การปรับปรุงกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่านเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล

นางสาวเพ็ญประภา กล้ากสิการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF ASSEMBLY PROCESS OF HEAD STACK ASSEMBLY LATCH TO REDUCE BALL HEIGHT DEFECTS

Miss Penprapha Klakasikarn

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่านเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล
โดย	นางสาวเพ็ญประภา กล้ากสิการ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพ็ญประภา กล้ากสิการ : การปรับปรุงกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่านเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล. (IMPROVEMENT OF ASSEMBLY PROCESS OF HEAD STACK ASSEMBLY LATCH TO REDUCE BALL HEIGHT DEFECTS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ, 194 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์แนวคิดซิกซ์ ซิกม่าเพื่อปรับปรุงกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่านเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล โดยการวิจัยจะใช้ขั้นตอนตามแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า ในการปรับปรุง โดยเริ่มจากการนิยามปัญหา (Define) ได้ทำการศึกษาสภาพปัญหา กำหนดเป้าหมายคือการลดอัตราของเสียจาก 27,600 DPPM เหลือ 500 DPPM และขอบเขตของการปรับปรุงจะศึกษาเฉพาะกระบวนการประกอบของผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 เท่านั้น ต่อมาในระยะการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure) ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดทั้งความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด พบว่าระบบการวัดผ่านเกณฑ์ยอมรับของ AIAG จากนั้นทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อระยะความสูงของบอลโดยใช้การวิเคราะห์ลักษณะและผลกระทบ (FMEA) จากนั้นในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze) ได้ทำการออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อระยะความสูงของบอล พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อระยะความสูงของบอลอย่างมีนัยสำคัญคือ การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงาน ระยะกดพินของเครื่องประกอบการประกอบชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน อันตรกิริยาระหว่างการสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานกับระยะกดพินของเครื่องประกอบ และอันตรกิริยาระหว่างการสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานกับการประกอบชิ้นส่วนที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน ในระยะการปรับปรุงกระบวนการ (Improve) ได้หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองดีที่สุด และระยะการควบคุมกระบวนการผลิต (Control) ได้ทดสอบยืนยันผลเป็นเวลา 1 เดือน และจัดทำแผนควบคุมเป็นมาตรฐานในการตรวจติดตามและควบคุมปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง

หลังจากการปรับปรุงพบว่าจำนวนของเสียลดลงจาก 27,600 DPPM มาอยู่ที่ 80 DPPM หรือจำนวนของเสียลดลงจาก 2.76% เหลือ 0.008% และจากปริมาณการผลิตที่พยากรณ์ไว้ พบว่าจะสามารถลดมูลค่าความสูญเสียรวมได้เท่ากับ 1,509,850 บาทต่อปี

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต เพ็ญประภา กล้ากสิการ

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553

5271439121 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : IMPROVEMENT OF ASSEMBLY PROCESS / SIX SIGMA / DEFECTIVE REDUCTION

PENPRAPHA KLAKASIKARN : IMPROVEMENT OF ASSEMBLY PROCESS OF HEAD STACK ASSEMBLY LATCH TO REDUCE BALL HEIGHT DEFECTS. ADVISOR : ASST.PROF.NAPASSAVONG ROJANAROWAN, Ph.D., 194 pp.

The thesis applies Six Sigma approach to improve assembly process of head stack assembly latch with the aim to decrease the defects due to ball height. The thesis follows improvement method of Six Sigma. Firstly, in the define phase, the survey was conducted to define problem. Hence the objective to decrease ball height defects from 27,600 DPPM 500 DPPM is determined. The scope of this improvement project covered the assembly process of latch GZ8063V1 only. Secondly, in the measurement phase, measurement system was analyzed in terms of its accuracy and precision. The analysis result revealed that the measurement process passed AIAG standard. Then the potential causes of ball height problem were analyzed using Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). Next, in the analysis phase, the Design of Experiment (DOE) was applied to specify the significant factors affecting ball height. The result of experiment showed that the significant factors affecting ball height were the erosion of POM's assembly jig, the push length of assembly pin, the assembly mold method which caused the hole on workpiece, the interaction between the erosion of POM's assembly jig and the push length of assembly pin, and the interaction between the erosion of POM's assembly jig and the assembly mold method which caused the hole on workpiece. In the improvement phase, the most suitable factor levels were determined. Finally, in the control phase, the most suitable factor levels were applied in the assembly process for one month to confirm improvement results. Moreover, control plan was developed to monitor and control key process inputs and response.

After improvement, it was found that defective rate decreased from 27,600 DPPM to 80 DPPM – in other words, the defects decreased from 2.76% to 0.008%. In addition, according to the production forecast, it is expected that the improvement could reduce cost up to 1,509,850 baht annually.

Department : Industrial Engineering Student's Signature พิญประภา กล้ากสิกร

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือและเสียสละเวลาให้คำแนะนำจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างดีมาโดยตลอด ผู้ทำวิจัยขอถือโอกาสนี้กราบขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชา ทวีแสงสกุลไทย และรองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณหัวหน้าแผนกควบคุมคุณภาพของโรงงานกรณีศึกษา คุณอนุรัตน์ ระยับพันธุ์ และวิศวกรอาวุโส คุณธวัชชัย ภูศรี และคุณเรวดี อิ่นแก้ว ที่ให้คำแนะนำ ให้ความร่วมมือในเรื่องของการปรับปรุงการผลิต และสนับสนุนข้อมูลต่างๆ เป็นอย่างดี และขอบพระคุณคณะทำงานที่ร่วมกันระดมความคิดและการร่วมมือในการทำกิจกรรมต่างๆ ที่สำคัญขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษา สำหรับโอกาสที่ได้รับในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้คำแนะนำ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอขอบคุณพี่น้องในครอบครัว รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มิได้กล่าวไว้ใน ณ ที่นี้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…… ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ……... ช

สารบัญตาราง…… ฎ

สารบัญภาพ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ…… 1

1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา…….. 1

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา……..…….... 3

1.2.1 การเลือกปัญหาเพื่อการศึกษา……..……. 3

1.2.2 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า…..…..... 16

1.3 วัตถุประสงค์ของการจัย……..…. 28

1.4 ขอบเขตการวิจัย…..…….... 28

1.5 วิธีดำเนินการจัย…..……..…….. 28

1.6 ผลที่คาดว่าจะด้รับ……...……..….. 30

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……..……..….. 30

1.8 แผนการดำเนินงานวิจัย……..……...……...… 30

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..... 31

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง…..…….. 31

2.1.1 ซิกซ์ ซิกม่า คืออะไร…….... 31

2.1.2 ขั้นตอนของซิกซ์ ซิกม่า…… 32

2.1.3 เครื่องมือที่เกี่ยวข้องในการวิจัย…….. 33

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..……... 55

2.2.1 การประยุกต์ใช้หลักการซิกซ์ ซิกม่า ในงานอุตสาหกรรมเพื่อปรับปรุงคุณภาพคุณภาพและลดของเสีย……...…. 55

2.2.2 การออกแบบการทดลองและการทดลองหาพื้นผิวผลตอบ……..…… 58

2.2.3 การปรับปรุงกระบวนการประกอบ……..... 60

หน้า

2.2.4 การจัดการด้านระบบคุณภาพและการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต…….... 62
บทที่ 3 ระยะนิยามปัญหา…….. 64
3.1 บทนำ……..... 64
3.2 ศึกษาผังกระบวนการผลิต…….…...…... 64
3.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน……..……..….. 67
3.4 การกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมาย……..…..... 68
3.5 การจัดตั้งทีมเพื่อดำเนินการแก้ไขปัญหา……..……...…. 68
3.6 สรุประยะนิยามปัญหา……..….. 69
บทที่ 4 ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา…… 72
4.1 บทนำ…….…… 72
4.2 การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลผันแปร...…. 72
4.2.1 การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับชิ้นงานพลาสติกและชิ้นงาน
ประกอบ……....…. 73
4.2.2 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ระบบการวัดของชิ้นงานพลาสติกและ
ชิ้นงานประกอบ……...…… 74
4.3 สภาพปัญหาระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบไม่ตรงตามข้อกำหนด
ของลูกค้าในปัจจุบัน……...… 92
4.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าสำหรับปัญหาระยะความสูงของบอลไม่
ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า……..... 92
4.5 สรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา……...… 116
บทที่ 5 ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา……...……..…… 118
5.1 บทนำ……..…… 118
5.2 รูปแบบในการทดลอง……..……...…… 118
5.3 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ……. 119
5.4 การออกแบบการทดลอง……..….. 124
5.5 ขนาดตัวอย่าง……...…….. 126
5.6 ตัวแปรตอบสนอง…….. 127
5.7 การทำการทดลอง…….. 129
5.8 ผลการทดลอง……..... 130
5.9 การทดสอบผลการทดลอง…….…... 131

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

5.9.1 การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ..... 131
5.9.2 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ..... 132
5.9.3 การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน..... 133
5.10 การวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 133
5.11 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา..... 139
บทที่ 6 ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ..... 140
6.1 บทนำ..... 140
6.2 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ..... 140
6.3 การตรวจสอบผลการวิเคราะห์การเลือกตัวแปรนำเข้าด้วยวิธี Stepwise Regression..... 141
6.4 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ..... 146
บทที่ 7 ระยะการติดตามควบคุมกระบวนการผลิต..... 147
7.1 บทนำ..... 147
7.2 การทดสอบยืนยันผล..... 147
7.2.1 การทำการทดลอง..... 148
7.2.2 การตรวจติดตามผลโดยใช้แผนควบคุม..... 149
7.2.3 การวิเคราะห์ผลและสรุปการทดสอบยืนยันผล..... 152
7.3 สรุปผลการดำเนินงานระยะติดตามควบคุม..... 158
บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 160
8.1 บทนำ..... 160
8.2 บทสรุประยะนิยามปัญหา..... 160
8.3 บทสรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา..... 160
8.4 บทสรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา..... 161
8.5 บทสรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ..... 163
8.6 บทสรุประยะการติดตามควบคุมกระบวนการผลิต..... 163
8.7 ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย..... 165
8.8 ข้อเสนอแนะ..... 165
รายการอ้างอิง..... 166
ภาคผนวก..... 168

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

ภาคผนวก ก การทดสอบความแตกต่างของขนาดชิ้นงานในแต่ละคาวิตี้และในแต่ละโมล……..……...…. 169
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง……..… 186
ภาคผนวก ค เอกสารประกอบการปฏิบัติงาน……...… 188
ภาคผนวก ง การคำนวณค่าใช้จ่าย…….. 191
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์…… 194

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1 ต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดโดยการตรวจซ้ำ เมื่อพบข้อบกพร่อง (Rescreen)……..….. 5
ตารางที่ 1-2 ต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดโดยการทำลาย ชิ้นงานที่บกพร่อง (Scrap)…… 6
ตารางที่ 1-3 ต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่าน โดยการ ทำลายชิ้นงานที่บกพร่อง…… …….. 8
ตารางที่ 1-4 ต้นทุนค่าจ้างพนักงาน ค่าเครื่องจักร สำหรับการผลิตตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1(คิดต่อผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น)……..…… 11
ตารางที่ 1-5 ต้นทุนวัตถุดิบ สำหรับการผลิตตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 (คิดต่อ ผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น)…….…….. 11
ตารางที่ 1-6 ต้นทุนผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 (คิดต่อผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น) 11
ตารางที่ 1-7 ลักษณะ รหัสย่อและความหมายของข้อบกพร่องที่พบในผลิตภัณฑ์ล็อคชุด หัวอ่าน รุ่น GZ8063V1……. 12
ตารางที่ 1-8 ต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพสำหรับชิ้นงานที่ถูกทำลายในช่วงเดือน เมษายนถึงมิถุนายน 2553……. 14
ตารางที่ 1-9 ข้อมูลระยะความสูงของฐานที่รองรับชิ้นงานทั้ง 10 jig…… 24
ตารางที่ 1-10 การระบุ jig ที่ใช้ในการประกอบเพื่อเลือกใช้ชิ้นงานพลาสติกจากแต่ละโมล 26
ตารางที่ 1-11 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร)…….. 27
ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างกฎเกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ……..……. 43
ตารางที่ 2-2 ตัวอย่างกฎเกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดขึ้นของสาเหตุ……..….... 45
ตารางที่ 2-3 ตัวอย่างกฎเกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับของระบบควบคุม……...… 45
ตารางที่ 2-4 ข้อมูลวิเคราะห์ความแปรปรวน……. 52
ตารางที่ 2-5 แสดงชนิดของแผนภูมิควบคุม (Control Chart)……..... 53
ตารางที่ 2-6 แสดงเครื่องมือต่างๆ ที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ …… 54
ตารางที่ 3-1 แผนผังกระบวนการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่านรุ่น GZ8063V1….. 66

หน้า

ตารางที่ 3-2 Project charter ของระยะนิยามปัญหา……..…….. 70
ตารางที่ 4-1 ข้อมูลระยะความสูงของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A……..…… 75
ตารางที่ 4-2 ข้อมูลระยะความสูงของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B……..…… 76
ตารางที่ 4-3 ข้อมูลระยะความสูงของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A และ B……..…… 77
ตารางที่ 4-4 ข้อมูลระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A……..…….. 81
ตารางที่ 4-5 ข้อมูลระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B……..... 82
ตารางที่ 4-6 ข้อมูลระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A และ B……..…….. 83
ตารางที่ 4-7 ข้อมูลระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A…….. 87
ตารางที่ 4-8 ข้อมูลระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B…….. 88
ตารางที่ 4-9 ระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A และ B…….. 89
ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ……..….. 94
ตารางที่ 4-11 วิธีการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาคำนวณโอกาสการเกิดขึ้นของสาเหตุ (Occurrence)……..…… 110

หน้า

ตารางที่ 4-12 แนวโน้มสาเหตุของปัญหาโดยเรียงลำดับจากค่า RPN มากไปน้อย……. 113
ตารางที่ 4-13 ปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร)……..…… 115
ตารางที่ 4-14 ปัจจัยนำเข้าสำหรับการวิเคราะห์และทำการปรับปรุงแก้ไข……... 117
ตารางที่ 5-1 ปัจจัยและระดับปัจจัยในการทำการทดลอง……..……. 120
ตารางที่ 5-2 รายละเอียดของการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทบ……. 124
ตารางที่ 5-3 Variance-Stabilizing Transformations สำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน…….. 128
ตารางที่ 5-4 ผลการทดลองจาก 17 การทดลอง……...……... 130
ตารางที่ 6-1 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 5 ปัจจัย……...…… 141
ตารางที่ 7-1 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 5 ปัจจัย เพื่อใช้ในการทดสอบยืนยันผล……..……. 147
ตารางที่ 7-2 แผนควบคุม…….. 151
ตารางที่ 7-3 เปรียบเทียบ Probability Plot ระยะความสูงของบอลก่อนและหลังปรับปรุง… 152
ตารางที่ 7-4 เปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังปรับปรุง…..……. 153
ตารางที่ 7-5 เปรียบเทียบวิธีการเก็บข้อมูลแบบเดิมและการเก็บข้อมูลแบบใหม่…… 155
ตารางที่ 7-6 เปรียบเทียบผลของความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง 159
ตารางที่ 8-1 ปัจจัยนำเข้าเพื่อนำไปทดสอบนัยสำคัญและปรับปรุง……...……. 161
ตารางที่ 8-2 ปัจจัยและระดับปัจจัยในการทดลอง……..…… 162
ตารางที่ 8-3 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม……..…… 163
ตารางที่ 8-4 เปรียบเทียบผลของความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง 164
ตารางที่ ก-1 สรุปผลการทดสอบความต่างของขนาดชิ้นงานสำหรับระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความกว้างของปากกระบอก (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) ด้วย ANOVA……...…. 179
ตารางที่ ก-2 สรุปผลการทดสอบความต่างของขนาดชิ้นงานสำหรับระยะความสูงของบอลหลังจากผ่านกระบวนการประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ด้วย ANOVA……... 184

หน้า

ตารางที่ ก-3 ความสัมพันธ์ของปัญหาสำหรับชิ้นงานจากกระบวนการฉีดและชิ้นงานจาก
กระบวนการประกอบ..... 185
ตาราง ข-1 ค่าระยะความสูงของบอลจากการทดลอง.....…….. 187
ตารางที่ ค-1 วิธีการตรวจสอบการเยื้องของ Inside diameter……. 189
ตารางที่ ค-2 ตัวอย่างเอกสารการลงบันทึกผลการวัดระยะความสูงของบอล……..... 190
ตารางที่ ง-1 การคำนวณค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการวัดและดำเนินการแก้ไขปัญหาการ
ประกอบ……..……. 192
ตารางที่ ง-2 การคำนวณมูลค่าความสูญเสียเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง…...……. 193

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1 ผลิตภัณฑ์ฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top Cover)……..…….. 2
รูปที่ 1-2 ผลิตภัณฑ์กันกระแทกของชุดหัวอ่าน (Crash Stop)……..……. 2
รูปที่ 1-3 ผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่าน (Latch)……..……. 2
รูปที่ 1-4 ผลิตภัณฑ์พักหัวอ่าน (Ramp)…….…… 2
รูปที่ 1-5 ผลิตภัณฑ์ป้องกันน้ำสำหรับโทรศัพท์มือถือ (Mobile Gasket)……..…. 3
รูปที่ 1-6 ยอดจำหน่ายสินค้าระหว่างเดือนมกราคม – มิถุนายน 2553…… 4
รูปที่ 1-7 ต้นทุนในการตรวจสอบซ้ำ ระหว่างเดือนเมษายน – มิถุนายน 2553……..…… 6
รูปที่ 1-8 ต้นทุนในการทำลายชิ้นงานที่บกพร่อง ระหว่างเดือนเมษายน – มิถุนายน 2553 7
รูปที่ 1-9 ผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่านทั้ง 5 รุ่น ที่ผลิตอยู่ในปัจจุบัน…….……. 7
รูปที่ 1-10 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1……..……. 10
รูปที่ 1-11 ข้อบกพร่องของชิ้นงานที่ถูกทำลายเนื่องจากไม่ได้คุณภาพ…….……. 13
รูปที่ 1-12 ค่าเสียโอกาสในการทำกำไรจากการขายชิ้นงานสำเร็จเนื่องจากปัญหา
ข้อบกพร่อง……... 15
รูปที่ 1-13 ระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะ
ความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร)……... 16
รูปที่ 1-14 ภาพเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่มี inside diameter ปกติและ inside
diameter เยื้องศูนย์……..…….. 17
รูปที่ 1-15 เครื่องฉีดขนาดแรงที่ใช้ปิดโมล 7 ตันสำหรับฉีดโมล C H I และ J (4 คาวิตี้)….. 18
รูปที่ 1-16 เครื่องฉีดขนาดแรงที่ใช้ปิดโมล 15 ตันสำหรับฉีดโมล K (8 คาวิตี้)…….. 18
รูปที่ 1-17 แนวโน้มของระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติกสำหรับประกอบบอล
(3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ในแต่ละโมล……..……. 19
รูปที่ 1-18 แนวโน้มของระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล
(1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) ในแต่ละโมล……..…. 20
รูปที่ 1-19 เครื่องประกอบบอลเข้าไปในกระบอกของชิ้นงานพลาสติก (Assembly
machine)……..…… 21
รูปที่ 1-20 ตำแหน่งของ pin กดบอลโดยอ้างอิงจากตำแหน่งของชิ้นงานบน jig……..…….. 21

หน้า

รูปที่ 1-21 แนวโน้มของระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบในแต่ละโมล…… 22
รูปที่ 1-22 วิธีการวัดระยะความสูงของฐานที่รองรับชิ้นงานในแต่ละ Jig……. 23
รูปที่ 2-1 การกำหนดการวัดในรูปของกระบวนการ…….. 34
รูปที่ 2-2 ความแตกต่างระหว่างค่าไบอัสและความแม่น……..…….. 36
รูปที่ 2-3 ความหมายของคุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด…….…….. 37
รูปที่ 2-4 คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด…….. 39
รูปที่ 2-5 แสดงลักษณะความผันแปรแบบรีพีททะบิลิตี้……. 41
รูปที่ 2-6 แสดงลักษณะความผันแปรแบบรีโปรดิวซิบิลิตี้……. 41
รูปที่ 2-7 ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการตามหลักการของซิกซ์ ซิกม่า……. 61
รูปที่ 3-1 ข้อบกพร่องของชิ้นงานที่ถูกทำลายเนื่องจากไม่ได้คุณภาพ……... 67
รูปที่ 3-2 ค่าเสียโอกาสในการทำกำไรจากการขายชิ้นงานสำเร็จเนื่องจากปัญหา
ข้อบกพร่อง……. 68
รูปที่ 4-1 ผลลัพธ์ความสามารถของระบบการวัดระยะความสูงของปากกระบอก
สำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร)……. 78
รูปที่ 4-2 ผลลัพธ์ความสามารถของระบบการวัดระยะความกว้างของปากกระบอก
สำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร)……. 84
รูปที่ 4-3 ผลลัพธ์ความสามารถของระบบการวัดระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ.. 90
รูปที่ 4-4 ข้อบกพร่องของชิ้นงานที่ถูกทำลายเนื่องจากไม่ได้คุณภาพ…… 93
รูปที่ 4-5 กราฟเรียงลำดับค่า RPN จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาระยะความสูง
ของปากกระบอกพลาสติกและระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ……..…. 116
รูปที่ 5-1 ฐานรองของ jig ประกอบที่มีผิวเรียบ…….. 121
รูปที่ 5-2 ลักษณะของเครื่องประกอบบอลที่มีชุดพินและกระบอกบรรจุบอลแบบเคลื่อนที่
ได้และเครื่องประกอบบอลที่มีชุดพินและกระบอกบรรจุบอลไม่สามารถเคลื่อนที่
ได้…… 122
รูปที่ 5-3 การกำหนดค่าเพื่อหาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสม……..…….. 126
รูปที่ 5-4 ผลลัพธ์การออกแบบจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสม…….... 126
รูปที่ 5-5 ขั้นตอนการทำการทดลอง…….. 130
รูปที่ 5-6 ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติของข้อมูลความสูงของ
บอล…… 132

หน้า

รูปที่ 5-7 ผลลัพธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับของการเก็บข้อมูล..... 132
รูปที่ 5-8 ผลลัพธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต..... 133
รูปที่ 5-9 กราฟ Normal plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย..... 134
รูปที่ 5-10 กราฟ Normal plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน..... 134
รูปที่ 5-11 แผนภูมิพาเรโต้ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย..... 135
รูปที่ 5-12 แผนภูมิพาเรโต้ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน..... 135
รูปที่ 5-13 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสูงของบอลหลังจากประกอบ..... 136
รูปที่ 5-14 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน..... 136
รูปที่ 5-15 ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสูงของบอลหลังจากประกอบ..... 137
รูปที่ 5-16 ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน..... 137
รูปที่ 6-1 ผลการหาค่าผลตอบที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization Plot)..... 145
รูปที่ 7-1 ขั้นตอนการทำการทดลอง..... 149
รูปที่ 7-2 แผนภูมิ Xbar -R สำหรับโมล C คาวิตี้ 1 หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต..... 156
รูปที่ 7-3 แผนภูมิ Xbar -R สำหรับโมล C คาวิตี้ 2 หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต..... 156
รูปที่ 7-4 แผนภูมิ Xbar -R สำหรับโมล C คาวิตี้ 3 หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต..... 157
รูปที่ 7-5 แผนภูมิ Xbar -R สำหรับโมล C คาวิตี้ 4 หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต..... 157
รูปที่ ก-1 ระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร)..... 170
รูปที่ ก-2 แนวโน้มของระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ในแต่ละโมล..... 174
รูปที่ ก-3 แนวโน้มของระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) ในแต่ละโมล..... 178
รูปที่ ก-4 แนวโน้มของระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบในแต่ละโมล..... 183
รูปที่ ง-1 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการวัดและดำเนินการแก้ไขปัญหาการประกอบ..... 192

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันองค์กรชั้นนำทั่วโลก ได้ให้ความสำคัญต่อการบริหารคุณภาพ และมีความพยายามที่จะตอบสนองความต้องการและสร้างความพึงพอใจสูงสุดให้แก่ลูกค้า การให้ความสำคัญต่อการบริหารคุณภาพนั้น สามารถลดต้นทุนการผลิต ลดข้อผิดพลาดของกระบวนการผลิต ทำให้ลูกค้าเกิดความพอใจและเพิ่มรายได้ขององค์กรให้สูงขึ้น เพราะการปรับปรุงคุณภาพ จะนำพาองค์กรไปสู่การสร้างผลกำไรที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับโรงงานอุตสาหกรรมที่เป็นกรณีศึกษานี้ ซึ่งเป็นโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาด เนื่องจากปัจจุบัน อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีการขยายตัวสูงมาก ทำให้เกิดการแข่งขันสูงในกลุ่มผู้ผลิต ดังนั้นองค์กรจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องพัฒนา ในเรื่องการปรับปรุงคุณภาพและลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต เพื่อลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่ใช้ในการผลิต

กล่าวได้ว่า การบริหารคุณภาพที่ดีโดยมีกำไรเพิ่มขึ้น เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความอยู่รอดขององค์กรในอนาคต ดังนั้นการมุ่งเน้นพัฒนาคุณภาพ จึงเป็นการดำเนินงานเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนด โดยต้องสร้างความพึงพอใจแก่ลูกค้าและมีต้นทุนการดำเนินงานที่เหมาะสม

1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาได้เริ่มดำเนินการผลิตตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน 2544 ด้วยทุนจดทะเบียน 360 ล้านบาท ตั้งอยู่ที่นิคมอุตสาหกรรมบางปะอิน จังหวัดพระนครศรีอยุธยา บนเนื้อที่ 46,400 ตารางเมตร มีพนักงาน 1,822 คน ซึ่งบริหารงานภายใต้นโยบายที่ว่า “สร้างสรรค์และควบคุมคุณภาพของสินค้าและบริการเพื่อตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าอย่างต่อเนื่อง” โดยกระบวนการผลิตภายในบริษัทเป็นการฉีดชิ้นงานพลาสติกขึ้นรูปตามแม่พิมพ์ฉีด (Mold Injection) ซึ่งต้องการชิ้นงานที่มีความละเอียดและเที่ยงตรงสูง ชิ้นงานที่ทำการผลิตนั้นเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ได้แก่ ฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top Cover) ชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ป้องกันการกระแทกของชุดหัวอ่านเมื่อมอเตอร์หยุดทำงาน (Crash Stop) ชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ล็อคชุดหัวอ่านเมื่อมอเตอร์หยุดทำงาน (Latch) ชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่พักหัวอ่าน (Ramp) และชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่ป้องกันน้ำสำหรับโทรศัพท์มือถือ (mobile Gasket)

รูปที่ 1-1 ผลิตภัณฑ์ฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Top Cover)

รูปที่ 1-2 ผลิตภัณฑ์กันกระแทกของชุดหัวอ่าน (Crash Stop)

รูปที่ 1-3 ผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่าน (Latch)

รูปที่ 1-4 ผลิตภัณฑ์พักหัวอ่าน (Ramp)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

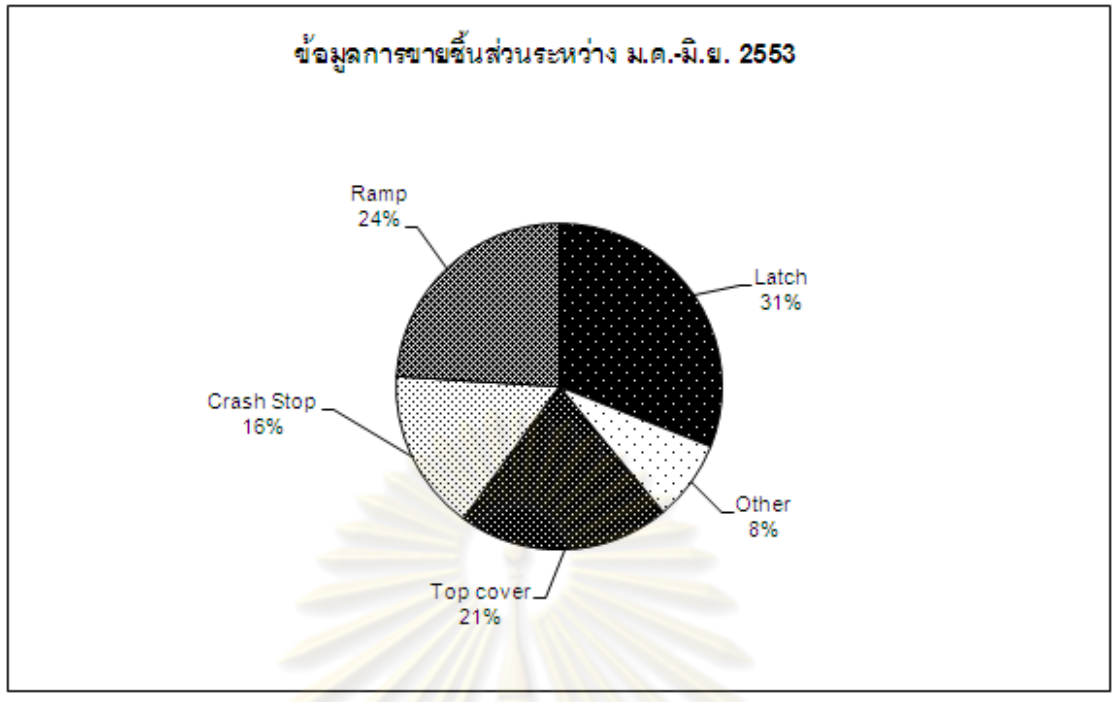
รูปที่ 1-5 ผลิตภัณฑ์ป้องกันน้ำสำหรับโทรศัพท์มือถือ (Mobile Gasket)

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

1.2.1 : การเลือกปัญหาเพื่อทำการศึกษาวิจัย

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษานั้น กระบวนการผลิตจะมีการฉีด (Injection molding) เป็นกระบวนการหลัก ซึ่งในกระบวนการฉีดเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีรูปร่างสมบูรณ์และได้สัดส่วนตามที่ลูกค้าต้องการนั้น กระบวนการฉีดจะต้องเหมาะสมกับคุณสมบัติของวัสดุ ถ้าหากชิ้นงานเกิดการผิดรูปร่างหรือไม่ได้สัดส่วนตามข้อกำหนดของลูกค้า ชิ้นงานเหล่านั้นจะต้องนำไปกำจัดโดยไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

จากการศึกษาข้อมูลยอดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน 2553 ดังรูปที่ 1-6 จะพบว่าผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่าน มีปริมาณมากที่สุดคือ 31% เมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่นๆ และการผลิตผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่านมีวัสดุที่ใช้ในการผลิตคือ วัสดุเรซิ่น สูตร RTP 399x109188 ซึ่งถ้าผ่านกระบวนการฉีดแล้วเกิดข้อบกพร่องจะไม่สามารถนำกลับมาผลิตชิ้นงานใหม่ได้



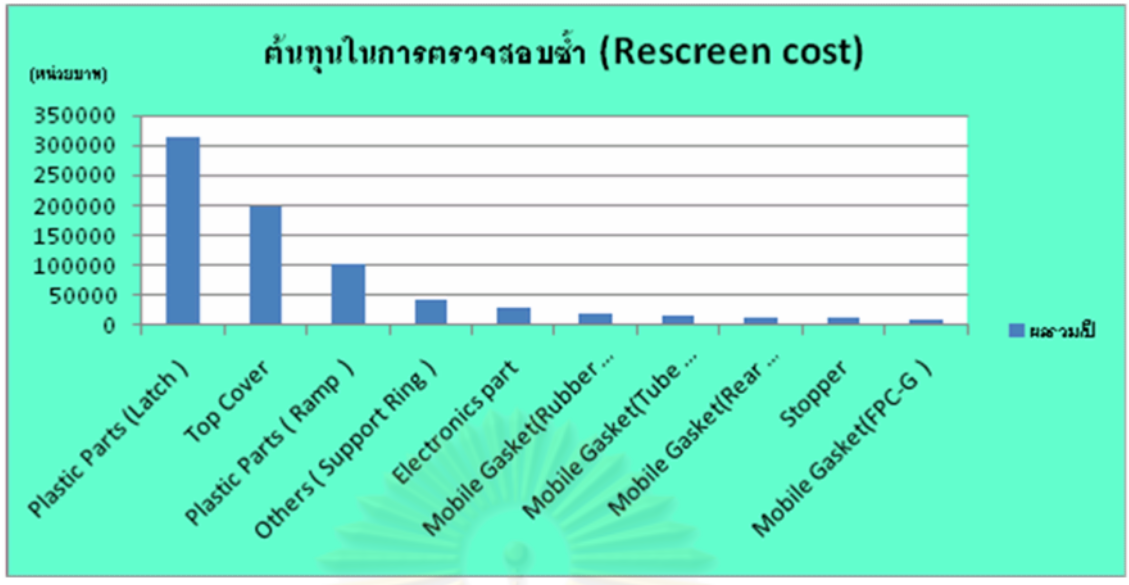
รูปที่ 1-6 ยอดจำหน่ายสินค้าระหว่างเดือนมกราคม – มิถุนายน 2553

จากการศึกษาต้นทุนในการจัดการกับชิ้นงานที่มีความบกพร่องด้านคุณภาพหรือของเสีย (Defects) โดยการตรวจซ้ำเมื่อพบข้อบกพร่อง (Rescreen) และการทำลายชิ้นงานที่บกพร่อง (Scrap) ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน 2553 จะแสดงผลได้ดังตารางที่ 1-1 และตารางที่ 1-2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1-1 ต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดโดยการตรวจซ้ำเมื่อพบข้อบกพร่อง (Rescreen)

	ผลิตภัณฑ์	เม.ย.-53	พ.ค.-53	ม.ย.-53	ผลรวม
1.จำนวน lot ที่ไม่ได้คุณภาพ	Top Cover	15	9	11	35
	Stopper	7	10	11	28
	Plastic Parts (Latch)	34	29	38	101
	Plastic Parts (Ramp)	21	14	17	52
	Others (Support Ring)	4	2	1	7
	Electronics part	3	1	6	10
	Mobile Gasket(FPC-G)	30	23	17	70
	Mobile Gasket(Rear cover)	27	13	13	53
	Mobile Gasket(Rubber Gasket)	38	17	12	67
	Mobile Gasket(Tube Gasket)	28	8	20	56
	Total	**207**	**126**	**146**	**479**
2.จำนวนในการสุ่ม / Lot.	Top Cover	3,600	3,600	3,600	3,600
	Stopper	9,000	9,000	9,000	9,000
	Plastic Parts (Latch)	10,000	10,000	10,000	10,000
	Plastic Parts (Ramp)	7,000	7,000	7,000	7,000
	Others (Support Ring)	10,000	10,000	10,000	10,000
	Electronics part	10,000	10,000	10,000	10,000
	Mobile Gasket(FPC-G)	200	200	200	200
	Mobile Gasket(Rear cover)	720	720	720	720
	Mobile Gasket(Rubber Gasket)	800	800	800	800
	Mobile Gasket(Tube Gasket)	400	400	400	400
3.ต้นทุนในการตรวจสอบ (บาท/ชิ้น)	Top Cover	1.58	1.58	1.58	1.58
	Stopper	0.05	0.05	0.05	0.05
	Plastic Parts (Latch)	0.31	0.31	0.31	0.31
	Plastic Parts (Ramp)	0.28	0.28	0.28	0.28
	Others (Support Ring)	0.59	0.59	0.59	0.59
	Electronics part	0.31	0.31	0.31	0.31
	Mobile Gasket(FPC-G)	0.67	0.67	0.67	0.67
	Mobile Gasket(Rear cover)	0.34	0.34	0.34	0.34
	Mobile Gasket(Rubber Gasket)	0.34	0.34	0.34	0.34
	Mobile Gasket(Tube Gasket)	0.67	0.67	0.67	0.67
4. ต้นทุนในการตรวจสอบซ้ำ (บาท/เดือน)	Top Cover	85,320	51,192	62,568	199,080
	Stopper	3,150	4,500	4,950	12,600
	Plastic Parts (Latch)	105,400	89,900	117,800	313,100
	Plastic Parts (Ramp)	41,160	27,440	33,320	101,920
	Others (Support Ring)	23,600	11,800	5,900	41,300
	Electronics part	9,300	3,100	18,600	31,000
	Mobile Gasket(FPC-G)	4,038	3,096	2,288	9,422
	Mobile Gasket(Rear cover)	6,610	3,182	3,182	12,974
	Mobile Gasket(Rubber Gasket)	10,336	4,624	3,264	18,224
	Mobile Gasket(Tube Gasket)	7,504	2,144	5,360	15,008
	Total	**296,418**	**200,978**	**257,233**	**754,628**

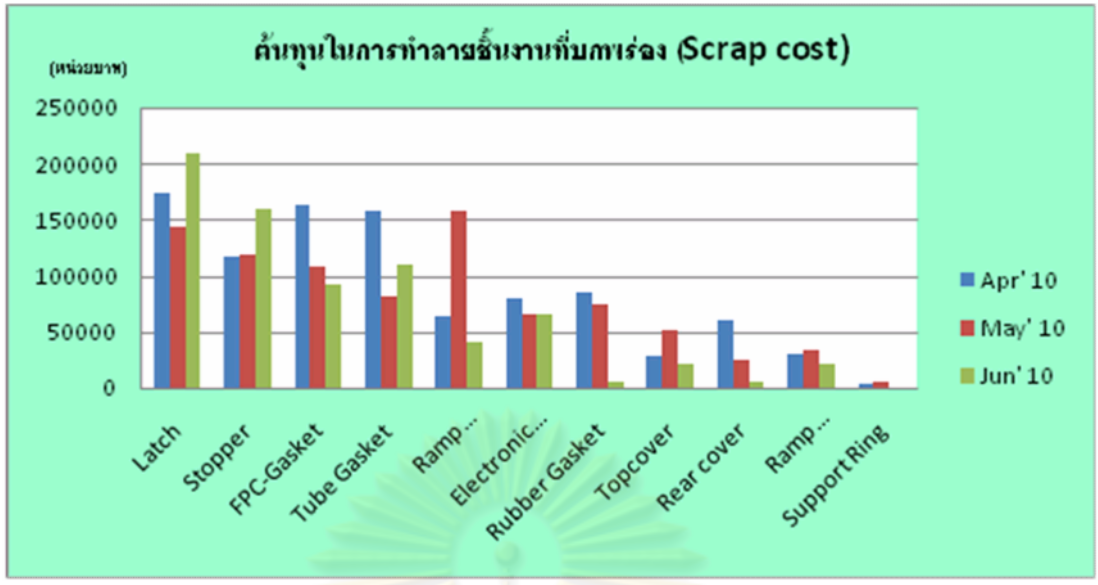


รูปที่ 1-7 ต้นทุนในการตรวจสอบซ้ำ ระหว่างเดือนเมษายน – มิถุนายน 2553

ตารางที่ 1-2 ต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดโดยการทำลายชิ้นงานที่บกพร่อง (Scrap) (หน่วย : บาทต่อเดือน)

ผลิตภัณฑ์	เม.ย.-53	พ.ค.-53	มิ.ย.-53
	ต้นทุนในการทำลายชิ้นงาน (scap cost) และต้นทุนในการตรวสอบซ้ำ (Rescreen cost)		
Stopper	117336	118048	160079
Topcover	27905	51143	22050
Ramp (1 color)	64345	157184	42423
Ramp (2 color)	30836	33682	21778
Latch	173315	143663	208766
Support Ring	3234	6042	1417
Electronic Parts	78914	66157	66611
FPC-Gasket	163635	108314	93434
Rear cover	59650	24644	6009
Rubber Gasket	84724	74824	6989
Tube Gasket	158341	80948	111072
ผลรวม	962235	864650	740627
ต้นทุนจากสินค้าที่มีคุณภาพต่ำ Cost of poor Quality (Million Baht)	**1.259**	**1.066**	**0.998**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1-8 ต้นทุนในการทำลายชิ้นงานที่บกพร่อง ระหว่างเดือนเมษายน – มิถุนายน 2553

จากตารางที่ 1-1, 1-2 และรูปที่ 1-7, 1-8 จะเห็นได้ว่า ผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่านมีต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพโดยการตรวจซ้ำและการทำลายชิ้นงานที่บกพร่องสูงเป็นอันดับหนึ่ง ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่านเท่านั้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่านนั้นโรงงานกรณีศึกษาจะผลิตด้วยกันทั้งสิ้น 5 รุ่น (model) คือ GZ8044V0 GZ8060V0 GZ8063V1 GZ8067V0 และ GZ8072V0

รูปที่ 1-9 ผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่านทั้ง 5 รุ่น ที่ผลิตอยู่ในปัจจุบัน

จากการพิจารณาจำนวนการเกิดของเสียจากกระบวนการผลิตและจำนวนการผลิตต่อเดือนแล้ว พบว่ารุ่น GZ8063V1 เป็นรุ่นที่ผลิตมากที่สุดและเกิดของเสียมากที่สุด โดยผลรวมในช่วงเดือนเมษายนถึงมิถุนายนมีต้นทุนในการทำลายชิ้นงานสูงถึง 435,527 บาท (เฉลี่ย 145,175.67 บาท/เดือน) ดังแสดงในตารางที่ 1-3

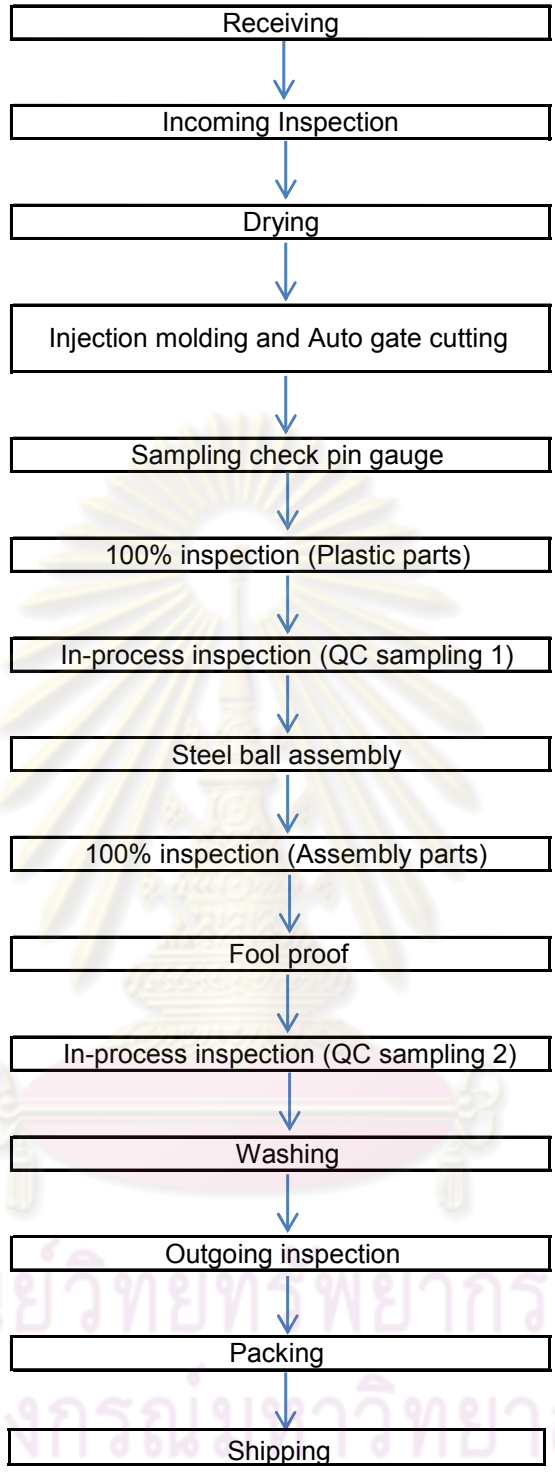
ตารางที่ 1-3 ต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่าน โดยการทำลายชิ้นงานที่บกพร่อง

เดือน		ผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่าน					
		รุ่น					ผลรวม/เดือน
		GZ8044V0	GZ8060V0	GZ8063V1	GZ8067V0	GZ8072V0	
เมษายน	Unit Price	2.778	2.431	3.025	3.992	3.133	
	Defects	674	470	49,813	4,911		**55,868**
	Produced	49,731	408,880	1,400,000	247,360		**2,105,971**
	Defect %	1.36%	0.11%	3.56%	1.99%	N/A	**2.65%**
	Scrap Costs	1,873	1,142	150,698	19,602	0	**173,315**
พฤษภาคม	Unit Price	2.778	2.431	3.025	3.992	3.133	
	Defects	261	382	43,046	2,952		**46,641**
	Produced	119,520	398,740	1,729,000	128,192		**2,375,452**
	Defect %	0.22%	0.10%	2.49%	2.30%	N/A	**1.96%**
	Scrap Costs	725	929	130,226	11,783	0	**143,663**
มิถุนายน	Unit Price	2.778	2.431	3.025	3.992	3.133	
	Defects	15		51,104	13,559		**64,678**
	Produced	5,383		1,382,485	336,000		**1,723,868**
	Defect %	0.28%	N/A	3.70%	4.04%	N/A	**3.75%**
	Scrap Costs	42	0	154,603	54,121	0	**208,766**
Scrap cost/model		2,640	2,071	435,527	85,507	0	

ผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่านรุ่น GZ8063V1 มีขั้นตอนการผลิตโดยเริ่มต้นจากรับเม็ดพลาสติก RTP 399 และสตีลบอล (Steel ball) ที่เป็นส่วนประกอบหลักของผลิตภัณฑ์เข้ามา (Receiving) และทำการสุ่มตรวจด้านคุณภาพ (Incoming Inspection) ถ้าพบข้อบกพร่องก็จะส่งคืนผู้ผลิต (Supplier) ถ้าตรงตามข้อกำหนดก็จะส่งเข้าไปจัดเก็บในสโตร์ (Storage) เมื่อมีคำสั่งผลิตพนักงานฝ่ายผลิต (Production operator) ก็จะเบิกเม็ดพลาสติก RTP 399 เข้าไปในสายการผลิต (line) การผลิตเพื่อทำการอบไล่ความชื้นและแก๊สที่มีอยู่ในเม็ดพลาสติกด้วยอุณหภูมิ 120 ± 5 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมงและไม่เกิน 36 ชั่วโมง ในขณะเดียวกันช่างเทคนิค (Technician) หรือวิศวกรกระบวนการ (Process Engineer) ก็จะนำโมล (Mold) ที่จะทำการฉีดมาประกอบเข้าไปในเครื่องฉีด (Injection machine) และทำการเปิดอุณหภูมิเพื่อเตรียมความร้อนของโมลให้ได้ระดับที่เหมาะสมสำหรับการฉีด เมื่อเวลาในการอบเม็ดพลาสติก RTP 399 และอุณหภูมิของโมลถึงระดับตามที่ตั้ง (Setting) แล้วก็จะเริ่มทำการฉีดพลาสติก ซึ่งในขั้นตอนเริ่มแรกของการฉีดพลาสติกนั้นจะต้องทดลองฉีดชิ้นงานทิ้ง (Purge) ประมาณ 30 ครั้ง (shots) จนชิ้นงานมีรูปร่างสมบูรณ์ไม่พบข้อบกพร่องใดๆ ก็จะส่งชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 3 ตัวต่อ cavity ให้พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ (QC operator) ไปวัดขนาด (Dimension) ซึ่งจะเรียกขั้นตอนนี้ว่า การตรวจสอบขนาดของชิ้นงานก่อนผลิตจำนวนมาก (Set up mold) ถ้าผลลัพธ์ของการวัดพบว่าไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า (Customer specification) ก็จะต้องแจ้งให้ช่างเทคนิคหรือวิศวกรกระบวนการเข้าไปทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการฉีด (Adjust injection condition) แล้วทำการส่งชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 3 ตัวต่อ cavity ของการฉีดครั้งใหม่ไปวัดขนาดอีกครั้ง ทำเช่นนี้เรื่อยๆ จนกว่าจะได้ขนาดชิ้นงานตามที่ลูกค้ากำหนด เมื่อเริ่มผลิตเป็นจำนวนมาก (Mass production) พนักงานฝ่ายผลิตจะต้องสุ่มตรวจขนาดรูของชิ้นงาน (Inside diameter) ทุก 6 ชั่วโมงด้วย Pin gauge ขนาด 1.28 มิลลิเมตร โดยชิ้นงานจะต้อง

สามารถร้อยผ่าน Pin gauge ขนาด 1.28 มิลลิเมตรและหมุนได้อย่างอิสระ (Drop free and Rotate free) และจะต้องไม่สามารถร้อยผ่าน Pin gauge ขนาด 1.29 มิลลิเมตรได้ หลังจากนั้นชิ้นงานทุกตัวจะผ่านขั้นตอนการตรวจสอบข้อบกพร่องหรือตำหนิโดยพนักงานฝ่ายผลิตด้วยกล้องไมโครสโคป (Microscope) กำลังขยาย 10 เท่า (10X) เมื่อครบ 1 ล๊อต (1 ล๊อต = 7,000 ชิ้น) พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพก็จะทำการสุ่มตรวจครั้งที่ 1 (In-process inspection1) ข้อบกพร่องหรือตำหนิบนชิ้นงานที่ระดับ AQL 0.25%, C=0 ถ้าไม่พบข้อบกพร่องพนักงานฝ่ายผลิตก็จะนำชิ้นงานล๊อตนั้นๆ ไปทำการประกอบบอล (Assembly steel ball) และพนักงานฝ่ายผลิตจะต้องตรวจสอบชิ้นงานในจุดที่ทำการประกอบบอลด้วยกล้องไมโครสโคปกำลังขยาย 10 เท่าก่อนที่จะนำชิ้นงานเข้าสู่เครื่องตรวจจับชิ้นงานที่ไม่มีบอล (Fool proof machine) เมื่อครบ 1 ล๊อต พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพก็จะทำการสุ่มตรวจครั้งที่ 2 (In-process inspection2) เพื่อหาข้อบกพร่องหรือตำหนิบนชิ้นงานที่มาจากการประกอบที่ระดับ AQL 0.25%, C=0 ถ้าไม่พบข้อบกพร่องพนักงานฝ่ายผลิตก็จะนำชิ้นงานล๊อตนั้นๆ ไปทำการล้าง (Washing process) และพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพก็จะทำการสุ่มตรวจข้อบกพร่องหรือตำหนิและวัดขนาดของชิ้นงานหลังล้าง (Outgoing inspection) ถ้าไม่พบข้อบกพร่องพนักงานฝ่ายผลิตก็จะบรรจุชิ้นงาน(Packing) เพื่อเตรียมส่งไปจัดเก็บยังสโตร์ (Storage) เพื่อรอคำสั่งซื้อจากลูกค้า ขั้นตอนการผลิต Latch model GZ8063V1 แสดงได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1-10 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1

สำหรับชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านกระบวนการประกอบบอลหรือเรียกว่าชิ้นงานพลาสติกนั้น จะผ่านกระบวนการ In-process inspection (QC sampling 1) เป็นกระบวนการสุดท้าย และขั้นตอนต่อไปจะเป็นการผลิตชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการประกอบบอล ซึ่งจะมีต้นทุนกระบวนการที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการศึกษานี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือแบ่งตามลักษณะของชิ้นงานพลาสติกที่มาจาก

กระบวนการฉีด (Injection process) และชิ้นงานประกอบที่มาจากกระบวนการประกอบ (Assembly process) ดังแสดงในตารางที่ 1-4 - 1-6

ตารางที่ 1-4 ต้นทุนค่าจ้างพนักงาน ค่าเครื่องจักร สำหรับการผลิตตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 (คิดต่อผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น)

กระบวนการ	ค่าจ้างพนักงาน (บาท/ชิ้น)	ค่าใช้จ่ายของเครื่องจักร (บาท/ชิ้น)
Injection and auto gate cutting	0.0552	0.7257
Pin gauge check	0.0319	0.1053
100% inspection (Plastic parts)	0.0682	0.2238
In-process inspection (QC sampling 1)	0.0025	0.0081
Steel ball assembly	0.0408	0.3755
100% inspection (Assembly parts)	0.0178	0.0586
Fool proof	0.0185	0.1701
In-process inspection (QC sampling 2)	0.0025	0.0081
Washing	0.0012	0.0262
Out going inspection	0.0028	0.0093
Packing	0.0279	0.0917
ต้นทุนกระบวนการรวม	0.2691	1.8023
ราคาต้นทุนกระบวนการ (บาท/ชิ้น)	**2.0714**	

ตารางที่ 1-5 ต้นทุนวัตถุดิบ สำหรับการผลิตตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 (คิดต่อผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น)

วัตถุดิบ	ราคา (บาท/ชิ้น)
เรซิ่น RTP สูตร 399	0.1493
Steel ball	0.2945
ถาดใส่ชิ้นงาน (Tray)	0.0390
ราคาต้นทุนวัตถุดิบ	**0.4828**

ตารางที่ 1-6 ต้นทุนผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 (คิดต่อผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น)

ชนิดของชิ้นงาน	ราคา (บาท/ชิ้น)
ยังไม่ผ่านกระบวนการ Assembly steel ball	1.2205
ผ่านกระบวนการ Assembly steel ball	1.6367

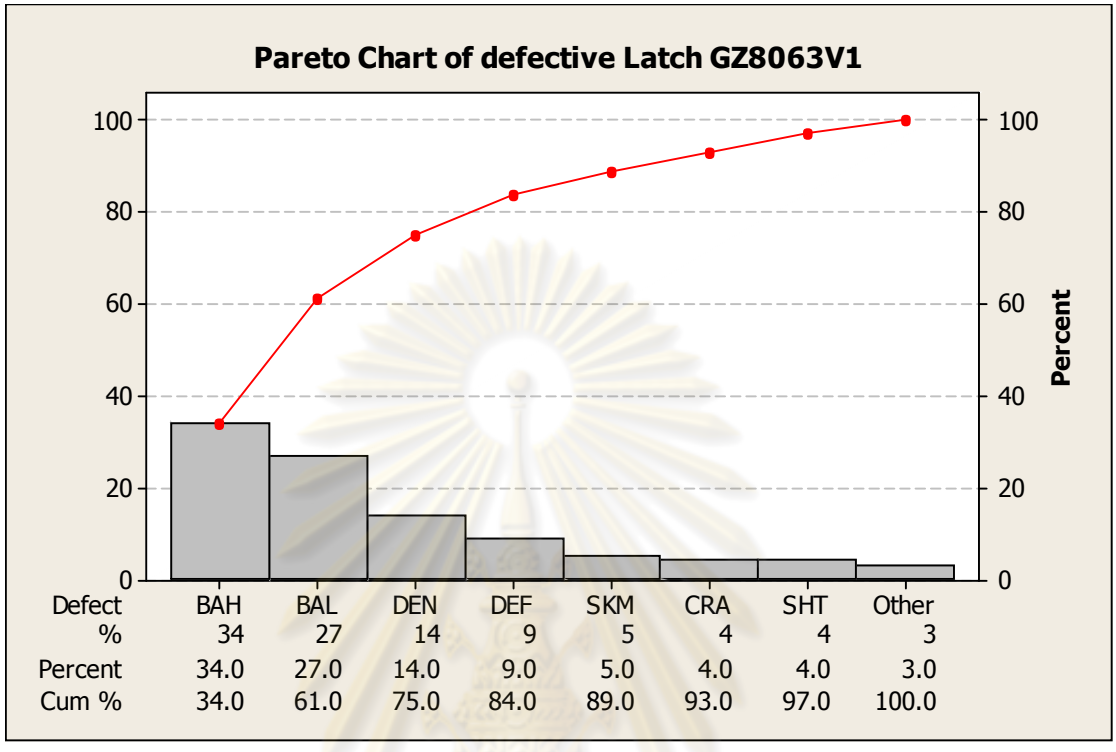
ลักษณะข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่านทั้งแบบชิ้นงานพลาสติกและแบบชิ้นงานประกอบบอล แสดงได้ดังตารางที่ 1-7

ตารางที่ 1-7 ลักษณะ รหัสย่อและความหมายของข้อบกพร่องที่พบในผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1

ลักษณะข้อบกพร่อง	รหัส (Code)	ความหมาย
Scratch	SCR	รอยขีดข่วนบนผิวชิ้นงาน
Burr	BUR	เศษวัสดุที่ไปติดอยู่บนผิวชิ้นงาน
Flash	FLA	
Black / White contamination	CTS	สิ่งปนเปื้อนที่ผิวชิ้นงานที่มีสีดำหรือสีขาว
Dent	DEN	ชิ้นงานมีรอยกระแทก
Short shot	SHT	การฉีดไม่เต็มแม่พิมพ์ ทำให้ชิ้นงานไม่สมบูรณ์
Crack	CRA	ชิ้นงานมีรอยร้าวหรือชิ้นงานแตกหัก
Deformation	DEF	ชิ้นงานผิดรูปร่างหรือบิดเบี้ยว
Shrink mark	SKM	การหดตัวของชิ้นงานที่เกิดจากกระบวนการฉีดที่ไม่เหมาะสม
Misalignment	MIS	รูของชิ้นงานเอียง
Steel ball scratch	SBC	รอยขีดข่วนบนผิวของบอล
Steel ball dent	SBD	รอยกดบนผิวบอล
Stinger	STG	เส้นใยที่ติดอยู่ระหว่างซอกบอลกับผิวชิ้นงานพลาสติก
Stain	STN	คราบที่เกิดบนผิวบอล
Ball height	BAH	ตำแหน่งของบอลอยู่สูงกว่าจากระยะที่กำหนด
Ball low	BAL	ตำแหน่งของบอลอยู่ต่ำกว่าจากระยะที่กำหนด
Rusty	RUS	บอลเป็นสนิม

เมื่อพิจารณาข้อมูลด้านจำนวนของชิ้นงานที่ถูกทำลายเนื่องจากไม่ได้คุณภาพจากจำนวนของเสียแต่ละประเภท พบว่าปัญหาระยะความสูงของบอลเกินหรือต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้าที่ระยะ 3.27 ± 0.05 มิลลิเมตรสูงเป็นอันดับแรกและอันดับที่สอง โดยพบปัญหาระยะความสูงของบอลเกินกว่าข้อกำหนด (Ball high) คิดเป็น 34%, ปัญหาระยะความสูงของบอลต่ำกว่าข้อกำหนด

(Ball low) คิดเป็น 27% และปัญหาชิ้นงานมีรอยกระแทก (Dent) คิดเป็น 14% ของจำนวนชิ้นงานที่ต้องถูกทำลายทั้งหมด



รูปที่ 1-11 ข้อบกพร่องของชิ้นงานที่ถูกทำลายเนื่องจากไม่ได้คุณภาพ

หากพิจารณาจากกฎ 80/20 ของพาเรโต้จะต้องพิจารณา 3 ปัญหาแรก แต่ในการศึกษานี้จะปรับปรุงในเรื่องระยะความสูงของบอลเพราะสามารถปรับปรุงในวิธีการเดียวกันได้ ส่วนปัญหาชิ้นงานมีรอยกระแทกสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกกระบวนการผลิตและมีวิธีการปรับปรุงที่แตกต่างกันซึ่งต้องใช้ทีมงานชุดเดียวกันในการปรับปรุง จึงเลือกปรับปรุงปัญหาที่มีผลกระทบมากที่สุดก่อน

เมื่อพิจารณาในเรื่องต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพสำหรับชิ้นงานที่ถูกทำลายสามารถจำแนกได้ 2 ลักษณะ คือ ชิ้นงานที่ยังไม่ได้ประกอบบอล (Plastic parts) และชิ้นงานที่ผ่านการประกอบบอล (Assembly parts) จะแสดงผลของต้นทุนได้ดังตารางที่ 1-8

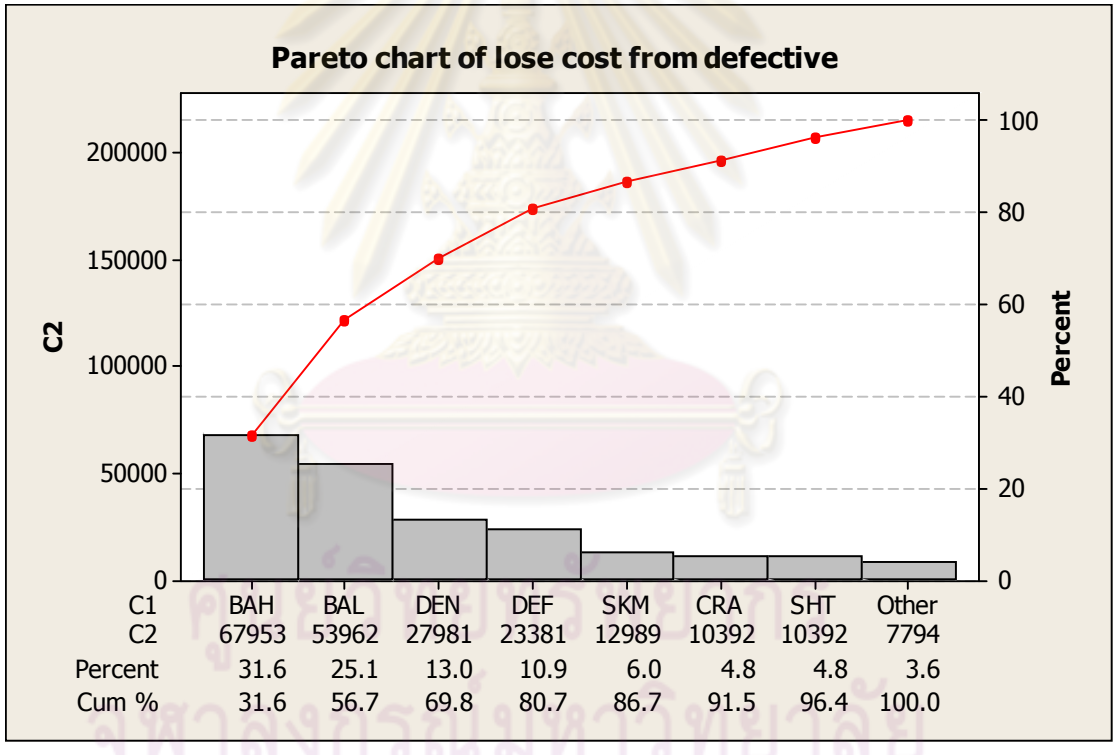
ตารางที่ 1-8 ต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพสำหรับชิ้นงานที่ถูกทำลายในช่วงเดือนเมษายนถึงมิถุนายน 2553
(อ้างอิงตารางที่ 6 ต้นทุนผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 (คิดต่อผลิตภัณฑ์ 1 ชิ้น) และราคาขายของชิ้นงานสำเร็จเท่ากับ 3.025 บาท/ชิ้น)

ชนิดข้อบกพร่อง	ประเภทชิ้นงาน	ของเสีย (ชิ้น)	ต้นทุนความบกพร่อง (บาท)	ค่าสูญเสียโอกาสในการขายชิ้นงาน (บาท)
Ball High (BAH)	Assembly parts	48,947	80,113	148,066
Ball Low (BAL)	Assembly parts	38,870	63,619	117,582
Dent (DEN)	Assembly parts	20,155	32,987	60,968
Deform (DEF)	Assembly parts	12,957	15,813	39,194
Shrink mark (SKM)	Plastic parts	7,198	8,785	21,774
Crack (CRA)	Assembly parts	5,759	7,028	17,420
Short shot (SHT)	Plastic parts	5,759	7,028	17,420
Scratch (SCR)	Assembly parts	4,319	5,271	13,065
รวม		**143,964**	**220,647**	**435,488**

จากตารางที่ 1-8 จะเห็นว่าในช่วงเดือนเมษายน-มิถุนายน 2553 กระบวนการผลิตเกิดของเสียที่ต้องทำลายทิ้งจำนวน 143,964 ชิ้น คิดเป็นต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพสำหรับชิ้นงานที่ถูกทำลาย (ต้นทุนกระบวนการ) เท่ากับ 220,647 บาท (เฉลี่ย 73,549 บาทต่อเดือน) ซึ่งชิ้นงานที่ต้องทำลายนั้นคิดเป็นรายได้ในการขายชิ้นงานได้เท่ากับ 435,488 บาท (จำนวนของเสียคูณราคาขายชิ้นงานสำเร็จ) ทำให้บริษัทกรณีศึกษานี้ขาดโอกาสในการทำกำไรจากการขายชิ้นงานสำเร็จ (Finish Goods) คิดเป็น 214,841 บาท

บทสรุปสำหรับ 1.2.1 : การเลือกปัญหาเพื่อทำการศึกษาวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลและสภาพปัญหาการผลิตที่พบอยู่ในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา โดยการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนการผลิต ต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพ ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียเนื่องจากชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพตามข้อกำหนดของลูกค้า พบว่าผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 มีสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องเรื่องระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบคิดเป็น 61% ของจำนวนของเสียทั้งหมด โดยจะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบสูงกว่าข้อกำหนดของลูกค้า และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้า เมื่อพิจารณาจากการขาดโอกาสในการขายชิ้นงานเทียบกับต้นทุนความบกพร่องของชิ้นงานในแต่ละประเภท พบว่าปัญหาระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบมีผลกระทบต่อการเสียโอกาสในการทำกำไรจากการขายชิ้นงานคิดเป็น 61% ของปัญหาข้อบกพร่องทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 1-12

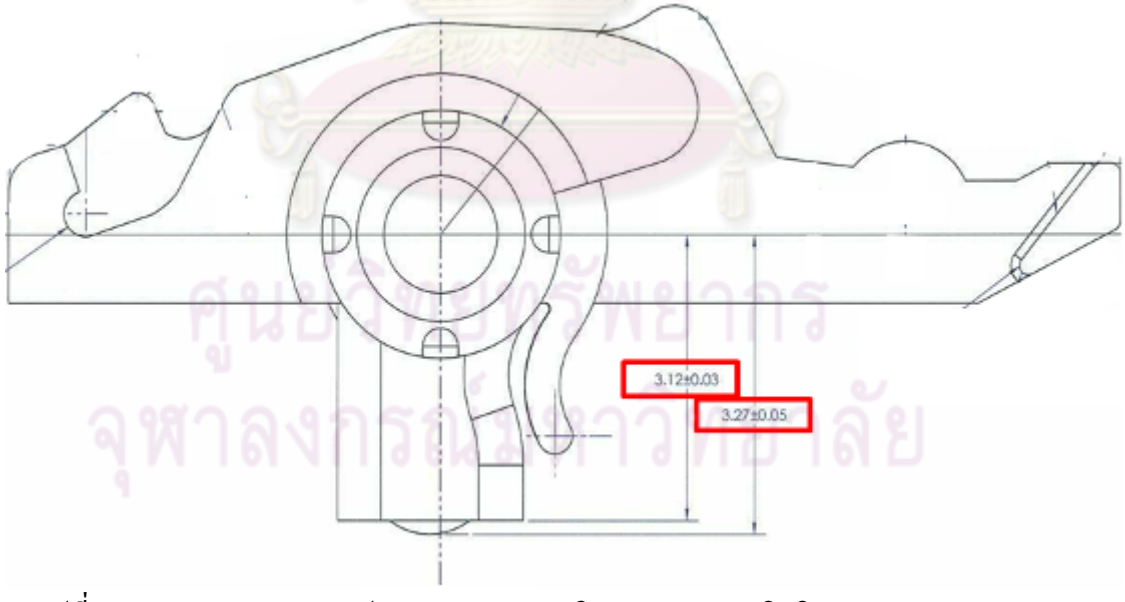


รูปที่ 1-12 ค่าเสียโอกาสในการทำกำไรจากการขายชิ้นงานสำเร็จเนื่องจากปัญหาข้อบกพร่อง

1.2.2 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า

จากในอดีตจะพบปัญหาระยะความสูงของบอลเกินกว่าข้อกำหนดของลูกค้าทุกๆ 1-2 เดือน และในการเกิดปัญหาแต่ละครั้งจะไม่สามารถตรวจพบปัญหาได้ทันท่วงที เพราะกระบวนการประกอบบอลเป็นขั้นตอนการทำงานแบบต่อเนื่องโดยพนักงานฝ่ายผลิต ส่วนการตรวจสอบค่าระยะความสูงของบอลนั้นจะทำการวัดโดยพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพที่จะทำการวัดเป็นรอบเวลา 1 ครั้งต่อกะการทำงานเท่านั้น ถ้าเกิดปัญหาระยะความสูงไม่เป็นไปตามข้อกำหนดขึ้น ก็จะต้องทำลายชิ้นงานที่ผลิตจากช่วงเวลาที่มีปัญหา ซึ่งช่วงเวลา 1 กะของการทำงานจะมีการผลิตชิ้นงานที่ผ่านการประกอบบอลไปประมาณ 1 ล็อตครึ่ง หรือ 10,500 ตัว ซึ่งปัญหาระยะความสูงของบอลที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้านั้นไม่สามารถนำชิ้นงานมาใช้ได้อีกจะต้องทำลายชิ้นงานทิ้งเท่านั้น ทำให้เมื่อเกิดปัญหาระยะความสูงของบอลที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า จะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก (ประมาณ 17,185.6335 บาท) ซึ่งจะแตกต่างจากปัญหาที่เกิดจากกระบวนการฉีดเพราะสามารถตรวจสอบความผิดปกติของชิ้นงานได้ด้วยสายตา และสามารถหยุดกระบวนการฉีดชั่วคราวเพื่อปรับแก้ไข ทำให้จำนวนของเสียเกิดขึ้นน้อยกว่าปัญหาระยะความสูงของบอลที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า

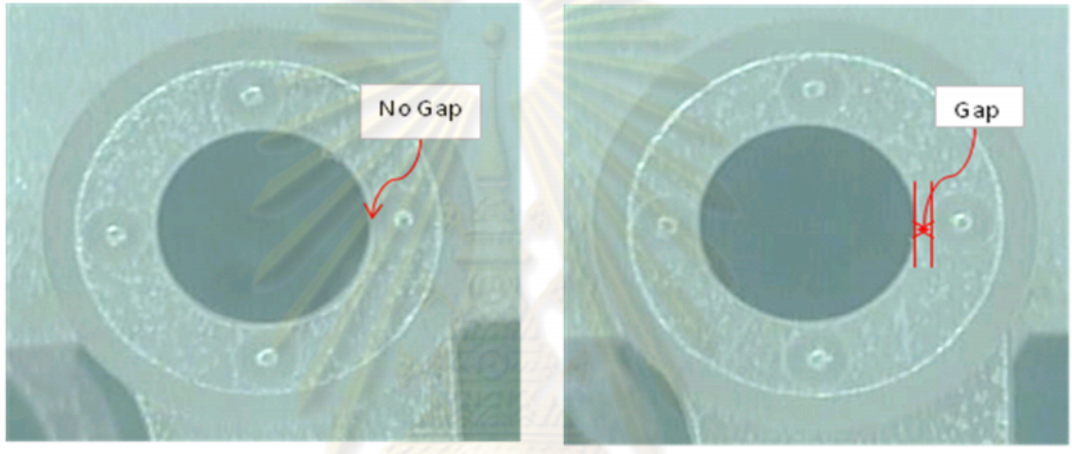
ในการวัดระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบนั้นสามารถอ้างอิงวิธีการวัดระยะได้จากรูปที่ 1-13



รูปที่ 1-13 ระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร)

จากรูปที่ 1-13 เป็นวิธีการวัดระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) โดยการวัดระยะ

ความสูงของทั้งสองค่านั้นจะอ้างอิงจากจุดกึ่งกลางรูของชิ้นงาน และเนื่องจากในกระบวนการฉีดนั้นจะต้องมีการนำโมลลงไปทำความสะอาดทุกๆ 3 สัปดาห์ เพื่อลดความสกปรกจากเศษวัสดุและแก๊สที่สะสมจากการใช้ความร้อนสูงในกระบวนการฉีดและเป็นการตรวจสภาพโมลด้วย ปัญหาที่พบหลังจากการนำโมลลงไปทำความสะอาดแล้วนำกลับมาประกอบที่เครื่องฉีดคือปัญหาประกอบแท่งเหล็กที่ใช้เป็นตัวทำให้เกิดรูของชิ้นงาน (insert pin) เอียง ส่งผลให้กระบวนการฉีดผลิตชิ้นงานที่มีปัญหารูของชิ้นงานเยื้องศูนย์ ซึ่งนับว่าเป็นสาเหตุหลักประการหนึ่งที่ทำให้ระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า



รูปที่ 1-14 ภาพเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานที่มี inside diameter ปกติและ inside diameter เยื้องศูนย์

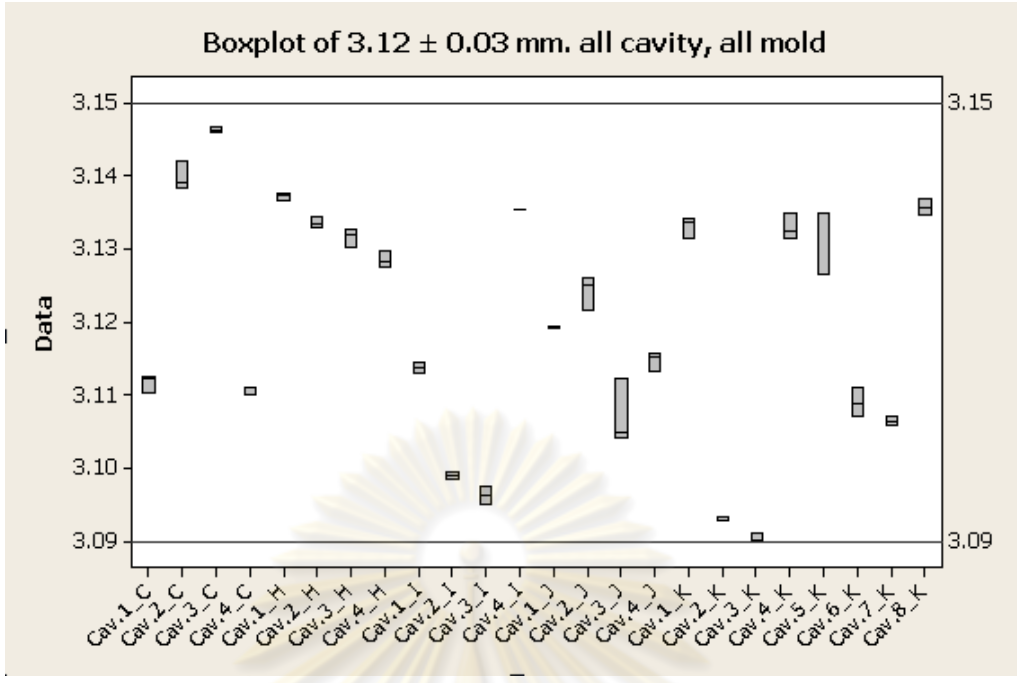
ปัจจุบันตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 จะสามารถผลิตได้จาก 5 โมล คือ โมล C โมล H โมล I โมล J และ โมล K ซึ่งโมล C H I และ J นั้นจะทำการฉีดด้วยเครื่องฉีดขนาดแรงที่ใช้ปิดโมล 7 ตัน ในการฉีด 1 ครั้ง (1 ช็อต) จะได้ชิ้นงานพลาสติก 4 ชิ้น (คาวิตี้) ส่วนโมล K นั้นจะทำการฉีดด้วยเครื่องฉีดขนาดแรงที่ใช้ปิดโมล 15 ตัน ในการฉีด 1 ครั้ง จะได้ชิ้นงานพลาสติก 8 ชิ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 1-15 เครื่องฉีดขนาดแรงที่ใช้ปิดโมล 7 ตันสำหรับฉีดโมล C H I และ J (4 คาวิตี้)

รูปที่ 1-16 เครื่องฉีดขนาดแรงที่ใช้ปิดโมล 15 ตันสำหรับฉีดโมล K (8 คาวิตี้)

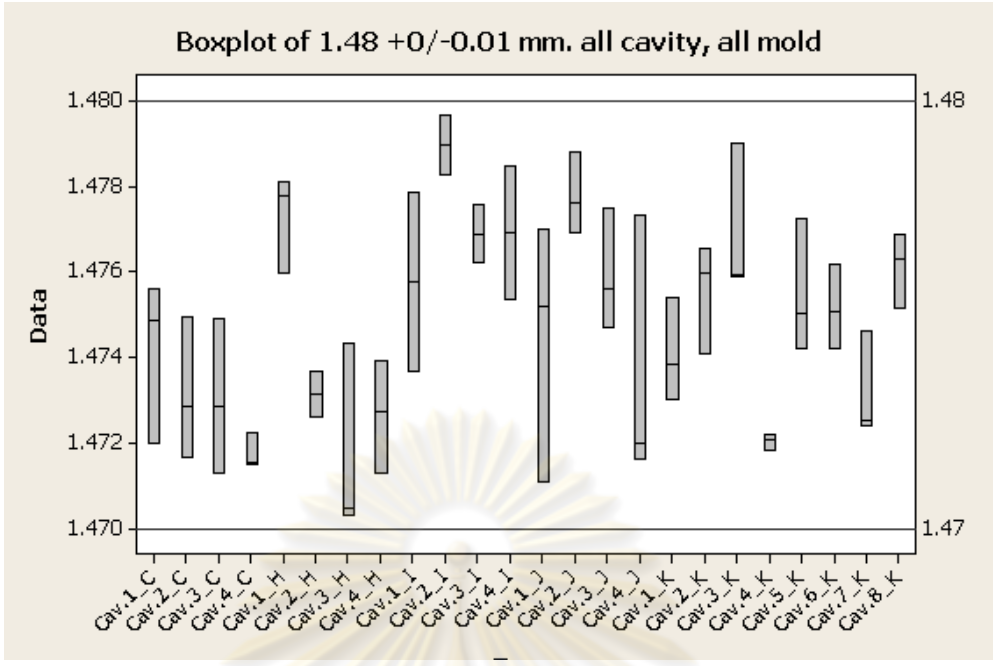
จากการวัดขนาดของชิ้นงานหลังจากกระบวนการฉีด โดยสุ่มตัวอย่างชิ้นงาน 3 ตัวต่อคาวิตี้ต่อโมล พบว่าระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติกที่ใช้ประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) มีระยะความสูงที่แตกต่างกัน โดยที่ความสูงของปากกระบอกของทุกโมลจะอยู่ในช่วง 3.09 – 3.15 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1-17



รูปที่ 1-17 แนวโน้มของระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ในแต่ละโมล

จากข้อมูลการเปรียบเทียบการกระจายตัวของข้อมูลระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ในแต่ละคาวิตี้ของโมลที่ทำการผลิตอยู่ในปัจจุบัน จะเห็นว่าภายในโมลเดียวกันมีค่าเฉลี่ยในแต่ละคาวิตี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Significant) ซึ่งการควบคุมระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) นั้นนับว่าเป็นขั้นตอนแรกที่จำเป็นต้องควบคุมให้แต่ละคาวิตี้ในโมลเดียวกันไม่เกิดความแตกต่างกันก่อน แล้วจึงทำการควบคุมให้ระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ของทุกโมลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญด้วย โดยจะต้องควบคุมการประกอบโมลไม่ให้เกิดปัญหารูของชิ้นงานเยื้องศูนย์

สำหรับการเปรียบเทียบระยะความกว้างของปากกระบอกพลาสติก (1.48+0/-0.01 มิลลิเมตร) ในแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกัน สามารถใช้ตัวอย่างชิ้นงาน 3 ตัวต่อคาวิตี้ต่อโมล (ชิ้นงานที่ใช้วัดเป็นชิ้นงานเดียวกันกับที่ใช้วัดระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร)) พบว่าการกระจายตัวของระยะความกว้างของปากกระบอกพลาสติกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) ในแต่ละโมลที่ทำการผลิตอยู่ในปัจจุบัน มีแนวโน้มระยะความกว้างของปากกระบอกอยู่ในช่วง 1.472 – 1.478 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันน้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 1-18



รูปที่ 1-18 แนวโน้มของระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) ในแต่ละโมล

สาเหตุของความแตกต่างกันสำหรับระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร)

ก. ขนาดของแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกันมีความแตกต่างกัน

ข. ขนาดของแต่ละคาวิตี้ในโมลต่างๆ มีความแตกต่างกัน

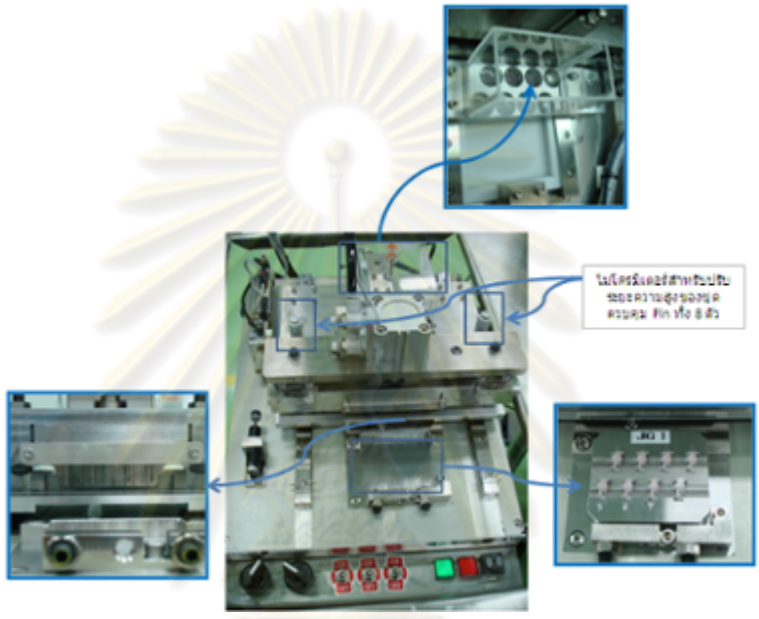
ค. การประกอบแท่งเหล็กที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงาน (insert pin) เข้ากับโมลไม่ตรงจุดกึ่งกลาง (center) ทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรูเยื้องศูนย์ซึ่งการวัดระยะความสูงของปากกระบอกนั้นต้องอ้างอิงจากรูของชิ้นงาน

สาเหตุของความแตกต่างกันสำหรับระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร)

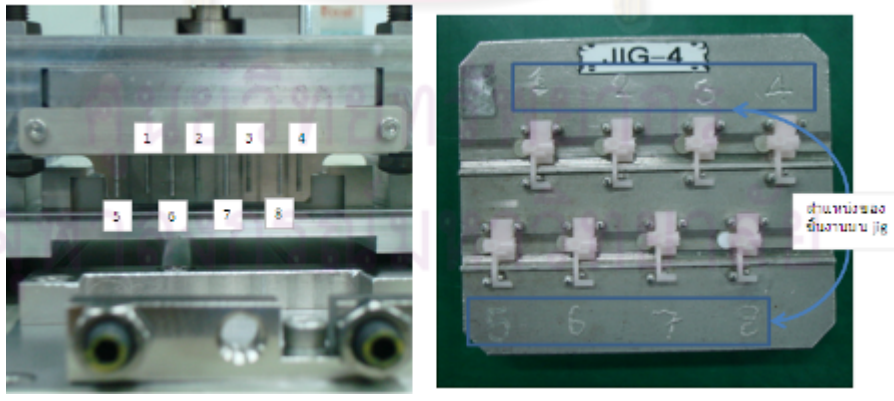
ก. ขนาดของแท่งเหล็กที่ทำให้เกิดรูของกระบอกสำหรับประกอบบอลมีขนาดที่แตกต่างกัน

เมื่อทำการวัดชิ้นงานพลาสติกและพบว่าขนาดของชิ้นงานตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า ขั้นตอนต่อมาจะนำชิ้นงานพลาสติกในแต่ละล็อตเข้าสู่กระบวนการประกอบบอล ขั้นตอนของกระบวนการประกอบบอล คือ การนำบอล (Steel ball) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5+0/-0.05 มิลลิเมตร ประกอบโดยการอัด (Press fit) เข้าไปในกระบอกของชิ้นงานพลาสติกที่มีขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร โดยในกระบวนการประกอบนั้นจะมีสายการประกอบ (Line) อยู่ 2 สายการประกอบ คือ สายการประกอบ 1 และ สายการประกอบ 2 ซึ่งจะต้องประกอบบอลเข้ากับชิ้นงานพลาสติกที่ฉีดจาก 5 โมล คือ โมล C โมล H โมล I โมล J และ โมล K โดยใช้ jig ทั้งหมด 10 jig และไม่มีการกำหนดคาวิตี้ของชิ้นงานในตำแหน่งทั้ง 8 ตำแหน่งของ jig ในการวัดขนาดของชิ้นงานนั้นพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพจะวัดจากการสุ่มตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการประกอบ 3 ตัวต่อคาวิตี้ต่อโมล เพื่อทำการวัดระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร)

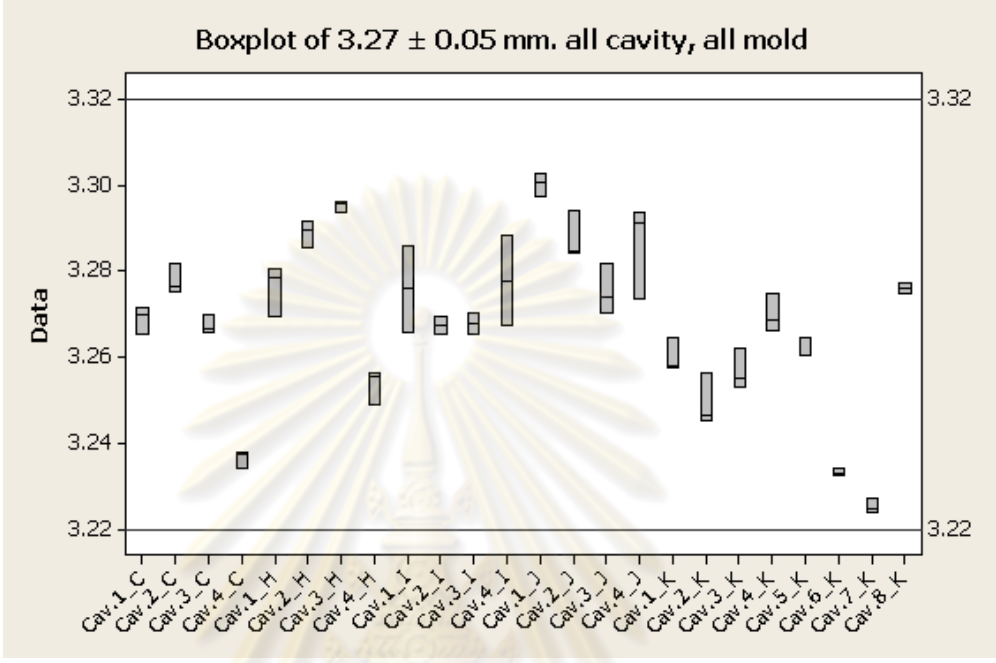


รูปที่ 1-19 เครื่องประกอบบอลเข้าไปในกระบอกของชิ้นงานพลาสติก (Assembly machine)



รูปที่ 1-20 ตำแหน่งของ pin กดบอลโดยอ้างอิงจากตำแหน่งของชิ้นงานบน jig

จากข้อมูลการเปรียบเทียบการกระจายตัวของระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ในแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกัน จะเห็นว่าภายในโมลเดียวกันมีความผันแปรในแต่ละคาวิตี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 1-21



รูปที่ 1-21 แนวโน้มของระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบในแต่ละโมล

สำหรับปัญหาระยะความสูงของบอลสูงกว่าและต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้าที่ระยะ 3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร เป็นปัญหาความผันแปรแบบผิดธรรมชาติ (Assignable cause) สามารถเกิดขึ้นได้หลายกรณี เช่น

ก. ปัจจัยที่เกี่ยวเนื่องจากการควบคุมตั้งแต่กระบวนการประกอบโมล เพื่อควบคุมให้ระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ของแต่ละคาวิตี้ในทุกโมลไม่เกิดความแตกต่างกัน

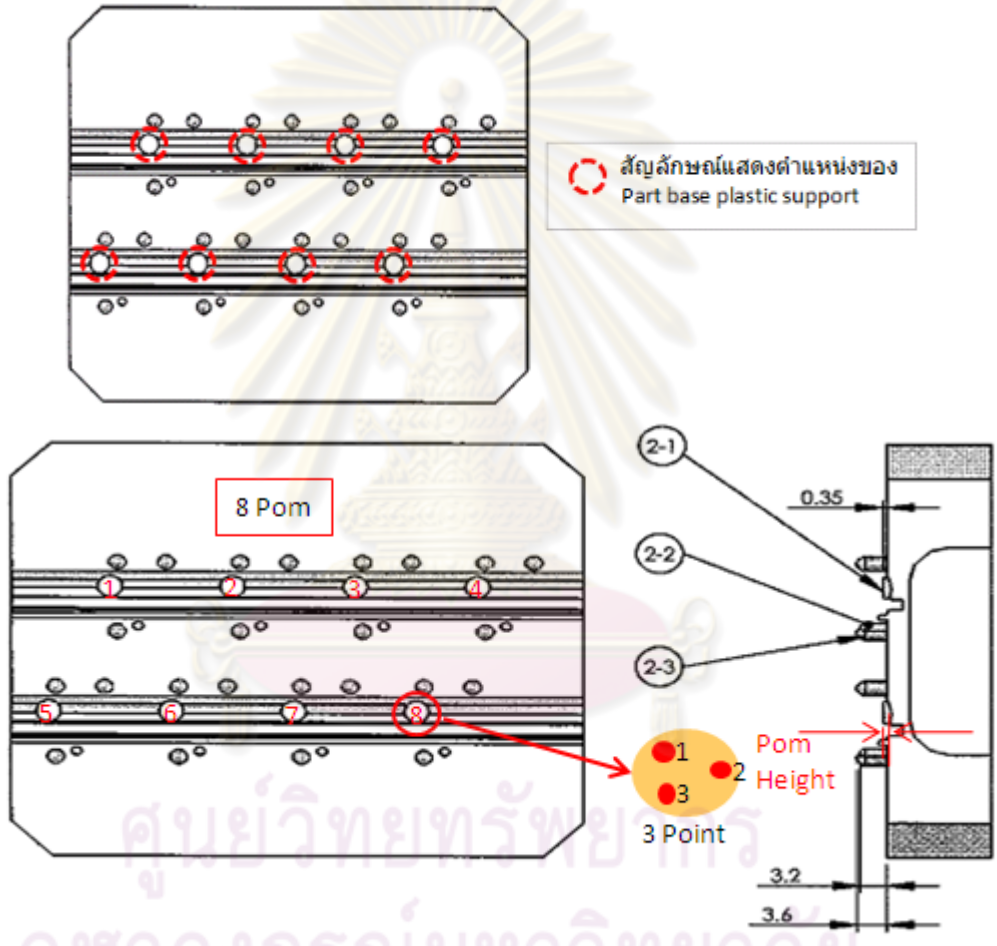
ข. ระยะการกดของพินกดแต่ละตำแหน่งคลาดเคลื่อนเนื่องจากการกระแทกของชุดใส่บอลซึ่งลักษณะการทำงานของเครื่องประกอบบอลเป็นลักษณะเคลื่อนที่เข้า-ออก (Slide)

ค. พนักงานช่างเทคนิคปรับแก้ไขปัญหาระยะความสูงของบอลในบางตำแหน่งแล้วส่งผลกระทบต่อระยะการกดของพินตำแหน่งอื่น

ง. ระยะการกดของพินในเครื่องประกอบบอลที่ไม่เหมาะสม ทำให้ระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบทุกคาวิตี้ของทุกโมลมีความแตกต่างกัน

จ. ความไม่เรียบผิวของหน้าสัมผัสของฐานรองรับชิ้นงาน (Part base plastic support) ของ jig สำหรับประกอบบอล

การวัดระยะความสูงของฐานที่รองรับชิ้นงานจะวัดที่ผิวหน้าส่วนที่วางรองรับชิ้นงานเพื่อทำการประกอบบอล โดยจะวัดความสูงอ้างอิงจากฐานของตัว jig และวัดบริเวณผิวหน้า 3 จุด ดังรูปที่ 1-22 เพื่อหาค่าเฉลี่ย ซึ่งข้อมูลระยะความสูงของฐานที่รองรับชิ้นงานทั้ง 10 jig แสดงดังตารางที่ 1-9

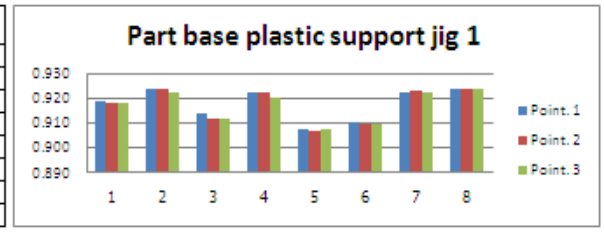


รูปที่ 1-22 วิธีการวัดระยะความสูงของฐานที่รองรับชิ้นงานในแต่ละ Jig

ตารางที่ 1-9 ข้อมูลระยะความสูงของฐานที่รองรับชิ้นงานทั้ง 10 jig

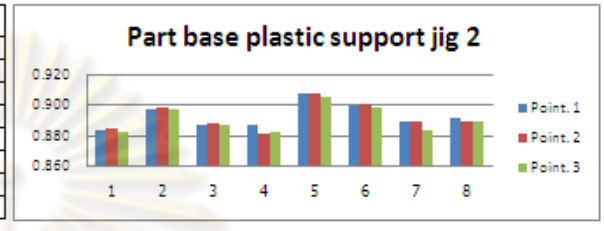
Jig 1

Pom No.	Point. 1	Point. 2	Point. 3	Average
1	0.919	0.918	0.918	0.918
2	0.924	0.924	0.922	0.923
3	0.914	0.912	0.912	0.913
4	0.922	0.922	0.920	0.921
5	0.908	0.907	0.908	0.908
6	0.911	0.910	0.910	0.910
7	0.922	0.923	0.922	0.922
8	0.924	0.924	0.924	0.924



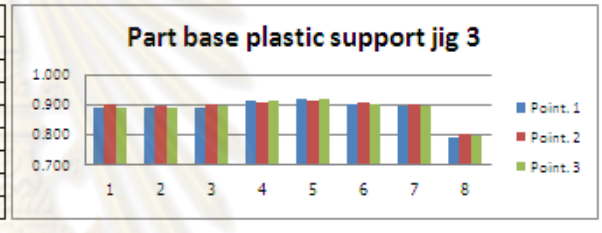
Jig 2

Pom No.	Point. 1	Point. 2	Point. 3	Average
1	0.884	0.885	0.883	0.884
2	0.897	0.899	0.897	0.898
3	0.887	0.888	0.887	0.887
4	0.887	0.881	0.883	0.884
5	0.907	0.908	0.905	0.907
6	0.900	0.901	0.898	0.900
7	0.889	0.890	0.884	0.888
8	0.892	0.890	0.890	0.891



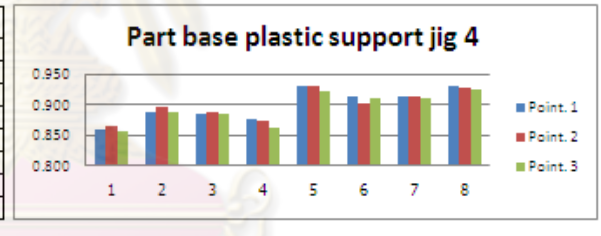
Jig 3

Pom No.	Point. 1	Point. 2	Point. 3	Average
1	0.892	0.902	0.891	0.895
2	0.891	0.899	0.893	0.894
3	0.893	0.901	0.897	0.897
4	0.911	0.909	0.911	0.910
5	0.922	0.916	0.920	0.919
6	0.902	0.908	0.902	0.904
7	0.898	0.904	0.898	0.900
8	0.794	0.801	0.799	0.798



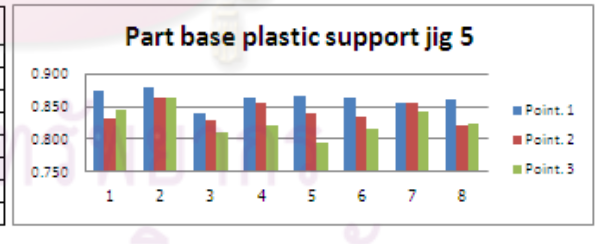
Jig 4

Pom No.	Point. 1	Point. 2	Point. 3	Average
1	0.859	0.864	0.858	0.860
2	0.889	0.897	0.888	0.891
3	0.886	0.889	0.884	0.886
4	0.877	0.874	0.863	0.871
5	0.931	0.929	0.921	0.927
6	0.913	0.903	0.911	0.909
7	0.912	0.913	0.911	0.912
8	0.931	0.928	0.925	0.928



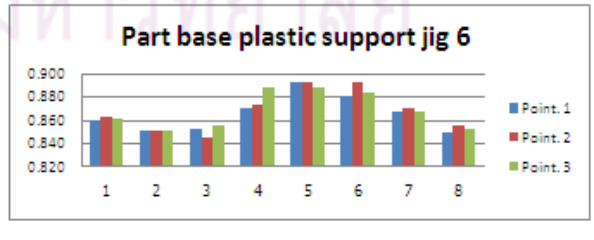
Jig 5

Pom No.	Point. 1	Point. 2	Point. 3	Average
1	0.873	0.832	0.844	0.850
2	0.879	0.864	0.863	0.869
3	0.840	0.830	0.810	0.827
4	0.863	0.854	0.820	0.846
5	0.867	0.839	0.794	0.833
6	0.864	0.835	0.816	0.838
7	0.856	0.854	0.841	0.850
8	0.861	0.822	0.825	0.836



Jig 6

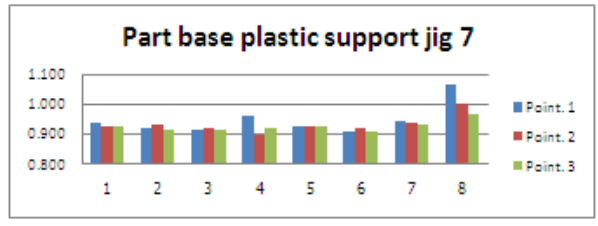
Pom No.	Point. 1	Point. 2	Point. 3	Average
1	0.860	0.863	0.861	0.861
2	0.851	0.851	0.851	0.851
3	0.853	0.845	0.856	0.851
4	0.870	0.874	0.888	0.877
5	0.892	0.893	0.888	0.891
6	0.881	0.893	0.883	0.886
7	0.867	0.871	0.868	0.869
8	0.849	0.856	0.853	0.853



ตารางที่ 1-9 ข้อมูลระยะความสูงของฐานที่รองรับชิ้นงานทั้ง 10 jig (ต่อ)

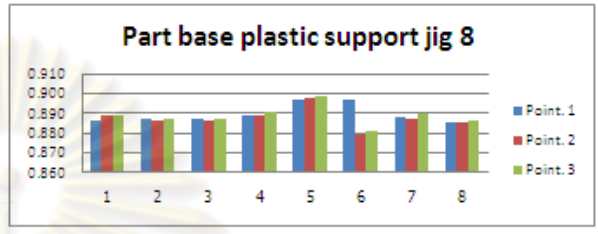
Jig 7

Pom No.	Point. 1	Point. 2	Point. 3	Average
1	0.938	0.927	0.926	0.930
2	0.924	0.932	0.917	0.924
3	0.917	0.921	0.913	0.917
4	0.963	0.900	0.920	0.928
5	0.927	0.928	0.929	0.928
6	0.911	0.921	0.910	0.914
7	0.945	0.936	0.935	0.939
8	1.065	1.001	0.965	1.010



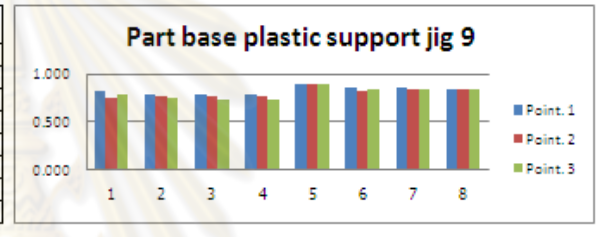
Jig 8

Pom No.	Point. 1	Point. 2	Point. 3	Average
1	0.886	0.889	0.889	0.888
2	0.887	0.886	0.887	0.887
3	0.887	0.886	0.887	0.887
4	0.889	0.889	0.891	0.890
5	0.897	0.898	0.899	0.898
6	0.897	0.879	0.881	0.886
7	0.888	0.887	0.890	0.888
8	0.885	0.885	0.886	0.885



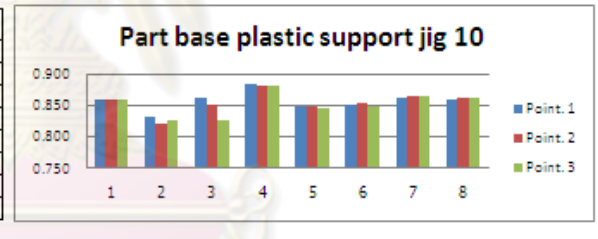
Jig 9 (LL-024)

Pom No.	Point. 1	Point. 2	Point. 3	Average
1	0.822	0.749	0.781	0.784
2	0.780	0.775	0.755	0.770
3	0.786	0.768	0.733	0.762
4	0.777	0.765	0.739	0.760
5	0.899	0.894	0.896	0.896
6	0.854	0.824	0.840	0.839
7	0.861	0.841	0.847	0.850
8	0.847	0.848	0.844	0.846



Jig 10 (LL-025)

Pom No.	Point. 1	Point. 2	Point. 3	Average
1	0.860	0.859	0.859	0.859
2	0.831	0.820	0.827	0.826
3	0.862	0.852	0.826	0.847
4	0.885	0.880	0.881	0.882
5	0.847	0.847	0.846	0.847
6	0.850	0.855	0.849	0.851
7	0.863	0.865	0.865	0.864
8	0.860	0.863	0.861	0.861



จากข้อมูลระยะความสูงของฐานที่รองรับชิ้นงานทั้ง 10 jig จะเห็นได้ว่าในบางตำแหน่งมีความเรียบผิวจากการวัดทั้ง 3 ครั้งบนฐานชิ้นเดียวกันมีความสูงไม่เท่ากัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฐานที่รองรับชิ้นงานมีหน้าสัมผัสที่ไม่เรียบเสมอกัน เช่น jig ที่ 10 ตำแหน่งที่ 3 มีความสูงในแต่ละตำแหน่งแตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับฐานอื่นๆ ที่มีความสูงใกล้เคียงกัน เช่น ตำแหน่งที่ 5 เป็นต้น ผลกระทบของระยะความสูงของฐานที่รองรับชิ้นงานในแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากันส่งผลให้ระยะการกดอัดบอลเกิดความผันแปรมากและลักษณะการทำงานของโรงงานกรณีศึกษาไม่ได้กำหนดคาวิตี้ของชิ้นงานเพื่อประกอบในแต่ละตำแหน่งของฐานทั้ง 10 jig ด้วยเหตุนี้ทำให้การควบคุมระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบเป็นไปได้ยากและมีความเสี่ยงมากที่จะเกิดข้อบกพร่องขึ้น

เนื่องจากปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาพบปัญหาที่เกี่ยวกับการประกอบบอลที่มาจากสาเหตุของการประกอบโมลและเกิดปัญหารูกระบอกของชิ้นงานเยื้องศูนย์ เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับขั้นตอนการประกอบบอลสึกหรอ ขาดการควบคุมระยะของพินที่ใช้กดอัดบอลที่เหมาะสม รวมทั้ง

ความแตกต่างของชิ้นงานพลาสติกที่ฉีดจากแต่ละคาวิตี้ของแต่ละโมลที่ยากต่อการควบคุมให้ขนาดเท่าๆ กัน สาเหตุต่างๆ เหล่านี้ทำให้เกิดชิ้นงานที่ไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้าเนื่องจากความสูงของบอล ถ้าบอลสูงกว่าข้อกำหนดเนื่องจากบอลถูกกดลงไปในกระบอกน้อย ก็จะมีความเสี่ยงในเรื่องของบอลหลุดออกจากชิ้นงานพลาสติก หรือถ้าบอลต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากบอลถูกกดลงไปในกระบอกมาก ก็จะมีผลกระทบต่อปากกระบอกทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นและเกิดการแตกของปากกระบอกพลาสติกจนบอลสามารถหลุดออกได้ ด้วยเหตุนี้โรงงานกรณีศึกษาจึงได้กำหนดให้มีการระบุ jig สำหรับการประกอบบอลด้วยชิ้นงานพลาสติกที่มาจากโมลแต่ละโมล โดยอาศัยผลลัพธ์จากการวัดขนาดของชิ้นงานพลาสติกและชิ้นงานที่ประกอบบอล การกำหนด jig สำหรับแต่ละโมลแสดงดังตารางที่ 1-10

ตารางที่ 1-10 การระบุ jig ที่ใช้ในการประกอบเพื่อเลือกใช้ชิ้นงานพลาสติกจากแต่ละโมล

	สายการประกอบที่ 1			สายการประกอบที่ 2	
Jig	Mold H	Mold I	Mold C	Mold K	Mold J
1	NG	NG	NG	OK	OK
2	NG	OK	NG	NG	OK
3	OK	OK	OK	NG	NG
4	OK	OK	OK	NG	NG
5	OK	NG	NG	NG	NG
6	OK	OK	OK	NG	NG
7	NG	NG	NG	OK	OK
8	NG	NG	NG	OK	OK
9	OK	OK	OK	NG	NG
10	NG	NG	NG	OK	OK

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยสายการประกอบที่ 1 จะใช้สำหรับ Jig เบอร์ 3 4 5 6 และ 9 เพื่อประกอบบอลโดยใช้พลาสติกจากโมล H I และ C ส่วนสายการประกอบที่ 2 จะใช้สำหรับ Jig เบอร์ 1 2 7 8 และ 10 เพื่อประกอบบอลโดยใช้พลาสติกจากโมล K และ J แต่ก็ยังพบปัญหาอยู่ 2 ข้อดังนี้

- การประกอบบอลโดยใช้ Jig เบอร์ 2 ไม่สามารถทำการประกอบได้โดยการใช้พลาสติกจากโมล K

- การประกอบบอลโดยใช้ Jig เบอร์ 5 ไม่สามารถทำการประกอบได้โดยการใช้พลาสติกจากโมล I และ C

สาเหตุที่โรงงานกรณีศึกษาต้องกำหนดการประกอบชิ้นงานพลาสติกในแต่ละสายการผลิต เนื่องจากไม่มีการควบคุมความผันแปรของกระบวนการประกอบโมลและไม่ได้แก้ไขปัญหาเกี่ยวกับระยะความสูงของฐานที่รองรับชิ้นงานทั้ง 10 jig รวมทั้งยังไม่ได้ศึกษาเรื่องระยะการปรับพินกดในเครื่องประกอบที่เหมาะสม ซึ่งการกำหนดเรื่องโมลและสายการประกอบนั้นมาจากการลองผิดลองถูกในการประกอบและวัดระยะความสูงของบอลหลังประกอบ

บทสรุปสำหรับ 1.2.2 : การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า

จากข้อมูลการวัดชิ้นงานพลาสติก ชิ้นงานหลังจากประกอบบอลและระยะความสูงของ Part base plastic support บน jig ที่ใช้ประกอบ สามารถสรุปปัจจัยที่มีผลต่อระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ได้ดังตารางที่ 1-11

ตารางที่ 1-11 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร)

ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	ระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร)	ระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร)
การประกอบโมล	✓	✓
ความกว้างของปากกระบอก	X	✓
ตำแหน่งความสูงของ Part base plastic support บน jig	X	✓
ความเรียบผิวของ Part base plastic support บน jig	X	✓
ระยะ Pin ของเครื่องประกอบบอลแต่ละตำแหน่ง	X	✓

เนื่องจากปัญหาที่กล่าวมาในเบื้องต้นสำหรับงานวิจัยนี้มีความเกี่ยวเนื่องกันตั้งแต่ขั้นตอนของการประกอบโมล กระบวนการฉีดชิ้นงานพลาสติกที่ต้องไม่มีปัญหาเรื่องระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติกสำหรับประกอบบอลและระยะความกว้างของปากกระบอกประกอบบอลจนกระทั่งกระบวนการประกอบที่ต้องควบคุมให้ระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบอยู่ใน

ขอบเขตข้อกำหนดของลูกค้า ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาถึงวิธีการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการประกอบบอลของผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 ซึ่งโดยการประยุกต์ใช้วิธีการของซิกซ์ซิกม่า (Six sigma) เนื่องจากจำเป็นต้องวิเคราะห์อย่างละเอียดในขั้นตอนการระบุสาเหตุของปัญหาโดยการทดลองและการทดสอบทางสถิติ รวมทั้งการกำหนดแนวทางในการแก้ไขปัญหา ซึ่งจะทำให้ผู้บริหารสามารถเข้าใจถึงความบกพร่องทางคุณภาพและผลกระทบต่อกำไรขององค์กร เพื่อการปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้นก่อให้เกิดประโยชน์ในการลดต้นทุนที่ด้อยคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในองค์กร

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ปรับปรุงกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่านเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาเฉพาะกระบวนการประกอบของผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1
2. ใช้วิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า เป็นเครื่องมือในการลดสัดส่วนของเสีย
3. วิเคราะห์ผลการทดลองต่างๆ ตามหลักทางสถิติวิศวกรรมและใช้โปรแกรม MINITAB มาช่วยในการคำนวณผลลัพธ์ทางสถิติ

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนในการศึกษาและวิจัยได้ดังต่อไปนี้

1. สำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิธีการซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)
2. ศึกษาสภาพการดำเนินงานของกระบวนการประกอบบอลและปัญหาที่มีผลต่อการประกอบบอล
    ก. ศึกษากระบวนการฉีด (Injection Process) และกระบวนการประกอบ (Assembly Process)
    ข. เก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนการเกิดข้อบกพร่องเพื่อกำหนดประเภทของข้อบกพร่องที่จะทำการแก้ไข
    ค. พิจารณาความสามารถของกระบวนการประกอบ ปริมาณของเสียที่พบในปัจจุบันและต้นทุนของชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพในปัจจุบัน
    ง. กำหนดเป้าหมายกระบวนการผลิตที่จะลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นให้มีน้อยกว่า 500 DPPM (Defect part per million)
    จ. จัดตั้งทีมเพื่อช่วยสนับสนุนในการดำเนินการแก้ไขปัญหา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา
    ก. วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Measurement System Analysis)
    ข. เก็บข้อมูลเพื่อกำหนดสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา
    ค. ประชุมและระดมความคิดเห็นเพื่อแจกแจงสาเหตุและผลกระทบของข้อบกพร่องโดยใช้ FMEA (Failure Mode & Effect Analysis)
    ง. เลือกปรับปรุงปัจจัยที่มีค่า RPN (Risk Priority Number) สูงกว่าข้อกำหนด
    จ. สรุปผลและวางแผนขั้นต่อไป
4. ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา
    ก. เลือกปัจจัยที่จะนำไปทดสอบจากค่า RPN (Risk Priority Number) สูงกว่าข้อกำหนด
    ข. พิสูจน์สมมติฐาน โดยการทดสอบความมีนัยสำคัญของสาเหตุด้วยเครื่องมือทางสถิติ เช่น ANOVA, Hypothesis Testing
    ค. ทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยใช้หลักการสถิติทางวิศวกรรม เพื่อยืนยันตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการผลิต (Key Process Variable Input : KPIV) ที่ต้องนำไปทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการฉีดและกระบวนการประกอบบอล
    ง. สรุปผลและวางแผนขั้นต่อไป
5. ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิต
    ก. กำหนดวิธีการกำจัดต้นตอสาเหตุของปัญหา โดยใช้เครื่องมือที่จะช่วยป้องกันความผิดพลาด (Fool proof)
    ข. ออกแบบการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขการทำงานที่ดีที่สุด (Design of Experiment : DOE)
    ค. ทดสอบการดำเนินการ
    ง. จัดทำมาตรฐานของการดำเนินการ
    จ. สรุปผลและวางแผนขั้นต่อไป
6. ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต
    ก. เก็บข้อมูลเพื่อยืนยันผลหลังจากการปรับปรุง
    ข. กำหนดแผนควบคุม (control plan) และวิธีการควบคุมอื่นๆ ที่เหมาะสม จากนั้นกำหนดวิธีการวัด ขนาดกลุ่มตัวอย่างและความถี่ในการวัด เพื่อควบคุมกระบวนการ
    ค. สรุปผลการปรับปรุงที่ได้โดยพิจารณาจากระดับของเสียที่ลดจำนวนลง
7. ติดตามและประเมินผลการดำเนินการ
8. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
9. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

วิธีการปฏิบัติงานในการประกอบตัวล็อคหัวอ่านที่สามารถลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ก. ลดปริมาณของเสียอันเนื่องมาจากไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพในกระบวนการประกอบบอล

ข. เพิ่มความเชื่อมั่นให้ลูกค้าที่จะได้รับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและสร้างความพึงพอใจมากที่สุด

ค. สามารถอ้างอิงวิธีการป้องกันของเสียจากกระบวนการประกอบบอลสำหรับโมเดลอื่นๆ ที่มีขั้นตอนการผลิตแบบเดียวกัน

ง. สอดคล้องกับนโยบายของบริษัทในเรื่องของการลดต้นทุนโดยรวม (Total Cost Down : TCD)

1.8 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลา(เดือน)								
	ก.ค. 2553	ส.ค. 2553	ก.ย. 2553	ต.ค. 2553	พ.ย. 2553	ธ.ค. 2553	ม.ค. 2554	ก.พ. 2554	มี.ค. 2554
1.ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อนิยามปัญหา (Define : D)	■	■							
2. ระยะการวัดและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสภาพปัญหา (Measure : M)			■						
3. ระยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis : A)				■	■				
4. ระยะการปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve : I)						■	■		
5. ระยะการตรวจติดตามควบคุมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Control : C)								■	
6. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ									■
7. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์						■	■	■	■

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วชิรพงษ์ สาลีสิงห์ (2548) กล่าวไว้ว่าเมื่อประมาณปี ค.ศ. 1990 บริษัทโมโตโรล่าคิดเทคนิคการบริหารกระบวนการขึ้นมาชนิดหนึ่งเรียกว่า “ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)” โดยตั้งชื่อตามตัวอักษรกรีกที่มีความหมายนัยทางสถิติคือระดับของความผันแปรของกระบวนการ โดยพยายามลดของเสียในกระบวนการผลิต ให้มีจำนวนเกิดขึ้นน้อยที่สุด จนกระทั่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตลงได้ และขณะเดียวกันก็สร้างระดับความพึงพอใจของลูกค้าเพิ่มมากขึ้น บริษัทโมโตโรล่าได้รับผลสำเร็จที่วัดออกมาเป็นตัวเงินมหาศาลจากการดำเนินงานตามแนวทางของ ซิกซ์ ซิกม่า ต่อมาบริษัทเจนเนอรัลอิเล็คทริกส์ (General Electric : GE) โดย Jack Welch ปรับเปลี่ยนรูปแบบดั้งเดิมของซิกซ์ ซิกม่าให้เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้มากขึ้น โดยปรับแก้รูปแบบซิกซ์ ซิกม่าของโมโตโรล่าให้เป็นลักษณะของ Project Based Approach คือ เน้นทำเป็นเรื่องๆ ในระยะเวลาที่กำหนดไว้ (โดยประมาณ 6 เดือน) นอกจากนี้ยังเพิ่มเติมในส่วนของการบริหารโครงการ และแนวทางในการจูงใจให้ผู้บริหารทุกระดับเล็งเห็นความสำคัญของการดำเนินงาน และยังเพิ่มในส่วนของวิธีการประเมินผลสำเร็จที่สามารถวัดผลออกมาได้ในรูปของการเงินที่ดีขึ้นของบริษัท

วิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า กลายเป็นที่รู้จักในวงการธุรกิจและอุตสาหกรรมทั่วไป ต่อมาบริษัทหลายๆ แห่งเริ่มที่จะนำกลยุทธ์ซิกซ์ ซิกม่าไปประยุกต์ใช้กับองค์กรของตน จนซิกซ์ ซิกม่ากลายเป็นที่รู้จักไปทั่วโลกในเวลาที่รวดเร็ว จนกระทั่งในปัจจุบันสามารถกล่าวได้ว่าซิกซ์ ซิกม่าเป็นกลยุทธ์ระดับโลกที่เป็นแนวทางในการพัฒนาองค์กรที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อสร้างความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจ

2.1.1 ซิกซ์ ซิกม่า คืออะไร

ภัทรวุฒิ พลอาสา (2548) กล่าวไว้ว่า

1. ความหมายในเชิงการจัดการบริหาร เป็นกลยุทธ์ในการจัดการ เพื่อเพิ่มผลกำไร เพิ่มส่วนแบ่งการตลาด ลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มความพอใจให้กับลูกค้า โดยการทำการลดโอกาสที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องในทุก ๆ ขั้นตอนของกระบวนการทำงานทั่วทั้งองค์กร ตั้งแต่เริ่มทำการสั่งซื้อสินค้า ผลิตสินค้า จนถึงการส่งมอบและบริการ

Harry and Schroedex (2000) ได้ให้คำจำกัดความของคำว่า ซิกซ์ ซิกม่า เป็นวิถีทางแห่งระดับคุณภาพแบบหลายมิติ ประกอบด้วยรูปแบบที่เป็นมาตรฐานการจัดการที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และการตอบสนองต่อภารกิจขององค์กร ช่วยทำให้ทั้งลูกค้าและผู้ผลิตได้ผลตอบแทนทั้งสองฝ่าย ไม่ว่าจะเป็นในด้านอรรถผลประโยชน์ ทรัพยากร และคุณค่าของผลิตภัณฑ์

สถาบัน JURAN ได้ให้คำจำกัดความไว้อีกมุมหนึ่งว่า “ซิกซ์ ซิกม่า เป็นกลยุทธ์ของฝ่ายบริหาร ในการพัฒนาคุณภาพ เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุด และลดความสูญเสียที่ทำให้เกิดความไม่พึงพอใจของลูกค้าให้เหลือน้อยที่สุด”

2. ความหมายในเชิงสถิต ซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) เป็นภาษาในวิชาสถิติ ซึ่งมีสัญลักษณ์ Sigma σ เป็นตัวอักษรในภาษากรีก ที่ใช้แทนความหมายของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ซึ่งค่า ซิกม่ายิ่งสูงแสดงว่ามีความแปรปรวนของกระบวนการยิ่งสูงทำให้มีพื้นที่ที่อยู่นอกเหนือพื้นที่การยอมรับหรือข้อกำหนดน้อยลง นั่นคือมีของเสียที่อยู่นอกเหนือของเขตที่ยอมรับได้น้อยลง โดยที่ในระดับหก ซิกซ์ ซิกม่า นั้นจะยอมรับให้เกิดของเสียได้ที่ปริมาณ 3.4 ชิ้นในการผลิต 1 ล้านชิ้น หรือที่เรียกว่า 3.4 ppm (Parta Per Million) ซึ่งหากเป็นไปตามเส้นโค้งการกระจายตัวตามปกติ (Normal Distribution Curve) จริงๆ ทางสถิตินั้นที่ระดับหก ซิกซ์ ซิกม่า จะมีของเสียอยู่นอกขอบเขตของการยอมรับเท่ากับ 0.002 ชิ้น ต่อ 1 ล้านชิ้นเท่านั้น แต่เหตุผลที่หลักการซิกซ์ ซิกม่า ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน มีการยอมรับของเสียที่ 3.4 ppm ก็พบว่าในขณะที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ความแปรปรวนในบริษทโมโตโรล่านั้นได้พบว่าไม่มีระบบการผลิตใดเลยที่จะไม่ถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก นั่นก็คือเราไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกเพื่อไม่ให้ส่งผลถึงความเบี่ยงเบนของข้อมูลได้ ซึ่งระบบบที่ไม่มีความแปรปรวนเลยจึงเป็นเพียงระบบในอดุมคติ (Ideal System) เท่านั้น ดังนั้น โมโตโรล่า จึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลใหม่ในกระบวนการผลิต เพื่อหาความแปรปรวนที่เกิดจากปัจจัยภายนอกอันส่งผลถึงการคลาดเคลื่อนของค่ากึ่งกลาง ซึ่งได้ข้อสรุปจากการวิเคราะห์ คือ ค่าเบี่ยงเบนของข้อมูล อันเนื่องจากปัจจัยภายนอกมีค่าอยู่ในช่วง 1.4-1.6 เท่าของซิกม่า จึงนำค่าเฉลี่ยคือ 1.5 เท่าของซิกม่า มาเป็นค่าความเบี่ยงเบนของค่ากึ่งกลางข้อมูลที่ยอมรับได้ นำมาใช้ทฤษฎีซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งค่า 3.4 ppm จึงเป็นค่าความผิดพลาดที่ 4.5 เท่าของซิกม่าตามหลักสถิติ

2.1.2 ขั้นตอนของซิกซ์ ซิกม่า

วรภัทร์ ภู่เจริญ (2537) กล่าวไว้ว่า

1. Define คือ ขั้นตอนของการนิยามหรือกำหนดปัญหา เลือกโครงการที่จะทำการปรับปรุงหรือออกแบบ ทั้งนี้เน้นความต้องการของลูกค้าเป็นหลักด้วย เพื่อให้โครงการที่เลือกจะทำนั้นเป็นเรื่องสำคัญจริงๆ ทำแล้วคุ้ม ตรงประเด็น ไม่เสียเวลาเปล่า

2. Measure คือ ขั้นตอนการวัด เช่น วัดความสามารถของกระบวนการวัดของเสีย วัดประสิทธิผล ฯลฯ เพื่อนำมาวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ

3. Analyze คือ ขั้นตอนการวิเคราะห์ (จากข้อมูลที่วัดมาได้) เพื่อหาหรือพิสูจน์ตัวแปรที่สำคัญที่สุดในกระบวนการ (Key Process Variables) ที่เป็นต้นตอของปัญหาที่นิยามไว้

4. Improve คือ ขั้นตอนของการปรับปรุง ตัวแปรที่มีผลมาก ๆ หรือสำคัญๆ เพื่อขจัดสาเหตุที่วิเคราะห์ได้

5. Control คือ ขั้นตอนของการควบคุม เพื่อให้กระบวนการนั้นนิ่ง อยู่ภายใต้การควบคุมอย่างสม่ำเสมอ

2.1.3 เครื่องมือที่เกี่ยวข้องในการวิจัย

ภัทรวุฒิ พลอาสา (2548) กล่าวไว้ว่า

1. การศึกษากระบวนการผลิตทั้งกระบวนการ (Process Mapping) เป็นการสร้างแผนภาพของกระบวนการผลิตเพื่อต้องการให้ระบุตัวแปรสำคัญในการผลิต และผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต

2. แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) เป็นกราฟแท่งซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและปริมาณ โดยสาเหตุอาจจเป็นชนิดหรือประเภทของข้อบกพร่อง ส่วนปริมาณเป็นจำนวน ปริมาตร ความถี่ เป็นต้น ส่วนประกอบมี 3 ส่วน คือ แกนตั้งซ้ายมือเป็นแกนแสดงปริมาณ แกนตั้งขวามือเป็นแกนแสดงเปอร์เซ็นต์สะสมจากแท่งแรกไปจนแท่งสุดท้าย และแกนนอกแสดงสาเหตุชนิด ประเภทที่สนใจศึกษา หลักการของ พาเรโต ช่วยจัดลำดับความสำคัญตามกฎ 80/20 ทำให้จัดลำดับความรุนแรงของปัญหา และใช้ในการตัดสินปัญหาได้อย่างเหมาะสม

วันรัตน์ จันทกิจ (2527) กล่าวไว้ว่า

3. การระดมสมอง (Brainstorming) การระดมสมองนับได้ว่าเป็นกระบวนการหนึ่งที่จะนำมาซึ่งการพัฒนาแนวคิดไปสู่รูปแบบอื่นๆ โดยเทคนิคนี้จะนำปสู่องค์ความรู้ การวางแผนดำเนินโครงการ การสร้างทีมงาน การบริหาร การปฏิบัติงาน และการพัฒนาคุณภาพในด้านอื่นๆ และที่สำคัญในระหว่างการระดมสมองนั้น ความคิดหนึ่งจะก่อให้เกิดอีกความคิดหนึ่งเสมอ

ขั้นตอนในการระดมสมองจะเกิดขึ้นใน 3 ขั้นตอนต่อไปนี้

1. การสำรวจปัญหา (Define Problem) เมื่อต้องการปัญหาใหม่ โดยต้องการให้สมาชิกทุกคนในกลุ่มหรือองค์กรมีส่วนร่วม เราอาจจะทำการเปิดประเด็นคำถาม เพื่อให้สมาชิกขยายมุมมองร่วมกัน (Soft Divergent)

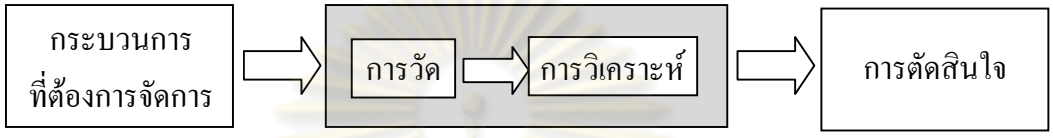
2. การสร้างความคิด (Generating Ideas) หลังจากได้ประเด็นปัญหา จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างความคิดในเรื่องของการหาสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหาที่เกิด

3. การพัฒนาหนทางแก้ไข (Developing the Solution) นำแนวคิดที่ได้มาเปิดประเด็นอีกครั้งหนึ่ง เพื่อทำการระดมสมองต่อว่า “มีวิธีใดบ้างที่จะแก้ไขปัญหาที่เราต้องการแก้ไข”

4. การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Measuring system analysis : MSA)

AIAG (2001) ระบบการวัด หมายถึง สิ่งที่รวบรวมอุปกรณ์วัดคุมหรือเกจวัด มาตรฐานการปฏิบัติงาน วิธีการ อุปกรณ์จับยึดงาน ซอฟต์แวร์ บุคลากร สิ่งแวดล้อมและข้อสมมติฐานต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดปริมาณหน่วยที่ทำการวัดหรือประเมินคุณลักษณะที่ได้รับการวัด

กระบวนการวัด



รูปที่ 2-1 การกำหนดการวัดในรูปของกระบวนการ

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2547) พิจารณาการวัดในรูปของกระบวนการนี้ ค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปจากสาเหตุต่าง ๆ จากปัจจัยแวดล้อมที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งมีความจำเป็นต้องมีการประเมินผลผ่านคุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัด คือค่าวัดเอนเอียงหรือไบอัส (bias) และความแปรปรวน (variance) ส่งผลทำให้มีโอกาสที่ตัดสินใจผิดพลาดในการควบคุมผลิตภัณฑ์และการควบคุมกระบวนการ

4.1 ความคลาดเคลื่อนของค่าวัด ทำให้ค่าวัดที่ได้เบี่ยงเบนไปจากค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัดเสมอ กล่าวคือ ถ้าให้ X หมายถึงค่าวัดที่ได้ และ μ หมายถึง ค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัดแล้วจะได้ว่า

$$X_i = \mu + \varepsilon_I \qquad (2\text{-}1)$$

โดยจะเรียก ε (เอปซิลอน) นี้ว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าวัด (Measurement error) ดังนั้นในระบบการวัดเพื่อการประกันคุณภาพ จึงมีความจำเป็นต้องพยายามทำให้ความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีค่าต่ำที่สุดเพื่อจำให้ค่าใกล้มากที่สุดกับค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัด

โดยทั่วไปแล้ว อาจจำแนกประเภทของความคลาดเคลื่อนของค่าวัดออกได้ 3 ประเภท คือ

(1) ความคลาดเคลื่อนจากความผิดปกติ (gross error) เป็นความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสาเหตุผิดพลาด (Special causes) ของระบบการวัด ส่วนมากเกิดจากการขาดความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัด และวิธีการวัดของพนักงานที่ทำหน้าที่วัด สามารถกำจัดได้เบื้องต้นด้วย การทำระบบการวัดให้เป็นมาตรฐาน คือ การกำหนดขั้นตอนและวิธีการวัดที่แน่นอน การฝึกอบรมพนักงานวัด การทำมาตรฐานของสิ่งที่ได้รับการวัด และการบำรุงรักษาเครื่องมือวัดอย่างถูกต้อง แล้วดำเนินการประเมินผลโดยอาศัยแผนภูมิควบคุม (control chart)

(2) ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (systematic error) หมายถึงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าไบอัส (bias) โดยที่นิยามค่าไบอัสว่าความคลาดเคลื่อนที่ค่าที่ควรจะเป็น (expected value) จากค่าวัดเบี่ยงเบนไปจากค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัด โดยค่าที่ควรจะเป็นนี้ได้มาจากการเฉลี่ยออกความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของค่าวัด

$$\text{ค่าไบอัส} = \bar{X}_i - \text{ค่าจริง} \qquad (2\text{-}2)$$

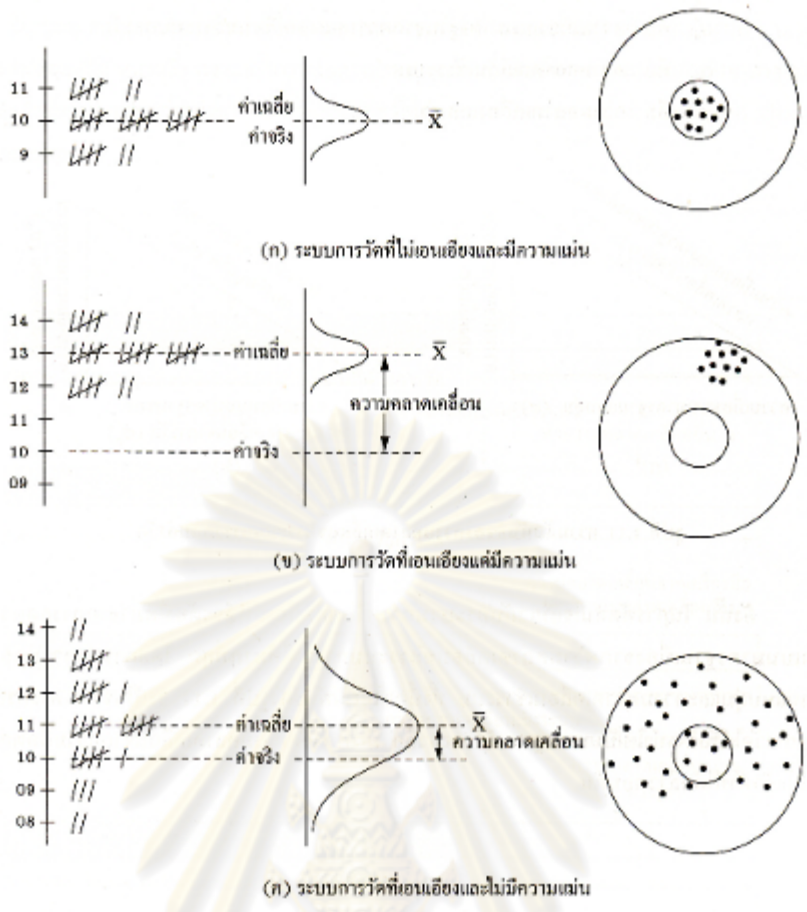
ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบนี้จะมีสาเหตุโดยส่วนใหญ่จากโครงสร้างของเครื่องมือวัด นอกจากนี้อาจจะมีผลมาจากปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อค่าวัดหรือปริมาณที่มีผลต่อค่าวัด (influence quantity) ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบนี้จะได้รับการกำหนดค่าด้วยห้องปฏิบัติการสอนเทียบและสามารถกำจัดได้ด้วยการสอบเทียบ (calibration)

(3) ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (random error) เป็นค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็นของค่าวัดโดยมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ เนื่องจากสาเหตุธรรมชาติของความแปรผันของระบบการวัดซึ่งไม่สามารถกำจัดทิ้งได้ แต่สามารถปรับค่าให้ลดลงได้ด้วยการดำเนินการปรับปรุงระบบการวัด เช่น การปรับวิธีการวัดใหม่ใช้อุปกรณ์จับยึดงาน (fixture) ในการจับงานที่จะทำการวัด เป็นต้น

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อน} = X_i - \bar{X} \qquad (2\text{-}3)$$

ความแตกต่างกันระหว่างความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มหรือความเที่ยง (precision) กับความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ หรือค่าไบอัส โดยคุณสมบัติที่ต้องการของระบบการวัดคือจะต้องมีความไม่เอนเอียงและมีความแม่น ดังแสดงในรูปที่ 2-2 (ก)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



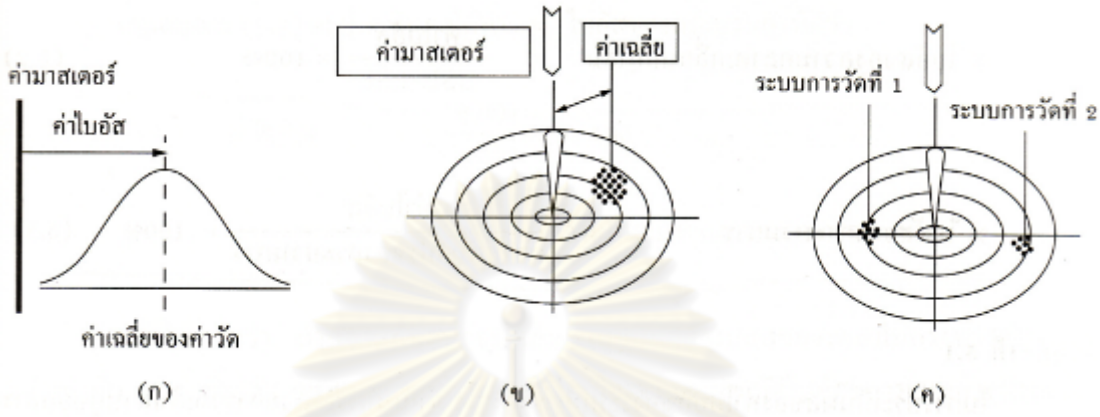
รูปที่ 2-2 ความแตกต่างระหว่างค่าไบอัสและความแม่น

