

การลดของคืนจากการส่งมอบฐานรองรับมอเตอร์
โดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกมา



นายชัยพันธ์ พัทติกุล

ศูนย์วิทยุทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

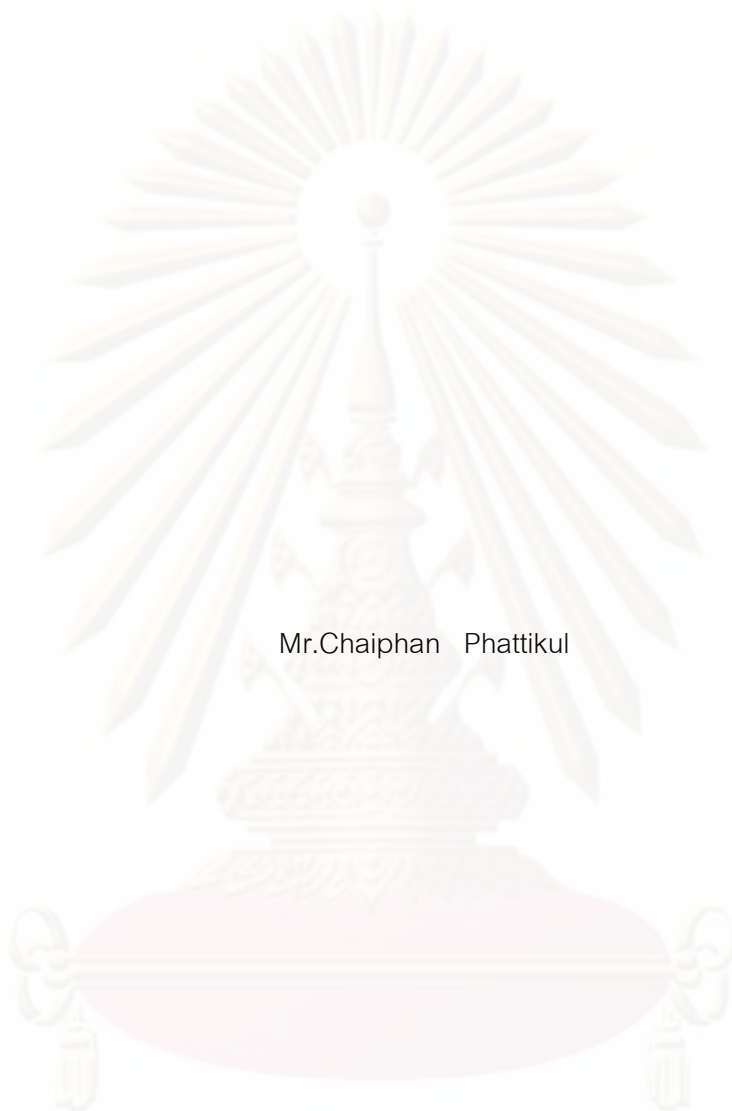
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CUSTOMER REJECT REDUCTION OF MOTOR BASES BY APPLYING
SIX SIGMA APPROACH



Mr.Chaiphan Phattikul

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 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดของคีนจากการส่งมอบฐานรองรับมอเตอร์โดยใช้

แนวทางซิกซ์ ซิกมา

โดย

นายชัยพันธ์ พัทธกุล

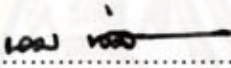
สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

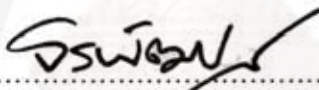
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

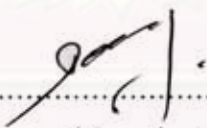
รองศาสตราจารย์ คำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย

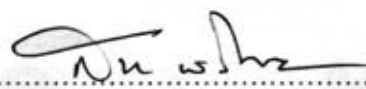
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยดำเนินการ
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

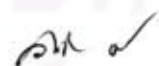

..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จีรพัฒน์ เจาประเสริฐวงศ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ คำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร)

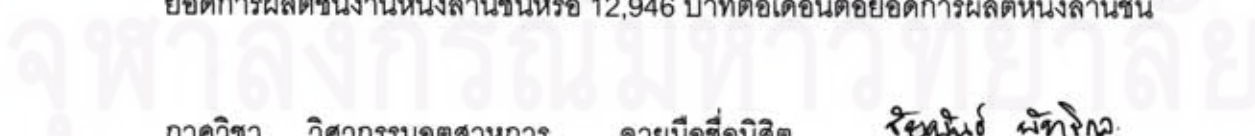

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย วิจิรวนิช)

ชัยพันธ์ พัทธกุล : การลดของคืนจากการส่งมอบฐานรองรับมอเตอร์โดยใช้แนวทาง
 ชิกซีชิกมา (CUSTOMER REJECT REDUCTION OF MOTOR BASES BY
 APPLYING SIX SIGMA APPROACH) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
 หลัก : รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย, 198 หน้า.

การวิจัยนี้เสนอการแก้ปัญหาด้านคุณภาพเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการประกอบฐานรองรับมอเตอร์ซึ่งเป็นตัวขับเคลื่อนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์อันเนื่องมาจากข้อบกพร่องประเภท Open Circuit และ Hi-pot ซึ่งก่อนมีการปรับปรุงกระบวนการมีปริมาณของเสียอยู่ที่ 1,157 DPPM

การวิจัยจะใช้หลักการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ โดยนำวิธีการตามแนวทางชิกซีชิกมา มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ 5 ขั้นตอนโดยเริ่มจากการนิยามปัญหา (Define) การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve) และการควบคุมกระบวนการ (Control) โดยเริ่มต้นของการทำวิจัยได้ทำการนิยามปัญหา ศึกษาความแม่นยำและความถูกต้องของระบบการวัด (Measurement System Analysis ;MSA) การวิเคราะห์หาสาเหตุต่างๆของปัญหาโดยแผนผังแสดงเหตุและผล และลำดับความรุนแรงของปัญหาด้วยวิธีการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effective Analysis ;FMEA) จากนั้นวิเคราะห์ถึงสาเหตุต่างๆที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อกระบวนการด้วยการทดสอบสมมุติฐานเชิงสถิติ ต่อมาจึงดำเนินการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดสัดส่วนของเสียโดยใช้หลักการสถิติวิศวกรรมโดยการออกแบบการทดลอง สุดท้ายคือการทดสอบยืนยันผลและการจัดทำเป็นมาตรฐาน

ซึ่งหลังจากการปรับปรุงแล้วพบว่า สัดส่วนของเสียลดลงมาอยู่ที่ 257 DPPM หรือลดได้ 78% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเป็นจำนวนต้นทุนที่สามารถลดได้จะมีค่าเท่ากับ 64,732 บาท ต่อยอดการผลิตชิ้นงานหนึ่งล้านชิ้นหรือ 12,946 บาทต่อเดือนต่อยอดการผลิตหนึ่งล้านชิ้น



ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
 สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
 ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนิสิต..... ชัยพันธ์ พัทธกุล
 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์..... [Signature]

5071497321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : SIX XIGMA / MSA / FMEA / DEFECT PART PER MILLION / DEFINE PHASE / MEASURE PHASE / ANALYZE PHASE / IMPROVE PHASE / CONTROL PHASE

CHAIPHAN PHATTIKUL : CUSTOMER REJECT REDUCTION OF MOTOR BASES BY APPLYING SIX SIGMA APPROACH

THESIS ADVISOR : ASSOC.Prof. DAMRONG TAWEENGSKULTHAI, 198 pp.

The Objective of this study was solution the quality problem to decrease the return of customer reject of Motor Base which the driver of Hardisk Drive due to Open Circuit and Hi-pot problem that before improvement the process failure was happened 1,157 dppm.

The study had used the statistical process control according to Six Sigma approach in 5 steps were 1st step "Define" the problem, 2nd step "Measure" for identify the problem, 3rd step "Analyze" for the root cause of problem, 4th step "Improve" and correct the process and last 5th step "Control" the process, the beginning of the study was define the problem, validate the "Repeatability & Reproducibility" of measurement system then analyze the problem by "Cause & Effect diagram" and then prioritize the root cause by Failure Mode & Effective Analysis, for next step the "Hypothesis test" had been done for test the significant of each factor after that improvement the process by took the "Design of Experiment" and last step verified the result and standardization.

After finish the project the defect had reduced to 257 dppm. or reduced 78% comparison base on cost that had been saved 64,732 Baht/Million pcs. or 12,946 Baht/Month/Million pcs.

Department : Industrial Engineering
 Field of Study : Industrial Engineering
 Academic Year : 2009

Student's Signature P. Chaiphon
 Advisor's Signature [Signature]

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้ความรู้ทั้งหลักการทางทฤษฎีและแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการทำวิจัยอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัจจินดาเนตร และรองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ช่วยให้คำแนะนำอันมีประโยชน์ในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์จนสำเร็จ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านในโรงงานกรณีศึกษาที่ได้ให้ความร่วมมือในการดำเนินการศึกษาวิจัย ทั้งยังให้ข้อมูลต่างๆและเข้าร่วมในการระดมความคิดในการแก้ปัญหาในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

ในท้ายนี้ผู้วิจัยขอยกประโยชน์และคุณความดีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้กับบิดามารดาที่เป็นทั้งกำลังใจและแรงบันดาลใจให้ผู้วิจัยตลอดมา รวมถึงครูอาจารย์ พี่น้อง เพื่อนนิสิต และทุกท่าน ที่ได้กล่าวถึงในที่นี้ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือตลอดจนเป็นกำลังใจในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยุทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	
1.1 ความสำคัญของปัญหาประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงาน กรณีศึกษา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.4 แนวคิดในการทำวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	
2.1 ชิกซ์ชิกมา (Six Sigma).....	8
2.2 การประยุกต์ใช้ชิกซ์ชิกมา.....	12
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	40
บทที่ 3 การนิยามปัญหา.....	
3.1 การศึกษาความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาปัจจุบัน.....	48
บทที่ 4 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	
4.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R).....	63
4.2 การวิเคราะห์ปัญหาจากแผนผังสาเหตุและผล.....	105
4.3 สรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	119

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	
5.1 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาวิเคราะห์/ทดสอบสมมุติฐาน.....	121
5.2 การวิเคราะห์/ทดสอบสมมุติฐานของลักษณะของเสียประเภท Open Circuit....	122
5.3 การวิเคราะห์/ทดสอบสมมุติฐานของลักษณะของเสียประเภท Hi-pot.....	144
5.4 สรุปผลการเลือกปัจจัยและผลกระทบของปัจจัยสำหรับปัญหาของเสียประเภท Open Circuit และ Hi-pot.....	153
บทที่ 6 การปรับปรุงกระบวนการ.....	
6.1 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ.....	155
6.2 ตัวแปรตอบสนอง.....	157
6.3 การออกแบบการทดลอง.....	158
6.4 การเตรียมการทดลอง.....	159
6.5 ขั้นตอนในการทดลอง.....	159
6.6 การดำเนินการทดลองและผลการทดลอง.....	160
6.7 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง.....	162
6.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	164
6.9 การวิเคราะห์ตัวแบบถดถอย.....	168
6.10 ค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยจากการทดลอง.....	169
6.11 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ.....	171
บทที่ 7 การทดสอบเพื่อยืนยันผล.....	
7.1 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล.....	172
บทที่ 8 การควบคุมกระบวนการ.....	
8.1 แผนการควบคุมกระบวนการ.....	174
8.2 การติดตามผลสัดส่วนข้อบกพร่อง.....	175
8.3 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	177
8.4 สรุปการควบคุมกระบวนการ.....	177

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 9 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	
9.1 บทสรุปการนิยามปัญหา.....	179
9.2 บทสรุปการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา.....	180
9.3 บทสรุปการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา.....	181
9.4 บทสรุปการปรับปรุงกระบวนการและการทดสอบยืนยันผล.....	182
9.5 บทสรุปการควบคุมกระบวนการ.....	183
9.6 อุปสรรคในงานวิจัย.....	184
9.7 ข้อเสนอแนะ.....	184
รายการอ้างอิง.....	185
ภาคผนวก.....	187
ภาคผนวก ก. มาตรฐานการปฏิบัติงานที่กระบวนการการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์ และการบัดกรี.....	188
ภาคผนวก ข. ตาราง ข.1 มาตรฐานการปรับระดับคลื่นความถี่ของเครื่องล้างแบบ Ultra Sonic ของเครื่อง 2-2W3 (JCS).....	192
ภาคผนวก ค. ตาราง ค.1 ใบตรวจสอบความเสียหายของเส้นขดลวดสเตเตอร์หรือ Wire Damage หลังกระบวนการสวมอัดสเตเตอร์หรือ Press Fit.....	194
ภาคผนวก ง. ตาราง ง.1 ข้อมูลการได้รับงานคืนจากลูกค้า (ชิ้น) ในอาการเสียหายชนิด ต่างๆ ของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink1D ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2551 – เดือน กันยายน 2552.....	196
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	198

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละ Sigma Quality Level.....	12
2.2	ขนาดสิ่งตัวอย่างในการประเมินผลระบบการตรวจสอบข้อมูลนับ (Fasser and Brettner, 992).....	20
2.3	เกณฑ์การให้คะแนนตามระดับความร้ายแรงของปัญหา (SEV).....	28
2.4	เกณฑ์การให้คะแนนตามความถี่ของสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา (OOC).....	29
2.5	เกณฑ์การให้คะแนนระดับความสามารถของการควบคุม (DET).....	29
2.6	ตัวอย่างแผนผังควบคุมภาพกระบวนการ.....	38
3.1	ประมาณการผลิตในแต่ละรุ่นของ Stator Base ตั้งแต่ เม.ย. ~ ธ.ค. 52 ในหน่วย Kpcs.....	60
4.1	ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 1 เครื่องที่ 1 ..	97
4.2	ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 1 เครื่องที่ 2 ..	98
4.3	ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 2 เครื่องที่ 1....	99
4.4	ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 2 เครื่องที่ 2...	100
4.5	ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 3 เครื่องที่ 1...	101
4.6	ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 3 เครื่องที่ 2...	102
4.7	ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 1 เครื่องที่ 1 (ปรับเครื่องแล้ว).....	103
4.8	ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 2 เครื่องที่ 2 ...	104
4.9	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหา Open Circuit (Key Process Input Variable; KPIV).....	108
4.10	วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบลักษณะอาการเสีย Open Circuit.....	109
4.11	สาเหตุของปัญหาหรือปัจจัยนำเข้า (KPIV) และค่า RPN.....	111

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.12	ปัจจัยนำเข้า 8 ปัจจัยที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไปของปัญหา Open Circuit.....	112
4.13	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหา Hi-pot (Key Process Input Variable; KPIV)..	115
4.14	วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบลักษณะอาการเสีย Hi-pot.....	116
4.15	สาเหตุของปัญหาหรือปัจจัยนำเข้า (KPIV) และค่า RPN ของลักษณะอาการเสีย Hi-pot.....	118
4.16	ปัจจัยนำเข้า 8 ปัจจัยที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไปของปัญหา Hipot.....	119
5.1	ปัจจัยนำเข้า 8 ปัจจัยที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไปของปัญหา Open Circuit.....	121
5.2	ปัจจัยนำเข้า 8 ปัจจัยที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไปของปัญหา Hipot.....	122
5.3	ข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภท Open Circuit ของผลิตภัณฑ์สองรุ่นที่ใช้ ขดลวดสเตเตอร์เดียวกัน.....	125
5.4	ข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภท Open Circuit ของการจัดเส้นขดลวดด้วยวิธี ขนานและตั้งฉาก.....	128
5.5	ข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภท Open Circuit ของวิธีดึงขดลวดกับกดขดลวด ให้เรียบ.....	130
5.6	ข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภท Open Circuit ของวิธีการพับเส้นขดลวด 1 ครั้ง และ 2 ครั้ง.....	133
5.7	ข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภท Open Circuit ของการควบคุมและไม่ควบคุม คลื่นความถี่.....	138
5.8	การทดสอบแรงดึงเส้นขดลวดสเตเตอร์ของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ที่ซุ่มตะกั่ว 1 และ 2 ครั้ง.....	141
5.9	สัดส่วนของเสียประเภท Wire damage ของ Guide Pin ที่อยู่ด้านบนและ ด้านล่าง.....	151
5.10	ผลกระทบต่อปัจจัยของปัญหาของเสียประเภท Open Circuit.....	153
5.11	ผลกระทบต่อปัจจัยของปัญหาของเสียประเภท Hi-pot.....	154

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
6.1	การกำหนดปัจจัยและระดับที่จะนำไปทำการทดลอง.....	157
6.2	สิ่งตัวอย่างจากการเปรียบเทียบการทดสอบสมมุติฐานในแต่ละปัจจัย.....	159
6.3	สรุปผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab.....	161
6.4	ผลการทดลองจากการนำปัจจัยทั้ง 3 มาปรับตามสภาวะต่างๆ.....	161
6.5	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการออกแบบทดลอง.....	165
6.6	ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย.....	169
6.7	ผลผลลัพธ์การหาค่าที่เหมาะสมจากการปรับใช้ค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องจากตัว แบบถดถอย.....	170
6.8	ค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ.....	171
8.1	ผลทางตรงคือการลดต้นทุนสินค้าด้วยคุณภาพจากการปรับปรุง.....	177
9.1	บทสรุปผลกระทบท่อปัจจัยของปัญหาของเสียบประเภท Open Circuit.....	181
9.2	บทสรุปผลกระทบท่อปัจจัยของปัญหาของเสียบประเภท Hi-pot.....	182

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ผลิตภัณฑ์ Stator Base ที่เป็นชิ้นส่วนหลักในผลิตสปินเดิลมอเตอร์.....	2
1.2	ส่วนประกอบหลักในการผลิตฮาร์ดดิสค์หรือสปินเดิลมอเตอร์.....	2
1.3	ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสค์สำหรับคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ.....	3
2.1	เส้นโค้งปกติ (Normal Curve).....	10
2.2	การควบคุมกระบวนการภายในขอบเขต 3 ซิกมา.....	10
2.3	การกระจายแบบปกติ และการเคลื่อนตัวออกจากค่าเฉลี่ย 1.5σ	11
2.4	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้แผนภาพ SIPOC สำหรับวิเคราะห์.....	14
2.5	ตัวอย่างผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Matrix).....	23
2.6	การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (A).....	32
2.7	การออกแบบ CCD สำหรับ $k = 2$ และ $k = 3$	36
2.8	การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนสำหรับสามตัวแปร.....	37
3.1	Stator Base ประเภทที่ 1 ที่ใช้แผ่น FPC เป็นวงจรที่ใช้ในการทำงาน.....	48
3.2	Stator Base ประเภทที่ 2 ที่ใช้ Connector เป็นวงจรที่ใช้ในการทำงาน.....	49
3.3	ขั้นตอนการประกอบ Stator Base รุ่น Tornado.....	51
3.4	ขั้นตอนการประกอบ Stator Base รุ่น Nighthawk.....	53
3.5	เส้นที่พันเป็นขดลวดสเตเตอร์หลวมหรือหลุดออกมานอกขดลวดจนเห็นได้ชัด..	53
3.6	แผ่น FPC ที่ติดไม่สนิทกับตัว Base หรือเกยกับขอบ Base.....	53
3.7	การบัดกรีไม่สมบูรณ์ มีรูที่ทำให้อากาศรั่วได้.....	54
3.8	การบัดกรีตะกั่วสูงเกินไปกว่าขอบ Base.....	54
3.9	เศษลูปบอลจากการบัดกรี.....	54
3.10	การติดแผ่น FPC ไม่ตรงตามร่อง Base.....	54
3.11	การติดแผ่น FPC ไม่สนิทมีฟองอากาศ.....	55
3.12	การบัดกรีตะกั่วไม่สมบูรณ์.....	55
3.13	แผ่นวงจร FPC เสียหายจากการกด การติด การดึง.....	55
3.14	เส้นขดลวด Stator เสียหายจากการถูกกด ทับ.....	55
3.15	กาวเชื่อมบริเวณขอบ Base และ Base OD. Boss.....	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.16	การเป็อนบริเวณ Connector Pad ให้ทดสอบค่าทางไฟฟ้าของลูกค้ำไม่ได้.....	56
3.17	Connector เหยอหรือลอยสูงมาจากพื้นของ Base.....	56
3.18	ขา Pin งอหรือเสียรูปเนื่องจากโดนดึง กด หรือกระแทก.....	56
3.19	การไหลเป็อนเลยขอบด้านล่างของ Connector.....	57
3.20	อาการเสียทางไฟฟ้าที่มีไฟฟ้ารั่วไหลจากวงจรไปยังตัว Base.....	57
3.21	อาการเสียทางไฟฟ้าที่เกิดจากวงจรไม่ต่อเนื่องจากขดลวด Stator ขาด.....	58
3.22	กราฟแท่งจำนวนงานเสียที่ได้รับคีนจากลูกค้ำตั้งแต่ 1 ธ.ค. 51 ~ 4 เม.ย. ในแต่ละสัปดาห์.....	59
3.23	กราฟวงกลมแสดงสัดส่วนงานเสียที่ได้รับคีนจากลูกค้ำตั้งแต่ 1 ธ.ค. 51~4 เม.ย. 52 ในแต่ละรุ่นสินค้า.....	59
3.24	กราฟพาเรโต้แสดงประมาณการการผลิตในแต่ละรุ่นของ Stator Base ตั้งแต่เดือน เม.ย. ~ ธ.ค. 52.....	61
4.1	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส U-V ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 1.....	66
4.2	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส V-W ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 1.....	67
4.3	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส W-U ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 1.....	68
4.4	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส U-V ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 1.....	70
4.5	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส V-W ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 1.....	72
4.6	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส W-U ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 1.....	73
4.7	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส U-V ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 2.....	76

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.8	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส V-W ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 2.....	77
4.9	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส W-U ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 2.....	79
4.10	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส U-W ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 2.....	81
4.11	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส V-W ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 2.....	82
4.12	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส W-U ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 2.....	84
4.13	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส U-V ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 3.....	86
4.14	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส V-W ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 3.....	87
4.15	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส W-U ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 3.....	89
4.16	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส U-V ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 3.....	91
4.17	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส V-W ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 3.....	92
4.18	การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส W-U ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 3.....	94
4.19	แผนภูมิเหตุและผลของปัญหา Open Circuit.....	106
4.20	แผนภูมิพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยจากค่า RPN ของลักษณะอาการเสีย Open Circuit.....	111
4.21	แผนภูมิเหตุและผลของปัญหา Hi-pot.....	113

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
4.22	แผนภูมิพาเรโต้จัดลำดับความสำคัญของปัจจัยจากค่า RPN ของลักษณะอาการ เสีย Hi-pot.....	118
5.1	รอยบิ่นของเส้นขดลวดสเตเตอร์หลังถูกจัดแล้วก่อนบัดกรีสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D.....	123
5.2	รอยบิ่นของเส้นขดลวดสเตเตอร์หลังถูกจัดแล้วก่อนบัดกรีสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น Nighthawk.....	123
5.3	การจัดเส้นขดลวดก่อนบัดกรีวิธีขนานกับคอนเน็คเตอร์.....	126
5.4	การจัดเส้นขดลวดก่อนบัดกรีวิธีตั้งฉากกับคอนเน็คเตอร์.....	126
5.5	การออกแรงดึงเส้นขดลวดสเตเตอร์ให้เรียบ.....	129
5.6	การบิดเส้นขดลวดสเตเตอร์ไปด้านหน้าแล้วใช้แท่ง Blue Stick กดให้เรียบ.....	129
5.7	การพับเส้นขดลวดก่อนการบัดกรีไปมา 2 ครั้ง.....	132
5.8	การพับเส้นขดลวดก่อนการบัดกรีครั้งเดียว.....	132
5.9	รายละเอียดคลื่นความถี่ของเครื่องล้างรุ่น 2-2W3(JCS) ในแต่ละแท็งก์.....	135
5.10	รอยขาดของตัวอย่างงานเสียที่ได้รับจากลูกค้าที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	135
5.11	ขาดของตัวอย่างงานเสียที่เกิดจากสาเหตุแรกกระแทกของคลื่นเหนือเสียงที่ กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	135
5.12	รอยขาดของตัวอย่างงานเสียที่เกิดจากสาเหตุแรงเฉือนที่กำลังขยาย 1,000 เท่า...	136
5.13	รอยขาดของตัวอย่างงานเสียที่เกิดจากสาเหตุแรงดึงที่กำลังขยาย 1,000 เท่า.....	136
5.14	การทดสอบแรงดึงของเส้นขดลวดสเตเตอร์โดย Tension Meter.....	140
5.15	Box Plot ความแตกต่างของแรงดึงของขดลวดสเตเตอร์ที่ชุบตะกั่ว 1 ครั้งและ 2 ครั้ง.....	141
5.16	การวิเคราะห์ปัญหาเส้นขดลวดสเตเตอร์ขาด (Open Circuit) โดยแผนภาพต้นไม้ (Faust Tree Diagram).....	143
5.17	ค่าความต่างศักย์ต่างๆของงานเสียที่นำมาเป็นมาตรฐาน.....	145
5.18	ผิว E-coat ที่ไม่สมบูรณ์ของ Base.....	147
5.19	ผิว E-coat ที่ไม่สมบูรณ์ของ Base ที่สัมผัสกับระยะตะกั่วของขดลวด.....	147

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.20 ภาพจำลองการสัมผัสกันของผิว E-coat ที่ไม่สมบูรณ์ของ Base กับระยะตะกั่วของขดลวด.....	148
5.21 การถูกกดทับของขดลวดสเตเตอร์.....	148
5.22 เครื่องสวมอัดสเตเตอร์ที่ Guide Pin อยู่ด้านล่าง.....	149
5.23 เครื่องสวมอัดสเตเตอร์ที่ Guide Pin อยู่ด้านล่างหลัง Base ถูกสวมอัด.....	149
5.24 เครื่องสวมอัดสเตเตอร์ที่ Guide Pin อยู่ด้านบน.....	149
5.25 เครื่องสวมอัดสเตเตอร์ที่ Guide Pin อยู่ด้านบนหลัง Base ถูกสวมอัด.....	149
5.26 การวิเคราะห์ปัญหากระแสลัดวงจร Base (Hi-pot) โดยแผนภาพต้นไม้ (Faust Tree Diagram).....	152
6.1 กราฟการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลการกระจายส่วนตกค้าง.....	162
6.2 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล.....	163
6.3 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าเฉลี่ยของสัดส่วนข้อบกพร่อง..	164
6.4 กราฟ Normal Probability Plot ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ...	166
6.5 กราฟพาเรโตผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ.....	166
6.6 ผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง.....	167
6.7 ผลกระทบของอันตรกิริยาที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง.....	167
6.8 การวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ.....	170
7.1 จำนวน DPPM ของ Open Circuit และ Hipot ก่อนการปรับปรุงและหลังการทดสอบยืนยันผล.....	173
8.1 สัดส่วนงานเสียต่อล้านส่วน dppm ตั้งแต่ช่วงเริ่มทำโครงการจนถึงช่วงหลังการปรับปรุง.....	176
8.2 สัดส่วนข้อบกพร่องต่อล้านส่วน (dppm) ตั้งแต่ก่อนการปรับปรุงระหว่างการผลิตและหลังการปรับปรุง.....	176

บทที่ 1

บทนำ

ธุรกิจแขนงต่างๆในปัจจุบัน ได้มีการปรับตัวกันอย่างมากเพื่อให้คงสถานะในการแข่งขันได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบัน สถานการณ์ทางเศรษฐกิจได้เข้าสู่ภาวะถดถอยอย่างรุนแรง จากวิกฤติทางเศรษฐกิจ ที่สืบเนื่องมาจากการล้มละลายของบริษัทยักษ์ใหญ่ทางการเงินของประเทศสหรัฐอเมริกา ทำให้ธุรกิจแขนงต่างๆ ได้รับผลกระทบอย่างมากเป็นลูกโซ่อย่างต่อเนื่อง หลายธุรกิจที่ปรับตัวไม่ทันต้องปิดตัว ปรับลดขนาดตัวเองลง เกิดการเลิกจ้างงาน มีคนว่างงานจำนวนมาก และเกิดสภาวะเงินฝืดตามมา ทำให้สินค้าหรือบริการต่างๆมียอดการสั่งซื้อที่ลดลงเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เศรษฐกิจต่างๆ เกิดการถดถอย การไม่ปรับตัวจะทำให้อยู่ได้ยากมาก ซึ่งเป็นความจำเป็นที่บีบให้องค์กรธุรกิจต่างๆ ต้องมีการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานด้านต่างๆ เพื่อให้เกิดการแข่งขันได้ โดยเฉพาะด้านคุณภาพ การที่จะทำให้อุดขายของบริษัทเพิ่มขึ้นและนำไปสู่ผลกำไรของบริษัทนั้นก็คือ การที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า โดยมีต้นทุนต่ำที่สุด และมีประสิทธิภาพสูงที่สุด ซึ่งจำเป็นต้องมีการวางแผน วิเคราะห์ ปรับปรุง พัฒนา และควบคุมอย่างเหมาะสมและต่อเนื่อง

การควบคุมคุณภาพในระดับซิกซ์ ซิกมา คือมาตรการในการวัดคุณภาพการดำเนินงาน โดยมีแนวคิดที่ว่า การควบคุมคุณภาพที่ระดับความเบี่ยงเบนยิ่งสูงมากเท่าไร ก็สามารถลดค่าความแปรปรวนในกระบวนการผลิตให้น้อยลง ทำให้การกระบวนการมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ขั้นตอนการทำงานทุกขั้นตอนของการทำงานทุกประเภทจะถูกควบคุมอย่างเป็นระบบ

สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาในที่นี้จะเรียกว่าเป็น Motor Base หรือฐานรองรับมอเตอร์ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากในอุตสาหกรรมการประกอบสปินเดิลมอเตอร์ (Spindle Motor) ซึ่งจะเป็นชิ้นส่วนหลัก ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive) แบบตั้งโต๊ะ

1.1 ความสำคัญของปัญหาประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นบริษัทข้ามชาติจากประเทศญี่ปุ่น ได้ก่อตั้งขึ้นเมื่อวันที่ 24 สิงหาคม 2534 ตั้งอยู่ที่ถนนมิตรภาพ ต.ลำไทร อ.วังน้อย จ. พระนครศรีอยุธยา ตั้งอยู่บนเนื้อที่ 12,000 ตารางเมตร โดยมีพนักงานทั้งหมดในปัจจุบันประมาณ 800 คน ซึ่งถือเป็นโรงงานแรกของบริษัทในเครือทั้งหมด เริ่มแรกเป็นโรงงานที่ผลิตสปินเดิลมอเตอร์ (มอเตอร์สำหรับขับเคลื่อนให้แผ่นดิสก์หมุนในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์) ให้กับลูกค้านำไปประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ แต่ในปัจจุบันโรงงาน

กรณีศึกษาได้ปรับเปลี่ยนโครงสร้างการบริหารและวางกลยุทธ์ใหม่ ให้เป็นโรงงานที่ประกอบ Motor base เพื่อส่งให้กับโรงงานที่เป็นบริษัทในเครือเพื่อนำไปผลิตสปีนเดิลมอเตอร์แทน

1.1.1 ผลิตภัณฑ์ Motor Base ที่เป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตสปีนเดิลมอเตอร์

ผลิตภัณฑ์ Motor Base ที่เป็นส่วนประกอบหลักในผลิตสปีนเดิลมอเตอร์ ซึ่งเป็นชิ้นส่วนหลักในการนำไปประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard Disk Drive) และเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรณีศึกษา



รูปที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์ Motor Base ที่เป็นชิ้นส่วนหลักในผลิตสปีนเดิลมอเตอร์

1.1.2 ผลิตภัณฑ์ Spindle Motor ที่เป็นส่วนประกอบหลักในการผลิตฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 1.2 ส่วนประกอบหลักในการผลิตฮาร์ดดิสก์หรือสปีนเดิลมอเตอร์

1.1.3 ฮาร์ดดิสก์สำหรับคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (Desk Top Hard Disk Drive)

ฮาร์ดดิสก์สำหรับคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายที่ส่งให้กับลูกค้าต่างประเทศ หรือลูกค้าที่นำไปใช้งานประกอบเป็นคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะเท่านั้น (End Users)



รูปที่ 1.3 ผลิตภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์สำหรับคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ

เมื่อมองถึงปัญหาทางคุณภาพที่บริษัทได้รับงานเสียส่งคืนจากลูกค้ามากเป็นอันดับหนึ่ง และจากยอดการพยายากรณ์การผลิตในอนาคตที่มากเป็นกว่าสองเท่าของทุกรุ่นรวมกัน รวมถึงลักษณะอาการเสียหายไฟฟ้าซึ่งถือเป็นเรื่องที่รุนแรงสำหรับลูกค้า จึงถือได้ว่าปัญหาคุณภาพเป็นปัญหาใหญ่ที่บริษัทกำลังเผชิญอยู่ในขณะนี้ รวมถึงภาพลักษณ์เรื่องคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของบริษัทที่ได้รับข้อร้องเรียนอยู่มาก ทำให้ทางผู้บริหารมองเห็นว่าปัญหาเร่งด่วนที่ต้องรีบแก้ไขคือ ปัญหาเรื่องของเสียหายด้านไฟฟ้า คือ Open Circuit และ Hi-pot ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการประกอบ Motor base ในรุ่นของ Brink1D

ดังนั้นในการแก้ปัญหาด้านคุณภาพดังกล่าวคือ การลดจำนวนงานเสียในที่นี่จะมุ่งเน้นในการแก้ปัญหาในเรื่องเกี่ยวกับลักษณะของเสียหายด้านไฟฟ้าประเภท Open Circuit และ Hi-pot มีจำนวนมากที่สุดในทุกๆรุ่น เท่ากับ 4,850 ชิ้น ซึ่งสามารถคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 27% ของทั้งหมด และจำนวน DPPM เฉลี่ยอยู่ที่ 1,513 DPPM หรือระดับซีกมาเท่ากับ 3.450 เป็นหลัก โดย ผู้บริหารได้ตั้งเป้าหมายในการลดของเสียลงให้ได้อย่างน้อย 50%

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อลดสัดส่วนของเสียในผลิตภัณฑ์รุ่น Brink1D จากลักษณะของเสียหายไฟฟ้าประเภท Open Circuit และ Hi-pot โดยดำเนินการตามแนวทางซีกซ์ ซีกมา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาวิจัยเฉพาะผลิตภัณฑ์รุ่น Brink1D ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีจำนวนงานเสียเป็นสัดส่วนมากที่สุดที่ได้รับคืนจากลูกค้า
2. งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาวิจัยในกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ Motor base เฉพาะลักษณะของเสียทางไฟฟ้าประเภท Open Circuit และ Hi-pot ซึ่งทั้งสองลักษณะของเสียเป็นสัดส่วนที่ได้รับคืนมากที่สุดจากลูกค้า และและเป็นลักษณะของเสียประเภทรุนแรง
3. ดัชนีที่ใช้ชี้วัดปริมาณงานเสียใช้ในหน่วยขึ้นต่อล้านส่วนหรือ DPPM
4. ใช้โปรแกรม MINITAB Release 15 ช่วยในการคำนวณข้อมูลที่ต้องใช้การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

1.4 แนวคิดในการทำวิจัย

จากสถานการณ์ทางธุรกิจในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่า อยู่ในช่วงถดถอยธุรกิจต่างๆที่ไม่มีความสามารถเพียงพอในการดำเนินธุรกิจ ก็ต้องปิดตัวลงไป การที่ธุรกิจจะยืนหยัดอยู่ได้ต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงทั้งประสิทธิภาพในการผลิตและด้านการควบคุมคุณภาพ เพื่อการลดต้นทุนการผลิตและยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะการนำเทคนิคการควบคุมคุณภาพทางสถิติ

การดำเนินการปรับปรุงทางด้านคุณภาพนั้น มีความจำเป็นและมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งต่อธุรกิจ ดังนั้นองค์กรควรมีความรู้ความเข้าใจในการบริหารงานคุณภาพเป็นอย่างดี เพื่อการควบคุมคุณภาพให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งหนึ่งในกลยุทธ์ที่สำคัญการควบคุมคุณภาพในระดับซิกซ์ซิกม่า ซึ่งเป็นกลยุทธ์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อบรรลุเป้าหมายการทำกำไรของบริษัท

การควบคุมคุณภาพในระดับซิกม่า คือมาตรการใช้วัดคุณภาพการดำเนินงาน โดยมีแนวคิด คือ การควบคุมคุณภาพที่ระดับค่าความเบี่ยงเบนมากเท่าไร ก็จะลดค่าความแปรปรวนในการผลิต โดยขั้นตอนทุกขั้นตอนจะถูกควบคุมอย่างเป็นระบบ ทำให้เกิดประสิทธิภาพการผลิตมากยิ่งขึ้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับมีดังต่อไปนี้

1. ลดปริมาณของเสียที่เกิดจากคุณภาพไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้า
2. ลดต้นทุนในส่วนของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ
3. สร้างความพึงพอใจต่อลูกค้าและเพิ่มระดับความเชื่อมั่นต่อลูกค้าที่จะได้รับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ
4. เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการประกอบของผลิตภัณฑ์อื่นที่อยู่ในอนุกรมเดียวกันหรือมีความคล้ายกันเพื่อเป็นข้อมูลในการศึกษาปรับปรุงต่อไป

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การลดปริมาณของเสียของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D โดยการลดลักษณะอาการเสียของทั้ง 2 ประเภทคือ Open Circuit และ Hi-pot ได้ดำเนินการวิจัยตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมาทั้ง 5 ระยะ ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง
2. ระบุนิยามปัญหา (Define Phase)
 - ศึกษากระบวนการประกอบ Motor base โดยการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ศึกษาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับทุกกระบวนการ และทำผังแผนผังกระบวนการ (Process Map)
 - จัดตั้งคณะทำงานเพื่อเข้าร่วมในโครงการ โดยการกำหนดคณะทำงานจะทำการคัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญในส่วนของการประกอบโดยการเลือกที่จะทำการปรับปรุงผลิตภัณฑ์รุ่น Brink1D กับลักษณะอาการเสียของทั้ง 2 ประเภทคือ Open Circuit และ Hi-pot ซึ่งประกอบไปด้วย

- ผู้จัดการฝ่ายผลิต
- ผู้จัดการฝ่ายคุณภาพ
- ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม
- วิศวกรกระบวนการผลิต
- วิศวกรคุณภาพ
- หัวหน้าพนักงานฝ่ายผลิต
- ผู้ดำเนินงานวิจัย

คณะทำงานมีหน้าที่ช่วยในการระดมสมองด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่างๆ เพื่อหาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดปัญหาทั้ง 2 ลักษณะอาการเสียคือ Open Circuit และ Hi-pot รวมทั้งให้การสนับสนุนการทดลองต่างๆ

หน้าที่หลักของผู้ดำเนินการวิจัย มีดังนี้

- ติดต่อประสานงาน
- เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ
- ทำการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R)
- จัดประชุมร่วมกับคณะทำงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อระดมสมอง
- ออกแบบและวางแผนการทดลอง
- วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- จัดทำแผนควบคุม เพื่อรักษามาตรฐานหลังการปรับปรุง

3. ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุปัญหา (Measure Phase)

1. เก็บรวบรวมข้อมูลและพิจารณาความสามารถของกระบวนการประกอบในปัจจุบันธรรมชาติของงานเสียที่เกิดขึ้น กระบวนการที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาสาเหตุ

2. วิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R) ในการตรวจสอบ

3. ระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้า (Key Input Variable หรือ KPIV)

➤ หาสาเหตุที่เป็นไปได้โดยใช้ผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram)

➤ กำหนดปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผล (KPIV) โดยใช้ตารางแสดงความสัมพันธ์

ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) และทำการเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยโดยการระดมสมองเพื่อทำการตัดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลน้อยต่อการเกิดปัญหาและทำการวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis) หรือ FMEA) โดยใช้การระดมสมองจากสมาชิกในทีมและพนักงานที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งใช้ข้อมูลทางสถิติที่มีอยู่ด้วย

4. วางแผนการทดลองและการเก็บข้อมูลในขั้นตอนต่อไป

4. ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

1. ทดสอบปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ (FMEA) ด้วยกลวิธีทางสถิติเช่นการทดสอบสมมุติฐาน (Hypothesis) การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA

2. นำปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ (KPIV) ที่ได้จากผลด้วยการวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ (FMEA) ในขั้นตอนก่อนหน้ามาทำการออกแบบการทดลอง DOE (Design of Experiment) เพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อสัดส่วนของเสีย

5. ระยะเวลาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

- ดำเนินการออกแบบการทดลอง
- กำหนดตัวแปร และข้อจำกัดต่างๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง
- กำหนดขั้นตอนการทดลองและวิธีการเก็บข้อมูล
- ดำเนินการทดลอง จากปัจจัยที่กำหนดเพื่อนำไปปรับปรุงกระบวนการให้จำนวนของเสียลดลงและนำไปปรับปรุงจริงในกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่อไป
- วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

6. ระยะเวลาติดตามควบคุม (Control Phase)

➤ ทำการทดสอบยืนยันผล (Confirm Design of Experiment) โดยการเก็บข้อมูลหลังการใช้ระดับของปัจจัยที่สรุปได้จากการทดลองเป็นระยะเวลา 1 เดือน

- จัดทำแผนควบคุม (Control Plan) โดยพิจารณาถึงลักษณะและข้อจำกัดของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะทำการควบคุมด้วย
- พิจารณาเลือกแผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับตัวแปรนั้น ๆ
- กำหนดวิธีการวัด ขนาดตัวอย่าง และความถี่ในการวัด
- สรุปผลการปรับปรุงที่ได้ โดยพิจารณาเปรียบเทียบผลการปรับปรุงจากสัดส่วนที่สามารถลดลงได้

- จัดทำเป็นมาตรฐานในการผลิต

7. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Six Sigma เป็นวิธีการปฏิบัติที่ดีเลิศในปัจจุบัน เพื่อการพัฒนากระบวนการทางธุรกิจทุกกระบวนการและเป็นวิธีที่นิยมทั่วโลกในขณะนี้ วิธีการของมุ่งเน้นที่การลดต้นทุนและปรับกระบวนการทำงานให้สอดคล้องกับกลยุทธ์ที่วางไว้ นอกจากนี้ ปัจจุบันบริษัทชั้นนำหลายบริษัททั่วโลกได้เล็งเห็นประโยชน์และได้นำมาประยุกต์ใช้ ได้แก่ บริษัท General Electric บริษัท Sony บริษัท Allied signal และบริษัท Eastman Kodak บริษัท โมโตโรล่า เป็นต้น ผลจากการประยุกต์ใช้วิธีการ Six Sigma ดังกล่าวทำให้บริษัทสามารถลดต้นทุนได้นับหลายร้อยล้านบาท มิเกล เจ แฮร์รี่ (Mikel J. Harry) ได้กล่าวว่า Six Sigma คือวิถีแห่งระบบคุณภาพแบบหลายมิติ อันประกอบด้วยรูปแบบที่เป็นมาตรฐาน การจัดการที่ลงตัว และการตอบสนองตามหน้าที่ในองค์การ ซึ่งลูกค้าและผู้ผลิตจะได้รับผลตอบแทนร่วมกันทั้งสองฝ่าย คือ ได้สรรพประโยชน์ การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและผลิตภัณท์ที่มีคุณค่า Six Sigma ครอบคลุมปัจจัยต่างๆคือ การสร้างระบบและโครงสร้างการทำงานร่วมกับฝ่ายบริหาร ที่จะช่วยสนับสนุนการเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมองค์การ การใช้มาตรวัด (Metrics) การคัดเลือกบุคลากรทีมงานที่เหมาะสม การคัดเลือกหน่วยงานภายนอกที่สามารถช่วยดำเนินการฝึกอบรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ การประยุกต์เครื่องมือในการทำงาน การกำหนดเป้าหมายอย่างเป็นระบบ

2.1 ซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)

2.1.1 ความเป็นมาของซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)

จุดกำเนิดของวิธีซิกซ์ ซิกมา เริ่มขึ้นเมื่อ บริษัทโมโตโรล่า (Motorola) ได้พัฒนาและสร้างโครงการเพื่อปรับปรุงคุณภาพสินค้า ภายใต้การนำของ มิเกล เจ แฮร์รี่ ในปี 1988 บริษัทโมโตโรล่า ได้ตีพิมพ์และเปิดเผยวิธีปรับปรุงคุณภาพของสินค้าวิธีใหม่ที่ชื่อว่า “วิธีซิกซ์ ซิกมา (Six Sigma)” คำว่า ซิกซ์ ซิกมา หรือตัวอักษรกรีก คือ σ ที่มีความหมายนัยทางสถิติคือระดับความผันแปรของกระบวนการ ซึ่งบริษัทโมโตโรล่าได้รับผลสำเร็จที่วัดออกมาเป็นตัวเงินมหาศาลจากการดำเนินงานตามแนวทางของซิกซ์ ซิกมา

ต่อมาบริษัทจีอี (GE) โดย Jack Welch ปรับเปลี่ยนรูปแบบดั้งเดิมของซิกซ์ ซิกมา ให้เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้มากขึ้น โดยปรับแก้รูปแบบซิกซ์ ซิกมา ของโมโตโรล่าให้เป็นลักษณะของ Project Based Approach คือเน้นทำเป็นเรื่อง ๆ ในระยะเวลาที่กำหนดไว้ (โดยประมาณ 6 เดือน) นอกจากนี้ยังเพิ่มเติมในส่วนของการบริหาร โครงการ และแนวทางในการ

จูงใจให้ผู้บริหารทุกระดับเล็งเห็นความสำคัญของการดำเนินงาน และยังเพิ่มเติมในส่วนของวิธีการประเมินผลสำเร็จที่สามารถวัดผลออกมาได้ในรูปของการเงินที่ดีขึ้นของบริษัท ด้วยรูปแบบใหม่ ของซิกซ์ ซิกมา จึงเป็นที่นิยมมากในบรรดาบริษัททั่วไป โดยในปัจจุบันเทคนิคของซิกซ์ ซิกมา ไม่ได้จำกัดการประยุกต์ใช้เฉพาะกับบริษัทขนาดใหญ่เท่านั้นแต่นำไปประยุกต์ให้กับธุรกิจมากมายไม่ว่าจะเป็น SMEs องค์การขนาดใหญ่ กระบวนการผลิต ตลอดจนงานบริการ โดยลักษณะการประยุกต์ใช้แตกต่างกันบ้างตามรูปแบบของธุรกิจ

2.1.2 ความหมายของซิกซ์ ซิกมา

ได้มีหลายๆ ท่าน ได้กล่าวถึงความหมายของซิกซ์ ซิกมา ได้ดังนี้

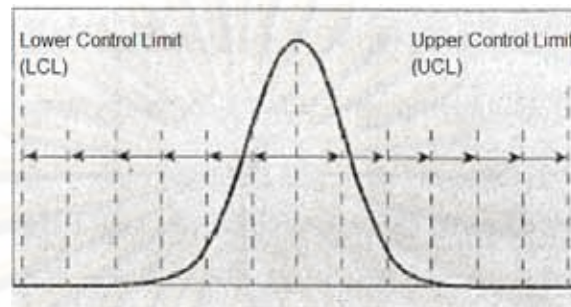
Breyfogle (2001) ได้ให้ความหมายของซิกซ์ ซิกมาไว้ว่า ซิกซ์ ซิกมาคือ ส่วนผสมอันกลมกลืนระหว่างความฉลาดหลาย ๆ ด้านในการบริหารองค์การ โดยการพัฒนาวิถีทางสถิติเพื่อใช้เป็นอาวุธขององค์การ โดยเป้าหมายสูงสุดของซิกซ์ ซิกมานี้ ได้เน้นไปที่การนำเอาซิกซ์ ซิกมามาใช้เป็นกลยุทธ์ของกิจการมากกว่าที่จะเป็นวิธีการควบคุมคุณภาพในกระบวนการ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ซิกซ์ ซิกมา คือวิธีการและการประยุกต์ใช้กลวิธีทางสถิติในองค์การเพื่อที่จะช่วยให้องค์การสามารถทำกำไรได้เพิ่มขึ้น ได้ผลผลิตมากขึ้น สามารถนำมาใช้ได้ทั้งส่วนสินค้าและบริการ

Harry และ Schroeder (2000) กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกมา เป็นกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพอย่างมากในการบริหาร ซึ่งมีเป้าหมายอยู่ที่ความผิดพลาดหรือของเสียที่น้อยกว่า 4 ใน 1 ล้านครั้งของการทำงาน โดยรวมเอาวิถีทางแห่งระบบคุณภาพแบบหลายมิติ ซึ่งประกอบด้วย รูปแบบที่เป็นมาตรฐาน การจัดการที่เหมาะสม และการตอบสนองภารกิจขององค์กร ซึ่งทำให้ทั้งลูกค้าและผู้ผลิตได้ผลตอบแทนทั้งสองฝ่าย ไม่ว่าจะเป็นด้านอัตราประโยชน์ ทรัพยากร และคุณค่าของผลิตภัณฑ์

Evans และ Lindsay (2005) กล่าวว่า ซิกซ์ ซิกมา เป็นวิธีการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจเพื่อหาหนทางและกำจัดต้นเหตุของปัญหาในการเกิดของเสียและความผิดพลาด ลดรอบเวลาการผลิตและต้นทุนการผลิต ปรับปรุงผลผลิต เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ดีขึ้นสามารถเพิ่มการใช้ประโยชน์ในทรัพย์สินและผลตอบแทนในกระบวนการผลิตและการบริการ โดยปรับปรุงบนพื้นฐานกระบวนการแก้ปัญหา DMAIC หรือ Define Measure Analyze Improve และ Control ที่ได้มีการรวบรวมเครื่องมือทางสถิติและเครื่องมือในการปรับปรุงการผลิตไว้มากมาย

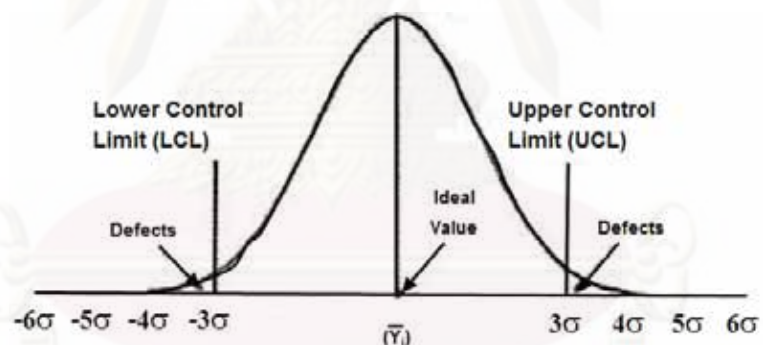
Cherry และ Seshadri (2000) ซิกซ์ ซิกมา คือวิธีการในการจัดการคุณภาพโดยมีพื้นฐานบนการใช้วิถีทางสถิติที่เข้มงวด ควบคุมกระบวนการใช้เครื่องมือทางสถิติดั้งเดิมด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติที่เคร่งครัดและวิธีการแก้ปัญหาที่เป็นระบบ เป้าหมายอยู่ที่รากของปัญหาของความแปรปรวน และให้นิยามความหมายของกระบวนการใหม่สำหรับผลในระยะยาว

ในความหมายทางสถิติ ระดับของ Sigma ที่สูงขึ้นวัดอัตราของของเสียที่ลดลง และประสิทธิภาพของกระบวนการที่สูงขึ้น ภายใต้เส้นโค้งปกติ (Normal Curve) ดังแสดงในรูปที่ 2.1



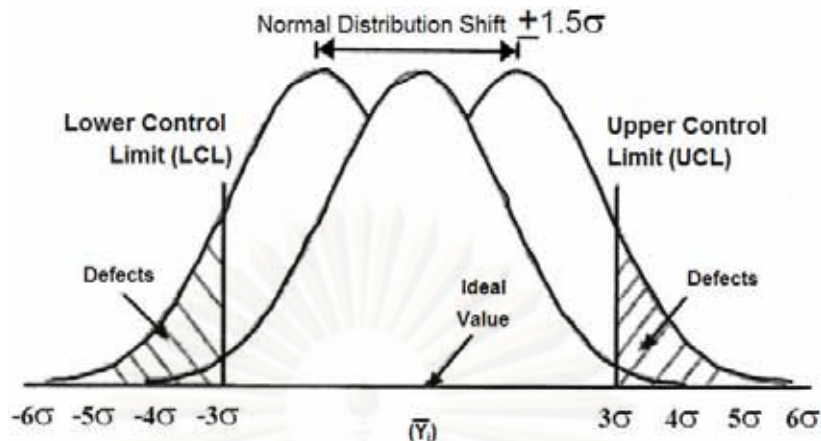
รูปที่ 2.1 เส้นโค้งปกติ (Normal Curve)

เริ่มต้นในทศวรรษที่ 20 Walter Shewhart แสดง 3 ซิกมาจากค่าเฉลี่ยไปถึงจุดที่กระบวนการต้องการ และมีหลาย ๆ มาตรฐานการวัด เช่น Zero Defects ที่เป็นวิธีการควบคุมคุณภาพต่อ ๆ มา โดยแสดงการควบคุมของกระบวนการในขอบเขต 3 ซิกมาในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การควบคุมกระบวนการภายในขอบเขต 3 ซิกมา

ระดับของการควบคุมของซิกซ์ ซิกมา เกิดจากการดำเนินกระบวนการจนกระทั่งอยู่ในสภาพเสถียร ค่าเฉลี่ยของกระบวนการจะเลื่อน (Shift) ออกไปทั้ง 2 ฝั่งของค่าเฉลี่ยเดิมของกระบวนการ เป็นระยะทาง 1.5σ (Breyfogle, 2001) ดังแสดงในรูป 2.3



รูปที่ 2.3 การกระจายแบบปกติ และการเคลื่อนตัวออกจากค่าเฉลี่ย 1.5 □

ซิกซ์ ซิกมา ถูกพัฒนาและประยุกต์ใช้โดยใช้ความรู้ทางสถิติ ตั้งประเด็นเชิงสถิติ และปริมาณของซิกซ์ ซิกมา ในมุมมองของทางสถิติ รูปแบบของซิกซ์ ซิกมา ให้คำจำกัดความถึงโอกาสความผิดพลาดที่น้อยกว่า 3.4 Defects per Million Opportunities (DPMO) หรืออัตราของความล้มเหลวเท่ากับ 99.9999966% เป้าหมายของซิกซ์ ซิกมาเป็นระดับคุณภาพที่เข้มงวดมาก ๆ และนำเสนอจุดมุ่งหมายอย่างเปิดเผยภายในองค์กร (Organizations) เทคโนโลยี (Technology) การปฏิบัติการ (Operation) กระบวนการ (Process) และโครงการ (Project) มากมาย

2.1.3 ตัววัดระดับของคุณภาพ

ในการเลือกตัววัดระดับคุณภาพของกระบวนการผลิตเพื่อที่จะบ่งบอกถึงคุณภาพของกระบวนการมีอยู่หลายทางเลือกเช่น Yield, Rolled Throughput Yield, ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ C_p , C_{pk} อัตราส่วนของของเสียที่เกิดขึ้นต่อล้านหน่วย (Part Per Million : PPM) หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากคุณภาพที่ไม่ดีของผลิตภัณฑ์ (Cost of poor quality) และค่า Sigma Quality Level เป็นต้น

ในแนวคิดทางซิกซ์ ซิกมานี้จะอ้างถึงค่า Sigma Quality Level เพื่อบ่งบอกถึงระดับของคุณภาพของกระบวนการ ซึ่งต่างจากคำว่า Sigma ที่หมายถึงค่าขอความเบี่ยงเบนมาตรฐานในการกระจายตัวของข้อมูลทางสถิติ กล่าวคือค่าระดับ Sigma Quality Level ยิ่งมีค่าที่มากขึ้นจะบ่งบอกถึงโอกาสในการเกิดของของเสียในกระบวนการเป็นจำนวนเท่ากับ 0.002 ชิ้น ต่อหนึ่งล้านหน่วยผลิตเมื่อคิดที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ตรงจุดกึ่งกลาง และเมื่อคิดที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเลื่อนไปจากจุดกึ่งกลางเท่ากับ $\pm 1.5 \sigma$ จะมีของเสียเกิดขึ้นเป็นจำนวน 3.4 ชิ้น ต่อ

หนึ่งล้านชิ้น โดยรายละเอียดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นเทียบกับค่า Sigma Quality Level ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละ Sigma Quality Level

Sigma Quality Level	Mean at Center		Mean Shifted 1.5 σ	
	Percentage	DPPM	Percentage	DPPM
1	68.27	317,300	30.23	697,700
2	95.45	45,500	69.13	308,700
3	99.73	2,700	93.32	66,810
4	99.9937	63	99.379	6,210
5	99.999943	0.57	99.9767	233
6	99.9999998	0.002	99.99966	3.4

หรือหากคำนวณเป็นค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ จะได้ค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการที่ 6 ซิกมา มีค่าเท่ากับ $C_p = 2.0$ และ $C_{pk} = 1.5$ (คิดค่าเฉลี่ยของข้อมูลเลื่อนไปจากจุดกึ่งกลางของการกระจายเท่ากับ $\pm 1.5 \sigma$)

2.2 การประยุกต์ใช้ซิกมา ซิกมา

การดำเนินการตามแนวทางของซิกมา ซิกมาแบ่งออกเป็น 5 ระยะ โดยเป็นไปตามกระบวนการ DMAIC ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดวงจรคุณภาพ PDCA ของเดมมิง นั่นคือ ระยะนิยามปัญหา (Define Phase) ระยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase) และระยะการติดตามควบคุม (Control Phase) ซึ่งในแต่ละระยะมีรายละเอียดและเครื่องมือที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ดังต่อไปนี้

2.2.1 ระยะนิยามปัญหา (Define Phase)

เป็นช่วงที่มีความสำคัญที่สุดในกระบวนการ DMAIC โดยมีการกำหนดความต้องการของลูกค้าและเป้าหมายของกระบวนการ/ผลิตภัณฑ์/บริการ รวมทั้งการระบุรายละเอียดปัญหาและผลกระทบต่อธุรกิจ ซึ่งระยะนิยามปัญหานี้มีรายละเอียดและเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.2.1.1 รายละเอียดเอกสารโครงการ (Project charter)

เอกสารโครงการควรประกอบด้วยรายการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- กรณีทางธุรกิจสำหรับการคัดเลือกโครงการ (Business Case for the Project Selection) โดยระบุถึงลำดับความสำคัญของโครงการ
- ข้อความแสดงถึงปัญหาเบื้องต้น (Preliminary Problem Statement) โดยแสดงความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นกับเป้าหมายหรือสิ่งที่ลูกค้าคาดหวัง ซึ่งข้อความแสดงถึงปัญหาจะต้องสัมพันธ์กับกรณีธุรกิจ และต้องสามารถวัดผลได้
- กำหนดขอบเขตของโครงการ (Project Scope) ให้อย่างชัดเจน
- กำหนดเป้าหมายและระยะเวลาตามเป้าหมาย เพื่อใช้ติดตามและประเมินความคืบหน้าของโครงการ
- บทบาทและความรับผิดชอบของคณะทำงาน

2.2.1.2 ปัจจัยหลักทางคุณภาพสำหรับลูกค้า หรือ Critical to Quality (CTQ)

โดยมุ่งศึกษาความต้องการหรือสิ่งที่ลูกค้าคาดหวัง ดังนั้นงานแรกที่ต้องดำเนินการ นั่นคือการระบุว่าใครคือลูกค้า และปัจจัยที่สามารถตอบสนองให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุด หรือที่เรียกว่า Voice of the Customer (VOC) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ที่สำคัญ เช่นการกระจายหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality function deployment) หรือ QFD การเทียบเคียง (Benchmarking) การสำรวจ การสัมภาษณ์ และข้อมูลประวัติที่ผ่านมา นอกจากนี้ ยังได้มีการใช้แบบจำลองคานาสำหรับวิเคราะห์ เรียกว่า Kano Analysis ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดทางคุณภาพ (Quality Measurement Tool) เพื่อใช้สำหรับจำแนกและจัดลำดับความสำคัญความต้องการของลูกค้าที่มีผลกระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้า นอกจากนี้ยังใช้ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์จำแนกส่วนของลูกค้าเพื่อเป็นแนวทางกำหนดปัจจัยที่สามารถตอบสนองให้เกิดความพึงพอใจแต่ละกลุ่มลูกค้า ตามลำดับความสำคัญ (Segment's Priorities)

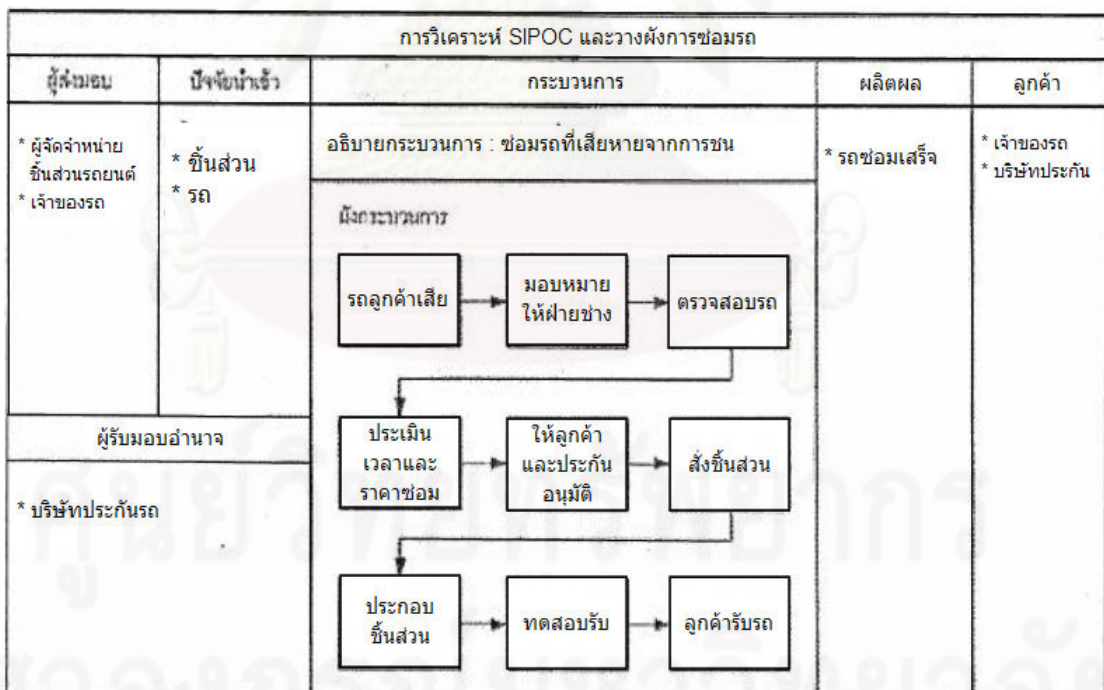
2.2.1.3 แผนภาพ Supplier Input Output Customer (SIPOC Diagram)

กระบวนการประกอบด้วยกิจกรรมต่าง ๆ ที่สร้างมูลค่าเพิ่มด้วยการแปรรูปจากปัจจัยนำเข้าเป็นผลผลิตในรูปของสินค้า/บริการ และนำมาเขียนเป็นแผนภาพ SIPOC ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง นั่นคือ

- ผู้ส่งมอบ (S : Suppliers) คือ ผู้นำหน้าที่จัดหาทรัพยากร / วัตถุดิบเพื่อป้อนเข้าสู่กระบวนการ

- ปัจจัยนำเข้า (I : Input) คือ ทรัพยากร / วัตถุดิบ และข้อมูล ที่จำเป็นต่อกระบวนการ
- กระบวนการ (P : Process) คือ ขั้นตอนแปรรูปปัจจัยนำเข้าให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์
- ผลิตภัณฑ์ (O : Outputs) คือ ผลลัพธ์จากกระบวนการและแสดงในรูปของผลิตภัณฑ์/ บริการเพื่อส่งมอบให้กับลูกค้า
- ลูกค้า (C : Customer) คือ บุคคล องค์กร หรือ กระบวนการถัดไปที่รับปัจจัยที่ออกจากกระบวนการก่อนหน้า

แผนภาพเป็นเครื่องมือที่ผู้ใช้สำหรับระบุองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับโครงการปรับปรุงก่อนที่จะเริ่มดำเนินการและจะถูกใช้ใน ช่วงวัดผล (Measure phase) ต่อไป ซึ่งรายละเอียดแผนภาพ SIPOC จะสามารถช่วยให้มองเห็นภาพของกระบวนการธุรกิจได้ในมุมมองของกระบวนการ และทำให้ทราบว่า ใครคือผู้ส่งมอบปัจจัยนำเข้าสู่กระบวนการ อะไรคือข้อกำหนด / คุณสมบัติ (Specification) สำหรับปัจจัยนำเข้า ใครบ้างคือลูกค้าของกระบวนการ อะไรคือความต้องการของลูกค้า แสดงไว้ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้แผนภาพ SIPOC สำหรับวิเคราะห์

2.2.2 ระยะเวลาวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

การวัด (Measure) เป็นช่วงที่มีการเก็บข้อมูลเพื่อทำการประเมินและวัดผลของการปฏิบัติงาน ตัวชี้วัดในรูปแบบต่าง ๆ เช่น อัตราส่วนของดีที่ผลิตได้ (Rolled Throughput Yield) โอกาสเกิดข้อบกพร่องในล้านหน่วย (DPPM) ความสามารถกระบวนการ (Process Capability) เป็นต้น และต้องทำการวิเคราะห์ระบบการวัดโดยการทำ GR&R จากนั้นศึกษาแหล่งที่มาของสาเหตุของปัญหา รวมทั้งมีการวิเคราะห์และจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุที่เป็นไปได้เพื่อเลือกปัญหาที่คาดว่าจะมีผลกระทบรุนแรงมาทำการแก้ไข

2.2.2.1 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process capability analysis)

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2549) ได้ให้ความหมายของการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process capability analysis) ไว้ว่า การกำหนดพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากกระบวนการแล้วทำการวัดเพื่อการรวบรวมข้อมูลที่แสดงถึงพารามิเตอร์ดังกล่าว และถ้าข้อมูลอยู่ในสภาวะภายใต้การควบคุมก็จะทำการอนุมานงสถิติสำหรับกระบวนการที่ศึกษาต่อไปและอาจเรียกการศึกษานี้ว่าการกำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์ (Product Characterization)

ส่วนการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process capability analysis) หมายถึง การประเมินความผันแปรของกระบวนการ (อาจอยู่ในรูปของฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่จะระบุทั้งรูปทรง ค่ากลาง และปริมาณการกระจายของการแจกแจง) และวิเคราะห์ความผันแปรนี้กับข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ ตลอดจนพิจารณาถึงแหล่งความผันแปรต่าง ๆ เพื่อหาทางลดความผันแปรที่ศึกษาต่อไป

ในการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1. การทดสอบข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) ซึ่งสามารถดำเนินการได้จากการทวนสอบแบบ (Design output) ของผลิตภัณฑ์และทบทวนข้อมูลตกลงกับลูกค้า ว่ายอมรับข้อกำหนดเฉพาะดังกล่าวหรือไม่
2. การชักสิ่งตัวอย่างจากกระบวนการ ทั้งแบบระยะสั้นและระยะยาว
3. การทวนสอบสถานะเสถียรภาพของกระบวนการ โดยอาศัยแผนภูมิควบคุมเพื่อพิจารณาว่าข้อมูลที่ได้จากสิ่งตัวอย่างอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติสำหรับกำหนดคุณสมบัติในด้านความสามารถการคาดการณ์ได้หรือไม่
4. การประเมินค่ามาตรฐานข้อกำหนด (Z-score)
5. การประเมินค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ พร้อมการวิเคราะห์สาเหตุของความผันแปรเพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป

ดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index)

เป็นตัวบ่งชี้ความสามารถของกระบวนการ ซึ่งเน้นในเรื่องของความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการ และความเข้าใจค่าเป้าหมายที่ต้องการ โดยจะช่วยให้เจ้าของกระบวนการ ผู้บริหาร และลูกค้าได้ว่า

* กระบวนการที่กำลังเกี่ยวข้องอยู่นั้น มีความสามารถในการให้ผลลัพธ์ได้ตามที่ต้องการ หรือออกแบบไว้หรือไม่ ซึ่งเป็นการสะท้อนให้เห็นถึงความอยู่ตัวของความผันแปรที่เกิดจากสาเหตุชนิดสามัญ (Common Cause)

* มีความสามารถในการควบคุมความผันแปรที่มีอยู่ในกระบวนการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่เราหรือลูกค้าต้องการได้ดีแค่ไหน อย่างไร

* ชิ้นงานที่ผลิตออกมา มีแนวโน้มของการผลิตเกิดของเสียที่มีขนาดโตเกินไป (เข้าใกล้หรืออยู่นอกขอบเขตกำหนดด้านบน) หรือมีขนาดเล็กเกินไป (เข้าใกล้หรืออยู่นอกขอบเขตกำหนดด้านล่าง) เพื่อที่จะสามารถช่วยให้เจ้าของกระบวนการสามารถปรับกระบวนการเข้าหาจุดที่มีความเหมาะสมได้อย่างถูกต้อง และมีความเหมาะสมในเชิงเศรษฐกิจ

ในระบบคุณภาพ QS 9000 ต้องการให้เจ้าของกระบวนการทำการศึกษาความสามารถของกระบวนการนับตั้งแต่ขั้นต้นของการออกแบบหรือการวางแผนคุณภาพผลิตภัณฑ์ล่วงหน้า (APQP) ขั้นต้นก่อนที่จะมีการผลิตจริงหรือการศึกษาความสามารถของกระบวนการในเบื้องต้น และกระบวนการที่กำลังดำเนินอยู่

การคำนวณค่าดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการนั้น ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการวัดคุณภาพของกระบวนการดังนี้

ก. ต้องการวัดความสามารถของกระบวนการว่า กระบวนการนั้นมี ความสามารถแค่ไหน (Process Capability Potential) โดยค่าดัชนีเป็น C_p (C ย่อมาจาก Capability หรือความสามารถส่วน p Process หรือกระบวนการ) ซึ่งไม่สนใจว่าค่าเฉลี่ย (\bar{X}) หรือตำแหน่งของกระบวนการ จะตั้งอยู่ตรงกลาง (Centering) ของเขตกำหนดหรือไม่

$$C_p = (USL - LSL) / (6 \sigma)$$

โดยที่

USL : Upper Specification Limit หรือขอบเขตกำหนดด้านบน

LSL : Lower Specification Limit หรือขอบเขตกำหนดด้านล่าง

σ : Standard Deviation หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ข. ต้องการวัดความสามารถของกระบวนการพร้อมด้วยตำแหน่งของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ ว่าตั้งอยู่ตรงกลางของขอบเขตกำหนดหรือไม่สำหรับกระบวนการที่กำลังดำเนินอยู่ โดยวัดค่าดัชนีเป็น Cpk ซึ่งเป็นค่าที่น้อยที่สุดของดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการที่เป็นขอบเขตกำหนดด้านบน (Cpu) หรือดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการที่เป็นขอบเขตกำหนดด้านล่าง (Cpl)

$$Cpk = \text{ค่าที่น้อยที่สุดของ (Cpu, Cpl)}$$

K : ระยะที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ห่างจากตรงกลางของขอบเขตกำหนด โดยที่

$$C_{pu} = (USL - \bar{X}) / (3\sigma)$$

$$C_{pl} = (\bar{X} - LSL) / (3\sigma)$$

ค. ต้องการวัดผลการปฏิบัติงานหรือสมรรถนะ (Performance) ของกระบวนการพร้อมด้วยตำแหน่งของค่าเฉลี่ยของกระบวนการว่าตั้งอยู่ตรงกลางของขอบเขตกำหนดหรือไม่สำหรับกระบวนการในเบื้องต้น ซึ่งเป็นการให้ความสนใจในความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการโดยรวม โดยวัดค่าดัชนีเป็น Ppk (P แทน Preliminary หรือเบื้องต้นและ p แทน Process หรือกระบวนการ)

$$Ppk = \text{ค่าที่น้อยที่สุดของ (Ppu, Ppl)}$$

โดยที่

$$P_{pu} = (USL - \bar{X}) / (3\sigma_s)$$

$$P_{pl} = (\bar{X} - LSL) / (3\sigma_s)$$

$$\sigma_s = \sqrt{\sum (\bar{X} - \bar{\bar{X}})^2 / (n-1)}$$

ในกรณีที่สนใจตำแหน่งของค่าเฉลี่ย ดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการเป็น Pp ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Pp = (USL - LSL) / (6\sigma_2)$$

ความหมายของดัชนีนี้แสดงความสามารถของกระบวนการ

- ถ้าดัชนี Cp และ Cpk ยังมีค่ามากกว่า 1.33 แสดงว่า กระบวนการมีความผันแปรน้อยหรือมีความมั่นคงสูง
- ถ้าค่าดัชนี Cp กับค่า Cpk มีค่าที่ไม่เท่ากัน แสดงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการไม่อยู่ตรงกลางของขอบเขตกำหนด หากค่า Cpk = Cpu ก็แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของกระบวนการเข้าใกล้ด้าน USL มากกว่า หรือหนีห่างจากด้าน LSL มากเกินไป

การประเมินความสามารถของกระบวนการที่มีข้อมูลแบบนับ

ในการกำหนดค่าความสามารถของกระบวนการในกรณีในการกำหนดค่าความสามารถของกระบวนการในกรณีข้อมูลแบบนี้ จะขึ้นอยู่กับเกณฑ์การตัดสินใจของผู้วิเคราะห์เป็นสำคัญ เช่น ถ้าหากต้องการประเมินถึงความสามารถของกระบวนการในรูปแบบของสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องที่เกิดขึ้นแล้ว ก็สามารถหาค่าสัดส่วนโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์บกพร่อง (\bar{p}) เป็นตัววัดความสามารถของกระบวนการได้ แต่ถ้าหากต้องการประเมินในรูปดัชนีแสดงความสามารถของกระบวนการเพื่อการเปรียบเทียบผลการปรับปรุงกระบวนการก็สามารถแสดงในรูปของดัชนี Pp, Ppk ดังนั้นในการประเมินความสามารถของกระบวนการสำหรับข้อมูลแบบนับจะต้องเริ่มต้นจากการหาค่า \bar{p} ก่อนเสมอโดย

จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยรวม จำนวนตรวจสอบโดยรวม

$$\bar{p} = \frac{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องโดยรวม}}{\text{จำนวนตรวจสอบโดยรวม}} = \frac{\sum np}{\sum n}$$

ดังนั้นในการประเมินค่า \bar{p} จะต้องประเมินจากข้อมูลโดยรวมค่าดัชนีที่ประเมินจากค่า \bar{p} จึงถือเป็นดัชนีความสามารถของกระบวนการแบบระยะยาวเสมอ โดยความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการอาจจะประเมินได้ในรูปอัตราส่วนความสามารถ (P_R) หรือดัชนีความสามารถ (P_p) สำหรับความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการจะประเมินได้ในรูปดัชนีความสามารถ (P_{pk})

โดยที่ Z_{Bench} จะได้จากกรณีกำหนดสัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องมีค่าเท่ากับทั้งสองด้าน

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

$$P_{RBench} = \frac{1}{P_p Bench}$$

$$\text{และ } P_{okBench} = \frac{1}{3} Z_{Bench}$$

โดยที่ Z_{Bench} ได้จากการกำหนดให้สัดส่วนผลิตภัณฑ์บกพร่องอยู่ที่ด้านใดด้านหนึ่งของค่ากลางเพียงด้านเดียว

2.2.2.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis, MSA)

การวิเคราะห์ระบบการวัด มีจุดประสงค์ในการวิเคราะห์ถึงแหล่งที่มาของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด เพื่อยืนยันความถูกต้องและความแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากการวัด ก่อนทำการทดลอง โดยทั่วไปจะทดสอบความแม่นยำของระบบการวัดโดยวิธีการ Gage Repeatability and Reproducibility หรือ GR&R โดยค่าความผันแปรของระบบการวัดในรูปความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด สามารถแบ่งเป็น 2 องค์ประกอบ คือ

ความผันแปรภายในใต้เงื่อนไขของระบบการวัด (Reproducibility) หมายถึงความผันแปรของค่าวัดรอบค่าที่ควรจะเป็น (Expected Value) ของระบบการวัดที่ทำการวัดโดยการใช้พนักงานวัดคนเดียว อุปกรณ์วัดเดียวกันในการวัดงานชิ้นเดียวกันซ้ำ ๆ โดยทั่วไปจะหมายถึงความผันแปรของอุปกรณ์ แต่ในบางครั้งอาจเกิดมาจากสาเหตุหลักอื่น ๆ เช่น ทักษะของพนักงาน หรือปัจจัยแวดล้อม

ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด (Reproducibility) หมายถึงความผันแปรที่แสดงถึงค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากการใช้อุปกรณ์วัดตัวเดียวกันในการวัดชิ้นงานเดียวกันด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปมักจะหมายถึงความแตกต่างระหว่างพนักงานวัด จึงอาจเรียกว่าความผันแปรระหว่างพนักงานวัด (appraiser variation: AV) แต่ในบางครั้งความผันแปรนี้อาจมีสาเหตุมาจากปัจจัยอื่นที่ไม่ใช่พนักงานวัด เช่น ความผันแปรระหว่างวิธีการวัด ความผันแปรระหว่างสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลนับ (MSA for Attribute)

การประเมินผลและวิเคราะห์ระบบการตรวจสอบเมื่อเป็นข้อมูลนับซึ่งเป็นการประเมินผลเมื่อคุณลักษณะที่ศึกษาเป็นคุณลักษณะเชิงคุณภาพ (Attribute Characteristics) เช่น รสชาติ ความสวยงาม ความเรียบร้อน หรือบางครั้งพารามิเตอร์อาจเป็นลักษณะเชิงผันแปร (Variable Characteristics) แต่ทำการนับเมื่อทำการเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ หรือ GO / No Go Gauge

การศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีการประเมินผลในระยะสั้น (Short Method) และวิธีประเมินผลในระยะยาว (Long Method)

การประเมินผลระยะยาวนั้นจะอาศัยกราฟแสดงสมรรถนะของระบบการวัด (Gauge Performance Curve: GPC) ที่แสดงถึงโอกาสในการตรวจสอบด้วยยอมรับคุณภาพของสิ่ง

ตัวอย่างที่แต่ละค่าของสิ่งตัวอย่างมีการกำหนดในรูปค่าอ้างอิงเพื่อพิจารณาค่าไบอัสและค่ารีพีทเทบิลิตี โดยทำการตัดสินใจว่าค่าไบอัสมีความแตกต่างจากค่าศูนย์อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยอาศัยตัวสถิติทดสอบ 1 โดย

$$t = \frac{31.3 \times \text{ค่าไบอัส}}{\text{ค่ารีพีทเทบิลิตี}}$$

ค่ารีพีทเทบิลิตีพิจารณาได้จากค่าความแตกต่างของค่าวัดค่าอ้างอิงที่สอดคล้องกับความน่าจะเป็นในการตรวจสอบแล้วยอมรับ (Pa) 0.995 กับค่าวัดค่าอ้างอิงที่สอดคล้องกับความน่าจะเป็นในการตรวจสอบแล้วยอมรับ (Pa) 0.005 หารด้วยตัวประกอบเพื่อการปรับค่า (Adjustment Factor) (AIAG, 2002)

การประเมินผลระบบการวัดในระยะสั้นนั้น มีวิธีการประเมินผลดังนี้

1. เลือกผู้ชำนาญการซึ่งเป็นบุคคลที่มีความสามารถเป็นพิเศษในการแยกแยะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือเสีย และลูกค้ำให้ยอมรับในผลการตรวจสอบดังกล่าว
2. กำหนดล็อตมาตรฐาน (Standard Lot) สำหรับใช้ในตรวจสอบ เพื่อประเมินความสามารถของระบบการวัด โดยล๊อตดังกล่าวควรประกอบด้วยสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพดี สิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพไม่ดี และสิ่งตัวอย่างคุณภาพก้ำกึ่งอย่างละ 1 ใน 3 ของสิ่งตัวอย่างทั้งหมด โดยงานก้ำกึ่งควรประกอบด้วยงานดีแบบก้ำกึ่ง และงานไม่ดีแบบก้ำกึ่งอย่างละครึ่ง (Fasser and Brettner, 1992)
3. เลือกพนักงานวัดหรือพนักงานตรวจสอบ 2 – 4 คน โดยพนักงานที่เลือกมาต้องเป็นพนักงานที่มีหน้าประจำในการตรวจสอบคุณภาพและได้ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดี และผ่านการทดสอบประเมินผลแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจสอบที่อาศัยความรู้สึก
4. กำหนดจำนวนชิ้นตัวอย่าง และจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำโดยจำนวนดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพนักงานทดสอบดังตาราง

ตารางที่ 2.2 ขนาดสิ่งตัวอย่างในการประเมินผลระบบการตรวจสอบข้อมูลนับ (Fasser and Brettner, 992)

จำนวนพนักงานตรวจสอบ	จำนวนชิ้นงานตัวอย่างที่ต่ำสุด	จำนวนทดสอบซ้ำที่ต่ำสุด
1	24	5
2	18	4
≥ 3	12	3

5. สุ่มพนักงานตรวจสอบขึ้นมาคนหนึ่งแล้วตรวจสอบตัวอย่างงานแบบสุ่ม เพื่อประเมินผลคุณภาพของสิ่งตัวอย่างว่าผ่าน (Good-G) หรือ ไม่ผ่าน (No Good-G) และทำเช่นนี้จนครบจำนวนพนักงานที่จะทำการทดสอบ

6. ประเมินผลด้วยดัชนีต่าง ๆ ดังนี้

$$\% \text{ รัฟฟิตะบิลิตีของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\% \text{ ความไม่ไปอัสของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกันและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\% \text{ ประสิทธิผลด้านรัฟฟิตะบิลิตีของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผลการตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\% \text{ ประสิทธิผลด้านไปอัสของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้ถูกต้องเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

7. หากค่า % รัฟฟิตะบิลิตีของพนักงานตรวจสอบที่ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด แล้วให้ทำการอบรมพนักงานใหม่รวมทั้งประเมินผลของพนักงานใหม่เพื่อปรับปรุงค่ารัฟฟิตะบิลิตีให้ดีขึ้น แต่หาก % ความไม่ไปอัสของพนักงานตรวจสอบ (% Attribute Score) ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดแล้วจะต้องปรับปรุงวิธีการตรวจสอบใหม่หรือต้องกำหนดให้ชิ้นงาน ได้รับการตรวจสอบโดยผู้ชำนาญการเฉพาะเท่านั้น สำหรับ % ประสิทธิผลด้านรัฟฟิตะบิลิตีของการตรวจสอบ (% Screen Effective Score) และ % ประสิทธิผลด้านไปอัสของการตรวจสอบ (% Screen Effective Score) ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์กำหนดแล้วมีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุจากดัชนีข้างต้น แล้วปรับปรุงให้ได้ค่าที่ดีขึ้น

2.2.2.3 การระดมความคิด (Brainstorming)

การระดมความคิดเป็นวิธีการรวบรวมความคิดเห็นจากกลุ่มคนให้มากที่สุดภายในระยะเวลาอันสั้น การระดมความคิดเป็นวิธีการประชุมชนิดหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพมาก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ใช้ในการเลือกปัญหา หาสาเหตุของปัญหา และวิธีการแก้ปัญหาหรือหาข้อยุติในเรื่องใดเรื่องหนึ่ง โดยอาศัยความคิดของกลุ่มบุคคลเป็นเครื่องตัดสิน

หลักของการระดมความคิด มีดังนี้

- หัวข้อที่จะใช้ในการระดมความคิดจะต้องมีความชัดเจน
- ให้ผู้ร่วมระดมความคิดได้เสนอแนะโดยมีอิสระทางความคิดไม่ต้องระวังหรือกลัวที่จะถูกวิพากษ์วิจารณ์
- การเสนอและควรรวบรวมเพื่อการระดมความคิดที่รวดเร็ว
- เป้าหมายหลักของการระดมความคิดคือปริมาณของข้อเสนอแนะทางความคิด
- มุ่งไปที่การเพิ่มเติมข้อเสนอแนะของบุคคลอื่น ๆ รวมทั้งการเสนอแนวคิดใหม่ ๆ
- บรรยากาศในการระดมความคิดควรทำให้เกิดการเสนอแนะความคิดที่สร้างสรรค์และสิ่งใหม่ๆ

2.2.2.4 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effective Diagram)

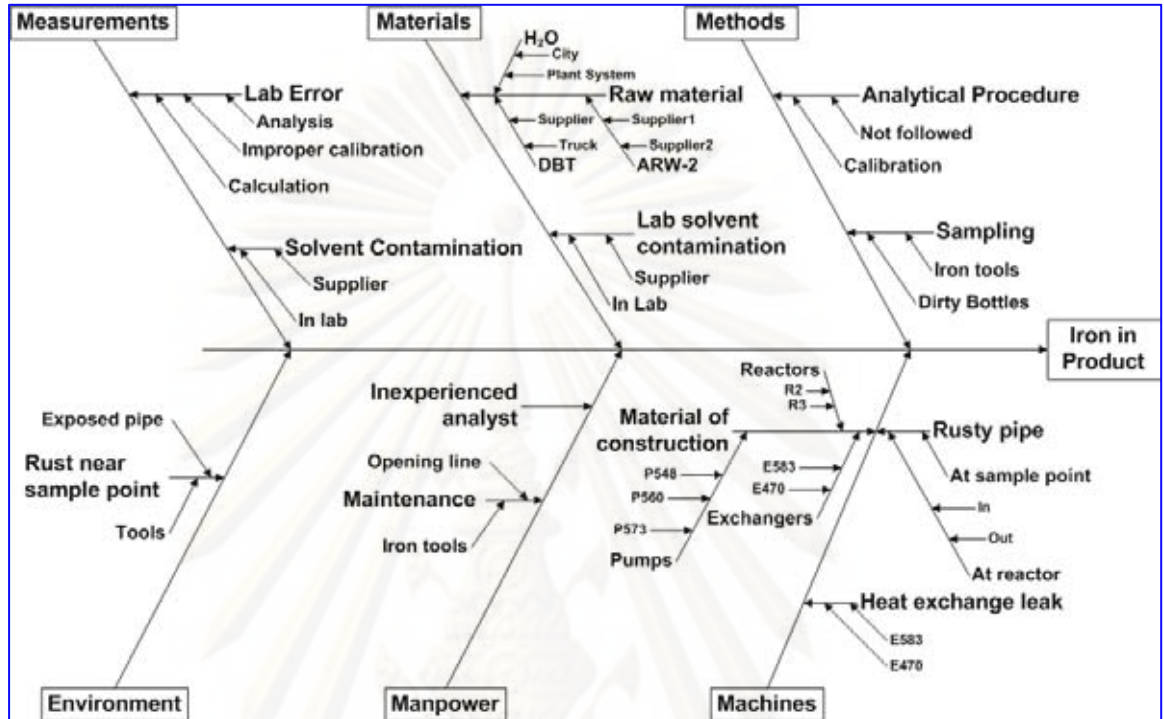
ผังแสดงเหตุและผล เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) หรือแผนภาพของอิชิคาว่า (Ishikawa Diagram) เป็นแผนภาพที่แสดงสาเหตุ (Cause) และผล (Effect) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของคุณภาพกับสาเหตุของมัน โดยการดึงเอาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดออกมาเรียงเรียงสาเหตุที่มีผลต่อคุณภาพ มีประโยชน์ในการใช้เป็นเครื่องมือในการระดมสมองจากสมาชิกภายในกลุ่ม ทำให้เห็นปัญหาอย่างเป็นระบบและทราบสาเหตุของผลที่เกิดขึ้น ซึ่งสาเหตุที่ได้นั้นจะละเอียดลึกซึ้งและมีขั้นตอนตามเหตุตามผล สะดวกที่จะนำสาเหตุนั้นๆ ไปพิจารณาแก้ไข อีกทั้งเป็นเครื่องมือที่สามารถนำไปประยุกต์ในการอธิบายให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์ผังก้างปลาจะพิจารณาแยกสาเหตุของปัญหาออกเป็นหัวข้อหลัก 6 กลุ่ม ดังนี้

- สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน (Man)
- สาเหตุจากเครื่องจักร (Machine)
- สาเหตุจากวัตถุดิบ (Material)
- สาเหตุจากวิธีการทำงาน (Method)
- สาเหตุจากระบบการวัด (Measurement)
- สาเหตุจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการผลิต (Environment)

การใช้แผนภูมิก้างปลาต้องอาศัยการระดมความคิดจากบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย ถือเป็นเทคนิคหนึ่งของการระดมความคิด (Brainstorming) อย่างไรก็ตามการระดมความคิดแบบใช้แผนภูมิก้างปลาถึงแม้จะให้ผลดี แต่ก็ทำได้ยากเพราะการเขียนก้างปลาให้ถูกต้องและครอบคลุม

สาเหตุของปัญหาให้กว้างขวางนั้น จำเป็นต้องอาศัยผู้นำกลุ่มหรือประธานในการระดมความคิดที่ดี มีความสามารถและมีประสบการณ์มาก



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

2.2.2.5 ตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

ตารางจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองที่ทำการศึกษา (KPOVs) กับ ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญต่าง ๆ ที่ได้จากการระดมสมองโดยใช้ผังแสดงเหตุและผล โดยจะวิเคราะห์ถึง ระดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนี้ที่มีผลกระทบต่อแปรตอบสนองต่าง ๆ ที่พิจารณา โดยใช้ความรู้ ความชำนาญและประสบการณ์ในการปฏิบัติงานของผู้ร่วมการระดมสมอง ผลลัพธ์ ที่สำคัญของการทำตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลจะต้องทำแผนภูมิพาเรโตเพื่อเรียง ปัจจัยตามลำดับผลกระทบที่มีต่อปัญหาที่ทำการพิจารณา ทำให้สามารถพิจารณาเลือกปัจจัย นำเข้าที่สำคัญในระดับต้น ๆ มาทำการแก้ไขก่อน หรือนำผลที่ได้มาใช้ในการประเมินแผนการ ควบคุมคุณภาพของกระบวนการผลิต

นอกจากนี้ จะกำหนดคะแนนตามความสำคัญของลูกค้าและเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ทาง ธุรกิจ ตัวเลขที่สูงจะแสดงถึงความสำคัญที่มาก ในแต่ละแถวจะแสดงตัวแปรจากผังกระบวนการ หรือสาเหตุจาก แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ส่วนจุดตัดของแต่ละแถว กับแต่ละคอลัมน์จะใช้สำหรับบ่อนค่าระดับความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่อยู่ในแถว (นอน) และ

คอรัลมันน์ ถ้าหากมีความสัมพันธ์กันมากน้ำหนักในที่นี้ก็จะมีความสูงชัน จำนวนค่าของความสัมพันธ์ที่ป้อนในแต่ละช่องตามแนวนอน เมื่อนำมาคูณกับค่าความสำคัญในแถวบนแล้วรวมผลคูณที่ได้ไว้ในช่องขวามือสุดก็จะเป็นการบ่งบอกถึงความรุนแรงของผลกระทบที่จะมีต่อผลผลิตค่าที่มีระดับคะแนนอยู่ในระดับสูงสุดจะสามารถอนุมานได้ว่าเป็นตัวแปรหลักที่จะนำเข้าสู่กระบวนการผลิต (KPIVs) ซึ่งควรจับตามองและศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงกระบวนการให้ดียิ่งขึ้น

2.2.2.6 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis, FMEA)

เป็นตารางที่ช่วยบอกว่าข้อบกพร่องใดที่มีคะแนนความเสี่ยงสูง เพื่อนำมาจัดลำดับว่าควรปรับปรุงการออกแบบหรือกระบวนการใดก่อน โดยมีจุดมุ่งหมายในการปรับปรุงคือ ลดคะแนนความเสี่ยงและโอกาสเกิดลักษณะบกพร่อง รวมถึงลดความรุนแรงของผลอันเกิดจากลักษณะของข้อบกพร่อง นิยมนำมาช่วยในการคัดกรองปัจจัยในการทำซีทซ์ ซีทซ์มา

ขั้นตอนการทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

เป็นการระดมความคิดเห็นจากสมาชิกตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนถึงสิ้นสุดกระบวนการ ดังนี้

1. ศึกษากระบวนการผลิต โดยเครื่องมือที่ช่วยศึกษาคือ แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Flow Diagram) เพื่อให้ทราบถึงกระบวนการดังกล่าว
2. พิจารณาแจกแจงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ หรือ KPIV ที่มีความเกี่ยวข้องกับปัญหาในแต่ละกระบวนการย่อย โดยอาศัยเครื่องมือช่วยในการศึกษา ได้แก่ แผนภูมิก้างปลา (Cause and Effect Diagram)

3. พิจารณาแจกแจง Potential Failure Mode หรือ PFM สำหรับแต่ละ KPIV ที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้า โดยอธิบายลักษณะของความผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งควรพิจารณาถึงลักษณะความผิดปกติดังกล่าวของกระบวนการในขั้นตอนย่อยที่อาจจะเป็นสาเหตุของลักษณะความผิดปกติในกระบวนการถัดไปด้วย รวมทั้งพิจารณาลักษณะความผิดปกติในระดับนี้ซึ่งเป็นผลกระทบมาจากกระบวนการก่อนหน้า แนวทางหนึ่งที่ใช้พิจารณาลักษณะของข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตคือ การศึกษาผลลัพธ์ (Output) ของแต่ละขั้นตอนย่อยในกระบวนการผลิตจากแผนภาพกระบวนการผลิต และพิจารณาว่ากระบวนการจะทำให้ผลลัพธ์ดังกล่าวไม่ได้ตามต้องการหรือกำหนดอย่างไร

เมื่อจบขั้นตอนนี้แล้วจะได้ตาราง FMEA ที่ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆของกระบวนการผลิต หรือส่วนประกอบต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหาที่ทำการศึกษา รวมถึงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญและ Potential Failure Effects ที่สัมพันธ์กับกระบวนการผลิตนั้น ๆ

4. พิจารณาแจกแจง Potential Failure Effects ของ Failure Mode แต่ละตัวจากขั้นตอนที่แล้วโดยจะพิจารณาถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้ที่มีผลต่อการทำงานของผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นเหตุของปัญหาที่ทำการศึกษา โดย PFMs แต่ละตัวอาจทำให้เกิดผลกระทบขึ้นจำนวนหนึ่งผลกระทบหรือมากกว่าก็ได้

5. การให้คะแนนความร้ายแรง (Severity Score: SEV) เป็นการประเมินความร้ายแรงที่เกิดขึ้นของผลกระทบในแต่ละ Potential Failure Mode ที่มีต่อกระบวนการถัดไปซึ่งอาจจะมาจากการประเมินผลจากข้อมูลที่มีอยู่ หรือหากเป็นกระบวนการผลิตใหม่จะต้องอาศัยความรู้และความชำนาญทางวิศวกรรมช่วยในการวิเคราะห์ โดยทั่วไปการประเมินคะแนนของความร้ายแรงที่มีของแต่ละผลกระทบในแต่ละผลกระทบดังกล่าวมักอยู่ในช่วงคะแนน 1 ถึง 10 ซึ่งขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้ในการแต่ละลักษณะปัญหาที่ทำการศึกษา วิธีการสร้างช่วงของคะแนนร้ายแรง คะแนนที่มีค่ามากจะบอกถึงลักษณะของผลกระทบที่มีความรุนแรงมากตามลำดับคะแนน โดยทั่วไปการแก้ไขเพื่อลดระดับความรุนแรงของผลกระทบสามารถทำได้โดยการแก้ไขการออกแบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

6. พิจารณาสาเหตุของแต่ละ Potential Failure Mode (Potential Cause of Failure) เป็นการบอกถึงจุดด้อยของการออกแบบที่เป็นสาเหตุของการเกิดลักษณะข้อบกพร่องนั้นจะต้องประกอบด้วยรายละเอียดที่บ่งบอกถึงสาเหตุที่แท้จริงอย่างรัดกุมและสมบูรณ์ เครื่องมือหนึ่งที่นำมาใช้พิจารณาสาเหตุของปัญหาคือ Fault Tree Analysis (FTA) ซึ่งจะมุ่งพิจารณาที่สาเหตุโดยการหาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกันในกระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้เครื่องมือที่ช่วยในการพิจารณาสาเหตุของปัญหาคือ แผนภูมิก้างปลาวิเคราะห์ (Cause and Effect Diagram) ซึ่งในกรณีนี้จะกำหนดว่า Potential Failure Mode หรือลักษณะข้อบกพร่องเป็นผลกระทบของปัญหาที่เกิดขึ้นและ Potential Cause หรือสาเหตุของปัญหาก็คือสิ่งที่ทำให้ลักษณะข้อบกพร่องเหล่านี้เกิดขึ้น ข้อสังเกตคือ Potential Failure Mode แต่ละตัวสามารถที่จะมาจากสาเหตุที่มากกว่าหนึ่งสาเหตุได้

7. การให้คะแนนความถี่ในการเกิด (Occurrence Score: OCC) เป็นการคาดคะเนความน่าจะเป็นที่สาเหตุของปัญหาที่ระบุจะเกิดขึ้น ซึ่งควรมาจากข้อมูลในอดีตที่เป็นจริง แต่หากเป็นการศึกษา FMEA สำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่จะต้องใช้ความรู้ทางวิศวกรรม การคาดคะเน หรือถ้าเป็นไปได้อาจมาจากการทดลอง (Design of Experiment) แต่ไม่ว่าจะใช้วิธีการใดในการพิจารณาก็ตาม ช่วงของคะแนนความถี่นี้ควรที่จะเป็นช่วงของตัวเลขที่เหมือนกับการสร้างช่วงคะแนนของความร้ายแรง

พิจารณาระบบการตรวจจับในปัจจุบัน (Current Design Control) เป็นการ

อธิบายการควบคุมที่สามารถจะป้องกันไม่ให้ Potential Failure Mode เกิดขึ้นหรือตรวจจับการเกิดขึ้นของ Potential Failure Mode เพื่อที่จะพิจารณาหรือกำจัดสาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะออกจากหน่วยการผลิตไปสู่ลูกค้า ซึ่งเครื่องมือที่ใช้มีอยู่หลายชนิด เช่น ใบบทตรวจสอบแผนภูมิควบคุม และ Poke – Yoke เป็นต้น

8. การให้คะแนนการตรวจจับ (Detection Score: DET) เป็นการประเมินคะแนนของความสามารถของการหลุดรอดจากการตรวจจับ Potential Failure Mode ของระบบการควบคุมที่ได้ระบุไว้ คะแนนนี้จะทำให้เห็นประสิทธิภาพของระบบการควบคุมที่ใช้ในปัจจุบันในการตรวจจับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะออกจากหน่วยการผลิต

9. การคำนวณค่า RPN (Risk Priority Number) ในแต่ละแถวของตาราง FMEA ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างคะแนน SEV OCC และ DET ในแต่ละแถว ดังนี้

$$RPN = SEV \times OCC \times DET$$

เมื่อได้คะแนน RPN ในแต่ละแถวแล้ว ให้ทำการรวมคะแนนทั้งหมดเป็นคะแนน RPN รวม ซึ่งจะนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไป

10. จัดเรียงลำดับ Potential Failure Mode และ Potential Cause of Failure ตามคะแนน RPN ที่ได้คะแนน RPN ที่มีค่ามากจะบอกถึง Failure Mode และ Cause ที่มีความวิกฤตมาก และเนื่องจากค่า RPN เป็นการวัดค่าวิกฤตรวมของขั้นตอนการผลิตหรือชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ จึงถือได้ว่าคะแนน RPN ที่มีค่ามาก ลำดับความสำคัญในการแก้ไขจะต้องมาก่อนขั้นตอนการผลิตที่ค่า RPN น้อยกว่า เครื่องมือที่นำมาใช้ช่วยในการพิจารณาลำดับ Failure Mode ด้วยคะแนน RPN จะใช้แผนภูมิพาเรโตเข้ามาช่วยในการพิจารณา

กำหนดกิจกรรมเพื่อทำการลดระดับค่าคะแนน SEV OCC และ/หรือ DET ของ Failure Mode โดยเริ่มจากค่า RPN สูงสุดจากแผนภูมิพาเรโต ซึ่งจากหลักการของพาเรโตคือจะเลือกจำนวน Failure Mode หรือ Cause ที่มีค่าคะแนน RPN เป็น 80 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับคะแนน RPN รวมของทั้งหมด ควรพิจารณาเลือกกิจกรรมที่จะนำไปสู่การป้องกันข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น (หรือลดคะแนน OCC) มากกว่าที่จะปรับปรุงระบบการควบคุมเพื่อตรวจสอบจับข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น (หรือลดคะแนน DET)

11. หลังจากที่ได้กำหนดกิจกรรมในการลดค่าคะแนนทั้งสามแล้ว ให้จัดทำเอกสารสำหรับกิจกรรมเหล่านี้ในรูปของ FMEA และพิจารณาแผนการนำกิจกรรมเหล่านี้ไปใช้ รวมทั้งคำนวณค่าคะแนน RPN ใหม่ตามแผนการแก้ไขปัญหานี้ ซึ่งทำให้สามารถที่จะประเมินผลการปรับปรุงได้จากการหาค่าความแตกต่างระหว่างคะแนน RPN เดิม และคะแนน RPN ตามแผนการ

แก้ไขที่วางไว้ นอกจากนี้ยังรวมถึงการกำหนดผู้ที่ทำการรับผิดชอบในแต่ละกิจกรรมรวมถึงระยะเวลาในการดำเนินการปรับปรุงด้วย

ค่า S, O และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็ม มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นค่าระดับความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหาคือ ค่า RPN = 1 ซึ่งมาจาก $1 \times 1 \times 1$ หมายความว่า ความถี่ของการผลิต ปัญหานี้มีน้อย และความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกัน และสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์ ส่วนค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของการเกิดปัญหา คือ ค่า RPN = 1000 ซึ่งมาจาก $10 \times 10 \times 10$ หมายความว่า ความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมาก เช่นพบทุกวัน และระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้ก็มีมาก เช่นกระบวนการผลิตต้องหยุดทั้งหมด หรือลูกค้าต้องยกเลิกสัญญาสั่งซื้อ เป็นต้น และยังไม่มีวิธีการตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าเลย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้วิเคราะห์รูปแบบของการเสียและผลกระทบสำหรับกระบวนการซึ่ง (ดร. ปารเมศ ชูติมา, 2545) ได้อธิบายไว้ว่า FMEA สำหรับกระบวนการ (PFMEA) จะถูกจัดทำขึ้นก่อนที่จะมีการผลิตจริงและเกี่ยวข้องกับการจัดทำรายการของรูปแบบของการเสียหลัก (Failure Mode) พร้อมกับสาเหตุของการเสีย

FMEA จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการกระทำที่จะป้องกันข้อบกพร่อง และไม่ปล่อยให้ผลิตภัณฑ์ที่อาจจะเสียหรือไม่ตรงตามข้อกำหนดไปถึงมือลูกค้า

วัตถุประสงค์ของ FMEA สำหรับกระบวนการคือ การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของกระบวนการ เพื่อให้แน่ใจว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นไปตามความต้องการและความคาดหวังของลูกค้าเมื่อรูปแบบของการเสียหลักได้ถูกกำหนดขึ้น กิจกรรมเพื่อการแก้ไขสามารถที่จะขจัดสิ่งเหล่านี้ออกไปหรือทำให้สิ่งเหล่านี้ลดลงอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ FMEA ยังทำให้เกิดการจัดทำเอกสารที่เป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนา กระบวนการผลิต กระบวนการประกอบ หรือโรงงานขึ้นอีกด้วย

ทั้งนี้ในการให้คะแนนค่า S, O และ D ควรที่ประเมินค่าโดยมีการลำดับความสำคัญซึ่งในที่นี้สนใจวิเคราะห์ FMEA สำหรับกระบวนการ จึงอ้างอิงเกณฑ์การประเมินคะแนนค่า จากกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ ดังตารางที่ 2.1 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์การให้คะแนนตามระดับความร้ายแรงของปัญหา (SEV)

ผลกระทบ	เกณฑ์ : ความร้ายแรงของผลกระทบ	จัดอยู่ในชั้น
เต็มไปด้วย อันตรายโดย ปราศจากการ เตือน	อาจทำให้เกิดอันตรายต่อเครื่องจักรหรือผู้ทำการประกอบมีระดับความ ร้ายแรงของปัญหาสูง เมื่อความเป็นไปได้ของความผิดพลาดมีผลกระทบกับ ความปลอดภัยของกระบวนการ และ / หรือไม่เป็นไปตามข้อบังคับทาง ราชการ ความผิดพลาดจะเกิดขึ้นโดยไม่มี การเตือน	10
เต็มไปด้วย อันตรายโดย ปราศจากการ เตือน	อาจทำให้เกิดอันตรายต่อเครื่องจักรหรือผู้ทำการประกอบมีระดับความ ร้ายแรงของปัญหาสูง เมื่อความเป็นไปได้ของความผิดพลาดมีผลกระทบกับ ความปลอดภัยของกระบวนการและ / ไม่เป็นไปตามข้อบังคับทางราชการ ความผิดพลาดจะเกิดขึ้นโดยมีการเตือนไว้แล้ว	9
สูงมาก	ความยุ่งยากส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดย 100 % ของผลิตภัณฑ์ที่ ต้องคัดออก เครื่องจักรไม่อาจใช้งานได้ เนื่องจากความสามารถการใช้งาน เบื้องต้นสูญเสียไป ลูกค้ำไม่พอใจมาก	8
สูง	ความยุ่งยากส่วนน้อยที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมีการ คัดเลือกและทิ้ง (น้อยกว่า 100%) เครื่องจักรทำงานแต่ความสามารถในการ ปฏิบัติงานของเครื่องจักรจะมีระดับลดลง ลูกค้ำไม่พอใจ	7
พอสมควร	ความยุ่งยากส่วนน้อยที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยบางส่วน(น้อยกว่า 100%) ของผลิตภัณฑ์อาจถูกทิ้ง(ไม่มีการคัดเลือก) เครื่องจักรหรือชิ้นส่วนมีการ ทำงานแต่บางครั้งไม่สามารถทำงานได้สะดวก ลูกค้ำได้รับความไม่สะดวก	6
ต่ำ	ความยุ่งยากส่วนน้อยที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดย 100% ของผลิตภัณฑ์อาจ ต้องถูกทำใหม่ เครื่องจักร/ชิ้นส่วน มีการทำงานแต่บางครั้งความสะดวกใน การทำงานมีระดับลดลง ลูกค้ำได้รับความไม่สะดวกในบางครั้ง	5
ต่ำมาก	ความยุ่งยากส่วนน้อยที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ อาจจะต้องถูก คัดแยกและบางส่วน (น้อยกว่า 100%) มีการทำใหม่ ชิ้นส่วนที่ผลิตออกมา ไม่ได้ตามขนาดที่ต้องการ มีการร้องเรียนจากลูกค้ำส่วนใหญ่	4
น้อย	ความยุ่งยากส่วนน้อยที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยผลิตภัณฑ์ (น้อยกว่า 100%) อาจจะมีการทำใหม่ในสายงาน แต่ไม่สามารถควบคุมคุณภาพได้ ชิ้นส่วนที่ผลิตออกมาไม่ได้ตามขนาดที่ต้องการ มีการร้องเรียนจากลูกค้ำบ้าง	3
น้อยมาก	ความยุ่งยากส่วนน้อยที่เกิดขึ้นในสายการผลิต โดยส่วน (น้อยกว่า 100%) ของผลิตภัณฑ์อาจจะมีการทำงานใหม่ในสายงาน แต่สามารถควบคุม คุณภาพ ชิ้นส่วนที่ผลิตออกมาไม่ได้ตามขนาดที่ต้องการ การร้องเรียนจาก ลูกค้ำที่ช่างสังเกต	2
ไม่มี	ไม่มีผลกระทบ	1

ที่มา : FMEA Manual (Chrysler, Ford General Motors Supplier Quality Requirements Task Force)

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์การให้คะแนนตามความถี่ของสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา (OOC)

ความน่าจะเป็นของความผิดพลาด	ระดับความเป็นไปได้ของความผิดพลาด	จัดอยู่ในชั้น
สูงมาก : ความผิดพลาดนี้ส่วนใหญ่ไม่สามารถจะหลีกเลี่ยงได้	1 ใน 2 (มากกว่า 50 %)	10
	1 ใน 3 (33.33 %)	9
สูง : โดยทั่วไปมีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่คล้ายกันจนถึงกระบวนการก่อนหน้านี้ซึ่งเกิดขึ้นบ่อย	1 ใน 8 (12.5 %)	8
	1 ใน 20 (5 %)	7
พอสมควร : โดยทั่วไปมีส่วนเกี่ยวข้องเกี่ยวกับกระบวนการที่คล้ายกันจนถึงกระบวนการก่อนหน้านี้ซึ่งมีการเกิดขึ้นของความผิดพลาดแต่ไม่ใช่สัดส่วนที่มาก	1 ใน 80 (1.5 %)	6
	1 ใน 400 (0.25 %)	5
	1 ใน 2000 (0.05 %)	4
ต่ำ : ความผิดพลาดอย่างเดียวที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่คล้ายกัน	1 ใน 15,000 (0.0067 %)	3
ต่ำมาก : ความผิดพลาดเพียงหนึ่งเดียวที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการเหมือนกัน	1 ใน 150,000 (0.00067 %)	2
น้อยนิด : ความผิดพลาดที่ไม่น่าเป็นไปได้	1 ใน 1,500,000 (0.000067 %)	1

ที่มา : FMEA Manual (Chrysler, Ford General Motors Supplier Quality Requirements Task Force)

ตารางที่ 2.5 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความสามารถของการควบคุม (DET)

การตรวจสอบ	เกณฑ์ : ข้อบกพร่องที่มีอยู่ในตอนนี้จะถูกตรวจสอบโดยกระบวนการควบคุมก่อนจะไปกระบวนการถัดไปหรือก่อนขึ้นสายหรือส่วนประกอบออกจากสถานที่ทำการผลิตหรือประกอบ	จัดอยู่ในชั้น
เกือบจะเป็นไปไม่ได้	ไม่ทราบว่าจะหาการควบคุมใดมาป้องกันความเสียหาย	10
ไกลมาก	การควบคุมที่ใช้ในเวลานี้ยังอีกไกลมากที่จะป้องกันความผิดพลาด	9
ไกล	การควบคุมที่ใช้ในเวลานี้ยังอีกไกลที่จะป้องกันความผิดพลาด	8
ต่ำมาก	การควบคุมที่ใช้ในเวลานี้ยังอีกต่ำที่จะป้องกันความผิดพลาด	7
ต่ำ	การควบคุมที่ใช้ในเวลานี้ยังอีกต่ำที่จะป้องกันความผิดพลาด	6
พอสมควร	การควบคุมในตอนนี้มีพอสมควรที่จะป้องกันความผิดพลาด	5
สูงพอสมควร	การควบคุมในตอนนี้มีสูงพอสมควรที่จะป้องกันความผิดพลาด	4
สูง	การควบคุมในตอนนี้มีสูงที่จะป้องกันความผิดพลาด	3
สูงมาก	การควบคุมในตอนนี้มีสูงมากที่จะป้องกันความผิดพลาด	2
เกือบแน่นอน	การควบคุมตอนนี้ค่อนข้างแน่นอนที่ป้องกันความผิดพลาด และความน่าเชื่อถือของการควบคุมการป้องกันเป็นที่รู้จักในกระบวนการที่คล้ายคลึงกัน	1

ที่มา : FMEA Manual (Chrysler, Ford General Motors Supplier Quality Requirements Task Force)

2.2.3 ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

ระยะนี้เป็นการวิเคราะห์ (Analysis) โดยมุ่งวิเคราะห์จำแนกหาสาเหตุหลักของปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นโดยใช้ข้อมูลที่ได้รับจากในช่วงก่อน เพื่อใช้ระบุปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลักของความผันแปรที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ดังเช่นการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis testing) การวิเคราะห์ความผันแปร (Analysis of variance) หรือ ANOVA รวมทั้งแผนภูมิพาเรโต แผนภูมิแกงปลา การใช้คำถามทำไม 5 ครั้ง (5 Whys ?) แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบทดลอง (Design of Experiment หรือ DOE) ในระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ดังนั้นจึงได้นำเสนอทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบทดลองในระยะนี้

2.2.3.1 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เป็นกระบวนการวางแผนการทดลองและนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติและหาข้อสรุปว่าปัจจัยนำเข้า (Input Variable) ใดมีผลต่อสิ่งที่ไม่ให้ความสนใจในผลิตภัณฑ์หรือสิ่งที้ออกมาจากระบบ (Output Response) โดยทั่วไปการทดลองจะถูกใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการหรือระบบ โดยส่วนใหญ่ลักษณะของกระบวนการเริ่มจากการรวมกันของปัจจัยป้อนเข้า (Input) อันประกอบด้วย เครื่องจักร คน วิธีการ วัตถุดิบ และทรัพยากรอื่น ๆ ผ่านเข้าไปยังกระบวนการและปัจจัยป้อนเข้าเหล่านั้นจะเปลี่ยนรูปออกมาเป็นผลลัพธ์ (Output)

1. ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

➤ การนิยามปัญหา (Recognition and Statement of Problem) เป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการเรียนรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวข้องไปยัง วัตถุประสงค์ของการทดลอง

➤ การเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัย (Choice of Factors Levels and Ranges) เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีและประสบการณ์จากงานวิจัยต่าง ๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลองและในแต่ละปัจจัยนั้นควรมีช่วงในทดลองอย่างไร สุดท้ายคือระบุว่าระดับที่ใช้เป็นแบบกำหนด (Fixed Effect) หรือแบบผสม

- แบบกำหนด (Fixed Effect) หมายถึงระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน
- แบบสุ่ม (Random Effect) หมายถึงระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน
- แบบผสม (Mixed Effect) หมายถึงการผสมผสานระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดและแบบสุ่ม

- การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Selection of Response Variable) ในการเลือกตัวแปร ต้องทำการเลือกตัวแปรที่ให้ข้อมูลที่มีประโยชน์ในการศึกษาและการวัดค่านั้นจะต้องมีความแม่นยำและถูกต้องด้วย
- การเลือกแบบการทดลอง (Choice of Experimental Design) เมื่อกำหนด ทริทเมนต์และตัวแปรตอบสนองแล้วต้องทำการตัดสินใจเกี่ยวกับขนาดของการทดลองซึ่งหมายถึงจำนวนซ้ำของการทดลอง ความเหมาะสม ข้อจำกัดในการสุ่มและการบล็อกที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวโยงกันในด้านความเสี่ยงและต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกปัจจัย
- ดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment) ในระหว่างดำเนินการทดลอง ต้องศึกษาและดูแลอย่างใกล้ชิด ปฏิบัติตามหลักการได้ออกแบบการทดลองไว้
- การวิเคราะห์ข้อมูล (Statistical Analysis of Data) จะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์และสรุปผล รวมทั้งตัดสินใจความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้น
- สรุปผลและข้อเสนอแนะ (Conclusions and Recommendations) เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว จะต้องสรุปผลการวิเคราะห์ อาจแสดงในรูปกราฟ ตาราง แผนภูมิ ฯลฯ และให้ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น

2. การเลือกแบบการทดลอง

1. แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) เป็นแผนการทดลองที่ง่ายที่สุด เหมาะกับการทดลองที่แยกได้ว่าหน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองนี้จะแยกสาเหตุความแปรผันของข้อมูลทั้งหมดว่า เนื่องมาจากอิทธิพลของทริทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีเหตุของปัจจัยอื่นอีก จึงเรียกข้อมูลนี้ว่าข้อมูลแจกแจงทางเดียว (One – Way Classification)

ตามแผนการทดลองนี้แสดงว่า เมื่อหน่วยการทดลองได้รับทริทเมนต์ที่ต้องการทดสอบแล้วความแตกต่างของข้อมูลที่เก็บได้จากแต่ละหน่วยการทดลองจะต้องเกิดจากอิทธิพลทริทเมนต์ที่ต่างกันเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้แผนการทดลองนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด หน่วยทดลองที่นำมาใช้จึงสมควรมีลักษณะที่สม่ำเสมอหรือคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogenous) หรือมีความผันแปรระหว่างทดลองให้แก่ทริทเมนต์จะต้องเป็นอย่างสุ่มและไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสุ่ม

2. การทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design) ในบางการทดลองอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับหน่วยการทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้การใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมมุลจะไม่ใช่ผลของทริทเมนต์เพียงอย่างเดียวแต่อาจมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วยซึ่งความแปรผันส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการ

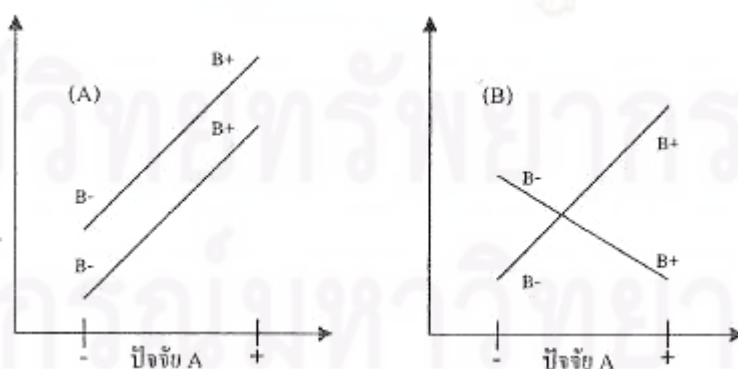
ทดลองทำให้ยอดรวมของผลบวกของกำลังสองความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบ ทำให้ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่นที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว ดังแสดง

แผนการทดลองแบบสุ่มบล็อกเป็นวิธีหนึ่งในหลายวิธีของการจำแนกแบบ 2 ทาง (One – Way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะ คือทางแนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column) มีหลักการคือพยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันซึ่งเรียกว่าบล็อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันจึงมีค่าต่ำและให้ค่าความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง ในแต่ละบล็อกจะมีครบทุกทรีทเมนต์การจะให้ทรีทเมนต์ใดหน่วยการทดลองใดภายในแต่ละบล็อกกระทำโดยการสุ่ม กรณีนี้จะให้เราแยกความแตกต่างระหว่างบล็อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกกำลังสองได้

3. แผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design) การทดลองแบบแฟคทอเรียล เป็นการศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนองในทุก ๆ ระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ (Treatment Combination) ที่มีจำนวน 2 ปัจจัยขึ้นไปโดยทุก ๆ Treatment Combination ของปัจจัยนำเข้าทุกตัว จะได้ศึกษาไปพร้อม ๆ กัน

ผลกระทบจากปัจจัยนำเข้าจะนิยามด้วยการตรวจสอบค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองที่ศึกษาที่เกิดขึ้น โดยการเปลี่ยนระดับของปัจจัยนำเข้านี้ เรียกว่า “อิทธิพลหลัก (Main Effect)” ส่วนอิทธิพลร่วม (Interaction) จะหมายถึงค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนองในระดับของปัจจัยนำเข้าตัวหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันในระดับต่าง ๆ ของปัจจัยนำเข้าตัวอื่น ๆ ซึ่งแสดงได้โดยพิจารณาจากแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและตัวแปรตอบสนอง แสดงดังรูปที่

2.6



รูปที่ 2.6 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างปัจจัย (A)

และการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่มีอันตรกิตยาระหว่างปัจจัย (B)

จากรูปที่ 2.6 A จะเห็นได้ว่าเส้นขอบ B- และ B+ จะประมาณได้ว่าขนานกัน ซึ่งลักษณะของกราฟเช่นนี้จะบ่งบอกถึงการไม่มีอันตรกิริยาซึ่งกันและกันของปัจจัยทั้งสองในทำนองเดียวกันจากรูปที่ 2.6 B จะเห็นได้ว่า เส้นของ B- และ B+ ไม่ขนานกันสามารถกล่าวได้ว่าปัจจัยทั้งสองมีอันตรกิริยาต่อกัน บ่อยครั้งที่กราฟลักษณะเช่นนี้จะถูกนำมาใช้เพื่อแสดงถึงการมีนัยสำคัญ (Significant) ของอันตรกิริยา อย่างไรก็ตามกราฟค่อนข้างที่จะขึ้นกับความคิดเห็นส่วนบุคคล ซึ่งอาจทำให้เกิดการเข้าใจผิดหรือวิเคราะห์ผิดพลาดได้รูปแบบของแผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลยังแบ่งย่อยในกรณีที่แผนการทดลองมีลักษณะเฉพาะตัวอีกดังต่อไปนี้

- **การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k (2^k Factorial Design)**

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมีระดับของปัจจัยอยู่ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ ใช้สัญลักษณ์ -1 หรือ (-) และระดับสูง ใช้สัญลักษณ์ 1 หรือ (+) ทดลองแบบนี้เหมาะสมสำหรับการทดลองที่มีปัจจัยมากๆ เป็นการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลเบื้องต้นจะช่วยในการทดลองที่เจาะลึกต่อไป

- **การออกแบบทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k (3^k Factorial Design)**

การออกแบบทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k เป็นการทดลองที่มี k ปัจจัย แต่ละปัจจัยจะมีระดับของปัจจัยอยู่ 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ ใช้สัญลักษณ์ 1 หรือ (-) และระดับสูง ใช้สัญลักษณ์ 0 หรือ (0) และระดับสูง ใช้สัญลักษณ์ 1 หรือ (+) ทดลองแบบนี้เหมาะสมเมื่อผู้ทดลองกำลังสนใจกับผลตอบสนองที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง

- **การออกแบบทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design)**

การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล เป็นการทดลองที่ใช้ในกรณีเมื่อการทดลองมีหลายปัจจัย ทำให้ต้องเสียเวลาในการเก็บข้อมูลมาก ดังนั้นจะทำให้ความสัมพันธ์ของทรีทเมนต์ (Treatment Combination) บางตัวถูกตัดออกไปโดยอาศัยหลักการของการคอนฟาวด์ (Confound) ซึ่งจะทำให้ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนั้นลดลง

ประโยชน์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียล

- ✓ ในกรณีที่ต้องการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยนำเข้าจำนวนหลายตัว จะใช้จำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดลองจำนวนที่น้อยกว่าการทดลองทีละ 1 ปัจจัย (one-factor-at-a-time)
- ✓ ใช้เวลาการทดลองที่น้อยกว่า เนื่องจากเป็นการศึกษาปัจจัยหลายตัวพร้อม ๆ กัน
- ✓ ผลสรุปจากการทดลองแบบแฟคทอเรียลสามารถสรุปได้ครอบคลุมมากกว่าเนื่องจากสามารถพิจารณาในส่วนอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยในการทดลองด้วย

3. หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การทดลองสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square) เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลองนั้นมีความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งในการทดลองทุกครั้งจะมีความผันแปรที่ไม่สามารถอธิบายได้ (Unexplained Variable) หรือความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบที่ดีนั้นจะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่ไม่สามารถอธิบายได้น้อยที่สุด

$$\text{สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square)} = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้} \times 100\%}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}}$$

ถ้าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) มีค่าต่ำ สามารถแก้ไขได้โดย

- เพิ่มจำนวนซ้ำของการทดลอง
- ตรวจสอบปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง แล้วออกแบบทดลองใหม่
- ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้วค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจยังมีค่าต่ำอยู่ แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise Factor) มีอยู่มาก ต้องทำการบล็อกเพื่อลดปัจจัยรบกวน

2. การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking) จากสมการ

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ijk}$$

โดย μ คือค่าเฉลี่ย
 τ_i คืออิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย
 ε_{ij} คือความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่จะตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์โดยที่ Y ซึ่งเป็นตัวแปรตาม มีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ซึ่ง Y จะมีการกระจายแบบปกติได้นั้นจะต้องให้ ε_{ijk} มีการกระจายแบบปกติด้วย และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระตามสมมติฐาน $\varepsilon_{ij} \sim \sigma^2$ NID (0, ε_{ij}) การตรวจสอบมี 3 ขั้นตอนคือ

➤ การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยใช้วิธีตรวจสอบต่อไปนี้

- การทดสอบแบบไคร้สแควร์ (χ^2 - Goodness of Fit Test)
- การทดสอบแบบ Kolmogorov – Smirnov

- การตรวจสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (NOPP)

➤ การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) แล้วดูลักษณะ การกระจายที่แทนข้อมูลในแผนภูมิว่าเป็นรูปแบบที่อิสระหรือไม่

➤ การตรวจสอบความคงที่ของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย ซึ่งเป็นแผนภูมิแสดงการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้ารูปร่างการกระจายของข้อมูลที่ออกมา ไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวนแสดงว่าข้อมูลมีความคงที่ของความแปรปรวน

2.2.4 ระยะเวลาปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

ระยะปรับปรุง (Improve) เป็นระยะที่หาระดับที่เหมาะสม โดยการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology, RSM) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.2.4.1 การออกแบบทดลองสำหรับพื้นผิวผลตอบ

วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology, RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลอง และการวิเคราะห์ปัญหาโดยที่ผลตอบที่เราสนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร และเรามีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้

การฟิตและวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบจะทำได้ง่ายถ้าเราเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม ซึ่งลักษณะของการออกแบบที่ต้องพิจารณาบางประการคือ

- ทำให้เกิดการแจกแจงที่เหมาะสมของข้อมูลตลอดบริเวณที่ทำการพิจารณา
- ทำให้สามารถตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลอง และ Lack of Fit ได้
- ทำให้การทดลองสามารถเกิดขึ้นได้ในบล็อก
- ทำให้การออกแบบที่มีอันดับ (Order) สูงขึ้น สามารถสร้างขึ้นได้ตามลำดับ
- ให้ค่าประมาณภายในของความผิดพลาด
- ไม่ต้องรันการทดลองจำนวนมาก
- ไม่ต้องมีหลายระดับของตัวแปรอิสระ
- คำนวณพารามิเตอร์ในแบบจำลองได้ง่าย

1. การออกแบบสำหรับฟิตแบบจำลองอันดับที่หนึ่ง (First Order Model)

สมมติว่าเราต้องการฟิตแบบจำลองอันดับหนึ่งที่มี k ตัวแปร

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon$$

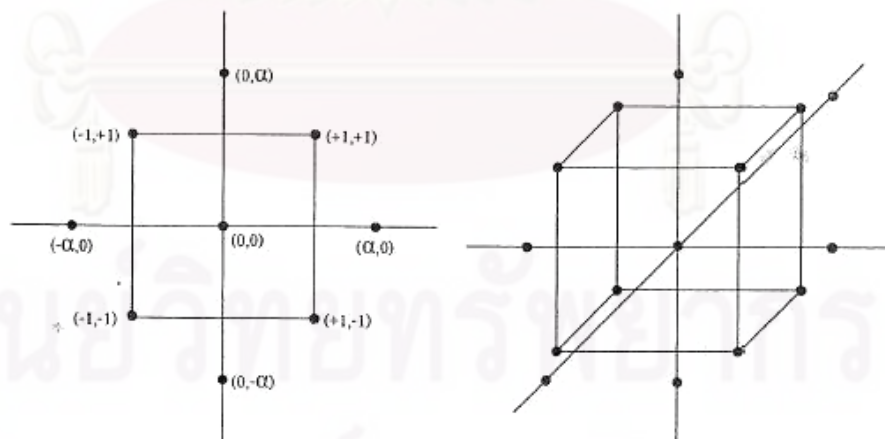
ซึ่งเป็นประเภทของการออกแบบพิเศษชนิดหนึ่ง ที่จะทำให้ความแปรปรวนของสัมประสิทธิ์ของการถดถอยมีค่าต่ำสุด และเรียกว่า การออกแบบเชิงตั้งฉากอันดับที่หนึ่ง (Orthogonal First-Order Model) โดยการออกแบบชนิดนี้สามารถทำได้โดยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล

2. การออกแบบสำหรับพิตแบบจำลองอันดับที่สอง

เนื่องจากการออกแบบแบบจำลองอันดับที่สองไม่สามารถใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อที่ 2 (ยกเว้น การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3^k) ดังนั้นในการออกแบบการทดลองจึงเติมการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลให้มีจุดเพียงพอที่จะหาแบบจำลองอันดับที่สองได้ ซึ่งการออกแบบลักษณะนี้มีหลายประเภทดังนี้

- การออกแบบส่วนผสมกลาง (Central Composite Design : CCD)

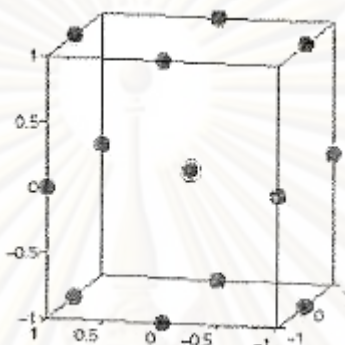
โดยทั่วไป CCD จะประกอบไปด้วย 2^k แฟคทอเรียลที่มี n_f รัน 2^k รันในแนวแกน หรือในแนวรูปดาวและ n_c รันที่จุดศูนย์กลาง การพัฒนา CCD ในทางปฏิบัติส่วนมากจะเกิดจากการทดลองแบบเป็นอันดับ นั่นคือ การออกแบบ 2^k ถูกนำมาใช้เพื่อพิตแบบจำลองอันดับหนึ่งแล้วพบว่า แบบจำลองนี้ไม่เหมาะสมกับข้อมูลนี้ ดังนั้น จึงได้มีการรันเพิ่มขึ้นในแนวแกน เพื่อให้สามารถใส่พจน์สควอเดรติกกลงในแบบจำลองได้ CCD เป็นการออกแบบที่มีประสิทธิภาพมากในการพิตแบบจำลองอันดับที่สอง มีพารามิเตอร์อยู่สองตัวในการออกแบบที่จะต้องถูกกำหนด นั่นคือ ระยะทาง α ของการรันในแนวแกนของจุดศูนย์กลางในการออกแบบ และจำนวนของจุดศูนย์กลาง n_c



รูปที่ 2.7 การออกแบบ CCD สำหรับ $k = 2$ และ $k = 3$

- การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน (Box – Behnken Design)

การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน เป็นการออกแบบสามระดับสำหรับพื้นผิวผลตอบ การออกแบบถูกสร้างขึ้นจากการรวมเอาออกแบบแฟคทอเรียล 2^k กับการออกแบบบล็อกไม่บริบูรณ์ ผลของการออกแบบมีประสิทธิภาพมากในด้านจำนวนของการรันที่ต้องการ และการออกแบบนี้ยังมีความสามารถในการหมุนหรือเกือบหมุนได้อีกด้วย



รูปที่ 2.8 การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนสำหรับสามตัวแปร

จากรูปแสดงให้เห็นถึงการออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนที่มีตัวแปร 3 ตัวแปร รูปทางเรขาคณิตของการออกแบบ จะสังเกตเห็นว่า การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนเป็นการออกแบบรูปทรงกลม ที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี $\sqrt{2}$ นอกจากนี้ การออกแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคนไม่ได้รวมเอาจุดใด ๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปกลมบาศก์ที่สร้างจากขึ้นจากขีดจำกัดบนและล่างของแต่ละตัวแปรเอาไว้ การกระทำเช่นนี้เป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อจุดที่อยู่บนมุมของลูกบาศก์ คือ การรวมของปัจจัยระดับ (Factor Level Combination) ที่แพงมากหรือเป็นไปได้ที่จะทำการทดลอง เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านกายภาพของกระบวนการ

2.2.5 ระยะเวลาติดตามควบคุม (Control Phase)

ระยะเวลาควบคุม (Control) เป็นช่วงสุดท้ายของกระบวนการ DMAIC โดยมีการจัดทำมาตรฐานสำหรับปัจจัยนำเข้า กระบวนการ และผลลัพธ์ เพื่อรักษามาตรฐานหลังจากที่ได้ดำเนินโครงการปรับปรุง โดยมีการวางแผนควบคุมกระบวนการ เพื่อมุ่งป้องกันไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นซ้ำอีก ดังเช่นการปรับปรุงวิธีการทำงาน จัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน การจัดทำแผนการฝึกอบรมกำหนดตัวชี้วัดสำหรับการควบคุม การตรวจสอบกระบวนการ การใช้กลไกสำหรับตรวจจับความบกพร่อง และการติดตามควบคุมกระบวนการด้วยการใช้แผนภูมิควบคุมหรือการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control) รวมทั้งการประเมินและสรุปผลการดำเนินโครงการ

2.2.5.1 การจัดทำเอกสารและสร้างมาตรฐาน

การดำเนินงานกับกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงต้องมีการจัดทำเอกสารขึ้นมาใหม่ หรือแก้ไขเอกสารเดิม และอบรมแนะนำให้กับพนักงานได้เข้าใจและนำไปปฏิบัติได้จริง เอกสารที่ควรจะต้องเปลี่ยนแปลงได้แก่ เอกสารคู่มือการปฏิบัติงาน เอกสารหลักสูตรการฝึกอบรม เอกสารการติดตามงาน เป็นต้น

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างแผนผังควบคุมภาพกระบวนการ

			วันที่ออกเอกสาร :		ออกโดย :		อนุมัติโดย :		
ชื่อผลิตภัณฑ์									
ชื่อกระบวนการ									
รหัสกระบวนการ									
ผังการไหล กระบวนการ	คำแนะนำ	รหัส	จุดควบคุม ตรวจสอบ			การตอบสนองต่อ ความผิดปกติ			หมายเหตุ

2.2.5.2 แผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุม (Control Chart) คือแผนภูมิหรือกราฟที่เขียนขึ้นล่วงหน้าโดยอาศัยข้อมูลจากข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) ที่ระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงานที่ทำการผลิตและต้องการจะควบคุมนั้นเพื่อเป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งโดยการตรวจวัดค่าซึ่งวัดได้ (Variable) ที่เรียกว่าค่าวัดหรือการนับจำนวนขอค่าที่เป็นหน่วยนับ (Attribute) แล้วเขียนบันทึกลงในแผนภูมินั้น ๆ ซึ่งโดยปกติจะมี 3 เส้น ได้แก่ เส้นค่ากลาง คือเส้นที่แสดงขนาดหรือจำนวนที่เป็นข้อกำหนดหรือเป้าหมายของการผลิต พร้อมกับเส้นแสดงขอบเขตควบคุมค่าสูงและเส้นแสดงขอบเขตควบคุมนี้ก็คือว่า ผลการผลิตยอมรับได้ แต่หากว่าค่าที่อยู่นอกเหนือขอบเขตควบคุม ถือว่าการผลิตในขณะนั้นยอมรับไม่ได้ จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องโดยทันทีต่อไป

ความผันแปรต่างๆ มีผลมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ชนิดคือ

1. สาเหตุปกติวิสัย หรือสาเหตุโดยบังเอิญ (Chance Cause) เป็นกลุ่มสาเหตุของความผันแปรที่ไม่มีความรุนแรงและไม่มีผลต่อคุณภาพของสินค้าที่ผลิตได้ เกิดจากความผันแปรหรือ

ความแตกต่างเล็ก ๆ น้อย ๆ ของวัตถุดิบและปัจจัยต่างๆ ซึ่งไม่มีสองสิ่งๆ ที่เหมือนกันทุกประการ ความผันแปรในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสาเหตุที่เป็นปกติวิสัยของการผลิตจึงเป็นสิ่งที่ยอมรับได้

2. สาเหตุที่ระบุได้ หรือสาเหตุที่กำจัดได้ (Assignable Cause) เป็นกลุ่มสาเหตุของความผันแปรที่เกิดจากความผิดพลาด ความผิดปกติ ชำรุด ความไม่ได้เกณฑ์ ของปัจจัยการผลิตต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และไม่ใช่เป็นปกติวิสัยหรือธรรมชาติของการผลิตจำเป็นจะต้องได้รับการกำจัดหรือแก้ไขจึงจะทำให้คุณภาพของงานผลิตกลับเข้าสู่สภาวะปกติอีกครั้งได้

แผนภูมิควบคุมแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ โดยพิจารณาจากคุณลักษณะของตัวแปรที่ใช้เขียนแผนภูมิ คือ

1. แผนภูมิควบคุมชนิดข้อมูลมีค่าต่อเนื่องหรือเป็นข้อมูลจากหน่วยวัด (Continuous Value) ประกอบไปด้วยแผนภูมิ $\bar{X} - R$ และ x

2. แผนภูมิควบคุมชนิดข้อมูลมีค่าเป็นค่าแฉกนับ (Discrete Value) เป็นข้อมูลจากหน่วยนับ ประกอบไปด้วยแผนภูมิ np แผนภูมิ p แผนภูมิ c และแผนภูมิ u

(ตำรา ทวีแสงสกุลไทย, 2538) ได้อธิบายว่าแผนภูมิควบคุมคือซึ่งเป็นวิธีเทคนิคอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ควบคุมการผลิตในระหว่างการผลิต เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการผลิตมีจุดใดเปลี่ยนแปลงหรือไม่หรือการเปลี่ยนแปลงนั้น ๆ ยังอยู่ในพิสัยควบคุมหรือไม่ ปกติจะใช้แผนภูมิควบคุมกับระบบการผลิตสภาพปกติ หรือมีการผลิตสม่ำเสมอ จะไม่ใช้กับการผลิตเป็นแบบเลว ๆ หรือผิดปกติโดยเด็ดขาดจุดมุ่งหมายที่ใช้เทคนิคของแผนภูมิควบคุม มีดังนี้

- เพื่อหาเป้าหมาย หรือมาตรฐานของการผลิต
- เพื่อใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบว่า การผลิตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่
- เพื่อใช้เป็นเครื่องมือเพื่อให้ได้เป้าหมายที่วางแผนล่วงหน้าไว้แล้ว

แผนภูมิควบคุมแบบ p (p chart)

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีลักษณะของข้อมูลเป็นแบบสัดส่วนของเสีย จึงเลือกพิจารณาเฉพาะแผนภูมิควบคุมแบบ p ซึ่งใช้วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์โดยแยกว่าผลิตภัณฑ์นั้นตรงกับที่ต้องการหรือไม่ กล่าวคือ ใช้ได้ (Accept) หรือใช้ไม่ได้ (Reject) ซึ่งดูได้จากการเห็นหรือจากการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไม่ได้นี้จะหมายถึงผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องซึ่งรวมทั้งผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจจะแก้ไขใหม่ได้ (Rework) และแก้ไขไม่ได้แล้ว (Spoilage) ด้วยการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ อาจจะทำการตรวจสอบทุกชิ้นหรือจะเลือกตัวอย่างมาตรวจสอบก็แล้วแต่กรณี อัตราส่วนของจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไม่ได้กับจำนวนผลิตภัณฑ์ที่นำมาตรวจสอบ (p) ซึ่งจะนำไปใช้เขียนแผนควบคุมเพื่อดูว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นจุดนี้ใช้ได้ดีหรือมีความผันแปร (Variation) เพื่อจะได้ทราบว่ามีเมื่อไหร่ที่ควร

ปรับปรุงแก้ไขการสร้างแผนภูมิแบบนี้ใช้หลักการของการแจกแจงทวินาม (Binomial Distribution) เพื่อจะดูการเปลี่ยนแปลงของค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ถือว่ามีข้อบกพร่อง โดย

$$p = \frac{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องจากการตรวจสอบ}}{\text{จำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ทำการตรวจสอบ}}$$

ค่าสัดส่วนของเสียโดยทั่วไปจะมีค่าน้อย เนื่องจากค่าของ p มีค่าน้อย ดังนั้นจำนวนตัวอย่างในแต่ละกลุ่มตัวอย่างจึงมักต้องมีค่ามากจึงจะสร้างแผนภูมิควบคุมได้ดี ซึ่งข้อมูลสำหรับการสร้างแผนภูมิ p นิยมซึ่งสมการในการคำนวณเพื่อสร้างแผนภูมิควบคุมแบบ p มีดังนี้

$$UCL = \bar{p}n + 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}/n$$

$$CL = \bar{p}$$

$$LCL = \bar{p}n - 3\sqrt{\bar{p}n(1-\bar{p})}/n$$

ในการแก้ไขข้อบกพร่องการควบคุม ถ้าจุดใดอยู่นอกเขตการควบคุมให้ทำการตรวจสอบหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข เช่นเดียวกับแผนภูมิควบคุมความแปรผัน หากพบเขตการควบคุมใหม่โดยลบลจุดที่อยู่นอกเขตการควบคุมออก ถ้าจุดใดหาสาเหตุที่บกพร่องไม่ได้ไม่ต้องลบลจุดนั้นออก

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Ricardo Banuelas Coronado and Jiju Antony (2002)

ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่นำไปสู่ความสำเร็จในการนำ Six Sigma ไปประยุกต์ใช้ขององค์กรต่างๆ เพื่อให้ในการปรับปรุงกลยุทธ์ทางธุรกิจโดยการเพิ่มกำไร จากการขจัดความแปรปรวนและลดของเสียในกระบวนการรวมถึงการลดค่าใช้จ่ายทางคุณภาพ ความต้องการและความคาดหวังของลูกค้า โดยการนำเทคนิคและเครื่องมือทางสถิติ อย่างเช่น Motorola ได้ใช้จ่ายในการให้ความรู้และอบรมพนักงาน \$170 millions แต่สามารถที่จะประหยัดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากค่าใช้จ่ายทางคุณภาพได้ถึง \$2.2 billions โดยมีปัจจัยที่นำไปสู่ความสำเร็จได้แก่

- การประกาศเจตนารมณ์และความมุ่งมั่นของผู้บริหารระดับสูง เช่น ในช่วงเริ่มต้นผู้บริหารระดับสูงของ Allied Signal ทำการลดเป้าหมายทางการเงินลงเพื่อช่วยสนับสนุนโครงการเบื้องต้น รวมถึงผู้บริหารระดับสูงของ GE ต้องทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผังองค์กรและการเปลี่ยนทัศนคติของพนักงาน

- การเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมองค์กรสิ่งเกี่ยวข้องกัพฤติกรรมของพนักงาน โดยการขจัดความกลัวของพนักงานที่จะซ่อนเร้นข้อผิดพลาด หรือการต่อต้านการเปลี่ยนแปลงให้ยอมรับการปรับปรุงพัฒนาด้วยการเพิ่มแรงจูงใจ และการให้ความรู้
- การติดต่อสื่อสาร เช่น Sony Electronics ที่ให้ความสำคัญกับการแสดงข้อมูลต่างๆ เพื่อให้ทั้งองค์การหลีกเลี่ยงและเรียนรู้ความผิดพลาดที่เกิดอย่างทั่วถึง
- การจัดโครงสร้างภายในองค์กร Citibank เน้นการทำงานเป็นทีม การทำงานข้ามสายงาน สามารถวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาสำคัญได้ถึง 73%
- การฝึกอบรมโดยเน้น Belt System เพื่อช่วยทำให้เกิดการทำงานตามโครงสร้างของ Six Sigma ทั้งทั้งองค์การ
- การเชื่อมโยง Six Sigma สู่กลยุทธ์ทางธุรกิจ เช่น Ford Motor Company ได้เปลี่ยนกลยุทธ์จาก TQM ที่เน้นการแก้ไขปัญหาแต่ไม่ได้พิจารณาทางค่าใช้จ่าย แต่ Six Sigma มีการวิเคราะห์ถึงต้นทุน-กำไรทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง \$200,000 ~ \$250,000
- การเชื่อมโยง Six Sigma สู่ลูกค้า เพื่อช่วยลดช่องว่างระหว่างความคาดหวังของลูกค้ากับความสามารถของการทำงานที่ทำได้จริง
- การเชื่อมโยง Six Sigma สู่ผู้ส่งมอบ ควรสร้างความสัมพันธ์อันดีและมีผู้ส่งมอบน้อยรายเพื่อที่จะลดความแปรปรวนต่างๆ
- การใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆตามหลักสถิติ เช่น เครื่องมือคุณภาพ การทดสอบสมมุติฐานและอื่นๆ
- การเลือกโครงการตามหลักความสำคัญ พิจารณาจากการแข่งขันทางธุรกิจ การได้เปรียบทางธุรกิจรอบเวลาของกระบวนการ ผลผลิตโดยรวม เป็นต้น

2. อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว (2545)

วิจัยเสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางของ Six Sigma เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋อง อันเนื่องจากข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยการวิเคราะห์ ผ่านผังการไหลของกระบวนการผลิต ผังแสดงเหตุและผล และการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ เช่น

- 1.) ผง Powder กระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ 15.6%
- 2.) รอยขีดข่วนระหว่างกระบวนการผลิต 12.5%
- 3.) การ Jam ของเครื่อง Seamer 9.3%
- 4.) วิธีการจัดเก็บไม่เหมาะสม 9.3% และ
- 5.) การขีดข่วนระหว่างการตัดแผ่นเหล็ก 9.3%

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่องต่างๆ สามารถสรุปผลสาเหตุที่มีผลกระทบต่อแต่ละข้อบกพร่องได้คือ 1.) ผง Powder กระจายอย่างไม่สม่ำเสมอเกิดได้จาก Power ขึ้น ท่อของเครื่องจักรสกปรก การปรับตั้ง Solenoid Value ไม่เหมาะสม และการปรับตั้ง High Voltage ไม่เหมาะสม 2.) รอยขีดข่วนระหว่างกระบวนการผลิตเกิดจากแผ่นเหล็กมีรอยตำหนิ วิธีขนย้ายระหว่างขั้นตอนการผลิต และเครื่องจักรหยุดกะทันหัน 3.) การ Jam ของเครื่อง Seamer เกิดจากพนักงานขาดความชำนาญในการปรับตั้งเครื่องจักร 4.) วิธีการจัดเก็บไม่เหมาะสมเกิดจากการวางบรรจุภัณฑ์ซ้อนเป็นชั้นๆและจัดเรียงในตำแหน่งที่สูง และ 5.) การขีดข่วนระหว่างการตัดแผ่นเหล็กเกิดจากพนักงานขาดความชำนาญในการปรับตั้งเครื่องจักร

จากการดำเนินตามแนวทางของ Six Sigma หลังการปรับปรุงแก้ไขสาเหตุที่ก่อให้เกิดของเสียประมาณ 60% ของทั้งหมดในระยะเวลา 4 เดือนพบว่าสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นลดลงจาก 4,400 DPPM เป็น 2,849 DPPM หรือเปรียบเทียบในระดับ σ สามารถปรับปรุงจากระดับ 2.850 σ เป็น 2.986 σ ซึ่งหากมีการควบคุมอย่างต่อเนื่องประมาณ 6 เดือน จะทำให้ความผันแปรในกระบวนการลดลงอีก 1.5 σ จะเป็นผลให้สัดส่วนของเสียลดลงอยู่ที่ระดับ 4.592 σ

3. ภัทรา อายุวัฒน์ (2546)

เสนอแนวทางควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางของ Six Sigma เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จ อันเนื่องมาจากข้อบกพร่องต่างๆ โดยศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อค่าการรับน้ำหนักด Gramload ของชุดหัวอ่านสำเร็จ แล้วหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ปริมาณของเสียลดลง ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีของเสียเท่ากับ 8,872 DPPM

การวิจัยดำเนินตามตามขั้นตอนวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่า ทั้ง 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากขั้นตอนนิยามปัญหา การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และขั้นตอนการควบคุมการผลิต และสามารถกำหนดค่าของระดับปัจจัยนำเข้า 4 ปัจจัย ที่มีนัยสำคัญต่อค่าการรับน้ำหนักด Gramload ของชุดหัวอ่าน คือ 1.) การตั้งค่าความสูงของฐาน Shuttle 2.) การตั้งค่าความหนา 1st Key ของ Shuttle 3.) การตั้งค่าระยะห่างของ Comb Tower Pin Slot และ 4.) ความเร็วรอบของเครื่อง Swaging มาออกแบบการทดลองโดยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Method) ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ แล้วนำไปวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ได้ค่าการรับน้ำหนักด Gramload ของชุดหัวอ่านเข้าใกล้ค่ากลางของข้อกำหนด

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการจะเป็นการนำปัจจัยนำเข้าจากขั้นตอนการวิเคราะห์ทั้ง 4 ปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่า Gramload มาทำการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมโดย

ออกแบบการทำลองเป็น 2^4 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 2 ครั้งและมีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป (Center Point) เป็น 7 จุด เนื่องจากมีลักษณะของส่วนโค้งเกิดขึ้น จึงใช้วิธีการส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป

หลังการปรับปรุงกระบวนการพบว่ามีการสูญเสียเกิดขึ้น 720 DPPM ซึ่งคิดเป็นการปรับปรุง 91.88% ของจำนวนของเสียที่ลดได้ก่อนการปรับปรุง

4. ศิริวิดี เอ็ออร์ัญโชติ (2546)

วิจัยเสนอแนวทางการควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่าเพื่อปรับปรุงข้อบกพร่องอันเนื่องมาจากคราบสกปรก (Contamination) ของกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับคอมพิวเตอร์ ซึ่งก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิตจะมีปริมาณของเสียเท่ากับ 245,153 DPPM ระบบจะดำเนินการตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า 5 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define Phase) การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) และการควบคุมกระบวนการผลิต (Control Phase)

การระบุสาเหตุของปัญหาและการทำการแก้ไขโดยใช้หลักการทางสถิติวิศวกรรมวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาโดยแสดงแผนภาพเหตุและผล และเชื่อมโยงความรุนแรงของปัญหาด้วยเทคนิค FMEA และทำการวิเคราะห์สาเหตุต่างๆ ที่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนคือ 1.) ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการ Bond (Loctite 480 vx Wax) 2.) ชนิดของแปรงที่ใช้ในการขัดงาน (Rod Brush vs Rounding Brush) 3.) ระยะเวลาสำหรับอบชิ้นงานให้แห้งที่ใช้เครื่องล้างงาน SA-Prime (200 วินาที vs 230 วินาที) 4.) ระยะเวลาสำหรับอบชิ้นงานให้แห้งที่ใช้เครื่องล้างงาน A-Prime (90 วินาที vs 120 วินาที) และ 5.) การควบคุมความสะอาดของ Chip Tray สำหรับใส่ชิ้นงานหลังกระบวนการล้างชิ้นงานด้วยเครื่อง A-Prime (ควบคุมความสะอาดของ Chip Tray ก่อนใช้งาน vs ไม่ควบคุมความสะอาดของ Chip Tray ก่อนใช้งาน) แล้วจึงทำการปรับปรุงเพื่อลดสัดส่วนของเสียเนื่องจากคราบสกปรก (Contamination Defect Proportion) โดยใช้หลักสถิติวิศวกรรมเพื่อยืนยันผลการทดลองและสุดท้ายคือการจัดทำมาตรฐานการทำงานต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อควบคุมและป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้อีก

จากการทำการวิจัยพบว่าหลังทำการปรับปรุงกระบวนการพบว่า สามารถที่จะลดความสูญเสียได้เป็นจำนวนเงิน \$8,091 โดยพิจารณาจากระยะเวลาระหว่างการดำเนินงานวิจัย ซึ่งคิดเป็นจำนวนของเสียที่ลดลงได้เป็น 53% ของจำนวนของเสียที่ลดลงได้จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตซึ่งมีปริมาณของเสียเท่ากับ 79,080 DPPM

5. วรภูมิ จตุรพัฒน์ (2547)

นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ของชุดหัวอ่าน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของฮาร์ดดิสก์ไดร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนของการขนส่ง และต้นทุนของบรรจุภัณฑ์ โดยการประยุกต์แนวทางการปรับปรุง และออกแบบบรรจุภัณฑ์ โดยวิธีการแบบซิกซ์ ซิกมา

การวิจัยเริ่มตั้งแต่การหาระบบการวิเคราะห์ปัญหาที่เหมาะสม โดยการวิเคราะห์หาปัจจัยหลัก ที่มีผลต่อต้นทุนของการขนส่ง คือ 1.) Low quantity of carton per pallet 2.) Quantity of HAS per box not full 3.) Volume of package with pallet และ 4.) Un-fully stack tray และปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนของบรรจุภัณฑ์มากที่สุด ขึ้นอยู่กับจำนวนของ HSA ต่อ Pallet จากนั้นได้ทำการปรับปรุงในหัวข้อต่างๆ ตามลำดับความสำคัญ จากการศึกษาได้มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ต่างไปจากเดิม ที่ถูกออกแบบเพื่อการค้าไปเป็นเพื่อการขนส่งระหว่างสายการผลิตหลัก โดยบรรจุภัณฑ์แบบใหม่ได้ถูกออกแบบและทดสอบโดยการให้การวิเคราะห์เชิงสถิติก่อนที่จะนำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้กับการปรับปรุงบรรจุภัณฑ์ และเพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของลูกค้าโดยใช้เทคนิค QFD ซึ่งบริษัทสามารถที่จะลดต้นทุนของบรรจุภัณฑ์จากเดิม \$0.598 ต่อหน่วยชุดหัวอ่าน ลงเหลือ \$0.156 ต่อหน่วยชุดหัวอ่าน และสามารถช่วยลดต้นทุนการขนส่งผลิตภัณฑ์ ระหว่างประเทศไทยกับประเทศจีนจาก \$0.582 ต่อหน่วยชุดหัวอ่าน ลงเหลือ \$0.205 ต่อหน่วยชุดหัวอ่านซึ่งคิดเป็นจำนวนต้นทุนที่ลดลงได้ เท่ากับ 69.4%

6. J. Antony¹, M. Kumar¹ and A. Labib (2008)

การวิจัยได้นำเสนอถึงความสำคัญของการประยุกต์ Six Sigma กับบริษัทอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs.) โดยอ้างอิงถึงบริษัทที่มีอยู่ในอังกฤษซึ่งประมาณการว่ามีบริษัทที่จดทะเบียนอยู่ถึง 4.3 ล้านบริษัทในปี 2004 ซึ่ง 99.9% เป็น SMEs. และมีพนักงานอยู่ในระบบของ SMEs. อยู่ถึง 59% จากการวิจัยพบว่า การประยุกต์ Six Sigma มักถูกใช้กับบริษัทที่เป็นยักษ์ใหญ่เช่น Motorola, Sony, DuPont หรือ American Express เท่านั้น เนื่องจากการประยุกต์ Six Sigma นั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้บริหารระดับสูงต้องให้ความสำคัญมากและจำเป็นต้องมีการอบรมให้ความรู้ในองค์กร ตามโครงสร้าง Belt ของ Six Sigma กล่าวคือ Champion, Master Black Belts, Black Belts, Green Belts and Yellow Belts (Harry and Schroeder, 2000; Pande et al, 2000; Adams et al, 2003) Belt System (Black, Green, White and Yellow) และจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมในองค์กร ซึ่งต้องให้ความสำคัญกับต้นทุนที่ต้องใช้

การวิจัยยังได้กล่าวถึงจุดอ่อนและจุดแข็งของบริษัทที่เป็น SMEs. ในการใช้ประยุกต์ Six Sigma และพบว่า SMEs. ส่วนใหญ่ที่ยังไม่ได้ประยุกต์ Six Sigma ก็คือ การที่จะต้องตัดสินใจเกี่ยวกับต้นทุนในการให้การอบรมในองค์กรและการเปลี่ยนแปลงเชิงวัฒนธรรม ซึ่งผู้วิจัยได้ให้ทรรศนะไว้ว่าสำหรับการเป็น SMEs. อาจไม่จำเป็นต้องมีการประยุกต์โดยใช้ตาม

โครงสร้างทั้งหมดของ Six Sigma ซึ่งการประยุกต์ใช้เพียง White Belts (Harry and Crawford (2004)) สำหรับ SMEs. น่าจะเป็นการเหมาะสม ซึ่ง White Belts สามารถมีโครงการได้ถึง 12 โครงการต่อปี ซึ่งหากสามารถลดต้นทุนได้โครงการละ \$25,000 จะทำให้บริษัทสามารถที่จะลดต้นทุนได้ถึง \$300,000 ซึ่ง SMEs. ที่มีจำนวนพนักงาน 100 คนขึ้นไปควรมี White Belts ประมาณ 10 ~ 15 คน

ผู้วิจัยได้เสนอแนะแนวทางในการพัฒนา Six Sigma ใน SMEs. (PQA, 2003; Schwinn, 2003; Spanyol and Wurtzel, 2003. Waxer, 2004; Gupta and Schultz, 2005) เพื่อให้ประสบความสำเร็จ (Critical Success Factors) ดังนี้ คือ

- ผู้บริหารมีความมุ่งมั่นและมีพันธะสัญญาในการพัฒนา Six Sigma
 - เชื่อม Six Sigma ให้เข้ากับกลยุทธ์ทางธุรกิจขององค์กรและลูกค้า (Henderson and Evans, 2000; Antony, 2004; Antony and Fergusson, 2004)
 - ทำความเข้าใจกับความต้องการของลูกค้า
 - เข้าใจถึงกระบวนการธุรกิจที่สำคัญและคุณลักษณะที่เป็นวิกฤติ
 - ให้การศึกษา ให้รางวัลและเกียรติยศต่อสมาชิกที่ร่วมงาน (Antony, 2004; Antony and Fergusson, 2004)
 - มีการสื่อสารถึงเรื่องที่ทำกรปรับปรุงแล้วประสบความสำเร็จและไม่ประสบความสำเร็จ (Goldstein, 2001)
 - เลือกทีมงานและโครงการที่จะทำการปรับปรุงอย่างเหมาะสม (Goldstein, 2001; Antony, 2004; Antony and Fergusson, 2004)
 - มีการติดตามและทบทวนประสิทธิภาพในการดำเนินงานประจำเดือน (Goldstein, 2001)
 - พยายามทำให้ทุกคนในองค์กรตื่นตัวกับ Six Sigma อยู่เสมอโดยผ่านการประชุม
- ผู้วิจัยได้กล่าวว่าการประยุกต์ Six Sigma กับ SMEs. ไม่ใช่เรื่องง่าย ยังมีความเข้าใจผิดอีกบางประการเกี่ยวกับ Six Sigma กล่าวคือ
- SMEs. มักจะยากที่แยกความแตกต่างระหว่างโปรแกรมการพัฒนาทางคุณภาพต่างๆ เช่น Six Sigma, TQM, ISO, EFQM etc. และไม่ชัดเจนว่าระบบใดมีข้อได้เปรียบและเหมาะสมกับองค์กรอย่างไรเนื่องจากไม่มีความรู้เพียงพอ (Brown and Van der Weild, 1995; Husband, 1997; Husband and Mandal, 1999; Yusof and Aspinwall, 1999; Andrews, 2004)

- SMEs. มักมีความเชื่อว่า วัฒนธรรมและระบบการทำงานแบบเดิมๆ เช่น ISO 9000 ก็มีเพียงพอต่อการดำเนินธุรกิจเพื่อให้สำเร็จตามเป้าหมายได้ (Andrew, 2004) (Yusof and Aspinwall, 1999)
 - ยังมี SMEs น้อยรายประสบความสำเร็จในการนำ SMEs. ไปใช้จึงคิดว่าเป็นระบบสำหรับองค์กรที่มีความพร้อมเท่านั้น (Smith et al, 1994; Andrew, 2004)
 - ขาดการให้พันธะสัญญาอย่างจริงจังในระดับบริหารและไม่มีการชี้ให้เห็นถึงเวลาและทรัพยากรและความคุ้มค่าในการประยุกต์ Six Sigma
 - SMEs มักมีความคิดว่า Six Sigma หรือ TQM คือ ยาวิเศษในการแก้ปัญหาคุณภาพได้ทุกอย่างเรื่อง แต่ในความเป็นจริง Six Sigma ยังมีข้อจำกัดในการแก้ปัญหาในบางเรื่อง (Andrew, 2004 Smith et al, 1994; Thomas and Webb, 2003)
 - SMEs ยังมีข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้ Six Sigma ในส่วนของภาวะวิเคราะห้ปัญหาเชิงสถิติ (Andrews, 2004)
- อย่างไรก็ดีแม้ในขั้นตอนการประยุกต์ Six Sigma ใน SMEs. ผู้วิจัยยังได้อธิบายถึงอุปสรรคที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการในการพัฒนาที่ต้องมีความระมัดระวังดังนี้คือ

- ทีมงานไม่ได้รับการสนับสนุนจากผู้บริหาร
 - ไม่มีผู้รับผิดชอบในตำแหน่ง Champion และ Black Belt
 - Champion ไม่มีการปรึกษาหารือกับ Black Belt
 - ไม่มีการทบทวนผลงานจากผู้บริหาร
 - ทรัพยากรมีไม่เพียงพอ
- โครงการใหญ่เกินไป
 - โครงการควรอยู่ระหว่าง 3 ~ 6 เดือน
 - กำหนดหัวข้อไม่ชัดเจนและเป้าหมายไม่สามารถเป็นจริงได้หรือไม่สอดคล้องกับเป้าหมายของค์การ
- ทีมงานไม่ได้รับการอบรมหรือขาดผู้สนับสนุนที่เกี่ยวข้อง
- Black Belt และทีมงานไม่เห็นความสำคัญและให้เวลาในการทำโครงการ
 - Black Belt ทำเต็มเวลาจะเป็นการดีที่สุดหรือไม่อย่างน้อย 80% ของเวลาทำงานทั้งหมด
 - Green Belt ควรมีเวลาให้กับโครงการอย่างน้อย 20%
- มีทีมงานมากเกินไปขาดการบริหารจัดการเรื่องเวลา ความคิดเห็นที่เป็นเอกฉันท์
 - ควรมีทีมงานในการทำงานกับ Black Belt ประมาณ 4 ~ 6 คน

จากการสำรวจการดำเนินกิจกรรมของผู้วิจัย Six Sigma ของบริษัทที่เป็น SMEs. ในประเทศอังกฤษพบว่าปัจจัยที่จะทำให้ประสบความสำเร็จในการดำเนินกิจกรรมที่สำคัญมีทั้งหมด 11 ข้อดังนี้คือ

- (ก) ความเกี่ยวข้องและได้รับการสนับสนุนจากผู้บริหาร
- (ข) ระบบการให้สิ่งอำนวยความสะดวกขององค์กร
- (ค) การเปลี่ยนแปลงวัฒนธรรมในการทำงาน
- (ง) ระบบการฝึกอบรม
- (จ) การเชื่อมระบบ Six Sigma กับลูกค้า
- (ฉ) การเชื่อมระบบ Six Sigma กับกลยุทธ์ทางธุรกิจ
- (ช) การเชื่อมระบบ Six Sigma กับพนักงาน
- (ซ) การเชื่อมระบบ Six Sigma กับผู้ส่งมอบวัตถุดิบ
- (ณ) ความเข้าใจในระบบ Six Sigma
- (ญ) ทักษะในการบริหารโครงการ
- (ฎ) การเลือกโครงการในการแก้ปัญหา Six Sigma

บทที่ 3 การนิยามปัญหา

ขั้นตอนของการนิยามปัญหา หรือ Define Phase เป็นขั้นตอนแรกสุดในการทำโครงการ Six Sigma ในขั้นตอนนี้ ไม่ใช่เพียงแค่การกำหนดหัวข้อโครงการเท่านั้น แต่ยังเป็นการกำหนดขอบเขตของปัญหาโดยแสดงให้เห็นถึงที่มาที่ไปและความสำคัญของปัญหา ทั้งยังต้องรวบรวม จัดเตรียมการต่างๆ เพื่อให้ทีมงานและผู้ที่เกี่ยวข้อง ได้เห็นภาพรวมของโครงการเพียงพอ ก่อนเริ่มดำเนินงานในโครงการจริงต่อไป

3.1 การศึกษาความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาปัจจุบัน

3.1.1 ผลผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา

ผลผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา เป็นส่วนประกอบหลักที่นำไปประกอบเป็นสปินเดิลมอเตอร์ (Spindle Motor) ที่เรียกว่า Base Stator หรือฐานรองรับมอเตอร์ซึ่งมีหลากหลายรุ่น (Model) แต่อย่างไรก็ดีสามารถที่จะแบ่งประเภทของ Motor base ได้เป็นสองประเภทหลักๆ คือ Motor base ที่ให้แผ่นวงจรแบบยืดหยุ่นหรือแผ่น FPC (Flexible Print Circuit) เป็นวงจรที่ใช้ในการทำงาน และที่ใช้ข้อต่อวงจรหรือ Connector เป็นวงจรที่ใช้ในการทำงาน ที่แสดงได้ตัวอย่างต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 Motor base ประเภทที่ 1 ที่ใช้แผ่น FPC เป็นวงจรที่ใช้ในการทำงาน



รูปที่ 3.2 Motor base ประเภทที่ 2 ที่ใช้ Connector เป็นวงจรที่ใช้ในการทำงาน

ซึ่งแม้ทั้งสองผลิตภัณฑ์ทั้งสองประเภทนี้จะมีกระบวนการประกอบโดยหลักคล้ายกันแต่ก็มีกระบวนการประกอบในรายละเอียดที่แตกต่างกันตามโครงสร้างทางวิศวกรรมที่ได้รับการออกแบบ

1.) กระบวนการประกอบ Motor base ที่ใช้แผ่น FPC เป็นวงจรในการทำงาน

กระบวนการที่ 1 : FPC Attachment เป็นการนำแผ่น FPC โดยนำ Tweezers คีบที่แผ่นเฟรม FPC แล้วลอกออกโดยนำด้านที่มีความเหนียวคล้ายแผ่นสติ๊กเกอร์ไปติดที่ตัว Base ตรงบริเวณ FPC area ที่กำหนด

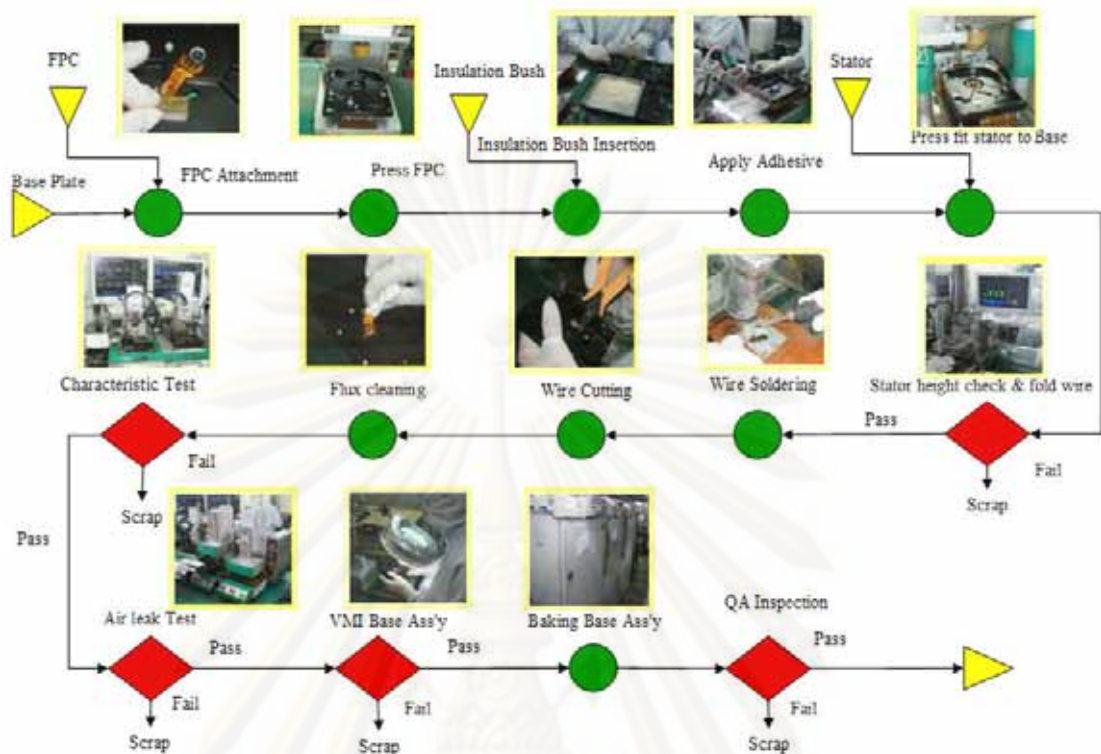
กระบวนการที่ 2 : Press FPC เป็นการรูดแผ่น FPC ให้กาวติดสนิทกับพื้น Base โดยไล่ฟองอากาศออกโดยใช้แท่ง Blue Stick และต้องระวังไม่ให้ขอบของแผ่น FPC เหยยขอบบริเวณ FPC area ของ Base ซึ่งจะทำให้แผ่น FPC เกลยขอบ

กระบวนการที่ 3 : Insert Insulation Bush เป็นการนำตัว Insulation Bush ใส่งไปในรูของ Base ตรงบริเวณ Insulation Hole เพื่อให้เป็นฉนวนก่อนใส่งเส้นขดลวด Stator

กระบวนการที่ 4 : Apply adhesive to Base เป็นการนำตัว Base ใส่งลงใน Fixture ของเครื่อง Apply adhesive ให้เครื่องนำเข็มที่บรรจุกาวในหลอดฉีดมาสัมผัสกับ Base บริเวณ OD. Boss โดยให้ Fixture ของเครื่องหมุนได้โดยรอบเพื่อใช้กาวในการยึด Stator กับ Base

- กระบวนการที่ 5 : Insert Stator เป็นการนำตัวขดลวด Stator ใส่ลงในรู Insulation Bush ที่ประกอบด้วย 4 เฟสคือ U, V, W และ Common เพื่อเป็นการประกอบ Stator ให้ติดกับ Base
- กระบวนการที่ 6 : Press Fit Stator เป็นการกด Stator อีกครั้งโดยเครื่องกดให้สนิทกับตัว Base ตรงบริเวณ OD. Boss และได้ความสูงของการกดที่ข้อกำหนดของลูกค้ำ
- กระบวนการที่ 7 : Stator Height Check & Fold Wire Stator เป็นการตรวจสอบความสูงของการกด Stator หลังขั้นตอนการกดและพร้อมกับการจัดสายของ Stator ทั้ง 4 เฟสให้ตรงตำแหน่งก่อนการบัดกรี
- กระบวนการที่ 8 : Wire Soldering เป็นการบัดกรีสายของ Stator ทั้ง 4 เฟส กับวงจรของแผ่น FPC เพื่อให้วงจรเชื่อมต่อบนราง Conveyor
- กระบวนการที่ 9 : Wire Cutting เป็นการตัดสายของ Stator ทั้ง 4 เฟสที่เกินออกมาหลังการบัดกรีแล้ว
- กระบวนการที่ 10 : Flux Cleaning เป็นการทำความสะอาดคราบ Flux หลังการบัดกรีแล้วโดยใช้ผ้า Clean Cloth
- กระบวนการที่ 11 : Characteristic Test เป็นการทดสอบค่าทางไฟฟ้า Hi-pot, Resistance, Inductance, Open Circuit, Short Circuit โดยใช้เครื่องทดสอบทางไฟฟ้าหรือเครื่อง Characteristic test
- กระบวนการที่ 12 : Air Leak Test เป็นการทดสอบอัตราการรั่วไหลของอากาศโดยการวางชิ้นงานลงไปบน Fixture ของเครื่องทดสอบการรั่วไหลของอากาศ แล้วอัดอากาศเพื่อดูอัตราการรั่วไหล
- กระบวนการที่ 13 : VMI เป็นการตรวจสอบงานด้วยสายตา 100% ของ Base ที่ผ่านการประกอบแล้วทุกกระบวนการภายใต้กล้องกำลังขยาย 3X
- กระบวนการที่ 14 : Baking เป็นการอบชิ้นงานด้วยความร้อนเพื่อให้กาวที่ยึดระหว่าง Stator กับ Base และกาวที่ Apply ทับตรงบริเวณที่บัดกรีเพื่อให้แข็งตัวโดยตู้ Oven

แสดงขั้นตอนการประกอบของ Stator Base รุ่น Tornado (ใช้แผ่น FPC ในการทำงาน)



รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการประกอบ Motor base รุ่น Tornado

- 2.) ตัวอย่างกระบวนการประกอบ Motor base ที่ใช้ Connector เป็นวงจ
 ในการทำงาน
- กระบวนการที่ 1 : Apply Adhesive to Base เป็นการนำกาวมาป้ายบริเวณ Connector area ของ Base โดยใช้เข็มที่บรรจุกาวในหลอดฉีดเพื่อให้กาวเป็นตัวยึด Connector ให้ติดกับ Base ในกระบวนการถัดไป
- กระบวนการที่ 2 : Insert Connector เป็นการใส่ Connector บริเวณ Connector area ที่ได้ติดกาวไว้ในกระบวนการก่อนหน้า
- กระบวนการที่ 3 : Press Fit Connector เป็นการกด Connector ให้ติดกับ Base โดยนำ Base ใ้วางลงใน Fixture เครื่องหลังที่ได้ติดกาวไว้แล้วจากกระบวนการก่อนหน้า
- กระบวนการที่ 4 : Apply adhesive to Base เป็นการนำตัว Base ใ้ลงใน Fixture ของเครื่อง Apply adhesive ให้เครื่องนำเข็มที่บรรจุกาวในหลอดฉีดมาสัมผัสกับ Base บริเวณ OD. Boss โดยให้ Fixture ของเครื่องหมุนได้โดยรอบเพื่อใช้กาวในการยึด Stator กับ Base

กระบวนการที่ 5 : Insert Stator เป็นการนำตัวขดลวด Stator ใส่ลงในรู Insulation Bush ที่ประกอบด้วย 4 เฟสคือ U, V, W และ Common เพื่อเป็นการประกอบ Stator ให้ติดกับ Base

กระบวนการที่ 6 : Press Fit Stator เป็นการกด Stator อีกครั้งโดยเครื่องกดให้สนิทกับตัว Base ตรงบริเวณ OD. Boss และได้ความสูงของการกดที่ข้อกำหนดของลูกค้ำ

กระบวนการที่ 7 : Stator Height Check เป็นการตรวจสอบความสูงของการกด Stator หลังขั้นตอนการกด

กระบวนการที่ 8 : Wire Adjust เป็นการจัดสาย Wire ของ Stator ทั้ง 3 เฟส เพื่อการบัดกรีเส้น wire

กระบวนการที่ 9 : Wire Soldering & Wire Cutting เป็นการบัดกรีสายของ Stator ทั้ง 3 เฟส กับวงจรของ Connector เพื่อทำให้วงจรเชื่อมต่อและตัดสายของ Stator ทั้ง 3 เฟสที่เกินออกมาหลังการบัดกรีแล้วด้วยเครื่องตัดอัตโนมัติ

กระบวนการที่ 10 : Characteristic Test เป็นการทดสอบค่าทางไฟฟ้า Hi-pot, Resistance, Inductance, Open Circuit, Short Circuit โดยใช้เครื่องทดสอบทางไฟฟ้าหรือเครื่อง Characteristic test

กระบวนการที่ 11 : Apply Mold เป็นการทาขาวทับตรงบริเวณที่บัดกรีเพื่อไม่ให้มีผิวของตะกั่วที่บัดกรีไหลออกมา โดยใช้เข็มที่บรรจุขาวในหลอดฉีด

กระบวนการที่ 12 : Baking เป็นการอบชิ้นงานด้วยความร้อนเพื่อให้ขาวที่ยึดระหว่าง Stator กับ Base และขาวที่ Apply ทับตรงบริเวณที่บัดกรีเพื่อให้แข็งตัวโดยตู้ Oven

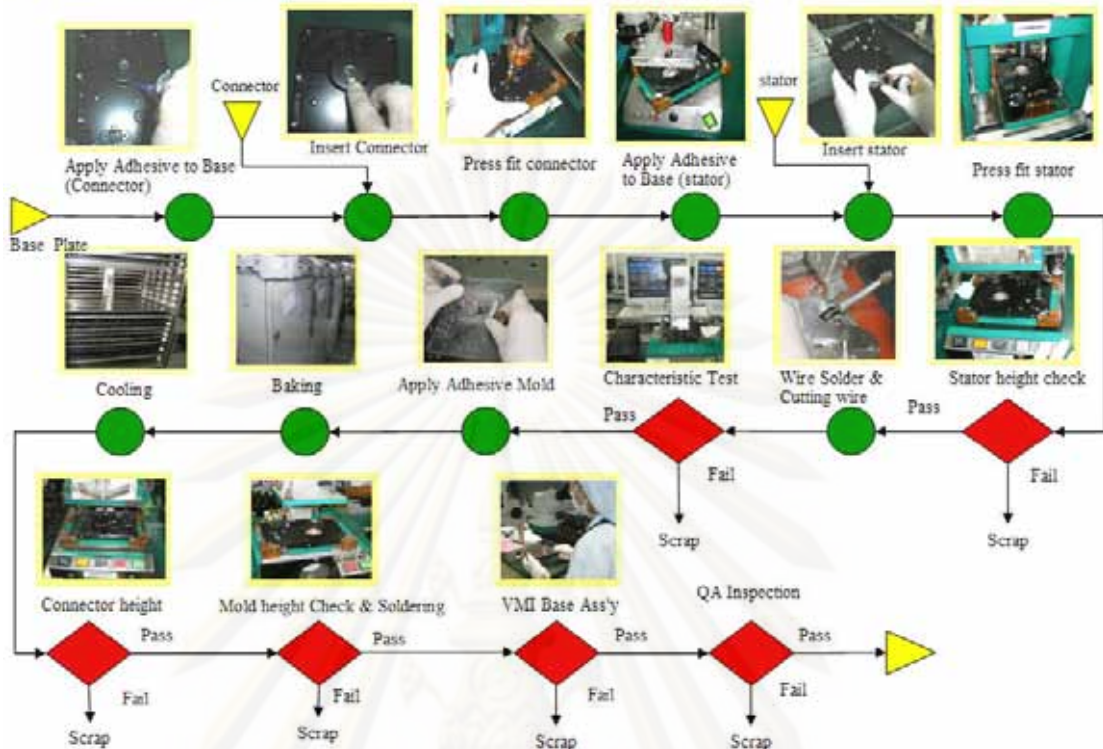
กระบวนการที่ 13 : Cooling Down เป็นการใช้ลมเป่าชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานที่ออกมาจากตู้อบแล้วให้มีอุณหภูมิลดลงมาที่อุณหภูมิห้อง

กระบวนการที่ 14 : Connector Height Check เป็นการวัดความสูงของ Connector หลังการอบแล้วให้เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้ำ

กระบวนการที่ 15 : Mold Height Check เป็นการวัดความสูงของขาวที่ทาบริเวณการบัดกรีให้เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้ำ

กระบวนการที่ 16 : VMI เป็นการตรวจสอบงานด้วยสายตา 100% ของ Base ที่ผ่านการประกอบแล้วทุกกระบวนการภายใต้กล้องกำลังขยาย 3X

แสดงขั้นตอนการประกอบของ Stator Base รุ่น Nighthawk (ใช้ Connector ในการทำงาน)



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการประกอบ Motor base รุ่น Nighthawk

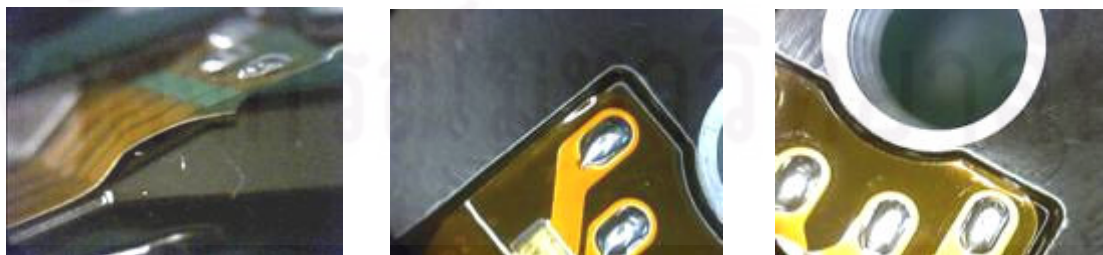
3.1.1.3 ตัวอย่างลักษณะอาการเสียของผลิตภัณฑ์ Motor base แต่ละประเภท

Loose Wire :



รูปที่ 3.5 เส้นที่พันเป็นขดลวดสเตเตอร์หลวมหรือหลุดออกมาจนขดลวดจนเห็นได้ชัด

FPC lift up :



รูปที่ 3.6 แผ่น FPC ที่ติดไม่สนิทกับตัว Base หรือเกยกับขอบ Base

Porosity Solder :



รูปที่ 3.7 การบัดกรีไม่สมบูรณ์ มีรูที่ทำให้อากาศรั่วได้

Solder Height :



รูปที่ 3.8 การบัดกรีตะกั่วสูงเกินไปกว่าขอบ Base

Solder ball (Poor Solder) :



รูปที่ 3.9 เศษลูกบอลจากการบัดกรี

FPC misalignment :



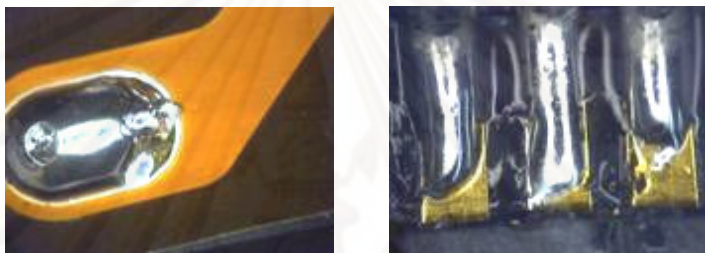
รูปที่ 3.10 การติดแผ่น FPC ไม่ตรงตามร่อง Base

FPC Air Bubble :



รูปที่ 3.11 การติดแผ่น FPC ไม่สนิทมีฟองอากาศ

Solder incomplete (Poor Solder) :



รูปที่ 3.12 การบัดกรีตะกั่วไม่สมบูรณ์

FPC damage :



รูปที่ 3.13 แผ่นวงจร FPC เสียหายจากการกด การติด การดึง

Wire Damage :



รูปที่ 3.14 เส้นขดลวด Stator เสียหายจากการถูกกด ทับ

Adhesive Contamination :



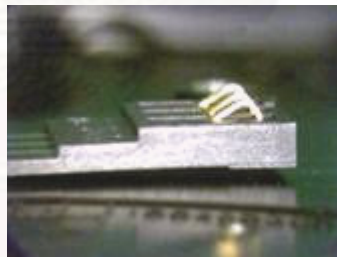
รูปที่ 3.15 การเปื้อนบริเวณขอบ Base และ Base OD. Boss

Adhesive Contamination on connector pad :



รูปที่ 3.16 การเปื้อนบริเวณ Connector Pad ทำให้ทดสอบค่าทางไฟฟ้าของลูกค้า
ไม่ได้

Connector Lift up :



รูปที่ 3.17 Connector เผลยหรือลอยสูงมาจากพื้นของ Base

Connector Pin Bent :



รูปที่ 3.18 ขา Pin งอหรือเสียรูปเนื่องจากโดนดึง กด หรือกระแทก

Adhesive over Flow :



รูปที่ 3.19 กาวไหลเปื้อนเลยขอบด้านล่างของ Connector

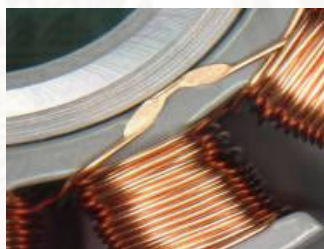
Inductance :

เป็นอาการเสียทางไฟฟ้าที่มีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

Resistance :

เป็นอาการเสียทางไฟฟ้าที่มีค่าความต้านทานของทั้งขดลวดและวงจรไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

Hi-pot :



รูปที่ 3.20 อาการเสียทางไฟฟ้าที่มีไฟฟ้าวัดจากวงจรลงไปยังตัว Base

Spin NG :

เป็นอาการเสียทางไฟฟ้าที่เกิดจากการที่ใส่ Stator กลับด้านทำให้มอเตอร์หมุนกลับทางหรือไม่หมุน

Short Circuit :

เป็นอาการเสียทางไฟฟ้าที่เกิดจากการที่กระแสไฟฟ้าในขดลวด Stator ลัดวงจร

Open Circuit :

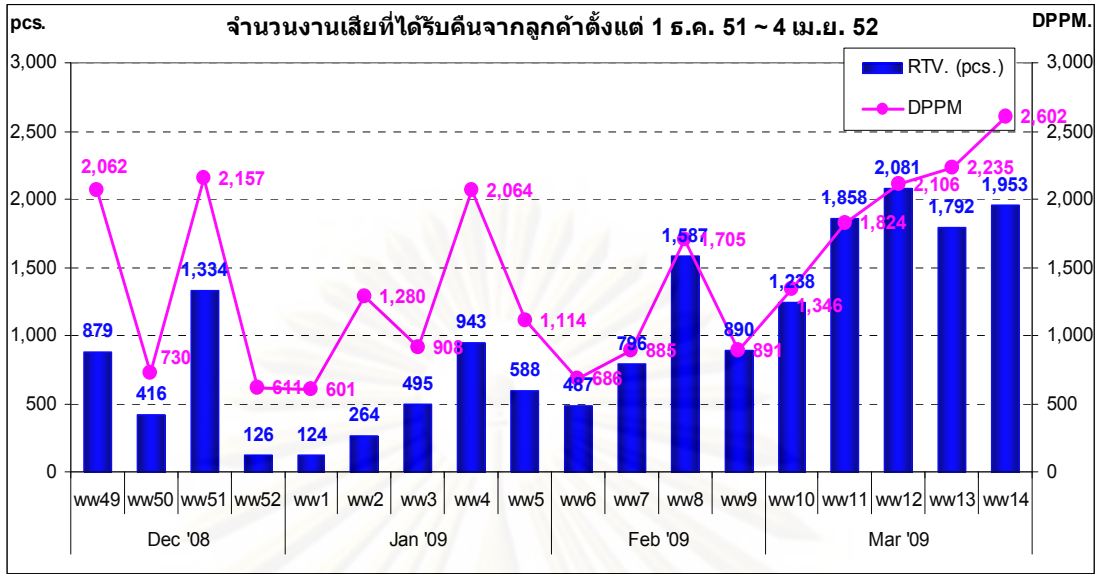


รูปที่ 3.21 อาการเสียทางไฟฟ้าที่เกิดจากวงจรไม่ต่อเนื่องจากขดลวด Stator ขาด

3.1.2 สภาพปัจจุบันของปัญหา

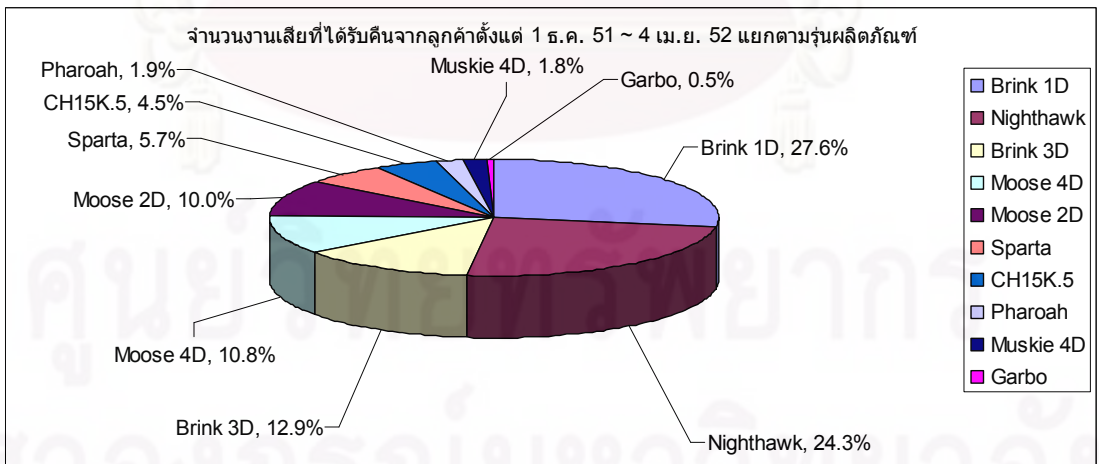
อย่างที่ได้อธิบายไปข้างต้นในระบบการประกอบ Motor base นั้นมีกระบวนการประกอบที่ค่อนข้างเหมือนกันใน Motor base ประเภทเดียวกัน แต่อย่างไรก็ดีก็必将มีความแตกต่างกันอยู่ในส่วนของรายละเอียดตามโครงสร้างทางวิศวกรรมที่ได้รับการออกแบบ อีกทั้งความแตกต่างของข้อกำหนดเฉพาะของแต่ละรุ่น และจะมีความแตกต่างกันอยู่พอสมควรสำหรับฐานรองรับมอเตอร์ทั้งสองประเภทในระบบการประกอบ ทำให้มีความยากง่ายแตกต่างกันในระบบการประกอบ Motor base จึงมีจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นในระบบการและจำนวนของเสียที่ได้รับการคืนจากลูกค้าหรือ RTV. (Return to Vendor) ในปริมาณที่มากน้อยแตกต่างกันดังจะแสดงให้เห็นถึงจำนวนของเสียที่ได้รับการคืนจากลูกค้าเป็นจำนวนมากในรอบตั้งแต่เดือน 1 ธันวาคม 2551 ~ 4 เมษายน 2552 โดยมีหน่วยเป็นจำนวนของเสียต่อล้านส่วนหรือ (DPPM ; Defect Part per Million) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{จำนวนของเสียต่อล้านส่วน (DPPM)} = \frac{\text{จำนวนของเสียทั้งหมด}}{\text{จำนวนงานทั้งหมดที่ผลิตได้}} \times 1,000,000$$



รูปที่ 3.22 กราฟแท่งจำนวนงานเสียที่ได้รับคืนจากลูกค้ำตั้งแต่ 1 ธ.ค. 51 ~ 4 เม.ย. 52 ในแต่ละสัปดาห์

จากกราฟจะเห็นว่าจำนวนงานเสียที่ได้รับคืนจากลูกค้ำตั้งแต่วันที่ 1 ธันวาคม 2551 ถึง 4 เมษายน 2552 ในทุกๆวันรวมกันมีเป็นจำนวนมาก จำนวน DPPM เฉลี่ยอยู่ที่ 1,513 DPPM หรือระดับซิกมาเท่ากับ 3.450σ และเมื่อได้ทำการแยกแยะงานที่ได้รับคืนจากลูกค้ำทั้งหมดสามารถที่จะสรุปได้ว่างานเสียที่ได้รับคืนในรุ่นของ Brink 1D มีจำนวนมากที่สุดในทุกๆวัน เท่ากับ 4,850 ชิ้น ซึ่งสามารถคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 27.6% ของทั้งหมด ดังแสดงได้ดังกราฟข้างล่าง



รูปที่ 3.23 กราฟวงกลมสัดส่วนงานเสียที่ได้รับคืนจากลูกค้ำตั้งแต่ 1 ธ.ค. 51~4 เม.ย. 52 ในแต่ละรุ่นสินค้า

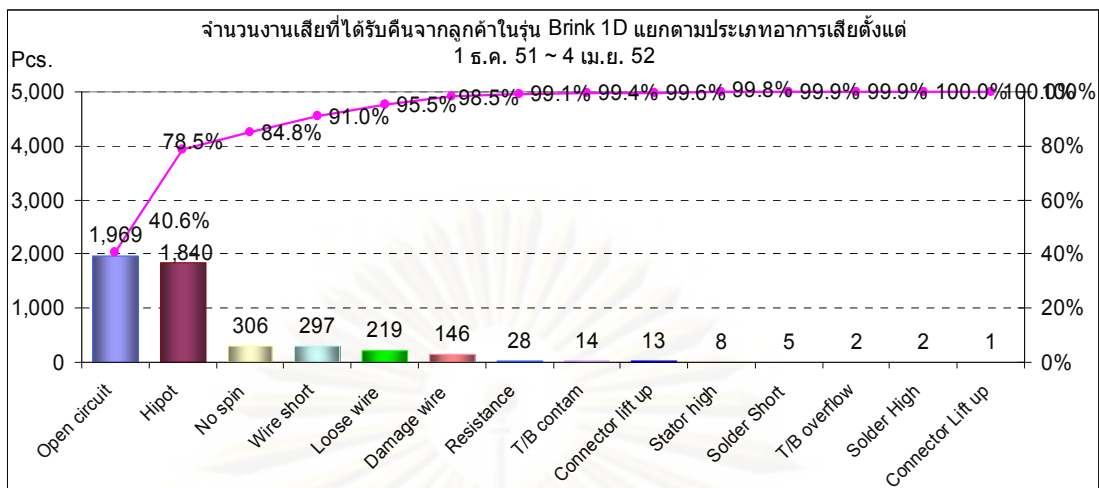
อย่างไรก็ดีจากค่าการพยากรณ์การผลิตของ Motor base ในแต่ละรุ่นพบว่ารุ่นที่ได้รับการคาดการณ์รับคำสั่งซื้ออย่างต่อเนื่องยังคงได้แก่รุ่น Brink1D ดังตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ประมาณการผลิตในแต่ละรุ่นของ Motor base ตั้งแต่ เม.ย.-ธ.ค.52 ในหน่วย Kpcs

Model	APR '09	MAY '09	JUN '09	JUL '09	AUG '09	SEP '09	OCT '09	NOV '09	DEC '09	Total
Brink1D	1,230	1,650	1,700	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	1,450	13,280
Nighthawk	1,180	850	370	350	350	350	350	350	350	4,500
Pharaoh 2D	410	400	350	400	400	400	400	400	400	3,560
Moose 4D	150	300	220	250	250	250	250	250	250	2,170
Moose 2D	187	250	100	150	150	150	150	150	150	1,437
Sparta(HF)	28	40	60	270	90	90	90	90	90	848
CH15k.5	155	110	60	60	60	60	60	60	60	685
Brink 3D	155	50	0	0	0	0	0	0	0	205
Muskie 4D	12	9	0	0	0	0	0	0	0	21
Garbo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	3,507	3,659	2,860	2,930	2,750	2,750	2,750	2,750	2,750	26,706

ซึ่งจากตารางการพยากรณ์การผลิตจะพบว่าเฉพาะรุ่น Brink1D มียอดคำสั่งซื้อที่คาดการณ์อยู่ที่ 49.7% ซึ่งถือว่ามีความเป็นกว่าสองเท่าของรุ่นอื่นๆ รวมกัน และเมื่อมองไปดูปัญหาทางด้านคุณภาพกับผลิตภัณฑ์ในรุ่นนี้พบว่ามามีปัญหามากที่สุด ซึ่งสามารถแยกแยะประเภทของงานเสียที่ได้รับคืนจากลูกค้าและได้รับข้อร้องเรียนในรุ่น Brink1D โดยลักษณะอาการเสียที่ได้รับข้อร้องเรียนจากลูกค้าพบว่าเกือบ 80% เป็นลักษณะอาการเสียทางไฟฟ้าคือ Open Circuit และ Hi-pot หรือคิดเป็น 1,157 DPPM เป็นผลให้มอเตอร์ไม่สามารถขับเคลื่อนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ได้ และถือเป็นลักษณะอาการเสียที่อยู่ในระดับที่รุนแรง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังกราฟพาเรโต้ดังรูปข้างล่างนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.24 กราฟพาเรโต้ประมาณการผลิตในแต่ละรุ่นของ Motor base ตั้งแต่เดือน เม.ย.~ธ.ค. 52

ซึ่งเมื่อมองถึงปัญหาทางคุณภาพที่บริษัทได้รับงานเสียส่งคืนจากลูกค้ามากเป็นอันดับหนึ่ง และจากยอดการพยากรณ์การผลิตในอนาคตที่มากเป็นกว่าสองเท่าของทุกรุ่นรวมกัน รวมถึงลักษณะอาการเสียทางไฟฟ้าซึ่งถือเป็นเรื่องที่รุนแรงสำหรับลูกค้า จึงถือได้ว่าปัญหาคุณภาพเป็นปัญหาใหญ่ที่บริษัทกำลังเผชิญอยู่ในขณะนี้ รวมถึงภาพลักษณ์เรื่องคุณภาพของผลิตภัณฑ์ของบริษัทที่ได้รับข้อร้องเรียนอยู่มาก ทำให้ทางผู้บริหารมองเห็นว่าปัญหาเร่งด่วนที่ต้องรีบแก้ไขคือ ปัญหาเรื่องของเสียทางด้านไฟฟ้าคือ Open Circuit และ Hi-pot ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการประกอบ Motor base ในรุ่นของ Brink1D

ดังนั้นในการแก้ปัญหาด้านคุณภาพดังกล่าวคือ การลดจำนวนงานเสียในทีนี้จะมุ่งเน้นในการแก้ปัญหาในเรื่องเกี่ยวกับลักษณะของเสียทางด้านไฟฟ้าประเภท Open Circuit และ Hi-pot เป็นหลักโดย ผู้บริหารได้ตั้งเป้าหมายในการลดของเสียลงให้ได้อย่างน้อย 50%

3.1.3 สรุปการนิยามปัญหา

ในขั้นตอนการนิยามปัญหานี้ทางทีมงานได้กำหนดขอบเขตในการแก้ปัญหาอยู่ที่การลดจำนวนของเสียที่ได้รับการคืนจากลูกค้าหรือ RTV. (Return to Vendor) ที่ได้รับการคืนจากลูกค้าเป็นจำนวนมากในรอบตั้งแต่ 1 ธันวาคม 2551 ~ 4 เมษายน 2552 โดยมีหน่วยเป็นจำนวนของเสียต่อล้านส่วนหรือ DPPM. (Defect Part per Million) ในทุกๆรุ่นรวมกันและเมื่อได้ทำการจำแนกของเสียที่ได้รับการคืนจากลูกค้าทั้งหมดสามารถที่จะสรุปได้ว่าของเสียที่ได้รับการคืนในรุ่นของ Brink 1D มีจำนวนมากที่สุดในทุกๆรุ่น เท่ากับ 4,850 ชิ้น ซึ่งสามารถคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 27% จำนวน DPPM เฉลี่ยอยู่ที่ 1,513 DPPM ของทั้งหมด หรือระดับซิกมาเท่ากับ 3.450σ ซึ่งสามารถแยกแยะประเภทของของเสียที่ได้รับการคืนจากลูกค้าอีกสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น Brink1D โดยลักษณะ

อาการเสียที่ได้รับข้อร้องเรียนจากลูกค้าพบว่าเกือบ 80% เป็นลักษณะอาการเสียทางไฟฟ้าคือ Open Circuit และ Hi-pot หรือคิดเป็น 1,157 DPPM เป็นผลให้มอเตอร์ไม่สามารถขับเคลื่อนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ก็ได้ ซึ่งถือเป็นเรื่องที่รุนแรงสำหรับลูกค้า รวมถึงยอดคาดการณ์การผลิตในอีก 8 เดือนข้างหน้ามากกว่าผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นถึงเกือบสองเท่า ดังนั้นในการแก้ปัญหาด้านคุณภาพดังกล่าวคือ การลดจำนวนงานเสียในที่จะมุ่งเน้นในการแก้ปัญหาในเรื่องเกี่ยวกับลักษณะของเสียทางด้านไฟฟ้าประเภท Open Circuit และ Hi-pot เป็นหลักโดย ผู้บริหารได้ตั้งเป้าหมายในการลดของเสียลงให้ได้อย่างน้อย50%



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

หลังจากขั้นตอนการนิยามปัญหาเพื่อกำหนดตัวปัญหาและขอบเขตต่างๆ ในการแก้ไข ปัญหาแล้ว ในขั้นตอนถัดไปคือขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหานี้ จะเป็นขั้นตอนที่ ศึกษาถึงแหล่งที่มาที่เป็นสาเหตุของปัญหา ด้วยการใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆเป็นตัวช่วยใน การศึกษา โดยเริ่มทำการศึกษเกี่ยวกับกระบวนการผลิตโดยละเอียด การวิเคราะห์ความแม่นยำ ของระบบการวัดในกระบวนการที่ทำการศึกษา เพื่อเป็นหลักประกันความถูกต้องให้กับข้อมูล ที่ทำการศึกษาที่เกิดจากระบบการวัด ก่อนทำการวิเคราะห์และแก้ไข้ปัญหา

จากนั้นจึงมีการระดมความคิดจากทีมงานที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญในด้านต่างๆ มาเพื่อ ทำการวิเคราะห์และคัดเลือกปัจจัยต่างๆที่ความว่าจะมีผลกระทบต่อปัญหา จากนั้นเรียงลำดับ ปัจจัยที่เป็นผลกระทบจากมากไปน้อยแล้วเลือกปัจจัยดังกล่าวที่อยู่ในลำดับแรกๆมาเพื่อทำการ วิเคราะห์หาสาเหตุในขั้นตอนต่อไป

4.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)

ระบบการวัดเป็นเหมือนกลไกควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ เพื่อเป็น หลักประกันว่าลูกค้าจะได้รับแต่ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ ซึ่งระบบการวัดจะมีองค์ประกอบหลักๆ 3 อย่างด้วยกันคือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด และสภาพแวดล้อม ซึ่งมีสาเหตุมาจาก ความละเอียด ของเครื่องมือวัด ความสามารถในการแยกความแตกต่างของเครื่องมือ ทักษะและความชำนาญ ของพนักงาน วิธีการในการวัด ชิ้นงานที่ทำการวัด และ สภาพแวดล้อมในการวัดเช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสง เสียง เป็นต้น

ในการวิเคราะห์และแก้ไข้ปัญหาต่างๆ จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมากมาเป็นตัวช่วย ในการพิจารณา ความเชื่อถือในการได้มาซึ่งข้อมูลจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ดังนั้นการมั่นใจใน ประสิทธิภาพและเสถียรภาพของเครื่องมือวัดจึงทำให้ระบบการวัดดูน่าเชื่อถือ ซึ่งการวิเคราะห์ ระบบการวัดจะมีวัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการ ผลิต ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีหรือสามารถยอมรับได้หรือไม่ โดยการวิเคราะห์เชิงสถิติของระบบการวัด เพื่อทำการแยกแหล่งความผันแปรที่เกิดขึ้น ความผันแปรที่เกิดบนเครื่องมือวัด (Gauge R&R) ความผันแปรที่เกิดจากพนักงานวัด (Appraiser Variation) ความผันแปรที่เกิดบนชิ้นงาน (Part to Part Variation) และความผันแปรร่วม (Interaction Variation)

ในกระบวนการประกอบฐานรองรับมอเตอร์ จะมีกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับระบบการวัดเพียงกระบวนการเดียวคือ กระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า (Characteristic Test) ซึ่งสามารถทำการทดสอบได้ทั้งลักษณะของเสียประเภท Open Circuit และ Hi-pot ในเครื่องเดียวกัน ซึ่งจะมีเครื่องทดสอบประเภทนี้อยู่ทั้งหมด 3 สายการประกอบ สายการประกอบละ 2 เครื่องรวมเป็น 6 เครื่อง ที่จะต้องทำการวิเคราะห์ระบบการวัดต่อไป

4.1.1 การออกแบบการวิเคราะห์ระบบการวัด

4.1.1.1 การออกแบบการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบผันแปร

(Measurement System Analysis of Variable Data)

ขั้นตอนของการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดในที่นี้จะอ้างอิงมาจากมาตรฐานการปฏิบัติงานจริงของโรงงาน โดยประยุกต์ตามข้อแนะนำของ การออกแบบการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบผันแปร (Measurement System Analysis of Variable Data) (กิตติศักดิ์ พลอยพาณิชย์เจริญ , การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) 2550) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. คัดเลือกพนักงานที่มีทักษะและได้รับการฝึกอบรมมาเป็นอย่างดี จำนวนทั้งสิ้น 3 คน
2. คัดเลือกชิ้นงานอย่างสุ่มจำนวนทั้งสิ้น 10 ชิ้นแล้วกำหนดหมายเลข 1 ถึง 10
3. ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดเพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องมือวัดได้ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องมาแล้ว
4. ทำการวัดค่าชิ้นงานโดยการนำชิ้นงานเข้าเครื่องอย่างสุ่มทั้ง 10 ชิ้น แล้วบันทึกค่า
5. ทำการวัดซ้ำทั้งหมด 3 ครั้งแบบสุ่มหมายเลขชิ้นงานแล้วบันทึกค่า
6. นำข้อมูลที่บันทึกได้ลงในโปรแกรม Minitab และหาค่าของ %GR&R
7. ตามกฎของการศึกษาความถูกต้องของระบบการวัดคือค่า Total Gauge R&R ต้องน้อยกว่า 10 % และค่าความแตกต่างของข้อมูลที่ทำการวัดได้ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 5 ตามมาตรฐานที่ใช้ในโรงงาน

สำหรับการวัดเพื่อตรวจจับงานเสียประเภท Open Circuit นั้นสามารถตรวจจับได้ด้วยเครื่อง Characteristic test ในกระบวนการซึ่งจะให้การตรวจสอบจากค่าความต้านทาน ซึ่งสามารถตรวจจับได้ทั้งค่าความต้านทานที่สูงหรือต่ำเกินจากขีดจำกัดข้อกำหนดของลูกค้า นอกจากนั้นยังสามารถตรวจจับงานเสียประเภท Open Circuit ซึ่งอาการเสียดังกล่าวจะให้ค่าความต้านทานที่สูงกว่าปกติมากๆแสดงว่าชิ้นงานดังกล่าวเกิดวงจรรขาดและ/หรือไม่ต่อเนื่อง

4.1.1.1.1 ผลการศึกษาระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test เครื่องที่ 1

สายการประกอบที่ 1 สำหรับตรวจวัดค่า Open Circuit

Line #1 Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 1 Resistance (Phase U-V)

Gage name: Characteristic Test
Date of study: 18-Mar-09
Reported by: K.Suraatchada
Tolerance: 0.36
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0239898	0.0026655	268.977	0.000
Operator	2	0.0007636	0.0003818	38.528	0.000
Part no. * Operator	18	0.0001784	0.0000099	2.197	0.012
Repeatability	60	0.0002707	0.0000045		
Total	89	0.0252025			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000187	5.96
Repeatability	0.0000045	1.44
Reproducibility	0.0000142	4.52
Operator	0.0000124	3.95
Operator*Part no.	0.0000018	0.57
Part-To-Part	0.0002951	94.04
Total Variation	0.0003138	100.00

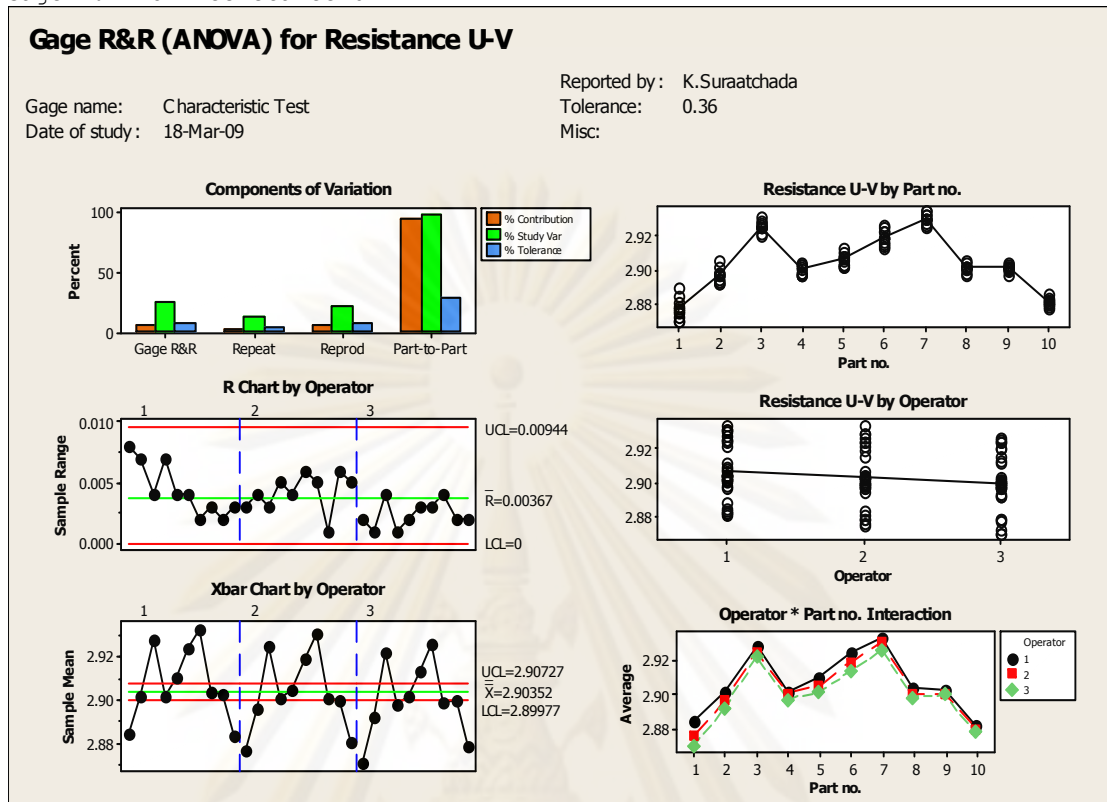
Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0043252	0.025951	24.42	7.21
Repeatability	0.0021239	0.012744	11.99	3.54
Reproducibility	0.0037678	0.022607	21.27	6.28
Operator	0.0035209	0.021125	19.88	5.87
Operator*Part no.	0.0013415	0.008049	7.57	2.24
Part-To-Part	0.0171776	0.103065	96.97	28.63
Total Variation	0.0177137	0.106282	100.00	29.52

Number of Distinct Categories = 5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Gage R&R for Resistance U-V



รูปที่ 4.1 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส U-V ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 1

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 1 Resistance (Phase V-W)

Gage name: Characteristic Test
Date of study: 18-Mar-09
Reported by: K.Suraatchada
Tolerance: 0.36
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0298223	0.0033136	343.706	0.000
Operator	2	0.0007014	0.0003507	36.375	0.000
Part no. * Operator	18	0.0001735	0.0000096	1.358	0.187
Repeatability	60	0.0004260	0.0000071		
Total	89	0.0311232			

Alpha to remove interaction term = 0.25

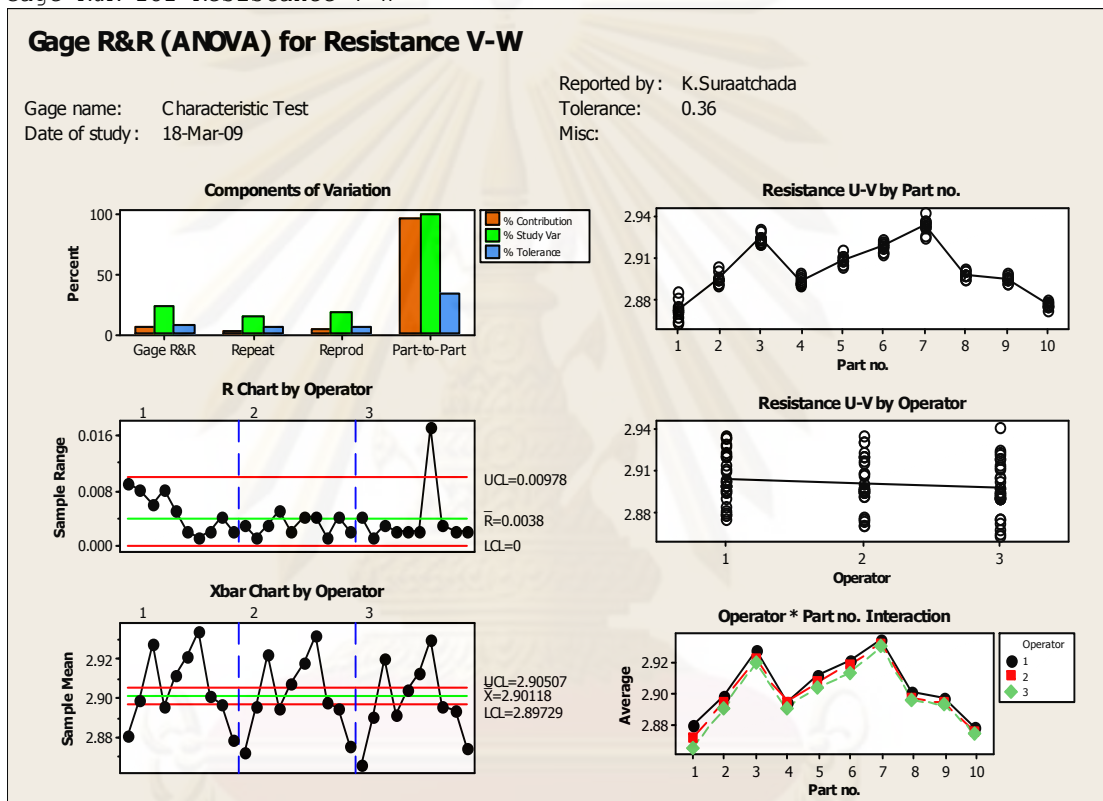
Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000193	5.00
Repeatability	0.0000071	1.84
Reproducibility	0.0000122	3.16
Operator	0.0000114	2.94
Operator*Part no.	0.0000008	0.22
Part-To-Part	0.0003671	95.00

Total Variation	0.0003864	100.00		
Process tolerance = 0.36				
Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0043949	0.026369	22.36	7.32
Repeatability	0.0026646	0.015987	13.55	4.44
Reproducibility	0.0034950	0.020970	17.78	5.82
Operator	0.0033716	0.020230	17.15	5.62
Operator*Part no.	0.0009203	0.005522	4.68	1.53
Part-To-Part	0.0191600	0.114960	97.47	31.93
Total Variation	0.0196576	0.117945	100.00	32.76

Number of Distinct Categories = 6

Gage R&R for Resistance V-W



รูปที่ 4.2 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส V-W ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 1

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 1 Resistance (Phase W-U)

Gage name: Characteristic Test
Date of study: 18-Mar-09
Reported by: K.Suraatchada
Tolerance: 0.36
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0243836	0.0027093	250.430	0.000
Operator	2	0.0007566	0.0003783	34.968	0.000
Part no. * Operator	18	0.0001947	0.0000108	1.623	0.083

Repeatability	60	0.0004000	0.0000067
Total	89	0.0257349	

Alpha to remove interaction term = 0.25

Gage R&R

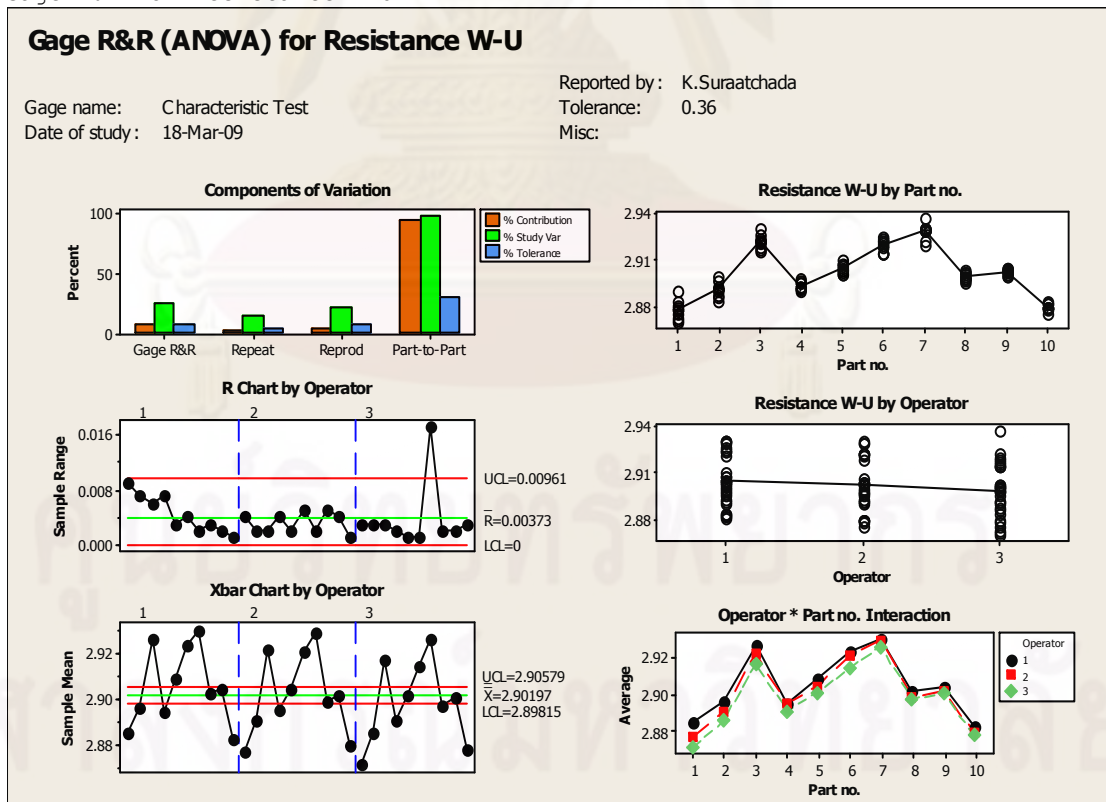
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000203	6.34
Repeatability	0.0000067	2.08
Reproducibility	0.0000136	4.26
Operator	0.0000122	3.83
Operator*Part no.	0.0000014	0.43
Part-To-Part	0.0002998	93.66
Total Variation	0.0003201	100.00

Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0045056	0.027033	25.18	7.51
Repeatability	0.0025820	0.015492	14.43	4.30
Reproducibility	0.0036923	0.022154	20.64	6.15
Operator	0.0034999	0.020999	19.56	5.83
Operator*Part no.	0.0011764	0.007058	6.58	1.96
Part-To-Part	0.0173156	0.103894	96.78	28.86
Total Variation	0.0178922	0.107353	100.00	29.82

Number of Distinct Categories = 5

Gage R&R for Resistance W-U



รูปที่ 4.3 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส

W-U ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 1

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test เครื่องที่ 1 ของสายการประกอบที่ 1 พบว่าเมื่อตรวจวัดทั้ง 3 เฟส ทั้ง เฟส U-V , V-W และ W-U แล้วพบว่าเครื่องมือวัดมีความสามารถในการตรวจจับภายในกระบวนการได้เป็นค่อนข้างดีโดยดูจากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรม Minitab ดังนี้

	% Contribution (เฟส)		
	U-V	V-W	W-U
ค่าความผันแปรจากระบบการวัดโดยรวม (Total GR&R)	5.96	5.00	6.34
ค่าความผันแปรจากเครื่องมือวัด (Repeatability)	1.44	1.84	2.08
ค่าความผันแปรจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility)	4.52	3.16	4.26
ค่าความผันแปรที่มาจากกระบวนการ (Part-to-Part)	94.04	95.00	93.66

จากการวิเคราะห์ระบบการวัดกับเครื่อง Characteristic test กับค่าความต้านทานสรุปได้ว่าสามารถแยกความแตกต่างของข้อมูลได้ 5 , 6 และ 5 กลุ่มกับเฟส U-V , V-W และ W-U ตามลำดับซึ่งมากกว่าค่าเกณฑ์ความแตกต่างที่แนะนำไว้คือ 5 และมีค่าความผันแปรจากระบบการวัดรวมเท่ากับ 5.96 , 5.00 และ 6.34 ตามลำดับเช่นเดียวกันซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 10% โดยส่วนใหญ่ของความผันแปรจะมาจากผู้ทำการทดลองซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานและแม้ว่าความแตกต่างจากการวัดซ้ำจะเกินเส้นควบคุมออกไปใน Part ที่ 7 ในเฟส V-W , W-U ก็ยังถือว่ายอมรับได้เนื่องจากยังสามารถตรวจจับงานเสียประเภท Open Circuit จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของค่าความต้านทานได้

4.1.1.1.2 ผลการศึกษาระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test เครื่องที่ 2

สายการประกอบที่ 1 สำหรับวัดค่า Open Circuit

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 2 Resistance (Phase U-V)

Gage name: Characteristic Test
 Date of study: 18-Mar-09
 Reported by: K.Suraatchada
 Tolerance: 0.36
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0444836	0.0049426	118.381	0.000
Operator	2	0.0000094	0.0000047	0.112	0.895
Part no. * Operator	18	0.0007515	0.0000418	1.356	0.188
Repeatability	60	0.0018473	0.0000308		

Total 89 0.0470918
 Alpha to remove interaction term = 0.25

Gage R&R

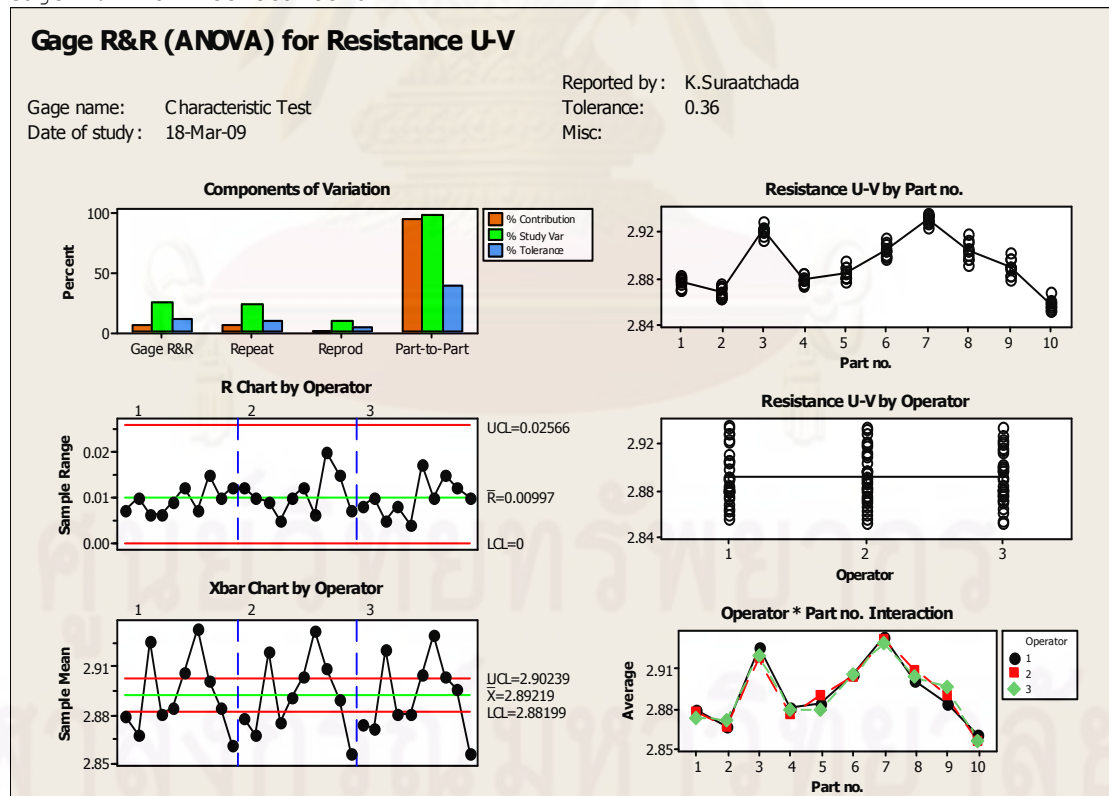
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000344	5.95
Repeatability	0.0000308	5.32
Reproducibility	0.0000037	0.63
Operator	0.0000000	0.00
Operator*Part no.	0.0000037	0.63
Part-To-Part	0.0005445	94.05
Total Variation	0.0005790	100.00

Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0058688	0.035213	24.39	9.78
Repeatability	0.0055488	0.033293	23.06	9.25
Reproducibility	0.0019116	0.011470	7.94	3.19
Operator	0.0000000	0.000000	0.00	0.00
Operator*Part no.	0.0019116	0.011470	7.94	3.19
Part-To-Part	0.0233354	0.140012	96.98	38.89
Total Variation	0.0240621	0.144373	100.00	40.10

Number of Distinct Categories = 5

Gage R&R for Resistance U-V



รูปที่ 4.4 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส

U-V ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 1

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 2 Resistance (Phase V-W)

Gage R&R for Resistance V-W

Gage name: Characteristic Test
 Date of study: 18-Mar-09
 Reported by: K.Suraatchada
 Tolerance: 0.36
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0530057	0.0058895	189.218	0.000
Operator	2	0.0000593	0.0000296	0.952	0.404
Part no. * Operator	18	0.0005603	0.0000311	0.821	0.669
Repeatability	60	0.0022746	0.0000379		
Total	89	0.0558999			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0530057	0.0058895	162.048	0.000
Operator	2	0.0000593	0.0000296	0.816	0.446
Repeatability	78	0.0028349	0.0000363		
Total	89	0.0558999			

Gage R&R

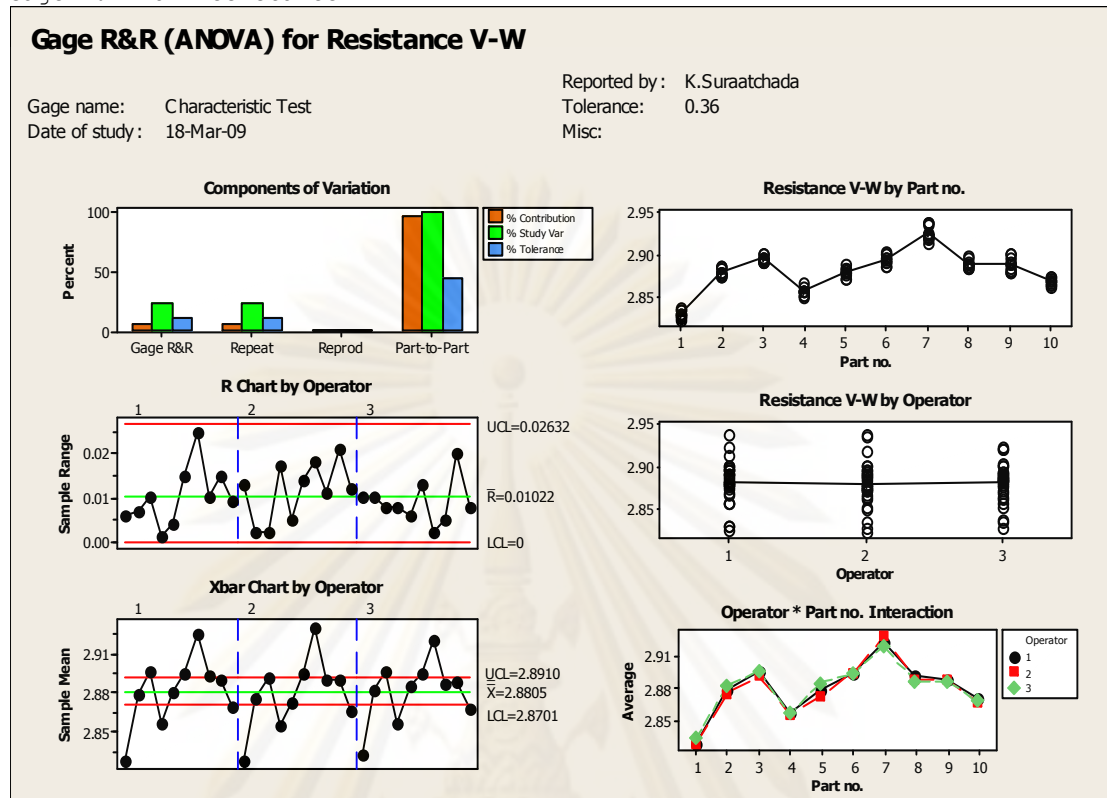
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000363	5.29
Repeatability	0.0000363	5.29
Reproducibility	0.0000000	0.00
Operator	0.0000000	0.00
Part-To-Part	0.0006504	94.71
Total Variation	0.0006867	100.00

Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0060286	0.036172	23.01	10.05
Repeatability	0.0060286	0.036172	23.01	10.05
Reproducibility	0.0000000	0.000000	0.00	0.00
Operator	0.0000000	0.000000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.0255020	0.153012	97.32	42.50
Total Variation	0.0262049	0.157230	100.00	43.67

Number of Distinct Categories = 5

Gage R&R for Resistance V-W



รูปที่ 4.5 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส V-W ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 1

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 2 Resistance (Phase W-U)

Gage name: Characteristic Test
Date of study: 18-Mar-09
Reported by: K.Suraatchada
Tolerance: 0.36
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0504971	0.0056108	210.795	0.000
Operator	2	0.0001622	0.0000811	3.047	0.072
Part no. * Operator	18	0.0004791	0.0000266	0.648	0.846
Repeatability	60	0.0024647	0.0000411		
Total	89	0.0536031			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0504971	0.0056108	148.667	0.000
Operator	2	0.0001622	0.0000811	2.149	0.123
Repeatability	78	0.0029438	0.0000377		
Total	89	0.0536031			

Gage R&R

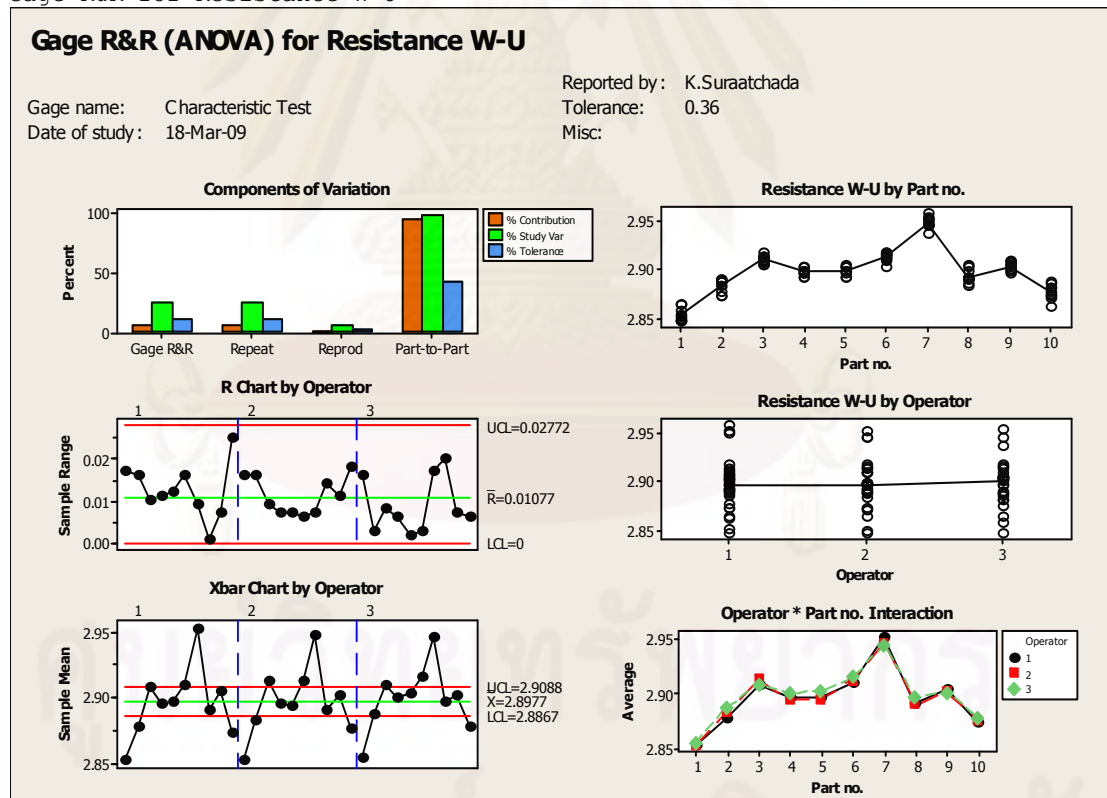
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000392	5.95
Repeatability	0.0000377	5.73
Reproducibility	0.0000014	0.22
Operator	0.0000014	0.22
Part-To-Part	0.0006192	94.05
Total Variation	0.0006584	100.00

Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0062599	0.037559	24.40	10.43
Repeatability	0.0061433	0.036860	23.94	10.24
Reproducibility	0.0012024	0.007214	4.69	2.00
Operator	0.0012024	0.007214	4.69	2.00
Part-To-Part	0.0248843	0.149306	96.98	41.47
Total Variation	0.0256596	0.153958	100.00	42.77

Number of Distinct Categories = 5

Gage R&R for Resistance W-U



รูปที่ 4.6 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส W-U ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 1

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test เครื่องที่ 2 ของสายการประกอบที่ 1 พบว่าเมื่อตรวจวัดทั้ง 3 เฟส ทั้ง เฟส U-V , V-W และ W-U แล้วพบว่าเครื่องมือวัดมีความสามารถในการตรวจจับภายในกระบวนการได้เป็นอย่างดีโดยดูจากข้อมูลทีวิเคราะห์ได้จากโปรแกรม Minitab ดังนี้

	% Contribution (เฟส)		
	U-V	V-W	W-U
ค่าความผันแปรจากระบบการวัดโดยรวม (Total GR&R)	5.95	5.29	5.95
ค่าความผันแปรจากเครื่องมือวัด (Repeatability)	5.32	5.29	5.73
ค่าความผันแปรจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility)	0.63	0.00	0.22
ค่าความผันแปรที่มาจากกระบวนการ (Part-to-Part)	94.05	94.71	94.05

จากการวิเคราะห์ระบบการวัดกับเครื่อง Characteristic test กับค่าความต้านทานสรุปได้ว่าสามารถแยกความแตกต่างของข้อมูลได้ 5 กลุ่มกับทุกเฟสทั้ง U-V , V-W และ W-U ซึ่งไม่น้อยกว่าค่าเกณฑ์ความแตกต่างที่แนะนำไว้คือ 5 และมีค่าความผันแปรจากระบบการวัดรวมเท่ากับ 5.95 , 5.29 และ 5.95 ตามลำดับเช่นเดียวกันซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 10% โดยส่วนใหญ่ของความผันแปรจะมาจากความแม่นยำของเครื่องมือวัด ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานและไม่มี ความแตกต่างในการวัดจากผู้ทำการทดลอง ดังนั้นถือว่ายอมรับได้เนื่องจากยังสามารถตรวจจับงานเสียประเภท Open Circuit จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของค่าความต้านทานได้

4.1.1.1.3 ผลการศึกษาระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test เครื่องที่ 1
สายการประกอบที่ 2 สำหรับวัดค่า Open Circuit

Line #2 Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 1 Resistance (Phase U-V)

Gage name: Characteristic Test
Date of study: 18-Mar-09
Reported by: K.Suraatchada
Tolerance: 0.36
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0292882	0.0032542	221.638	0.000
Operator	2	0.0000242	0.0000121	0.823	0.455
Part no. * Operator	18	0.0002643	0.0000147	1.071	0.402
Repeatability	60	0.0008227	0.0000137		
Total	89	0.0303993			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0292882	0.0032542	233.525	0.000
Operator	2	0.0000242	0.0000121	0.867	0.424
Repeatability	78	0.0010870	0.0000139		
Total	89	0.0303993			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000139	3.73
Repeatability	0.0000139	3.73
Reproducibility	0.0000000	0.00
Operator	0.0000000	0.00
Part-To-Part	0.0003600	96.27
Total Variation	0.0003740	100.00

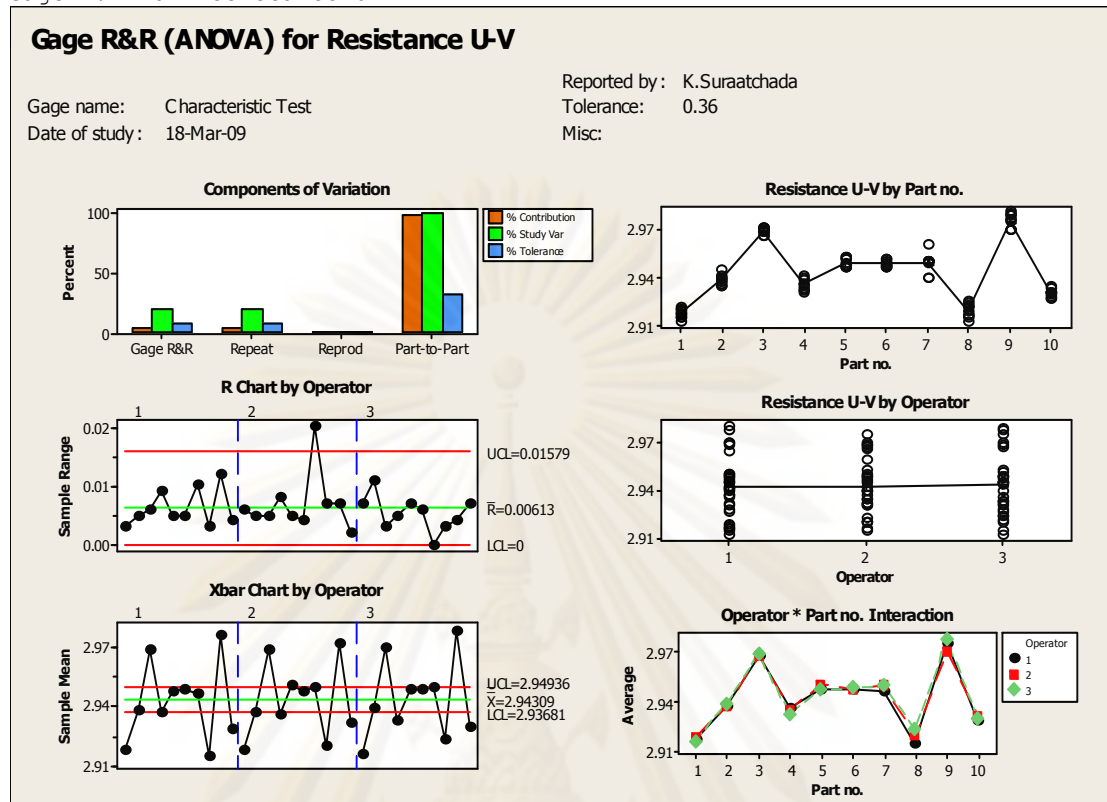
Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0037330	0.022398	19.30	6.22
Repeatability	0.0037330	0.022398	19.30	6.22
Reproducibility	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Operator	0.0000000	0.0000000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.0189746	0.113847	98.12	31.62
Total Variation	0.0193383	0.116030	100.00	32.23

Number of Distinct Categories = 7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Gage R&R for Resistance U-V



รูปที่ 4.7 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส U-V ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 2

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 1 Resistance (Phase V-W)

Gage name: Characteristic Test
Date of study: 18-Mar-09
Reported by: K.Suraatchada
Tolerance: 0.36
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0731541	0.0081282	239.175	0.000
Operator	2	0.0005471	0.0002735	8.049	0.003
Part no. * Operator	18	0.0006117	0.0000340	0.912	0.567
Repeatability	60	0.0022358	0.0000373		
Total	89	0.0765486			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0731541	0.0081282	222.653	0.000
Operator	2	0.0005471	0.0002735	7.493	0.001
Repeatability	78	0.0028475	0.0000365		

Total 89 0.0765486

Gage R&R

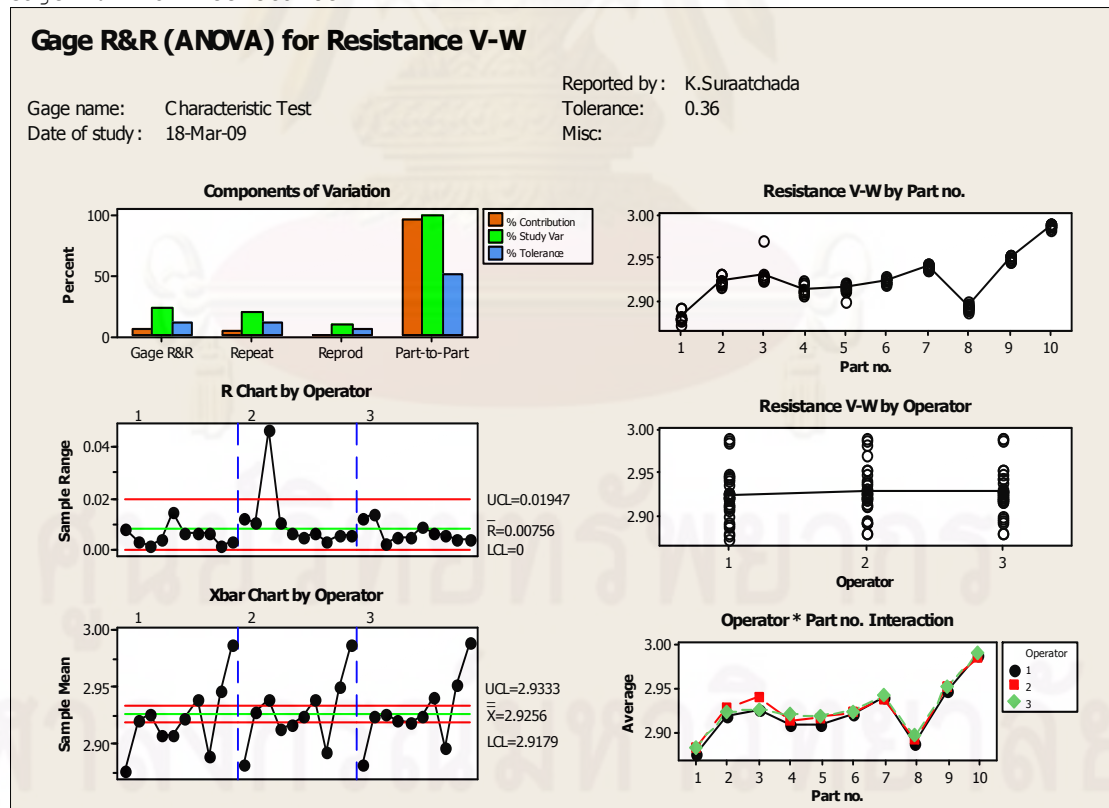
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000444	4.71
Repeatability	0.0000365	3.87
Reproducibility	0.0000079	0.84
Operator	0.0000079	0.84
Part-To-Part	0.0008991	95.29
Total Variation	0.0009435	100.00

Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0066639	0.039983	21.69	11.11
Repeatability	0.0060420	0.036252	19.67	10.07
Reproducibility	0.0028108	0.016865	9.15	4.68
Operator	0.0028108	0.016865	9.15	4.68
Part-To-Part	0.0299847	0.179908	97.62	49.97
Total Variation	0.0307162	0.184297	100.00	51.19

Number of Distinct Categories = 6

Gage R&R for Resistance V-W



รูปที่ 4.8 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส V-W ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 2

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 1 Resistance (Phase W-U)

Gage name: Characteristic Test
 Date of study: 18-Mar-09
 Reported by: K.Suraatchada
 Tolerance: 0.36
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0292104	0.0032456	405.723	0.000
Operator	2	0.0000539	0.0000269	3.366	0.057
Part no. * Operator	18	0.0001440	0.0000080	1.085	0.389
Repeatability	60	0.0004424	0.0000074		
Total	89	0.0298507			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0292104	0.0032456	431.706	0.000
Operator	2	0.0000539	0.0000269	3.581	0.033
Repeatability	78	0.0005864	0.0000075		
Total	89	0.0298507			

Gage R&R

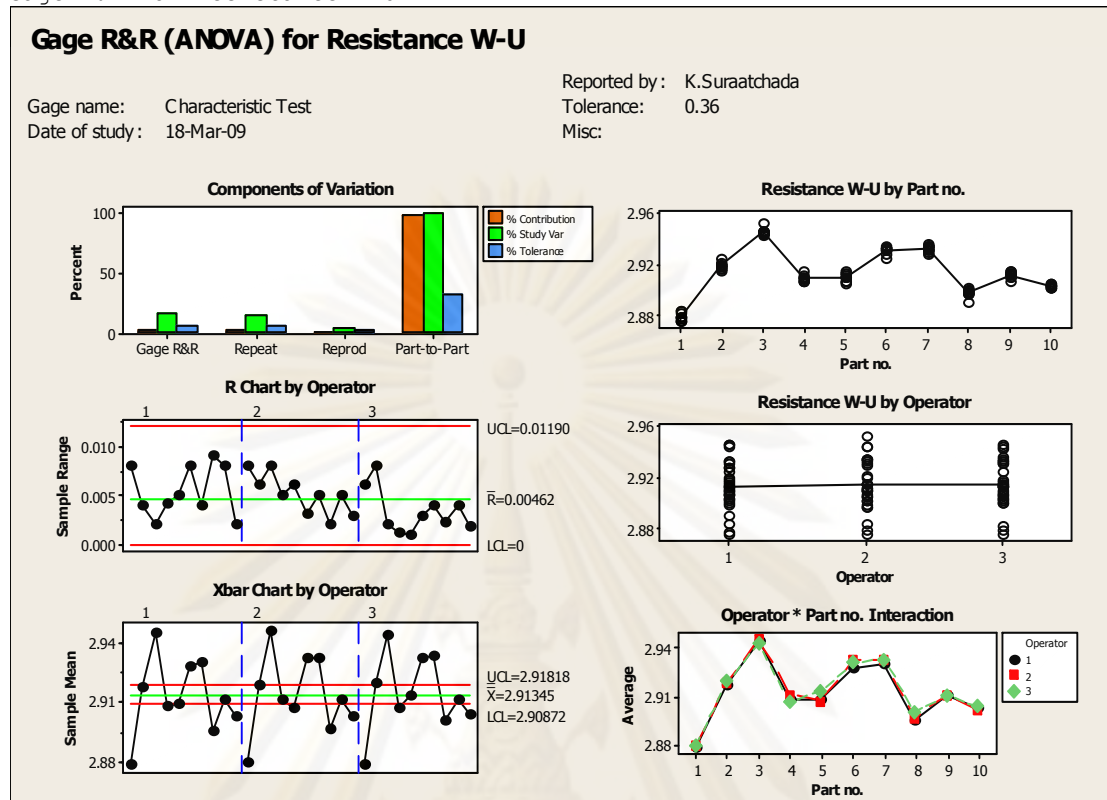
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000082	2.22
Repeatability	0.0000075	2.04
Reproducibility	0.0000006	0.18
Operator	0.0000006	0.18
Part-To-Part	0.0003598	97.78
Total Variation	0.0003680	100.00

Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0028574	0.017145	14.90	4.76
Repeatability	0.0027419	0.016451	14.29	4.57
Reproducibility	0.0008043	0.004826	4.19	1.34
Operator	0.0008043	0.004826	4.19	1.34
Part-To-Part	0.0189680	0.113808	98.88	31.61
Total Variation	0.0191821	0.115092	100.00	31.97

Number of Distinct Categories = 9

Gage R&R for Resistance W-U



รูปที่ 4.9 แสดงการประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส W-U ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 2

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test เครื่องที่ 1 ของสายการประกอบที่ 2 พบว่าเมื่อตรวจวัดทั้ง 3 เฟส ทั้ง เฟส U-V , V-W และ W-U แล้วพบว่าเครื่องมือวัดมีความสามารถในการตรวจจับภายในกระบวนการได้เป็นอย่างดีโดยดูจากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรม Minitab ดังนี้

	% Contribution (เฟส)		
	U-V	V-W	W-U
ค่าความผันแปรจากระบบการวัดโดยรวม (Total GR&R)	3.73	4.71	2.22
ค่าความผันแปรจากเครื่องมือวัด (Repeatability)	3.73	3.87	2.04
ค่าความผันแปรจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility)	0.00	0.84	0.18
ค่าความผันแปรที่มาจากกระบวนการ (Part-to-Part)	96.27	95.29	97.78

จากการวิเคราะห์ระบบการวัดกับเครื่อง Characteristic test กับค่าความต้านทานสรุปได้ว่าสามารถแยกความแตกต่างของข้อมูลได้ 7, 6 และ 9 กลุ่ม กับเฟสทั้ง U-V , V-W และ W-U ซึ่งมากกว่าค่าเกณฑ์ความแตกต่างที่แนะนำไว้คือ 5 และมีค่าความผันแปรจากระบบการวัดรวม

เท่ากับ 3.73 , 4.71 และ 2.22 ตามลำดับเช่นเดียวกันซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 10% โดยส่วนใหญ่ของความผันแปรจะมาจากความแม่นยำของเครื่องมือวัด และแม้ว่าจะมีค่าความแตกต่างจากการวัดซ้ำเกินกว่าค่าควบคุมแต่ยังถือว่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเพราะยังสามารถตรวจจับค่าความต้านทานที่เกิดจากลักษณะงานเสียประเภท Open Circuit ที่มากจนผิดปกติได้ และไม่มี ความแตกต่างในการวัดจากผู้ทำการทดลอง ดังนั้นถือว่ายอมรับได้เนื่องจากยังสามารถตรวจจับงานเสียประเภท Open Circuit จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของค่าความต้านทานได้

4.1.1.1.4 ผลการศึกษาระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test เครื่องที่ 2

สายการประกอบที่ 2 สำหรับวัดค่า Open Circuit

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 2 Resistance (Phase U-V)

Gage name: Characteristic Test
Date of study: 18-Mar-09
Reported by: K.Suraatchada
Tolerance: 0.36
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0586811	0.0065201	252.402	0.000
Operator	2	0.0000778	0.0000389	1.505	0.249
Part no. * Operator	18	0.0004650	0.0000258	0.684	0.813
Repeatability	60	0.0022653	0.0000378		
Total	89	0.0614892			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0586811	0.0065201	186.271	0.000
Operator	2	0.0000778	0.0000389	1.111	0.334
Repeatability	78	0.0027303	0.0000350		
Total	89	0.0614892			

Gage R&R

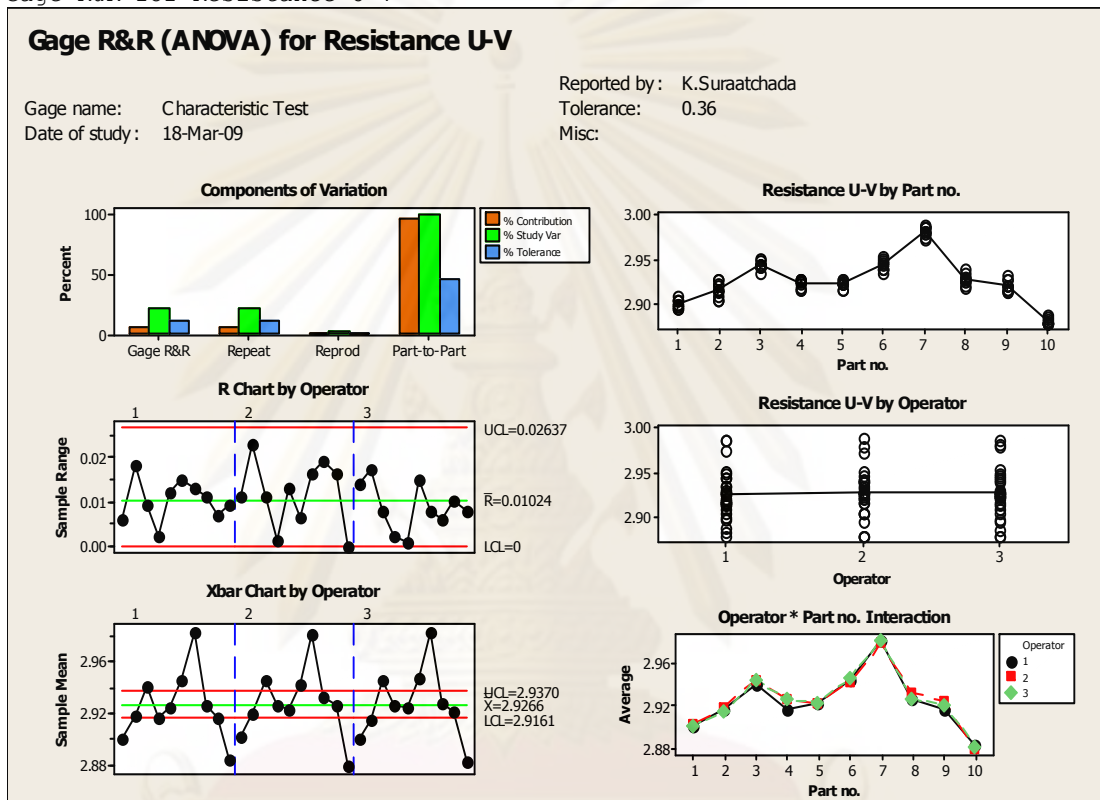
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000351	4.65
Repeatability	0.0000350	4.63
Reproducibility	0.0000001	0.02
Operator	0.0000001	0.02
Part-To-Part	0.0007206	95.35
Total Variation	0.0007557	100.00

Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0059273	0.035564	21.56	9.88
Repeatability	0.0059164	0.035498	21.52	9.86
Reproducibility	0.0003593	0.002156	1.31	0.60
Operator	0.0003593	0.002156	1.31	0.60
Part-To-Part	0.0268434	0.161061	97.65	44.74
Total Variation	0.0274900	0.164940	100.00	45.82

Number of Distinct Categories = 6

Gage R&R for Resistance U-V



รูปที่ 4.10 แสดงการประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส U-W ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 2

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 2 Resistance (Phase V-W)

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0455382	0.0050598	123.655	0.000
Operator	2	0.0002203	0.0001101	2.692	0.095
Part no. * Operator	18	0.0007365	0.0000409	2.206	0.012
Repeatability	60	0.0011129	0.0000185		
Total	89	0.0476079			

Alpha to remove interaction term = 0.25

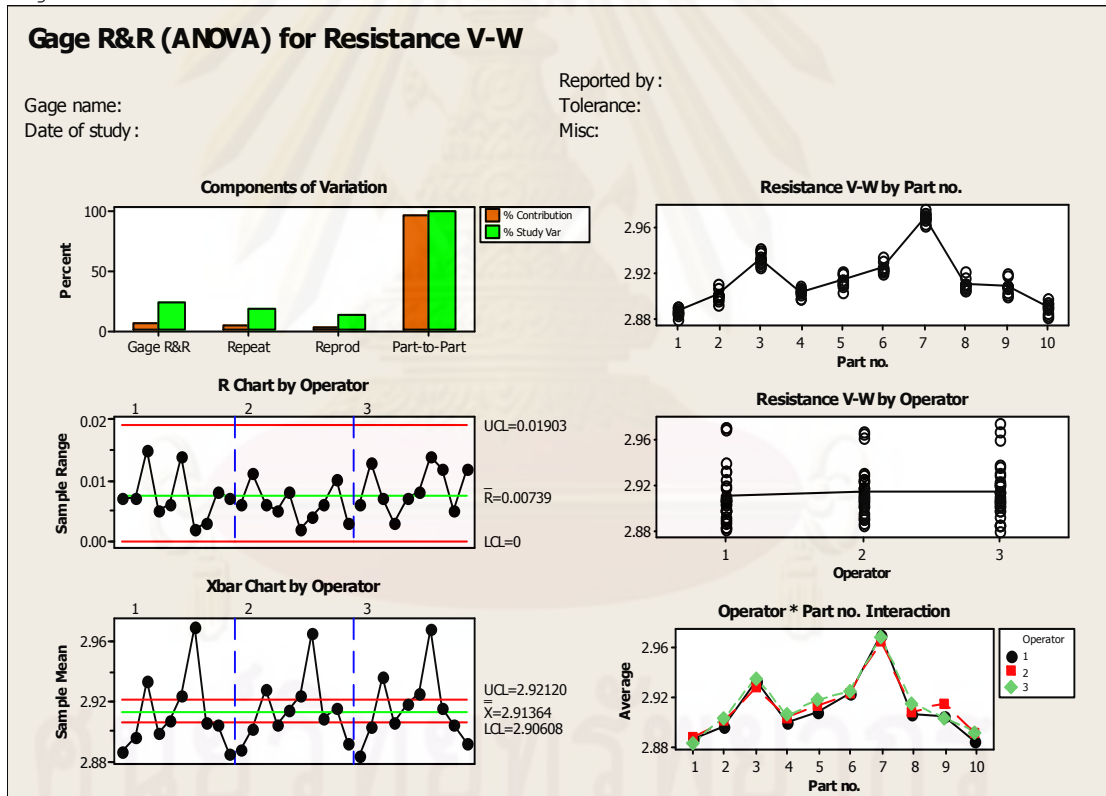
Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000283	4.83
Repeatability	0.0000185	3.17
Reproducibility	0.0000098	1.67
Operator	0.0000023	0.39
Operator*Part no.	0.0000075	1.27
Part-To-Part	0.0005577	95.17
Total Variation	0.0005860	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.0053209	0.031926	21.98
Repeatability	0.0043068	0.025841	17.79
Reproducibility	0.0031248	0.018749	12.91
Operator	0.0015189	0.009114	6.27
Operator*Part no.	0.0027307	0.016384	11.28
Part-To-Part	0.0236147	0.141688	97.55
Total Variation	0.0242067	0.145240	100.00

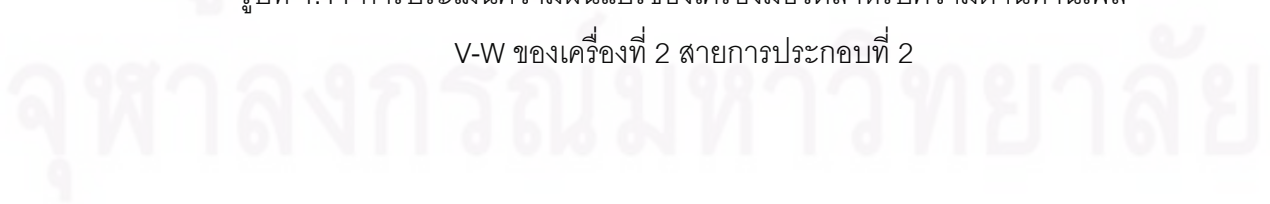
Number of Distinct Categories = 6

Gage R&R for Resistance V-W



รูปที่ 4.11 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส

V-W ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 2



Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for Resistance W-U

Gage name: Characteristic Test
 Date of study: 18-Mar-09
 Reported by: K.Suraatchada
 Tolerance: 0.36
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0381953	0.0042439	254.341	0.000
Operator	2	0.0003680	0.0001840	11.027	0.001
Part no. * Operator	18	0.0003003	0.0000167	1.242	0.259
Repeatability	60	0.0008059	0.0000134		
Total	89	0.0396695			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.0381953	0.0042439	299.229	0.000
Operator	2	0.0003680	0.0001840	12.973	0.000
Repeatability	78	0.0011063	0.0000142		
Total	89	0.0396695			

Gage R&R

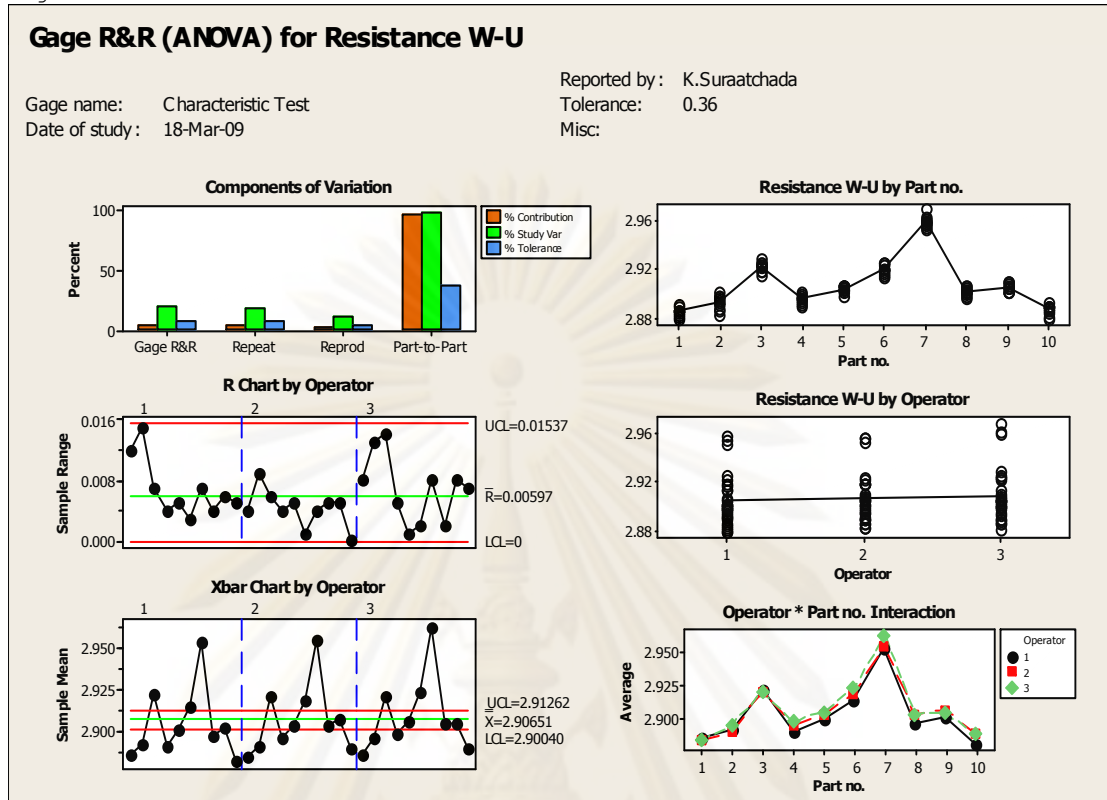
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000198	4.05
Repeatability	0.0000142	2.90
Reproducibility	0.0000057	1.16
Operator	0.0000057	1.16
Part-To-Part	0.0004700	95.95
Total Variation	0.0004898	100.00

Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0044546	0.026727	20.13	7.42
Repeatability	0.0037660	0.022596	17.02	6.28
Reproducibility	0.0023792	0.014275	10.75	3.97
Operator	0.0023792	0.014275	10.75	3.97
Part-To-Part	0.0216788	0.130073	97.95	36.13
Total Variation	0.0221317	0.132790	100.00	36.89

Number of Distinct Categories = 6

Gage R&R for Resistance W-U



รูปที่ 4.12 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส W-U ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 2

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test เครื่องที่ 2 ของสายการประกอบที่ 2 พบว่าเมื่อตรวจวัดทั้ง 3 เฟส ทั้ง เฟส U-V , V-W และ W-U แล้วพบว่าเครื่องมือวัดมีความสามารถในการตรวจจับภายในกระบวนการได้เป็นอย่างดีโดยดูจากข้อมูลที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรม Minitab ดังนี้

	% Contribution (เฟส)		
	U-V	V-W	W-U
ค่าความผันแปรจากระบบการวัดโดยรวม (Total GR&R)	4.65	4.83	4.05
ค่าความผันแปรจากเครื่องมือวัด (Repeatability)	4.63	3.17	2.90
ค่าความผันแปรจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility)	0.02	1.67	1.16
ค่าความผันแปรที่มาจากกระบวนการ (Part-to-Part)	95.35	95.17	95.95

จากการวิเคราะห์ระบบการวัดกับเครื่อง Characteristic test กับค่าความต้านทานสรุปได้ว่าสามารถแยกความแตกต่างของข้อมูลได้ 6 กับทุกกลุ่มทั้งเฟส U-V , V-W และ W-U ซึ่งมากกว่าค่าเกณฑ์ความแตกต่างที่แนะนำไว้คือ 5 และมีค่าความผันแปรจากระบบการวัดรวมเท่ากับ 4.65 ,

4.83 และ 4.05 ตามลำดับเช่นเดียวกันซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 10% โดยส่วนใหญ่ของความผันแปรจะมาจากความแม่นยำของเครื่องมือวัด ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานและไม่มีแตกต่างในการวัดจากผู้ทำการทดลอง ดังนั้นถือว่ายอมรับได้เนื่องจากยังสามารถตรวจจับงานเสียประเภท Open Circuit จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของค่าความต้านทานได้

4.1.1.1.5 ผลการศึกษาระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test เครื่องที่ 1
สายการประกอบที่ 3 สำหรับวัดค่า Open Circuit

Line #3 Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 1 Resistance (Phase U-V)

Gage name: Characteristic Test
Date of study: 18-Mar-09
Reported by: K.Suraatchada
Tolerance: 0.36
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.300425	0.0333805	6551.55	0.000
Operator	2	0.002524	0.0012618	247.65	0.000
Part no. * Operator	18	0.000092	0.0000051	0.28	0.998
Repeatability	60	0.001104	0.0000184		
Total	89	0.304144			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.300425	0.0333805	2177.52	0.000
Operator	2	0.002524	0.0012618	82.31	0.000
Repeatability	78	0.001196	0.0000153		
Total	89	0.304144			

Gage R&R

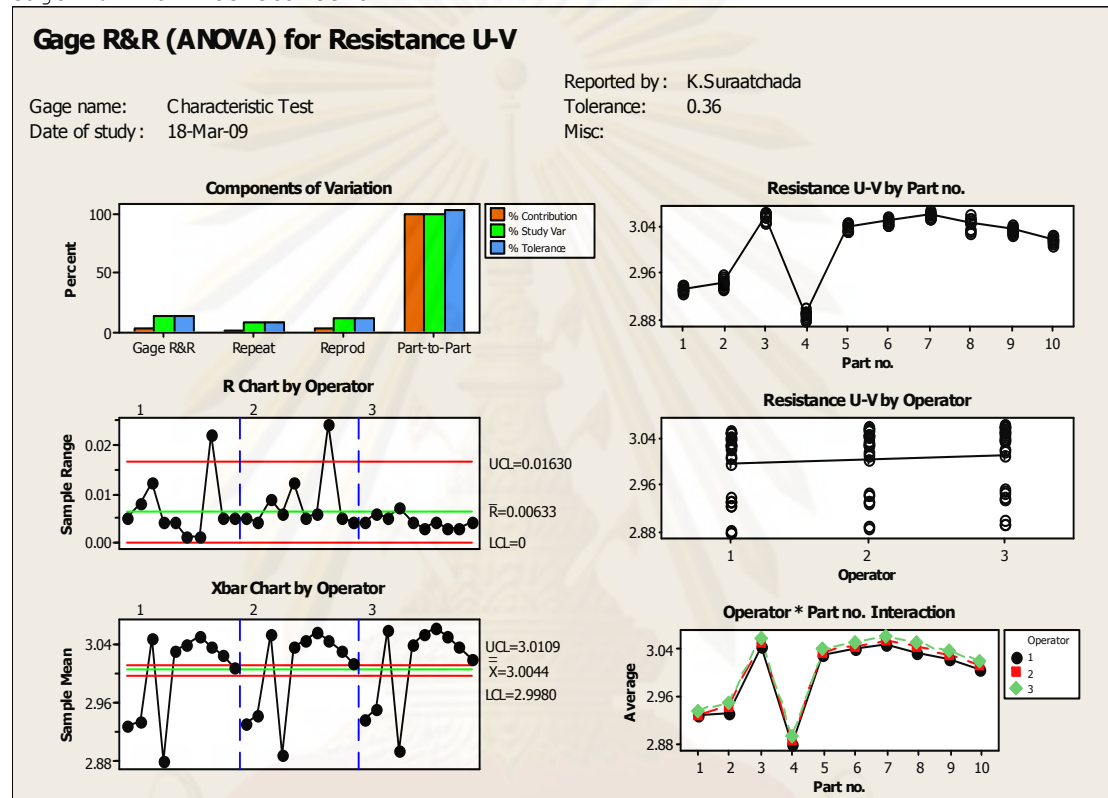
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000569	1.51
Repeatability	0.0000153	0.41
Reproducibility	0.0000415	1.10
Operator	0.0000415	1.10
Part-To-Part	0.0037072	98.49
Total Variation	0.0037641	100.00

Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0075418	0.045251	12.29	12.57
Repeatability	0.0039153	0.023492	6.38	6.53
Reproducibility	0.0064459	0.038675	10.51	10.74
Operator	0.0064459	0.038675	10.51	10.74
Part-To-Part	0.0608872	0.365323	99.24	101.48
Total Variation	0.0613525	0.368115	100.00	102.25

Number of Distinct Categories = 11

Gage R&R for Resistance U-V



รูปที่ 4.13 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส U-V ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 3

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 1 Resistance (Phase V-W)

Gage name: Characteristic Test
Date of study: 18-Mar-09
Reported by: K.Suraatchada
Tolerance: 0.36
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.283708	0.0315231	12684.4	0.000
Operator	2	0.003074	0.0015371	618.5	0.000
Part no. * Operator	18	0.000045	0.0000025	0.3	0.994
Repeatability	60	0.000445	0.0000074		
Total	89	0.287272			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.283708	0.0315231	5017.28	0.000
Operator	2	0.003074	0.0015371	244.64	0.000
Repeatability	78	0.000490	0.0000063		
Total	89	0.287272			

Gage R&R

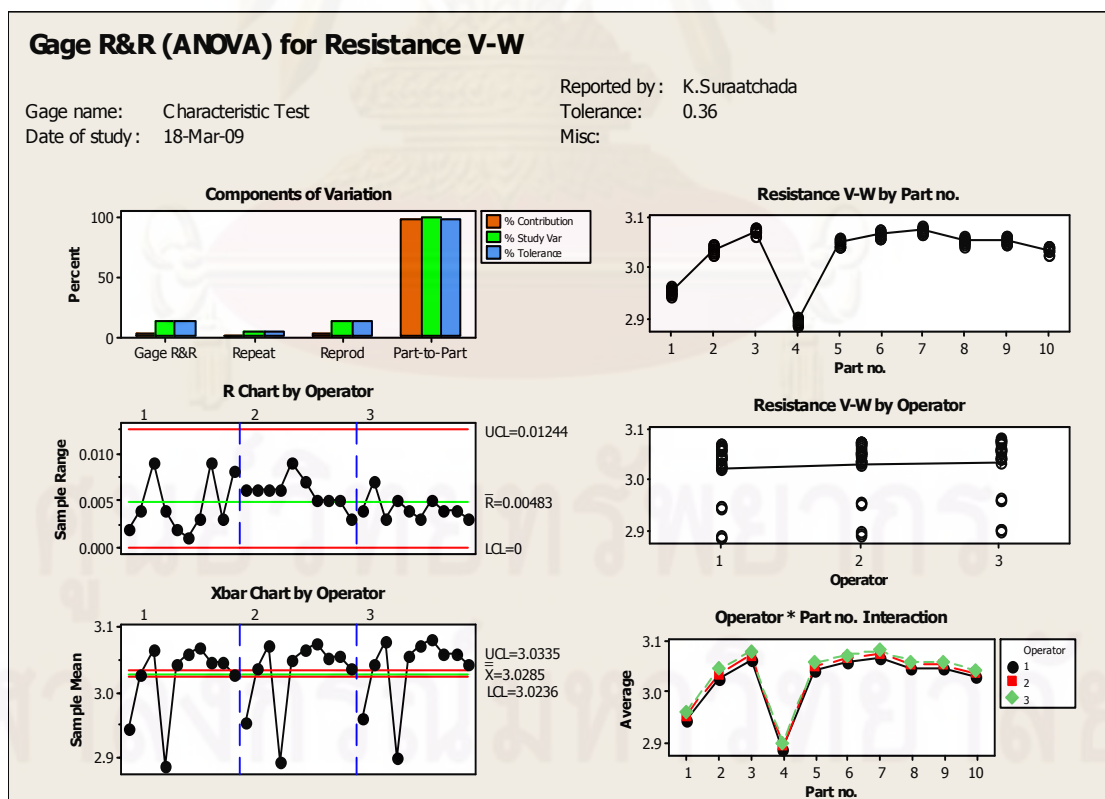
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000573	1.61
Repeatability	0.0000063	0.18
Reproducibility	0.0000510	1.43
Operator	0.0000510	1.43
Part-To-Part	0.0035019	98.39
Total Variation	0.0035592	100.00

Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0075703	0.045422	12.69	12.62
Repeatability	0.0025066	0.015039	4.20	4.18
Reproducibility	0.0071433	0.042860	11.97	11.91
Operator	0.0071433	0.042860	11.97	11.91
Part-To-Part	0.0591766	0.355060	99.19	98.63
Total Variation	0.0596589	0.357953	100.00	99.43

Number of Distinct Categories = 11

Gage R&R for Resistance V-W



รูปที่ 4.14 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส V-W ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 3

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 1 Resistance (Phase W-U)

Gage name: Characteristic Test
 Date of study: 18-Mar-09
 Reported by: K.Suraatchada
 Tolerance: 0.36
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.282358	0.0313731	4147.58	0.000
Operator	2	0.002681	0.0013405	177.21	0.000
Part no. * Operator	18	0.000136	0.0000076	0.48	0.958
Repeatability	60	0.000951	0.0000158		
Total	89	0.286126			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.282358	0.0313731	2251.61	0.000
Operator	2	0.002681	0.0013405	96.20	0.000
Repeatability	78	0.001087	0.0000139		
Total	89	0.286126			

Gage R&R

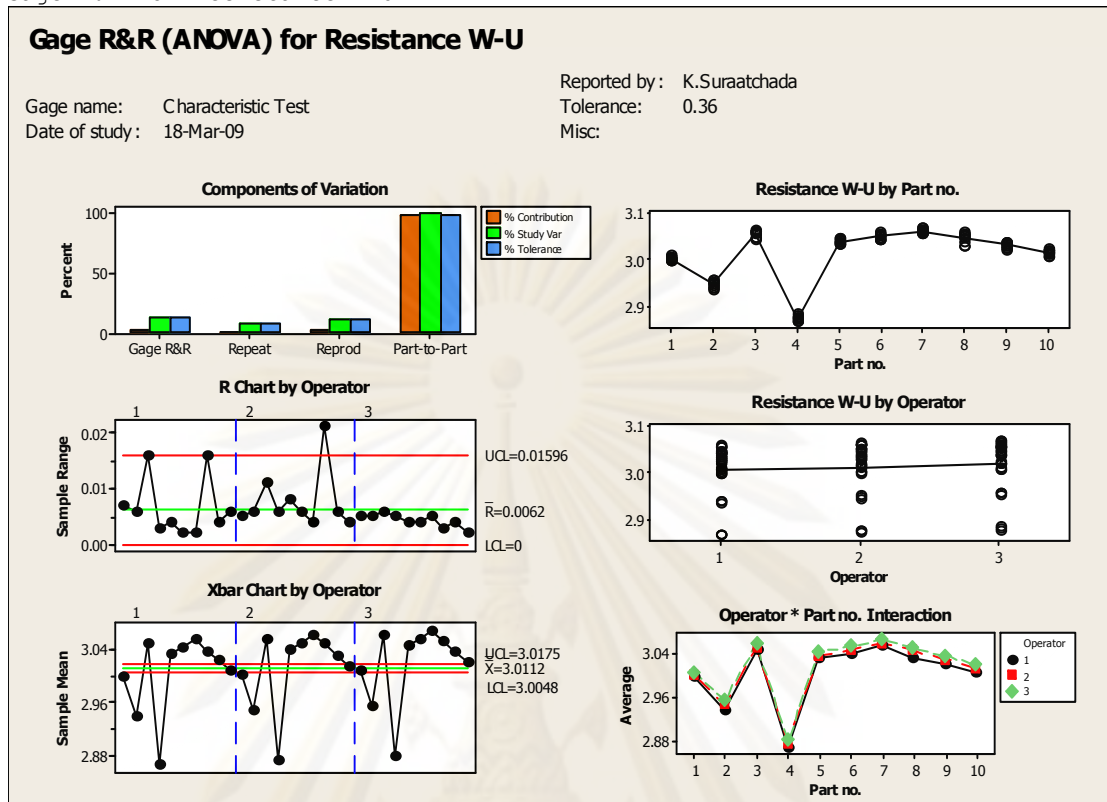
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000582	1.64
Repeatability	0.0000139	0.39
Reproducibility	0.0000442	1.25
Operator	0.0000442	1.25
Part-To-Part	0.0034844	98.36
Total Variation	0.0035425	100.00

Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0076257	0.045754	12.81	12.71
Repeatability	0.0037328	0.022397	6.27	6.22
Reproducibility	0.0066497	0.039898	11.17	11.08
Operator	0.0066497	0.039898	11.17	11.08
Part-To-Part	0.0590284	0.354170	99.18	98.38
Total Variation	0.0595189	0.357114	100.00	99.20

Number of Distinct Categories = 10

Gage R&R for Resistance W-U



รูปที่ 4.15 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส W-U ของเครื่องที่ 1 สายการประกอบที่ 3

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test เครื่องที่ 1 ของสายการประกอบที่ 3 พบว่าเมื่อตรวจวัดทั้ง 3 เฟส ทั้ง เฟส U-V , V-W และ W-U แล้วพบว่าเครื่องมือวัดมีความสามารถในการตรวจจับภายในกระบวนการได้เป็นอย่างดีโดยดูจากข้อมูลทีวิเคราะห์ได้จากโปรแกรม Minitab ดังนี้

	% Contribution (เฟส)		
	U-V	V-W	W-U
ค่าความผันแปรจากระบบการวัดโดยรวม (Total GR&R)	1.51	1.61	1.64
ค่าความผันแปรจากเครื่องมือวัด (Repeatability)	0.41	0.18	0.39
ค่าความผันแปรจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility)	1.10	1.43	1.25
ค่าความผันแปรที่มาจากกระบวนการ (Part-to-Part)	98.49	98.39	98.36

จากการวิเคราะห์ระบบการวัดกับเครื่อง Characteristic test กับค่าความต้านทานสรุปได้ว่าสามารถแยกความแตกต่างของข้อมูลได้ 11, 11 และ 10 กลุ่ม กับเฟสทั้ง U-V , V-W และ W-U ซึ่งมากกว่าค่าเกณฑ์ความแตกต่างที่แนะนำไว้คือ 5 และมีค่าความผันแปรจากระบบการวัด

เท่ากับ 1.51 , 1.61 และ 1.64 ตามลำดับเช่นเดียวกันซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 10% โดยส่วนใหญ่ของความผันแปรจะมาจากความแม่นยำของเครื่องมือวัด และแม้ว่าจะมีค่าความแตกต่างจากการวัดซ้ำเกินกว่าค่าควบคุมแต่ยังถือว่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเพราะยังสามารถตรวจจับค่าความต้านทานที่เกิดจากลักษณะงานเสียประเภท Open Circuit ที่มากจนผิดปกติได้ และไม่มี ความแตกต่างในการวัดจากผู้ทำการทดลอง ดังนั้นถือว่ายอมรับได้เนื่องจากยังสามารถตรวจจับงานเสียประเภท Open Circuit จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของค่าความต้านทานได้

4.1.1.1.6 ผลการศึกษาระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test เครื่องที่ 2

สายการประกอบที่ 3 สำหรับวัดค่า Open Circuit

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 2 Resistance (Phase U-V)

Gage name: Characteristic Test
Date of study: 18-Mar-09
Reported by: K.Suraatchada
Tolerance: 0.36
Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.292306	0.0324785	660.596	0.000
Operator	2	0.000348	0.0001742	3.543	0.050
Part no. * Operator	18	0.000885	0.0000492	2.162	0.014
Repeatability	60	0.001365	0.0000227		
Total	89	0.294904			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Gage R&R

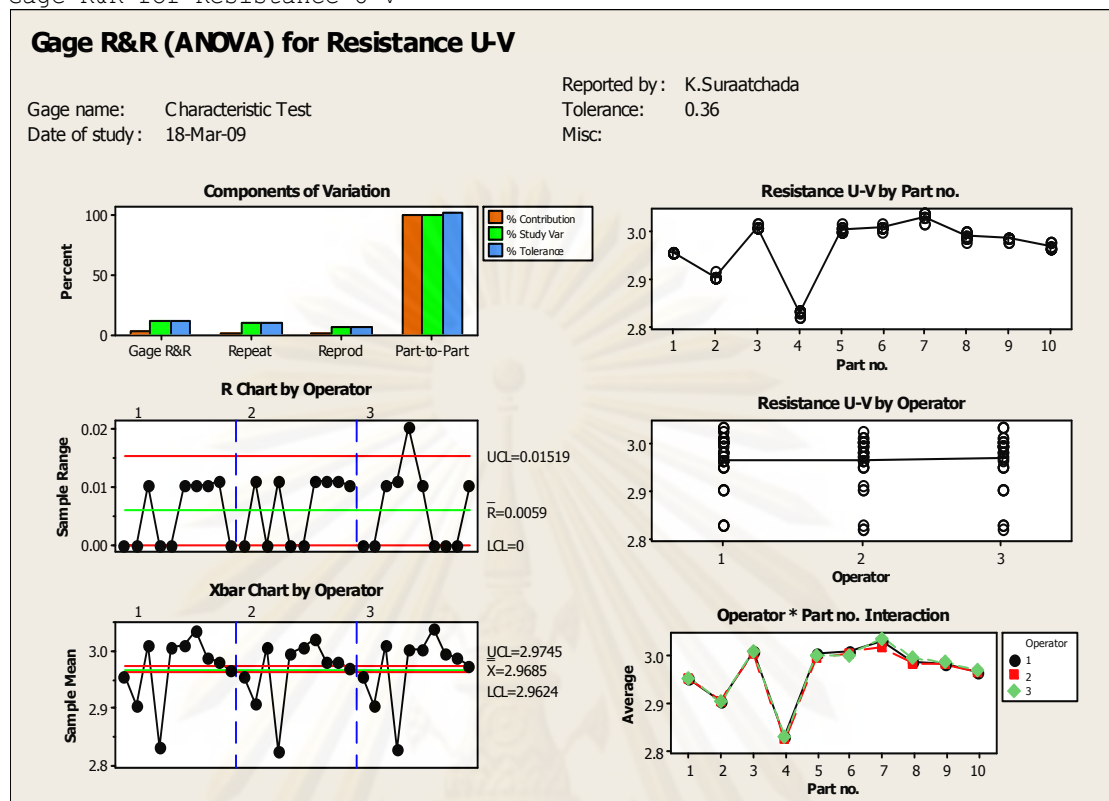
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000357	0.98
Repeatability	0.0000227	0.63
Reproducibility	0.0000130	0.36
Operator	0.0000042	0.11
Operator*Part no.	0.0000088	0.24
Part-To-Part	0.0036033	99.02
Total Variation	0.0036390	100.00

Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0059765	0.035859	9.91	9.96
Repeatability	0.0047691	0.028615	7.91	7.95
Reproducibility	0.0036020	0.021612	5.97	6.00
Operator	0.0020413	0.012248	3.38	3.40
Operator*Part no.	0.0029677	0.017806	4.92	4.95
Part-To-Part	0.0600271	0.360163	99.51	100.05
Total Variation	0.0603239	0.361944	100.00	100.54

Number of Distinct Categories = 14

Gage R&R for Resistance U-V



รูปที่ 4.16 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส U-V ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 3

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 2 Resistance (Phase V-W)

Gage name: Characteristic Test
 Date of study: 18-Mar-09
 Reported by: K.Suraatchada
 Tolerance: 0.36
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.291100	0.0323444	1544.93	0.000
Operator	2	0.000014	0.0000072	0.35	0.712
Part no. * Operator	18	0.000377	0.0000209	1.87	0.037
Repeatability	60	0.000673	0.0000112		
Total	89	0.292164			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Gage R&R

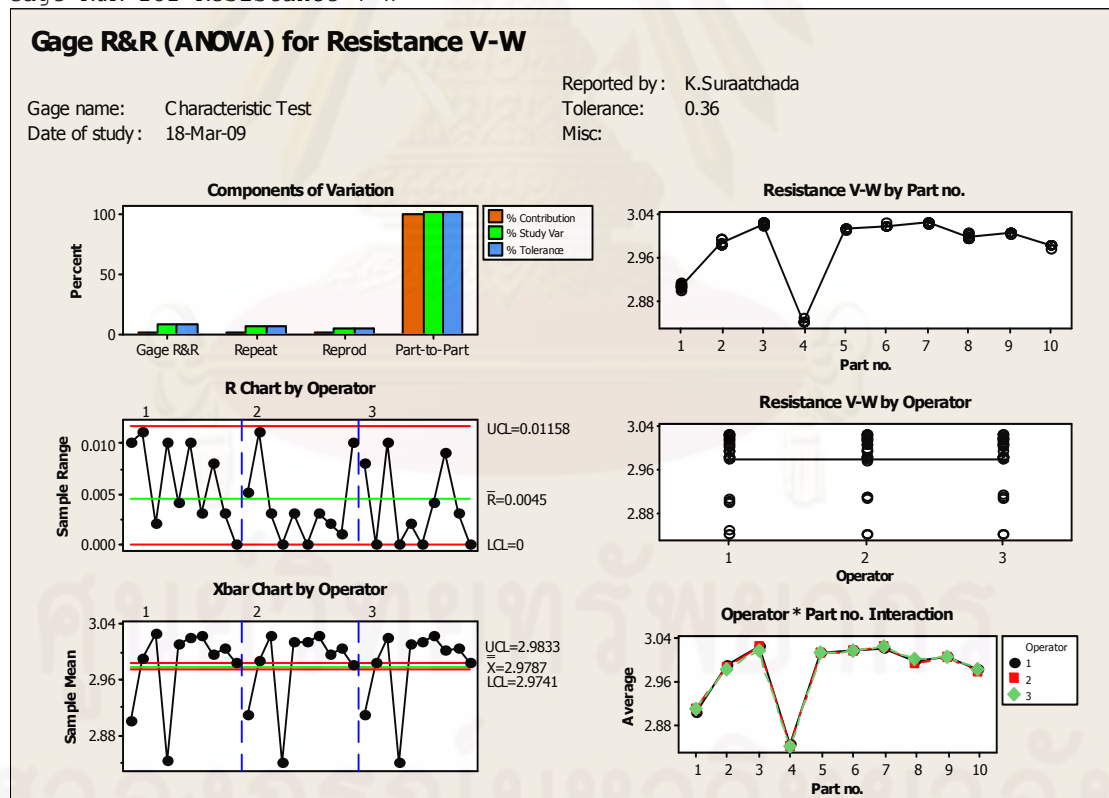
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000145	0.40
Repeatability	0.0000112	0.31
Reproducibility	0.0000032	0.09
Operator	0.0000000	0.00
Operator*Part no.	0.0000032	0.09
Part-To-Part	0.0035915	99.60
Total Variation	0.0036060	100.00

Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0038026	0.022816	6.33	6.34
Repeatability	0.0033500	0.020100	5.58	5.58
Reproducibility	0.0017994	0.010796	3.00	3.00
Operator	0.0000000	0.000000	0.00	0.00
Operator*Part no.	0.0017994	0.010796	3.00	3.00
Part-To-Part	0.0599291	0.359575	99.80	99.88
Total Variation	0.0600496	0.360298	100.00	100.08

Number of Distinct Categories = 22

Gage R&R for Resistance V-W



รูปที่ 4.17 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส V-W ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 3

Gage R&R Study - ANOVA Method

Gage R&R for M/C 2 Resistance (Phase W-U)

Gage name: Characteristic Test
 Date of study: 18-Mar-09
 Reported by: K.Suraatchada
 Tolerance: 0.36
 Misc:

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part no.	9	0.316202	0.0351335	1123.01	0.000
Operator	2	0.000196	0.0000982	3.14	0.068
Part no. * Operator	18	0.000563	0.0000313	1.93	0.030
Repeatability	60	0.000972	0.0000162		
Total	89	0.317933			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000235	0.60
Repeatability	0.0000162	0.41
Reproducibility	0.0000073	0.19
Operator	0.0000022	0.06
Operator*Part no.	0.0000050	0.13
Part-To-Part	0.0039002	99.40
Total Variation	0.0039237	100.00

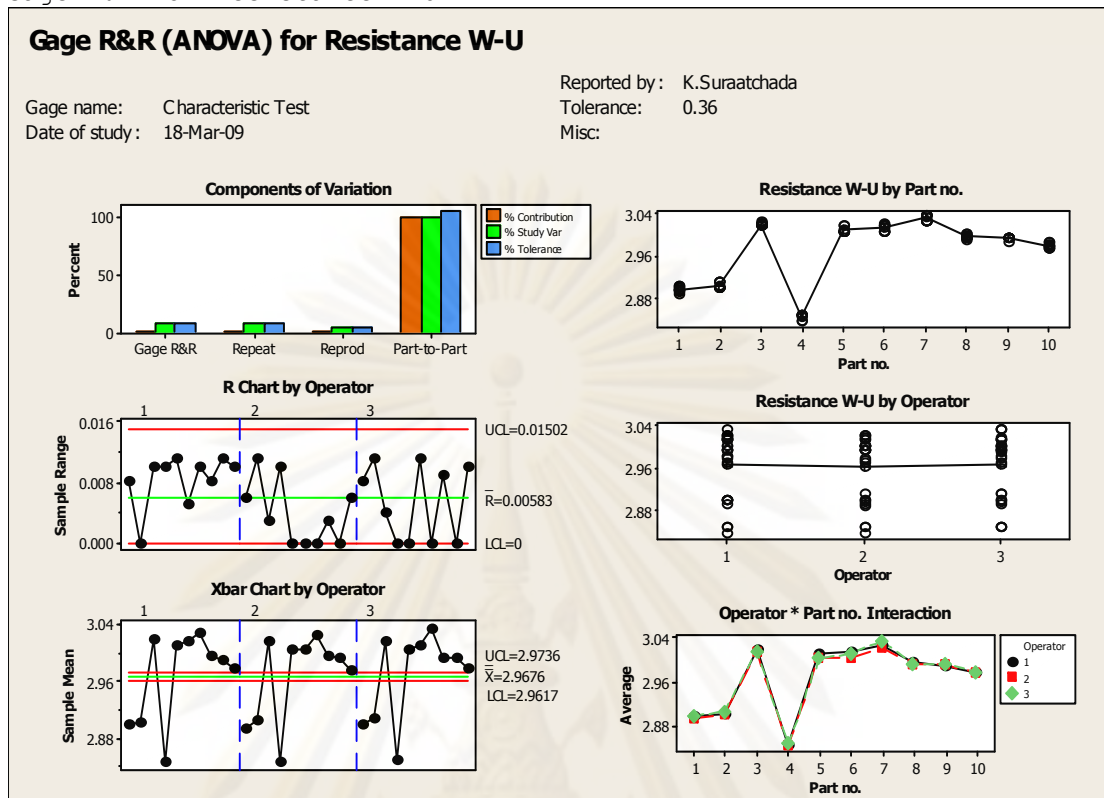
Process tolerance = 0.36

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.0048435	0.029061	7.73	8.07
Repeatability	0.0040249	0.024150	6.43	6.71
Reproducibility	0.0026943	0.016166	4.30	4.49
Operator	0.0014936	0.008962	2.38	2.49
Operator*Part no.	0.0022424	0.013454	3.58	3.74
Part-To-Part	0.0624520	0.374712	99.70	104.09
Total Variation	0.0626395	0.375837	100.00	104.40

Number of Distinct Categories = 18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Gage R&R for Resistance W-U



รูปที่ 4.18 การประเมินความผันแปรของเครื่องมือวัดสำหรับความต้านทานเฟส W-U ของเครื่องที่ 2 สายการประกอบที่ 3

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test เครื่องที่ 2 ของสายการประกอบที่ 3 พบว่าเมื่อตรวจวัดทั้ง 3 เฟส ทั้ง เฟส U-V , V-W และ W-U แล้วพบว่าเครื่องมือวัดมีความสามารถในการตรวจจับภายในกระบวนการได้เป็นอย่างดีโดยดูจากข้อมูลทีวิเคราะห์ได้จากโปรแกรม Minitab ดังนี้

	% Contribution (เฟส)		
	U-V	V-W	W-U
ค่าความผันแปรจากระบบการวัดโดยรวม (Total GR&R)	0.98	0.40	0.60
ค่าความผันแปรจากเครื่องมือวัด (Repeatability)	0.63	0.31	0.41
ค่าความผันแปรจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility)	0.36	0.09	0.19
ค่าความผันแปรที่มาจากกระบวนการ (Part-to-Part)	99.02	99.60	99.40

จากการวิเคราะห์ระบบการวัดกับเครื่อง Characteristic test กับค่าความต้านทานสรุปได้ว่าสามารถแยกความแตกต่างของข้อมูลได้ 14 , 22 และ 18 กลุ่ม กับเฟสทั้ง U-V , V-W และ W-U ซึ่งมากกว่าค่าเกณฑ์ความแตกต่างที่แนะนำไว้คือ 5 และมีค่าความผันแปรจากระบบการวัดรวม

เท่ากับ 0.98 , 0.40 และ 0.60 ตามลำดับเช่นเดียวกันซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดคือ 10% โดยส่วนใหญ่ของความผันแปรจะมาจากความแม่นยำของเครื่องมือวัด และแม้ว่าจะมีค่าความแตกต่างจากการวัดซ้ำเกินกว่าค่าควบคุมแต่ยังถือว่า ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเพราะยังสามารถตรวจจับค่าความต้านทานที่เกิดจากลักษณะงานเสียประเภท Open Circuit ที่มากจนผิดปกติได้ และไม่มี ความแตกต่างในการวัดจากผู้ทำการทดลอง ดังนั้นถือว่ายอมรับได้เนื่องจากยังสามารถตรวจจับงานเสียประเภท Open Circuit จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของค่าความต้านทานได้

4.1.1.2 การออกแบบการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบนับ

(Measurement System Analysis of Attribute Data)

การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของข้อมูลแบบนับนี้จะถูกประยุกต์ใช้กับเครื่องมือทดสอบทางไฟฟ้าเช่นเดียวกันกับหัวข้อทดสอบ Hi-pot ซึ่งการทดสอบจะเป็นประเภทผ่านหรือไม่ผ่าน (Go/No go) เท่านั้นส่วนขั้นตอนของการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดในที่นี้จะอ้างอิงมาจากมาตรฐานการปฏิบัติงานจริงของโรงงาน โดยประยุกต์ตามข้อแนะนำของการออกแบบการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบนับ (Measurement System Analysis of Attribute Data) (กิตติศักดิ์ พลอยพาณิชย์เจริญ , การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) 2550) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เลือกสิ่งตัวอย่างในกระบวนการประกอบ ขึ้น ซึ่งสิ่งตัวอย่างจะต้องประกอบไปด้วยตัวอย่างที่มีคุณภาพดี ไม่ดีและก้ำกึ่งหรือมาร์จินอลจำนวนอย่างละ 1 ใน 3 สัดส่วนที่เท่ากัน
2. ตรวจสอบสิ่งตัวอย่างที่ถูกเลือกในกระบวนการประกอบทั้ง 30 ชิ้น โดยวิศวกรฝ่ายคุณภาพ
3. ใช้พนักงานฝ่ายผลิตที่มีทักษะที่ดีในการทำงานกับเครื่องและผ่านการฝึกอบรมมาแล้วจำนวนทั้งสิ้น 3 คน
4. ทำการศึกษากับพนักงานทีละคน โดยให้ทำการตรวจวัดชิ้นงานที่เตรียมไว้ โดยการวัดสิ่งตัวอย่างแบบสุ่ม บันทึกผลที่ได้จากการตรวจวัดลงในแบบฟอร์ม และทำเช่นเดียวกันนี้กับพนักงานอีก 2 คนที่เหลือ
5. บันทึกค่าลงแบบฟอร์มเพื่อทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด ซึ่งการวิเคราะห์จะประกอบไปด้วยดัชนีต่างๆดังต่อไปนี้

$$\% \text{ รัฟฟัฟหะบิลิตี๊ของพนัฟงานตรววจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งัฟผลการตรววจสอบเหมือันกัน}}{\text{จำนวนขึ้นงานตรววจสอบ}}$$

(% Appraiser Score)

$$\% \text{ ความไมัฟอัสของพนัฟงานตรววจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งัฟผลการตรววจสอบเหมือันกันและถูคต้อง}}{\text{จำนวนขึ้นงานตรววจสอบ}}$$

(% Attribute Score)

$$\% \text{ ประสิทธิผลด้านรัฟฟัฟหะบิลิตี๊ของการตรววจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งัฟที่พนัฟงานทุกคนมีผลตรววจสอบเหมือันกัน}}{\text{จำนวนขึ้นงานตรววจสอบ}}$$

(% Screen Effective Score)

$$\% \text{ ประสิทธิผลด้านไบบั๊สของการตรววจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งัฟที่พนัฟงานทุกคนตรววจสอบได้ถูคต้องเหมือันกัน}}{\text{จำนวนขึ้นงานตรววจสอบ}}$$

(% Attribute Screen Effective Score)

เกณทั์ในการยอมรับระบบการวัด

สำหรับเกณทั์ในการยอมรับระบบการวัดของข้อมูลแบบนับของเครื่องมือทดสอบจะใชัอ้างอิงมาจากมาตรฐานการปฏิบัติงานจริงของโรงงานเช่นเดือवनดังต้อไปนี้

ดัชนี	เกณทั์ในการยอมรับ
% รัฟฟัฟหะบิลิตี๊ของพนัฟงานตรววจสอบ	= 100 %
% ความไมัฟอัสของพนัฟงานตรววจสอบ	= 100 %
% ประสิทธิผลด้านรัฟฟัฟหะบิลิตี๊ของการตรววจสอบ	= 100 %
% ประสิทธิผลด้านไบบั๊สของการตรววจสอบ	= 100 %

4.1.1.2.1 ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบนับในสายการประกอบที่ 1

ตารางที่ 4.1 การตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 1 เครื่องที่ 1

Attribute Gage R & R Effectiveness

MIC NAME : CHARACTERISTIC TEST

SCORING REPORT

(HTF3-X6-00442)

DATE: 19-Mar-09

Attribute Legend⁵ (used in computations)

NAME: M.Kittiwat

1 pass

PRODUCT: Base ass'y

2 fail

SITE: B 6/1

Known Population	Operator #1		Operator #2		Operator #3		
Sample #	Attribute	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2
1	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
2	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
3	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
4	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
5	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
6	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
7	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
8	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
9	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
10	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
11	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
12	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
13	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
14	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
15	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
16	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass
17	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
18	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
19	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
20	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
21	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass
22	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
23	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
24	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
25	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
26	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
27	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
28	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
29	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
30	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
% APPRAISER SCORE ⁽¹⁾ ->		100.00%		100.00%		100.00%	
% ATTRIBUTE SCORE ⁽²⁾ ->		93.33%		93.33%		93.33%	
% SCREEN EFFECTIVE SCORE ⁽³⁾ ->						100.00%	
% ATTRIBUTE SCREEN EFFECTIVE SCORE ⁽⁴⁾ ->						93.33%	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 1 เครื่องที่ 2

Attribute Gage R & R Effectiveness

M/C NAME : CHARACTERISTIC TEST

SCORING REPORT

(T1T0800250-1)

DATE: 19-Mar-09

Attribute Legend⁵ (used in computations)

NAME: M.Kittiwat

1 pass

PRODUCT: Base assly

2 fail

SITE: B 6/1

Known Population		Operator #1		Operator #2		Operator #3	
Sample #	Attribute	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2
1	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
2	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
3	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
4	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
5	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
6	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
7	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
8	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
9	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
10	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
11	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
12	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
13	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
14	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
15	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
16	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
17	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
18	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
19	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
20	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
21	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
22	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
23	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
24	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
25	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
26	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
27	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
28	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
29	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
30	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass

% APPRAISER SCORE ⁽¹⁾ ->	100.00%	100.00%	100.00%
% ATTRIBUTE SCORE ⁽²⁾ ->	100.00%	100.00%	100.00%
% SCREEN EFFECTIVE SCORE ⁽³⁾ ->			100.00%
% ATTRIBUTE SCREEN EFFECTIVE SCORE ⁽⁴⁾ ->			100.00%

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test ทั้งเครื่องที่ 1 และ 2 ของสายการประกอบที่ 1 ที่ทำการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้า Hi-pot ซึ่งเป็นแบบค่านับพบว่า เครื่องมือวัดมีความสามารถในการตรวจจับงานและแยกงานดีเสียได้เป็นอย่างดี ในเครื่องที่ 2 ส่วนเครื่องที่ 1 ไม่มีปัญหาในเรื่องการวัดซ้ำของเครื่องแต่พบปัญหาเกี่ยวกับการตรวจจับงานดีเสียไม่ตรงตามมาตรฐานแบบผิดพลาดในเชิงลบ (False Negative) หรือมาตรฐาน

งานเป็น fail แต่เครื่องตรวจจับได้เป็น pass จำเป็นต้องมีการปรับค่าโวลต์เตจของเครื่องเพื่อให้ตรวจจับงานได้

4.1.1.2.2 ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบนับในสายการประกอบที่ 2

ตารางที่ 4.3 ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 2 เครื่องที่ 1

Attribute Gage R & R Effectiveness

MIC NAME : CHARACTERISTIC TEST

SCORING REPORT

(HTF-X1-01422)

DATE: 19-Mar-09

[Attribute Legend⁵](#) (used in computations)

NAME: M.Kittiwat

1 pass

PRODUCT: Base ass'y

2 fail

SITE: B 7/1

Known Population		Operator #1		Operator #2		Operator #3	
Sample #	Attribute	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2
1	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
2	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
3	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
4	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
5	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
6	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
7	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
8	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
9	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
10	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
11	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
12	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
13	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
14	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
15	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
16	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
17	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
18	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
19	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
20	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
21	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
22	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
23	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
24	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
25	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
26	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
27	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
28	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
29	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
30	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass

% APPRAISER SCORE⁽¹⁾ ->

100.00%

100.00%

100.00%

% ATTRIBUTE SCORE⁽²⁾ ->

100.00%

100.00%

100.00%

% SCREEN EFFECTIVE SCORE⁽³⁾ ->

100.00%

% ATTRIBUTE SCREEN EFFECTIVE SCORE⁽⁴⁾ ->

100.00%

ตารางที่ 4.4 ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 2 เครื่องที่ 2

Attribute Gage R & R Effectiveness

M/C NAME : CHARACTERISTIC TEST

SCORING REPORT

(HTF3-X7-00192)

DATE: 19-Mar-09

Attribute Legend⁵ (used in computations)

NAME: M.Kittiwat

1 pass

PRODUCT: Base assy

2 fail

SITE: B 7/1

Known Population		Operator #1		Operator #2		Operator #3	
Sample #	Attribute	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2
1	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
2	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
3	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
4	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
5	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
6	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
7	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
8	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
9	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
10	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
11	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
12	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
13	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
14	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
15	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
16	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
17	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
18	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
19	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
20	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
21	fail	pass	pass	pass	pass	pass	pass
22	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
23	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
24	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
25	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
26	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
27	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
28	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
29	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
30	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
% APPRAISER SCORE ⁽¹⁾ ->		100.00%		100.00%		100.00%	
% ATTRIBUTE SCORE ⁽²⁾ ->		96.67%		96.67%		96.67%	
				% SCREEN EFFECTIVE SCORE ⁽³⁾ ->		100.00%	
				% ATTRIBUTE SCREEN EFFECTIVE SCORE ⁽⁴⁾ ->		96.67%	

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test ทั้งเครื่องที่ 1 และ 2 ของสายการประกอบที่ 2 ที่ทำการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้า Hi-pot ซึ่งเป็นแบบค่านับพบว่า เครื่องมือวัดมีความสามารถในการตรวจจับงานและแยกงานดีเสียได้เป็นอย่างดี ในเครื่องที่ 1 ส่วนเครื่องที่ 2 ไม่มีปัญหาในเรื่องการวัดซ้ำของเครื่องแต่พบปัญหาเกี่ยวกับการตรวจจับงานดีเสียไม่ตรงตามมาตรฐานแบบผิวดลาดในเชิงลบ (False Negative) หรือมาตรฐาน

งานเป็น fail แต่เครื่องตรวจจับได้เป็น pass จำเป็นต้องมีการปรับค่าโวลต์เตจของเครื่องเพื่อให้ตรวจจับงานได้เช่นเดียวกับเครื่องที่ 1 ของสายการประกอบที่ 1

4.1.1.2.3 ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบนับในสายการประกอบที่ 3

ตารางที่ 4.5 ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 3 เครื่องที่ 1

Attribute Gage R & R Effectiveness

MIC NAME : CHARACTERISTIC TEST

SCORING REPORT

(HTF3-X4-00398)

DATE: 19-Mar-09

Attribute Legend⁵ (used in computations)

NAME: M.Kittiwat

1 pass

PRODUCT: Base ass'y

2 fail

SITE: B 8/1

Sample #	Attribute	Operator #1		Operator #2		Operator #3	
		Try #1	Try #2	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2
1	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
2	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
3	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
4	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
5	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
6	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
7	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
8	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
9	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
10	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
11	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
12	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
13	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
14	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
15	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
16	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
17	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
18	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
19	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
20	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
21	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
22	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
23	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
24	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
25	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
26	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
27	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
28	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
29	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
30	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
% APPRAISER SCORE ⁽¹⁾ ->		100.00%		100.00%		100.00%	
% ATTRIBUTE SCORE ⁽²⁾ ->		100.00%		100.00%		100.00%	
		% SCREEN EFFECTIVE SCORE ⁽³⁾ ->				100.00%	
		% ATTRIBUTE SCREEN EFFECTIVE SCORE ⁽⁴⁾ ->				100.00%	

ตารางที่ 4.6 ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 3 เครื่องที่ 2

Attribute Gage R & R Effectiveness

M/C NAME : CHARACTERISTIC TEST

SCORING REPORT

(AF3-TF-2005-07003)

DATE: 18-Mar-09

Attribute Legend⁵ (used in computations)

NAME: M.Kittiwat

1 pass

PRODUCT: Base assly

2 fail

SITE: B 8/1

Known Population		Operator #1		Operator #2		Operator #3	
Sample #	Attribute	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2
1	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
2	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
3	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
4	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
5	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
6	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
7	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
8	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
9	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
10	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
11	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
12	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
13	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
14	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
15	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
16	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
17	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
18	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
19	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
20	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
21	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
22	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
23	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
24	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
25	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
26	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
27	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
28	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
29	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
30	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass

% APPRAISER SCORE ⁽¹⁾ ->	100.00%	100.00%	100.00%
% ATTRIBUTE SCORE ⁽²⁾ ->	100.00%	100.00%	100.00%
% SCREEN EFFECTIVE SCORE ⁽³⁾ ->			100.00%
% ATTRIBUTE SCREEN EFFECTIVE SCORE ⁽⁴⁾ ->			100.00%

พิจารณาจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test ทั้งเครื่องที่ 1 และ 2 ของสายการประกอบที่ 3 ที่ทำการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้า Hi-pot ซึ่งเป็นแบบ คำนับพบว่า เครื่องมือวัดมีความสามารถในการตรวจจับงานและแยกงานดีเสียได้เป็นอย่างดีในทั้ง ในเครื่องที่ 1 และเครื่องที่ 2 ไม่มีปัญหาในเรื่องการวัดซ้ำของเครื่องและไม่พบปัญหาเกี่ยวกับการ ตรวจจับงานดีเสียไม่ตรงตามมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์พบว่าเครื่องที่ 1 ของสายการประกอบที่ 1 และเครื่องที่ 2 ของสายการ ประกอบที่ 2 ยังไม่มีความสามารถในการตรวจจับงานที่ดีตามมาตรฐานที่ตั้งไว้ จำเป็นต้องมีการ

ปรับเครื่องเพื่อให้สามารถตรวจใช้งานได้โดยการปรับค่าโวลต์เตจให้ได้ตามมาตรฐานของลูกค้ำที่กำหนดไว้ให้โดยสามารถตรวจใช้งานได้ที่380 V. โดยเมื่อทำการปรับค่าโวลต์เตจของเครื่องแล้วทำการทดสอบความแม่นยำด้วยการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบค่านับอีกครั้งผลเป็นดังนี้

4.1.1.2.4 ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบนับในสายการประกอบที่ 1 เครื่องที่ 1 ที่ผ่านการปรับตั้งแล้ว

ตารางที่ 4.7 ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 1 เครื่องที่ 1 (ปรับเครื่องแล้ว)

Attribute Gage R & R Effectiveness

M/C NAME : CHARACTERISTIC TEST

SCORING REPORT

(HTF3-X6-00442)

DATE: 20-Mar-09

Attribute Legend⁵ (used in computations)

NAME: M.Kittiwat

1 pass

PRODUCT: Base ass'y

2 fail

SITE: B 6/1

Sample #	Known Population Attribute	Operator #1		Operator #2		Operator #3	
		Try #1	Try #2	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2
1	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
2	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
3	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
4	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
5	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
6	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
7	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
8	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
9	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
10	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
11	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
12	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
13	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
14	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
15	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
16	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
17	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
18	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
19	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
20	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
21	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
22	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
23	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
24	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
25	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
26	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
27	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
28	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
29	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
30	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
% APPRAISER SCORE ⁽¹⁾ ->		100.00%		100.00%		100.00%	
% ATTRIBUTE SCORE ⁽²⁾ ->		100.00%		100.00%		100.00%	
		% SCREEN EFFECTIVE SCORE ⁽³⁾ ->				100.00%	
		% ATTRIBUTE SCREEN EFFECTIVE SCORE ⁽⁴⁾ ->				100.00%	

4.1.1.2.5 ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบนับในสายการประกอบที่ 2 เครื่องที่ 2 ที่ผ่านการปรับตั้งแล้ว

ตารางที่ 4.8 ผลการตรวจวัดการวิเคราะห์ระบบการวัดของสายการประกอบที่ 2 เครื่องที่ 2 (ปรับเครื่องแล้ว)

Attribute Gage R & R Effectiveness

M/C NAME : CHARACTERISTIC TEST

SCORING REPORT

(HTF3-X7-00192)

DATE: 20-Mar-09

Attribute Legend⁵ (used in computations)

NAME: M.Kittiwat

1 pass

PRODUCT: Base ass'y

2 fail

SITE: B 7/1

Known Population		Operator #1		Operator #2		Operator #3	
Sample #	Attribute	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2
1	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
2	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
3	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
4	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
5	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
6	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
7	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
8	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
9	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
10	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
11	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
12	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
13	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
14	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
15	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
16	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
17	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
18	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
19	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
20	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
21	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
22	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
23	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
24	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
25	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
26	fail	fail	fail	fail	fail	fail	fail
27	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
28	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
29	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
30	pass	pass	pass	pass	pass	pass	pass
% APPRAISER SCORE ⁽¹⁾ ->		100.00%		100.00%		100.00%	
% ATTRIBUTE SCORE ⁽²⁾ ->		100.00%		100.00%		100.00%	
				% SCREEN EFFECTIVE SCORE ⁽³⁾ ->		100.00%	
				% ATTRIBUTE SCREEN EFFECTIVE SCORE ⁽⁴⁾ ->		100.00%	

การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของเครื่อง Characteristic test ทั้งเครื่องที่ 1 ของสายการประกอบที่ 1 และ เครื่องที่ 2 ของสายการประกอบที่ 2 ที่ทำการตรวจวัดค่าทางไฟฟ้า Hi-pot ซึ่งเป็นแบบค่านับหลังการปรับเครื่องพบว่า เครื่องมือวัดมีความสามารถในการตรวจจับ

งานและแยกงานดีเสียได้เป็นอย่างดีเป็นปกติทั้งสองเครื่อง ไม่มีปัญหาในเรื่องการวัดซ้ำของเครื่อง และไม่พบปัญหาเกี่ยวกับการตรวจจ้างงานดีเสียไม่ตรงตามมาตรฐานอีก

สรุปการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดกับเครื่องทดสอบทางไฟฟ้าเพื่อตรวจจับลักษณะงานเสีย Open Circuit ที่ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลแบบผันแปรพบว่าเครื่องทดสอบมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและสามารถยอมรับได้ และการตรวจสอบลักษณะงานเสีย Hi-pot ที่ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลแบบนับพบว่าเครื่องที่ 1 ของสายการประกอบที่ 1 และเครื่องที่ 2 ของสายการประกอบที่ 2 ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานโดยมีการตัดสินใจงานตัวอย่างผิดพลาดแบบในเชิงลบหรือ False Negative คือตัดสินใจงานเสียเป็นงานดีจึงต้องมีการแก้ไขเครื่องทดสอบโดยด่วนโดยมีการปรับค่าโวลต์เตจของเครื่องใหม่ตามค่ามาตรฐานของลูกค้าจากนั้นทำการวิเคราะห์อีกครั้งพบว่าเครื่องทดสอบในลักษณะงานเสีย Hi-pot สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานและสามารถยอมรับได้ทั้งสองลักษณะอาการเสีย

4.2 การวิเคราะห์ปัญหาจากแผนผังสาเหตุและผล

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ความแม่นยำและมีความเชื่อมั่นในระบบการวัดแล้วขั้นตอนต่อไปคือการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยมีขั้นตอนต่างๆดังนี้คือ

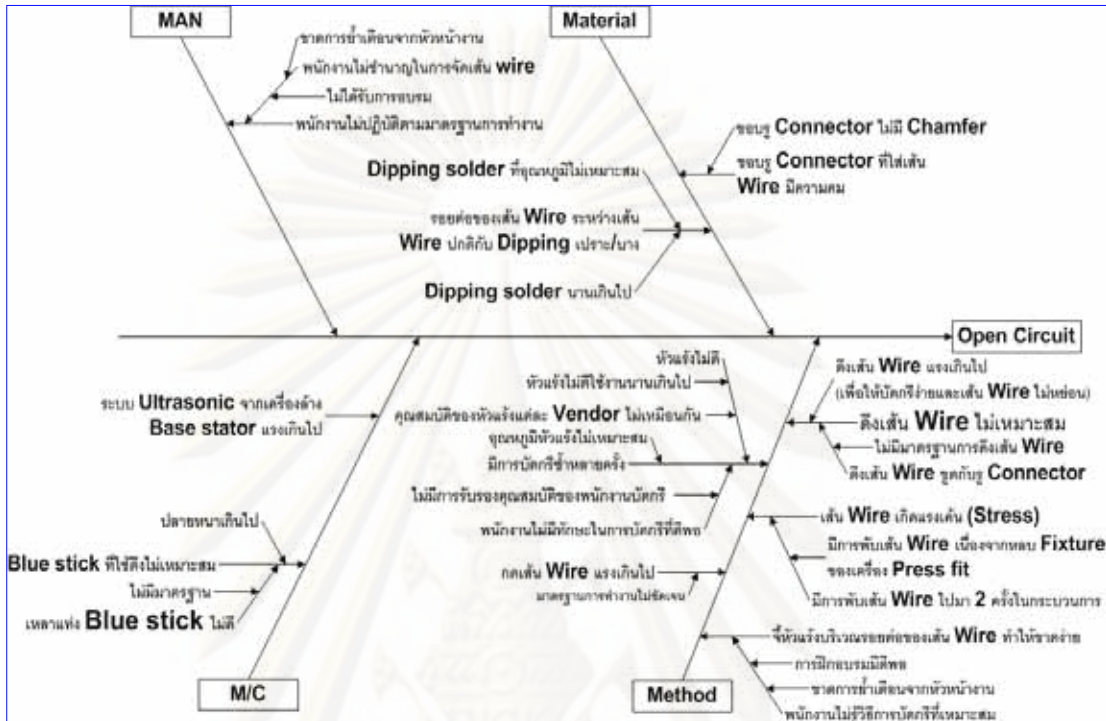
- 1.ศึกษากระบวนการประกอบฐานรองรับมอเตอร์อย่างละเอียดโดยเฉพาะกระบวนการที่คาดว่าจะเกี่ยวข้อง
- 2.ระดมสมองจากทีมงานที่มีความเชี่ยวชาญจากส่วนงานต่างๆ เพื่อระบุปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหาทั้งลักษณะงานเสีย Open Circuit และ Hi-pot โดยนำเครื่องมือคือแผนภูมิเหตุและผลหรือ Cause & Effect Diagram มาประยุกต์ใช้โดยทีมงานทุกคนต่างมีความคิดที่เป็นอิสระวิเคราะห์แยกปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาตามแหล่งที่มา ดังรูปข้างล่าง
- 3.นำปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นมาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) แยกตามปัจจัยต่างๆ โดยใช้เกณฑ์ในการพิจารณาคะแนนตามค่า RPN (Risk Priority Number) และเรียงลำดับจากมากไปน้อย

4.2.1 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา Open Circuit

4.2.1.1 ปัญหาทางด้านไฟฟ้าในส่วนของ Open Circuit

ปัญหา Open Circuit หรือวงจรในขดลวด Stator ขาดนั้นมีสาเหตุที่เป็นไปได้หลายสาเหตุด้วยกัน ซึ่งจากการระดมสมองของคณะทำงานที่มีความเชี่ยวชาญในด้านต่างๆ ได้ช่วยกันหาสาเหตุของปัญหา Open Circuit โดยใช้ผังก้างปลาหรือผังเหตุและผล (Cause & Effect

Diagram) ดังแผนภูมิ พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวสามารถเป็นไปได้ทั้งจากการทำงานของพนักงาน เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในการทำงาน วิธีการทำงานเอง หรือแม้กระทั่ง วัสดุที่ใช้ในการประกอบเช่นตัว Stator



รูปที่ 4.19 แผนภูมิเหตุและผลของปัญหา Open Circuit

สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน

ปัญหาการขาดของวงจรหรือ Open Circuit อันเนื่องมาจากพนักงานเองอาจเกิดได้จากการที่ พนักงานไม่ได้ปฏิบัติตามวิธีการทำงานที่ได้กำหนดไว้ ในกระบวนการการจัดเส้น wire ก่อนการบัดกรีเนื่องจากกระบวนการนี้ยังต้องอาศัยทักษะของพนักงานในการทำงาน การออกแรงดึงเส้น wire ในการจัดมากเกินไปหรือการหักงอเส้น wire มากครั้งเกินไปจะทำให้เส้น wire เกิดแรงดึงหรือแรงเค้นสะสมตรงบริเวณจุดที่เส้น wire งอซึ่งเป็นปัญหาทำให้เส้น wire ขาดเป็นปัญหาให้เกิด Open Circuit ในที่สุด แต่หากการจัดเส้น wire ไม่เหมาะสม ก็จะเป็นปัญหาให้กระบวนการถัดไปทำงานลำบากคือการบัดกรีระหว่างเส้น wire กับ connector ให้วงจรเชื่อมต่อกันอย่างยากและทำให้เกิดเป็นปัญหาอื่นๆตามมาเช่นการบัดกรีไม่สมบูรณ์

สาเหตุที่เกิดจากวัสดุ

สาเหตุอันเนื่องมาจากวัสดุที่ใช้ประกอบ เป็นสาเหตุหนึ่งที่คณะทำงานเห็นว่าเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาคือตัว Connector ที่ให้ประกอบเนื่องจากขอบของรู Connector Pad ที่ใส่เส้น wire ไม่มี Chamfer เพื่อลดความคมในการสัมผัส ดังนั้นในกระบวนการการจัดเส้น wire ที่

พนักงานต้องจัดก่อนกระบวนการบัดกรีจึงมีความเป็นไปได้ว่าขอบที่มีความคมของ Connector Pad จะไปทำให้เส้น wire เกิดรอยขีดข่วนหรือรอยบากที่อาจนำมาซึ่งการขาดของเส้นขดลวด stator แต่จากการพิจารณาของคณะทำงานมีความเห็นว่าค่อนข้างที่จะอยู่นอกเหนือการควบคุม เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงหรือการวิเคราะห์ใดๆ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากลูกค้าเนื่องจาก ต้องมีการเปลี่ยนแปลงแบบและโมลด์ในกระบวนการผลิต Connector ซึ่งมีผลกระทบสูง อีกสาเหตุหนึ่งที่เป็นส่วนสำคัญคือความเปราะหรือบางมากกว่าปกติของเส้น wire ที่ผ่านกระบวนการ ชุบตะกั่วมาแล้วจากโรงงานผู้ส่งมอบการใช้อุณหภูมิในการชุบที่สูงมากเกินไปจะทำให้เส้น wire มีความเปราะและมีขนาดของเส้นที่ลดลง ทั้งนี้รวมถึงเวลาที่ใช้ในการชุบด้วย

สาเหตุที่เกิดจากวิธีการในการทำงาน

สาเหตุอันเนื่องมาจากวิธีการ อาจเกิดได้จากการกระบวนการการจัดเส้น wire ก่อนการ บัดกรีเนื่องจากพนักงานแต่ละคนจะทำตามความถนัดของแต่ละคน ไม่มีวิธีการกำหนดที่แน่นอน รวมถึงไม่มีการฝึกอบรม พนักงานบางคนจึงออกแรงในการดึงมากหรือพับเส้น wire ไปมาหลาย รอบเป็นผลให้เกิดแรงเค้นสะสมในขดลวด Stator ค่อนข้างมากเพราะเส้น wire มีขนาดเล็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายในกระบวนการเองได้ถูกออกแบบมาแล้วให้เกิดการพับเส้น wire สองรอบ เนื่องจากป้องกันไม่ให้เส้น wire เสียหายในกระบวนการก่อนหน้าการจัดเส้น wire คือกระบวนการ Press Fit หรือการบัดกรีเส้น wire จากขดลวด Stator ให้เชื่อมกับ Connector ไปมาหลายครั้งใน กระบวนการบัดกรีเนื่องจากพนักงานไม่มีทักษะเพียงพอในการบัดกรี หรือการตั้งอุณหภูมิที่หัวแร้ง ที่ไม่เหมาะสมกับเส้น wire ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เส้น wire มีความแข็งแรงที่ลดลง หรือแม้ความ สกปรกของหัวแร้งหรือการใช้งานเกินกำหนดอายุการใช้งาน

สาเหตุที่เกิดจากเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการทำงาน

สาเหตุอันเนื่องมาจากวิธีการในปัญหา Open Circuit คือใช้แท่ง Blue Stick ในการช่วย จัดเส้น wire เนื่องจากก่อนการนำใช้จำเป็นต้องมีการเหลาแท่ง Blue Stick เสียก่อนการเหลาแท่ง ดังกล่าวที่มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้เส้น wire ไม่เข้ารูปที่อยู่ในลักษณะที่ดีต่อการบัดกรีใน กระบวนการถัดไป ซึ่งทำให้พนักงานต้องออกแรงเพิ่มขึ้นในการจัดเส้น wire ซึ่งจะเป็นการเพิ่มแรง ดึงต่อเส้นขดลวด Stator หรืออีกสาเหตุหนึ่งที่คณะทำงานเห็นว่าเป็นสาเหตุสำคัญคือการใช้ระบบ Ultra Sonic ในเครื่องล้าง Motor base เนื่องจาก Ultra Sonic ที่กำลังสูงเกินไปจะส่ง แรงสั่นสะเทือนผ่านน้ำ DI ซึ่งทำให้เส้น wire ที่อาจมีแรงเค้นสะสมอยู่เกิดขาดขึ้นมาได้

4.2.1.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ในปัญหา Open Circuit

หลังจากที่ได้วิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยจากแผนภูมิเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) ที่มีผลกระทบต่อปัญหาแล้ว จากนั้นคณะทำงานได้นำปัจจัยดังกล่าวได้มาวิเคราะห์ลักษณะของ

ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อศึกษาถึงลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นโดยใช้เกณฑ์การพิจารณาให้คะแนนของค่า RPN หรือ Risk Priority Number โดยการให้คะแนนดังกล่าวจะมาจากการระดมสมองของคณะทำงานเพื่อถ่วงน้ำหนักปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหานั้นจริงๆ และใช้แผนภูมิพาเรโตในการจัดลำดับเพื่อนำปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาที่วิเคราะห์ได้ไปทดสอบสมมติฐานต่อไป

การวิเคราะห์ FMEA นี้จะคำนึงปัจจัย 3 ปัจจัยคือความร้ายแรงของผลกระทบของข้อบกพร่องหรือ Severity (SEV) โอกาสของสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องนั้นหรือ Occurrence (OCC) และความสามารถในการตรวจจับหรือป้องกันสาเหตุหรือ Detection (DET) และนำมาซึ่งค่า RPN ที่เกิดจากการคูณกันของปัจจัยทั้ง 3 คือ $S \times O \times D$ ซึ่งจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1000 เมื่อ $10 \times 10 \times 10$ และน้อยสุดเท่ากับ 1 เมื่อ $1 \times 1 \times 1$

ตารางที่ 4.9 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหา Open Circuit (Key Process Input Variable; KPIV)

	สรุปสาเหตุที่ควบคุมได้และจะถูกนำไปพิจารณาในการแก้ไข
สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน	1 พนักงานไม่มีทักษะความชำนาญในกระบวนการจัดเส้น wire
สาเหตุที่เกิดจากวัสดุ	2 คุณหมูมิในการชุบตะกั่วของ Stator (Dipping) ไม่เหมาะสม 3 เวลาในการชุบตะกั่วของ Stator (Dipping) นานเกินไป 4 ขอบของรูของ Connector ที่ใส่เส้น wire มีความคมเนื่องจากไม่มี Chamfer
สาเหตุที่เกิดจากวิธีการทำงาน	5 ดึงเส้น wire เพื่อการบัดกรีโดยใช้แรงมากเกินไป 6 ดึงเส้น wire เพื่อการบัดกรีโดยไปครูดกับรูของ Connector 7 เส้น wire เกิดแรงเค้นเนื่องจากในกระบวนการจะมีการพับเส้น wire ไปมา 2 ครั้งก่อนการบัดกรี 8 กดเส้น wire หลังการจัดแล้วแรงเกินไปในกระบวนการจัดเส้น wire 9 การจี้หัวแร้งบริเวณรอยต่อของการชุบตะกั่วของเส้น wire ซึ่งเป็นจุดที่มีขนาดของเส้น wire ค่อนข้างเล็กกว่าปกติ 10 คุณหมูมิหัวแร้งไม่เหมาะสม 11 หัวแร้งมีการใช้งานเกินอายุ 12 คุณสมบัติของหัวแร้งแต่ละผู้ผลิตไม่เหมือนกัน 13 พนักงานไม่มีทักษะในการบัดกรีในกระบวนการบัดกรีที่ดีพอ

ตารางที่ 4.10 วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบลักษณะอาการเสีย Open Circuit

Product name : Brink 1D

Process : Material , Adjust wire process , Soldering process and Customer

Core Team : QA., Eng., PD. and SQE.

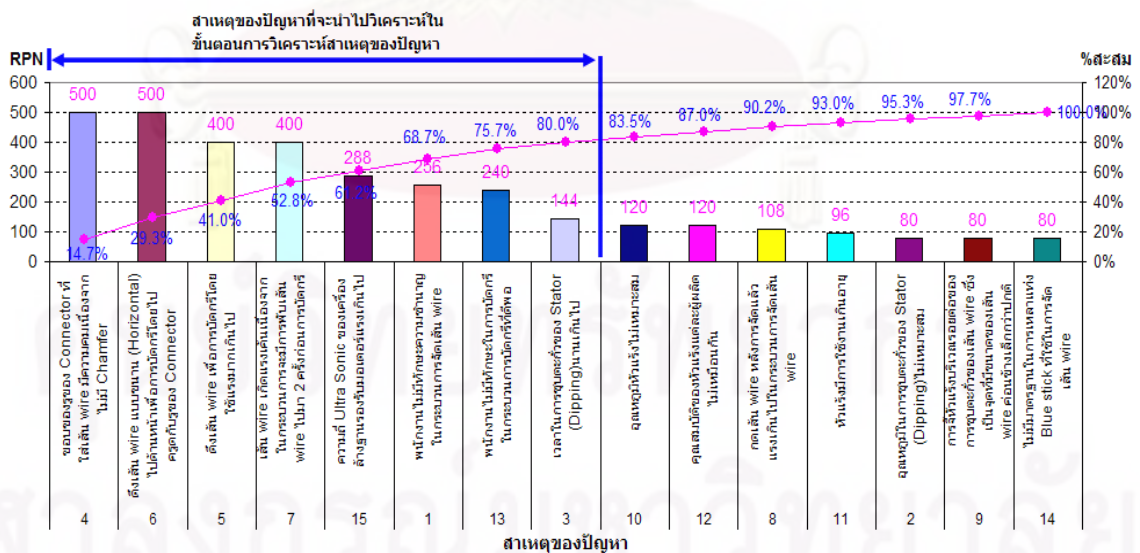
Function	Process	Item	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Current Process Controls Prevention	Occurrence	Current Process Controls Detection	Detection	RPN
สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน	Adjust wire process	1	เส้น wire เป็นรอยบิ่นเนื่องจากพนักงานยังไม่มีชำนาญพอ	เส้น wire ขาด	4	พนักงานไม่มีทักษะความชำนาญในกระบวนการจัดเส้น wire	-	8	-	8	256
สาเหตุที่เกิดจากรัสต์	Material process	2	อุณหภูมิสูงเกินไปขนาดเส้น wire จะมีขนาดยิ่งเล็กลง	เส้น wire ขาด	2	อุณหภูมิในการชุบตะกั่วของ Stator (Dipping) ไม่เหมาะสม	เช็คตามข้อกำหนด (มีปมและหน้าปิดบอกอุณหภูมิ)	4	-	10	80
		3	เวลาชุบตะกั่วนานเกินไปขนาดเส้น wire จะยังมีขนาดเล็กลง	เส้น wire ขาด	4	เวลาในการชุบตะกั่วของ Stator (Dipping) นานเกินไป	เช็ค Cycle time ตามข้อกำหนด	6	-	6	144
		4	เส้น wire เป็นรอยบิ่นจากการครูดกับความคมของรู Connector	เส้น wire ขาด	5	ขอบของรูของ Connector ที่ใส่เส้น wire มีความคมเนื่องจากไม่มี Chamfer	-	10	-	10	500
สาเหตุที่เกิดจากวิธีการทำงาน	Adjust wire process	5	เส้น wire เป็นรอยบิ่นหรือขาดเนื่องจากแรงที่ดึงไปครูดกับ Connector	เส้น wire ขาด	5	ดึงเส้น wire เพื่อการบัดกรีโดยใช้แรงมากเกินไป	-	8	-	10	400
		6	เส้น wire เป็นรอยบิ่นจากการดึงแบบขนาน (Horizontal) ไปด้านหน้า	เส้น wire ขาด	5	ดึงเส้น wire แบบขนาน (Horizontal) ไปด้านหน้าเพื่อการบัดกรีโดยไปครูดกับรูของ Connector	-	10	-	10	500
		7	เส้น wire เกิดแรงเค้นและมีความล้าจากการพับเส้น wire 2 ครั้ง	เส้น wire ขาด	4	เส้น wire เกิดแรงเค้นเนื่องจากในกระบวนการจะมีการพับเส้น wire ไปมา 2 ครั้งก่อนการบัดกรี	-	10	-	10	400
		8	เส้น wire มีรอยพับเกิดแรงเค้นและมีความล้า	เส้น wire ขาด	3	กดเส้น wire หลังการจัดแล้วแรงเกินไปในกระบวนการจัดเส้น wire	-	6	-	6	108

ตารางที่ 4.10 วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบลักษณะอาการเสีย Open Circuit (ต่อ)

Function	Process	Item	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Current Process Controls Prevention	Occurrence	Current Process Controls Detection	Detection	RPN
สาเหตุที่เกิดจากวิธีการทำงาน	Soldering process	9	บัดกรีเส้น wire บริเวณรอยต่อของ dipping ทำให้เส้น wire บางยิ่งขึ้น	เส้น wire ขาด	2	การจี้หัวแรงบริเวณรอยต่อของการชุบตะกั่วของเส้น wire ซึ่งเป็นจุดที่มีขนาดของเส้น wire ค่อนข้างเล็กกว่าปกติ	มาตรฐานวิธีการปฏิบัติงานการบัดกรี	4	-	10	80
		10	ใช้อุณหภูมิบัดกรีสูงเกินไป ขนาดเส้น wire ตรงรอยต่อของการบัดกรีจะยิ่งเล็กลง	เส้น wire ขาด	4	อุณหภูมิหัวแรงไม่เหมาะสม	เช็ดตามข้อกำหนด (มีปมและหน้าปิดบอกอุณหภูมิ)	6	-	5	120
		11	หัวแรงเสื่อมต้องใช้อุณหภูมิสูงเกินกว่าที่กำหนดและ/หรือ บัดกรีหลายรอบ	เส้น wire ขาด	4	หัวแรงมีการใช้งานเกินอายุ	จำกัดอายุการใช้งานตามมาตรฐาน	6	สังเกตจากสภาพของหัวแรงและการใช้งาน	4	96
		12	ทำให้อุณหภูมิความร้อนที่ปลายหัวแรงสูงกว่าปกติ	เส้น wire ขาด	3	คุณสมบัติของหัวแรงแต่ละผู้ผลิตไม่เหมือนกัน	1. เช็ดอุณหภูมิตามข้อกำหนด 2. สอบเทียบอุณหภูมิ	4	-	10	120
		13	พนักงานต้องบัดกรีหลายรอบ ยิ่งทำให้ขนาดเส้น wire ลดลง	เส้น wire ขาด	4	พนักงานไม่มีทักษะในการบัดกรีในกระบวนการบัดกรีที่ตีพอ	ระบบการฝึกอบรม	6	-	10	240
สาเหตุที่เกิดจากเครื่องมือ/เครื่องจักร	Adjust wire process	14	เหลาแท่ง Blue stick ไม่เหมาะสมทำให้ต้องออกแรงในการดึงเส้น wire มาก	เส้น wire ขาด	4	ไม่มีมาตรฐานในการเหลาแท่ง Blue stick ที่ใช้ในการจัดเส้น wire	กำหนดมาตรฐานรูปทรงการเหลาของแท่ง Blue stick	5	สามารถมองเห็นได้ด้วยตาพนักงานตรวจสอบก่อนเริ่มงาน	4	80
	Customer process	15	ความถี่จากเครื่อง Ultra Sonic ไปทำให้เส้น wire เกิดแรงสั่นสะเทือนมากเกินไป	เส้น wire ขาด	6	ความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้างฐานรองรับมอเตอร์แรงเกินไป	ใช้งานตามคู่มือของเครื่องจักร	8	ใบตรวจสอบหน้าเครื่อง	6	288

ตารางที่ 4.11 สาเหตุของปัญหาหรือปัจจัยนำเข้า (KPIV) และค่า RPN

Item	Potential Causes of Failure	RPN
4	ขอบของรูของ Connector ที่ใส่เส้น wire มีความคมเนื่องจากไม่มี Chamfer	500
6	ดึงเส้น wire แบบขนาน (Horizontal) ไปด้านหน้าเพื่อการบัดกรีโดยไปครูดกับรูของ Conn	500
5	ดึงเส้น wire เพื่อการบัดกรีโดยใช้แรงมากเกินไป	400
7	เส้น wire เกิดแรงเค้นเนื่องจากในกระบวนการจะมีการพับเส้น wire ไปมา 2 ครั้งก่อนการบัด	400
15	ความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้างฐานรองรับมอเตอร์แรงเกินไป	288
1	พนักงานไม่มีทักษะความชำนาญในกระบวนการจัดเส้น wire	256
13	พนักงานไม่มีทักษะในการบัดกรีในกระบวนการบัดกรีที่ดีพอ	240
3	เวลาในการชุบตะกั่วของ Stator (Dipping) นานเกินไป	144
10	อุณหภูมิหัวแร้งไม่เหมาะสม	120
12	คุณสมบัติของหัวแร้งแต่ละผู้ผลิตไม่เหมือนกัน	120
8	กดเส้น wire หลังการจัดแล้วแรงเกินไปในกระบวนการจัดเส้น wire	108
11	หัวแร้งมีการใช้งานเกินอายุ	96
2	อุณหภูมิในการชุบตะกั่วของ Stator (Dipping) ไม่เหมาะสม	80
9	การจี้หัวแร้งบริเวณรอยต่อของการชุบตะกั่วของเส้น wire ซึ่งเป็นจุดที่มีขนาดของเส้น wire	80
14	ไม่มีมาตรฐานในการเหลาแท่ง Blue stick ที่ใช้ในการจัดเส้น wire	80



รูปที่ 4.20 แผนภูมิพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยจากค่า RPN ของลักษณะอาการเสีย

Open Circuit

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบหรือ FMEA ของลักษณะอาการเสีย Open Circuit และได้นำปัจจัยนำเข้าดังกล่าวมาทำการเรียงลำดับจากค่าคะแนน RPN ด้วยแผนภูมิพาเรโต้ จะพบว่ามีปัจจัยนำเข้ที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไปในขั้นตอนต่อไป 8 ปัจจัย ซึ่งคิดเป็น 79.3% ของปัจจัยรวมทั้งหมดดังนี้คือ

ตารางที่ 4.12 ปัจจัยนำเข้ 8 ปัจจัยที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไปของปัญหา Open Circuit

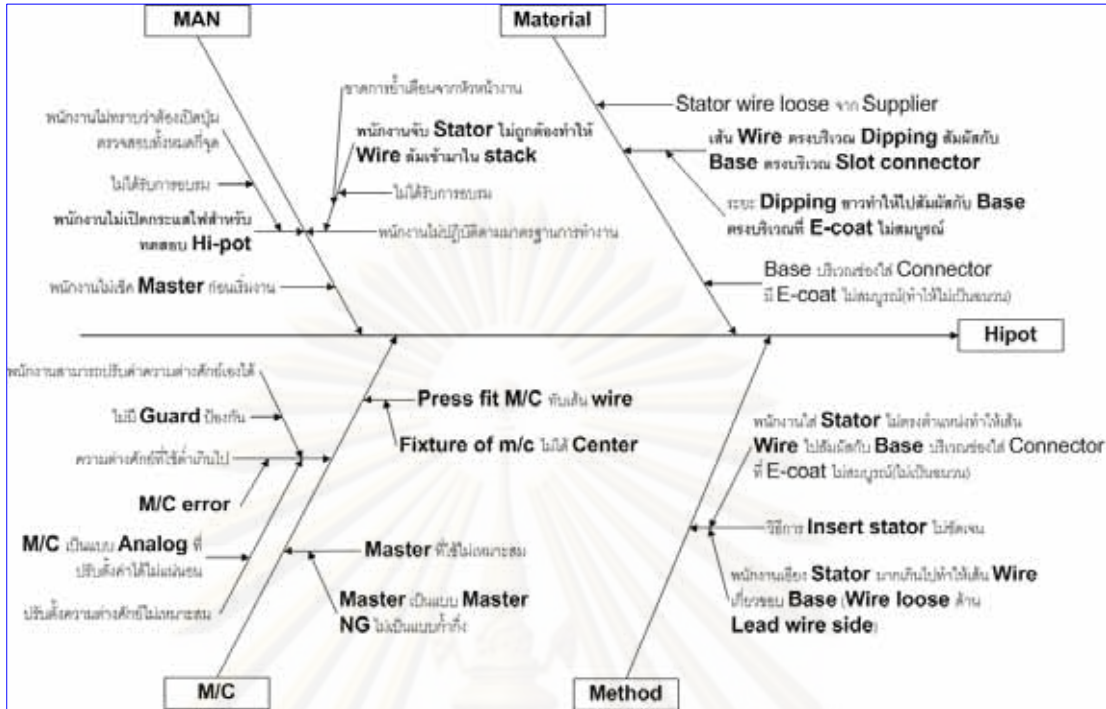
Item	Potential Causes of Failure
4	ขอบของรูของ Connector ที่ใส่เส้น wire มีความคมเนื่องจากไม่มี Chamfer
6	ดึงเส้น wire แบบขนาน (Horizontal) ไปด้านหน้าเพื่อการบัดกรีโดยไปครูดกับรูของ Connector
5	ดึงเส้น wire เพื่อการบัดกรีโดยใช้แรงมากเกินไป
7	เส้น wire เกิดแรงเค้นเนื่องจากในกระบวนการจะมีการพับเส้น wire ไปมา 2 ครั้งก่อนการบัดกรี
15	ความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้างฐานรองรับมอเตอร์แรงเกินไป
1	พนักงานไม่มีทักษะความชำนาญในกระบวนการจัดเส้น wire
13	พนักงานไม่มีทักษะในการบัดกรีในกระบวนการบัดกรีที่ดีพอ
3	เวลาในการชุบตะกั่วของ Stator (Dipping) นานเกินไป

4.2.2 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา Hi-pot

4.2.2.1 ปัญหาทางด้านไฟฟ้าในส่วนของ Hi-pot

ปัญหา Hi-pot หรือกระแสไฟฟ้าในขดลวด Stator รั่วไหลจากวงจรไปยังตัว Base ก็มีสาเหตุที่เป็นไปได้หลายสาเหตุเช่นเดียวกัน การหาสาเหตุของปัญหา Hi-pot โดยใช้ผังก้างปลาหรือผังเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวสามารถเป็นไปได้ทั้งจากการทำงานพนักงาน เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในการทำงาน วิธีการทำงานเอง หรือแม้กระทั่งวัสดุที่ใช้ในการประกอบเช่นตัว Stator เช่นเดียวกัน จากการระดมสมองของคณะทำงานสามารถอธิบายสาเหตุของปัญหาได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.21 แผนภาพเหตุและผลของปัญหา Hi-pot

สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน

สาเหตุของปัญหา Hi-pot หรือการลัดวงจรลง Base อันเนื่องมาจากพนักงานเอง อาจเกิดได้จากการที่ พนักงานไม่มีทักษะในกระบวนการการใส่ Stator ประกอบเข้ากับ Base เนื่องจากการใส่ Stator ไม่เหมาะสมจะทำนิ้วมือไปโดนเส้น Wire หรือเกี่ยวกับ Base บริเวณ ID. Boss จนทำให้เส้น wire หลุดออกมานอก Stack ได้และจะทำให้ถูกกดทับโดยเครื่องกด Stator ในกระบวนการ Press Fit ในที่สุด

สาเหตุที่เกิดจากวัสดุ

สาเหตุอันเนื่องมาจากวัสดุที่ใช้ประกอบ คือ Stator ที่มาจากผู้ส่งมอบ เกิดการหย่อนออกมานอก Stack ทำให้ถูกกดทับจากเครื่อง Press Fit ในกระบวนการประกอบ Stator โดยกดให้เข้ากับ Base จึงทำให้เส้น wire ที่หย่อนออกมานอกขดลวด Stator ที่พัน wire รอบ Stack ถูกเครื่อง Press Fit กดทับและลัดวงจรลง Base แต่จากการพิจารณาของคณะทำงานมีความเห็นว่าค่อนข้างที่จะควบคุม เนื่องจากเป็นโปรแกรมในการพันขดลวด Stator จากเครื่องอัตโนมัติของผู้ส่งมอบ หรืออาจเกิดจากขอบ Base ตรงบริเวณที่สัมผัสกับบริเวณที่ชุบตะกั่ว หลังจากประกอบ Stator เข้ากับ Base แล้ว มีผิวที่ไม่เสมอกันและทำให้บริเวณดังกล่าวไม่มีการ E-Coat (ไม่ได้ถูกเคลือบฉนวน) เป็นผลให้เกิดการลัดวงจรลง Base เช่นเดียวกัน

สาเหตุที่เกิดจากวิธีการในการทำงาน

สาเหตุอันเนื่องมาจากวิธีการในการทำงานในปัญหา Hi-pot เกิดจากวิธีการใส่ Stator ในการประกอบเข้ากับ Base ไม่ได้ถูกกำหนดชัดเจน เนื่องจากการหยิบจับ Stator ในการใส่ให้เข้ากับ Base นั้นหากจับไม่ดีหรือพนักงานไม่มีทักษะแล้วจะให้นิ้วมือไปโดนเส้น Wire หรือเกี่ยวกับ Base บริเวณ ID. Boss จนทำให้เส้น wire หลุดออกมาจาก Stack ได้และจะทำให้ถูกกดทับโดยเครื่องกด Stator ในกระบวนการ Press Fit หรืออีกสาเหตุหนึ่งในกระบวนการในการตรวจเช็ค Hi-pot คือกระบวนการ Characteristic Test นั้นยังพบว่าสาเหตุที่งานหลุดรอดไปยังลูกค้าเนื่องจาก การที่พนักงานที่ทำหน้าที่ตรวจเช็คไม่ได้เปิดโหมดในการตรวจเช็ค Hi-pot เนื่องจากไม่มีการอบรมวิธีการในการใช้เครื่องทดสอบหรือแม้กระทั่งการเซตค่าโวลต์น้อยกว่าที่มาตรฐานกำหนดทำจนทำให้เครื่องตรวจความผิดปกติไม่พบ

สาเหตุที่เกิดจากเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการทำงาน

ปัญหาทางด้าน Hi-pot ที่มีสาเหตุเกี่ยวกับเครื่องมือเครื่องจักรเกิดได้จาก Fixture ล่างของเครื่อง Press Fit ที่วางงานก่อนเครื่องจะกดบริเวณ Stack ของ Stator โดย Fixture บนไม่ได้ศูนย์กลางทำให้ Fixture บนกดทับโดนบริเวณของเส้น wire ทำให้เกิดการลัดวงจรลง Base คล้ายกับกรณีของเส้น wire หย่อนออกมาจาก Stack นั้นเอง หรืออีกสาเหตุหนึ่งคือกระแสไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบน้อยกว่ามาตรฐานที่กำหนดเนื่องจากการอาศัยทักษะของพนักงานในการปรับแต่งค่ากระแสไฟฟ้าเอง หรือจากการที่เครื่องทดสอบปล่อยค่ากระแสผิดพลาด

4.2.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ(FMEA)ในปัญหา Hipot

เช่นเดียวกับปัญหา Open Circuit หลังจากที่ได้วิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยจากแผนภาพเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) ที่มีผลกระทบต่อปัญหาแล้ว จากนั้นคณะทำงานได้นำปัจจัยดังกล่าวได้มาวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ของปัญหา Hi-pot เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นโดยใช้เกณฑ์การพิจารณาให้คะแนนของค่า RPN หรือ Risk Priority Number โดยการให้คะแนนดังกล่าวจะมาจากการระดมสมองของคณะทำงานเพื่อถกแถลงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหานั้นจริงๆ และใช้แผนภาพพาเรโตในการจัดลำดับเพื่อนำปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหาที่วิเคราะห์ได้ไปทดสอบสมมุติฐานต่อไป

ซึ่งหลักการวิเคราะห์ FMEA นี้จะคำนึงปัจจัย 3 ปัจจัยคือความร้ายแรงของผลกระทบของข้อบกพร่องหรือ Severity (SEV) โอกาสของสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องนั้นหรือ Occurrence (OCC) และความสามารถในการตรวจจับหรือป้องกันสาเหตุหรือ Detection (DET) เช่นเดียวกับปัญหา Open Circuit

ตารางที่ 4.13 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อปัญหา Hi-pot (Key Process Input Variable; KPIV)

	สรุปสาเหตุที่ควบคุมได้และจะถูกนำไปพิจารณาในการแก้ไข
สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน	<p>1 พนักงานไม่มีทักษะในการจับ Stator ทำให้ เส้น Wire ล้มเข้ามาใน Stack</p> <p>2 พนักงานไม่มีทักษะในการใช้งานเครื่องทำให้ไม่ได้เปิดกระแสไฟสำหรับตรวจสอบ Hi-pot</p> <p>3 พนักงานไม่ใช้ Master ในการตรวจสอบก่อนเริ่มงานทำให้ไม่พบข้อผิดพลาดเนื่องจากไม่มีทักษะในการใช้เครื่อง</p>
สาเหตุที่เกิดจากวัสดุ	<p>4 เส้น Wire หย่อนมาจากตัว Stator</p> <p>5 Base บริเวณช่องใส่ Connector มี E-coat ไม่สมบูรณ์ (ทำให้ไม่เป็นฉนวน)</p> <p>6 ระยะเวลา Dipping ตะกั่วของ Stator ยาวทำให้ไปสัมผัสกับ Base ตรงบริเวณที่ E-coat ไม่สมบูรณ์</p>
สาเหตุที่เกิดจากวิธีการทำงาน	<p>7 วิธีการใส่ Stator ไม่ชัดเจน พนักงานเอียง Stator มากเกินไปทำให้เส้น Wire เกี้ยวขอบ Base ทำให้เส้น Wire หย่อน</p> <p>8 พนักงานใส่ Stator ไม่ตรงตำแหน่งทำให้เส้น Wire ไปสัมผัสกับ Base บริเวณช่องใส่ Connector ที่ E-coat ไม่สมบูรณ์(ไม่เป็นฉนวน)</p>
สาเหตุที่เกิดจากเครื่องมือ/เครื่องจักร	<p>9 Fixture ของเครื่อง Press Fit ไม่ได้ Center ทำให้ไปกดทับเส้น Wire ในกระบวนการ Stator Press Fit</p> <p>10 Master ที่ใช้ทดสอบก่อนเริ่มงานไม่เหมาะสมเนื่องจากเป็นแบบ Master NG ที่ค่ากระแสสูงกว่าข้อกำหนด</p> <p>11 ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากพนักงานสามารถปรับเองได้</p> <p>12 ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องเครื่องตรวจสอบทำงานผิดพลาด</p> <p>13 ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากปรับตั้งเครื่องสูงเกินไปจากปุ่มปรับ</p>

ตารางที่ 4.14 วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบลักษณะอาการเสีย Hi-pot

Product name : Brink 1D

Process : Material , Adjust wire process , Soldering process and Customer

Core Team : QA., Eng., PD. and SQE.

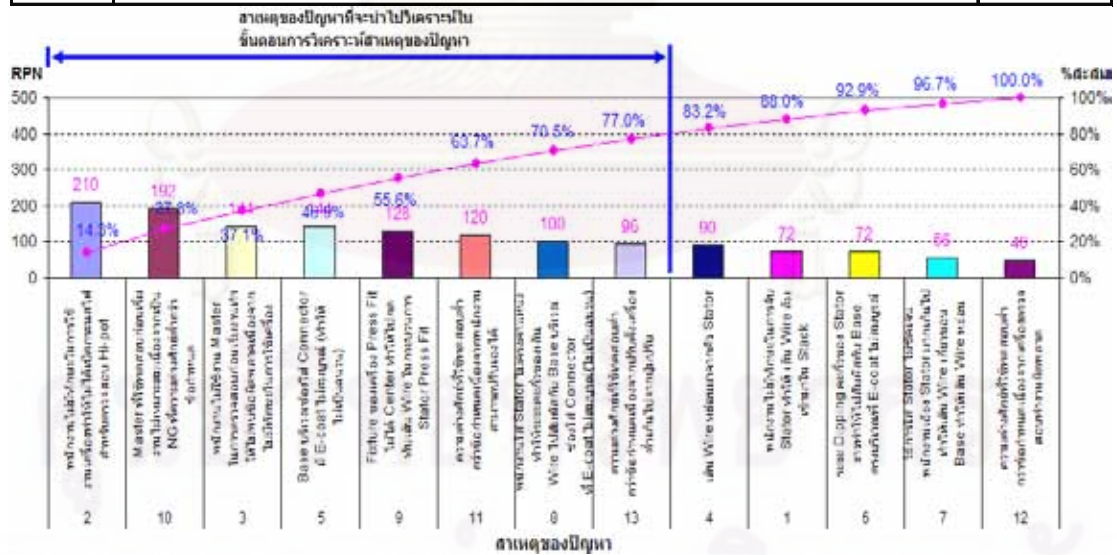
Function	Process	Item	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Current Process Controls Prevention	Occurrence	Current Process Controls Detection	Detection	RPN
สาเหตุที่เกิดจากพนักงาน	Insert Stator Process	1	เส้น Wire ล้มเข้ามาใน Stack	เส้น wire ถูกกดทับจาก Fixture press fit กระแสไหลลง Base (Hi-pot)	3	พนักงานไม่มีทักษะในการจับ Stator ทำให้ เส้น Wire ล้มเข้ามาใน Stack	การอบรมพนักงาน On the job training	6	การตรวจสอบโดยเครื่อง Characteristic Test และการตรวจสอบที่กระบวนการสุดท้าย	4	72
	Characteristic Test Process	2	ไม่ได้เปิดกระแสไฟสำหรับตรวจสอบ Hi-pot	ตรวจไม่พบอาการเสีย Hi-pot	5	พนักงานไม่มีทักษะในการใช้งานเครื่องทำให้ไม่ได้เปิดกระแสไฟสำหรับตรวจสอบ Hi-pot	การอบรมพนักงาน On the job training	7	-	6	210
		3	ไม่ใช้งาน Master ในการตรวจสอบก่อนเริ่มงานทำให้ไม่พบข้อผิดพลาดเนื่องจากไม่มีทักษะในการใช้เครื่อง	ตรวจไม่พบอาการเสีย Hi-pot	4	พนักงานไม่ใช้งาน Master ในการตรวจสอบก่อนเริ่มงานทำให้ไม่พบข้อผิดพลาดเนื่องจากไม่มีทักษะในการใช้เครื่อง	การอบรมพนักงาน On the job training	6	การตรวจสอบบันทึกการตรวจสอบโดย Master	6	144
สาเหตุที่เกิดจากรัสต์	Material Process	4	เส้น Wire หย่อนเข้ามาใน Stack	เส้น wire ถูกกดทับจาก Fixture press fit (Hi-pot)	3	เส้น Wire หย่อนมาจากตัว Stator	-	5	การสุ่มตรวจสอบเพื่อรับเข้าก่อนเริ่มกระบวนการ (Incoming Inspection)	6	90
		5	Base บริเวณช่องใส่ Connector ไม่เป็นฉนวน	กระแส Short ลง Base (Hi-pot)	4	Base บริเวณช่องใส่ Connector มี E-coat ไม่สมบูรณ์ (ทำให้ไม่เป็นฉนวน)	-	6	การสุ่มตรวจสอบเพื่อรับเข้าก่อนเริ่มกระบวนการ (Incoming Inspection)	6	144
		6	ระยะตะกั่วของ Stator ไปสัมผัสกับ Base ตรงบริเวณที่ ไม่เป็นฉนวน	กระแส Short ลง Base (Hi-pot)	3	ระยะ Dipping ตะกั่วของ Stator ยาวทำให้ไปสัมผัสกับ Base ตรงบริเวณที่ E-coat ไม่สมบูรณ์	-	6	การตรวจสอบโดยเครื่อง Characteristic Test และการตรวจสอบที่กระบวนการสุดท้าย	4	72

ตารางที่ 4.14 วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบลักษณะอาการเสีย Hi-pot (ต่อ)

Function	Process	Item	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Current Process Controls Prevention	Occurrence	Current Process Controls Detection	Detection	RPN
สาเหตุที่เกิดจากวิธีการทำงาน	Insert Stator Process	7	เอียง Stator มากเกินไปทำให้เส้น Wire เกี่ยวขอบ Base ทำให้เส้น Wire หยวน	เส้น wire ถูกกดทับจาก Fixture press fit กระแสไหลลง Base	2	วิธีการใส่ Stator ไม่ชัดเจน พนักงานเอียง Stator มากเกินไปทำให้เส้น Wire เกี่ยวขอบ Base ทำให้เส้น Wire หยวน	การอบรมพนักงาน On the job training	4	-	7	56
		8	ตะกั่วของเส้น Wire ไปสัมผัสกับ Base บริเวณช่องใส่ Connector ที่ไม่เป็นฉนวน	กระแส Short ลง Base (Hi-pot)	4	พนักงานใส่ Stator ไม่ตรงตำแหน่งทำให้ระยะตะกั่วของเส้น Wire ไปสัมผัสกับ Base บริเวณช่องใส่ Connector ที่ E-coat ไม่สมบูรณ์(ไม่เป็นฉนวน)	การอบรมพนักงาน On the job training	5	ตรวจสอบตำแหน่งของ Stator ด้วยการตรวจสอบด้วยตาที่กระบวนการสุดท้าย	5	100
สาเหตุที่เกิดจากเครื่องมือ/เครื่องจักร	Press Fit Process	9	Fixture ของเครื่อง Press Fit ไปกดทับเส้น Wire ในกระบวนการ Stator Press Fit	เส้น wire ถูกกดทับจาก Fixture press fit กระแสไหลลง Base	4	Fixture ของเครื่อง Press Fit ไม่ได้ Center ทำให้ไปกดทับเส้น Wire ในกระบวนการ Stator Press Fit	-	4	การตรวจสอบสภาพของ Fixture	8	128
		10	การตรวจสอบ Hi-pot ต่ำกว่ามาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด	กระแส Short ลง Base (Hi-pot)	3	Master ที่ใช้ทดสอบก่อนเริ่มงานไม่เหมาะสม เนื่องจากเป็น NG ที่ค่ากระแสสูงกว่าข้อกำหนด	-	8	-	8	192
		11	การตรวจสอบ Hi-pot ต่ำกว่ามาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด	ตรวจไม่พบอาการเสีย Hi-pot	4	ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนด เนื่องจากพนักงานสามารถปรับเองได้	-	5	สังเกตจากปุ่มปรับค่ากระแส	6	120
		12	การตรวจสอบ Hi-pot ต่ำกว่ามาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด	ตรวจไม่พบอาการเสีย Hi-pot	2	ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากเครื่องตรวจสอบทำงานผิดพลาด	การสอบเทียบเครื่องมือวัดทุก 1 ปีและ การทำบำรุงรักษาเชิงป้องกันประจำเดือน	3	-	8	48
		13	การตรวจสอบ Hi-pot ต่ำกว่ามาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด	ตรวจไม่พบอาการเสีย Hi-pot	4	ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากปรับตั้งเครื่องต่ำเกินไปจากปุ่มปรับ	-	4	สังเกตจากปุ่มปรับค่ากระแส	6	96

ตารางที่ 4.15 สาเหตุของปัญหาหรือปัจจัยนำเข้า (KPIV) และค่า RPN ของลักษณะอาการเสีย Hi-pot

Item	Potential Causes of Failure	RPN
2	พนักงานไม่มีทักษะในการใช้งานเครื่องทำให้ไม่ได้เปิดกระแสไฟสำหรับตรวจสอบ Hi-pot	210
10	Master ที่ใช้ทดสอบก่อนเริ่มงานไม่เหมาะสมเนื่องจากเป็น NG ที่ความต่างศักย์ต่ำกว่าข้อกำหนด	192
3	พนักงานไม่ใช้งาน Master ในการตรวจสอบก่อนเริ่มงานทำให้ไม่พบข้อผิดพลาดเนื่องจากไม่มีทักษะในการใช้เครื่อง	144
5	Base บริเวณช่องใส่ Connector มี E-coat ไม่สมบูรณ์ (ทำให้ไม่เป็นฉนวน)	144
9	Fixture ของเครื่อง Press Fit ไม่ได้ Center ทำให้ไปกดทับเส้น Wire ในกระบวนการ Stator Press Fit	128
11	ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากพนักงานสามารถปรับเองได้	120
8	พนักงานใส่ Stator ไม่ตรงตำแหน่งทำให้ระยะตะกั่วของเส้น Wire ไปสัมผัสกับ Base บริเวณช่องใส่ Connector ที่ E-coat ไม่สมบูรณ์(ไม่เป็นฉนวน)	100
13	ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากปรับตั้งเครื่องต่ำเกินไปจากปุ่มปรับ	96
4	เส้น Wire หยวนมาจากตัว Stator	90
1	พนักงานไม่มีทักษะในการจับ Stator ทำให้ เส้น Wire ล้มเข้ามาใน Stack	72
6	ระยะ Dipping ตะกั่วของ Stator ยาวทำให้ไปสัมผัสกับ Base ตรงบริเวณที่ E-coat ไม่สมบูรณ์	72
7	วิธีการใส่ Stator ไม่ชัดเจน พนักงานเอียง Stator มากเกินไปทำให้เส้น Wire เกี้ยวขอบ Base ทำให้เส้น Wire หยวน	56
12	ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากเครื่องตรวจสอบทำงาน	48



รูปที่ 4.22 แผนภูมิพาเรโต้จัดลำดับความสำคัญของปัจจัยจากค่า RPN ของลักษณะอาการเสีย

Hi-pot

ในการทำงานเดียวกันจากผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบหรือ FMEA ของลักษณะอาการเสีย Hi-pot และได้นำปัจจัยนำเข้่าดังกล่าวมาทำการเรียงลำดับจากค่าคะแนน RPN ด้วยแผนภาพพาเรโต จะพบว่ามีปัจจัยนำเข้่าที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไปในขั้นต่อไป 8 ปัจจัย ซึ่งคิดเป็น 77.0% ของปัจจัยรวมทั้งหมดดังนี้คือ

ตารางที่ 4.16 ปัจจัยนำเข้่า 8 ปัจจัยที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไปของปัญหา Hi-pot

Item	Potential Causes of Failure
2	พนักงานไม่มีทักษะในการใช้งานเครื่องทำให้ไม่ได้เปิดกระแสไฟสำหรับตรวจสอบ Hi-pot
10	Master ที่ใช้ทดสอบก่อนเริ่มงานไม่เหมาะสมเนื่องจากเป็น NG ที่ความต่างศักย์ต่ำกว่าข้อกำหนด
3	พนักงานไม่ใช้งาน Master ในการตรวจสอบก่อนเริ่มงานทำให้ไม่พบข้อผิดพลาดเนื่องจากไม่มีทักษะในการใช้เครื่อง
5	Base บริเวณช่องใส่ Connector มี E-coat ไม่สมบูรณ์ (ทำให้ไม่เป็นฉนวน)
9	Fixture ของเครื่อง Press Fit ไม่ได้ Center ทำให้ไปกดทับเส้น Wire ในกระบวนการ Stator Press Fit
11	ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากพนักงานสามารถปรับเองได้
8	พนักงานใส่ Stator ไม่ตรงตำแหน่งทำให้ระยะตะกั่วของเส้น Wire ไปสัมผัสกับ Base บริเวณช่องใส่ Connector ที่ E-coat ไม่สมบูรณ์(ไม่เป็นฉนวน)
13	ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากปรับตั้งเครื่องสูงเกินไปจากปุ่มปรับ

4.3 สรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

4.3.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาประกอบไปด้วยสองขั้นตอนคือการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดซึ่งประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ในส่วนของข้อมูลแบบผันแปรกับค่าความผันแปรเพื่อทดสอบลักษณะของเสีย Open Circuit โดยการทดสอบ 6 เครื่องตรวจสอบจาก 3 สายการประกอบ สายการประกอบละ 2 เครื่องพบว่าเครื่องทุกเครื่องดังกล่าวมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผันแปรน้อยกว่า 10% ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดจากมาตรฐานของโรงงานและสามารถสรุปได้ว่าความสามารถของระบบการวัดเพื่อทดสอบลักษณะของเสีย Open Circuit อยู่ในเกณฑ์สามารถยอมรับได้

และการวิเคราะห์ในส่วนของข้อมูลแบบนับเพื่อทดสอบลักษณะของเสีย Hi-pot กับเครื่องทดสอบเดียวกันซึ่งเป็นการทดสอบแบบ GO/NO GO พบว่าทุกเครื่องมีค่ารีพีทibilityของการตรวจสอบเท่ากับ 100% และประสิทธิภาพด้านไบอัสของการตรวจสอบเท่ากับ 100% ยกเว้นเครื่องที่ 1 ของสายการประกอบที่ 1 และเครื่องที่ 2 ของสายการประกอบที่ 2 จะพบปัญหาประสิทธิภาพด้านไบอัสของการตรวจสอบไม่เท่ากับ 100% เนื่องจากการตรวจจ้งงานดีเสียไม่ตรง

ตามมาตรฐานแบบผิดพลาดในเชิงลบ (False Negative) ซึ่งเกิดจากการที่ตั้งค่าความต่างศักย์ที่ตัวเครื่องเพื่อตรวจจับค่า Hi-pot ต่ำเกินไป (ต่ำเกินกว่าข้อกำหนดของลูกค้า) ทำให้ไม่สามารถตรวจจับงานที่เสียที่กระแสไฟฟ้าลัดวงจรลง Base ได้ แต่หลังจากการปรับกระแสไฟฟ้าที่เครื่องแล้ว ดำเนินการวิเคราะห์ห่ออีกครึ่งพบว่าปัญหาประสิทธิผลด้านไอเอสของการตรวจสอบไม่เท่ากับ 100% หมดไป ซึ่งหมายความว่าความสามารถของระบบการวัดเพื่อการทดสอบลักษณะของเสีย Hi-pot อยู่ในเกณฑ์สามารถยอมรับได้

4.3.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบหรือ FMEA ของลักษณะอาการเสีย Open Circuit และได้้นำปัจจัยนำเข้ดังกล่าวมาทำการเรียงลำดับจากค่าคะแนน RPN ด้วยแผนภาพพาเรโต้ จะพบว่าจากปัจจัยนำเข้ที่วิเคราะห์ทั้งหมด 15 ปัจจัย มีปัจจัยนำเข้ที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อในขั้นตอนการทดสอบสมมุติฐานซึ่งจะเป็นการยืนยันความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่อปัญหา 8 ปัจจัย ซึ่งคิดเป็น 80.0% ของปัจจัยรวมทั้งหมด

และผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบหรือ FMEA ของลักษณะอาการเสีย Hi-pot ได้้นำปัจจัยนำเข้ดังกล่าวมาทำการเรียงลำดับจากค่าคะแนน RPN ด้วยแผนภาพพาเรโต้ จะพบว่าจากปัจจัยนำเข้ที่วิเคราะห์ทั้งหมด 13 ปัจจัย มีปัจจัยนำเข้ที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อในขั้นตอนการทดสอบสมมุติฐานซึ่งจะเป็นการยืนยันความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่อปัญหา 8 ปัจจัย ซึ่งคิดเป็น 77.0% ของปัจจัยรวมทั้งหมด

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในบทที่ผ่านมาได้ทำการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา โดยทำการยืนยันถึงความสามารถในการวัดของทั้งสองลักษณะอาการเสียที่ทำการศึกษาคือ Open Circuit และ Hi-pot โดยการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบผันแปรกับลักษณะอาการเสีย Open Circuit และวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลแบบนับกับลักษณะอาการเสีย Hi-pot ไปแล้ว จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของทั้งสองลักษณะอาการเสียโดยใช้แผนภาพเหตุและผลเพื่อกำหนดปัจจัยนำเข้าทั้งหมดที่เป็นไปได้ และวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้างดงกล่าวด้วยเทคนิค FMEA เพื่อกำหนดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่เป็นไปได้มากที่สุด ซึ่งปัจจัยนำเข้าที่เป็นไปได้มากที่สุดดังกล่าวอาจไม่ใช่สาเหตุที่แท้จริงของปัญหาก็คือ ดังนั้นการวิเคราะห์โดยอาศัยข้อมูลสารสนเทศที่เพียงพอจึงมีความสำคัญที่จะช่วยลดโอกาสความผิดพลาดจากการวิเคราะห์ได้ การตัดสินใจที่อาศัยหลักการตามสถิติวิศวกรรมหรือหลักการการอนุมานทางสถิติ โดยดำเนินการทดลองเพื่อหาข้อมูลสนับสนุนสมมุติฐานที่ตั้งไว้ เพื่อเป็นการยืนยันว่าสาเหตุหรือปัจจัยนำเข้างดงกล่าวที่วิเคราะห์ไว้ใช่สาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือไม่ หรือสาเหตุดังกล่าวมีผลกระทบต่อปัญหามากน้อยเพียงใด

5.1 ปัจจัยนำเข้างที่นำมาวิเคราะห์/ทดสอบสมมุติฐาน

ในบทที่แล้วทราบมาแล้วว่าปัจจัยนำเข้างที่นำมาวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงสำหรับลักษณะอาการเสีย Open Circuit มีทั้งหมด 8 ปัจจัยดังนี้

ตารางที่ 5.1 ปัจจัยนำเข้าง 8 ปัจจัยที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไปของปัญหา Open Circuit

Item	Potential Causes of Failure
4	ขอบของรูของ Connector ที่ใส่เส้น wire มีความคมเนื่องจากไม่มี Chamfer
6	ดิ่งเส้น wire แบบขนาน (Horizontal) ไปด้านหน้าเพื่อการบัดกรีโดยไปครูดกับรูของ Connector
5	ดิ่งเส้น wire เพื่อการบัดกรีโดยใช้แรงมากเกินไป
7	เส้น wire เกิดแรงเค้นเนื่องจากในกระบวนการจะมีการพับเส้น wire ไปมา 2 ครั้งก่อนการบัดกรี
15	ความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้างฐานรองรับมอเตอร์แรงเกินไป
1	พนักงานไม่มีทักษะความชำนาญในกระบวนการจัดเส้น wire
13	พนักงานไม่มีทักษะในการบัดกรีในกระบวนการบัดกรีที่ดีพอ
3	เวลาในการชุบตะกั่วของ Stator (Dipping) นานเกินไป

และปัจจัยนำเข้าที่จะนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงสำหรับลักษณะอาการเสีย Hi-pot มีทั้งหมด 8 ปัจจัยดังนี้

ตารางที่ 5.2 ปัจจัยนำเข้า 8 ปัจจัยที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไปของปัญหา Hi-pot

Item	Potential Causes of Failure
2	พนักงานไม่มีทักษะในการใช้งานเครื่องทำให้ไม่ได้เปิดกระแสไฟสำหรับตรวจสอบ Hi-pot
10	Master ที่ใช้ทดสอบก่อนเริ่มงานไม่เหมาะสมเนื่องจากเป็น NG ที่ความต่างศักย์ต่ำกว่าข้อกำหนด
3	พนักงานไม่ใช้งาน Master ในการตรวจสอบก่อนเริ่มงานทำให้ไม่พบข้อผิดพลาดเนื่องจากไม่มีทักษะในการใช้เครื่อง
5	Base บริเวณช่องใส่ Connector มี E-coat ไม่สมบูรณ์ (ทำให้ไม่เป็นฉนวน)
9	Fixture ของเครื่อง Press Fit ไม่ได้ Center ทำให้ไปกดทับเส้น Wire ในกระบวนการ Stator Press Fit
11	ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากพนักงานสามารถปรับเองได้
8	พนักงานใส่ Stator ไม่ตรงตำแหน่งทำให้ระยะตะกั่วของเส้น Wire ไปสัมผัสกับ Base บริเวณช่องใส่ Connector ที่ E-coat ไม่สมบูรณ์(ไม่เป็นฉนวน)
13	ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากปรับตั้งเครื่องสูงเกินไปจากปุ่มปรับ

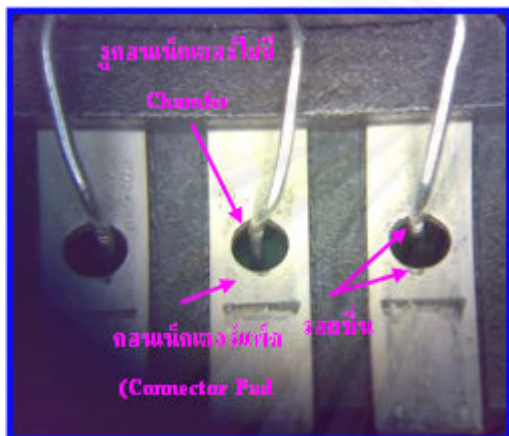
ในการทดลองเพื่อทดสอบสมมุติฐานของปัจจัยทั้งหมดจะทำการทดสอบระดับของสมมุติฐานของแต่ละปัจจัยที่ 2 ระดับที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมของเวลาและต้นทุนที่จะใช้ในการทดลองซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.2 การวิเคราะห์/ทดสอบสมมุติฐานของลักษณะของเสียประเภท Open Circuit

5.2.1 ปัจจัยนำเข้าที่ 4 ขอบของรูของคอนเน็คเตอร์ (Connector) มีความคมเนื่องจากไม่มี Chamfer
รายละเอียดของปัญหา

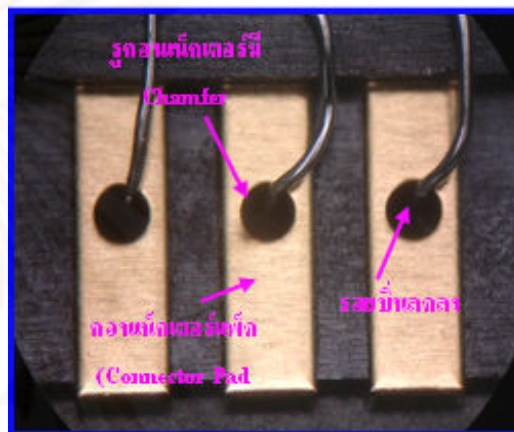
ในกระบวนการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์หรือ Wire adjust พนักงานจะทำการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์ก่อนทำการบัดกรีเพื่อให้ตะกั่วและตัวเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าหรือคอนเน็คเตอร์ (Connector) เชื่อมเข้าด้วยกันดังนั้นพนักงานในกระบวนการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์จะทำการรีดเส้นขดลวดสเตเตอร์ดังกล่าวด้วยแท่งพลาสติกสีน้ำเงินหรือ Blue Stick ไปด้านหน้าพร้อมกับออกแรงในการรีดเพื่อให้เส้นขดลวดสเตเตอร์เรียบไปกับคอนเน็คเตอร์แพด (Connector Pad) เพื่อให้การบัดกรีง่ายที่สุดไม่เช่นนั้นจะมีปัญหาอาการเสียอย่างอื่นตามมา แต่การออกแรงรีดเส้นขดลวดสเตเตอร์ดังกล่าวไปด้านหน้าจะทำให้เส้นขดลวดไปครูดกับรูของคอนเน็คเตอร์ที่ร้อยเส้นขดลวดเองจะทำให้เกิดรอยบิ่นเสียหายที่บริเวณผิวของเส้นขดลวดซึ่งอาจทำให้เกิดผลกระทบต่ออายุการใช้งานของเส้นขดลวดได้

อย่างไรก็ดีวิธีการเดียวกันนี้ในการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์ก่อนการบัดกรีได้ถูกใช้กับผลิตภัณฑ์รุ่นที่ใกล้เคียงกันคือรุ่น Nighthawk โดยใช้ขดลวดสเตเตอร์ที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับผลิตภัณฑ์รุ่นที่มีปัญหาคือรุ่น Brink 1D (ขดลวดสเตเตอร์เป็นชนิดที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมเหมือนกันสามารถใช้ด้วยกันได้) จากข้อมูลพบว่าทั้งสองรุ่นมีสัดส่วนของเสียที่เป็นวงจรขาดหรือ Open Circuit เป็น 0.000287 และ 0.001153 ตามลำดับ



รูปที่ 5.1

รอยบิ่นของเส้นขดลวดสเตเตอร์หลังถูกจัดแล้ว
ก่อนบัดกรีสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D



รูปที่ 5.2

รอยบิ่นของเส้นขดลวดสเตเตอร์หลังถูกจัดแล้ว
ก่อนบัดกรีสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น Nighthawk

ซึ่งจะพบว่ารอยบิ่นของเส้นขดลวดสเตเตอร์ของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D หลังการจัดเพื่อการบัดกรีมีรอยบิ่นที่มากกว่าผลิตภัณฑ์รุ่น Nighthawk แม้ว่าขดลวดสเตเตอร์ของทั้งสองรุ่นนี้เหมือนกันซึ่งเป็นเพราะบริเวณรูของตัวคอนเน็คเตอร์ของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ไม่มี Chamfer ซึ่งเป็นการออกแบบเฉพาะของรุ่นทำให้มีความคมบริเวณรูของคอนเน็คเตอร์ซึ่งแตกต่างจากผลิตภัณฑ์รุ่น Nighthawk ที่มี Chamfer ทำให้ความคมบริเวณรูของคอนเน็คเตอร์น้อยลง

ดังนั้นจึงทำการทดสอบสมมุติฐานที่ว่าความคมของขอบรูของคอนเน็คเตอร์เนื่องจากไม่มี Chamfer นั้นมีผลกระทบต่อปัญหา Open Circuit หรือไม่โดยการเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ของทั้งสองรุ่นที่กระบวนการของลูกค้า

ขั้นตอนในการทดสอบสมมุติฐาน

1. งานกลุ่มที่ 1 คืองานผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ซึ่งมีความคมบริเวณรูของคอนเน็คเตอร์เนื่องจากไม่มี Chamfer

2. งานกลุ่มที่ 2 คืองานผลิตภัณฑ์รุ่น Nighthawk ซึ่งไม่มีความคมบริเวณรูของคอนเน็คเตอร์ เนื่องจากมี Chamfer
3. งานทั้งสองกลุ่มใช้ขดลวดสเตเตอร์เป็นชนิดที่ใช้ด้วยกันได้ (Common use)
4. ดำเนินการโดยจัดให้มีผู้ปฏิบัติงานที่ผ่านการอบรมแล้ว ณ จุด จัดเส้นขดลวดสเตเตอร์ ก่อนบัดกรีเพื่อลดปัจจัยเกี่ยวกับทักษะของพนักงานลง
5. งานทั้งสองกลุ่มทำการจัดเส้นขดลวดด้วยวิธีการเดียวกันคือรีดไปด้านหน้าซึ่งทำให้เส้นขดลวดไปโดนของของรูคอนเน็คเตอร์
6. ดำเนินการตามกระบวนการปกติแล้ววัดผลจากข้อมูลของเสีย Open Circuit จากลูกค้า

สมมุติฐานที่ใช้ทดสอบ

$$H_0 : P_{\text{Brink1D}} = P_{\text{Nighthawk}} \quad \text{ไม่มีความแตกต่างของสัดส่วนข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ทั้งสองรุ่น}$$

$$H_1 : P_{\text{Brink1D}} > P_{\text{Nighthawk}} \quad \text{สัดส่วนข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D มากกว่ารุ่น Nighthawk}$$

วิธีการคำนวณสิ่งตัวอย่าง

จากข้อมูลสัดส่วนของเสียในอดีตพบว่าสัดส่วนของเสียที่เป็นวงจรขาดหรือ Open Circuit ของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D เป็น 0.001153 และสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์รุ่น Nighthawk เป็น 0.000287 ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาจำนวนสิ่งตัวอย่างจากโปรแกรม Minitab ได้ดังนี้

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing proportion 1 = proportion 2 (versus >)

Calculating power for proportion 2 = 0.000287

Alpha = 0.05

Proportion 1	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.001153	16430	0.9	0.900003

The sample size is for each group.

เนื่องจากการผลิตที่สภาพปกติดังนั้นการเก็บข้อมูลจะใช้ไม่น้อยกว่า 16,430 ชิ้น ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้ดังนี้

ข้อมูลที่น่ามาทดสอบ

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภท Open Circuit ของผลิตภัณฑ์สองรุ่นที่ใช้ขดลวดสเตเตอร์เดียวกัน

ผลิตภัณฑ์รุ่น	จำนวนที่ตรวจสอบ (ชิ้น)	จำนวนของเสีย Open Circuit (ชิ้น)	DPPM
ผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D	132,559	116	0.000875
ผลิตภัณฑ์รุ่น Nighthawk	115,867	39	0.000337

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	116	132559	0.000875
2	39	115867	0.000337

Difference = p (1) - p (2)

Estimate for difference: 0.000538489

95% lower bound for difference: 0.000378171

Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 5.52 P-Value = 0.000

Fisher's exact test: P-Value = 0.000

สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากการคำนวณโดยโปรแกรม Minitab (Release 15) ให้ค่า P-Value ที่ 0.000 ซึ่งสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือปฏิเสธ H_0 ได้และสามารถสรุปข้อมูลได้ว่าสัดส่วนของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D และผลิตภัณฑ์รุ่น Nighthawk มีความแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญซึ่งสามารถกล่าวได้ว่า ความคมของขอบของรูคอนเน็คเตอร์ของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D มีผลทำให้สัดส่วนของข้อบกพร่องของเสียประเภท Open Circuit มากกว่าอย่างมีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์รุ่น Nighthawk

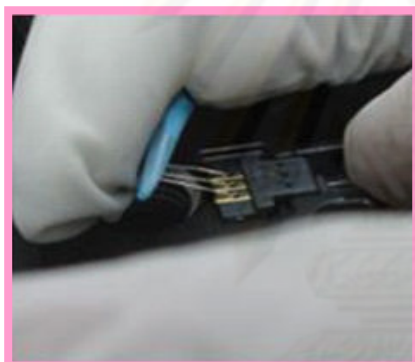
5.2.2 ปัจจัยนำเข้าที่ 6 การดึงเส้น Wire แบบขนาน (Horizontal) ไปด้านหน้าเพื่อการบัดกรีโดยไปครูดกับรูของ Connector

รายละเอียดของปัญหา

ปัญหาจากสาเหตุนี้เป็นจากกระบวนการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์หรือ Wire adjust เช่นเดียวกันกล่าวคือพนักงานจะทำการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์ก่อนทำการบัดกรีเพื่อให้ตะกั่วและตัวเชื่อมต่อดวงจไฟฟ้าหรือคอนเน็คเตอร์ (Connector) เชื่อมเข้าด้วยกันดังนั้นพนักงานใน

กระบวนการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์จะทำการรีดเส้นขดลวดสเตเตอร์ดังกล่าวด้วยแท่งพลาสติกสีน้ำเงินหรือ Blue Stick ไปด้านหน้าขนานกับตัวคอนเน็คเตอร์พร้อมกับออกแรงในการรีดเพื่อให้เส้นขดลวดสเตเตอร์เรียบไปกับคอนเน็คเตอร์แพด (Connector Pad) เพื่อให้การบัดกรีง่ายที่สุด ไม่เช่นนั้นจะมีปัญหาอาการเสียอย่างอื่นตามมา แต่การออกแรงรีดเส้นขดลวดสเตเตอร์ดังกล่าวไปด้านหน้าจะทำให้เส้นขดลวดไปครูดกับรูของคอนเน็คเตอร์ที่ร้อยเส้นขดลวดเองจะทำให้เกิดรอยบิ่นเสียหายที่บริเวณผิวของเส้นขดลวดซึ่งอาจทำให้เกิดผลกระทบต่ออายุการใช้งานของเส้นขดลวดได้

ดังนั้นจึงทำการทดสอบสมมุติฐานที่ว่า การรีดเส้นขดลวดสเตเตอร์ไปด้านหน้าโดยครูดกับขอบรูของคอนเน็คเตอร์นั้น มีผลกระทบต่อปัญหา Open Circuit หรือไม่ โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกับการจัดเส้นขดลวดแบบไม่รีดไปด้านหน้าเพื่อไม่ให้เส้นขดลวดสัมผัสกับขอบของรูคอนเน็คเตอร์แล้วดำเนินการเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ของทั้งสองวิธีที่กระบวนการของลูกค้ำ



รูปที่ 5.3

การจัดเส้นขดลวดก่อนบัดกรี
วิธีขนานกับคอนเน็คเตอร์



รูปที่ 5.4

การจัดเส้นขดลวดก่อนบัดกรี
วิธีตั้งฉากกับคอนเน็คเตอร์

ขั้นตอนในการทดสอบสมมุติฐาน

1. งานกลุ่มที่ 1 คืองานผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ซึ่งทำการรีดเส้นขดลวดสเตเตอร์ก่อนการบัดกรีโดยวิธีการรีดไปด้านหน้าขนานกับตัวของคอนเน็คเตอร์
2. งานกลุ่มที่ 2 คืองานผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D เช่นเดียวกันซึ่งทำการรีดเส้นขดลวดสเตเตอร์โดยวิธีการไม่รีดไปด้านหน้าขนานกับคอนเน็คเตอร์ (รีดเส้นขดลวดแบบตั้งฉาก)
3. ดำเนินการที่สายการประกอบเดียวกันโดยจัดให้มีผู้ปฏิบัติงานที่ผ่านการอบรมแล้ว ณ จุดจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์ก่อนบัดกรีทั้งสองวิธีเพื่อลดปัจจัยเกี่ยวกับทักษะของพนักงานลง
4. ดำเนินการตามกระบวนการปกติแล้ววัดผลจากข้อมูลของเสีย Open Circuit จากลูกค้ำ

สมมุติฐานที่ใช้ทดสอบ

$H_0 : P_{\text{Horizontal}} = P_{\text{Perpendicular}}$ ไม่มีความแตกต่างของสัดส่วนข้อบกพร่องของงานกลุ่มที่รีด
เส้นขดลวดขนานไปกับคอนเน็คเตอร์และกลุ่มที่รีดขดลวด
แบบตั้งฉาก

$H_1 : P_{\text{Horizontal}} \neq P_{\text{Perpendicular}}$ มีความแตกต่างของสัดส่วนข้อบกพร่องของงานกลุ่มที่รีดเส้น
ขดลวดขนานไปกับคอนเน็คเตอร์และกลุ่มที่รีดขดลวดแบบ
ตั้งฉาก

วิธีการคำนวณสิ่งตัวอย่าง

จากการทดลองดึงเส้นขดลวดด้วยวิธีที่แตกต่างกันแล้วเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียที่เป็น
วงจรรขาดหรือ Open Circuit ของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ที่กระบวนการของลูกค้าได้สัดส่วนเป็น
การดึงเส้นขดลวดด้วยวิธีขนานไปกับคอนเน็คเตอร์เท่ากับ 0.001044 และสัดส่วนของเสียของการ
ดึงเส้นขดลวดด้วยวิธีตั้งฉากไปกับคอนเน็คเตอร์เท่ากับ เป็น 0.000200 ซึ่งสามารถนำมา
คำนวณหาจำนวนสิ่งตัวอย่างจากโปรแกรม Minitab ได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing proportion 1 = proportion 2 (versus not =)

Calculating power for proportion 2 = 0.0002

Alpha = 0.05

Proportion 1	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.001044	18337	0.9	0.900011

The sample size is for each group.

การดำเนินการทดลองจะเป็นการทำการทดลองวิธีการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์สองวิธีสอง
วิธีโดยจะควบคุมวิธีการดังกล่าวโดยใช้ผู้ปฏิบัติงานที่ผ่านการอบรม จากนั้นทำการเก็บข้อมูลที่
กระบวนการของลูกค้า โดยใช้ข้อมูลไม่น้อยกว่า 18,337 ชิ้น ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้ดังนี้

ข้อมูลที่น่ามาทดสอบ

ตารางที่ 5.4 ข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภท Open Circuit ของการจัดเส้นขดลวดด้วยวิธีขนานและตั้งฉาก

วิธี	จำนวนที่ตรวจสอบ (ชิ้น)	จำนวนของเสีย Open Circuit (ชิ้น)	DPPM
จัดเส้นขดลวดด้วยวิธีขนาน	97,829	76	0.000777
จัดเส้นขดลวดด้วยวิธีตั้งฉาก	142,504	52	0.000365

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	76	97829	0.000777
2	52	142504	0.000365

Difference = p (1) - p (2)
 Estimate for difference: 0.000411964
 95% CI for difference: (0.000211179, 0.000612749)
 Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 4.02 P-Value = 0.000

Fisher's exact test: P-Value = 0.000

สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากการคำนวณโดยโปรแกรม Minitab (Release 15) ให้ค่า P-Value ที่ 0.000 ซึ่งสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือปฏิเสธ H_0 ได้และสามารถสรุปข้อมูลที่ได้จากการทดลองได้ว่าในผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D มีความแตกต่างกันในสัดส่วนของข้อบกพร่อง Open Circuit ที่เกิดจากวิธีการดัดขดลวดแบบไปด้านหน้าขนานกับคอนเน็คเตอร์กับวิธีการดัดขดลวดแบบไปตั้งฉากกับคอนเน็คเตอร์อย่างมีนัยสำคัญ

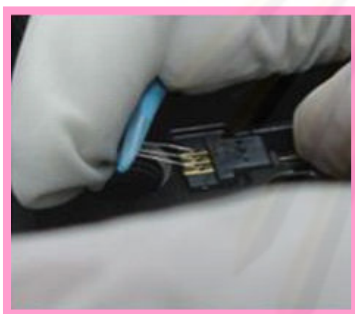
5.2.3 ปัจจัยนำเข้าที่ 5 การดัดเส้น Wire เพื่อการบัดกรีโดยใช้แรงที่มากเกินไป

รายละเอียดของปัญหา

ปัญหาจากสาเหตุนี้เป็นจากระบวนการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์หรือ Wire adjust เช่นเดียวกันโดยพนักงานจะต้องทำการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์ก่อนทำการบัดกรีเพื่อให้ตะกั่วและตัวเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าหรือคอนเน็คเตอร์ (Connector) เชื่อมเข้าด้วยกันโดยพนักงานจะทำการดัดเส้นขดลวดสเตเตอร์ดังกล่าวด้วยแท่งพลาสติกสีน้ำเงินหรือ Blue Stick ไปด้านหน้าขนานกับตัวคอนเน็คเตอร์พร้อมกับออกแรงในการดัดให้มากที่สุดเพื่อให้เส้นขดลวดสเตเตอร์เรียบไปกับคอนเน็คเตอร์แพดให้มากที่สุด (Connector Pad) เพื่อให้ง่ายต่อการบัดกรีที่กระบวนการถัดไปเพื่อป้องกันไม่เช่นนั้นจะมีปัญหาอาการเสียอย่างอื่นตามมา อีกทั้งพนักงานจะมีความเข้าใจว่าการดัดแรงจะทำให้ไม่เกิดปัญหาเส้นขดลวดหย่อนซึ่งเป็นปัญหา Wire Loose ตามมา แต่การออกแรงรีด

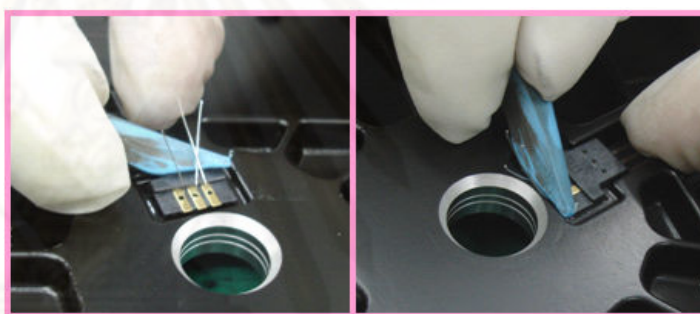
เส้นขดลวดสเตเตอร์ดังกล่าวไปด้านหน้ามากๆ จะทำให้เส้นขดลวดมีความล้าและเกิดความเค้นสะสมรวมถึงจะทำให้เส้นขดลวดไปครูดกับรูของคอนเน็คเตอร์ที่ร้อยเส้นขดลวดเองและจะยิ่งทำให้เกิดรอยบิ่นเสียหายที่บริเวณผิวของเส้นขดลวดมากขึ้นซึ่งอาจทำให้เกิดผลกระทบต่ออายุการใช้งานของเส้นขดลวดได้มากขึ้น

ดังนั้นจึงทำการทดสอบสมมุติฐานที่ว่า การรีดเส้นขดลวดสเตเตอร์ไปด้านหน้าโดยออกแรงในการรีดมากเพื่อให้เส้นขดลวดเรียบนั้นมีผลกระทบต่อปัญหา Open Circuit หรือไม่โดยการทดลองเปรียบเทียบกับการจัดเส้นขดลวดแบบไม่ออกแรงในการรีดโดยการปิดเส้นขดลวดไปด้านหน้าแล้วใช้แท่ง Blue Stick กดทับให้เรียบแทนเพื่อไม่ให้เส้นขดลวดสัมผัสกับขอบของรูคอนเน็คเตอร์จนเกิดรอยบิ่นมากแล้วดำเนินการเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ของทั้งสองวิธีที่ที่กระบวนการของลูกค้า



รูปที่ 5.5

การออกแรงดึงเส้นขดลวด
สเตเตอร์ให้เรียบ



รูปที่ 5.6

การปิดเส้นขดลวดสเตเตอร์ไปด้านหน้าแล้วใช้แท่ง
Blue Stick กดให้เรียบ

ขั้นตอนในการทดสอบสมมุติฐาน

1. งานกลุ่มที่ 1 คืองานผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ซึ่งทำการรีดเส้นขดลวดสเตเตอร์ก่อนการบัดกรีโดยวิธีการรีดไปด้านหน้าโดยการออกแรงรีดให้เส้นขดลวดสเตเตอร์เรียบ
2. งานกลุ่มที่ 2 คืองานผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D เช่นเดียวกันซึ่งทำการรีดเส้นขดลวดสเตเตอร์โดยวิธีการไม่ออกแรงรีดไปด้านหน้าโดยการปิดเส้นขดลวดไปด้านหน้าแล้วใช้แท่ง Blue Stick กดทับให้เรียบแทน
3. ดำเนินการที่สายการประกอบเดียวกันโดยจัดให้มีผู้ปฏิบัติงานที่ผ่านการอบรมแล้ว ณ จุดจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์ก่อนบัดกรีทั้งสองวิธีเพื่อลดปัจจัยเกี่ยวกับทักษะของพนักงานลง
4. ดำเนินการตามกระบวนการปกติแล้ววัดผลจากข้อมูลของเสีย Open Circuit จากลูกค้า

สมมุติฐานที่ใช้ทดสอบ

$H_0 : P_{\text{Force}} = P_{\text{Unforce}}$ ไม่มีความแตกต่างของสัดส่วนข้อบกพร่องของงานกลุ่มที่ออกแรงในการรีดเส้นขดลวดให้เรียบกับงานกลุ่มที่ไม่ใช้แรงในการรีดเส้นขดลวดให้เรียบ

$H_1 : P_{\text{Force}} \neq P_{\text{Unforce}}$ มีความแตกต่างของสัดส่วนข้อบกพร่องของงานกลุ่มที่รีดเส้นขดลวดขนานไปกับคอนเน็คเตอร์และกลุ่มที่รีดขดลวดแบบตั้งฉาก

วิธีการคำนวณสิ่งตัวอย่าง

จากการทำตัวอย่างข้อมูลการจัดเส้นขดลวดด้วยวิธีที่แตกต่างกันกล่าวคือวิธีที่ออกแรงดึงในการจัดเส้นขดลวดให้เรียบกับวิธีไม่ใช้แรงดึงแล้วเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียที่เป็นวงจรขาดหรือ Open Circuit ของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ที่กระบวนการของลูกค้าได้พบว่ามีสัดส่วนเป็น 0.000936 และ 0.000348 ตามลำดับซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาจำนวนสิ่งตัวอย่างจากโปรแกรม Minitab ต่อไป

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing proportion 1 = proportion 2 (versus >)
Calculating power for proportion 2 = 0.000348
Alpha = 0.05

Proportion 1	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.000936	31782	0.9	0.900004

The sample size is for each group.

การดำเนินการทดลองจะเป็นการทำการทดลองวิธีการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์สองวิธีสองวิธีโดยจะควบคุมวิธีการดังกล่าวโดยใช้ผู้ปฏิบัติงานที่ผ่านการอบรมแล้วทำการเก็บข้อมูลที่กระบวนการของลูกค้า โดยใช้ข้อมูลไม่น้อยกว่า 31,782 ชิ้น ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้ดังนี้

ข้อมูลที่น่ามาทดสอบ

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภท Open Circuit ของวิธีดึงขดลวดกับกดขดลวดให้เรียบ

วิธี	จำนวนที่ตรวจทดสอบ (ชิ้น)	จำนวนของเสีย Open Circuit (ชิ้น)	DPPM
วิธีออกแรงดึงขดลวดให้เรียบ	58,541	58	0.000991
วิธีปิดเส้นขดลวดแล้วกดให้เรียบ	50,057	15	0.000300

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	58	58541	0.000991
2	15	50057	0.000300

Difference = p (1) - p (2)
 Estimate for difference: 0.000691100
 95% lower bound for difference: 0.000442232
 Test for difference = 0 (vs > 0): Z = 4.57 P-Value = 0.000

Fisher's exact test: P-Value = 0.000

สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากการคำนวณโดยโปรแกรม Minitab (Release 15) ให้ค่า P-Value ที่ 0.000 ซึ่งสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือปฏิเสธ H_0 ได้และสามารถสรุปข้อมูลที่ได้จากการทดลองได้ว่าในผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D มีความแตกต่างกันในสัดส่วนของข้อบกพร่อง Open Circuit ที่เกิดจากวิธีการออกแรงดึงขดลวดแบบไปด้านหน้าให้เปรียบเทียบกับวิธีการบัดเส้นขดลวดไปด้านหน้าแล้วใช้แท่ง Blue Stick กดทับให้เรียบโดยสามารถสรุปข้อมูลได้ว่าสัดส่วนของข้อบกพร่องของวิธีแรกมากกว่าวิธีที่สองอย่างมีนัยสำคัญ

5.2.4 ปัจจัยนำเข้าที่ 7 เส้น Wire เกิดแรงเค้นเนื่องจากในกระบวนการจะมีการพับเส้น Wire ไปมา 2 ครั้งก่อนการบัดกรี

รายละเอียดของปัญหา

ก่อนกระบวนการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์หรือ Wire adjust จะต้องผ่านกระบวนการใส่ขดลวดสเตเตอร์หรือ Insert Stator ที่พนักงานต้องพับเส้นขดลวดไปด้านหลังของคอนเน็คเตอร์หลังจากใส่สเตเตอร์แล้วเพื่อป้องกันฟิกเจอร์ (Fixture) ของกระบวนการกดสเตเตอร์หรือ Press fit มากดทับในกระบวนการถัดมา ไม่เช่นนั้นแล้วจะเกิดของเสียอื่นๆลักษณะอื่นๆตามมา และเมื่อมาถึงกระบวนการจัดเส้นขดลวดก่อนการบัดกรีพนักงานจะพับเส้นขดลวดกลับไปด้านหน้าของคอนเน็คเตอร์อีกครั้งด้วยแท่ง Blue Stick ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะมีการพับเส้นขดลวดไปมาสองครั้งซึ่งจะทำให้เส้นขดลวดเกิดแรงเค้นภายในทำให้เกิดความล้าและอาจมีผลกระทบทำให้เส้นขดลวดสเตเตอร์ขาดในเวลาต่อมา

ดังนั้นทีมงานจึงมีความเห็นว่าจะทำการทดลองโดยการกำหนดให้มีการพับเส้นขดลวดเพียงครั้งเดียวซึ่งกรณีนี้จำเป็นต้องมีการแก้ไขฟิกเจอร์ที่ใช้สำหรับกดสเตเตอร์ของกระบวนการกดสเตเตอร์ซึ่งจำดำเนินการแก้ไขเพื่อการทดลองเพียงหนึ่งสายการประกอบ



รูปที่ 5.7 การพับเส้นขดลวดก่อนการบัดกรีไปมา 2 ครั้ง



รูปที่ 5.8 การพับเส้นขดลวดก่อนการบัดกรีครั้งเดียว

ขั้นตอนในการทดสอบสมมุติฐาน

1. งานกลุ่มที่ 1 คืองานผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ซึ่งทำการพับเส้นขดลวดเพียง 1 ครั้งในการรีดเส้นขดลวดสเตเตอร์ก่อนการบัดกรี
2. งานกลุ่มที่ 2 คืองานผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ซึ่งทำการพับเส้นขดลวด 2 ครั้งในการใส่ในกระบวนการใส่สเตเตอร์และพับอีกครั้งในกระบวนการรีดเส้นขดลวดสเตเตอร์ก่อนการบัดกรี
3. ไม่สามารถดำเนินการที่สายการประกอบเดียวกันได้แต่จัดให้มีผู้ปฏิบัติงานที่ผ่านการอบรมแล้วมาแล้วเป็นอย่างดีที่ ณ กระบวนการใส่สเตเตอร์และกระบวนการรีดเส้นขดลวดก่อนบัดกรีทั้งสองวิธีเพื่อลดปัจจัยเกี่ยวกับทักษะของพนักงานลง
4. ดำเนินการตามกระบวนการปกติแล้ววัดผลจากข้อมูลของเสีย Open Circuit จากลูกค้า

สมมุติฐานที่ใช้ทดสอบ

$H_0 : P_{1Time} = P_{2Time}$ ไม่มีความแตกต่างของสัดส่วนข้อบกพร่องของงานกลุ่มที่พับเส้น
 ขดลวด 1 ครั้งและ 2 ครั้ง

$H_1 : P_{1Time} \neq P_{2Time}$ มีความแตกต่างของสัดส่วนข้อบกพร่องของงานกลุ่มที่พับเส้น
 ขดลวด 1 ครั้งและ 2 ครั้ง

จากการดำเนินการทดลองกับงานตัวอย่างการพับเส้นขดลวด 1 ครั้ง กับ 2 ครั้งจะมีผลกระทบต่ออาการขาดของเส้นขดลวดหรือไม่ จากข้อมูลพบว่าทั้งสองวิธีมีสัดส่วนของเสียที่เป็นวงจรขาดหรือ Open Circuit เป็น 0.001282 และ 0.000476 ตามลำดับซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาจำนวนสิ่งตัวอย่างที่เพียงพอจากโปรแกรม Minitab ต่อไป

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing proportion 1 = proportion 2 (versus not =)
 Calculating power for proportion 2 = 0.000476
 Alpha = 0.05

Proportion 1	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.001282	28408	0.9	0.900006

The sample size is for each group.

การดำเนินการทดลองจะเป็นการทำการทดลองวิธีการทั้งสองแบบคือแบบพับเส้นขดลวด 1 ครั้งและแบบพับขดลวด 2 ครั้ง แล้วควบคุมวิธีการดังกล่าวโดยใช้ผู้ปฏิบัติงานที่ผ่านการอบรม จากนั้นทำการเก็บข้อมูลที่กระบวนการของลูกค้า โดยใช้ข้อมูลไม่น้อยกว่า 28, 408 ชิ้น ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้ดังนี้

ข้อมูลที่น่ามาทดสอบ

ตารางที่ 5.6 ข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภท Open Circuit ของวิธีการพับเส้นขดลวด 1 ครั้งและ 2 ครั้ง

วิธี	จำนวนที่ตรวจทดสอบ (ชิ้น)	จำนวนของเสีย Open Circuit (ชิ้น)	DPPM
วิธีพับเส้นขดลวด 1 ครั้งก่อนการบัดกรี	229,440	80	0.000349
วิธีพับเส้นขดลวด 2 ครั้งก่อนการบัดกรี	207,450	58	0.000280

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	80	229440	0.000349
2	58	207450	0.000280

Difference = p (1) - p (2)
 Estimate for difference: 0.0000690896
 95% CI for difference: (-3.58462E-05, 0.000174025)
 Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 1.29 P-Value = 0.197
 Fisher's exact test: P-Value = 0.202

สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากการคำนวณโดยโปรแกรม Minitab (Release 15) ให้ค่า P-Value ที่ 0.197 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงไม่สามารถปฏิเสธสมมุติฐานหลักหรือไม่สามารถปฏิเสธ H_0 ได้ และสามารถสรุปข้อมูลที่ได้จากการทดลองได้ว่าการพบเส้นขาดลวด 1 ครั้ง หรือ 2 ครั้ง ไม่มีความแตกต่างกันหรือไม่มีผลกระทบต่อสัดส่วนของข้อบกพร่อง Open Circuit ที่เกิดขึ้นที่กระบวนการของลูกค้ำ

5.2.5 ปัจจัยนำเข้าที่ 15 ความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้างฐานรองรับมอเตอร์แรงเกินไป รายละเอียดของปัญหา

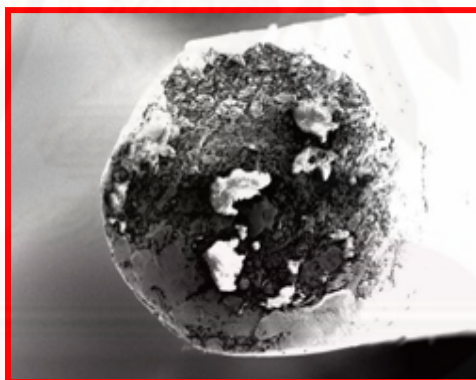
ปัญหาจากสาเหตุนี้เป็นปัญหาจากกระบวนการล้างชิ้นงานที่ได้ประกอบเป็นฐานรองรับมอเตอร์แล้วและผ่านขั้นตอนการล้างเพื่อลดจำนวนฝุ่น (Particle) ที่จะติดอยู่ที่ตัวชิ้นงานโดยใช้เครื่องล้างจำนวนฝุ่นแบบคลื่นความถี่เหนือเสียงหรือ Ultrasonic โดยปล่อยคลื่นความถี่ผ่านน้ำ DI เพื่อกำจัดฝุ่นที่ติดตามชิ้นงานออกซึ่งเครื่องล้างชนิดนี้จะมีจำนวนแท่งที่ปล่อยคลื่นความถี่ทั้งหมด 4 แท่งจาก 6 แท่งซึ่งแต่ละแท่งก็จะมีความถี่สามขนาดด้วยกันคือ 40 KHz. , 80 KHz. 120 และ KHz. ตามรูปข้างล่าง ดังนั้นเมื่อชิ้นงานผ่านเครื่องล้างจะต้องถูกน้ำ DI โดยผ่านคลื่นความถี่จำนวนมากกระทบลงบนชิ้นงานอย่างสม่ำเสมอเพื่อลดจำนวนฝุ่นออกก่อนที่จะนำฐานรองรับมอเตอร์ดังกล่าวเข้าห้องสะอาดหรือ Clean Room เพื่อนำไปประกอบเป็นมอเตอร์ต่อไป โดยจำนวนฝุ่นที่ยังคงหลงเหลืออยู่บนชิ้นงานนั้นจะต้องผ่านค่า LPC (Liquid Particle Count) หรือการตรวจสอบจำนวนฝุ่นที่หลงเหลืออยู่ในน้ำที่ปราศจากฝุ่น ซึ่งเป็นข้อกำหนดที่สำคัญอย่างหนึ่งของลูกค้ำ แต่ข้อเสียอย่างหนึ่งของเครื่องล้างระบบคลื่นความถี่เหนือเสียงนี้คือเส้นขาดลวดสเตเตอร์ก็จะได้รับการกระทบจากน้ำ DI โดยผ่านคลื่นความถี่เช่นเดียวกัน ซึ่งหากเส้นขาดลวดที่ประกอบแล้วนั้นมีแรงเค้นและความล้าสะสมอยู่หรือมีรอยบิ่นอยู่แล้วอาจทำให้เส้นขาดลวดดังกล่าวขาดได้ที่ทีมงานวิเคราะห์เช่นนี้เนื่องจากว่าปัญหา Open Circuit นี้จะถูกตรวจพบได้ที่ลูกค้ำที่

กระบวนการการตรวจสอบทางไฟฟ้าเท่านั้น ยังไม่เคยตรวจพบที่กระบวนการการประกอบ
ฐานรองรับมอเตอร์เลย

Tank No./Machine	Tank #1	Tank #2	Tank #3	Tank #4	Tank #5	Tank #6
2-2W3(JCS)	40 kHz., 1,000W	NO(spray)	40 kHz., 1,000W	80 kHz., 1,000W	120 kHz., 1,000W	Hot Blow

รูปที่ 5.9 รายละเอียดคลื่นความถี่ของเครื่องล้างรุ่น 2-2W3(JCS) ในแต่ละแท็งก์

และยิ่งไปกว่านั้นทางทีมงานได้ทำการเปรียบเทียบรอยขาดเส้นขดลวดของงานเสียที่ได้รับ
คืนจากลูกค้าด้วยกล้องกำลังขยายสูง 1,000 เท่า เพื่อเปรียบเทียบกับรอยขาดที่เกิดจากสาเหตุ
ต่างๆเช่นรอยขาดจากแรงกระแทกของคลื่นเหนือเสียง ขาดจากรอยเฉือนและขาดจากแรงดึงพบว่า
ตัวอย่างงานเสียที่ได้จากลูกค้าคล้ายกับรอยขาดของตัวอย่างที่เกิดจากการกระแทกของคลื่นเหนือ
เสียงมากที่สุดดังรูป



รูปที่ 5.10 รอยขาดของตัวอย่างงานเสียที่ได้รับจากลูกค้าที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



รูปที่ 5.11 รอยขาดของตัวอย่างงานเสียที่เกิดจากสาเหตุแรกกระแทกของคลื่นเหนือเสียง
ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



รูปที่ 5.12 รอยขาดของตัวอย่างงานเสียที่เกิดจากสาเหตุแรงเฉือนที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



รูปที่ 5.13 รอยขาดของตัวอย่างงานเสียที่เกิดจากสาเหตุแรงดึงที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

ดังนั้นจึงทำการทดสอบสมมุติฐานที่ว่า ความคลื่นความถี่เหนือเสียงของเครื่องล้างดังกล่าวนี้มีผลกระทบต่อปัญหา Open Circuit หรือไม่โดยทำการทดลองเปรียบเทียบสภาวะการใช้งานเครื่องในปัจจุบันคือทั้ง 4 แท็งก์ของเครื่องจะเปิดคลื่นความถี่ 100% กับการล้างที่ปิดคลื่นความถี่ที่ 40 Khz. กับ 80 Khz. ทั้ง 100% จะเหลือเพียงคลื่นความถี่ที่ 120 Khz. และจะทำการเปิดเพียง 40% เท่านั้น ด้วยข้อจำกัดที่ว่าหากเปิดความถี่ที่ไม่มากพอจะไม่สามารถกำจัดฝุ่นเล็กๆที่มองไม่เห็นให้ออกจากตัวฐานรองรับมอเตอร์ได้ตามมาตรฐานของลูกค้า (ค่า LPC) ก่อนที่จะนำเข้าไปประกอบเป็นตัวมอเตอร์ในห้องสะอาดหรือ Clean Room ได้จากนั้นจึงดำเนินการเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ของทั้งสองเงื่อนไขการล้างที่กระบวนการของลูกค้า

ขั้นตอนในการทดสอบสมมุติฐาน

1. งานกลุ่มที่ 1 คืองานผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ซึ่งมีกระบวนการในการประกอบฐานรองรับมอเตอร์ปกติด้วยเงื่อนไขการล้างที่ปกติคือเปิดคลื่นความถี่ 100%

2. งานกลุ่มที่ 2 คืองานผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ซึ่งมีกระบวนการในการประกอบฐานรองรับมอเตอร์ปัดด้วยเงื่อนไขการล้างที่เปิดคลื่นความถี่ที่ควบคุมคือปิดคลื่นความถี่ที่ 40 Khz. กับ 80 Khz. ทั้ง 100% และเปิดคลื่นความถี่ที่ 120 Khz. เพียง 40%
3. ควบคุมงานที่สายการประกอบเดียวกันภายใต้การปฏิบัติงานของพนักงานคนเดียวกัน โดยเฉพาะพนักงานที่ทำการรีดเส้นขวดขวดสเตเตอร์ก่อนการบัดกรีและเป็นคนที่ผ่านการอบรมแล้วมาแล้วเป็นอย่างดีเพื่อลดปัจจัยเกี่ยวกับทักษะของพนักงานลง
4. ดำเนินการตามกระบวนการปกติแล้ววัดผลจากข้อมูลของเสีย Open Circuit จากลูกค้า สมมติฐานที่ใช้ทดสอบ

$H_0 : P_{100\%} = P_{50\%}$ ไม่มีความแตกต่างของสัดส่วนข้อบกพร่องของงานกลุ่มที่ผ่านการล้างด้วยเครื่องล้างความถี่เหนือเสียงที่เปิดคลื่นความถี่ 100% กับปิดคลื่นความถี่ที่ควบคุมที่ 40 Khz. กับ 80 Khz. ทั้ง 100% และเปิดคลื่นความถี่ที่ 120 Khz. เพียง 40%

$H_1 : P_{100\%} \neq P_{50\%}$ มีความแตกต่างของสัดส่วนข้อบกพร่องของงานกลุ่มที่ผ่านการล้างด้วยเครื่องล้างความถี่เหนือเสียงที่เปิดคลื่นความถี่ 100% กับปิดคลื่นความถี่ที่ควบคุมที่ 40 Khz. กับ 80 Khz. ทั้ง 100% และเปิดคลื่นความถี่ที่ 120 Khz. เพียง 40%

จากการดำเนินการทดลองกับงานตัวอย่างการเปิดคลื่นความถี่เหนือเสียงของเครื่องล้าง 100% กับ 50% ว่าจะมีผลกระทบต่ออาการขาดของเส้นขวดขวดหรือไม่ จากข้อมูลพบว่าทั้งสองวิธีมีสัดส่วนของเสียที่เป็นวงจรถาดหรือ Open Circuit เป็น 0.0051 และ 0.0034 ตามลำดับซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาจำนวนสิ่งตัวอย่างที่เพียงพอจากโปรแกรม Minitab ต่อไป

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing proportion 1 = proportion 2 (versus not =)

Calculating power for proportion 2 = 0.0034

Alpha = 0.05

Proportion 1	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.0051	30771	0.9	0.900002

The sample size is for each group.

การดำเนินการทดลองจะเป็นการทำการทดลองเปรียบเทียบสภาวะของเครื่องล้างทั้งสองสภาวะคือ เปิดคลื่นความถี่ที่ 100% และเปิดคลื่นความถี่ที่ควบคุมโดยวิธีการดังกล่าวโดยใช้สาย

การประกอบเดียวกันและผู้ปฏิบัติงานที่ผ่านการอบรมจากนั้นทำการเก็บข้อมูลที่กระบวนการของ ลูกค้า โดยใช้ข้อมูลไม่น้อยกว่า 30, 771 ชิ้น ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้ดังนี้

ข้อมูลที่น่ามาทดสอบ

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภท Open Circuit ของการควบคุมและไม่ควบคุมคลื่น ความถี่

วิธี	จำนวนที่ตรวจสอบ (ชิ้น)	จำนวนของเสีย Open Circuit (ชิ้น)	DPPM
เปิดคลื่นความถี่ 100%	91,861	408	0.000349
เปิดคลื่นความถี่ที่ควบคุม	105,687	297	0.000231

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	408	91861	0.004441
2	297	105687	0.002810

Difference = p (1) - p (2)
 Estimate for difference: 0.00163131
 95% CI for difference: (0.00109580, 0.00216681)
 Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 5.97 P-Value = 0.000

Fisher's exact test: P-Value = 0.000

สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากการคำนวณโดยโปรแกรม Minitab (Release 15) ให้ค่า P-Value ที่ 0.000 ซึ่งสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือปฏิเสธ H_0 ได้และสามารถสรุปข้อมูลที่ได้จากการทดลองได้ว่า ในผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D มีความแตกต่างกันในสัดส่วนของข้อบกพร่อง Open Circuit ที่เกิดจากการเปิดคลื่นความถี่เหนือเสียงที่ระดับ 100% กับเปิดคลื่นความถี่ที่ควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ

5.2.6 ปัจจัยนำเข้าที่ 1 พนักงานไม่มีทักษะความชำนาญในกระบวนการจัดเส้น Wire

รายละเอียดของปัญหา

เช่นเดียวกันกับปัจจัยก่อนหน้านี้ในกระบวนการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์หรือ Wire adjust พนักงานจะทำการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์ก่อนทำการบัดกรีเพื่อให้ตะกั่วและตัวเชื่อมต่อ วงจรไฟฟ้าหรือคอนเน็คเตอร์ (Connector) เชื่อมเข้าด้วยกันดังนั้นพนักงานในกระบวนการจัดเส้น ขดลวดสเตเตอร์จะทำการรีดเส้นขดลวดสเตเตอร์ดังกล่าวด้วยแท่งพลาสติกสีน้ำเงินหรือ Blue Stick ไปด้านหน้าพร้อมกับออกแรงในการรีดเพื่อให้เส้นขดลวดสเตเตอร์เรียบไปกับคอนเน็คเตอร์

แพ็ด (Connector Pad) เพื่อให้การบัดกรีง่ายที่สุดไม่เช่นนั้นจะมีปัญหาอาการเสียอย่างอื่นตามมา แต่การดำเนินงานดังกล่าวนี้จำเป็นต้องอาศัยผู้ปฏิบัติงานที่ผ่านการอบรมมาแล้วเป็นอย่างดีและต้องใช้เวลาเพื่อให้เกิดความชำนาญเนื่องจากการทำงานโดยใช้คนซึ่งการอบรมผู้ปฏิบัติงานเพื่อให้เกิดทักษะจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ตรงกันข้ามหากเป็นผู้ปฏิบัติงานที่ไม่ได้รับการอบรมอย่างเพียงพอและไม่มีทักษะแล้วจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานใช้แรงดึงเส้นขดลวดสูงเพื่อให้เส้นขดลวดเรียบก่อนการบัดกรี ซึ่งจะทำให้เส้นขดลวดขาดหรือมีความล้าสะสมมากได้ และยิ่งไปกว่านั้นผู้ปฏิบัติงานที่ไม่มีความชำนาญจะใช้จำนวนในการดึงเส้นขดลวดหลายครั้งเนื่องจากไม่ชำนาญและมีการพับเส้นขดลวดไปมาหลายครั้ง ซึ่งก็จะมีผลกระทบและนำมาซึ่งปัญหาต่อการขาดของเส้นขดลวดหรือมีความล้าสะสมได้อีกเช่นเดียวกัน ดังนั้นการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการฝึกอบรมอย่างเพียงพอให้กับผู้ปฏิบัติงานที่จัดเส้นขดลวดและมีการผ่านขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติให้กับพนักงานที่จุดนี้โดยกำหนดเป็นจุดพิเศษที่ผู้ปฏิบัติงานจะต้องมีความสามารถเพียงพอจึงจะได้รับการอนุมัติให้ปฏิบัติงาน ณ กระบวนการนี้ได้

5.2.7 ปัจจัยนำเข้าที่ 13 พนักงานไม่มีทักษะในการบัดกรีในกระบวนการบัดกรีที่ตีพอ

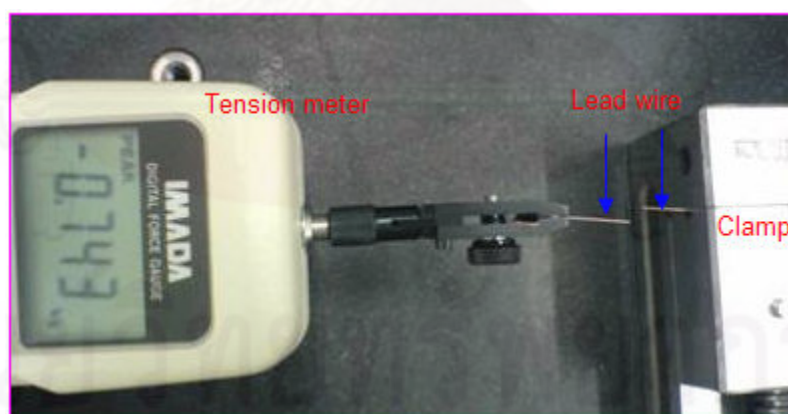
รายละเอียดของปัญหา

ปัญหาของกับปัจจัยนี้จะเกิดในกระบวนการบัดกรีหรือ Soldering ผู้ปฏิบัติงานจะทำการบัดกรีเส้นขดลวดสเตเตอร์ให้เชื่อมต่อกอนเน็คเตอร์แพ็ดของตัวเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าหรือคอนเน็คเตอร์ (Connector) โดยใช้ปลายหัวแร้งขนาดเล็กด้วยความร้อนสูงจี้ไปที่เส้นตะกั่วและคอนเน็คเตอร์แพ็ดซึ่งขั้นตอนนี้ต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานที่มีทักษะสูงมากเพราะถ้าเป็นผู้ปฏิบัติงานที่ไม่มีทักษะหรือมีทักษะไม่เพียงพอจะทำให้เกิดปัญหามากมายเช่น บัดกรีไม่สมบูรณ์ บัดกรีไม่คลุมรูปคอนเน็คเตอร์ บัดกรีสูงเกินไป บัดกรีแล้วเกิดลัดวงจร เป็นต้นซึ่งปัญหาเหล่านี้ทำให้ผู้ปฏิบัติงานต้องทำการบัดกรีซ้ำ 2-3 ครั้งซึ่งเท่ากับเป็นการใช้ความร้อนสูงจี้ที่เส้นขดลวดสเตเตอร์เพื่อการบัดกรีหลายๆครั้งนั่นเอง ซึ่งจะทำให้เส้นขดลวดสเตเตอร์นั้นบางลงและคุณสมบัติการทนทานที่เปลี่ยนไป ซึ่งก็จะมีผลกระทบและนำมาซึ่งปัญหาต่อการขาดของเส้นขดลวดได้อีกเช่นเดียวกัน ผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการบัดกรีนี้จำเป็นต้องอาศัยผู้ที่ผ่านการอบรมมาแล้วเป็นอย่างดีและต้องใช้เวลาเพื่อให้เกิดความชำนาญเนื่องจากการยังเป็นการทำงานโดยใช้คนซึ่งการอบรมผู้ปฏิบัติงานเพื่อให้เกิดทักษะจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ดังนั้นการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการฝึกอบรมอย่างเพียงพอให้กับผู้ปฏิบัติงานที่ทำการบัดกรีและมีการผ่านขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติให้กับผู้ปฏิบัติงานที่จุดนี้โดยกำหนดเป็นจุดพิเศษที่ผู้ปฏิบัติงานจะต้องมีความสามารถเพียงพอจึงจะได้รับการอนุมัติให้ปฏิบัติงาน ณ กระบวนการนี้ได้

5.2.8 ปัจจัยนำเข้าไป 3 เวลาในการชุบตะกั่วของ Stator (Dipping) นานเกินไป รายละเอียดของปัญหา

ก่อนจะนำมาประกอบเป็นฐานรองรับมอเตอร์โดยการนำวัสดุต่างๆมาประกอบเข้าด้วยกัน เช่นโครงฐานรองรับมอเตอร์หรือเบส (Base) ขดลวดสเตเตอร์ และตัวเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าหรือคอนเน็คเตอร์ (Connector) ในการผลิตตัวขดลวดสเตเตอร์มีอยู่กระบวนการหนึ่งคือกระบวนการ Dipping Solder คือการชุบตะกั่วที่ปลายขดลวดสเตเตอร์เพื่อการนำมาบัดกรีในการนำมาประกอบเป็นฐานรองรับมอเตอร์แต่การชุบตะกั่วที่ปลายขดลวดสเตเตอร์จะต้องทำที่อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมโดยเฉพาะเวลาถ้าหากชุบโดยใช้เวลานานเกินไปจะทำให้เส้นขดลวดยึบบางลงหรือหากมีความจำเป็นต้องชุบตะกั่วสองรอบเนื่องจากการชุบครั้งแรกไม่สมบูรณ์ซึ่งหรือการ Rework จึงอาจมีผลทำให้เส้นขดลวดยึบบางลงหรือมีคุณสมบัติในการทนทานลดลงเช่นกันซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการรีดเส้นขดลวดก่อนการบัดกรีในการประกอบฐานรองรับมอเตอร์ยิ่งอาจทำให้เกิดผลกระทบต่ออายุการใช้งานของเส้นขดลวดได้เนื่องจากการทนต่อแรงดึงของเส้นขดลวดลดลงนั่นเอง

ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงจะทำการทดสอบสมมุติฐานที่ว่า การชุบตะกั่วสองรอบในกระบวนการผลิตขดลวดสเตเตอร์จะมีผลต่อค่า แรงยึดเหนี่ยวของเส้นลวดหรือค่า Bond Strength หรือไม่ จากการดำเนินการทดลองกับงานตัวอย่างการชุบตะกั่วครั้งเดียว กับ 2 ครั้ง แล้วทดลองวัดค่าแรงยึดเหนี่ยวหรือ Bond Strength ซึ่งจะมีขั้นตอนและผลดังนี้คือ



รูปที่ 5.14 การทดสอบแรงดึงของเส้นขดลวดสเตเตอร์โดย Tension Meter

ขั้นตอนในการทดสอบสมมุติฐาน

1. งานกลุ่มที่ 1 คืองานขดลวดสเตเตอร์รุ่น Brink 1D ซึ่งผ่านกระบวนการชุบตะกั่ว 1 ครั้ง
2. งานกลุ่มที่ 2 คืองานขดลวดสเตเตอร์รุ่น Brink 1D ซึ่งผ่านกระบวนการชุบตะกั่ว 2 ครั้ง
3. ทดสอบแรงดึงด้วยเครื่องวัดแรงดึงหรือค่า Bond Strength แล้วทำการวัดค่า

สมมุติฐานที่ใช้ทดสอบ

Ho : $\mu_{1Time} = \mu_{2Times}$ ไม่มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของงานกลุ่มผ่านกระบวนการชุบ
ตะกั่ว 1 ครั้งและ 2 ครั้ง

H1 : $\mu_{1Time} \neq \mu_{2Times}$ มีความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของงานกลุ่มผ่านกระบวนการชุบ
ตะกั่ว 1 ครั้งและ 2 ครั้ง

ข้อมูลที่น่ามาทดสอบ

ตารางที่ 5.8 การทดสอบแรงดึงเส้นขดลวดสเตเตอร์ของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ที่ชุบตะกั่ว 1 และ 2 ครั้ง

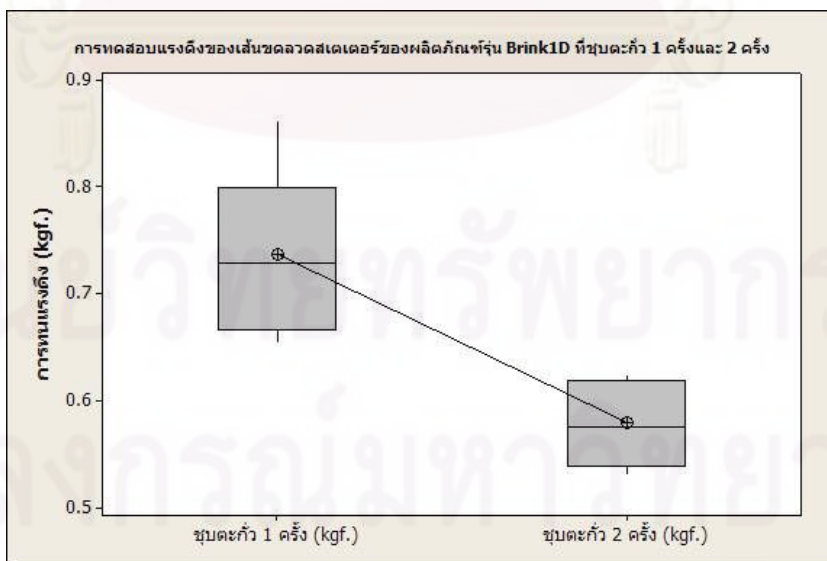
วิธี	จำนวนที่ทดสอบ (ชิ้น)	ค่าเฉลี่ย Bond Strength (Kgf.)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ชุบตะกั่ว 1 ครั้ง	10	0.7370	0.074514
ชุบตะกั่ว 2 ครั้ง	10	0.5800	0.036253

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Two-Sample T-Test and CI

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
1	10	0.7370	0.0745	0.024
2	10	0.5800	0.0363	0.011

Difference = mu (1) - mu (2)
 Estimate for difference: 0.1570
 95% CI for difference: (0.1004, 0.2136)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 5.99 P-Value = 0.000 DF = 13



รูปที่ 5.15 Box Plot ความแตกต่างของแรงดึงของขดลวดสเตเตอร์
ที่ชุบตะกั่ว 1 ครั้งและ 2 ครั้ง

สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

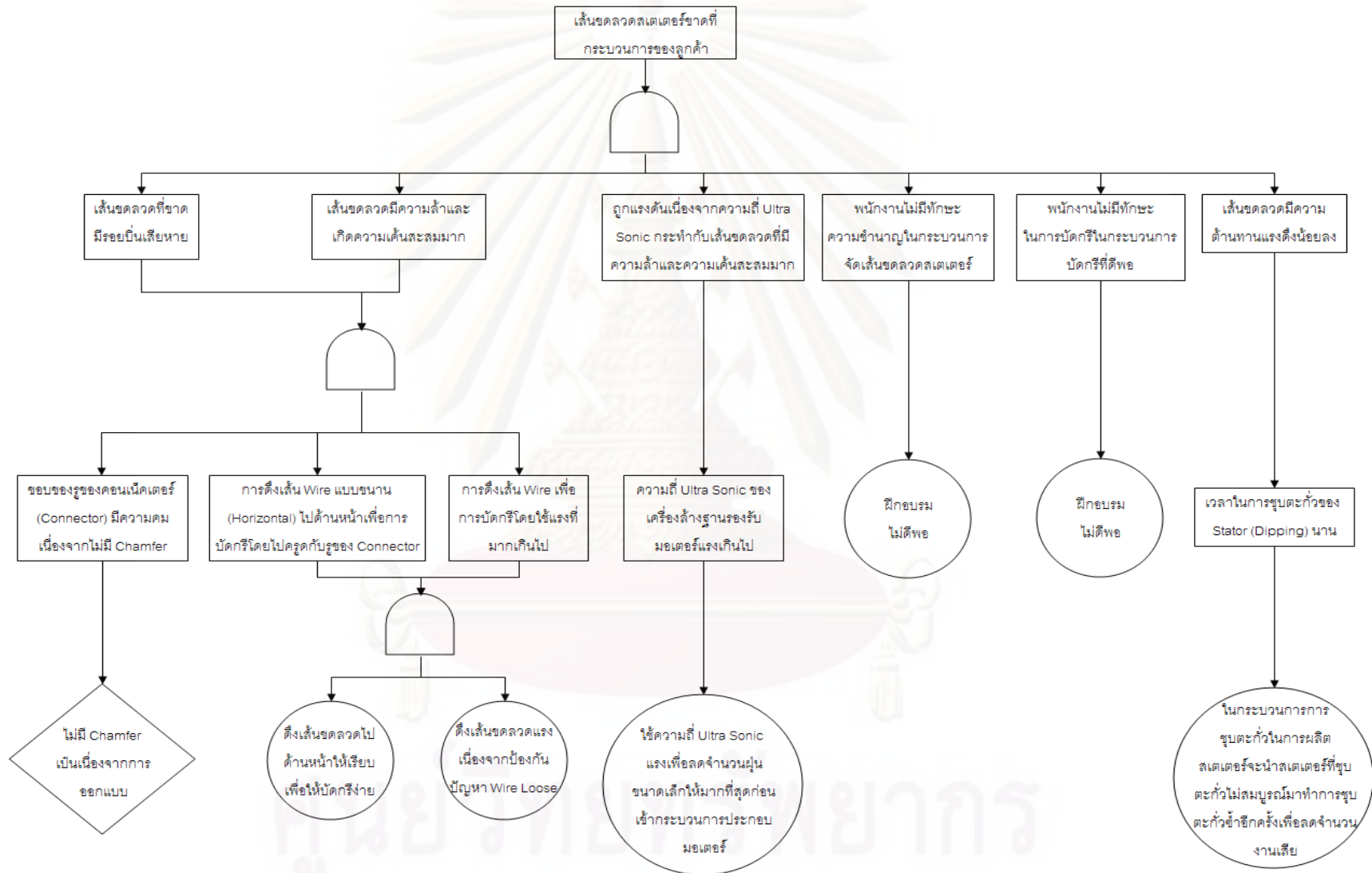
จากการคำนวณโดยโปรแกรม Minitab (Release 15) ให้ค่า P-Value ที่ 0.000 ซึ่งสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือปฏิเสธ H_0 ได้และสามารถสรุปข้อมูลที่ได้จากการทดลองได้ว่าในค่าแรงดึงหรือค่า Bond Strength ของเส้นขดลวดที่เกิดจากการชุบตะกั่วครั้งเดียวกับ 2 ครั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการทำการวิเคราะห์และทดสอบสมมติฐานสามารถสรุปเป็นแผนภาพการวิเคราะห์ปัญหาโดยแผนภาพต้นไม้ดังรูปที่ 5.16



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.16 การวิเคราะห์ปัญหาเส้นขดลวดสเตเตอร์ขาด (Open Circuit) โดยแผนภาพต้นไม้ (Faust Tree Diagram)



5.3 การวิเคราะห์/ทดสอบสมมุติฐานของลักษณะของเสียประเภท Hi-pot

5.3.1 ปัจจัยนำเข้าที่ 2 พนักงานไม่มีทักษะในการใช้เครื่องทำให้ไม่ได้เปิดกระแสไฟ

สำหรับตรวจสอบ Hi-pot

รายละเอียดของปัญหา

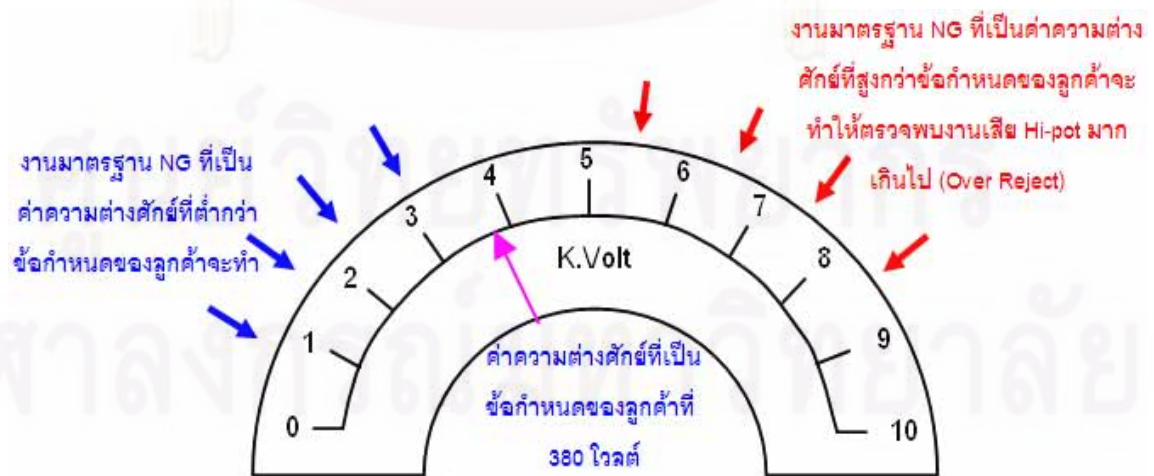
ปัญหาของกับปัจจัยนี้จะเกิดในกระบวนการการตรวจสอบค่าทางไฟฟ้าซึ่งจะมีการตรวจสอบค่าต่างๆ เช่นความต้านทานของขดลวดหรือ Resistance ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดหรือ Inductance ค่าความต่อเนื่องหรือ Continuity ค่าทิศทางการหมุนของมอเตอร์หรือ Spin ค่ากระแสไฟรั่วไหลลงฐานมอเตอร์ (Base) หรือ Hi-pot ซึ่งเกิดเนื่องจากการขาดทักษะในการใช้งานเครื่องตรวจทางไฟฟ้าของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งก่อนเริ่มทำงานผู้ปฏิบัติงานจะต้องควบคุมปุ่มในการใช้งานเพื่อเปิดเครื่องอยู่ 3 ปุ่มคือปุ่มเปิดเครื่อง ปุ่มเปิดเพื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าและปุ่มปรับค่ากระแสไฟฟ้าต่อจากนั้นต้องทำการเปิดโปรแกรมในการตรวจสอบที่ระบุขีดจำกัดข้อกำหนดสำหรับแต่ละรุ่นไว้ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการดังกล่าวนี้จึงต้องผ่านการฝึกอบรมการใช้งานเครื่องมาเป็นอย่างดีและมีทักษะพอสมควรแต่จากการตรวจติดตามการทำงานพบว่าในบางครั้งมีการนำผู้ปฏิบัติงานที่ยังไม่ได้รับการอบรมวิธีการใช้งานเครื่องอย่างเพียงพอเนื่องจากทางฝ่ายผลิตคิดว่าการอบรมวิธีการทำงานก็เป็นการเพียงพอแล้วอีกทั้งขั้นตอนการปฏิบัติงานในกระบวนการนี้ยังไม่ได้กล่าวถึงวิธีการในการใช้งานเครื่องอย่างละเอียดอีกด้วย จึงทำให้ในบางครั้งเกิดปัญหาตามมาเช่นผู้ปฏิบัติงานไม่ได้เปิดปุ่มการใช้งานกระแสไฟฟ้าซึ่งเท่ากับว่าไม่ได้ทำการตรวจสอบค่า Hi-pot แต่ก็ไม่สามารถตรวจจับได้ที่หน้าจอลดจอของเครื่องเนื่องจากเครื่องจะแสดงค่า OK ที่หน้าจอดั้งนั้นของเสียที่ผ่านเครื่องในกรณีนี้จะไม่สามารถถูกตรวจพบได้เลย ด้วยเหตุนี้ผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการบัดกรีนี้จึงจำเป็นต้องอาศัยผู้ที่ผ่านการอบรมการใช้งานเครื่องมาแล้วเป็นอย่างดีและต้องใช้เวลาเพื่อให้เกิดความชำนาญเนื่องจากยังเป็นการทำงานโดยใช้คนซึ่งการอบรมผู้ปฏิบัติงานเพื่อให้เกิดทักษะจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ดังนั้นการแก้ปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการฝึกอบรมอย่างเพียงพอให้กับผู้ปฏิบัติงานที่ใช้งานเครื่องอย่างเพียงพอจึงจะได้รับการอนุมัติให้ปฏิบัติงาน ณ กระบวนการนี้ได้

5.3.2 ปัจจัยนำเข้าที่ 10 Master NG ที่ใช้ทดสอบก่อนเริ่มงานไม่เหมาะสมเนื่องจากเป็น NG ที่มีค่าความต่างศักย์ต่ำกว่าข้อกำหนด , ปัจจัยนำเข้าที่ 11 ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากพนักงานสามารถปรับเองได้ และปัจจัยนำเข้าที่ 13 ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากปรับตั้งเครื่องต่ำเกินไปจากช่างผู้ดูแลเครื่อง

รายละเอียดของปัญหา

ก่อนเริ่มงานในกระบวนการการตรวจสอบค่าทางไฟฟ้าที่จะมีการตรวจสอบค่าต่างๆ ทางไฟฟ้าจะต้องมีการนำตัวงานฐานรองรับมอเตอร์ที่เป็นมาตรฐานมาตรวจสอบความสามารถของเครื่องก่อนการใช้งานจริงในทุกๆหัวข้อการตรวจสอบรวมถึงค่า Hi-pot ด้วยซึ่งงานมาตรฐานดังกล่าวนี้จะเป็นมาตรฐานที่เป็นค่างาน NG โดยเครื่องจะอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานก็ต่อเมื่อทดลองวางงานมาตรฐานบนเครื่องแล้วเครื่องสามารถตรวจจับได้ว่าเป็นงาน NG

แต่จากการตรวจสอบตัวงานมาตรฐานดังกล่าวพบว่าเป็นตัวงานมาตรฐานจะเป็นงาน NG ที่เป็นค่าชัดเจนกล่าวคือตัวงานมาตรฐานนี้ จะตรวจจับได้แม้เพียงป้อนความต่างศักย์เพียงเล็กน้อยหรือไม่จำเป็นต้องป้อนความต่างศักย์เลย ซึ่งหมายความว่าแม้เครื่องจะเจองานเสียแต่ก็ไม่สามารถตรวจพบได้เนื่องจากการปรับตั้งค่าความต่างศักย์ไว้ต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้ำคือที่ 380 โวลต์ซึ่งถูกปรับตั้งไว้อย่างไม่เหมาะสมตามตัวงานมาตรฐานที่เป็นค่าที่ชัดเจนนั้นหรือการปรับเลื่อนโดยพนักงานเอง แต่ที่ควรเป็นตามข้อกำหนดของลูกค้ำคืองานมาตรฐานควรตรวจจับได้ที่ค่าความต่างศักย์ที่ 380 โวลต์ ซึ่งหากใช้งานมาตรฐาน NG ที่เมื่อป้อนค่าความต่างศักย์สูงเกินกว่า 380 โวลต์มาเป็นงานมาตรฐานจะกลายเป็นการตรวจจับงานเสียโดยใช้ขีดจำกัดข้อกำหนดที่สูงกว่าที่ลูกค้ำกำหนด ซึ่งเป็นการปฏิเสธงานทั้งที่จริงควรจะยอมรับได้ ดังนั้นการกำหนดการตรวจสอบความสามารถของเครื่องโดยใช้งานมาตรฐานหรืองาน Master ควรใช้งานที่เป็นค่างาน NG เมื่อเครื่องป้อนความต่างศักย์อยู่ที่ 380 โวลต์จึงจะถือว่าเครื่องตรวจสอบได้มาตรฐาน ตรงกันข้ามหากใช้งานมาตรฐานที่ชัดเจนนี้กล่าวคือใช้งานมาตรฐาน NG ที่เมื่อป้อนความต่างศักย์น้อยกว่า 380 ก็จะทำให้เกิดการปรับตั้งที่เครื่องจะใช้ความต่างศักย์ต่ำกว่าข้อกำหนดและนำมาซึ่งการตรวจไม่พบความผิดพลาดหรืองานเสียในกรณีที่เป็นงานเสียประเภทกำกึ่งหรือเป็นงานเกือบดี (Marginal) นั่นเอง



รูปที่ 5.17 ค่าความต่างศักย์ต่างๆของงานเสียที่นำมาเป็นมาตรฐาน

ด้วยเหตุนี้ทางวิศวกรคุณภาพจึงควรที่จะต้องทำการทบทวนและค้นหางานเสียประเภท Hi-pot ที่ค่าความต่างศักย์ที่ 380 โวลต์ซึ่งได้รับคืนจากลูกค้าและนำมาจัดทำเป็นงานเสียมาตรฐานที่จะนำมาใช้ในการตรวจยืนยันความสามารของเครื่องก่อนเริ่มงาน

5.3.3 ปัจจัยนำเข้าที่ 3 พนักงานไม่ใช้งาน Master ในการตรวจสอบก่อนเริ่มงานทำให้ไม่พบข้อผิดพลาดเนื่องจากไม่มีทักษะในการใช้เครื่อง

รายละเอียดของปัญหา

ก่อนเริ่มงานในกระบวนการการตรวจสอบค่าทางไฟฟ้าที่จะมีการตรวจสอบค่าต่างๆ ทางไฟฟ้าดังที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่ปัญหาของกับปัจจัยนี้จะเกิดในการที่ผู้ปฏิบัติงานไม่ได้ใช้งานเสียที่เป็นมาตรฐานที่ทางฝ่ายวิศวกรได้จัดเตรียมไว้ให้สำหรับยืนยันความสามารของเครื่องในการตรวจสอบค่าทางไฟฟ้า ก่อนเริ่มงานซึ่งเกิดเนื่องจากการขาดทักษะในการใช้งานเครื่องตรวจทางไฟฟ้าของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งผู้ปฏิบัติงานที่ไม่มีทักษะจะไม่ทราบว่าตนเองควรต้องทำอะไรลำดับก่อนหลัง ซึ่งหลังจากการเปิดใช้งานเครื่องแล้วก่อนเริ่มทำงานผู้ปฏิบัติงานจะต้องใช้งานที่เป็นของเสียมาตรฐานทดสอบความสามารถในการตรวจจับของเครื่องซึ่งการที่ไม่ได้ถูกตรวจสอบเท่ากับว่าไม่มีความมั่นใจเพียงว่าเครื่องตรวจสอบจะมีความสามารถเพียงพอในการตรวจจับงานเสีย ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการดังกล่าวนี้จึงต้องผ่านการฝึกอบรมการใช้การทำงานกับเครื่องมาด้วยเพื่อจะได้ทราบลำดับการทำงานและความสำคัญของการทดสอบความสามารถของเครื่องรวมถึงกำหนดเป็นมาตรฐานในการทำงานและจัดทำเป็นคู่มือปฏิบัติงานด้วย

5.3.4 ปัจจัยนำเข้าที่ 5 Base บริเวณช่องใส่ Connector มี E-coat ไม่สมบูรณ์ (ทำให้ไม่เป็นฉนวน) และปัจจัยนำเข้าที่ 8 พนักงานใส่ Stator ไม่ตรงตำแหน่งทำให้ตะกั่วของเส้น Wire ไปสัมผัสกับ Base บริเวณช่องใส่ Connector ที่ E-coat ไม่สมบูรณ์ (ไม่เป็นฉนวน)

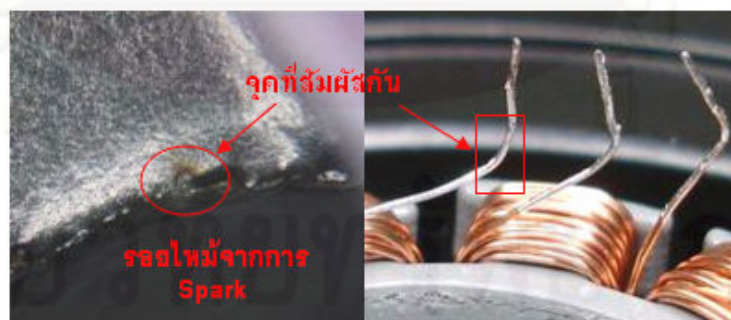
รายละเอียดของปัญหา

ปัญหาของกับปัจจัยนี้จะเกิดจากฐานรองมอเตอร์หรือ Base ซึ่งปกติผิวด้านนอกของ Base จะเป็นฉนวนซึ่งจะเคลือบด้วย E-coat ดังนั้นหากบ่อนความต่างศักย์แล้วกระแสไฟจะไม่สามารถไหลผ่านได้ แต่จากการทำการวิเคราะห์ของทีมงานพบปัญหาว่า Base ตรงบริเวณจุดที่ใส่คอนเน็คเตอร์มีความไม่สมบูรณ์ของ E-coat เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นผิวที่ไม่เรียบเสมอกของการหล่ออลูมิเนียมจากแม่พิมพ์ของ Base ไม่สมบูรณ์ และเป็นบริเวณที่มีความโค้งนูนทำให้กระบวนการการลบคมหลังกระบวนการหล่อขึ้นรูปแล้วไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นเมื่อผ่านกระบวนการ E-coat จึงทำให้บริเวณดังกล่าวมีผิว E-coat ที่ไม่สมบูรณ์และหากบ่อนความต่างศักย์ที่จุดนี้จะทำให้กระแสไฟสามารถไหลผ่านตัว Base ได้



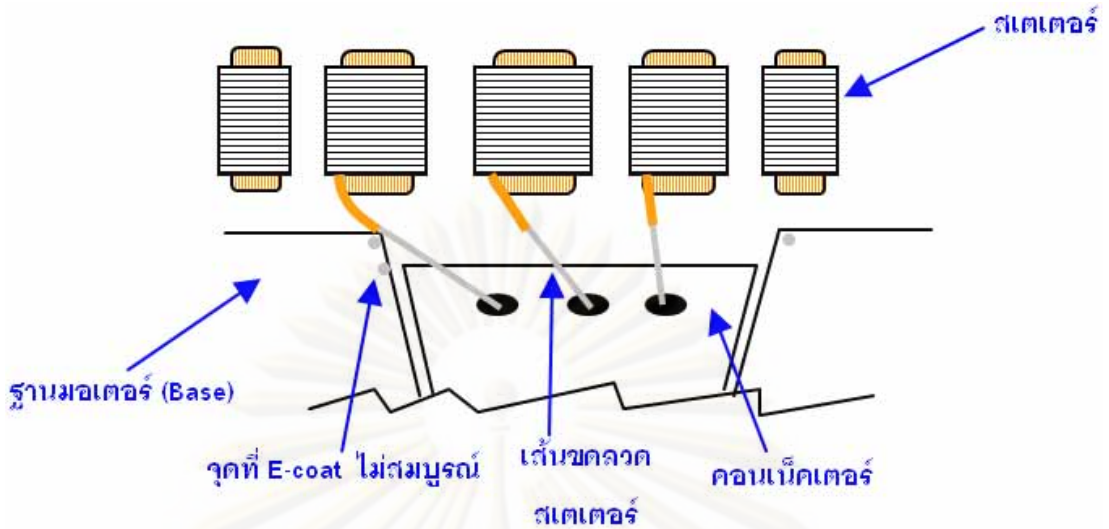
รูปที่ 5.18 ผิวน E-coat ที่ไม่สมบูรณ์ของ Base

ประกอบกับปัญหาของการประกอบตัวสเตเตอร์ให้เข้ากับตัว Base เองถ้าเป็นผู้ปฏิบัติงานที่ไม่มีทักษะเพียงพอจะไม่มีควมชำนาญทำให้ประกอบเข้าได้ยากและเมื่อประกอบเข้าได้แล้วจำเป็นจะต้องปรับตำแหน่งขั้วของสเตเตอร์ให้ตรงตามที่กำหนดไว้ มิเช่นนั้นจะทำให้เส้นขดลวดหย่อนหรือเอียงจนเส้นขดลวดไปสัมผัสกับตัว Base ตรงบริเวณที่มี E-coat ไม่สมบูรณ์และเมื่อป้อนความต่างศักย์ลงไปเมื่อใดจะทำให้เกิดปัญหา Hi-pot หรือกระแสไฟฟ้าลัดวงจร Base ทันที ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการดังกล่าวนี้จึงควรผ่านการฝึกอบรมการประกอบสเตเตอร์ให้เข้ากับตัว Base มาเป็นอย่างดีและมีทักษะพอสมควร อีกทั้งจากการตรวจติดตามการทำงานพบว่าขั้นตอนการปฏิบัติงานในกระบวนการนี้ยังไม่ได้กล่าวถึงวิธีการรายละเอียดในการกำหนดตำแหน่งของขั้วของสเตเตอร์ภายหลังการประกอบแล้วจึงมีโอกาสทำให้ผู้ปฏิบัติงานที่ยังมีทักษะไม่เพียงพอจะทำให้เกิดปัญหาเส้นขดลวดเอียงหรือหย่อนซึ่งหากเส้นขดลวดดังกล่าวไปสัมผัสกับจุดที่ไม่มี E-coat ก็จะทำให้เกิดปัญหา Hi-pot ตามมา



รูปที่ 5.19 ผิวน E-coat ที่ไม่สมบูรณ์ของ Base ที่สัมผัสกับระยะตะกั่วของขดลวด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

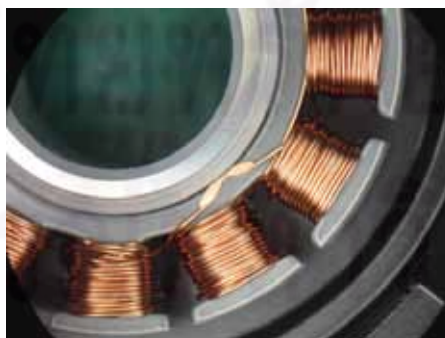


รูปที่ 5.20 ภาพจำลองการสัมผัสกันของผิว E-coat ที่ไม่สมบูรณ์ของ Base กับระยะตะเกี้ยวของขดลวด

5.3.5 ปัจจัยนำเข้าไป 9 Fixture ของเครื่อง Press Fit ไม่ได้ Center ทำให้ไปกดทับเส้น Wire ในกระบวนการ Press Fit Stator

รายละเอียดของปัญหา

ปัญหาของกับปัจจัยนี้จะเกิดในกระบวนการการสวมอัดสเตเตอร์หรือ Press Fit Stator ซึ่งเกิดจากการที่ Fixture บนของเครื่องสวมอัดสเตเตอร์อัดลงมาเพื่อกดทับขอบของสเตเตอร์หรือ Stack แต่เนื่องจาก Fixture บนมีระยะเยื้องศูนย์กลางกับ Guild Pin ล่างที่เป็นตัวยึดตำแหน่งรูของฐานรองมอเตอร์ (Inner Diameter Boss Base) รวมถึงมีระยะช่องว่างหรือ Gap ของ Fixture ในการวาง Base หรือแม้กระทั่งขนาดของ Base เองในแต่ละล็อตหรือแต่ละผู้ส่งมอบก็จะมีขนาดที่เป็นวัสดุเข้ามาก็พอสมควรจึงทำให้เกิดการกดทับเส้นขดลวดที่อยู่บริเวณ Stack หากเส้นขดลวดสเตเตอร์หลุดออกนอก Stack แม้เพียงเล็กน้อย



รูปที่ 5.21 การถูกกดทับของขดลวดสเตเตอร์

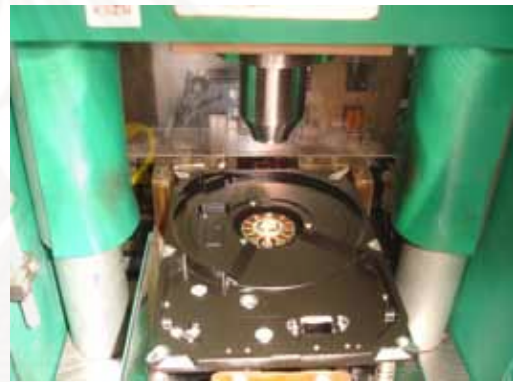
ซึ่งการที่เส้นขดลวดถูกทับอาจทำให้ฉนวนที่เคลือบอยู่บนเส้นขดลวดสเตเตอร์แตกออกจนทำให้ตะกั่วที่อยู่ด้านในสัมผัสกับผิว Base บริเวณที่ไม่ใช่ E-coat หรือสัมผัสกับ Stack ของสเตเตอร์เองซึ่งกรณีนี้หากป้องกันความต่างศักย์ให้กับขดลวดก็จะทำให้เกิดปัญหากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเกิดขึ้น

ด้วยเหตุดังกล่าวทำให้ทางทีมงานได้ทำการวิเคราะห์และหาทางแก้ไขว่าปัญหาเกิดจากการที่ Fixture บนกดอัดลงบน Stack ของสเตเตอร์ที่มีระยะเยื้องศูนย์กลางทำให้ Fixture ไปกดทับลงบนเส้นขดลวดทำให้เกิดปัญหา Hi-pot ขึ้น จึงได้สรุปว่าจะทดลองเปลี่ยนให้ Guild Pin ที่อยู่ด้านล่างไปอยู่ด้านบนบนแทนซึ่งสามารถควบคุมระยะเยื้องศูนย์กลางให้น้อยลงได้ง่ายกว่าเนื่องจาก Guild Pin ที่อยู่ด้านบนจะทำการ Alignment จุดศูนย์กลางของตัว Fixture สวมอัดและจุดศูนย์กลางของรู Base เข้าให้เป็นจุดเดียวกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุดซึ่งน่าจะทำให้ปัญหาเส้นขดลวดที่ถูก Fixture ด้านบนกดทับลดลง



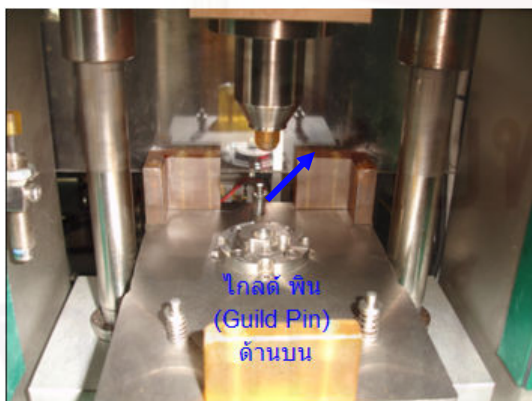
รูปที่ 5.22

เครื่องสวมอัดสเตเตอร์ที่ Guide Pin
อยู่ด้านล่าง



รูปที่ 5.23

เครื่องสวมอัดสเตเตอร์ที่ Guide Pin
อยู่ด้านล่างหลัง Base ถูกสวมอัดแล้ว



รูปที่ 5.24

เครื่องสวมอัดสเตเตอร์ที่ Guide Pin
อยู่ด้านบน



รูปที่ 5.25

เครื่องสวมอัดสเตเตอร์ที่ Guide Pin
อยู่ด้านบนหลัง Base ถูกสวมอัดแล้ว

ดังนั้นจึงทำการทดสอบสมมุติฐานที่ว่า การเปลี่ยน Guide Pin ที่อยู่ทางด้านล่างให้เป็น ด้านบนนั้น มีผลกระทบต่อปัญหา Fixture บนกดทับเส้นขดลวด Open Circuit หรือไม่ โดยทำการ ทดลองเปรียบเทียบทั้งสองแบบแล้วดำเนินการเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียประเภท Wire damage หรือเส้นขดลวดสเตเตอร์ถูกกดทับโดย Fixture ด้านบนนั่นเอง โดยทำการทดลองเปลี่ยนที่สายการ ประกอบเดียวแล้วเก็บข้อมูลดังนี้

ขั้นตอนในการทดสอบสมมุติฐาน

1. งานกลุ่มที่ 1 คืองานผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ซึ่งผ่านกระบวนการสวมอัด (Press Fit Stator) ด้วยการใส่ Guide Pin อยู่ด้านล่าง
2. งานกลุ่มที่ 2 คืองานผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ซึ่งผ่านกระบวนการสวมอัด (Press Fit Stator) ด้วยการใส่ Guide Pin อยู่ด้านบน
3. ดำเนินการโดยจัดให้มีผู้ปฏิบัติงานที่ผ่านการอบรมแล้วที่กระบวนการ Press Fit Stator ทั้งสองวิธีเพื่อลดปัจจัยเกี่ยวกับทักษะของพนักงานลง
4. ดำเนินการตามกระบวนการปกติแล้ววัดผลจากข้อมูลของเสียที่ท้ายกระบวนการคือ Visual Measurement Inspection

สมมุติฐานที่ใช้ทดสอบ

$H_0 : P_{\text{GuideBelow}} = P_{\text{GuideTop}}$ ไม่มีความแตกต่างของสัดส่วนข้อบกพร่องของงานกลุ่มที่สวม อัดด้วยการใส่ Guide Pin อยู่ด้านบนและด้านล่าง

$H_1 : P_{\text{GuideBelow}} \neq P_{\text{GuideTop}}$ มีความแตกต่างของสัดส่วนข้อบกพร่องของงานกลุ่มที่สวม อัดด้วยการใส่ Guide Pin อยู่ด้านบนและด้านล่าง

วิธีการคำนวณสิ่งตัวอย่าง

จากการเก็บข้อมูลของงานกลุ่มที่สวมอัดด้วยการใส่ Guide Pin ที่อยู่ด้านบนและงานกลุ่ม ที่สวมอัดด้วยการใส่ Guide พบว่าสัดส่วนของเสียที่เป็น Wire damage ของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ภายใต้กระบวนการสวมอัดด้วยการใส่ Guide Pin ที่อยู่ด้านบนเท่ากับ 0.0012 และสัดส่วน ของเสียภายใต้กระบวนการสวมอัดด้วยการใส่ Guide Pin ที่อยู่ด้านล่างเท่ากับ 0.0005 ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาจำนวนสิ่งตัวอย่างจากโปรแกรม Minitab ได้ดังนี้

Power and Sample Size

Test for Two Proportions

Testing proportion 1 = proportion 2 (versus not =)

Calculating power for proportion 2 = 0.0005

Alpha = 0.05

Proportion 1	Sample Size	Target Power	Actual Power
0.0012	36422	0.9	0.900006

The sample size is for each group.

การดำเนินการทดลองจะเป็นการทำการทดลองเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียประเภท Wire damage ของเครื่องสวมอัดหรือ Press fit stator ที่มี Guide Pin อยู่ด้านบนและด้านล่าง แล้วควบคุมวิธีการดังกล่าวโดยใช้ผู้ปฏิบัติงานที่ผ่านการอบรมมาแล้วจากนั้นทำการเก็บข้อมูลของเสียประเภท Wire damage ภายกระบวนกรของลูกค้ำ โดยใช้ข้อมูลไม่น้อยกว่า 36, 422 ชิ้น ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้ดังนี้

ข้อมูลที่น่ามาทดสอบ

ตารางที่ 5.9 สัดส่วนของเสียประเภท Wire damage ของ Guide Pin ที่อยู่ด้านบนและด้านล่าง

วิธี	จำนวนที่ตรวจสอบ (ชิ้น)	จำนวนของเสีย Open Circuit (ชิ้น)	DPPM
Guide Pin อยู่ด้านบน	114,757	21	0.000183
Guide Pin อยู่ด้านล่าง	96,101	6	0.000062

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	21	114757	0.000183
2	6	96101	0.000062

Difference = p (1) - p (2)
 Estimate for difference: 0.000120561
 95% CI for difference: (0.0000277164, 0.000213406)
 Test for difference = 0 (vs not = 0): Z = 2.55 P-Value = 0.011

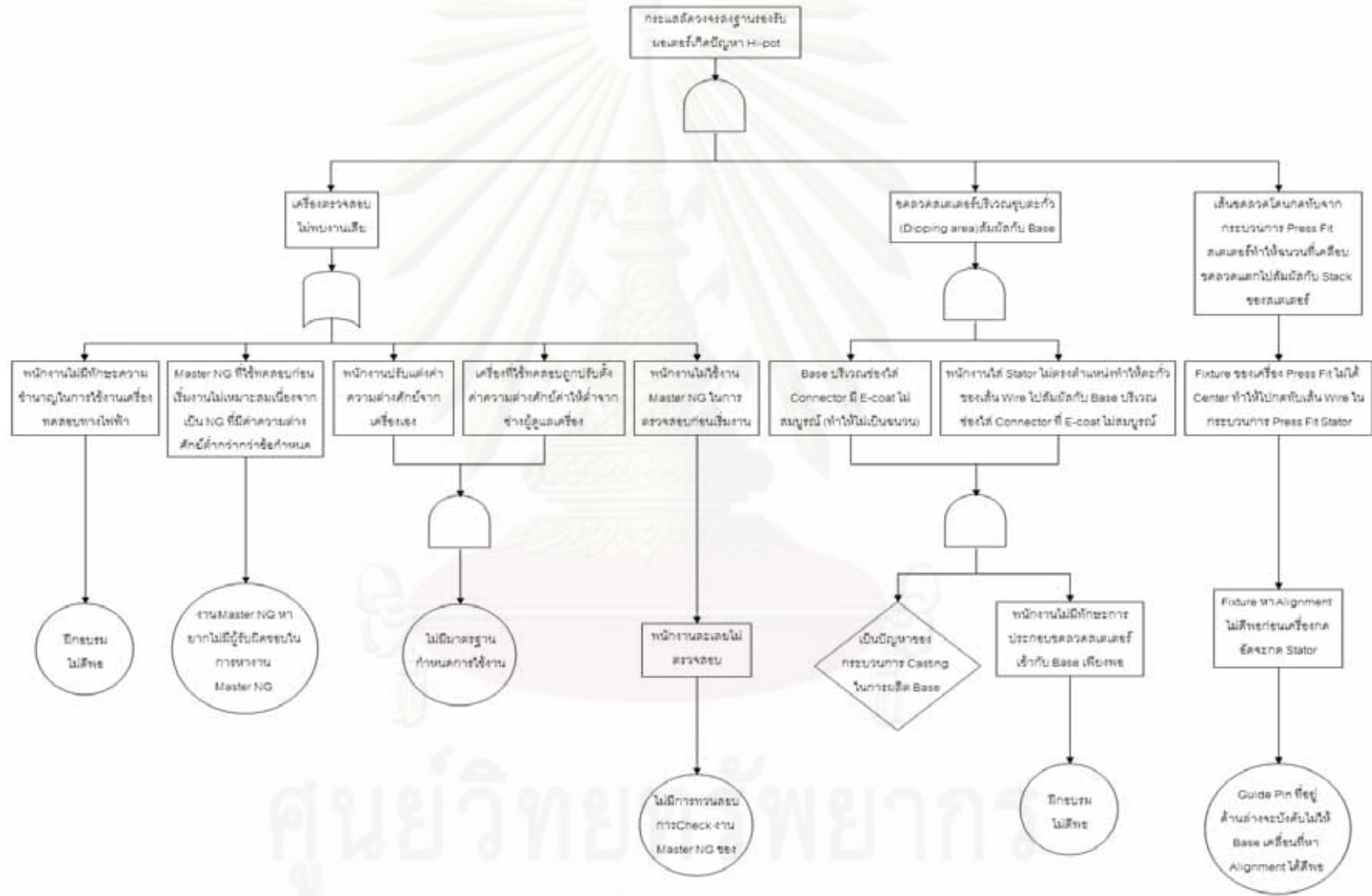
Fisher's exact test: P-Value = 0.019

สรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

จากการคำนวณโดยโปรแกรม Minitab (Release 15) ให้ค่า P-Value ที่ 0.019 ซึ่งสามารถปฏิเสธสมมุติฐานหลักหรือปฏิเสธ Ho ได้และสามารถสรุปข้อมูลที่ได้จากการทดลองได้ว่าในผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D ในกระบวนการสวมอัดสเตเตอร์หรือ Press Fit Stator ในสัดส่วนของข้อบกพร่อง Wire damage หรือเส้นขาดลวดถูกกดทับโดย Fixture บนของเครื่อง มีความแตกต่างกันระหว่าง Guide pin ที่อยู่ด้านบนและ Guide ที่อยู่ด้านล่างอย่างมีนัยสำคัญ

จากการทำการวิเคราะห์และทดสอบสมมุติฐานสามารถสรุปเป็นแผนภาพการวิเคราะห์ปัญหาโดยแผนภาพต้นไม้ดังรูปที่ 5.26

รูปที่ 5.26 การวิเคราะห์ปัญหากระแสลัดวงจรลง Base (Hi-pot) โดยแผนภาพต้นไม้ (Faust Tree Diagram)



5.4 สรุปผลการเลือกปัจจัยและผลกระทบของปัจจัยสำหรับปัญหาของเสียประเภท Open Circuit และ Hi-pot

จากการการวิเคราะห์/ทดสอบสมมุติฐานของลักษณะของเสียประเภททั้งประเภท Open Circuit และ Hi-pot สามารถสรุปผลกระทบของปัจจัยที่มีต่อปัญหาเพื่อนำไปสู่ขั้นตอนของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการได้ดังนี้

ตารางที่ 5.10 ผลกระทบต่อปัจจัยของปัญหาของเสียประเภท Open Circuit

ลำดับ	ปัจจัย นำเข้า ที่	สาเหตุของปัจจัย	เครื่องมือทาง สถิติ	ผลกระทบ ต่อปัจจัย
1	4	ขอบของรูของ Connector ที่ใส่เส้น wire มีความคมเนื่องจากไม่มี Chamfer	Two proportions	มีผลกระทบ
2	6	ตั้งเส้น wire แบบขนาน (Horizontal) ไปด้วยด้านหน้าเพื่อการบัดกรีโดยไปครูดกับรูของ Connector	Two proportions	มีผลกระทบ
3	5	ตั้งเส้น wire เพื่อการบัดกรีโดยใช้แรงมากเกินไป	Two proportions	มีผลกระทบ
4	7	เส้น wire เกิดแรงเค้นเนื่องจากในกระบวนการจะมีการพับเส้น wire ไปมา 2 ครั้งก่อนการบัดกรี	Two proportions	ไม่มีผลกระทบ
5	15	ความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้างฐานรองรับมอเตอร์แรงเกินไป	Two proportions	มีผลกระทบ
6	1	พนักงานไม่มีทักษะความชำนาญในกระบวนการจัดเส้น wire	-	มีผลกระทบ
7	13	พนักงานไม่มีทักษะในการบัดกรีในกระบวนการบัดกรีที่ดีพอ	-	มีผลกระทบ
8	3	เวลาในการชุบตะกั่วของ Stator (Dipping) นานเกินไป	Two samples t	มีผลกระทบ

ตารางที่ 5.11 ผลกระทบต่อปัจจัยของปัญหาของเสียประเภท Hi-pot

ลำดับ	ปัจจัยนำเข้าที่	สาเหตุของปัจจัย	เครื่องมือทางสถิติ	ผลกระทบต่อปัจจัย
1	2	พนักงานไม่มีทักษะในการใช้งานเครื่องทำให้ไม่ได้เปิดกระแสไฟสำหรับตรวจสอบ Hi-pot	-	มีผลกระทบ
2	10	Master ที่ใช้ทดสอบก่อนเริ่มงานไม่เหมาะสมเนื่องจากเป็น NG ที่ความต่างศักย์ต่ำกว่าข้อกำหนด	-	มีผลกระทบ
3	3	พนักงานไม่ใช้งาน Master ในการตรวจสอบก่อนเริ่มงานทำให้ไม่พบข้อผิดพลาดเนื่องจากไม่มีทักษะในการใช้เครื่อง	-	มีผลกระทบ
4	5	Base บริเวณช่องใส่ Connector มี E-coat ไม่สมบูรณ์ (ทำให้ไม่เป็นฉนวน)	-	มีผลกระทบ
5	9	Fixture ของเครื่อง Press Fit ไม่ได้ Center ทำให้ไปกดทับเส้น Wire ในกระบวนการ Stator Press Fit	Two proportions	มีผลกระทบ
6	11	ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากพนักงานสามารถปรับเองได้	-	มีผลกระทบ
7	8	พนักงานใส่ Stator ไม่ตรงตำแหน่งทำให้ระยะตะกั่วของเส้น Wire ไปสัมผัสกับ Base บริเวณช่องใส่ Connector ที่ E-coat ไม่สมบูรณ์(ไม่เป็นฉนวน)	-	มีผลกระทบ
8	13	ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากปรับตั้งเครื่องต่ำเกินไปจากปุ่มปรับ	-	มีผลกระทบ

บทที่ 6

การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

จากการทดสอบสมมุติฐานในบทที่ผ่านมา โดยการนำปัจจัยต่างๆที่ผ่านการวิเคราะห์โดย FMEA มาดำเนินการทดสอบสมมุติฐาน เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสัดส่วนข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink1D และเมื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสัดส่วนข้อบกพร่องดังกล่าวแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำเอาปัจจัยที่มีผลกระทบเหล่านั้นไปทำการทดลอง โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลอง การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ การหาค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง เพื่อหาค่าของปัจจัยต่างๆ ที่เหมาะสมเพื่อการส่งผลต่อค่าสัดส่วนข้อบกพร่องอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องประเภท Open Circuit และ Hi-pot ที่ลดลง

6.1 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากการทดสอบสมมุติฐานสำหรับข้อบกพร่องประเภท Open Circuit จะพบว่ามีปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้งหมด 7 ปัจจัย ที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งได้แก่ 1.) ปัจจัยนำเข้าที่ 4. ขอบของรูของ Connector ที่ใส่เส้น wire มีความคมเนื่องจากไม่มี Chamfer 2.) ปัจจัยนำเข้าที่ 6. การดึงเส้น wire แบบขนาน (Horizontal) ไปด้านหน้าเพื่อการบัดกรีโดยไปครูดกับรูของ Connector 3.) ปัจจัยนำเข้าที่ 5. การดึงเส้น wire เพื่อการบัดกรีโดยใช้แรงมากเกินไป 4.) ปัจจัยนำเข้าที่ 15. ความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้างฐานรองรับมอเตอร์แรงเกินไป 5.) ปัจจัยนำเข้าที่ 1. พนักงานไม่มีทักษะความชำนาญในกระบวนการจัดเส้น wire 6.) ปัจจัยนำเข้าที่ 13. พนักงานไม่มีทักษะในการบัดกรีในกระบวนการบัดกรีที่ตีพอ และ 7.) ปัจจัยนำเข้าที่ 3. เวลาในการชุบตะกั่วของ Stator (Dipping) นานเกินไป ซึ่งในที่นี้พบว่าปัจจัยนำเข้าที่ 4. ปัจจัยนำเข้าที่ 6. และ 5. สามารถรวบรวมเป็นเรื่องเดียวกันได้เพราะเป็นเรื่องของวิธีการในการจัดเส้น wire แก้ไขโดยออกแบบวิธีการทำงานเสียใหม่ ปัจจัยนำเข้าที่ 1. และ 13. เป็นเรื่องของทักษะในการปฏิบัติงานของพนักงานที่ไม่เพียงพอ ซึ่งในการปรับปรุงแก้ไข จำเป็นที่จะต้องทำการฝึกอบรมให้พนักงานมีทักษะในการทำงานเป็นปกติในการทำงาน และปัจจัยนำเข้าที่ 3. จากการทดสอบพบว่ายังมีการนำขดลวดสเตเตอร์ Stator Wire ไปชุบตะกั่วมากกว่าหนึ่งครั้งจะยิ่งทำให้ความทนแรงดึงมีค่าลดลง ในการปรับปรุงแก้ไขจึงต้องกำหนดให้ผู้ส่งมอบขดลวดสเตเตอร์ปรับปรุงกระบวนการของตนเอง โดยกำหนดให้มีการชุบตะกั่วเพียงครั้งเดียวเท่านั้น ดังนั้นจะพบว่าจะเหลือปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะนำไปทำการออกแบบการทดลองอยู่ 2 ปัจจัยคือ วิธีการในการจัดเส้น wire และ ความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้างฐานรองรับมอเตอร์

ในส่วนของการทดสอบสมมติฐานสำหรับข้อบกพร่องประเภท Hi-pot จะพบว่ามีปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้งหมด 8 ปัจจัย ที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งได้แก่ 1.) ปัจจัยนำเข้าที่ 2. พนักงานไม่มีทักษะในการใช้งานเครื่องทำให้ไม่ได้เปิดกระแสไฟสำหรับตรวจสอบ Hi-pot 2.) ปัจจัยนำเข้าที่ 10.Master ที่ใช้ทดสอบก่อนเริ่มงานไม่เหมาะสมเนื่องจากเป็น NG ที่ความต่างศักย์ต่ำกว่าข้อกำหนด 3.) ปัจจัยนำเข้าที่ 3.พนักงานไม่ใช้งาน Master ในการตรวจสอบก่อนเริ่มงานทำให้ไม่พบข้อผิดพลาดเนื่องจากไม่มีทักษะในการใช้เครื่อง 4.) ปัจจัยนำเข้าที่ 5.Base บริเวณช่องใส่ Connector มี E-coat ไม่สมบูรณ์ (ทำให้ไม่เป็นฉนวน) 5.) ปัจจัยนำเข้าที่ 9.Fixture ของเครื่อง Press Fit ไม่ได้ Center ทำให้ไปกดทับเส้น Wire ในกระบวนการ Stator Press Fit 6.) ปัจจัยนำเข้าที่ 11.ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากพนักงานสามารถปรับเองได้ 7.) ปัจจัยนำเข้าที่ 8.พนักงานใส่ Stator ไม่ตรงตำแหน่งทำให้ระยะตะกั่วของเส้น Wire ไปสัมผัสกับ Base บริเวณช่องใส่ Connector ที่ E-coat ไม่สมบูรณ์ (ไม่เป็นฉนวน) 8.) ปัจจัยนำเข้าที่ 13.ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากปรับตั้งเครื่องต่ำเกินไปจากปุ่มปรับ ซึ่งในที่นี้พบว่าปัจจัยนำเข้าต่างที่มีนัยสำคัญเป็นเรื่องของการขาดทักษะในการทำงานของพนักงาน และ การใช้งานเครื่องตรวจสอบซึ่งในการปรับปรุงการทำงาน มีความจำเป็นต้องทำการฝึกอบรมให้พนักงานมีทักษะในการทำงานเป็นอย่างดีในการทำงานเช่นเดียวกัน ดังนั้นจะพบว่าจะเหลือปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะนำไปทำการออกแบบการทดลองเพียง ปัจจัยเดียวคือ Fixture ของเครื่อง Press Fit ไม่ได้ Center ทำให้ไปกดทับเส้น Wire ในกระบวนการ Stator Press Fit

จากการวิเคราะห์พบว่าในการลดสัดส่วนข้อบกพร่องทั้งในส่วนของ Open Circuit และ Hi-pot จำเป็นที่จำเป็นต้องนำปัจจัยนำเข้าที่เป็นตัวแปรของลักษณะของข้อบกพร่องทั้งสองแบบมาดำเนินการออกแบบการทดลองโดยแต่ละปัจจัยจะมีการกำหนดระดับของปัจจัยเป็นสองระดับคือระดับต่ำคือ (-1) และ ระดับสูงคือ (1) ดังนี้

ปัจจัยในส่วนของข้อบกพร่อง Open Circuit

- วิธีการในการจัดเส้น Wire ที่กระบวนการ Wire adjust โดยจะมีการกำหนดวิธีการในการจัดเส้น Wire โดยใช้แรงดึงไปด้านหน้าแล้วทำการกดเส้น Wire ซ้ำอีกครั้งหนึ่งเป็นระดับต่ำ (-1) และวิธีการจัดเส้น Wire โดยไม่ใช้แรงดึงไปด้านหน้าแต่จัดเส้น Wire ขึ้นแนวตรงเพื่อไม่ให้เส้น Wire สัมผัสกับขอบรูของ Connector ที่มีความคมแล้วจึงค่อยทำการกดเส้น Wire เป็นระดับสูง (1)
- ความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้างฐานรองรับมอเตอร์แรงเกินไปโดยจะมีการกำหนดความถี่ที่ไม่มีการควบคุมกล่าวคือความถี่เงื่อนไขการล้างที่ปกติคือเปิดคลื่นความถี่ 100% กำหนดเป็นระดับต่ำ (-1) และกำหนดความถี่ที่มีการควบคุมเงื่อนไขการล้างที่ปิดคลื่น

ความถี่ที่ควบคุมที่ 40 Khz. กับ 80 Khz. ทั้ง 100% และเปิดคลื่นความถี่ที่ 120 Khz. เพียง 40% เป็นระดับสูง (1) เนื่องจากการทดสอบ สมมุติฐานการควบคุมความถี่จะให้ค่าสัดส่วนข้อบกพร่องที่ต่ำกว่า

ปัจจัยในส่วนข้อบกพร่อง Hi-pot

- Fixture ของเครื่อง Press Fit ไม่ได้ Center ทำให้ไปกดทับเส้น Wire เนื่องจาก Fixture มีระยะเยื้องศูนย์กลางนั้นจึงกำหนดให้ Fixture ที่มี Guide Pin อยู่ด้านล่างเป็นระดับต่ำ (-1) และกำหนดให้ Fixture ที่มี Guide Pin อยู่ด้านบนเป็นระดับสูง (1) เนื่องจากการให้ Fixture ที่มี Guide Pin อยู่ด้านบนจะทำการ Alignment จุดศูนย์กลางของตัว Fixture สวมอัดและจุดศูนย์กลางของรู Base เข้าให้เป็นจุดเดียวกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด ซึ่งจากการทดสอบสมมุติฐานจะมีสัดส่วนข้อบกพร่องในปัญหา Hi-pot ที่น้อยกว่า Fixture ที่มี Guide Pin ที่อยู่ด้านล่าง

จากการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญได้ดังนี้

ตารางที่ 6.1 การกำหนดปัจจัยและระดับที่จะนำไปทำการทดลอง

ลำดับ	ปัจจัย	ระดับ	
		ต่ำ (-1)	สูง (1)
1	วิธีการในการจัดเส้น Wire ที่กระบวนการ Wire adjust	วิธีการออกแรงดึง ไปด้านหน้า	วิธีการจัดเส้น Wire ขึ้น แนวตั้งฉาก
2	ความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้างฐานรองรับ มอเตอร์	ไม่ควบคุมความถี่	ควบคุมความถี่
3	Fixture ของเครื่อง Press Fit ไม่ได้ Center	Guide Pin อยู่ ด้านล่าง	Guide Pin อยู่ ด้านบน

6.2 ตัวแปรตอบสนอง

ในการทำวิจัยนี้ ผู้ทำการศึกษาได้ให้ ความสนใจเกี่ยวกับการพิจารณาการลดอัตราข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink1D ซึ่งประกอบด้วยข้อบกพร่องที่มีผลกระทบหลักอยู่ 2

ประเภทคือ Open Circuit และ Hi-pot ดังนั้นตัวแปรตอบสนองในที่นี่คืออัตราข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink1D เนื่องจากข้อบกพร่องสองประเภทนี้

6.3 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองนี้จะใช้การทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k โดยที่ 2 คือระดับของแต่ละปัจจัย และ k จำนวนของปัจจัยที่จะนำมาทดลอง โดยกำหนดให้ที่แต่ละระดับของปัจจัยเป็นระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (1) โดยที่มีขั้นตอนของการออกแบบการทดลองดังนี้

6.3.1 การทำซ้ำ (Replication)

การทำซ้ำหมายถึงการที่ Treatment Combination หนึ่งๆ จะถูกทำการทดลองมากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งการทำซ้ำนี้จะสามารถช่วยประเมินค่าความคลาดเคลื่อนจากการทดลองได้ และทำให้ขนาดความคลาดเคลื่อนลดลง โดยการทดลองนี้จะทำการทดลองซ้ำในแต่ละ Treatment Combination เท่ากับ 2 ครั้งหรือ 2 Replications ซึ่งจะทำให้ค่อนข้างประหยัดเวลาในการทดลอง

6.3.2 การทดลองสุ่ม (Randomization)

การสุ่มเป็นหลักฐานสำคัญในการใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบการทดลอง โดยการสุ่มจะหมายถึงการจัดสรรหน่วยการทดลองและลำดับการทดลองให้เป็นไปโดยสุ่ม ซึ่งทำให้ผลการทดลองตรงกับข้อกำหนดทางสถิติที่ว่า ค่าสังเกตจากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน และการสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยออกความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดจากความผันแปรธรรมชาติออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

การสุ่มในการทดลองนี้จะใช้โปรแกรม Minitab ซึ่งจะทำให้การสุ่มลำดับในการทดลองพร้อมกับกำหนดการสร้างตารางการออกแบบการทดลอง (Design Matrix) โดยจะสังเกตลำดับการทดลองได้จากช่อง Run Order

6.3.3 จำนวนตัวอย่างในการทดลอง

จำนวนตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองเพื่อหาสัดส่วนของข้อบกพร่องนี้ จะอ้างอิงจากบทที่ 5 ที่ผ่านมาจากข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน จะพบจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานดังนี้

ตารางที่ 6.2 แสดงสิ่งตัวอย่างจากการเปรียบเทียบการทดสอบสมมุติฐานในแต่ละปัจจัย

ลำดับ	ปัจจัย	การเปรียบเทียบ	จำนวนตัวอย่าง
1	วิธีการในการจัดเส้น Wire ที่กระบวนการ Wire adjust	Two Proportion	31,782
2	ความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้างฐานรองรับมอเตอร์	Two Proportion	30,771
3	Fixture ของเครื่อง Press Fit ไม่ได้ Center	Two Proportion	36,422

จากตารางที่ 6.2 พบว่า จำนวนสิ่งตัวอย่างที่มากที่สุดคือปัจจัยของ Fixture ของเครื่อง Press Fit ไม่ได้ Center จากการเปรียบเทียบ Two Proportion ซึ่งมีค่าเท่ากับ 36,422 ดังนั้นจึงกำหนดในแต่ละการทดลองจะให้จำนวนสิ่งตัวอย่างอย่างน้อยการทดลองละ 36,422 ชิ้น ซึ่งสามารถกล่าวโดยสรุปได้คือการทดลองจะมีทั้งสิ้น 16 ลำดับการทดลอง (16 Runs) และแต่ละการทดลองจะให้จำนวนสิ่งตัวอย่าง 36,422 ชิ้น เป็นอย่างน้อย

6.4 การเตรียมการทดลอง

เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการควบคุมกระบวนการที่ใช้ในการผลิตปกติ ดังนั้นการปัจจัยที่สำคัญคือการควบคุมทักษะในการปฏิบัติงานของพนักงานในกระบวนการจัดเส้น Wire ให้สามารถเข้าใจวิธีปฏิบัติได้ทั้งสองแบบเพื่อผลการทดลองที่แม่นยำรวมถึงการใช้เครื่องล้างฐานรองรับมอเตอร์แบบ Ultra Sonic เครื่องเดียวกัน

6.5 ขั้นตอนในการทดลอง

ทำการสำรวจความพร้อมของเครื่องจักรเช่นเครื่องกดอัด Stator เครื่องล้างระบบ Ultra Sonic รวมถึงพนักงานที่ปฏิบัติงานในกระบวนการการจัดเส้น Wire ต้องผ่านการอบรมมาแล้วเป็นอย่างดี จากนั้นดำเนินการทดลองกับทั้ง 3 ปัจจัย โดยปรับปัจจัยต่างๆให้สอดคล้องกับการทดลองแบบสุ่มที่ออกแบบไว้โดยโปรแกรม Minitab และทำการทดลองจรรครบทั้ง 16 การทดลองหรือ 16 สภาวะ จากนั้นทำการตรวจสอบค่าสัดส่วนของข้อบกพร่องเนื่องจากลักษณะของเสียประเภท Open Circuit และ Hi-pot ของแต่ละการทดลอง

6.6 การดำเนินการทดลองและผลการทดลอง

การทดลองจะนำปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยข้างต้นมาดำเนินการทดลองแล้วปรับปัจจัยต่างๆ ตามสภาวะที่กำหนดโดยการสุ่มจากโปรแกรม Minitab แล้ววัดผลจากสัดส่วนของข้อบกพร่องที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของเสียประเภท Open Circuit และ Hi-pot จนครบทั้ง 16 สภาวะโดยกำหนดให้ปัจจัยที่มาดำเนินการทดลองเป็นดังนี้

1. ปัจจัย A : วิธีการในการจัดเส้น Wire ซึ่งระดับของปัจจัยในการทดลองสองปัจจัยคือ
 - a. วิธีการออกแรงดึงเส้น Wire ไปด้านหน้าเป็นระดับต่ำ (-1)
 - b. วิธีการจัดเส้น Wire ขึ้นในแนวตั้งฉากเป็นระดับสูง (1)
2. ปัจจัย B : การควบคุมความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้าง ซึ่งระดับของปัจจัยในการทดลองสองปัจจัยคือ
 - a. การไม่ควบคุมความถี่เป็นระดับต่ำ (-1)
 - b. การควบคุมความถี่เป็นระดับสูง (1)
3. ปัจจัย C : ชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ซึ่งระดับของปัจจัยในการทดลองสองปัจจัยคือ
 - a. Guide Pin อยู่ด้านล่างเป็นระดับต่ำ (-1)
 - b. Guide Pin อยู่ด้านบนเป็นระดับสูง (1)

จากการทดลองตามลำดับที่กำหนดใน Run Order ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 6.3 สรุปผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	Proportion
1	1	1	1	-1	-1	-1	0.000824
15	2	1	1	-1	1	1	0.000465
9	3	1	1	-1	-1	-1	0.000958
3	4	1	1	-1	1	-1	0.000627
8	5	1	1	1	1	1	0.000185
12	6	1	1	1	1	-1	0.000336
4	7	1	1	1	1	-1	0.000321
13	8	1	1	-1	-1	1	0.000592
2	9	1	1	1	-1	-1	0.000485
14	10	1	1	1	-1	1	0.000425
16	11	1	1	1	1	1	0.000216
10	12	1	1	1	-1	-1	0.000389
6	13	1	1	1	-1	1	0.000293
7	14	1	1	-1	1	1	0.000355
11	15	1	1	-1	1	-1	0.000567
5	16	1	1	-1	-1	1	0.000538

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองจากการนำปัจจัยทั้ง 3 มาปรับตามสถานะต่างๆ

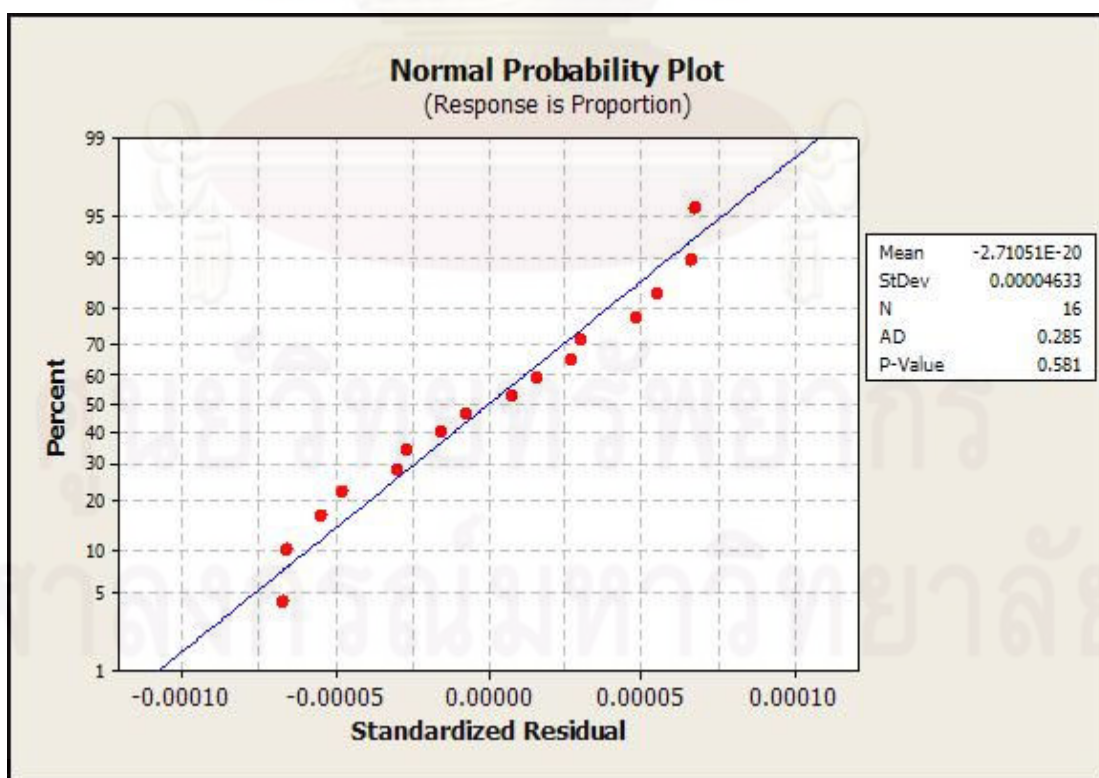
วิธีการในการจัดเส้น ขดลวด (A)	การควบคุมความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล่าง (B)			
	ไม่ควบคุมความถี่ (-1)		ควบคุมความถี่ (1)	
	ชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ของ เครื่อง Press fit (C)		ชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ของ เครื่อง Press fit (C)	
	Guide pin อยู่ ด้านล่าง (-1)	Guide pin อยู่ ด้านบน (1)	Guide pin อยู่ ด้านล่าง (-1)	Guide pin อยู่ ด้านบน (1)
วิธีการดึงขดลวดขนาน ไปด้านหน้า (-1)	0.000824	0.000592	0.000627	0.000465
วิธีการจัดเส้นขดลวดขึ้น ตั้งฉาก (1)	0.000958	0.000538	0.000567	0.000355
	0.000485	0.000425	0.000336	0.000185
	0.000389	0.000293	0.000321	0.000216

6.7 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

ข้อสมมุติสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลอง กรณีหลายปัจจัยที่ว่าหากค่าความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนในการทดลอง (Experimental Error or Residual, e_{ij}) มีการกระจายแบบปกติ (Normal Distributed) มีความเป็นอิสระต่อกันด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (Independently Distributed) และค่าความแปรปรวนคงที่แต่ไม่ทราบค่า (Constant variance, σ^2) ถ้าข้อมูลมีความถูกต้องตามข้อสมมุติแล้ว ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการออกแบบการทดลองสามารถนำไปใช้ได้ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. การทดสอบสมมุติฐานความเป็นปกติ

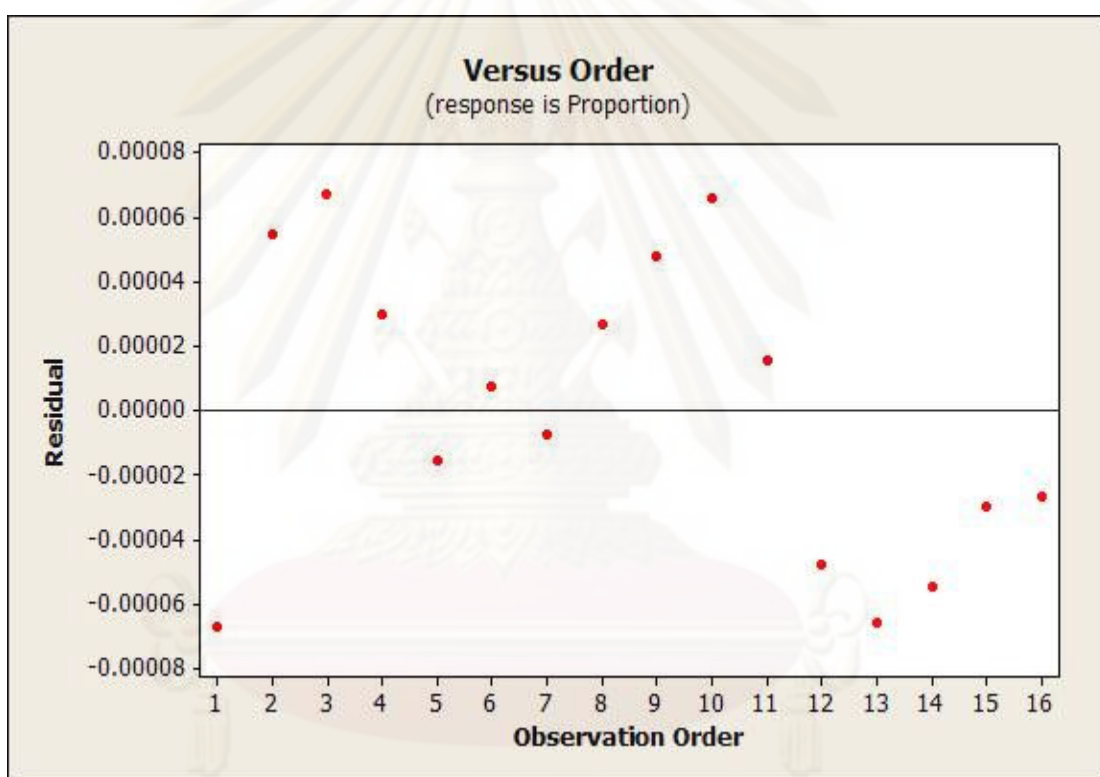
ข้อมูลแต่ละตัวที่เป็นตัวแปรสุ่มจะต้องมีแนวโน้มที่ค่าจะเข้าหาค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเป็นจุดถดถอย แล้วมีการกระจายรอบค่าดังกล่าวในลักษณะสมมาตร ถ้าข้อมูลมีได้มีรูปแบบปกติแล้วจะทำให้วิเคราะห์ข้อมูลไม่ได้ ในการตรวจสอบข้อสมมุติทางด้านการกระจายของข้อมูล ที่ได้รับจากการทดลองสามารถทำได้โดยใช้การพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ของค่าความผิดพลาด (Residuals) ถ้าข้อสมมุติมีความถูกต้อง การนำเสนอด้วยกราฟดังกล่าวควรมีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือเป็นตัวแบบสุ่มปกติดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 กราฟการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลการกระจายส่วนตักค้าง

2. การทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระ

ข้อมูลแต่ละตัวที่ใช้ในการสร้างตัวแบบถดถอย จะต้องเป็นอิสระต่อกันเนื่องจาก ความสุ่ม ทั้งนี้ถ้าหากข้อมูลไม่เป็นแบบสุ่มแล้วจะทำให้วิเคราะห์ข้อมูลไม่ได้ โดยเฉพาะการหาค่าเฉลี่ยหรือค่าคาดหมายของตัวแปรตอบสนอง ในการทดสอบสมมุติฐานของความเป็นอิสระ (Independent) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล โดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มหรือมีรูปแบบใดๆ หรือควรมีการกระจายของข้อมูลแบบไม่เป็นรูปแบบที่แน่นอนดังรูปที่ 6.2



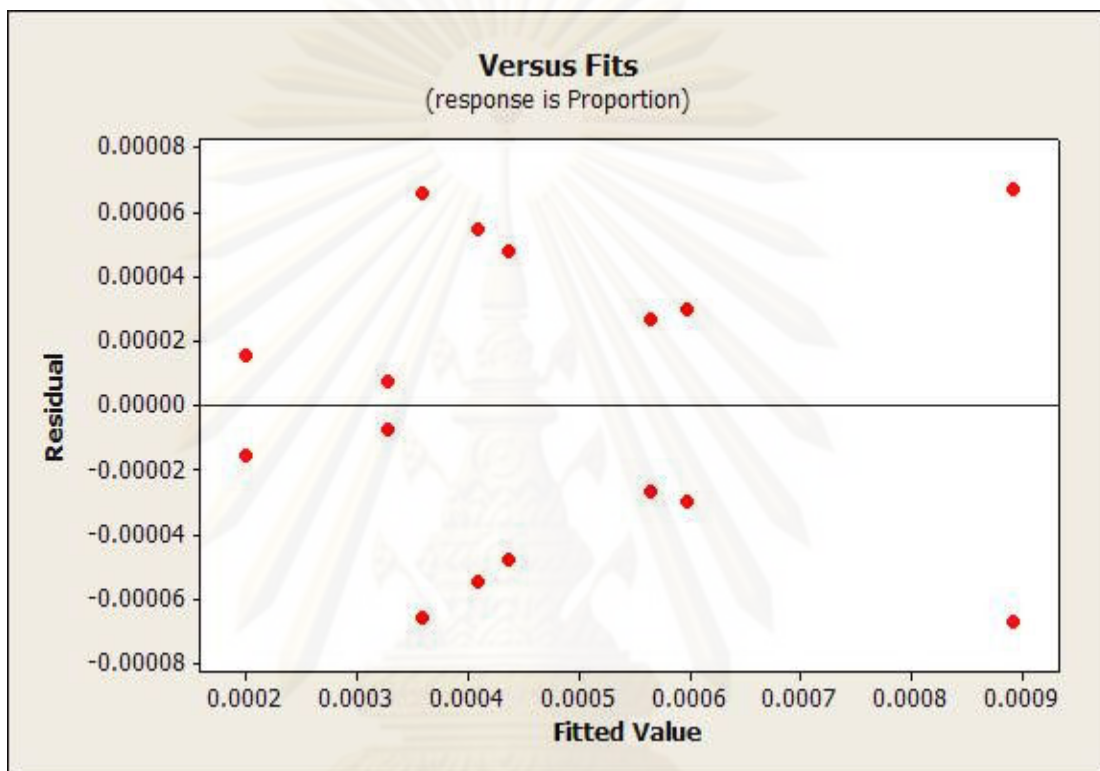
รูปที่ 6.2 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล

ซึ่งจากการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบไม่มีรูปแบบที่แน่นอนดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

3. การทดสอบสมมุติฐานความมีเสถียรภาพของความแปรปรวน

ข้อมูลจะต้องมาจากกระบวนการที่ได้จัดทำเป็นมาตรฐานแล้วจึงทำให้ความแตกต่างของข้อมูลเกิดมาจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Change Cause) ในระบบที่ทำการเก็บข้อมูลเท่านั้น ดังนั้น ถ้าหากข้อมูลมีค่าความแปรปรวนที่ไม่มีเสถียรภาพแล้ว แสดงว่าเกิดจากสาเหตุที่

สามารถควบคุมได้แต่ไม่ได้รับการควบคุม (Assignable Cause) การตรวจสอบความแปรปรวนคงที่เป็นการพล็อตระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residuals) กับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอยโดยแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้มใดๆ หรือควรมีการกระจายของข้อมูลไม่เป็นรูปแบบที่แน่นอนดังรูปที่ 6.3



รูปที่ 6.3 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าเฉลี่ยของสัดส่วนข้อบกพร่อง

จากกราฟจะสังเกตเห็นได้ว่า จากการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ด้วยข้อมูลการทดสอบสมมุติฐานทั้งสามข้างต้นจะพบว่ามี ความถูกต้องตรงข้อสมมุติผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถนำไปใช้ได้

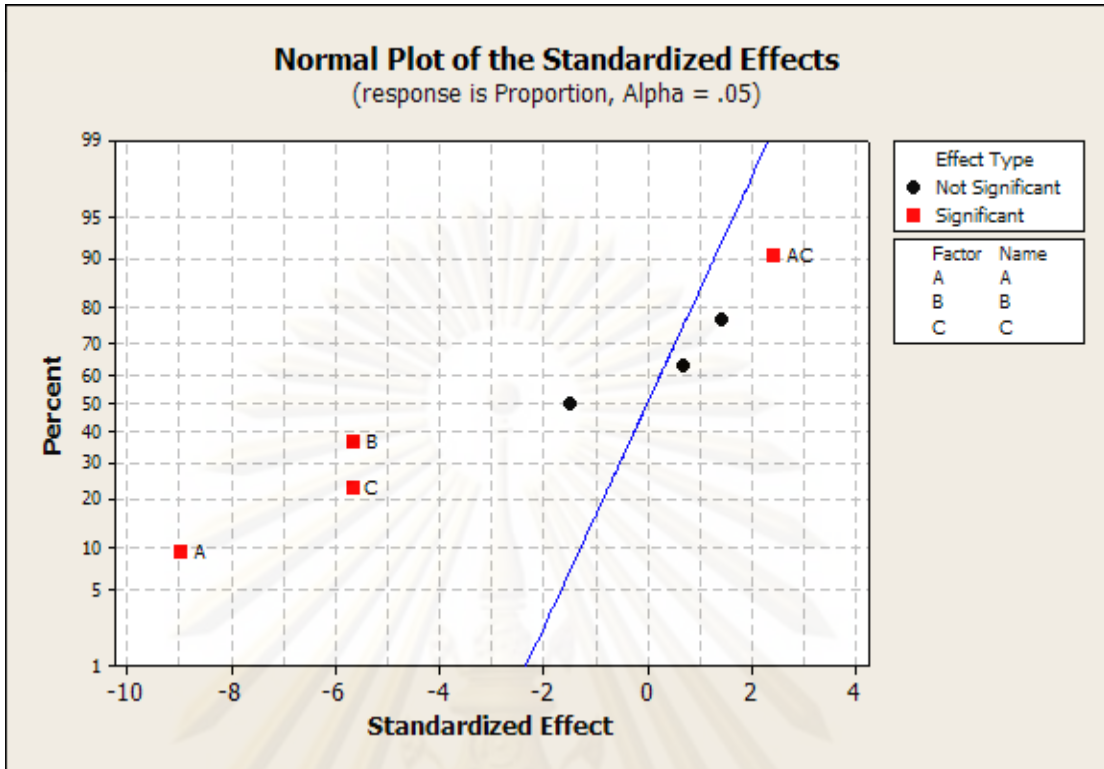
6.8 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลของการออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab สามารถแสดงผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ดังตารางที่ 6.4 และสามารถแสดงผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญออกมาในรูปของกราฟ Normal Probability Plot ดังรูปที่ 6.4 และ กราฟพาเรโต้ ดังรูปที่ 6.5 รวมถึงในส่วนของผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีต่อตัวแปรตอบสนองของการออกแบบ

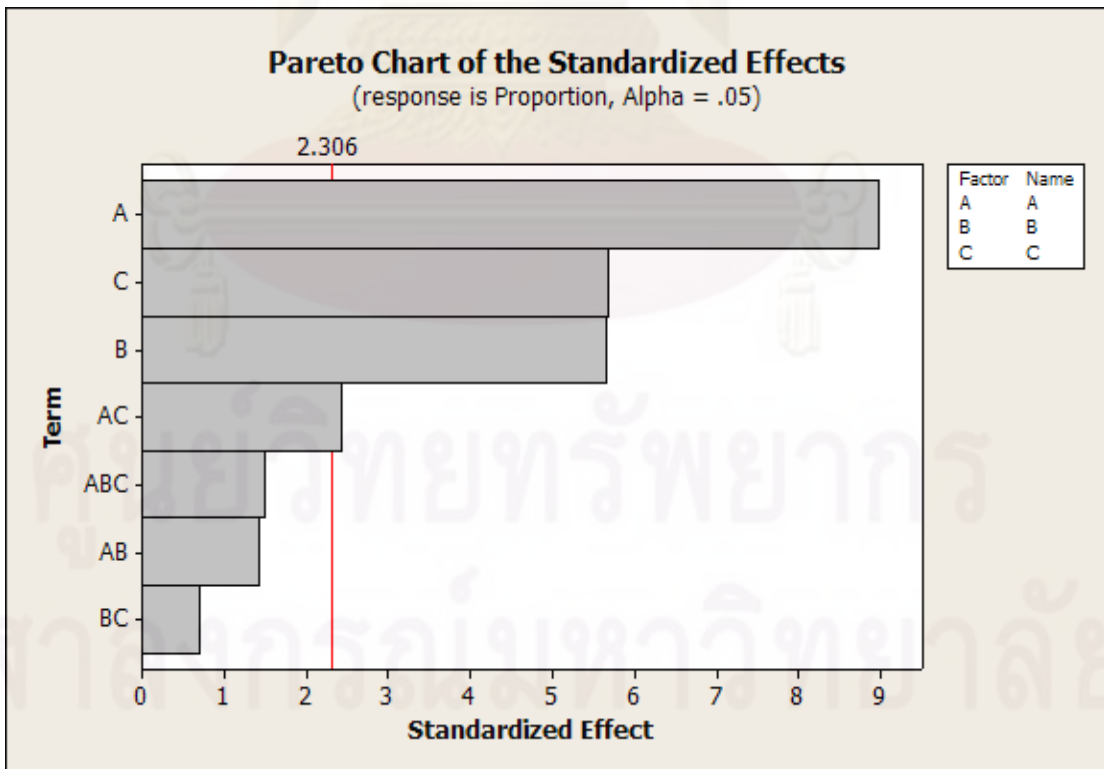
การทดลองจะแสดงดังรูปที่ 6.6 ผลกระทบของอันตรกิริยาที่มีต่อตัวแปรตอบสนองจะแสดงดังรูปที่ 6.7 และการประมาณค่าของผลการทดลองที่สภาวะการทดลองต่างๆจะแสดงได้ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการออกแบบทดลอง

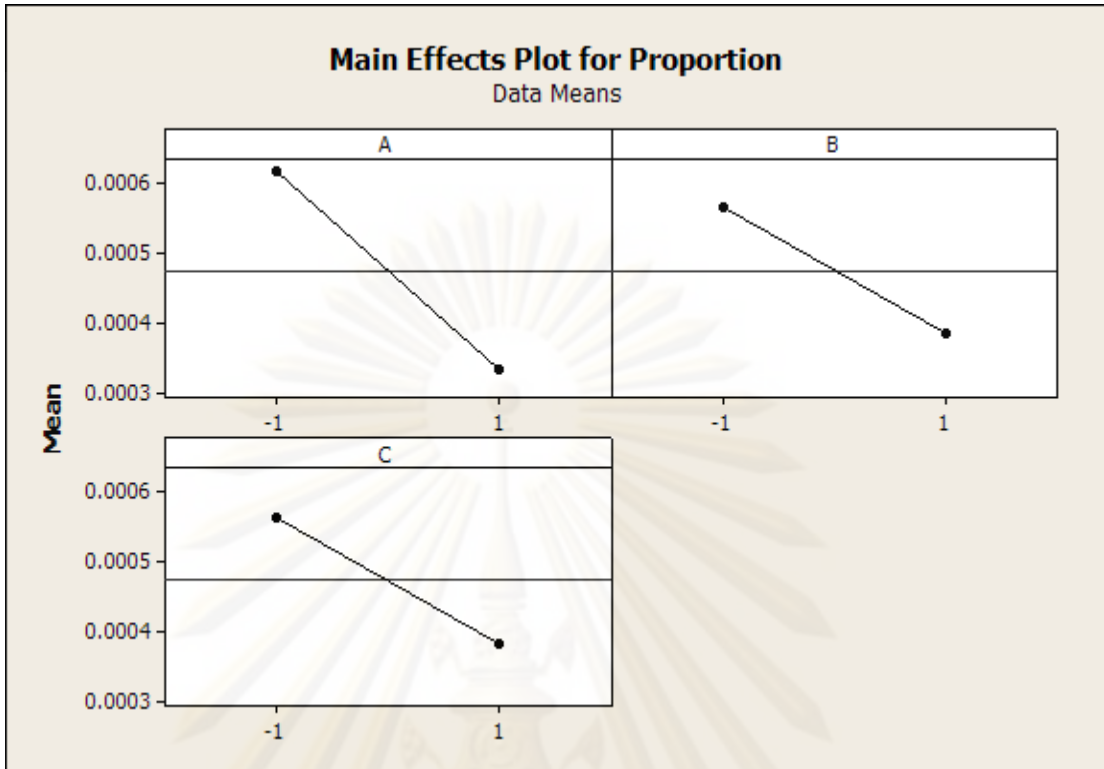
Factorial Fit: Proportion versus A, B, C						
Estimated Effects and Coefficients for Proportion (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		0.000474	0.000016	29.85	0.000	
A	-0.000284	-0.000142	0.000016	-8.97	0.000	
B	-0.000179	-0.000089	0.000016	-5.64	0.000	
C	-0.000180	-0.000090	0.000016	-5.67	0.000	
A*B	0.000046	0.000023	0.000016	1.43	0.189	
A*C	0.000077	0.000038	0.000016	2.42	0.042	
B*C	0.000022	0.000011	0.000016	0.70	0.503	
A*B*C	-0.000047	-0.000024	0.000016	-1.49	0.175	
S = 0.0000634419 PRESS = 1.287960E-07						
R-Sq = 95.09% R-Sq(pred) = 80.37% R-Sq(adj) = 90.80%						
Analysis of Variance for Proportion (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.00000058	0.00000058	0.00000019	48.13	0.000
2-Way Interactions	3	0.00000003	0.00000003	0.00000001	2.80	0.109
3-Way Interactions	1	0.00000001	0.00000001	0.00000001	2.22	0.175
Residual Error	8	0.00000003	0.00000003	0.00000000		
Pure Error	8	0.00000003	0.00000003	0.00000000		
Total	15	0.00000066				
Estimated Coefficients for Proportion using data in uncoded units						
Term	Coef					
Constant	0.000473500					
A	-1.42250E-04					
B	-8.95000E-05					
C	-8.98750E-05					
A*B	2.27500E-05					
A*C	3.83750E-05					
B*C	1.11250E-05					
A*B*C	-2.36250E-05					



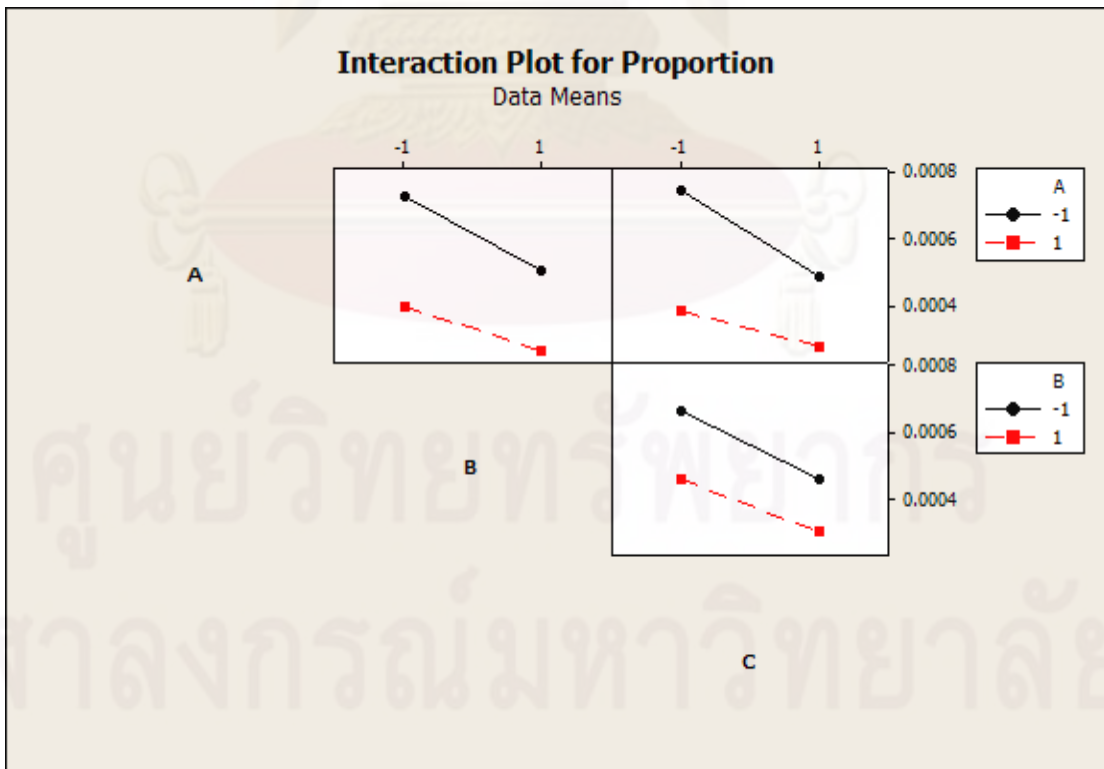
รูปที่ 6.4 กราฟ Normal Probability Plot ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 6.5 กราฟพาเรโต้ผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ



รูปที่ 6.6 ผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ 6.7 ผลกระทบของอันตรกิริยาที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง

จากผลของการออกแบบการทดลอง 2^3 Full Factorial Design ที่มีการทำซ้ำ 2 ครั้ง สามารถสรุปผลได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองเนื่องจากให้ค่า P-Value ที่น้อยกว่า 0.05 ดังตารางที่ 6.4 มีดังนี้

- * ปัจจัย A : วิธีการในการจัดเส้น Wire
- * ปัจจัย B : การควบคุมความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล่าง
- * ปัจจัย C : ชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ของเครื่อง Press fit
- * อันตรกิริยา AC : วิธีการในการจัดเส้น Wire x ชนิดของ Guide Pin ใน Fixture

6.9 การวิเคราะห์ตัวแบบถดถอย

6.9.1 ตัวแบบถดถอย

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถนำปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้งหมดคือปัจจัย A : วิธีการในการจัดเส้น Wire ปัจจัย B : การควบคุมความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล่าง ปัจจัย C : ชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ของเครื่อง Press fit และ อันตรกิริยา AC : วิธีการในการจัดเส้น Wire x ชนิดของ Guide Pin ใน Fixture มาหาความสัมพันธ์เพื่อหาเทอมต่างๆของตัวแบบถดถอยจากปัจจัยที่มีนัยสำคัญดังกล่าว จากผลลัพธ์ของการใช้โปรแกรม Minitab สามารถวิเคราะห์ตัวแบบถดถอยได้ดังนี้

$$\text{Proportion} = 0.000473500 - 1.42250\text{E-}04 * A - 8.95000\text{E-}05 * B - 8.98750\text{E-}05 * C + 3.83750\text{E-}05 * AC$$

โดยค่าตอบสนอง Proportion คือ ค่าสัดส่วนของข้อบกพร่องอันเนื่องจากของลักษณะของเสีย Open Circuit และ Hi-pot

6.9.2 การทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

การทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอยสามารถวิเคราะห์ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากโปรแกรม Minitab ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 6.5 ดังนี้

ตารางที่ 6.6 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย

Factorial Fit: Proportion versus A, B, C						
Estimated Effects and Coefficients for Proportion (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		0.000474	0.000017	27.71	0.000	
A	-0.000284	-0.000142	0.000017	-8.32	0.000	
B	-0.000179	-0.000089	0.000017	-5.24	0.000	
C	-0.000180	-0.000090	0.000017	-5.26	0.000	
A*C	0.000077	0.000038	0.000017	2.25	0.046	
S = 0.0000683510 PRESS = 1.087270E-07						
R-Sq = 92.17% R-Sq(pred) = 83.43% R-Sq(adj) = 89.32%						
Analysis of Variance for Proportion (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	0.00000058	0.00000058	0.00000019	41.47	0.000
2-Way Interactions	1	0.00000002	0.00000002	0.00000002	5.04	0.046
Residual Error	11	0.00000005	0.00000005	0.00000000		
Lack of Fit	3	0.00000002	0.00000002	0.00000001	1.59	0.267
Pure Error	8	0.00000003	0.00000003	0.00000000		
Total	15	0.00000066				

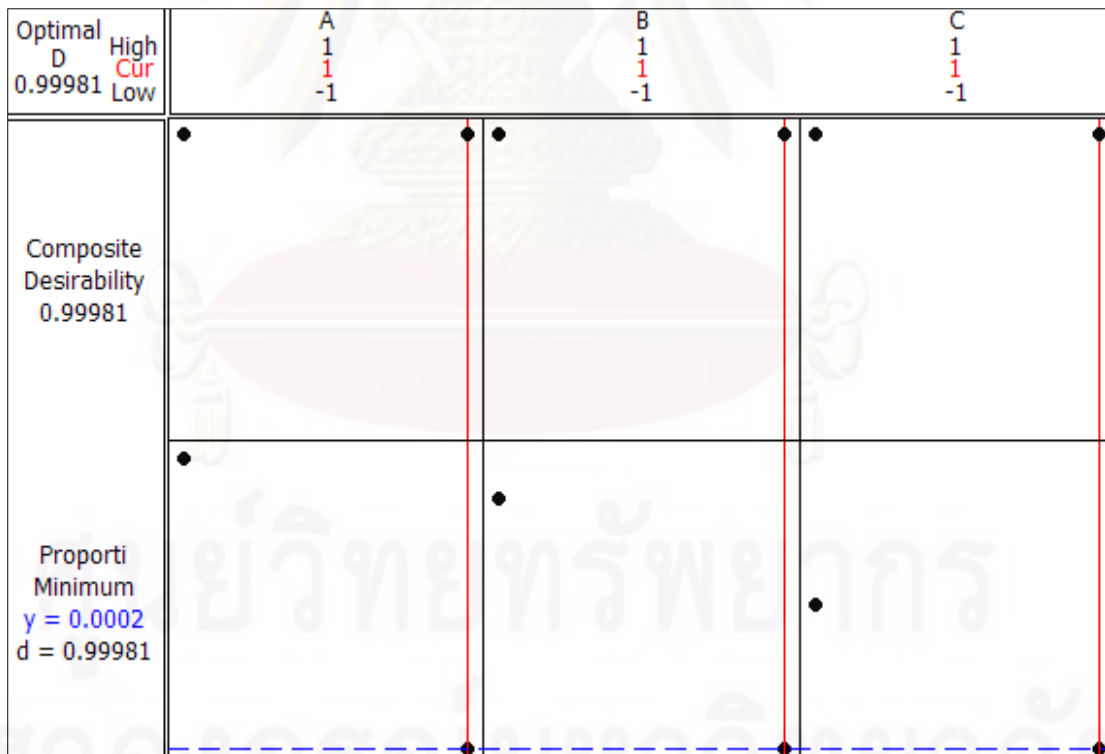
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแบบถดถอยสามารถสรุปได้ว่า ตัวแบบถดถอยมีความสามารถในการอธิบายความผันแปรที่เกิดขึ้นในตัวแปรตอบสนองได้ในทุกเทอมของตัวแปรอิสระทั้งนี้ เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 92.17% หมายความว่า มีความผันแปรของข้อมูล 92.17% ที่สามารถอธิบายได้จากตัวแบบถดถอย และมีความผันแปร อีก 7.83% ไม่สามารถอธิบายได้

6.10 ค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยจากการทดลอง

จากตัวแบบถดถอยที่ได้จากการวิเคราะห์และทดสอบความถูกต้องแล้วข้างต้น จะทำการพยากรณ์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมจากการปรับใช้ค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องจากตัวแบบถดถอย เพื่อให้ได้ค่าสัดส่วนของข้อบกพร่องหรือ Proportion ให้มีค่าต่ำที่สุดโดยสามารถคำนวณได้ผ่านโปรแกรม Minitab เช่นเดียวกัน ซึ่งผลจากการวิเคราะห์สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.7 ผลผลลัพธ์การหาค่าที่เหมาะสมจากการปรับใช้ค่าปัจจัย
ที่เกี่ยวข้องจากตัวแบบถดถอย

Response Optimization						
Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Proportion	Minimum	0	0	1	1	1
Global Solution						
A	=	1	(1)			
B	=	1	(1)			
C	=	1	(1)			
Predicted Responses						
Proportion	=	0.0001903	,	desirability =	0.999810	
Composite Desirability = 0.999810						



รูปที่ 6.8 การวิเคราะห์หาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ

จากการวิเคราะห์การพยากรณ์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมจากการปรับใช้ค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้อง จากตัวแบบถดถอยที่ได้ผลดังแสดงจากโปรแกรม Minitab สามารถสรุปปัจจัยที่เหมาะสมได้ดังนี้

ตารางที่ 6.8 ค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ

ปัจจัย	การกำหนดค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัย
A : วิธีการในการจัดเส้น Wire	จัดเส้น Wire ขึ้นในแนวตั้งฉาก
B : การควบคุมความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้าง	การควบคุมความถี่ของเครื่องล้าง Ultra Sonic
C : ชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ของเครื่อง Press fit	Guide Pin อยู่ด้านบน

6.11 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ

ในขั้นตอนการแก้ไขเพื่อปรับปรุงกระบวนการนี้ได้นำเอาปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่ได้สรุปมาแล้วจากบทที่ 5. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ซึ่งเป็นปัจจัยนำเข้าของลักษณะข้อบกพร่องประเภท Open Circuit 7 ปัจจัย และปัจจัยนำเข้าของลักษณะข้อบกพร่องประเภท Hi-pot 8 ปัจจัย และจากปัจจัยนำเข้าทั้งหมดนี้สามารถสรุปรวมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญเพื่อนำไปออกแบบการทดลองได้ 3 ปัจจัย ซึ่งในที่นี้ได้เลือกการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Full Factorial Design เพื่อวัตถุประสงค์ในการหาค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ จากตัวแบบถดถอยที่ได้จากการออกแบบการทดลอง และจากการออกแบบการทดลองดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัย A วิธีการในการจัดเส้น Wire คือการจัดเส้น Wire ขึ้นในแนวตั้งฉาก ระดับที่เหมาะสมของปัจจัย B การควบคุมความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้าง คือการควบคุมความถี่ของเครื่องล้าง Ultra Sonic และปัจจัย C ชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ของเครื่อง Press fit คือ Guide Pin อยู่ด้านบน ซึ่งจากการปรับระดับที่เหมาะสมของปัจจัยจากการออกแบบการทดลองดังกล่าวจะให้ค่าสัดส่วนของข้อบกพร่องที่น้อยที่สุดซึ่งจำเป็นต้องมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลจากการทดลองต่อไปในบทที่ 7

บทที่ 7

การทดสอบเพื่อยืนยันผล

ในบทที่ผ่านมาได้นำปัจจัยที่มีนัยสำคัญไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่มีเหมาะสมทั้ง 3 ปัจจัยต่อการหาค่าต่ำสุดของสัดส่วนข้อบกพร่องดังกล่าวมาแล้ว ซึ่งผลจากการทดลองดังกล่าวเป็นเพียงข้อสรุปจากการทดลอง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องนำระดับของปัจจัยที่เหมาะสมดังกล่าวไปทำการทดสอบยืนยันผลว่ามีความสอดคล้องกับการทดลองหรือไม่ต่อไป

7.1 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล

7.1.1 วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

เพื่อเป็นการศึกษาถึงจำนวนสัดส่วนของข้อบกพร่อง ตามที่ได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าจากการทดลองมาปรับใช้ โดยกำหนดค่าปัจจัย A วิธีการในการจัดเส้น Wire คือการจัดเส้น Wire ขึ้นในแนวตั้งฉาก ระดับที่เหมาะสมของปัจจัย B การควบคุมความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้าง คือการควบคุมความถี่ของเครื่องล้าง Ultra Sonic และปัจจัย C ชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ของเครื่อง Press fit คือ Guide Pin อยู่ด้านบน ตามที่ได้สรุปไว้แล้วในบทที่ 6

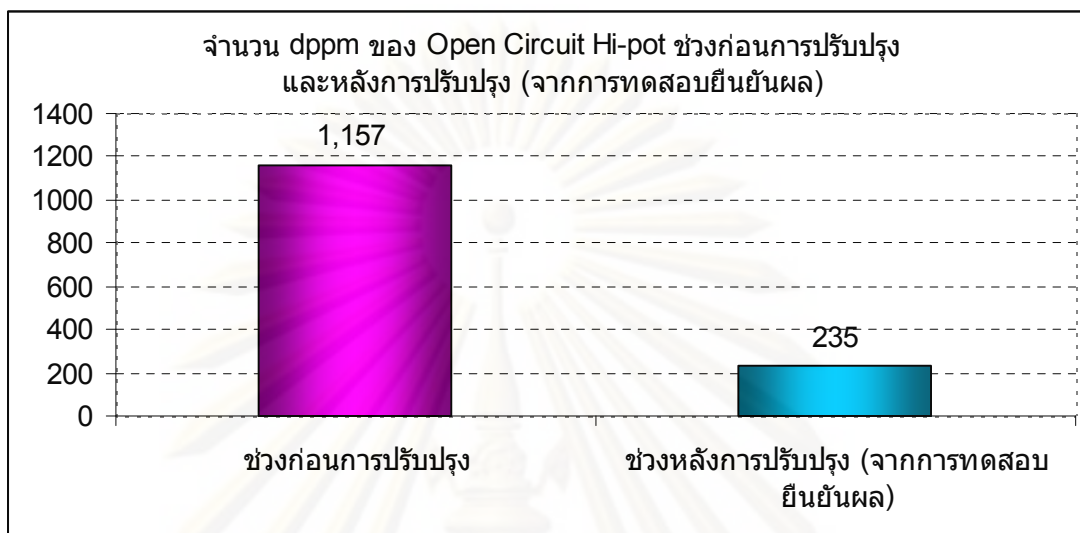
7.1.2 ขั้นตอนการเตรียมการทดสอบยืนยันผล

การทดสอบยืนยันผลจะเป็นการนำระดับที่เหมาะสมจากการออกแบบการทดลองไปปฏิบัติจริงในการทำงาน รวมถึงเตรียมความพร้อมต่างๆทั้งในส่วนของเครื่องมือให้กับพนักงานในการทำงานที่กระบวนการต่างๆ และการจัดเก็บข้อมูลสัดส่วนของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink1D ในสองลักษณะข้อบกพร่องคือ Open Circuit และ Hi-pot ด้วยจำนวนข้อมูลที่มากกว่า 36,422 ข้อมูลตามที่ได้ทำการวิเคราะห์จากบทที่ 5 จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab อีกครั้ง

7.1.3 การวิเคราะห์การทดสอบยืนยันผล

จากการดำเนินการทดสอบยืนยันผลด้วยการปรับค่าปัจจัยต่างๆด้วยระดับที่เหมาะสมดังที่ได้วิเคราะห์ไว้แล้วแล้วทำการบันทึกค่าด้วยจำนวนที่มากพอเป็นเวลา 1 สัปดาห์ด้วยข้อมูลจำนวน 480,934 ข้อมูล แล้วเก็บข้อมูลลักษณะข้อบกพร่องประเภท Open Circuit และ Hi-pot พบว่ามีจำนวนทั้งสิ้น 113 ข้อมูล ซึ่งสามารถคิดเป็นสัดส่วนของข้อบกพร่องต่อด้านส่วนได้เป็น

235 DPPM ซึ่งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุงที่พบว่าจำนวนสัดส่วนของข้อบกพร่องต่อล้านส่วนอยู่ที่ 1,157 DPPM (ข้อมูลตั้งแต่ 1 ธ.ค. 51~4 เม.ย. 52) ดังรูปกราฟที่ 7.1



รูปที่ 7.1 จำนวน DPPM ของ Open Circuit และ Hi-pot ก่อนการปรับปรุงและหลังการทดสอบยืนยันผล

7.1.4 สรุปผลขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล

ในการทดสอบยืนยันผลเป็นการทดลองปฏิบัติงานจริงด้วยปัจจัยต่างๆในระดับที่เหมาะสม โดยกำหนดค่าปัจจัย A วิธีการในการจัดเส้น Wire คือการจัดเส้น Wire ขึ้นในแนวตั้งฉาก ระดับที่เหมาะสมของปัจจัย B การควบคุมความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล่าง คือการควบคุมความถี่ของเครื่องล่าง Ultra Sonic และปัจจัย C ชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ของเครื่อง Press fit คือ Guide Pin อยู่ด้านบน ตามที่ได้วิเคราะห์ไว้แล้วด้วยจำนวนมากพอต่อการสรุปผล จากนั้นทำการดำเนินการเก็บข้อมูลด้วยจำนวน 480,934 ข้อมูลเพื่อหาจำนวนข้อบกพร่องของ Open Circuit และ Hi-pot ซึ่งพบว่ามีจำนวนทั้งสิ้น 113 ข้อมูล และสามารถคิดเป็นสัดส่วนของข้อบกพร่องต่อล้านส่วนได้เป็น 235 DPPM ซึ่งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุงที่พบว่าจำนวนสัดส่วนของข้อบกพร่องต่อล้านส่วนอยู่ที่ 1,157 DPPM ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงในกระบวนการเพื่อให้สัดส่วนของข้อบกพร่องทั้งสองประเภทลดลง

บทที่ 8

การควบคุมกระบวนการ

ขั้นตอนสุดท้ายของการแก้ไขปัญหาการลดของเสียในกระบวนการประกอบ Base Stator โดยแนวทางซิกซ์ ซิกมา คือการควบคุมกระบวนการประกอบ Base Stator เพื่อวัตถุประสงค์ในการควบคุมปัจจัยนำเข้าต่างๆที่มีนัยสำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ผลและการทำการออกแบบการทดลอง ซึ่งได้ทำการสรุปมาแล้วจากขั้นตอนก่อนหน้านี้นี้คือการทดสอบเพื่อยืนยันผลถึงระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญว่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวคือ ปัจจัย A วิธีการในการจัดเส้น Wire คือการจัดเส้น Wire ขึ้นในแนวตั้งฉาก ระดับที่เหมาะสมของปัจจัย B การควบคุมความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้าง คือการควบคุมความถี่ของเครื่องล้าง Ultra Sonic และปัจจัย C ชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ของเครื่อง Press fit คือ Guide Pin อยู่ด้านบนนั้นมีผลทำให้ตัวแปรถอบสนองซึ่งในที่นี้คือค่าสัดส่วนของข้อบกพร่องของปัญหา Open Circuit และ Hi-pot สามารถลดลงได้จริงซึ่งขั้นตอนและรายละเอียดในการควบคุมกระบวนการสามารถสามารถอธิบายได้ดังนี้

8.1 แผนการควบคุมกระบวนการ

จากปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่ได้ผ่านกระบวนการในการทดสอบและยืนยันผลสำหรับระดับที่เหมาะสมที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองคือสัดส่วนข้อบกพร่องที่น้อยที่สุดได้นั้นจำเป็นต้องมีแผนการในการควบคุมซึ่งสามารถสรุปได้ต่อไปนี้

8.1.1 วิธีการในการจัดเส้นขดลวด Stator ก่อนการบัดกรี

ในขั้นตอนของการปรับปรุงกระบวนการที่มีการนำปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญมาออกแบบการทดลองนั้น พบว่าขั้นตอนที่เหมาะสมในการจัดเส้นขดลวดสเตเตอร์ คือวิธีการจัดเส้นขดลวดขึ้นตรงตั้งฉากประมาณ 90° กับตัวเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าหรือคอนเน็คเตอร์เพื่อป้องกันไม่ให้เห็นขดลวดกระแทกกับรูของคอนเน็คเตอร์ที่มีความคมเนื่องจากไม่มีการลบคมหรือ Chamfer นั้นเอง

เพื่อที่จะให้วิธีการที่ออกแบบใหม่นี้ถูกนำไปใช้กับกระบวนการและสามารถควบคุมได้จึงจำเป็นต้องจัดทำกรปรับปรุงวิธีการในกระบวนการนี้เสียใหม่โดยออกเอกสารเป็น “วิธีการปฏิบัติงาน” หรือ “Operation Standard” ดังที่จะได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. จากนั้นจึงทำการฝึกอบรมให้กับพนักงานทุกคนที่ปฏิบัติงานในกระบวนการดังกล่าว

8.1.2 การควบคุมความถี่ของเครื่องล้าง Ultra Sonic

ขั้นตอนของการปรับปรุงกระบวนการพบว่า การควบคุมความถี่ของเครื่องล้าง Ultra Sonic มีผลต่อสัดส่วนของข้อบกพร่องประเภท Open Circuit โดยพบว่า การควบคุมความถี่ของเครื่องล้างดังกล่าว นั้นเป็นวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งจะมีการควบคุมความถี่โดยจะปิดคลื่นความถี่ 100% กับการล้างที่ความถี่ 40 Khz. กับ 80 Khz. โดยจะเหลือเพียงคลื่นความถี่ที่ 120 Khz. และจะทำการเปิดเพียง 40% เท่านั้น

การกำหนดการควบคุมเช่นนี้สามารถทำการปรับได้ที่ตัวเครื่องล้างโดยตรง โดยการควบคุมก็ต้องทำการปรับปรุงวิธีการในการปรับตั้งการกำหนดคลื่นความถี่ในกระบวนการนี้เสียใหม่โดยออกเป็นมาตรฐานในการกำหนดค่าความถี่ของเครื่องล้าง Ultra Sonic ดังที่จะได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

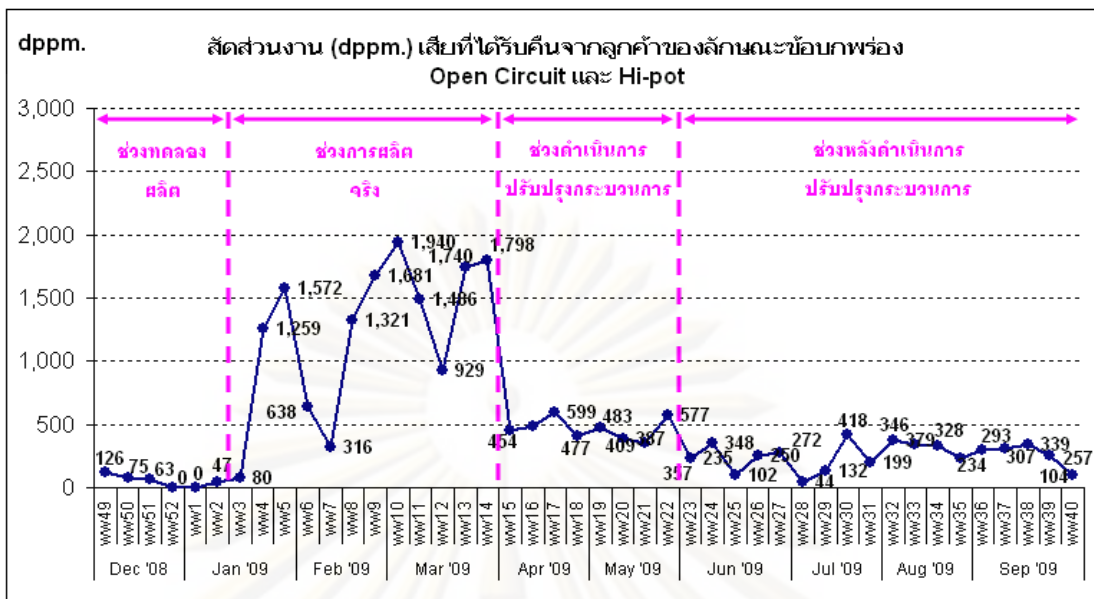
8.1.3 ชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ของเครื่อง Press fit

ในการดำเนินการออกแบบการทดลองจะพบว่า ชนิดของ Guide Pin ที่เหมาะสมคือ การติดตั้ง Guide Pin ใน Fixture ให้อยู่ด้านบนของเครื่อง Press Fit เพื่อให้ Guide Pin เป็นตัวหา Alignment Centre ก่อนที่เครื่องจะทำการสวมอัดสเตเตอร์เพื่อลดการสวมอัดที่ไม่ได้ศูนย์ซึ่งจะทำให้หัวสวมอัดไปกดทับเส้นขดลวดที่เป็นสาเหตุของ Hi-pot

การควบคุมเมื่อเปลี่ยน ชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ของเครื่อง Press fit แล้ว จะทำการตรวจสอบความสามารถในการหา Alignment Centre ของเครื่อง โดยทำการตรวจสอบคุณภาพในการสวมอัดโดยออกเป็นใบตรวจสอบหรือ Check Sheet ดังที่จะได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค. โดยดูที่เส้นขดลวดจะต้องไม่มีรอยขีดข่วนหรือแตกเสียหายเนื่องจากหัวสวมอัดสเตเตอร์ทุกๆ 4 ชม. หรือทุกครั้งที่มีการซ่อมเครื่อง

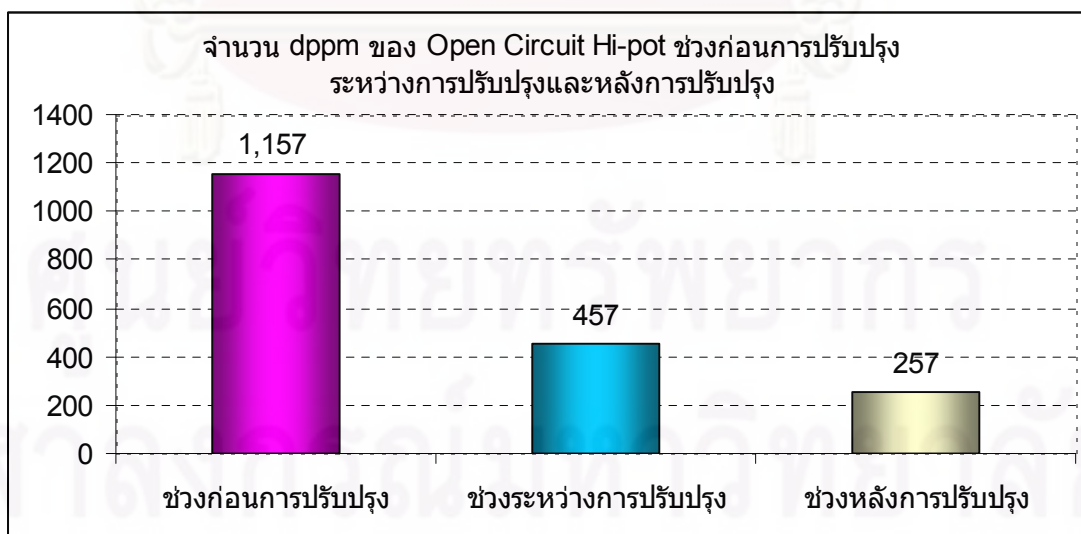
8.2 การติดตามผลสัดส่วนข้อบกพร่อง

หลังจากที่ได้ทำการทดสอบยืนยันผลแล้วพบว่า สัดส่วนของข้อบกพร่องสามารถลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และได้ทำการควบคุมระดับของปัจจัยต่างๆ โดยกำหนดเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงานแล้ว จากนั้นจำเป็นต้องมีการติดตามผลในการปฏิบัติงานจริงหลังการปรับปรุงแล้วตั้งแต่วางต้นเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน 2552 ได้ผลดังรูปที่ 8.1



รูปที่ 8.1 สัดส่วนงานเสียต่อล้านส่วน dppm ตั้งแต่ช่วงเริ่มทำโครงการจนถึงช่วงหลังการปรับปรุง

จากกราฟเส้นสัดส่วนงานเสียต่อล้านส่วน dppm พบว่าในช่วงก่อนเริ่มทำการปรับปรุง ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2551 ถึง มีนาคม 2552 จะมีค่าสัดส่วนงานเสียของ Open Circuit และ Hi-pot อยู่ที่ 1,157 dppm แต่พบว่าช่วงระหว่างการปรับปรุงที่ดำเนินการทดลองตั้งแต่เดือนเมษายน ถึงเดือนพฤษภาคม 2552 จะมีสัดส่วนข้อบกพร่องอยู่ที่ 457 dppm และช่วงหลังมีการปรับปรุง (หลังการทดสอบยืนยันผล) ตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2552 จนถึงกันยายน 2552 แล้วพบว่า อาการเสียในสองหัวข้อดังกล่าวลดลงเหลือเพียง 257 dppm หรือคิดเป็น 78% เท่านั้นดังกราฟรูปที่ 8.2



รูปที่ 8.2 สัดส่วนข้อบกพร่องต่อล้านส่วน (dppm) ตั้งแต่ก่อนการปรับปรุง ระหว่างการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

8.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการลดจำนวนของสัดส่วนข้อบกพร่องของทั้งสองประเภทดังกล่าวแล้วนั้นผลที่ได้รับโดยตรงเลยคือการลดต้นทุนประเภทต้นทุนสินค้าด้วยคุณภาพ ซึ่งจากการลดสัดส่วนที่ได้กล่าวไปแล้วสามารถนำมาสรุปเป็นตัวเลขโดยประมาณได้ดังตารางที่ 8.1 นี้

ตารางที่ 8.1 แสดงผลทางตรงคือการลดต้นทุนสินค้าด้วยคุณภาพจากการปรับปรุง

	Dec '08	Jan '09	Feb '09	Mar '09	Apr '09	May '09	Jun '09	Jul '09	Aug '09	Sep '09	รวม
จำนวนการผลิต (ชิ้น)	210,275	553,067	848,375	1,593,654	765,371	1,357,708	2,279,493	1,986,985	2,235,434	3,124,870	11,830,362
ข้อบกพร่อง (ชิ้น)	18	342	477	2,872	375	595	541	455	676	854	6,351
ข้อบกพร่องต่อล้านส่วน	86	618	562	1,802	490	438	237	229	302	273	4,765
ข้อบกพร่องต่อล้านส่วน (Base line)	1,157	1,157	1,157	1,157	457	457	262	262	262	262	6,329
ข้อบกพร่องต่อล้านส่วนที่ลดได้	0	0	0	0	700	700	895	895	895	895	4,085
ต้นทุนสินค้าด้วยคุณภาพต่อชิ้น (B)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45
ต้นทุนการ Rework ต่อชิ้น (B)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	72
ต้นทุนที่ลดได้ต่อล้านชิ้น (B)	0	0	0	0	9,103	9,103	11,631	11,631	11,631	11,631	64,732

เมื่อดูจากตารางแล้วพบว่าจำนวนต้นทุนที่สามารถลดได้เท่ากับ 64,732 บาท ต่อยอดการผลิตชิ้นงานหนึ่งล้านชิ้น ซึ่งนับตั้งแต่ช่วงระหว่างการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงเป็นต้นมา (เดือนเมษายนถึงกันยายน 2552) หรือคิดเป็น 12,946 บาทต่อเดือนต่อยอดการผลิตชิ้นงานหนึ่งล้านชิ้น

ยิ่งไปกว่านั้นการปรับปรุงกระบวนการโดยการลดสัดส่วนของข้อบกพร่องดังที่ได้ดำเนินการมานี้ยังสามารถลดความเสี่ยงของเส้นขดลวดสเตเตอร์จะขาด ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้มอเตอร์จะไม่หมุนที่ถูกค่าขั้นสุดท้ายหรือ End User จะนำไปใช้งานได้ (กรณีนี้คือลูกค้าที่จะนำไปผลิต Hard Disk Drive) ซึ่งจะถือว่าเป็นข้อบกพร่องที่มีความรุนแรงมาก ซึ่งเป็นความสูญเสียจากการที่จะถูกเรียกสินค้าคืน หรือสูญเสียค่าปรับนั้นจะมีเป็นจำนวนมากและไม่สามารถคิดคำนวณเป็นตัวเลขได้

8.4 สรุปการควบคุมกระบวนการ

ในบทการควบคุมกระบวนการนี้ได้นำเอาข้อสรุปของบทก่อนหน้าคือการทดสอบยืนยันผลที่ได้สรุปแล้วค่าในปัจจุบันทั้ง 3 ปัจจัยคือปัจจัยวิธีการในการจัดเส้น Wire มีวิธีการที่เหมาะสมคือการจัดเส้น Wire ขึ้นในแนวตั้งฉาก ปัจจัยการควบคุมความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้างมีระดับที่

เหมาะสมคือ การควบคุมความถี่ของเครื่องล้าง Ultra Sonic และปัจจัยชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ของเครื่อง Press fit มีชนิดของ Guide Pin ที่เหมาะสมคือ Guide Pin อยู่ด้านบนนั้น มีผลทำให้ตัวแปรรอบสนองคือค่าสัดส่วนของข้อบกพร่องของ Open Circuit และ Hi-pot ลดลง ซึ่งจากการสรุปดังกล่าวในบทนี้ได้นำเอาปัจจัยทั้ง 3 มาจัดทำเป็นวิธีการที่เป็นมาตรฐานโดยกำหนดลงในวิธีการปฏิบัติงานสำหรับวิธีการในการจัดเส้นขดลวด สเตเตอร์ก่อนการบัดกรี สำหรับการควบคุมความถี่ของเครื่องล้าง Ultra Sonic ก็จัดทำเป็นมาตรฐานในการกำหนดค่าความถี่ของเครื่องล้าง Ultra Sonic ในส่วนของปัจจัยชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ของเครื่อง Press fit นั้นจะกำหนดการควบคุมโดยทำการออกเป็นใบตรวจสอบหรือ Check Sheet โดยดูที่เส้นขดลวดจะต้องไม่มีรอยขีดข่วนหรือแตกเสียหายเนื่องจากหัวสวมอัดสเตเตอร์ทุกๆ 4 ชม.

นอกจากนั้นหลังการทดสอบยืนยันผลแล้วยังได้ทำการติดตามผลในสัดส่วนข้อบกพร่องดังกล่าวหลังการปรับปรุงพบว่าสัดส่วนได้ลดลงเป็นลำดับ จากช่วงก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 1,157 dppm แต่พบว่าช่วงระหว่างการปรับปรุงที่ดำเนินการทดลองจะมีสัดส่วนข้อบกพร่องอยู่ที่ 457 dppm และช่วงหลังการปรับปรุงแล้วพบว่า อากาศเสียในสองหัวข้อดังกล่าวลดลงเหลือเพียง 257 dppm หรือคิดเป็นที่ลดได้ 78% เท่านั้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเป็นจำนวนของต้นทุนที่สามารถลดได้จะมีค่าเท่ากับ 64,732 บาท ต่อยอดการผลิตชิ้นงานหนึ่งล้านชิ้น โดยนับตั้งแต่ช่วงระหว่างการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงเป็นต้นมาหรือคิดเป็น 12,946 บาทต่อเดือนต่อยอดการผลิตชิ้นงานหนึ่งล้านชิ้น

ยิ่งไปกว่านั้นการปรับปรุงกระบวนการดังที่ได้ดำเนินการมานี้ยังสามารถลดความเสี่ยงของเส้นขดลวดสเตเตอร์จะขาด ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้มอเตอร์จะไม่หมุนที่ลูกค้าขั้นสุดท้ายหรือ End User จะนำไปใช้งานได้คือลูกค้าผู้ผลิต Hard Disk Drive ซึ่งจะถือว่าเป็นข้อบกพร่องที่มีความรุนแรงมากซึ่งจะเป็นความสูญเสียจากการที่ถูกเรียกสินค้าคืน หรือสูญเสียค่าปรับนั้น ซึ่งจะมีเป็นจำนวนมากและไม่สามารถคิดคำนวณเป็นตัวเลขได้

บทที่ 9 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ได้เสนอแนวทางในการแก้ปัญหาการลดสัดส่วนข้อบกพร่องของ Open Circuit และ Hi-pot ในกระบวนการประกอบฐานรองรับมอเตอร์ด้วยการประยุกต์แนวทางซิกซ์ ซิกมา ทั้ง 5 ขั้นตอนคือ 1 ขั้นตอนการนิยามปัญหาหรือ Define Face ซึ่งเป็นการกำหนดกรอบของปัญหา 2 ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาซึ่งเป็นการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดและการวิเคราะห์โดยแผนภาพก้างปลาและลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ FMEA 3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยการทดสอบสมมุติฐาน 4 ขั้นตอนการปรับปรุงด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองหรือ DOE และ 5 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ

ซึ่งผลจากการปรับปรุงด้วยวิธีทางซิกซ์ซิกมานั้นสามารถลดสัดส่วนของข้อบกพร่องของทั้งสองประเภทดังกล่าวจาก 1,157 dppm เหลือเพียง 257 dppm ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนของต้นทุนที่สามารถลดได้จะมีค่าเท่ากับ 64,732 บาท ต่อยอดการผลิตชิ้นงานหนึ่งล้านชิ้น โดยนับตั้งแต่ช่วงระหว่างการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงเป็นต้นมาหรือคิดเป็น 12,946 บาทต่อเดือนต่อยอดการผลิตชิ้นงานหนึ่งล้านชิ้นตั้งแต่เดือนเมษายนถึงกันยายน 2552

9.1 บทสรุปการนิยามปัญหา

ในขั้นตอนการนิยามปัญหานี้ทางทีมงานได้กำหนดขอบเขตในการแก้ปัญหาอยู่ที่การลดจำนวนของเสียที่ได้รับการคืนจากลูกค้าหรือ RTV. (Return to Vendor) ที่ได้รับการคืนจากลูกค้าเป็นจำนวนมากในรอบตั้งแต่เดือน 1 ธันวาคม 2551 ~ 4 เมษายน 2552 โดยมีหน่วยเป็นจำนวนของเสียต่อล้านส่วนหรือ (DPPM ; Defect Part per Million) ในทุกๆรุ่นรวมกันมีเป็นจำนวนมากและเมื่อได้ทำการแยกแยะงานที่ได้รับคืนจากลูกค้าทั้งหมดสามารถที่จะสรุปได้ว่างานเสียที่ได้รับคืนในรุ่นของ Brink 1D มีจำนวนมากที่สุดในทุกๆรุ่น เท่ากับ 4,850 ชิ้น ซึ่งสามารถคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 27% ของทั้งหมด และจำนวน DPPM เฉลี่ยอยู่ที่ 1,513 DPPM หรือระดับซิกมาเท่ากับ 3.450 □ ดังแสดงได้ดังกราฟข้างล่าง และเมื่อมองไปดูปัญหาทางด้านคุณภาพกับผลิตภัณฑ์ในรุ่นนี้พบว่ามีปัญหามากที่สุด ซึ่งสามารถแยกแยะประเภทของงานเสียที่ได้รับคืนจากลูกค้าและได้รับข้อร้องเรียนในรุ่น Brink1D โดยลักษณะอาการเสียที่ได้รับข้อร้องเรียนจากลูกค้าพบว่าเกือบ 80% เป็นลักษณะอาการเสียทางไฟฟ้าคือ Open Circuit และ Hi-pot หรือคิดเป็น 1,157 DPPM เป็นผลให้มอเตอร์ไม่สามารถขับเคลื่อนหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ก็ได้ ซึ่งถือเป็นเรื่องที่รุนแรงสำหรับลูกค้า ดังนั้นในการแก้ปัญหาด้านคุณภาพดังกล่าวคือ การลดจำนวนงานเสียในรุ่นนี้จะมุ่งเน้นใน

การแก้ปัญหาในเรื่องเกี่ยวกับลักษณะของเสียทางด้านไฟฟ้าประเภท Open Circuit และ Hi-pot เป็นหลักโดย ผู้บริหารได้ตั้งเป้าหมายในการลดของเสียลงให้ได้อย่างน้อย 50%

9.2 บทสรุปการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

9.2.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหาประกอบไปด้วยสองขั้นตอนคือการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดซึ่งประกอบไปด้วยการวิเคราะห์ในส่วนของข้อมูลแบบผันแปรกับค่าความต้านทานเพื่อการทดสอบลักษณะของเสีย Open Circuit โดยการทดสอบ 6 เครื่องตรวจสอบจาก 3 สายการประกอบ สายการประกอบละ 2 เครื่องพบว่าเครื่องทุกเครื่องดังกล่าวมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผันแปรน้อยกว่า 10% ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดจากมาตรฐานของโรงงานและสามารถสรุปได้ว่าความสามารถของระบบการวัดเพื่อการทดสอบลักษณะของเสีย Open Circuit อยู่ในเกณฑ์สามารถยอมรับได้ ในส่วนการวิเคราะห์ของข้อมูลแบบนับเพื่อการทดสอบลักษณะของเสีย Hi-pot กับเครื่องทดสอบเดียวกันซึ่งเป็นการทดสอบแบบ GO/NO GO พบว่าทุกเครื่องมีค่ารีพีเทบิลิตี้ของการตรวจสอบเท่ากับ 100% และประสิทธิภาพด้านไบอัสของการตรวจสอบเท่ากับ 100% ยกเว้นเครื่องที่ 1 ของสายการประกอบที่ 1 และเครื่องที่ 2 ของสายการประกอบที่ 2 จะพบปัญหาประสิทธิภาพด้านไบอัสของการตรวจสอบไม่เท่ากับ 100% แต่หลังจากการปรับกระแสไฟฟ้าที่เครื่องแล้วดำเนินการวิเคราะห์อีกครั้งพบว่าปัญหาประสิทธิภาพด้านไบอัสของการตรวจสอบไม่เท่ากับ 100% หดไป ซึ่งหมายความว่าความสามารถของระบบการวัดเพื่อการทดสอบลักษณะของเสีย Hi-pot อยู่ในเกณฑ์สามารถยอมรับได้

9.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบหรือ FMEA ของลักษณะอาการเสีย Open Circuit และได้นำปัจจัยนำเข้ดังกล่าวมาทำการเรียงลำดับจากค่าคะแนน RPN ด้วยแผนภาพพาเรโต จะพบว่าจากปัจจัยนำเข้ที่วิเคราะห์ทั้งหมด 15 ปัจจัย มีปัจจัยนำเข้ที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อในขั้นตอนการทดสอบสมมุติฐานซึ่งจะเป็นการยืนยันความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่อปัญหา 8 ปัจจัย ซึ่งคิดเป็น 80.0% ของปัจจัยรวมทั้งหมด ส่วนผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบหรือ FMEA ของลักษณะอาการเสีย Hi-pot ได้นำปัจจัยนำเข้ดังกล่าวมาทำการเรียงลำดับจากค่าคะแนน RPN ด้วยแผนภาพพาเรโต จะพบว่าจากปัจจัยนำเข้ที่วิเคราะห์ทั้งหมด 13 ปัจจัย มีปัจจัยนำเข้ที่สำคัญที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อในขั้นตอนการทดสอบสมมุติฐานซึ่งจะเป็นการยืนยันความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่อปัญหา 8 ปัจจัย ซึ่งคิดเป็น 77.0% ของปัจจัยรวมทั้งหมด

9.3 บทสรุปการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

สรุปผลการเลือกปัจจัยและผลกระทบของปัจจัยสำหรับปัญหาของเสียบประเภท Open Circuit และ Hi-pot จากการการวิเคราะห์/ทดสอบสมมุติฐานของลักษณะของเสียบประเภททั้งสองประเภทสามารถสรุปผลกระทบของปัจจัยที่มีต่อปัญหาเพื่อนำไปสู่ขั้นตอนของการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการคือในส่วนของเสียบประเภท Open Circuit มีผลกระทบทุกปัจจัยยกเว้นปัจจัยที่ 7 ดังนี้

ตารางที่ 9.1 บทสรุปผลกระทบต่อปัจจัยของปัญหาของเสียบประเภท Open Circuit

ลำดับ	ปัจจัย นำเข้าที่	สาเหตุของปัจจัย	เครื่องมือ ทางสถิติ	ผลกระทบต่อ ปัจจัย
1	4	ขอบของรูของ Connector ที่ใส่เส้น wire มีความคมเนื่องจากไม่มี Chamfer	Two proportions	มีผลกระทบ
2	6	ตั้งเส้น wire แบบขนาน (Horizontal) ไปด้านหน้าเพื่อการบัดกรีโดยไปครูดกับรูของ Connector	Two proportions	มีผลกระทบ
3	5	ตั้งเส้น wire เพื่อการบัดกรีโดยใช้แรงมากเกินไป	Two proportions	มีผลกระทบ
4	7	เส้น wire เกิดแรงเค้นเนื่องจากในกระบวนการจะมีการพับเส้น wire ไปมา 2 ครั้งก่อนการบัดกรี	Two proportions	ไม่มีผลกระทบ
5	15	ความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้างฐานรองรับมอเตอร์แรงเกินไป	Two proportions	มีผลกระทบ
6	1	พนักงานไม่มีทักษะความชำนาญในกระบวนการจัดเส้น wire	-	มีผลกระทบ
7	13	พนักงานไม่มีทักษะในการบัดกรีในกระบวนการบัดกรีที่ตีพอ	-	มีผลกระทบ
8	3	เวลาในการชุบตะกั่วของ Stator (Dipping) นานเกินไป	Two samples t	มีผลกระทบ

และในส่วนของเสียบประเภท Hi-pot มีผลกระทบทุกปัจจัยดังนี้

ตารางที่ 9.2 บทสรุปผลกระทบต่อบัจจัยของปัญหาของเสียประเภท Hi-pot

ลำดับ	บัจจัยนำเข้าไป	สาเหตุของบัจจัย	เครื่องมือทางสถิติ	ผลกระทบต่อบัจจัย
1	2	พนักงานไม่มีทักษะในการใช้งานเครื่องทำให้ไม่ได้เปิดกระแสไฟสำหรับตรวจสอบ Hi-pot	-	มีผลกระทบ
2	10	Master ที่ใช้ทดสอบก่อนเริ่มงานไม่เหมาะสมเนื่องจากเป็น NG ที่ความต่างศักย์ต่ำกว่าข้อกำหนด	-	มีผลกระทบ
3	3	พนักงานไม่ใช้งาน Master ในการตรวจสอบก่อนเริ่มงานทำให้ไม่พบข้อผิดพลาดเนื่องจากไม่มีทักษะในการใช้เครื่อง	-	มีผลกระทบ
4	5	Base บริเวณช่องใส่ Connector มี E-coat ไม่สมบูรณ์ (ทำให้ไม่เป็นฉนวน)	-	มีผลกระทบ
5	9	Fixture ของเครื่อง Press Fit ไม่ได้ Center ทำให้ไปกดทับเส้น Wire ในกระบวนการ Stator Press Fit	Two proportions	มีผลกระทบ
6	11	ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากพนักงานสามารถปรับเองได้	-	มีผลกระทบ
7	8	พนักงานใส่ Stator ไม่ตรงตำแหน่งทำให้ระยะตะกั่วของเส้น Wire ไปสัมผัสกับ Base บริเวณช่องใส่ Connector ที่ E-coat ไม่สมบูรณ์(ไม่เป็นฉนวน)	-	มีผลกระทบ
8	13	ความต่างศักย์ที่ใช้ทดสอบต่ำกว่าข้อกำหนดเนื่องจากปรับตั้งเครื่องต่ำเกินไปจากปุ่มปรับ	-	มีผลกระทบ

9.4 บทสรุปการปรับปรุงกระบวนการและการทดสอบยืนยันผล

ในขั้นตอนการแก้ไขเพื่อปรับปรุงกระบวนการนี้ได้นำเอาบัจจัยนำเข้าไปที่มีนัยสำคัญที่ได้สรุปมาแล้วจากบทที่ 5. การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ซึ่งเป็นบัจจัยนำเข้าไปของลักษณะข้อบกพร่องประเภท Open Circuit 7 บัจจัย และบัจจัยนำเข้าไปของลักษณะข้อบกพร่องประเภท Hi-pot 8 บัจจัย และจากบัจจัยนำเข้าไปทั้งหมดนี้สามารถสรุปรวมบัจจัยนำเข้าไปที่สำคัญเพื่อนำไปออกแบบการทดลองได้ 3 บัจจัย ซึ่งในที่นี้ได้เลือกการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Full Factorial Design เพื่อวัตถุประสงค์ในการหาค่าระดับที่เหมาะสมของบัจจัยต่างๆ จากตัวแบบถดถอยที่ได้จากการออกแบบการทดลอง และจากการออกแบบการทดลองดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าระดับที่เหมาะสมของบัจจัย A วิธีการในการจัดเส้น Wire คือการจัดเส้น Wire ขึ้นในแนวตั้งฉาก ระดับที่เหมาะสมของบัจจัย B การควบคุมความถี่ Ultra Sonic ของเครื่องล้าง คือการควบคุมความถี่ของเครื่องล้าง Ultra Sonic และบัจจัย C ชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ของเครื่อง Press fit คือ

Guide Pin อยู่ด้านบน ซึ่งจากการปรับระดับที่เหมาะสมของปัจจัยจากการออกแบบการทดลอง ดังกล่าวจะให้ค่าสัดส่วนของข้อบกพร่องที่น้อยที่สุดจากการทำการทดสอบยืนยันผลต่อไปในบทที่ 7 ด้วยการเก็บข้อมูลด้วยจำนวน 480,934 ข้อมูลเพื่อหาจำนวนข้อบกพร่องของ Open Circuit และ Hi-pot ซึ่งพบว่ามีความถี่ทั้งหมดทั้งสิ้น 113 ข้อมูล และสามารถคิดเป็นสัดส่วนของข้อบกพร่องต่อล้านส่วนได้เป็น 235 DPPM ซึ่งลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุงที่พบว่าจำนวนสัดส่วนของข้อบกพร่องต่อล้านส่วนอยู่ที่ 1,157 DPPM ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญ ดังกล่าวมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงในกระบวนการ

9.5 บทสรุปการควบคุมกระบวนการ

ในบทนี้ได้นำเอาปัจจัยทั้ง 3 มาจัดทำเป็นวิธีการที่เป็นมาตรฐานโดยกำหนดลงในวิธีการปฏิบัติงานสำหรับวิธีการในการจัดเส้นขดลวด สเตเตอร์ก่อนการบัดกรี สำหรับการควบคุมความถี่ของเครื่องล้าง Ultra Sonic ก็จัดทำเป็นมาตรฐานในการกำหนดค่าความถี่ของเครื่องล้าง Ultra Sonic ในส่วนของปัจจัยชนิดของ Guide Pin ใน Fixture ของเครื่อง Press fit นั้นจะกำหนดการควบคุมโดยทำการออกเป็นใบตรวจสอบหรือ Check Sheet โดยดูที่เส้นขดลวดจะต้องไม่มีรอยขีดข่วนหรือแตกเสียหายเนื่องจากหัวสวมอัดสเตเตอร์ทุกๆ 4 ซม. นอกจากนั้นหลังการทดสอบยืนยันผลแล้วยังได้ทำการติดตามผลในสัดส่วนข้อบกพร่องดังกล่าวหลังการปรับปรุงพบว่าสัดส่วนที่ลดลงเป็นลำดับ จากช่วงก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 1,157 dppm แต่พบว่าช่วงระหว่างการปรับปรุงที่ดำเนินการทดลองจะมีสัดส่วนข้อบกพร่องอยู่ที่ 457 dppm และช่วงหลังการปรับปรุงแล้วพบว่าอาการเสียในสองหัวข้อดังกล่าวลดลงเหลือเพียง 257 dppm หรือคิดเป็นที่ลดได้ 78% เท่านั้นซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเป็นจำนวนของต้นทุนที่สามารถลดได้จะมีค่าเท่ากับ 64,732 บาท ต่อยอดการผลิตชิ้นงานหนึ่งล้านชิ้น โดยนับตั้งแต่ช่วงระหว่างการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงเป็นต้นมาหรือคิดเป็น 12,946 บาทต่อเดือนต่อยอดการผลิตชิ้นงานหนึ่งล้านชิ้น ยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถลดความเสี่ยงของเส้นขดลวดสเตเตอร์จะขาด ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้มอเตอร์จะไม่หมุนที่ลูกค้าขั้นสุดท้ายหรือ End User จะนำไปใช้งานได้คือลูกค้าผู้ผลิต Hard Disk Drive ซึ่งจะถือว่าเป็นข้อบกพร่องที่มีความรุนแรงมากและจะเป็นความสูญเสียจากการที่ถูกเรียกคืนสินค้า หรือสูญเสียค่าปรับนั้น ซึ่งจะมีเป็นจำนวนมากและไม่สามารถคิดคำนวณเป็นตัวเลขได้

9.6 อุปสรรคในงานวิจัย

9.6.1 ในการปรับปรุงกระบวนการโดยการลดสัดส่วนข้อบกพร่องของ Open Circuit ค่อนข้างที่จะทำได้ยากเนื่องจากงานเสียประเภทนี้จะไม่เกิดขึ้นที่กระบวนการประกอบฐานรองรับมอเตอร์ แต่เกิดขึ้นที่กระบวนการประกอบมอเตอร์ของลูกค้ำภายใน ดังนั้นการทดลองวิเคราะห์ในการปรับปรุงต่างๆ จึงค่อนข้างทำได้ยากเนื่องจากไม่ทราบว่าการแก้ไขต่างๆมีผลกระทบต่อสัดส่วนข้อบกพร่องหรือไม่

9.6.2 การลดสัดส่วนข้อบกพร่องด้วยการอ้างอิงจากของเสียที่ได้รับคืนจากลูกค้ำนั้น จำเป็นต้องมีการติดต่อประสานงานอย่างละเอียดสำหรับการควบคุมล็อตต่างๆ ที่ทำการปรับปรุงให้เข้าไปที่กระบวนการประกอบมอเตอร์เพื่อให้แยกการตรวจติดตามผล (Monitoring) จากล็อตงานอื่นๆ ซึ่งในการผลิตดังกล่าวจะมีเป็นจำนวนมากและหลากหลายรุ่นสินค้าทำให้การตรวจติดตามทำได้ยาก

9.7 ข้อเสนอแนะ

9.7.1 ในการปรับปรุงกระบวนการโดยการลดสัดส่วนข้อบกพร่องของ Open Circuit และ Hi-pot สำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น Brink 1D นั้นสามารถประยุกต์การวิเคราะห์และดำเนินการแก้ไขโดยนำไปใช้กับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆได้ที่มีความใกล้เคียงกันสำหรับฐานรองรับมอเตอร์ประเภทที่ 2 ที่ใช้ Connector เป็นวงจรที่ใช้ในการทำงานตามที่ได้ระบุในบทที่ 3 การนิยามปัญหา

9.7.2 การปรับปรุงกระบวนการโดยการลดสัดส่วนข้อบกพร่องของ Open Circuit และ Hi-pot นั้นสามารถใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์และแก้ไขได้หลากหลายซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นซึ่งการจะแก้ปัญหาให้ได้ผลที่ดีนั้นจำเป็นต้องให้ความสำคัญตั้งแต่ระดับผู้บริหารสูงสุด ซึ่งจะชี้แนะทิศทางในการแก้ไขปัญหา รวมถึงการที่จะต้องให้การอบรมต่อพนักงานที่ปฏิบัติงานไปทำการฝึกอบรมเพื่อเพิ่มศักยภาพในการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีทางซิกซ์ ซิกมาต่อไป

9.7.3 ในการปรับปรุงกระบวนการโดยการลดสัดส่วนข้อบกพร่องของ Open Circuit นั้นควรมีการพิจารณาในการเพิ่มกระบวนการในการล้างฐานรองรับมอเตอร์ด้วยเนื่องจากได้มีการยืนยันแล้วว่าเครื่องล้างฐานรองรับมอเตอร์มีส่วนทำให้เกิดปัญหาเส้นขดลวดสเตเตอร์ขาดหรือ Open Circuit แม้ภายในกระบวนการจะมีการตรวจเช็คค่าทางไฟฟ้าแล้ว 100% แต่เครื่องล้างดังกล่าวจะทำให้กระบวนการของลูกค้ำ ทำให้เกิดปัญหาเส้นขดลวดสเตเตอร์ขาดในภายหลังจึงทำให้เกิดงานเสียที่ได้รับคืนจากลูกค้ำในสัดส่วนที่ค่อนข้างมาก

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2549. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ.. พิมพ์ครั้งที่ 4..

กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น),

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ 2549 การวิเคราะห์ระบบการวัด(MSA) ประมวลผลด้วย MINITAB

กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ 2551 สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1 ประมวลผลด้วย MINITAB

พิมพ์ครั้งที่ 9 กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ 2551 สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2 ประมวลผลด้วย MINITAB

พิมพ์ครั้งที่ 8 กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย 2538 การควบคุมคุณภาพสำหรับนักบริหารและกรณีศึกษา พิมพ์ครั้งที่ 1

กรุงเทพมหานคร : บริษัทเอ็มแอนดีอี จำกัด

ธนากร เกียรติบรรลือ. 2543. FMEA การวิเคราะห์ความล้มเหลวในการผลิต . Industrial

Technology Review ฉบับที่ 73 กรกฎาคม 2543 : หน้า 101~105.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยาและพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์ 2551 การออกแบบและวิเคราะห์การ

ทดลอง กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด

ปารเมศ ชูติมา 2545 การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม

กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภัทรา อายุวัฒน์ 2546 การลดของเสียที่เกิดจากค่าการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านสำเร็จไม่ได้

ตามข้อกำหนดในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้แนวทางซิกซ์ซิกมา วิทยานิพนธ์

ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศิริวดี เชื้ออรุญโชติ 2546 การลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตหัวอ่าน-เขียนสำหรับ

คอมพิวเตอร์โดยการประยุกต์วิธีการซิกซ์ซิกมา วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว. 2545 การลดการสูญเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋องโดยประยุกต์ใช้

วิธีการซิกซ์ซิกมา วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

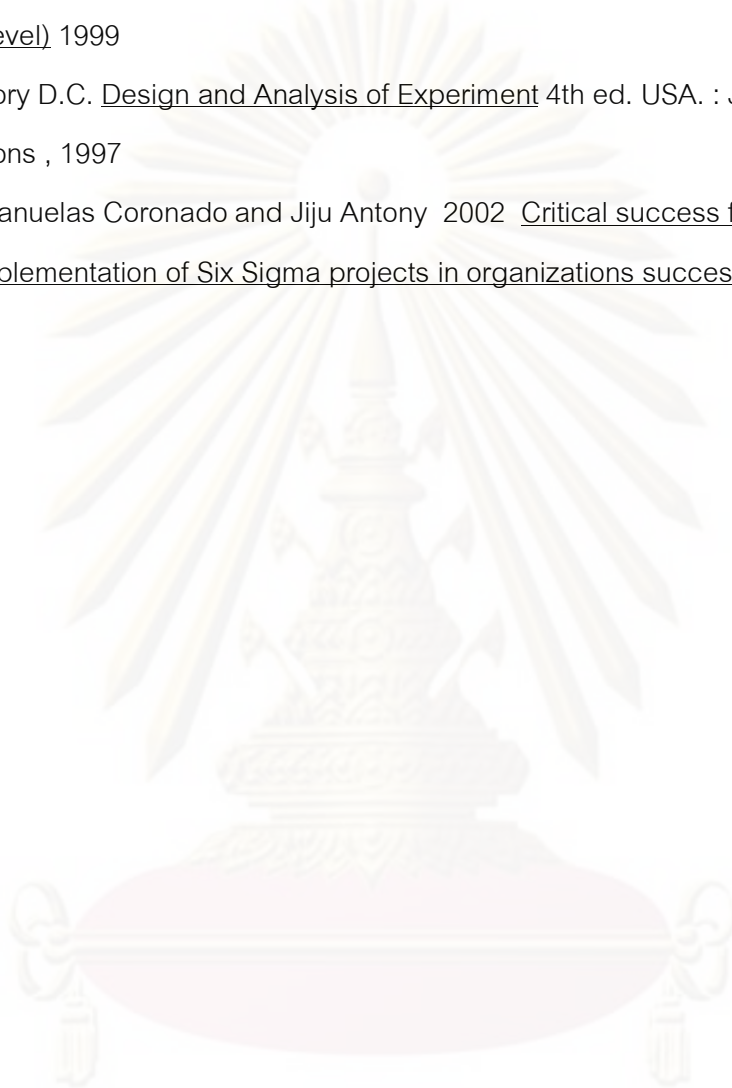
ภาษาอังกฤษ

J. Antony¹, M. Kumar¹ and A. Labib 2008 Gearing Six Sigma into UK manufacturing SMEs : results from a pilot study

Pyzdek T. The Six Sigma Handbook (A Completes, Black belt, and Managers At All Level) 1999

Montgomery D.C. Design and Analysis of Experiment 4th ed. USA. : John Weily and Sons , 1997

Ricardo Banuelas Coronado and Jiju Antony 2002 Critical success factors for the implementation of Six Sigma projects in organizations successful



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

มาตรฐานการปฏิบัติงาน

ที่กระบวนการการจัดเส้นเขตลวดสเตอร์และการบัดกรี



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OPERATION STANDARD

OPERATION STANDARD			REF.DOC.NO.	A-PCE-P-09-01
ISSUE/REV	CONTENTS	DATE	MODEL : DB1N12A-12 (BRINK 1D 2H-A)	OPN. 090,100
00	Initial release	27-Oct-08	PROCESS : WIRE SOLDERING & WIRE CUTTING	
01	Change operation	02-Jun-09		
02	Change of operation	4-Aug-09		
ขั้นตอนการทำงาน (Step of operation)			PRODUCTION ENGINEERING	KAIZEN / TRAINER
			ORIGINATOR	EFFECTIVE DATE
			ITEM	SPEC



1. จัดเส้น Wire ขึ้นแล้วรวบเส้น Wire ขึ้นตรง ๆ ประมาณ 90°C จากนั้น บิดไปทางด้าน ID Base พร้อมกับจัดตำแหน่งของเส้น Wire ให้ตรงกับจุด บัดกรี โดยใช้ Blue stick

1. RAISE THE WIRE UP THEN ARRANGE WIRE AROUND 90 °C AND THEN STRIP THE WIRE ALONG WITH SOLDER PAD BY BLUE STICK

2. วาง Base ลงบน Conveyer ตรงจุดเริ่มต้น

2. PLACE BASE THE CONVEYER ON START POINT

3. ยก Cover solder ขึ้น Conveyer จะทำงาน แล้ว Base ก็จะมาอยู่ในตำแหน่ง Solder ดังรูป

3. TAKE COVER SOLDER CONVEYOR THEN BASE INPUT POINT SOLDER

4. ปิดฝา Cover ลงแล้วทำการ Solder ให้ครบ ทั้ง 3 จุด

4. CLOSE COVER AND SOLDER ALL 3 POINT



6. ยกฝา Cover เพื่อให้ Base ไหลออกจาก จุดบัดกรี

6. Take cover for base out from point solder



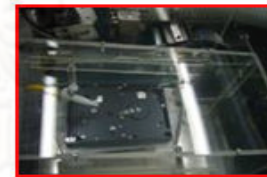
7. Base จะไหลออกมาจากจุด Solder เพื่อ เข้าเครื่องตัดเส้นลวดอัตโนมัติ

7. Base out from point solder for send to wire cutting auto



8. เมื่อ Base เลื่อนมาที่เครื่อง เครื่องจะทำการหยุด Base และตัดเส้นลวด อัตโนมัติ

8. When base move to auto mc that will stop and cutting automatic



9. หลังจากตัด Wire เสร็จเรียบร้อยแล้ว Base จะเลื่อนมาที่เครื่องเป่าเส้นลวดอัตโนมัติเมื่อเป่าเรียบร้อยแล้วจะส่งไปยังขั้นตอนต่อไป

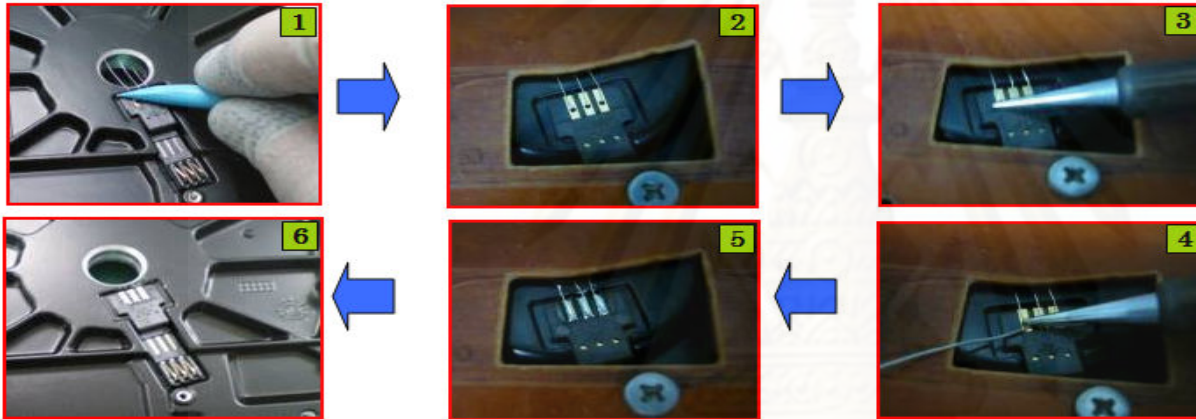
9. After cutting finish base will move to blow wire and base for send to next process



OPERATION STANDARD

ISSUE/REV	CONTENTS	DATE	MODEL : DB1N12A-12 (BRINK 1D 2H-A)	OPN. 090,100	REF.DOC.NO.	A-PCE-P-09-01
00	Initial release	27-Oct-08	PROCESS : WIRE SOLDERING & WIRE CUTTING		PRODUCTION	
01	Change operation	02-Jun-09			ENGINEERING	
02	Change of operation	4-Aug-09			KAIZEN / TRAINER	
					ORIGINATOR	
					EFFECTIVE DATE	
ขั้นตอนการทำงาน (Step of operation)					ITEM	SPEC
					SOLDER TEMP.	380 + 20/-10 °C (370 - 400 °C)
					อุณหภูมิของ SOLDER	380 + 20/-10 °C (370 - 400 °C)
					KEY EQUIPMENT	KEY MATERIAL
					CONCERN DOCUMENT	
					REF.DOC.NO. A-PCE-PMP-154	
					DOC.NO. A-PCE-OS-BR2H-05-02	PAGE 2 of 3

ขั้นตอนการทำงาน (Step of operation)



ขั้นตอนการทำงาน

1. วางหัวแร้งที่จุด SOLDER ประมาณ 45 oC ต่อ 1 วินาที เพื่อให้ตำแหน่ง SOLDER ที่จุด CONNECTOR ร้อน (ดังรูปที่ 3)
2. เอาตะกั่วที่ปลายหัวแร้ง จากจุด SOLDER ล่างขึ้นบน และขนาดของตะกั่วต้องไม่เกินพื้นผิวของ BASE ทั้ง 3 จุด (ดังรูปที่ 6)

STEP OF OPERATION

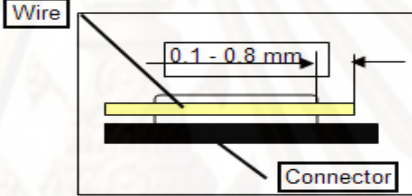
1. PLACE SOLDER TIP AT POINT SOLDER TIP AROUND 45 oC DEGREE / 1 SEC.
2. INSERT LEAD WIRE AT SOLDER TIP AND SIZE OF SOLDER POINT MUST NOT OVER BASE.

ข้อกำหนดทั่วไป

1. ทำความสะอาดหัวแร้งทุกครั้ง ที่พบว่าหัวแร้งสกปรกด้วยฟองน้ำสีเหลือง
2. ทำความสะอาดฟิกเจอร์ก่อนเลิกงาน 10 นาที และทุก ๆ 2 ชั่วโมง

GENERAL REQUIREMENT

1. CLEANING SOLDER SLOVENLY TIP EVERY TIME. BY SPONGE
2. CLEAN FIXTURE BEFORE END SHIFT 10 MIN AND EVERY 2 Hrs.

OPERATION STANDARD				REF.DOC.NO.	A-PCE-P-09-01
ISSUE/REV	CONTENTS	DATE	MODEL : DB1N12A-12 (BRINK 1D 2H-A)	OPN. 090,100	PRODUCTION
00	Initial release	27-Oct-08			ENGINEERING
01	Change operation	02-Jun-09	PROCESS : WIRE SOLDERING & WIRE CUTTING		KAIZEN / TRAINER
02	Change of operation	4-Aug-09			ORIGINATOR
GENERAL REQUIREMENT				EFFECTIVE DATE	
<p>1. Be careful when cut wire, must sure cutter do not cut circuit at Base and Connector.</p> <p>2. Length of wire remainder must not over 0.8 mm.</p> <p>3. Clean area working before end shift 10 Min and every 2 Hrs by IPA.</p>				ITEM	SPEC
<p>ข้อกำหนดทั่วไป</p> <p>1. ระบังกการตัดเส้น wire ต้องแน่ใจว่าไม่ตัดโดนวงจรที่ Base and Connector</p> <p>2. ความยาวของสายไฟที่เหลืออยู่จะต้องไม่เกิน 0.8 มม.</p> <p>3. ทำความสะอาดพื้นที่ทำงานก่อนเลิกงาน 10 นาที และทุก ๆ 2 ชั่วโมง</p>				WIRE	0.1 - 0.8 mm
				KEY EQUIPMENT	KEY MATERIAL
				CONCERN	DOCUMENT
				REF.DOC.NO.	A-PCE-PMP-154
				DOC. No.	A-PCE-OS-BR2H-05-02 Page 3 of 3

ภาคผนวก ข.

ตาราง ข.1 มาตรฐานการปรับระดับคลื่นความถี่

ของเครื่องล้างแบบ Ultra Sonic ของเครื่อง 2-2W3 (JCS)



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Tank No./Machine	US Condition									
	1-1W1(JCS)	1-1W2(Crest)	1-1W3(JCS)	1-2W1(JCS)	2-1W1(JCS)	2-1W2(Crest)	2-1W3(JCS)	2-2W1(JCS)	2-2W2(Crest)	2-2W3(JCS)
Tank #1	40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W	40 kHz, 2.000W	40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W	40 kHz, 1.500W 40 kHz, 1.500W	40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W	40 kHz, 2.000W	40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W	40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W	40 kHz, 2.000W	40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W
Tank #2	NO(spray)	40 kHz, 500W 40 kHz, 2.000W 40 kHz, 500W	NO(spray)	NO(spray)	NO(spray)	40 kHz, 500W 40 kHz, 2.000W 40 kHz, 500W	NO(spray)	NO(spray)	40 kHz, 500W 40 kHz, 2.000W 40 kHz, 500W	NO(spray)
Tank #3	80 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W 80 kHz, 1.000W	40 kHz, 2.000W	40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W	40 kHz, 1.500W 80 kHz, 1.500W	40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W	40 kHz, 2.000W	40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W	40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W	40 kHz, 2.000W	40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W 40 kHz, 1.000W
Tank #4	120 kHz, 1.000W 120 kHz, 1.000W 120 kHz, 1.000W	58 kHz, 500W 58 kHz 40 kHz, 500W	80 kHz, 1.000W 80 kHz, 1.000W 80 kHz, 1.000W	120 kHz, 1.500W 120 kHz, 1.500W	80 kHz, 1.000W 80 kHz, 1.000W 80 kHz, 1.000W	58 kHz, 500W 58 kHz 40 kHz, 500W	80 kHz, 1.000W 80 kHz, 1.000W 80 kHz, 1.000W	80 kHz, 1.000W 80 kHz, 1.000W 80 kHz, 1.000W	58 kHz, 500W 58 kHz 40 kHz, 500W	80 kHz, 1.000W 80 kHz, 1.000W 80 kHz, 1.000W
Tank #5	NO(Final rinse)	132 kHz, 1.000W	120 kHz, 1.000W 120 kHz, 1.000W 120 kHz, 1.000W	NO(Final rinse)	120 kHz, 1.000W 120 kHz, 1.000W 120 kHz, 1.000W	132 kHz, 1.000W	120 kHz, 1.000W 120 kHz, 1.000W 120 kHz, 1.000W	120 kHz, 1.000W 120 kHz, 1.000W 120 kHz, 1.000W	132 kHz, 1.000W	120 kHz, 1.000W 120 kHz, 1.000W 120 kHz, 1.000W
Tank #6		NO(Final rinse)				NO(Final rinse)			NO(Final rinse)	Hot Blow
% Power	40 kHz, on 50 % 80 kHz, on 50 % 120 kHz, on 80 %	40 kHz, on 50 % 58 kHz, on 50 % 132 kHz, on 80 %	40 kHz, on, 50% 80 kHz, on, 80 % 120 kHz, OFF	40 kHz, OFF 80 kHz, OFF 120 kHz, OFF	40 kHz, on 50 % 80 kHz, on 50 % 120 kHz, on 80 %	40 kHz, on 50 % 58 kHz, on 50 % 132 kHz, on 80 %	40 kHz, on 50 % 80 kHz, on 50 % 120 kHz, on 80%	40 kHz, on 50 % 80 kHz, on 50 % 120 kHz, on 80 %	40 kHz, on 50 % 58 kHz, on 50 % 132 kHz, on 80 %	40 kHz, OFF 80 kHz, OFF 120 kHz, on 40 %
Current	Viking 40 kHz, on 50 % 80 kHz, on 80 % 120 kHz, on 80 %	Valtron 2275 WW 52 40 kHz, on 50 % 58 kHz, on 50 % 132 kHz, on 80 %	WD 3.5" base ass'y Nov 2798 40 kHz, on, 50% 80 kHz, on, 80 % 120 kHz, on, 80 %	Base ass'y 2.5 Improve broken wire 40 kHz, OFF 80 kHz, OFF 120 kHz, OFF	40 kHz, OFF 80 kHz, OFF 120 kHz, OFF	Hub 3.5" Improve white mark 40 kHz, OFF 58 kHz, OFF 132 kHz, off	Normal condition for base ass'y Timberland, Hurricane, Moose, brnk 3D, Muskie, Farrah 40 kHz, on 50 % 80 kHz, on 50 % 120 kHz, on, 80%	40 kHz, on 50 % 80 kHz, on 50 % 120 kHz, on 80 %	Hub 3.5" Improve white mark 40 kHz, OFF 58 kHz, OFF 132 kHz, off	Brink' NH Improve broken wire 40 kHz, OFF 80 kHz, OFF 120 kHz, on 40 %
		Improve LPC HPA for WD product		K. Nattawan quality on 120kHz, 20% on Jan 999						

ภาคผนวก ค.

ตาราง ค.1 ใบตรวจสอบความเสียหายของเส้นขดลวดสเตเตอร์หรือ
Wire Damage หลังกระบวนการสวมอัดสเตเตอร์หรือ Press Fit



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.

ตาราง ง.1 ข้อมูลการได้รับงานคืนจากลูกค้า (ขึ้น) ในอาการเสียชนิดต่างๆ
ของผลิตภัณฑ์รุ่น Brink1D
ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2551 – เดือนกันยายน 2552



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Month	W/W	Open circuit	Air leak Connect or	Hipot	T/B contam	Loose wire	Wire short	Stator high	No spin	T/B Incomplete	Scratch on base	Dent Stator	Connect or lift up	Adhesive uncover solder	Wire damage	T/B overflow	No apply adhesive	Incomplete solder	Damage wire	Dent Base	Wire contam	Solder High	Total (pcs.)	ยอดคงไว้ ผลิต
Dec '08	www49			8	3		27																38	63,605
	www50																						0	66,719
	www51			10	2		15							1					2				30	79,951
	www52																						0	0
Jan '09	www1																						0	0
	www2																						0	169,283
	www3		29	21			6							1					1				58	161,704
	www4		225	113	137	4	3				8			2		1							493	89,787
	www5	137	26	71		4					8												246	132,293
Feb '09	www6																						0	109,740
	www7	102	24	39	2		8				12			3									190	224,969
	www8	264	2	72		64	2												2				406	254,302
	www9																						0	259,364
Mar '09	www10	309		647		38	7	13	1							1							1,016	268,063
	www11	400		116		18	59							4								2	597	347,300
	www12	178		187		62	24																451	392,878
	www13	281		241	2	31	24							3		6					2		588	300,073
	www14	298		215		76	44																633	285,340
Apr '09	www15	131		40	7		19									5							204	376,306
	www16	21		39	3	6	6	2								1						1	78	124,264
	www17	54		90	20	44	16	1			67										3		292	140,118
	www18																						0	124,683
May '09	www19	72		59			33																164	274,830
	www20	90		62	10	2	23	4															191	392,289
	www21	72		68	13	4	11	2															170	233,790
	www22	128		44	2	30	9	2															217	239,182
Jun '09	www23	96		17	11	57	8	1															191	480,934
	www24	115		39	32	25	6	1			23			75	1				43		2		362	442,235
	www25	47	1,782	4	4		1	1		33	2												1,874	501,867
	www26	75	1,520	29	33	32	36				17	9							94				1,845	416,750
	www27	98	789	21	31	8	43		8		16	15							26				1,065	437,707
Jul '09	www28																						0	407,595
	www29	135	215	8	21	6	4	1			3				1								401	551,272
	www30	153	1,237	52	76	47	32	2		3	16				1						2		1,639	490,867
	www31	71	1,061	36	119	41	4	1			13												1,358	537,251
Aug '09	www32	84	430	103	57	37	23	4							1								746	493,684
	www33	106	1,557	80	74	45	35	4			22				3								1,953	537,559
	www34	78	1,201	78	88	53	22	1		6	54		3		1								1,585	576,618
	www35	108	1,969	39	105	32	8	4			8		3										2,276	627,573
Sep '09	www36	136	2,095	37	306	29	14	5			12					1							2,635	582,729
	www37	130	134	63	41	9	30	7		3	25	1											447	629,338
	www38	157	424	75	42	49	12	1		2	7		1										770	683,620
	www39	134	411	33	76	43	21	1			1												720	650,196
	www40	54	91	35	58	59	10	1	18	3		1											330	578,987
Sum / Defect		4,314	15,222	2,891	1,375	955	645	67	19	83	306	2	7	91	9	15	1	231	12	4	5	3	26,257	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายชัยพันธ์ พัทธิกุล เกิดเมื่อวันที่ 31 กรกฎาคม 2517 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี ได้รับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2540 หลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อวิศวกรรมศาสตร์ในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคการศึกษาปลายปีการศึกษา 2550



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย