSTOMER	AUSTRALIA			ORDER NO.	20101220			PLAN TO PRD.	200	SETS.	START DATE	11/27/2010		
<b>Degreasing</b>				<b>Shot Blasting</b>				<b>Adhesive Coating</b>						
Washing Solution				Steel Grit Size				Type						
HENKEL T5175				SAB G 40				62W & Liq-Resin						
Washing Temp.				Shot Cycle				Cycle						
70 ± 10 °C				30 ± 5 Min.				20 - 30 Min.						
<b>Preform</b>	Underlayer Weight	29 g		Matrial Weight	159 g									
<b>Press Cure</b>	Pressure	8/8 tons		Mold die temp	152 - 162 °C			Top Plate Tem	152 - 162 °C					
<b>CYCLE TIME</b>														
NO	PRESS CYCLE TIME	Pressure (Bar) LEFT	Pressure (Bar) RIGHT	UPT OPN DIST	HOLD OPN TIME	DEGAS TIME	NO	PRESS CYCLE TIME	Pressure (Bar) LEFT	Pressure (Bar) RIGHT	UPT OPN DIST	HOLD OPN TIME	DEGAS TIME	
1	10	8	8	10	10	1	5	110	8	8	0	0	0	
2	10	8	8	10	10	1	6	0	N/A	N/A	0	0	0	
3	10	8	8	10	10	1	7	0	N/A	N/A	0	0	0	
4	10	8	8	10	10	1	8	0	N/A	N/A	0	0	0	
VENT UPPER PLATEN = 1 VALUV =										1				
VENT UPPER PLATEN TIME										1				
Thickness	18.7			mm. Max.	18.3			mm. Min.	Green Density	2.30-2.35			gms./Sq.Cm.	

รูปที่ 4.64 ตัวอย่างเอกสารการผลิต (Manufacturing Operation Card)

3. การควบคุมการผลิตหน้างานจะเป็นหน้าที่ของหัวหน้ากระบวนการผลิตขึ้นรูปร้อน เป็นผู้ปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องทุกครั้งเริ่มต้นกระบวนการผลิต ดังรูปที่ 4.65 และจากนั้นทำการตรวจเช็คอุณหภูมิที่พื้นผิวแม่พิมพ์ ด้วยเครื่องเทอร์โมคัปเปิ้ล (Thermo Couple) ดังรูปที่ 4.66 และทำการบันทึกค่าที่อ่านได้ในแบบฟอร์ม Manufacturing Operation Card ดังรูปที่ 4.67



รูปที่ 4.65 การปรับตั้งอุณหภูมิและพารามิเตอร์ที่เครื่องขึ้นรูปรีออน

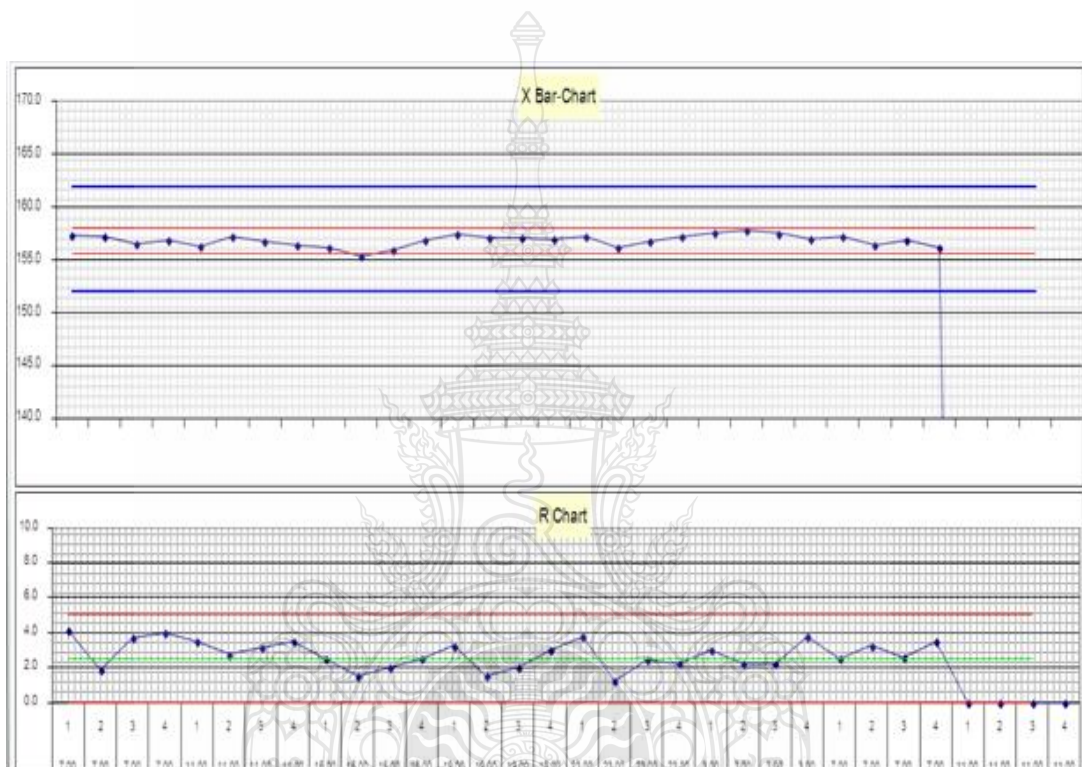


รูปที่ 4.66 การใช้เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิผิว (Thermo Couple) ในการตรวจวัดอุณหภูมิ

MANUFACTURING OPERATION CARD														
REFERENCE	PF216		FORMULATION	XD687HX003		BATCH NO.	20101120							
QTY	200 SETS		Checked By	QA Inspector		Approved By	QC & QA Supervisor							
Back Plate lot.	101015		Steel Chit Lot.	100623 E		Chband2W lot.	100815C		Resin KC-6350 lot.					
Degreasing			Shot Blasting			Adhesive Spraying			Ready Mixed					
Solution	Wash Temp (°C)	Rinse Temp (°C)	Grit No.	Cycle Time (Min)	Type	Batch No.	Dryng Temp (°C)	Dryng Time (Min)	Formulation	Batch no.	Expansion	Dry		
Henker	60	60	L13	3	62W	20101120	100	3	Resin mix	20101120	20101120			
Op.	ชัชชัยสิทธิ์		Op.	อริศ ใจดี		Op.	สุนทร		Injection	20101110	20101130			
Pre-Forming			Press Curing				C.F.L. Temp. & Speed Setting							
Pre-Forming No.			Press-Curing No.	10		Pressure	8/8		Op.	ธีรฉัตร		CFL Line No.	Op.	
Pressure Actual			TP-R	P-R	D-R	TP-L	P-L	D-L	Zone 1	Zone 2	Zone 3	Zone 4	RPM/Min	
	Bar		1	157.3	158.2	156.9	159.7	159.1	160.2	-	-	-	-	
Op.			2	157.1	157.9	156.2	157.1	158.3	161.3	-	-	-	-	

รูปที่ 4.67 หน้าจอไลน์ผลิตขึ้นรูปรีออนทำการจดบันทึกค่าที่อ่านได้ลงในเอกสาร MOC

4. พนักงานฝ่ายคุณภาพ จะเป็นผู้ที่ทำหน้าที่สุ่มเช็คอุณหภูมิของแม่พิมพ์ โดยใช้เครื่องวัดเทอร์โมคัปเปอ์ (Thermo Coupler) วัดบนผิวแม่พิมพ์ โดยจะต้องทำการวัดทุกๆ 4 ชั่วโมง ในขณะที่ทำการผลิตโมเดลนี้ จากนั้นทำการจดบันทึกลงในเอกสารการตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature Checking Record) และนอกจากนั้นแล้วจะต้องทำการแจ้งหัวหน้าไลน์การผลิต ในกรณีเมื่อค่าที่วัดได้ออกนอกค่าที่ควบคุม และหัวหน้างานคุณภาพจะต้องนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ในรูปแบบ  $\bar{X}-R$  Chart ในกรณีที่เกิดความผิดปกติขึ้นในไลน์การผลิต ดังรูปที่ 4.68



รูปที่ 4.68 แผนภูมิควบคุม  $\bar{X}-R$  สำหรับค่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ที่วัดได้

จากภาพที่ 4.68 แผนภูมิควบคุม  $\bar{X}-R$  สำหรับค่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ พบว่ามีค่าความสูงของอุณหภูมิออกนอกช่วงการควบคุมของค่าเฉลี่ย (Mean) แต่อยู่ในช่วงของค่าความสูงที่ทำการควบคุมคือ  $157 \pm 5$  เซลเซียส ซึ่งจะส่งผลต่อการเกิดปัญหาชิ้นงานร้าวเพิ่มขึ้น

4.7.2 จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร (Number of Bump) และการคายก๊าซ (Vent Distance Gap)

การควบคุมในสองขั้นตอนนี้จะใช้การเฝ้าระวัง โดยเป็นหน้าที่ของหัวหน้ากระบวนการผลิต ที่จะต้องทำการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์และทำการจดบันทึกลงในเอกสารการผลิต (Manufacturing Operation Card: MOC) ทุกครั้งที่เริ่มทำการผลิต

4.7.3 ผลการเก็บข้อมูลหลังทำการควบคุมข้อบกพร่อง

จากวัตถุประสงค์ในการทำการวิจัยฉบับนี้ คือ เพื่อลดปัญหาชิ้นงานร้าวที่เกิดขึ้นของโมเดล X068 โดยประยุกต์ใช้วิธีการ ดีเอ็มเอไอซี (DMAIC) ของซิกส์ ซิกมา ซึ่งหลังจากการดำเนินงานแก้ไขปัญหาดังกล่าวแล้ว ผู้วิจัยทำการนำเสนอผลการเก็บข้อมูลใหม่หลังการปรับปรุง เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการเกิดปัญหาชิ้นงานร้าว ก่อนและหลังจากทำการปรับปรุงรวมถึงทำการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.16

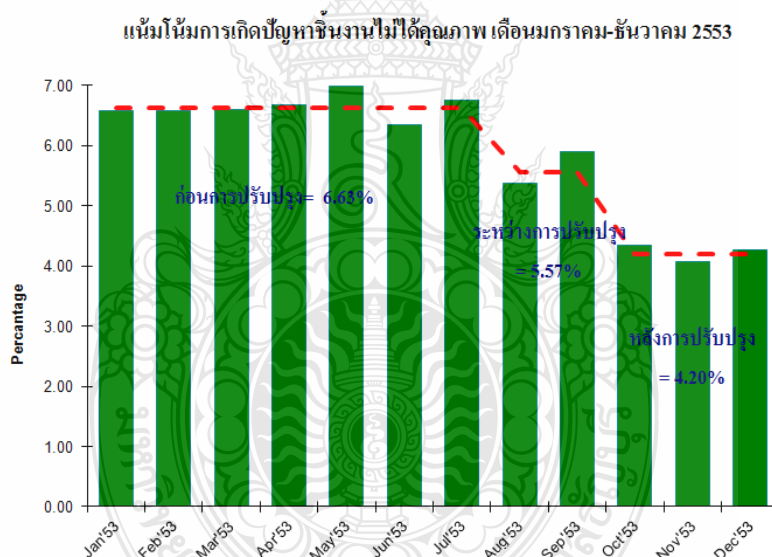




ตารางที่ 4.16 ปัญหาหลัก 7 อันดับในกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ ของโมเดล X068 เดือนมกราคม-ธันวาคม พ.ศ. 2553

Month	Before Improvement							Sum	Between		Sum	After Improvement			sum
	Jan' 2010	Feb' 2010	Mar' 2010	Apr' 2010	May' 2010	Jun' 2010	Jul' 2010		Aug' 2010	Sep' 2010		Oct' 2010	Nov' 2010	Dec' 2010	
Mass Pro.	8,436	18,472	14,684	14,328	17,584	19,960	9,964	103,428	19,504	11,044	30,548	11,456	22,920	18,324	52,700
NG	556	1,216	969	958	1,228	1,268	673	6,868	1,049	652	1,701	498	932	781	2,211
Good	7,880	17,256	13,715	13,370	16,356	18,692	9,291	96,560	18,455	10,392	28,847	10,958	21,988	17,543	50,489
%Defect	6.59	6.58	6.60	6.69	6.98	6.35	6.75	6.63	5.38	5.90	5.57	4.35	4.07	4.26	4.20
PPM	65,908.01	65,829.36	65,990.19	66,862.09	69,836.21	63,527.05	67,543.16	66,499.44	53,783.84	59,036.58	56,410.21	43,470.67	40,663.18	42,621.70	42,251.85
Crack	436	859	482	562	509	1,043	255	4,146	502	390	892	224	383	275	882
%Crack	5.17	4.65	3.28	3.92	2.89	5.23	2.56	4.01	2.57	3.53	2.92	1.96	1.67	1.50	1.67
PPM	51,683.26	46,502.82	32,824.84	39,223.90	28,946.77	52,254.51	25,592.13	39,575.46	25,738.31	35,313.29	30,525.80	19,553.07	16,710.30	15,007.64	17,090.34
Slip	102	191	185	238	293	114	175	1,298	281	109	390	169	238	193	600
%Defect	1.21	1.03	1.26	1.66	1.67	0.57	1.76	1.25	1.44	0.99	1.28	1.48	1.04	1.05	1.14
PPM	12,091.04	10,339.97	12,598.75	16,610.83	16,662.88	5,711.42	17,563.23	13,082.59	14,407.30	9,869.61	12,138.46	14,752.09	10,383.94	10,532.63	11,889.56
Not Full	13	119	126	133	233	40	230	894	192	82	274	56	131	139	326
%Defect	0.15	0.64	0.86	0.93	1.33	0.20	2.31	0.86	0.98	0.74	0.90	0.49	0.57	0.76	0.62
PPM	1,541.01	6,442.18	8,580.77	9,282.52	13,250.68	2,004.01	23,083.10	9,169.18	9,844.13	7,424.85	8,634.49	4,888.27	5,715.53	7,585.68	6,063.16
Clip	3	20	61	18	52	35	8	197	23	24	47	10	49	85	144
%Defect	0.04	0.11	0.42	0.13	0.30	0.18	0.08	0.19	0.12	0.22	0.15	0.09	0.21	0.46	0.27
PPM	355.62	1,082.72	4,154.18	1,256.28	2,957.23	1,753.51	802.89	1,766.06	1,179.25	2,173.13	1,676.19	872.91	2,137.87	4,638.73	2,549.83
M/C	2	17	59	7	56	25	2	168	28	21	49	19	62	30	111
%Defect	0.02	0.09	0.40	0.05	0.32	0.13	0.02	0.16	0.14	0.19	0.16	0.17	0.27	0.16	0.21
PPM	237.08	920.31	4,017.98	488.55	3,184.71	1,252.51	200.72	1,471.69	1,435.60	1,901.48	1,668.54	1,658.52	2,705.06	1,637.20	2,000.26
Color	0	8	36	0	49	11	2	106	15	15	30	20	53	36	109
%Defect	0.00	0.04	0.25	0.00	0.28	0.06	0.02	0.10	0.08	0.14	0.10	0.17	0.23	0.20	0.21
PPM	0.00	433.09	2,451.65	0.00	2,786.62	551.10	200.72	917.60	769.07	1,358.20	1,063.64	1,745.81	2,312.39	1,964.64	2,007.61
Unset	0	2	20	0	36	0	1	59	8	11	19	0	16	23	39
%Defect	0.00	0.01	0.14	0.00	0.20	0.00	0.01	0.06	0.04	0.10	0.06	0.00	0.07	0.13	0.07
PPM	0.00	108.27	1,362.03	0.00	2,047.32	0.00	100.36	516.85	410.17	996.02	703.09	0.00	698.08	1,255.18	651.09

จากตารางที่ 4.16 พบว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลสถิติของปัญหาชิ้นงานไม่ได้คุณภาพก่อนการดำเนินการแก้ไขปัญหาช่วงเดือนมกราคม- เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2553 พบว่ามีค่าของงานที่ไม่ได้คุณภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 6.63% หรือ 66,499.44 PPM ซึ่งผลการดำเนินงานแก้ไขและปรับปรุงปัญหาสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรกจะเป็นการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งพบปัญหาชิ้นงานไม่ได้คุณภาพ 6.63% ช่วงดำเนินการปรับปรุงในช่วงเดือนสิงหาคม-กันยายน พ.ศ. 2553 พบว่ามีค่าของงานไม่ได้คุณภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 5.57% หรือ 56,410.21 PPM โดยช่วงนี้มีการลดลงของปัญหาอยู่ที่ 15.99% และช่วงที่ 3 จะเป็นผลหลังจากการทำการควบคุมปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาช่วง เดือนตุลาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2553 พบว่ามีค่าชิ้นงานไม่ได้คุณภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 4.20% หรือ 42,451.85 PPM มีการลดลงของปัญหาอยู่ที่ 24.60% ซึ่งสรุปผลสามารถลดปัญหาชิ้นงานไม่ได้คุณภาพได้ตามเป้าหมายที่วางเอาไว้ 36.65% และสามารถแสดงเป็นกราฟแนวโน้มการเกิดปัญหาชิ้นงานไม่ได้คุณภาพก่อนและหลังการปรับปรุง ดังรูปที่ 4.69

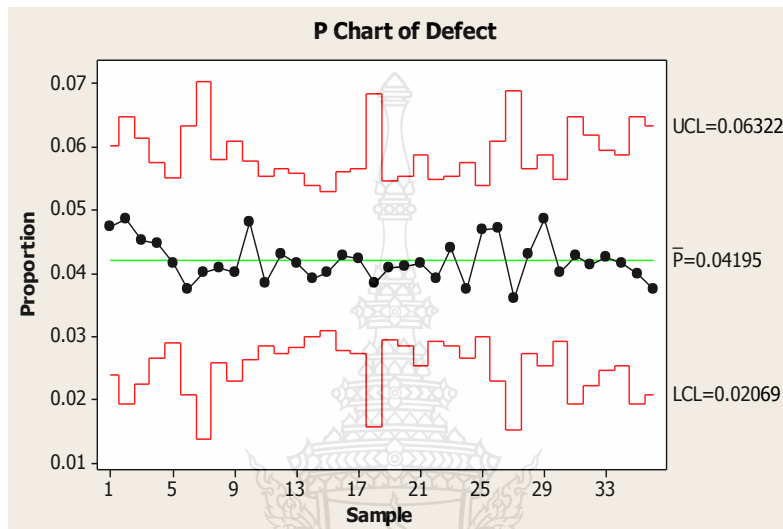


รูปที่ 4.69 สรุปผลการดำเนินการแก้ไขปัญหาชิ้นงานไม่ได้คุณภาพก่อนและหลังการปรับปรุง  
โมเดล X068

จากรูปที่ 4.69 ผลการเก็บข้อมูลพบว่า หลังการปรับปรุงพบปัญหาชิ้นงานร้าวลดลงและมีความสม่ำเสมอ นั่นแสดงว่าผู้ทำการวิจัยสามารถแก้ไขปัญหาชิ้นงานร้าวของโมเดล X068 ในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานร้อนของการผลิตผ้าเบรครถยนต์ และสามารถปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการ ได้เป้าหมายบรรลุตามที่วางไว้

#### 4.7.4 ความสามารถทางกระบวนการหลังการปรับปรุง

จากข้อมูลสถิติของเสียที่เกิดขึ้นช่วงที่สอง หลังจากการทำการควบคุมปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาช่วง เดือนตุลาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2553 สามารถนำมาเขียนแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-Chart) ได้ดังรูปที่ 4.70



รูปที่ 4.70 แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-Chart) ช่วง เดือนตุลาคม – ธันวาคม พ.ศ. 2553

จากรูปที่ 4.70 ได้ค่า P เท่ากับ 0.04195 โดยในการประเมินความสามารถด้านศักยภาพจะถือว่ากระบวนการมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ค่ากลางของพิสัยข้อกำหนดเฉพาะจึงสามารถทำการเทียบเคียงด้วยการให้ค่าสัดส่วนของเสียเท่ากันที่แต่ละด้านของการแจกแจง ซึ่งในที่นี้จะเท่ากับ 0.020975 และค่าที่ได้หลังจากทำการเปิดหาค่า  $Z_{Bench}$  จากตารางการแจกแจงแบบปกติมาตรฐานจะได้ค่า  $Z_{Bench}$  เท่ากับ 2.034

จากสูตร ดัชนีความสามารถเชิงศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ดังสมการที่ 2.8

$$P_{pBench} = \frac{1}{3} Z_{Bench}$$

แทนค่า

$$P_{pBench} = \frac{1}{3}(2.034)$$

$$= 0.678$$



เมื่อทำการพิจารณาคັชนี้ศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ( $P_{pk\ Bench}$ ) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.678 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.33 สรุปผลการศึกษาแสดงว่าความสามารถของกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานร้อนมีความผันแปรสูงและมีความมั่นคงน้อย ไม่อยู่ในระดับมาตรฐานแต่เมื่อเปรียบเทียบคັชนี้ศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ก่อนดำเนินงานแก้ไขปัญหาดังกล่าว ด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า พบว่า คັชนี้ศักยภาพของกระบวนการระยะยาวมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม ดังตารางที่ 4.17 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ความสามารถของกระบวนการผลิตผ้าเบรคนั้นมีความผันแปรของกระบวนการลดลง และความมั่นคงเพิ่มขึ้นจากเดิม

จากสูตร อัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ดังสมการที่ 2.9

$$P_{RBench} = \frac{1}{P_{PBench}}$$

แทนค่า

$$P_{RBench} = \frac{1}{0.678}$$

$$= 1.475$$

เมื่อทำการพิจารณาอัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ( $P_{RBench}$ ) พบว่า มีค่าเท่ากับ 1.476 ซึ่งจะมีค่ามากกว่า 0.88 แสดงว่ามีความผันแปรจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ในการดำเนินการระยะยาว (หรือผลจากการออกแบบกระบวนการ) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะยาวก่อนดำเนินงานแก้ไขปัญหาดังกล่าว ด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า พบว่า อัตราส่วนความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะยาวมีค่าลดลงจากเดิม ดังตารางที่ 4.17 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า หลังทำการปรับปรุงกระบวนการแล้วสามารถลดความผันแปรจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ในการดำเนินการระยะยาวได้

จากสูตร คັชนี้ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว ดังสมการที่ 2-10

$$P_{pkBench} = \frac{1}{3} Z_{Bench}$$

แทนค่า

$$P_{pkBench} = \frac{1}{3}(1.728)$$

$$= 0.576$$

เมื่อทำการพิจารณาคັชนี้ศักยภาพของกระบวนการระยะยาว ( $P_{pk\ Bench}$ ) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.576 ซึ่งน้อยกว่า 1.33 แสดงว่ามีการเลื่อนไปจากค่ากลางของข้อกำหนดเฉพาะของตำแหน่ง

กระบวนการมีความผันแปรอยู่ เมื่อเปรียบเทียบดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะยาว ก่อนการดำเนินงานแก้ไขปัญหาดังกล่าว ด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า พบว่า ดัชนีศักยภาพของกระบวนการระยะยาวมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม ดังตารางที่ 4.17 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหลังทำการปรับปรุงกระบวนการสามารถลดความผันแปรของกระบวนการได้

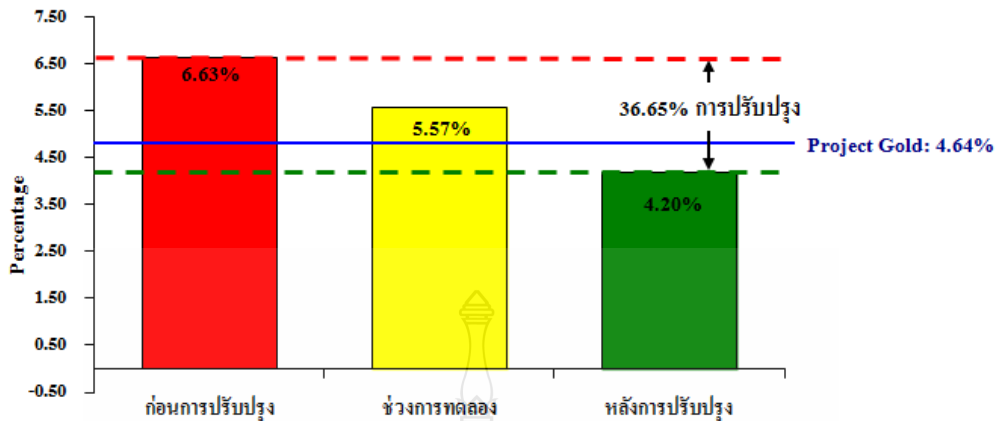
ตารางที่ 4.17 การเปรียบเทียบดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ ก่อน-หลัง การปรับปรุง

	$P_p$ Bench	$P_R$ Bench	$P_{pk}$ Bench
ค่ามาตรฐาน	มากกว่า 1.33	น้อยกว่า 0.88	มากกว่า 1.33
ค่าที่คำนวณได้ (ก่อนการปรับปรุง)	0.648	1.543	0.544
ค่าที่คำนวณได้ (หลังการปรับปรุง)	0.678	1.475	0.576

#### 4.8 บทสรุปการดำเนินงาน

จากการดำเนินวิจัยในบทที่ 4 เป็นการแสดงให้เห็นถึงผลการดำเนินการวิจัยทั้งหมดในการดำเนินงานแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยแนวทาง ดีเอ็มเอไอซี (DMAIC) ของซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก คือ การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase) การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) และการควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase) ซึ่งผลจากการดำเนินงานแก้ไขปัญหาดังกล่าวสามารถที่จะลดปริมาณการเกิดของเสียจากค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนเท่ากับ 6.63% เหลือ 4.20% และสามารถลดมูลค่าความสูญเสียเฉลี่ยจาก 53,365 บาทต่อเดือน เหลือ 26,489 บาทต่อเดือน ซึ่งบรรลุเป้าหมายของบริษัทที่วางไว้ ดังรูปที่ 4.71

### สรุปผลการดำเนินงานหลังการแก้ไข



รูปที่ 4.71 ค่าชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตที่ลดลง 36.65%

#### 4.9 ดำเนินงานการปรับปรุงในส่วนอื่นๆ และการตรวจติดตาม

จากนั้นทางผู้วิจัยและทีมงานได้ดำเนินการปรับปรุงในหัวข้ออื่นๆ เพื่อเป็นการลดต้นทุนทางด้านการผลิต ซึ่งหัวข้อที่ได้ดำเนินการปรับปรุงเพิ่มขึ้น คือ ปัญหาชิ้นงานเลื่อน (Slip) ปัญหาชิ้นงานบิ่น (Clip) และปัญหาชิ้นงานชิมไม่เต็มรูป (Pocket Not Full) ส่วนปัญหาอื่นๆ คือ ชิ้นงานเสียจากเครื่องจักร (Damage from Machine) จุดสารเคมีบนผิวผ้าเบรค (Spot or Color on Friction Surface) และชิ้นงานไม่ครบชุด (Unset) ไม่สามารถดำเนินการแก้ไขปัญญาให้ถาวรได้ เนื่องจากเป็นปัญหา ที่เกิดจากเครื่องจักรที่ชำรุด หรือบางกรณีเกิดขึ้นไม่บ่อยครั้ง โดยแนวทางการแก้ไขสามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 4.18

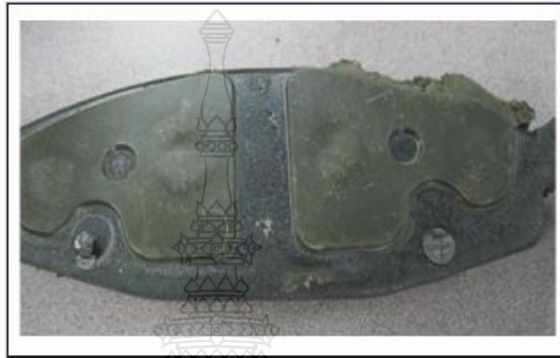
ตารางที่ 4.18 การนำเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหาชิ้นงานเสียจากกระบวนการอื่นๆ

ปัญหาและแนวทางการปรับปรุง	จุดมุ่งหมาย	พิธีจูน ชิกส์ ชิกมา
<p>1. ปัญหาชิ้นงานเลื่อน (Slip) ในรุ่น IMI โดยส่วนใหญ่เกิดจากการปรับแต่งแม่พิมพ์ขึ้นรูปร้อนได้ไม่ตรงจุดตามแบบที่กำหนด และบางกรณีเกิดจากการขยับตัวของแม่พิมพ์ในกรณีเครื่องจักรหรือแม่พิมพ์ผ่านการใช้งานมานาน</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ทำการตรวจเช็คชิ้นงานชิ้นแรก (First Piece) โดยเช็คความชิมของชิ้นงานจากกระบวนการขึ้นรูปร้อนมีลักษณะตรงตามแบบที่ได้กำหนดไว้</li> <li>- ทำการติดเอกสารงานตัวอย่าง (Limit Sample) ที่หน้างานเพื่อเป็นการย้ำเตือนให้พนักงานช่วยดำเนินการตรวจเช็ค</li> </ul>	<p>เพื่อแก้ไขปัญหาชิ้นงานที่ชิมไม่ได้มาตรฐานตามแบบกำหนด</p>	<p>ตรวจเช็คจำนวนชิ้นงานเลื่อนหลังจากทำการปรับปรุง</p>
<p>2. ปัญหาชิ้นงานบิ่น (Clip) โดยส่วนใหญ่ชิ้นงานเกิดจากการกระทบกับวัตถุแข็ง หรือกระทบกับโต๊ะหรือสายพานลำเลียงซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาชิ้นงานบิ่นได้</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ทำการเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ทำสายพานลำเลียงและโต๊ะจากวัสดุแข็งมาเป็นพลาสติกหรือยาง</li> </ul>	<p>เพื่อแก้ไขปัญหาชิ้นงานบิ่นและลดจำนวนงานเสียให้ลดน้อยลง</p>	<p>ตรวจเช็คจำนวนชิ้นงานบิ่นหลังจากทำการปรับปรุง</p>
<p>3. ชิมไม่เต็มรูป (Pocket Not Full) ในรุ่น IMI เกิดจากปัญหาการเกลี่ยผงรองพื้นผ้าเบรคใน ไม่ได้ระนาบ หรือเกิดจากปัญหาการใส่ผงรองพื้นผ้าเบรคในปริมาณที่น้อยจนเกินไป</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ทำการจัดทำอุปกรณ์เสริมช่วยในการทำงาน</li> <li>- ทำการเพิ่มปริมาณของผงรองพื้นผ้าเบรคขึ้น 20% เพื่อลดปัญหาที่เกิดจากชิมไม่เต็มรูป</li> </ul>	<p>เพื่อแก้ไขปัญหาชิ้นงานชิมไม่เต็มรูป (Pocket Not Full) และลดจำนวนงานเสียให้ลดน้อยลง</p>	<p>ตรวจเช็คจำนวนชิ้นงานที่ชิมไม่เต็มรูปหลังจากทำการปรับปรุง</p>

สามารถแสดงรายละเอียดและแนวทางการแก้ไขได้ ดังต่อไปนี้

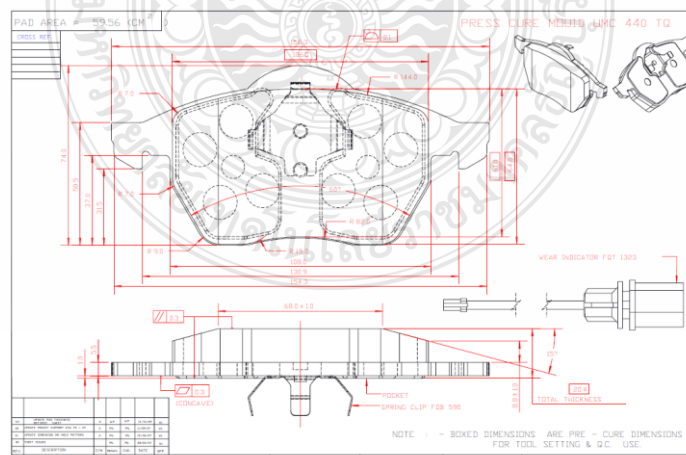
#### 4.9.1 ปัญหาชิ้นงานเลื่อน (Slip)

ส่วนใหญ่ปัญหาเกิดจากการติดตั้งแม่พิมพ์บน (Top Plate Tooling) ได้ไม่ตรงจุดตามแบบที่กำหนด และบางกรณีเกิดจากการขยับตัวของแม่พิมพ์ ในกรณีที่เครื่องจักรหรือแม่พิมพ์ชำรุด แสดงลักษณะชิ้นงานไม่ได้มาตรฐาน ดังรูปที่ 4.72 ซึ่งปัญหานี้จะเกิดขึ้นกับงานชนิด IMI หรือชิ้นงานที่มีซึมหรือแผ่นกันเสียงคัง (Shim) ในตัวเท่านั้น



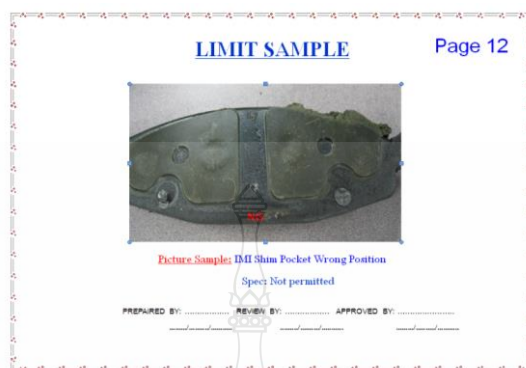
รูปที่ 4.72 ลักษณะชิ้นงานเลื่อน (Slip) ซึ่งเป็นอีกสาเหตุที่ทำให้ซึมเสียรูป

แนวทางการแก้ไข ได้มีการกำหนดให้พนักงานทำการตรวจเช็คชิ้นงาน โดยเครื่องมือวัดเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ เพื่อเทียบชิ้นงานแรก (First Piece) จากกระบวนการกับเอกสารแบบ (Drawing) ดังรูปที่ 4.73



รูปที่ 4.73 ตัวอย่างของแบบ (Drawing) ที่ใช้สำหรับตรวจเช็คเทียบกับชิ้นงานจริง

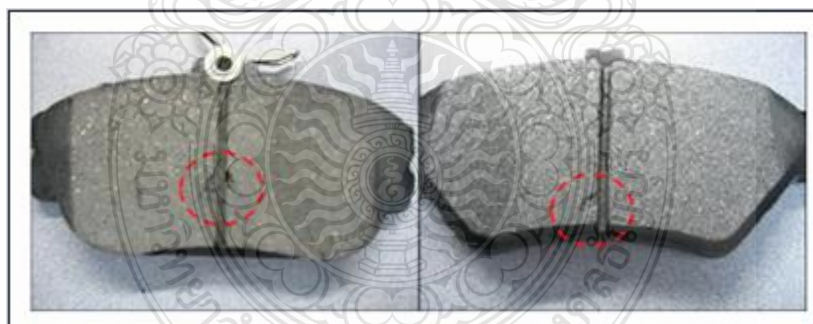
และมีการติดเอกสารงานตัวอย่าง (Limit Sample) ดังรูปที่ 4.74 ที่หน้ากระบวนการ เพื่อแจ้งเตือนให้พนักงานทำการเฝ้าระวังปัญหาที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.74 เอกสารตัวอย่าง (Limit Sample) ที่ติดหน้ากระบวนการผลิตขึ้นรูปรีด

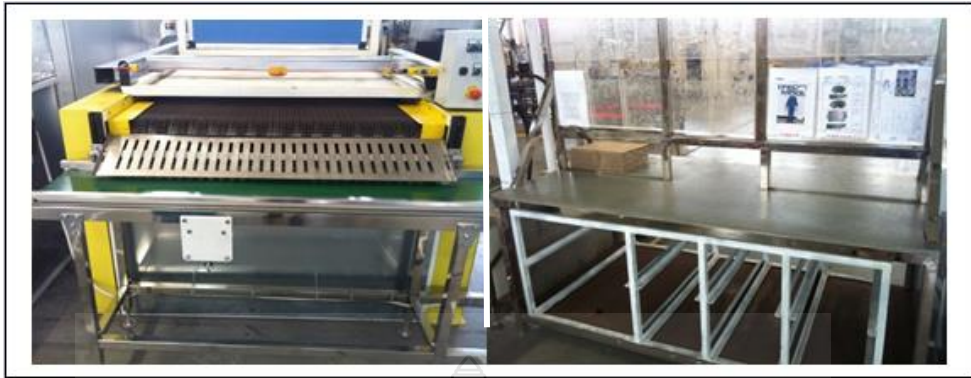
#### 4.9.2. ปัญหาชิ้นงานบิ่น (Clip)

ปัญหาเกิดจากชิ้นงานกระทบกับวัตถุแข็งเช่น โต้ะวางงาน หรือกระทบกับสายพานลำเลียงงาน ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหาชิ้นงานบิ่นได้ ดังรูปที่ 4.75



รูปที่ 4.75 ตัวอย่างชิ้นงานบิ่น (Clip) จากกระบวนการขนย้ายชิ้นงาน

ทางทีมงานได้ร่วมกับฝ่ายผลิตได้ทำการปรับปรุงโดยทำการติดตั้งสายพานแบบนิ่มที่วัตถุดิบทำมาจากเรซิน และทำการหุ้มโต้ะวางงานด้วยแผ่นพลาสติกนิ่ม เพื่อช่วยป้องกันการบิ่นของชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.76



รูปที่ 4.76 ลักษณะ โต๊ะวางงานและสายพานลำเลียงชิ้นงานหลังจากทำการปรับปรุง

#### 4.9.3 ซิมไม่เต็มรูป (Pocket Not Full)

เกิดจากปัญหาการเคลือบผงรองพื้นผ้าเบรคไม่ได้ระนาบ และเกิดจากปัญหาการใส่ผงรองพื้นผ้าเบรคในปริมาณที่น้อยจนเกินไป เนื่องจากอ้างอิงน้ำหนักของผงผ้าเบรคจากโปรแกรมการคำนวณ ซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้ง่าย ตัวอย่างชิ้นงานซิมไม่เต็มรูป ดังรูปที่ 4.77



รูปที่ 4.77 ลักษณะชิ้นงานซิมไม่เต็มรูป (Pocket Not Full)

ผู้วิจัยและทีมงานได้ทำการแก้ไขโดยทำการจัดทำอุปกรณ์เสริม เพื่อช่วยในการเคลือบผิวหน้าระหว่างผงผ้าเบรค (Ready Mixed) และผงรองพื้นผ้าเบรค (Under Layer) ให้ได้ระนาบ เพื่อไม่เทผงวัสดุบกองไปด้านใดด้านหนึ่ง และทำการเพิ่มปริมาณของผงรองพื้นผ้าเบรคขึ้น 5% เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างถาวร แต่ถึงอย่างไรก็ตามก็ยังไม่สามารถที่จะทำการแก้ไขปัญหาได้ 100% เนื่องจากเป็นการทำงานโดยพนักงาน ซึ่งประสิทธิภาพของพนักงานแต่ละคนก็มีความแตกต่างกันไป ดังรูปที่ 4.78





รูปที่ 4.78 เครื่องมือช่วยในการเกลี่ยผงผ้าเบรค

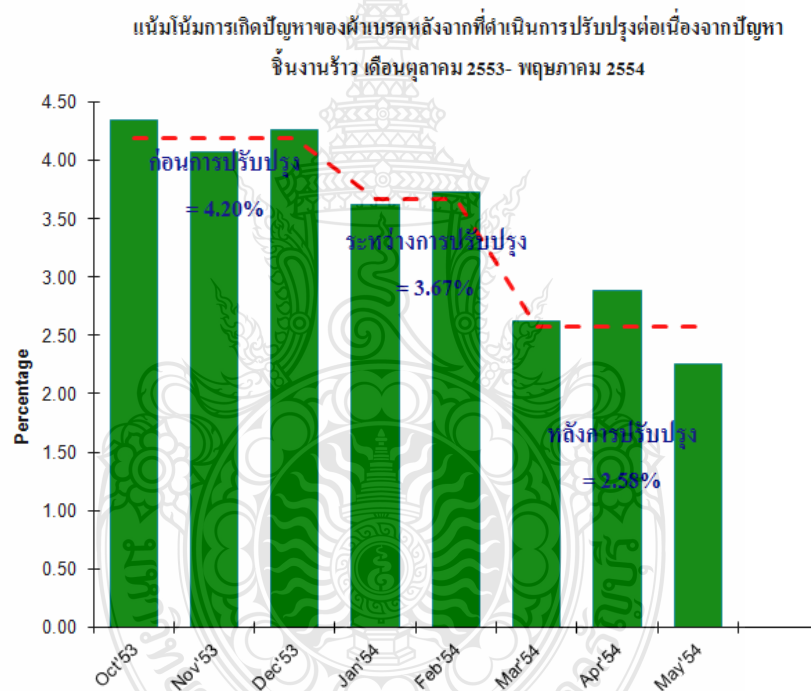
หลังจากการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขสามารถทำการสรุปผลการดำเนินการปรับปรุงเพิ่มเติมได้ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.19 สรุปปัญหาที่ดำเนินการแก้ไขเพิ่มเติมในกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ ของโมเดล X068 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2553- พฤษภาคม พ.ศ. 2554

Month	Before Improvement				Between Improvement			After Improvement			
	Oct' 2010	Nov' 2010	Dec' 2010	Sum	Jan'11	Feb'11	Sum	Mar'11	Apr'11	May'11	Sum
Mass Pro.	11,456	22,920	18,324	52,700	10,224	9,660	19,884	9,256	7,694	8,493	25,443
Good	10,958	21,988	17,543	50,489	9,854	9,300	19,154	8,620	6,952	7,956	23,528
NG	498	932	781	2,211	370	360	730	243	222	191	656
%Defect	4.35	4.07	4.26	4.20	3.62	3.73	3.67	2.63	2.89	2.25	2.58
PPM	43,470.67	40,663.18	42,621.70	42,251.85	36,189.36	37,267.08	36,728.22	26,253.24	28,853.65	22,489.11	25,865.33
Crack	224	383	275	882	180	162	342	173	139	136	448
%Crack	1.96	1.67	1.50	1.67	1.76	1.68	1.72	1.87	1.81	1.60	1.76
PPM	19,553.07	16,710.30	15,007.64	17,090.34	17,605.63	16,770.19	17,187.91	18,690.58	18,066.03	16,013.19	17,589.93
Slip	169	238	193	600	83	99	182	20	26	18	64
%Slip	1.48	1.04	1.05	1.14	0.81	1.02	0.92	0.22	0.34	0.21	0.25
PPM	14,752.09	10,383.94	10,532.63	11,889.56	8,118.15	10,248.45	9,183.30	2,160.76	3,379.26	2,119.39	2,553.14
Not Full	56	131	139	326	57	49	106	12	20	13	45
%Not Full	0.49	0.57	0.76	0.62	0.56	0.51	0.53	0.13	0.26	0.15	0.18
PPM	4,888.27	5,715.53	7,585.68	6,063.16	5,575.12	5,072.46	5,323.79	1,296.46	2,599.43	1,530.67	1,808.85
Clip	10	49	85	144	22	26	48	12	10	6	28
%Clip	0.09	0.21	0.46	0.27	0.22	0.27	0.24	0.13	0.13	0.07	0.11
PPM	872.91	2,137.87	4,638.73	2,549.83	2151.80	2691.51	2,421.66	1296.46	1299.71	706.46	1,100.88
Slip+Not full+ Clip	235.00	418.00	417.00	1,070.00	162.00	174.00	336.00	44.00	56.00	37.00	137.00
%(Slip+Not Full+Clip)	2.05	1.82	2.28	2.03	1.58	1.80	1.69	0.48	0.73	0.44	0.54
PPM	20,513.27	18,237.35	22,757.04	20,502.55	15,845.07	18,012.42	16,928.75	4,753.67	7,278.40	4,356.53	5,462.87
M/C	19	62	30	111	20	16	36	17	13	15	228
%M/C	0.17	0.27	0.16	0.21	0.20	0.17	0.18	0.18	0.17	0.18	0.90
PPM	1,658.52	2,705.06	1,637.20	2,000.26	1,956.18	1,656.31	1,806.25	1,836.65	1,689.63	1,766.16	1,764.15
Color	20	53	36	109	1	5	6	9	2	3	135
%Color	0.17	0.23	0.20	0.21	0.01	0.05	0.03	0.10	0.03	0.04	0.53
PPM	1,745.81	2,312.39	1,964.64	2,007.61	97.81	517.60	307.70	972.34	259.94	353.23	528.51
Unset	0	16	23	39	7	3	10	0	12	0	71
%Unset	0.00	0.07	0.13	0.07	0.07	0.03	0.05	0.00	0.16	0.00	0.28
PPM	0.00	698.08	1,255.18	651.09	684.66	310.56	497.61	0.00	1559.66	0.00	519.89



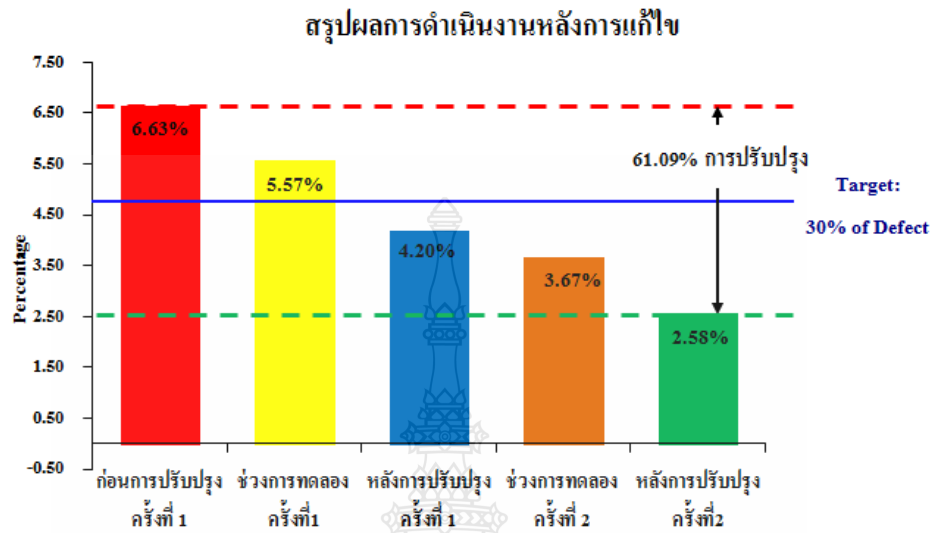
จากตารางที่ 4.18 พบว่า เมื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูลสถิติของปัญหาชิ้นงานเลื่อน (Slip), ปัญหาชิ้นงานบิ่น (Clip) และปัญหาชิ้นงานชิมไม่เต็มรูป (Pocket Not Full) ก่อนการดำเนินการแก้ไขปัญหาช่วงเดือนตุลาคม- เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 พบว่ามีค่าของงานเสียอยู่ที่ 4.20% ซึ่งผลการดำเนินงานแก้ไขและปรับปรุงปัญหาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกจะเป็นการวิเคราะห์ปัญหาและช่วงกำลังปรับปรุงในช่วงเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 พบว่ามีค่าของงานเสียอยู่ที่ 3.67% และช่วงที่สองจะเป็นผลหลังจากการทำการควบคุมปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาช่วง เดือนมีนาคม – พฤษภาคม พ.ศ. 2554 พบว่ามีค่างานเสียอยู่ที่ 2.58% ซึ่งสามารถช่วยลดปัญหางานเสียดังกล่าวลงได้ และสามารถแสดงเป็นกราฟแนวโน้มการเกิดปัญหาชิ้นงานเลื่อน (Slip), ปัญหาชิ้นงานบิ่น (Clip) และปัญหาชิ้นงานชิมไม่เต็มรูป (Pocket Not Full) ก่อนและหลังการปรับปรุง ดังรูปที่ 4.79



**รูปที่ 4.79** สรุปผลการดำเนินการแก้ไขปัญหาชิ้นงานเลื่อน (Slip), ปัญหาชิ้นงานบิ่น (Clip) และปัญหาชิ้นงานชิมไม่เต็มรูป (Pocket Not Full) ก่อนและหลังการปรับปรุง

ผลจากการดำเนินงานปรับปรุงอย่างต่อเนื่องดังกล่าว สามารถที่จะทำการลดปริมาณการเกิดของเสียลดลงจากเดิมได้อีก โดยจากค่าเฉลี่ยของเสียทั้งหมดต่อเดือนเท่ากับ 4.20% เหลือ 2.58% และสามารถแสดงภาพรวมเปอร์เซ็นต์ ของของเสียในบริษัทที่ลดลง (Defect Over All) หลังจากที่ได้เพิ่ม

การดำเนินการปรับปรุงในหัวข้อชิ้นงานเลื่อน (Slip), ปัญหาชิ้นงานบิ่น (Clip) และปัญหาชิ้นงานชิมไม่เต็มรูป (Pocket Not Full) ดังรูปที่ 4.80



รูปที่ 4.80 สรุปผลการดำเนินการแก้ไขปัญหาชิ้นงานเสียโดยภาพรวม (Over All)



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการนำเทคนิค DMAIC ของซิกส์ ซิกมา เข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อลดปัญหาผลิตภัณฑ์ที่บกพร่อง โดยกระบวนการดำเนินการเริ่มจาก การระบุปัญหา (Define Phase) การวัดความสามารถของกระบวนการ (Measure Phase) การวิเคราะห์ปัจจัยที่อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหา (Analysis Phase) การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยนั้นๆ เพื่อหาปัจจัยหลักที่แท้จริง (Improve Phase) และทำการปรับปรุงกระบวนการ โดยการควบคุมปัจจัยหลักเหล่านั้นให้อยู่ภายใต้ข้อกำหนด เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องมีสัดส่วนเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ (Control Phase)

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปรีออนของผ้าเบรครถยนต์ของโรงงานตัวอย่าง โดยทำการศึกษาในเรื่องปัญหาชิ้นงานไม่ได้คุณภาพ ของโมเดล X068 โดยใช้แนวทางดีเอ็มเอไอซี (DMAIC) ของซิกส์ ซิกมา ซึ่งผลการดำเนินงานวิจัยมีดังนี้

##### 5.1.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาชิ้นงานร้าว มีดังนี้

- อุณหภูมิของการขึ้นรูปรีออน (Die Temperature)
- จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร (Number of Bump)
- ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ (Vent Distance Gap)

ซึ่งสามารถสรุปแนวทางการปรับปรุงได้ ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปแนวทางการแก้ไขปัญหาผ้าเบรคร้าว

ลำดับ	สาเหตุของปัญหา	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
1	อุณหภูมิของการขึ้นรูปรีออน (Die Temperature) ต่ำเกินไป	ขึ้นรูปรีออนที่อุณหภูมิ 150°C	ขึ้นรูปรีออนที่อุณหภูมิ 157°C
2	จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร (Number of Bump) มากเกินไป	ตั้งค่าการอัดที่ 5 รอบ	ตั้งค่าการอัดที่ 4 รอบ
3	ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ (Vent Distance Gap) มากเกินไป	ตั้งค่าการคายก๊าซที่ 2 มิลลิเมตร	ตั้งค่าการคายก๊าซที่ 1 มิลลิเมตร

5.1.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาชิ้นงานไม่ได้คุณภาพอื่นๆ มีดังนี้

1. ปัญหาชิ้นงานเลื่อน (Slip) ในรุ่น IMI
2. ปัญหาชิ้นงานบิ่น (Clip)
3. ซิมไม่เต็มรูป (Pocket Not Full) ในรุ่น IMI

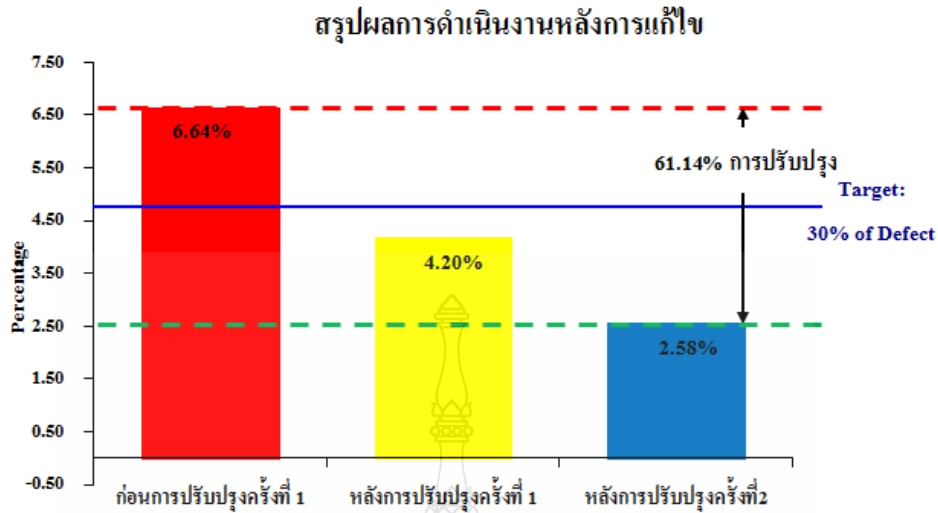
ซึ่งสามารถสรุปแนวทางการปรับปรุงได้ ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 สรุปแนวทางในการแก้ไขปัญหาชิ้นงานไม่ได้คุณภาพอื่นๆ

ลำดับ	สาเหตุของปัญหา	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
1	ปัญหาชิ้นงานเลื่อน (Slip) ในรุ่น IMI	มาตรฐาน ไม่ได้ระบุให้ทำการตรวจเช็ค	เพิ่มมาตรฐานการตรวจสอบที่ชิ้นงานแรก โดยการเปรียบเทียบกับแบบ (Drawing)
2	ปัญหาชิ้นงานบิ่น (Clip)	ชิ้นงานกระทบกับโต๊ะวางชิ้นงาน หรือสายพานลำเลียงชิ้นงาน	ทำการหุ้มโต๊ะวางชิ้นงานด้วยพลาสติก และเปลี่ยนสายพานลำเลียงมาเป็นแบบพลาสติก
3	ซิมไม่เต็มรูป (Pocket Not Full) ในรุ่น IMI	ทำการชั่งน้ำหนักผงผ้าเบรคโดยอ้างอิงจากการคำนวณสูตรมาตรฐาน	ทำการเพิ่มปริมาณผงผ้าเบรคที่เหล็กทรงหลัง 5% ทุกรุ่นของงาน IMI

5.1.3 ผลจากการดำเนินงานแก้ไขปัญหา

จากการดำเนินงานแก้ไขปัญหามีผลที่จะลดปัญหาชิ้นงานไม่ได้คุณภาพจากเดิมเฉลี่ยอยู่ที่ 6.63% เหลือ 2.58% ซึ่งบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้คือ โดยสามารถลดปัญหาชิ้นงานไม่ได้คุณภาพได้มากถึง 61.09% จากเป้าหมายที่วางไว้ที่ 30% ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 สรุปผลการแก้ไขจากการดำเนินงานทั้งสองครั้ง

## 5.2 อภิปรายผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าหลักการ DMAIC ของซิกส์ ซิกมา สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยแก้ปัญหาชิ้นงานไม่ได้คุณภาพ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปรีออน ของอุตสาหกรรมการผลิตผ้าเบรครถยนต์ได้อย่างเหมาะสม เพราะสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาได้อย่างตรงจุดด้วยการระดมสมอง (Brainstorming) เพื่อรวบรวมหาสาเหตุทั้งหมดในการคัดเลือกปัญหาที่ไม่ได้คุณภาพ ตามแนวทาง DMAIC [37] และในขั้นตอนการปรับปรุงผู้วิจัยได้มีการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง  $2^k$  เช่นเดียวกันกับการกระบวนการพัฒนาเนื้อผ้าเบรคจากส่วนผสมของแกนต้นปาล์มทดแทนแร่ใยหิน [32] ที่มีการประยุกต์ใช้วิธีการทาคุชิ (Tagushi Method) ในการออกแบบกระบวนการขึ้นรูปรีออนของผ้าเบรค และได้ทำการกล่าวไว้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการขึ้นรูปรีออน คือ แรงดัน (Pressure) อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Die Temperature) ระยะเวลาการอัดแข็ง (Curing Time) และเวลาในการอบชิ้นงาน (Heat Treatment Time) เป็นต้น

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการทำงานวิจัยนี้พบปัญหาและอุปสรรคหลายประการ สามารถสรุปเป็นข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะนำงานวิจัยนี้ไปปฏิบัติ และข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคตได้ดังนี้

### 5.3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับพัฒนาต่อ ณ โรงงานตัวอย่าง

1. ผู้ที่จะนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนานั้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโมเดลอื่น ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาได้ แต่จำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมคือ เรื่องของความแตกต่างของสูตรเคมี (Formula) ที่นำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ของลูกค้าแต่ละราย เพื่อศึกษาอัตราส่วนของการเกิดปัญหาซึ่งงานราวแตกต่างกันหรือไม่ รวมไปถึงการเก็บข้อมูลทางสถิติเพิ่มเติมว่า โมเดลไหนมีอัตราการเกิดปัญหาเท่าไร โดยการพิจารณาจากการใช้ อุณหภูมิ (Die Temperature) จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร (Number of Bump) และ ระยะช่องว่างการคายก๊าซ (Vent Distance Gap) ที่ปรับตั้งเท่ากัน ซึ่งวัตถุประสงค์ก็เพื่อจะทำให้ผู้ที่จะทำการศึกษาต่อไปมีแนวทางในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. ในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาในแต่ละจุดนั้น สิ่งที่สำคัญที่จะทำให้ผลการวิเคราะห์รวดเร็วและเข้าตรงประเด็นคือ ต้องมีผู้ปฏิบัติงานที่ทำตำแหน่งหน้าที่นั้นอยู่เป็นประจำมาเข้าร่วมในการระดมสมองทุกครั้ง เพราะจะช่วยให้ได้รับข้อมูลที่ถูกต้อง แม่นยำ และตรงประเด็นมากที่สุด

3. การปรับเปลี่ยนหรือเพิ่มเติมขั้นตอนวิธีการทำงานใหม่ให้กับผู้ปฏิบัติงานหรือหัวหน้างาน จำเป็นจะต้องมีการตรวจติดตามการทำงานในระยะแรกอย่างใกล้ชิด เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

### 5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษารั้งต่อไป

1. ในการศึกษาครั้งต่อไป หากมีการเพิ่มความสามารถของกระบวนการผลิตโดยการนำเทคนิค DMAIC ของซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์ใช้ในช่วงที่ผลิตภัณฑ์กำลังทำการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ (New Product) ก็จะทำให้ส่งผลให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเมื่อเริ่มทำการผลิตผลิตภัณฑ์ไปแล้ว การปรับปรุงแก้ไขบางอย่างสามารถทำได้ยากมาก เนื่องจากจะกระทบต่อต้นทุน และอาจจะต้องแจ้งให้ลูกค้ารับทราบเพื่อขออนุมัติการเปลี่ยนแปลง

2. การเก็บข้อมูลต้องใช้เวลามาก เนื่องจากต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ เพื่อให้สามารถได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องมากที่สุด ดังนั้นในบางกรณีได้ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตเนื่องพนักงานปฏิบัติงานในสายกระบวนการผลิตนั้นมีภาระงานที่ค่อนข้างมาก ทำให้การนำเอาวิธีการ DMAIC ของซิกซ์ ซิกม่าไปประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหาจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาที่มาก และส่วนหนึ่งต้องทำการอบรมความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพอีกด้วย

### 5.3.2 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่ต้องการประยุกต์ใช้ DMAIC

#### 1. ขั้นตอนการคัดเลือกปัญหา (Define)

ผู้ทำการวิจัยควรทำการเก็บรวบรวมข้อมูลให้ได้มากที่สุด เพื่อที่จะทำให้ข้อมูลที่แอบแฝงอยู่ถูกหยิบยกขึ้นมาทำการแก้ไข สามารถทำการแก้ไขปัญหาได้ตรงจุด และขจัดปัญหาหลักขององค์กรลงได้

#### 2. ขั้นตอนการวัด (Measure)

ในขั้นตอนนี้ ขั้นตอนการระดมสมอง (Brainstorming) เป็นขั้นตอนที่สำคัญ จึงควรมีการรวบรวมผู้มีประสบการณ์ในการทำงานนั้นๆ เพื่อช่วยให้ง่ายในการปรับปรุง และควรมีการวิเคราะห์ความบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) เพื่อถ่วงถ่วงสาเหตุที่มีลำดับความสำคัญหรือผลกระทบที่มีความรุนแรงขึ้นมาแก้ไขก่อน

#### 3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analysis)

ในการกำหนดแนวทางการปรับปรุง นอกจากการลดปัญหาชิ้นงานเสียแล้ว ผู้วิจัยควรมองถึงผลกระทบด้านอื่นๆด้วย เช่น ต้นทุนในการผลิตที่เกิดขึ้น ระยะเวลาที่ใช้ในการทำการผลิต ต้นทุนที่ใช้ในการทำการปรับปรุง เป็นต้น เพื่อไม่ให้เกิดต้นทุนแอบแฝงจากการผลิตหลังจากการดำเนินการปรับปรุง

#### 4. ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve)

สำหรับผู้ที่ต้องการใช้ขั้นตอนในการหาค่าปัจจัยที่เหมาะสม โดยเครื่องมือทางสถิติ ผู้วิจัยจะต้องมีความเข้าใจในการเลือกชนิดของเครื่องมือทางสถิติที่จะนำมาใช้เพื่อให้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์มีความถูกต้อง แม่นยำ และเกิดประสิทธิภาพในการนำผลไปใช้งานจริงมากที่สุด

#### 5. ขั้นตอนการควบคุม (Control)

หลังจากดำเนินการปรับปรุง ผู้วิจัยควรมีการตรวจติดตามในการดำเนินงาน เพื่อเฝ้าติดตามปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นหลังการปรับปรุง หรือทำการพัฒนาปรับปรุงให้ดีขึ้น



## รายการอ้างอิง

- [1] ภาวะเศรษฐกิจไทยไตรมาสแรกและแนวโน้มปี 2556, สำนักยุทธศาสตร์และการวางแผนเศรษฐกิจมหภาค, ฉบับที่ 20 พฤษภาคม 2556. สืบค้นจาก <http://www.nesdb.go.th>
- [2] วุฒิชัย เลิศปรีชากรมล, “การควบคุมคุณภาพโดยวิธีซิกส์ ซิกมา ของบริษัทอินโนเวทซ์ (ประเทศไทย) จำกัด,” วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, ภาควิชาบริหาร คณะการจัดการ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2551.
- [3] อรรถพล เฉลิมประภา, “การปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยใช้เทคนิคลีน และซิกส์ ซิกมา ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2547.
- [4] ภัสพร บุญศิลป์, “การรับรู้ด้านการบริหารคุณภาพโดยรวมทั่วทั้งองค์กร (TQM) และความพึงพอใจในการทำงาน ศึกษาเฉพาะกรณีพนักงานบริษัทนิสสันมอเตอร์ (ประเทศไทย) จำกัด,” วารสารรามคำแหง, ปีที่ 28 2554, นน 46-58, มกราคม-มีนาคม, 2554.
- [5] Durward K. Sobek II, “Applying the Toyota Production System to a Hospital Pharmacy,” Dept. of Mechanical and Industrial Engineering, Montana State University, Bozeman, 2003. สืบค้นจาก [http://www.coe.montana.edu/ie/faculty/sobek/ioc\\_grant/ierc\\_2003.pdf](http://www.coe.montana.edu/ie/faculty/sobek/ioc_grant/ierc_2003.pdf)
- [6] วสันต์ พุกผาสุข, “การลดของเสียจากกระบวนการชุบโคเมียม โดยประยุกต์ใช้วิธีซิกส์ ซิกมา กรณีศึกษา อุตสาหกรรมในอุตสาหกรรมชุบโคเมียม,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ, 2549.
- [7] นิสากร สมสุข, “การลดของเสียที่เกิดจากกระบวนการประกอบสปินเดิลมอเตอร์,” วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย, ปีที่ 4 ฉบับที่ 1, นน 27-35, มกราคม-มิถุนายน 2553.
- [8] พงศ์ สกุลคลานวัฒน์, “การลดของเสียแขนจับหัวอ่านด้วยวิธีการซิกส์ ซิกมา กรณีศึกษากระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่าน,” มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์การประชุมวิชาการข่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ, 2551.

## รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [9] Wang Zhiying and Sun Jing, "Application of DMAIC on Service Improvement of Bank Counter, *Service Systems and Service Management*," *International Conference journal*, Vol.1, pp 726-731, 2006.
- [10] Nicholas Roth, "Process improvement for printing operations through the DMAIC Lean Six Sigma approach: A case study from Northwest Ohio, USA," *Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 1, pp.119 – 133, 2010.
- [11] Dagwa I. M. และ A. O. A. Ibadode, "Development of Asbestos- Free Friction Lining Material from Palm Kernel Shell," *Journal of Brazil Social Mechanic, Science & Engineering*, Vol No.2, pp 171-173, April-June 2008.
- [12] Pradnya Kosbe และ Chittaranjan More, "Performance of a NAO friction material for disc brake," *National journal on advance in building sciences and mechanics India*, Vol. 1 No. 2, pp 1-5, October 2010.
- [13] Mohammad Asif และ Chandra, P. S. Misra, "Development of Iron Based Brake Friction Material by Hot Powder Preform Forging Technique used for Medium to Heavy Duty Applications," *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol 10 No. 3, pp. 231-244, 2011.
- [14] Breyfogle, F.W., *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistic Methods*, Texas: John Wiley & Son Inc., 1999.
- [15] ดร.วิทยา สุหฤทธดำรง และ นราศรี ถาวรกุล, "Six Sigma กลยุทธ์การจัดการระดับโลก," พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: ลอจิสติกส์ ไทยแลนด์, ตุลาคม 2547.
- [16] ัญญุพันธ์ เขจรนนทน และคณะ, *คู่มือปฏิบัติ ซิกส์ ซิกม่า เพื่อสร้างความเป็นเลิศในองค์กร*, พิมพ์ครั้งที่ 1. 2547. กรุงเทพฯ: เอกซ์ เปรี่เน็ต, 2547.
- [17] มนชัย บุญเกิด, "การลดอัตราการทำซ้ำในโรงงานผลิตของเล่นไม้ โดยใช้แนวคิด ซิกส์ ซิกม่า," *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต การจัดการอุตสาหกรรม, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 2551.
- [18] T.N. Goh, "Six sigma quality management," *Journal of Quality Engineering*, Vol 18, issue 5, pp 403-410, September/ October 2002.

## รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [19] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, *การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ประมวลผลด้วย Minitab (Process capability analysis: PCA)*, พิมพ์ครั้งที่ 6, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2553.
- [20] Moresteam E-Learning, *Process Improvement and Lean Six Sigma Toolbox*, 2013, สืบค้นจาก <https://www.moresteam.com/toolbox/index.cfm>
- [21] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, *ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างานคิวซีเซอร์เคิล (QC Circle)*, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2541.
- [22] สมอุษา วรรณฤมล, “การลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่อง โดยใช้เทคนิค ซิกส์ ซิกม่า,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550.
- [23] ธนากร เกียรติบรรลือ, “FMEA การวิเคราะห์ความล้มเหลวในการผลิต,” *วารสาร Industrial Technology Review*, ฉบับที่ 73 กรกฎาคม 2543, นน 101- 105, 2543.
- [24] วิชาญ ทองไพรวรรณ, “การประยุกต์ใช้เทคนิค FMEA ในการปรับปรุงกระบวนการออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์ขึ้นรูปแก้วที่ใช้บน โต๊ะอาหาร,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2554.
- [25] ดำรง ทวีแสงสกุลไทย, *การควบคุมคุณภาพสำหรับนักบริหารและกรณีศึกษา*, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: บริษัทเอ็มแอนด์อี จำกัด, นน. 33, 2547.
- [26] ชาย เสนาหาญ, “การประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อลดของเสียจากการเสียดสีที่ก่อให้เกิดความสั่นสะเทือน ในกระบวนการประกอบสปริงเดลมอเตอร์ กรณีศึกษากระบวนการประกอบสปริงเดลมอเตอร์ของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2553.
- [27] กัลยา วานิชย์บัญชา, “การวิเคราะห์สถิติ: สถิติเพื่อการตัดสินใจ.” พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- [28] ประไพศรี สุทัศน อยุธยาและพงษ์ชนัน เหลืองไพฑูริย์, “การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง,” พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, นน. 169-210, 2551.

## รายการอ้างอิง (ต่อ)

- [29] กิตติศักดิ์ พลอยพาณิชย์เจริญ, *สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2*, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2546.
- [30] วชิรวิทย์ศรี วิยะรัตน์, อนุชา วัฒนาภา และสิทธิชัย แก้วเกื้อกุล, “การลดของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์โดยเทคนิคซิกม่า,” *การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม*, สงขลา, 2551.
- [31] สุพัฒตรา เกษราพงศ์, “การป้องกันการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือทางด้านคุณภาพ,” *การประชุมทางวิชาการระดับชาติ*, กรุงเทพฯ, 2552.
- [32] ธนรัตน์ เอี่ยมเจริญ และ รพี กาญจนะ, “การลดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนปั๊มลูกเงิน โดยใช้หลักการ DMAIC กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนพลาสติกรถยนต์,” *การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมแห่งชาติ*, ชลบุรี, 2553.
- [30] Chittaranjan Sahay, Suhash Ghosh and Pradeep Kumar Bheemarthi, “Process Improvement of Brake Lever Production Using DMAIC (+),” *Journal of International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, Volume 3: Design and Manufacturing, pp 11-17, November 2011.
- [31] สุพัฒตรา เกษราพงศ์, สิทธิชา จงรักษ์, ธนนต์ เพชรขาว และเสริมศักดิ์ ศักดิ์สุริยา, “การประยุกต์ใช้หลักการซิกม่า เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากระบบเติมหมึก,” *การประชุมทางวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม*, ภูเก็ต, 2550.
- [32] Karl De Vore, “A six-sigma approach to stability testing,” *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, Volume 47, issue 2 pp 413-421, June 2008.




**ภาคผนวก**

ภาคผนวก ก  
ข้อมูลที่ใช้ประกอบในการทำวิทยานิพนธ์



ตารางที่ ก.1 ข้อมูลของเสียก่อนการปรับปรุง

ตารางข้อมูลของเสียโมเดล X068																																		
วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
Jan'54	ยอดผลิต					600		800	606				710	500	800			640	280	940	560			600	800	600								
	ของเสีย					38		51	39				63	30	49			43	18	61	30			36	57	41								
	Percentage					6.33		6.38	6.44				8.87	6.00	6.13			6.72	6.43	6.49	5.36			6.00	7.13	6.83								
Feb'54	ยอดผลิต		400	400	700		600	700	800	900	900		600	800	800		1000		800	872	800	1000		800	800	1000	800	1000	600	400	400	600		
	ของเสีย		23	27	47		35	47	50	56	59		41	53	51		67		50	56	53	68		52	49	69	58	65	41	31	25	43		
	Percentage		5.75	6.75	6.71		5.83	6.71	6.25	6.22	6.56		6.83	6.63	6.38		6.70		6.25	6.42	6.63	6.80		6.50	6.13	6.90	7.25	6.50	6.83	7.75	6.25	7.17		
Mar'54	ยอดผลิต	780	1200	700	950	980				700	1300	964	630			580	600					700	900	1200	900					1100	500			
	ของเสีย	50	73	47	59	60				44	80	63	42			39	43					41	63	93	59					73	40			
	Percentage	6.41	6.08	6.71	6.21	6.12				6.29	6.15	6.54	6.67			6.72	7.17					5.86	7.00	7.75	6.56					6.64	8.00			
Apr'54	ยอดผลิต	1300	1200	700			700	956	1230	1300					1100	1300	1000	700	600	600										862	780			
	ของเสีย	86	73	43			44	60	75	103					70	112	63	45	39	39									54	52				
	Percentage	6.62	6.08	6.14			6.29	6.28	6.10	7.92					6.36	8.62	6.30	6.43	6.50	6.50									6.26	6.67				
May'54	ยอดผลิต	1000	1200	1000	1000	1200				900	870	600	700	890	670	800	1200					800	1000	760	900	894	1200							
	ของเสีย	63	99	63	89	78				59	56	38	43	69	42	49	98					53	62	49	58	58	102							
	Percentage	6.30	8.25	6.30	8.90	6.50				6.56	6.44	6.33	6.14	7.75	6.27	6.13	8.17					6.63	6.20	6.45	6.44	6.49	8.50							
Jun'54	ยอดผลิต						1300	1200	1100	1300	1389				1250	1117	1509	1350							890	1300	1200	1305	1300	1250	1200			
	ของเสีย						81	75	75	83	85				78	73	92	85							57	84	80	82	82	79	77			
	Percentage						6.23	6.25	6.82	6.38	6.12				6.24	6.54	6.10	6.30							6.40	6.46	6.67	6.28	6.31	6.32	6.42			
Jul'54	ยอดผลิต	1200	1300	700											1000	764	850	1050	1050															
	ของเสีย	84	83	43											63	50	53	72	71															
	Percentage	7.00	6.38	6.14											6.30	6.54	6.24	6.86	6.76															
Aug'54	ยอดผลิต	500	500	500	500		500	1000	700	690	750	500	800		1200	590	800	900	1000	1000	1000				900	700	1200	800	700	800	974			
	ของเสีย	27	29	23	27		28	57	29	36	35	27	43		58	33	46	51	49	57	54				51	40	66	45	39	46	53			
	Percentage	5.40	5.80	4.60	5.40		5.60	5.70	4.14	5.22	4.67	5.40	5.38		4.83	5.59	5.75	5.67	4.90	5.70	5.40				5.67	5.71	5.50	5.63	5.57	5.75	5.44			
Sep'54	ยอดผลิต						1500	2000							1200	1200	1000																1644	1500
	ของเสีย						90	118							70	70	59															97	88	
	Percentage						6.00	5.90							5.83	5.83	5.90															5.90	5.87	

หมายเหตุ  หมายถึงวันหยุดหรือวันที่ไม่ได้ทำการผลิต

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลของเสียหลังการปรับปรุง

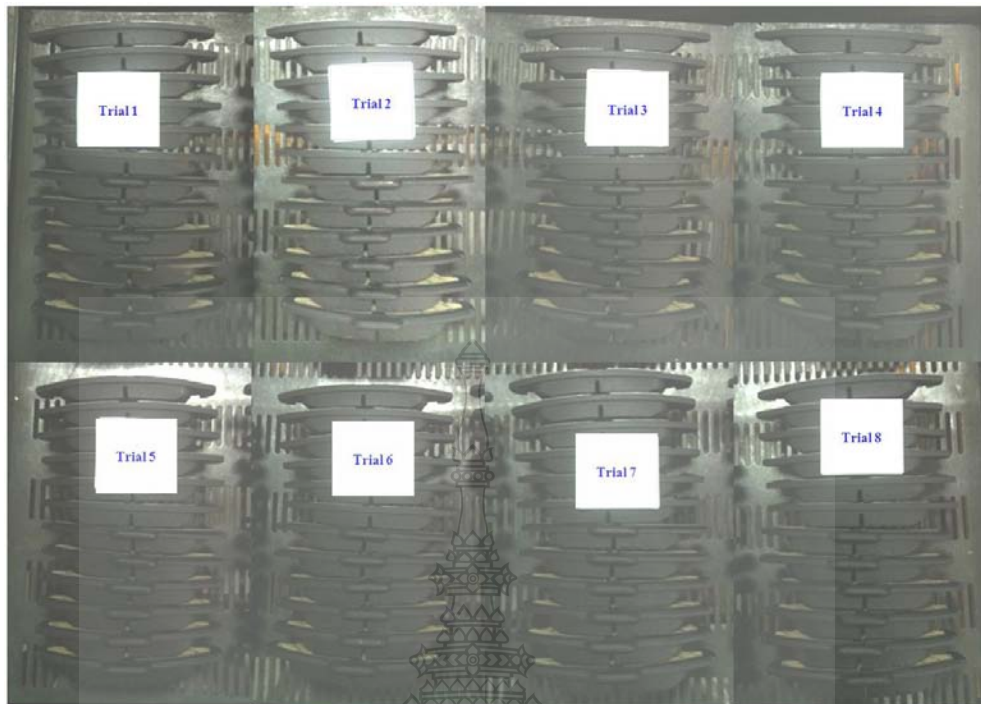
ตารางข้อมูลของเสียโมเดล X068 (หลังการปรับปรุง)																																
วันที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Oct'54	ยอดผลิต			1100	700	950	1500			2100	800											450	1400	1000			1456					
	ของเสีย			52	34	43	67			87	30											18	57	40			70					
	Percentage			4.73	4.86	4.53	4.47			4.14	3.75											4.00	4.07	4.00			4.81					
Nov'54	ยอดผลิต	2000	1700			1900	2500			3000	1800							1700	520		2300	2000	1300			2200						
	ของเสีย	77	73			79	98			120	77							72	20		94	82	54			86						
	Percentage	3.85	4.29			4.16	3.92			4.00	4.28							4.24	3.85		4.09	4.10	4.15			3.91						
Dec'54	ยอดผลิต					2000			1500			2500	1000			500	1700	1300			2200	700	921	1200		1300	703	800				
	ของเสีย					88			56			117	47			18	73	63			88	30	38	51		54	28	30				
	Percentage					4.40			3.73			4.68	4.70			3.60	4.29	4.85			4.00	4.29	4.13	4.25		4.15	3.98	3.75				
หมายเหตุ	<input type="checkbox"/> หมายถึงวันหยุดหรือวันที่ไม่ได้ทำการผลิต																															



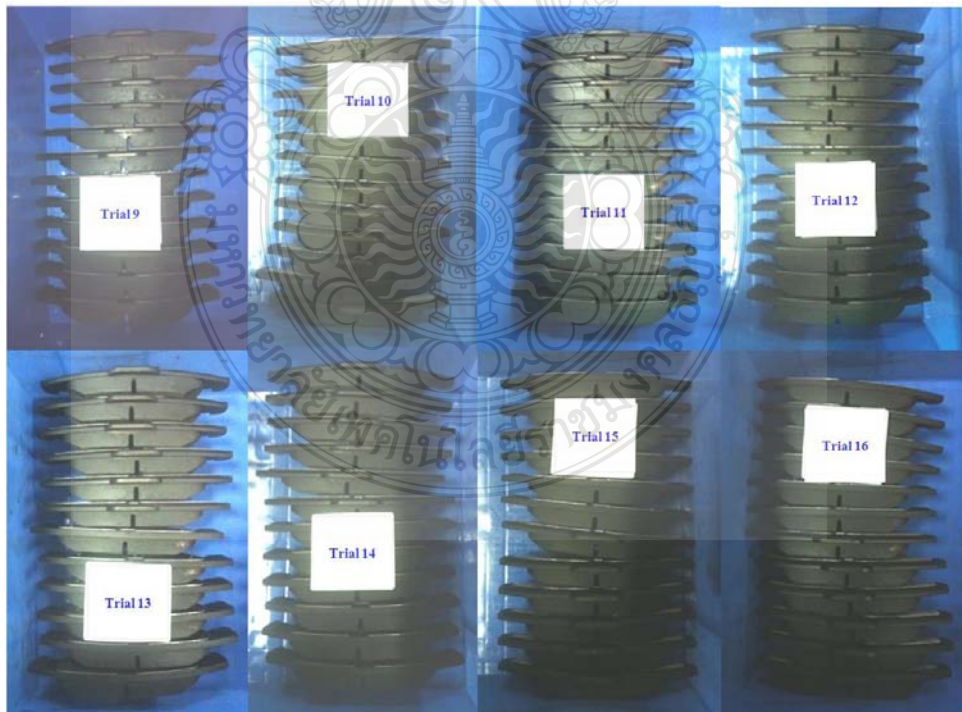


ตารางที่ ก.3 ข้อมูลคุณสมบัติของผ้าเบรคโมเดล X068

หัวข้อ	คุณสมบัติเฉพาะ
<p><b>ผงผ้าเบรคโมเดล X068</b></p> <p>ประกอบด้วย สารเคมีที่เป็นสารอินทรีย์ ตั้งต้น 15 ชนิด มาผสมกันเช่น Phenol Resin, Friction Dust, Cu, Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, Aramid Fiber, TiO<sub>2</sub>, Graphite... เป็นต้น</p>	<p><b>Bulk Density:</b> 1.33 – 1.97 ml/g</p> <p><b>จุดหลอมเหลว:</b> จะทนอุณหภูมิสูง &gt; 800°C โดยสารเคมีบางชนิดไม่เกิดการหลอมเหลวที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากเป็นสารประกอบชนิดโพลีเมอร์</p>
<p><b>การขึ้นรูปปรีออน (Cure Pressing)</b></p> <p>Cycle time: (10/10)*4+110</p> <p>Temperature: 157°C</p> <p>Vent distance gap: 1 mm.</p> <p>Pressure per mold: 142 kgf/cm<sup>2</sup></p>	<p><b>Temperature:</b> 140-170°C เพื่อช่วยให้ผงผ้าเบรคเกิดการหลอมขึ้นรูปเป็นเนื้อเดียวกัน</p> <p><b>Vent distance gap:</b> ช่วยในการคายก๊าซที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการขึ้นรูป เนื่องจากกระบวนการอัดจะเกิดการทำให้ปฏิกิริยาของสารเคมี ซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซขึ้น ซึ่งจะต้องมีการนำก๊าซออกเพื่อป้องกันชิ้นงานร้าว</p> <p><b>Pressure:</b> เป็นตัวควบคุมความหนาแน่น (Specific gravity) หรือความแข็ง (Hardness) ของผ้าเบรค</p> <p><b>Bump Time:</b> เป็นช่วงเวลาของการอัดและคายที่ทำให้ผ้าเบรคเกิดการอัดตัวของเนื้อผ้าเบรค</p> <p><b>Dwell time:</b> เป็นช่วงเวลาที่เนื้อผ้าเบรคเกิดการหลอมละลายเป็นเนื้อเดียวกัน</p>



รูปที่ ก.1 ชิ้นงานตัวอย่างจากการทำการทดลอง 1<sup>st</sup> trial



รูปที่ ก.2 ชิ้นงานตัวอย่างจากการทำการทดลอง 2<sup>nd</sup> trial

ตารางที่ ก.4 สรุปข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

DOE ครั้งที่ 1

**PF2 Trial: Crack improvement**

		1	2	3	4	5	6	7	8
Trial No.		1	2	3	4	5	6	7	8
Temperature		140	160	140	160	140	160	140	160
Vent distance gap		1	1	5	5	1	1	5	5
Number of bump		4	4	4	4	7	7	7	7
No.	Time trial	Spec: 75±25 micron							
1	1	81.6	83.1	88.2	94.9	93.2	99.3	118.2	130.3
2	1	64.3	76.1	90.8	92.6	102.2	98.5	114.1	116.9
3	1	70.5	83.7	76.8	79.9	90.3	84.6	116.1	118.6
4	1	78.9	76.9	86.6	88.8	97.8	105.7	113.9	117.2
5	1	69.7	75.1	90.7	91.4	97.2	101.9	107.6	121.6
6	1	80.6	66.3	77.4	92.5	97.1	90.2	109.0	108.8
7	1	72.6	74.5	83.7	96.6	86.0	98.8	111.3	113.1
8	1	73.2	84.8	87.8	82.3	93.8	103.4	101.9	107.8
9	1	68.9	75.8	85.8	85.7	100.6	119.6	114.2	109.2
10	1	60.7	65.8	73.1	79.1	102.7	97.9	105.7	113.0
11	1	69.3	74.6	94.7	83.2	98.8	102.5	102.2	104.8
12	1	62.1	67.2	90.5	85.6	97.6	96.5	102.5	118.0
<b>K3 Max.</b>		<b>81.6</b>	<b>84.8</b>	<b>94.7</b>	<b>96.6</b>	<b>102.7</b>	<b>119.6</b>	<b>118.2</b>	<b>130.3</b>
<b>K3 Avg.</b>		<b>71.0</b>	<b>75.3</b>	<b>85.5</b>	<b>87.7</b>	<b>96.4</b>	<b>99.9</b>	<b>109.7</b>	<b>114.9</b>
<b>K3 Min.</b>		<b>60.7</b>	<b>65.8</b>	<b>73.1</b>	<b>79.1</b>	<b>86</b>	<b>84.6</b>	<b>101.9</b>	<b>104.8</b>

ตารางที่ ก.5 สรุปข้อมูลที่ได้จากการทดลอง DOE ครั้งที่ 2

**PF2 Trial: Crack Improvement**

		1	2	3	4	5	6	7	8
Trial No.		1	2	3	4	5	6	7	8
Temperature		140	160	140	160	140	160	140	160
Vent Distance Gap		1	1	5	5	1	1	5	5
Number of Bump		4	4	4	4	7	7	7	7
No.	Time trial	Spec: 75±25 micron							
1	2	68.4	85.6	88.9	77.2	98.9	88.2	105.1	122.0
2	2	73.6	69.4	95.1	86.6	74.7	107.0	111.2	98.6
3	2	67.1	77.9	78.9	73.3	98.3	86.4	114.1	131.5
4	2	71.6	75.4	92.6	91.7	109.5	104.2	113.2	121.8
5	2	79.5	68.3	86.4	94.7	107.7	95.5	114.2	122.4
6	2	73.9	73.4	87.5	92.2	89.9	97.7	107.4	112.8
7	2	78.8	80.1	91.8	90.5	82.3	112.3	113.0	112.7
8	2	67.1	75.8	79.2	91.1	99.0	98.3	109.0	114.3
9	2	70.2	82.1	92.3	83.5	102.1	89.2	113.6	97.1
10	2	69.9	81.2	72.1	87.1	99.8	102.8	102.1	123.8
11	2	74.8	72.7	91.3	96.6	96.5	97.7	111.2	122.9
12	2	64.3	67.7	76.2	94.9	99.2	104.4	108.9	105.7
<b>K3 Max.</b>		<b>79.5</b>	<b>85.6</b>	<b>95.1</b>	<b>96.6</b>	<b>109.5</b>	<b>112.3</b>	<b>114.2</b>	<b>131.5</b>
<b>K3 Avg.</b>		<b>71.6</b>	<b>75.8</b>	<b>86.0</b>	<b>88.3</b>	<b>96.5</b>	<b>98.6</b>	<b>110.3</b>	<b>115.5</b>
<b>K3 Min.</b>		<b>64.3</b>	<b>67.7</b>	<b>72.1</b>	<b>73.29</b>	<b>74.7</b>	<b>86.4</b>	<b>102.1</b>	<b>97.1</b>

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลค่า Compression ก่อนและหลังการปรับปรุง

PF2 Comparison Before/ After improvement				
Pad No.	Before improvement		After improvement	
	IP	OP	IP	OP
1	93	83	84	73
2	108	109	78	76
3	104	93	72	74
4	84	97	78	78
5	78	97	76	77
6	80	89	79	75
7	115	111	81	76
8	105	106	78	74
9	88	91	78	75
10	89	101	69	74
11	118	103	79	76
12	118	80	74	81
13	97	112	83	76
14	87	103	73	80
15	98	90	82	76
16	113	88	73	79
17	83	80	76	75
18	123	86	82	76
19	108	83	78	83
20	118	118	76	77
21	89	103	77	77
22	89	102	82	81
23	84	114	78	74
24	115	90	82	79
25	86	79	81	84
26	75	97	79	71
27	113	99	72	81
28	113	98	71	77
29	119	80	79	74
30	89	114	78	79
31	83	106	75	83
32	82	102	79	73
33	88	80	73	82
34	88	80	76	73
35	97	87	74	76
36	79	90	78	82
37	98	88	77	78
38	80	80	75	76
39	114	86	76	77
40	87	83	74	82
41	81	106	75	78
42	94	83	74	82
43	116	87	76	81
44	114	82	81	79
45	98	90	76	81
46	95	79	80	78
47	108	86	76	78
48	100	103	79	69
49	98	87	75	79
50	76	82	76	74
<b>Avg.</b>	<b>97</b>	<b>93</b>	<b>77</b>	<b>77</b>
<b>Max.</b>	<b>123</b>	<b>118</b>	<b>84</b>	<b>84</b>
<b>Min.</b>	<b>75</b>	<b>79</b>	<b>69</b>	<b>69</b>


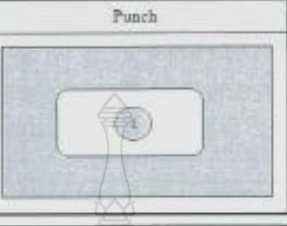



ตารางที่ ก.7 เอกสารการตรวจสอบอุณหภูมิของแม่พิมพ์ขึ้นรูปร้อน

PF2 16" temperature checking:

Date: 11-01-22 Shift: A Check by: 887/อานนท์

Temperature checking point

Die	Punch	Top plate
		

Temperature control: 157±5°C

Time	07.30			11.30			14.40			19.00			23.00			
	Point	Die	Punch	TP	Die	Punch	TP	Die	Punch	TP	Die	Punch	TP	Die	Punch	TP
Cavity 1	1	155.4	157.6	155.8	156.8	157.8	157.5	156.1	159.2	160.2	157.3	154.3	159.8	156.8	157.2	160.2
	2	156.0			156.2			156.3			157.8			156.7		
	3	157.9			155.4			157.1			157.2			156.1		
	4	157.1			155.3			156.8			158.1			157.2		
	Ave.	156.6	157.6	155.8	155.9	153.8	157.5	156.6	159.2	160.2	157.6	154.3	158.8	156.7	157.2	160.2
	Max	157.9	-	-	156.8	-	-	157.1	-	-	158.1	-	-	157.2	-	-
Min	155.4	-	-	155.3	-	-	156.1	-	-	157.2	-	-	156.1	-	-	
Cavity 2	1	158.1	157.8	157.1	155.8	157.2	159.1	156.8	159.3	158.1	156.9	157.2	157.7	158.1	157.3	157.1
	2	157.8			155.6			157.3			156.5			157.2		
	3	155.0			158.4			156.7			156.2			157.3		
	4	156.6			158.0			156.9			158.2			156.2		
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ave.	156.4	157.9	157.1	157.0	157.2	159.1	156.4	158.3	158.1	156.9					
Max	158.1	-	-	158.4	-	-	156.9	-	-	158.1	-	-	-	-	-	
Min	155.0	-	-	155.6	-	-	155.3	-	-	156.2	-	-	-	-	-	
Cavity 3	1	156.2	156.6	157.3	156.3	156.7	157.1	158.2	156.2	157.1	157.3	158.3	159.2	155.7	159.2	155.9
	2	157.4			158.6			158.1			157.2			155.5		
	3	157.9			156.3			157.3			157.1			157.9		
	4	156.6			155.8			156.9			158.2			156.7		
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ave.	157.0	156.6	157.3	156.9	156.7	157.1	157.6	156.2	157.1	157.5	158.3	159.2	160.0	159.2	155.9
Max	157.9	-	-	158.6	-	-	158.2	-	-	158.2	-	-	156.7	-	-	
Min	156.2	-	-	155.8	-	-	156.9	-	-	157.1	-	-	155.5	-	-	
Cavity 4	1	157.7	157.0	156.7	157.7	157.3	157.7	157.3	156.2	158.3	156.6	155.7	158.7	156.4	157.6	158.7
	2	157.9			156.9			154.9			156.8			156.6		
	3	156.7			156.7			155.7			157.1			156.1		
	4	156.8			155.2			155.9			155.8			158.3		
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ave.	156.8	157.0	156.7	156.6	157.3	157.1	157.5	156.2	158.3	156.6	155.7	158.9	156.8	157.6	158.7
Max	157.7	-	-	158.7	-	-	157.9	-	-	157.1	-	-	158.3	-	-	
Min	155.9	-	-	155.2	-	-	155.4	-	-	155.8	-	-	156.1	-	-	

ตารางที่ ก.8 เอกสารสำหรับการคำนวณค่า X-bar และ R-

chart

Temperature Checking X Bar R Chart - PF2 @Coresteel-160																																						
Date :	11-Jan 2011					Process No. / Name:	Cure pressing					Measurement item:	Temperature					Tool cavity :	4 cavity					Study by :						Date :								
Formular:	X068/ MX003					Machine / Equipment :	Coresteel 160 machine					Specification :	157 ± 5					Frequency :	Every 4 hrs.					Approved by :						Date :								
Jan' 2011																											CONSTANT n=size subgroup											
Date	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	11-Jan	12-Jan	12-Jan	12-Jan	12-Jan	12-Jan	12-Jan	12-Jan	12-Jan	12-Jan	12-Jan	12-Jan	12-Jan	12-Jan	n	A <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>
Time	7.00	7.00	7.00	7.00	11.00	11.00	11.00	11.00	15.00	15.00	15.00	15.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	23.00	23.00	23.00	23.00	3.00	3.00	3.00	3.00	7.00	7.00	7.00	7.00	11.00	11.00	11.00	11.00	2	1.880	1.128	3.267	0
Cavity	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	3	1.023	1.693	2.574	0	
n1	156.8	158.1	155.7	155.0	154.8	156.5	155.4	156.5	156.3	155.3	156.0	157.3	159.0	157.5	157.9	156.8	158.5	156.0	157.1	156.3	157.8	158.8	157.6	156.5	156.5	154.5	155.8	157.3				4	0.729	2.059	2.282	0		
n2	156.7	157.2	155.5	156.5	154.8	156.3	155.8	155.3	154.8	155.0	155.0	157.3	155.8	157.0	156.7	156.0	156.8	155.8	156.2	156.5	158.0	157.8	157.4	158.8	158.3	156.8	157.9	156.0				5	0.577	2.326	2.114	0		
n3	156.1	157.3	155.9	157.5	157.3	158.3	157.7	156.0	155.8	156.0	155.9	156.5	157.0	156.5	156.7	157.3	157.3	155.8	156.8	158.0	158.3	157.3	157.8	157.0	157.5	156.8	157.1	157.3				6	0.483	2.534	2.004	0		
n4	157.2	156.2	156.7	156.5	157.8	157.8	157.3	157.5	157.3	156.3	157.0	156.0	157.3	156.8	156.7	156.3	157.3	156.8	156.8	156.5	155.5	156.5	156.2	155.0	155.8	155.5	155.4	153.8										
n5	157.2	157.3	159.2	156.8	154.8	155.8	155.8	154.8	157.0	155.0	155.6	158.3	159.0	158.0	158.4	159.0	158.8	157.0	158.3	158.5	158.5	158.3	158.4	158.5	157.8	157.8	158.0	156.5										
n6	160.2	157.1	155.9	159.0	158.3	158.5	158.6	158.3	155.8	154.8	156.3	155.8	156.5	157.0	156.4	156.8	155.0	155.8	155.8	157.8	157.3	158.0	157.7	156.5	157.3	157.0	156.9	156.3										
X Bar	157.4	157.2	156.5	156.9	156.3	157.2	156.8	156.4	156.1	155.4	156.0	156.8	157.4	157.1	157.1	157.0	157.3	156.2	156.8	157.3	157.5	157.8	157.5	157.0	157.2	156.4	156.9	156.2	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	$\bar{X} = 156.83$	USL = 162	LSL = 152			
R	4.1	1.9	3.7	4.0	3.5	2.8	3.2	3.5	2.5	1.5	2.0	2.5	3.3	1.5	2.0	3.0	3.8	1.3	2.4	2.3	3.0	2.3	2.3	3.8	2.5	3.3	2.6	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	R Bar= 2.5038	Signature :				
S	1.3	0.6	1.3	1.2	1.5	1.0	1.2	1.2	0.8	0.6	0.6	0.8	1.2	0.5	0.8	1.0	1.2	0.5	0.8	0.9	1.0	0.7	0.7	1.3	0.8	1.1	1.0	1.2							S = 0.8610			



**ภาคผนวก ข**  
**อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสำหรับโมเดล X068**







รูปที่ ข.1 เครื่องขึ้นรูปรีออน Coresteel-160 สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานรีออน PF2



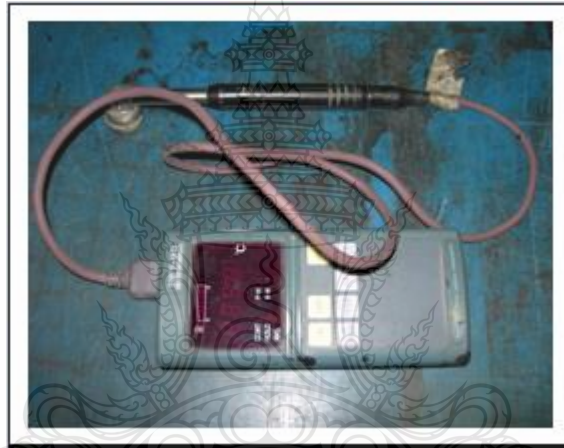
รูปที่ ข.2 แม่พิมพ์ขึ้นรูปรีออน PF2



รูปที่ ข.3 เครื่องทดสอบแรงอัดผ้าเบรครถยนต์ (Link compression machine)



รูปที่ ข.4 แบบจำลองลูกสูบ (Piston) สำหรับใช้ทดสอบแรงอัด (Compression Test)



รูปที่ ข.5 อุปกรณ์เซ็นเซอร์อุณหภูมิของผิวแม่พิมพ์ (Thermo couple)

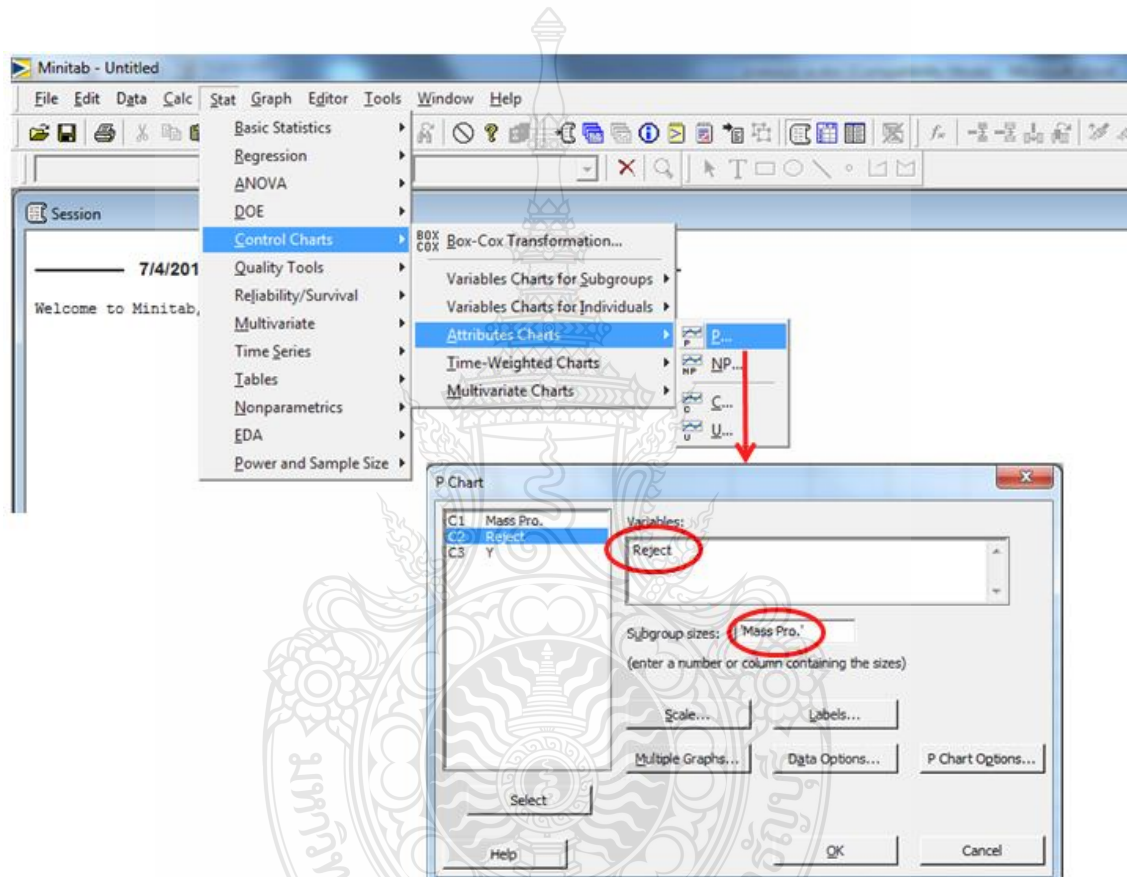


**ภาคผนวก ค**  
**ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Minitab**

### ค.1 วิธีการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index)

ทำการกรอกข้อมูลในชื่อกระบวนการ โดยเริ่มต้นเปิดโปรแกรม Charts > P-Charts จากนั้นกรอกข้อคลิก OK แสดงดังรูปที่ ค.1

ทำการวิเคราะห์ความสามารถของ | Stat > Control Charts > Attributes > Subgroup sizes = Mass Pro แล้ว

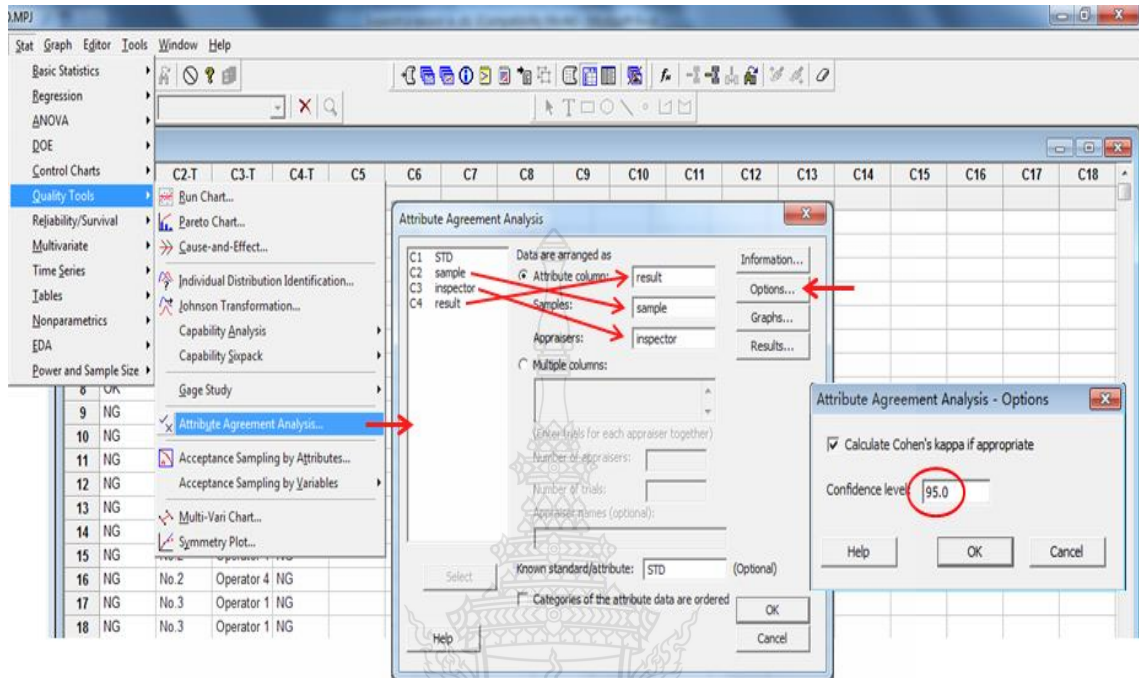


รูปที่ ค.1 ขั้นตอนการสร้าง P-Chart Worksheet

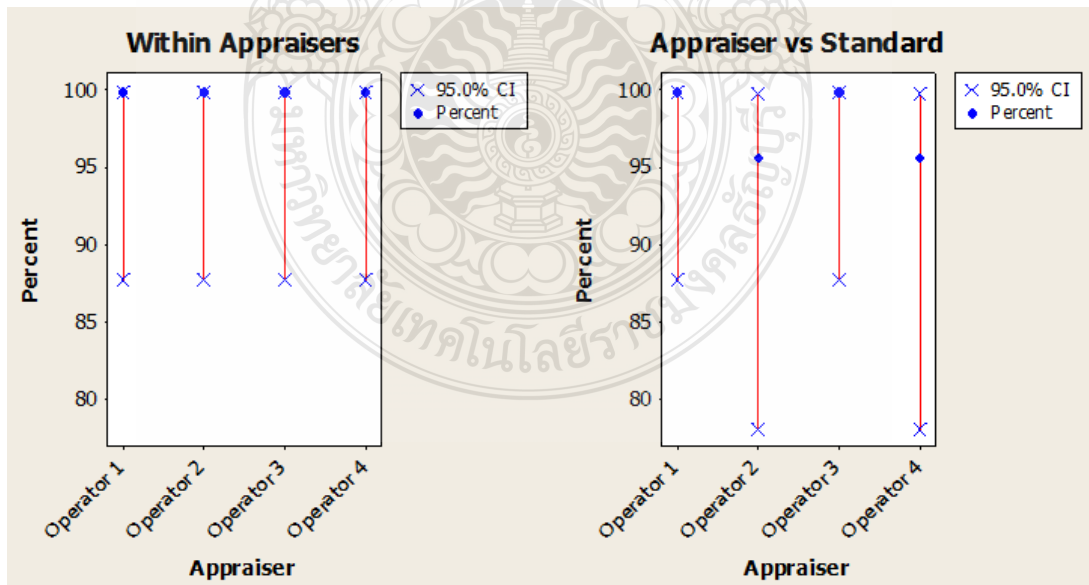
### ค.2 วิธีการวิเคราะห์ระบบการนับของพนักงาน โดยใช้โปรแกรม Minitab

เริ่มต้นเปิดโปรแกรม Minitab จากนั้นเลือกเมนู Stat > Quality Tools > Gage Study > Attribute Agreement Analysis จากนั้นป้อนข้อมูลตัวแปรที่ต้องการ C4 = Result, C2 = Sample, C3 = Inspector ลงช่องเมนู Attribute column: = Result, Sample: =Sample, Appraiser: =Inspector แล้วคลิก

ที่ Option แล้วเลือก Confidence Level 95.0 แล้วคลิก OK โดยผลที่ได้จะแสดงอยู่ในรูปการของกราฟ Appraiser และข้อมูล Session ผลการคำนวณค่าทางสถิติ แสดงดังรูปที่ ค.3 และรูปที่ ค.4



รูปที่ ค.2 ขั้นตอนการ Create Attribute Agreement Analysis Study Worksheet



รูปที่ ค.3 กราฟ Appraiser ข้อมูลการนับการตรวจสอบชิ้นงานร้าวของพนักงาน



### Within Appraisers

#### Assessment Agreement

Appraiser	#Inspected	#Matched	Percent	95 % CI
Operator 1	23	23	100.00	(87.79, 100.00)
Operator 2	23	23	100.00	(87.79, 100.00)
Operator 3	23	23	100.00	(87.79, 100.00)
Operator 4	23	23	100.00	(87.79, 100.00)

# Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

### Each Appraiser vs Standard

#### Assessment Agreement

Appraiser	#Inspected	#Matched	Percent	95 % CI
Operator 1	23	23	100.00	(87.79, 100.00)
Operator 2	23	22	95.65	(78.05, 99.89)
Operator 3	23	23	100.00	(87.79, 100.00)
Operator 4	23	22	95.65	(78.05, 99.89)

# Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.

#### Assessment Disagreement

Appraiser	#OK/NG	Percent	#NG/OK	Percent	#Mixed	Percent
Operator 1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Operator 2	0	0.00	1	11.11	0	0.00
Operator 3	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Operator 4	1	7.14	0	0.00	0	0.00

# OK / NG: Assessments across trials = OK / standard = NG.

# NG / OK: Assessments across trials = NG / standard = OK.

#Mixed: Assessments across trials are not identical.

### Between Appraisers

#### Assessment Agreement

#Inspected	#Matched	Percent	95 % CI
23	21	91.30	(71.96, 98.93)

# Matched: All appraisers' assessments agree with each other.

### All Appraisers vs Standard

#### Assessment Agreement

#Inspected	#Matched	Percent	95 % CI
23	21	91.30	(71.96, 98.93)

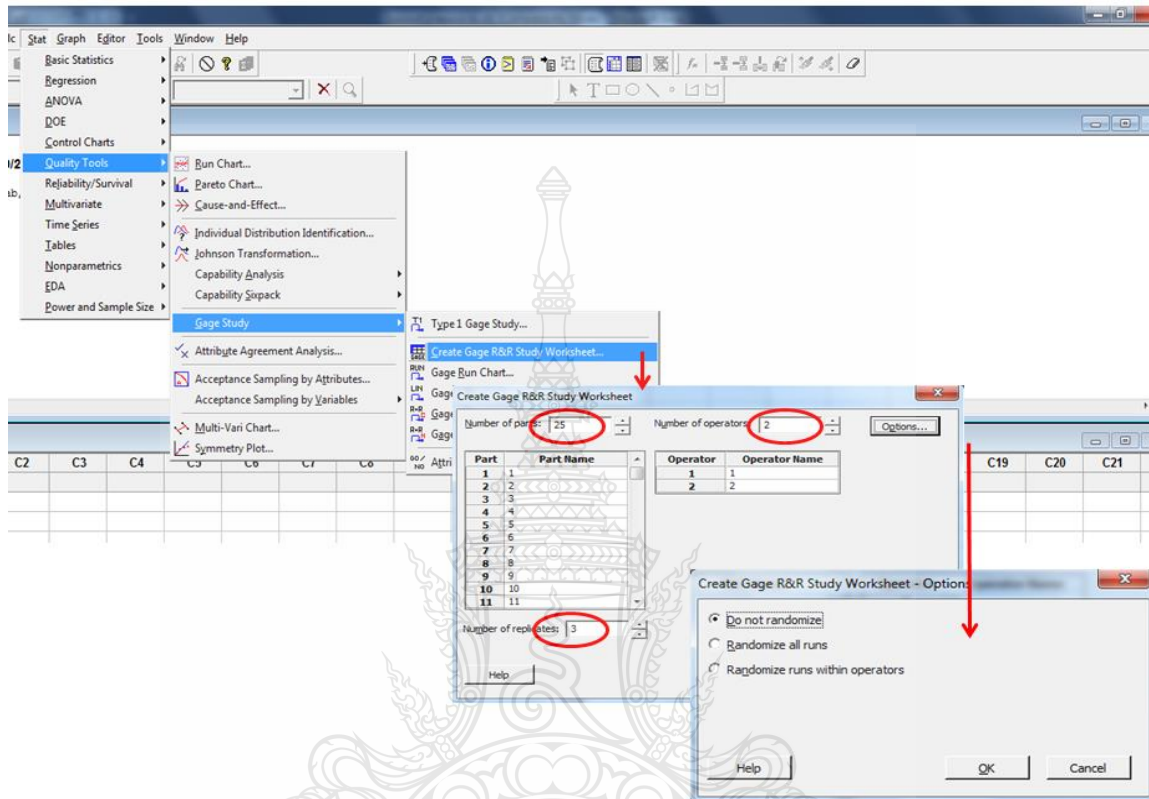
# Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.

รูปที่ ค.4 ข้อมูล Session ผลการคำนวณค่าทางสถิติ การนับการตรวจสอบชิ้นงานร้าวของพนักงาน

### ค.3 วิธีการวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงาน โดยใช้โปรแกรม Minitab

เริ่มต้นเปิดโปรแกรม Minitab จากนั้นเลือกเมนู Stat > Quality Tools > Gage Study> Create Gage R&R Study Worksheet จากนั้นกรอกข้อมูลคือ Number of part =23, Number of

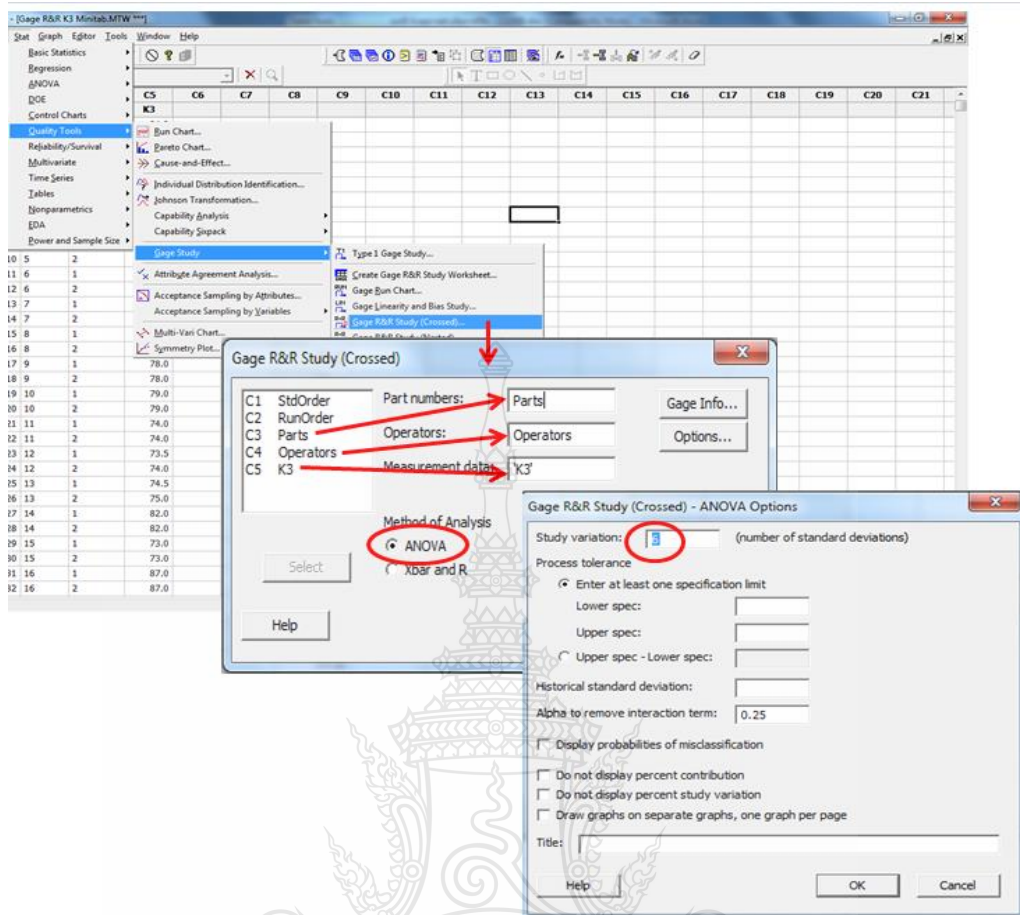
Operator = 4, Number of Replicate=2 แล้วคลิก OK จากนั้นทำการกรอกข้อมูล Solder height ลงในช่อง Work sheet แสดงดังรูปที่ ก.5



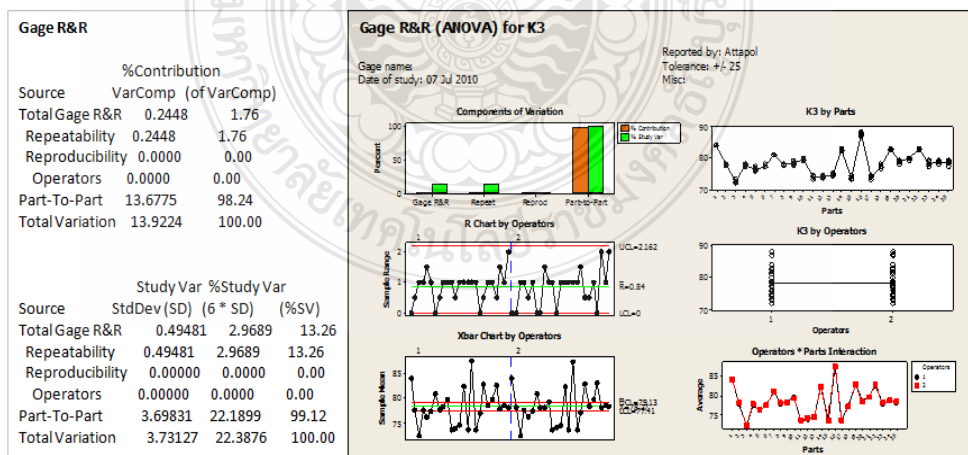
รูปที่ ก.5 ขั้นตอนการ Create Gage R&R Study Worksheet

เมื่อทำการกรอกข้อมูลในช่อง Work Sheet แล้ว ขั้นตอนต่อไปจะทำการคำนวณ GR&R โดยเริ่มต้นเปิดโปรแกรม Minitab จากนั้นเลือกเมนู Stat > Quality Tools > Gage Study> Gage R&R (Crossed)...จากนั้นป้อนข้อมูลตัวแปรที่ต้องการ C3 = Part, C4 = Operator, C5 = K3 ลงช่องเมนู Part numbers: = Parts, Operator: = Operator, Measurement data: = K3 จากนั้นป้อนข้อมูลตัวแปรที่ต้องการลงช่องเมนู Study Variation 6 และที่ช่องเมนู Lower spec: และ Upper spec: ไม่ป้อนข้อมูล แล้วคลิก OK ดังรูปที่ ก.6 โดยแสดงผล รูปของกราฟ Gage R&R และข้อมูล Session ผลการคำนวณ ค่าทางสถิติ แสดงดังรูปที่ ก.7





รูปที่ ค.6 ขั้นตอนการทดลอง Gage R&R

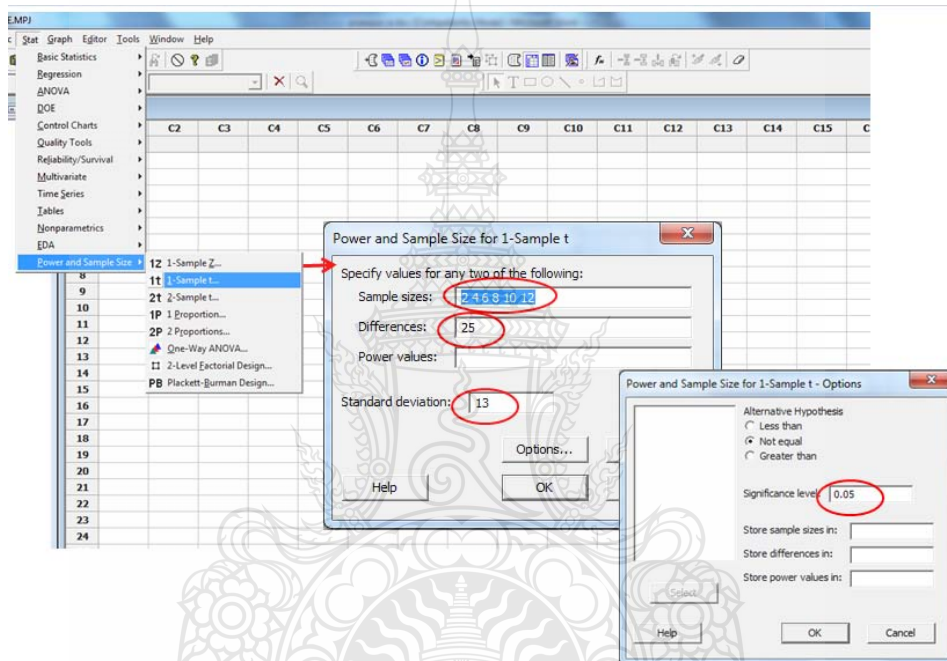


รูปที่ ค.7 ผลกราฟ Gage R&R และผลการคำนวณค่าทางสถิติของการวัดค่าแรงอัดของผ้าเบรค

โดยเครื่อง Link Compressibility Machine

#### ค.4 วิธีการทำผลการวิเคราะห์จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง (Power and Sample Size)

เริ่มต้นเปิดโปรแกรม Minitab จากนั้นเลือกเมนู Stat > Power and Sample Size > 1 sample-T จากนั้นป้อนข้อมูลตัวแปรที่ต้องการตรงช่อง Sample size: =2, 4, 6, 8, 10, 12, ช่อง Difference: = 25 และช่อง Standard deviation: =13 แล้วคลิก Options เพื่อเลือกค่า Significance level: = 0.05 จากนั้นคลิก OK แสดงดังรูปที่ ค.8 และสามารถแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณดังรูปที่ ค.9



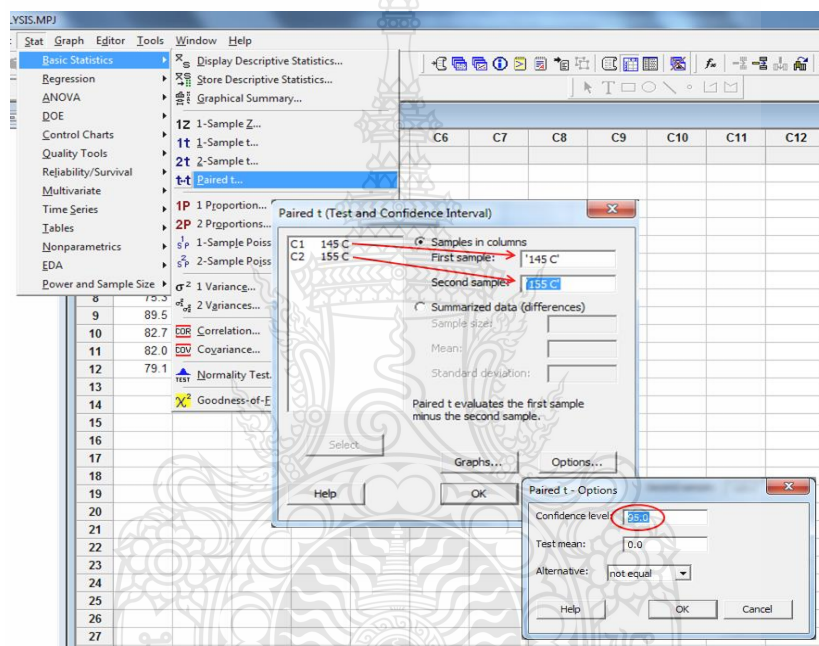
รูปที่ ค.8 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ Sample size โดย 1-Sample T

Power Curve for Test for Two Proportions		
Power and Sample Size		
1-Sample t Test		
Testing mean = null (versus not = null)		
Calculating power for mean = null + difference		
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 13		
Difference	Sample Size	Power
25	2	0.169095
25	4	0.725245
25	6	0.959718
25	8	0.995879
25	10	0.999654
25	12	0.999974

รูปที่ ค.9 ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โดยโปรแกรม Minitab

**ค.5 ตัวอย่างวิธีการนำเสนอผลการวิเคราะห์ปัจจัยที่ผลต่อการเกิดปัญหา โดยใช้วิธี Paired T-Test**

เริ่มต้นเปิดโปรแกรม Minitab เลือกเมนู Start> Basic Statistics> Paired T-Test จากนั้นทำการคลิกเลือก Sample in columns จากนั้นป้อนข้อมูลการทดลองที่ได้ตรงช่อง First sample: =145°C, Second sample: = 155°C จากนั้นทำการเลือก Option จะแสดงเมนู Confidence level: 95.0 Alternative: not equal จากนั้นคลิก OK แล้วทำการคลิก OK อีกครั้ง ดังรูปที่ ค.10 และจะได้ผลลัพธ์แสดงดังรูปที่ ค.11



**รูปที่ ค.10 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหาโดยใช้วิธี Paired T-Test**

Paired T-Test and CI: 145 C, 155 C  
Paired T for 145 C - 155 C

	N	Mean	StDev	SE Mean
145 C	12	83.38	7.36	2.12
155 C	12	91.06	10.38	3.00
Difference	12	-7.68	9.07	2.62

95% CI for mean difference: (-13.44, -1.92)

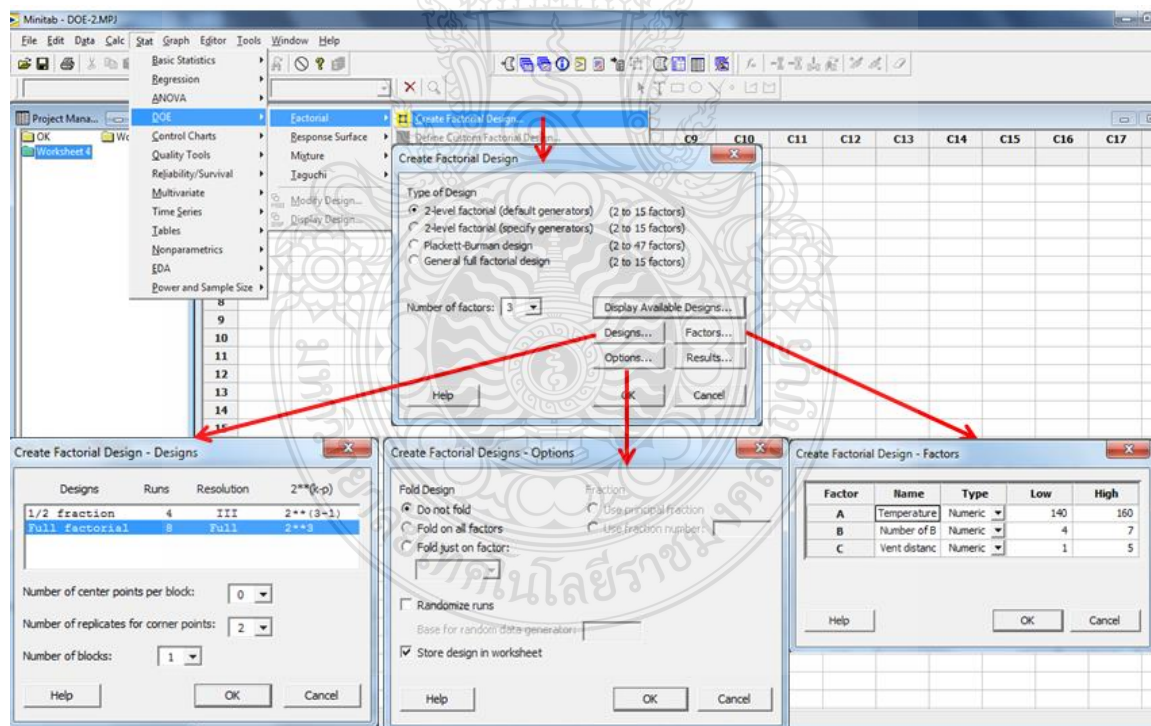
T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = -2.94 P-Value = 0.014

**รูปที่ ค.11 ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหาโดยใช้วิธี Paired T-Test**

## ค.6 วิธีการนำเสนอผลการวิเคราะห์การทดลองค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

การทดลองค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีขั้นตอนดังนี้

เริ่มต้นเปิดโปรแกรม Minitab เลือกเมนู Data > DOE > Factorial > Create Factorial Design... จากนั้นป้อนข้อมูลตัวแปรที่ต้องการ ลงช่องเมนู 2-level factorial (default generators) (2 to 15 factors) คลิกเมนูช่อง Number of factors : 3 > Designs... Full factorial, Runs 8, Resolution Full,  $2^{3-1}$  > Number of replicates : 2 > Number of blocks : 1 แล้วคลิก OK จากนั้นเลือกเมนู Stat > DOE > Create Factorial Design... คลิกช่อง 2-level factorial (default generators) (2 to 15 factors) คลิกเมนูช่อง Factor ทำการป้อนตัวแปรโดย Factor A: Temperature (Low : 140, High : 160) Factor B : Number of Bump (Low : 4, High : 7) และ Factor C : Vent distance gap (Low : 1, High : 5) แล้วคลิก OK จากนั้นทำการเลือกเมนูช่อง Option แล้วเลือก Fold Design : Do not fold และ เลือก Store design in work sheet แล้วคลิก OK ไปช่องเมนูหลัก แล้วคลิก OK อีกครั้งจะแสดงผลการคำนวณ Worksheet ดังรูปที่ ค.12 แล้วป้อนข้อมูล Defect แสดงดังรูปที่ ค.13



รูปที่ ค.12 ขั้นตอนและผลการ Create Factorial Design



↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Temperature	Vent Distance Gap	Bump	K3
1	1	5	1	1	140	1	4	
2	2	8	1	1	160	1	4	
3	3	4	1	1	140	5	4	
4	4	6	1	1	160	5	4	
5	5	15	1	1	140	1	7	
6	6	3	1	1	160	1	7	
7	7	16	1	1	140	5	7	
8	8	12	1	1	160	5	7	
9	9	14	1	1	140	1	4	
10	10	7	1	1	160	1	4	
11	11	10	1	1	140	5	4	
12	12	2	1	1	160	5	4	
13	13	13	1	1	140	1	7	
14	14	9	1	1	160	1	7	
15	15	1	1	1	140	5	7	
16	16	11	1	1	160	5	7	

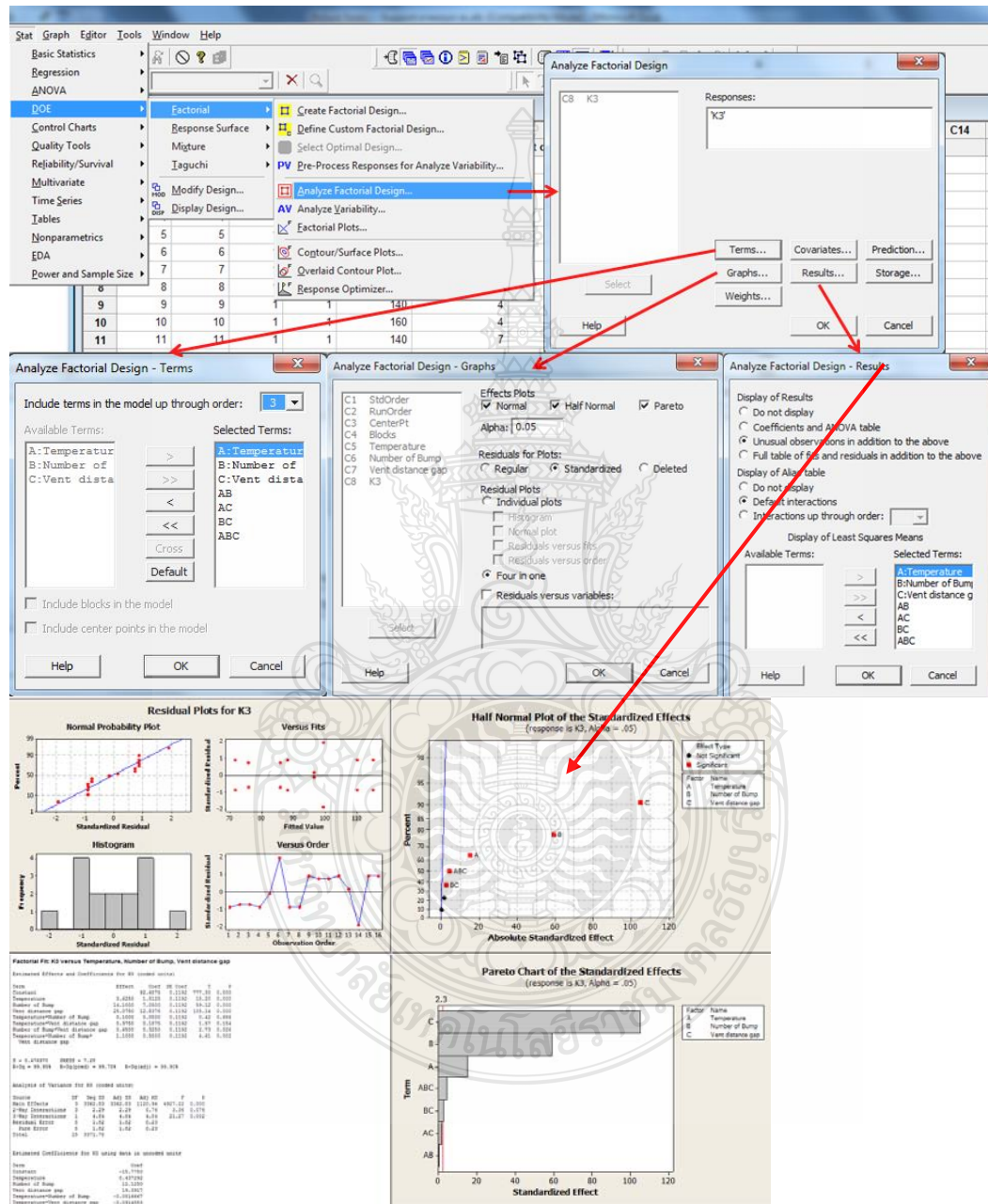
  

↓	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	K3
	StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Temperature	Vent Distance Gap	Bump	
1	1	5	1	1	140	1	4	71.0
2	2	8	1	1	160	1	4	75.3
3	3	4	1	1	140	5	4	85.5
4	4	6	1	1	160	5	4	87.7
5	5	15	1	1	140	1	7	96.4
6	6	3	1	1	160	1	7	99.9
7	7	16	1	1	140	5	7	109.7
8	8	12	1	1	160	5	7	114.9
9	9	14	1	1	140	1	4	71.6
10	10	7	1	1	160	1	4	75.8
11	11	10	1	1	140	5	4	86.0
12	12	2	1	1	160	5	4	88.3
13	13	13	1	1	140	1	7	96.5
14	14	9	1	1	160	1	7	98.6
15	15	1	1	1	140	5	7	110.3
16	16	11	1	1	160	5	7	115.5

รูปที่ ค.13 ผลการ Create Factorial Design

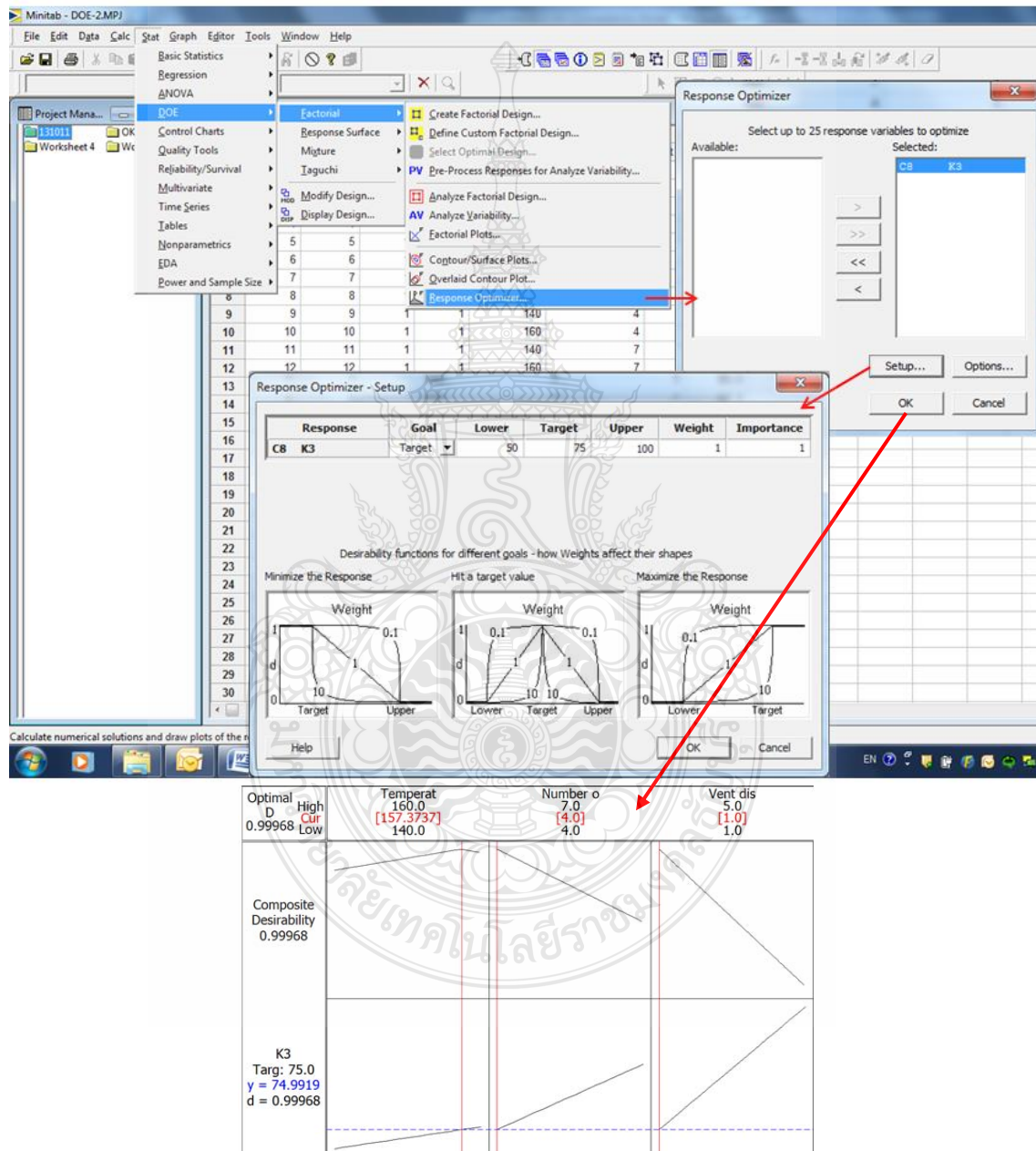
จากนั้นเริ่มต้นเลือกเมนู Stat > DOE > Analyze Factorial... จากนั้นป้อนข้อมูลตัวแปรที่ต้องการ ลงช่องเมนู Responses : ' K3' แล้วคลิกเลือกเมนู Terms...จากนั้นป้อนข้อมูลที่ต้องการ ลงช่องเมนู Selected Terms := A, B, C, AB, BC, ABC แล้วคลิก OK จากนั้นคลิกเมนู Graphs...จากนั้นคลิกเลือกช่องข้อมูลที่ต้องการ ลงช่องเมนู Effect Plots := Normal, Half normal, Pareto, แล้วเลือกเมนู Standard และ Four in one แล้วคลิก OK จากนั้นคลิกเมนู Results...จากนั้นคลิกเลือกเมนู

Unusual และ Default จากนั้นเลือกคลิกเมนูที่ต้องการ ลงช่องเมนู Selected Terms : A, B, C, AB, BC, ABC แล้วคลิก OK จากนั้นคลิก OK อีกครั้ง โดยแสดงผลการคำนวณและกราฟ Factorial Design แสดงดังรูปที่ ค.14



รูปที่ ค.14 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม ผลการคำนวณและกราฟ Factorial Design

จากนั้นเริ่มต้นเลือกเมนู Stat > DOE > Factorial > Response Optimizer... จากนั้นเลือกข้อมูลค่า K3 คลิกช่อง Select แล้วคลิก Setup... จากนั้นทำการคลิกข้อมูล Goal ที่ต้องการลงในช่อง Lower, Target และ Upper จากนั้นคลิก OK และคลิก OK อีกครั้ง โดยแสดงผลการคำนวณและกราฟ Response Optimize แสดงดังรูปที่ ก.15

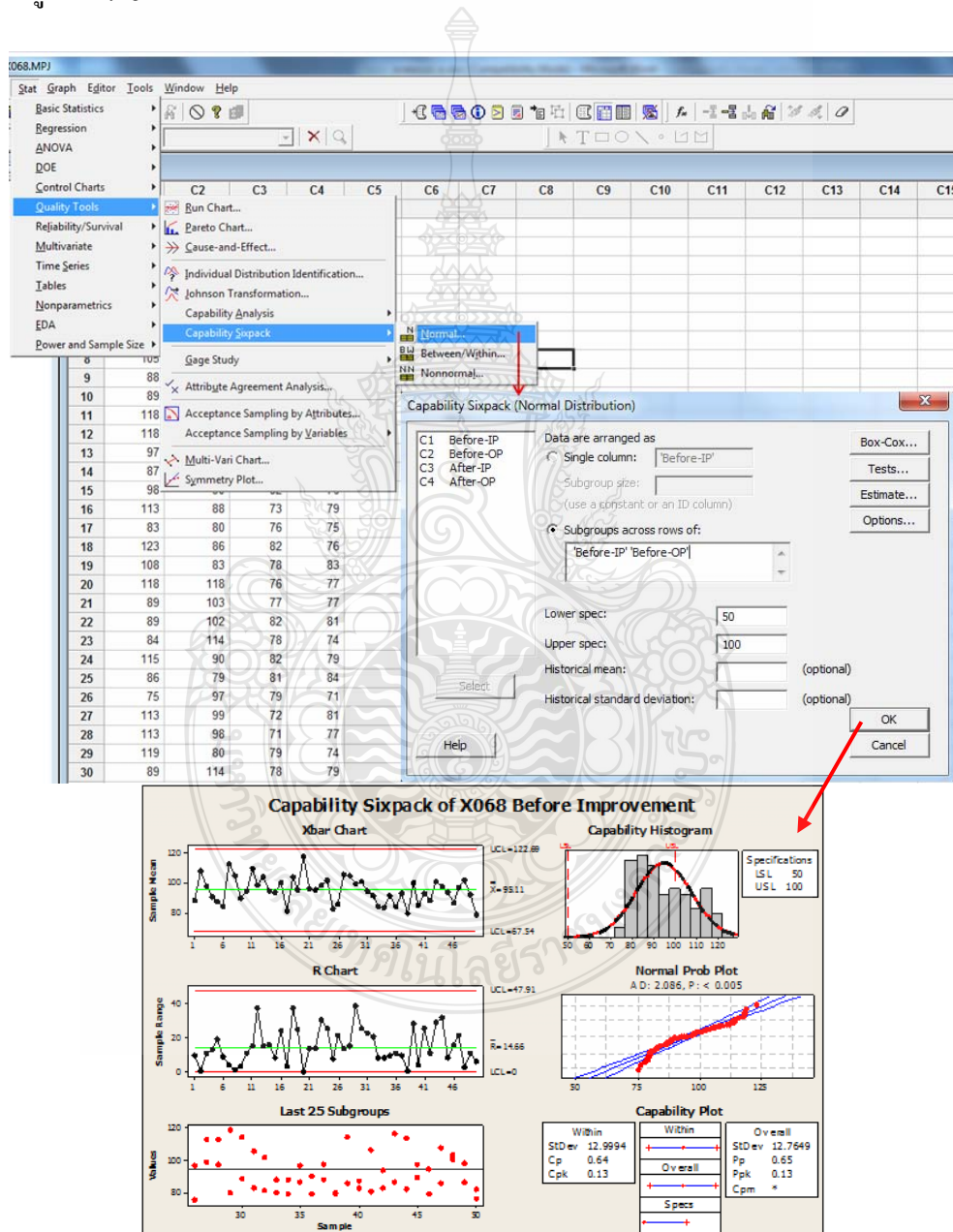


รูปที่ ก.15 ขั้นตอนและผลการคำนวณและกราฟ Response Optimizer



## ค.7 วิธีการนำเสนอผลการวิเคราะห์ Capability Six-pack เปรียบเทียบค่า K3 ก่อนและหลังการปรับปรุง

เริ่มต้นเลือกเมนู Stat> Quality tool> Capability Six-pack> Normal แล้วทำการคลิกที่ Subgroups across row of และคลิกข้อมูล Before-IP' Before-OP จากนั้นทำการใส่ข้อมูลในช่อง Lower spec: 50 และ Upper spec: 100 จากนั้นทำการคลิก OK อีกครั้งหนึ่งจะได้กราฟ Capability Six-pack แสดง ดังรูปที่ ค.16



รูปที่ ค.16 ขั้นตอนและผลการนำเสนอแบบ Capability Sixpack



**ภาคผนวก ง**  
**ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่**



# วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลัญบุรี >>>>>>

ที่ วร ๗๑ / 2556

๕ สิงหาคม 2556

เรื่อง ตอบรับตีพิมพ์บทความลงในวารสาร

เรียน นางสาวลัยพร เหมโส

ตามที่ท่านได้ส่งบทความเรื่อง “การลดของเสียจากกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ โดยประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC” เพื่อขอตีพิมพ์ลงในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลัญบุรี ทางกองบรรณาธิการ ได้พิจารณาแล้ว เห็นควรให้ตีพิมพ์ลงในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลัญบุรี ปีที่ 11 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม) 2556 ต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชวลิต แสงสว่างดี)

หัวหน้ากองบรรณาธิการ  
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลัญบุรี

## การลดของเสียจากกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ โดยประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC

### Defect reduction from brake pads production by using DMAIC method

วลัยพร เหมโส ระพี กาญจนะ<sup>2</sup>

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์โดยประยุกต์ใช้หลักการ DMAIC ของ ซิกส์ ซิกมา โดยมีมุ่งหวังที่จะลดปริมาณของเสียอันเกิดจากปัญหาชิ้นงานร้าวลงร้อยละ 30 ตามนโยบายของบริษัทตัวอย่าง กระบวนการที่เลือกมาศึกษาคือกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานร่อนของผ้าเบรค โมเดล X068 โดยการควบคุมค่าการอัดตัวของชิ้นงาน (Compression) อยู่ที่ระหว่าง 50-100 ไมครอน จะทำให้ระบบการวัดดังกล่าวมีความถูกต้องและความแม่นยำสูงขึ้น โดยขั้นตอนการศึกษาทั้งหมดแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังนี้ (1) ขั้นตอนการกำหนดคปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase) โดยได้ทำการศึกษาความสามารถของกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ (Process Capability Index) (2) ขั้นตอนการวัด (Measure Phase) เพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (3) ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) โดยการวิเคราะห์ทีละสาเหตุทีละปัจจัย (One Factor at a Time) (4) ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) โดยทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) แบบ  $2^k$  Full Factorial เพื่อหาความสัมพันธ์และค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย และ (5) ขั้นตอนการควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control Phase) ได้นำวิธีการทางสถิติ (Statistical Process Control: SPC) มาช่วยในการควบคุมกระบวนการผลิต หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามหลักการ DMAIC ของ ซิกส์ ซิกมา ทำให้พบว่า จำนวนของเสียที่เกิดจากชิ้นงานร้าว (Pad Crack) ที่เกิดขึ้นจากระบวนการผลิตขึ้นรูปร่อน ลดลงจากเดิมร้อยละ 60.37 หรือ 40,461 PPM เหลือเพียงร้อยละ 39.87 ของปริมาณของเสียทั้งหมด หรือคิดเป็น 17,090 PPM ดังนั้นการปรับปรุงครั้งนี้สามารถลดปริมาณของเสียได้ร้อยละ 36.75 ซึ่งตรงกับเป้าหมายของบริษัทที่วางเอาไว้ที่ร้อยละ 30.00

คำสำคัญ: ของเสีย ขึ้นรูปร่อน ชิ้นงานร้าว DMAIC

#### Abstract

This research aims to reduce the amount of defects generated within the process of brake pad production by using DMAIC method stage of Six Sigma. According to the case study company's target, the amount of defects caused by pad crack problem should be decreased by 30%. The cure pressing process of disc brake pad model X068 production is selected for this study. In order to accuracy and precision measurement system, the specification of disc brake pad is controlled with the compression value ranging from 50 -100 micron. The research methodology consists of 5 steps: (1) Define phase, the process capability index of disc brake pad production is evaluated, (2) Measure phase, the root causes of problem are determined, (3) Analysis phase, each one factor is analyzed, (4) Improve phase, the design of experiments (DOE) with  $2^k$  Full Factorial is used to investigate the relationship and the optimal value of each factor, and (5) Control phase, the statistical process control (SPC) is applied to control the process. After improvement by implementing the DMAIC method, it found that the scrap rate is reduced from 60.37% (40,461 PPM) to 39.87% (17,090 PPM) of all defect rate or about 17,090 PPM. Thus, with this improvement the amount of defects can be reduced by 36.75% of company policy.

**Keywords:** Defect, Press Cure, Pad Crack, DMAIC Methodology

<sup>1</sup>นักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

<sup>2</sup>อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



## 1. บทนำ

ธุรกิจการผลิตค่าเบรครถยนต์ นับว่าเป็นธุรกิจหลักประเภทหนึ่งซึ่งเชื่อมโยงต่อภาคอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ในประเทศและยังเป็นอีกธุรกิจหนึ่งที่ส่งเสริมตลาดหลังการขายรถยนต์ เพราะหากธุรกิจอุตสาหกรรมรถยนต์มีการขยายตัวหรือมีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ก็จะมีผลกระทบต่อการพัฒนาและการดำเนินงานของกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตค่าเบรครถยนต์ไปด้วย และเนื่องจากในปัจจุบันมีผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมการผลิตค่าเบรครถยนต์มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ตลาดค่าเบรครถยนต์มีอัตราการแข่งขันที่สูงมาก ทำให้ผู้ประกอบการผลิตรถยนต์และกลุ่มผู้ใช้งานรถยนต์ มีทางเลือกในการพิจารณาผู้ผลิตมากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจึงส่งผลให้ผู้ผลิตชิ้นส่วนค่าเบรครถยนต์ต้องเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน และมีความจำเป็นที่จะต้องตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ทั้งในเรื่องของคุณภาพ ราคา และการส่งมอบที่ทันเวลา ซึ่งเป็นหัวใจหลักในการแข่งขันทางด้านธุรกิจ

โดยจากข้อมูลในกระบวนการผลิตค่าเบรครถยนต์ของฝ่ายผลิตของโรงงานกรณีศึกษา ย้อนหลังในเดือนมกราคม-กรกฎาคม 2553 พบว่าปัญหาหลัก 5 อันดับที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยเฉพาะ โมเดล X068 ที่ผู้วิจัยได้เลือกทำการศึกษา พบว่ามีปัญหาชิ้นงานร้าว (Pad Crack) ถึง 60.37% หรือคิดเป็น 40,461 PPM ของปัญหาทั้งหมด

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ผู้ทำการวิจัยจึงเห็นว่าการ DMAIC เป็นแนวทางที่ช่วยในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้ เช่น การประยุกต์ใช้แนวทาง DMAIC ของซิกส์ ซิกมา มาช่วยในการลดปัญหาชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพในอุตสาหกรรมรถจักรยานยนต์ของบริษัทผลิตกันชนท้ายรถยนต์ ซึ่งสามารถลดค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนลงได้ จาก 146,295 PPM เหลือเพียง 25,780 PPM และทำให้ลดค่า ความสูญเสียจาก 774,714 เหลือ 128,648 บาทต่อเดือน เป็นต้น [4]โดยเป้าหมายของการทำวิจัยในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อนำวิธีการ DMAIC มาประยุกต์ใช้ในการลดปัญหาชิ้นงานร้าวให้ลดลงไปอย่างน้อย 30 % ซึ่งจากเดิมมีอยู่ 60.37% เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายของบริษัทในการลดของเสีย

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

DMAIC เป็นเครื่องมือทางวิธีของ ซิกส์ ซิกมา (Six Sigma) โดยถูกนำมาใช้ทั้งหมด 5 ขั้นตอน [2] โดยเริ่มต้นจาก

### 2.1 การกำหนดปัญหา

เป็นขั้นตอนการกำหนดเป้าหมาย ของสิ่งที่ต้องการศึกษา เพื่อระบุแหล่งที่มาของข้อมูล และระบุลักษณะคุณภาพที่บ่งชี้ปัญหา โดยผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาจากแผนผังพารโต (Pareto Diagram) [7] และทำการศึกษาความสามารถของกระบวนการ เพื่อเปรียบเทียบทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง [4]

### 2.2 การระบุสาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนนี้ จะทำการกำหนดแนวทางในการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการ เพื่อเป็นการศึกษากระบวนการโดยละเอียด เพื่อกำหนดปัจจัยที่ได้รับจากการทำการศึกษาระบบการผลิตทั้งกระบวนการ (Process Mapping) [3, 4, 8], การวิเคราะห์แผนภาพเหตุและผล (Cause and Effect Diagram), การวิเคราะห์ความคิดพลาดและผลกระทบของปัญหา (Failure Mode and Effect Analysis), แผนภาพพารโต และการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับ (Measurement System Analysis) [3, 4]

### 2.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

เป็นการนำปัจจัยของกระบวนการมาทำการวิเคราะห์และทดลองเพื่อหาสาเหตุของปัญหา โดยการวิเคราะห์ที่ละสาเหตุทีละ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของ Paired T-Test ทำให้ทราบถึงปัจจัยหลัก ที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ [3] และการชุบชิ้นงานโครเมียม [4]

### 2.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) โดยทำการออกแบบการทดลองแบบ  $2^k$  Full Factorial เพื่อหาความสัมพันธ์และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยในกระบวนการชุบชิ้นงานโครเมียม ทำให้

ทราบปัจจัยที่เหมาะสม ในการปรับตั้งเครื่องจักรในกระบวนการผลิต [4] นอกจากนี้ในบริษัทงานพิมพ์บอร์ดได้ทำการเพิ่มปริมาณการผลิตและปรับปรุงทางด้านคุณภาพ [9]

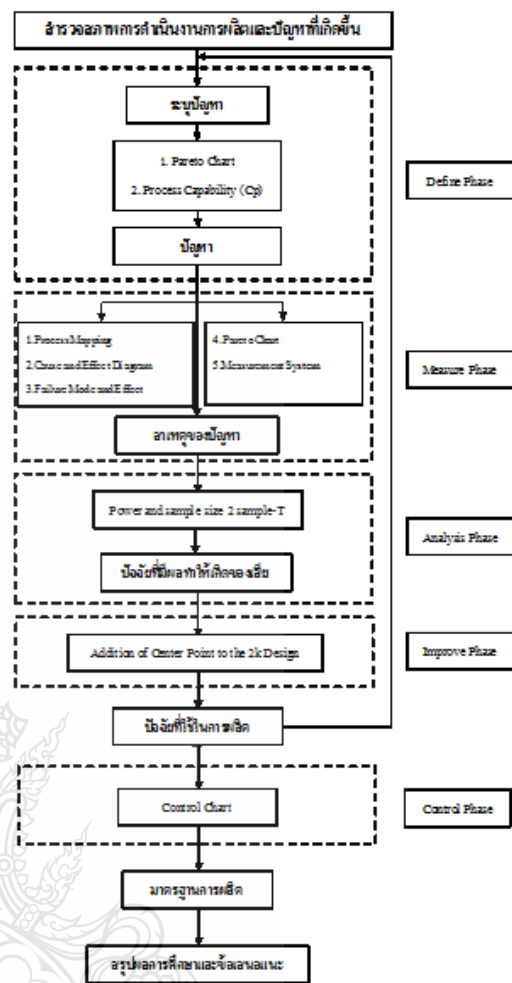
### 2.5 การควบคุมตัวแปรต่างๆ

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการควบคุมปัจจัยต่างๆ โดยวิธีการทางสถิติ (Statistical Process Control: SPC) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้กระบวนการผลิตมีเสถียรภาพที่สูงขึ้น [3, 4, 7, 8] โดยค่า  $C_p$  และ  $C_{pk}$  ที่สามารถยอมรับได้จะต้องมากกว่า 1.33 จึงจะถือว่าเป็นกระบวนการที่มีความผันแปรน้อยหรือมีความมั่นคงสูง [21]

นอกจากนั้นแล้วหลักการ DMAIC ยังได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในองค์กรและหน่วยงานเอกชนต่างๆ เช่น การปรับปรุงกระบวนการ การทดสอบการติดตั้งระบบเครือข่าย Handsets Network ของบริษัทซัมซุง ซึ่งหลังการปรับปรุงพบว่าดัชนีชี้วัดในการคาดการณ์ความแม่นยำสูงและนอกจากนั้นแล้วยังช่วยในการป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการปรับปรุง และการควบคุมกระบวนการผลิตที่ดีขึ้นกว่าเดิม [10], การพัฒนาวัตถุดิบ ในบริษัทงานพิมพ์บอร์ด เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิต โดยพบว่า 30% กิจกรรมของพนักงาน เป็นกระบวนการที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Non-value Added) โดยหลังการปรับปรุงพบว่าสามารถเพิ่มกำลังการผลิตจาก 143,400 ชิ้น เป็น 200,000 ชิ้น [6] และนอกจากนี้แล้วยังถูกใช้ในการวิเคราะห์ปรับปรุงคุณภาพของงานบริการ, ความต้องการของลูกค้า และปรับปรุงวิธีการของการจัดการเคาน์เตอร์ธนาคาร ที่รวดเร็วขึ้น [11] เป็นต้น

### 3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ขั้นตอนตามแนวทาง DMAIC ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน โดยแสดงดังรูปภาพที่ 3-1



รูปที่ 3-1 Flow Chart ขั้นตอนในการดำเนินงาน

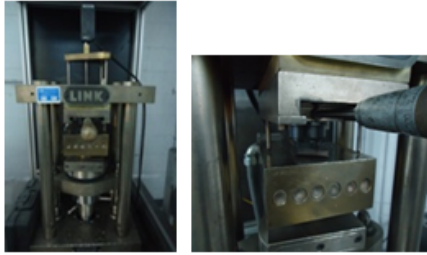
### 3.1 ขั้นตอนของการที่ทดลองปัญหา

การวิเคราะห์ห้ผลรวมสัดส่วนของเสียในผลผลิตจำนวน 7 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม-กรกฎาคม 2553 โดยแผนภาพพาเรโต (Pareto chart)

### 3.2 ขั้นตอนการวัด

เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ โดยทำการวิเคราะห์ในรูปแบบของปัญหา 2 ส่วน คือ

- 3.2.1 ปัญหาจากกระบวนการการผลิตผ้าเบรครถยนต์
- 3.2.2 ปัญหาจากเครื่องทดสอบแรงกดผ้าเบรค (Compression test) ดังรูปที่ 3.2 และปัญหาจากการตรวจสอบ Visual Check โดยพนักงาน



รูปที่ 3-2 เครื่องทดสอบการอัด

### 3.3 ขั้นตอนที่วิเคราะห์

ศึกษาจากปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 5 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงาน ได้แก่ อุณหภูมิ (Die temperature), จำนวนการอัดตัวของเครื่องอัดชิ้นงาน (Number of Bump), ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ (Vent distance gap), ระยะเวลาการอัดตัวของเครื่องจักร (Dwell time) และแรงดันการอัดตัว (Dwell time) จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ที่ความแปรปรวน โดยวิธีการวิเคราะห์ที่ละสาเหตุทีละปัจจัย ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ของ Paired T-Test เป็นการตัดสินใจจากค่า P-Value >0.05 เพื่อเป็นการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing Method)

### 3.4 ขั้นตอนที่ปรับปรุง

ทำการออกแบบการทดลอง DOE แบบ  $2^3$  Full Factorial แบบ 2 Replicates โดยที่สุ่มจากผลการทดลองการวัด Gage R&R กับกระบวนการทดสอบแรงอัดตัวเบรคที่กระทำกับชิ้นงาน โดยกำหนด Specification ของแรงอัดที่ 50-100 ไมครอน

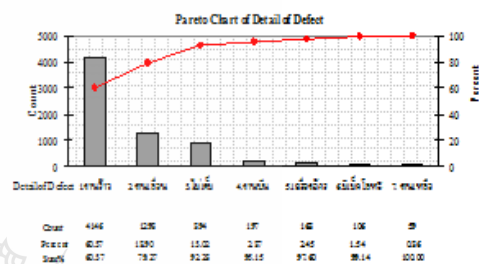
### 3.5 ขั้นตอนที่ควบคุมปัญหา

นำแผนภูมิ X-Bar มาช่วยในการควบคุมปัจจัย เช่น อุณหภูมิ และใช้ SPC ในการวิเคราะห์กระบวนการทดสอบแรงอัดตัวเบรค นอกจากนั้นยังใช้ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Work Instruction) และแบบฟอร์ม Check Sheet ในการควบคุมกระบวนการผลิตอีกด้วย

## 4. ผลการวิจัย

### 4.1 ผลขั้นต้นของการระบุปัญหา

จากการเก็บรวบรวมปัญหาในกระบวนการผลิต ตัวเบรครถยนต์ของบริษัทกระทิงศึกษา ตั้งแต่เดือนมกราคม - กรกฎาคม 2553 พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุด คือ ปัญหาชิ้นงานร้าว ของโมเดล X068 ซึ่งคิดเป็น 60.37% ของปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมดในกระบวนการผลิต ซึ่งปัญหานี้มีสาเหตุหลักมาจากกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานร้อน โดยแสดงการจำแนกปัญหา ดังรูปที่ 4-1



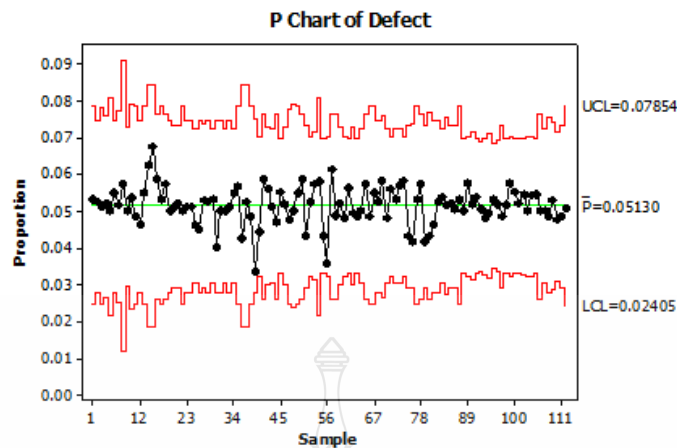
รูปที่ 4-1 แผนภาพพาเรโตจำแนกลักษณะอาการของปัญหา

จากรูปที่ 4-1 แผนผังพาเรโตเพื่อแสดงปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตตัวเบรครถยนต์ พบว่าปัญหา

ชิ้นงานร้าว มีสัดส่วนของปัญหามากที่สุดถึง 60.37% เมื่อเทียบกับปัญหาอื่นที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ดังนั้นปัญหาชิ้นงานร้าว จึงเป็นปัญหาที่ควรถูกนำมาดำเนินการปรับปรุงแก้ไขก่อน ส่วนปัญหาชิ้นงานเลื่อนเป็นปัญหาที่เกิดจากการติดตั้งโมล ซึ่งสามารถควบคุมได้ด้วยการตรวจเช็คชิ้นงาน ชิ้นแรก (First piece) เปรียบเทียบกับ Drawing หลังจากทำการ Press ชิ้นงานแล้วเสร็จ

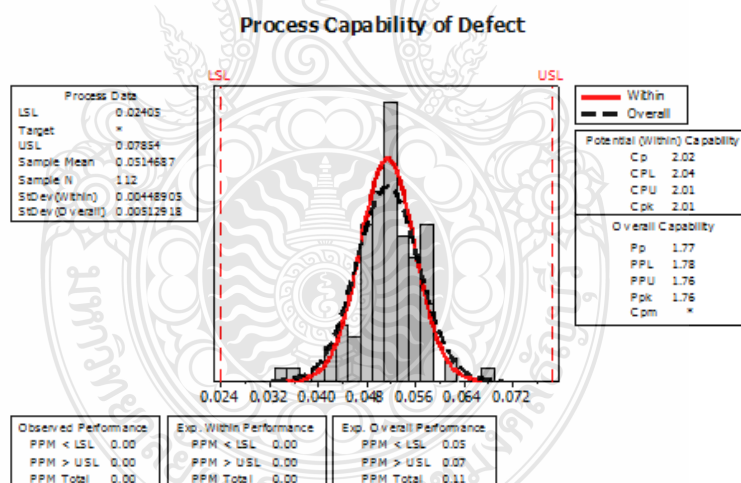
เมื่อสามารถระบุปัญหาหลักได้แล้ว ขั้นตอนต่อมาได้ทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ โดยนำข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้น ระหว่างเดือนมกราคม - กรกฎาคม 2553 มาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p Chart) โดยโปรแกรม MINTAB แสดงได้ดัง รูปที่ 4-2 ได้ค่า P-bar ที่ 0.05130 และเปอร์เซ็นต์ของของเสียอยู่ในค่าที่กักควบคุม





รูปที่ 4-2 แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (Before)

จากนั้นทำการพิจารณาดัชนีศักยภาพของกระบวนการ ( $P_{pk}$ ) โดยการคำนวณจากโปรแกรม MINITAB พบว่าได้ค่าเท่ากับ 1.76 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.33 แสดงว่าความสามารถของกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานร้อนมีความผันแปรน้อยและมีความมั่นคงสูง แสดงดังรูปที่ 4-3

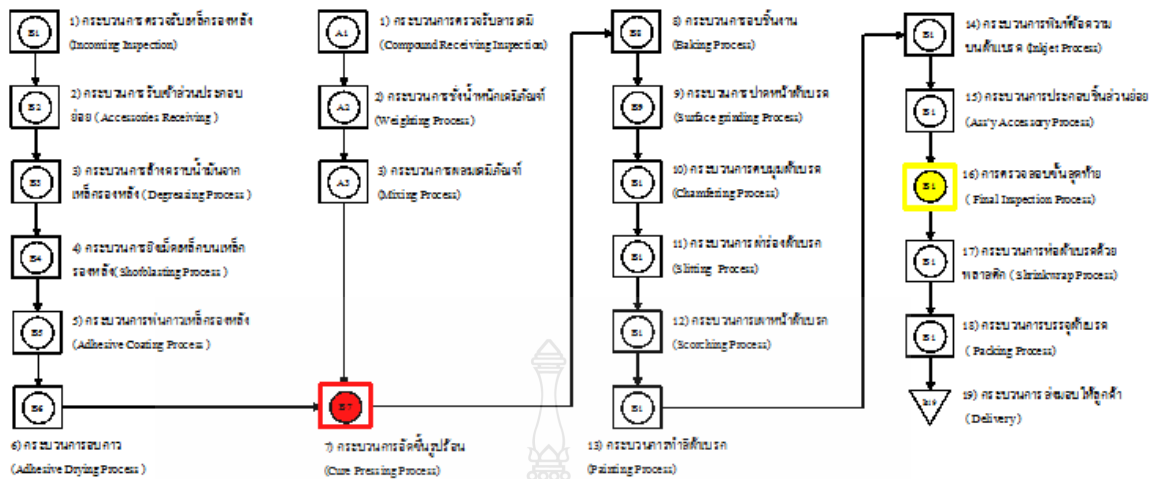


รูปที่ 4-3 แผนภูมิการควบคุมกระบวนการสัดส่วนของเสีย (ก่อนการปรับปรุง Jan-Jul'53)

## 4.2 ผลลัพธ์ตอนการวัด

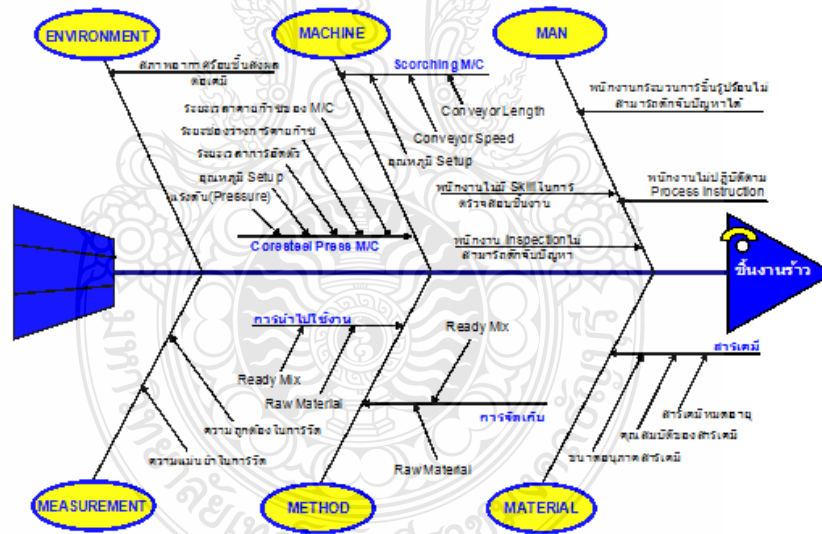
4.2.1 จากการสร้างแผนที่กระบวนการผลิตที่เบรครถยนต์ (Process Map) เพื่อทำการศึกษาปัจจัยและความสัมพันธ์ในแต่ละงานตามกระบวนการ และลักษณะงานที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า ดังรูปที่ 4-4 พบว่าปัญหาชิ้นงาน

ร้าวเกิดขึ้นที่กระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน (Cure pressing process) แสดงโดยสีแดง และนอกจากนั้นแล้วอาจเกิดปัญหาการหลุดรอดของชิ้นงานเสียที่กระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Final Inspection) แสดงโดยสีเหลือง



รูปที่ 4-4 กระบวนการที่จะก่อให้เกิดปัญหาพื้นบร้าว

4.2.2 จากนั้น วิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) โดยการระดมสมอง ซึ่ง ประกอบไปด้วยทีมงานจากฝ่ายผลิต ฝ่ายเทคนิค และฝ่ายควบคุมกระบวนการคุณภาพ แสดง ดังรูปที่ 4-5



รูปที่ 4-5 แผนภาพแสดงเหตุและผลของปัญหาพื้นบร้าว

4.2.3 จากแผนภาพแสดงเหตุและผล จึงนำไปสู่ขั้นตอนการระดมสมอง หรือขั้นตอนการวิเคราะห์ผลกระทบอื่นเนื่องมาจากความคิดพลาดในกระบวนการ

(Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) เพื่อหาสาเหตุที่เป็นไปได้โดย ดังตารางที่ 4-1



4.2.4 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบ วัด (Measurement System Analysis) ในการตรวจวัด คุณภาพของผ้าเบรกโดยเครื่องทดสอบแรงอัดของผ้า



รูปภาพที่ 4-7 ลักษณะชิ้นงานดี



รูปภาพที่ 4-8 ลักษณะชิ้นงานร้าว

ดังนั้น MSA จึงถูกนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพ ของเครื่อง จากการวิเคราะห์ MSA ด้วย Minitab ได้ผลดัง แสดง ในรูปที่ 4-9

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.2785	2.02
Repeatability	0.2785	2.02
Reproducibility	0.0000	0.00
Operators	0.0000	0.00
Part-To-Part	13.4802	97.98
Total Variation	13.7587	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.52778	3.1667	14.23
Repeatability	0.52778	3.1667	14.23
Reproducibility	0.00000	0.0000	0.00
Operators	0.00000	0.0000	0.00
Part-To-Part	3.67154	22.0292	98.98
Total Variation	3.70928	22.2557	100.00

รูปที่ 4-9 ผลการคำนวณค่าร้อยละ Contribution

จากผลการทดสอบพบว่าค่า Contribution เท่ากับ 2.02% หมายความว่าค่าที่อ่านได้จากเครื่อง

เบรก หรือ Compressibility Testing เป็นอุปกรณ์หลักใน การคัดกรองคุณภาพชิ้นงานดี และไม่ดี

ทดสอบการอัดตัวของผ้าเบรคมีค่าความผันแปร อยู่ใน เกณฑ์ที่ยอมรับได้ [2] จึงสรุปได้ว่าเครื่อง Compression มีความสามารถในการตรวจจับและการแยกแยะของดี หรือของเสียได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นระบบการวัดจึงมี จิตความสามารถเพียงพอที่จะนำไปวัดผลกระบวนการ ศึกษา เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ ชิ้นตอน ต่อไป

4.3 ผลขั้นตอนการวิเคราะห์

จากขั้นตอนการวัดผล พบว่าสาเหตุที่ส่งผล กระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษามี 5 สาเหตุ ประกอบด้วย 1. อุณหภูมิ 2. จำนวนการอัด-คายตัวของ Machine 3. ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ 4. ระยะเวลาการอัดตัวของ เครื่องจักรและ 5. แรงดันการอัดตัว

แนวทางการวิเคราะห์นั้นเป็นการวิเคราะห์ที่ละ สาเหตุทีละปัจจัย โดยใช้วิธีการทดสอบการวิเคราะห์ ความแปรปรวน แบบ Pair T-Test เพื่อคัดกรองปัจจัย ต่างๆ (Screening Factors) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง โดย การทดสอบการอัดตัวของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 โดยลักษณะที่ดีของ Product คือชิ้นงานจะต้องไม่มีรอย ร้าว, ชิ้นงานบวมพอง (Blister) และนอกจากนั้นแล้วค่า Compression หรือค่าการอัดตัวของชิ้นงาน จะต้องอยู่ใน ค่าที่กำหนดคือ 50-100  $\mu\text{m}$  ซึ่งถูกกำหนดโดยผู้กำหนด มาตรฐานการทดสอบโดยอ้างอิงจากผลการทดลองวิ่ง จริง (Dyno-Test) ซึ่งในการทดสอบนั้นหากค่าที่ได้ต่ำ กว่า 50  $\mu\text{m}$  จะทำให้ขณะเบรคเกิดการสะท้าน หรือเบรค ไม่นิ่ม ส่วนในกรณีที่ค่าการอัดสูงเกิน 100  $\mu\text{m}$  จะส่งผล ให้ค่าแรงเสียดทานน้อย ซึ่งจะส่งผลให้การเบรครถยนต์ ไม่สามารถหยุดในระยะที่กำหนด และจะส่งผลให้เกิด อุบัติเหตุตามมาได้

4.3.1 อุณหภูมิของแม่พิมพ์ โดยกำหนดค่าให้  $\mu_1$  คือ ค่า Compression ของชิ้นงาน เมื่อทำการ setup die temperature ที่ 140°C และ  $\mu_2$  คือ ค่า compression ของ



ชิ้นงาน ที่ 160°C จากนั้นวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ได้ค่า P-Value= 0.014 ซึ่งสรุปได้ว่าอุณหภูมิของ die (Die temperature) มีผลต่อชิ้นงานเร็วและค่าการอัดตัวของชิ้นงานที่นัยสำคัญที่ 0.05

4.3.2 จำนวนการอัด-คายตัวของ Machine โดยกำหนดให้  $\mu_1$  คือ ค่า Compression ของชิ้นงาน ที่ 4 Bump และ  $\mu_2$  คือ ค่า compression ของชิ้นงาน ที่ 7 Bump จากนั้นวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ได้ค่า P-Value= 0.004 สรุปได้ว่าจำนวนการอัดตัว มีผลต่อชิ้นงานเร็วและค่าการอัดตัวของชิ้นงานอย่างมีระดับนัยสำคัญที่ 0.05

4.3.3 ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ (Vent Distance Gap) โดยกำหนดให้  $\mu_1$  คือ ค่า Compression ของชิ้นงาน เมื่อทำการ setup Vent Distance Gap ที่ 1 mm. และ  $\mu_2$  คือ ค่า compression ของชิ้นงาน เมื่อทำการ setup Vent Distance Gap ที่ 5 mm. จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ได้ค่า P-Value= 0.004 ซึ่งสรุปได้ว่า Vent Distance Gap มีผลต่อชิ้นงานเร็วและค่าการอัดตัวของชิ้นงานที่นัยสำคัญที่ 0.05

4.3.4 ระยะเวลาการอัดของ Machine (Dwell Time) โดยกำหนดให้  $\mu_1$  คือ ค่า Compression ของชิ้นงาน เมื่อทำการ setup Dwell time ที่ 90 sec. และ  $\mu_2$  คือ ค่า compression ของชิ้นงานเมื่อทำการ setup Dwell time ที่ 130 sec. จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ได้ค่า P-Value= 0.925 ซึ่งสรุปได้ว่าระยะเวลาการอัดตัว (Dwell time) ไม่มีผลต่อชิ้นงานเร็วและค่าการอัดตัวของชิ้นงานตามระดับนัยสำคัญที่ 0.05

4.3.5 แรงดันช่วงอัดตัว (Dwell Pressure) โดยกำหนดให้  $\mu_1$  คือ ค่า Compression ของชิ้นงาน เมื่อทำการอัดตัวที่ Full Dwell Pressure และ  $\mu_2$  คือ ค่า compression ของชิ้นงานเมื่อทำการอัดตัวที่ Half Dwell Pressure จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน ได้ค่า P-Value= 0.142 ซึ่งสรุปได้ว่าแรงดันการอัดตัว (Dwell Pressure) ไม่มีผลต่อชิ้นงานเร็วและค่าการอัดตัวของชิ้นงานที่นัยสำคัญที่ 0.05 ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงได้ ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ผลการทดสอบสมมติฐาน

ลำดับ	สมมติฐาน	na สมมติฐาน
1	$H_0: \mu_1 = \mu_2$ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ไม่มีผลต่อค่าการอัดตัว	ปฏิเสธ $H_0$
	$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ อุณหภูมิของแม่พิมพ์มีผลต่อค่าการอัดตัว	
2	$H_0: \mu_1 = \mu_2$ จำนวนการอัด-คายตัวของ M/C (Number of Bump) ไม่มีผลต่อค่าการอัดตัว	ปฏิเสธ $H_0$
	$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ จำนวนการอัด-คายตัวของ M/C (Number of Bump) มีผลต่อค่าการอัดตัว	
3	$H_0: \mu_1 = \mu_2$ ระยะช่องว่างในการคายแก๊ส (Vent Distance Gap) ไม่มีผลต่อค่าการอัดตัว	ปฏิเสธ $H_0$
	$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ ระยะช่องว่างในการคายแก๊ส (Vent Distance Gap) มีผลต่อค่าการอัดตัว	
4	$H_0: \mu_1 = \mu_2$ ระยะเวลาการอัดตัวของ M/C (Dwell Time) ไม่มีผลต่อค่าการอัดตัว	ยอมรับ $H_0$
	$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ ระยะเวลาการอัดตัวของ M/C (Dwell Time) มีผลต่อค่าการอัดตัว	
5	$H_0: \mu_1 = \mu_2$ แรงดันช่วงอัดตัว (Dwell Pressure) ไม่มีผลต่อค่าการอัดตัว	ยอมรับ $H_0$
	$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ แรงดันช่วงอัดตัว (Dwell Pressure) มีผลต่อค่าการอัดตัว	

จากตารางที่ 4-2 เป็นผลของการทดลองวิเคราะห์ความแตกต่างเพื่อกลั่นกรองปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาและต้องทำการควบคุม คือ

1. อุณหภูมิของแม่พิมพ์
2. จำนวนการอัด-คาย ของเครื่องจักร
3. ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ

จากนั้นนำทั้ง 3 ปัจจัย ไปทำการปรับปรุงในขั้นตอนการออกแบบ  $2^3$  Full Factorial

#### 4.4 ผลขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

จากการทดลองวิเคราะห์หาความแปรปรวนเพื่อกลั่นกรองปัจจัยต่าง ๆ ยังไม่สามารถทราบค่าปัจจัยที่เหมาะสม ดังนั้นจึงทำการกำหนด Level ของแต่ละปัจจัยต่าง ๆ โดยอ้างอิงมาจากข้อมูลเดิมของการผลิตโมเดล X4068 ดังตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ปัจจัยและลักษณะของปัจจัยป้อนเข้า

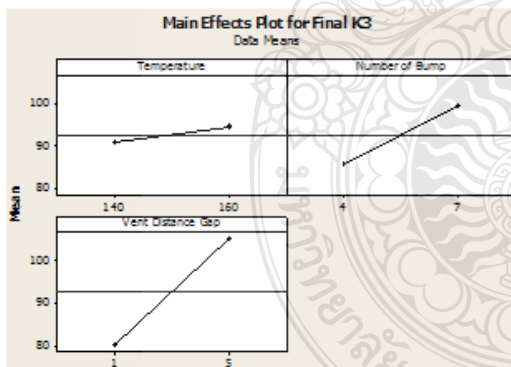
ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	Current Mass Pro.	Level		หน่วย
		1	2	
Die Temperature	150	140±5	160±5	°C
Number of Bump	5	4	7	Bump
Vent Distance Gap	2	1	5	mm.

จากนั้น ออกแบบการทดลอง ผลการทดลอง แบบ  $2^3$  Full Factorial เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของสาเหตุหลักและความแปรปรวนร่วมของแต่ละ Factor โดยแสดง ดังรูปที่ 4-9

Factorial Fit: Final K3 versus Temperature, Number of Bu, Vent Distance					
Estimated Effects and Coefficients for Final K3 (coded units)					
Term	Effect	Coeff	SE Coef	T	P
Constant		92.8977	0.0000	9289.77	0.000
Temperature	3.6287	1.9133	0.0000	191.33	0.000
Number of Bump	14.0950	7.0475	0.0000	704.75	0.000
Vent Distance Gap	29.0725	14.5363	0.0000	1453.63	0.000
Temperature*Number of Bump	0.2995	0.0000	0.0000	0.44	0.675
Temperature*Vent Distance Gap	0.3555	0.0000	0.0000	1.70	0.126
Number of Bump*Vent Distance Gap	0.9400	0.0000	0.0000	2.82	0.023
Temperature*Number of Bump*Vent Distance Gap	1.1045	0.0000	0.0000	4.87	0.002

S = 0.454057 PRESS = 6.59736  
R-Sq = 99.95% R-Sq(adjusted) = 99.90% R-Sq(pred) = 99.91%

รูปที่ 4-9 ค่าการวิเคราะห์ความแปรปรวน

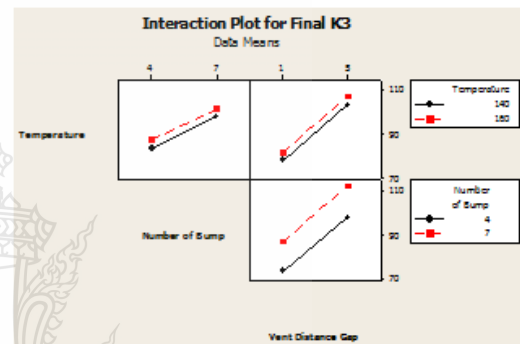


รูปที่ 4-10 กราฟผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสาเหตุหลัก

จากกราฟ ดังรูปที่ 4-10 เป็นผลของการศึกษา โดยแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นของสาเหตุหลักแต่ละตัว และจากการปรับตั้งค่าที่ต่ำที่สุดไปสู่ค่าที่สูงที่สุด ซึ่งมีแนวโน้มการเกิดปัญหาที่ลดลงด้วย โดย

อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Die Surface Temperature) เปลี่ยนแปลงจาก 160°C เป็น 140°C จะทำให้ค่า Compression ลดลง, จำนวนการอัด-คายตัวของ M/C (Number of Bump) เปลี่ยนแปลงจาก 7 Bump เป็น 4 Bump และระยะช่องว่างการคายก๊าซ (Vent Distance Gap) เปลี่ยนแปลงจาก 5 mm. เป็น 1 mm. ซึ่งส่งผลให้ค่าการอัดชิ้นงาน ลดต่ำลง นั่นหมายถึงอัตราการรั่วของชิ้นงานลดต่ำลงด้วย

จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมของปัจจัยแต่ละตัว แสดงได้ ดังรูปที่ 4-11



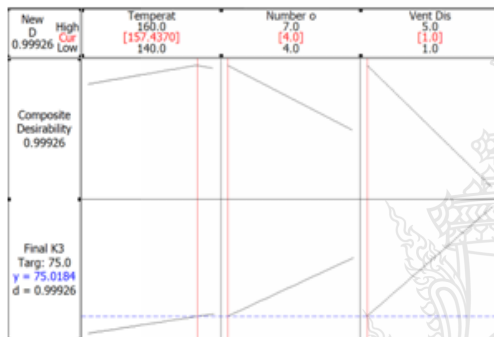
รูปที่ 4-11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมแต่ละตัว

จากรูปที่ 4-11 พบว่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Die Temperature), จำนวนการอัด-คายตัวของ M/C (Number of Bump) และระยะเวลาช่องว่างในการคายก๊าซ (Vent Distance Gap) ไม่มี Interaction ต่อกัน ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Die Temperature), จำนวนการอัด-คายตัวของ M/C (Number of Bump) และระยะเวลาช่องว่างในการคายก๊าซ (Vent Distance Gap) ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกันที่จะส่งผลให้เกิดค่า Compression ที่ลดลง และไม่ส่งผลต่อปัญหาการรั่วของชิ้นงาน

จากนั้น วิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม หรือ Response Optimizer โดยวิธีการทาง Mini-Tab โดยกำหนดค่าการอัดชิ้นงาน ตามข้อกำหนดของลูกค้า ไม่ควรสูงเกิน 100  $\mu\text{m}$  และค่าเป้าหมายต่ำสุด คือ 50  $\mu\text{m}$  ได้ผลการทดสอบ ดังรูปที่ 4-12

Response Optimization					
Parameters					
Final	Goal	Lower	Upper	Weight	Impact
Final	Final	50	75	100	1
Global Solution					
Temperature	-	157.374			
Number of Bu	-	4			
Vent Dis	-	1			
Predicted Responses					
Final K3	-	75.0184	desirability	-	0.999801
Composite Desirability - 0.999801					

รูปที่ 4-12 การวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม



รูปที่ 4-13 ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม

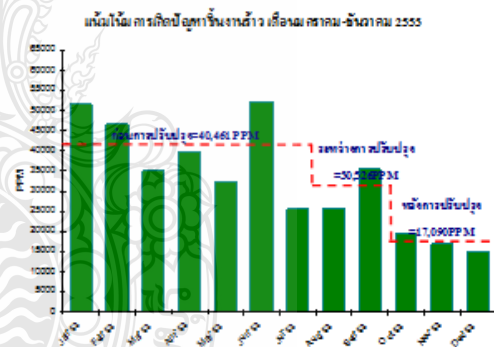
จากรูปที่ 4-12 และ 4.13 เพื่อให้ได้ค่าการอัดขึ้นงาน ตาม Target คือ 75  $\mu\text{m}$  จะต้องทำการควบคุมปัจจัยในการผลิต คือ อุณหภูมิของแม่พิมพ์ ควรอยู่ที่ 157°C, จำนวนการอัด-คายตัวของ M/C ควรอยู่ที่ 4 Bump และ ระยะ ช่องว่าง การคายก๊าซ ควรอยู่ที่ 1 มิลลิเมตร จะสามารถทำให้ค่าการอัดขึ้นงานลดต่ำลงและส่งผลให้ปัญหาการรั่วของขึ้นงานลดต่ำลงด้วย เมื่อทำการปรับปรุงแล้ว จากนั้นจะทำการควบคุมตัวแปรในขั้นตอนต่อไป

#### 4.5 ขั้นตอนการควบคุมปัญหา

ตัวแปรที่ทำการควบคุมปัญหาคือ 1. อุณหภูมิของแม่พิมพ์ จะต้องทำการตรวจเช็คโดยพนักงานควบคุมคุณภาพ และ บันทึกลงใน เอกสารสั่งผลิต (Manufacturing Operation Card) 2. จำนวนการอัดตัว

และ 3. ระยะช่องว่างการคายก๊าซ โดยตัวแปร ทั้ง 2 นี้ เป็นหน้าที่ของ รองหัวหน้ากระบวนการผลิตขึ้นรูปร้อน (Sub Leader Pressing Line) จะ ต้องเป็นผู้ทำการปรับพารามิเตอร์ของเครื่องทุกครั้ง ที่เริ่มต้นกระบวนการผลิตของโมเดล X068 โดยจะต้องทำการปรับตั้งค่าตามเอกสารการควบคุมกระบวนการผลิต (Process Specification) และจากนั้นบันทึกพารามิเตอร์ที่ทำการปรับตั้งในเอกสารสั่งผลิต เพื่อเป็นการยืนยันการตรวจสอบ นอกจากนั้นแล้ว ในส่วนของ Dwell time และ Dwell pressure นั้นก็เป็นส่วนที่สำคัญที่จะมีความผิดพลาดไม่ได้ โดยในส่วนนี้ จะต้องทำการ Setup ก่อนเริ่มการผลิตโดยรองหัวหน้าและจดบันทึกลงในเอกสารสั่งผลิต เพื่อเป็นการยืนยันการตรวจสอบ

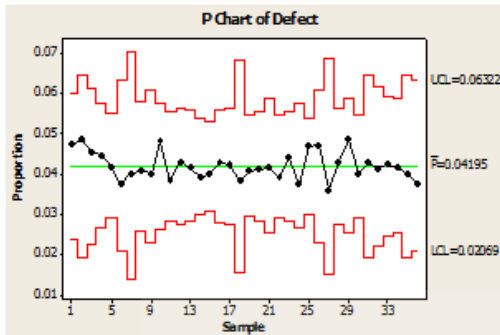
และหลังจากการปรับปรุงและการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ แล้ว พบว่าปัญหาขึ้นงานร้าว มีแนวโน้มลดลง แสดงดังรูปที่ 4-14



รูปที่ 4-14 ผลการดำเนินการแก้ไขหลังจากควบคุมตัวแปรต่างๆ

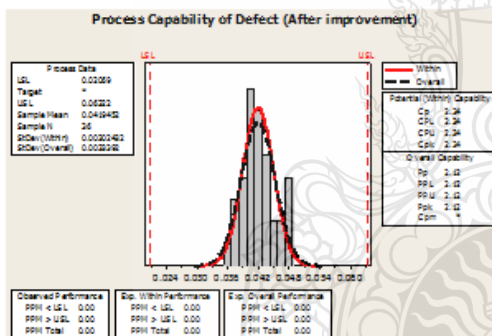
ขั้นตอนต่อมาวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังจากที่ได้ทำการปรับปรุง โดยนำข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างเดือนตุลาคม – ธันวาคม 2553 มาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p Chart) โดยโปรแกรม mini-Tab โดยแสดงได้ดังรูปที่ 4-15 โดยได้ค่า P-bar ที่ 0.04195 และค่าเปอร์เซ็นต์ของของเสียอยู่ในค่าที่กีดควบคุม





รูปที่ 4-15 แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (หลังการปรับปรุง)

จากนั้นทำการพิจารณาดัชนีศักยภาพของกระบวนการ ( $P_{pk}$ ) โดยทำการคำนวณด้วยโปรแกรม mini-Tab พบว่าได้ค่าเท่ากับ 2.12 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.33 แสดงว่า ความสามารถของกระบวนการการขึ้นรูปชิ้นงานรีออน มีความผันแปรน้อยและมีความมั่นคงสูง



รูปที่ 4-16 แผนภูมิการควบคุมกระบวนการสัดส่วนของเสีย (หลังการปรับปรุง Oct-Dec'53)

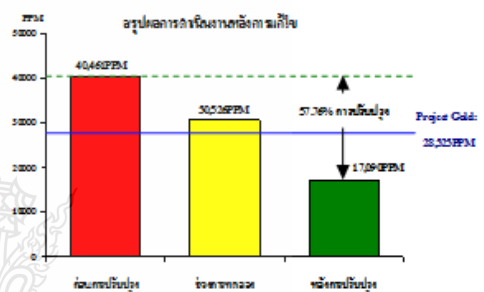
สามารถเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง ได้ดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ข้อมูลการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

Item	Before	After
P-bar	0.05130	0.04195
$P_{pk}$	1.76	2.12

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากการประยุกต์ใช้เทคนิคดีเอ็มเอไอซี (DMAIC) มาช่วยแก้ไขปัญหาลำบากงานรีออน กระบวนการผลิตผ้าเบรคชนิดขึ้นรูปรีออน พบว่าก่อนการปรับปรุงเกิดปัญหาลำบากงานรีออน โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 40,461 PPM ผลหลังจากการดำเนินการปรับปรุง ทำให้สามารถลดปัญหาลำบากงานรีออน ในโมเดล X068 ของกระบวนการขึ้นรูปรีออนของกระบวนการผลิตผ้าเบรครถยนต์ลงเหลือ 17,090 PPM หรือคิดเป็นสัดส่วนที่ลดลง 57.76% สรุปผลได้ ดังรูปที่ 4-16



รูปที่ 4-16 สรุปผลการทดลองก่อนและหลังการปรับปรุง

โดยผลจากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยแผนภาพก้างปลา การระดมสมอง และการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหาคือ 1. อุณหภูมิ 2. จำนวนการอัด-คายตัวของ Machine 3. ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ 4. ระยะเวลาการอัดตัวของเครื่องจักร และ 5. แรงดันการอัดตัว

จากการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 5% พบว่า อุณหภูมิของแม่พิมพ์ (Tooling Surface Temperature), จำนวนการอัด-คายตัวของ Machine และ ระยะช่องว่างในการคายก๊าซ ส่งผลต่อปัญหาลำบากงานรีออนอย่างมีนัยสำคัญ และจากการปรับปรุงด้วยการออกแบบการทดลองแบบ  $2^3$  Full Factorial เพื่อทำการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย พบว่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์, จำนวนการอัด-คายตัวของ Machine และ ระยะช่องว่างในการ

การคายก๊าซ มีค่าเท่ากับ 157°C, 4 bump และ 1 mm. โดยลำดับ

ซึ่งนอกจากนั้นแล้วในการปรับปรุงครั้งนี้ยังเพิ่มดัชนีศักยภาพ ของกระบวนการ ( $P_{max}$ ) จากเดิม 1.76 เป็น 2.12 ซึ่งทำให้ระดับมาตรฐานของกระบวนการผลิตที่สูงขึ้น ลดค่าใช้จ่ายและต้นทุนคุณภาพในการผลิต และสามารถทำให้มั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้นมีคุณภาพตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า

#### ข้อเสียดังกล่าว

1. ผู้ที่สนใจจะนำงานวิจัยนี้ไปพัฒนานั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโมเดลอื่น ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาได้ แต่จะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของความแตกต่างของสูตรเคมี (Formula) ที่นำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ของลูกค้าแต่ละราย เพื่อศึกษาอัตราส่วนของการเกิดปัญหาขึ้นงานว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ รวมไปถึงการเก็บข้อมูลทางสถิติเพิ่มเติมว่า โมเดลไหน มีอัตราการเกิดปัญหาเท่าไร โดยการพิจารณาจากการใช้ อุณหภูมิ, จำนวนการอัด-คายของเครื่องจักร และ ระยะช่องว่างการคายก๊าซที่ Setup เท่ากัน ซึ่งวัตถุประสงค์ก็เพื่อจะทำให้ผู้ที่ทำการวิจัยเข้าถึงวิธีและหลักการคิดแก้ปัญหาได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จะทำให้ผู้ที่ทำการศึกษาต่อไปมีแนวทางในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. ในการศึกษาครั้งต่อไป หากมีการเพิ่มความสามารถของกระบวนการผลิตโดยการนำเทคนิค ดีเอ็มเอไอซี (DMAIC) ของซิกส์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้ใน ช่วงที่ผลิตภัณฑ์กำลังทำการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ (New Product) ก็จะมีส่งผลให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เนื่องจากเมื่อเริ่มทำการผลิตผลิตภัณฑ์ไปแล้ว การปรับปรุงแก้ไขบางอย่างทำได้ยากมาก เนื่องจากจะกระทบต่อต้นทุน และอาจต้องแจ้งให้ลูกค้าทราบเพื่อขออนุมัติการเปลี่ยนแปลง

#### กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.ระพี กาญจนะ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์, และ ศศ.ศรีโร จารุกัญญา ที่กรุณาให้ความรู้และคำปรึกษาแนวคิดข้อเสนอแนะและแนวทางการปรับปรุง และแนะแนวทางในการแก้ไขปัญหาข้อบกพร่องต่างๆ ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และคณาจารย์ทุกท่านที่สนับสนุนงานวิจัย ไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1]หนังสือพิมพ์บางกอกโพสต์, 2553. ข่าวธุรกิจอุตสาหกรรมยานยนต์ สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (สอท), [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.bangkokbiznews.com> (10 มิถุนายน 2553).
- [2]กิตติศักดิ์ พลอยพาณิชย์เจริญ, 2542. การวิเคราะห์ระบบการวัด. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [3]พงศ์ สกฤตลาภูวัฒน์, 2551. การลดของเสียแขนจับหัวอ่านด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า. การประชุมวิชาการขายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม.
- [4]วสันต์ พุกผาสุข, 2550. การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียม โดยประยุกต์ใช้วิธีการ ซิกซ์ ซิกม่า กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมียม. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [5]T.N. Goh. 2002. Six sigma quality management. Journal of Quality Engineering 18(5): 403-410. 14.
- [6]Nicholas Roth, 2010. Process improvement for printing operations through the DMAIC Lean Six Sigma approach: A case study from Northwest Ohio, USA. Journal of Lean Six Sigma, Vol. 1 Iss: 2, pp.119 – 133.

- [7]Sameer Kumar and Michael Sosnoski, 2009. **Using DMAIC Six Sigma to systematically improve shop floor production quality and cost**, Journal of Productivity and Performance Management Vol.58 No.3.
- [8]Wichai Chattinnawat, 2008. **Methodology of DMAIC with Why-Why Analysis in a Hierarchical Decision Procedure: A Case Study of Quality Improvement of Polarization Maintain and absorption Reducing (PANDA) Fiber Connectors**, Journal of Industrial Engineering, ICMIT2008.
- [9]J.P.C. Tong and F. Tsung, 2004. **A DMAIC approach to printed circuit board quality improvement**, Article of Manufacturing Technology, 23(7):523-531.
- [10]Clairton A. Siebra, Paulo H.R. Costa and Andre L.M. Santos, 2009. **Improving the Handsets Network Test Process via DMAIC Concepts**, Research of Cln/SIDI-Samsung Laboratory, 8248/91.
- [11]Wang Zhiying and Sun Jing, 2006. **Application of DMAIC on Service Improvement of Bank Counter**, Service Systems and Service Management, 2006 International Conference on Vol.1: 726-731.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นางสาววลัยพร เหมโส
วัน เดือน ปีเกิด	16 มกราคม 2527
ที่อยู่	354/6 หมู่บ้านปาริชาติ ต.รอบเมือง อ.เมือง จ.ร้อยเอ็ด 45000
การศึกษา	ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ประสบการณ์การทำงาน	ตำแหน่งวิศวกรฝ่ายผลิต บริษัททีเอสเทค (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2549 – 2553	
พ.ศ. 2553 – ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรผลิตภัณฑ์และควบคุมกระบวนการผลิต บริษัทเฟดเดอรัล-โมกุล ฟริกชัน โปรดัก (ประเทศไทย) จำกัดเบอร์
โทรศัพท์	08-6606-5013
อีเมลล์	Walaiporn.hemso@gmail.com