การวิเคราะห์ระบบวัดนี้ มีจุดประสงค์สำคัญในการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด และเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน ได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด ทั้งนี้ด้วยการดำเนินการทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐาน ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) จะเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดจากค่าวัดที่ได้เพื่อแยกแหล่งความผันแปรออกเป็นชิ้นงาน (Part–to–Part Variation; PV) พนักงานวัด (Appraiser Variation; AV) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation; IV) และแหล่งผันแปรอื่นๆที่ไม่สามารถควบคุมได้โดยธรรมชาติ ซึ่งโดยปกติจะมีแหล่งความผันแปรหลัก ๆมาจากอุปกรณ์วัด (Equipment Variation; EV) ทั้งนี้การวิเคราะห์ระบบการวัดนี้จะอยู่ภายใต้ค่าที่ได้จากการประเมินผลระบบการวัด (Measurement System Evaluation; MSE)

4.2 การประเมินผลคุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด

ค่าไบอัส หมายความถึง ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้จากการวัดจากค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์ (โดยที่ค่ามาสเตอร์จะหมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ได้มาจากการวัดซ้ำด้วย

เครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำสูงกว่าภายใต้สภาวะควบคุม หรือห้องปฏิบัติการสอบเทียบ และต้องสามารถสอบกลับได้) และค่าไบอัสนี้จะเป็นค่าประเมินคุณสมบัติด้านความถูกต้องของระบบการวัด



รูปที่ 2-3 ความหมายของคุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด

ในการประเมินค่าไบอัสของระบบการวัด สามารถดำเนินการได้ใน 2 วิธี คือ

ก) วิธีการใช้สิ่งตัวอย่างเดียว

ในการประเมินผล มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) เลือกงานมาตรฐานในการวัดขึ้นมาชิ้นหนึ่ง ที่สามารถสอบค่ากลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้หรือทำการเลือกงานชิ้นหนึ่งจากช่วงการของการผลิตให้ทำการวัดงานมาสเตอร์นี้อย่างน้อย 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออกและกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของค่าวัดดังกล่าวเป็น “ค่าอ้างอิง (reference value)”

(2) ใช้พนักงานที่มีความสามารถในการใช้เครื่องมือวัดอย่างดีทำการวัดมาสเตอร์ดังกล่าวอย่างน้อย 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะการวัดที่ต้องการประเมินผล

(3) ทำการเฉลี่ยค่าวัดดังกล่าว

(4) ทำการประเมินผลค่าไบอัสโดยการพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง

$$\text{ค่าไบอัส} = \text{ค่าเฉลี่ยของค่าวัด} - \text{ค่าอ้างอิง} \qquad (2\text{-}4)$$

(5) ประเมินผลค่าไบอัสเทียบกับความคลาดเคลื่อนอนุโลมที่ยอมให้หรือเทียบกับความผันแปรของกระบวนการโดยที่

$$\%\ \text{ไบอัสของความคลาดเคลื่อนอนุโลม} = \frac{\text{ค่าไบอัส}}{\text{USL} - \text{LSL}} \times 100\ \% \qquad (2\text{-}5)$$

$$\%\ \text{ไบอัสของกระบวนการ} = \frac{\text{ค่าไบอัส}}{\text{ค่าผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \% \qquad (2\text{-}6)$$

ข) วิธีการใช้แผนภูมิควบคุม $\bar{X} - \bar{R}$

แผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ – R เป็นแผนภูมิที่ใช้แยกความผันแปรจากสาเหตุผิดพลาด (special causes) ออกจากสาเหตุธรรมชาติ (common causes) สามารถใช้ประโยชน์ในการประเมินค่าไบอัสของระบบการวัดได้ด้วย โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

(1) เลือกงานมาตรฐานในการวัดขึ้นมาชิ้นหนึ่ง ที่สามารถสอบค่ากลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้หรือทำการเลือกงานชิ้นหนึ่งจากช่วงการของการผลิตให้ทำการวัดงานมาสเตอร์นี้อย่างน้อย 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออกและกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของค่าวัดดังกล่าวเป็น “ค่าที่ได้รับการวัด (measured value)”

(2) ภายใต้ช่วงเวลาที่เหมาะสม (รายวันหรือรายสัปดาห์) ให้ทำการวัดค่าที่ได้รับการวัดดังกล่าว 3-5 ครั้ง จนได้ข้อมูลประมาณ 20-25 กลุ่ม

(3) ให้พล็อตกราฟในแผนภูมิ $\bar{X}$– R

(4) คำนวณพิกัดควบคุม

(5) พิจารณาความสามารถในการแยกความแตกต่าง ความสม่ำเสมอจากแผนภูมิควบคุม R ถ้ามีความผิดปกติให้ทำการแก้ไข

(6) พิจารณาความผันแปรในแผนภูมิควบคุม $\bar{X}$ ถ้าหากพบว่ามีความผันแปรจากสาเหตุผิดพลาดให้หาสาเหตุแล้วกำจัดทิ้ง แต่ถ้าหากพบว่าความผันแปรมีสาเหตุธรรมชาติให้คำนวนค่า $\bar{\bar{X}}$ (ค่าประมาณค่าอ้างอิงที่ได้จากการเฉลี่ยออกความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติออกไป) แล้วคำนวณค่าไบอัส โดย

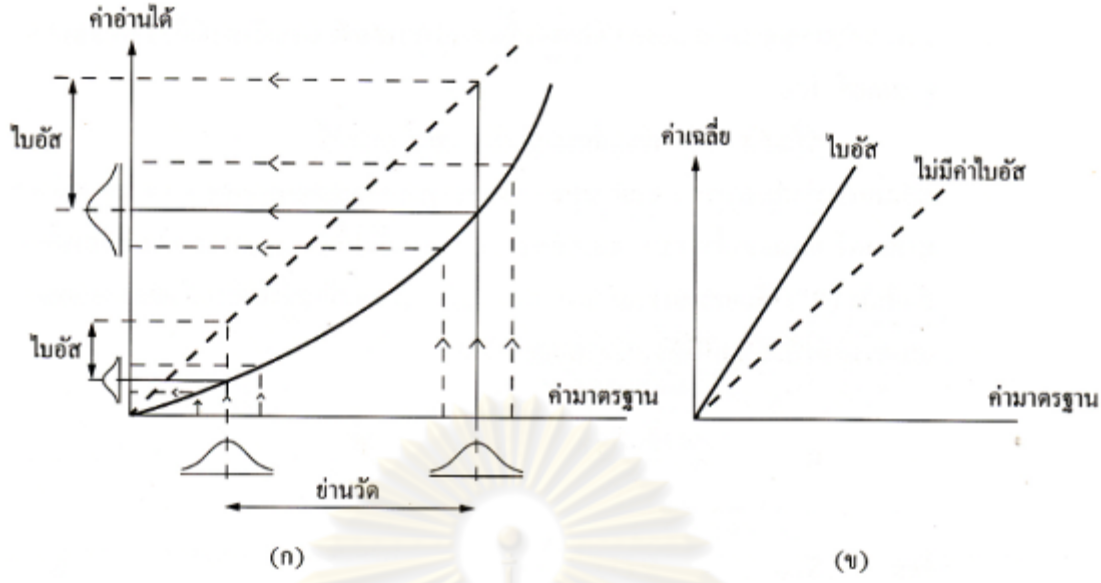
$$\text{ค่าไบอัส} = \bar{\bar{X}} - \text{ค่าอ้างอิง} \qquad (2\text{-}7)$$

แล้วคำนวณ % ไบอัสเพื่อประเมินผลค่าไบอัสจากสมการ (2-5) และ (2-6)

4.3 การประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด

คุณสมบัติเชิงเส้นตรง (linearity) ของระบบการวัด หมายความถึง การที่ค่าไบอัสของระบบการวัดจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงไปตลอดย่านวัด (working range) ของระบบการวัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-4 คุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด

ในการพิจารณาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัดจะได้มาจากการเลือกชิ้นงานตลอดช่วงย่านวัดเพื่อศึกษาถึงค่าไบอัสที่แต่ละค่าของค่ามาตรฐาน (ค่าอ้างอิง) แล้วพิจารณาค่าเปลี่ยนแปลงของค่าไบอัส (ค่าความชัน)

ในการประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด จะมีขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) ให้ทำการเลือกชิ้นงาน 5-8 ชิ้น (ขึ้นอยู่กับขนานความแปรผันของกระบวนการที่ศึกษา) ให้ครอบคลุมตลอดย่านวัดของระบบการวัด

(2) ให้ทำการวัดชิ้นงานแต่ละชิ้นจำนวนอย่างน้อย 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะควบคุม แล้วเฉลี่ยออกสาเหตุความผันแปรในการวัดแต่ละชิ้น เพื่อกำหนดให้ค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์สำหรับการประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรง

(3) ให้เลือกพนักงานวัดที่มีความสามารถในระบบการวัดมา 1 คน แล้วทำการวัดชิ้นงานมาสเตอร์ดังกล่าวชิ้นละ 10 ถึง 12 ครั้ง โดยการเลือกชิ้นงานมาสเตอร์จะต้องเป็นไปอย่างสุ่ม

(4) ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าวัดแต่ละชิ้นงานมาสเตอร์พร้อมทั้งหาค่าไบอัสที่แต่ละค่ามาสเตอร์

$$\text{ค่าไบอัส} = \text{ค่าเฉลี่ยของค่าวัด} - \text{ค่ามาสเตอร์} \qquad (2\text{-}8)$$

(5) พล็อตกราฟแสดงการกระจายในแผนภาพการกระจาย ทำการพิจารณาสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ตัวแบบถดถอยเชิงเส้นตรงสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

$$R^2 = \frac{\hat{\beta}_1 S_{XY}}{S_{YY}} \qquad (2\text{-}9)$$

$$\text{โดย} \quad S_{YY} = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}$$

$$S_{XY} = \sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}$$

$$\text{และ} \quad \hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}} \qquad (2\text{-}10)$$

(6) เมื่อค่าไบอัสและค่าอ้างอิงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญแล้ว ให้ทำการคำนวณสมการถดถอยเชิงเส้นตรงสามารถหาได้จากสมการ (2-10)

$$Y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X \qquad (2\text{-}11)$$

$$\text{เมื่อ} \quad \hat{\beta}_1 = \frac{S_{XY}}{S_{XX}}$$

$$\text{และ} \quad \hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \beta_1 \bar{X} \qquad (2\text{-}12)$$

(7) คำนวณการดัชนีเชิงเส้นตรง (Linearity index) ของระบบการวัด โดยที่

$$\text{ดัชนีเชิงเส้นตรง} = \hat{\beta}_1 \times \text{ความผันแปรของกระบวนการ} \qquad (2\text{-}13)$$

$$\text{หรือ} = \hat{\beta}_1 \times (\text{USL} - \text{LSL}) \qquad (2\text{-}14)$$

$$\text{และ \% เชิงเส้นตรงของความผันแปรกระบวนการ} = \frac{\text{ดัชนีเชิงเส้นตรง}}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\ \% \qquad (2\text{-}15)$$

$$\text{หรือ \% เชิงเส้นตรงของความคลาดเคลื่อนอนุโลม} = \frac{\text{ดัชนีเชิงเส้นตรง}}{\text{USL} - \text{LSL}} \times 100\ \% \qquad (2\text{-}16)$$

เกณฑ์การตัดสินใจ

% เชิงเส้นตรง $< 5\%$ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยไม่ต้องแก้ไข

$5\% \leq$ % เชิงเส้นตรง $< 10\%$ อาจจะยอมรับได้ ถ้าไม่กระทบต่อปัจจัยอื่น ๆ

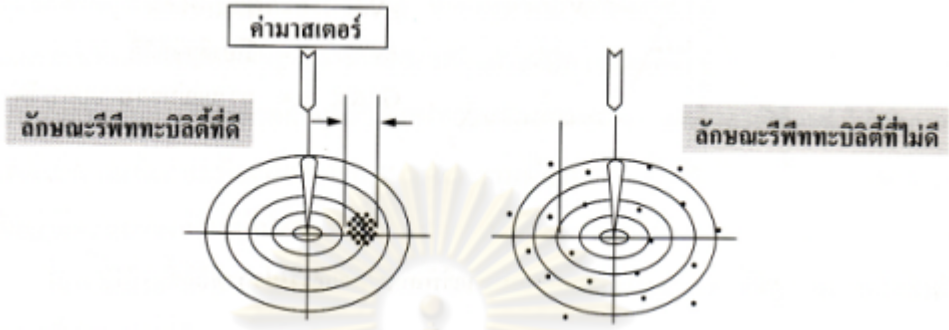
% เชิงเส้นตรง $\geq 10\%$ ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข

4.4 การประเมินผลคุณสมบัติด้านความเที่ยง

จากการประเมินผลคุณสมบัติด้านความผันแปรของความกว้างของระบบการวัดจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัดความผันแปรดังกล่าวหมายถึงความเที่ยง (Precision) ของระบบการวัดโดยจะแบ่งสาเหตุของความผันแปรออกเป็นรีพีททะบิลิตี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(repeatability) ซึ่งหมายถึง ความผันแปรภายในเงื่อนไขเดียวกันของระบบการวัด ดังแสดงในรูปที่ 2-5 และสาเหตุของความผันแปรแบบรีโปรดิวซิบิลิตี้ (reproducibility) ซึ่งหมายถึงความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด ดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-5 แสดงลักษณะความผันแปรแบบรีพีททะบิลิตี้

รูปที่ 2-6 แสดงลักษณะความผันแปรแบบรีโปรดิวซิบิลิตี้

ในการประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัด (GR&R – Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึง การประเมินผลค่าผันแปรจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

วิธีการประเมินผลรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ เมื่อการทดลองสิ้นสุดลง ต้องมีการประเมินผลถึงคุณภาพของข้อมูลก่อน เพื่อประเมินผลความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัด ความเสถียร ความสม่ำเสมอของระบบการวัด จากนั้นทำให้การประเมินผลรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้

วิธีการอาศัยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้มาจากการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาว่าพนักงาน และชิ้นงานเป็นสาเหตุความผันแปรอย่างมี

นัยสำคัญหรือไม่ และวิธีการนี้จะสามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและพนักงานวัดออกจากค่ารีพีททะบิลิตี้ได้ การประเมินค่าความผันแปรด้านรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้แล้วจะมีการประเมินผลเทียบกับความผันแปรที่ยอมให้ ซึ่งอาจจะเป็นค่าความคลาดเคลื่อนอนุโลมของข้อกำหนดจำเพาะ (เรียกว่า Precision-to-Tolerance Ratio หรือ P/T อ่านว่า พีทูที หรือ พีทีเรโซ) สำหรับระบบการวัดที่ใช้ทำการวัดเพื่อแยกแยะผลิตภัณฑ์ดี เสีย หรืออาจจะเทียบกับความผันแปรจากกระบวนการ (เรียกว่า Precision-to-Total Variation หรือ P/TV อ่านว่า พีทูทีวี) สำหรับระบบการวัดที่ใช้ทำการวัดเพื่อตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ โดยที่

$$P/T = \frac{GR\&R}{USL - LSL} \times 100\% \qquad (2\text{-}17)$$

$$\text{และ} \quad P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\% \qquad (2\text{-}18)$$

โดยทั่วไปแล้ว จะกำหนดเกณฑ์การยอมรับค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ไว้ดังนี้

P/T หรือ P/TV $<$ 10%	สามารถยอมรับความสามารถระบบการวัดได้
10% $\leq$ P/T หรือ P/TV $<$ 30%	อาจจะยอมรับได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งที่ประยุกต์ใช้
P/T หรือ P/TV $\geq$ 30%	ไม่สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้ มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปรแล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

5. การวิเคราะห์การขัดข้องและผลกระทบจากกระบวนการ (Failure Mode & Effect Analysis, FMEA) FMEA สำหรับกระบวนการ หมายถึง เทคนิคเชิงวิเคราะห์หนึ่งที่ใช้โดยวิศวกรหรือทีมงานที่รับผิดชอบด้านการผลิตหรือสายการประกอบ สำหรับเป็นวิธีการในการสร้างความมั่นใจว่าแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง (Potential failure modes) ตลอดจนสาเหตุ และกลไกที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ของกระบวนการได้รับการพิจารณาและระบุแล้ว

วัตถุประสงค์ของ FMEA สำหรับกระบวนการ คือ การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกระบวนการเพื่อให้แน่ใจว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นไปตามความต้องการและลดความคาดหมายของลูกค้าเมื่อรูปแบบของเสียหลักได้ถูกกำหนดขึ้น กิจกรรมเพื่อแก้ไขสามารถที่จะขจัดสิ่งเหล่านี้ออกไปหรือทำให้สิ่งเหล่านี้ลดลงอย่างต่อเนื่อง

ดังนั้นการวิเคราะห์ FMEA จะมีแบบฟอร์มที่เป็นมาตรฐานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งผลของการวิเคราะห์จะประเมินความเสี่ยงออกมาเป็นค่าตัวเลขเรียกว่าค่า RPN ซึ่งมาจากคำว่า Risk Priority Number ให้กับแต่ละปัญหา การคำนวณค่า RPN ได้มาจากผลคูณค่าพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ

S = Severity คือ ระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น

O = Occurrence คือ ระดับความเสี่ยงของการเกิดปัญหา หรือความผิดพลาด

D = Detection คือ ระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนที่จะมีการส่งมอบผลิตภัณฑ์ไปให้ลูกค้า

AIAG (2001) ในการประเมินโดยให้คะแนนค่า S,O,D อ้างถึงใน กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2547) ได้กล่าวไว้ในหนังสือ FMEA Work Shop แสดงดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างกฎเกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
เกิดอันตรายโดยไม่มีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้หรือขัดต่อกฎหมายโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	10
เกิดอันตรายโดยมีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้หรือขัดต่อกฎหมายโดยมีการเตือนล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยมีการเตือนล่วงหน้า	9
ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากสูญเสียหน้าที่หลัก	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องถูกทำลายหรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนกซ่อมบำรุงโดยใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง	8
ผลกระทบสูง	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้ แต่ระดับสมรรถนะลดลงจนทำให้ลูกค้าไม่พอใจมาก	อาจมีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบคัดเลือก (Sorting) และผลิตภัณฑ์บางส่วน(น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลายหรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนกซ่อมบำรุงระหว่างครึ่งถึงหนึ่งชั่วโมง	7
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้ แต่ขาดความสะดวกสบายและทำให้ลูกค้าไม่พอใจ	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลายหรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนกซ่อมบำรุงใช้เวลาต่ำกว่าครึ่งชั่วโมง	6

ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างกฎเกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ (ต่อ)

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
ผลกระทบต่ำ	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้ ด้วยความสะดวกสบายแต่ระดับสมรรถนะลดลง	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจได้รับการ Rework หรือได้รับการซ่อมแซมนอกสายผลิตที่ฝ่ายผลิต	5
ผลกระทบต่ำมาก	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีมากนัก อาจมีเสียงดังบ้าง จำนวนลูกค้าส่วนใหญ่ที่พบว่า (>75%) สามารถสังเกตเห็นอาการข้อบกพร่อง	ผลิตภัณฑ์อาจได้รับการตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sorting) โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลายแต่มีผลิตภัณฑ์ (ต่ำกว่า 100%) อาจจะได้รับการ Rework	4
ผลกระทบเล็กน้อย	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีมากนัก อาจมีเสียงดังบ้าง ลูกค้าประมาณครึ่งหนึ่งสามารถสังเกตเห็นอาการข้อบกพร่อง	มีผลิตภัณฑ์บางส่วนที่มีจำนวนต่ำกว่า 100% อาจจะได้รับการ Rework ในสายการผลิต แต่ต้องทำนอกบริเวณจุดปฏิบัติงานที่ต้องถูกทำลาย	3
เกือบไม่มีผลกระทบ	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก อาจมีเสียงดังบ้างลูกค้าส่วนน้อย (ต่ำกว่า 25%) สามารถสังเกตเห็นอาการข้อบกพร่อง	มีผลิตภัณฑ์บางส่วนที่มีจำนวนต่ำกว่า 100% อาจจะได้รับการ Rework ในสายการผลิตที่จุดปฏิบัติงานโดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตเห็นได้	อาจมีความไม่สะดวกสบายเล็กน้อยต่อการปฏิบัติงาน หรือตัวพนักงาน หรือไม่มีผลกระทบใดๆ	1

ตารางที่ 2-2 ตัวอย่างกฎเกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดขึ้นของสาเหตุ

โอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุหนึ่ง ๆ	อัตราข้อบกพร่องที่เป็นไปได้(ppm)	P_{pk}	คะแนน
สูงมาก : เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ	$\geq$ 100,000 (หรือ10%)	< 0.55	10
	50,000 (หรือ5%)	$\geq$ 0.55	9
สูง : เกิดข้อบกพร่องบ่อย	20,000 (หรือ2%)	$\geq$ 0.78	8
	10,000 (หรือ1%)	$\geq$ 0.86	7
ปานกลาง : เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว	5,000 (หรือ0.5%)	$\geq$ 0.94	6
	2,000 (หรือ0.2%)	$\geq$ 1.00	5
	1,000 (หรือ0.1%)	$\geq$ 1.10	4
ต่ำ : เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	500	$\geq$ 1.20	3
	100	$\geq$ 1.30	2
ห่างไกล : เกือบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องเลย	$\leq$ 10	$\geq$ 1.67	1

ตารางที่ 2-3 ตัวอย่างกฎเกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับของระบบควบคุม

การตรวจจับ	กฎเกณฑ์	ประเภทการตรวจสอบ			ขอบเขตวิธีการตรวจจับ	คะแนน
		A	B	C		
เกือบเป็นไปไม่ได้	ไม่มีระบบการตรวจจับใดๆ			X	ไม่สามารถตรวจจับหรือตรวจสอบได้	10
ห่างไกลมาก	มีระบบควบคุมแต่ไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้			X	การควบคุมกระทำได้เพียงการสุ่มตรวจเท่านั้น	9
ห่างไกล	มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับได้			X	การควบคุมกระทำได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่าเท่านั้น	8
ต่ำมาก	มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อบกพร่อง			X	การควบคุมกระทำได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่าสองครั้งเท่านั้น	7

ตารางที่ 2-3 ตัวอย่างกฎเกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับของระบบควบคุม (ต่อ)

การตรวจจับ	กฎเกณฑ์	ประเภทการตรวจสอบ			ขอบเขตวิธีการตรวจจับ	คะแนน
		A	B	C		
ต่ำ	มีระบบควบคุมและอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้		X	X	การควบคุมกระทำได้ด้วยแผนภูมิ SPC	6
ปานกลาง	มีระบบควบคุมและอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		มีการควบคุมโดยใช้เครื่องมือวัด วัดชิ้นงานก่อนออกจากจุดปฏิบัติงานหรือใช้ Go/No Go เกจ	5
ค่อนข้างสูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		มีการตรวจจับความผิดพลาดในกระบวนการถัดไปหรือมีการใช้เครื่องมือวัดงานชิ้นแรกในขั้นตอนการปรับตั้ง (Set up)	4
สูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		มีการตรวจจับความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงานหรือมีการตรวจจับความผิดพลาดโดยการตรวจสอบเพื่อการยอมรับ	3
สูงมาก	มีระบบควบคุมและเกือบจะมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่อง	X	X		มีการตรวจจับความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงานด้วยเครื่องมืออัตโนมัติชิ้นงานบกพร่องไม่สามารถผ่านไปได้	2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2-3 ตัวอย่างกฎเกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับของระบบควบคุม (ต่อ)

การตรวจจับ	กฎเกณฑ์	ประเภทการตรวจสอบ			ขอบเขตวิธีการตรวจจับ	คะแนน
		A	B	C		
สูงมาก	มีระบบควบคุมและมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่อง	X			ไม่มีโอกาสเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเพราะใช้ Poka-Yoke ในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์/กระบวนการ	1

โดยที่ - ประเภทการตรวจสอบ A หมายถึง สามารถตรวจพบความผิดปกติได้ด้วยอุปกรณ์ป้องกันความผิดพลาด (Error Proofed)

- ประเภทการตรวจสอบ B หมายถึง สามารถตรวจพบความผิดปกติได้ด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ (Gauging)

- ประเภทการตรวจสอบ C หมายถึง สามารถตรวจพบความผิดปกติได้ด้วยวิธีการตรวจสอบจากพนักงาน (Manual Inspection)

6. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม (Design of Experiment : DOE)

ปารเมศ ชุติมา (2545) การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึงกระบวนการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุผลได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการทดลองคือการออกแบบการทดลองการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลอง คือ

1. เรพลิเคชั่น เรพลิเคชันมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรกเรพลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ย (ตัวอย่างเช่น Y) ถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเรพลิเคชั่นทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้ ตัวอย่างเช่น ถ้า σ^2 คือความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละตัว และมี n เรพิเคต ดังนั้นค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างนี้ คือ

$$\sigma^2_{\bar{y}} = \frac{\sigma^2}{n} \qquad (2\text{-}19)$$

2. แรนดอมไมเซชั่น เป็นพื้นฐานหลักสำหรับการใช้วิธีการทางสถิติในการออกแบบการทดลอง แรนดอมไมเซชั่น หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันจะทำให้สมมุติฐานนี้เป็นจริง การที่เราแรนดอมไมซ์การทดลอง ทำให้เราสามารถลดผลปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

3. บล็อกกิ้ง เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซ็ตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่าง ๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิ้ง

แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนจะต้องมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ล่วงหน้าว่า เรากำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการอาจจะทำได้ดังต่อไปนี้

1. ทำความเข้าใจถึงปัญหา ในขั้นตอนที่เราจะต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลองจะต้องหาข้อมูลจากบุคคลหรือหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2. เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต ผู้ทดลองจะต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง เมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือการกรองปัจจัย (Screening) เราควรจะกำหนดให้ระดับต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ ควรจะเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆ

3. เลือกตัวแปรผลตอบ ในการเลือกตัวแปรผลตอบ ผู้ทดลองควรจะแน่ใจว่าตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ และมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องกำหนดให้ได้ว่าอะไรคือตัวแปรผลตอบ และจะวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนที่จะเริ่มการทดลองจริง

4. เลือกการออกแบบการทดลอง การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง (จำนวนเรพลิเคต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่า ควรจะใช้วิธีบล็อกหรือใช้การแรนดอมไมเซชั่นอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ ในการเลือกการออกแบบจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา

5. ทำการทดลอง เมื่อทำการทดลองจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน

6. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ควรจะนำเอาวิธีทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง

7. สรุปและข้อเสนอแนะ เมื่อได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยังผล (Confirmation Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

6.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

การทดลองส่วนมากในทางปฏิบัติจะเกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงผลของปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ในกรณีเช่นนี้ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) จะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น ตัวอย่างเช่น กรณี 2 ปัจจัย ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับในการทดลองเรพลิเคต(Replicate) จะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง และเมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล เราจะกล่าวว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ (Crossed) ซึ่งกันและกัน

ผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัยนั้น ๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) เนื่องจากว่าเกี่ยวข้องกับปัจจัยเบื้องต้นของการทดลอง

6.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

กรณีพิเศษของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ กรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือเวลา เป็นต้น หรืออาจจะเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพก็ได้ เช่น เครื่องจักร หรือคนงาน เป็นต้น ใน 2 ระดับที่กล่าวถึงนี้จะแทนระดับ “สูง” หรือ “ต่ำ” ของปัจจัยหนึ่ง ๆ หรือการ “มี” หรือ “ไม่มี” ของปัจจัยนั้นๆ ก็ได้ ใน 1 เรพลิเคตที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น $2\times2\times2\times\ldots\times2 = 2^k$ ข้อมูล และเรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ตลอดบทนี้ของสมมติว่า (1) ปัจจัยทั้งหมดมีค่าตายตัว (2) การออกแบบเป็นแบบเชิงสุ่มบริบูรณ์ (Completely Randomized) และ (3) สมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นปกติที่ยอมรับได้

การออกแบบ 2^k มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงเริ่มแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่ต้องการที่จะตรวจสอบ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถจะทำได้เพื่อศึกษาถึงผลของปัจจัยทั้ง k ชนิดได้อย่างบริบูรณ์โดยใช้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล การออกแบบ 2^k จะถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อกรองปัจจัยที่มีอยู่เป็นๆ จำนวนมากให้เหลือน้อยลง เนื่องจากแต่ละปัจจัยของการออกแบบ 2^k ประกอบด้วย 2 ระดับ เราขอสมมติว่าผลตอบที่ได้จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงตลอดช่วงของระดับของปัจจัยที่เลือกขึ้นมาทำการ

ทดลอง ซึ่งสมมติฐานเช่นนี้เป็นสิ่งที่ยอมรับได้สำหรับการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเมื่อเพิ่งเริ่มต้นทำการศึกษาระบบ

7. การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ (Tests of Statistical Hypotheses)

ธิดาเดียว มยุรีสวรรค์ (2544) การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ เป็นระเบียบวิธีการทางสถิติที่ใช้ในการตัดสินใจว่า ค่าสถิติที่คำนวณจากตัวอย่างนั้นสามารถใช้อ้างอิงค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณจากประชากรได้หรือไม่ โดยการทดสอบสมมติฐานมีความรู้ที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. การตั้งสมมติฐานในการทดสอบ

ในการทดสอบสมมติฐานนั้น จะต้องตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบเสมอ โดยตั้งสมมติฐานหลัก (Null hypotheses : H_0) คู่กับสมมติฐานรอง (Alternative hypotheses : H_1 หรือ H_a) สมมติฐานหลักคือสมมติฐานที่ต้องการทดสอบ โดยเป็นข้อความเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดค่าแน่นอน และเป็นข้อความที่เราหวังว่าจะปฏิเสธ ส่วนสมมติฐานรองคือ สมมติฐานที่ ตั้งขึ้นให้ขัดแย้งกับสมมติฐานหลัก การตั้งสมมติฐานมี 3 แบบ คือ

แบบที่ 1 สมมติฐานทางเดียวด้านซ้าย

แบบที่ 2 สมมติฐานทางเดียวด้านขวา

แบบที่ 3 สมมติฐานแบบสองทาง

2. ความผิดพลาดในการทดสอบกับการกำหนดระดับนัยสำคัญ

เป็นการนำค่าคำนวณจากตัวอย่างมาสรุปเป็นค่าของประชากร ดังนั้นย่อมเกิดความผิดพลาดขึ้นเสมอ โดยความผิดพลาดนี้อาจเกิดขึ้นจากการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลักผู้ทดสอบสามารถกำหนดความผิดพลาดที่จะยอมให้เกิดขึ้นได้ ซึ่งจะกำหนดในลักษณะของความน่าจะเป็น ค่าความผิดพลาดนี้แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. ความผิดพลาดประเภทที่ 1 (Type I Error : α) คือความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธ H_0 ทั้ง ๆ ที่ H_0 เป็นจริง นั่นคือ α คือความน่าจะเป็นในการปฏิเสธ H_0 ทั้ง ๆ ที่ H_0 เป็นจริง ความน่าจะเป็นในการเกิดความผิดพลาดประเภทนี้เรียกว่า ระดับนัยสำคัญ (Level of significance) หรือขนาดของการทดสอบ ค่า α จะเป็นค่าควบคุมในการปฏิเสธหรือในการยอมรับสมมติฐาน H_0 โดยทั่ว ๆ ไป การทดสอบสมมติฐานจะกำหนดระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.01,0.05 หรือ 0.1

$$\alpha = P(\text{ความผิดพลาดประเภทที่ 1}) = P(\text{ปฏิเสธ } H_0 / H_0 \text{ เป็นจริง})$$

2. ความผิดพลาดประเภทที่ 2 (Type II Error : β) คือความผิดพลาดที่เกิดจากการที่ยอมรับ H_0 ทั้ง ๆ ที่ H_0 เป็นเท็จ นั่นคือ β คือความน่าจะเป็นในการยอมรับ H_0 ทั้ง ๆ ที่ H_0 เป็นเท็จ และ $1-\beta$ จะเรียกกว่ากำลังการทดสอบ โดย

β = P(ความผิดพลาดประเภทที่ 2) = P(ยอมรับ H_0 / H_0 เป็นเท็จ)

$1-\beta$ = P(ปฏิเสธ H_0 / H_0 เป็นเท็จ)

3. เกณฑ์การยอมรับและการปฏิเสธสมมติฐาน

ในการตัดสินใจยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลักนั้น จะขึ้นอยู่กับตัวอย่างที่สุ่มมาจากประชากรที่สนใจ ค่าสถิติที่คำนวณได้จากตัวอย่างที่ถูกสุ่มมาจะถูกปรับเป็นค่ามาตรฐาน โดยเรียกค่ามาตรฐานนี้ว่า ค่าสถิติทดสอบ (Test Statistic) ค่าสถิติทดสอบอาจมีการแจกแจงแบบ z, t , χ^2 หรือ f ขึ้นอยู่กับว่าเป็นการทดสอบค่าพารามิเตอร์ในเรื่องใด หลังจากนั้นจะนำค่าสถิติทดสอบไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ในการยอมรับปรือปฏิเสธสมมติฐานหลัก โดยเรียกเกณฑ์นี้ว่า ค่าวิกฤต (Critical region) ซึ่งจะเป็นค่าที่ได้จากการเปิดตารางการแจกแจงเดียวกับค่าสถิติทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานสามารถดำเนินการตามขั้นตอน 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. ตั้งสมมติฐานการทดสอบคือ H_0 คู่กับ H_1 โดยตั้งในรูปสัญลักษณ์หรือข้อความก็ได้
2. กำหนดระดับนัยสำคัญในการทดสอบ
3. เลือกตัวสถิติในการทดสอบที่ตรงกับลักษณะการแจกแจงของค่าสถิติที่ต้องการทดสอบ และหาค่าวิกฤตโดยการเปิดตารางจากการแจกแจงที่ตรงกัน
4. คำนวณค่าสถิติทดสอบตามสูตรที่เลือกในขั้นที่ 3
5. สรุปผลการทดสอบ โดยการนำค่าสถิติที่คำนวณไว้ในขั้นที่ 4 ไปเปรียบเทียบกับค่าวิกฤตในขั้นที่ 3 หากค่าสถิติตกอยู่ในบริเวณการยอมรับ H_0 ก็ตัดสินใจยอมรับ H_0 แต่ถ้าค่าสถิติคำนวณตกอยู่ในบริเวณการปฏิเสธ H_0 ก็ตัดสินใจปฏิเสธ H_0

8. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

ธิดาเดียว มยุรีสวรรค์ (2544) ในบางครั้งเราอาจจำเป็นต้องใช้การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยประชากรมากกว่า 2 ประชากร โดยเฉพาะการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประชากรมากกว่า 2 ประชากรนั้นมีปรากฏมาในงานวิจัย เช่นในกรณี 3 ประชากร หากต้องการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยประชากร 3 ประชากรแตกต่างกันหรือไม่ ก็สามารถใช้ความรู้ในสมมติฐานทำการทดสอบได้ โดยจะต้องทำการทดสอบที่ละคู่ 3 ครั้งคือทดสอบ $H_0: \mu_1 = \mu_2$ และ $H_0: \mu_1 = \mu_3$ และ $H_0: \mu_2 = \mu_3$ ซึ่งจะไม่สะดวกนักเนื่องจากต้องใช้เวลาในการทดสอบมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรณีการทดสอบหลาย ๆ ประชากร เมื่อต้องการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความแตกต่างของค่าเฉลี่ยประชากร k กลุ่ม โดยที่ $k \geq 2$ จะใช้วิธีการทดสอบทางสถิติที่เรียกว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) โดยจะเรียกย่อๆว่า ANOVA หลักการของวิธีนี้เป็นการแยกความผันแปร (ความแปรปรวน) ของข้อมูลทั้งหมดออกเป็นส่วน ๆ ตามแหล่งที่มา เช่น

ความผันแปรในประชากรเดียวกัน หรือความผันแปรระหว่างประชากร แล้วทำการทดสอบการผันแปรที่เกิดขึ้นโดยใช้สถิติทดสอบ F จึงทำให้การทดสอบนี้มีชื่อว่าการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ANOVA แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแบบจำแนกทางเดียว (One-way Analysis of Variance) เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ง่ายที่สุด เนื่องจากข้อมูลมีแหล่งความผันแปรเพียงแหล่งเดียว

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแบบจำแนกสองทาง (two-way Analysis of Variance) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวนของตัวแปรสองลักษณะ

เมื่อมีประชากรทั้งหมด k ประชากร และเราสุ่มตัวอย่างขนาด n_i จากประชากรที่ i ข้อมูลที่จะใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ข้อมูลวิเคราะห์ความแปรปรวน

ค่าพารามิเตอร์	ประชากรที่ 1	ประชากรที่ 2	ประชากรที่ 3	…..	ประชากรที่ k
	μ_1 , σ_1^2	μ_1 , σ_1^2	μ_1 , σ_1^2	…..	μ_1 , σ_1^2
ขนาดตัวอย่าง	n_1	n_2	n_3	…..	n_k
ค่าสถิติ	$\overline{X}_1 , S_1^2$	$\overline{X}_1 , S_1^2$	$\overline{X}_1 , S_1^2$	…..	$\overline{X}_1 , S_1^2$

ข้อตกลงเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การทดสอบสมมติฐานโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน มีข้อตกลงเบื้องต้น 3 ประการ

1. ต้องเลือกตัวอย่างโดยการสุ่มจากแต่ละประชากร ทั้งหมด k ประชากรอย่างเป็นอิสระกัน

2. แต่ละประชากรต้องมีการแจกแจงแบบปกติ

3. แต่ละประชากรต้องผ่านการทดสอบว่ามีความแปรปรวนเท่ากัน ($\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \ldots = \sigma_k^2$)

สมมติฐานการทดสอบ

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \ldots = \mu_k$

H_1 : มีค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 1 คู่ที่ต่างกัน

ในการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย k ประชากรโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้น จะใช้หลักการคือนำค่าเฉลี่ยของตัวอย่างมาเปรียบเทียบกัน หากค่าเฉลี่ยของตัวอย่างมีความแตกต่างกันในทางสถิติ จะถือว่าค่าเฉลี่ยของประชากรมีความแตกต่างกัน

9. แผนภูมิควบคุมทางสถิติ (Statistic Process Control : SPC) คือเครื่องมือพื้นฐานที่ใช้สังเกตความผันแปรและใช้สัญญาณทางสถิติในการเฝ้าพินิจ หรือปรับปรุงสมรรถนะ

ของกระบวนการ แผนภูมิควบคุม หรือ Control Chart เป็นแผนภูมิที่เขียนขึ้นล่วงหน้า โดยอาศัยข้อมูลจากข้อกำหนดเชิงเทคนิค หรือข้อกำหนดของลูกค้า (Specification) ที่สามารถระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงาน ทั้งนี้เพื่อจะใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลงานของกระบวนการผลิตองค์ประกอบของแผนภูมิควบคุมประกอบด้วย

1. ตัวข้อมูลที่เกิดจากการวัดหรือเกิดจากการนับ
2. เส้นค่ากลาง (Central Line , CL)
3. เส้นแสดงขอบเขตควบคุมสูง (Upper Control Limit-UCL)
4. เส้นแสดงขอบเขตควบคุมต่ำ (Lower Control Limit-LCL)

แผนภูมิควบคุมแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามคุณสมบัติของตัวแปรที่ใช้เขียนแผนภูมิ คือ

1. แผนภูมิชนิดข้อมูลที่มีค่าต่อเนื่อง หรือเป็นข้อมูลที่เกิดจากการวัด
2. แผนภูมิชนิดข้อมูลที่มีค่าไม่ต่อเนื่อง หรือเป็นข้อมูลที่เกิดจากการนับ

ดังแสดงในตารางที่ 2-5 ชนิดของแผนภูมิควบคุม (Control Chart)

ตารางที่ 2-5 แสดงชนิดของแผนภูมิควบคุม (Control Chart)

ลักษณะของข้อมูล	ชื่อแผนภูมิควบคุมที่ใช้
ข้อมูลต่อเนื่อง	$\bar{x}$ – R Chart Chart แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยและพิสัย
	$\bar{x}$ Chart Chart แผนภูมิควบคุมค่าวัด
ข้อมูลไม่ต่อเนื่อง	pn Chart Chart แผนควบคุมจำนวนที่เป็นของเสีย
	p Chart Chart แผนควบคุมสัดส่วนของเสีย
	c Chart Chart แผนภูมิควบคุมจำนวนตำหนิ
	u Chart Chart แผนภูมิควบคุมตำหนิต่อชิ้น

10. ระบบป้องกันความผิดพลาด (POKA-YOKE System)

ภัทรวุฒิ พลอาสา (2548) POKA-YOKE มาจากคำว่า “POKA” ซึ่งหมายถึงความผิดพลาดที่เกิดจากความพลั้งเผลอส่วนคำว่า “YOKERU” เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ณ สถานที่นั้น ๆ ในอเมริกาเรียกว่า “Fool Proof” หรือ “Fail safe” แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามหน้าที่การใช้งาน คือ

วิธีการควบคุม (Control Method) ได้แก่ การติดตั้ง Contact witch การติดตั้ง Limit switch (เป็นระบบอัตโนมัติที่ตัดระบบอื่น ๆ หรือเปิดระบบอื่นๆ ได้ เมื่อมีการสัมผัสหรือไม่สัมผัส) การติดตั้งการ์ดป้องกัน การติดตั้ง Photo cell (ใช้ระบบลำแสงที่ขาดไปหรือต่อเนื่องในการตัดไฟฟ้าตัดดระบบอื่นๆ) และการติดตั้ง Load cell (ตัดไฟอัตโนมัติเมื่อน้ำหนักมากเกินไป)

วิธีการเตือน (Warning Method) ได้แก่ การเตือน การสอน การติดตั้งหลอดไฟเตือน ระบบ visual control เป็นต้น

Kume ได้สรุปหลักสำคัญ 5 ประการเกี่ยวกับ POKA-YOKE ดังนี้

1. Elimination ขจัดโอกาสที่จะผิดพลาดลง
2. Replacement ทดแทนด้วยกระบวนการที่ดีกว่า น่าเชื่อถือกว่า ปลอดภัยกว่า
3. Facilitation ทำให้ง่ายต่อการทำงานมากขึ้น
4. Detection ค้นพบความผิดพลาดได้ก่อน
5. Mitigation ลดความรุนแรงของความผิดพลาดลง

รายละเอียดของขั้นตอน DMAIC กับการประยุกต์ในการปรับปรุงการบวนการ รวมทั้งเครื่องมือต่าง ๆ ที่นิยมนำมาใช้สามารถสรุปดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 แสดงเครื่องมือต่างๆ ที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ

กระบวนการ	การปรับปรุงกระบวนการ	เครื่องมือต่าง ๆ ที่นิยมนำมาใช้
Define (นิยาม/กำหนด)	- แต่งตั้งทีมงาน - นิยามปัญหา - หาความต้องการของลูกค้า/องค์กร - ตั้งเป้าหมาย	- ผังกระบวนการ (Process Flowchart) - Process Mapping - ผังพาเรโต้ - การระดมสมอง (Brainstorming)
Measure (วัด)	- วัดขั้นตอน Inputs ที่สำคัญๆ (Key Process Variables) - รวมรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พิสูจน์ปัญหา/กระบวนการ	- ผังควบคุม (Control Chart) - Gage R & R - Check Sheets - Box Plots - การวิเคราะห์ระบบการวัด(MSA) - การวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ (Cp, Cpk)
Analyze (วิเคราะห์)	- พิสูจน์ปัญหา (สมมติฐาน) - หาต้นตอสาเหตุของความแปรปรวน(พิสูจน์หาตัวแปรที่สำคัญ)	- การออกแบบการทดลอง(DOE) - การวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ (FMEA) - ANOVA - การทดสอบสมมติฐาน

ตารางที่ 2-6 แสดงเครื่องมือต่างๆ ที่นิยมนำมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ (ต่อ)

กระบวนการ	การปรับปรุงกระบวนการ	เครื่องมือต่าง ๆ ที่นิยมนำมาใช้
Improve (การปรับปรุง)	- กำหนดวิธีกำจัดต้นตอของสาเหตุและนำไปดำเนินการ - ทดสอบการดำเนินการ - จัดทำมาตรฐานของผลการดำเนินการ	- การวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ (FMEA) - การออกแบบการทดลอง (DOE) - การป้องกันข้อผิดพลาด (Mistake proofing , Poka – Yoke , Fool proof)
Control (การควบคุม)	- จัดทำแผนควบคุม (Control Plan) - เฝ้าติดตามการดำเนินการ	- การป้องกันข้อผิดพลาด (Mistake proofing , Poka – Yoke , Fool proof) - ผังควบคุม (Control Charts) - การควบคุมกระบวนการด้วยกลวิธีทางสถิติ(SPC) - การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การประยุกต์ใช้หลักการซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) ในงานอุตสาหกรรมเพื่อปรับปรุงคุณภาพและลดของเสีย

วิธีการของซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma) เป็นเครื่องมือที่มีการนำไปใช้ปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการและลดปริมาณการเกิดของเสีย ซึ่งตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

Shailesh, N. Khekale, A. S. Chatpalliwar and Nileshsingh V. Thakur. (2010) ได้นำขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพด้วย DMAIC ในการลดของเสียสำหรับกระบวนการผลิตเชือกในอุตสาหกรรมการผลิตเข็มขัดนิรภัย โดยในขั้นตอนของ D (Define) กำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์หลักของโครงการ รวมทั้งมีการเขียนลำดับขั้นตอนของกระบวนการ (Process flow map) เพื่อแจกแจงปัจจัยนำเข้า (input) และปัจจัยผลตอบ (output) โดยค่าเฉลี่ยของเสียต้องน้อยกว่า 2.1% ขั้นตอนต่อมาคือขั้นตอนของ M (Measure) ข้อมูลเปอร์เซนต์ของเสียในแต่ละเดือนนั้นมีจำนวนของเสีย (N) เท่ากับ 101 มีค่าความเชื่อมั่น (sigma level) อยู่ที่ระดับ 1.37 หลังจากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนของ A (Analysis) โดยการใช้เครื่องมือแผนภูมิก้างปลา (Cause and effect diagram) ในการระบุปัญหา ซึ่งจะได้ฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและผลกระทบต่อคุณภาพ (Critical to quality: CTQ) เมื่อนำข้อมูลมาเรียงลำดับความสำคัญของผลกระทบโดยใช้เครื่องมือแผนภูมิพาเรโต

จะได้ 2 ปัญหาหลักจากหลักการ 80/20 ของแผนภูมิพาเรโต ขั้นตอนต่อมาจะเข้าสู่ขั้นตอนของ I (Improve) โดยการนำปัญหาที่ได้จากแผนภูมิพาเรโตมาวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางแก้ไข ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลหลังจากปรับปรุง โดยการพิสูจน์ข้อมูลหลังปรับปรุง (sigma level) อยู่ที่ระดับ 3.6 เมื่อพบว่าผลลัพธ์ดีขึ้นกว่าก่อนปรับปรุงก็จะเข้าสู่ขั้นตอนสุดท้ายคือ C (Control) โดยการควบคุมและประเมินผลกระบวนการ ซึ่งจะพบว่ากระบวนการเริ่มคงที่และมีของเสียลดลง โดยจะเฉลี่ยที่ 1.3-1% และเมื่อเทียบกับจำนวนของเสียนั้นลดลงจาก 549,531 DPMO เหลือ 14,908 DPMO

Steiner S. and MacKay J. (2006) ได้ศึกษาการลดความผันแปรของปัญหาในกระบวนการฉีดพลาสติก (Plastic Base) เนื่องจากพบปัญหาในขั้นตอนของการประกอบ ที่มีสาเหตุมาจากขนาดของชิ้นงานแตกต่างกัน ด้วยขั้นตอนของ DMAIC เพื่อลดต้นทุนและปรับปรุงคุณภาพ โดยดำเนินการลดความผันแปรของกระบวนการ ดังนี้

1. พิจารณาและวิเคราะห์ปัญหาเมื่อตรวจพบความผิดปกติ
2. แก้ไขปัญหาเบื้องต้นด้วยการลองปรับกระบวนการและดูผลลัพธ์ที่ได้
3. นำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการและควบคุมผลลัพธ์
4. เมื่อพบข้อบกพร่องก็จะนำมาแก้ไขปัญหาโดยใช้วิธีการแก้ไขแบบใหม่
5. ควบคุมความผันแปรของกระบวนการ
6. ใช้การตรวจสอบชิ้นงาน 100 เปอร์เซ็นต์

ในการลดความผันแปรของกระบวนการด้วยขั้นตอนทั้ง 6 ขั้นตอน ทำให้ทีมงานพบปัญหาที่ยากต่อการควบคุมหลายๆ ครั้ง เนื่องจากทีมยังไม่ได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาที่แท้จริงและยังไม่ได้วิเคราะห์ระบบการวัด ดังนั้นทางทีมจึงเริ่มวิเคราะห์ความผันแปรของขนาดชิ้นงานระหว่างชั่วโมง โดยการเก็บชิ้นงานตัวอย่าง 4 ชิ้นต่อชั่วโมง เป็นเวลา 2 วัน และเก็บข้อมูลทั้ง 5 ปัจจัยของกระบวนการฉีด คือ die temperature nozzle temperature barrel temperature hydraulic pressure และ cavity pressure แล้วนำไปพล็อตเพื่อดูลักษณะการกระจายตัว ซึ่งจะพบว่าปัญหาที่มีผลกระทบต่อขนาดชิ้นงานจะเกิดจาก barrel temperature เป็นส่วนมาก ซึ่ง barrel temperature นั้นจะต้องควบคุมให้อยู่ในช่วง 75-80 องศาเซลเซียส ทีมได้ทดลองปรับ barrel temperature เพื่อฉีดชิ้นงาน 25 ชิ้นในแต่ละระดับของ barrel temperature โดยทำการทดลองฉีดซ้ำในแต่ละระดับ 10 ครั้ง เพื่อหาการปรับค่าการฉีดที่เหมาะสมที่สุด จากการปรับปรุงกระบวนการฉีดทำให้ลดปัญหาความผันแปรของขนาดชิ้นงานลงได้ 0.23 เปอร์เซ็นต์

ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์ และสมจิตร ลาภโนนเขวา (2550) ได้ทำการศึกษาการลดของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์โดยแนวคิดซิกซ์ ซิกม่า ซึ่งทำการศึกษาปัญหาการวางตำแหน่งของหัวอ่านผิดพลาด จากการวัดผลิตภัณฑ์ที่เกิดข้อบกพร่องมีค่าเท่ากับ 0.0859 เปอร์เซ็นต์ ผลจากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยแผนภาพก้างปลา การระดมสมอง และการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหา คือ ความเข้มของแสง UV เวลาการ

เปิดวาล์วของหลอดกาว และความดันของกาวภายในหลอด จากการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ทราบว่าปัญหาของการผิดพลาดของตำแหน่งในการวาง slider ในแนวแกน t ขึ้นอยู่กับสาเหตุหลักทั้ง 3 ตัวแปร จากนั้นพิจารณาถึงระดับความรุนแรงของสาเหตุหลักแต่ละตัว โดยการวิเคราะห์ Regression จากการหาค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรของจากการออกแบบการทดลองทำให้ทราบแนวทางการปรับปรุงว่าควรมีการปรับตั้งค่าการทดลองต่างๆ คือ ความเข้มของแสง UV เท่ากับ 88 mw/cm^2 เวลาการเปิดวาล์วของกาว RTG เท่ากับ 0.02 วินาที และความดันของกาว RTG เท่ากับ 2.7 psi ซึ่งให้ค่าการวางตำแหน่ง slider ในแนวแกน t ดีที่สุด สามารถลดของเสียลงจากก่อนปรับปรุงคิดเป็นร้อยละ 70 ในการควบคุมกระบวนการผลิตจะใช้การควบคุมด้วยสายตา (Visual control) สำหรับการควบคุมการวางตำแหน่งของ slider

ชัยพันธ์ พัทธิกุล และดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2552) ได้ศึกษาการลดของคืนจากการส่งมอบฐานรองรับมอเตอร์โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า เพื่อแก้ปัญหา Open circuit และ Hi pot ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการมีของเสียอยู่ที่ 1,157 DPPM และจากการได้รับสินค้าคืนจากลูกค้า (Return to vendor : RTV) พบว่าของเสียในผลิตภัณฑ์รุ่น Brink ID มีจำนวน 4,850 ชิ้น ซึ่งเป็นจำนวนของเสียที่ถูกคืนเนื่องจาลูกค้าพบปัญหา Open circuit และ Hi pot มากที่สุด ในขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นการวิเคราะห์ความแม่นยำของกระบวนการ (MSA) ในเรื่องการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบผันแปรกับ 6 เครื่อง(ตรวจสอบจาก 3 สายการประกอบ สายการประกอบละ 2 เครื่อง) พบว่าทุกเครื่องมีความผันแปรน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่โรงงานกรณีศึกษาสามารถยอมรับได้ ส่วนที่สองจะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลแบบนับ (Attribute) ซึ่งพบปัญหาว่าเครื่องที่ 1 ของสายการประกอบที่ 1 และเครื่องที่ 2 ของสายการประกอบที่ 2 มีประสิทธิผลด้านเอนเอียงของการตรวจสอบไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากการตั้งค่าความต่างศักย์ที่ตัวเครื่องตรวจจับ Hi pot ต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้า ทำให้ไม่สามารถตรวจจับงานเสียที่กระแสไฟฟ้าลัดวงจรลง Motor base ได้ จากการวิเคราะห์สาเหตุและผลด้วยแผนผังก้างปลา (C&E matrix) และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบด้วย FMEA ของลักษณะ open circuit มี 15 ปัจจัยและได้นำปัจจัยทั้ง 15 ปัจจัยไปเรียงลำดับคะแนน RPN ในแผนภูมิพาเรโต พบว่ามีนัยสำคัญของปัจจัยต่อปัญหา 8 ปัจจัย หรือ 80 เปอร์เซ็นต์ของปัจจัยรวม และลักษณะ Hi-pot มี 13 ปัจจัยและได้นำปัจจัยทั้ง 13 ปัจจัยไปเรียงลำดับคะแนน RPN ในแผนภูมิพาเรโต พบว่ามีนัยสำคัญของปัจจัยต่อปัญหา 8 ปัจจัย หรือ 77 เปอร์เซ็นต์ของปัจจัยรวม

วัตถุประสงค์ของการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ ที่ให้ค่าของเสียน้อยที่สุดจากตัวแบบถดถอยจากการออกแบบการทดลอง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

$$\text{Proportion} = 0.0004735 - 1.4225\times10^{-4}A - 8.9\times10^{-5}B - 8.9875\times10^{-5}C + 3.8375\times10^{-5}AC$$

โดยที่ ปัจจัย A คือวิธีการในการจัดเส้น Wire

ปัจจัย B คือการควบคุมความถี่ Ultra sonic ของเครื่องล้าง

ปัจจัย C คือชนิดของ Guide pin ใน Fixture ของเครื่อง Press fit

อันตรกิริยา AC คือวิธีการในการจัดเส้น Wire x ชนิดของ Guide pin ใน Fixture

จากแบบจำลองดังกล่าวสรุปได้ว่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัย A คือการจัดเส้น Wire ขึ้นไปในแนวตั้งฉาก (1) ปัจจัย B คือการควบคุมความถี่ Ultra sonic ของเครื่องล้าง (1) และปัจจัย C คือ Guide pin อยู่ด้านบน (1) ซึ่งจากระดับที่เหมาะสมดังกล่าวจะให้ค่าสัดส่วนของเสียที่น้อยที่สุด โดยกระบวนการหลังจากปรับปรุงแล้วพบว่าสัดส่วนของเสียลดลงมาอยู่ที่ 257 DPPM หรือลดลง 78 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเป็นจำนวนต้นทุนที่สามารถลดได้จะมีค่าเท่ากับ 64,732 บาทต่อยอดการผลิตชิ้นงานหนึ่งล้านชิ้นหรือ 12,946 บาทต่อเดือนต่อยอดการผลิตหนึ่งล้านชิ้น

2.2.2 การออกแบบการทดลองและการทดลองหาพื้นผิวผลตอบ (Response surface)

พนิตา ศรีประย่า และชาญณรงค์ สายแก้ว (2552) ได้ร่วมกันศึกษาชิ้นส่วนพลาสติกที่ใช้เป็นส่วนประกอบของรางหลอดฟลูออเรสเซนต์สำเร็จรูป เนื่องจากพบปัญหาข้อบกพร่องเนื่องจากชิ้นงานมีความแข็งแรงน้อย และไม่คงทนต่อความร้อน งานวิจัยนี้ศึกษาแนวทางการปรับปรุงคุณภาพโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของซิกซ์ ซิกม่าและใช้ขั้นตอน DMAIC อีกทั้งการวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองแบบผสมและวิธีพื้นผิวผลตอบ เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดในการนำเศษโพลีเมอร์คาร์บอเนตรีไซเคิลมาผสมกับเม็ดโพลีคาร์บอเนตใหม่ ด้วยกระบวนการฉีดพลาสติกเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณสมบัติเชิงกลและทนความร้อนดีที่สุด ของเสียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกชนิดหัวไฟใหญ่ ไส้ในใหญ่ ฝาใหญ่ หัวไฟเล็ก ไส้ในเล็กและฝาเล็ก โดยของเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณสูงมากและมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะชิ้นส่วนพลาสติกดังกล่าวต้องนำมาประกอบกับรางหลอดฟลูออเรสเซนต์สำเร็จรูปแทบทุกชนิดและมีปริมาณการผลิตมากที่สุด อีกทั้งยังใช้พลาสติกรีไซเคิลหลากหลายชนิดในการผลิต การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาจากการรวบรวมข้อมูลของเสียจากกระบวนการฉีดพบว่าชิ้นงานเกิดรอยไหม้มีจำนวนมากที่สุด และชิ้นงานฉีดไม่เต็มแบบเป็นอันดับรองลงมา จากการวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะทางคุณภาพของชิ้นงานคือ วัสดุโพลีคาร์บอเนตที่ทำให้ชิ้นงานเปราะง่ายและไม่ทนความร้อน ในการแก้ปัญหาโดยวิธีการออกแบบการทดลอง อัตราส่วนสำหรับผสมเศษโพลีเมอร์คาร์บอเนต รีไซเคิลชนิดต่างๆ มาผสมกับเม็ดโพลีคาร์บอเนตใหม่ อัตราส่วนผสมถูกนำไปผ่านกระบวนการฉีด และทดสอบชิ้นงาน พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าอุณหภูมิการบิดงอดีที่สุดคือ เศษโพลีคาร์บอเนตรีไซเคิลสีใสร้อยละ 19.15 เศษโพลีคาร์บอเนตรีไซเคิลสีขาวนมร้อยละ 36.99 เศษโพลีคาร์บอเนตรีไซเคิลสีขาวขุ่นร้อยละ 27.54 และเม็ดโพลีคาร์บอเนตรีร้อยละ 16.33 เมื่อได้ข้อสรุปของอัตราส่วนผสมที่

เหมาะสมที่สุดก็จะทำการยืนยันผลด้วยการทดลองซ้ำ 10 ครั้งแล้วทำการวิเคราะห์ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ของค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าอุณหภูมิการบิดงอ

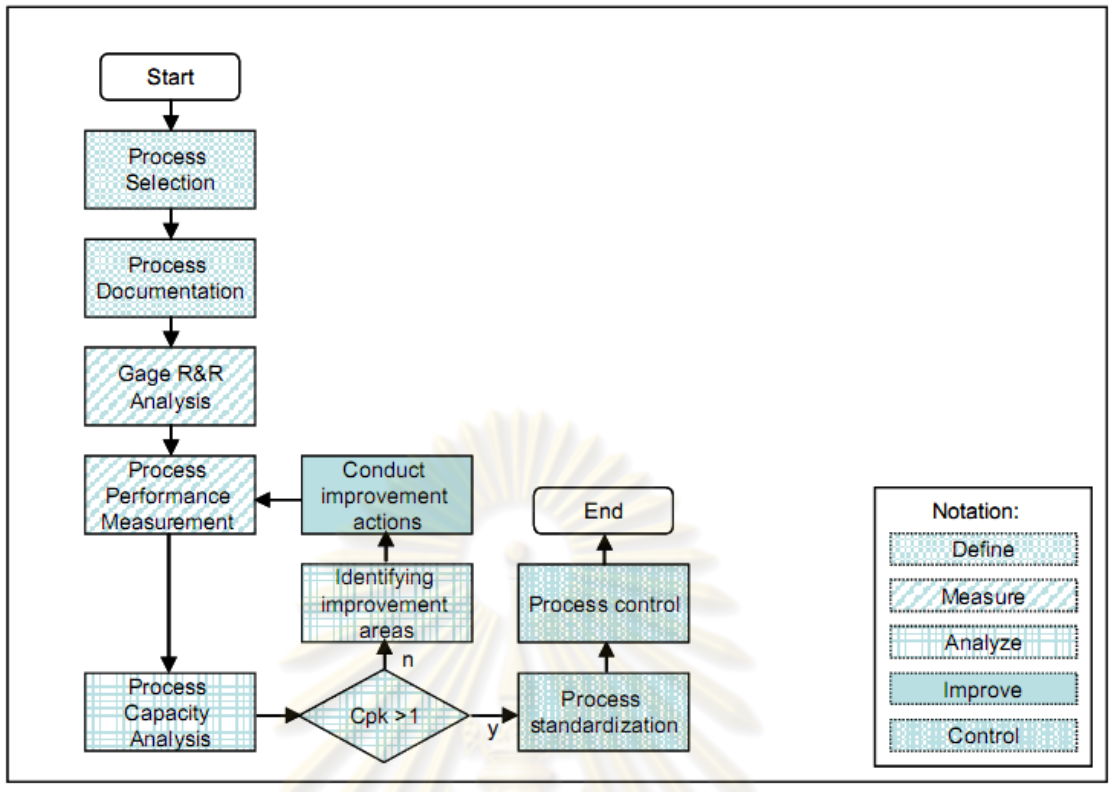
วสันต์ พุกผาสุก และ อรรถกร เก่งพล (2551) ได้วิจัยเกี่ยวกับการลดของเสียที่เกิดขึ้นและปรับปรุงคุณภาพผิวงานชุบโครเมี่ยม จากการประยุกต์ใช้วิธีการของซิกซ์ ซิกม่า โดยมีเป้าหมาย คือ การลดอัตราของเสียลง 70 เปอร์เซ็นต์ จากการศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้น พบค่าเฉลี่ยการเกิดของเสียเท่ากับ 146,295 DPPM ทำให้เกิดต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 774, 714 บาทต่อเดือน อันมีสาเหตุมาจากเกิดรอยตำหนิที่ผิวชิ้นงานมีลักษณะเป็นตามดเฉลี่ยต่อเดือนเท่ากับ 119,003 PPM สามารถคิดเป็น 70.5 เปอร์เซ็นต์ของการเกิดของเสียทั้งหมด ในการวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา ได้เลือกใช้เครื่องมือต่างๆ เช่น การสร้างแผนภาพที่กระบวนการผลิต (Process map) เพื่อต้องการทราบความสัมพันธ์ในแต่ละงานในกระบวนการ การวิเคราะห์แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) การวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ (Failure Mode and Effect Analyze process) และการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับ (Measurement System Analysis) แนวทางการวิเคราะห์นั้นจะทำการวิเคราะห์ที่ละสาเหตุที่ละปัจจัย (One Factor at a time) โดยการใช้วิธีการทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-way ANOVA) โดยในการทดลองนี้จะมีจุดมุ่งหมายเพื่อกลั่นกรองปัจจัยต่าง ๆ (Screening Factors) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหยาบผิวชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ โดยการวัดความหยาบผิวจากชิ้นงาน 4 จุดที่ระดับการชุบต่างๆ และทำการบันทึกผล พบว่าวิธีการล้าง และปัจจัยในบ่อชุบนิเกิลอันได้แก่ ค่าพีเอช และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้พื้นผิวของชิ้นงานขุรขระเกิดเป็นเม็ดหรือตามด การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการด้วยการออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Addition of Center Points to the 2^k Design) โดยการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัย ผลการทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียลที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง พบว่าปัจจัยวิธีการล้าง ค่าพีเอช และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามีผลต่อความหยาบผิวชิ้นงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการชุบโครเมียม นำปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ปัจจัยมาทำการวิเคราะห์ใหม่ โดยใช้วิธีการหาพื้นผิวตอบสนองกำลังสอง เพื่อทดลองหาจุดที่ใกล้เคียงกับจุดที่เหมาะสมกับการผลิตที่ดีที่สุด จากนั้นหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยกำหนดค่าความหยาบผิวของชิ้นงานไม่เกิน 10 μm (ค่าเป้าหมายคือ 0 μm) พบว่าได้ค่าหยาบผิวน้อยที่สุดคือ 0.8339 μm จะต้องควบคุมปัจจัยในการผลิตคือ ใช้วิธีการล้างแบบใหม่ และควบคุมค่าพีเอชที่ระดับ 4.25 และควบคุมความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าให้อยู่ในระดับ 4.4 A/dm^2 ซึ่งในการผลิตจริงจะใช้เทคนิคการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control : SPC) เนื่องจากปัจจัยทั้งสองเป็นข้อมูลเชิงแปรผัน ดังนั้นจึงใช้แผนภูมิควบคุมชนิด $\bar{X}$ R เพื่อเฝ้าติดตามกระบวนการ

2.2.3 การปรับปรุงกระบวนการประกอบ (Assembly process)

Shrivastava, R.L, Khwaja I. Ahmad and Tushar N. Desai. (2008) ได้ทำการศึกษากระบวนการประกอบเครื่องยนต์ โดยใช้ซิกซ์ ซิกม่าเป็นเครื่องมือในการปรับปรุงคุณภาพและลดจำนวนของเสีย ก่อนการปรับปรุงนั้นกระบวนการประกอบเกิดของเสียเท่ากับ 7243 PPM สำหรับเป้าหมายของงานวิจัยนี้ต้องการลดจำนวนของเสียให้เหลือ 700 PPM จากการวิเคราะห์จำนวนข้อบกพร่องโดยใช้แผนภูมิพาเรโตพบว่าปัญหามีปัญหาหลักๆ อยู่ 4 ประเภทคือ 1. Pressure plate mounting dowel missing 2. engine dowel problem 3. flywheel threading 4. flywheel bolts problem เครื่องมือที่นำมาวิเคราะห์สาเหตุสำหรับงานวิจัยนี้มี 3 ชนิดคือ 1. Why-Why analysis 2. Cause and Effect diagram 3. FMEA และเลือกแนวทางการปรับปรุงปัญหาโดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบของชิ้นงานและปรับปรุงเรื่องการประกอบให้ตรงกันมากขึ้น ซึ่งผลที่ได้หลังการปรับปรุงสามารถลดจำนวนของเสียจาก 7243 PPM เหลือ 687 PPM

Juan, S. P., Monica, M. C., Ada, M. F., Paola, C. H., and Marcela, F. R. (2008) ได้ร่วมกันศึกษากระบวนการประกอบแอร์ (Air condition) ที่มีความต้องการในการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการจากเดิมอยู่ที่น้อยกว่า 1 ให้มากกว่า 1.5 ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า ในงานวิจัยนี้ทีมงานที่ทำวิจัยใช้หลักการของซิกซ์ ซิกม่า โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการประกอบ 3 รุ่นการผลิต คือ A-coils N-coils และ IPC-coils ซึ่งก่อนปรับปรุงมีจำนวนข้อบกพร่องด้านคุณภาพอยู่ที่ 54,521 49,380 และ 73,574 PPM ตามลำดับ และมี Cpk น้อยกว่า 1 ทั้ง 3 รุ่น โดยขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ แสดงดังรูปที่ 2-7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-7 ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการตามหลักการของซิกซ์ ซิกม่า

ในขั้นตอนของการวัดจะใช้เครื่องมือ Value stream map ของลีนเข้ามาวัด CTQ's KPI's และ KPO's ในแต่ละกระบวนการย่อยๆ ส่วนในขั้นตอนของการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจะใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์คือ 1. Hypothesis testing 2. Regression analysis 3. AR&R analysis 4. Design of experiments using Minitab 5. Pareto chart และ 6. Ishikawa analysis เพื่อช่วยในการหาสาเหตุและปรับปรุงกระบวนการโดยการลดช่องว่างระหว่างรอยประกอบ ซึ่งข้อมูลจากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาสามารถนำมาเขียนข้อควรปรับปรุงได้ 16 เรื่อง ซึ่งในแต่ละ control number นั้นผู้วิจัยได้ทำการแก้ไขปรับปรุงได้ไม่ครบทั้ง 16 เรื่อง และผลลัพธ์ที่ได้หลังจากปรับปรุงมีเพียงรุ่น A-coil ที่มี Cpk มากกว่า 1.5

Kane, V. (2007) ได้ทำการแก้ปัญหาลูกค้าส่งคืนชิ้นงานเนื่องจากตรวจสอบพบว่าชิ้นงานประกอบน็อตไม่ครบ โดยการนำแผนภูมิพาเรโตมาเรียงลำดับความถี่ของการเกิดปัญหาในแต่ละลักษณะ และใช้ FMEA วิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหาแต่ละลักษณะ หลังจากนั้นทำเมทริกซ์เพื่อเชื่อมโยงสาเหตุของปัญหาและผลกระทบ ก่อนที่จะทำการจำลองสร้างปัญหาและพิสูจน์ผลลัพธ์ว่าเป็นไปตามข้อสมมติฐานหรือไม่ ซึ่งวิธีการนี้จะสามารถหาสาเหตุที่แท้จริงเพื่อออกแบบอุปกรณ์โดยใช้หลักการป้องกันความผิดพลาด (Poka-yoke) มาช่วยแก้ไข เช่น การใช้เลเซอร์ตรวจสอบช่องว่างของชิ้นงานหลังประกอบ การติดตั้งไขควงที่มีขนาดเดียวกับโบลต์เพื่อ

ป้องกันการประกอบโบลต์ผิดประเภท ซึ่งผู้วิจัยจะนำหลักการของการป้องกันความผิดพลาดมาใช้ตั้งแต่ต้นสายการผลิตเพื่อลดโอกาสที่จะเกิดปัญหาประกอบชิ้นส่วนผิด ผลของการปรับปรุงสามารถป้องกันปัญหาสำหรับสายการประกอบ A เท่ากับ 84 เปอร์เซ็นต์และสายการประกอบ B เท่ากับ 93 เปอร์เซ็นต์

2.2.4 การจัดการด้านระบบคุณภาพและการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต

Sokovic, M., Pavletic, D. and Fakin, S. (2005) ได้ประยุกต์ใช้หลักการของซิกซ์ ซิกม่าในการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการสำหรับผลิตภัณฑ์ Machined compressor housings โดยใช้เครื่องมือแผนภาพกระบวนการและแผนภูมิก้างปลาหาปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการผลิตของเสีย มีการจำแนกปัจจัยนำเข้าในแต่ละกระบวนการและผลลัพธ์ที่ได้เพื่อนำหาสาเหตุหลักๆ และปัจจัยที่มีผลกระทบมากที่สุด ซึ่งการออกแบบใหม่ทำให้ต้องใช้ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นแต่ส่งผลให้เกิดของเสียลดลง รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการทำลายชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพลดต่ำลงด้วย

Tushar, N.Desai. and Shrivastava, R.L. (2008) ได้ใช้หลักการของซิกซ์ ซิกม่าในการปรับปรุงและลดของเสียในกระบวนการเชื่อมจากเครื่อง SAW Boom โดยเลือกปรับปรุงเครื่อง SAW A101 ที่มีความสามารถในการผลิตอยู่ที่ 42.3 เปอร์เซ็นต์ซึ่งต่ำกว่าเครื่องอื่นๆ การใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ความสามารถในการผลิตของเครื่อง SAW A101 ต่ำกว่าการผลิตที่เครื่องอื่นๆ ผู้วิจัยใช้เครื่องมือต่างๆ เช่น FMEA แผนภูมิก้างปลาและ Why-Why analysis และหลังจากการปรับปรุงกระบวนการสามารถปรับปรุงกระบวนการโดยทำให้ความสามารถในการผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 90 เปอร์เซ็นต์ และระดับของซิกมาปรับปรุงจาก 1.8 เป็น 2.78 และช่วยลดความผิดพลาดในขั้นตอนการผลิตและเพิ่มผลกำไร

Sameer, K. and Micheal, S. (2009) นำหลักการของซิกซ์ ซิกม่าปรับปรุงคุณภาพและลดต้นทุนจากการลดของเสียในกระบวนการอบด้วยความร้อน (Heat-treat) Amada Punch เพราะการอบแบบวิธีเดิมทำให้ชิ้นงานเกิดการโก่งงอ ดังนั้นเป้าหมายของงานวิจัยนี้คือการหาวิธีการอบโดยไม่ทำให้ชิ้นงานเกิดการโก่งงอ ในกระบวนการอบ Amada Punch ด้วยวิธีการเดิมทำให้ขนาดของชิ้นงาน 100 ชิ้น มีค่าเฉลี่ยของการเกิดปัญหาโก่งงออยู่ที่ระดับ 0.0043 นิ้ว และมีค่าเบี่ยงเบน 0.0019 นิ้ว ซึ่งขนาดของชิ้นงานที่เล็กต่างจากชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ (Rang) อยู่ในช่วง 0.0005-0.0117 นิ้ว มีความสามารถของกระบวนการ (Cp) อยู่ที่ 1 และมีของเสียจำนวน 1,350 DPM ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลของการวัดขนาดชิ้นงานที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนอบจะมีขนาดอยู่ในช่วง 0.0000-0.0004 นิ้ว จึงสรุปได้ว่ากระบวนการอบด้วยความร้อนมีผลโดยตรงต่อขนาดของชิ้นงานที่ผันแปรไปอย่างมาก ในขั้นตอนของการวิเคราะห์สาเหตุและปรับปรุงนั้นผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือแผนภูมิก้างปลาเพื่อหาความน่าจะเป็นไปได้ของปัญหาและทำการทดลองปรับเปลี่ยนวิธีการจัดเก็บชิ้นงานหลังจากผ่านกระบวนการอบด้วยความร้อน โดยการทดลองวางแบบแนวตั้งและแนวนอน จากนั้นเก็บข้อมูลใน

การวางแต่ละลักษณะไปวัดขนาด พบว่าการวางแนวตั้งมีค่าเฉลี่ยของการโก่งงอ 0.002 นิ้ว และมีค่าเบี่ยงเบน 0.0007 นิ้ว ส่วนแนวนอนมีค่าเฉลี่ยของการโก่งงอ 0.006 นิ้ว และมีค่าเบี่ยงเบน 0.0024 นิ้ว ซึ่งพบว่าการวางชิ้นงานแบบแนวตั้งจะเกิดค่าเบี่ยงเบนของชิ้นงานน้อยกว่าและมีอัตราการเกิดของเสีย 9 DPM

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมาข้างต้น พบว่างานวิจัยส่วนมากนิยมใช้หลักการของซิกซ์ ซิกม่าในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดของเสียและสามารถวัดผลการดำเนินงานได้ด้วยผลลัพธ์ที่ดีขึ้นหลังจากการใช้เครื่องมือทางซิกซ์ ซิกม่า คือ แผนภูมิพาเรโต แผนภูมิก้างปลา มาใช้ในขั้นตอนของการนิยามปัญหา ส่วนขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหานั้นนิยมใช้การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด และใช้การวิเคราะห์การขัดข้องและผลกระทบจากกระบวนการ การออกแบบการทดลองต่างๆ เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมและมีผลลัพธ์ในกระบวนการดีที่สุด หลังจากนั้นจะต้องทำการควบคุมกระบวนการให้คงที่หรือลดความผันแปรในกระบวนการให้น้อยที่สุด ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการวิจัยเพื่อลดจำนวนของเสียในกระบวนการประกอบบอลเข้าสู่ชิ้นงานพลาสติกที่มาจากกระบวนการฉีด และทำการควบคุมปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือและวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ระยะนิยามปัญหา (Define Phase)

3.1 บทนำ

ระยะนิยามปัญหาเป็นการทำความเข้าใจปัญหาในกระบวนการผลิตและกำหนดเป้าหมายในการปรับปรุง โดยเน้นการตอบสนองความต้องการของลูกค้าเป็นหลัก ซึ่งขั้นตอนการศึกษาในเบื้องต้นจะต้องศึกษาสภาพการดำเนินงานของกระบวนการผลิตและปัญหาที่มีผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตขั้นตอนต่างๆ เพื่อนำไปสู่การกำหนดปัญหาที่จะต้องนำไปปรับปรุงแก้ไข มีการจัดตั้งทีมงานเพื่อร่วมกันแก้ไขปรับปรุงกระบวนการและตั้งเป้าหมายในการลดจำนวนของเสียหลังจากทำการปรับปรุงกระบวนการ โดยดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

1.) ศึกษาผังกระบวนการผลิต (Process Mapping) เป็นขั้นตอนแรกที่จะทำให้เห็นภาพรวมของปัญหาหรือความผิดพลาดที่เกิดขึ้นหรืออาจมีผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่อง

2.) สำรวจสภาพปัญหาในปัจจุบัน และเลือกปัญหาที่มีจำนวนการเกิดบ่อยครั้งและมีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายมากที่สุดมาทำการปรับปรุง

3.) กำหนดวัตถุประสงค์ของการปรับปรุงและกำหนดเป้าหมายของจำนวนการเกิดข้อบกพร่องหลังจากปรับปรุงโดยใช้ตัวชี้วัดคือ อัตราการเกิดของเสียในการผลิตชิ้นงานจำนวน 1 ล้านชิ้น (Defect Parts per Million: DPPM) เปรียบเทียบกับอัตราการเกิดของเสียก่อนปรับปรุงแก้ไข

4.) จัดตั้งทีมเพื่อช่วยสนับสนุนในการดำเนินการระดมสมองเพื่อแก้ไขปัญหา โดยจะมีสมาชิกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตดังนี้ หัวหน้างานฝ่ายผลิต (Production Supervisor and Production leader) วิศวกรกระบวนการ (Process Engineer) วิศวกรควบคุมคุณภาพ (Quality Engineer) หัวหน้างานฝ่ายควบคุมคุณภาพ (Quality Control Supervisor and Quality Control leader) พนักงานฝ่ายเครื่องมือวัด (Calibration) และพนักงานฝ่ายควบคุมและวางแผนการผลิต (Production Planner)

3.2 ศึกษาผังกระบวนการผลิต (Process Mapping)

ผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่านรุ่น GZ8063V1 มีขั้นตอนการผลิตทั้งสิ้น 16 ขั้นตอน ดังนี้

1. เริ่มต้นจากรับเม็ดพลาสติก RTP 399 และสตีลบอล (Steel ball) ที่เป็นส่วนประกอบหลักของผลิตภัณฑ์เข้ามา (Receiving)

2. ทำการสุ่มตรวจด้านคุณภาพ (Incoming Inspection) ถ้าพบข้อบกพร่องก็จะส่งคืนผู้ผลิต (Supplier)

3. ถ้าตรงตามข้อกำหนดก็จะส่งเข้าไปจัดเก็บในสโตร์ (Storage) เมื่อมีคำสั่งผลิตพนักงานฝ่ายผลิตก็จะเบิกเม็ดพลาสติก RTP 399 เข้าไปในสายการผลิต

4. กระบวนการผลิตเริ่มจากการอบไล่ความชื้นและแก๊สที่มีอยู่ในเม็ดพลาสติกด้วยอุณหภูมิ 120 ± 5 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมงและไม่เกิน 36 ชั่วโมง

5. ช่างเทคนิคหรือวิศวกรกระบวนการจะนำโมลที่จะทำการฉีดมาประกอบเข้าไปในเครื่องฉีดและทำการเปิดอุณหภูมิเพื่อเตรียมความร้อนของโมลให้ได้ระดับที่เหมาะสมสำหรับการฉีด เมื่อเวลาในการอบเม็ดพลาสติก RTP 399 และอุณหภูมิของโมลถึงระดับตามที่ตั้งไว้ แล้วก็จะเริ่มทำการฉีดพลาสติก ซึ่งตัวล็อคชุดหัวอ่านรุ่น GZ8063V1 นั้นเป็นโมลชนิดที่สามารถตัดทางเข้าของน้ำพลาสติก (Gate) ของชิ้นงานได้ภายในโมล (Submarine Gate) ในการเริ่มทำการฉีดชิ้นงานจะต้องส่งชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 3 ตัวต่อคาวิตี้ให้พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพไปวัดขนาด ซึ่งจะเรียกขั้นตอนนี้ว่า การตรวจสอบขนาดของชิ้นงานก่อนผลิตจำนวนมาก ถ้าผลลัพธ์ของการวัดพบว่าไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า ก็จะต้องแจ้งให้ช่างเทคนิคหรือวิศวกรกระบวนการเข้าไปทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการฉีด แล้วทำการส่งชิ้นงานตัวอย่างจำนวน 3 ตัวต่อคาวิตี้ของการฉีดครั้งใหม่ไปวัดขนาดอีกครั้ง ทำเช่นนี้เรื่อยๆ จนกว่าจะได้ขนาดชิ้นงานตรงตามที่ลูกค้ากำหนด

6. เมื่อเริ่มผลิตเป็นจำนวนมาก พนักงานฝ่ายผลิตจะต้องสุ่มตรวจขนาดรูของชิ้นงานทุก 6 ชั่วโมงด้วยพินเกจขนาด 1.28 มิลลิเมตร โดยชิ้นงานจะต้องสามารถร้อยผ่านพินเกจขนาด 1.28 มิลลิเมตร และหมุนได้อย่างอิสระ (Drop free and Rotate free) และจะต้องไม่สามารถร้อยผ่านพินเกจขนาด 1.29 มิลลิเมตรได้

7. ชิ้นงานทุกชิ้นจะผ่านขั้นตอนการตรวจสอบข้อบกพร่องหรือตำหนิโดยพนักงานฝ่ายผลิตด้วยกล้องไมโครสโคป (Microscope) กำลังขยาย 10 เท่า (10X)

8. เมื่อพนักงานฝ่ายผลิตตรวจสอบชิ้นงานพลาสติกจากกระบวนการฉีดครบ 1 ล๊อต (7,000 ชิ้น) พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพก็จะทำการสุ่มตรวจครั้งที่ 1 (In-process inspection1) เพื่อตรวจสอบข้อบกพร่องหรือตำหนิบนชิ้นงานที่ระดับ AQL 0.25%, C=0

9. นำชิ้นงานล๊อตที่ผ่านการสุ่มตรวจไปทำการประกอบบอล (Assembly steel ball)

10. พนักงานฝ่ายผลิตจะต้องตรวจสอบชิ้นงานในจุดที่ทำการประกอบบอลด้วยกล้องไมโครสโคปกำลังขยาย 10 เท่า โดยจะต้องตรวจสอบชิ้นงานทุกชิ้น

11. นำชิ้นงานเข้าสู่เครื่องตรวจจับชิ้นงานที่ไม่มีบอล (Fool proof machine)

12. เมื่อชิ้นงานประกอบผ่านการตรวจสอบด้วยเครื่องตรวจจับชิ้นงานที่ไม่มีบอลครบ 1 ล๊อต พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพก็จะทำการสุ่มตรวจครั้งที่ 2 (In-process inspection2) เพื่อหาข้อบกพร่องหรือตำหนิบนชิ้นงานที่มาจากการประกอบที่ระดับ AQL 0.25%, C=0

13. พนักงานฝ่ายผลิตก็จะนำชิ้นงานล๊อตนั้นๆ ไปทำการล้าง (Washing process)

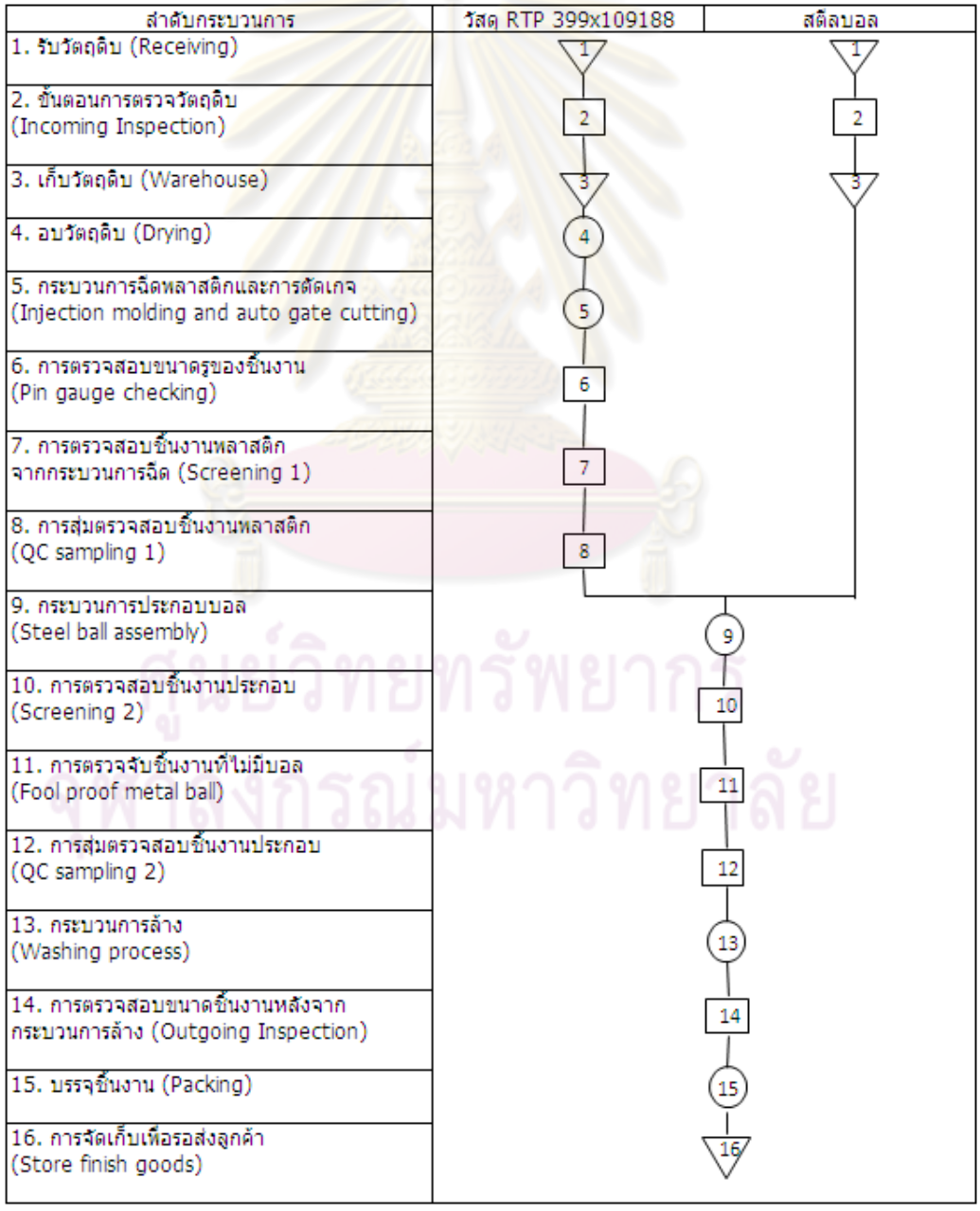
14. พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพจะทำการสุ่มตรวจข้อบกพร่องหรือตำหนิและวัดขนาดของชิ้นงานหลังล้าง (Outgoing inspection)

15. หลังจากพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทำการสุ่มตรวจข้อบกพร่องแล้วไม่พบข้อบกพร่องพนักงานฝ่ายผลิตก็จะบรรจุชิ้นงาน (Packing) ลงในถุงและทำการปิดปากถุง (Sealing)

16. เตรียมส่งชิ้นงานไปจัดเก็บยังสโตร์ (Storage) เพื่อรอคำสั่งซื้อจากลูกค้า

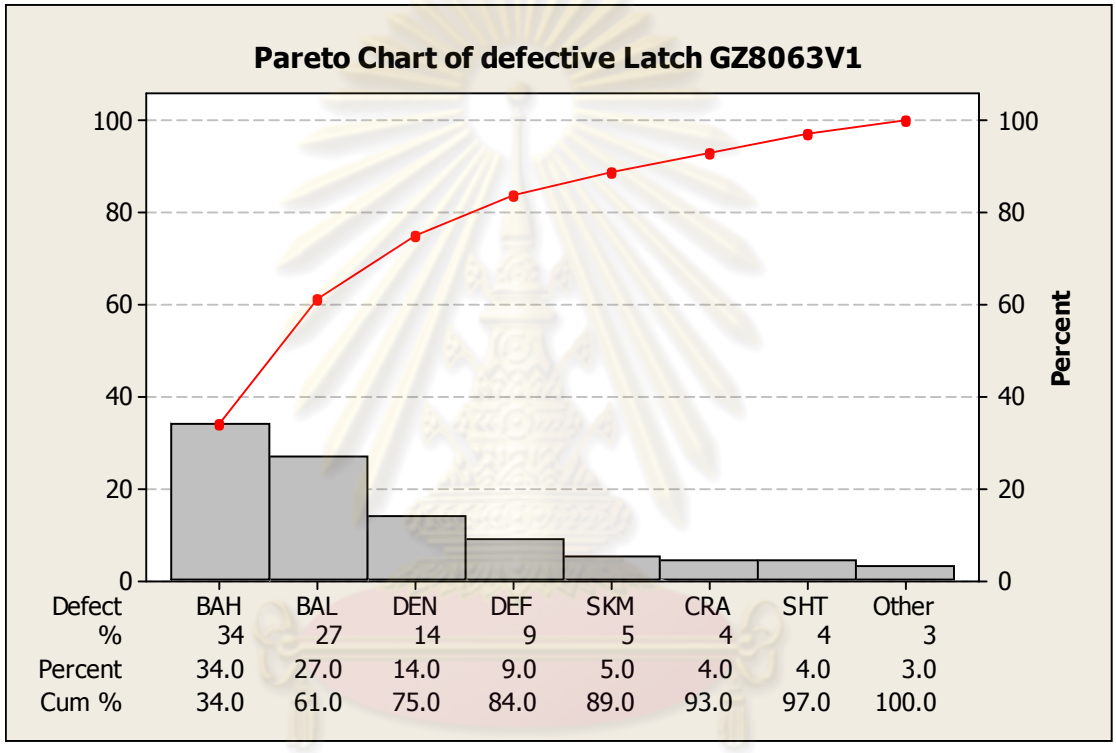
กระบวนการผลิตตัวล็อคชุดหัวอ่านรุ่น GZ8063V1 ทั้ง 16 ขั้นตอน สามารถเขียนแผนผังกระบวนการผลิตได้ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 แผนผังกระบวนการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่านรุ่น GZ8063V1



3.3 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

เมื่อพิจารณาข้อมูลด้านจำนวนของชิ้นงานที่ถูกทำลายเนื่องจากไม่ได้คุณภาพจากจำนวนข้อบกพร่องแต่ละประเภท พบว่าปัญหาระยะความสูงของบอลเกินหรือต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้าที่ระยะ 3.27 ± 0.05 มิลลิเมตรมีจำนวนสูงเป็นอันดับแรกและอันดับที่สอง โดยพบปัญหาระยะความสูงของบอลเกินกว่าข้อกำหนด (Ball height) คิดเป็น 34%, ปัญหาระยะความสูงของบอลต่ำกว่าข้อกำหนด (Ball low) คิดเป็น 27% และปัญหาชิ้นงานมีรอยกระแทก (Dent) คิดเป็น 14% ของจำนวนชิ้นงานที่ต้องถูกทำลายทั้งหมด ดังรูปที่ 3-1

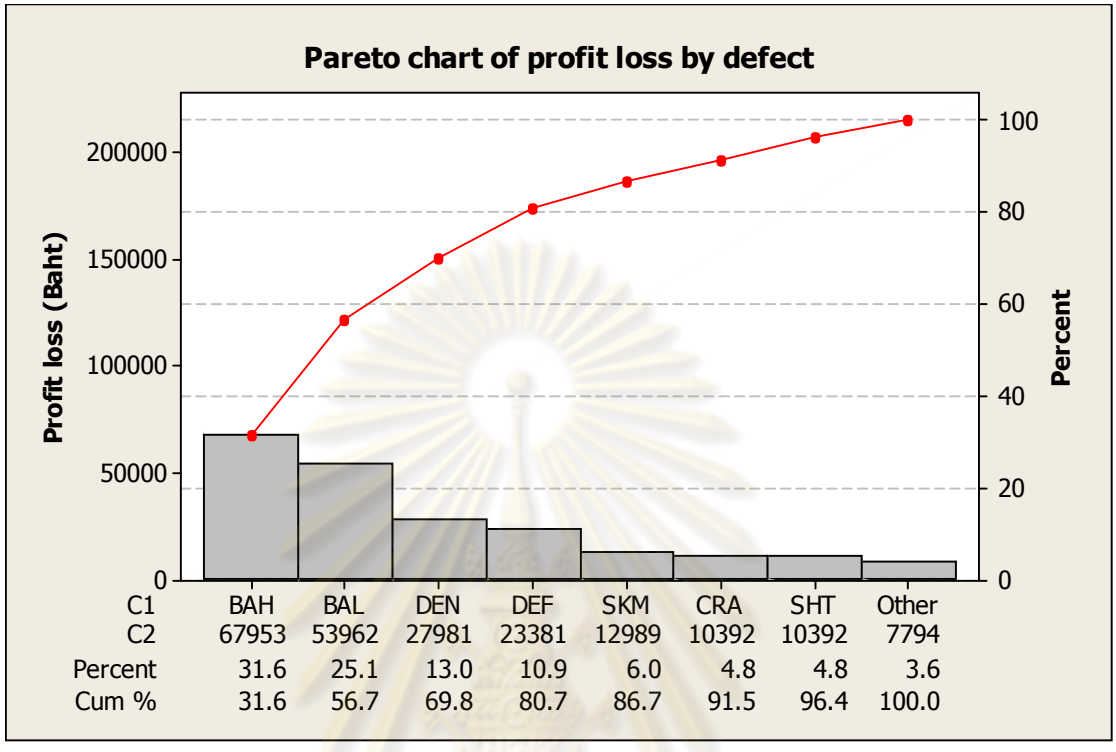


รูปที่ 3-1 ข้อบกพร่องของชิ้นงานที่ถูกทำลายเนื่องจากไม่ได้คุณภาพ

ผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 มีสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องเรื่องระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบคิดเป็น 61% ของจำนวนของเสียทั้งหมด โดยจะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบสูงกว่าข้อกำหนดของลูกค้า และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้า

เมื่อพิจารณาจากการขาดโอกาสในการขายชิ้นงาน พบว่าปัญหาระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบมีผลกระทบต่อการเสียโอกาสในการทำกำไรจากการขายชิ้นงานคิดเป็นจำนวน 265,648 บาทต่อระยะเวลา 3 เดือน (88,550 บาทต่อเดือน) หรือคิดเป็น 61% ของปัญหาข้อบกพร่อง

ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3-2 ดังนั้นการลดจำนวนของเสียจึงมุ่งเน้นแก้ปัญหาเกี่ยวกับความสูงของบอลหลังจากประกอบที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า



รูปที่ 3-2 ค่าเสียโอกาสในการทำกำไรจากการขายชิ้นงานสำเร็จเนื่องจากปัญหาข้อบกพร่อง

3.4 การกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมาย

จากสภาพปัญหาที่พบได้ทำการกำหนดปัญหาที่จะทำการปรับปรุงคือ การลดของเสียจากกระบวนการประกอบบอลของผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 ซึ่งกระบวนการประกอบในปัจจุบันจะพบปัญหาระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบสูงกว่าข้อกำหนดของลูกค้า และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้า ซึ่งมีจำนวนของเสียในปัจจุบันเท่ากับ 27,600 DPPM โดยมีเป้าหมายที่จะลดให้ได้เหลือ 500 DPPM ด้วยวิธีการซิกซ์ซิกม่า เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายการลดอัตราของเสียของโรงงานกรณีศึกษา ระยะเวลาในการดำเนินงานตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2553 – เดือนกุมภาพันธ์ 2554

3.5 การจัดตั้งทีมเพื่อดำเนินการแก้ไขปัญหา

สมาชิกทีมงานของผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 ประกอบด้วยหน่วยงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. หัวหน้างานฝ่ายผลิต (Production Supervisor and Production leader) มีหน้าที่รับผิดชอบในการเก็บข้อมูลในกระบวนการผลิตก่อนและหลังทำการปรับปรุง รวมทั้งสนับสนุนการทดลองเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและร่วมในการระดมสมองเพื่อหาแนวทางลดของเสีย

2. วิศวกรกระบวนการ (Process Engineer) มีหน้าที่ดูแลในส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร วิธีการปรับค่าควบคุมของเครื่องประกอบบอลเพื่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด

3. วิศวกรควบคุมคุณภาพ (Quality Engineer) มีหน้าที่ควบคุมกระบวนการผลิตด้วยวิธีการทางสถิติ และติดตามผลการดำเนินการแก้ไข

4. หัวหน้างานฝ่ายควบคุมคุณภาพ (Quality Control Supervisor and Quality Control leader) มีหน้าที่สนับสนุนด้านการวัดขนาดของชิ้นงานและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการวัด

5. พนักงานฝ่ายเครื่องมือวัด (Calibration) มีหน้าที่ประเมินความสามารถของพนักงานในการตรวจวัดชิ้นงานและการอบรมพนักงานในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงวิธีการวัดชิ้นงาน

6. พนักงานฝ่ายควบคุมและวางแผนการผลิต (Production Planner) มีหน้าที่สนับสนุนการทดลองเกี่ยวกับการจัดหาอุปกรณ์ เครื่องจักรและปริมาณของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.6 สรุประยะนิยามปัญหา

ในขั้นตอนของการนิยามปัญหา หลังจากวิเคราะห์กระบวนการและสภาพปัญหาในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา สามารถกำหนดปัญหาที่จะทำการศึกษาและเป้าหมายที่จะทำการลดของเสียประเภทระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบสูงกว่าข้อกำหนดของลูกค้า และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้าสำหรับผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 โดยมีเป้าหมายในการลดจำนวนการเกิดของเสียจาก 27,600 DPPM เหลือ 500 DPPM โดยใช้วิธีการของซิกซ์ ซิกม่าและมีการจัดตั้งทีมงานเพื่อดำเนินการแก้ไขปัญหาโดยใช้ระยะเวลาในการดำเนินการ 7 เดือน สามารถสรุป Project charter ของระยะนิยามปัญหาได้ดังตารางที่ 3-2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-2 Project charter ของระยะนิยามปัญหา

Project Name/Title : การปรับปรุงกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่านเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล	
Business Case :	
ผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 มีสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องเรื่องระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบไม่ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า ซึ่งปัญหาระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบจะส่งผลกระทบต่อลักษณะการใช้งานของลูกค้า	
Project Problem Statement :	
จากข้อมูลและสภาพปัญหาการผลิตในเดือนเมษายน – มิถุนายน 2553 ของโรงงานกรณีศึกษา พบว่าผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 มีสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องเรื่องระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบสูงกว่าข้อกำหนดของลูกค้า และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้า ซึ่งปัญหาระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบไม่ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้าคิดเป็น 61% ของจำนวนของเสียทั้งหมด หรือคิดเป็น 27,6000 DPPM ส่งผลกระทบต่อค่าสูญเสียโอกาสในการทำกำไรเท่ากับ 265,648 บาทต่อระยะเวลา 3 เดือน โดยที่ปัญหาระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในเดือนมิถุนายน	
Project Metric :	
Business :	สัดส่วนของเสียทุกประเภทของผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน
Primary :	สัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 ที่เกิดจากข้อบกพร่องเรื่องระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบสูงกว่าข้อกำหนดของลูกค้า (BAH) และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้า (BAL)
Secondary :	ต้นทุนในการทำลายชิ้นงานที่บกพร่องเรื่องระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบไม่ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า
Consequential :	ต้นทุนการผลิตต่อหน่วย
Financial :	ค่าเสียโอกาสในการทำกำไรจากการขายชิ้นงานสำเร็จ

ตารางที่ 3-2 Project charter ของระยะนิยามปัญหา (ต่อ)

Project Objective Statement :	
Actual Performance :	สัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องเรื่องระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบสำหรับตัวล็อคหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 ตั้งแต่เดือนกันยายน 2552 ถึงมิถุนายน 2553
Baseline performance :	ค่าเฉลี่ยจาก Actual performance ย้อนหลัง 12 เดือน เท่ากับ 27,600 DPPM
Goal Statement :	ลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องเรื่องระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบสำหรับตัวล็อคหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 จาก 27,600 DPPM เป็น 500 DPPM ภายในเดือนกุมภาพันธ์ 2554
Project Scope, Constraints , Assumptions :	
Project Scope :	- ศึกษาเฉพาะกระบวนการประกอบของผลิตภัณฑ์ล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 - ใช้วิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า เป็นเครื่องมือในการลดสัดส่วนของเสีย - วิเคราะห์ผลการทดลองต่างๆ ตามหลักทางสถิติวิศวกรรมและใช้โปรแกรม MINITAB ช่วยในการคำนวณผลลัพธ์ทางสถิติ
Constraints :	ประชุมทีมงานทุกวันอังคาร เวลา 16.00 – 17.00 น.
Assumptions :	Black Belt จะเข้าร่วมในการประชุมทุกครั้งเพื่อให้คำปรึกษาและคำแนะนำแก่ทีมงาน รวมทั้งรวบรวมข้อมูลเพื่อรายงานผู้บริหารระดับสูง
Team Members and Stakeholder:	
Team leader :	Black Belt
Team members :	Green Belt ในส่วนงาน QA, Production, Process Engineer

Time Line :

Preliminary	Target Date	Actual Date
วันเริ่มต้นโครงการ	20 กรกฎาคม 2553	29 กรกฎาคม 2553
ระยะนิยามปัญหา	15 สิงหาคม 2553	27 สิงหาคม 2553
ระยะวิเคราะห์ระบบการวัด	10 กันยายน 2553	30 กันยายน 2553
ระยะวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา	11 ตุลาคม 2553	15 พฤศจิกายน 2553
ระยะปรับปรุงกระบวนการ	9 ธันวาคม 2553	27 ธันวาคม 2553
ระยะติดตามควบคุม	10 มกราคม 2554	15 มกราคม 2554
สรุปผลโครงการ	4 มีนาคม 2554	11 มีนาคม 2554

บทที่ 4

ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

4.1 บทนำ

ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหาเป็นขั้นตอนที่ต้องดำเนินการหลังจากการนิยามปัญหา เริ่มจากการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) รวมทั้งการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นไปได้ที่กระทบกับปัญหาและหาปัจจัยนำเข้า โดยใช้การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) ที่อาจจะมีผลต่อปัญหาการเกิดของเสียจากระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า

4.2 การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลผันแปร (Measurement System Analysis of variation data)

การวัดเปรียบเสมือนประตูสู่การควบคุมผลิตภัณฑ์และการควบคุมกระบวนการเพื่อการประกันคุณภาพ โดยระบบการวัดมีองค์ประกอบหลักๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด วิธีการวัด สิ่งที่ได้รับการวัด และสิ่งแวดล้อมในการวัด สิ่งสำคัญสำหรับการวัดคือ ค่าคงที่ของสิ่งที่ได้รับจากการวัด ซึ่งถือเป็นค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่าและมีจุดประสงค์ที่จะกำหนดค่าให้ ในทางทฤษฎีจะเรียกค่านี้ว่า ค่าจริง (True value) หรือ ค่ามาสเตอร์ (Master value) เนื่องจากองค์ประกอบต่างๆ ของการวัดจะมีความไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้เกิดความผันแปรในระบบการวัดเสมอ ดังนั้นในการวัดเพื่อการประกันคุณภาพจึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการตรวจจับสาเหตุผิดพลาดแล้วกำจัดทิ้ง ควบคู่ไปกับการพยายามลดปริมาณความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติ (common cause of variation) ลงอย่างต่อเนื่อง

ระบบการวัดสำหรับระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติกและระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบจะเป็นการประเมินผลแบบข้อมูลผันแปร (Variation data) โดยจะทำการวัดผ่านเครื่องมือวัดที่เรียกว่า สมาร์ท สโคป (Smart Scope) ยี่ห้อ Zip (ซึ่งโรงงานกรณีศึกษามีเครื่องมือวัดขนาดของตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 ชนิดนี้เพียงเครื่องเดียว) และจะประเมินผลข้อมูลที่วัดได้ออกมาเป็นยอมรับหรือปฏิเสธโดยการอ้างอิงจากสเปคของลูกค้า ซึ่งในการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดนั้นจะวิเคราะห์ทั้งความแม่น (accuracy) และความเที่ยง (precision) ของระบบการวัด

เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษามีการจัดทำระบบ ISO 9001 และมีการสอบเทียบเครื่องมือวัด สมาร์ท สโคป (Smart Scope) ยี่ห้อ Zip เป็นประจำจึงอนุมานได้ว่าคุณสมบัติด้านความแม่นของเครื่องวัดดีแล้ว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่ได้ทำการประเมินเครื่องมือวัด แต่จะทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความสอดคล้องกันของค่าวัดระหว่างพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพเปรียบเทียบกับ

พนักงานฝ่ายเครื่องมือวัด โดยจะอนุมานว่าพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดมีความถูกต้องในขั้นตอนและวิธีการวัดชิ้นงาน นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความเที่ยงของเครื่องมือวัดและพนักงานที่วัดด้วย

4.2.1 การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับชิ้นงานพลาสติกและชิ้นงานประกอบ

ขั้นตอนของการวิเคราะห์ระบบการวัดชิ้นงานของโรงงานกรณีศึกษา มีขั้นตอนดังนี้

1. พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพตรวจสอบชิ้นงานพลาสติก ทำการตรวจสอบชิ้นงาน โดยคัดเลือกชิ้นงานที่ไม่มีข้อบกพร่องจำนวน 10 ตัว สำหรับวัดระยะความสูงและความกว้างของปากกระบอกชิ้นงานพลาสติก

2. พนักงานฝ่ายเครื่องมือวัด (Calibration operator) ทำการวัดระยะความสูงและระยะความกว้างของชิ้นงานจำนวน 10 ตัว และลงบันทึกค่า เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับทดสอบค่าความสอดคล้องเพื่อเปรียบเทียบระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานควบคุมคุณภาพที่ต้องการสอบเทียบ โดยทำการวัดชิ้นงานซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งจะต้องนำชิ้นงานออกมาจากแท่นวางชิ้นงานและทำการใส่ชิ้นงานลงในแท่นวางชิ้นงานใหม่ทุกครั้งที่ทำการวัด

3. เลือกพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ (QC operators) ที่ปฏิบัติหน้าที่ในการวัดชิ้นงานตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 ที่ผ่านการอบรมในเรื่องการใส่ชิ้นงานในแท่นวางชิ้นงานก่อนทำการวัด รวมทั้งผ่านการอบรมวิธีการใช้โปรแกรมการวัด โดยจะเลือกพนักงานจากกะ A และกะ B อย่างละ 1 คน

4. ให้พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทำการวัดระยะความสูงและระยะความกว้างของชิ้นงาน 10 ตัว โดยใช้ชิ้นงานตัวเดียวกันกับพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัด และให้วัดชิ้นงานซ้ำ 3 ครั้ง เช่นเดียวกัน

5. พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพแต่ละคนวัดชิ้นงานจนครบทั้ง 10 ตัวและลงบันทึกค่าที่ได้ในแบบฟอร์ม

6. พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพนำชิ้นงานพลาสติกทั้ง 10 ตัว (หลังจากวัดระยะความสูงและระยะความกว้างของปากกระบอก) ไปประกอบบอล

7. พนักงานฝ่ายเครื่องมือวัด (Calibration operator) ทำการวัดระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบจำนวน 10 ตัว และลงบันทึกค่า เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับทดสอบค่าความสอดคล้องเพื่อเปรียบเทียบระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานควบคุมคุณภาพที่ต้องการสอบเทียบ โดยทำการวัดชิ้นงานซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งจะต้องนำชิ้นงานออกจากแท่นวางชิ้นงานและทำการใส่ชิ้นงานลงในแท่นวางชิ้นงานใหม่ทุกครั้งที่จะทำการวัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. ให้พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทำการวัดระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบจำนวน 10 ตัว โดยใช้ชิ้นงานตัวเดียวกันกับพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัด และให้วัดชิ้นงานซ้ำ 3 ครั้งเช่นเดียวกัน

9. พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพแต่ละคนวัดชิ้นงานจนครบทั้ง 10 ตัวและลงบันทึกค่าที่ได้ในแบบฟอร์ม

10. พนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดนำข้อมูลไปวิเคราะห์และประเมินการวัด โดยจะพิจารณาจากค่า P value เพื่อตัดสินว่าพนักงานให้ค่าวัดที่แตกต่างกันหรือไม่ และตรวจจับความผันแปรในกระบวนการ โดยกำหนดเกณฑ์การยอมรับค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ไว้ดังนี้

P/T หรือ P/TV $<$ 10% สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้

10% $\leq$ P/T หรือ P/TV $<$ 30% อาจจะยอมรับได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งที่ประยุกต์ใช้

P/T หรือ P/TV $\geq$ 30% ไม่สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปรแล้วทำการลดหรือกำจัดทิ้ง

4.2.2 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ระบบการวัดของชิ้นงานพลาสติกและชิ้นงานประกอบ

ก. ชิ้นงานพลาสติก (ระยะความสูงของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร))

1.) การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพที่ต้องการสอบเทียบ

ในการดำเนินการทดสอบเพื่อการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนของระบบการวัด จะดำเนินการโดยกำหนดให้

μ_1 = ค่าเฉลี่ยของความสูงและความกว้างชิ้นงานที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัด

μ_2 = ค่าเฉลี่ยของความสูงและความกว้างชิ้นงานที่วัดโดยพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ

จะสามารถวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนโดยกำหนดสมมติฐานว่า

H_0 : $\mu_1 = \mu_2$

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2$

วิธีการทางสถิติสำหรับการทดสอบ μ คือ การทดสอบแบบ Paired t โดยจะพิจารณาผลการวัดจากพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพในแต่ละกะเปรียบเทียบกับพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลการวัดระยะความสูงของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) หลังจากกระบวนการฉีด 10 ชิ้น วัดซ้ำ 3 ครั้ง โดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลระยะความสูงของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A

Date : 27-Sep-10

Product :	Latch	Gage/Tester :	Zip Smart Scope 2	Upper Spec Limit :	3.1500
Part No :	GZ8063V1	Gage No :	SM-0511-003	Lower Spec Limit :	3.0900
Characteristic :	Plastic Height	Gage Type :	Non-contact	Spec. Tol. :	0.0600

(For one-sided limit, choose reasonable second limit based on expected observations.)

Operator	Mr. Pramest R. (Cal)				Ms. Saowalak K. (A)				Ms. Napat N. (B)			
Part #	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range
1	3.1185	3.1186	3.1186	0.0001	3.1186	3.1185	3.1186	0.0001				0.0000
2	3.1175	3.1176	3.1174	0.0002	3.1176	3.1175	3.1175	0.0001				0.0000
3	3.1164	3.1166	3.1165	0.0002	3.1164	3.1164	3.1165	0.0001				0.0000
4	3.1165	3.1166	3.1166	0.0001	3.1166	3.1166	3.1167	0.0001				0.0000
5	3.1177	3.1174	3.1175	0.0003	3.1176	3.1174	3.1175	0.0002				0.0000
6	3.1156	3.1156	3.1155	0.0001	3.1157	3.1156	3.1156	0.0001				0.0000
7	3.1176	3.1174	3.1174	0.0002	3.1175	3.1174	3.1175	0.0001				0.0000
8	3.1176	3.1175	3.1174	0.0002	3.1176	3.1174	3.1174	0.0002				0.0000
9	3.1185	3.1187	3.1186	0.0002	3.1185	3.1186	3.1186	0.0001				0.0000
10	3.1175	3.1174	3.1173	0.0002	3.1174	3.1173	3.1174	0.0001				0.0000
Total	31.1734	31.1734	31.1728	0.0018	31.1735	31.1727	31.1733	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	Sum	93.5196	Ra	**0.00018**	Sum	93.5195	Rb	**0.00012**	Sum	0	Rc	**0**
			Xa	**3.11732**			Xb	**3.11732**			Xc	**0.00000**
			Ravg =	**0.00015**		**Xavg =**	**3.11732**		**Xdiff =**	**0.00000**		

ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A โดยการทดสอบแบบ Paired t แสดงผลลัพธ์ดังนี้

Paired T-Test and CI: Cal, QC-A

Paired T for Cal - QC-A

	N	Mean	StDev	SE Mean
Cal	30	3.11732	0.00089	0.00016
QC-A	30	3.11732	0.00087	0.00016
Difference	30	0.000003	0.000085	0.000016

95% CI for mean difference: (-0.000028, 0.000035)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.21 P-Value = 0.831

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A สำหรับการวัดระยะความสูงของปากกระบอก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) โดยการทดสอบแบบ Paired t เมื่อพิจารณาค่า P value = 0.831 พบว่ามีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าไม่มีความแตกต่างของการวัดระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A

ข้อมูลการวัดระยะความสูงของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) หลังจากกระบวนการฉีด 10 ชิ้น ซ้ำ 3 ครั้งโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ข้อมูลระยะความสูงของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B

Date : 27-Sep-10

Product :	Latch	Gage/Tester :	Zip Smart Scope 2	Upper Spec Limit :	3.1500
Part No :	GZ8063V1	Gage No :	SM-0511-003	Lower Spec Limit :	3.0900
Characteristic :	Plastic Height	Gage Type :	Non-contact	Spec. Tol. :	0.0600

(For one-sided limit, choose reasonable second limit based on expected observations.)

Operator	Mr. Pramest R. (Cal)				Ms. Saowalak K. (A)				Ms. Napat N. (B)			
Part #	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range
1	3.1185	3.1186	3.1186	0.0001				0.0000	3.1185	3.1186	3.1185	0.0001
2	3.1175	3.1176	3.1174	0.0002				0.0000	3.1175	3.1176	3.1174	0.0002
3	3.1164	3.1166	3.1165	0.0002				0.0000	3.1164	3.1165	3.1166	0.0002
4	3.1165	3.1166	3.1166	0.0001				0.0000	3.1165	3.1167	3.1166	0.0002
5	3.1177	3.1174	3.1175	0.0003				0.0000	3.1177	3.1174	3.1175	0.0003
6	3.1156	3.1156	3.1155	0.0001				0.0000	3.1156	3.1157	3.1155	0.0002
7	3.1176	3.1174	3.1174	0.0002				0.0000	3.1174	3.1175	3.1174	0.0001
8	3.1176	3.1175	3.1174	0.0002				0.0000	3.1177	3.1174	3.1175	0.0003
9	3.1185	3.1187	3.1186	0.0002				0.0000	3.1186	3.1185	3.1187	0.0002
10	3.1175	3.1174	3.1173	0.0002				0.0000	3.1174	3.1174	3.1173	0.0001
Total	31.1734	31.1734	31.1728	0.0018	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	31.1733	31.1733	31.1730	0.0019
	Sum	93.5196	Ra	**0.00018**	Sum	0	Rb	**0**	Sum	93.5196	Rc	**0.00019**
			Xa	**3.11732**			Xb	**0.00000**			Xc	**3.11732**
			Ravg =	**0.00012**		**Xavg =**	**2.07821**		**Xdiff =**	**3.11732**		

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B โดยการทดสอบแบบ Paired t แสดงผลลัพธ์ดังนี้

Paired T-Test and CI: Cal, QC-B

Paired T for Cal - QC-B

	N	Mean	StDev	SE Mean
Cal	30	3.11732	0.00089	0.00016
QC-B	30	3.11732	0.00088	0.00016
Difference	30	0.000000	0.000083	0.000015

95% CI for mean difference: (-0.000031, 0.000031)

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B สำหรับการวัดระยะความสูงของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) โดยการทดสอบแบบ Paired t เมื่อพิจารณาค่า P value = 1 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าค่าการวัดระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

2.) การประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัด (Gage Repeatability and Reproducibility) ของระยะความสูงของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร)

จากผลการวัดระยะความสูงของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ของพนักงานทั้ง 3 คนโดยการวัดชิ้นงาน 10 ชิ้น ซ้ำ 3 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ข้อมูลระยะความสูงของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A และ B

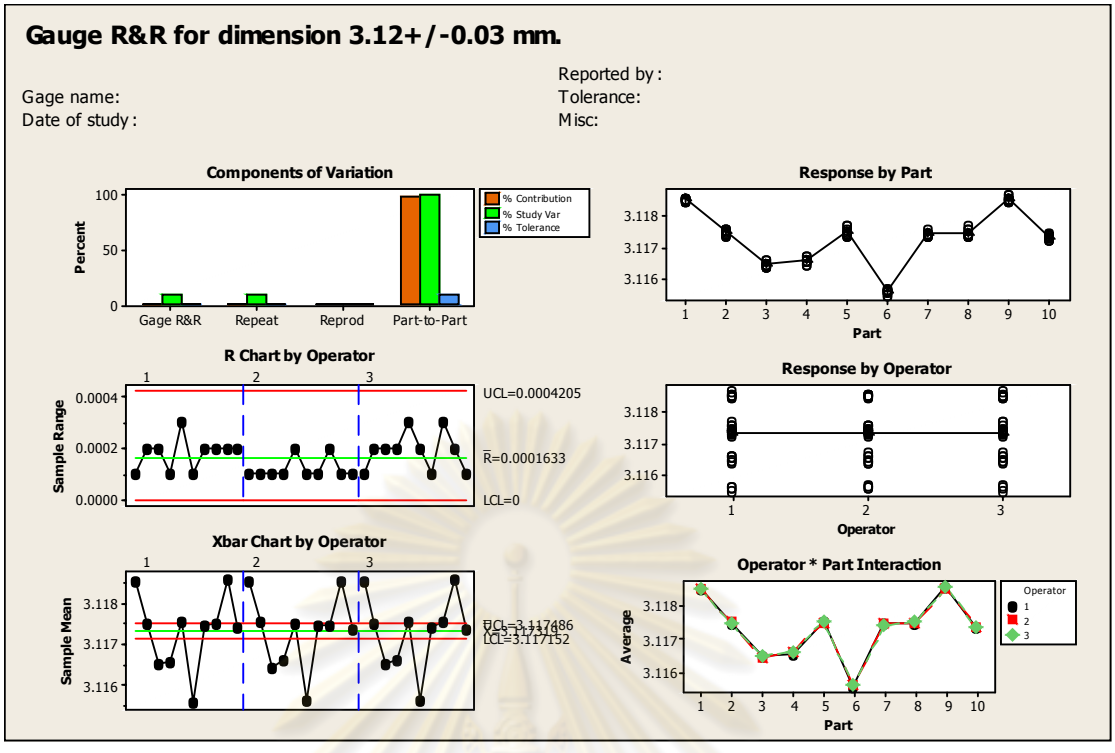
Date : 27-Sep-10

Product :	Latch	Gage/Tester :	Zip Smart Scope 2	Upper Spec Limit :	3.1500
Part No :	GZ8063V1	Gage No :	SM-0511-003	Lower Spec Limit :	3.0900
Characteristic :	Plastic Height	Gage Type :	Non-contact	Spec. Tol. :	0.0600

(For one-sided limit, choose reasonable second limit based on expected observations.)

Operator	Mr. Pramest R. (Cal)				Ms. Saowalak K. (A)				Ms. Napat N. (B)			
Part #	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range
1	3.1185	3.1186	3.1186	0.00010	3.1186	3.1185	3.1186	0.00010	3.1185	3.1186	3.1185	0.00010
2	3.1175	3.1176	3.1174	0.00020	3.1176	3.1175	3.1175	0.00010	3.1175	3.1176	3.1174	0.00020
3	3.1164	3.1166	3.1165	0.00020	3.1164	3.1164	3.1165	0.00010	3.1164	3.1165	3.1166	0.00020
4	3.1165	3.1166	3.1166	0.00010	3.1166	3.1166	3.1167	0.00010	3.1165	3.1167	3.1166	0.00020
5	3.1177	3.1174	3.1175	0.00030	3.1176	3.1174	3.1175	0.00020	3.1177	3.1174	3.1175	0.00030
6	3.1156	3.1156	3.1155	0.00010	3.1157	3.1156	3.1156	0.00010	3.1156	3.1157	3.1155	0.00020
7	3.1176	3.1174	3.1174	0.00020	3.1175	3.1174	3.1175	0.00010	3.1174	3.1175	3.1174	0.00010
8	3.1176	3.1175	3.1174	0.00020	3.1176	3.1174	3.1174	0.00020	3.1177	3.1174	3.1175	0.00030
9	3.1185	3.1187	3.1186	0.00020	3.1185	3.1186	3.1186	0.00010	3.1186	3.1185	3.1187	0.00020
10	3.1175	3.1174	3.1173	0.00020	3.1174	3.1173	3.1174	0.00010	3.1174	3.1174	3.1173	0.00010
Total	31.173	31.173	31.173	0.00180	31.174	31.173	31.173	0.00120	31.173	31.173	31.173	0.00190
	Sum	93.5196	Ra	**0.00018**	Sum	93.5195	Rb	**0.00012**	Sum	93.5196	Rc	**0.00019**
			Xa	**3.11732**			Xb	**3.11732**			Xc	**3.11732**
			Ravg =	**0.00016**			**Xavg =**	**3.11732**			**Xdiff =**	**0.00000**

จากข้อมูลระยะความสูงของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทั้ง 2 กะ สามารถวิเคราะห์ผลค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัดจากโปรแกรม Minitab ได้ดังรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 ผลลัพธ์ความสามารถของระบบการวัดระยะความสูงของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร)

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0.0000671	0.0000075	3194.71	0.000
Operator	2	0.0000000	0.0000000	0.05	0.954
Part * Operator	18	0.0000000	0.0000000	0.28	0.998
Repeatability	60	0.0000005	0.0000000		
Total	89	0.0000676			

Alpha to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0.0000671	0.0000075	1059.73	0.000
Operator	2	0.0000000	0.0000000	0.02	0.984
Repeatability	78	0.0000005	0.0000000		
Total	89	0.0000676			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000000	0.84
Repeatability	0.0000000	0.84
Reproducibility	0.0000000	0.00
Operator	0.0000000	0.00
Part-To-Part	0.0000008	99.16
Total Variation	0.0000008	100.00

Process tolerance = 0.06

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0000839	0.0005032	9.18	0.84
Repeatability	0.0000839	0.0005032	9.18	0.84
Reproducibility	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Operator	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.0009097	0.0054579	99.58	9.10
Total Variation	0.0009135	0.0054811	100.00	9.14

Number of Distinct Categories = 15

สามารถวิเคราะห์ระบบการวัดโดยวิธีการ ANOVA ได้ดังนี้

1. จากแผนภูมิ R Chart by Operator พบว่าระบบการวัดมีคุณสมบัติด้านการแยกความแตกต่างเพียง 3 ค่าและพบว่าค่าพิสัยอยู่ในพิกัดควบคุมแสดงว่าระบบการวัดมีความสม่ำเสมอ
2. จากแผนภูมิควบคุม X bar Charts by Operator พบว่ารูปแบบของจุดที่ plot ระหว่างผู้วัด 3 คนมีรูปแบบเดียวกันแสดงถึงค่าความแตกต่างในการวัดระหว่างผู้วัดทั้ง 3 คนที่น้อย และมีค่า P value เท่ากับ 0.954 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าผู้วัดทั้ง 3 คนให้ค่าวัดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
3. จากแผนภูมิ Operator*Part Interaction จากกราฟที่แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัด

และชิ้นงานที่ทำการวัด ซึ่งแสดงถึงค่าวัดที่วัดโดยพนักงานแต่ละคนไม่มีการตัดกัน และมีค่า P value เท่ากับ 0.998 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงานที่ทำการวัด

4. ค่า % contribution แสดงถึงความผันแปรจากสาเหตุต่างๆ ที่ส่งผลต่อความผันแปรโดยรวม ซึ่งจะเป็นความผันแปรที่มีผลจากกระบวนการผลิต 99.16% และจากระบบการวัด 0.84% โดยความผันแปรดังกล่าวนี้มาจากรีพีททะบิลิตี้ 0.84%
5. % Study Var ของ Total gage R&R มีค่าเท่ากับ 9.18% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน 10% (AIAG) แสดงถึงค่าความเที่ยงของระดับการวัดที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้
6. % Tolerance ของ Total gage R&R มีค่าเท่ากับ 0.84% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน 10% (AIAG) แสดงถึงค่าความเที่ยงที่มาจากการวัดมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับช่วงคลาดเคลื่อนอนุโลมของระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก
7. Number of distinct categories (ndc) = 15 แสดงว่าระบบการวัดสามารถแยกประเภทของข้อมูลวัดได้ออกเป็น 15 ประเภทที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงว่าระบบการวัดสามารถแสดงถึงความผันแปรของกระบวนการได้

สรุปผลจากการทำ Gage R&R (Crossed)

1. % Tolerance (P/T) = 0.84%
2. % Study Var (P/TV) = 9.18%
3. Number of Distinct Categories (NDC) = 15

จากผลการทำ GR&R เทียบกับเกณฑ์การประเมินระบบการวัด พบว่าค่า P/T และ P/TV มีค่าน้อยกว่า 10% และค่า NDC มากกว่า 5 ดังนั้นจึงสามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดนี้ได้

ข. ชิ้นงานพลาสติก (ระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/- 0.01 มิลลิเมตร))

1.) การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพที่ต้องการสอบเทียบ

ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อน โดยนำข้อมูลการวัดระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอลหลังจากกระบวนการฉีด 10 ชิ้น วัดซ้ำ 3 ครั้งโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ข้อมูลระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/- 0.01 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A

Date : 27-Sep-10

Product : Latch
Part No : GZ8063V1
Characteristic : Plastic Width

Gage/Tester : Zip Smart Scope 2
Gage No : SM-0511-003
Gage Type : Non-contact

Upper Spec Limit : 1.4800
Lower Spec Limit : 1.4700
Spec. Tol. : 0.0100

(For one-sided limit, choose reasonable second limit based on expected observations.)

Operator	Mr. Pramest R. (Cal)				Ms. Saowalak K. (A)				Ms. Napat N. (B)			
Part #	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range
1	1.4726	1.4723	1.4725	0.00030	1.4722	1.4723	1.4726	0.00040				0.00000
2	1.4781	1.4782	1.4782	0.00010	1.4782	1.4783	1.4782	0.00010				0.00000
3	1.4776	1.4772	1.4774	0.00040	1.4777	1.4775	1.4774	0.00030				0.00000
4	1.4793	1.4794	1.4795	0.00020	1.4794	1.4794	1.4796	0.00020				0.00000
5	1.4755	1.4757	1.4756	0.00020	1.4753	1.4756	1.4755	0.00030				0.00000
6	1.4767	1.4766	1.4768	0.00020	1.4767	1.4767	1.4766	0.00010				0.00000
7	1.4758	1.4759	1.4757	0.00020	1.4756	1.4755	1.4757	0.00020				0.00000
8	1.4783	1.4784	1.4785	0.00020	1.4784	1.4785	1.4783	0.00020				0.00000
9	1.4778	1.4775	1.4776	0.00030	1.4776	1.4775	1.4776	0.00010				0.00000
10	1.4776	1.4778	1.4778	0.00020	1.4775	1.4776	1.4778	0.00030				0.00000
Total	14.769	14.769	14.770	0.00230	14.769	14.769	14.769	0.00220	0.000	0.000	0.000	0.00000
	Sum	44.3079	Ra	**0.00023**	Sum	44.3068	Rb	**0.00022**	Sum	0	Rc	**0**
			Xa	**1.47693**			Xb	**1.47689**			Xc	**0.00000**
			Ravg =	**0.00022**		**Xavg =**	**1.47691**		**Xdiff =**	**0.00004**		

ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A โดยการทดสอบแบบ Paired t แสดงผลลัพธ์ดังนี้

Paired T-Test and CI: Cal, QC-A

Paired T for Cal - QC-A

	N	Mean	StDev	SE Mean
Cal	30	1.47693	0.00188	0.00034
QC-A	30	1.47689	0.00194	0.00035
Difference	30	0.000037	0.000159	0.000029

95% CI for mean difference: (-0.000023, 0.000096)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 1.27 P-Value = 0.216

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A สำหรับการวัดระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/0.01 มิลลิเมตร) โดยการทดสอบแบบ Paired t เมื่อพิจารณาค่า P value = 0.216 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าวิธีการวัดระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลการวัดระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) หลังจากกระบวนการฉีด 10 ชิ้น วัดซ้ำ 3 ครั้งโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ข้อมูลระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/- 0.01 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B

Date : 27-Sep-10

Product :	Latch	Gage/Tester :	Zip Smart Scope 2	Upper Spec Limit :	1.4800
Part No :	GZ8063V1	Gage No :	SM-0511-003	Lower Spec Limit :	1.4700
Characteristic :	Plastic Width	Gage Type :	Non-contact	Spec. Tol. :	0.0100

(For one-sided limit, choose reasonable second limit based on expected observations.)

Operator	Mr. Pramest R. (Cal)				Ms. Saowalak K. (A)				Ms. Napat N. (B)			
Part #	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range
1	1.4726	1.4723	1.4725	0.00030				0.00000	1.4724	1.4725	1.4726	0.00020
2	1.4781	1.4782	1.4782	0.00010				0.00000	1.4781	1.4783	1.4781	0.00020
3	1.4776	1.4772	1.4774	0.00040				0.00000	1.4776	1.4777	1.4775	0.00020
4	1.4793	1.4794	1.4795	0.00020				0.00000	1.4795	1.4796	1.4795	0.00010
5	1.4755	1.4757	1.4756	0.00020				0.00000	1.4753	1.4755	1.4754	0.00020
6	1.4767	1.4766	1.4768	0.00020				0.00000	1.4766	1.4767	1.4766	0.00010
7	1.4758	1.4759	1.4757	0.00020				0.00000	1.4757	1.4756	1.4756	0.00007
8	1.4783	1.4784	1.4785	0.00020				0.00000	1.4785	1.4786	1.4784	0.00020
9	1.4778	1.4775	1.4776	0.00030				0.00000	1.4777	1.4775	1.4776	0.00020
10	1.4776	1.4778	1.4778	0.00020				0.00000	1.4776	1.4778	1.4777	0.00020
Total	14.769	14.769	14.770	0.00230	0.000	0.000	0.000	0.00000	14.769	14.770	14.769	0.00167
	Sum	44.3079	Ra	**0.00023**	Sum	0	Rb	**0**	Sum	44.30777	Rc	**0.000167**
			Xa	**1.47693**			Xb	**0.00000**			Xc	**1.47693**
			Ravg =	**0.00013**		**Xavg =**	**0.98462**			**Xdiff =**	**1.47693**	

ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B โดยการทดสอบแบบ Paired t แสดงผลลัพธ์ดังนี้

Paired T-Test and CI: Cal, QC-B

Paired T for Cal - QC-B

	N	Mean	StDev	SE Mean
Cal	30	1.47693	0.00188	0.00034
QC-B	30	1.47693	0.00193	0.00035
Difference	30	0.000004	0.000172	0.000031

95% CI for mean difference: (-0.000060, 0.000068)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.14 P-Value = 0.891

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B สำหรับการวัดระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/0.01 มิลลิเมตร) โดยการทดสอบแบบ Paired t เมื่อพิจารณาค่า P

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

value = 0.891 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าวิธีการวัดระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

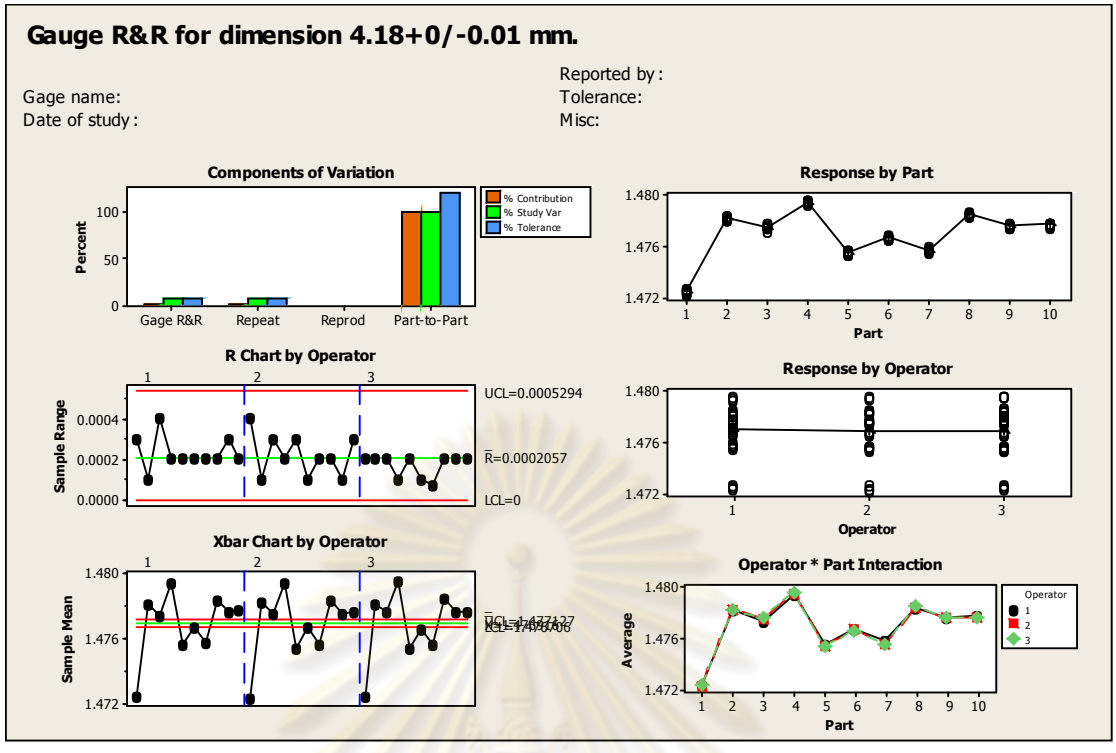
2.) การประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัด (Gage Repeatability and Reproducibility) ระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/0.01 มิลลิเมตร)

จากผลการวัดระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) ของพนักงานทั้ง 3 คนโดยการวัดชิ้นงาน 10 ชิ้น วัดซ้ำ 3 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ข้อมูลระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A และ B

Date :	27-Sep-10											
Product :	Latch			Gage/Tester :	Zip Smart Scope 2			Upper Spec Limit :	1.4800			
Part No :	GZ8063V1			Gage No :	SM-0511-003			Lower Spec Limit :	1.4700			
Characteristic :	Plastic Width			Gage Type :	Non-contact			Spec. Tol. :	0.0100			
								(For one-sided limit, choose reasonable second limit based on expected observations.)				
Operator	Mr. Pramest R. (Cal)				Ms. Saowalak K. (A)				Ms. Napat N. (B)			
Part #	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range
1	1.4726	1.4723	1.4725	0.00030	1.4722	1.4723	1.4726	0.00040	1.4724	1.4725	1.4726	0.00020
2	1.4781	1.4782	1.4782	0.00010	1.4782	1.4783	1.4782	0.00010	1.4781	1.4783	1.4781	0.00020
3	1.4776	1.4772	1.4774	0.00040	1.4777	1.4775	1.4774	0.00030	1.4776	1.4777	1.4775	0.00020
4	1.4793	1.4794	1.4795	0.00020	1.4794	1.4794	1.4796	0.00020	1.4795	1.4796	1.4795	0.00010
5	1.4755	1.4757	1.4756	0.00020	1.4753	1.4756	1.4755	0.00030	1.4753	1.4755	1.4754	0.00020
6	1.4767	1.4766	1.4768	0.00020	1.4767	1.4767	1.4766	0.00010	1.4766	1.4767	1.4766	0.00010
7	1.4758	1.4759	1.4757	0.00020	1.4756	1.4755	1.4757	0.00020	1.4757	1.4756	1.4756	0.00007
8	1.4783	1.4784	1.4785	0.00020	1.4784	1.4785	1.4783	0.00020	1.4785	1.4786	1.4784	0.00020
9	1.4778	1.4775	1.4776	0.00030	1.4776	1.4775	1.4776	0.00010	1.4777	1.4775	1.4776	0.00020
10	1.4776	1.4778	1.4778	0.00020	1.4775	1.4776	1.4778	0.00030	1.4776	1.4778	1.4777	0.00020
Total	14.769	14.769	14.770	0.00230	14.769	14.769	14.769	0.00220	14.769	14.770	14.769	0.00167
	Sum	44.3079	Ra	**0.00023**	Sum	44.3068	Rb	**0.00022**	Sum	44.30777	Rc	**0.000167**
			Xa	**1.47693**			Xb	**1.47689**			Xc	**1.47693**
			Ravg =	**0.00021**			**Xavg =**	**1.47692**			**Xdiff =**	**0.00004**

จากข้อมูลระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48+0/-0.01 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทั้ง 2 กะ สามารถวิเคราะห์ผลค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัดจากโปรแกรม Minitab ได้ดังรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-2 ผลลัพธ์ความสามารถของระบบการวัดระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร)

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0.0003193	0.0000355	2237.52	0.000
Operator	2	0.0000000	0.0000000	0.76	0.482
Part * Operator	18	0.0000003	0.0000000	1.21	0.279
Repeatability	60	0.0000008	0.0000000		
Total	89	0.0003204			

Alpha to remove interaction term = 0.05

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0.0003193	0.0000355	2589.72	0.000
Operator	2	0.0000000	0.0000000	0.88	0.419
Repeatability	78	0.0000011	0.0000000		
Total	89	0.0003204			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000000	0.35
Repeatability	0.0000000	0.35
Reproducibility	0.0000000	0.00
Operator	0.0000000	0.00
Part-To-Part	0.0000039	99.65
Total Variation	0.0000040	100.00

Process tolerance = 0.01

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0001171	0.0007023	5.89	7.02
Repeatability	0.0001171	0.0007023	5.89	7.02
Reproducibility	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Operator	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.0019852	0.0119112	99.83	119.11
Total Variation	0.0019886	0.0119319	100.00	119.32

Number of Distinct Categories = 23

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สามารถวิเคราะห์ระบบการวัดโดยวิธีการ ANOVA ได้ดังนี้

1. จากแผนภูมิ R Chart by Operator พบว่าระบบการวัดมีคุณสมบัติด้านการแยกความแตกต่างได้หลายค่า และพบว่าค่าพิสัยอยู่ในพิกัดควบคุมแสดงว่าระบบการวัดมีความสม่ำเสมอ
2. จากแผนภูมิควบคุม X bar Charts by Operator พบว่ารูปแบบของจุดที่ plot ระหว่างผู้วัด 3 คนมีรูปแบบเดียวกันแสดงถึงค่าความแตกต่างในการวัดระหว่างผู้วัดทั้ง 3 คนที่น้อย และมีค่า P value เท่ากับ 0.482 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าผู้วัดทั้ง 3 คนให้ค่าวัดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
3. จากแผนภูมิ Operator*Part Interaction จากกราฟที่แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานที่ทำการวัด ซึ่งแสดงถึงค่าวัดที่วัดโดยพนักงานแต่ละคนไม่มีการตัดกัน และมีค่า P value เท่ากับ 0.279 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงานที่ทำการวัด
4. ค่า % contribution แสดงถึงความผันแปรจากสาเหตุต่างๆ ที่ส่งผลต่อความผันแปรโดยรวม ซึ่งจะเป็นความผันแปรที่มีผลจากกระบวนการผลิต 99.65% และจากระบบการวัด 0.35% โดยความผันแปรดังกล่าวนี้มาจากรีพีททะบิลิตี้ 0.35%
5. % Study Var ของ Total gage R&R มีค่าเท่ากับ 5.89% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน 10% (AIAG) แสดงถึงค่าความเที่ยงของระดับการวัดที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้
6. % Tolerance ของ Total gage R&R มีค่าเท่ากับ 7.02% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน 10% (AIAG) แสดงถึงค่าความเที่ยงที่มาจากการวัดมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับช่วงคลาดเคลื่อนอนุโลมของระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก
7. Number of distinct categories (ndc) = 23 แสดงว่าระบบการวัดสามารถแยกประเภทของข้อมูลวัดได้ออกเป็น 23 ประเภทที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงว่าระบบการวัดสามารถแสดงถึงความผันแปรของกระบวนการได้

สรุปผลจากการทำ Gage R&R (Crossed)

1. % Tolerance (P/T) = 7.02%
2. % Study Var (P/TV) = 5.89%
3. Number of Distinct Categories (NDC) = 23

จากผลการทำ GR&R เทียบกับเกณฑ์การประเมินระบบการวัด พบว่าค่า P/T และ P/TV มีค่าน้อยกว่า 10% และค่า NDC มากกว่า 5 ดังนั้นจึงสามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดนี้ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค. ชิ้นงานประกอบ

1.) การวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพที่ต้องการสอบเทียบ

ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเช่นเดียวกับข้อ ก. ชิ้นงานพลาสติก โดยนำข้อมูลการวัดระยะความสูงของบอลหลังจากกระบวนการประกอบ 10 ชิ้น วัดซ้ำ 3 ครั้งโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ข้อมูลระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A

Date : 29-Sep-10

Product :	Latch	Gage/Tester :	Zip Smart Scope 2	Upper Spec Limit :	3.3200
Part No :	GZ8063V1	Gage No :	SM-0511-003	Lower Spec Limit :	3.2200
Characteristic :	Ball Height	Gage Type :	Non-contact	Spec. Tol. :	0.1000

(For one-sided limit, choose reasonable second limit based on expected observations.)

Operator	Mr. Prames t R. (Cal)				Ms. Saowalak K. (A)				Ms. Napat N. (B)			
Part #	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range
1	3.2583	3.2584	3.2584	0.00010	3.2584	3.2583	3.2583	0.00010				0.00000
2	3.2575	3.2574	3.2575	0.00010	3.2574	3.2574	3.2575	0.00010				0.00000
3	3.2564	3.2566	3.2565	0.00020	3.2565	3.2565	3.2566	0.00010				0.00000
4	3.2574	3.2573	3.2575	0.00020	3.2574	3.2575	3.2574	0.00010				0.00000
5	3.2574	3.2573	3.2573	0.00010	3.2573	3.2574	3.2573	0.00010				0.00000
6	3.2564	3.2566	3.2566	0.00020	3.2564	3.2565	3.2566	0.00020				0.00000
7	3.2568	3.2567	3.2567	0.00010	3.2567	3.2567	3.2567	0.00000				0.00000
8	3.2571	3.2570	3.2570	0.00010	3.2571	3.2570	3.2570	0.00010				0.00000
9	3.2580	3.2581	3.2580	0.00010	3.2579	3.2580	3.2580	0.00010				0.00000
10	3.2571	3.2571	3.2572	0.00010	3.2571	3.2572	3.2571	0.00010				0.00000
Total	32.572	32.573	32.573	0.00130	32.572	32.573	32.573	0.00100	0.000	0.000	0.000	0.00000
	Sum	97.7176	Ra	**0.00013**	Sum	97.7172	Rb	**1E-04**	Sum	0	Rc	**0**
			Xa	**3.25725**			Xb	**3.25724**			Xc	**0.0000**
			Ravg =	**0.00011**		**Xavg =**	**3.25725**		**Xdiff =**	**0.00001**		

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A โดยการทดสอบแบบ Paired t แสดงผลลัพธ์ดังนี้

Paired T-Test and CI: Cal, QC-A

Paired T for Cal - QC-A

	N	Mean	StDev	SE Mean
Cal	30	3.25725	0.00059	0.00011
QC-A	30	3.25724	0.00058	0.00011
Difference	30	0.000013	0.000082	0.000015

95% CI for mean difference: (-0.000017, 0.000044)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.89 P-Value = 0.380

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบสำหรับการวัดระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A โดยการทดสอบแบบ Paired t เมื่อพิจารณาค่า P value = 0.380 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าวิธีการวัดระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ข้อมูลการวัดระยะความสูงของบอลหลังจากกระบวนการประกอบ 10 ชิ้น ซ้ำ 3 ครั้ง โดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 ข้อมูลระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B

Date : 29-Sep-10

Product :	Latch	Gage/Tester :	Zip Smart Scope 2	Upper Spec Limit :	3.3200
Part No :	GZ8063V1	Gage No :	SM-0511-003	Lower Spec Limit :	3.2200
Characteristic :	Ball Height	Gage Type :	Non-contact	Spec. Tol. :	0.1000

(For one-sided limit, choose reasonable second limit based on expected observations.)

Operator	Mr. Prames t R. (Cal)				Ms. Saowalak K. (A)				Ms. Napat N. (B)			
Part #	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range
1	3.2583	3.2584	3.2584	0.00010				0.00000	3.2583	3.2583	3.2584	0.00010
2	3.2575	3.2574	3.2575	0.00010				0.00000	3.2575	3.2574	3.2575	0.00010
3	3.2564	3.2566	3.2565	0.00020				0.00000	3.2565	3.2565	3.2566	0.00010
4	3.2574	3.2573	3.2575	0.00020				0.00000	3.2573	3.2574	3.2575	0.00020
5	3.2574	3.2573	3.2573	0.00010				0.00000	3.2574	3.2573	3.2573	0.00010
6	3.2564	3.2566	3.2566	0.00020				0.00000	3.2564	3.2565	3.2566	0.00020
7	3.2568	3.2567	3.2567	0.00010				0.00000	3.2567	3.2567	3.2568	0.00010
8	3.2571	3.2570	3.2570	0.00010				0.00000	3.2571	3.2570	3.2570	0.00010
9	3.2580	3.2581	3.2580	0.00010				0.00000	3.2579	3.2580	3.2581	0.00020
10	3.2571	3.2571	3.2572	0.00010				0.00000	3.2571	3.2571	3.2572	0.00010
Total	32.572	32.573	32.573	0.00130	0.000	0.000	0.000	0.00000	32.572	32.572	32.573	0.00130
	Sum	97.7176	Ra	**0.00013**	Sum	0	Rb	**0**	Sum	97.7174	Rc	**0.00013**
			Xa	**3.25725**			Xb	**0.00000**			Xc	**3.25725**
			Ravg =	**0.00009**		**Xavg =**	**2.17150**		**Xdiff =**	**3.25725**		

ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B โดยการทดสอบแบบ Paired t แสดงผลลัพธ์ดังนี้

Paired T-Test and CI: Cal, QC-B

Paired T for Cal - QC-B

	N	Mean	StDev	SE Mean
Cal	30	3.25725	0.00059	0.00011
QC-B	30	3.25725	0.00058	0.00011
Difference	30	0.000007	0.000064	0.000012

95% CI for mean difference: (-0.000017, 0.000031)

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความคลาดเคลื่อนเปรียบเทียบสำหรับการวัดระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B โดยการทดสอบแบบ Paired t เมื่อพิจารณาค่า P value = 0.573 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าวิธีการวัดระหว่างพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดกับพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ B ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

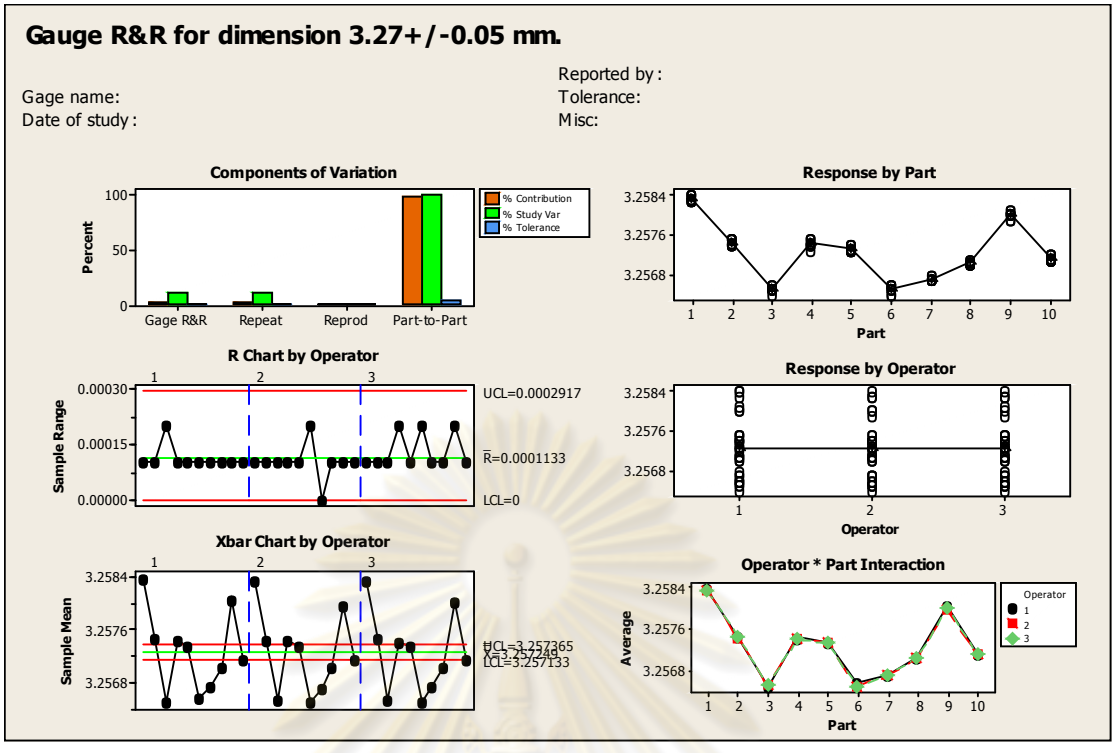
2.) การประเมินผลค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัด (Gage Repeatability and Reproducibility)

จากการวัดชิ้นงานหลังจากประกอบบอล 10 ชิ้น ซ้ำ 3 ครั้งโดยพนักงาน 3 คน แสดงข้อมูลดังตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 ระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ที่วัดโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดและพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพกะ A และ B

Date :	29-Sep-10											
Product :	Latch			Gage/Tester :	Zip Smart Scope 2			Upper Spec Limit :	3.3200			
Part No :	GZ8063V1			Gage No :	SM-0511-003			Lower Spec Limit :	3.2200			
Characteristic :	Ball Height			Gage Type :	Non-contact			Spec. Tol. :	0.1000			
								(For one-sided limit, choose reasonable second limit based on expected observations.)				
Operator	Mr. Pramest R. (Cal)				Ms. Saowalak K. (A)				Ms. Napat N. (B)			
Part #	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range	1st trial	2nd trial	3rd trial	Range
1	3.2583	3.2584	3.2584	0.00010	3.2584	3.2583	3.2583	0.00010	3.2583	3.2583	3.2584	0.00010
2	3.2575	3.2574	3.2575	0.00010	3.2574	3.2574	3.2575	0.00010	3.2575	3.2574	3.2575	0.00010
3	3.2564	3.2566	3.2565	0.00020	3.2565	3.2565	3.2566	0.00010	3.2565	3.2565	3.2566	0.00010
4	3.2574	3.2574	3.2575	0.00010	3.2574	3.2575	3.2574	0.00010	3.2573	3.2574	3.2575	0.00020
5	3.2574	3.2573	3.2573	0.00010	3.2573	3.2574	3.2573	0.00010	3.2574	3.2573	3.2573	0.00010
6	3.2565	3.2566	3.2566	0.00010	3.2564	3.2565	3.2566	0.00020	3.2564	3.2565	3.2566	0.00020
7	3.2568	3.2567	3.2567	0.00010	3.2567	3.2567	3.2567	0.00000	3.2567	3.2567	3.2568	0.00010
8	3.2571	3.2570	3.2570	0.00010	3.2571	3.2570	3.2570	0.00010	3.2571	3.2570	3.2570	0.00010
9	3.2580	3.2581	3.2580	0.00010	3.2579	3.2580	3.2580	0.00010	3.2579	3.2580	3.2581	0.00020
10	3.2571	3.2571	3.2572	0.00010	3.2571	3.2572	3.2571	0.00010	3.2571	3.2571	3.2572	0.00010
Total	32.573	32.573	32.573	0.00110	32.572	32.573	32.573	0.00100	32.572	32.572	32.573	0.00130
	Sum	97.7178	Ra	**0.00011**	Sum	97.7172	Rb	**1E-04**	Sum	97.7174	Rc	**0.00013**
			Xa	**3.25726**			Xb	**3.25724**			Xc	**3.25725**
			Ravg =	**0.00011**			**Xavg =**	**3.25725**			**Xdiff =**	**0.00002**

จากผลการวิเคราะห์ระบบการวัดระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบของพนักงานทั้ง 3 คนโดยการวัดชิ้นงานซ้ำ 3 ครั้ง สามารถวิเคราะห์ผลจากโปรแกรม Minitab ได้ดังรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-3 ผลลัพธ์ความสามารถของระบบการวัดระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0.0000291	0.0000032	2850.48	0.000
Operator	2	0.0000000	0.0000000	2.74	0.092
Part * Operator	18	0.0000000	0.0000000	0.26	0.999
Repeatability	60	0.0000003	0.0000000		
Total	89	0.0000294			

Alpha to remove interaction term = 0.05

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	9	0.0000291	0.0000032	900.468	0.000
Operator	2	0.0000000	0.0000000	0.865	0.425
Repeatability	78	0.0000003	0.0000000		
Total	89	0.0000294			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000000	0.99
Repeatability	0.0000000	0.99
Reproducibility	0.0000000	0.00
Operator	0.0000000	0.00
Part-To-Part	0.0000004	99.01
Total Variation	0.0000004	100.00

Process tolerance = 0.1

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0000600	0.0003598	9.95	0.36
Repeatability	0.0000600	0.0003598	9.95	0.36
Reproducibility	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Operator	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.0005994	0.0035967	99.50	3.60
Total Variation	0.0006024	0.0036146	100.00	3.61

Number of Distinct Categories = 14

สามารถวิเคราะห์ระบบการวัดโดยวิธีการ ANOVA ได้ดังนี้

1. จากแผนภูมิ R Chart by Operator พบว่าระบบการวัดมีคุณสมบัติด้านการแยกความแตกต่างได้เพียง 3 ค่า และพบว่าค่าพิสัยอยู่ในพิกัดควบคุมแสดงว่าระบบการวัดมีความสม่ำเสมอ
2. จากแผนภูมิควบคุม X bar Charts by Operator พบว่ารูปแบบของจุดที่ plot ระหว่างผู้วัด 3 คนมีรูปแบบเดียวกันแสดงถึงค่าความแตกต่างในการวัดระหว่างผู้วัดทั้ง 3 คนที่น้อย และมีค่า P value เท่ากับ 0.092 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าผู้วัดทั้ง 3 คนให้ค่าการวัดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
3. จากแผนภูมิ Operator*Part Interaction จากกราฟที่แสดงอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัด

และชิ้นงานที่ทำการวัด ซึ่งแสดงถึงค่าวัดที่วัดโดยพนักงานแต่ละคนไม่มีการตัดกัน และมีค่า P value เท่ากับ 0.999 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและชิ้นงานที่ทำการวัด

4. ค่า % contribution แสดงถึงความผันแปรจากสาเหตุต่างๆ ที่ส่งผลต่อความผันแปรโดยรวม ซึ่งจะเป็นความผันแปรที่มีผลจากกระบวนการผลิต 99.01% และจากระบบการวัด 0.99% โดยความผันแปรดังกล่าวนี้มาจากรีพีททะบิลิตี้ 0.99%
5. % Study Var ของ Total gage R&R มีค่าเท่ากับ 9.95% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน 10% (AIAG) แสดงถึงค่าความเที่ยงของระดับการวัดที่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้
6. % Tolerance ของ Total gage R&R มีค่าเท่ากับ 0.36% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่ามาตรฐาน 10% (AIAG) แสดงถึงค่าความเที่ยงที่มาจากการวัดมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับช่วงคลาดเคลื่อนอนุโลมของระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก
7. Number of distinct categories (ndc) = 14 แสดงว่าระบบการวัดสามารถแยกประเภทของข้อมูลวัดได้ออกเป็น 14 ประเภทที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงว่าระบบการวัดสามารถแสดงถึงความผันแปรของกระบวนการได้

สรุปผลจากการทำ Gage R&R (Crossed)

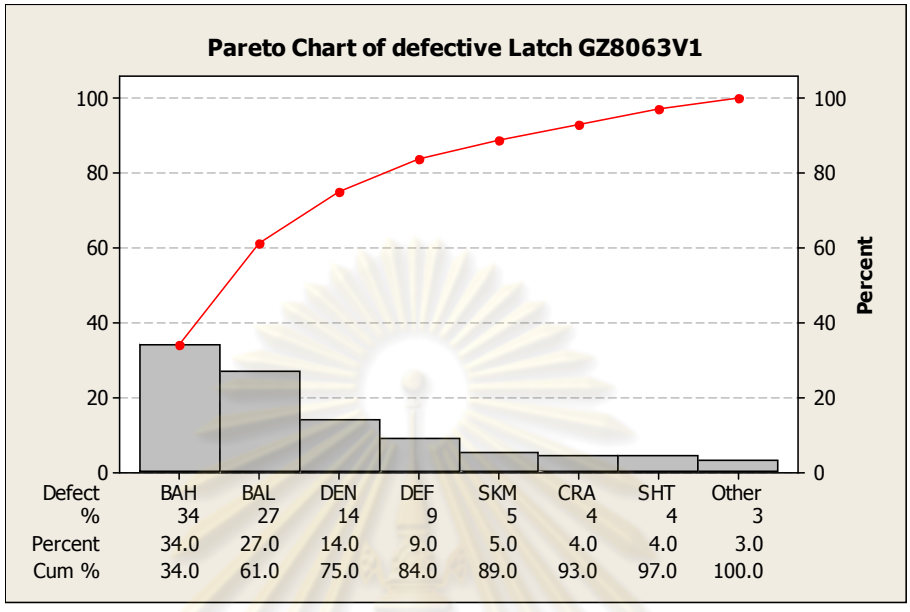
1. % Tolerance (P/T) = 0.36%
2. % Study Var (P/TV) = 9.95%
3. Number of Distinct Categories (NDC) = 14

จากผลการทำ GR&R เทียบกับเกณฑ์การประเมินระบบการวัด พบว่าค่า P/T และ P/TV มีค่าน้อยกว่า 10% และค่า NDC มากกว่า 5 ดังนั้นจึงสามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดนี้ได้

4.3 สภาพปัญหาระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบไม่ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้าในปัจจุบัน

จากการศึกษาข้อมูลและสภาพปัญหาการผลิตที่พบอยู่ในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา โดยการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนการผลิต ต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพ ค่าใช้จ่ายที่สูญเสียเนื่องจากชิ้นงานที่ไม่ได้คุณภาพตามข้อกำหนดของลูกค้า พบว่าผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 มีสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องเรื่องระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบคิดเป็น 61% ของจำนวนของเสียทั้งหมด โดยจะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบสูงกว่าข้อกำหนดของลูกค้า และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้า เมื่อพิจารณาข้อมูลด้านจำนวนของชิ้นงานที่ถูกทำลายเนื่องจากไม่ได้คุณภาพจากจำนวนของเสียแต่ละประเภท พบว่าปัญหาระยะความสูงของบอลเกินหรือต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้าที่ระยะ 3.27 ± 0.05 มิลลิเมตรสูงเป็นอันดับแรกและอันดับที่สอง โดยพบปัญหาระยะความสูงของ

บอลเกินกว่าข้อกำหนด (Ball height) คิดเป็น 34%, ปัญหาระยะความสูงของบอลต่ำกว่าข้อกำหนด (Ball low) คิดเป็น 27% ของจำนวนชิ้นงานที่ต้องถูกทำลายทั้งหมด ดังแผนภาพพาเรโตรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-4 ข้อบกพร่องของชิ้นงานที่ถูกทำลายเนื่องจากไม่ได้คุณภาพ

4.4 การระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable : KPIV) สำหรับปัญหาระยะความสูงของบอลไม่ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า

ในขั้นตอนของการระดมสมองจะทำการวิเคราะห์กระบวนการผลิตทุกกระบวนการที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการฉีดและกระบวนการประกอบ โดยการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) ซึ่งทีมงานจะทำการประเมินค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number : RPN) โดยลักษณะของข้อบกพร่องของกระบวนการนั้นจะพิจารณามาจากปัจจัยระดับความรุนแรงของผลกระทบของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น (Severity : S) โอกาสของสาเหตุที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Occurrence : O) และความสามารถในการตรวจจับสาเหตุของการเกิดปัญหา (Detection : D) เกณฑ์การให้คะแนนของทั้ง 3 ค่า วิเคราะห์จากเกณฑ์ในตารางที่ 2-1 – 2-3 ซึ่งการวิเคราะห์ด้วย FMEA จะทำการวิเคราะห์ทุกกระบวนการที่ทำให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องต่างๆ แล้วจะเจาะจงวิเคราะห์เรื่องระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
1	การประกอบโมล	1.1 การประกอบชิ้นส่วนของโมลผิดตำแหน่ง	1.1.1 เกิดปัญหาเกี่ยวกับรอยครีบบนชิ้นงาน (Flash)	8	a) เมื่อถอดชิ้นส่วนโมลออกแล้วนำมาวางใกล้กัน จึงทำให้มีโอกาสประกอบผิด	1	1. จัดวางตำแหน่งและมีการระบุชื่อของชิ้นส่วนต่างๆ	7	56	-						
		1.2 การประกอบชิ้นส่วนไม่ตรงตำแหน่ง	1.1.2 เกิดปัญหาชิ้นงานผิดลักษณะ เช่น รูเยื้อง	8	a) การประกอบ Insert pin ผิด cavity	7	1. จัดวางตำแหน่งและมีการระบุชื่อของชิ้นส่วนต่างๆ	7	392	1. ลำดับการประกอบโมลใหม่ โดยประกอบให้เสร็จทีละ cavity	พนักงานประกอบโมล	30 ก.ย. 2553	8	1	7	56
				8	b) ไม่ได้ทดสอบตำแหน่งของ Insert pin หลังจากประกอบ	7	1. นำโมลขึ้นไปประกอบกับเครื่องฉีดและตรวจสอบรูชิ้นงาน	7	392	1. ทดสอบตำแหน่งของ Insert pin หลังจากประกอบด้วยสีเสน 2. ระบุใน Check sheet และเพิ่มขั้นตอนของการปฏิบัติงานตาม Work Instruction	พนักงานประกอบโมล	30 ก.ย. 2553	8	1	7	56
		1.3 ขนาดของโมลแต่ละโมล แต่ละ cavity แตกต่างกันเล็กน้อย	1.1.3 ขนาดของชิ้นงานแตกต่างกันเล็กน้อย	2	a) ขั้นตอนการออกแบบทำให้มีขนาดที่แตกต่างกันเล็กน้อย	1	1. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบขนาดของชิ้นงาน	1	2	-						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
2	ขั้นตอนการอบวัสดุ RTP	2.1 Hopper ที่ใช้อบวัสดุไม่ได้ทำความสะอาด	2.1.1 เกิดปัญหาเกี่ยวกับสิ่งสกปรกเกาะติดบนผิวชิ้นงานหลังจากกระบวนการฉีด (Contamination)	2	a) พนักงานไม่ปฏิบัติตามเอกสารการปฏิบัติงาน	2	1. ระบุใน check sheet และควบคุมการปฏิบัติงานโดยหัวหน้างาน	3	12	-						
		2.2 ใช้อุณหภูมิในการอบมากกว่าหรือน้อยกว่าอุณหภูมิที่กำหนด	2.2.1 เกิดปัญหาชิ้นงานหดตัว (Shrink mark)	2	a) Technician ไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดในเอกสารการปฏิบัติงาน	2	1. เพิ่มการตรวจสอบ injection condition ทุกครั้งที่มีการขึ้นโมลใหม่โดยพนังงานควบคุมคุณภาพ	3	12	-						
		2.3 เวลาที่อบมากกว่าหรือน้อยกว่าช่วงเวลาที่กำหนด	2.3.1 เกิดปัญหาชิ้นงานหดตัว (Shrink mark)	2	a) Technician ไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดในเอกสาร (work instrction)	2	1. เพิ่มการตรวจสอบ injection condition ทุกครั้งที่มีการขึ้นโมลใหม่โดยพนักงานควบคุมคุณภาพ	3	12	-						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
3	กระบวนการฉีดพลาสติก	3.1 เวลาที่ฉีดไม่ตรงตามเงื่อนไขของการฉีด	3.1.1 ชิ้นงานมีขนาดใหญ่หรือเล็กกว่าข้อกำหนดของลูกค้า (Dimension out of spec)	8	a) เวลาในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	3	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	4	96	-						
			3.1.2 เกิดปัญหาชิ้นงานหดตัว (Shrink mark)	5	a) เวลาในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	2	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	70	-						
			3.1.3 เกิดปัญหาชิ้นงานบิดเบี้ยว (Bending)	8	a) เวลาในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	1	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	56	-						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
			3.1.4 เกิดปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มโมล (Short shot)	8	a) เวลาในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	2	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	112	-						
		3.2 อุณหภูมิของโมลและบาร์เรลไม่ตรงตามเงื่อนไขของการฉีด	3.2.1 ชิ้นงานมีขนาดใหญ่หรือเล็กกว่าข้อกำหนดของลูกค้า (Dimension out of spec)	8	a) อุณหภูมิของโมลและบาร์เรลมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	3	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	4	96	-						
			3.2.2 ชิ้นงานเกิดรอยการไหลของพลาสติก (Flow mark)	3	a) อุณหภูมิของโมลและบาร์เรลมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	1	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	21	-						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
			3.2.3 เกิดปัญหาชิ้นงานหดตัว (Shrink mark)	3	a) อุณหภูมิของโมลและบาร์เรลมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	1	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	21	-						
			3.2.4 เกิดสิ่งสกปรกปนกับผิวของชิ้นงาน (Contamination)	5	a) อุณหภูมิของโมลและบาร์เรลมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	2	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	70	-						
			3.2.5 สีของชิ้นงานเปลี่ยนไปจากปกติ (Discolor)	4	a) อุณหภูมิของโมลและบาร์เรลมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	1	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	4	28	-						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
			3.2.6 เกิดปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มโมล (Short shot)	8	a) อุณหภูมิของโมลและบาร์เรลมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	2	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	112	-						
		3.3 แรงดันที่ฉีดไม่ตรงตามเงื่อนไขของการฉีด	3.3.1 ชิ้นงานมีขนาดใหญ่หรือเล็กกว่าข้อกำหนดของลูกค้า (Dimension out of spec)	8	a) แรงดันในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขการฉีด	3	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	4	96	-						
			3.3.2 เกิดปัญหาเกี่ยวกับรอบครีบบนชิ้นงาน (Flash)	4	a) แรงดันในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขการฉีด	1	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	28	-						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
			3.3.3 ชิ้นงานเกิดรอยการไหลของพลาสติก (Flow mark)	3	a) แรงดันในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขการฉีด	1	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	21	-						
			3.3.4 เกิดปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มโมล (Short shot)	8	a) แรงดันในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขการฉีด	2	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	112	-						
			3.3.5 เกิดปัญหาชิ้นงานโก่ง (Bent)	8	a) แรงดันในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขการฉีด	1	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	56	-						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
			3.3.6 เกิดปัญหาชิ้นงานหดตัว (Shrink mark)	2	a) แรงดันในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขการฉีด	1	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	56	-						
		3.4 ความเร็วในการฉีดไม่ตรงตามเงื่อนไข	3.4.1 ชิ้นงานมีขนาดใหญ่หรือเล็กกว่าข้อกำหนดของลูกค้า (Dimension out of spec)	8	a) ความเร็วในการฉีดมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	3	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	4	96	-						
			3.4.2 เกิดปัญหาเกี่ยวกับรอบครีบบนชิ้นงาน (Flash)	4	a) ความเร็วในการฉีดมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	1	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	28	-						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
			3.4.3 ชิ้นงานเกิดรอยการไหลของพลาสติก (Flow mark)	3	a) ความเร็วในการฉีดมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	1	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	21	-						
			3.4.4 เกิดปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มโมล (Short shot)	8	a) ความเร็วในการฉีดมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	2	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	112	-						
			3.4.5 เกิดปัญหาชิ้นงานบิดเบี้ยว (Bending)	8	a) ความเร็วในการฉีดมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	1	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	56	-						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
			3.4.6 เกิดปัญหาชิ้นงานหดตัว (Shrink mark)	2	a) ความเร็วในการฉีดมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	1	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	56	-						
		3.5 ตำแหน่งของสกรูไม่ตรงตามเงื่อนไขของการฉีด	3.5.1 ชิ้นงานมีขนาดใหญ่หรือเล็กกว่าข้อกำหนดของลูกค้า (Dimension out of spec)	8	a) ตำแหน่งของสกรูมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	3	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	4	96	-						
			3.5.2 เกิดปัญหาชิ้นงานฉีดไม่เต็มโมล (Short shot)	8	a) ตำแหน่งของสกรูมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	2	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	112	-						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
			3.5.3 เกิดปัญหาชิ้นงานบิดเบี้ยว (Bending)	8	a) ตำแหน่งของสกรูมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	1	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	56	-						
			3.5.4 เกิดปัญหาเกี่ยวกับรอบครีบบนชิ้นงาน (Flash)	4	a) ตำแหน่งของสกรูมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	1	1. เพิ่ม check sheet เพื่อ check ก่อนทำการผลิตและทุก 12 ชั่วโมง 2. พนักงานควบคุมคุณภาพสุ่มตรวจสอบ check sheet	7	28	-						
		3.6 โมลมีความสึกหรอ	3.6.1 ชิ้นงานมีขนาดใหญ่หรือเล็กกว่าข้อกำหนดของลูกค้า (Dimension out of spec)	8	a) อายุของการใช้งานเกินจากข้อกำหนด	3	1. ทำการจดบันทึกจำนวน shot การฉีดในทุกท้ายกะ 2. ตั้งจำนวน shot ของการฉีดที่ 25% ของจำนวน shot ที่เหลือ	4	96	-						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
			3.6.2 เกิดปัญหาเกี่ยวกับรอบครีบบนชิ้นงาน (Flash)	4	a) อายุของการใช้งานเกินจากข้อกำหนด	1	1. ทำการจดบันทึกจำนวน shot การฉีดในทุกท้ายกะ 2. ตั้งจำนวน shot ของการฉีดที่ 25% ของจำนวน shot ที่เหลือ	7	28	-						
			3.6.3 เกิดปัญหาเกี่ยวกับรอยขีดข่วนบนชิ้นงาน (Scratch)	4	a) อายุของการใช้งานเกินจากข้อกำหนด	1	1. ทำการจดบันทึกจำนวน shot การฉีดในทุกท้ายกะ 2. ตั้งจำนวน shot ของการฉีดที่ 25% ของจำนวน shot ที่เหลือ	7	28	-						
4	การตรวจสอบ Inside diameter ของชิ้นงานด้วย Pin gauge	4.1 ใช้ Pin gauge ผิดขนาด	4.1.1 ไม่ทราบขนาด Inside diameter ที่แท้จริง	8	a) พนักงานไม่ได้ตรวจสอบ Inside diameter ด้วย Pin gauge ทุกชิ้นงาน	1	1. หัวหน้างานฝ่ายผลิตตรวจสอบการลง check sheet 2. พนักงานควบคุมคุณภาพทำการสุ่มตรวจ check sheet	5	40	-						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
5	การตรวจสอบ 100% สำหรับชิ้นงานหลังจากกระบวนการฉีด	5.1 การเข้าใจข้อกำหนดของต่าง ๆ ของชิ้นงานผิด	5.1.1 พนักงานตัดสินใจในการตรวจสอบชิ้นงานผิด	6	a) พนักงานไม่ได้ตรวจสอบรูของชิ้นงานด้วยตาเปล่าทุกชิ้น	1	1. พนักงานฝ่ายอบรมทำการทดสอบและอบรมพนักงานใหม่ทุก 6 เดือน	7	42	-						
				6	b) ชิ้นงานรูเยื้องมีความก้ำกึ่งพิจารณาด้วยตาเปล่ายาก			7	42	-						
6	กระบวนการประกอบบอลเข้าไปในกระบอกของชิ้นงานหลังจากกระบวนการฉีด	6.1 ไม่ได้ทำการประกอบบอลทุกชิ้น	6.1.1 ชิ้นงานไม่มีบอล	8	a) บอลที่ต้องเติมในเครื่องหมด ทำให้ไม่มีบอลในการประกอบ	1	1. พนักงานที่ทำหน้าที่ประกอบต้องตรวจสอบชิ้นงานผ่าน ๆ ก่อนส่งเพื่อให้แน่ใจว่าชิ้นงานทุกชิ้นมีบอลก่อนจะส่งชิ้นงานไปยังขั้นต่อไป	8	64	-						
				8	b) บอลไม่ไหลลงมาจากกระบอกเพื่อมาตกในกระบอกชิ้นงานพลาสติก	1		8	64	-						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
		6.2 ตำแหน่งของ Pin ที่กดบอลทั้ง 8 ตำแหน่ง มีระยะการกดไม่เท่ากัน	6.2.1 ความสูงของบอลแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน	8	a) การเลื่อนเข้าออกของเครื่องมีส่วนทำให้ระยะ pin แต่ละตำแหน่งคลาดเคลื่อน	6	1. พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทำการวัดความสูงของบอลโดยการสุ่มทุกๆกะ	10	480	1. เพิ่มเวลาในการเลื่อนให้ช้าลง 2. เสริมอุปกรณ์ป้องกันการกระแทก 3. เพิ่มอุปกรณ์ในการล็อคตำแหน่งของการ Sitting ระยะ	พนักงานช่างเทคนิค	30 พ.ย. 2553	8	2	4	64
				8	a) ระยะการกดของ Pin ไม่เหมาะสม	6	1. พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทำการวัดความสูงของบอลโดยการสุ่มทุกๆกะ	10	480	1. ทดลองปรับระยะของ pin กดและเก็บข้อมูลระยะความสูงของบอลที่เหมาะสมที่สุดของการวัด	พนักงานช่างเทคนิค	30 พ.ย. 2553	8	2	4	64
		6.3 ตำแหน่งของ supporting บน jig ในแต่ละตำแหน่งมีผิวหน้าไม่เรียบ	6.3.1 ความสูงของบอลแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน	8	a) การสึกหรอจากการรับแรงกดบ่อยๆ	8	1. พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทำการวัดความสูงของบอลโดยการสุ่มทุกๆกะ	8	512	1. กำหนดช่วงเวลาในการเปลี่ยน supporting ที่เหมาะสม 2. เพิ่มการสอบเทียบความสูงของ supporting บน jig ทุกเดือน	พนักงานประกอบบอล	30 พ.ย. 2553	8	1	7	56

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
7	การตรวจสอบ 100% สำหรับชิ้นงานหลังจากประกอบบอลและตรวจสอบชิ้นงานหลังจากประกอบด้วยเครื่อง Fool proof	7.1 การเข้าใจข้อกำหนดของต่าง ๆ ของชิ้นงานผิด	7.1.1 ตัดสินใจในการตรวจสอบชิ้นงานผิด	6	a) พนักงานจำข้อกำหนดในการตรวจสอบ (Appearance inspection) ไม่ได้	1	1. พนักงานฝ่ายอบรมทำการทดสอบและอบรมพนักงานใหม่ทุก 6 เดือน	7	42	-						
				6	b) ชิ้นงานมีความก้ำกึ่งตัดสินใจยาก	1		7	42	-						
		7.2 เครื่อง Fool proof เกิดข้อผิดพลาด (Program error)	7.2.1 เครื่องไม่สามารถตรวจสอบชิ้นงานที่ไม่มีบอล แต่จับชิ้นงานใส่ถาดเพื่อไปสู่กระบวนการถัดไป	8	a) เกิดข้อผิดพลาดจากโปรแกรมของเครื่อง	1	1. ตรวจสอบโดยพนักงานที่ทำหน้าที่ตรวจสอบชิ้นงานหลังจากกระบวนการประกอบ	1	8	-						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effects Analysis) (ต่อ)

Process No.	Process Function	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	S	Potential Causes of Failure	O	Current Controls	D	RPN	Recommened Action	Person in charge	Due Date	Action Result			
													S	O	D	RPN
			7.2.2 เครื่องตรวจสอบชิ้นงานที่มีบอลแต่จับชิ้นงานใส่กล่อง NG	8	a) เกิดข้อผิดพลาดจากโปรแกรมของเครื่อง	1	1. ตรวจสอบโดยพนักงานที่ทำหน้าที่ตรวจสอบชิ้นงานหลังจากกระบวนการประกอบ	1	8	-						
8	กระบวนการล้างชิ้นงาน	8.1 ค่า DI ของน้ำไม่ตรงตามเงื่อนไขของการล้าง	8.1.1 ไม่สามารถชำระสิ่งสกปรกบนชิ้นงานเพียงพอ	6	a) ค่า Resistivity ของน้ำเกินเงื่อนไข ที่กำหนด	1	1. ตรวจสอบได้จากหน้าจอแสดงผลและการลงบันทึก	2	12	-						
		8.2 เวลาในการล้างงานไม่ตรงตามเงื่อนไขของการล้าง	8.2.1 ไม่สามารถชำระสิ่งสกปรกบนชิ้นงานเพียงพอ	6	a) พนักงานตั้งเวลาผิดพลาด	1	1. ติดตั้ง timer	2	12	-						
		8.3 ความถี่ของอุลตร้าโซ-นิคไม่ตรงตามเงื่อนไขของการล้าง	8.3.1 ไม่สามารถชำระสิ่งสกปรกบนชิ้นงานเพียงพอ	6	a) พนักงานตั้งค่าผิดพลาด	1	1. ตรวจสอบได้จากหน้าจอแสดงผลและการลงบันทึก	2	12	-						
		8.4 อุณหภูมิในขณะล้างไม่ตรงตามเงื่อนไขของการล้าง	8.4.1 ไม่สามารถชำระสิ่งสกปรกบนชิ้นงานเพียงพอ	6	a) พนักงานตั้งค่าผิดพลาด	1	1. ตรวจสอบได้จากหน้าจอแสดงผลและการลงบันทึก	2	12	-						

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-11 วิธีการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาคำนวณโอกาสการเกิดขึ้นของสาเหตุ (Occurrence)

สาเหตุ	วิธีการเก็บข้อมูล	จำนวนที่ตรวจสอบ	จำนวนที่พบข้อบกพร่อง	PPM	คะแนน (O)
เมื่อถอดชิ้นส่วนโมลออกแล้วนำมาวางใกล้กัน จึงทำให้มีโอกาสประกอบผิด	บันทึกจำนวนครั้งที่ประกอบผิด	4 ครั้งต่อเดือน	0 ครั้ง	<10	1
การประกอบ Insert pin ผิด cavity	บันทึกจำนวนครั้งที่ประกอบผิด	200 ชิ้น	2 ชิ้น	10,000	7
ไม่ได้ทดสอบตำแหน่งของ Insert pin หลังจากประกอบ	บันทึกจำนวนครั้งที่ไม่ได้ทดสอบ	200 ชิ้น	2 ชิ้น	10,000	7
ขั้นตอนการออกแบบทำให้มีขนาดที่แตกต่างกันเล็กน้อย	บันทึกจำนวนความแตกต่าง	100 โมล	<1 โมล	<10	1
พนักงานไม่ปฏิบัติตามเอกสารการปฏิบัติงาน	หัวหน้างานบันทึกจำนวนครั้งที่พนักงานปฏิบัติงานผิด	60 ครั้งต่อเดือน	0 ครั้ง	100	1
เวลาในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	บันทึกจำนวนครั้งที่เวลาในการฉีดเกินจากข้อกำหนด	60 ครั้งต่อเดือน	0 ครั้ง	100	1
อุณหภูมิของโมลและบาร์เรลมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	บันทึกจำนวนครั้งที่อุณหภูมิของโมลและบาร์เรลเกินจากข้อกำหนด	60 ครั้งต่อเดือน	0 ครั้ง	100	1
แรงดันในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขการฉีด	บันทึกจำนวนครั้งที่แรงดันในการฉีดเกินจากข้อกำหนด	60 ครั้งต่อเดือน	0 ครั้ง	100	1
ความเร็วในการฉีดมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	บันทึกจำนวนครั้งที่ความเร็วในการฉีดเกินจากข้อกำหนด	60 ครั้งต่อเดือน	0 ครั้ง	100	1

ตารางที่ 4-11 วิธีการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาคำนวณโอกาสการเกิดขึ้นของสาเหตุ (Occurrence) (ต่อ)

สาเหตุ	วิธีการเก็บข้อมูล	จำนวนที่ตรวจสอบ	จำนวนที่พบข้อบกพร่อง	PPM	คะแนน (O)
ตำแหน่งของสกรูมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	บันทึกจำนวนครั้งที่ตำแหน่งของสกรูเกินจากข้อกำหนด	60 ครั้งต่อเดือน	0 ครั้ง	100	1
อายุของการใช้งานเกินจากข้อกำหนด	บันทึกจำนวนช๊อตการฉีดในทุกท้ายกะ	588,000 ช๊อตต่อเดือน	20 ช๊อต	340	3
พนักงานไม่ได้ตรวจสอบ Inside diameter ด้วย Pin gauge ทุกชิ้นงาน	ตรวจสอบจากบันทึกการทำงาน	1,000,000 ชิ้นต่อเดือน	<1 ชิ้น	<10	1
พนักงานไม่ได้ตรวจสอบรูของชิ้นงานด้วยตาเปล่าทุกชิ้น	หัวหน้างานสุ่มตรวจชิ้นงานหลังจากพนักงานทำการตรวจสอบ	1,000,000 ชิ้นต่อเดือน	<1 ชิ้น	<10	1
ชิ้นงานรูเยื้องมีความก้ำกึ่งพิจารณาด้วยตาเปล่ายาก	หัวหน้างานสุ่มตรวจชิ้นงานหลังจากพนักงานทำการตรวจสอบ	1,000,000 ชิ้นต่อเดือน	<1 ชิ้น	<10	1
บอลที่ต้องเติมในเครื่องหมด ทำให้ไม่มีบอลในการประกอบ	บันทึกจำนวนครั้งที่บอลหมด	1,000,000 ชิ้นต่อเดือน	0 ครั้ง	<10	1
บอลไม่ไหลลงมาจากกระบอกเพื่อมาตกในกระบอกชิ้นงานพลาสติก	บันทึกจำนวนครั้งที่บอลติดในเครื่องประกอบ	1,000,000 ชิ้นต่อเดือน	0 ครั้ง	<10	1
การเลื่อนเข้าออกของเครื่องทำให้ระยะพินคลาดเคลื่อน	บันทึกระยะพินกด	30 ครั้งต่อเดือน	1 ครั้ง	5,000	6

ตารางที่ 4-11 วิธีการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาคำนวณโอกาสการเกิดขึ้นของสาเหตุ (Occurrence) (ต่อ)

สาเหตุ	วิธีการเก็บข้อมูล	จำนวนที่ตรวจสอบ	จำนวนที่พบข้อบกพร่อง	PPM	คะแนน (O)
ระยะการกดของพินไม่เหมาะสม	บันทึกระยะพินกด	30 ครั้งต่อเดือน	1 ครั้ง	5,000	6
การสึกหรอจากการรับแรงกดบ่อยๆ	บันทึกจำนวนครั้งที่สึกหรอ	30 ครั้งต่อเดือน	6 ครั้ง	20,000	8
พนักงานจำข้อกำหนดในการตรวจสอบไม่ได้	หัวหน้างานสุ่มตรวจชิ้นงานหลังจากพนักงานทำการตรวจสอบ	1,000,000 ชิ้นต่อเดือน	0 ครั้ง	<10	1
ชิ้นงานมีความก้ำกึ่งตัดสินใจยาก	หัวหน้างานสุ่มตรวจชิ้นงานหลังจากพนักงานทำการตรวจสอบ	1,000,000 ชิ้นต่อเดือน	0 ครั้ง	<10	1
เกิดข้อผิดพลาดจากโปรแกรมของเครื่อง	บันทึกจำนวนครั้งที่โปรแกรมผิดพลาด	30 ครั้งต่อเดือน	0 ครั้ง	<10	1
ค่า Resistivity ของน้ำเกินเงื่อนไขที่กำหนด	บันทึกจำนวนครั้งที่ค่า Resistivity ของน้ำเกินเงื่อนไขที่กำหนด	30 ครั้งต่อเดือน	0 ครั้ง	<10	1
พนักงานตั้งเวลาผิดพลาด	บันทึกจำนวนครั้งที่พนักงานตั้งเวลาผิดพลาด	30 ครั้งต่อเดือน	0 ครั้ง	<10	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-12 แนวโน้มสาเหตุของปัญหาโดยเรียงลำดับจากค่า RPN มากไปน้อย

ลำดับ	หัวข้อ	แนวโน้มสาเหตุของปัญหา	ค่า RPN
1	6.3.1a	การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานจากการรับแรงกดบ่อยๆ	512
2	6.2.1a	การเลื่อนเข้าออกของเครื่องมีส่วนทำให้ระยะพินคลาดเคลื่อน	480
3	6.2.1b	ระยะการกดของพินไม่เหมาะสม	480
4	1.1.2a	การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงานผิดคาวิตี้	392
5	1.1.2b	ไม่ได้ทดสอบตำแหน่งของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงานหลังจากประกอบ	392
6	3.1.4a	เวลาในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไข	112
7	3.2.6a	อุณหภูมิของโมลและบาร์เรลมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	112
8	3.3.4a	แรงดันในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	112
9	3.4.4a	ความเร็วในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	112
10	3.5.2a	ตำแหน่งของสกรูมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	112
11	3.6.4a	อายุการใช้งานของโมลเกินจากข้อกำหนด	112
12	3.1.1a	เวลาในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไข	96
13	3.2.1a	อุณหภูมิของโมลและบาร์เรลมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	96
14	3.3.1a	แรงดันในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	96
15	3.4.1a	ความเร็วในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	96
16	3.5.1a	ตำแหน่งของสกรูมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	96
17	3.6.1a	อายุการใช้งานของโมลเกินจากข้อกำหนด	96
18	3.1.2a	เวลาในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไข	70
19	3.2.4a	อุณหภูมิของโมลและบาร์เรลมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	70
20	6.1.1a	บอลที่ต้องเติมในเครื่องหมด ทำให้ไม่มีบอลในการประกอบ	64
21	6.1.1b	บอลไม่ไหลลงมาจากกระบอกเพื่อมาตกในกระบอกชิ้นงาน	64
22	1.1.1a	เมื่อถอดชิ้นส่วนโมลออกแล้วนำมาวางใกล้กัน จึงทำให้มีโอกาสประกอบผิด	56
23	3.1.3a	เวลาในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไข	56
24	3.3.5a	แรงดันในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	56

ตารางที่ 4-12 แนวโน้มสาเหตุของปัญหาและค่า RPN (ต่อ)

ลำดับ	หัวข้อ	แนวโน้มสาเหตุของปัญหา	ค่า RPN
25	3.3.6a	แรงดันในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	56
26	3.4.5a	ความเร็วในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	56
27	3.4.6a	ความเร็วในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	56
28	3.5.3a	ตำแหน่งของสกรูมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	56
29	5.1.1a	พนักงานจำข้อกำหนดในการตรวจสอบไม่ได้	42
30	5.1.1b	ชิ้นงานมีความก้ำกึ่งตัดสินใจยาก	42
31	7.1.1a	พนักงานจำข้อกำหนดในการตรวจสอบไม่ได้	42
32	7.1.1b	ชิ้นงานมีความก้ำกึ่งตัดสินใจยาก	42
33	4.1.1a	พนักงานไม่ได้ตรวจสอบขนาดของรูชิ้นงานด้วยพินเกจ	40
34	3.2.5a	อุณหภูมิของโมลและบาร์เรลมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	28
35	3.3.2a	แรงดันในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	28
36	3.4.2a	ความเร็วในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	28
37	3.5.4a	ตำแหน่งของสกรูมากหรือน้อยกว่าเงื่อนไขของการฉีด	28
38	3.6.2a	อายุการใช้งานของโมลเกินจากข้อกำหนด	28
39	3.6.3a	อายุการใช้งานของโมลเกินจากข้อกำหนด	28
40	3.2.2a	อุณหภูมิของโมลและบาร์เรลมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	21
41	3.2.3a	อุณหภูมิของโมลและบาร์เรลมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	21
42	3.3.3a	แรงดันในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	21
43	3.4.3a	ความเร็วในการฉีดมากหรือน้อยเกินไปจากเงื่อนไขของการฉีด	21
44	2.1.1a	พนักงานไม่ปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงาน	12
45	2.2.1a	พนักงานช่างเทคนิคไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดในเอกสาร	12
46	2.3.1a	พนักงานช่างเทคนิคไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดในเอกสาร	12
47	8.1.1a	ค่าความต้านทานของน้ำเกินเงื่อนไขที่กำหนด	12
48	8.2.1a	พนักงานตั้งเวลาผิดพลาด	12
49	8.3.1a	พนักงานตั้งค่าผิดพลาด	12

ตารางที่ 4-12 แนวโน้มสาเหตุของปัญหาและค่า RPN (ต่อ)

ลำดับ	หัวข้อ	แนวโน้มสาเหตุของปัญหา	ค่า RPN
50	8.4.1a	พนักงานตั้งค่าผิดพลาด	12
51	7.2.1a	เกิดข้อผิดพลาดจากโปรแกรมของเครื่อง	8
52	7.2.2b	เกิดข้อผิดพลาดจากโปรแกรมของเครื่อง	8
53	1.1.3a	ขั้นตอนการออกแบบทำให้ชิ้นงานมีขนาดที่แตกต่างกันเล็กน้อย	2

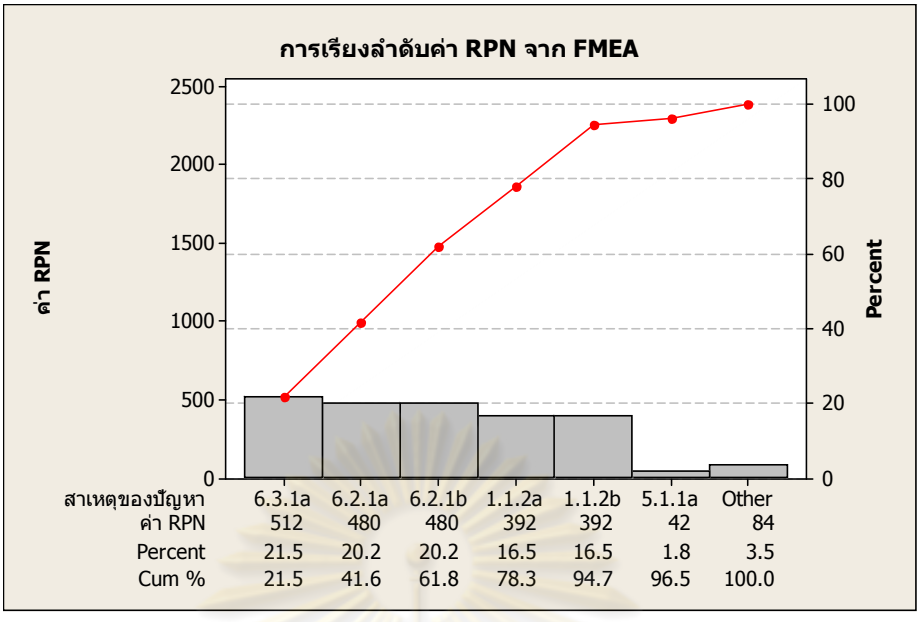
จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบทุกกระบวนการของการผลิตตัวล็อคหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 สามารถคัดกรองเฉพาะปัจจัยที่มีผลต่อระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ซึ่งกระบวนการที่จะเกี่ยวข้องโดยตรงคือ

- กระบวนการที่ 1 การประกอบโมล
- กระบวนการที่ 4 การตรวจสอบขนาดรูของชิ้นด้วยพินเกจ
- กระบวนการที่ 5 การตรวจสอบ 100% สำหรับชิ้นงานหลังจากกระบวนการฉีด
- กระบวนการที่ 6 กระบวนการประกอบบอลเข้าไปในกระบอกของชิ้นงานหลังจากกระบวนการฉีด

เมื่อคัดกรองปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาที่ต้องการปรับปรุง สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 ปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร)

ลำดับ	หัวข้อ	แนวโน้มสาเหตุของปัญหา	ค่า RPN
1	6.3.1a	การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานจากการรับแรงกดบ่อยๆ	512
2	6.2.1a	การเลื่อนเข้าออกของเครื่องมีส่วนทำให้ระยะพินคลาดเคลื่อน	480
3	6.2.1b	ระยะการกดของพินไม่เหมาะสม	480
4	1.1.2a	การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงานผิดคาวิตี้	392
5	1.1.2b	ไม่ได้ทดสอบตำแหน่งของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงานหลังจากประกอบ	392
6	5.1.1a	พนักงานไม่ได้ตรวจสอบรูของชิ้นงานด้วยตาเปล่าทุกชิ้น	42
7	5.1.1b	ชิ้นงานรูเยื้องมีความก้ำกึ่งพิจารณาด้วยตาเปล่ายาก	42
8	4.1.1a	พนักงานไม่ได้ตรวจสอบขนาดรูด้วยพินเกจทุกชิ้นงาน	40
9	1.1.3a	ขั้นตอนการออกแบบทำให้ชิ้นงานมีขนาดที่แตกต่างกันเล็กน้อย	2



รูปที่ 4-5 กราฟเรียงลำดับค่า RPN จากการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติกและระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ

จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ โดยคัดกรองเฉพาะปัจจัยที่มีแนวโน้มผลกระทบต่อระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) และทำการจัดเรียงแนวโน้มสาเหตุของปัญหา (Potential Cause of Failure) หรือพิจารณาจากคะแนน RPN ที่ได้จากมากไปน้อย จากรูปที่ 4-9 พบว่า 5 ปัจจัยแรกมีคะแนนสูงกว่า 125 คะแนน มีคะแนนรวมเท่ากับ 2,256 คะแนน จากคะแนนรวมทั้งหมด 2,382 คะแนน ซึ่งคิดเป็น 94.71 เปอร์เซนต์ของคะแนนทั้งหมด ดังนั้นจึงเลือก 5 ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยนำเข้าสำหรับการวิเคราะห์และทำการปรับปรุงแก้ไข

4.5 สรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

- การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลผันแปร

ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ระบบการวัดจะวิเคราะห์การวัดชิ้นงาน 2 ประเภท คือ ชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากกระบวนการฉีด เพื่อวิเคราะห์ระบบการวัดระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) โดยการวัดชิ้นงานจำนวน 10 ตัว ใช้พนักงาน 3 คน และทำการวัดชิ้นงานซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งจะต้องนำชิ้นงานออกมาจาก jig และทำการใส่ชิ้นงานลงใน jig ใหม่ทุกครั้งที่ทำการวัด ซึ่งผลการวิเคราะห์ระบบการวัดโดยวิธี ANOVA พบว่าค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัดชิ้นงานพลาสติกผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และจะทำการวิเคราะห์ระบบการวัดชิ้นงานประกอบ

คือระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ด้วยวิธีการเดียวกับการวิเคราะห์ระบบการวัดชิ้นงานพลาสติก พบว่าค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัดชิ้นงานประกอบผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้เช่นกัน

- จากการศึกษาข้อมูลและสภาพปัญหาการผลิตที่พบอยู่ในปัจจุบัน พบว่าผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 มีสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องเรื่องระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบคิดเป็น 61% ของจำนวนของเสียทั้งหมด โดยจะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบสูงกว่าข้อกำหนดของลูกค้า (Ball height) คิดเป็น 34%, ปัญหาระยะความสูงของบอลต่ำกว่าข้อกำหนด (Ball low) คิดเป็น 27% ของจำนวนชิ้นงานที่ต้องถูกทำลายทั้งหมด
- ทำการประชุมสมาชิกในทีมเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable : KPIV) สำหรับปัญหาระยะความสูงของบอลไม่ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้าโดยใช้การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ซึ่งในขั้นตอนแรกเป็นการวิเคราะห์กระบวนการผลิตทุกกระบวนการที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการฉีดและกระบวนการประกอบ และคัดกรองเฉพาะแนวโน้มสาเหตุของปัญหาที่มีผลต่อระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) จากการจัดเรียงแนวโน้มสาเหตุของปัญหา (Potential Cause of Failure) หรือพิจารณาจากคะแนน RPN ที่ได้จากมากไปน้อย พบว่ามี 5 ปัจจัยแสดงดังตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-14 ปัจจัยนำเข้าสำหรับการวิเคราะห์และทำการปรับปรุงแก้ไข

ลำดับ	หัวข้อ	แนวโน้มสาเหตุของปัญหา	ค่า RPN
1	6.3.1a	การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานจากการรับแรงกดบ่อยๆ	512
2	6.2.1a	การเลื่อนเข้าออกของเครื่องมีส่วนทำให้ระยะพินคลาดเคลื่อน	480
3	6.2.1b	ระยะการกดพินของเครื่องประกอบไม่เหมาะสม	480
4	1.1.2a	การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงานผิดคาวิตี้ในขั้นตอนของการประกอบโมล	392
5	1.1.2b	ไม่ได้ทดสอบตำแหน่งของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงานหลังจากประกอบ	392

ดังนั้นจึงเลือก 5 ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยนำเข้าสำหรับการวิเคราะห์และทำการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

บทที่ 5

ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

5.1 บทนำ

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยการทำการทดลองต่างๆ เพื่อศึกษา วิเคราะห์และทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนองที่สนใจ โดยใช้ตัวแปรนำเข้าที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ซึ่งจะได้ 5 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาเกี่ยวกับระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงต้องทำการวิเคราะห์ปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัยเพื่อกำหนดแนวทางในการปรับปรุงต่อไป

จากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) ในขั้นตอนก่อนหน้า ทำให้ได้ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในการนำไปทำการทดสอบและวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหาระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า โดยจะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 5 ปัจจัยคือ

1. การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานจากการรับแรงกดบ่อยๆ
2. การเลื่อนเข้าออกของเครื่องมีส่วนทำให้ระยะพินที่ใช้กดอัดบอลคลาดเคลื่อน
3. ระยะการกดพินของเครื่องประกอบไม่เหมาะสม
4. การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงานผิดคาวิตี้ในขั้นตอนของการประกอบโมล
5. ไม่ได้ทดสอบตำแหน่งของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงานหลังจากประกอบ

5.2 รูปแบบในการทดลอง

ผู้วิจัยได้เลือกทำการทดลองด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) โดยเลือกทำการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลาง (Center point) สำหรับปัจจัยแบบผันแปร (Variable Factor) รูปแบบการทดลองสำหรับ 5 ปัจจัยคือ 2_v^{5-1} ซึ่งการออกแบบการทดลองนี้ ทำให้สามารถทราบถึงอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัย อีกทั้งยังทำให้ทราบถึงการมีความโค้งของผลตอบ (Curvature) ของปัจจัยที่เป็นปัจจัยผันแปรด้วย และยังสามารถรวมการทดลองต่อเนื่องที่เพิ่มขึ้นมาเข้าด้วยกันเพื่อประมาณผลของปัจจัยหรืออิทธิพลร่วมได้ดียิ่งขึ้น

5.3 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากปัจจัยนำเข้าที่สำคัญจำนวน 5 ปัจจัย คือ

1. การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงาน
2. การเลื่อนเข้าออกของเครื่อง
3. ระยะการกดพินของเครื่องประกอบ
4. การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน
5. การทดสอบตำแหน่งของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงานหลังจากประกอบ

ปัจจัยเหล่านี้จะถูกนำมาศึกษาเพื่อหาผลกระทบต่อการเกิดปัญหาระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า โดยการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบเพิ่มจุดศูนย์กลาง โดยปัจจัยคุณลักษณะจะแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) สำหรับปัจจัยแบบแปรผันจะกำหนดระดับการทดลองของปัจจัยนำเข้าแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) เช่นเดียวกันแต่จะมีการทดสอบที่จุดศูนย์กลางด้วย ซึ่งระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลองแสดงดังตารางที่ 5-1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5-1 ปัจจัยและระดับปัจจัยในการทำการทดลอง

สัญลักษณ์ของปัจจัย	คำอธิบาย	ชนิดของปัจจัย	ระดับต่ำ (-1)	จุดศูนย์กลาง	ระดับสูง (+1)
A	การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงาน	คุณลักษณะ	ผิวไม่เรียบทุกตำแหน่ง	-	ผิวเรียบทุกตำแหน่ง
B	การเลื่อนเข้าออกของเครื่องประกอบ	คุณลักษณะ	เครื่องประกอบแบบชุดพินและกระบอกบรรจุบอลสามารถเคลื่อนที่ได้ (แบบเดิม)	-	เครื่องประกอบแบบชุดพินและกระบอกบรรจุบอลไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ (แบบใหม่)
C	ระยะการกดพินของเครื่องประกอบ	ผันแปร	20 มิลลิเมตร	25 มิลลิเมตร	30 มิลลิเมตร
D	การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน	คุณลักษณะ	รูเยื้อง	-	รูไม่เยื้อง
E	การตรวจสอบตำแหน่งของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน	คุณลักษณะ	ไม่ได้ตรวจสอบด้วยสีเสนหลังการประกอบโมล	-	ทำการตรวจสอบด้วยสีเสนหลังการประกอบโมล

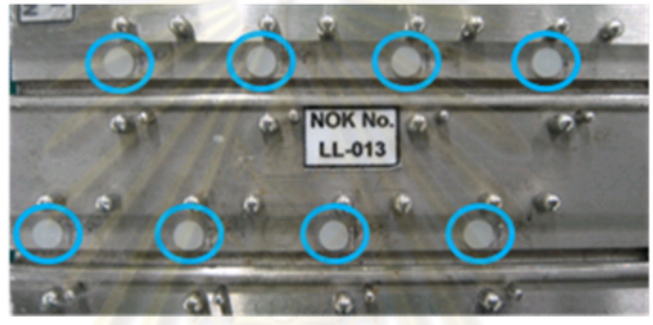
ในการเลือกระดับการทดลองของแต่ละปัจจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงาน

ในขั้นตอนการประกอบบอลเข้าไปในกระบอกของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากกระบวนการฉีดจำเป็นจะต้องมีแท่นวางชิ้นงานที่รองรับชิ้นงานเพื่อล็อคให้ชิ้นงานอยู่นิ่งก่อนที่จะทำการประกอบ ส่วนที่สำคัญของแท่นวางชิ้นงานที่ใช้เป็นจุดรับแรงกระแทกขณะทำการกดอัดบอล คือ ฐานรอง หรือ Base plastic support เพื่อป้องกันชิ้นงานพลาสติกไม่ให้เกิดรอยกระแทกจากแท่นวาง

ชิ้นงาน แต่เนื่องจากชิ้นงานพลาสติกนั้นมีความแข็งแรงไม่มาก จึงมีโอกาสเกิดรอยบนผิวชิ้นงานได้ ในการเลือกวัสดุเพื่อทำฐานรองจึงจำเป็นที่จะต้องใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงปานกลาง สามารถรับแรงกดและต้องคงสภาพผิวหน้าสัมผัสให้เรียบ แต่ถ้าเลือกวัสดุที่มีความแข็งมากก็จะทำให้ชิ้นงานเกิดรอยได้

การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานที่ใช้ประกอบบอลจะมีโอกาสเกิดขึ้นได้เสมอ เพราะมีความถี่ในการใช้งานมาก ซึ่งลักษณะของการสึกหรอของฐานรองนั้นจะเกิดบริเวณการกดอัดบอล เมื่อใช้งานไปเป็นระยะเวลานานจะทำให้ฐานรองเกิดเป็นร่องลึกขึ้นได้ ซึ่งการสึกหรอของฐานรองนี้จะอาจส่งผลให้ระยะการกดของพินจากเครื่องประกอบทำการกดอัดบอลได้ระยะที่น้อย ทำให้บอลมีความสูงมากกว่าชิ้นงานที่ประกอบจากฐานรองที่มีผิวเรียบ



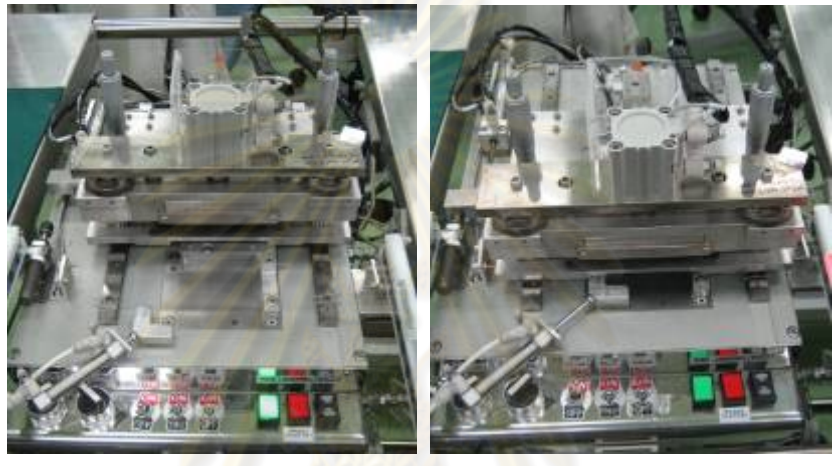
รูปที่ 5-1 ฐานรองของ jig ประกอบที่มีผิวเรียบ

แม้ว่าฐานรองแท่นวางชิ้นงานที่ใช้ประกอบบอลทำจากวัสดุ POM (Polyxymethylenes) ที่มีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและมีความสามารถในการรับแรงกระทำได้ดี แต่เมื่อต้องมาใช้ในกระบวนการประกอบอย่างต่อเนื่องก็ทำให้เกิดความสึกหรอขึ้นได้ สำหรับการวิจัยนี้จะทำการกำหนดปัจจัยระหว่างฐานรอง jig แบบผิวหน้าสึกหรอ เป็นระดับต่ำ (-1) กับฐานรอง jig ที่มีผิวหน้าสัมผัสเรียบ เป็นระดับสูง (+1)

- การเลื่อนเข้าออกของเครื่องประกอบ

ลักษณะการทำงานของเครื่องประกอบบอลในปัจจุบันจะเป็นเครื่องที่มีส่วนของฐานเพื่อรองรับแท่นวางชิ้นงานที่ใช้ประกอบ เมื่อกดสวิตช์บนเครื่องจะเป็นการสั่งให้ชุดพินและกระบอกที่ใช้บรรจุบอลเคลื่อนที่เข้ามาหาแท่นวางชิ้นงานแล้วจึงปล่อยบอลให้ตกลงสู่ตำแหน่งของปากกระบอกชิ้นงานพลาสติก ก่อนที่จะใช้พินกดอัดบอลที่วางอยู่บนปากกระบอกพลาสติกให้ลงไปสู่ก้นกระบอก ลักษณะการทำงานดังกล่าวพนักงานฝ่ายผลิตจะต้องทำการตรวจสอบค่าปรับตั้งของระยะพินก่อนที่จะปฏิบัติงาน ในแต่ละรอบเวลาตรวจสอบตำแหน่งของพินกด พนักงานฝ่ายผลิตจะพบปัญหาการคลาดเคลื่อนของระยะพินจากตำแหน่งที่ปรับตั้งไว้ เนื่องจากแรงกระแทกขณะที่

ชุดพินและกระบอกบรรจุบอลเคลื่อนกลับไปยังตำแหน่งเดิม การออกแบบเครื่องให้ลดขั้นตอนการเคลื่อนที่ของชุดพินและกระบอกบรรจุบอลสามารถทำได้โดยการถอดชุดรางเลื่อนและขยับชุดพินและกระบอกบรรจุบอลมาติดตั้งในตำแหน่งเดียวกับแท่นวางชิ้นงาน ซึ่งลักษณะการทำงานก็ยังเป็นลักษณะการทำงานแบบเดิมแต่แตกต่างกันเพียงชุดพินและกระบอกบรรจุบอลมีการเคลื่อนที่กับไม่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่ของชุดพินและกระบอกบรรจุบอลแบบลักษณะการทำงานเดิมอาจจะส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนกับระยะการกดพินมากกว่าเครื่องประกอบแบบชุดพินและกระบอกบรรจุบอลไม่เคลื่อนที่



รูปที่ 5-2 ลักษณะของเครื่องประกอบบอลที่มีชุดพินและกระบอกบรรจุบอลแบบเคลื่อนที่ได้ และเครื่องประกอบบอลที่มีชุดพินและกระบอกบรรจุบอลไม่สามารถเคลื่อนที่ได้

สำหรับการวิจัยนี้จะทำการกำหนดปัจจัยระหว่างเครื่องประกอบชนิดที่ชุดพินและกระบอกบรรจุบอลสามารถเคลื่อนที่ได้ เป็นระดับต่ำ (-1) กับเครื่องประกอบชนิดที่ชุดพินและกระบอกบรรจุบอลไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เป็นระดับสูง (+1)

- ระยะการกดพินของเครื่องประกอบ

เครื่องประกอบบอลของโรงงานกรณีศึกษาจะมีไมโครมิเตอร์ 2 ตัว เพื่อควบคุมระยะและปรับตั้งความสมดุลของระยะการกดพินทั้ง 8 ตำแหน่งให้เท่ากัน ซึ่งสามารถกำหนดระยะการกดของพินได้ตั้งแต่ 0-50 มิลลิเมตร แต่ในปัจจุบันทางโรงงานได้ควบคุมระยะที่ใช้ในการประกอบบอลที่ระยะระหว่าง 20-30 มิลลิเมตรทั้ง 2 สายการประกอบบอล เนื่องจากระยะดังกล่าวทำให้ระยะความสูงของบอลที่ใช้ประกอบชิ้นงานทั้ง 5 โมลอยู่ในข้อกำหนดของลูกค้าได้ สำหรับการวิจัยนี้จะทำการกำหนดปัจจัยระยะการปรับตั้งพินที่ระยะ 20 มิลลิเมตร เป็นระดับต่ำ (-1) และกำหนดระยะการปรับตั้งพินที่ระยะ 30 มิลลิเมตร เป็นระดับสูง (+1) และมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่ 25 มิลลิเมตร (0) เพื่อใช้ประกอบบอลสำหรับการทดลองที่ควบคุมปัจจัยนำเข้าตั้งแต่ขั้นตอนการประกอบโมล

- การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน

ในขั้นตอนของการนำโมลลงจากเครื่องฉีดมีวัตถุประสงค์ 2 อย่างคือ ทำความสะอาดหรือเพื่อตรวจสอบความผิดปกติของโมลในกรณีที่เกิดข้อบกพร่องที่ไม่สามารถหาสาเหตุจากกระบวนการฉีดได้ ในขั้นตอนของการทำความสะอาดโมลหรือการวิเคราะห์หาความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับโมลจะต้องทำการแยกชิ้นส่วนทุกชิ้นออกจากกัน หลังจากพนักงานช่างเทคนิคทำความสะอาดหรือตรวจสอบโมลเรียบร้อยแล้วจะต้องนำชิ้นส่วนของโมลทุกชิ้นประกอบกลับคืนทั้งหมด หากพนักงานช่างเทคนิคไม่ทำการคัดแยกและจัดวางชิ้นส่วนโดยไม่ได้ระบุตำแหน่งก็อาจจะทำให้เกิดความสับสนและมีโอกาสในการประกอบชิ้นส่วนผิดได้ ยกตัวอย่าง เช่น การประกอบที่ผิดคาวิตี้ของการประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงานที่มีขนาดเล็กกว่าโมล (การทำให้เกิดรูของชิ้นงานโดยที่จะใช้ตำแหน่งกึ่งกลางเป็นจุดอ้างอิงในการวัดระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติกสำหรับประกอบบอล และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ) ส่งผลกระทบคือ ทำให้ชิ้นงานเกิดรูเยื้องศูนย์ เนื่องจากชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงานสามารถขยับตำแหน่งได้เพราะแต่ละโมลมีความแตกต่างกันเล็กน้อยของขนาดในแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกันและต่างโมล สำหรับการวิจัยนี้จะทำการกำหนดปัจจัยรูเยื้องศูนย์จากการประกอบโมลเป็นระดับต่ำ (-1) และไม่เกิดรูเยื้องศูนย์จากการประกอบโมลเป็นระดับสูง (+1)

- การตรวจสอบตำแหน่งของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน

เมื่อทำการประกอบชิ้นส่วนทั้งหมดของโมลเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนก่อนที่พนักงานช่างเทคนิคจะนำโมลขึ้นไปประกอบกับเครื่องฉีด มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องตรวจสอบตำแหน่งของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงานด้วยการใช้สีเสนป้ายบริเวณปลายของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงานและทดลองนำไปประกบเข้ากับโมลอีกฝั่งหนึ่งที่เป็นด้านของระยะอ้างอิง (Datum) ทั้ง 4 จุด เพื่อทำการตรวจสอบระยะของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงานว่าอยู่ตรงจุดกึ่งกลางหรือไม่ ถ้าหากละเลยขั้นตอนการตรวจสอบนี้ อาจจะทำให้เสียเวลาในการผลิตเนื่องจากการนำโมลไปประกอบกับเครื่องฉีดเลยอาจจะทำให้เกิดปัญหารูเยื้องและต้องนำโมลลงมาทำการแกะเพื่อประกอบใหม่เฉพาะคาวิตี้ที่เกิดปัญหารูเยื้อง ก็จะทำให้ฝ่ายผลิตต้องหยุดการผลิตเพื่อรอการแก้ไขโมลซึ่งอาจจะส่งผลต่อการผลิตงานไม่ทันตามความต้องการของลูกค้าได้ สำหรับการวิจัยนี้จะทำการกำหนดปัจจัยการประกอบโมลโดยไม่ได้ทดสอบด้วยสีเสนหลังการประกอบโมล เป็นระดับต่ำ (-1) และการประกอบโมลโดยมีการทดสอบด้วยสีเสนหลังการประกอบโมล เป็นระดับสูง (+1)

5.4 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองจะใช้การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design) แบบมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center point) สำหรับปัจจัยแปรผัน ซึ่งการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลมีประสิทธิภาพมากกว่าการออกแบบทีละปัจจัย (One Factor at a Time) เนื่องจากใช้ขนาดตัวอย่างน้อยกว่าทำให้ใช้เวลาในการทดลองไม่มากในการศึกษาปัจจัยหลายๆ ปัจจัยในเวลาเดียวกัน ช่วยให้ประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่างๆ ของปัจจัยอื่น อีกทั้งยังสามารถทราบถึงการมีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย ซึ่งทำให้สามารถหลีกเลี่ยงข้อสรุปที่ผิดพลาดได้

การออกแบบการทดลองจะใช้โปรแกรมมินิแทบ (Minitab) ในการสร้างเมทริกซ์ของการทดลอง โดยจะกำหนดให้การทดลองเป็นไปโดยการสุ่ม เนื่องจากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกันเพื่อกำจัดความผันแปรที่เกิดจากสาเหตุโดยธรรมชาติออกไปจากการทดลอง จึงทำให้การวิเคราะห์ผลลัพธ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้มีปัจจัยที่ทำการศึกษาจำนวน 5 ปัจจัย แบ่งเป็นปัจจัยแปรผัน 1 ปัจจัย และปัจจัยคุณลักษณะ 4 ปัจจัย จากการสร้างเมทริกซ์ของการทดลองด้วยมินิแทบ ทำการทดลอง 1 ครั้งจะได้การทดลองทั้งสิ้น 17 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5-2

ตารางที่ 5-2 รายละเอียดของการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทบ

Fractional Factorial Design

Factors: 5 Base Design: 5, 16 Resolution: V

Runs: 17 Replicates: 1 Fraction: 1/2

Blocks: 1 Center pts (total): 1

Design Generators: E = ABCD

Alias Structure

I + ABCDE

A + BCDE

B + ACDE

C + ABDE

D + ABCE

E + ABCD

AB + CDE

AC + BDE

AD + BCE

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AE + BCD

BC + ADE

BD + ACE

BE + ACD

CD + ABE

CE + ABD

DE + ABC

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E
8	1	1	1	1	1	1	-1	-1
9	2	1	1	-1	-1	-1	1	-1
17	3	0	1	0	0	0	0	0
13	4	1	1	-1	-1	1	1	1
11	5	1	1	-1	1	-1	1	1
6	6	1	1	1	-1	1	-1	1
12	7	1	1	1	1	-1	1	-1
15	8	1	1	-1	1	1	1	-1
3	9	1	1	-1	1	-1	-1	-1
16	10	1	1	1	1	1	1	1
7	11	1	1	-1	1	1	-1	1
5	12	1	1	-1	-1	1	-1	-1
4	13	1	1	1	1	-1	-1	1
14	14	1	1	1	-1	1	1	-1
10	15	1	1	1	-1	-1	1	1
1	16	1	1	-1	-1	-1	-1	1
2	17	1	1	1	-1	-1	-1	-1

หมายเหตุ สัญลักษณ์ -1 หมายถึง ระดับปัจจัยที่มีระดับต่ำ

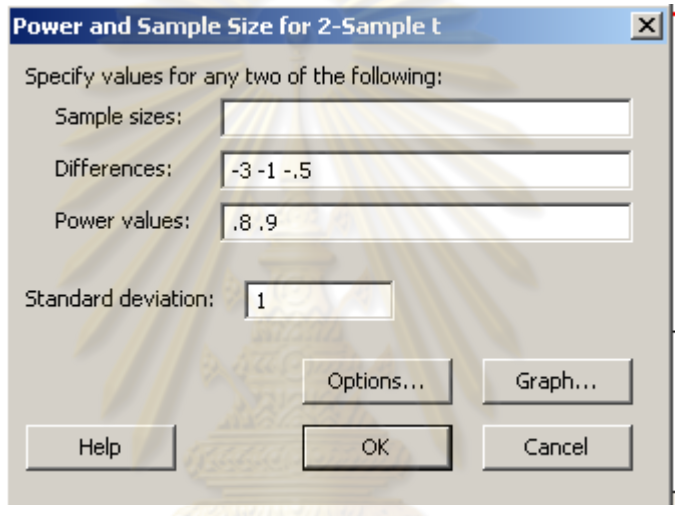
สัญลักษณ์ +1 หมายถึง ระดับปัจจัยที่มีระดับสูง

สัญลักษณ์ 0 หมายถึง จุดศูนย์กลางของปัจจัย

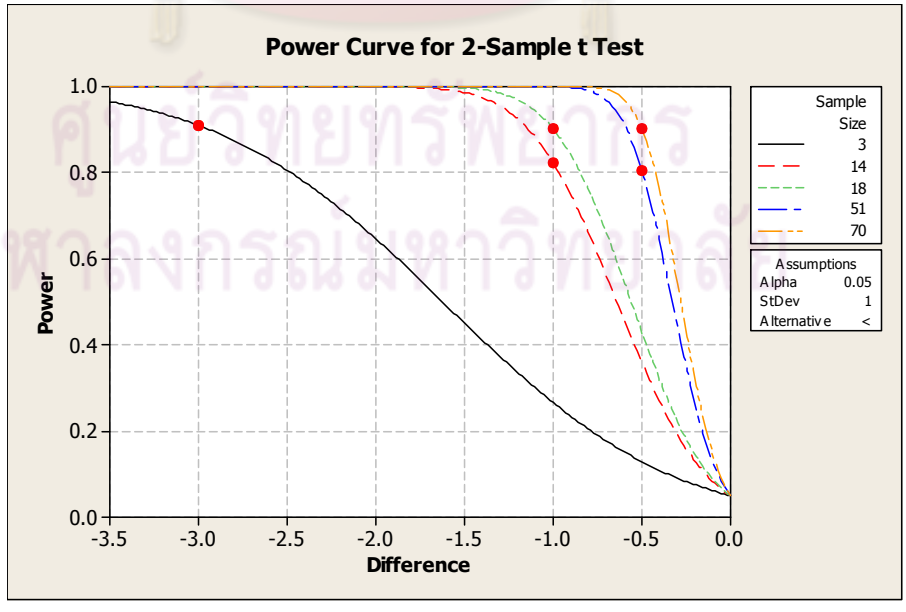
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5 ขนาดตัวอย่าง

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการทำการทดลองเพื่อหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในการปรับตั้งกระบวนการเพื่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบน้อยที่สุด การเก็บจำนวนตัวอย่างเพื่อทำการทดลองจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งการกำหนดขนาดตัวอย่างเพื่อทำการทดลองแต่ละการทดลอง (Setting) สามารถคำนวณจากคำสั่ง Power and Sample size design เลือก 2 sample-t ในโปรแกรมมินิแทบ โดยกำหนดความแตกต่างระยะความสูงของบอลของโมล H I และ C ที่ระดับ -3 -1 และ -0.5 และกำหนดค่ากำลังการทดสอบ (Power value) ที่ระดับ 0.8, 0.9 และกำหนดค่าความเบี่ยงเบนเท่ากับ 1 ซึ่งการป้อนค่าต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5-3



รูปที่ 5-3 การกำหนดค่าเพื่อหาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสม



รูปที่ 5-4 ผลลัพธ์การออกแบบจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสม

ผลลัพธ์จากโปรแกรมมินิแทบสามารถคำนวณหาขนาดตัวอย่างได้ดังนี้

Power and Sample Size

2-Sample t Test

Testing mean 1 = mean 2 (versus <)

Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 1

Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power
-3.0	3	0.8	0.909800
-3.0	3	0.9	0.909800
-1.0	14	0.8	0.824086
-1.0	18	0.9	0.902272
-0.5	51	0.8	0.805899
-0.5	70	0.9	0.902966

The sample size is for each group.

ดังนั้นการเก็บข้อมูลในแต่ละการทดลองต้องใช้จำนวนตัวอย่าง 70 ตัวเป็นอย่างน้อยเพื่อความถูกต้องและแม่นยำของผลที่ได้จากการทดลอง

5.6 ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองสำหรับการทดลองนี้จะมาจากการวัดระยะความสูงของบอลหลังจากผ่านกระบวนการประกอบลงในกระบอกชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากกระบวนการฉีด โดยวัดค่าจากเครื่องมือวัด ซิป สมาร์ทสโคป ดังนั้นตัวแปรตอบสนองจึงเป็นค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) ที่ได้จากการวัด และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S) ของผลการวัด ดังนั้นก่อนทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อตัวแปรตอบสนองจะต้องทำการแปลงค่าสำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อทำให้ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) เสียก่อนเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนจากการวิเคราะห์ผลได้

Douglas C. Montgomery (2009) กำหนดให้ μ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล (y) และสมมติว่า ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ของข้อมูล (y) มีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยของข้อมูล (y) ดังนี้ $\sigma_y \propto \mu^{\alpha}$

หากต้องการหาสูตรการแปลงค่าของ y ที่ความแปรปรวนคงที่ สมมติว่าเท่ากับกำลังของค่าเดิมของข้อมูล จะได้ว่า

$$y^* = y^{\lambda}$$

จะได้ว่า $$\sigma_{y^*} \propto \mu^{\lambda_i \alpha_{-1}} \quad (5\text{-}1)$$

ถ้ากำหนดให้ $\lambda = 1 - \alpha$ ความแปรปรวนของการแปลงค่า สำหรับค่า y จะคงที่

สูตรการแปลงค่าโดยทั่วไปจะเป็นรูปของการแปลงค่าโดยใช้ล็อกการิทึม (logarithmic transformation) ถ้า $\lambda = 0$ จะต้องใช้การแปลงค่าสำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยใช้ล็อกการิทึม โดยการเลือกใช้รูปแบบของการแปลงค่าเป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ทำการทดลองมาได้ ดังแสดงในตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 Variance-Stabilizing Transformations สำหรับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ความสัมพันธ์ระหว่าง σ_y และ μ	**α**	**$\lambda = 1 - \alpha$**	**Transformation**	**Comment**
$\sigma_y \propto$ Constant	0	1	Not transformation	
$\sigma_y \propto \mu^{1/2}$	1/2	1/2	Square root	Poisson (Count) data
$\sigma_y \propto \mu$	1	0	Logarithmic	
$\sigma_y \propto \mu^{3/2}$	3/2	-1/2	Reciprocal Square root	
$\sigma_y \propto \mu^{2}$	2	-1	Reciprocal	

ในการทดลองที่มีการทำซ้ำ (Replication) สามารถประมาณค่า α จากข้อมูล ในเทอมของ

$$\sigma_{yi} \propto \mu_i^{\alpha} = \theta\mu_i^{\alpha} \quad \text{เมื่อ } \theta \text{ เป็นค่าคงที่} \quad (5\text{-}2)$$

เมื่อทำการ take logarithm จะได้ว่า

$$\log \sigma_{yi} = \log \theta + \alpha \log \mu_i \quad (5\text{-}3)$$

ซึ่งกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\log \sigma_{yi}$ และ $\log \mu_i$ จะเป็นเส้นตรงที่มีความชัน α

รูปแบบการแปลงค่าที่พบบ่อยๆ ได้แก่

- การแปลงค่า ซึ่งสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง log y และ log s ได้ความชันของกราฟ (α) = ½ ซึ่งจากตารางที่ 5-3 ให้ใช้ Square root Transformation จะได้ว่าให้แปลงข้อมูล y_{ij} * = $\sqrt{y}_{ij}$ เพื่อหา s*
- การแปลงค่า ซึ่งสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง log y และ log s ได้ความชันของกราฟ (α) = 1 ซึ่งจากตารางที่ 5-3 ให้ใช้ Logarithmic Transformation จะได้ว่า ให้แปลงค่า y_{ij} * = log y_{ij} เพื่อหา s* ต่อไป

สรุปได้ว่า ตัวแปรตอบสนองได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s*) ซึ่งผ่านการแปลงค่ามาแล้ว

5.7 การทำการทดลอง

ในเบื้องต้นจะทำการประชุมทีมงานผู้ที่เกี่ยวข้องกับการทำการทดลอง ประกอบด้วย พนักงานช่างเทคนิคฝ่ายบำรุงรักษาโมล พนักงานฝ่ายผลิต พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ เพื่อทำความเข้าใจและร่วมกันวางแผนทำการทดลองอย่างเป็นขั้นตอนดังรูปที่ 5-5 โดยปฏิบัติดังนี้

1	เลือกทดลองด้วยโมล C เนื่องจากกำลังการผลิตน้อยกว่าโมลอื่นๆ
2	พนักงานฝ่ายบำรุงรักษาโมลทำการแยกชิ้นส่วนของโมลเพื่อทำความสะอาด และประกอบชิ้นส่วนต่างๆ รวมทั้งการตรวจสอบโมลตามเงื่อนไขของแต่ละการทดลอง
3	นำโมลไปประกอบกับเครื่องเพื่อฉีดชิ้นงาน
4	พนักงานฝ่ายผลิตทำการตรวจสอบชิ้นงานพลาสติกและเก็บชิ้นงานแยกกลุ่ม
5	พนักงานช่างเทคนิคทำการปรับตั้ง Micrometer ที่เครื่องประกอบบอล ตามแต่ละเงื่อนไขของแต่ละการทดลอง
6	ควบคุมการประกอบบอลสำหรับชิ้นงานพลาสติกแต่ละกลุ่มด้วยเครื่องประกอบและ jig ตามเงื่อนไขในแต่ละการทดลอง
7	พนักงานฝ่ายผลิตตรวจสอบชิ้นงานหลังจากประกอบ
8	พนักงานฝ่ายผลิตจัดเตรียมชิ้นงานหลังจากตรวจสอบให้พนักงานควบคุมคุณภาพ
9	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทำการวัดระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบทีละกลุ่ม
10	บันทึกข้อมูลระยะความสูงของบอลในแบบฟอร์ม

รูปที่ 5-5 ขั้นตอนการทำการทดลอง

1. การเลือกโมลที่จะทำการทดลอง จะทำการทดลองกับโมลเดียวก่อน ซึ่งในการประชุมทีมงานลงมติว่าเลือกทดลองด้วยโมล C เนื่องจากกำลังการผลิตน้อยกว่าโมลอื่นๆ

2. พนักงานช่างเทคนิคฝ่ายบำรุงรักษาโมลทำการแยกชิ้นส่วนของโมลออกเพื่อทำความสะอาด แล้วทำการควบคุมการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ รวมทั้งการตรวจสอบโมลหลังจากประกอบ

ตามเงื่อนไขของแต่ละการทดลอง และจะต้องทำความสะอาดโมลทุกครั้งหลังจากทำการทดลองแต่ละเงื่อนไข

3. นำโมลไปประกอบกับเครื่องเพื่อฉีดชิ้นงาน และปรับตั้งจำนวนครั้งในการฉีดเพื่อควบคุมให้ได้จำนวนชิ้นงานพลาสติกตามที่ต้องการ 70 ตัวต่อการทดลอง

4. พนักงานฝ่ายผลิตทำการตรวจสอบชิ้นงานพลาสติกและเก็บใส่ถุง BOPP bag พร้อมทั้งระบุกลุ่มงานในใบงาน (Tag) จากนั้นนำงานไปจัดเก็บบนชั้นวางงาน

5. พนักงานช่างเทคนิคทำการปรับตั้งไมโครมิเตอร์ (Micrometer) ที่เครื่องประกอบบอลที่ 1 ตามแต่ละเงื่อนไขของแต่ละการทดลอง (ระยะ 20 มิลลิเมตร, 25 มิลลิเมตร และ 30 มิลลิเมตร)

6. ควบคุมการประกอบบอลสำหรับชิ้นงานพลาสติกแต่ละกลุ่มด้วยเครื่องประกอบและ jig ตามเงื่อนไขในแต่ละการทดลอง

7. พนักงานฝ่ายผลิตตรวจสอบชิ้นงานหลังจากประกอบ 100%

8. พนักงานฝ่ายผลิตจัดเตรียมชิ้นงานหลังจากตรวสอบให้พนักงานควบคุมคุณภาพ

9. พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทำการวัดระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ โดยควบคุมการวัดให้เสร็จทีละกลุ่ม

10. บันทึกข้อมูลระยะความสูงของบอลในแบบฟอร์ม

5.8 ผลการทดลอง

จากการเก็บข้อมูลจากการทดลองทั้ง 17 การทดลอง ด้วยจำนวนการเก็บข้อมูลจากชิ้นงาน 70 ตัวต่อการทดลอง สามารถแสดงผลลัพธ์ได้ดังตารางที่ 5-4

ตารางที่ 5-4 ผลการทดลองจาก 17 การทดลอง

StdOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	$\bar{y}$	s
8	1	1	1	1	1	-1	-1	3.1562	0.0452
9	1	1	-1	-1	-1	1	-1	3.2056	0.0943
17	0	1	0	0	0	0	0	3.2048	0.0442
13	1	1	-1	-1	1	1	1	3.0337	0.8534
11	1	1	-1	1	-1	1	1	3.1753	0.0567
6	1	1	1	-1	1	-1	1	3.1282	0.0352
12	1	1	1	1	-1	1	-1	3.2267	0.0475
15	1	1	-1	1	1	1	-1	3.0447	0.0557
3	1	1	-1	1	-1	-1	-1	3.2169	0.0647

ตารางที่ 5-4 ผลการทดลองจาก 17 การทดลอง (ต่อ)

StdOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	$\bar{y}$	s
16	1	1	1	1	1	1	1	3.2663	0.0795
7	1	1	-1	1	1	-1	1	3.0258	0.0855
5	1	1	-1	-1	1	-1	-1	3.0509	0.0785
4	1	1	1	1	-1	-1	1	3.1241	0.0642
14	1	1	1	-1	1	1	-1	3.2986	0.0645
10	1	1	1	-1	-1	1	1	3.2031	0.0686
1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	3.2116	0.0683
2	1	1	1	-1	-1	-1	-1	3.1168	0.0863

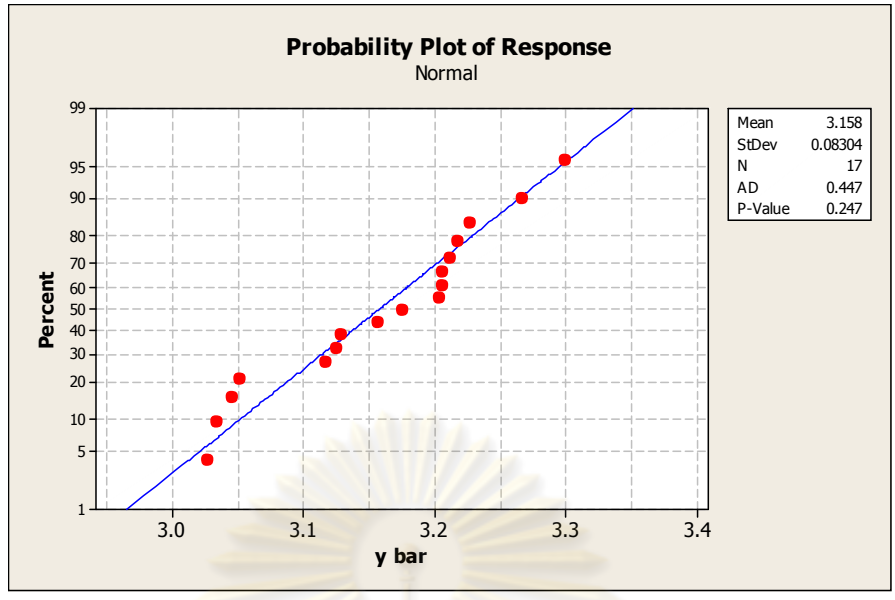
5.9 การทดสอบผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้จากการทดลองทั้ง 17 การทดลองจะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลก่อนจะนำไปวิเคราะห์ผล รูปแบบความผิดพลาดต้องเป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim NID(0,\sigma^2)$ เมื่อทำการทดสอบ หากข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระและมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ก็สามารถนำข้อมูลไปทำการวิเคราะห์และสรุปผลได้

5.9.1 การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ (Normality Assumption)

สามารถตรวจสอบได้จากการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residue) ของค่าตัวแปรตอบสนองว่ามีลักษณะการกระจายตัวหรือแจกแจงแบบปกติหรือไม่ และค่า P value ต้องมากกว่า 0.05 (Significant level)

จากรูปที่ 5-6 เป็นการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติของค่าตัวแปรตอบสนองหรือค่าระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ พบว่าข้อมูลมีค่า P value เท่ากับ 0.247 ซึ่งมากกว่าค่า 0.05 ดังนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบที่ได้จากการทดลองทั้ง 17 การทดลองเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงแบบปกติ

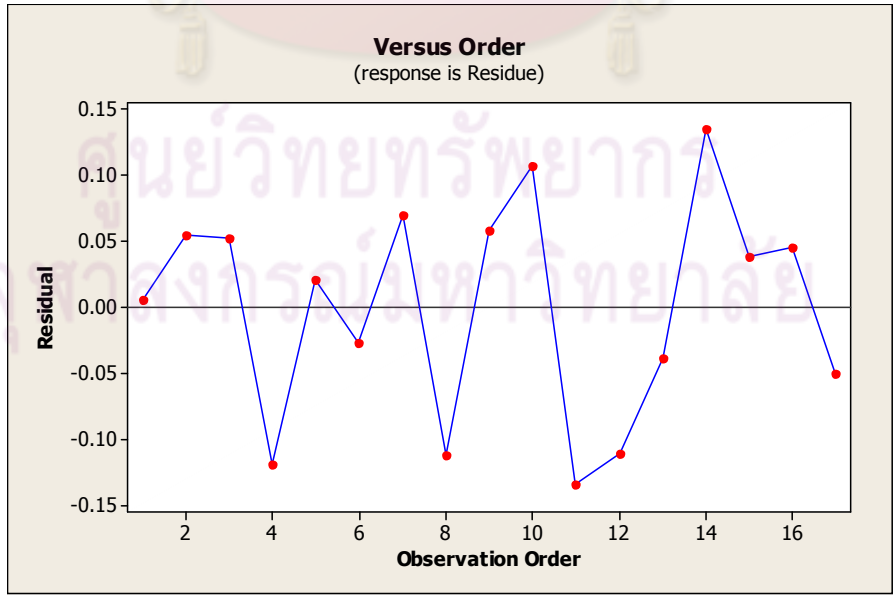


รูปที่ 5-6 ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติของข้อมูลความสูงของบอล

5.9.2 การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Independent)

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ สามารถทดสอบความสัมพันธ์ได้จากลักษณะการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residue) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) ซึ่งรูปแบบต้องเป็นอิสระต่อกัน และมีลักษณะที่ไม่ตายตัวหรือเป็นแนวโน้ม (Trend)

จากรูปที่ 5-7 แสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวเป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนและไม่เป็นแนวโน้ม จึงสรุปว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

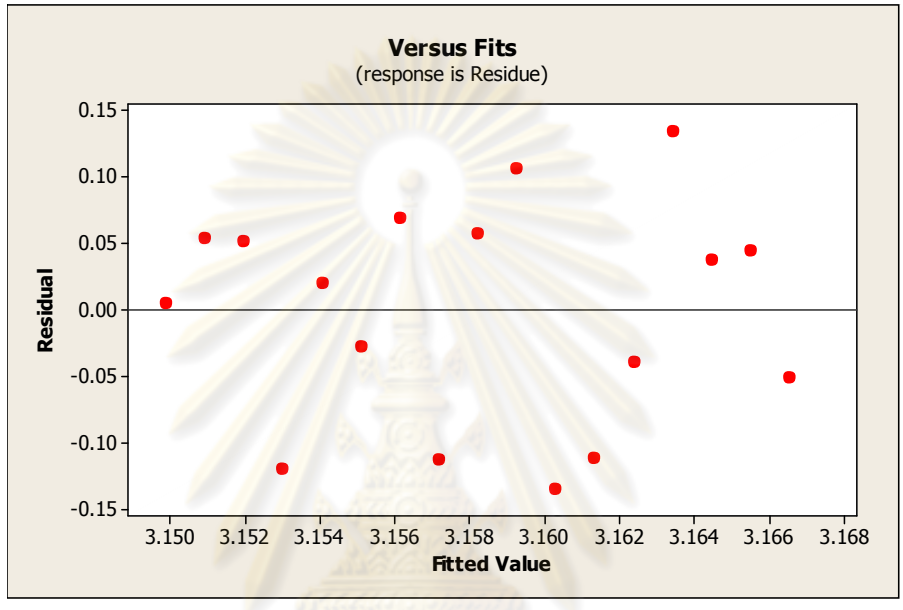


รูปที่ 5-7 ผลลัพธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับของการเก็บข้อมูล

5.9.3 การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability)

การทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน สามารถพิจารณาจากลักษณะความสัมพันธ์จากการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residue) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted value) ซึ่งรูปแบบต้องไม่เป็นการกระจายตัวแบบกรวยปากเปิด และมีลักษณะที่ไม่ตายตัวหรือเป็นแนวโน้ม (Trend)

จากรูปที่ 5-8 แสดงผลลัพธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต จะเห็นว่าการกระจายตัวไม่เป็นลักษณะแบบกรวยปากเปิด จึงสรุปว่าข้อมูลมีความเสถียรภาพ

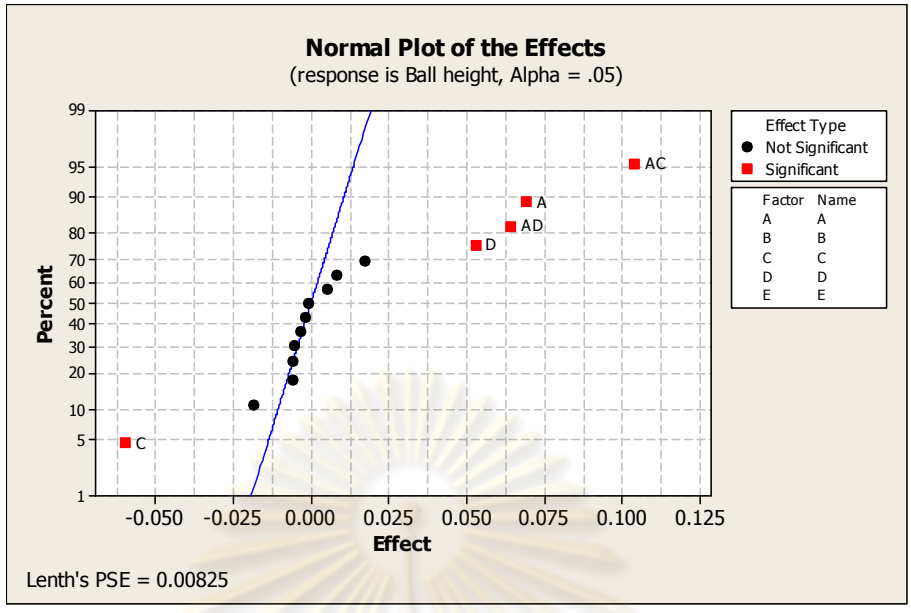


รูปที่ 5-8 ผลลัพธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

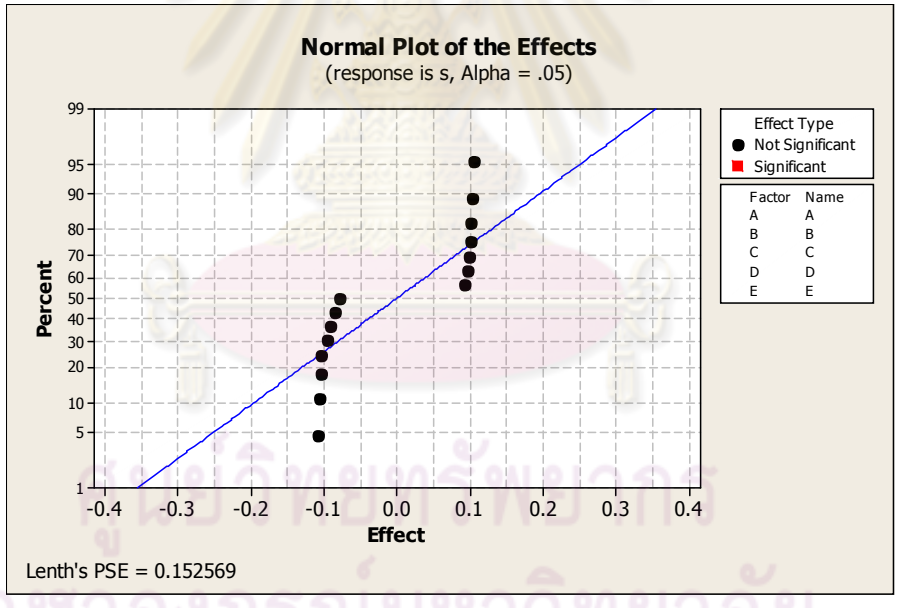
จากผลการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแปรตอบสนองตามหลักการทั้ง 3 ข้อคือ การกระจายตัวแบบปกติ ความเป็นอิสระต่อกัน และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามหลักการ $\varepsilon ij \sim NID\ (0,\sigma^2)$ ของการออกแบบการทดลอง ดังนั้นจึงสามารถทำการวิเคราะห์ผลการทดลองได้

5.10 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

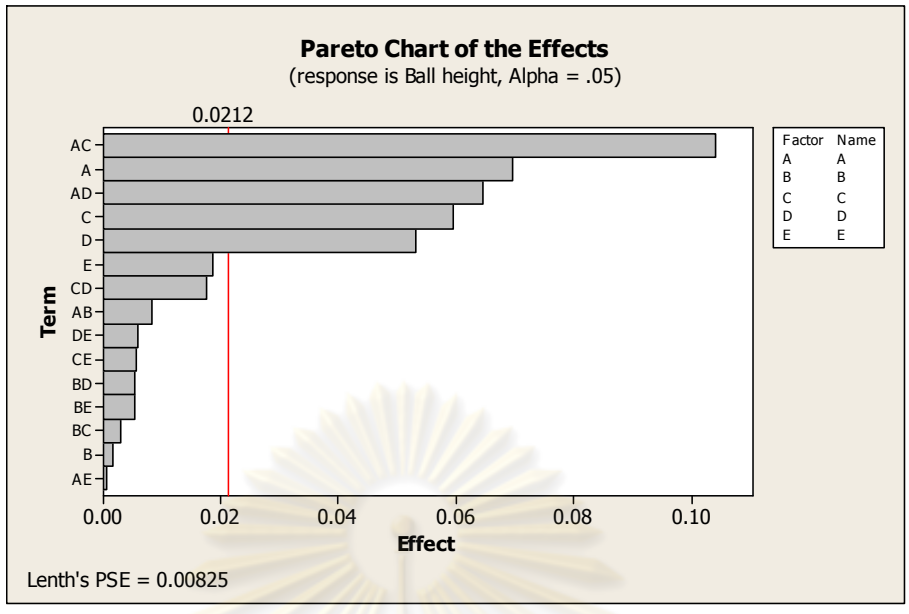
การวิเคราะห์ผลการทดลองสามารถวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมมินิแทบ (Minitab) สามารถแสดงผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญออกมาในรูปแบบของ Normal Probability Plot ดังแสดงในรูปที่ 5-9 และ 5-10 และแผนภาพพาเรโต ดังแสดงในรูปที่ 5-11 และ 5-12 รวมถึงการแสดงผลของการออกแบบการทดลองของผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่าเฉลี่ยความสูงของบอลหลังประกอบ ($\bar{y}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) ดังแสดงในรูปที่ 5-13 และ 5-14 กับผลของอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่าเฉลี่ยความสูงของบอลหลังประกอบ ($\bar{y}$) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) ดังแสดงในรูปที่ 5-15 และ 5-16 ตามลำดับ



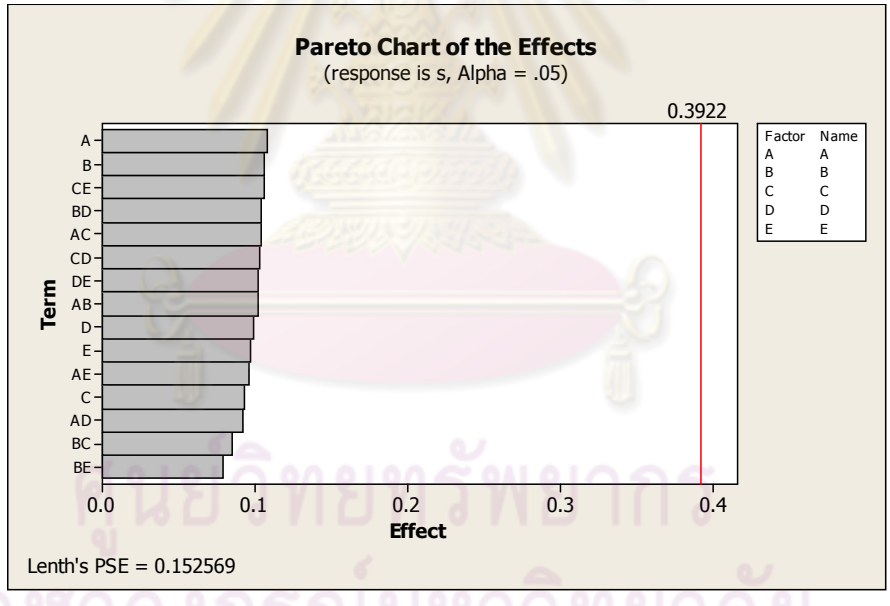
รูปที่ 5-9 กราฟ Normal plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$)



รูปที่ 5-10 กราฟ Normal plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s)



รูปที่ 5-11 แผนภูมิพาเรโต้ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$)



รูปที่ 5-12 แผนภูมิพาเรโต้ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s)

โดยที่ A คือ การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงาน

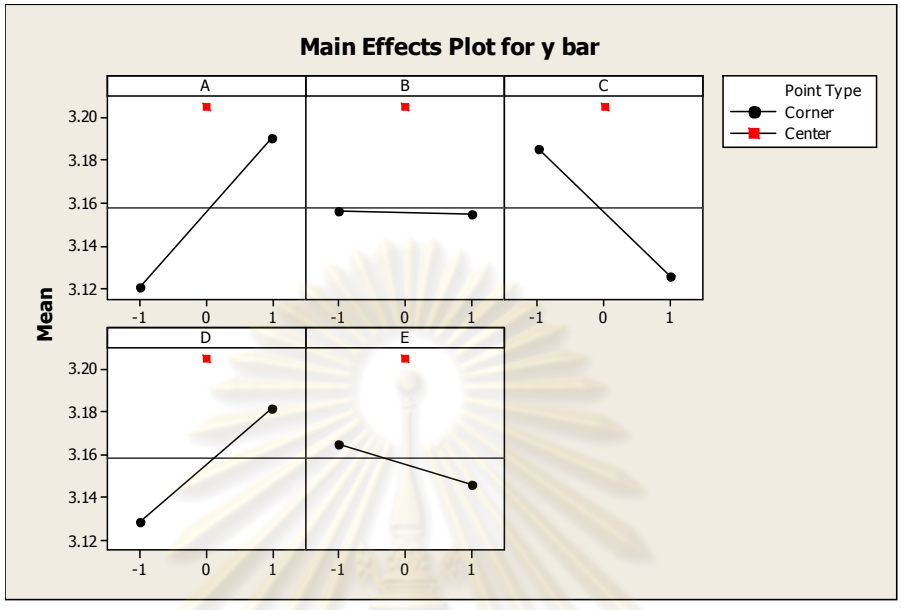
B คือ ลักษณะของเครื่องประกอบ

C คือ ระยะการกดพินของเครื่องประกอบ

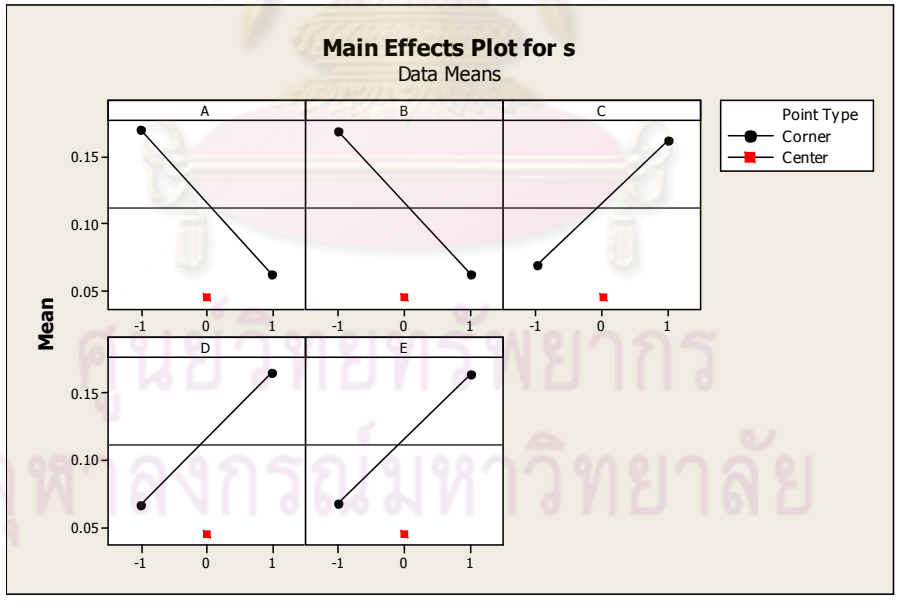
D คือ การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงาน

E คือ การตรวจสอบตำแหน่งของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงานหลังประกอบ

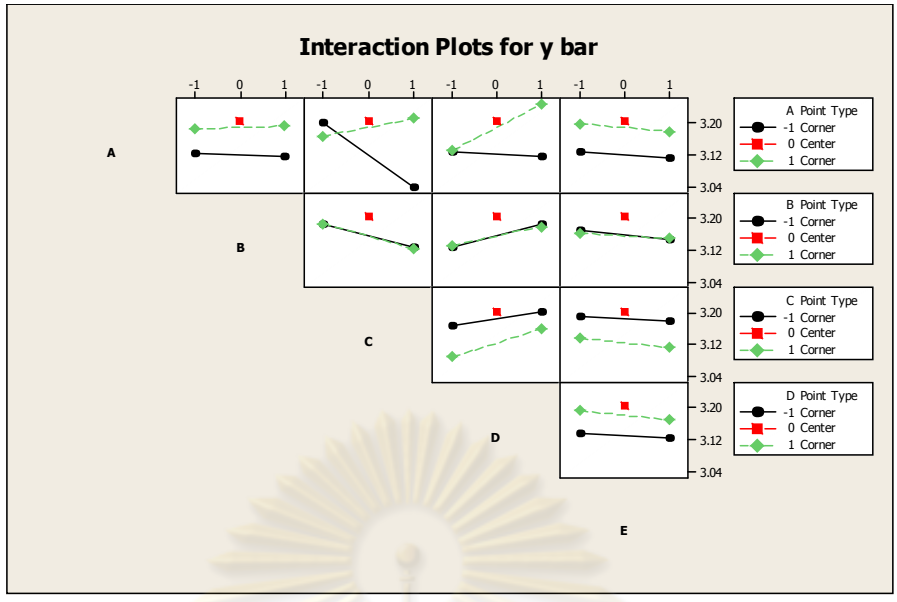
สามารถนำข้อมูลจากการทดลองมาวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลักและผลของอันตรกิริยาที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง คือ ระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ ได้ดังนี้



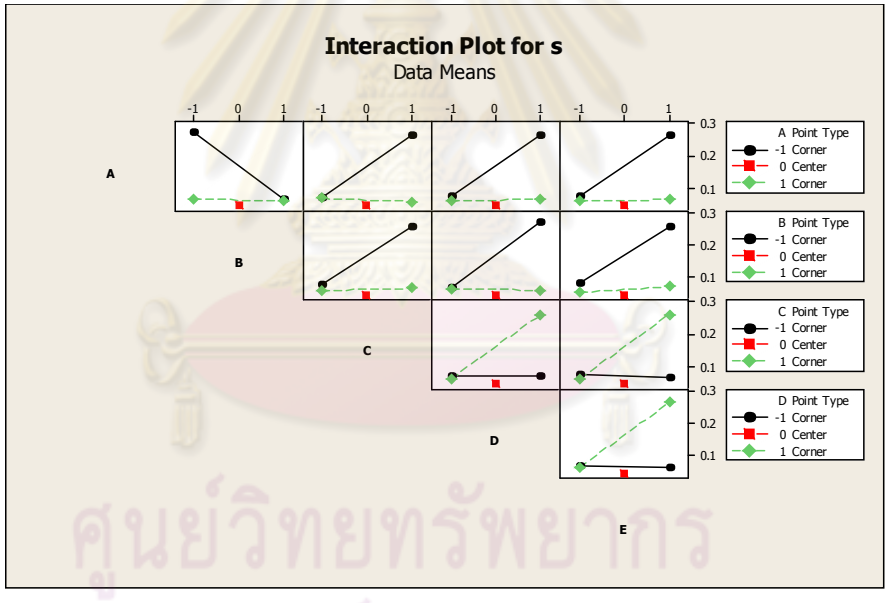
รูปที่ 5-13 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสูงของบอลหลังจากประกอบ ($\bar{y}$)



รูปที่ 5-14 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s)



รูปที่ 5-15 ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสูงของบอลหลังจากประกอบ ($\bar{y}$)



รูปที่ 5-16 ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s)

การวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมมินิแทบรูปที่ 5-9 และ 5-11 พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสูงของบอลหลังจากประกอบ ($\bar{y}$) อย่างมีนัยสำคัญ หรือปัจจัยที่มีค่า P value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แบ่งเป็นปัจจัยหลัก 3 เทอม คือ ปัจจัย A C และ D โดยที่ปัจจัย A คือ การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงาน ปัจจัย C คือ ระยะการกดพินของเครื่องประกอบ และปัจจัย D คือ การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงาน และมีอันตรกิริยา 2 เทอม คือ

1. อันตรกิริยาระหว่างปัจจัย A กับ C หรืออันตรกิริยาระหว่างการสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานกับระยะการกดพินของเครื่องประกอบ ซึ่งจากรูป 5-15 แสดงให้เห็นว่า

- เมื่อใช้ฐานรองแท่นวางชิ้นงานสึกหรอทำการประกอบบอลและปรับตั้งการกดพินของเครื่องประกอบที่ระยะ 20 มิลลิเมตร จะทำให้ระยะความสูงของบอลมีค่าใกล้เคียง 3.20 มิลลิเมตร และเมื่อปรับตั้งการกดพินของเครื่องประกอบที่ระยะ 30 มิลลิเมตร จะทำให้ระยะความสูงของบอลมีค่าใกล้เคียง 3.04 มิลลิเมตร

- เมื่อใช้ฐานรองแท่นวางชิ้นงานไม่สึกหรอทำการประกอบบอลและปรับตั้งการกดพินของเครื่องประกอบที่ระยะ 20 มิลลิเมตรจะทำให้ระยะความสูงของบอลมีค่า 3.16 มิลลิเมตร และเมื่อปรับตั้งการกดพินของเครื่องประกอบที่ระยะ 30 มิลลิเมตร จะทำให้ระยะความสูงของบอลมีค่าใกล้เคียง 3.22 มิลลิเมตร

2. อันตรกิริยาระหว่างปัจจัย A กับ D หรืออันตรกิริยาระหว่างการสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานกับการประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงาน ซึ่งจากรูป 5-15 แสดงให้เห็นว่า

- เมื่อใช้ฐานรองแท่นวางชิ้นงานสึกหรอทำการประกอบบอลด้วยชิ้นงานที่มีรูเยื้อง จะทำให้ระยะความสูงของบอลมีค่า 3.12 มิลลิเมตร และเมื่อประกอบบอลด้วยชิ้นงานรูไม่เยื้อง จะทำให้ระยะความสูงของบอลมีค่าใกล้เคียง 3.12 มิลลิเมตร

- เมื่อใช้ฐานรองแท่นวางชิ้นงานไม่สึกหรอทำการประกอบบอลด้วยชิ้นงานที่มีรูเยื้อง จะทำให้ระยะความสูงของบอลมีค่า 3.12 มิลลิเมตร และเมื่อประกอบบอลด้วยชิ้นงานที่รูไม่เยื้อง จะทำให้ระยะความสูงของบอลมีค่า 3.24 มิลลิเมตร

จากการวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมมินิแทบพบว่ามีข้อสังเกตดังนี้

- เมื่อใช้ฐานรองแท่นวางชิ้นงานไม่สึกหรอ (A+) ทำการประกอบบอลด้วยระยะการกดพินที่ 20 มิลลิเมตร (C-) จะทำให้ระยะความสูงของบอลมีค่าต่ำกว่าการประกอบบอลด้วยระยะการกดพินที่ 30 มิลลิเมตร (C+) ซึ่งผลลัพธ์ที่ควรจะเป็นคือ ระยะการกดพินที่ 20 มิลลิเมตร (C-) ควรจะให้ค่าระยะความสูงของบอลมีค่าสูงกว่าการประกอบบอลด้วยระยะการกดพินที่ 30 มิลลิเมตร (C+)

- เมื่อใช้ฐานรองแท่นวางชิ้นงานสึกหรอ (A-) ทำการประกอบบอลด้วยชิ้นงานที่รูเยื้อง (D-) ควรจะทำให้ระยะความสูงของบอลมีค่าต่ำกว่าการประกอบบอลด้วยชิ้นงานที่รูไม่เยื้อง (D+) แต่ผลลัพธ์จากการมินิแทบให้ค่าระยะความสูงของบอลใกล้เคียงกัน

พิจารณาข้อสังเกตดังกล่าว อาจจะมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อระยะความสูงของบอล เช่น ไม่สามารถควบคุมการสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงาน (ปัจจัย A) ในแต่ละตำแหน่งให้เท่ากันได้ ซึ่งปัจจัยดังกล่าวนั้นเป็นข้อจำกัดของการทำการทดลองนี้

5.11 สรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนของการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจะนำปัจจัยจากขั้นตอนก่อนหน้ามาทำการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งในขั้นตอนแรกจะทำการกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้า โดยปัจจัยคุณลักษณะจะมี 2 ระดับคือ ระดับต่ำและระดับสูง ส่วนปัจจัยแปรผันจะเพิ่มการทดลองที่จุดศูนย์กลางด้วยเพื่อทำให้สามารถทราบถึงอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัย จากนั้นทำการทดลองด้วยวิธีการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลางสำหรับปัจจัยแปรผัน (2_v^{5-1} with center point) ซึ่งการออกแบบการทดลองนี้ใช้การทดลองทั้งหมด 17 รัน (Runs) โดยทำการเก็บข้อมูลและนำผลข้อมูลไปวิเคราะห์ตามหลักการของ $\varepsilon ij \sim NID \quad (0,\sigma^2)$ เพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลจากโปรแกรมมินิแทบ พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความสูงของบอลหลังจากประกอบ ($\bar{y}$) อย่างมีนัยสำคัญ ได้แก่ปัจจัยหลัก 3 เทอม คือ ปัจจัย A C และ D และมีอันตรกิริยา 2 เทอม คือ อันตรกิริยาระหว่างปัจจัย A กับ C และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย A กับ D ในส่วนของการพิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) ไม่พบปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

6.1 บทนำ

หลังจากทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญด้วยการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลางสำหรับปัจจัยผันแปร (Half-Fractional Factorial Design with Center Point : 2_v^{5-1}) ในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาซึ่งผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมมินิแทบแสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) หรือระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบอย่างมีนัยสำคัญ คือ การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงาน (ปัจจัย A) ระยะการกดพินของเครื่องประกอบ (ปัจจัย C) และการประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงานในขั้นตอนของการประกอบโมล (ปัจจัย D) และอันตรกิริยาระหว่างการสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานที่ใช้ประกอบกับระยะการกดพิน (ปัจจัย AC) และอันตรกิริยาระหว่างการสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานที่ใช้ประกอบกับการประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงาน (ปัจจัย AD) และไม่มีปัจจัยใดมีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) อย่างมีนัยสำคัญ และไม่มีอิทธิพลเนื่องจากความโค้ง (Curvature)

สำหรับขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการจะเป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้กับค่าเป้าหมายมากที่สุด และจะไม่ได้หาค่าของปัจจัยที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำลง เนื่องจากไม่มีปัจจัยใดมีนัยสำคัญกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

6.2 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญในกรณีที่ไม่มีอิทธิพลเนื่องจากความโค้ง (Curvature) เกิดขึ้นกับตัวแบบ สามารถทำการสรุปเลือกระดับของปัจจัยที่มีนัยสำคัญจาก Main Effect Plot หรือ Interaction Plot ได้ทันที โดยทำการเลือกระดับของปัจจัยที่แสดงผลของตัวแปรตอบสนองคือ ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุดจาก Main Effect Plot รูปที่ 5-12 และรูปที่ 5-13 และจาก Interaction Effect Plot รูปที่ 5-14 และรูปที่ 5-15 แสดงให้เห็นว่า

- ระดับปัจจัย A ที่ให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุด คือ ระดับสูง (+1)
- ระดับปัจจัย C ที่ให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุด คือ ระดับต่ำ (-1)
- ระดับปัจจัย D ที่ให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุด คือ ระดับสูง (+1)

- ระดับของปัจจัยอันตรกิริยา AC ที่ให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุด คือ A ที่ระดับสูง (+1) และ C ที่ระดับต่ำ (-1)
- ระดับของปัจจัยอันตรกิริยา AD ที่ให้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุด คือ A และ D ที่ระดับสูง (+1)
- ระดับของปัจจัย B ซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) จะเลือกที่ระดับสูง (+1) เนื่องจากสามารถดำเนินการง่าย
- ระดับของปัจจัย E ซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) จะเลือกที่ระดับสูง (+1) เนื่องจากเป็นการป้องกันปัญหาการประกอบรูเยื้องได้

สามารถสรุปปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมทั้ง 5 ปัจจัยได้ดังตารางที่ 6-1

ตารางที่ 6-1 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 5 ปัจจัย

สัญลักษณ์ของปัจจัย	คำอธิบาย	ระดับที่เหมาะสม	
		Coded Unit	Uncoded Unit
A	การสึกหรอของ ฐานรองแท่นวางชิ้นงาน	1	ผิวเรียบ
B	การเลื่อนเข้าออกของเครื่องประกอบ	1	แบบไม่เคลื่อนที่
C	ระยะการกดพินของเครื่องประกอบ	-1	20 มิลลิเมตร
D	การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน	1	รูไม่เยื้อง
E	ตรวจสอบตำแหน่งของ ชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน	1	ตรวจสอบ

6.3 การตรวจสอบผลการวิเคราะห์การเลือกตัวแปรนำเข้าด้วยวิธี Stepwise Regression

วิธีการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบขั้นบันได (Stepwise Regression) ได้ถูกนำมาใช้ในการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองและปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ โดยวิธีการวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบขั้นบันไดสามารถเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยที่สามารถป้องกันการเกิดปัญหาที่ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันได้ (Multicollinearity) วิธีการนี้มีหลักเกณฑ์คือ การนำตัวแปรอิสระเข้าสมการถดถอยครั้งละ 1 ตัว ถ้าตัวแปรอิสระที่นำเข้า มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระที่มีอยู่แล้วในสมการถดถอย จะทำการตัดตัวแปรอิสระที่สัมพันธ์กันตัวใดตัวหนึ่งออกจากสมการถดถอย จากนั้นจึงนำสมการถดถอยที่ได้นั้นไปใช้ในการเลือกระดับค่าปัจจัยที่เหมาะสมต่อไป

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปทำการวิเคราะห์วิธี Stepwise Regression ด้วยโปรแกรมมินิแทบ ได้ผลการวิเคราะห์ Stepwise Regression สำหรับค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) ดังนี้

Stepwise Regression: y bar versus A, C, D, AC, AD

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

Response is y bar on 5 predictors, with N = 17

Step	1	2	3	4	5
Constant	3.158	3.158	3.158	3.158	3.158
AC	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521	0.0521
T-Value	3.12	3.57	4.26	5.54	9.13
P-Value	0.007	0.003	0.001	0.000	0.000
A	0.0347	0.0347	0.0347	0.0347	
T-Value	2.38	2.84	3.70	6.09	
P-Value	0.032	0.014	0.003	0.000	
AD	0.0322	0.0322	0.0322		
T-Value	2.63	3.43	5.65		
P-Value	0.021	0.005	0.000		
C	-0.0297	-0.0297			
T-Value	-3.17	-5.21			
P-Value	0.008	0.000			
D	0.0265				
T-Value	4.64				
P-Value	0.001				

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

S	0.0668	0.0584	0.0489	0.0376	0.0228
R-Sq	39.30	56.78	71.83	84.65	94.81
R-Sq(adj)	35.26	50.61	65.33	79.53	92.45
Mallows Cp	115.6	80.6	50.7	25.5	6.0

Stepwise Regression: s versus A, C, D, AC, AD

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

Response is s on 5 predictors, with N = 17

No variables entered or removed

จากผลลัพธ์การวิเคราะห์วิธี Stepwise Regression ด้วยโปรแกรมมินิแทบ แสดงให้เห็นว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จากปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อตัวแปรตอบสนองค่าเฉลี่ย เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตอบสนองที่ถูกเลือกเข้าสมการถดถอยจำนวน 5 ตัวแปรคือ A C D AC และ AD ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์ด้วยการออกแบบการทดลองข้างต้น และได้สมการถดถอยที่เหมาะสมดังสมการที่ 6-1

$$y = \beta_0 + \beta_A x_A + \beta_C x_C + \beta_D x_D + \beta_{AC} x_A x_C + \beta_{AD} x_A x_D + \varepsilon \qquad (6\text{-}1)$$

นอกจากนี้ยังสามารถหาระดับที่เหมาะสมโดยใช้ฟังก์ชั่น Response Optimization ของโปรแกรมมินิแทบ ซึ่งจะแสดงระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเป็นค่าที่จุดยอด เนื่องจากไม่มีอิทธิพลเนื่องจากความโค้ง และวิธีนี้สามารถคำนวณค่าทำนาย (Predictive Value) ของตัวแปรตอบสนองได้โดยมีที่มาจากสมการตัวแบบถดถอย (Regression Model) ซึ่งหาได้จากการนำค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบขั้นบันได (Stepwise Regression) หรือจากการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ มาเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยกับปัจจัยนำเข้า เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้เป้าหมายมากที่สุด

ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง (เฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญ) ที่วิเคราะห์จากโปรแกรมมินิแทบ แสดงได้ดังนี้

Factorial Fit: y bar versus A, B, C, D, E

Estimated Effects and Coefficients for y bar (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant	3.15528	0.003988	791.20	0.000	
A	0.06944	0.03472	0.003988	8.71	0.000
B	-0.00156	-0.00078	0.003988	-0.20	0.850
C	-0.05946	-0.02973	0.003988	-7.46	0.000
D	0.05294	0.02647	0.003988	6.64	0.000
E	-0.01854	-0.00927	0.003988	-2.32	0.049
A*C	0.10411	0.05206	0.003988	13.05	0.000
A*D	0.06441	0.03221	0.003988	8.08	0.000
Ct Pt	0.04952	0.016443	3.01	0.017	

S = 0.0159518 PRESS = 0.0109327

R-Sq = 98.15% R-Sq(pred) = 90.09% R-Sq(adj) = 96.31%

จะได้สมการทำนายซึ่งเป็นสมการถดถอยเข้ารหัส (Coded Units) ดังสมการที่ 6-2

Mean of Height ($\bar{y}$) = 3.15528 +0.03472A – 0.00078B – 0.02973C + 0.02647D – 0.00927E
+ 0.05206AC + 0.03221AD (6-2)

การวิเคราะห์เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 5 ปัจจัย โดยใช้โปรแกรมมินิแทบ สามารถแสดงผลได้ดังนี้

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
y bar	Target	3.22	3.27	3.3200	1	1
s	Minimum	0.001	0.005	0.8534	1	1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Global Solution

A = 1

B = -1

C = -1

D = 1

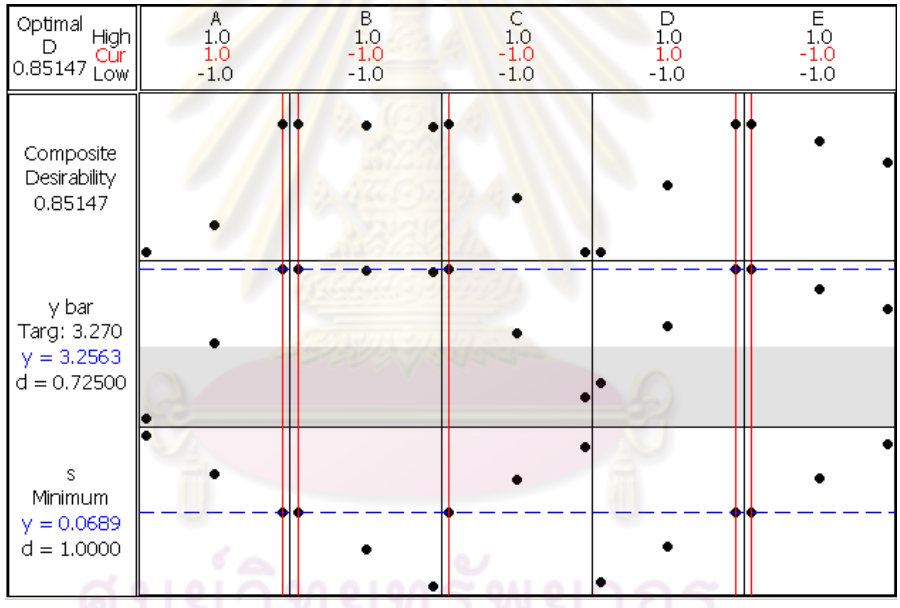
E = -1

Predicted Responses

y bar = 3.25625 , desirability = 0.725000

s = 0.006893 , desirability = 1.000000

Composite Desirability = 0.851469



รูปที่ 6-1 ผลการหาค่าผลตอบที่เหมาะสมที่สุด (Response Optimization Plot)

จากผลการวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 5 ปัจจัย ด้วยฟังก์ชัน Response Optimization ของโปรแกรมมินิแทบ พบว่าได้ระดับของปัจจัยเช่นเดียวกับวิธีการเลือกจาก Main Effect Plots และ Interaction Plots จากผลลัพธ์จะได้ค่าทำนายค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) เท่ากับ 3.25625 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายคือ 3.27 และค่าทำนายค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) เท่ากับ 0.006893

6.4 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ปัจจัย คือ A C D AC และ AD ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย จากนั้นนำทั้ง 5 ปัจจัยไปปรับปรุงระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยการคำนวณค่าทำนายของตัวแปรตอบสนองจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าตัวแปรตอบสนองดีที่สุด คือ ได้ค่าเฉลี่ยเข้าใกล้ค่าเป้าหมายมากที่สุด ซึ่งระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 5 ปัจจัยแสดงดังตารางที่ 6-1 เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้นและสามารถประยุกต์ใช้กับกระบวนการที่มีลักษณะเดียวกันในการปฏิบัติจริงต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

ระยะการติดตามควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase)

7.1 บทนำ

ระยะการติดตามควบคุมกระบวนการผลิตเป็นขั้นตอนสุดท้ายของงานวิจัยนี้ เพื่อเป็นการยืนยันระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า โดยทำการทดสอบผลลัพธ์จากการนำไปควบคุมในกระบวนการเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยปรับตั้งระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 5 ปัจจัยตามค่าที่ตั้งไว้ เพื่อตรวจสอบค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ว่าเป็นไปตามผลการทดลองหรือไม่ เมื่อทราบว่าผลลัพธ์นั้นเป็นไปตามผลการทดลอง จากนั้นจะทำการจัดทำแผนควบคุม (Control plan) ที่เหมาะสมและจัดทำเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงานเพื่อควบคุมให้กระบวนการประกอบบอลที่พบปัญหาเรื่องความสูงของบอลเกินข้อกำหนดของลูกค้าให้น้อยที่สุด รวมทั้งทำการประเมินและทำการสรุปผลการปรับปรุงด้วย

7.2 การทดสอบยืนยันผล

การทดสอบเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญโดยศึกษาค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน หลังจากการปรับปัจจัยนำเข้าตามค่าที่เหมาะสมที่ได้จากระยะการปรับปรุงแก้ไขดังแสดงในตารางที่ 7-1

ตารางที่ 7-1 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 5 ปัจจัย เพื่อใช้ในการทดสอบยืนยันผล

สัญลักษณ์ของปัจจัย	คำอธิบาย	ระดับที่เหมาะสม	
		Coded Unit	Uncoded Unit
A	การสึกหรอของ ฐานรองแท่นวางชิ้นงาน	1	ผิวเรียบ
B	การเลื่อนเข้าออกของเครื่องประกอบ	1	แบบไม่เคลื่อนที่
C	ระยะการกดพินของเครื่องประกอบ	-1	20 มิลลิเมตร
D	การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน	1	รูไม่เยื้อง
E	ตรวจสอบตำแหน่งของ ชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน	1	ตรวจสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.2.1 การทำการทดลอง

ทำการเตรียมเครื่องจักร โมลที่ใช้ฉีดชิ้นงานพลาสติก เครื่องประกอบบอล และเครื่องมือวัด ซิป สมาร์ทสโคป ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการทดลองให้พร้อม รวมทั้งการฝึกอบรมพนักงานที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ให้เข้าใจถึงการปรับตั้งพารามิเตอร์ต่างๆ วิธีการทำงาน การใช้เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองเพื่อให้ถูกต้องกับระดับที่ต้องการ รวมทั้งวิธีการเก็บข้อมูลและบันทึกข้อมูลด้วย โดยทำการทดลองในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการประกอบบอล โดยเริ่มจากขั้นตอนการประกอบโมลเพื่อนำไปใช้ฉีดชิ้นงานพลาสติก และการควบคุมการปรับตั้งระยะของเครื่องประกอบบอล รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในขั้นตอนกระบวนการประกอบบอลด้วย ซึ่งขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 7-1 มีรายละเอียดดังนี้

1	พนักงานฝ่ายบำรุงรักษาโมลทำการแยกชิ้นส่วนของโมลเพื่อทำความสะอาด และตรวจสภาพโมล
2	พนักงานฝ่ายบำรุงรักษาโมลทำการป้ายสีเสนเพื่อตรวจสอบตำแหน่งรู และประกอบโมลให้สำเร็จ
3	นำโมลมาประกอบกับเครื่องฉีด และทำการฉีดชิ้นงานพลาสติกตามการตั้งค่าพารามิเตอร์ของการฉีด (Injection Condition) ตามการใช้งานปกติ
4	พนักงานช่างเทคนิคทำการปรับตั้ง Micrometer ที่ระยะ 20 มิลลิเมตร ที่เครื่องประกอบบอล
5	ตรวจสอบความเรียบผิวของฐานรองชิ้นงาน (jig) สำหรับประกอบบอล โดยการนำไปวัดความสูงทั้ง 8 ตำแหน่ง หากพบว่าสึกหรอจะต้องนำไปปาดหน้า (Guiding) ให้เรียบเสมอกันก่อนใช้งาน
6	เก็บข้อมูลจากการนำชิ้นงานพลาสติกทีละคาวิตี้วางเรียงบนฐานรองชิ้นงาน (jig) ทั้ง 8 ตำแหน่ง แล้วทำการประกอบบอล ซึ่งในการเก็บตัวอย่างในขั้นตอนการทดสอบยืนยันผลนี้ จะใช้ตัวอย่างจำนวน 160 ตัวต่อรอบการทดสอบ และจะทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 6 ชั่วโมง
7	พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทำการวัดระยะความสูงของบอล และในการวัดแต่ละรอบจะต้องนำข้อมูลบันทึกในแบบฟอร์มที่จัดทำไว้ให้

รูปที่ 7-1 ขั้นตอนการทำการทดลอง

1. พนักงานช่างเทคนิคฝ่ายบำรุงรักษาโมลทำการแยกชิ้นส่วนของโมลออกเพื่อทำความสะอาด และตรวจสอบสภาพโมล

2. หลังจากที่พนักงานช่างเทคนิคฝ่ายบำรุงรักษาโมลประกอบชุดพินที่จะทำให้เกิดรูของชิ้นงานให้ทำการทดสอบการป้ายด้วยสีเสนและนำไปประกอบกับโมลอีกด้านหนึ่ง (จำลองการปิดโมลขณะทำการฉีดพลาสติก) เพื่อตรวจสอบตำแหน่งของสีเสน (ตำแหน่งของรู) ว่าอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางจุดอ้างอิง (Datum) ทั้ง 4 จุดหรือไม่ หากพบว่าไม่อยู่ตำแหน่งตรงกลาง จะต้องถอดสิ้นส่วนชุดพินเพื่อทำการประกอบและทำการทดสอบด้วยสีเสนอีกครั้ง หากพบว่าตำแหน่งของสีเสนอยู่กึ่งกลางแล้ว สามารถนำโมลไปประกอบกับเครื่องฉีดเพื่อทำการทดลองได้

3. นำโมลมาประกอบกับเครื่องฉีด และทำการฉีดชิ้นงานพลาสติกตามการตั้งค่าพารามิเตอร์ของการฉีด (Injection Condition) ตามการใช้งานปกติ

4. พนักงานช่างเทคนิคทำการปรับตั้งไมโครมิเตอร์ (Micrometer) ที่เครื่องประกอบบอลที่ระยะ 20 มิลลิเมตร

5. ตรวจสอบความเรียบผิวของฐานรองชิ้นงาน (jig) สำหรับประกอบบอล โดยการนำไปวัดความสูงทั้ง 8 ตำแหน่ง หากพบว่าสึกหรอหรือบางตำแหน่งมีความสูงที่แตกต่างจากตำแหน่งอื่นๆ ใน jig เดียวกัน จะต้องนำไปปาดหน้า (Guiding) ให้เรียบเสมอกันก่อนนำมาทำการทดลอง

6. นำชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากกระบวนการฉีด โดยในการเก็บข้อมูลนั้นจะเก็บข้อมูลจากชิ้นงานพลาสติกที่ฉีดจากโมล C ซึ่งเป็นโมล 4 คาวิตี้ จะผ่านกระบวนการประกอบบอลที่เครื่องประกอบที่ 1 โดยเก็บข้อมูลจากการนำชิ้นงานพลาสติกทีละคาวิตี้วางเรียงบนฐานรองชิ้นงาน (jig) ทั้ง 8 ตำแหน่ง แล้วทำการประกอบบอล ซึ่งในการเก็บตัวอย่างในขั้นตอนการทดสอบยืนยันผลนี้ จะใช้ตัวอย่างจำนวน 160 ตัวต่อรอบการทดสอบ (โมลมี 4 คาวิตี้ ต้องประกอบครั้งละ 8 ตำแหน่งบนฐานรองชิ้นงาน ซึ่งในสายการประกอบมีฐานรองชิ้นงาน 5 ชิ้น) และจะทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 6 ชั่วโมง (เนื่องจากเวลาในการวัดระยะความสูงนั้นใช้เวลาเฉลี่ย 2 นาทีต่อชิ้น ดังนั้นการวัดงาน 160 ตัว จะใช้เวลา 320 นาทีหรือ 5.33 ชั่วโมง)

7. พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพทำการวัดระยะความสูงของบอล และในการวัดแต่ละรอบจะต้องนำข้อมูลบันทึกในแบบฟอร์มที่จัดทำไว้ให้

7.2.2 การตรวจติดตามผลโดยใช้แผนควบคุม (Control Plan)

จัดทำแผนควบคุม (Control Plan) เพื่อใช้ควบคุมกระบวนการ โดยมีการควบคุมปัจจัยทั้ง 5 ปัจจัย โดยเพิ่มเติมเข้าไปในแผนควบคุมเดิม โดยมีรายละเอียดดังนี้

- การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงาน ได้เพิ่มการตรวจสอบความพร้อมใช้งานของฐานรองแท่นวางชิ้นงานโดยพนักงานฝ่ายผลิต จะทำการตรวจสอบด้วยสายตาทุกต้นกะ และทำการบันทึกผล และจะนำไปวัดความเรียบของหน้าสัมผัสโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดทุกๆ สัปดาห์ หากพบความไม่เรียบผิว หรือความไม่สม่ำเสมอก็จะส่งฐานรองแท่นวางชิ้นงานไปให้พนักงานช่างเทคนิคทำการปาดหน้าให้เรียบ และจะต้องนำมาวัดความเรียบของหน้าสัมผัสโดยพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัดก่อนที่จะนำฐานรองแท่นวางชิ้นงานนั้นไปใช้ในกระบวนการผลิต
- การเลื่อนเข้าออกของเครื่องประกอบ ลักษณะการทำงานของเครื่องประกอบบอลในปัจจุบัน พนักงานฝ่ายผลิตจะพบปัญหาการคลาดเคลื่อนของระยะพินจากตำแหน่งที่ปรับตั้งไว้ เนื่องจากแรงกระแทกขณะที่ชุดพินและกระบอกบรรจุบอลเคลื่อนกลับไปยังตำแหน่งเดิม การออกแบบเครื่องให้ลดแรงกระแทกเพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนของระยะพิน ทำให้ชุดพินและ

กระบอกบรรจุบอลอยู่กับที่ โดยการถอดชุดรางเลื่อนและขยับชุดพินและกระบอกบรรจุบอลมาติดตั้งในตำแหน่งเดียวกับแท่นวางชิ้นงาน

- ระยะการกดพินของเครื่องประกอบ ควบคุมและปรับตั้งระยะการกดตัวของพินทั้ง 8 ตำแหน่งที่ระยะ 20 มิลลิเมตร โดยพนักงานช่างเทคนิคฝ่ายผลิต และจะต้องทำการตรวจสอบทุก 3 ชั่วโมง และบันทึกผลการตรวจสอบลงในแบบฟอร์ม
- การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงานและการตรวจสอบตำแหน่งของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน หลังจากที่พนักงานช่างเทคนิคฝ่ายบำรุงรักษาโมลประกอบชุดพินที่จะทำให้เกิดรูของชิ้นงานให้ทำการทดสอบการป้ายด้วยสีเสนและนำไปประกอบกับโมลอีกด้านหนึ่ง (จำลองการปิดโมลขณะทำการฉีดพลาสติก) เพื่อตรวจสอบตำแหน่งของสีเสน (ตำแหน่งของรู) ว่าอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางจุดอ้างอิง (Datum) ทั้ง 4 จุดหรือไม่ หากพบว่าไม่อยู่ตำแหน่งตรงกลางจะต้องถอดสิ้นส่วนชุดพินเพื่อทำการประกอบและทำการทดสอบด้วยสีเสนอีกครั้ง หากพบว่าตำแหน่งของสีเสนอยู่กึ่งกลางแล้ว สามารถนำโมลไปประกอบกับเครื่องฉีดเพื่อทำการทดลองได้ ซึ่งวิธีการตรวจสอบด้วยสีเสนนี้จะเพิ่มเติมเข้าไปในระเบียบปฏิบัติ (Work Instruction) ของขั้นตอนการประกอบโมล แสดงในภาคผนวก ง

แผนควบคุมสำหรับกระบวนการประกอบบอล ได้มีการปรับปรุงใหม่เพิ่มเติมจากแผนการควบคุมเดิม แสดงดังตารางที่ 7-2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7-2 แผนควบคุม

ลำดับ	กระบวนการ	จุดควบคุม	มาตรฐาน	การควบคุม			ผู้รับผิดชอบ	บันทึกคุณภาพ	แผนการแก้ไข
				วิธีการ	เครื่องมือ	ความถี่			
1	ประกอบโมล	การประกอบ insert pin	รูไม่เยื้องศูนย์	IW-PDD-005D	อุปกรณ์สำหรับประกอบโมล	ทุกครั้งที่ทำการประกอบโมล	พนักงานช่างเทคนิคห้องโมล	FIW-PDD-005-001	แจ้งหัวหน้างาน
		การตรวจสอบโมลด้วยสีเสน	รูไม่เยื้องศูนย์	IW-PDD-005D	สีเสนและกล้อง Microscope 10X	ทุกครั้งที่ประกอบโมลเสร็จ	พนักงานช่างเทคนิคห้องโมล	FIW-PDD-005-001	แจ้งหัวหน้างาน
2	ประกอบบอล	ความเรียบผิวของฐานรองแท่นวางชิ้นงาน	ผิวเรียบทุกตำแหน่ง	-	CMM, เครื่อง Guiding	ทุกสัปดาห์	พนักงานฝ่ายเครื่องมือวัด และพนักงานช่างเทคนิคฝ่ายผลิต	FIW-PDD-019-001	แจ้งหัวหน้างาน
		ระยะ pin กด	20 mm.	-	Micrometer	ทุก 3 ชม.	พนักงานช่างเทคนิคฝ่ายผลิต	FIW-PDD-019-001	แจ้งหัวหน้างาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.2.3 การวิเคราะห์ผลและสรุปการทดสอบยืนยันผล

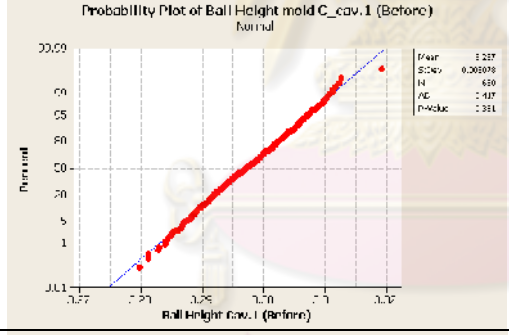
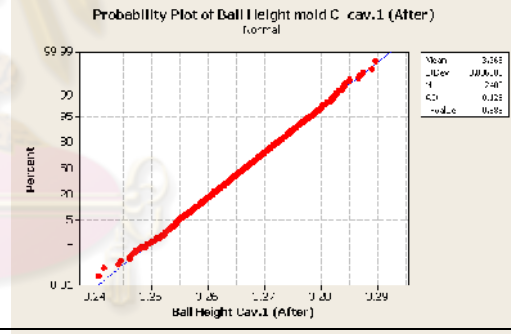
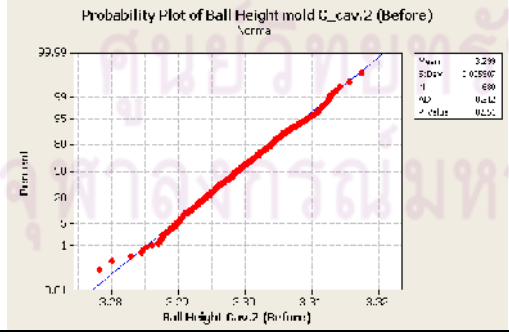
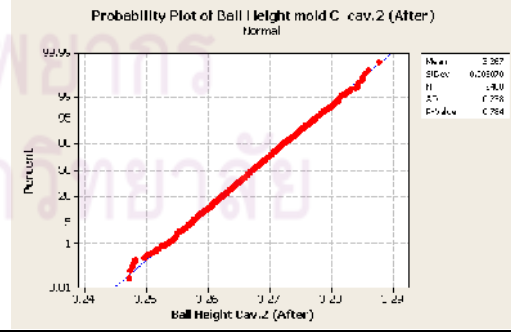
ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการเพื่อยืนยันผลการทดลอง คือ ความสามารถของกระบวนการ Cp และ Cpk เปรียบเทียบระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง รวมทั้งอัตราการเกิดของเสีย (DPPM) เกี่ยวกับประเภทความสูงของบอลเกินหรือต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้า

ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการเก็บข้อมูลในการทดสอบเพื่อยืนยันผล โดยกำหนดให้ทั้งเดือนที่ทำการควบคุมนั้นปฏิบัติงานโดยพนักงานทั้ง 2 กะ เนื่องจากลักษณะการทำงานเป็นแบบต่อเนื่อง ไม่สามารถหยุดเพื่อรอให้พนักงานกะใดกะหนึ่งทำการทดลองและเก็บผลเพียงกะเดียวได้ อีกทั้งระหว่างการทดลองก็ต้องผลิตงานเพื่อส่งขายให้ลูกค้าด้วย

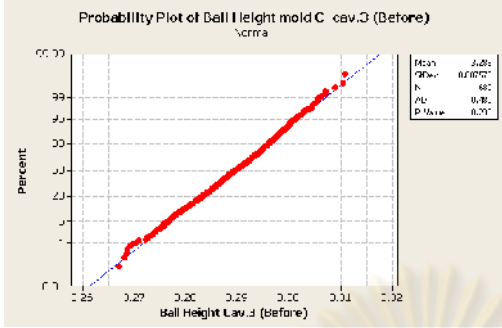
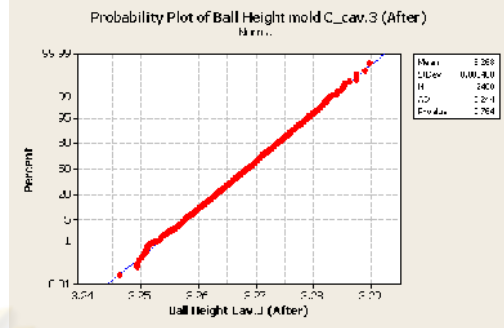
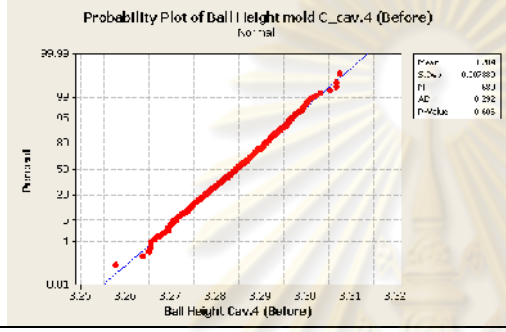
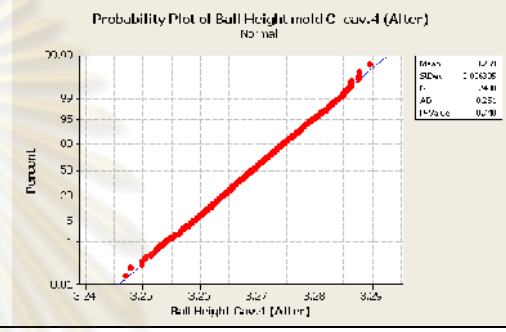
- ผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

ขั้นตอนแรก จะทำการตรวจสอบข้อมูลของระยะความสูงของบอลทั้งก่อนและหลังปรับปรุงว่าเป็นการกระจายแบบปกติหรือไม่ โดยข้อมูลระยะความสูงของบอลก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ สามารถทำ Probability Plot ได้ดังตารางที่ 7-3

ตารางที่ 7-3 เปรียบเทียบ Probability Plot ระยะความสูงของบอลก่อนและหลังปรับปรุง

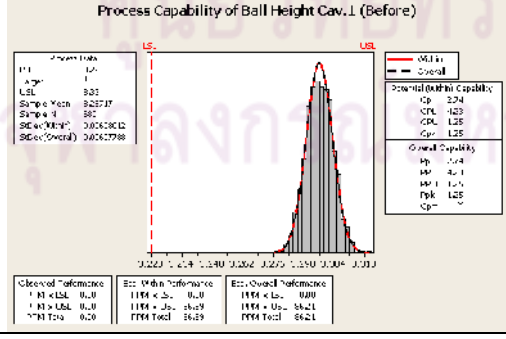
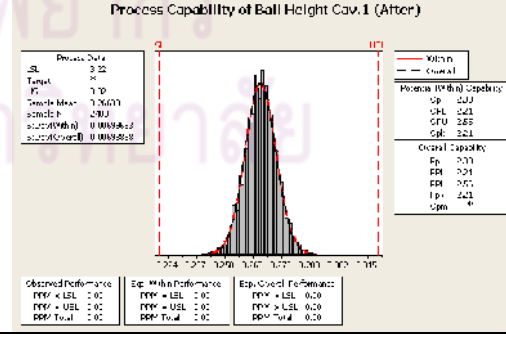
คาวิตี้	Probability Plot ก่อนปรับปรุง	Probability Plot หลังปรับปรุง
1		
2		

ตารางที่ 7-3 เปรียบเทียบ Probability Plot ระยะความสูงของบอลก่อนและหลังปรับปรุง (ต่อ)

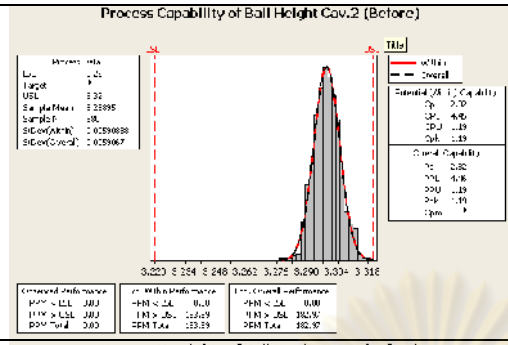
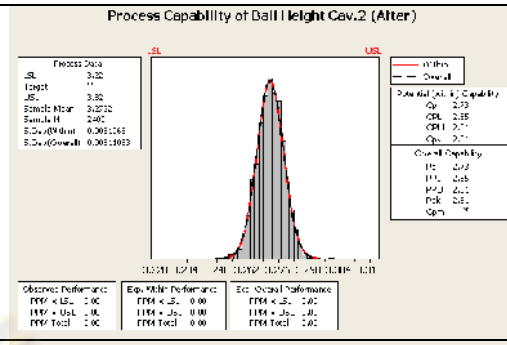
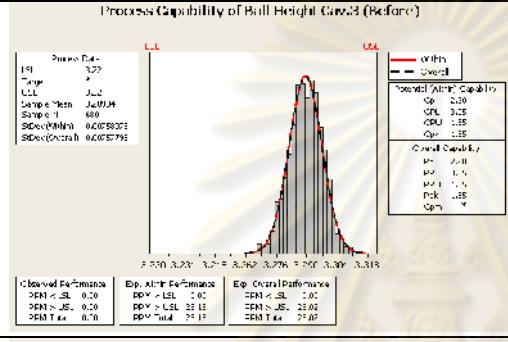
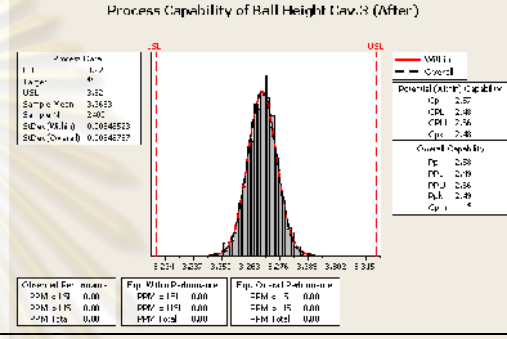
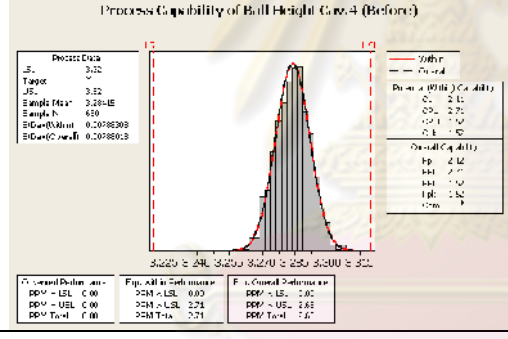
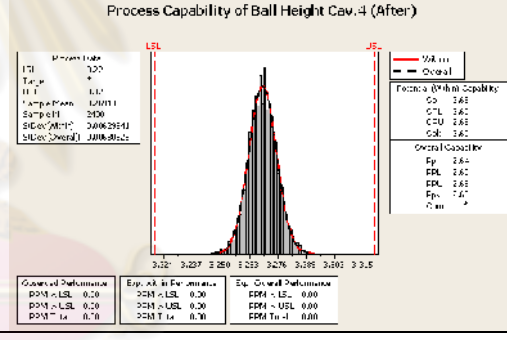
คาวิตี้	Probability Plot ก่อนปรับปรุง	Probability Plot หลังปรับปรุง
3		
4		

จากการเปรียบเทียบ Probability Plot ระยะความสูงของบอลระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงพบว่า ค่า P value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ทุกคาวิตี้ ซึ่งสรุปได้ว่าค่าการกระจายตัวของบอลมีความปกติทุกคาวิตี้ และสามารถเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังปรับปรุง ดังแสดงในตารางที่ 7-4

ตารางที่ 7-4 เปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังปรับปรุง

คาวิตี้	Probability Plot ก่อนปรับปรุง	Probability Plot หลังปรับปรุง
1		

ตารางที่ 7-4 เปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังปรับปรุง (ต่อ)

คาวิตี้	Probability Plot ก่อนปรับปรุง	Probability Plot หลังปรับปรุง
2		
3		
4		

การเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการหลังปรับปรุง จะเห็นว่าความสามารถในการประกอบบอลในแต่ละคาวิตี้มีระยะเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.266-3.272 มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ระหว่างค่าเป้าหมาย 3.270 มิลลิเมตร และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 0.0061-0.0069 มิลลิเมตร ซึ่งจะดีกว่าความสามารถของกระบวนการก่อนปรับปรุง ซึ่งความสามารถในการประกอบบอลในแต่ละคาวิตี้มีระยะเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.284-3.298 มิลลิเมตร และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ระหว่าง 0.0059-0.0078 มิลลิเมตร สำหรับค่า Cpk และ Ppk ก่อนปรับปรุงจะอยู่ระหว่าง 1.19-1.52 ซึ่งต่ำกว่าหลังปรับปรุงซึ่งมีค่า Cpk และ Ppk อยู่ระหว่าง 2.21-2.61 ดังแสดงในตารางที่ 7-5

- ผลการปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงานในการประกอบบอล

วิธีการควบคุมกระบวนการแบบเดิมที่โรงงานกรณีศึกษาปฏิบัติอยู่ คือ กะเช้าทำการสุ่มตรวจความสูงของบอลจำนวน 3 ตัวต่อคาวิตี้ และกะดึกทำการสุ่มตรวจความสูงของบอลจำนวน 4 ตัวต่อคาวิตี้ (โดยการสุ่มชิ้นงานจากสายการประกอบและไม่คำนึงถึงการใช้แท่นรองชิ้นงานสำหรับประกอบ (Assembly jig) และตำแหน่งการวางชิ้นงานในแท่นทั้ง 8 ตำแหน่ง) ถ้าโรงงานทำการผลิตชิ้นงานพร้อมกันทั้ง 5 โมลคิดเป็นชิ้นงานที่พนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพต้องทำการวัดเท่ากับ 72 ตัวต่อวัน แต่หากเกิดปัญหาความสูงของบอลเกินข้อกำหนดของลูกค้า ก็จะต้องหยุดกระบวนการประกอบเพื่อให้ช่างเทคนิคเข้าไปแก้ไขปัญหา เช่น พบว่าคาวิตี้ 1 มีค่าความสูงเกินข้อกำหนด ก็จะต้องนำชิ้นงานพลาสติกไปทดลองประกอบจากแท่นรองชิ้นงานทุกชิ้น และนำชิ้นงานหลังประกอบไปวัดโดยระบุตำแหน่งทั้ง 8 ตำแหน่งในแท่นรองชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้เสียเวลานานในการค้นหาจุดที่เป็นปัญหาโดยที่ไม่รวมระยะเวลาในการแก้ปัญหา

ผู้วิจัยได้เล็งเห็นปัญหาดังกล่าว และเพื่อป้องกันการหยุดสายการผลิตเพื่อค้นหาสาเหตุและการแก้ไขปัญหาเป็นระยะเวลานาน จึงได้เสนอวิธีการเก็บข้อมูลระยะความสูงของบอลแบบแยกคาวิตี้ แยกชิ้นงานจากสายการประกอบ ระบุการใช้แท่นรองชิ้นงานสำหรับประกอบ และระบุตำแหน่งการวางชิ้นงานในแท่น ซึ่งสามารถเปรียบเทียบวิธีการทั้ง 2 แบบดังตารางที่ 7-5

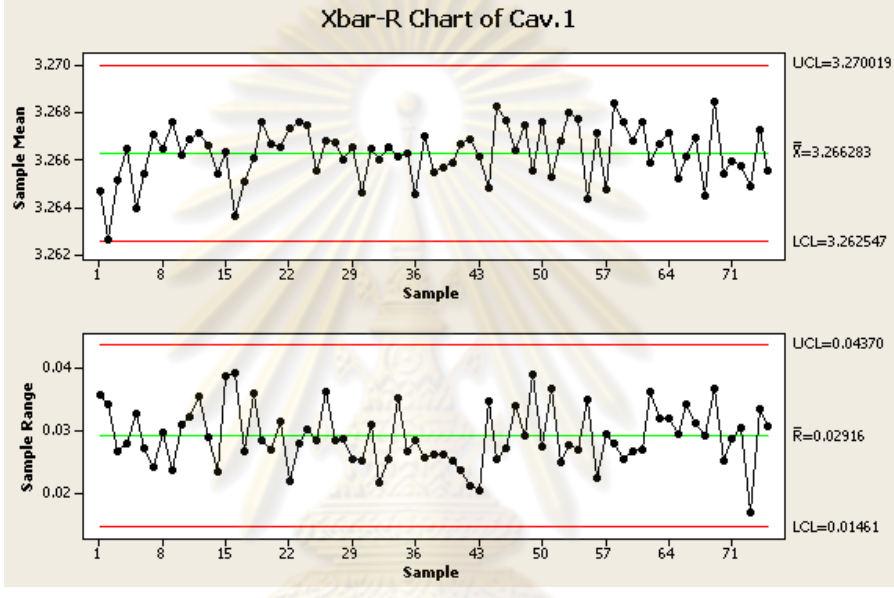
ตารางที่ 7-5 เปรียบเทียบวิธีการเก็บข้อมูลแบบเดิมและการเก็บข้อมูลแบบใหม่

วิธีการเก็บข้อมูลแบบเดิม	วิธีการเก็บข้อมูลแบบใหม่
1. เก็บข้อมูลจากการสุ่มคาวิตี้	1. เก็บข้อมูลจากการแยกคาวิตี้
2. ไม่ทราบหมายเลขแท่นที่ใช้ประกอบ	2. เก็บข้อมูลแบบแยกแท่นที่ใช้ประกอบ
3. ไม่ทราบตำแหน่งการวางชิ้นงานบนแท่นประกอบ	3. เก็บข้อมูลแบบระบุตำแหน่งการวางชิ้นงานบนแท่นประกอบ
4. วัดชิ้นงาน 7 ตัวต่อคาวิตี้ต่อโมลต่อวัน (7 x 4 x 3 = 84 ตัว)	4. วัดชิ้นงาน 8 ตัวต่อคาวิตี้ต่อแท่นประกอบต่อวัน (8 x 4 x 5 = 160 ตัว)
5. ใช้เวลาในการวัดชิ้นงาน 2.8 ชั่วโมง	5. ใช้เวลาในการวัดชิ้นงาน 5.3 ชั่วโมง
6. ควบคุมกระบวนการแบบไม่แยกโมล ไม่แยกคาวิตี้	6. ควบคุมกระบวนการแบบแยกโมล แยกคาวิตี้

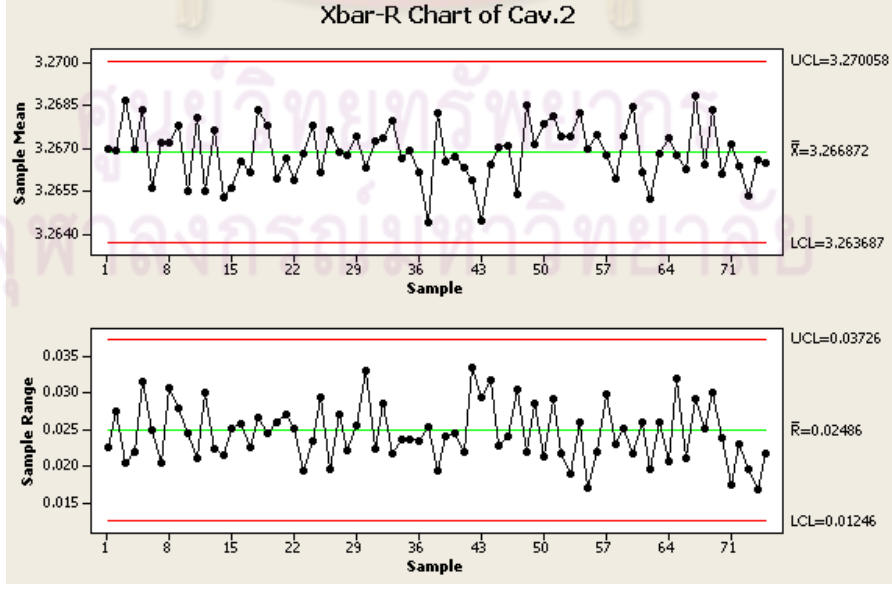
จากการเปรียบเทียบในตารางจะเห็นว่าวิธีการวัดแบบใหม่จะวัดชิ้นงานปริมาณมากกว่าและใช้เวลามากขึ้นกว่าวิธีการเดิมเป็น 2 เท่า แต่ข้อดีของวิธีการวัดแบบใหม่จะช่วยให้ควบคุมกระบวนการได้ดีกว่า สะดวกและรวดเร็วในการตรวจพบข้อบกพร่องและง่ายต่อการแก้ไข ทำให้ลด

เวลาและลดค่าใช้จ่ายในการค้นหาสาเหตุของปัญหา แต่การเพิ่มจำนวนตัวอย่างในการวัดนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อรายจ่ายที่เพิ่มขึ้นในด้านการจ้างพนักงาน เนื่องจากพนักงานที่ทำหน้าที่วัดยังมีเวลา (Capacity) เหลือเพื่อดำเนินการกิจกรรมอื่นได้ (สามารถพิจารณาการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการดำเนินการระหว่างแบบเดิมและแบบที่ผู้วิจัยเสนอได้ในภาคผนวก ง)

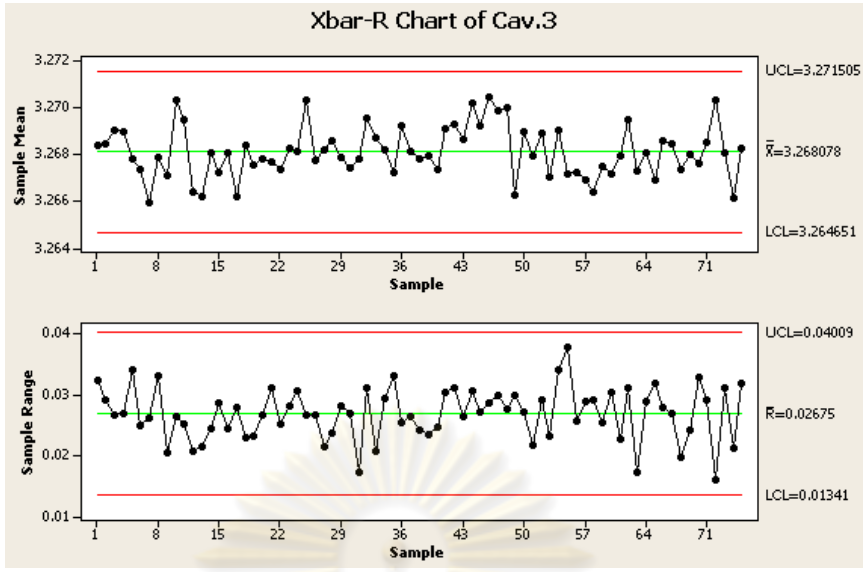
จากการควบคุมกระบวนการโดยการปรับตั้งระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่เหมาะสมทั้ง 5 ปัจจัย ดังตารางที่ 7-1 และทำการเก็บข้อมูลแบบวิธีการใหม่เป็นระยะเวลา 1 เดือน จะได้แผนภูมิแสดงให้เห็นว่ากระบวนการอยู่ภายใต้ความควบคุม ดังรูปที่ 7-2 - 7-5



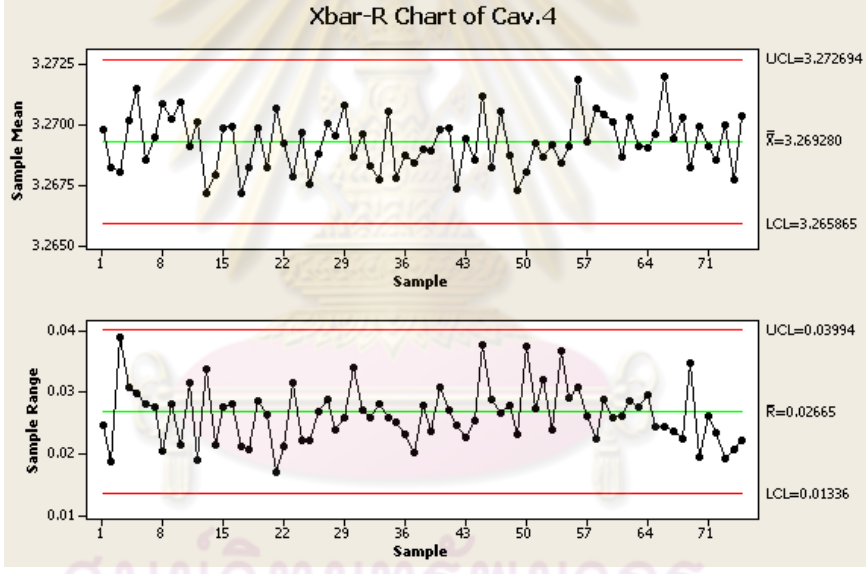
รูปที่ 7-2 แผนภูมิ $\bar{X}$-R สำหรับโมล C คาวิตี้ 1 หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต



รูปที่ 7-3 แผนภูมิ $\bar{X}$-R สำหรับโมล C คาวิตี้ 2 หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต



รูปที่ 7-4 แผนภูมิ $\bar{\bar{X}}$-R สำหรับโมล C คาวิตี้ 3 หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต



รูปที่ 7-5 แผนภูมิ $\bar{\bar{X}}$-R สำหรับโมล C คาวิตี้ 4 หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

- มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุง

ในการคิดมูลค่าความสูญเสียรวมที่จากระยะความสูงของบอลเกินข้อกำหนดของลูกค้า จะคำนวณจากต้นทุนการผลิตโดยรวมค่าต้นทุนและต้นทุนวัตถุดิบ โดยไม่มีการคิดต้นทุนในการแก้ไขงานที่บกพร่อง (Rework) เนื่องจากของเสียจากระยะบอลที่เกินข้อกำหนดของลูกค้านั้นไม่สามารถซ่อมหรือแก้ไขได้ ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุง สามารถคำนวณจากจำนวนของเสียที่ลดลงจากจำนวนของเสียก่อนการปรับปรุง (Base line) โดยปริมาณการผลิตตั้งแต่เดือนเมษายน 2553 ถึงเดือนธันวาคม 2553 เท่ากับ 13,590,485 ชิ้น มีของเสียอยู่ 2.76% หรือคิดเป็น 27,600 ตัวใน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หนึ่งล้านตัว (DPPM) ข้อมูลหลังปรับปรุงอ้างอิงปริมาณของเสียจากการเก็บผลการควบคุมกระบวนการในเดือนมกราคม 2554 พบว่าปริมาณการผลิต 1,500,000 ชิ้น มีของเสียอยู่ 0.01% หรือคิดเป็น 100 ตัวในหนึ่งล้านตัว (DPPM) และจากปริมาณการผลิตที่พยากรณ์ตั้งแต่เดือนมกราคม 2554 ถึงเดือนมิถุนายน 2554 เท่ากับ 9,000,000 ชิ้น สามารถลดจำนวนการเกิดของเสียได้ 41,565 ชิ้นต่อเดือน หรือคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงเท่ากับ 125,734 บาทต่อเดือน หรือ 1,508,810 บาทต่อปี (คิดที่ยอดการผลิต 1,500,000 ชิ้นต่อเดือน) โดยรายละเอียดของการคำนวณมูลค่าความสูญเสีย แสดงไว้ในภาคผนวก ง

7.3 สรุปผลการดำเนินงานระยะติดตามควบคุม

ระยะการติดตามควบคุมเป็นการยืนยันระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า โดยทำการทดสอบผลลัพธ์จากการนำไปควบคุมในกระบวนการเป็นระยะเวลา 1 เดือน โดยปรับตั้งระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญตามค่าที่ตั้งไว้ เพื่อตรวจสอบค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และจัดทำแผนควบคุม (Control plan) ที่เหมาะสมสำหรับเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงาน โดยเพิ่มการตรวจสอบความพร้อมใช้งานของฐานรองแท่นวางชิ้นงานและทำการแก้ไขโดยการทำให้ผิวสัมผัสบริเวณฐานรองมีผิวหน้าเรียบ เพิ่มการตรวจสอบและปรับตั้งระยะพินกดให้อยู่ที่ระยะ 20 มิลลิเมตร และเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบระยะพินทุกๆ 3 ชั่วโมง และการควบคุมและตรวจสอบการประกอบโมลด้วยสีเสนเพื่อป้องกันปัญหารูชิ้นงานเยื้องศูนย์ ซึ่งเป็นการควบคุมกระบวนการประกอบบอลให้พบปัญหาเรื่องความสูงของบอลเกินข้อกำหนดของลูกค้าให้น้อยที่สุด

ผลการปรับปรุงหลังจากกำหนดใช้แผนภูมิควบคุมเพื่อทดสอบและยืนยันผล จากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ สรุปได้ดังตารางที่ 7-6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7-6 เปรียบเทียบผลของความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

ระยะ	ค่าเฉลี่ยของระยะความสูงบอล (มม.)	ค่าความเบี่ยงเบนกระบวนการมาตรฐานเฉลี่ย (มม.)	Cpk	Ppk
ค่าเป้าหมาย	3.27	ต่ำที่สุด	1.50	1.50
<u>ก่อนปรับปรุง</u>				
- คาวิตี้ 1	3.29717	0.00608	1.25	1.25
- คาวิตี้ 2	3.29895	0.00590	1.19	1.19
- คาวิตี้ 3	3.28934	0.00758	1.35	1.35
- คาวิตี้ 4	3.28415	0.00788	1.52	1.52
ค่าทำนายจากมินิแทบ	3.25625	0.006893	-	-
<u>หลังปรับปรุง</u>				
- คาวิตี้ 1	3.26638	0.00699	2.21	2.21
- คาวิตี้ 2	3.27220	0.00611	2.61	2.61
- คาวิตี้ 3	3.26830	0.00649	2.48	2.49
- คาวิตี้ 4	3.26913	0.00629	2.60	2.60

ในการคิดมูลค่าความสูญเสียรวมที่เกิดจากระยะความสูงของบอลเกินข้อกำหนดของลูกค้า สามารถคำนวณจากจำนวนของเสียที่ลดลงจากจำนวนของเสียก่อนการปรับปรุง (Base line) โดยปริมาณการผลิตตั้งแต่เดือนเมษายน 2553 ถึงเดือนธันวาคม 2553 เท่ากับ 13,590,485 ชิ้น มีของเสียอยู่ 2.76% หรือคิดเป็น 27,600 ตัวในหนึ่งล้านตัว (DPPM) ข้อมูลหลังปรับปรุงอ้างอิงปริมาณของเสียจากการเก็บผลการควบคุมกระบวนการในเดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน 2554 พบว่าปริมาณการผลิต 6,000,000 ชิ้น มีของเสียอยู่ 0.008% หรือคิดเป็น 80 ตัวในหนึ่งล้านตัว (DPPM) และสามารถลดจำนวนการเกิดของเสียได้ 41,594 ชิ้นต่อเดือน หรือคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงเท่ากับ 125,821 บาทต่อเดือน หรือ 1,509,850 บาทต่อปี (คิดที่ยอดการผลิต 1,500,000 ชิ้นต่อเดือน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 8

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

8.1 บทนำ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน เพื่อลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล โดยมีเป้าหมายคือการลดอัตราของเสียจาก 5,000 DPPM เหลือ 500 DPPM การวิจัยจะใช้ขั้นตอนตามแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า ในการปรับปรุง โดยเริ่มจากการนิยามปัญหา (Define) การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze) การปรับปรุงกระบวนการ (Improve) และการควบคุมกระบวนการ (Control) โดยบทสรุปของแต่ละขั้นตอนเป็นดังหัวข้อ 8.2-8.6

8.2 บทสรุประยะนิยามปัญหา

จากการศึกษาข้อมูลยอดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายน 2553 พบว่าผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน มียอดจำหน่ายปริมาณมากที่สุดคือ 31% และมีต้นทุนความบกพร่องด้านคุณภาพโดยการตรวจซ้ำ (Rescreen) และการทำลายชิ้นงาน ที่บกพร่อง (Scrap) สูงเป็นอันดับหนึ่งด้วย จากการพิจารณาจำนวนของเสียจากกระบวนการผลิตและจำนวนการผลิตต่อเดือนแล้ว พบว่ารุ่น GZ8063V1 เป็นรุ่นที่ผลิตมากที่สุดและเกิดของเสียมากที่สุด โดยผลรวมในช่วงเดือนเมษายนถึงมิถุนายน 2553 มีต้นทุนในการทำลายชิ้นงานสูงถึง 435,527 บาท (เฉลี่ย 145,176 บาท/เดือน) ซึ่งมีสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องเรื่องระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบไม่ตรงตามข้อกำหนดของลูกค้าที่ 3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร คิดเป็น 61% ของจำนวนของเสียทั้งหมด และคิดเป็นอัตราของเสีย 27,600 DPPM โดยข้อบกพร่องจะมีอยู่ 2 ลักษณะ คือระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบสูงกว่าข้อกำหนดของลูกค้า และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้า ดังนั้นในการศึกษานี้จะปรับปรุงในกระบวนการประกอบบอลเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล และคาดว่าจะได้วิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการประกอบตัวล็อคหัวอ่านที่สามารถลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอลได้

8.3 บทสรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

ระยะการวัดเริ่มจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดจากค่าวัดที่ได้จากเครื่องมือวัดสมาร์ท สโครป โดยทดสอบการวัดของพนักงานฝ่ายควบคุมคุณภาพ 2 คน เปรียบเทียบกับพนักงานฝ่ายเครื่องมือวัด 1 คน โดยวัดชิ้นงาน 10 ชิ้น วัดซ้ำคนละ 3 ครั้ง ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ว่า

สามารถยอมรับความสามารถของระบบการวัดได้ จากนั้นทีมงานร่วมกันวิเคราะห์หาสาเหตุที่อาจจะมีผลต่อปัญหาการเกิดของเสียจากระยะความสูงของบอล โดยใช้การวิเคราะห์ลักษณะการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) ซึ่งได้ข้อสรุปปัจจัยนำเข้าสำหรับการนำไปทดสอบนัยสำคัญดังตารางที่ 8-1 ซึ่งจะนำไปทดสอบและวิเคราะห์ในระยะต่อไป

ตารางที่ 8-1 ปัจจัยนำเข้าเพื่อนำไปทดสอบนัยสำคัญและปรับปรุง

ลำดับ	แนวโน้มสาเหตุของปัญหา	ค่า RPN
1	การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงาน	512
2	การเลื่อนเข้าออกของเครื่องประกอบ	480
3	ระยะกดพินของเครื่องประกอบไม่เหมาะสม	480
4	การประกอบโมลทำให้รูเยื้องศูนย์	392
5	การทดสอบตำแหน่งของชิ้นส่วนโมลหลังจากประกอบ	392

8.4 บทสรุประยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 5 ปัจจัยไปทดสอบว่ามีนัยสำคัญต่อระยะความสูงของบอลหลังประกอบหรือไม่ โดยการออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลาง (Center point) สำหรับปัจจัยแบบผันแปร รูปแบบการทดลองสำหรับ 5 ปัจจัยคือ 2_v^{5-1} ซึ่งปัจจัยและระดับปัจจัยในการทดลองแสดงดังตารางที่ 8-2 จากการสร้างเมทริกซ์ของการทดลองด้วยโปรแกรมมินิแทบ จะได้การทดลองทั้งสิ้น 17 การทดลอง มีขนาดตัวอย่างการทดลองละ 70 ตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8-2 ปัจจัยและระดับปัจจัยในการทดลอง

สัญลักษณ์ของปัจจัย	คำอธิบาย	ชนิดของปัจจัย	ระดับต่ำ (-1)	จุดศูนย์กลาง	ระดับสูง (+1)
A	การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงาน	คุณลักษณะ	ผิวไม่เรียบทุกตำแหน่ง	-	ผิวเรียบทุกตำแหน่ง
B	การเลื่อนเข้าออกของเครื่องประกอบ	คุณลักษณะ	เครื่องประกอบแบบชุดพินและกระบอกบรรจุบอลสามารถเคลื่อนที่ได้ (แบบเดิม)	-	เครื่องประกอบแบบชุดพินและกระบอกบรรจุบอลไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ (แบบใหม่)
C	ระยะการกดพินของเครื่องประกอบ	ผันแปร	20 มิลลิเมตร	25 มิลลิเมตร	30 มิลลิเมตร
D	การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน	คุณลักษณะ	รูเยื้อง	-	รูไม่เยื้อง
E	การตรวจสอบตำแหน่งของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน	คุณลักษณะ	ไม่ได้ตรวจสอบด้วยสีเสนหลังการประกอบโมล	-	ทำการตรวจสอบด้วยสีเสนหลังการประกอบโมล

เมื่อทำการทดลองครบทุกการทดลอง จะทราบผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) คือ การสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงาน (ปัจจัย A) ระยะการกดพิน ของเครื่องประกอบ (ปัจจัย C) และการประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงานในขั้นตอนของการประกอบโมล (ปัจจัย D) และอันตรกิริยาระหว่างการสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานที่ใช้ประกอบกับระยะการกดพิน (ปัจจัย AC) และอันตรกิริยาระหว่างการสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานที่ใช้ประกอบกับการประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงาน (ปัจจัย AD) ส่วนค่า

ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) ไม่พบปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญและไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งระหว่างระยะการกดของพินและระยะความสูงของบอลหลังประกอบ

8.5 บทสรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

จากการวิเคราะห์ผลดังรูปที่ 8-1 และ 8-2 และนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Stepwise Regression ด้วยโปรแกรมมินิแทบ เพื่อหาสมการถดถอยที่เหมาะสม และหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimization ทำให้ทราบระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 8-3

ตารางที่ 8-3 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม

สัญลักษณ์ของปัจจัย	คำอธิบาย	ระดับที่เหมาะสม	
		Coded Unit	Uncoded Unit
A	การสึกหรอของ ฐานรองแท่นวางชิ้นงาน	1	ผิวเรียบ
B	การเลื่อนเข้าออกของเครื่องประกอบ	1	แบบไม่เคลื่อนที่
C	ระยะการกดพินของเครื่องประกอบ	-1	20 มิลลิเมตร
D	การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน	1	รูไม่เยื้อง
E	ตรวจสอบตำแหน่งของ ชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูชิ้นงาน	1	ตรวจสอบ

ผลลัพธ์จะได้ค่าทำนายค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) เท่ากับ 3.25625 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายคือ 3.27 และค่าทำนายค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) เท่ากับ 0.006893

8.6 บทสรุประยะการติดตามควบคุมกระบวนการผลิต

ระยะการติดตามควบคุมเป็นการยืนยันระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า โดยการติดตามและปรับปรุงเป็นระยะเวลา 1 เดือน ที่ระดับปรับตั้งของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญตามที่แสดงดังตารางที่ 8-3 เพื่อตรวจสอบค่าเฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน แต่ในการปฏิบัติจริงในระยะการควบคุมกระบวนการสำหรับปัจจัย B และ E ที่ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ย ($\bar{y}$) จะปรับที่ระดับสูง (+1) เนื่องจากดำเนินการง่ายและป้องกันปัญหาการประกอบรูเยื้องได้ นอกจากนั้นสิ่งที่สำคัญในระยะนี้คือการ

จัดทำแผนควบคุม (Control plan) ที่เหมาะสมสำหรับเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงาน โดยเพิ่มการตรวจสอบความพร้อมใช้งานของฐานรองแท่นวางชิ้นงานและทำการแก้ไขโดยการทำให้ผิวสัมผัสบริเวณฐานรองมีผิวหน้าเรียบ เพิ่มการตรวจสอบและปรับตั้งระยะพินกดให้อยู่ที่ระยะ 20 มิลลิเมตร และเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบระยะพินทุกๆ 3 ชั่วโมง และการควบคุมและตรวจสอบการประกอบโมลด้วยสีเสนเพื่อป้องกันปัญหารูชิ้นงานเยื้องศูนย์ ซึ่งเป็นการควบคุมกระบวนการประกอบบอลให้พบปัญหาเรื่องความสูงของบอลเกินข้อกำหนดของลูกค้าให้น้อยที่สุด ซึ่งผลการปรับปรุงสรุปได้ดังตารางที่ 8-4

ตารางที่ 8-4 เปรียบเทียบผลของความสามารถของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

ระยะ	ค่าเฉลี่ยของระยะความสูงบอล (มม.)	ค่าความเบี่ยงเบนกระบวนการมาตรฐานเฉลี่ย (มม.)	Cpk	Ppk
ค่าเป้าหมาย	3.27	ต่ำที่สุด	1.50	1.50
<u>ก่อนปรับปรุง</u>				
- คาวิตี้ 1	3.29717	0.00608	1.25	1.25
- คาวิตี้ 2	3.29895	0.00590	1.19	1.19
- คาวิตี้ 3	3.28934	0.00758	1.35	1.35
- คาวิตี้ 4	3.28415	0.00788	1.52	1.52
ค่าทำนายจากมินิแทบ	3.25625	0.006893	-	-
<u>หลังปรับปรุง</u>				
- คาวิตี้ 1	3.26638	0.00699	2.21	2.21
- คาวิตี้ 2	3.27220	0.00611	2.61	2.61
- คาวิตี้ 3	3.26830	0.00649	2.48	2.49
- คาวิตี้ 4	3.26913	0.00629	2.60	2.60

มูลค่าความสูญเสียจากปัญหาระยะความสูงของบอลเกินจากข้อกำหนดของลูกค้า สามารถคำนวณจากจำนวนของเสียที่ลดลงเปรียบเทียบกับจำนวนของเสียก่อนการปรับปรุง (Base line) พบว่าลดจำนวนการเกิดของเสียลงจาก 2.76% เหลือ 0.008% หรือคิดเป็น 80 ตัวในหนึ่งล้านตัว (DPPM) จากการปรับปรุงตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน 2554 สามารถลดจำนวนการเกิดของเสียได้ 41,594 ชิ้นต่อเดือน หรือคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงเท่ากับ 125,821 บาทต่อเดือน หรือ 1,509,850 บาทต่อปี

จากการประยุกต์ใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า เพื่อหาสาเหตุข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล โดยดำเนินการตามขั้นตอน DMAIC ในการวิเคราะห์และแก้ปัญหาด้วยการออกแบบการทดลองหาระดับปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสม และทำการทดสอบยืนยันผลเพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ของกระบวนการก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง ซึ่งหลังปรับปรุงสามารถทำการแก้ปัญหากระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่านได้และทำให้มูลค่าความสูญเสียลดลง

8.7 ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย

1. ในขั้นตอนการทดลองทั้ง 17 รัน ไม่สามารถทำการทดลองตาม Run Order เพื่อให้เกิดความอิสระของผลการทดลองได้ เนื่องจากขั้นตอนของการประกอบโมล ซึ่งเป็นปัจจัยนำเข้าที่ต้องทำการทดลองทั้งระดับต่ำและระดับสูง ต้องใช้เวลาในการแกะชิ้นส่วนโมล และประกอบโมลประมาณ 4-5 ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้เสียเวลาในการทดลองมาก อีกทั้งอาจส่งผลต่อสภาพโมลได้ ผู้วิจัยจึงเลือกเก็บข้อมูลโดยยึดลักษณะของการประกอบโมลเป็นหลัก

2. เนื่องจากขั้นตอนการเก็บผลการทดลองต้องใช้การวัด ซึ่งในแต่ละการทดลองต้องใช้เวลานาน ผู้วิจัยจึงเลือกทำการทดลองโมล C เพียงโมลเดียวและทำการประกอบที่สายการประกอบที่ 1 ซึ่งการขยายผลในการทดลองสำหรับสายการประกอบที่ 2 จะต้องดำเนินการปรับตั้งพารามิเตอร์ต่างๆ ตามที่ทดลองที่สายการประกอบที่ 1

3. เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษามีอัตราการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์อื่นเพิ่มสูงขึ้นจากแผนการผลิตเดิมที่วางไว้ ส่งผลกระทบต่อเครื่องมือวัดที่ต้องใช้วัดชิ้นงานร่วมกับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ทำให้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลล่าช้ากว่ากำหนด

4. ปัจจัยบางปัจจัยที่มีผลต่อระยะความสูงของบอล เช่น ไม่สามารถควบคุมการสึกหรอของฐานรองแท่นวางชิ้นงานในแต่ละตำแหน่งให้เท่ากันได้

8.8 ข้อเสนอแนะ

1. วิธีการในการปรับปรุงกระบวนการประกอบในงานวิจัยนี้สามารถประยุกต์สำหรับสายการผลิตอื่นๆ ที่มีกระบวนการและเครื่องมือในการปฏิบัติงานแบบเดียวกันได้ แต่จะต้องทำการทดสอบปัจจัยนำเข้าระดับเดียวกับวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ก่อน เพื่อยืนยันผลก่อนจะนำไปผลิตจริงต่อไป

2. โรงงานกรณีศึกษาควรติดตั้งเครื่องมือเพื่อช่วยตรวจสอบระยะความสูงของบอล เช่น การติดตั้งระบบเซ็นเซอร์เพื่อทำการวัดระยะความสูงบอลภายในเครื่องประกอบเพื่อตรวจจับชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องอย่างทันท่วงที

3. โรงงานกรณีศึกษาควรให้ความรู้เรื่องเครื่องมือคุณภาพให้กับพนักงานมากขึ้น สำหรับเป็นแนวทางในการนำความรู้มาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิต เพื่อลดของเสียที่จะเกิดขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) [ประมวลผลด้วย MINITAB]. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. FMEA การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ. กรุงเทพมหานคร: TACT, 2547

ชัยพันธ์ พัทธิกุล. การลดของคืนจากการส่งมอบฐานรองรับมอเตอร์โดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า. วิศวกรรมวารสารภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. กรุงเทพหมานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

ธีรพร เสนพรหม. การลดแม่แบบแก้วเสียในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติกโดยใช้แนวคิดซิกซ์ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

นภัสสวงศ์ โรจนโรวรรณ. การควบคุมคุณภาพ. เอกสารการสอนภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์ และ สมจิตร ลาภโนนเขวา. การลดของเสียในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์โดยเทคนิค ซิกซ์ ซิกม่า. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 1033-1038. 2550.

ปารเมศ ชุติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

พนิตา ศรีประย่า และ ชาญณรงค์ สายแก้ว. การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกรีไซเคิล. วิศวกรรมวารสารมหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีที่ 36 ฉบับที่ 2, 2-9. 2552

ภัทรวุฒิ พลอาสา. ต้นทุนคุณภาพในการลดของเสียในกระบวนการผลิตฝาปิดฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟโดยใช้วิธีการของซิกซ์ ซิกม่า : กรณีศึกษา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2548.

วชิรพงษ์ สาลีสิงห์. ปฏิวัติกระบวนการทำงานด้วยเทคนิค Six Sigma ฉบับ Champion และ Black Belt. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2548.

วสันต์ พุกผาสุก และ อรรถกร เก่งพล. การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมียม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า : กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมียม. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 18, 2, 2551: 33-42.

วรภัทร์ ภู่เจริญ, กาญจนา สร้อยระย้า และ ธนกฤต จรัสรุ่งชวลิต. ชำแหละ Six Sigma. พิมพ์ครั้งที่ 1-3. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2546.

วันรัตน์ จันทกิจ. 17 เครื่องมือนักคิด Problem Solving Devices. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2547.

ธิดาเดียว มยุรีสวรรค์. สถิติสำหรับวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2544.

ภาษาอังกฤษ

Automotive Industry Action Group (AIAG), Potential failure mode and effects analysis Reference manual, 3rd ed., 2001.

Harry, M., and Schroeder, R. Six Sigma : The breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations. New York : Currency Book, 2000.

Juan, S. P., Monica, M. C., Ada, M. F., Paola, C. H., and Marcela, F. R. A Six Sigma application project in an air conditioning assembly line. Journal of Industrial Engineering, (2008): 1457-1461.

Kane, V. Mistake proofing in assembly. Journal of ASQ Six Sigma Forum Magazine, 6: 2 (2007): 17-25.

Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments. 7th ed. John Wiley & Sons, 2009.

Sokovic, M., Pavletic, D., and Fakin, S. Application of Six Sigma methodology for process design. Journal of Material processing technology, 162: 163 (2005): 777-783.

Sameer, K., and Micheal, S. Reflective practice using DMAIC Six Sigma to systematically improve shop floor production quality and costs. Journal of Productivity and Performance Management, 58: 3 (2009): 254-273.

Shailesh, N. K., Chatpalliwar, A. S., and Nileshsingh, V. T. Minimization of cord wastages in belt industry using DMAIC. Journal of Engineering Science and Technology, 2: 8 (2010): 3687-3694.

Shrivastava, R.L, Khwaja, I. A., and Tushar, N. D. Engine Assembly Process Quality Improvement using Six Sigma. Journal of the World Congress on Engineering, 3 (2008).

Tushar, N.D., and Shrivastava, R.L. A new direction to quality and productivity management. Journal of the World Congress on Engineering and Computer Science, (2008).

Steiner, S., and MacKay, J. Statistical Engineering : A case study. Journal of Quality progress, 39: 6 (2006): 33-39.

ภาคผนวก

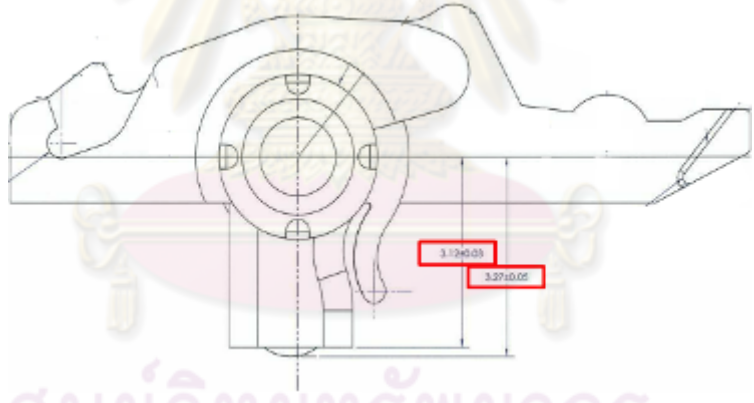
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
การทดสอบความแตกต่างของขนาดชิ้นงานในแต่ละคาวิตี้และในแต่ละโมล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบความแตกต่างของขนาดชิ้นงานในแต่ละคาวิตี้และในแต่ละโมล สำหรับระยะความสูงของปากกระบอก ระยะความกว้างของปากกระบอก และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบด้วย ANOVA

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการปรับปรุงกระบวนการประกอบบอลสำหรับผลิตภัณฑ์ตัวล็อคชุดหัวอ่าน รุ่น GZ8063V1 ที่สามารถผลิตได้จากโมล 5 โมล ในขั้นตอนเริ่มต้นจะต้องศึกษาข้อมูลความแตกต่างของการวัดระยะที่เกี่ยวข้องกับความสูงของบอลหลังจากขั้นตอนการประกอบเปรียบเทียบกันทุกโมล และเปรียบเทียบกันในแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกันด้วย เพื่อให้ทราบถึงลักษณะของความแตกต่างเพื่อใช้ประกอบการแก้ไขปัญหา ซึ่งระยะความสูงของบอลจะเกี่ยวข้องกับขนาดของชิ้นงานพลาสติกตั้งแต่การประกอบโมลและกระบวนการฉีดพลาสติก สำหรับชิ้นงานพลาสติกนั้นจะมีค่าที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนของการประกอบบอลคือ ระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความกว้างของปากกระบอกพลาสติก (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) สำหรับการวัดระยะความสูงของชิ้นงานนั้นสามารถอ้างอิงวิธีการวัดระยะได้จากรูปที่ ก-1



รูปที่ ก-1 ระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร)

จากรูปที่ ก-1 เป็นวิธีการวัดระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) โดยการวัดระยะความสูงของทั้งสองค่านั้นจะอ้างอิงจากจุดกึ่งกลางรูของชิ้นงาน

1.) ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาสำหรับชิ้นงานจากกระบวนการฉีด

ก. การเปรียบเทียบระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ในแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกัน

จากกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการฉีด นับว่าเป็นขั้นตอนแรกที่จะต้องมีการตรวจสอบขนาดของชิ้นงานพลาสติกก่อนการผลิตเป็นจำนวนมาก ซึ่งค่าที่เกี่ยวข้องกับการประกอบบอลคือระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) เพื่อตรวจสอบขนาดของชิ้นงานว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าหรือไม่ ในการวัดขนาดของชิ้นงานนั้นจะวัดจากการสุ่มตัวอย่างชิ้นงาน 3 ตัวต่อคาวิตี้ต่อโมล เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของขนาดชิ้นงานในแต่ละคาวิตี้และในแต่ละโมล โดยการทดสอบด้วย ANOVA และสรุปผลการทดสอบว่าขนาดของชิ้นงานในแต่ละคาวิตี้ และในแต่ละโมลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ด้วยค่า P value

- Mold C

One-way ANOVA: Mold C cav1, Mold C cav 2, Mold C cav 3, Mold C cav 4

```
Source  DF         SS          MS       F      P
Factor   3  0.0031233  0.0010411  688.56  0.000
Error    8  0.0000121  0.0000015
Total   11  0.0031354

S = 0.001230   R-Sq = 99.61%   R-Sq(adj) = 99.47%

                                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                                    Pooled StDev
Level          N     Mean    StDev   -+---------+---------+---------+--------
Mold C cav1    3  3.11159  0.00122    (-*)
Mold C cav 2   3  3.13984  0.00202                                (-*)
Mold C cav 3   3  3.14629  0.00035                                       (*-)
Mold C cav 4   3  3.11067  0.00059   (-*)
                                     -+---------+---------+---------+--------
                                    3.110     3.120     3.130     3.140
Pooled StDev = 0.00123
```

- Mold H

One-way ANOVA: Mold H cav1, Mold H cav 2, Mold H cav 3, Mold H cav 4

```
Source  DF         SS          MS      F      P
Factor   3  0.0001156  0.0000385  43.55  0.000
Error    8  0.0000071  0.0000009
Total   11  0.0001227

S = 0.0009407   R-Sq = 94.23%   R-Sq(adj) = 92.07%

                                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                                    Pooled StDev
Level          N     Mean    StDev  ------+---------+---------+---------+---
Mold H cav1    3  3.13710  0.00053                              (---*---)
Mold H cav 2   3  3.13357  0.00067                    (---*---)
Mold H cav 3   3  3.13167  0.00123               (---*---)
Mold H cav 4   3  3.12853  0.00114  (---*----)
                                    ------+---------+---------+---------+---
                                        3.1290    3.1320    3.1350    3.1380
Pooled StDev = 0.00094
```

- Mold I

One-way ANOVA: Mold I cav1, Mold I cav 2, Mold I cav 3, Mold I cav 4

```
Source  DF         SS          MS        F      P
Factor   3  0.0029018  0.0009673  1567.72  0.000
Error    8  0.0000049  0.0000006
Total   11  0.0029067

S = 0.0007855   R-Sq = 99.83%   R-Sq(adj) = 99.77%

                                  Individual 95% CIs For Mean Based on
                                  Pooled StDev
Level         N     Mean    StDev   -+---------+---------+---------+--------
Mold I cav1   3  3.11374  0.00082                (*)
Mold I cav 2  3  3.09891  0.00047     *)
Mold I cav 3  3  3.09633  0.00125   (*)
Mold I cav 4  3  3.13546  0.00001                                    (*)
                                   -+---------+---------+---------+--------
                                  3.096     3.108     3.120     3.132
Pooled StDev = 0.00079
```

- Mold J

One-way ANOVA: Mold J cav1, Mold J cav 2, Mold J cav 3, Mold J cav 4

```
Source  DF         SS          MS      F      P
Factor   3  0.0004777  0.0001592  22.78  0.000
Error    8  0.0000559  0.0000070
Total   11  0.0005337

S = 0.002644   R-Sq = 89.52%   R-Sq(adj) = 85.59%

                                  Individual 95% CIs For Mean Based on
                                  Pooled StDev
Level         N     Mean    StDev  ------+---------+---------+---------+---
Mold J cav1   3  3.11930  0.00020                (----*----)
Mold J cav 2  3  3.12423  0.00242                        (----*----)
Mold J cav 3  3  3.10710  0.00451  (----*----)
Mold J cav 4  3  3.11467  0.00131          (-----*----)
                                  ------+---------+---------+---------+---
                                     3.1080    3.1150    3.1220    3.1290
Pooled StDev = 0.00264
```

- Mold K

One-way ANOVA: Mold K cav1, Mold K cav 2, Mold K cav 3, Mold K cav 4, Mold K cav 5, Mold K cav 6, Mold K cav 7, Mold K cav 8

```
Source  DF         SS          MS      F      P
Factor   7  0.0076303  0.0010900  247.64  0.000
Error   16  0.0000704  0.0000044
Total   23  0.0077007

S = 0.002098   R-Sq = 99.09%   R-Sq(adj) = 98.69%
                                  Individual 95% CIs For Mean Based on
                                  Pooled StDev
Level         N     Mean    StDev   -+---------+---------+---------+--------
Mold K cav1   3  3.13310  0.00140                                  (-*)
Mold K cav 2  3  3.09317  0.00025    (-*-)
Mold K cav 3  3  3.09043  0.00059   (*-)
Mold K cav 4  3  3.13297  0.00184                                  (-*)
Mold K cav 5  3  3.13213  0.00488                                 (-*-)
Mold K cav 6  3  3.10893  0.00200              (-*)
Mold K cav 7  3  3.10643  0.00055            (-*-)
Mold K cav 8  3  3.13573  0.00115                                    (*-)
                                   -+---------+---------+---------+--------
                                  3.090     3.105     3.120     3.135
Pooled StDev = 0.00210
```

ผลสรุปจากการทดสอบด้วย ANOVA สำหรับระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติกที่ใช้ประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) พบว่าระยะความสูงของปากกระบอกของแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกันมีระยะความสูงที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P value ของแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกันมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ทุกโมล

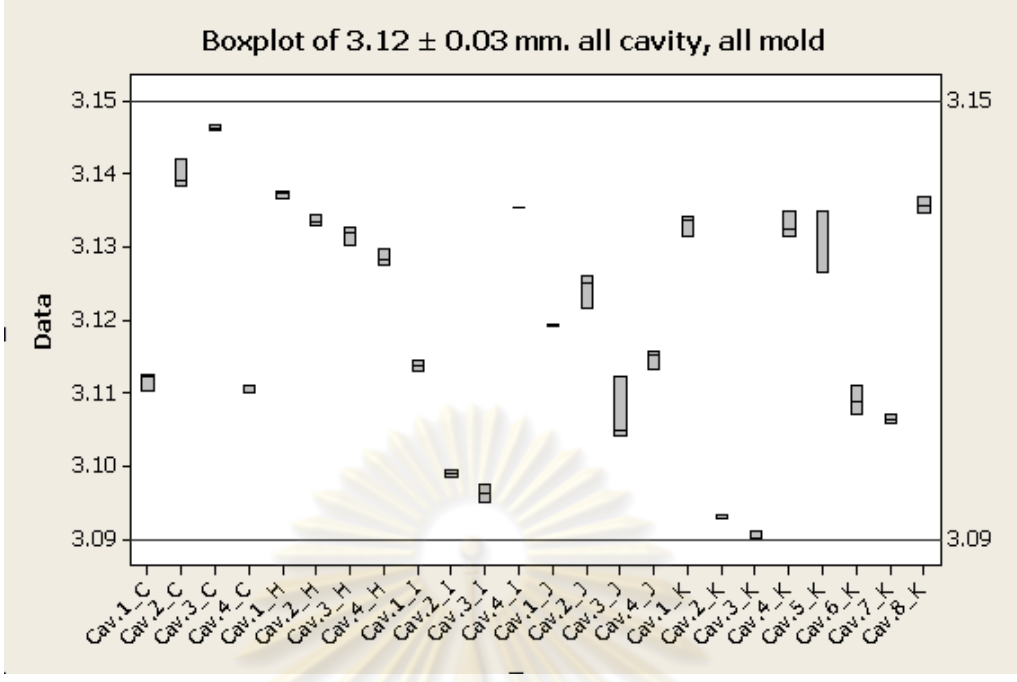
ข. การเปรียบเทียบระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ระหว่างโมล

One-way ANOVA: Mold C, Mold H, Mold I, Mold J, Mold K

```
Source  DF        SS        MS     F      P
Factor   4  0.003930  0.000983  4.57  0.003
Error   67  0.014399  0.000215
Total   71  0.018330

S = 0.01466   R-Sq = 21.44%   R-Sq(adj) = 16.75%
                             Individual 95% CIs For Mean Based on
                             Pooled StDev
Level    N    Mean   StDev  -------+---------+---------+---------+--
Mold C  12  3.1271  0.0169                (-------*--------)
Mold H  12  3.1327  0.0033                     (--------*-------)
Mold I  12  3.1111  0.0163  (-------*--------)
Mold J  12  3.1163  0.0070       (--------*--------)
Mold K  24  3.1166  0.0183         (-----*-----)
                             -------+---------+---------+---------+--
                                  3.110     3.120     3.130     3.140
Pooled StDev = 0.0147
```

ผลสรุปจากการทดสอบด้วย ANOVA สำหรับระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติกที่ใช้ประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) พบว่าระยะความสูงของปากกระบอกของแต่ละโมล มีระยะความสูงที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยที่ความสูงของปากกระบอกของทุกโมลจะอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนอนุโลม 3.09 – 3.15 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ ก-2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก-2 แนวโน้มของระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติกสำหรับประกอบบอล (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ในแต่ละโมล

จากข้อมูลการเปรียบเทียบการกระจายตัวของข้อมูลระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ในแต่ละคาวิตี้ของโมลที่ทำการผลิตอยู่ในปัจจุบัน จะเห็นว่าภายในโมลเดียวกันมีค่าเฉลี่ยในแต่ละคาวิตี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (Significant) ซึ่งการควบคุมระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) นั้นนับว่าเป็นขั้นตอนแรกที่จำเป็นต้องควบคุมให้แต่ละคาวิตี้ในโมลเดียวกันไม่เกิดความแตกต่างกันก่อน แล้วจึงทำการควบคุมให้ระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ของทุกโมลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญด้วย โดยจะต้องควบคุมการประกอบโมลไม่ให้เกิดปัญหารูของชิ้นงานเยื้องศูนย์

ค. การเปรียบเทียบระยะความกว้างของปากกระบอกพลาสติก (1.48+0/-0.01 มิลลิเมตร) ในแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกัน

การทดสอบระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการประกอบบอลที่จะต้องทดสอบขนาดของชิ้นงานในแต่ละคาวิตี้และในแต่ละโมลว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ การวัดขนาดของชิ้นงานนั้นจะวัดจากการสุ่มตัวอย่างชิ้นงาน 3 ตัวต่อคาวิตี้ต่อโมลเช่นเดียวกัน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของขนาดชิ้นงานในแต่ละคาวิตี้และในแต่ละโมล โดยการทดสอบด้วย ANOVA และสรุปผลการทดสอบด้วยค่า P value

- Mold C

One-way ANOVA: Mold C cav 1, Mold C cav 2, Mold C cav 3, Mold C cav 4

```
Source  DF         SS          MS     F      P
Factor   3  0.0000086  0.0000029  1.18  0.377
Error    8  0.0000195  0.0000024
Total   11  0.0000281

S = 0.001560   R-Sq = 30.65%   R-Sq(adj) = 4.64%
                                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                                    Pooled StDev
Level         N     Mean    StDev  --+---------+---------+---------+-------
Mold C cav 1  3  1.47415  0.00190             (----------*---------)
Mold C cav 2  3  1.47313  0.00166        (----------*---------)
Mold C cav 3  3  1.47300  0.00180        (---------*---------)
Mold C cav 4  3  1.47176  0.00041  (----------*---------)
                                    --+---------+---------+---------+-------
                                    1.4700    1.4720    1.4740    1.4760
Pooled StDev = 0.00156
```

- Mold H

One-way ANOVA: Mold H cav 1, Mold H cav 2, Mold H cav 3, Mold H cav 4

```
Source  DF         SS          MS     F      P
Factor   3  0.0000547  0.0000182  8.61  0.007
Error    8  0.0000170  0.0000021
Total   11  0.0000717

S = 0.001456   R-Sq = 76.34%   R-Sq(adj) = 67.47%


                                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                                    Pooled StDev
Level         N     Mean    StDev   -+---------+---------+---------+--------
Mold H cav 1  3  1.47728  0.00115                        (-------*-------)
Mold H cav 2  3  1.47315  0.00054          (-------*------)
Mold H cav 3  3  1.47170  0.00227   (-------*-------)
Mold H cav 4  3  1.47265  0.00130       (-------*------)
                                     -+---------+---------+---------+--------
                                    1.4700    1.4725    1.4750    1.4775
Pooled StDev = 0.00146
```

- Mold I

One-way ANOVA: Mold I cav 1, Mold I cav 2, Mold I cav 3, Mold I cav 4

```
Source  DF         SS          MS     F      P
Factor   3  0.0000162  0.0000054  2.78  0.110
Error    8  0.0000156  0.0000019
Total   11  0.0000318

S = 0.001395   R-Sq = 51.02%   R-Sq(adj) = 32.66%


                                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                                    Pooled StDev
Level         N     Mean    StDev   -+---------+---------+---------+--------
Mold I cav 1  3  1.47574  0.00210   (---------*--------)
Mold I cav 2  3  1.47897  0.00071                    (--------*--------)
Mold I cav 3  3  1.47688  0.00068         (--------*---------)
Mold I cav 4  3  1.47689  0.00156         (--------*---------)
                                     -+---------+---------+---------+--------
                                    1.4740    1.4760    1.4780    1.4800
Pooled StDev = 0.00139
```

- Mold J

One-way ANOVA: Mold J cav 1, Mold J cav 2, Mold J cav 3, Mold J cav 4

```
Source  DF         SS         MS     F      P
Factor   3  0.0000298  0.0000099  1.79  0.227
Error    8  0.0000445  0.0000056
Total   11  0.0000743

S = 0.002358   R-Sq = 40.13%   R-Sq(adj) = 17.68%

Level         N     Mean    StDev
Mold J cav 1  3  1.47443  0.00302
Mold J cav 2  3  1.47777  0.00096
Mold J cav 3  3  1.47593  0.00143
Mold J cav 4  3  1.47363  0.00318

              Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level         --------+---------+---------+---------+-
Mold J cav 1    (----------*---------)
Mold J cav 2              (----------*---------)
Mold J cav 3         (----------*---------)
Mold J cav 4  (---------*----------)
              --------+---------+---------+---------+-
                    1.4730    1.4760    1.4790    1.4820
Pooled StDev = 0.00236
```

- Mold K

One-way ANOVA: Mold K cav1, Mold K cav 2, Mold K cav 3, Mold K cav 4, Mold K cav 5, Mold K cav 6, Mold K cav 7, Mold K cav 8

```
Source  DF         SS         MS     F      P
Factor   7  0.0000551  0.0000079  5.23  0.003
Error   16  0.0000241  0.0000015
Total   23  0.0000792

S = 0.001228   R-Sq = 69.57%   R-Sq(adj) = 56.26%

                                  Individual 95% CIs For Mean Based on
                                  Pooled StDev
Level         N     Mean    StDev -------+---------+---------+---------+--
Mold K cav 1  3  1.47408  0.00123           (------*-------)
Mold K cav 2  3  1.47553  0.00128                  (-------*------)
Mold K cav 3  3  1.47694  0.00178                         (-------*------)
Mold K cav 4  3  1.47202  0.00017 (------*-------)
Mold K cav 5  3  1.47548  0.00157          (------*-------)
Mold K cav 6  3  1.47515  0.00098                (-------*------)
Mold K cav 7  3  1.47316  0.00124       (-------*------)
Mold K cav 8  3  1.47611  0.00087                   (-------*------)
                                  -------+---------+---------+---------+--
                                    1.4720    1.4740    1.4760    1.4780
Pooled StDev = 0.00123
```

ผลสรุปจากการทดสอบด้วย ANOVA สำหรับระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) พบว่าระยะความกว้างของปากกระบอกของแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกันมีระยะความกว้างที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเป็นบางโมลคือ โมล H และโมล K เนื่องจากค่า P value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนโมล C I และ J พบว่าระยะความกว้าง

ของปากกระบอกของแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P value มีค่ามากกว่า 0.05

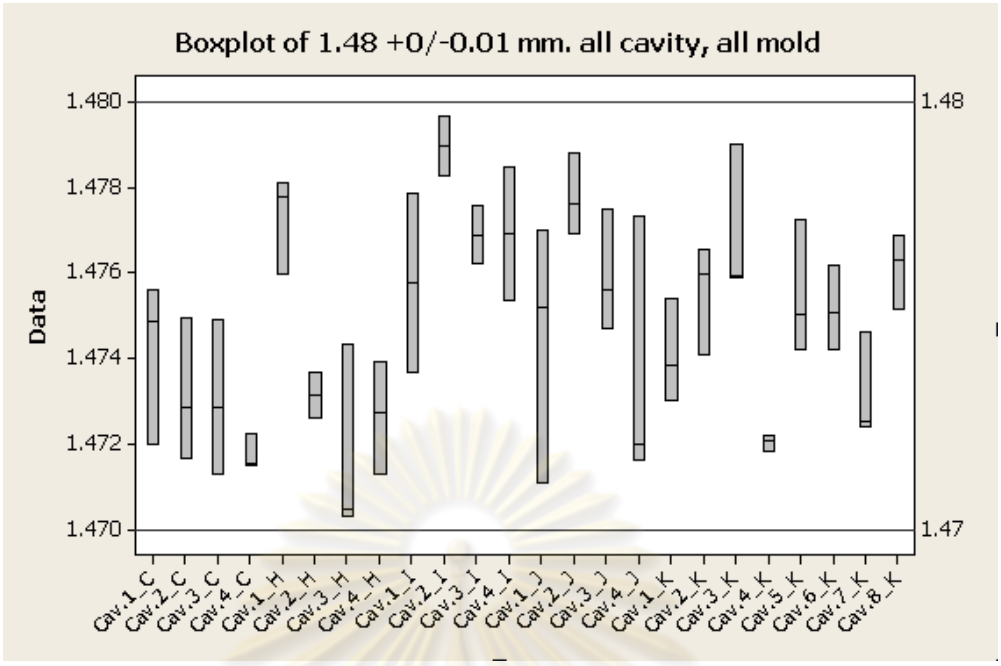
ง. การเปรียบเทียบระยะความกว้างของปากกระบอกพลาสติก (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) ระหว่างโมล

One-way ANOVA: Mold C, Mold H, Mold I, Mold J, Mold K

```
Source  DF         SS          MS     F      P
Factor   4  0.0001226  0.0000307  7.21  0.000
Error   67  0.0002851  0.0000043
Total   71  0.0004077

S = 0.002063   R-Sq = 30.08%   R-Sq(adj) = 25.91%

                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level    N     Mean    StDev    -+---------+---------+---------+--------
Mold C  12  1.47301  0.00160    (-----*-----)
Mold H  12  1.47369  0.00255       (----*-----)
Mold I  12  1.47712  0.00170                      (-----*-----)
Mold J  12  1.47544  0.00260                 (-----*-----)
Mold K  24  1.47481  0.00186                (---*---)
                                -+---------+---------+---------+--------
                               1.4720    1.4740    1.4760    1.4780

Pooled StDev = 0.00206
```

ผลสรุปจากการทดสอบด้วย ANOVA สำหรับระยะความกว้างของปากกระบอกพลาสติกที่ใช้ประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) พบว่าระยะความกว้างของปากกระบอกของแต่ละโมลมีระยะความกว้างที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 และจากข้อมูลการกระจายตัวของระยะความกว้างของปากกระบอกพลาสติกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) ในแต่ละโมลที่ทำการผลิตอยู่ในปัจจุบัน พบว่าข้อมูลแนวโน้มระยะความกว้างของปากกระบอกของทุกโมลจะอยู่ในช่วง 1.472 – 1.478 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแตกต่างกันเพียง 6 ไมโครเมตร ซึ่งถือว่าน้อยเมื่อเทียบกับช่วงความแตกต่างของระยะความกว้างของปากกระบอกที่มีช่วงคลาดเคลื่อนอนุโลม 10 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ ก-3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก-3 แนวโน้มของระยะความกว้างของปากกระบอกสำหรับประกอบบอล (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) ในแต่ละโมล

บทสรุปสำหรับ 1.) ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาสำหรับชิ้นงานจากกระบวนการฉีด

จากการเปรียบเทียบค่าระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความกว้างของปากกระบอก (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) พบว่าระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ของแต่ละ cavity ภายในโมลเดียวกันมีระยะความสูงที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและมีความแตกต่างระหว่างโมลอย่างมีนัยสำคัญด้วย ซึ่งการกระจายตัวของระยะความสูงอยู่ในช่วง 0-60 ไมโครเมตร ส่วนระยะความกว้างของปากกระบอก (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) จะมีความแตกต่างของแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกันสำหรับโมล H และโมล K และมีความแตกต่างระหว่างโมลอย่างมีนัยสำคัญด้วย ซึ่งการกระจายตัวของระยะความกว้างอยู่ในช่วง 0-6 ไมโครเมตร ผลสรุปจากการทดสอบความต่างของขนาดชิ้นงานพลาสติกที่ได้หลังจากกระบวนการฉีดด้วย ANOVA สามารถแสดงดังตารางที่ ก-1

ตารางที่ ก-1 สรุปผลการทดสอบความต่างของขนาดชิ้นงานสำหรับระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) และระยะความกว้างของปากกระบอก (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) ด้วย ANOVA

โมล	ระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร)		ระยะความกว้างของปากกระบอก (1.48 +0/- 0.01 มิลลิเมตร)	
	Cavity	Mold	Cavity	Mold
C	Significant	Significant	Not Significant	Significant
H	Significant		Significant	
I	Significant		Not Significant	
J	Significant		Not Significant	
K	Significant		Significant	

สาเหตุของความแตกต่างกันสำหรับระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) คือ การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงานเข้ากับโมลไม่ตรงจุดกึ่งกลางทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรูเยื้องศูนย์ ซึ่งการวัดระยะความสูงของปากกระบอกนั้นต้องอ้างอิงจากรูของชิ้นงาน

สาเหตุของความแตกต่างกันสำหรับระยะความกว้างของปากกระบอกพลาสติก (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร)

ก. ขนาดของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงานภายในโมลเดียวกันมีขนาดที่แตกต่างกัน

ข. ขนาดของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงานภายในโมลต่างๆ มีความแตกต่างกัน

เนื่องจากกระบวนการประกอบบอลนั้นมีลักษณะแบบสวมอัด ซึ่งจากแนวโน้มระยะความกว้างของปากกระบอกในแต่ละโมลที่แสดงในรูปที่ ก-3 มีการกระจายตัวที่ 0-6 ไมโครเมตรซึ่งถือว่าน้อยเมื่อเทียบกับช่วงความแตกต่างของระยะความกว้างของปากกระบอกที่มีช่วงคลาดเคลื่อนอนุโลม 10 ไมโครเมตร จึงอนุมานว่าระยะความกว้างของแต่ละโมลไม่มีผลกระทบต่อความแตกต่างกันของระยะความสูงของบอลในชิ้นงานแต่ละโมลและแต่ละคาวิตี้

2.) ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาสำหรับชิ้นงานจากกระบวนการประกอบ

ก. การเปรียบเทียบระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ในแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกัน

กระบวนการประกอบบอลจะมีขั้นตอนสำคัญคือการอัดบอลเข้าไปในกระบอกของชิ้นงานพลาสติก และจะต้องควบคุมระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ ให้อยู่ในช่วง 3.22 – 3.32 มิลลิเมตร (ข้อกำหนดของลูกค้า = 3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ด้วยชิ้นงานพลาสติกที่ผ่านการฉีดมาจาก 5 โมล ผ่านกระบวนการประกอบจาก 2 เครื่อง โดยใช้แท่นรองชิ้นงานทั้งหมด 10 แท่น และไม่มีการกำหนดคาวิตี้ของชิ้นงานในตำแหน่งทั้ง 8 ตำแหน่งของแท่นรองชิ้นงานในการวัดระยะความสูงของบอลนั้นจะวัดจากการสุ่มตัวอย่างชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการประกอบ 3 ตัวต่อคาวิตี้ต่อโมล เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของขนาดชิ้นงานในแต่ละคาวิตี้และในแต่ละโมล โดยการทดสอบด้วย ANOVA และสรุปผลการทดสอบด้วยค่า P value

- Mold C

One-way ANOVA: Mold C cav 1, Mold C cav 2, Mold C cav 3, Mold C cav 4

```
Source  DF         SS          MS       F      P
Factor   3  0.0029294  0.0009765  123.21  0.000
Error    8  0.0000634  0.0000079
Total   11  0.0029928

S = 0.002815   R-Sq = 97.88%   R-Sq(adj) = 97.09%

                                  Individual 95% CIs For Mean Based on
                                  Pooled StDev
Level          N     Mean    StDev  -----+---------+---------+---------+----
Mold C cav 1   3  3.26892  0.00333                    (-*--)
Mold C cav 2   3  3.27774  0.00351                          (-*--)
Mold C cav 3   3  3.26726  0.00209                   (-*--)
Mold C cav 4   3  3.23642  0.00198  (--*-)
                                  -----+---------+---------+---------+----
                                     3.240     3.255     3.270     3.285
Pooled StDev = 0.00282
```

- Mold H

One-way ANOVA: Mold H cav 1, Mold H cav 2, Mold H cav 3, Mold H cav 4

```
Source  DF         SS          MS      F      P
Factor   3  0.0030120  0.0010040  62.86  0.000
Error    8  0.0001278  0.0000160
Total   11  0.0031398

S = 0.003997   R-Sq = 95.93%   R-Sq(adj) = 94.40%

                                  Individual 95% CIs For Mean Based on
                                  Pooled StDev
Level          N     Mean    StDev  ----+---------+---------+---------+-----
Mold H cav 1   3  3.27612  0.00593               (--*---)
Mold H cav 2   3  3.28882  0.00319                       (---*--)
Mold H cav 3   3  3.29505  0.00127                           (---*--)
Mold H cav 4   3  3.25364  0.00412  (--*---)
                                  ----+---------+---------+---------+-----
                                    3.255     3.270     3.285     3.300
Pooled StDev = 0.00400
```

- Mold I

One-way ANOVA: Mold I cav 1, Mold I cav 2, Mold I cav 3, Mold I cav 4

```
Source  DF         SS          MS     F      P
Factor   3  0.0002600  0.0000867  1.58  0.269
Error    8  0.0004393  0.0000549
Total   11  0.0006992

S = 0.007410   R-Sq = 37.18%   R-Sq(adj) = 13.62%

Level         N     Mean    StDev
Mold I cav 1  3  3.27583  0.01013
Mold I cav 2  3  3.26743  0.00207
Mold I cav 3  3  3.26775  0.00235
Mold I cav 4  3  3.27776  0.01036

              Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level         --------+---------+---------+---------+-
Mold I cav 1            (------------*-----------)
Mold I cav 2  (-----------*------------)
Mold I cav 3  (------------*-----------)
Mold I cav 4              (-----------*------------)
              --------+---------+---------+---------+-
                    3.2640    3.2720    3.2800    3.2880
Pooled StDev = 0.00741
```

- Mold J

One-way ANOVA: Mold J cav 1, Mold J cav 2, Mold J cav 3, Mold J cav 4

```
Source  DF         SS          MS     F      P
Factor   3  0.0009425  0.0003142  6.48  0.016
Error    8  0.0003880  0.0000485
Total   11  0.0013305

S = 0.006964   R-Sq = 70.84%   R-Sq(adj) = 59.91%

                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level         N     Mean    StDev --------+---------+---------+---------+-
Mold J cav 1  3  3.30027  0.00278                    (-------*-------)
Mold J cav 2  3  3.28760  0.00564            (-------*------)
Mold J cav 3  3  3.27530  0.00583  (------*-------)
Mold J cav 4  3  3.28590  0.01098           (------*-------)
                                --------+---------+---------+---------+-
                                      3.276     3.288     3.300     3.312
Pooled StDev = 0.00696
```

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- Mold K

One-way ANOVA: Mold K cav1, Mold K cav 2, Mold K cav 3, Mold K cav 4, Mold K cav 5, Mold K cav 6, Mold K cav 7, Mold K cav 8

```
Source  DF         SS         MS      F      P
Factor   7  0.0064293  0.0009185  68.91  0.000
Error   16  0.0002133  0.0000133
Total   23  0.0066425

S = 0.003651   R-Sq = 96.79%   R-Sq(adj) = 95.39%

                                      Individual 95% CIs For Mean Based on
                                      Pooled StDev
Level         N     Mean    StDev  ---+---------+---------+---------+------
Mold K cav 1  3  3.25993  0.00388                        (--*--)
Mold K cav 2  3  3.24923  0.00624                 (--*--)
Mold K cav 3  3  3.25680  0.00478                      (--*--)
Mold K cav 4  3  3.26983  0.00436                               (--*--)
Mold K cav 5  3  3.26307  0.00240                          (--*--)
Mold K cav 6  3  3.23320  0.00082       (--*--)
Mold K cav 7  3  3.22520  0.00178  (--*--)
Mold K cav 8  3  3.27597  0.00110                                    (--*--)
                                     ---+---------+---------+---------+------
                                      3.225     3.240     3.255     3.270

Pooled StDev = 0.00365
```

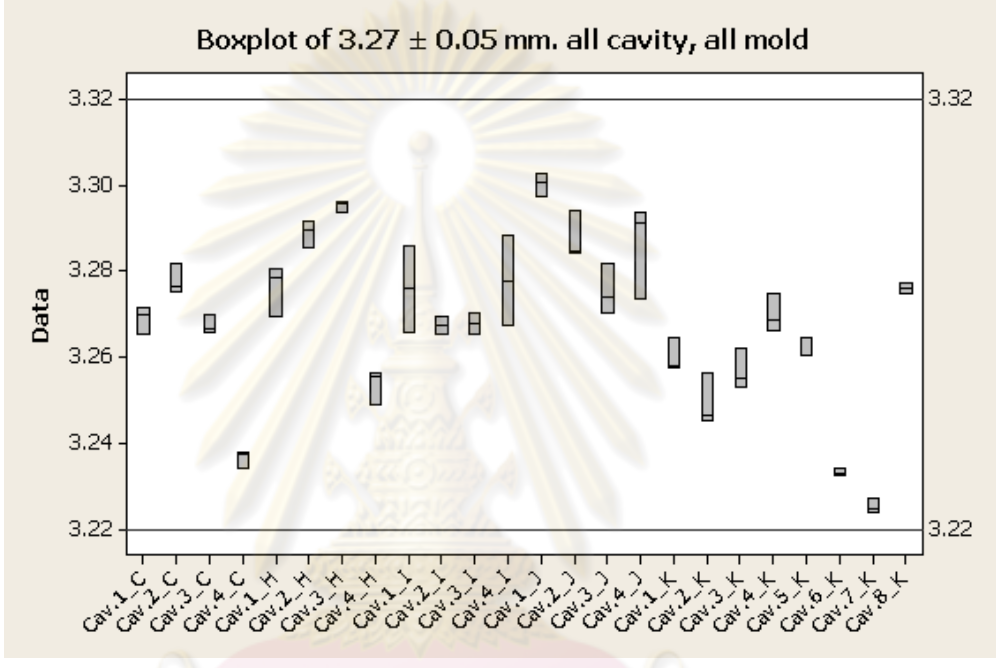
ผลสรุปจากการทดสอบด้วย ANOVA สำหรับระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ในแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกัน พบว่าระยะความสูงของบอลแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกันมีระยะความกว้างที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเป็นบางโมลคือ โมล I เนื่องจากค่า P value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนโมล C H J และ K มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05

ข. การเปรียบเทียบระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ระหว่างโมล

One-way ANOVA: Mold C, Mold H, Mold I, Mold J, Mold K

```
Source  DF        SS        MS      F      P
Factor   4  0.010916  0.002729  12.35  0.000
Error   67  0.014805  0.000221
Total   71  0.025721

S = 0.01487   R-Sq = 42.44%   R-Sq(adj) = 39.00%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level    N    Mean   StDev  ---+---------+---------+---------+------
Mold C  12  3.2626  0.0165       (------*------)
Mold H  12  3.2784  0.0169                 (------*------)
Mold I  12  3.2722  0.0080              (------*------)
Mold J  12  3.2873  0.0110                       (------*-------)
Mold K  24  3.2542  0.0170  (----*----)
                             ---+---------+---------+---------+------
                              3.252     3.264     3.276     3.288

Pooled StDev = 0.0149
```

ผลสรุปจากการทดสอบด้วย ANOVA สำหรับระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) พบว่าระยะความสูงของบอลแต่ละโมล มีระยะความสูงที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า P value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 และจากข้อมูลการเปรียบเทียบการกระจายตัวของระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ในแต่ละคาวิตี้ของโมลที่ทำการผลิตอยู่ในปัจจุบัน จะเห็นว่าภายในโมลเดียวกันมีความผันแปรในแต่ละคาวิตี้แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ ก-4



รูปที่ ก-4 แนวโน้มของระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบในแต่ละโมล

บทสรุปสำหรับ 2.) ข้อมูลเบื้องต้นเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาสำหรับชิ้นงานจากกระบวนการประกอบ

จากการเปรียบเทียบค่าระยะความสูงของบอลหลังจากผ่านกระบวนการประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) พบว่าระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ของแต่ละคาวิตี้ภายในโมลเดียวกันมีระยะที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มีเพียงโมล I ที่ในแต่ละคาวิตี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างโมลพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอยู่ในช่วง 0-80 ไมโครเมตร สามารถสรุปผลจากการทดสอบความต่างของขนาดชิ้นงานได้ดังตารางที่ ก-2

ตารางที่ ก-2 สรุปผลการทดสอบความต่างของขนาดชิ้นงานสำหรับระยะความสูงของบอล
หลังจากผ่านกระบวนการประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ด้วย ANOVA

โมล	ระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร)	
	Cavity	Mold
C	Significant	Significant
H	Significant	
I	Not Significant	
J	Significant	
K	Significant	

สาเหตุของความแตกต่างกันสำหรับระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ในแต่ละโมล

ก. ปัจจัยที่เกี่ยวเนื่องจากการควบคุมตั้งแต่กระบวนการประกอบโมล เพื่อควบคุมให้ระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ของแต่ละคาวิตี้ในทุกโมลไม่เกิดความแตกต่างกัน

ข. ระยะการกดของพินในเครื่องประกอบบอลที่ไม่เหมาะสม ทำให้ระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบทุกคาวิตี้ของทุกโมลมีความแตกต่างกัน

ค. ความไม่เรียบผิวของหน้าสัมผัสของฐานรองแท่นวางชิ้นงานสำหรับประกอบบอล

สรุปการทดสอบความแตกต่างของขนาดชิ้นงานในแต่ละคาวิตี้และในแต่ละโมล

การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างระยะความสูงของชิ้นงานจากกระบวนการฉีดและชิ้นงานจากกระบวนการประกอบ ด้วย ANOVA โดยศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาสำหรับชิ้นงานจากกระบวนการฉีดและชิ้นงานจากกระบวนการประกอบ ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ได้ดังตารางที่ ก-3

ตารางที่ ก-3 ความสัมพันธ์ของปัญหาสำหรับชิ้นงานจากกระบวนการฉีดและชิ้นงานจากกระบวนการประกอบ

โมล	ระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร)		ระยะความกว้างของปากกระบอก (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร)		ระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร)	
	Cavity	Mold	Cavity	Mold	Cavity	Mold
C	Significant	Significant	Not Significant	Significant	Significant	Significant
H	Significant		Significant		Significant	
I	Significant		Not Significant		Not Significant	
J	Significant		Not Significant		Significant	
K	Significant		Significant		Significant	

สาเหตุที่ทำให้มีความแตกต่างกันสำหรับระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) คือ การประกอบชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงานเข้ากับโมลไม่ตรงจุดกึ่งกลางทำให้ได้ชิ้นงานที่มีรูเยื้องศูนย์ ซึ่งการวัดระยะความสูงของปากกระบอกนั้นต้องอ้างอิงจากรูของชิ้นงาน

สาเหตุที่ทำให้มีความแตกต่างกันสำหรับระยะความกว้างของปากกระบอกพลาสติก (1.48 +0/-0.01 มิลลิเมตร) คือ ขนาดของชิ้นส่วนโมลที่ทำให้เกิดรูของชิ้นงานในแต่ละคาวิตี้มีความแตกต่างกัน

สาเหตุที่ทำให้มีความแตกต่างกันสำหรับระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบ (3.27 ± 0.05 มิลลิเมตร) ในแต่ละโมล

ก. ปัจจัยที่เกี่ยวเนื่องจากการควบคุมตั้งแต่กระบวนการประกอบโมล เพื่อควบคุมให้ระยะความสูงของปากกระบอกพลาสติก (3.12 ± 0.03 มิลลิเมตร) ของแต่ละคาวิตี้ในทุกโมลไม่เกิดความแตกต่างกัน

ข. ระยะการกดของพินในเครื่องประกอบบอลที่ไม่เหมาะสม ทำให้ระยะความสูงของบอลหลังจากประกอบทุกคาวิตี้ของทุกโมลมีความแตกต่างกัน

ค. ความไม่เรียบผิวของหน้าสัมผัสของฐานรองแท่นวางชิ้นงานสำหรับประกอบบอล

โดยสาเหตุต่างๆ ที่คาดการณ์ไว้ดังกล่าวจะนำไปประดมสมองในการวิเคราะห์หาปัจจัยนำเข้าจากขั้นตอนของการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) และพิจารณาปัจจัยอื่นๆ เพิ่มเติมด้วย

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-1 ค่าระยะความสูงของบอลจากการทดลอง

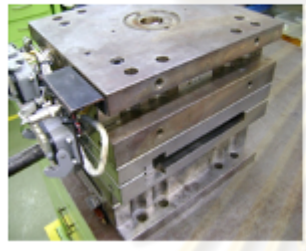
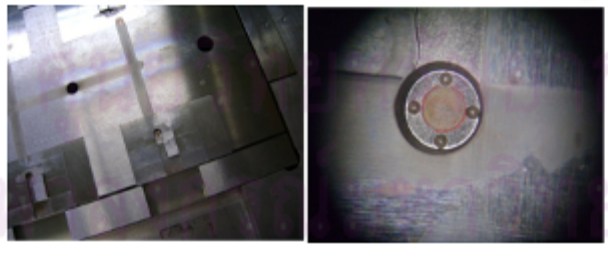
Run	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
No.1	3.0940	3.2105	3.1842	3.3551	3.2270	3.1157	3.2115	3.0138	3.2894	3.2484	2.9286	2.9364	3.2296	3.4203	3.1096	3.1632	3.0311
No.2	3.2192	3.2744	3.1620	1.6331	3.2118	3.1889	3.2113	3.0454	3.1903	3.3619	3.0215	2.8902	3.1278	3.2003	3.1627	3.1998	3.2733
No.3	3.1117	3.2457	3.1435	2.8621	3.1610	3.1279	3.2267	3.0497	3.2461	3.3051	3.0677	3.1049	3.0925	3.2529	3.3219	3.2139	3.0406
No.4	3.1767	3.3444	3.2168	2.5538	3.1328	3.1290	3.2631	2.9746	3.2345	3.1669	2.9697	3.0837	3.0203	3.3540	3.1968	3.1534	3.1492
No.5	3.1936	3.2412	3.1704	2.3760	3.0928	3.1129	3.2560	3.0948	3.1976	3.2246	3.0332	3.0178	3.0213	3.3407	3.2564	3.0763	3.1103
No.6	3.2197	3.2100	3.2603	3.8672	3.1267	3.1011	3.1406	3.0338	3.2119	3.2832	3.0275	2.8880	3.1293	3.1547	3.2482	3.2461	3.0180
No.7	3.0724	3.2882	3.1514	1.3848	3.1066	3.1335	3.2489	3.0825	3.2624	3.2807	3.0422	2.9126	3.1836	3.3055	3.0928	3.2181	3.0515
No.8	3.1935	3.2365	3.2452	2.1596	3.1687	3.1297	3.1935	3.0048	3.0926	3.2725	3.1120	3.1116	3.0972	3.3802	3.2180	3.2616	2.9501
No.9	3.1772	3.2138	3.1602	3.9340	3.1354	3.1100	3.1594	3.0508	3.2304	3.2688	2.9936	2.9959	3.1522	3.1693	3.2278	3.3415	3.1113
No.10	3.1853	3.2642	3.1980	2.0275	3.1554	3.0805	3.2040	2.9900	3.2554	3.2262	3.0432	3.1043	3.1179	3.3137	3.2511	3.2062	3.1547
No.11	3.2525	3.1635	3.1991	4.2252	3.1761	3.1457	3.1955	2.9722	3.2748	3.2023	3.0253	2.9910	3.2314	3.3397	3.3563	3.1994	3.0225
No.12	3.2318	3.1150	3.1719	2.2272	3.2926	3.1744	3.2958	3.0968	3.2566	3.2850	3.0070	2.9674	3.1199	3.1947	3.1850	3.1342	3.1467
No.13	3.2315	3.1927	3.1922	0.9361	3.1105	3.1891	3.2710	3.0782	3.3013	3.2634	3.0513	3.1201	3.0506	3.2111	3.1435	3.2136	3.1223
No.14	3.1717	3.1563	3.1939	2.0032	3.0537	3.0934	3.2478	3.0127	3.1900	3.3279	3.0570	3.0964	3.1652	3.2890	3.2038	3.2980	3.1153
No.15	3.2554	3.1410	3.1454	3.6660	3.1891	3.1143	3.2494	2.9952	3.2867	3.2510	2.9831	3.0354	3.0965	3.2662	3.2651	3.2268	3.0985
No.16	3.1176	3.1686	3.2169	3.0002	3.2072	3.1593	3.2668	3.1130	3.2042	3.2396	3.0127	3.0374	2.9812	3.2406	3.0727	3.2790	3.0573
No.17	3.2035	3.2388	3.1489	2.3710	3.1068	3.1292	3.2375	2.9991	3.2657	3.2405	2.9928	3.1007	3.1453	3.4161	3.2081	3.2799	3.0168
No.18	3.1507	3.2317	3.2455	2.5222	3.1023	3.1744	3.3169	2.9767	3.2697	3.4336	2.9947	3.1702	3.0710	3.2266	3.1535	3.2589	3.1350
No.19	3.2069	3.1823	3.1768	3.3493	3.1407	3.0432	3.3370	2.9975	3.1803	3.2236	3.0230	3.0735	3.1466	3.2567	3.0701	3.2164	3.2156
No.20	3.1900	3.3660	3.2005	3.2488	3.1888	3.1249	3.2310	3.0269	3.2577	3.2982	2.9474	3.0386	3.1525	3.3537	3.2556	3.1873	3.1568
No.21	3.0650	3.1315	3.1381	2.9549	3.1581	3.0611	3.3123	3.1350	3.1316	3.2611	3.0119	3.1602	3.0987	3.2422	3.1577	3.2066	3.1780
No.22	3.1766	3.1725	3.1957	3.2557	3.2355	3.1219	3.1847	3.0597	3.2086	3.3060	3.0454	2.8412	3.1289	3.2587	3.2960	3.3274	3.1086
No.23	3.0957	3.2827	3.2575	3.6756	3.1265	3.0557	3.2525	3.0491	3.1855	3.2019	3.0004	3.1431	3.0491	3.2631	3.1889	3.2303	3.0987
No.24	3.1283	3.1587	3.2167	2.2414	3.2703	3.1510	3.2016	3.1134	3.3075	3.3554	3.1217	3.1440	3.0678	3.2260	3.2110	3.3241	3.1095
No.25	3.1804	3.1975	3.2416	3.8196	3.0932	3.0881	3.2060	3.0374	3.1864	3.2265	3.0795	2.9936	3.0168	3.1634	3.1932	3.2829	3.0584
No.26	3.1139	3.1812	3.2149	2.6268	3.1941	3.0702	3.2054	3.1407	3.2256	3.2590	2.9249	2.9973	3.1525	3.3039	3.0917	3.1891	3.1971
No.27	3.1451	3.2183	3.1668	2.9477	3.1024	3.1365	3.1440	3.1517	3.1155	3.2645	3.0038	3.0882	3.1244	3.3339	3.1673	3.2631	2.9222
No.28	3.1443	3.2492	3.0861	2.0551	3.1042	3.1936	3.1671	2.9588	3.2409	3.3277	3.0307	2.9851	3.1112	3.3220	3.1184	3.2461	3.2226
No.29	3.1507	3.1946	3.2202	3.0155	3.2080	3.1665	3.0922	3.0696	3.2314	3.1501	2.9665	3.0374	3.1298	3.3055	3.1315	3.2400	3.2202
No.30	3.1285	3.3491	3.2366	2.3491	3.2692	3.1555	3.2385	2.9716	3.2292	3.1960	3.1949	3.1756	3.0617	3.1750	3.2228	3.1515	3.3094
No.31	3.1274	3.2500	3.1224	1.6416	3.2230	3.1207	3.2861	3.0404	3.1990	3.2849	3.0317	3.0319	3.0659	3.1748	3.2286	3.1049	3.0775
No.32	3.1760	3.2799	3.1610	3.6552	3.0759	3.0931	3.1786	3.1391	3.3365	3.3281	2.9519	3.0319	3.1163	3.1963	3.1664	3.3551	3.1963
No.33	3.2416	3.1556	3.2143	1.7803	3.1555	3.1210	3.2474	3.0337	3.1754	3.1960	2.9216	3.2188	3.0807	3.3327	3.0859	3.2359	3.2234
No.34	3.1553	3.0932	3.2175	2.8965	3.1700	3.1458	3.2406	3.0130	3.2424	3.2435	2.9437	3.1390	3.2391	3.3213	3.2852	3.2510	3.0019
No.35	3.1563	3.2795	3.2844	3.1985	3.2124	3.1540	3.1628	2.9836	3.2567	3.3134	2.9113	3.1267	3.0893	3.2507	3.1733	3.2608	3.1432
No.36	3.1241	3.1574	3.2133	1.8825	3.1190	3.1170	3.2079	3.0352	3.2472	3.2024	2.9844	2.9296	3.0021	3.3339	3.1974	3.1993	3.0958
No.37	3.1475	3.2074	3.2418	2.6376	3.1228	3.0678	3.2045	3.0418	3.1356	3.1504	3.0834	3.0838	3.2320	3.2349	3.1479	3.2464	3.1519
No.38	3.1442	3.1003	3.2291	1.4363	3.2143	3.1257	3.2661	2.9995	3.1810	3.1618	3.0517	3.1134	3.1398	3.2326	3.1227	3.2495	3.0795
No.39	3.2389	3.1157	3.1683	2.4383	3.2175	3.0788	3.2378	3.0221	3.1819	3.1015	3.0626	2.9856	3.1515	3.1611	3.2568	3.2183	3.1284
No.40	3.1271	3.2946	3.2035	2.5101	3.1300	3.2071	3.2393	3.0470	3.2823	3.4653	2.9956	3.1199	3.1127	3.1706	3.2266	3.2736	3.1179
No.41	3.1113	3.2861	3.2295	3.7509	3.2176	3.1341	3.2492	2.9571	3.3080	3.3565	2.9672	3.0620	3.1418	3.3226	3.2859	3.1687	3.0787
No.42	3.1574	3.2229	3.2049	3.7734	3.2284	3.0789	3.2207	2.9625	3.1765	3.3797	3.0330	3.0946	3.1172	3.2090	3.2321	3.2501	3.1562
No.43	3.1328	3.2210	3.2075	2.5887	3.2003	3.1047	3.2282	3.0739	3.2162	3.1518	2.9394	3.0539	3.1321	3.3090	3.2577	3.2123	3.1976
No.44	3.1461	3.3196	3.2661	3.1150	3.1773	3.1618	3.1799	3.0184	3.1746	3.3235	3.1106	3.1104	3.1196	3.2622	3.3018	3.2133	3.0471
No.45	3.2366	3.1665	3.2115	2.4501	3.1801	3.1728	3.2166	3.0483	3.2490	3.2913	3.0033	2.9472	3.0072	3.3406	3.1865	3.2486	3.1959
No.46	3.2534	3.1353	3.2038	2.8561	3.2350	3.1530	3.1858	2.9960	3.1872	3.2945	2.9802	3.0212	3.1066	3.2417	3.0878	3.2443	3.0337
No.47	3.0929	3.3409	3.0785	2.2085	3.2040	3.1518	3.1561	3.0261	3.1303	3.3041	3.1307	3.0660	3.0473	3.2900	3.0515	3.2621	3.0470
No.48	3.2113	3.4626	3.2312	3.6702	3.2487	3.1212	3.2283	3.1244	3.2367	3.3700	3.0797	3.1206	3.2586	3.2501	3.2076	3.1660	2.9858
No.49	3.1242	3.1068	3.2122	3.1899	3.1074	3.1169	3.2236	2.9615	3.0702	3.4208	2.9548	2.9496	2.9779	3.3381	3.1439	3.2284	3.1998
No.50	3.1449	2.9942	3.1921	3.0566	3.1283	3.1419	3.2923	3.0125	3.3928	3.3016	3.0664	3.0750	3.0310	3.2511	3.1971	3.2126	3.1109
No.51	3.1761	3.3710	3.2499	3.1257	3.0839	3.1340	3.1995	2.9004	3.1805	3.2286	2.8801	3.0650	3.1331	3.2901	3.1894	3.1851	3.2575
No.52	3.1803	3.4261	3.2344	3.2507	3.0792	3.1054	3.2098	3.0057	3.1895	3.2004	3.0293	3.1367	3.1445	3.2223	3.1131	3.2237	3.2359
No.53	3.1486	3.2591	3.2011	4.0423	3.1479	3.1459	3.2720	3.0827	3.2203	3.2361	3.1605	3.1640	3.1691	3.2867	3.2270	3.1565	3.1230
No.54	3.1886	3.4186	3.2076	2.3106	3.2116	3.1305	3.2117	3.0466	3.1859	3.2689	2.9276	3.0688	3.0928	3.4505	3.2296	3.2127	3.1444
No.55	3.1671	3.0789	3.1714	4.3818	3.2019	3.1402	3.2516	3.1343	3.2622	3.2517	3.1529	2.9356	3.2697	3.3675	3.2472	3.2427	3.1482
No.56	3.1819	3.2333	3.2336	2.0804	3.1674	3.1012	3.1481	3.0497	3.3124	3.2477	2.9224	3.1682	3.1572	3.3104	3.1480	3.1966	3.0804
No.57	3.0882	3.3280	3.2051	0.8286	3.0977	3.1700	3.2442	3.0632	3.0884	3.2126	2.9788	3.0151	3.1702	3.2749	3.2062	3.1943	3.1524
No.58	3.1526	3.1983	3.0916	2.8766	3.0620	3.1314	3.1650	3.0036	3.1698	3.1018	3.1540	3.0286	3.0028	3.3232	3.2764	3.1617	3.0894
No.59	3.1666	2.9759	3.1094	3.3239	3.1249	3.1343	3.2501	3.1064	3.2752	3.2397	2.8833	3.0664	3.1603	3.2933	3.0421	3.1297	3.0369
No.60	3.1598	3.1758	3.1969	3.3755	3.1827	3.0778	3.2039	3.0455	3.2156	3.2589	2.9486	3.0689	3.1776	3.2581	3.2250	3.2034	3.1294
No.61	3.1321	3.0926	3.1202	3.3382	3.1263	3.0918	3.2276	3.0562	3.1787	3.2424	2.9843	3.1351	3.0634	3.3359	3.2156	3.2478	3.0942
No.62	3.2199	3.1843	3.1907	2.0173	3.1015	3.1086	3.2539	2.9587	3.1563	3.3232	3.0223	3.0047	3.1491	3.3689	3.3140	3.2103	3.0978
No.63	3.1102	3.1539	3.2356	2.9468	3.1271	3.1255	3.2089	3.0651	3.2507	3.4315	2.9218	2.9650	3.1010	3.4187	3.3297	3.0715	3.1531
No.64	3.1382	3.1458	3.2333	3.5755	3.2212	3.0935	3.2365	3.0540	3.2489	3.2313	2.9812	3.0310	3.0563	3.2511	3.2091	3.2004	3.1784
No.65	3.1794	3.1820	3.1296	3.1312	3.1593	3.0960	3.2307	2.9960	3.1311	3.2559	3.0925	3.0240	3.1643	3.1790	3.1003	3.2168	3.1086
No.66	3.1761	3.3321	3.1639	4.6190	3.1628	3.1300	3.1965	3.1005	3.1913	3.1342	2.9205	3.1514	3.1031	3.2882	3.2543	3.3109	3.1614
No.67	3.1121	3.1307	3.2273	3.2162	3.2436	3.1659	3.1704	3.0253	3.2601	3.3040	3.0163	3.1494	3.2074	3.2900	3.1807	3.1517	3.0349
No.68	3.1578	3.2357	3.2485	2.0312	3.1578	3.1013	3.1843	3.0175	3.2666	3.3530	2.9508	2.9848	3.0499	3.3075	3.2991	3.2114	3.0450
No.69	3.1440	3.3068	3.2120	1.8479	3.1854	3.0894	3.2290	3.1264	3.2109	3.3583	3.0636	3.1182	3.1918	3.3476	3.1532	3.1446	3.2562
No.70	3.1319	2.9844	3.1958	2.3039	3.1522	3.1103	3.1909	3.0713	3.1615	3.1338	3.1631	3.1734	3.1591	3.3607	3.3455	3.2001	3.1528

ภาคผนวก ค
เอกสารประกอบการปฏิบัติงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-1 วิธีการตรวจสอบการเยื้องของ Inside diameter

วิธีการตรวจสอบการเยื้องของ Inside diameter สำหรับ Latch GZ8063V1

ขั้นตอน	วิธีการปฏิบัติงาน
1	นำสีเสนทาบริเวณเปลายพินทุกตัวที่ยองโมลด์ด้าน Move
2	ปิดแม่พิมพ์แล้ววางแม่พิมพ์ลงบนโต๊ะ โดยให้ด้าน Fix ที่เป็น Locating ring อยู่ด้านบน 
3	ใช้แท่งทองแดงตอกลงบนแม่พิมพ์ให้ทั่วทั้งพื้นผิวด้านบน เพื่อให้ผิวหน้าของทั้งสองด้านสัมผัสกัน (ลักษณะเหมือนโดนปิดด้วยแรงของเครื่อง)
4	เปิดแม่พิมพ์ออก จากนั้นตรวจสอบใต้กล้อง Microscope กำลังขยาย 30 เท่า โดยดูรอยสัมผัสของสีว่าเยื้องหรือไม่ ถ้าเยื้องแก้ไขโดยการถอดประกอบชิ้นส่วน Insert pin ด้าน Move และทำการตรวจสอบใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1-3 จนพบว่ารอยสีอยู่ตรงกลาง 

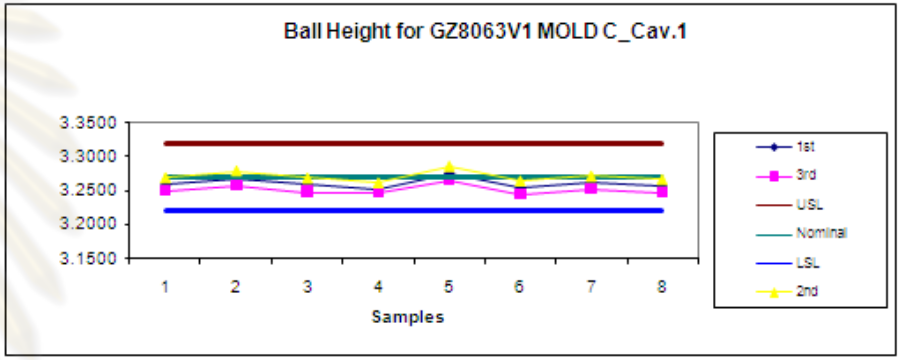
ตารางที่ ค-2 ตัวอย่างเอกสารการลงบันทึกผลการวัดระยะความสูงของบอล

BALL HEIGHT MEASUREMENT RESULT

JIG X Mold X

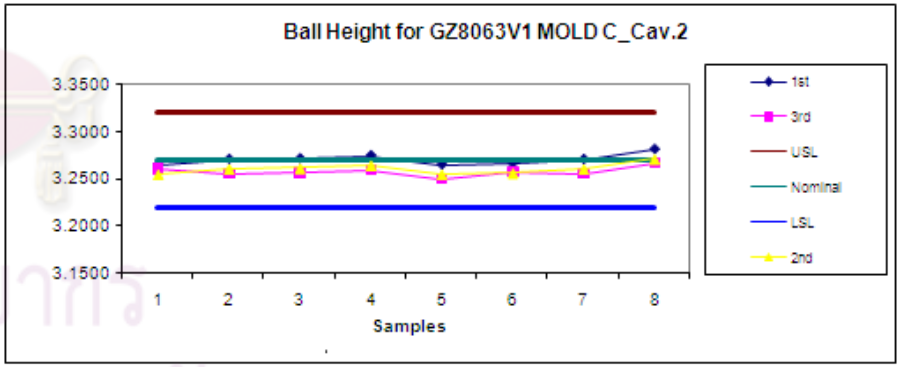
Cavity 1

SPEC	3.27±0.05							
Position Jig	USL	Nominal	LSL	1st	2nd	3rd	Average	Stdev
1	3.32	3.27	3.22	3.2588	3.2688	3.2488	3.2588	0.0100
2	3.32	3.27	3.22	3.2685	3.2785	3.2585	3.2685	0.0100
3	3.32	3.27	3.22	3.2584	3.2684	3.2484	3.2584	0.0100
4	3.32	3.27	3.22	3.2517	3.2617	3.2477	3.2537	0.0072
5	3.32	3.27	3.22	3.2751	3.2851	3.2651	3.2751	0.0100
6	3.32	3.27	3.22	3.2544	3.2644	3.2448	3.2545	0.0098
7	3.32	3.27	3.22	3.2610	3.2710	3.2519	3.2613	0.0096
8	3.32	3.27	3.22	3.2563	3.2663	3.2463	3.2563	0.0100
AVERAGE				3.2605	3.2705	3.2514		
STDEV				0.0077	0.0077	0.0069		
CPK				1.75	2.14	1.51		



Cavity 2

SPEC	3.27±0.05							
Position Jig	USL	Nominal	LSL	1st	2nd	3rd	Average	Stdev
1	3.32	3.27	3.22	3.2649	3.2549	3.2599	3.2599	0.0050
2	3.32	3.27	3.22	3.2707	3.2607	3.2557	3.2624	0.0076
3	3.32	3.27	3.22	3.2714	3.2614	3.2564	3.2631	0.0076
4	3.32	3.27	3.22	3.2746	3.2646	3.2596	3.2663	0.0076
5	3.32	3.27	3.22	3.2648	3.2548	3.2498	3.2565	0.0076
6	3.32	3.27	3.22	3.2662	3.2562	3.2572	3.2599	0.0055
7	3.32	3.27	3.22	3.2705	3.2605	3.2555	3.2622	0.0076
8	3.32	3.27	3.22	3.2813	3.2713	3.2663	3.2730	0.0076
AVERAGE				3.2706	3.2606	3.2969		
STDEV				0.0056	0.0056	0.0047		
CPK				2.96	2.43	1.64		



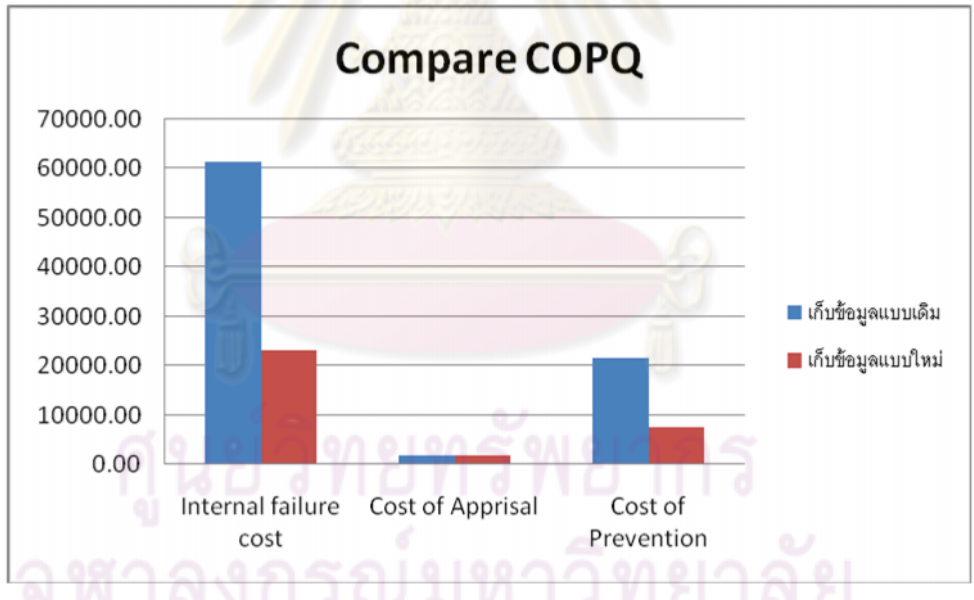
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง
การคำนวณค่าใช้จ่าย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-1 การคำนวณค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการวัดและดำเนินการแก้ไขปัญหาการประกอบ

	แบบเดิม	แบบใหม่
Cost of Poor Quality (COPQ)	**Baht**	**Baht**
Internal failure cost		
- M/C down	15,770.16	7,800.00
- IPQC hold lot test cost	7,643.38	3,821.69
- IPQC remeasurement	16,276	8276
- All retest cost	605	345
- All scrap cost	21,175	3,025
External failure cost	-	-
Total	61,469.54	23,267.69
Cost of Apprisal		
- Inprocess Inspection	4.2448	4.2448
- Calibration of testing equipment	1,910.85	1,910.85
Total	1915.0898	1915.0898
Cost of Prevention		
Preventive Maintenance M/C	21,600	7,600
Total	21,600	7,600
Grand Total	84,984.63	32,782.78



รูปที่ ง-1 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการวัดและดำเนินการแก้ไขปัญหาการประกอบ

ตารางที่ ง-2 การคำนวณมูลค่าความสูญเสียเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุง

	เดือน/ปี	เม.ย.-53	พ.ค.-53	มิ.ย.-53	ก.ค.-53	ส.ค.-53	ก.ย.-53	ต.ค.-53	พ.ย.-53	ธ.ค.-53	ม.ค.-54	ก.พ.-54	มี.ค.-54	เม.ย.-54	พ.ค.-54	มิ.ย.-54
	ปริมาณการผลิต (ชิ้น)	ปริมาณการผลิต (ก่อนการปรับปรุง)									ปริมาณการผลิต (หลังการปรับปรุง)					
		1,400,000	1,729,000	1,382,485	1,723,000	1,523,000	1,500,000	1,510,000	1,523,000	1,300,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000
ก่อนปรับปรุง	ของเสีย (%)	3.56	2.49	3.7	2.63	3.14	2.82	2.23	2.35	2.42	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76	2.76
	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	49,813	43,046	51,104	37,868	52,404	40,124	32,895	36,436	31,733	41,715	41,715	41,715	41,715	41,715	41,715
	มูลค่าความสูญเสีย (บาท)	150,684	130,214	154,590	114,551	158,522	121,375	99,507	110,219	95,992	126188	126188	126188	126188	126188	126188
หลังปรับปรุง	ของเสีย (%)										0.01	0.009	0.008	0.005		
	จำนวนของเสีย (ชิ้น)										150	134	123	78		
	มูลค่าความสูญเสีย (บาท)										453.75	405.35	372.075	235.95		
จำนวนของเสียที่ลดลง (ชิ้น)											41,565	41,581	41,592	41,637		
มูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้ (บาท)											125734	125783	125816	125952	0	0
ผลรวมมูลค่าที่ลดลงหลังจากปรับปรุง (คิดต่อการพยากรณ์ยอดขายใน 6 เดือนข้างหน้า)											503284					

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเพ็ญประภา กล้ากสิการ เกิดเมื่อวันที่ 27 สิงหาคม 2526 ที่จังหวัดนครสวรรค์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2549 ภายหลังการศึกษาได้เข้าทำงานที่บริษัทเคฮิน ออโตพาร์ทส์ (ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรจัดซื้อ จากนั้นได้ย้ายมาทำงานที่บริษัทนิเด็ค อิเล็กทรอนิคส์ (ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรคุณภาพ และในปี 2551 ได้ย้ายมาทำงานที่บริษัท เอ็น โอ เค พรีซิชั่น คอมโพแนนซ์ (ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรคุณภาพ และได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย