

การลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิต ในกระบวนการผลิตเน็ตเวิร์กสวิตช์ด้วยวิธีการ  
ซิกซ์ซิกม่า



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2565  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

REDUCTION OF DEFECTS FROM ELECTROSTATIC DISCHARGE IN THE NETWORK SWITCH  
PRODUCTION LINE BY APPLYING THE SIX SIGMA APPROACH



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

Department of Industrial Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิต ในกระบวนการผลิตเนตเวิร์กสวิตช์ด้วยวิธีการซิกซ์ซิกม่า
โดย	น.ส.จิรนนท์ มณีวรรณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ ธีระวัฒน์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเวช ชาญสง่าเวช)	

จิรนนท์ มณีวรรณ : การลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิต ในกระบวนการผลิตเนตเวิร์กสวิตช์ด้วยวิธีการซิกซ์ซิกม่า. ( REDUCTION OF DEFECTS FROM ELECTROSTATIC DISCHARGE IN THE NETWORK SWITCH PRODUCTION LINE BY APPLYING THE SIX SIGMA APPROACH) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.ปารเมศ ชูติมา

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแนวทางการปรับปรุงในกระบวนการผลิต เพื่อลดจำนวนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าจากสาเหตุไฟฟ้าสถิตระหว่างการทดสอบฟังก์ชันทางไฟฟ้า งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางของซิกซ์ซิกม่าเพื่อปรับปรุงข้อบกพร่องทางไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์เนตเวิร์กสวิตช์

ขั้นตอนในการวิจัยประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define phase) การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure phase) ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze phase) การปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve phase) และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control phase) จากนั้นบริษัทกรณีศึกษาจึงได้จัดตั้งทีมงานเพื่อเข้ามาแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยสามารถระบุกระบวนการที่ก่อให้เกิดปัญหาได้แก่ สถานีไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น สถานีสวมอัดชิ้นงานและสถานีทดสอบทางไฟฟ้า ในการดำเนินงานวิจัยเพื่อวิเคราะห์สาเหตุและแนวทางการปรับปรุงมีการนำเครื่องมือทางสถิติมาช่วยวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมุติฐานเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อข้อบกพร่องของชิ้นงาน เมื่อสามารถระบุสาเหตุของปัญหาได้แล้วจึงได้นำปัจจัยเหล่านั้นมาทำการปรับปรุงและทำการเปรียบเทียบจำนวนข้อบกพร่องภายหลังการปรับปรุงกับกระบวนการก่อนการปรับปรุง

ผลการดำเนินการปรับปรุงพบว่าสัดส่วนของเสียในระยะเวลา 6 เดือน ลดลงจากก่อนปรับปรุง 19,162.88 DPPM เป็น 10,528.02 DPPM ลดลง 0.86 เปอร์เซ็นต์ การปรับปรุงนี้สามารถลดต้นทุนจากการผลิตของเสียได้เป็นจำนวนเงินเฉลี่ย 10,370.08 เหรียญดอลลาร์สหรัฐต่อเดือน

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6470152821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: defect reduction, Six Sigma, design of experiments, electrostatic discharge, Network devices production

Jeeranan Maneewan : REDUCTION OF DEFECTS FROM ELECTROSTATIC DISCHARGE IN THE NETWORK SWITCH PRODUCTION LINE BY APPLYING THE SIX SIGMA APPROACH. Advisor: Prof. PARAMES CHUTIMA, Ph.D.

The purpose of this research is to improve the production process by reducing the number of electrical failures caused by electrostatic discharge using the Six Sigma approach to improve the electrical defects of Network switch products.

The research process consists of 5 steps: define phase, measure phase, analyze phase, improve phase and control phase. The case study company set up a team to solve the problem. It can identify processes that cause problems, including Hand-loading and wave soldering station, Press-fit assembly, and In-Circuit test station. In conducting research to analyze the causes and improvement methods, statistical tools were used to analyze to find input factors that affect the failures. When the cause of the problem can be identified, those factors are used to improve the production process to eliminate the source of charge generate and then compare the number of defects before and after improvement.

The improvement results show that the proportion of waste in the six-month period has decreased from before the improvement of 19,162.88 DPPM to 10,528.02 DPPM or 0.86 percent reduction. This improvement can reduce the cost of waste production by an average of \$10,370.08 per month.

Field of Study: Industrial Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2022

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับคำแนะนำช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายท่าน ผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ในการให้คำชี้แนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์และขอกราบขอบพระคุณประธานและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ณัฐ ลีละวัฒน์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ชวเชษฐ์ ชาญสง่าเวช ที่ให้ความรู้ คำแนะนำในการนำทฤษฎีต่างๆ มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้และได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าในการให้ข้อคิดเห็นและตรวจสอบจุดบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง

ขอกราบขอบพระคุณบริษัทกรณิศศึกษาที่ได้ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าเพื่อดำเนินการวิจัยพร้อมทั้งขอขอบคุณทีมงานและผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและเข้าร่วมการระดมความคิดเห็นเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ครอบครัว เพื่อนๆ และทุกท่านที่เกี่ยวข้องที่ให้ความสนับสนุนช่วยเหลือและเป็นแรงกำลังใจในการศึกษา รวมถึงครูอาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาแก่ผู้วิจัยจนสามารถทำงานวิจัยฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

จิรนนท์ มณีวรรณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ง
กิตติกรรมประกาศ .....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ท
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทกรณีศึกษา .....	5
1.1.1 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา .....	5
1.1.2 กระบวนการผลิตอุปกรณ์เครือข่ายสวิตช์ .....	6
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	10
1.3 การศึกษาสภาพของปัญหาโดยรวม .....	12
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	15
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	15
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	16
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	17
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	18
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	18
2.1.1 ไฟฟ้าสถิต (Electrostatic) .....	18



2.1.2 แนวคิดการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีกซ์ซิกม่า .....	22
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	34
2.2.1 งานวิจัยที่ได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้แนวทางของซีกซ์ ซิกม่าเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นใน กระบวนการผลิต .....	34
2.2.2 งานวิจัยที่ได้กล่าวถึงการแก้ไขปัญหาอันเนื่องมาจากไฟฟ้าสถิตในอุตสาหกรรม.....	35
บทที่ 3 การนิยามปัญหา .....	36
3.1 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน.....	36
3.2 สภาพปัญหาในปัจจุบัน.....	37
3.3 การกำหนดปัญหา.....	38
3.4 สรุปการนิยามปัญหา .....	45
บทที่ 4 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase).....	46
4.1 การวิเคราะห์ด้านความแม่นยำของระบบการวัด (Gage Repeatability & Reproducibility: GR&R).....	46
4.2 แนวทางการวัดเพื่อเก็บข้อมูลเบื้องต้น .....	52
บทที่ 5 การวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหา.....	55
5.1 บทนำ.....	55
5.2 วิเคราะห์กระบวนการผลิตสถานีไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น (Hand load and Wave soldering).....	55
5.2.1 การวิเคราะห์เหตุและผลที่สถานีไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น .....	61
5.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) ที่สถานีไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น .....	64
5.3 วิเคราะห์กระบวนการสวมอัดชิ้นงาน (Press fit assembly process).....	71
5.3.1 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) ของกระบวนการสวมอัดชิ้นงาน .....	80

5.3.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) ของกระบวนการสวมอัดชิ้นงาน.....	81
5.4 วิเคราะห์กระบวนการทดสอบวงจรไฟฟ้า (ICT: In Circuit Test) .....	85
5.5 สรุปปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมุติฐานเพื่อการปรับปรุง .....	86
บทที่ 6 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ.....	99
6.1 การปรับปรุงในกระบวนการไหลด้วยมือและบัดกรีด้วยคลื่น (Handload and wave soldering) .....	99
6.2 การปรับปรุงในกระบวนการสวมอัดชิ้นงาน (Press-Fit Assembly) .....	102
6.3 การปรับปรุงในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า (ICT: In Circuit Test).....	104
6.4 การวัดผลการปรับปรุงกระบวนการ.....	106
6.5 สรุปผลการปรับปรุงกระบวนการ.....	113
บทที่ 7 การควบคุมกระบวนการผลิต.....	115
7.1 แผนการควบคุม .....	115
บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	123
8.1 บทสรุปขั้นตอนการวัด .....	124
8.2 บทสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา.....	124
8.3 บทสรุปขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการผลิต.....	125
8.4 บทสรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต .....	128
8.5 ข้อจำกัดและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย .....	128
8.6 ข้อเสนอแนะ .....	129
บรรณานุกรม.....	131
ภาคผนวก.....	135
ภาคผนวก ก เกณฑ์การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) .....	136
ภาคผนวก ข ค่าผลการทดสอบสมมุติฐานของปัจจัยนำเข้าโดยการวัดกระแสไฟฟ้าสถิตบนชิ้นงาน (โวลต์) .....	138

ภาคผนวก ค คำอธิบายรายการตรวจสอบ ESD ในกระบวนการผลิต .....	140
ประวัติผู้เขียน .....	146



## สารบัญตาราง

### หน้า

ตารางที่ 1.1 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งตัวประมวลผลกลางตำแหน่ง U21 ของผลิตภัณฑ์ AZ .....	12
ตารางที่ 1.2 แสดงรายละเอียดของชิ้นส่วนหน่วยประมวลผลกลางตำแหน่ง U21 ทั้งสามรุ่น .....	13
ตารางที่ 2.1 แสดงระดับซิกซ์ซิกม่า .....	23
ตารางที่ 3.1 หน้าที่ความรับผิดชอบของทีมงานที่เกี่ยวข้อง .....	36
ตารางที่ 3.2 ผลการตรวจสอบการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวที่เครื่องเลือกและวาง .....	41
ตารางที่ 3.3 ผลการตรวจสอบการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวที่สถานีไหลลดด้วยมือและบัดกรีด้วยคลื่น (Handload and Wave soldering) .....	42
ตารางที่ 3.4 ผลการตรวจสอบที่สถานีทดสอบวงจรไฟฟ้า (ICT: In-Circuit Test) .....	43
ตารางที่ 3.5 ผลการตรวจสอบที่สถานี X-rays Inspection .....	44
ตารางที่ 3.6 ผลการตรวจสอบที่สถานี Functional Test .....	45
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดโดยพนักงานฝ่ายคุณภาพสองคนโดยการวัดซ้ำสามครั้ง (หน่วย: โวลต์) .....	48
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลค่าความต้านทานที่วัดโดยพนักงานฝ่ายคุณภาพสองคนโดยการวัดซ้ำสามครั้ง ...	50
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวอุปกรณ์ Dimm connector ก่อนประกอบ .....	58
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนขาอุปกรณ์ Dimm connector ก่อนประกอบ .....	58
ตารางที่ 5.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดไฟฟ้าสถิตที่สถานีไหลลดด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น .....	61
ตารางที่ 5.4 วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ที่สถานีไหลลดด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น .....	65
ตารางที่ 5.5 จัดลำดับสาเหตุของการเกิดปัญหาจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ที่สถานีไหลลดด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น .....	69
ตารางที่ 5.6 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน SFP connector (ขณะชิ้นงานอยู่ในถาด). 73	

ตารางที่ 5.7 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector (ขณะขึ้นงานอยู่ในถาด) ...	74
ตารางที่ 5.8 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน SFP connector (ขณะหยิบออกจากถาด)	75
ตารางที่ 5.9 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector (ขณะหยิบออกจากถาด)..	75
ตารางที่ 5.10 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วนของ Power connector (ขณะที่ขึ้นงานอยู่ในถาด).....	76
ตารางที่ 5.11 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณของ Power connector (ขณะที่ขึ้นงานอยู่ในถาด).....	77
ตารางที่ 5.12 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนตัว Power connector (ขณะหยิบออกจากถาด).....	78
ตารางที่ 5.13 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ Power connector (ขณะหยิบออกจากถาด).....	78
ตารางที่ 5.14 ผลการตรวจสอบไฟฟ้าสถิตบนอุปกรณ์และเครื่องมือที่กระบวนการสวมอัด.....	78
ตารางที่ 5.15 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดไฟฟ้าสถิตที่กระบวนการสวมอัดชิ้นงาน.....	80
ตารางที่ 5.16 วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) กระบวนการสวมอัดชิ้นงาน ...	82
ตารางที่ 5.17 จัดลำดับสาเหตุของการเกิดปัญหาจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) กระบวนการสวมอัดชิ้นงาน.....	84
ตารางที่ 5.18 ปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐาน.....	86
ตารางที่ 5.19 คำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับทดสอบสมมุติฐาน.....	86
ตารางที่ 5.20 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนประกอบ.....	88
ตารางที่ 5.21 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยจากทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนประกอบ.....	89
ตารางที่ 5.22 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากระยะเวลาในการลอกเทปกั้นความร้อน.....	91
ตารางที่ 5.23 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากระยะเวลาในการลอกเทปกั้นความร้อน.....	92

ตารางที่ 5.24 ผลการทดสอบความมึนยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความเร็วของสายพานการผลิต.....	93
ตารางที่ 5.25 ผลการทดสอบความมึนยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความเร็วของสายพานการผลิต.....	95
ตารางที่ 5.26 ผลการทดสอบความมึนยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการปรับระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้า.....	96
ตารางที่ 5.27 ผลการทดสอบความมึนยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการปรับระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้า.....	97
ตารางที่ 6.1 แสดงผลการวัดไฟฟ้าสถิตบนตัวอุปกรณ์ Dimm connector หลังการปรับปรุง.....	106
ตารางที่ 6.2 แสดงผลการวัดไฟฟ้าสถิตบนขาอุปกรณ์ Dimm connector หลังการปรับปรุง.....	106
ตารางที่ 6.3 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน SFP connector (ขณะขึ้นงานอยู่ในภาค) หลังการปรับปรุง.....	108
ตารางที่ 6.4 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector (ขณะขึ้นงานอยู่ในภาค) หลังการปรับปรุง.....	108
ตารางที่ 6.5 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน SFP connector (ขณะที่หยิบออกจากภาค) หลังการปรับปรุง.....	109
ตารางที่ 6.6 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector (ขณะที่หยิบออกจากภาค) หลังการปรับปรุง.....	109
ตารางที่ 6.7 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน Power connector (ขณะที่ขึ้นงานอยู่ในภาค) หลังการปรับปรุง.....	109
ตารางที่ 6.8 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ Power connector (ขณะที่ขึ้นงานอยู่ในภาค) หลังการปรับปรุง.....	110
ตารางที่ 6.9 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน Power connector (ขณะที่พนักงานหยิบชิ้นส่วนออกจากภาค) หลังการปรับปรุง.....	110
ตารางที่ 6.10 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ Power connector (ขณะที่หยิบออกจากภาค) หลังการปรับปรุง.....	111
ตารางที่ 6.11 จำนวนข้อบกพร่องทางไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงแยกตามสถานีงาน.....	112

ตารางที่ 6.12 จำนวนข้อบกพร่องทางไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงแยกตามรุ่นของชิ้นส่วน U21.....	112
ตารางที่ 6.13 จำนวนข้อบกพร่องทางไฟฟ้าหลังการปรับปรุงแยกตามสถานีงาน .....	113
ตารางที่ 6.14 จำนวนข้อบกพร่องทางไฟฟ้าหลังการปรับปรุงแยกตามรุ่นของชิ้นส่วน U21 .....	113
ตารางที่ 7.1 แสดงแบบฟอร์มสำหรับควบคุม ESD ในกระบวนการผลิต.....	117
ตารางที่ 7.2 แสดงผู้มีส่วนรับผิดชอบและหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลในระบบ .....	121
ตารางที่ 8.1 สรุประดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมุติฐาน .....	125
ตารางที่ 8.2 แสดงจำนวนและต้นทุนของเสียก่อนการปรับปรุง.....	127
ตารางที่ 8.3 แสดงจำนวนและต้นทุนของเสียหลังการปรับปรุง .....	127



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทวนสัญญาณเข้ากับเครือข่าย .....	1
รูปที่ 1.2 แสดงการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับเครือข่ายโดยใช้ฮับ .....	2
รูปที่ 1.3 แสดงการเชื่อมต่อเครือข่ายของบริษัท .....	2
รูปที่ 1.4 แสดงการเชื่อมต่อเครือข่ายของเราเตอร์ .....	3
รูปที่ 1.5 แสดงการเชื่อมต่อเครือข่ายของโมเด็ม .....	4
รูปที่ 1.6 แสดงลักษณะการเชื่อมต่อเครือข่ายสวิตช์ .....	5
รูปที่ 1.7 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ .....	6
รูปที่ 1.8 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชุดแผงวงจรพิมพ์ .....	6
รูปที่ 1.9 กระบวนการผลิตชุดแผงวงจรพิมพ์ .....	7
รูปที่ 1.10 กระบวนการประกอบและทดสอบอุปกรณ์เครือข่าย .....	9
รูปที่ 1.11 กราฟแสดงภาพรวมผลผลิตผ่านครั้งแรก (RFPY) ของผลิตภัณฑ์ AZ ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2565.....	11
รูปที่ 1.12 กราฟเปรียบเทียบสัดส่วนต้นทุนการผลิตของเสียในผลิตภัณฑ์สวิตช์ของบริษัทกรณีศึกษา .....	11
รูปที่ 1.13 หน่วยประมวลผลกลางตำแหน่ง U21.....	13
รูปที่ 1.14 ลักษณะอาการเสียที่พบขณะทดสอบการทำงาน .....	14
รูปที่ 2.1 โครงสร้างอะตอม .....	18
รูปที่ 2.2 การถ่ายเทประจุเมื่อวัตถุสัมผัสกัน .....	18
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสถิต .....	19
รูปที่ 2.4 อุปกรณ์ป้องกันประจุไฟฟ้าสถิต .....	21
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงการกระจายตัวของระดับซิกซ์ซิกม่า .....	22
รูปที่ 2.6 แสดงวงจรกระบวนการปรับปรุง D-M-A-I-C .....	23



รูปที่ 2.7 แสดงความผันแปรภายในกลุ่ม.....	25
รูปที่ 2.8 แสดงความผันแปรระหว่างกลุ่ม .....	25
รูปที่ 2.9 แผนภาพก้างปลา.....	28
รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในหน่วยกระบวนการผลิต .....	29
รูปที่ 2.11 ลักษณะของแผนภูมิควบคุม.....	32
รูปที่ 2.12 ลักษณะจุดที่บ่งบอกความผิดปกติในแผนภูมิควบคุม .....	33
รูปที่ 3.1 แสดงอัตราความล้มเหลวเทียบจำนวนผลิตทั้งหมดในเดือนมีนาคม-สิงหาคม 2565 .....	37
รูปที่ 3.2 กราฟสัดส่วนของเสีย (ในล้านส่วน) เทียบกับค่าเป้าหมาย เดือนมีนาคม-สิงหาคม 2565 ..	38
รูปที่ 3.3 ภาพการตรวจด้วยสายตาภายนอกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ .....	39
รูปที่ 3.4 ภาพการตรวจด้วยการตรวจสอบ X-Ray 2D.....	39
รูปที่ 3.5 เครื่องมือที่บริษัทกรณีศึกษาใช้ในการวัดไฟฟ้าสถิต .....	40
รูปที่ 4.1 แสดงการวัดสนามไฟฟ้าสถิตด้วย Electrostatic volt meter.....	47
รูปที่ 4.2 ผลการประเมินความผันแปรการวัดสนามไฟฟ้าสถิตด้วย Electrostatic volt meter.....	48
รูปที่ 4.3 แผนภาพประเมินความผันแปรการวัดสนามไฟฟ้าด้วย Electrostatic volt meter .....	49
รูปที่ 4.4 แสดงการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวด้วย Resistance meter.....	50
รูปที่ 4.5 ผลการประเมินความผันแปรการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวด้วย Resistance meter.....	51
รูปที่ 4.6 แผนภาพประเมินความผันแปรการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวด้วย Resistance meter ..	51
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการบันทึกของเสียจากห้าปัจจัยที่เกี่ยวข้องในหน่วย DPPM.....	53
รูปที่ 5.1 ขั้นตอนปฏิบัติที่สถานีไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น .....	56
รูปที่ 5.2 แสดงวงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์ Dimm connector ที่สถานีไหลด้วยมือ.....	57
รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะการวัด static field บนตัวอุปกรณ์ Dimm connector .....	57
รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะการวัดแรงดันไฟฟ้าบนขาอุปกรณ์ Dimm connector .....	58
รูปที่ 5.5 แสดงการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวของ Wave pallet ที่สถานีไหลด้วยมือ .....	59
รูปที่ 5.6 แสดงการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวของชิ้นงานที่สถานีไหลด้วยมือ.....	59

รูปที่ 5.7 แสดงการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าขณะลอกเทปกั้นความร้อน .....	60
รูปที่ 5.8 แสดงชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่วางที่สถานีไหลด้วยมือและตำแหน่งการติดเทป .....	61
รูปที่ 5.9 แสดงแผนผังการวิเคราะห์เหตุและผลที่สถานีไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น.....	63
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงการจัดลำดับสาเหตุของปัญหาที่ได้จากค่าลำดับความสำคัญของความเสี่ยงที่สถานีไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น.....	70
รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะการสวมอัดชิ้นส่วนลงบนแผ่นวงจรพิมพ์.....	71
รูปที่ 5.12 แสดงชิ้นส่วนประกอบและตำแหน่งการประกอบที่สถานีสวมอัด.....	71
รูปที่ 5.13 กระบวนการสวมอัดชิ้นงาน (Press fit assembly process).....	72
รูปที่ 5.14 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน SFP connector (ขณะชิ้นงานอยู่ในถาด).....	73
รูปที่ 5.15 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector (ขณะชิ้นงานอยู่ในถาด).....	74
รูปที่ 5.16 การวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน SFP connector (ขณะหยิบชิ้นส่วนออกจากถาด) ....	74
รูปที่ 5.17 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector (ขณะหยิบออกจากถาด) ....	75
รูปที่ 5.18 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน Power connector (ขณะชิ้นงานอยู่ในถาด)....	76
รูปที่ 5.19 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ Power connector (ขณะชิ้นงานอยู่ในถาด)..	77
รูปที่ 5.20 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน Power connector (ขณะหยิบออกจากถาด) ..	77
รูปที่ 5.21 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน Power connector (ขณะหยิบออกจากถาด) ..	78
รูปที่ 5.22 แสดงแผนผังการวิเคราะห์เหตุและผลของกระบวนการสวมอัดชิ้นงาน.....	81
รูปที่ 5.23 กราฟแสดงการจัดลำดับสาเหตุของปัญหาที่ได้จากค่าลำดับความสำคัญของความเสี่ยงของกระบวนการสวมอัดชิ้นงาน.....	84
รูปที่ 5.24 แสดงผลการตรวจสอบค่าไฟฟ้าสถิตที่กระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า .....	85
รูปที่ 5.25 บอกซ์พล็อตแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่มาจากทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนประกอบ.....	88
รูปที่ 5.26 บอกซ์พล็อตแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากระยะเวลาในการลอกเทปกั้นความร้อน .....	91

รูปที่ 5.27 บอกซ์พล็อตแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความเร็วของสายพานการผลิต .....	94
รูปที่ 5.28 บอกซ์พล็อตแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากปรับระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้า .....	96
รูปที่ 6.1 Dimm connector ที่ขั้นตอนการเตรียมชิ้นส่วนประกอบ .....	99
รูปที่ 6.2 การประกอบ Dimm connector และวัดไฟฟ้าสถิตบนแผงวงจร .....	100
รูปที่ 6.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ใหม่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่เครื่องบัดกรีด้วยคลื่น .....	100
รูปที่ 6.4 กราฟเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าสถิตก่อนและหลังการปรับปรุง .....	101
รูปที่ 6.5 ตำแหน่งของพัดลมสลายประจุไฟฟ้าที่โต๊ะทำงาน .....	101
รูปที่ 6.6 กำหนดระดับของพัดลมไว้ที่ระดับสูงสุดเท่านั้น .....	102
รูปที่ 6.7 ตำแหน่งการติดตั้งพัดลมสลายประจุไฟฟ้า .....	102
รูปที่ 6.8 แสดงการเตรียมชิ้นส่วนประกอบที่กระบวนการสวมอัดชิ้นงานหลังการปรับปรุง .....	103
รูปที่ 6.9 พิกเจอร์ที่ใช้ในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า .....	104
รูปที่ 6.10 การวัดไฟฟ้าสถิตบริเวณ Pin probe สำหรับทดสอบชิ้นงาน .....	104
รูปที่ 6.11 การวัดค่าความต้านทานของพิกเจอร์ทดสอบ .....	104
รูปที่ 6.12 รายการตรวจสอบไฟฟ้าสถิตที่สถานีทดสอบทางไฟฟ้า (ICT) ก่อนเริ่มปฏิบัติงาน .....	105
รูปที่ 6.13 แสดงการจำลองระบบทดสอบเพื่อหาข้อบกพร่องทางไฟฟ้าของชิ้นงาน .....	112
รูปที่ 6.14 กราฟเปรียบเทียบอัตราของเสียจากข้อบกพร่องทางไฟฟ้าในแต่ละสถานีงานก่อน-หลังการปรับปรุงกระบวนการ .....	114
รูปที่ 7.1 แผนภูมิ X bar-R ของการวัดกระแสไฟฟ้าที่กระบวนการไหลด้วยมือหลังการปรับปรุง .....	116
รูปที่ 7.2 ผังการไหลการใช้งานระบบควบคุมไฟฟ้าสถิตในกระบวนการ .....	120
รูปที่ 7.3 ตัวอย่างการแสดงผลการตรวจสอบอุปกรณ์ ESD ในระบบ .....	122
รูปที่ 7.4 ตัวอย่างการติดสติ๊กเกอร์ ESD CV .....	122

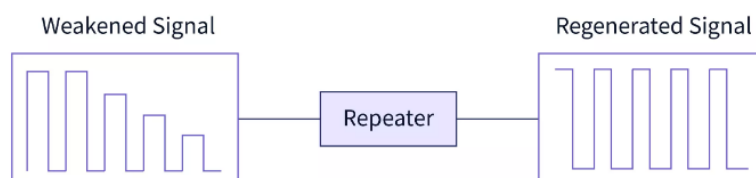
# บทที่ 1

## บทนำ

อุปกรณ์เครือข่าย (Network Devices) หรือที่เรียกกันว่าฮาร์ดแวร์เครือข่ายเป็นอุปกรณ์ที่อนุญาตให้ฮาร์ดแวร์บนเครือข่ายคอมพิวเตอร์สื่อสารและโต้ตอบกันได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือเป็นตัวเชื่อมต่อที่ช่วยให้อุปกรณ์ในเครือข่ายสามารถสื่อสารกันได้เพื่อช่วยให้ข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง เมื่อเครือข่ายมีอุปกรณ์เชื่อมต่อเป็นจำนวนมาก ข้อมูลจำนวนมากจะถูกส่งผ่านเส้นทางเครือข่ายเดียวกันซึ่งอาจทำให้เกิดความแออัดและประสิทธิภาพในการทำงานลดลงได้ ซึ่งเป้าหมายของอุปกรณ์เครือข่ายคือเพื่อให้การสื่อสารระหว่างฮาร์ดแวร์ต่างๆ ที่เชื่อมโยงกับเครือข่ายราบรื่น (Held, 2001) อุปกรณ์เครือข่ายมีหลายชนิดได้แก่ อุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater), ฮับ (Hub), บริดจ์ (Bridge), เราเตอร์ (Router), สวิตช์ (Switch) และเกตเวย์ (Gateway)

### อุปกรณ์ทวนสัญญาณ (Repeater)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณดิจิทัลเข้ามาแล้วสร้างใหม่ (Regenerate) ให้เป็นเหมือนสัญญาณเดิมที่ส่งเข้ามาจากต้นทางจากนั้นค่อยส่งต่อออกไปยังอุปกรณ์ตัวอื่น สาเหตุที่ต้องใช้อุปกรณ์ทวนสัญญาณเนื่องจากการส่งสัญญาณไปในตัวกลางที่เป็นสายสัญญาณนั้น เมื่อระยะทางเพิ่มมากขึ้นแรงดันของสัญญาณจะลดลงเรื่อย ๆ จึงไม่สามารถส่งสัญญาณในระยะทางไกล ๆ ได้ เมื่อสัญญาณอ่อนลงอุปกรณ์ทวนสัญญาณก็จะทำการคัดลอกสัญญาณทีละบิตและสร้างสัญญาณขึ้นใหม่ที่ความแรงเดิมดังนั้นการใช้อุปกรณ์ทวนสัญญาณจะทำให้สามารถส่งสัญญาณไปได้ไกลขึ้นโดยที่สัญญาณจะไม่ได้สูญหายและยังสามารถครอบคลุมระยะทางได้ไกลกว่าซึ่งมากกว่าระยะหนึ่งร้อยเมตรสำหรับสาย LAN มาตรฐาน โดยอุปกรณ์ทวนสัญญาณจะทำงานในชั้น physical layer (Held, 2001) แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทวนสัญญาณเข้ากับเครือข่ายดังรูปที่ 1.1

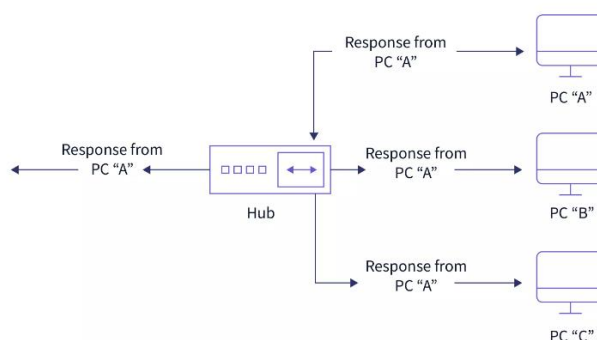


รูปที่ 1.1 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทวนสัญญาณเข้ากับเครือข่าย

หมายเหตุ. รูปภาพอ้างอิงจาก <https://www.tutorialsworld.com/networking/repeaters-routers-bridges-gateways.htm>

## ฮับ (hub)

ฮับเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รวบรวมสัญญาณที่มาจากอุปกรณ์ที่รับส่งสัญญาณหรือเครื่องคอมพิวเตอร์หลายๆ เครื่องเข้าด้วยกัน สัญญาณที่ส่งมาจากฮับจะกระจายไปยังทุกเครื่องที่ต่ออยู่กับฮับซึ่งแต่ละเครื่องจะเลือกรับเฉพาะข้อมูลที่ส่งมาถึงตนเองเท่านั้น (Thompson, 2000) แสดงการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับเครือข่ายโดยใช้ฮับดังรูปที่ 1.2

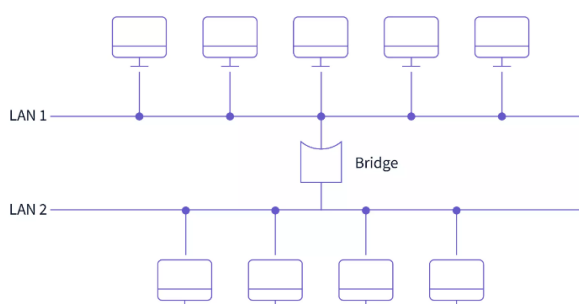


รูปที่ 1.2 แสดงการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เข้ากับเครือข่ายโดยใช้ฮับ

หมายเหตุ. รูปภาพอ้างอิงจาก <https://www.networklab.co.uk/cmodem/hubswitch.html>

## บริดจ์ (bridge)

บริดจ์เป็นอุปกรณ์เครือข่ายที่ทำงานที่อุปกรณ์ชั้นดาตาลีงก์ (data link) บริดจ์เป็นตัวทำซ้ำที่มีฟังก์ชันเพิ่มเติมในการกรองเนื้อหาโดยทำการอ่านค่า MAC Address ของต้นทางและปลายทาง นอกจากนี้ยังใช้เพื่อเชื่อมต่อ LAN สองเครื่องที่ใช้โปรโตคอลเดียวกัน มีพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตเดียว ทำให้เป็นอุปกรณ์สองพอร์ต (Held, 2001) แสดงการเชื่อมต่อเครือข่ายของบริดจ์ดังรูปที่ 1.3

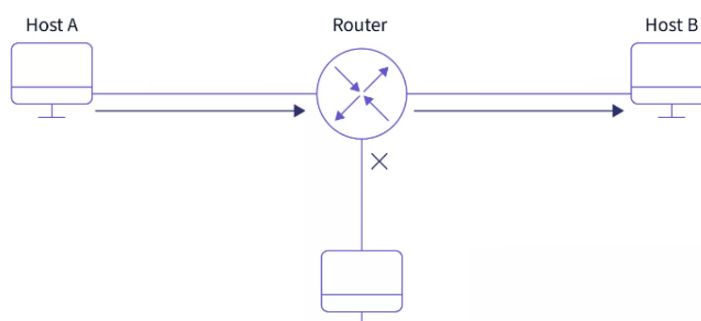


รูปที่ 1.3 แสดงการเชื่อมต่อเครือข่ายของบริดจ์

หมายเหตุ. รูปภาพอ้างอิงจาก <https://techdifferences.com/difference-between-hub-and-bridge.html>

### เราเตอร์ (Router)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อเครือข่ายสองเครือข่ายหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อม LAN เข้ากับ LAN หรือแม้แต่เชื่อม LAN เข้ากับ WAN ก็ตาม โดยที่เครือข่ายนั้นจะต้องใช้ Network Protocol ตัวเดียวกัน แต่ใช้ Data Link Protocol ต่างกันได้ เราเตอร์สามารถกรองข้อมูลได้เช่นเดียวกับบริดจ์ แต่มีความสามารถมากกว่าตรงที่สามารถคำนวณเส้นทางที่ดีที่สุดโดยอัตโนมัติเพื่อส่งผ่านแพ็กเกจเครือข่ายจากต้นทางไปยังปลายทาง เราเตอร์จะตรวจสอบที่อยู่ IP ปลายทางของแพ็กเกจข้อมูล และกำหนดวิธีที่ดีที่สุดในการถ่ายโอนข้อมูล (Andrade-Morelli et al., 2013)



รูปที่ 1.4 แสดงการเชื่อมต่อเครือข่ายของเราเตอร์

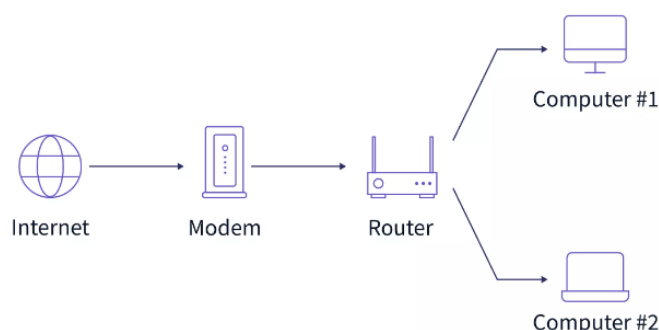
หมายเหตุ: รูปภาพอ้างอิงจาก <https://www.scaler.com/topics/computer-network/network-devices/>

### เกตเวย์ (Gateway)

เกตเวย์ คือโหนดเครือข่ายในการสื่อสารโทรคมนาคมที่เชื่อมต่อสองเครือข่ายที่ใช้โปรโตคอลในการส่งข้อมูลที่แตกต่างกัน เกตเวย์ทำหน้าที่เป็นจุดเข้าและออกของเครือข่าย เนื่องจากข้อมูลทั้งหมดต้องผ่านหรือสื่อสารกับเกตเวย์ก่อนที่จะถูกกำหนดเส้นทาง การรับส่งข้อมูลที่ไม่ผ่านอย่างน้อยหนึ่งเกตเวย์ในเครือข่ายที่ใช้ IP ส่วนใหญ่เป็นการรับส่งข้อมูลระหว่างโหนดบนส่วนเครือข่ายท้องถิ่น (LAN) เดียวกัน ประโยชน์หลักของการใช้เกตเวย์ในสถานการณ์ส่วนบุคคลหรือธุรกิจคือการรวมการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตไว้ในอุปกรณ์เครื่องเดียวกัน ทำหน้าที่เชื่อมต่อเครือข่ายต่าง ๆ นั้นเข้าด้วยกัน ไม่ว่าจะเครือข่ายนั้นจะใช้โปรโตคอลตัวใดก็ตาม และเนื่องจากว่าเกตเวย์สามารถแปลงรูปแบบแพ็กเกจของโปรโตคอลหนึ่งไปเป็นรูปแบบของอีกโปรโตคอลหนึ่ง เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในเครือข่ายได้ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายอื่น ๆ ได้อย่างไม่มีข้อจำกัด (Chen et al., 2011)

## โมเด็ม (modem)

โมเด็มเป็นฮาร์ดแวร์ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เมื่อข้อมูลถูกส่งมายังผู้รับจะแปลงสัญญาณดิจิทัลให้เป็นแอนะล็อกเมื่อต้องการส่งข้อมูลไปบนช่องสื่อสาร โดยจะมีทั้งแบบเป็นกล่องติดตั้งภายนอก (External Modem) และแบบเป็นแผ่นการ์ดติดตั้งภายในเครื่อง (Internal Modem Card) โมเด็มภายนอกจะมีทั้งแบบติดตั้งผ่านช่องอนุกรม และแบบติดตั้งกับช่องต่อสัญญาณแบบ USB ข้อดีของโมเด็มภายนอกคือ ติดตั้งเคลื่อนย้ายได้สะดวก และมีไฟสัญญาณแสดงขณะทำงาน (Brown & Feher, 1996)



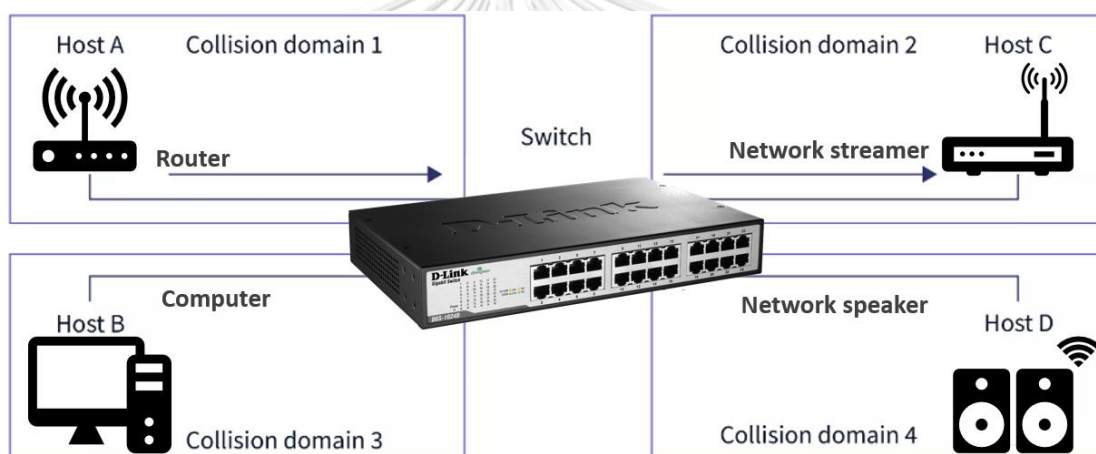
รูปที่ 1.5 แสดงการเชื่อมต่อเครือข่ายของโมเด็ม

หมายเหตุ. รูปภาพอ้างอิงจาก <https://www.scaler.com/topics/computer-network/network-devices/>

## สวิตช์ (Switch)

เน็ตเวิร์กสวิตช์ (Network Switch) คืออุปกรณ์เครือข่ายที่เชื่อมต่ออุปกรณ์เครือข่ายอื่นๆ เข้าด้วยกันโดยทำหน้าที่เป็นสะพานเครือข่ายหลายช่องทางที่ประมวลผลและจัดการเส้นทางของข้อมูลชั้นเชื่อมโยงข้อมูลที่สอง (data link layer) ของแบบจำลองโอเอสไอ สวิตช์ที่ประมวลข้อมูลที่ชั้นเชื่อมโยงข้อมูลที่สาม (Layer3) และสูงกว่าจะเรียกว่าสวิตช์ชั้นเชื่อมโยงข้อมูลที่สามหรือสวิตช์ชั้นเชื่อมโยงข้อมูลหลายชั้น (Multilayer Switch) สวิตช์เป็นอุปกรณ์โทรคมนาคมที่รับข้อความจากอุปกรณ์ใด ๆ และส่งข้อความไปที่อุปกรณ์ปลายทางในระบบเครือข่ายให้สื่อสารกันได้ และช่วยเพิ่มจำนวนช่องทางเครือข่ายให้กับระบบเครือข่ายที่มีอยู่แล้วเพื่อรองรับจำนวนการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ที่มีมากขึ้น และคอยเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ที่จะทำการเชื่อมต่อด้วย เพื่อการจัดระเบียบและทำการตรวจสอบข้อมูลในภายหลัง นอกจากนี้ยังสามารถใช้สวิตช์เป็นสะพานเพื่อเชื่อมต่อระบบเครือข่ายจำนวนสองเครือข่ายเข้าด้วยกันอีกด้วย (ธานี โหมดสง่า, 2563)

กระบวนการผลิตเน็ตเวิร์กสวิตช์มีขั้นตอนการผลิตหลากหลายขั้นตอนตั้งแต่กระบวนการผลิตชุดแผงวงจรพิมพ์ (PCBA: Printed Circuit Board Assembly) ที่ติดตั้งส่วนประกอบได้แก่ ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำ ตัวต้านทานและอื่น ๆ ด้วยเทคโนโลยีการยึดติดบนพื้นผิวซึ่งชุดแผงวงจรพิมพ์จะผ่านกระบวนการให้ความร้อนจากเตาอบเพื่อช่วยในการสร้างการเชื่อมต่อทางกลระหว่างแผงวงจรไปจนถึงกระบวนการประกอบและการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์เครือข่าย กระบวนการประกอบชุดแผงวงจรพิมพ์เป็นกระบวนการที่ละเอียดอ่อนและต้องใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ต้นทุนของส่วนประกอบในชุดแผงวงจรพิมพ์จึงมีราคาค่อนข้างสูง การผลิตสินค้าให้มีคุณภาพและเกิดของเสียให้น้อยที่สุดจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตและเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหาเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตอุปกรณ์เครือข่ายสวิตช์อันเนื่องมาจากเกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิต (Ball & Magazine, 1988)



รูปที่ 1.6 แสดงลักษณะการเชื่อมต่อเครือข่ายสวิตช์

หมายเหตุ. รูปภาพอ้างอิงจาก <https://dev.to/arjunumesh11/broadcast-domain-vs-collision-domain-2a39>

## 1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทกรณีศึกษา

### 1.1.1 ผลผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษาเป็นโรงงานที่รับผลิตอุปกรณ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ให้กับลูกค้าเพื่อนำไปติดแบรนด์ที่มีอยู่แล้วของลูกค้าหรือที่เรียกอีกอย่างว่า OEM ( Original Equipment Manufacturer ) ดังนั้นผลผลิตภัณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษาจึงมีความหลากหลายและอ้างอิงไปตามความต้องการของลูกค้า เช่น อุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ สวิตช์ ฮับ อุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลเครือข่าย ชุดแผงวงจรพิมพ์ (PCBA) อุปกรณ์ระบบใยแก้วนำแสง เป็นต้น





รูปที่ 1.7 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์อุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์



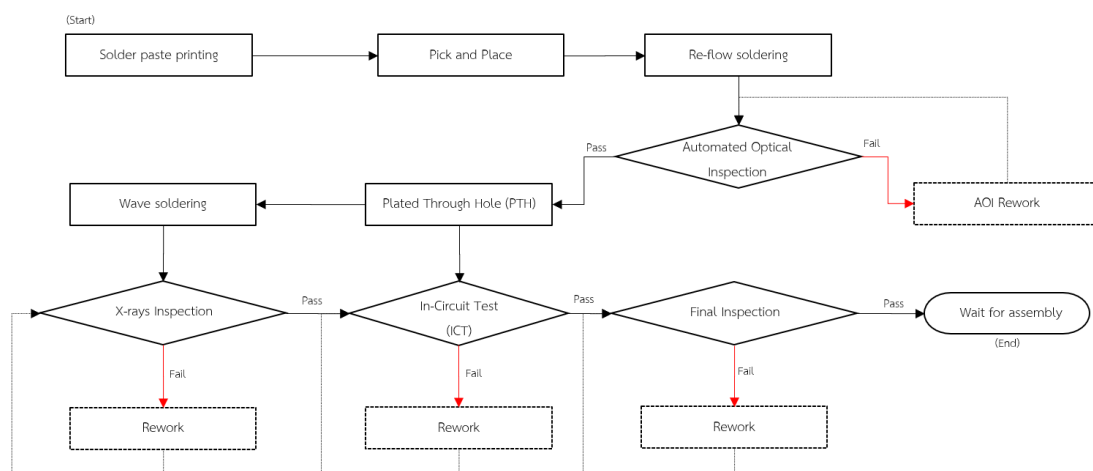
รูปที่ 1.8 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ชุดแผงวงจรพิมพ์

### 1.1.2 กระบวนการผลิตอุปกรณ์เครือข่ายสวิตช์

ในกระบวนการผลิตอุปกรณ์เครือข่ายสวิตช์ (Network Switch) มีกระบวนการที่แตกต่างออกไปตามการออกแบบผลิตภัณฑ์และความต้องการของลูกค้า งานวิจัยฉบับนี้กล่าวถึงกระบวนการผลิตของเน็ตเวิร์กสวิตช์ Virtual Edge Platform ซึ่งเป็นอุปกรณ์เครือข่ายหลายพอร์ต (ธานี โหมดสง่า , 2563) ที่สามารถอัปเดตได้ด้วยอุปกรณ์สื่อสารกับคอมพิวเตอร์ (Interface) หรือการ์ดขยาย (WiFi expansion cards) ซึ่งแบ่งกระบวนการผลิตออกเป็น 2 ส่วนคือ กระบวนการผลิตชุดแผงวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board Assembly) ที่มีเส้นลายวงจรอยู่ทั้งสองด้านและกระบวนการประกอบชุดอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Network Switch)

#### **1.1.2.1 กระบวนการผลิตชุดแผงวงจรพิมพ์ (PCBA)**

การประกอบส่วนประกอบในชุดแผงวงจรพิมพ์ (PCBA) ด้วยเทคโนโลยีการยึดติดบนพื้นผิว (SMT ย่อมาจากคำว่า Surface Mount Technology) หมายถึงเทคโนโลยีการผลิตด้วยการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ลงบนแผงวงจรที่มีการกัดขึ้นลายวงจรการทำงาน (Prasad, 2013) นอกจากนี้ยังมีขั้นตอนการวางส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่การอัดชิ้นงานหนึ่งลงไปชิ้นงานหนึ่ง โดยอาศัยความเสียดทานระหว่างชิ้นงาน ติดตั้งส่วนประกอบที่จำเป็นทั้งหมดในตำแหน่งที่เกี่ยวข้อง และแผงวงจรจะถูกส่งผ่านเตาเผาซึ่งทำให้บัดกรีหลอมเหลวปิดผนึกส่วนประกอบทั้งหมดให้เข้าที่



รูปที่ 1.9 กระบวนการผลิตชุดแผงวงจรพิมพ์

ขั้นตอนที่ 1: Solder paste printing กระบวนการนี้เป็นการพิมพ์ตะกั่วโดยมีเทมเพลตสแตนเลสบางๆ วางอยู่บนแผงวงจรพิมพ์เพื่อใช้เป็นพื้นที่สำหรับการวางอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในตำแหน่งที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 2: Pick and place (หยิบและวาง) หลังจากที่วางประสานชุดแผงวงจรพิมพ์จะถูกย้ายไปที่เครื่องเลือกและวางซึ่งวางส่วนประกอบยึดผิวหรือ SMD (Surface Mount Device) บนแผงวงจรพิมพ์ที่เตรียมไว้ส่วนประกอบต่างๆ จะถูกทำการบัดกรีไปที่พื้นผิวของแผงวงจรในตำแหน่งที่โปรแกรมไว้ล่วงหน้า

ขั้นตอนที่ 3: Re-flow soldering หลังจากกระบวนการหยิบและวางเสร็จสมบูรณ์แผงวงจรพิมพ์จะถูกเคลื่อนย้ายไปตามสายพานลำเลียงผ่านเตาอบขนาดใหญ่ค่อยๆ ให้ความร้อนแผงวงจรพิมพ์จนมีอุณหภูมิประมาณ 250 องศาเซลเซียส เพื่อที่จะทำให้ตะกั่วละลายและทำหน้าที่ในการประสานระหว่างส่วนประกอบกับแผงวงจร

ขั้นตอนที่ 4: Automate Optical Inspection การตรวจสอบด้วยแสงอัตโนมัติ สำหรับ PCBA ที่มีขนาดใหญ่ การตรวจสอบด้วยแสงอัตโนมัติเป็นวิธีการที่เหมาะสมกว่า เครื่องตรวจสอบด้วยแสงอัตโนมัติหรือที่เรียกว่า “AOI Machine” ใช้กล้องกำลังสูงที่ถูกจัดเรียงในมุมที่แตกต่างกันเพื่อดูรอยต่อประสานและหาข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น เช่น ข้อบกพร่องของบริเวณพื้นผิวแผงวงจรพิมพ์ ข้อบกพร่องทางด้านมิติ และข้อบกพร่องในการจัดวางส่วนประกอบในแผงวงจรที่มีความซับซ้อนและยากต่อการตรวจสอบด้วยตนเอง

ขั้นตอนที่ 5: Plated Through Hole (PTH) การวางส่วนประกอบผ่านช่องหรือรูขึ้นอยู่กับประเภทของแผงวงจรพิมพ์ บนแผงวงจรพิมพ์อาจมีส่วนประกอบต่าง ๆ ที่นอกเหนือจากกระบวนการวางประสานที่จะต้องทำการวางผ่านรูเพื่อส่งสัญญาณจากด้านหนึ่งของบอร์ดไปยังอีกด้านหนึ่ง

ขั้นตอนที่ 6: Wave soldering เรียกว่าการบัดกรีด้วยคลื่น การบัดกรีด้วยคลื่นอัตโนมัติ เมื่อประกอบ PTH เข้าที่แล้วจะทำการวางแผงวงจรพิมพ์บนสายพานลำเลียงผ่านบ่อบัดกรีหลอมเหลวที่ด้านล่างของเตาอบเพื่อประสานหมุดหรือขาของชิ้นส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์กับแผ่นวงจร

ขั้นตอนที่ 7: X-rays Inspection การตรวจเอกซเรย์เป็นวิธีการตรวจจับสิ่งผิดปกติ ตรวจจับข้อบกพร่องและคุณสมบัติอื่นๆ ที่ซ่อนอยู่ในวัตถุเป้าหมาย โดยรังสีเอ็กซ์สามารถมองเห็นทะลุชั้นของแผงวงจรพิมพ์ทำให้มองเห็นภาพที่มีความหนาและความหนาแน่นที่หลากหลาย ซึ่งสามารถอธิบายคุณภาพของการเชื่อมต่อประสานและระบุปัญหาที่ซ่อนอยู่ที่สามารถเกิดขึ้นได้

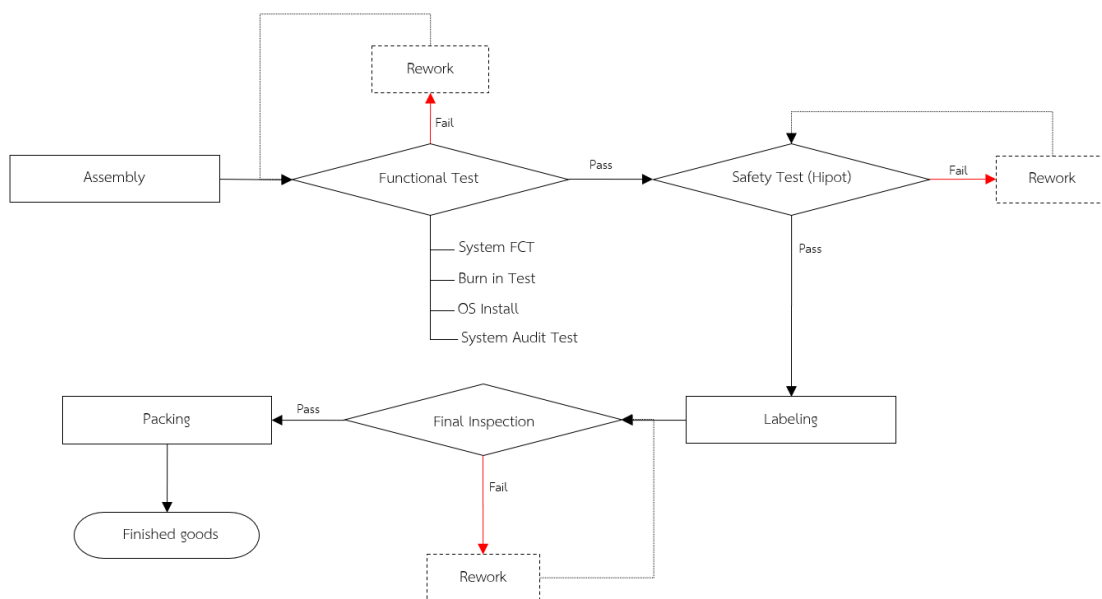
ขั้นตอนที่ 8: In-Circuit Test (ICT) การตรวจสอบวงจรไฟฟ้าและทดสอบการทำงาน หลังจากขั้นตอนการบัดกรีเสร็จสิ้น จะทำการส่งชุดแผงวงจรพิมพ์ไปทดสอบการทำงานของวงจรไฟฟ้าบนชุดแผงวงจรพิมพ์โดยจำลองการทำงานปกติของชุดแผงวงจรพิมพ์ ซึ่งในการทดสอบนี้จะมีการส่งสัญญาณกำลังเพื่อตรวจสอบลักษณะการทำงานทางไฟฟ้าของชุดแผงวงจรพิมพ์

ขั้นตอนที่ 9: Final Inspection การตรวจสอบชิ้นงาน เป็นการตรวจสอบโดยใช้สายตาเพื่อหาข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการเคลื่อนย้ายหรือที่หลุดรอดมาจากกระบวนการก่อนหน้า โดยบริษัทกรณีศึกษาอ้างอิงจากเอกสารการยอมรับงานประกอบอิเล็กทรอนิกส์ฉบับ IPC-A-610

## CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 1.1.2.2 กระบวนการประกอบและทดสอบอุปกรณ์เครือข่ายสวิตช์ (Network Switch)

หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตชุดแผงวงจร บริษัทกรณีศึกษาจะนำชุดแผงวงจรเหล่านั้นมาขึ้นประกอบเข้ากับโครง พัดลม แหล่งจ่ายไฟเพื่อให้ได้อุปกรณ์เครือข่ายสวิตช์ตามความต้องการของลูกค้า โดยในกระบวนการนี้จะรวมถึงการทดสอบผลิตภัณฑ์และการบรรจุหีบห่อเพื่อจัดส่งต่อไป ซึ่งขออธิบายกระบวนการผลิตพอสังเขปดังนี้



รูปที่ 1.10 กระบวนการประกอบและทดสอบอุปกรณ์เครือข่าย

ขั้นตอนที่ 1: Assembly การนำอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอื่นๆ มาประกอบเข้ากับชุดแผงวงจรพิมพ์

ขั้นตอนที่ 2: Functional Test การทดสอบการทำงานของผลิตภัณฑ์ประกอบไปด้วย 4 สถานีทำงาน

1). System FCT ที่สถานีนี้จะเน้นการทดสอบการทำงานของวงจรไฟฟ้าร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ที่ถูกประกอบมาเช่น พัดลม, แหล่งจ่ายไฟ (PSU), หน่วยเก็บความจำ (SSD) หน่วยประมวลผล (CPU) เป็นต้น

2). Burn in Test ทดสอบอุปกรณ์เพื่อหาอัตราชำรุดในการทำงาน ในขั้นตอนทำการทดสอบนี้ผู้ทำการทดสอบจะจำลองสภาพแวดล้อมที่ย่ำแย่ เช่น อุณหภูมิ, ความชื้น ในรูปแบบต่างๆ เพื่อดูพฤติกรรมของอุปกรณ์

3). OS Install เป็นขั้นตอนของการติดตั้งซอฟต์แวร์หรือโปรแกรมตามที่ลูกค้ากำหนด

4). System Audit Test กระบวนการทดสอบชิ้นงานพร้อมด้วยโปรแกรมที่ติดตั้งว่าสามารถทำงานได้จริง

ขั้นตอนที่ 3: Safety Test การทดสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้า ( Hipot ) โดยการป้อนไฟแรงดันสูงเข้าวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับสายดินเพื่อตรวจสอบฉนวนไฟฟ้าสามารถทนแรงดันทางไฟฟ้า ไม่มีกระแสไฟฟ้ารั่วไหล

ขั้นตอนที่ 4: Labeling การติดฉลากสติ๊กเกอร์ตามข้อกำหนดด้านความปลอดภัยและลูกค้า

ขั้นตอนที่ 5: Final Inspection ขั้นตอนการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายเพื่อหาข้อบกพร่องที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดก่อนการจัดส่ง

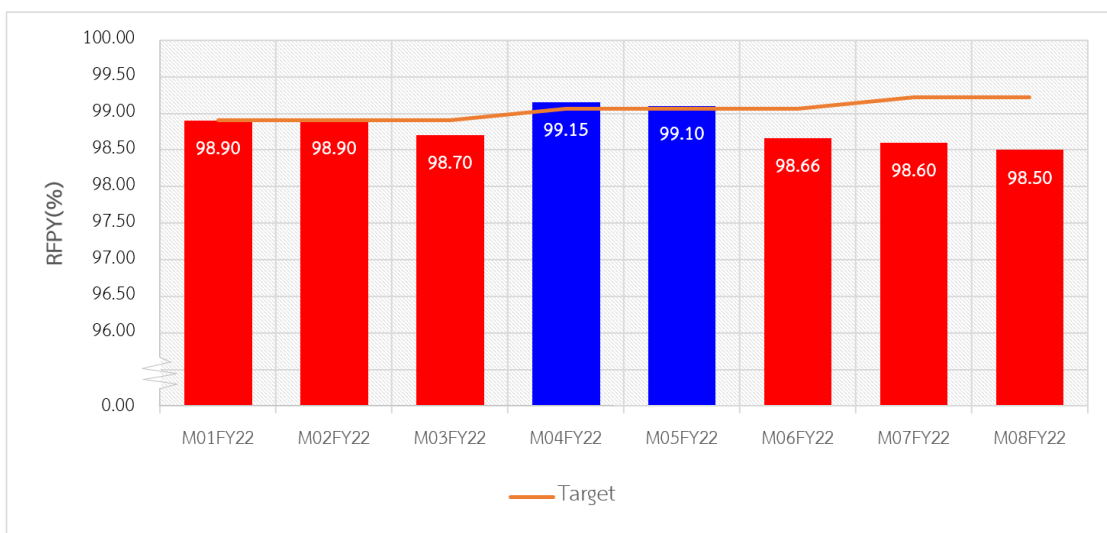
ขั้นตอนที่ 6: Packing เป็นขั้นตอนการบรรจุหีบห่อ การบรรจุสินค้าใส่บรรจุภัณฑ์ตามที่ลูกค้ากำหนด เพื่อที่จะได้จัดเก็บสินค้า (Finished Goods) รอการจัดส่งต่อไป

## 1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันโลกได้ผ่านการเปลี่ยนแปลงและเปลี่ยนผ่านเทคโนโลยีมากมาย เมื่อก้าวถึงในมุมมองของผู้ผลิตในภาคอุตสาหกรรม จากเดิมที่เคยใช้แรงงานจากคนในการทำงานเป็นหลักก็มีการเปลี่ยนมาใช้เครื่องจักรไอน้ำและถ่านหิน จากนั้นเปลี่ยนมาเป็นการใช้เครื่องจักรไฟฟ้า ก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน และมีการนำสายพานเข้ามาใช้ในสายการผลิต ต่อมาเมื่อมีการพัฒนาเครื่องจักรจำพวกไฟฟ้าที่มีวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มมากขึ้น ทำให้คอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในการควบคุมเครื่องจักร จึงเกิดเป็นระบบการทำงานแบบอัตโนมัติในโรงงาน หนึ่งในนั้นคือระบบควบคุมจำพวก PLC ขึ้น โดยมี การนำระบบเครือข่ายมาใช้ในอุตสาหกรรมโรงงาน เพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับตัวควบคุมและเป็นการลดการเดินสายสัญญาณระยะไกล จากนั้นก็เริ่มมีการเก็บข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น จนกระทั่งมาถึงยุคปัจจุบันที่เครือข่ายในโรงงานสามารถเก็บข้อมูลได้ทันที ณ เวลานั้นๆ มีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลที่มากขึ้น เราสามารถเก็บข้อมูลได้ละเอียดขึ้น รองรับการเชื่อมต่อที่หลากหลาย รวมไปถึงการเชื่อมต่อแบบไร้สาย (Wireless) เรียกได้ว่าเรากำลังก้าวเข้าสู่ยุคของ “Smart Factory” หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า Industry 4.0 ซึ่งนำไปสู่ความต้องการในตลาดที่สูงขึ้นของอุปกรณ์ระบบเครือข่าย ด้วยเทคโนโลยีและการแข่งขันที่สูงขึ้นทำให้ผู้จัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ด้านนี้ต่างแข่งขันกันปรับขีดความสามารถผลิตภัณฑ์ให้สามารถรองรับความต้องการของเครือข่ายได้ทุกขนาดและมีความปลอดภัยสูง รวมไปถึงการเลือกโรงงานผู้ผลิตที่มีคุณภาพ มีต้นทุนการผลิตที่สมเหตุสมผลและสามารถรองรับต่อความต้องการของตลาดได้ (Hassoun et al., 2022)

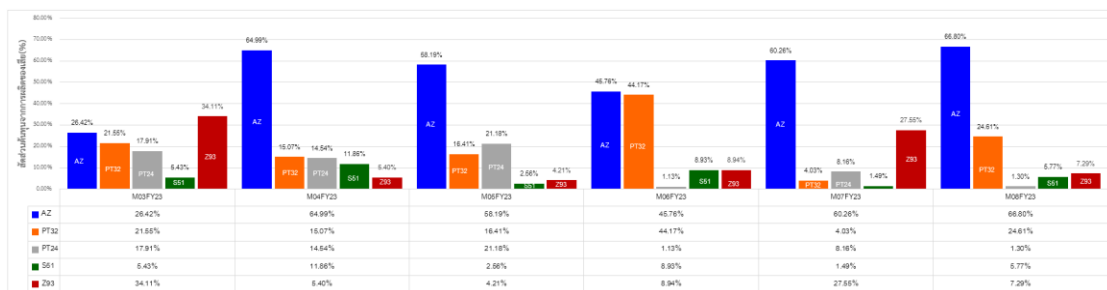
ในฐานะที่บริษัทกรณีศึกษาเป็นโรงงานที่รับผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้กับลูกค้าเพื่อนำไปติดบอร์ดที่มีอยู่แล้วของกลุ่มลูกค้า จึงเล็งเห็นความสำคัญของการรักษามาตรฐานด้านคุณภาพและปริมาณให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าควบคู่ไปกับควบคุมต้นทุนในการผลิต เพื่อให้องค์กรสามารถดำเนินธุรกิจต่อไปในสภาพการณ์ปัจจุบันและในอนาคตต่อไป อุปกรณ์เครือข่ายที่เรียกว่าเน็ต

เวิร์กสวิตช์ (Network Switch) เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ของบริษัททรนศึกษา ซึ่งปัญหาที่พบในปัจจุบันคือพบว่าผลิตภัณฑ์อุปกรณ์สวิตช์รุ่น AZ (สำหรับเรียกแทนชื่อผลิตภัณฑ์ทรนศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้) มีจำนวนของเสียที่ไม่ผ่านการทดสอบการทำงานที่สถานีงาน FCT Test จำนวนมากทำให้ผลผลิตผ่านครั้งแรก Rolled First pass yield ( RFPY ) หรือที่เรียกว่า Rolled Throughput yield ( RTY ) ซึ่งหมายถึง จำนวนชิ้นงานที่ออกมาจากกระบวนการหารด้วยจำนวนชิ้นงานที่เข้าสู่กระบวนการผลิตในช่วงเวลาที่กำหนด (Graves, 1998) นั้นมีค่าต่ำกว่าค่าเป้าหมายของบริษัททรนศึกษาและต้นทุนจากการผลิตของเสียสูงกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ



รูปที่ 1.11 กราฟแสดงภาพรวมผลผลิตผ่านครั้งแรก (RFPY) ของผลิตภัณฑ์ AZ ในช่วงเดือนมกราคม ถึงเดือนสิงหาคม ปี พ.ศ. 2565

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 1.12 กราฟเปรียบเทียบสัดส่วนต้นทุนการผลิตของเสียในผลิตภัณฑ์สวิตช์ของบริษัททรนศึกษา

จากกราฟสัดส่วนต้นทุนการผลิตของเสียข้างต้น จะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์สวีตซ์ AZ มีอัตราส่วน  
ของต้นทุนจากการผลิตของเสียที่มากที่สุดในช่วงระยะเวลา 6 เดือน (เกิดขึ้นระหว่างเดือนมีนาคม  
2565 ถึงเดือนสิงหาคม 2565) โดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ ที่เป็นอุปกรณ์เครือข่ายจัดอยู่ใน  
ประเภทเดียวกัน กลุ่มลูกค้าเดียวกัน ได้แก่ ผลิตภัณฑ์รุ่น PT32, ผลิตภัณฑ์รุ่น PT24, ผลิตภัณฑ์รุ่น  
S51 และผลิตภัณฑ์รุ่น Z93 ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญของการลดของเสียที่ผลิตภัณฑ์รุ่น AZ จะ  
สามารถลดต้นทุนในการผลิตของเสียได้

### 1.3 การศึกษาสภาพของปัญหาโดยรวม

จากการเก็บข้อมูลของเสียของผลิตภัณฑ์ AZ ในบริษัทกรณีศึกษาย้อนหลังหกเดือนที่เกิดขึ้น  
ระหว่างเดือนมีนาคม 2565 ถึงเดือนสิงหาคม 2565 แล้วนำมาจัดกลุ่มของเสียตามสถานงานและ  
ลักษณะข้อบกพร่องที่ตำแหน่งตัวประมวลผลกลาง (U21) จึงพบว่าเกิดของเสียมากที่สุดและเกิดมาก  
ที่สุดในกระบวนการ FCT Test ดังแสดงในตารางที่ 1.1 กล่าวคือเมื่อผู้ทดสอบทำการป้อนคำสั่งในการ  
ทดสอบ อุปกรณ์ไม่สามารถเริ่มการทำงานได้ตามปกติ (No Boot) ที่ขณะกำลังไฟฟ้า 2.5V เนื่องจาก  
กระแสไฟฟ้าไม่ถูกส่งออกจากตัวประมวลผลกลางที่ประกอบอยู่บนชุดแผงวงจรพิมพ์

ตารางที่ 1.1 สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งตัวประมวลผลกลางตำแหน่ง U21 ของผลิตภัณฑ์ AZ

เดือน	จำนวนการผลิต (หน่วย)	จำนวนของเสีย (หน่วย)	สัดส่วนของเสีย
มีนาคม 2565	1073	6	0.56%
เมษายน 2565	1070	17	1.59%
พฤษภาคม 2565	618	32	5.18%
มิถุนายน 2565	1578	41	2.60%
กรกฎาคม 2565	1036	13	1.25%
สิงหาคม 2565	574	5	0.87%

หน่วยประมวลผลกลางหรือ CPU เป็นอุปกรณ์ชิ้นส่วนหนึ่งที่ทำให้อุปกรณ์มีปฏิสัมพันธ์กับ  
แอปพลิเคชันและโปรแกรมที่ติดตั้งไว้ หน่วยประมวลผลกลางจะตีความคำสั่งของโปรแกรมและสร้าง  
ผลลัพธ์ตามชุดคำสั่ง ความเร็วประมวลผลส่วนกลางและสัญญาณนาฬิกาของตัวประมวลผลกลางคือ  
ตัวบ่งชี้ว่าจะรับข้อมูลได้มากน้อยและรวดเร็วเพียงใด (Nosko, 2010) ซึ่งชิ้นส่วนหน่วยประมวลผล  
U21 ที่พบปัญหาประกอบไปด้วย 3 รุ่นที่ทำงานลักษณะเดียวกันแต่แตกต่างกันตามจำนวน Core และ  
คุณสมบัติของชิ้นส่วน ซึ่งราคาต้นทุนของวัตถุดิบก็จะแตกต่างกันด้วย



รูปที่ 1.13 หน่วยประมวลผลกลางตำแหน่ง U21

ตารางที่ 1.2 แสดงรายละเอียดของชิ้นส่วนหน่วยประมวลผลกลางตำแหน่ง U21 ทั้งสามรุ่น

รายละเอียดทั่วไปของชิ้นส่วน CPU			
Model number	D-XX23IT	D-XX45NT	D-XX87NT
Part number	FHXXXXXXXXX4201	FHXXXXXXXXX2801	FHXXXXXXXXX4005
Price (USD)	201	552.20	2187.90
Type	System-on-a-Chip		
Family	Xeon D		
Frequency	2200 MHz	1900 MHz	2000 MHz
Maximum turbo frequency	3000 MHz (1 core)	3000 MHz (1 core)	3000 MHz (1 core)
	2700 MHz (all cores)	2500 MHz (all cores)	2400 MHz (all cores)
Thermal Design Power	60 Watt	65 Watt	110 Watt
Clock multiplier	22	19	20
The number of CPU cores	4	8	16
The number of threads	8	16	32
Data width	64 bit		
Physical memory	512 GB		
Package	2518-ball Flip-Chip Ball Grid Array		
Socket	BGA2518		
Size	2.07" x 1.77" / 5.25cm x 4.5cm		
Processor core	Skylake-XXX		



ในกรณีศึกษาที่หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ถูกวางในกระบวนการผลิตชุดแผงวงจรพิมพ์ซึ่งผ่านการตรวจจุดเชื่อมประสานและผ่านการทดสอบวงจรทางไฟฟ้า (ICT: In circuit Test) ในกรณีปัญหาที่พบข้อบกพร่องระหว่างการทดสอบนี้ เมื่อนำหน่วยที่ไม่ผ่านการทดสอบมาถอดชิ้นส่วนหน่วยประมวลผลกลางที่ตำแหน่ง (Location) U21 ออกแล้วทำการเปลี่ยนแทนด้วยชิ้นส่วนชิ้นใหม่ปรากฏว่าอุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามปกติ จึงได้นำชิ้นส่วนของเสียที่ถอดออกไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมจึงพบว่าเกิดความเสียหายทางกายภาพ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าซึ่งอาจเกิดได้จากการถ่ายเทประจุไฟฟ้าอย่างรวดเร็ว (ESD : Electrostatic Discharge) หรือความเสียหายอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ได้รับกระแสไฟฟ้าสูงมากกว่าที่ตัวชิ้นส่วนนั้นจะสามารถทนทานได้ ความล้มเหลวจากสาเหตุดังกล่าวส่งผลให้อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เกิดความเสียหาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับชิ้นส่วนประกอบที่มีความไวต่อไฟฟ้าสถิต (Almazar & Hoffman, 1996)



รูปที่ 1.14 ลักษณะอาการเสียที่พบขณะทดสอบการทำงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทกรณีศึกษาเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์ AZ พบว่ายังไม่ได้มีการระบุสาเหตุของปัญหาและปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดของเสียอย่างมีนัยสำคัญ จึงไม่สามารถหาแนวทางป้องกันแก่ปัญหานี้ได้ในปัจจุบัน ดังนั้นบริษัทกรณีศึกษาจึงควรมีการวิเคราะห์กระบวนการ และหาปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลก่อให้เกิดความเสียหายทางไฟฟ้าของอุปกรณ์เครือข่ายสวิตช์ เพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหาและควบคุมกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง เพื่อไม่ให้เกิดของเสียและค่าใช้จ่ายจากการผลิตของเสียเพิ่มขึ้น

#### 1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากความเสียหายทางไฟฟ้าของตัวประมวลผลกลางที่ส่งผลให้อุปกรณ์เครือข่ายไม่สามารถทำงานได้และลดต้นทุนจากการผลิตของเสียโดยการประยุกต์ใช้แนวทางของซิกซ์ซิกม่า

#### 1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1. งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาปัญหา และแนวทางในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์อุปกรณ์เครือข่าย (Network Switch) ที่ผลิตในบริษัทกรณีศึกษา A (นามสมมุติ) เท่านั้น
2. ทำการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผลิต ในส่วนที่ก่อให้เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าและความเสียหายทางไฟฟ้าหรือต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
3. ผลิตภัณฑ์ที่กล่าวถึงในงานวิจัยฉบับนี้จำกัดเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ขายให้แก่ผู้จำหน่ายอุปกรณ์เครือข่ายบริษัท B (นามสมมุติ) เท่านั้น
4. ใช้การวัดค่าไฟฟ้าสถิต RTG (Resistance to equipment ground) โดยวัดค่าความต้านทานของพื้นผิวจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งและการวัดกระแสไฟฟ้าสถิต (Electrostatic field)
5. นำการวิเคราะห์แบบซิกซ์ซิกม่า เพื่อมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อลดจำนวนของเสียให้ต่ำกว่าเป้าหมายของบริษัทกรณีศึกษาที่กำหนดไว้ สำหรับชิ้นส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ที่ 2,000 DPPM ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนคือ
  - Define: (ระบุปัญหา)
  - Measure: (การวัด)
  - Analyze: (การวิเคราะห์หาปัญหา)
  - Improve (การปรับปรุง)
  - Control (การควบคุม)

## 1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.6.1 ศึกษากระบวนการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์และรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับของเสียที่เกิดขึ้น

1.6.2 สํารวจงานวิจัยและศึกษาทฤษฎีแนวทางซิกซ์ซิกม่าและทฤษฎีอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

1.6.3 นิยามปัญหา (Define phase) คือขั้นตอนในการศึกษาและกำหนดปัญหา

1). ศึกษากระบวนการผลิตอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ กระบวนการผลิตชุดแผงวงจรพิมพ์ และการประกอบเพื่อทดสอบการทำงาน

2). กำหนดปัญหา วัตถุประสงค์และเป้าหมายในการดำเนินงาน

3). ร่วมกันระดมความคิดและจัดตั้งทีมงานในแต่ละส่วนงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อมีส่วนร่วมในการดำเนินงาน

1.6.4 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure phase) คือขั้นตอนการวัดประเมินสภาพปัญหา

1). หาแนวทางในการวัดและการเก็บข้อมูล

2). เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการวัดและพิจารณาสภาพปัญหาของกระบวนการผลิต ลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตทั้งหมด สัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหา

3). สรุปผลการวัดข้อมูลเบื้องต้น

4). การวิเคราะห์ระบบการวัดคือ การศึกษาความผันแปรต่าง ๆ ระหว่างการตรวจวัด ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด ทักษะของผู้วัด วิธีการวัด และสภาพแวดล้อมประกอบเข้าด้วยกัน

1.6.5 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis phase)

1) วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัด โดยทำการวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA: Failure Mode and Effect Analysis) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์และป้องกันความเสี่ยงต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ของกระบวนการไม่เป็นไปตามเป้าหมาย

2). สรุปสาเหตุของปัญหาพร้อมแนวทางแก้ไขปัญหาและวางแผน

1.6.6 การปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve phase)

- 1). ระดมความคิดจากทีมงานที่จัดตั้งขึ้นถึงแนวทางในการแก้ไขปัญหาและความเป็นไปได้ในการดำเนินการแก้ไข
- 2). กำหนดตัวแปรและปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง
- 3). ทำการออกแบบการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงผกผันระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สนใจกับตัวแปรตอบสนองที่ต้องการ
- 4). กำหนดขั้นตอนการทดลองและวิธีการเก็บข้อมูลการทดลอง
- 5). ดำเนินการตามแผนการทดลอง
- 6). ขั้นตอนวิเคราะห์ผลการทดลอง มีการระดมความคิดเพื่อกำหนดวิธีการแก้ไขและทำการแก้ไขจนได้แนวทางที่เหมาะสม
- 7). สรุปผลการดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

#### 1.6.7 การติดตามควบคุม (Control phase)

- 1). กำหนดตัวชี้วัดเพื่อติดตามผลการดำเนินงานลดของเสียในกระบวนการผลิต
- 2). จัดทำแผนควบคุม (Control Plan) เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามแผนการดำเนินการปรับปรุง
- 3). สรุปผลการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขโดยพิจารณาจากระดับของเสียที่สามารถลดได้

#### 1.6.8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 1.6.9 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

### 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

คาดว่าจะสามารถลดจำนวนของเสียผลิตภัณฑ์เครือข่ายสวิตช์ AZ ที่ไม่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากเกิดไฟฟ้าสถิตที่ตัวประมวลผลกลาง (CPU) ตำแหน่ง U21 ได้

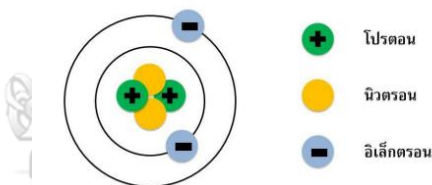
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

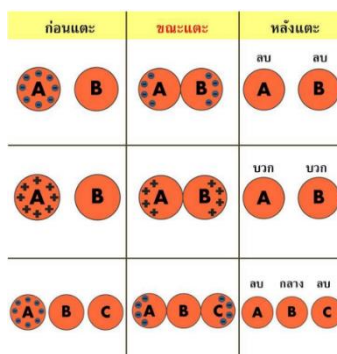
#### 2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 ไฟฟ้าสถิต (Electrostatic)

ไฟฟ้าสถิตคือความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้าภายในหรือบนพื้นผิวของวัตถุใดๆ ซึ่งเกิดขึ้นจากความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้าในอะตอมของวัตถุ โดยปกติประจุจะอยู่กับที่จนกระทั่งมันสามารถจะเคลื่อนที่ได้โดยอาศัยการไหลของอิเล็กตรอน (กระแสไฟฟ้า) วัสดุทั้งหลายปกติแล้วจะเป็นกลางทางไฟฟ้า มีจำนวนของประจุบวก (โปรตอนในนิวเคลียส) และจำนวนของประจุลบ (จำนวนอิเล็กตรอนในวงรอบนิวเคลียส) เท่ากัน ปรากฏการณ์ของไฟฟ้าสถิตจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการแยกประจุบวกและลบออกจากกัน เมื่อวัตถุสองชนิดสัมผัสกัน อิเล็กตรอนอาจย้ายจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง ทำให้วัตถุหนึ่งมีประจุบวกเกินและอีกวัตถุหนึ่งมีประจุลบเกิน เมื่อแยกวัตถุทั้งสองออกจากกันจึงเกิดการไม่สมดุลของประจุขึ้นในวัตถุเรียกว่าการถ่ายเทของประจุไฟฟ้าหรือ Electrostatic Discharge (ESD) (นิวัฒน์ วรสาร, 2561)



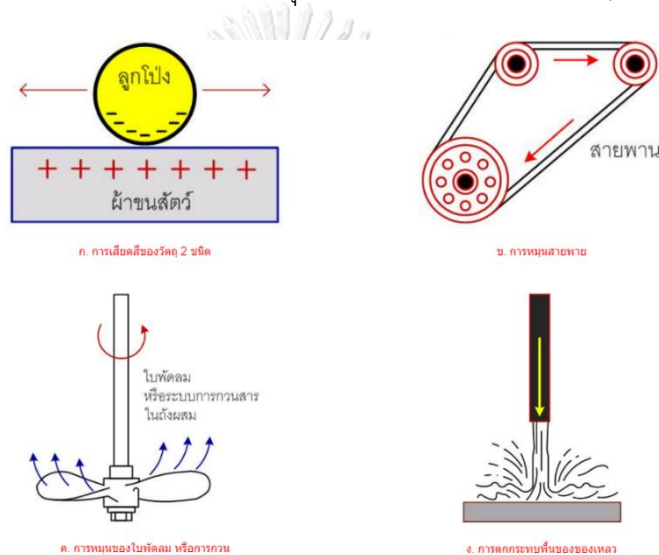
รูปที่ 2.1 โครงสร้างอะตอม



รูปที่ 2.2 การถ่ายเทประจุเมื่อวัตถุสัมผัสกัน

หมายเหตุ. ภาพจาก [http://www.pccm.ac.th/tiny\\_mce/home/articles/2019052901/2019052901-electro-static.pdf](http://www.pccm.ac.th/tiny_mce/home/articles/2019052901/2019052901-electro-static.pdf)

ไฟฟ้าสถิตสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกระบวนการการผลิตจากหลากหลายสาเหตุในขั้นตอนการผลิตซึ่งประกอบไปด้วยกรณีที่เกิดจากการเสียดสีกันระหว่างวัตถุ การทำให้วัตถุเคลื่อนที่ไปตามพื้นราบหรือบนโต๊ะ การแยกวัตถุออกจากกัน เช่น ขั้นตอนในการประกอบ, การจับถือวัสดุเครื่องมือ, การปฏิบัติงานในภาคสนาม, การสวมใส่เสื้อผ้าที่มีขนสัตว์, การใช้วัสดุพลาสติก, การลอกเทปกาวออกจากชิ้นงานหรือเกิดจากการเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าขึ้น ส่วนในกรณีการเกิดประจุไฟฟ้าสถิตในของเหลวนั้นก็ สามารถเกิดขึ้นได้อย่างเช่นเกิดขึ้นในสารตัวทำละลาย ปิโตรเลียม เชื้อเพลิง เมื่อของเหลวไหลเกิดการเคลื่อนที่แล้วสัมผัสกับวัสดุอื่น ๆ สัมผัสกับถังหรือสัมผัสกับท่อ การถ่ายเทของเหลวหรือการไหลผ่านตลอดจนการเขย่าของเหลว ก็สามารถเกิดประจุไฟฟ้าสถิตได้ (นิวัฒน์ วรสาร, 2561)



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสถิต

หมายเหตุ. ภาพจาก

<http://www.thailandindustry.com/onlinemag/view2.php?id=727&section=9&issues=28>

ไฟฟ้าสถิตนั้นเป็นอันตรายต่อผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ใดๆ เนื่องจากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ประกอบไปด้วยชิ้นออกไซด์ต่างๆจำนวนมาก ชิ้นของออกไซด์เหล่านี้จะสามารถเสียหายได้ง่ายเมื่อเกิดไฟฟ้าสถิต (คือเสียดสีการเป็นฉนวน) ชิ้นของโลหะบางๆที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อวงจรเข้าด้วยกันอาจจะละลายและเปิดวงจร (การขาดออกจากกันทางไฟฟ้า) เมื่อมีกระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลผ่านวัตถุและเกิดความร้อนขึ้นอาจจะทำให้อุปกรณ์เสียหายเนื่องจากมีกระแสไหลผ่านรอยต่อและเกิดความเข้มของกระแสสูงมากเกินกว่าที่อุปกรณ์ทนได้จนสามารถละลายชิ้นของโลหะในอุปกรณ์ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Electrical Over Stress (EOS) โดยทั่วไปแล้วจะเห็นร่องรอยของความเสียหายของอุปกรณ์จาก Electrical Over Stress ได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อัตราขยายต่ำ ลักษณะที่เราเห็น

หลังจากที่เกิดความเสียหายเนื่องจาก EOS ได้แก่อาจจะเห็นเส้นสายโลหะที่เกิดจากการหลอมละลายพลาสติกหรือผิวหน้ามีรอยไหม้ เกิดการเปลี่ยนสี (Discoloration) ของบริเวณที่เสียหาย (Diaz et al., 2012)

### การควบคุมและป้องกันประจุไฟฟ้าสถิต

1). การออกแบบพื้นที่ในการปฏิบัติงาน (EPA: (Electrostatic Protected Area) เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตโดยเฉพาะสถานที่ทำงานควรจะมีการกำหนดเส้นแบ่งระหว่างพื้นที่ปฏิบัติงานทั่วไปกับพื้นที่ควบคุมไฟฟ้าสถิตเพื่อเป็นการป้องกันการเข้าไปยังพื้นที่ที่ไม่ได้รับการกำจัด ESD ออกจากร่างกายพนักงานก่อนเข้าพื้นที่ทำงาน พื้นของบริเวณสถานีนงานควรเป็นเป็นสื่อกระแสไฟฟ้าและการทำความสะอาดควรใช้ผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่ไม่มีส่วนผสมของการเคลือบผิว

2). การใช้อุปกรณ์ในการป้องกันไฟฟ้าสถิตขณะปฏิบัติงาน การเกิดไฟฟ้าสถิตจะเกิดการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานดังนั้นรองเท้า เครื่องแต่งกายและการใช้สายรัดข้อมือป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตจึงเป็นสิ่งจำเป็นมาก โดยก่อนการเข้าพื้นที่ EPA ควรจะมีการตรวจไฟฟ้าสถิตทุกครั้งเพื่อให้สามารถนั่งทำงานได้ในขณะทำงาน (การนั่งเก้าอี้ก็เป็นสิ่งที่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตได้จากการเสียดสีระหว่างเครื่องแต่งกายของผู้ปฏิบัติงาน)

อุปกรณ์ป้องกันประจุไฟฟ้าสถิตของผู้ปฏิบัติงานประกอบไปด้วยหมวก ชุดปฏิบัติงาน ถุงมือ รองเท้าและสายรัดข้อมือและที่พื้นปฏิบัติงานจะต้องเป็นพื้นผิวที่มีคุณสมบัติเป็นตัวนำ (Conductive Flooring) การตรวจสอบเบื้องต้นของพื้นตัวนำดังกล่าวสามารถกระทำได้ง่ายด้วยเครื่องวัดค่าความต้านทาน (Ohm Meter) วัดค่าความต้านทานพื้นที่ในระยะห่าง 1 เมตร จะต้องมีค่าความต้านทานน้อยกว่า 1 เมกะโอห์ม (ผลการวัดได้ค่าความต้านทานยิ่งน้อยยิ่งเป็นผลดี) ในทางตรงกันข้ามหากผลการตรวจวัดค่าความต้านทานพื้นได้มากกว่า 2.5 เมกะโอห์ม จะมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดการคายประจุและเกิดอันตรายจากประจุไฟฟ้าสถิต (ธงชัย คล้ายคลึง, 2559)

 ถุงมือป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ แบบสาย Strip ESD Glove Type STRIP	 ถุงมือป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ แบบ Dot ESD Glove Type Dotted	 ถุงมือป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ แบบ PU ESD Glove Type PU	 ถุงมือป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ ครอบข้อมือ Conductive Palm Fit Glove	 ถุงมือป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ PU PALM FIT GLOVE	 ถุงมือแลเทกซ์/ ถุงมือ Latex Latex Glove
 ถุงมือไนไตรท์/ ถุงมือป้องกันสารเคมี Nitrile Glove	 รองเท้าป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ ESD SHOE, ANTI STATIC SHOE	 สายรัดข้อมือป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ Wrist Strap/ Single Wrist Strap	 สายรัดข้อเท้าป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ Heel Strap	 ยางปูโต๊ะป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ ESD Table Mat/ ESD Green Mat	 สายกราวด์ Ground Cord
 ม่านป้องกันไฟฟ้าสถิตย์/ ม่าน ESD ESD PVC CURTAIN GRID/ CLEAR	 แผ่นกาวติดพื้น Sticky Mat Size: 26" x 45" (Blue Color)	 ลูกกลิ้งกาวติดพื้น Sticky Roller Size: Core 6"	 หน้ากากอนามัย/ หน้ากาก Face Mask	 เครื่องขัดพื้น/ เครื่องขัดพื้นงาน Work Finisher Model WF-620/ WF-1540	 ถุงเท้ารองเท้า Shoe Cover
 ผ้า Wiper/ ผ้าซับชิ้นงาน Micro Fiber Wiper	 ถุงมือป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ Finger Cot/ ESD Finger Cot	 ท่อเชื่อมเหล็ก/ ท่อเชื่อมเหล็ก TOYOX	 ไส้กรองอากาศ Filter Air	 ขวดใส่น้ำยา IPA ESD ESD IPA Dispenser	 ขวดใส่น้ำยาล้างชิ้นงาน IPA Dispenser

รูปที่ 2.4 อุปกรณ์ป้องกันประจุไฟฟ้าสถิต

หมายเหตุ. ภาพจาก [http://www.antistaticsolution.com/products\\_esd\\_consumable\\_cleanroom.html](http://www.antistaticsolution.com/products_esd_consumable_cleanroom.html)

3). การต่อระบบสายดินและการเชื่อมเพื่อป้องกันไฟฟ้าสถิต เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการป้องกันการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิต

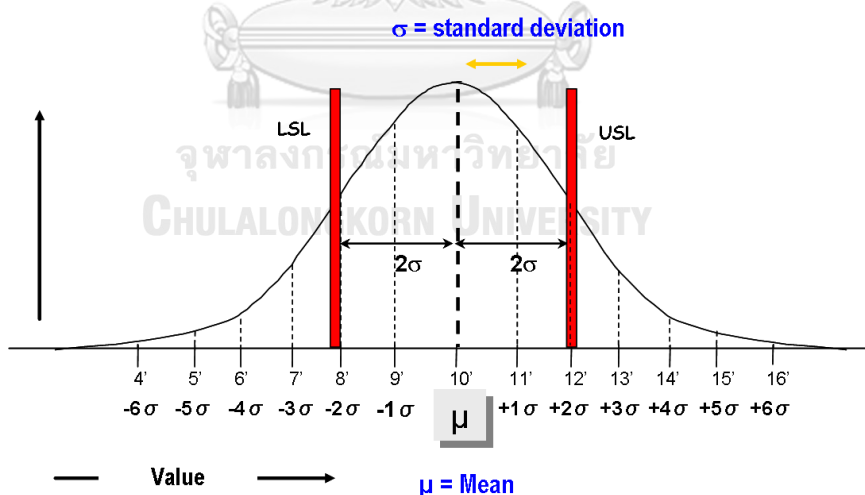
4). การควบคุมระดับความชื้น ระดับความชื้นในอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งผลให้เกิดประจุไฟฟ้าสถิต และส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมสิ่งทอหรืออุตสาหกรรมผลิตกระดาษ เมื่อความชื้นของอากาศในระบบการผลิตมีค่าต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์จะมีคุณลักษณะเป็นอากาศแห้ง จึงมักจะเกิดการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าสถิตได้ จึงจำเป็นต้องมีระบบการควบคุมความชื้นที่เหมาะสม

5). การทำไอออนไนเซชัน (Ionization) หมายถึงการสร้างไอออนบวกด้วยวิธีการนำเอาอิเล็กตรอนออกจากอะตอมที่เป็นกลาง การควบคุมประจุไฟฟ้าสถิตด้วยวิธีนี้จะใช้หลักการแยกอิเล็กตรอนที่เป็นตัวก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิตออกจากกลุ่มอะตอมของอากาศโดยการทำให้ทางเดินให้กับอิเล็กตรอนเหล่านั้นให้สามารถถ่ายเทลงพื้นได้ ซึ่งวิธีการทำไอออนไนเซชันนี้มักจะใช้ในกรณีการเกิดประจุไฟฟ้าสถิตในบริเวณพื้นที่ที่เกี่ยวข้องกับแรงดันไฟฟ้าสูง



### 2.1.2 แนวคิดการปรับปรุงคุณภาพด้วยซิกซ์ซิกม่า

ซิกซ์ซิกม่าคือแนวคิดเกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพและปรับปรุงกระบวนการผลิตกระบวนการทำงานอย่างต่อเนื่องด้วยการค้นหาปัญหาและปรับปรุงคุณภาพตามหลัก D-M-A-I-C เพื่อให้การผลิตเกิดความผิดพลาดหรือของเสียน้อยที่สุด ที่มาของแนวคิดซิกซ์ซิกม่ามาจากการควบคุมคุณภาพที่พัฒนาขึ้นโดย Dr. Mikel Harry ผู้ได้ชื่อว่าเป็นบิดาของ Six Sigma ร่วมกับ Bill Smith และทีมวิศวกรของบริษัท Motorola พัฒนาแนวคิดนี้ขึ้นในปี ค.ศ. 1986 ซิกม่า ( $\sigma$ ) เป็นพยัญชนะตัวหนึ่งในภาษากรีกที่ถูกนำมาใช้เพื่อแสดงระดับความเชื่อมั่นในกระบวนการผลิต และแสดงระดับความสามารถของกระบวนการผลิตงานให้ได้ตามข้อกำหนด กระบวนการที่มีคุณภาพระดับซิกซ์ซิกม่าคือกระบวนการที่คาดหวังได้ว่าจะมีโอกาสเกิดงานที่บกพร่องไม่เกิน 3.4 ส่วนต่อล้านส่วน (ยอมให้มีของเสียในระบบได้เพียง 3.4 ชิ้นต่อการผลิตสินค้าจำนวนล้านชิ้น) โดยสมมุติให้ระบบเป็นการแจกแจงปกติ (normal distribution) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการกระจายเป็นรูประฆังคว่ำ โดยค่าเฉลี่ยที่จุดกึ่งกลางของการกระจายตัวนั้นก็คือค่าที่ต้องการ ส่วนค่าซิกมา (sigma) คือ หนึ่งช่วงของความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่วัดจากจุดกึ่งกลางดังกล่าว ในกรณีของซิกซ์ซิกม่าถ้าหากขอบบนและขอบล่างอยู่ห่างจากค่าเฉลี่ยเป็นระยะ 6 ซิกม่าก็จะเรียกว่าระดับซิกซ์ซิกม่า (6 Sigma level) หากขอบเขตบนและล่างอยู่ห่างจากค่าเฉลี่ยเป็น 3 ซิกม่าก็จะเรียกว่าระดับ 3 ซิกม่า (3 sigma level) (ปิยนันท์ สวัสดิ์ศฤงฆาร, 2563)



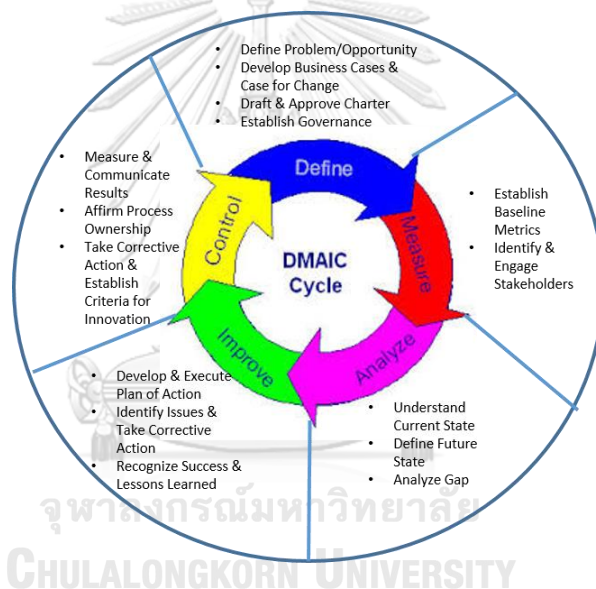
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงการกระจายตัวของระดับซิกซ์ซิกม่า

หมายเหตุ. ภาพจาก <https://e7.pnggg.com/pngimages/968/42/png-clipart-six-sigma-standard-deviation-normal-distribution-table-of-mathematical-symbols-by-introduction-date-angle-text.png>

ตารางที่ 2.1 แสดงระดับซิกซ์ซิกม่า

ระดับซิกม่า	ค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability)	DPMO
1 $\sigma$	30.2328%	697672.1266
2 $\sigma$	69.1230%	308770.1678
3 $\sigma$	93.3189%	66810.59894
4 $\sigma$	99.3790%	6209.684315
5 $\sigma$	99.9767%	232.6291192
6 $\sigma$	99.9997%	3.397673134

(ปิยนันท์ สวัสดิ์ศฤงฆาร, 2563)



รูปที่ 2.6 แสดงวงจรกระบวนการปรับปรุง D-M-A-I-C

หมายเหตุ. ภาพจาก <https://www.pngegg.com/th/png-tiuyb>

D-M-A-I-C คือกระบวนการปรับปรุงแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบและต่อเนื่องมีเป้าหมายเพื่อลดความผิดพลาดหรือความล้มเหลวในกระบวนการผลิต และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการทำงานตามแนวคิดของซิกซ์ซิกม่าข้างต้น (ปิยนันท์ สวัสดิ์ศฤงฆาร, 2563) ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนที่เชื่อมโยงกันดังนี้

## 1). การระบุปัญหา (Define)

คือขั้นตอนแรกเริ่มต้นที่ขั้นตอนการระบุปัญหาที่ต้องการแก้ไข พร้อมกับระบุเหตุผลว่าทำไมจึงจำเป็นต้องแก้ไขปัญหาดังกล่าว เป้าหมายสุดท้ายปลายทาง โดยการระบุปัญหาอาจมาจากความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการผลิต การรายงานปัญหาจากลูกค้า ความผิดพลาดในอดีตที่ได้ทำการบันทึกเป็นสถิติเอาไว้เพื่อที่จะทำให้เข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นและเป้าหมายที่ต้องการได้ชัดเจน ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนของการระบุและคัดเลือกหัวข้อเพื่อการดำเนินการตามโครงการ ซึ่งควรจะมีการกำหนดกรอบความคิดให้ชัดเจน (ปิยนันท์ สวัสดิ์ศฤงฆาร, 2563) ดังนี้

- 1.1) จุดประสงค์ เป้าหมายของสิ่งที่ต้องการจะปรับปรุงทั้งในระดับองค์กร (การเพิ่มผลตอบแทน การลงทุน หรือเพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาด), ระดับปฏิบัติการ (เพิ่มผลผลิต, ลดความสูญเสียในกระบวนการ), และระดับโครงการ (เช่น ลดงานที่บกพร่อง ล้มเหลว) ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับเป้าหมายหลักขององค์กร
- 1.2) เครื่องมือ, วิธีการ, กระบวนการ และกลยุทธ์ที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุง
- 1.3) โอกาสและความเป็นไปได้ในการปรับปรุง
- 1.4) ระบุผู้ที่เกี่ยวข้องเพื่อรับมอบหมายงานและขอบเขตพื้นที่ที่ต้องการปรับปรุงให้ชัดเจน

## 2). การวัด (Measure)

คือการกำหนดตัวชี้วัดเพื่อวัดปัญหาที่เกิดขึ้นและรวบรวมข้อมูลที่จะนำไปสู่การหาสาเหตุของปัญหานั้นๆ (อุดมศักดิ์ จิตสงบ, 2563) ซึ่งเป็นขั้นตอนการวัดความสามารถของกระบวนการที่เป็นจริงในสภาพการณ์ปัจจุบัน ขั้นตอนของการวัดจะแบ่งการดำเนินงานออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ

- 2.1) การวางแผนและการคัดเลือกตัวชี้วัดที่เหมาะสมในการดำเนินการ
- 2.2) การวัดค่าความสามารถของกระบวนการที่เป็นจริงในสภาพการณ์ปัจจุบัน โดยวัดผ่านตัวชี้วัดที่กำหนด
- 2.3) การพิจารณาเครื่องมือ กลยุทธ์ที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ
- 2.4) การวิเคราะห์ระบบการวัด Measurement System Analysis (MSA) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากเป็นขั้นตอนการตรวจสอบเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการดำเนินงานว่ามีความปกติหรือไม่ก่อนปฏิบัติงาน
- 2.5) การนำประสบการณ์ในอดีตที่ผ่านมาขององค์กรมาเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหา

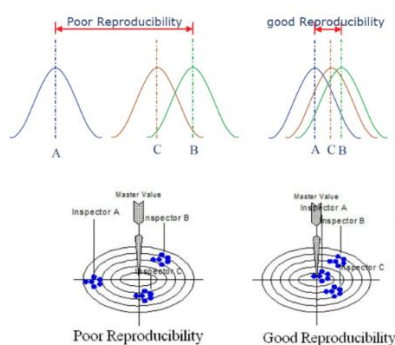
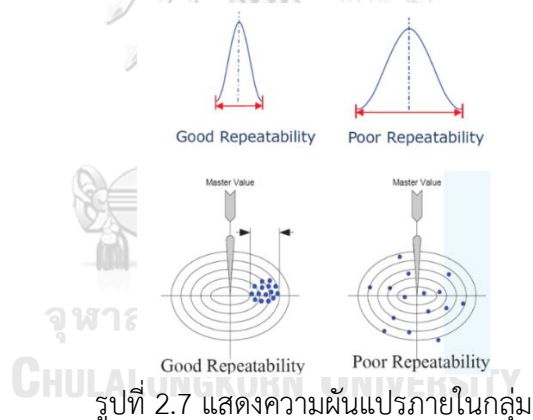
## การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)

การวิเคราะห์ระบบการวัดคือการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในระบบการวัดเพื่อจำแนกปัญหาที่พบในระบบการวัดซึ่งอาจจะมีสาเหตุจากคน เครื่องมือ วิธีการวัด สภาพแวดล้อม

Gage Repeatability & Reproducibility: GR&R การวิเคราะห์ด้านความแม่นยำของระบบการวัด สามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทคือ

1). Repeatability คือ ความสามารถในการทำซ้ำแสดงความผันแปรภายในกลุ่ม หมายถึงความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากการวัดของพนักงานหนึ่งคน วัดชิ้นงานชิ้นเดิม ตำแหน่งเดิม ด้วยวิธีการเดิม แต่เครื่องมืออาจแตกต่างกัน

2). Reproducibility คือ ความสามารถในการทำเหมือนแสดงความผันแปรระหว่างกลุ่ม หมายถึงความแตกต่างที่เกิดขึ้น จากการวัดชิ้นงานชิ้นเดิม ตำแหน่งเดิม ด้วยวิธีการเดิม แต่เงื่อนไขในการวัดที่ต่างกัน เช่นผู้ทำการวัด, เครื่องมือวัด เป็นต้น (อุดมศักดิ์ จิตสงข, 2563)



หมายเหตุ. ภาพจาก <https://www.bigq.co.th/msa-attribute-grr/>

วิธีการประเมิน GR&R มี 3 วิธี

- 1). วิธีค่าพิสัย (Range method) เหมาะสำหรับการทดลองในช่วงสั้น ๆ ไม่มีการวัดซ้ำและจะไม่สามารถแยก Repeatability ออกจาก Reproducibility ได้
- 2). วิธีค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Rang method) เหมาะกับการทดลองที่สามารถทำซ้ำในแต่ละตัวอย่างได้ ซึ่งจะสามารถแยก Repeatability ออกจาก Reproducibility ได้ (แต่ไม่สามารถแยกความผันแปรจากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและผู้วัดออกจากค่า Repeatability ได้)
- 3). วิธีค่าวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เหมาะสำหรับการทดลองที่สามารถทำซ้ำ ในแต่ละตัวอย่างได้สามารถแยกตามความผันแปร จากสาเหตุร่วมระหว่างชิ้นงานและผู้วัดออกจากค่า Repeatability ได้ วิธีนี้เหมาะกับการวิเคราะห์ผลการศึกษาที่ได้จากการออกแบบการทดลองเพื่อพิจารณาสาเหตุของความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญ ข้อเสียของวิธีการนี้คือมีความยุ่งยากในการคำนวณ ส่วนมากจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการช่วยคำนวณ

ค่าความเอนเอียง (Bias) หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าจริง (หรือค่าอ้างอิง) กับค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่วัดได้จากชิ้นงานชิ้นเดียวกัน (อุดมศักดิ์ จิตสงบ, 2563)

### 3). การวิเคราะห์ปัญหา (Analyze)

ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาหลักคือการนำข้อมูลที่ได้จากการวัดมาทำการวิเคราะห์ในเชิงสถิติ การตรวจสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) พังการกระจาย (Scattering Diagram) การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เป็นต้น

#### การวิเคราะห์ปัจจัยหลัก 4M1E (4M1E Main Factors)

4M1E เป็นปัจจัยที่จะนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่างๆ แต่ละส่วนงานที่เกี่ยวข้องจะร่วมกันวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุหลักที่ส่งผลโดยตรงต่อปัญหานั้น ซึ่งมีปัจจัยในการวิเคราะห์ดังนี้ (พิชญา ทองรักษ์, 2563)

- 3.1) Manpower: ปัญหาจากพนักงานไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนด
- 3.2) Machine: ปัญหาที่เกิดจากเครื่องมือ เครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน

- 3.3) Material: ปัญหาจากวัสดุหรือวัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิต กล่าวคือสาเหตุของความผิดพลาดนั้นมาจาก ข้อบกพร่องหรือคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ไม่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดทางคุณภาพ
- 3.4) Method: ปัญหาที่เกิดจากการใช้วิธีการหรือกระบวนการในการทำงานที่ไม่ถูกต้อง ไม่เป็นมาตรฐานถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการผลิต จำเป็นต้องมีการจัดการ การวางแผน การติดตาม การตรวจสอบ และการควบคุมการผลิต โดยกำหนดให้มีขั้นตอนในการปฏิบัติงานที่ดี มีการนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ เข้ามาปรับใช้และพัฒนาขั้นตอนในการทำงานให้มีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก เพื่อช่วยลดความสูญเสียในการทำงาน
- 3.5) Environment: สภาพแวดล้อม ได้แก่อากาศ ความชื้น ความร้อนที่ อาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยหรือเกิดความบกพร่องขึ้นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไวต่อไฟฟ้าสถิต

### การวิเคราะห์สาเหตุของความล้มเหลวและผลกระทบ Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องหรือความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) เป็นแนวคิดสำหรับการวิเคราะห์ความเสี่ยงเพื่อลดอัตราข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ FMEA จะช่วยให้เข้าใจและรู้ถึงศักยภาพของการเกิดข้อบกพร่องของส่วนประกอบของเครื่องจักร, อุปกรณ์ และเครื่องมือในกระบวนการทำงานทำให้สามารถหลีกเลี่ยงความล้มเหลวหรือความผิดพลาดเหล่านั้นได้ตั้งแต่เริ่มต้น โดยเน้นที่การคาดการณ์และมองหาปัญหาหรือโอกาสที่จะเกิดปัญหาเพื่อเป็นการป้องกันในเชิงรุก การดำเนินการของ FMEA คือการวิเคราะห์หารูปแบบความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นหรือที่พบได้บ่อยๆ เรียกว่า โหมดความล้มเหลว (Failure modes) ที่เกิดจากการทำงานของอุปกรณ์เครื่องจักร หรือกระบวนการทำงาน โดยการพิจารณาโหมดความล้มเหลวจะเน้นลงไปทีละส่วนย่อยของระบบหรือทีละชิ้นส่วน แล้วจึงนำมาพิจารณาต่อถึงการเกิดความล้มเหลวหรือข้อบกพร่องนั้นมีลักษณะเป็นอย่างไรและความล้มเหลวนั้นมีแนวโน้มที่จะเกิดอะไรได้บ้างนำไปสู่การพิจารณามาตรการขจัดและลดความเสี่ยงให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (อุมารัตน์ ศิริจรูญวงศ์, 2553)

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดขอบเขตการวิเคราะห์

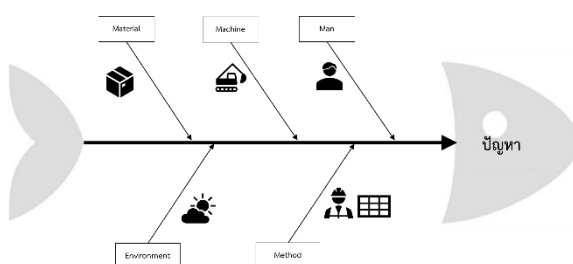
ขั้นตอนที่ 2 การรวบรวมข้อมูลและเอกสารที่เกี่ยวข้องกับระบบงานย่อยซึ่งเป็นขอบเขตที่จะวิเคราะห์แล้วจึงคาดการณ์ถึงปัญหา หรือลักษณะความล้มเหลว (failure mode)

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์รูปแบบความล้มเหลวอย่างเช่น ในกรณีศึกษาที่รูปแบบความล้มเหลวคือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากหน่วยประมวลผลไม่ส่งสัญญาณทางไฟฟ้าไปสู่อุปกรณ์อื่นๆ เมื่อทราบรูปแบบความล้มเหลวแล้วจึงวิเคราะห์ต่อว่ามีสาเหตุ (causes) มาจากอะไรได้บ้างโดยอาจใช้การวิเคราะห์ 5 WHY เข้ามาใช้ร่วมด้วยเพื่อให้ค้นหาสาเหตุต้นตอของปัญหานั้นๆ ได้อย่างครอบคลุม หลังจากนั้นจะมีการกำหนดระดับความเสี่ยงที่เรียกว่าค่า RPN (Risk Priority Number) ของแต่ละปัญหาซึ่งค่า RPN ได้มาจากการคูณพารามิเตอร์ “O” , “S” และ “D” โดยที่

- Severity (S) เป็นความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดจากความล้มเหลว
- Occurrence (O) เป็นโอกาสที่จะเกิดขึ้นจากสาเหตุนั้นว่ามีความถี่บ่อยเพียงใด
- Detection (D) เป็นความสามารถในการตรวจจับและป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลวขึ้นได้ดีเพียงใด ดังนั้นค่า RPN จะเป็นดังนี้
- $RPN = S \times O \times D$  ซึ่งค่า “O” , “S” และ “D” จะถูกบันทึกอยู่ในตารางของ FMEA ด้วย

ผังก้างปลา (fishbone diagrams หรือ Cause and Effect Diagram )

แผนภาพแสดงสาเหตุและผลกระทบหรือที่เรียกว่า แผนผังอิซิกาวะหรือแผนผังก้างปลาเป็นเครื่องมือกราฟิกที่ใช้ในการสำรวจและแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุของปัญหา ชื่อเรียกผังก้างปลานี้เนื่องมาจากมีรูปร่างลักษณะคล้ายตัวปลาที่ประกอบด้วย หัวปลา โครงร่างกระดูกแกนกลาง และก้างปลาโดยปัญหาจะถูกระบุที่หัวปลา สาเหตุหลักของปัญหาเป็นลูกศรวิ่งเข้าสู่กระดูกแกนกลางและระบุสาเหตุย่อยที่เป็นไปได้ที่อาจส่งผลกระทบต่อการศึกษาเป็นลูกศรวิ่งเข้าสู่สาเหตุหลัก (พิชิต สุขเจริญพงษ์, 2543) แสดงลักษณะแผนภาพก้างปลาดังรูปที่ 2.9



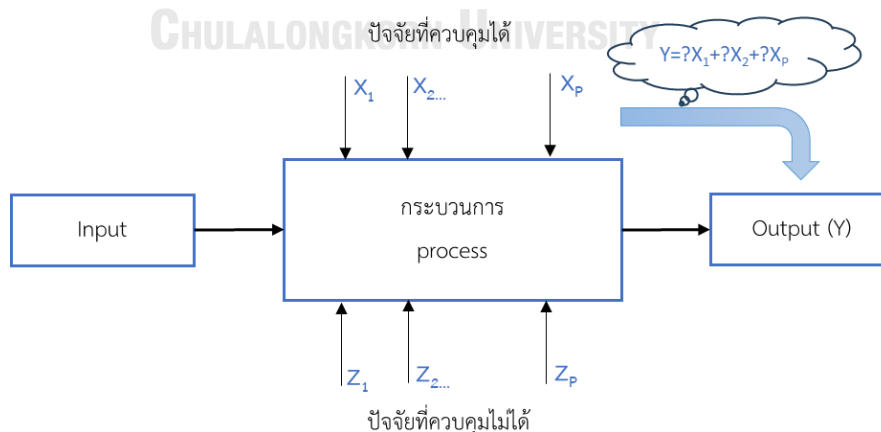
รูปที่ 2.9 แผนภาพก้างปลา

#### 4. การปรับปรุง (Improve)

คือการปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่ผ่านการวิเคราะห์สาเหตุต้นตอของปัญหาจากขั้นตอนที่แล้ว อาจะเริ่มจากการระบุวิธีแก้ไขปัญหาที่เป็นไปได้ เพื่อเลือกวิธีแก้ไขปัญหาที่ดีที่สุดแล้วนำมาใช้จริง

##### การออกแบบทดลอง (Design of Experiment : DOE)

การออกแบบทางสถิติของการทดลอง หมายถึง กระบวนการวางแผนการทดลองเพื่อให้ข้อมูลที่เหมาะสมถูกรวบรวมและวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ ทำให้เกิดข้อสรุปที่ถูกต้องและตรงตามวัตถุประสงค์ วิธีการทางสถิติในการออกแบบการทดลองเป็นสิ่งที่จำเป็นหากเราต้องการสรุปผลที่มีความหมายจากข้อมูล เมื่อปัญหาเกี่ยวข้องกับข้อมูลที่มีข้อผิดพลาดจากการทดลอง วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเดียวในการวิเคราะห์ ดังนั้นปัญหาการทดลองจึงมีสองด้าน: การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ หัวข้อทั้งสองนี้เกี่ยวข้องกันเนื่องจากวิธีการวิเคราะห์ขึ้นอยู่กับการออกแบบที่ใช้ กล่าวคือเป็นการดำเนินการทดลองอย่างเป็นระบบและมีการควบคุมเพื่อวัตถุประสงค์ในการพิจารณาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิต และมีความสัมพันธ์ต่อผลลัพธ์จากกระบวนการ อาจทำการทดสอบครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อให้สามารถบ่งชี้ถึงสาเหตุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Responses) จากกระบวนการโดยตัวแปรนำเข้าแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ ตัวแปร (ปัจจัย) ที่ควบคุมได้ (Controllable Variables or Factors) และตัวแปร (ปัจจัย) ที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable or Noise Variables (Factors)) (ปารเมศ ชูติมา, 2545)



รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในหน่วยกระบวนการผลิต

หมายเหตุ. รูปภาพอ้างอิงจาก <https://piu.ftpi.or.th/productivity-tools/doe/>



### ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

1. การกำหนดหัวข้อปัญหา (Problem statement) อะไรที่กำลังเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นอย่างไร และพบปัญหานั้นที่ไหน
2. การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) จำเป็นจะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง
3. การกำหนดตัวแปรตอบสนอง (Outputs or Responses) ตัวแปรต้องเป็นตัวแปรที่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือวัดและวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ
4. ออกแบบการทดลอง (Experiment design) เช่น การกำหนดตัวอย่าง วางแผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น
5. ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการดำเนินการ
6. วิเคราะห์ข้อมูล (Data analysis) ระดับนัยสำคัญของแต่ละปัจจัยโดยใช้ ANOVA ในการวิเคราะห์ข้อมูล
7. สรุปผลการทดลอง

### หลักการออกแบบการทดลอง

1. หลักการสุ่มตัวอย่าง (Randomization) โดยจัดลำดับในการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม เช่น ลำดับชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง ลำดับของการทดลองและการวัดผลว่าจะทำเงื่อนไขใดก่อน ซึ่งหลักการสุ่มจะช่วยสมดุลความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยที่ไม่ทราบ ไม่สามารถที่จะควบคุมหรือหลีกเลี่ยงได้ เช่น ผลกระทบที่เกิดจากความเหนื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงาน ผลกระทบด้านสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ในการวิเคราะห์การทดลองกำหนดให้ข้อมูลและความผิดพลาดในการทดลองจะต้องเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบอิสระ (Independently Distributed Random Variables) และมาจากกลุ่มประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนคงที่ (ปารเมศ ชูติมา, 2545)
2. การทดลองซ้ำ (Replication) คือการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกันมากกว่าหนึ่งครั้ง เพื่อยืนยันและเพิ่มความถูกต้องของผลการทดลอง ช่วยให้สามารถคำนวณค่าความผิดพลาดในการทดลอง (Error/Random Noises) เพื่อใช้ในการประมาณค่าความแปรปรวนในการทดลองที่เปรียบเทียบกับ

ผลกระทบของปัจจัยว่ามีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ โดยการทดลองซ้ำจะหมายถึงการทำ การทดลองเงื่อนไขเดียวกันมากกว่าหนึ่งครั้ง และในการทดลองแต่ละครั้งต้องเริ่มทำการทดลอง ตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้าย

3) การบล็อก (Blocking) ในระหว่างทำการทดลองระดับของปัจจัยที่ไม่ได้เลือกในการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงระดับในระหว่างการทดลองอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาด (Experimental Errors) ซึ่งเรียกว่าปัจจัยรบกวน (Nuisance/Noise Factors) โดยระหว่างการทดลองปัจจัยรบกวนอาจส่งผล ในหลายรูปแบบ (ปารเมศ ชูติมา, 2545) ดังนี้

- ส่งผลต่อการทดลองเป็นครั้งคราว ไม่สามารถคาดการณ์ได้
- ส่งผลต่อการทดลองตลอดเวลาและเกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ

ผู้ทดลองต้องพยายามค้นหาแหล่งที่มาของปัจจัยรบกวนและหามาตรการในการควบคุมความ ผันแปรจากแหล่งปัจจัยรบกวนเหล่านี้ ซึ่งต้องควบคุมให้ระดับของปัจจัยรบกวนมีค่าคงที่ตลอดการ ทดลองและให้มีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะระดับปัจจัยที่ศึกษาเท่านั้นซึ่งเรียกว่าการบล็อก ( Blocking) สามารถทำได้ดังนี้

3.1) ควบคุมสภาวะแวดล้อมหรือปัจจัยรบกวนในการทดลองให้มีสภาพใกล้เคียงกันมากที่สุด

3.2) ให้การบล็อกแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ ในการกรณีที่ระดับของปัจจัยรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงอย่าง มีระบบ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการทดลอง เช่น ต้องใช้วัตถุดิบหลายชุด อุปกรณ์หลายชุด หรือผู้ทำการ วัดผลหลายคน (Montgomery, 2017)

## 5. การควบคุม (Control)

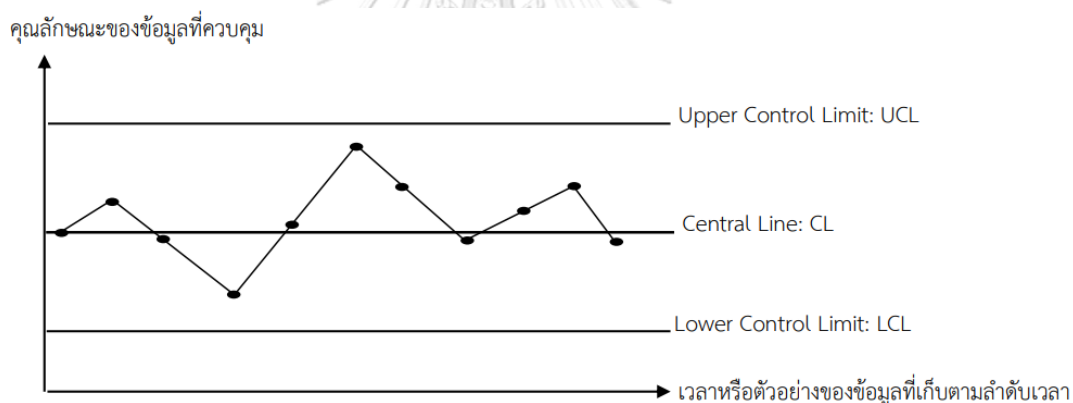
การกำหนดมาตรฐานในการปฏิบัติงาน การนำกระบวนการใหม่ที่ปรับปรุงไปใช้แทนวิธีการ เดิมที่เป็นปัญหา พร้อมกับติดตามผลว่าเป็นไปตามที่คาดหวังหรือไม่ จัดทำวิธีการควบคุมวิธีการและ ปัจจัยต่างๆ เพื่อให้พนักงานสามารถปฏิบัติตามแนวทางการแก้ไขปัญหาแล้วจึงประเมินความสามารถ ของกระบวนการผลิตอีกครั้ง (Montgomery, 2017)

### แผนภูมิควบคุม ( Control chart )

แผนภูมิควบคุมถูกนำมาใช้สำหรับควบคุมกระบวนการผลิต เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตได้อย่างรวดเร็วและปรับปรุงกระบวนการผลิตให้กลับสู่สภาวะปกติ โดยลักษณะของแผนภูมิจะเป็นกราฟโดยมีแกนตั้งเป็นคุณลักษณะของข้อมูลที่ควบคุม แกนนอนเป็นหน่วยเวลาหรือตัวอย่างของข้อมูลที่เก็บมาตามลำดับเวลา แผนภูมิควบคุมจะประกอบด้วยเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่

- เส้นควบคุมบน (Upper Control Limit: UCL)
- เส้นควบคุมล่าง (Lower Control Limit: LCL)
- เส้นกลาง (Central Line: CL)

โดย CL จะอยู่ที่ค่าเฉลี่ยและระยะห่างของ CL ถึง UCL และ LCL เท่ากับสามเท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ดังภาพที่ 2.12) แผนภูมิควบคุมสามารถแบ่งออกเป็นสองชนิด ได้แก่ แผนภูมิควบคุมเชิงปริมาณและแผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ (Carey & Stake, 2003)



รูปที่ 2.11 ลักษณะของแผนภูมิควบคุม

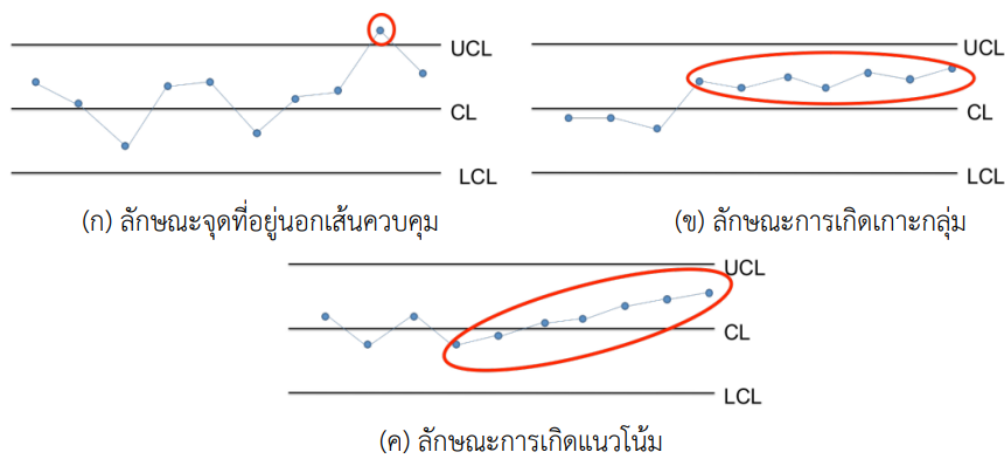
หมายเหตุ. ภาพจาก [http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/02\\_13\\_-7-.pdf](http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/02_13_-7-.pdf)

แผนภูมิควบคุมเชิงปริมาณ (Variable Control Chart) : เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมคุณลักษณะข้อมูลเชิงปริมาณ ได้แก่ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย ( $\bar{X}$ -Chart) และแผนภูมิควบคุมพิสัย (R-Chart) โดย  $\bar{X}$ -Chart ใช้ควบคุมค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิต ส่วน R-Chart ใช้ควบคุมการกระจายของกระบวนการ

แผนภูมิควบคุมเชิงคุณลักษณะ (Attribute Control Chart) : เป็นแผนภูมิที่ใช้ควบคุมคุณลักษณะข้อมูลเชิงคุณลักษณะที่สำคัญ ได้แก่ แผนภูมิควบคุมสัดส่วนของเสีย (p-Chart) แผนภูมิควบคุมจำนวน

ของเสีย (np-Chart) แผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิ (c-Chart) แผนภูมิควบคุมจำนวนรอยตำหนิต่อหน่วย (u-Chart) ซึ่ง p-Chart และ np-Chart เป็นแผนภูมิที่ใช้ตรวจสอบจำนวนของเสียของกระบวนการผลิต แต่ p-Chart ใช้สำหรับขนาดของกลุ่มตัวอย่างไม่คงที่ และ np-Chart ใช้กับขนาดของกลุ่มตัวอย่างคงที่ ในการวิเคราะห์แผนภูมิควบคุมว่าเกิดปัญหาในกระบวนการผลิตหรือไม่จะพิจารณาจากจุดข้อมูลที่ปรากฏบนแผนภูมิควบคุม โดยลักษณะจุดข้อมูลในแผนภูมิควบคุมที่มีลักษณะต่างๆ ได้แก่ มีจุดอยู่นอกเส้นควบคุม การเกิดการเกาะกลุ่ม (Run) และเกิดแนวโน้ม (Trend) โดยจุดอยู่นอกเส้นควบคุม คือ มีจุดอย่างน้อยหนึ่งจุดอยู่นอก UCL หรือ LCL (ดังภาพที่ 2.13 (ก)) ส่วนการเกิดการเกาะกลุ่ม คือ มีจุดเรียงติดกันอยู่ด้านบน CL หรือด้านล่าง CL (ดังภาพที่ 2.13 (ข)) และการเกิดแนวโน้ม คือ มีจุดเรียงตัวแนวเดียวกันแนวเอียงขึ้นหรือแนวเอียงลงต่อเนื่องกันตลอดภายใต้ UCL และ LCL (Carey & Stake, 2003) (ดังภาพที่ 2.13 (ค))

ตัวอย่างลักษณะการปรากฏจุดบนแผนภูมิควบคุมทั้งสามลักษณะดังกล่าว เป็นลักษณะสำคัญที่บ่งบอกว่ากระบวนการผลิตเกิดปัญหาที่ต้องหาสาเหตุ และเริ่มปรับปรุงกระบวนการผลิตให้กลับสู่สภาวะเดิม



รูปที่ 2.12 ลักษณะจุดที่บ่งบอกความผิดปกติในแผนภูมิควบคุม

หมายเหตุ. ภาพจาก [http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/02\\_13\\_-7-.pdf](http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/02_13_-7-.pdf)

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 งานวิจัยที่ได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกม่าเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

การลดปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นจากค่า Pitch Static Attitude (PSA) ของแขนจับหัวอ่าน ออกนอกข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้า โดยนำวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแปรปรวนของ PSA ซึ่งได้แก่ แรงดันไฟฟ้า, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อมต่อ, และระยะ Y ของจุดเชื่อมต่อ เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวที่จะทำให้ค่าความแปรปรวนนั้นลดลงได้ ซึ่งภายหลังจากการปรับปรุงพบว่า มีปริมาณของเสียเกิดขึ้นประมาณ 997 DPPM ซึ่งคิดเป็น 77.63 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนของเสียที่ลดได้ก่อนการปรับปรุงกระบวนการ (ชาญชัย บวรโชคชัย, 2545)

การควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางของซิกซ์ซิกม่า เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการประกอบชุดหัวอ่านสำเร็จ อันเนื่องมาจากข้อบกพร่องต่างๆ โดยนำวิธีการตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่า มาประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าการรับน้ำหนักกด (Gramload) ของชุดหัวอ่านสำเร็จ และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ปริมาณของเสียลดลง ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้ออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญต่อค่ารับน้ำหนักกด (Gramload) หลังการปรับปรุงกระบวนการสามารถทำให้ของเสียลดลงเหลือ 720 DPPM ซึ่งคิดเป็น 91.88% ของจำนวนของเสียที่ลดได้ก่อนการปรับปรุง (ภัทรา อายุวัฒน์, 2546)

การปรับปรุงกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ตัวลือคชุดหัวอ่าน เพื่อลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล โดยการวิจัยได้ใช้ขั้นตอนตามแนวทางของซิกซ์ ซิกม่า ในการปรับปรุง เพื่อลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล โดยเริ่มจากการนิยามปัญหา (Define) การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure) หาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อระยะความสูงของบอล โดยใช้การวิเคราะห์ FMEA จากนั้นในระบะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze) ได้ออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อหาปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อระยะความสูงของบอล การปรับปรุงกระบวนการ (Improve) และระบะการควบคุมกระบวนการผลิต (Control) ภายหลังจากการปรับปรุงพบว่าจำนวนของเสียลดลงจาก 27,600 DPPM มาอยู่ที่ 80 DPPM หรือลดลงจาก 2.76% เหลือ 0.008% (เพ็ญประภา กล้ากลสิการ, 2553)

การใช้ซิกซ์ซิกม่าเพื่อแก้ไขปัญหาในกระบวนการเคลือบผงไฟฟ้าสถิต สำหรับการเคลือบแผ่นอลูมิเนียมใช้ในสินค้าอุปโภคและบริโภคต่างๆ เพื่อลดระดับอัตราข้อบกพร่องของความหนาของการเคลือบผงโดยใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ เช่น การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาความหนาเคลือบผงต่ำ, SIPOC, การวิเคราะห์แผนภูมิ, การวิเคราะห์ระบบการวัด, แผนภูมิควบคุมและแผนภาพเหตุและผล (Cause and effect diagram) หลังจากการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการ จากเดิม 3.9 ซิกม่า เพิ่มเป็น 4.4 ซิกม่า อัตราข้อบกพร่องของการเคลือบผงลดลงจาก 46.6% เป็น 17% (Uluskan, 2019)

### 2.2.2 งานวิจัยที่ได้กล่าวถึงการแก้ไขปัญหอันเนื่องมาจากไฟฟ้าสถิตในอุตสาหกรรม

การแก้ไขปัญหาคอนกรีตและสถานีงานคอกวดของสายการผลิต โดยหนึ่งในหัวข้อการปรับปรุงคือการลดข้อบกพร่องจากการเสียหายจากไฟฟ้าสถิตของชุดหัวอ่านและการปรับปรุงวิธีสลายประจุไฟฟ้าสถิตซึ่งได้เปลี่ยนแปลงวิธีการทำงานเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยทำการทดลองเพื่อหาระยะการจุ่มหัวอ่านเขียนในน้ำยาเคมีที่เหมาะสม หลังการปรับปรุงสามารถลดข้อบกพร่องจากการเสียหายจากไฟฟ้าสถิตจาก 0.16% ของผลผลิตที่ประเมินจากรอบเวลาการผลิตลดเป็น 0.07% (อัครวัฒน์ ไคนุ่นสิงห์, 2551)

การควบคุมคุณภาพโดยใช้แนวทางของซิกซ์ซิกม่า เพื่อปรับปรุงข้อบกพร่องอันเนื่องมาจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge) ของกระบวนการประกอบหัวอ่านและบันทึก ซึ่งได้มีการออกแบบการทดลองและเปรียบเทียบข้อมูลทางสถิติประกอบการวิเคราะห์ FMEA เพื่อหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องและนำมาหาแนวทางปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องอันเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าสถิต ซึ่งผลการปรับปรุงพบว่าอัตราส่วนข้อบกพร่องจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิต สามารถลดลงจาก 31,600 DPPM เป็น 7,890 DPPM (นวลพรรณ ใจงาม, 2542)

งานวิจัยที่กล่าวถึงปัญหาความล้มเหลวของอุปกรณ์ PLCC ที่ไวต่อไฟฟ้าสถิต ในกระบวนการทดสอบขั้นสุดท้ายโดยการวัดกระแสไฟที่รั่วจากวงจรจ่ายไฟ โดยได้ทำการทดลองทางสถิติเพื่อหากระบวนการที่ทำให้เกิดความเสียหายจากไฟฟ้าสถิต ตั้งแต่วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ กระบวนการทดสอบ กระบวนการประกอบ กระบวนการตัดแต่งและขึ้นรูปเพื่อแก้ไขสาเหตุที่แท้จริงได้ หลังจากการแก้ไขปัญหาก็ทำการทดสอบโดยใช้เทคนิคเดียวกัน (probing) ที่ห้องปฏิบัติการ ผลลัพธ์พบว่าไม่พบความล้มเหลวของอุปกรณ์ดังกล่าวจึงนำไปสู่นโยบายการป้องกันและควบคุมไฟฟ้าสถิตในกระบวนการผลิต (Almazar & Hoffman, 1996)

### บทที่ 3

## การนิยามปัญหา

การนิยามปัญหาเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นขั้นตอนการบ่งชี้ให้เห็นถึงลักษณะของปัญหาเพื่อนำไปสู่หนทางการแก้ไขปัญหา ด้วยการวิเคราะห์ลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้น ปริมาณและสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอุปกรณ์เครือข่าย (สวิตช์) โดยการพิจารณาตั้งแต่ต้นกระบวนการผลิตรวมไปถึงการกำหนดอุปกรณ์เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการกำหนดปัญหา เมื่อได้ข้อมูลปัญหาเบื้องต้นแล้วจึงทำการกำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมาย ตัวชี้วัดและได้จัดตั้งทีมงานเพื่อระดมความคิดเพื่อนำวิธีการซิกซ์ซิกม่ามาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาต่อไป

#### 3.1 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน

จากปัญหาที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นผู้วิจัยได้จัดตั้งทีมงานและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อร่วมระดมความคิดเพื่อช่วยกันรวบรวมข้อมูลของปัญหา หาสาเหตุที่มาของปัญหา หาแนวทางแก้ไขปัญหา และดำเนินการปรับปรุงแก้ไขปัญหา รวมไปถึงการป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอีกด้วย ซึ่งทีมงานดำเนินงานจะประกอบไปด้วยผู้ที่มีความเชี่ยวชาญ มีความรู้ความชำนาญในส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตแผงวงจรพิมพ์และเน็ตเวิร์กสวิตช์ ซึ่งประกอบไปด้วย

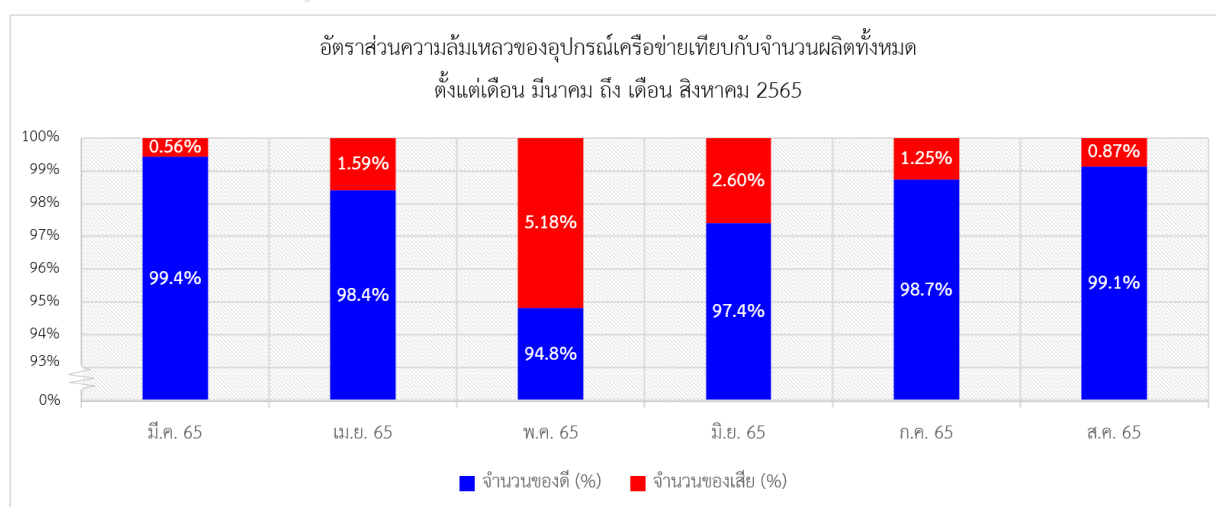
ตารางที่ 3.1 หน้าที่ความรับผิดชอบของทีมงานที่เกี่ยวข้อง

แผนก	ความรับผิดชอบ
ฝ่ายผลิต (Production)	- ร่วมทดลองและปรับปรุงวิธีการทำงานตามที่ทีมงานแนะนำ - ควบคุมและปฏิบัติตามวิธีการทำงานที่กำหนดไว้
วิศวกรรมฝ่ายควบคุมการผลิต (Process Engineering)	- รวบรวมข้อมูลสภาพกระบวนการผลิตปัจจุบัน - ออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิตและประเมินผล กระทบด้านอื่นๆ ภายหลังการปรับปรุง
วิศวกรรมฝ่ายควบคุมคุณภาพ (Quality Engineering)	- ตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงานและรายงานผลการติดตาม สัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิต
วิศวกรรมฝ่ายควบคุมคุณภาพ วัตถุดิบ (Supplier Quality Engineering)	- ทำงานร่วมกับบริษัทผู้ผลิตวัตถุดิบ ติดตามผลการวิเคราะห์ ความล้มเหลวอันเนื่องมาจากวัตถุดิบไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

วิศวกรรมฝ่ายทดสอบ (Test Engineering)	- วิเคราะห์หาอาการล้มเหลวของชิ้นงานและหาสาเหตุของปัญหา - ออกแบบการทดลองและกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการทดสอบ
วิศวกรรมฝ่ายออกแบบและซ่อมบำรุงเครื่องมือ (Design and Equipment Engineering)	- ออกแบบและปรับปรุงโปรแกรม เครื่องมือ เครื่องจักรให้สอดคล้องกับการดำเนินงาน - ประเมินผลกระทบในระหว่างการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทำงาน
ฝ่ายวางแผนการผลิต (Production Planning)	- จัดสรรแผนการผลิต เครื่องจักร วัตถุดิบระหว่างการดำเนินงานเพื่อไม่ให้กระทบต่อแผนการผลิตหลัก

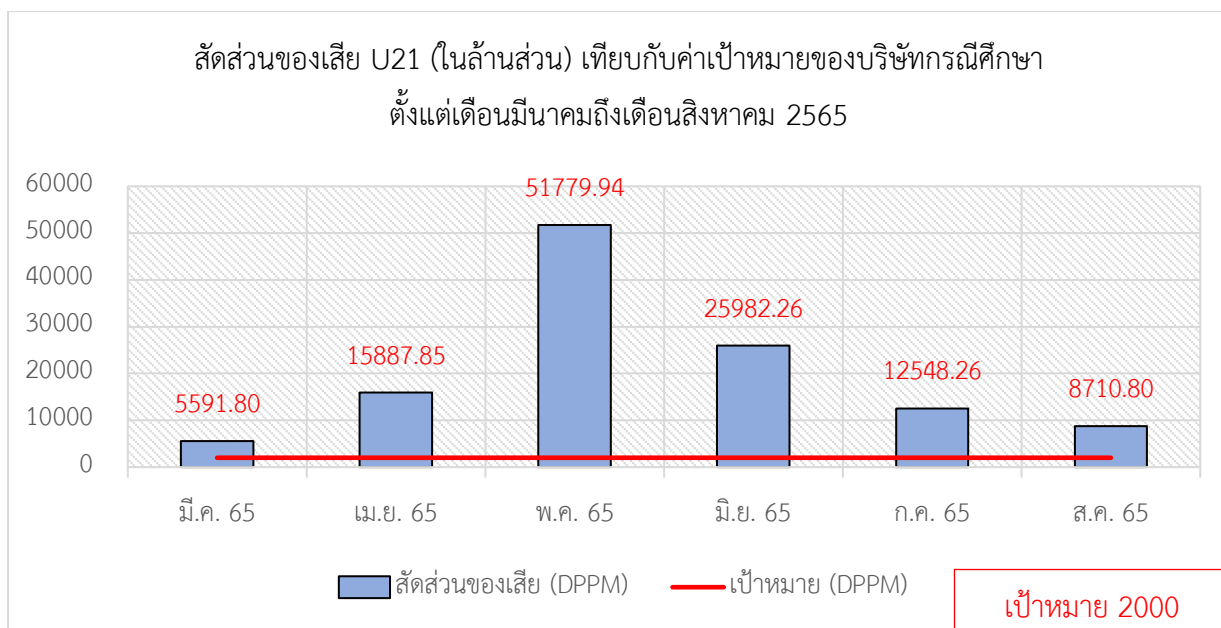
### 3.2 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

จากการศึกษาบริษัทกรณีศึกษาในปัจจุบันพบปัญหาความล้มเหลวของผลิตภัณฑ์ ในระหว่างการทดสอบทางไฟฟ้าทำให้เกิดการซ่อมเปลี่ยนและต้องทิ้งชิ้นส่วน CPU (U21) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาต้นทุนสูง เมื่อวิเคราะห์สัดส่วนของเสียของผลิตภัณฑ์ที่สนใจคือ ผลิตภัณฑ์สวิตช์ AZ จากข้อมูลในอดีตหกเดือนย้อนหลังพบว่าจากจำนวนการผลิตทั้งหมด 5,949 หน่วย เกิดความล้มเหลวของชิ้นงานขณะทดสอบ เนื่องจากอุปกรณ์ CPU ถึง 114 ครั้งคิดเป็นสัดส่วนของเสียเท่ากับ 19,162.88 DPPM ซึ่งเกินค่าเป้าหมายที่บริษัทกรณีศึกษาตั้งไว้มาก (เป้าหมายที่บริษัทกรณีศึกษาตั้งไว้ที่ 2,000 DPPM สำหรับชิ้นส่วนประกอบ) แสดงผลกระทบจากความล้มเหลวดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 แสดงอัตราความล้มเหลวเทียบจำนวนผลิตทั้งหมดในเดือนมีนาคม-สิงหาคม 2565





รูปที่ 3.2 กราฟสัดส่วนของเสีย (ในล้านส่วน) เทียบกับค่าเป้าหมาย เดือนมีนาคม-สิงหาคม 2565

จากภาพที่ 3.1 และภาพที่ 3.2 แสดงให้เห็นสัดส่วนของเสียที่เกิดความล้มเหลวของชิ้นงาน อุปกรณ์เครื่องข่ายคอมพิวเตอร์ขณะทำการทดสอบทางไฟฟ้า (System FCT Test) ซึ่งจะเห็นว่า สัดส่วนของเสียเกินกว่าค่าเป้าหมายของบริษัทกรณีศึกษาไปมาก นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายจากการทิ้งวัสดุบิ ชิ้นส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ที่ล้มเหลว (CPU) เฉลี่ยถึงเดือนละ 23,323.22 เหรียญดอลลาร์สหรัฐ

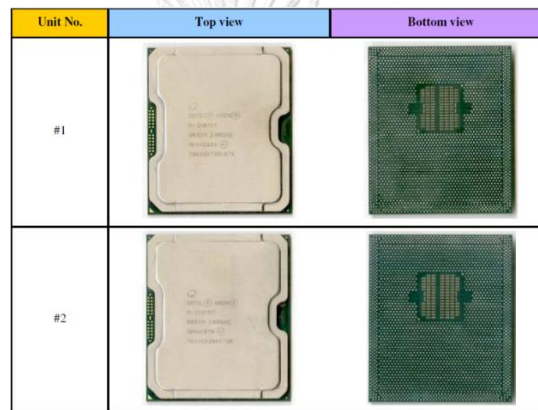
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 3.3 การกำหนดปัญหา

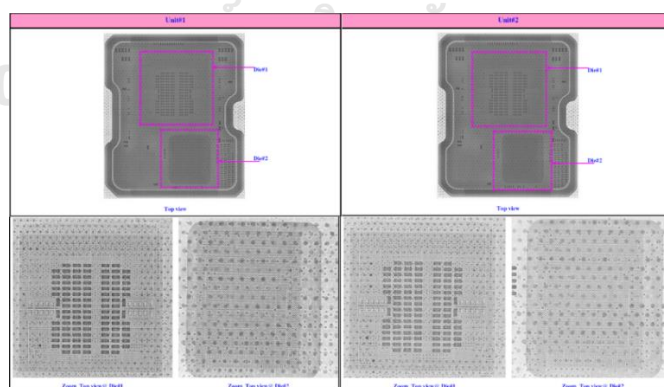
**3.3.1 เลือกผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาศึกษา :** จากข้อมูลของเสียภาพที่ 1.7 กราฟแสดงสัดส่วน ต้นทุนจากการผลิตของเสียของผลิตภัณฑ์กลุ่มอุปกรณ์เครือข่าย จะเห็นว่าข้อมูลในอดีตบ่งชี้ผลิตภัณฑ์ สวิตช์ AZ มีต้นทุนจากการผลิตของเสียสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกลุ่มลูกค้าเดียวกันและยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการในตลาดสูงอยู่ อัตราของเสียที่เกิดความล้มเหลวระหว่างการทดสอบเนื่องจากหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) U21 ไม่สามารถทำงานได้สูงที่สุด จึงเลือกที่ปรับปรุงปัญหานี้เป็นอันดับแรก

**3.3.2 วิเคราะห์ที่มาของปัญหา :** เมื่อชิ้นงานไม่ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้ากล่าวคืออุปกรณ์ไม่สามารถเริ่มการทำงานได้ตามปกติ (No Boot) ที่กำลังไฟฟ้า 2.5V เนื่องจากกระแสไฟฟ้าไม่ถูกส่งออก

จากตัวประมวลผลกลางที่ประกอบอยู่บนชุดแผงวงจรพิมพ์หลักและเปลี่ยน CPU ตัวใหม่ผลปรากฏว่า อุปกรณ์สามารถทำงานได้ตามปกติ จึงได้นำชิ้นส่วนประกอบ U21 ของหน่วยที่เกิดความล้มเหลวขณะทดสอบถอดออกจากชุดแผงวงจรพิมพ์ เพื่อไปทำการตรวจสอบที่ห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรมของผู้ผลิต จากผลการทดสอบพบว่าชิ้นส่วนได้เกิดความเสียหายทางกายภาพเนื่องจากกระแสไฟฟ้าซึ่งอาจเกิดได้จากการถ่ายเทประจุไฟฟ้า (ESD : Electrostatic Discharge) หรือความเสียหายเนื่องจากอุปกรณ์ได้รับกระแสไฟฟ้าสูงมากกว่าที่สามารถทนได้ ความล้มเหลวจากสาเหตุดังกล่าวจะส่งผลให้อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เกิดความเสียหาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับชิ้นส่วนประกอบที่มีความไวต่อไฟฟ้าสถิต



รูปที่ 3.3 ภาพการตรวจด้วยสายตาภายนอกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ



รูปที่ 3.4 ภาพการตรวจด้วยการตรวจสอบ X-Ray 2D

การตรวจสอบด้วยสายตาภายนอกและการตรวจสอบด้วย X-Ray ไม่ได้บ่งชี้ถึงความผิดปกติใดๆ ของชิ้นส่วนประกอบ CPU ของหน่วยอุปกรณ์ที่ล้มเหลวตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 3.3 และ ภาพที่ 3.4 แต่เมื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า ATE (Automated Test Equipment) จึงพบว่า

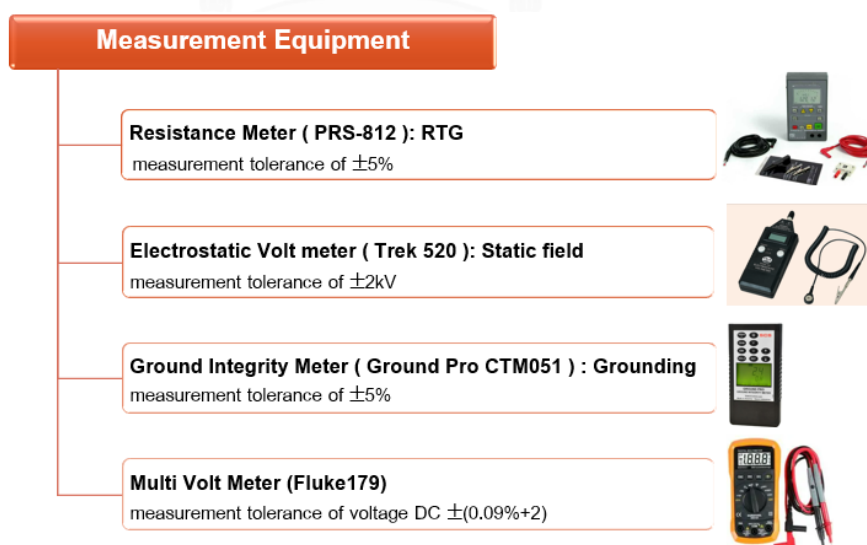
ชั้นส่วนเกิดความล้มเหลวในการส่งสัญญาณเนื่องจากเกิดการลัดวงจรในหลายๆ ตำแหน่งของชั้นส่วน (Short at multiple pins)

จากผลการวิเคราะห์สาเหตุของความล้มเหลวบ่งชี้ไปที่การเกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าจนทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายทางไฟฟ้า มีการตั้งสันนิษฐานว่าปัญหาเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต ทีมงานจึงระดมความคิดกันเพื่อหากระบวนการหรือกิจกรรมที่ก่อให้เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้า ทั้งในระหว่างกระบวนการผลิตแผงวงจรพิมพ์จนถึงกระบวนการประกอบ

### 3.3.3 กำหนดตัวชี้วัด:

กำหนดตัวชี้วัดการเกิดไฟฟ้าสถิตโดย

- ใช้การวัดค่าความต้านทานพื้นผิว (Resistance to Ground: RTG) โดยใช้เครื่องวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าสถิต (Ground Pro CTM051) ความต้านทานแสดงถึงความสามารถของวัสดุในการนำประจุไฟฟ้า (กระแสไหล) ไปที่จุดต่อกราวด์ที่ต่ออยู่ ยิ่งแนวต้านในเส้นทางสูงเท่าไร ประจุก็จะยิ่งเคลื่อนที่ช้าลงตามเส้นทางที่กำหนดไว้ ความต้านทานต่อพื้นผิวถูกวัดเพื่อให้แน่ใจว่าพื้นผิวได้รับการต่อสายดินอย่างถูกต้อง
- เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าสถิต (Electrostatic volt meter: Trek 520) เครื่องมือวัดนี้จะบอกว่ามีกระแสไฟฟ้าสถิตอยู่เท่าใดและมีค่าเป็นประจุบวกหรือลบ



รูปที่ 3.5 เครื่องมือที่บริษัทกรณีศึกษาใช้ในการวัดไฟฟ้าสถิต


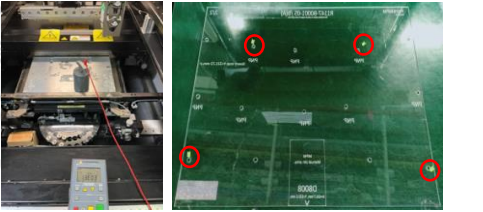

ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้ Electrostatic volt meter: Trek 520 และเครื่องวัด Resistance Meter รุ่น PRS-812 ในการวัดและการทดสอบสมมุติฐาน อ้างอิงเงื่อนไขในการยอมรับและปฏิเสธจากมาตรฐานของบริษัทกรณีศึกษาและมาตรฐาน ANSI/ESDA S.20.20

### 3.3.4 กำหนดปัจจัยที่จะทำการศึกษา:




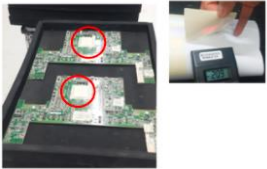

- อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิต
- กิจกรรมอื่นๆ ระหว่างกระบวนการผลิตเช่น การลอกเทป การเสียบสายไฟ
- พื้นที่บริเวณทำงานแต่ละสถานีนงาน

ผลการตรวจสอบปัญหาในทุกสถานีนงาน














ตารางที่ 3.2 ผลการตรวจสอบการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวที่เครื่องเล็กและวาง

หัวข้อตรวจสอบ	ข้อมูลจำเพาะ	รายละเอียดการตรวจสอบ		
		ผลการตรวจสอบ	ผลการประเมิน	หมายเหตุ
RTG	Resistance to Ground  <1E+09 Ohms.	Stencil no. L5160-D8-T- S5603-21-C  Value = 6.60E+05 Ohms.	Pass	
RTG	Resistance to Ground  <1E+09 Ohms.	Block Support  Value = 1.30E+03 Ohms.	Pass	
RTG	Resistance to Ground  <1E+09 Ohms.	Nozzle which pick up the U21 (Intel MicroP)  Value = 1.10E+08 Ohms. 3.50E+08 Ohms. 3.50E+08 Ohms	Pass	







ตารางที่ 3.3 ผลการตรวจสอบการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวที่สถานีไหลด้วยมือและบัดกรีด้วยคลื่น  
(Handload and Wave soldering)

หัวข้อตรวจสอบ	ข้อมูลจำเพาะ	รายละเอียดการตรวจสอบ		
		ผลการตรวจสอบ	ผลการประเมิน	หมายเหตุ
Soldering Iron Grounding	Resistance < 10 Ohm.	Soldering Iron no.: SDIR-014-  Value = 5.9 Ohm.	Pass	
Fixture/ Pallet	Resistance to Ground < 1E+09 Ohms.	Fixture : HLTC-D8032B01  Value = 5.90E+07 Ohms.	Pass	
PCBA grounding ( On Fixture )	Resistance to Ground < 1E+09 Ohms.	Value = 6.30E+07 Ohms.	Pass	
Process Require Insulator	Staitc Field < 125 V	Value = 209 V	Fail	
DIMM Conn. G200-11618-01	Volage < 35 V	Value = 42 V, 38V, 39V	Fail	







ตารางที่ 3.4 ผลการตรวจสอบที่สถานีทดสอบวงจรไฟฟ้า (ICT: In-Circuit Test)

หัวข้อตรวจสอบ	ข้อมูลจำเพาะ	รายละเอียดการตรวจสอบ		
		ผลการตรวจสอบ	ผลการประเมิน	หมายเหตุ
Grounding	Resistance to Ground	ICT S/N: US38240549 Value = 0.615 Ohms.	Pass	
	<1.0 Ohms.	Fixture S/N: FICT 2539 Value = 0.749 Ohms.	Pass	
RTG Fixture	Resistance to Ground	Fixture S/N: FICT 2539 Value = 3.10E+07 Ohms.	Pass	
	Resistance to Ground ( Cover )	Fixture S/N: FICT 2539 Value = 2.40E+07 Ohms.	Pass	
	Resistance to Ground ( Clamp lock )	Fixture S/N: FICT 2539 Value = 1.30E+11 Ohms.	Fail	 
	Resistance to Ground ( Guide pin )	Fixture S/N: FICT 2539 Value = 1.10E+11 Ohms.	Fail	 
RTG PCBA on Fixture	Resistance to Ground	Point 1 Value = 4.90E+07 Ohms.	Pass	
	<1E+09 Ohms.	Point 2 Value = 4.80E+07 Ohms.	Pass	
Static Field	< 125 V within 1 inch.	Surface Fixture Value: 6 V, 8 V.	Pass	
		Connector support Fixture Value: 1165 V, 413 V.	Fail	
		Cover Support BGA Value: 15 V, 7 V.	Pass	

ตารางที่ 3.5 ผลการตรวจสอบที่สถานี X-rays Inspection

หัวข้อตรวจสอบ	ข้อมูลจำเพาะ	รายละเอียดการตรวจสอบ		
		ผลการตรวจสอบ	ผลการประเมิน	หมายเหตุ
RTG	Resistance < 1 Ohm.	Machine no.: MY10133256S2EX Value = 0.924 Ohm.	Pass	
	Resistance to Ground <1E+09 Ohms.	Fixture no. D8_R1147- Value = 2.1E+06 Ohms.		Pass
PCBA grounding ( on fixture )	Resistance to Ground <1E+09 Ohms.	PCBA on fixture Value = 5.7E+07 Ohms.	Pass	
	Volage < 35 V	Voltage on PCBA - Before X-ray Value = 1 Volts. - After X-ray Value = 0 Volts.		Pass
Static field on PCBA	Volage < 35 V	Voltage on PCBA Value = -6 Volts.	Pass	
Static Field on PCBA	< 35 V	Value: 4 V	Pass	
		Value: 2 V	Pass	
		Value: 4 V	Pass	

ตารางที่ 3.6 ผลการตรวจสอบที่สถานี Functional Test

หัวข้อตรวจสอบ	ข้อมูลจำเพาะ	รายละเอียดการตรวจสอบ		
		ผลการตรวจสอบ	ผลการประเมิน	หมายเหตุ
Machine Grounding	Resistance < 1 Ohm.	Tester : CTHDE020 Value = 0.974 Ohm. 0.953 Ohm. 0.950 Ohm.	Pass	
		Tester : CTHDE013 Value = 0.587 Ohm. 0.620 Ohm. 0.287 Ohm.	Pass	
Process Required Insulators	Static Field < 2000 V within 12 inches of ESDS and < 125 V within 1 inch of ESDS.	Insulator : Cable#1 (within 12 inch) Value = 26 V , 26 V , 21 V	Pass	
		Insulator : Cable#2 (within 12 inch) Value = 33 V , 46 V , 40 V	Pass	
Cart	Resistance to Ground <1E+09 Ohms.	Cart no. Unit 9/1-07580 Value = 1.60E+05 Ohms.	Pass	
		Cart no. Unit 9/1-07581 Value = 6.70E+05 Ohms.	Pass	

### 3.4 สรุปการนิยามปัญหา

เมื่อศึกษากระบวนการผลิตและสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงาน โดยพิจารณาข้อมูลในอดีตหกเดือน ผู้ทำการวิจัยได้เลือกศึกษาและปรับปรุงข้อบกพร่องที่เกิดจากความล้มเหลวในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าจากหน่วยประมวลผลกลางของแผงวงจรพิมพ์ (Mainboard) ไม่ทำงานเนื่องจากเกิดความเสียหายทางไฟฟ้าระหว่างกระบวนการผลิต (เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้า) ในผลิตภัณฑ์AZ จากนั้นทีมงานได้ระดมความคิดเพื่อหาสาเหตุของปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหา เนื่องจากการถ่ายเทประจุไฟฟ้าสถิตในกระบวนการผลิต แล้วส่งผลให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายทางไฟฟ้า โดยกำหนดตัวแปรตอบสนองคือสัดส่วนปริมาณของเสียของหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ในหน่วยสัดส่วนในล้านส่วน (DPPM) จากนั้นทำการกำหนดปัจจัย ตัวชี้วัดและเครื่องมือต่างๆ ที่จะใช้ในการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนซึ่งจะแสดงให้เห็นในบทถัดๆ ไป



## บทที่ 4

### การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

จากข้อมูลในอดีตของบริษัทกรณีศึกษาพบว่าชิ้นงานไม่เป็นไปตามข้อกำหนด เนื่องจากการบกพร่องทางฟังก์ชันไฟฟ้าของอุปกรณ์เนื่องจากเกิดกระแสไฟฟ้าสถิต จากจำนวนการผลิตทั้งหมด 5,949 หน่วย เกิดความล้มเหลวของชิ้นงานขณะทดสอบ เนื่องจากชิ้นส่วนตัวประมวลผลกลาง U21 ถึง 114 ครั้ง คิดเป็นสัดส่วนของเสียเท่ากับ 19,162.88 DPPM ในบทที่แล้วได้มีการนิยามถึงปัญหาที่พบ เมื่อสามารถระบุปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาปรับปรุงได้แล้วในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุและปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหานั้นๆ โดยการใช้เครื่องมือทางสถิติเพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพของการวัด โดยเริ่มจากการจัดตั้งทีมงานของผู้เกี่ยวข้องในสายการผลิต โดยเป็นผู้ที่มีความชำนาญและประสบการณ์ที่มีส่วนช่วยในกระบวนการปรับปรุง การระดมความคิดและตรวจสอบกระบวนการผลิตในทุกๆ ขั้นตอนเพื่อร่วมกันกำหนดปัจจัยที่อาจจะก่อให้เกิดปัญหาได้

การวิเคราะห์ความแม่นยำของเครื่องมือวัดมีความจำเป็นในการแก้ไขปัญหาทางด้านคุณภาพเป็นอย่างมาก เนื่องจากเครื่องมือวัดที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์จะต้องอยู่ในสภาพที่ดี มีความเสถียร และตรวจวัดได้อย่างถูกต้องแม่นยำเพื่อให้ผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือไม่เกิดความคลาดเคลื่อนหรือผิดพลาดอันเนื่องมาจากระบบการวัด การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดในกระบวนการผลิตที่ใช้ในการศึกษานี้จะใช้ฟังก์ชันของการวัดที่เกี่ยวกับข้อบกพร่องทางไฟฟ้า โดยวัดจากค่ากระแสไฟฟ้าสถิตและค่าความต้านทานของวัสดุสัมผัสชิ้นงานที่สถานีงานในแต่ละจุด

#### 4.1 การวิเคราะห์ด้านความแม่นยำของระบบการวัด (Gage Repeatability & Reproducibility: GR&R)

การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดแบ่งออกเป็น การวิเคราะห์ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) วัดจากค่าความแตกต่างของการวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกัน เครื่องมือวัดเดียวกัน และพนักงานวัดคนเดียวกัน และความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) คือความแตกต่างของการวัดโดยพนักงานวัดคนละคนแต่วัดชิ้นงานเดียวกัน โดยใช้เครื่องมือวัดเดียวกัน ขั้นตอนการวัดเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์กระบวนการผลิตและความแม่นยำของอุปกรณ์การวัดก่อนทำการทดลองเพื่อตรวจสอบปัญหา เพื่อให้มั่นใจว่าข้อมูลที่ได้จากการระบบการวัดมีความแม่นยำถูกต้อง ไม่มีความผันแปรอันเนื่องมาจากพนักงานที่ทำกรวัด เครื่องมือที่ใช้วัด ชิ้นงานที่วัดหรือสภาพแวดล้อมภายนอกที่

อาจจะส่งผลกระทบต่อค่าที่ได้จากการวัด โดยเกณฑ์การยอมรับ %R&R อ้างอิงจากมาตรฐาน AIAG MSA 4th Edition ที่ใช้ในบริษัทกรณีศึกษา ดังนี้

- %R&R < 10% จะถือได้ว่าระบบการวัดมีความน่าเชื่อถือสูง
- %R&R อยู่ระหว่าง 10% - 30% จะถือได้ว่าระบบการวัดพอจะยอมรับได้
- %R&R มากกว่า 30% จะไม่สามารถเชื่อถือระบบการวัดได้ ต้องทำการหาสาเหตุเพื่อแก้ไขต่อไป

4.1.1 การวัดสนามไฟฟ้าสถิตด้วยเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Electrostatic volt meter: Trek 520) เครื่องมือวัดชนิดนี้จะบอกว่ามีกระแสไฟฟ้าสถิตอยู่เท่าใดและมีค่าเป็นประจุบวกหรือลบ เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบระดับแรงดันประจุไฟฟ้าสถิตที่สร้างขึ้น ณ จุดใดจุดหนึ่ง สามารถแสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าสถิตเป็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์) ที่ระยะน้อยกว่า 2.5 ซม. จากอุปกรณ์ที่ไวต่อการคายประจุไฟฟ้าสถิต (ESDS) อุปกรณ์สามารถชาร์จไฟฟ้าสถิตได้ถึง 125 โวลต์ (น้อยกว่า 125V) ในการศึกษานี้บอร์ดตัวอย่าง 10 ชิ้น ได้รับการเลือกแบบสุ่มเพื่อวัดสนามไฟฟ้าสถิตที่วางข้าง PCB โดยพนักงานวัดสองคนโดยการทำซ้ำทั้งหมดสามครั้ง



รูปที่ 4.1 แสดงการวัดสนามไฟฟ้าสถิตด้วย Electrostatic volt meter

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดโดยพนักงานฝ่ายคุณภาพสองคนโดยการวัดซ้ำสามครั้ง  
(หน่วย: โวลต์)

Date	22-Nov-22
Characteristic	Electrical voltage
Gage/Tester	Electrostatic Volt meter ( Trek 520 )
Gage number	3467

Operator	Mr.Pitipong M.				Mr.Natchanon I.			
	1 <sup>st</sup> trial	2 <sup>nd</sup> trial	3 <sup>rd</sup> trial	Average	1 <sup>st</sup> trial	2 <sup>nd</sup> trial	3 <sup>rd</sup> trial	Average
1	2.00	3.00	2.00	2.33	2.00	4.00	4.00	3.33
2	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.00	2.00	2.33
3	10.00	10.00	8.00	9.33	10.00	10.00	10.00	10.00
4	4.00	5.00	4.00	4.33	5.00	5.00	5.00	5.00
5	12.00	11.00	11.00	11.33	11.00	12.00	10.00	11.00
6	22.00	24.00	26.00	24.00	24.00	24.00	26.00	24.67
7	23.00	23.00	24.00	23.33	24.00	23.00	24.00	23.67
8	16.00	15.00	15.00	15.33	16.00	15.00	15.00	15.33
9	8.00	7.00	8.00	7.67	7.00	8.00	8.00	7.67
10	3.00	4.00	4.00	3.67	4.00	3.00	4.00	3.67
	Sum	313.00			Sum	320.00		
	X <sub>a</sub>	10.43			X <sub>b</sub>	10.67		

#### Gage R&R for Static field (V)

Gage name: Static volt meter  
Date of study: 2022  
Reported by: Jeeranan  
Tolerance:  
Misc:

#### Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	3562.35	395.817	967.154	0.000
Technician	1	0.82	0.817	1.995	0.191
Parts * Technician	9	3.68	0.409	0.630	0.765
Repeatability	40	26.00	0.650		
Total	59	3592.85			

$\alpha$  to remove interaction term = 0.05

#### Gage R&R

##### Variance Components

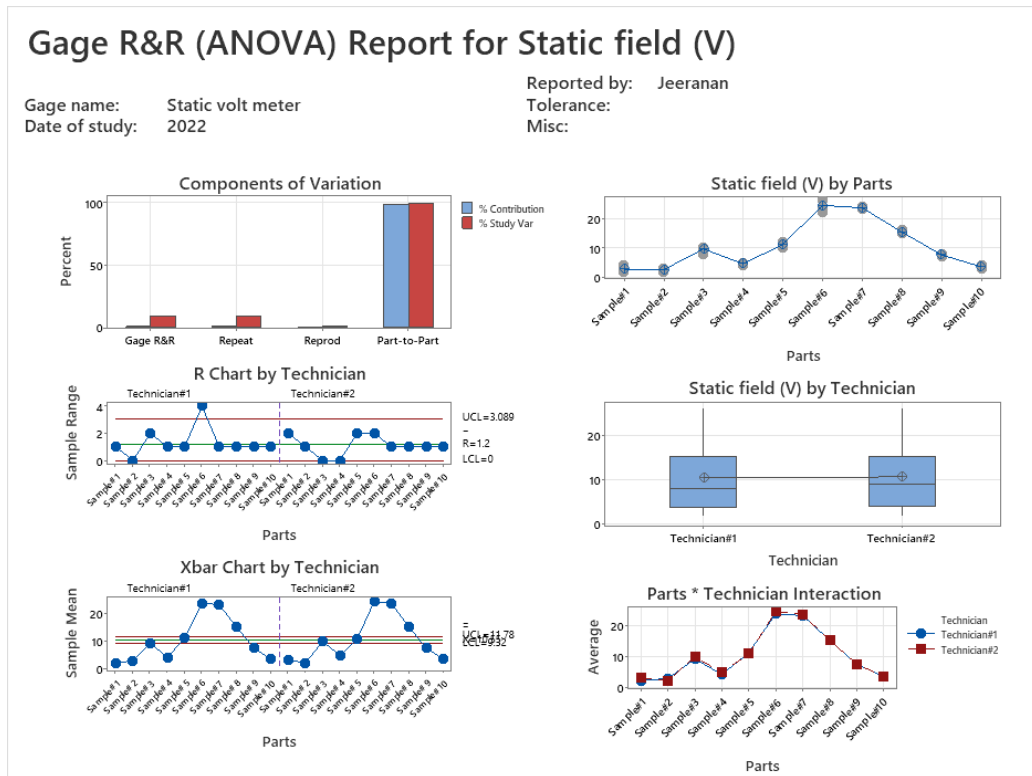
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.6128	0.92
Repeatability	0.6058	0.91
Reproducibility	0.0070	0.01
Technician	0.0070	0.01
Part-To-Part	65.8685	99.08
Total Variation	66.4813	100.00

##### Gage Evaluation

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.78282	4.6969	9.60
Repeatability	0.77832	4.6699	9.55
Reproducibility	0.08384	0.5031	1.03
Technician	0.08384	0.5031	1.03
Part-To-Part	8.11594	48.6956	99.54
Total Variation	8.15361	48.9216	100.00

Number of Distinct Categories = 14

รูปที่ 4.2 ผลการประเมินความผันแปรการวัดสนามไฟฟ้าสถิตด้วย Electrostatic volt meter



รูปที่ 4.3 แผนภาพประเมินความผันแปรการวัดสนามไฟฟ้าด้วย Electrostatic volt meter

#### ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำระบบการวัดสนามไฟฟ้าสถิตด้วย Electrostatic volt meter

จากข้อมูลการวัดที่วัดโดยพนักงานวัดสองคนโดยวิธี ANOVA แบบสองทาง สามารถวิเคราะห์หรือพิททะบิลิตี้ของความแปรปรวนของพนักงานวัดเดียวกันคือ 0.91 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่รีโปรดิซิบิลิตี้ของตัวอย่างเดียวกันโดยพนักงานวัดหลายคนคือ 0.01 เปอร์เซ็นต์ Gage R&R โดยรวมน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ โดยมีเปอร์เซ็นต์คอนทริบิวชัน 0.92 เปอร์เซ็นต์ พิจารณาได้ว่าการวัดสนามไฟฟ้าสถิตด้วย Electrostatic volt meter นั้นถูกต้องและสามารถแยกความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้อย่างแม่นยำ

- พิจารณาความแตกต่างระหว่างพนักงานวัดพบว่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.191 ซึ่งมากกว่า 0.05 (ระดับนัยสำคัญ) แสดงให้เห็นว่าพนักงานวัดทั้งสองให้ผลการวัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
- พิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานตัวอย่างพบว่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.765 ซึ่งมากกว่า 0.05 (ระดับนัยสำคัญ) สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ
- ผลรวม Gage R%R มีค่าเท่ากับ 0.92% (น้อยกว่า 10%) แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดนี้มีความแม่นยำและอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

- Number of distinct categories เท่ากับ 14 ประเภทของข้อมูลที่แตกต่างกัน (มากกว่า 5) แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดนี้สามารถแสดงความผันแปรของกระบวนการได้

4.1.2 การวัดค่าความต้านทานพื้นผิว (Resistance to Ground: RTG) โดยใช้เครื่องวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าสถิต (Ground Pro CTM051) ความต้านทานแสดงถึงความสามารถของวัสดุในการนำประจุไฟฟ้า (กระแสไหล) ไปที่จุดต่อกราวด์ที่อยู่ ยิ่งแนวต้านในเส้นทางสูงขึ้นเท่าไรประจุกก็ยิ่งเคลื่อนที่ช้าลงตามเส้นทางที่กำหนดไว้ ความต้านทานต่อพื้นผิวจะถูกวัดเพื่อให้แน่ใจว่าพื้นผิวได้รับการต่อสายดินอย่างถูกต้อง ในการศึกษานี้ได้ทำการวัดพาเลทสำหรับใส่แผงวงจร 10 ชั้น ได้รับการเลือกแบบสุ่มเพื่อวัดค่าความต้านทานพื้นผิว โดยพนักงานวัดสองคนโดยการทำซ้ำทั้งหมดสามครั้ง



รูปที่ 4.4 แสดงการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวด้วย Resistance meter

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลค่าความต้านทานที่วัดโดยพนักงานฝ่ายคุณภาพสองคนโดยการวัดซ้ำสามครั้ง

Date	22-Nov-22
Characteristic	Resistance to Ground
Gage/Tester	Resistance Meter ( PRS-812 )
Gage number	0410AB0044

Operator	Mr.Pitipong M.				Mr.Natchanon I.			
	1 <sup>st</sup> trial	2 <sup>nd</sup> trial	3 <sup>rd</sup> trial	Average	1 <sup>st</sup> trial	2 <sup>nd</sup> trial	3 <sup>rd</sup> trial	Average
1	2.10	1.80	2.00	1.97	2.10	1.90	1.80	1.93
2	2.70	2.50	3.00	2.73	3.00	3.20	2.60	2.93
3	9.00	8.80	8.70	8.83	8.20	8.00	8.50	8.23
4	2.00	2.90	2.00	2.30	3.00	2.50	2.20	2.57
5	5.40	5.00	5.30	5.23	5.20	5.50	6.00	5.57
6	3.30	3.60	3.20	3.37	2.30	2.60	2.10	2.33
7	8.40	8.20	9.10	8.57	8.50	9.30	9.10	8.97
8	2.20	2.20	2.20	2.20	2.30	2.20	2.50	2.33
9	6.80	7.20	6.90	6.97	7.20	6.90	7.70	7.27
10	4.60	4.60	5.00	4.73	4.80	4.00	4.60	4.47
	Sum	140.70			Sum	139.80		
	$X_a$	4.69			$X_b$	4.66		

(หน่วย: 1E+08 โอห์ม)

**Gage R&R for RTG (x1E+08Ohms)**

Gage name: Resistance meter  
 Date of study: 2022  
 Reported by: Jeeranan  
 Tolerance:  
 Misc:

**Two-Way ANOVA Table With Interaction**

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	378.568	42.0631	127.399	0.000
Technician	1	0.014	0.0135	0.041	0.844
Parts * Technician	9	2.972	0.3302	3.494	0.003
Repeatability	40	3.780	0.0945		
Total	59	385.332			

$\alpha$  to remove interaction term = 0.05

**Gage R&R**

**Variance Components**

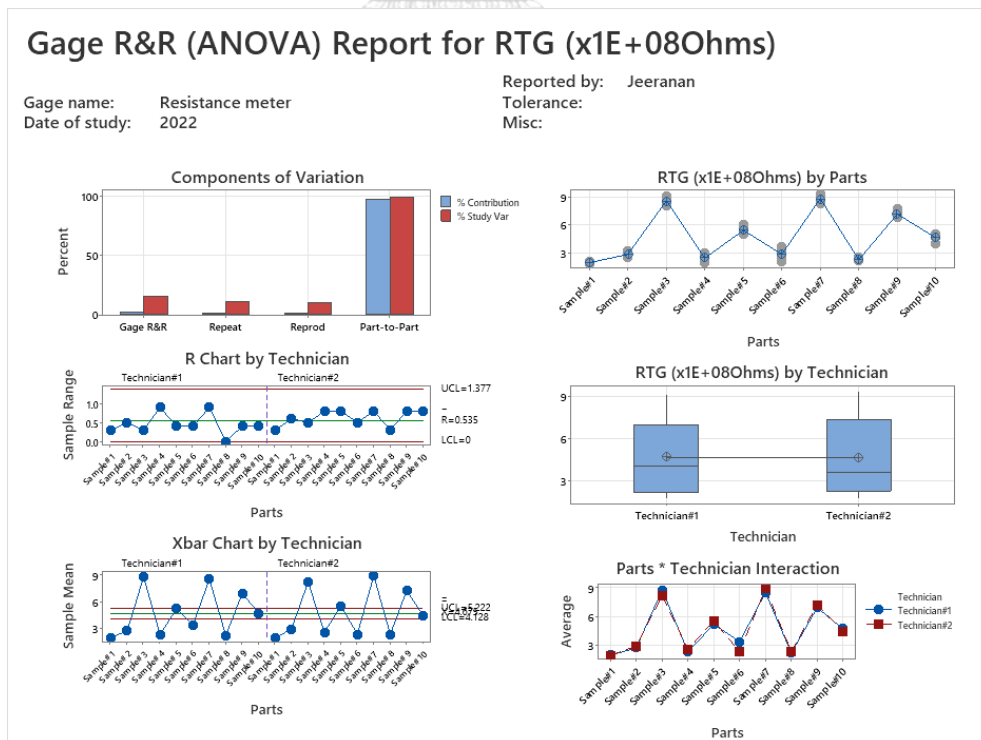
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.17306	2.43
Repeatability	0.09450	1.33
Reproducibility	0.07856	1.10
Technician	0.00000	0.00
Technician*Parts	0.07856	1.10
Part-To-Part	6.95548	97.57
Total Variation	7.12854	100.00

**Gage Evaluation**

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.41600	2.4960	15.58
Repeatability	0.30741	1.8445	11.51
Reproducibility	0.28028	1.6817	10.50
Technician	0.00000	0.0000	0.00
Technician*Parts	0.28028	1.6817	10.50
Part-To-Part	2.63732	15.8239	98.78
Total Variation	2.66993	16.0196	100.00

Number of Distinct Categories = 8

รูปที่ 4.5 ผลการประเมินความผันแปรการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวด้วย Resistance meter



รูปที่ 4.6 แผนภาพประเมินความผันแปรการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวด้วย Resistance meter

### ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำระบบการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวด้วย Resistance meter

จากข้อมูลการวัดที่วัดโดยพนักงานวัดสองคนโดยวิธี ANOVA แบบสองทาง สามารถวิเคราะห์รีพีทเทเบิลิตีของค่าความแปรปรวนของพนักงานวัดเดียวกันคือ 1.33 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่รีโพรดิวซิเบิลิตีของตัวอย่างเดียวกันโดยพนักงานวัดหลายคนคือ 1.10 เปอร์เซ็นต์ Gage R&R โดยรวมน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ โดยมีเปอร์เซ็นต์คอนทริบิวชัน 2.43 เปอร์เซ็นต์ พิจารณาได้ว่าการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวด้วย Resistance meter นั้นถูกต้องและสามารถแยกความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้อย่างแม่นยำ

- พิจารณาความแตกต่างระหว่างพนักงานวัดพบว่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.844 ซึ่งมากกว่า 0.05 (ระดับนัยสำคัญ) แสดงให้เห็นว่าพนักงานวัดทั้งสองให้ผลการวัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
- พิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานตัวอย่างพบว่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.003 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 (ระดับนัยสำคัญ) สามารถแสดงให้เห็นว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ
- ผลรวม Gage R%R มีค่าเท่ากับ 2.43% (น้อยกว่า 10%) แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดนี้มีความแม่นยำและอยู่ในระดับที่ยอมรับได้
- Number of distinct categories เท่ากับ 8 ประเภทของข้อมูลที่แตกต่างกัน (มากกว่า 5) แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดนี้สามารถแสดงความผันแปรของกระบวนการได้

### **4.2 แนวทางการวัดเพื่อเก็บข้อมูลเบื้องต้น**

เมื่อผ่านการตรวจสอบความแม่นยำของการวัดว่ามีความน่าเชื่อถือแล้ว ทีมงานซิกซ์ซิกมาได้จัดทำแผนการวัดเพื่อตรวจสอบกระบวนการผลิตตามแผนผังการไหลในทุกขั้นตอน เพื่อตรวจสอบหาปัจจัยและกระบวนการที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบ การประกอบ ติดตั้ง บรจจุหีบห่อ ติดฉลาก การทดสอบ การตรวจสอบ ขนส่งเคลื่อนย้าย หรือการจัดการกับชิ้นส่วนไฟฟ้า หรืออิเล็กทรอนิกส์ ชุดประกอบและอุปกรณ์ที่ไวต่อความเสียหายจากการปล่อยไฟฟ้าสถิตมากกว่า หรือเท่ากับ 100 โวลต์ HBM (Hand Body Model) ,200 โวลต์ CDM (Charge Devices Model)

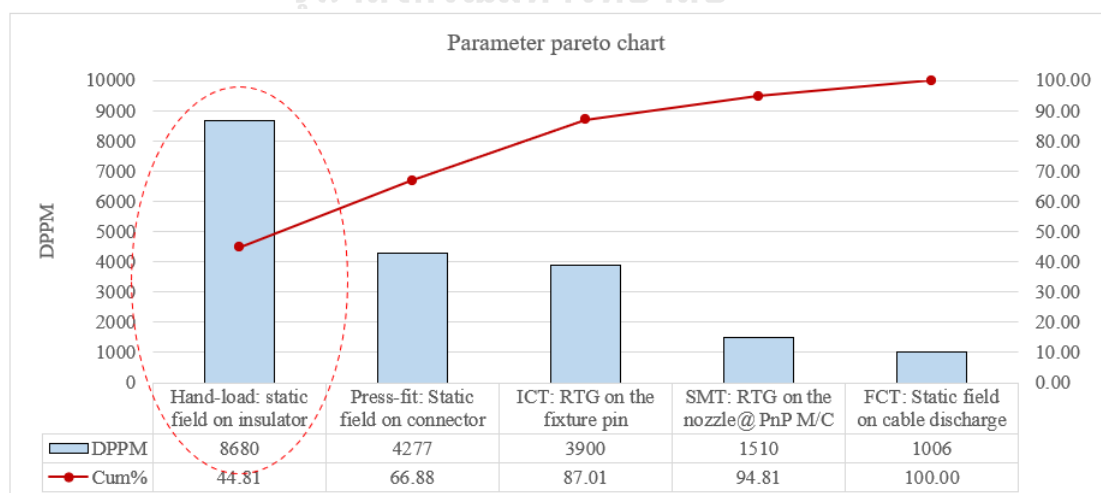
- บริเวณรับงาน (Receiving)
- บริเวณที่แกะหีบห่อและทำการตรวจรับชิ้นงาน ( Incoming Inspection)
- พื้นที่เก็บวัตถุดิบและสินค้า (Store and Warehouse)

- พื้นที่ทำการประกอบชิ้นส่วน (Assembly area)
- สถานีทดสอบและตรวจสอบชิ้นงาน (Test and Inspection)
- บริเวณบรรจุหีบห่อ (Packaging)
- สำนักงานและห้องทดลอง (Office and laboratories)

หลังจากการระดมความคิดที่ทีมงานได้ทำการประเมินกระบวนการผลิต เพื่อกำหนดกิจกรรมที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิตในสายการผลิต โดยพิจารณาชิ้นส่วนที่มีวงจรเกี่ยวข้องไปยังหน่วยประมวลผลกลางที่เกิดความล้มเหลวทางฟังก์ชันไฟฟ้า มีการวิเคราะห์ปัจจัยห้าประการที่อาจเป็นแหล่งที่มาของ ESD ดังนี้

1. สถานีโหลดด้วยมือ (Hand load) และขั้นตอนการบัดกรีด้วยคลื่น (Wave soldering) : ค่ากระแสไฟฟ้าสถิตบนอุปกรณ์ที่เป็นฉนวน (Insulative material) ที่ใช้ในกระบวนการ
2. สถานีสวมอัดชิ้นงาน (Press-Fit) : ประจุไฟฟ้าบนขาชิ้นส่วนตัวเชื่อมต่อชนิดหลายขา
3. การทดสอบวงจร (ICT): ความต้านทานต่อกราวนด์ (RTG) ที่จุดสัมผัสฟิกซ์เจอร์
4. SMT: ความต้านทานต่อกราวนด์ (RTG) บนหัวจับ CPU ที่เครื่องเลือกและวาง
5. สถานีทดสอบระบบ: ประจุไฟฟ้าที่เกิดระหว่างการถอดและเสียบสายเคเบิลที่พอร์ต IO

ในช่วงระยะเวลา 6 เดือนที่ผ่านมา มีการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับความล้มเหลวภายใต้ปัจจัย 5 ประการ โดยการจำลองเปิดระบบการทำงานของแผงวงจรแล้วบันทึกผล อัตราความล้มเหลวคำนวณจากจำนวนความล้มเหลวหารด้วยจำนวนนำเข้าและทำการเปรียบเทียบในหน่วย DPPM



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการบันทึกของเสียจากห้าปัจจัยที่เกี่ยวข้องในหน่วย DPPM



กราฟนี้แสดงให้เห็นถึงผลการบันทึกจำนวนข้อบกพร่องในแต่ละสถานีนงาน จาก 5 สถานีนงาน พบว่ามี 3 สถานีนงานที่มีค่า DPPM เกินเป้าหมายของบริษัท (2,000 DPPM) สนามไฟฟ้าสถิตบนฉนวน ที่สถานีโหลดด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น สนามไฟฟ้าสถิตที่ขาสัญญาณบนขั้วต่อแบบสวมอัด และ ค่าความต้านทานบนพินทดสอบทางไฟฟ้าที่ ICT Fixture จะได้รับการพิจารณาปรับปรุงให้เหมาะสม ในการศึกษานี้ ไฟฟ้าสถิตบนวัสดุที่เป็นฉนวนที่ใช้ระหว่างสถานีนงานโหลดด้วยมือจนถึงการบัดกรีด้วย คลื่นได้รับเลือกเป็นลำดับความสำคัญสูงสุดสำหรับการปรับปรุง

ทีมงานที่เกี่ยวข้องได้เข้าตรวจสอบสถานีนงานที่ทำให้เกิดของเสีย โดยทำการวัดค่าประจุไฟฟ้า ค่าความต้านทานพื้นผิวของอุปกรณ์ที่สัมผัสกับชิ้นงานอย่างละเอียด เพื่อทำการวิเคราะห์สาเหตุของ การเกิดไฟฟ้าสถิตต่อไป



## บทที่ 5

### การวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหา

#### 5.1 บทนำ

ขั้นตอนการวิเคราะห์เริ่มต้นจากการตรวจสอบแผนผังกระบวนการผลิต เพื่อหาจุดปรับปรุงประสิทธิภาพ แสดงรายการสาเหตุที่เป็นไปได้ และระบุปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อผลลัพธ์โดยใช้เครื่องมือทางสถิติ เช่น การทดสอบสมมติฐาน การออกแบบการทดลอง มีเครื่องมือและแนวคิดมากมายในขั้นตอนการวิเคราะห์ของกระบวนการซิกซ์ซิกม่า ซึ่งในบทนี้จะได้กล่าวถึงการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าของหน่วยประมวลผลกลางที่ส่งผลให้แผงวงจรพิมพ์ (Mainboard) เกิดความเสียหายทางไฟฟ้า โดยนำข้อมูลที่ได้จากระยะการวัดมาทำการวิเคราะห์

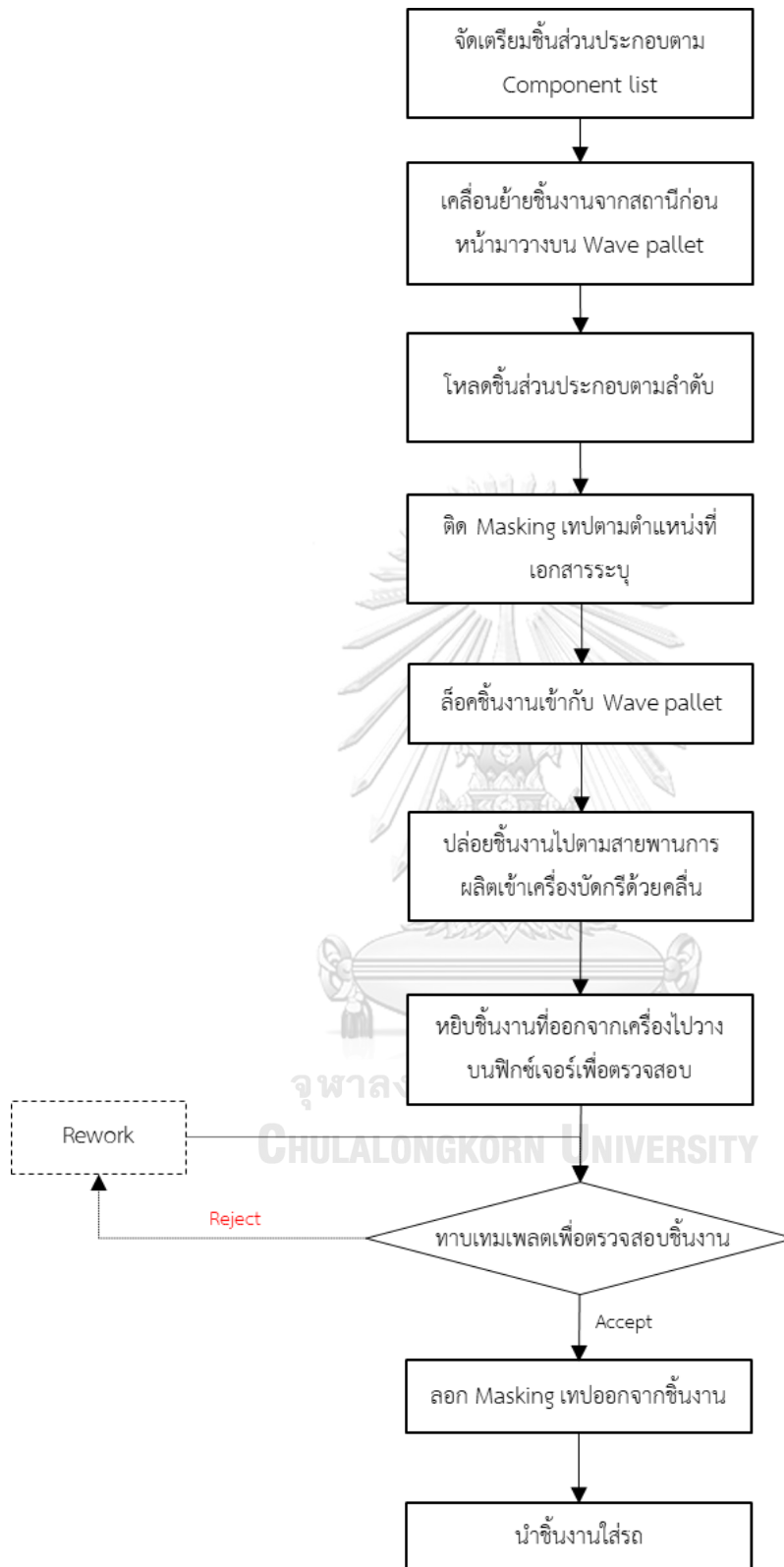
#### เป้าหมายของการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหา

- ใช้ข้อมูลการวัดเพื่อระบุสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหา
- ระบุสาเหตุที่แท้จริงโดยใช้การระดมความคิดและเทคนิคอื่นๆ
- ค้นหาสาเหตุสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสูงสุด
- ตรวจสอบสาเหตุที่แท้จริงโดยใช้เครื่องมือและเทคนิคทางสถิติที่เหมาะสม เช่น การทดสอบสมมติฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

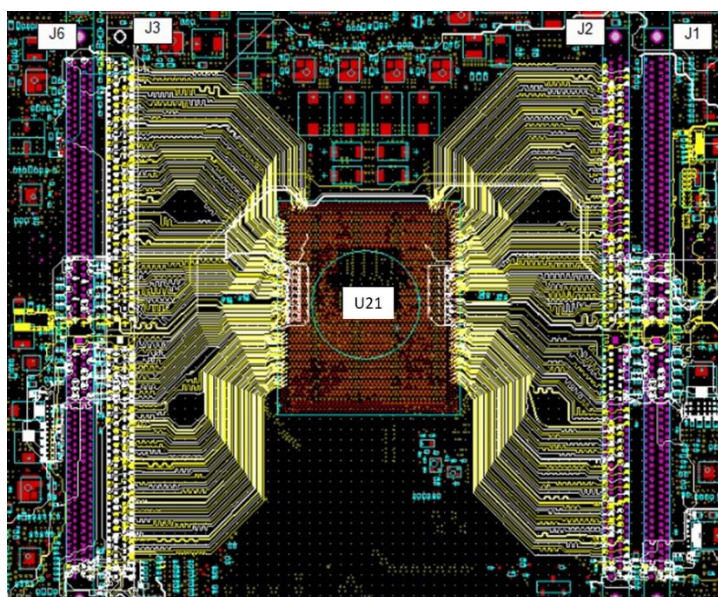
#### 5.2 วิเคราะห์กระบวนการผลิตสถานีไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น (Hand load and Wave soldering)

แหล่งกำเนิดประจุไฟฟ้าสถิตที่สถานีไหลด้วยมือ: อุปกรณ์ส่วนประกอบ PTH (ซูปผ่านรู) ถูกวางบนบอร์ดและติดเทปกาวบนแผงวงจรพิมพ์ก่อนการบัดกรีด้วยคลื่น เพื่อป้องกันการข้อบกพร่องที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดอื่นๆ เช่น การสาดประสานของตะกั่ว (Solder splash), ชิ้นส่วนแตกหักจากความร้อน และเพื่อให้การเชื่อมประสานของตะกั่วเป็นไปตามมาตรฐาน IPC-A-610 หลังจากที่ผ่านมากระบวนการแล้วเทปกาวนี้จะถูกลอกดึงออก กิจกรรมนี้อยู่ภายใต้การควบคุมโดยนัยของมาตรฐาน ANSI S20.20 ซึ่งอาจมีประจุไฟฟ้าสถิตสูงปรากฏบนเทปในขณะที่นำเทปออก วัสดุที่มีประจุสูงอาจจะเข้าใกล้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ระหว่างการใช้งาน จึงได้ทำการตรวจสอบปัจจัยที่ต้องสงสัยอีกครั้งเพื่อระบุแหล่งที่มาของประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้น



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนปฏิบัติที่สถานีโหลดด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น

วิเคราะห์วงจรทางไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อโดยตรงกับอุปกรณ์ U21 ที่สถานีไหลด้วยมือพบว่า Dimm connector ที่ประกอบที่สถานีงานนี้ 4 ตำแหน่งได้แก่ J1, J2, J3, และ J6 มีสัญญาณหลายสัญญาณที่เชื่อมต่อเข้าโดยตรงกับตำแหน่ง U21 ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์เหล่านี้จะส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าต่อตำแหน่ง U21 ได้ จึงได้เริ่มกระบวนการวัดเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหาในแต่ละกระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 5.2 แสดงวงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์ Dimm connector ที่สถานีไหลด้วยมือ

1). Static Field บน connector (spec. static voltage between -35 volts and +35 volts)

วิธีการวัดและสภาพการทำงานปัจจุบัน

- วัดกระแสไฟฟ้าสถิต (Voltage) บน DIMM connector ก่อนวางบนชิ้นงาน ระหว่างการวัดไม่พลิกขั้วต่อให้หันเข้าหาตัวสร้างประจุไอออน (Air Ionizer) +ไม่เปิด Air Ionizer



รูปที่ 5.3 แสดงลักษณะการวัด static field บนตัวอุปกรณ์ Dimm connector

### ผลการวัดที่ได้

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวอุปกรณ์ Dimm connector ก่อนประกอบ

Without Ionizer: Max Static field Spec. between -35 volts and +35 volts.					
Sample	Static field ( Volts )				
	1	2	3	4	5
Dimm Connector 1	-13	-25	-27	-22	-18
Dimm Connector 2	-21	-17	-19	-22	-16
Dimm Connector 3	-45	-56	-48	-39	-27
Dimm Connector 4	-48	-36	-24	-33	-30
Dimm Connector 5	38	29	17	24	25

2). ค่าแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ (spec. static voltage between -35 volts and +35 volts)

วิธีการวัดและสภาพการทำงานปัจจุบัน

- วัดกระแสไฟฟ้าสถิต (Voltage) บนขาสัญญาณของ DIMM connector แต่ละขา ก่อนวางบน PCBA ระหว่างการวัดไม่พลิกขั้วต่อให้หันเข้าหาตัวสร้างประจุไอออน (Air Ionizer) + ไม่เปิด Air Ionizer



รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะการวัดแรงดันไฟฟ้าบนขาอุปกรณ์ Dimm connector

### ผลการวัดที่ได้

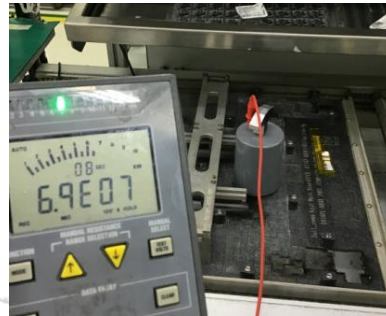
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนขาอุปกรณ์ Dimm connector ก่อนประกอบ

Without Ionizer : Max Static field Spec. between -35 volts and +35 volts.					
Sample	Voltage on signal Pin ( Volts )				
	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5
Dimm Connector 1	31	35	26	37	38
Dimm Connector 2	13	27	38	26	35
Dimm Connector 3	21	25	19	26	30
Dimm Connector 4	40	37	39	39	42
Dimm Connector 5	36	35	39	37	41

### 3). Wave pallet grounding (spec. Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.)

#### วิธีการวัดและสภาพการทำงานปัจจุบัน

- วัดความต้านทานพื้นผิว (RTG) บน Wave pallet ที่ใช้ใส่ชิ้นงานเข้าเครื่องบัดกรีด้วยคลื่น
- ตำแหน่งที่ใส่ชิ้นงานลงบน Wave pallet มีการติดตั้ง Air Ionizer เหนือสายพานการผลิต



รูปที่ 5.5 แสดงการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวของ Wave pallet ที่สถานีไหลด้วยมือ  
ผลการวัดที่ได้ : 6.9E+07 โอห์ม ( ผ่าน )

### 4). PCB Grounding (spec. Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.)

#### วิธีการวัดและสภาพการทำงานปัจจุบัน

- วัดความต้านทานพื้นผิว (RTG) บนชิ้นงานที่ก่อนเข้าเครื่องบัดกรีด้วยคลื่น
- ตำแหน่งที่วางชิ้นงานมีการติดตั้ง Air Ionizer เหนือสายพานการผลิต



รูปที่ 5.6 แสดงการวัดค่าความต้านทานพื้นผิวของชิ้นงานที่สถานีไหลด้วยมือ  
ผลการวัดที่ได้ : 3.8E+08 โอห์ม ( ผ่าน )

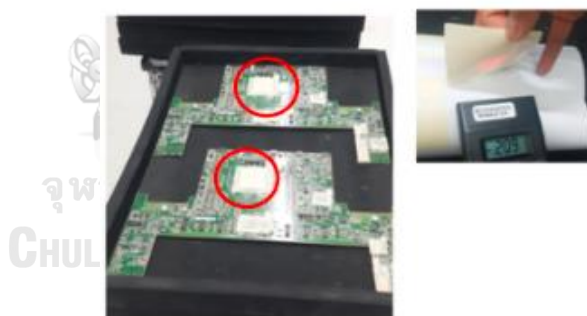
นอกเหนือจากการเกิดไฟฟ้าสถิตเนื่องจากอุปกรณ์อื่นๆ ที่เชื่อมต่อกับชิ้นส่วน U21 แล้วยังได้พิจารณาถึงกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์นั้นโดยตรงได้แก่ ขั้นตอนการติดเทปป้องกันความร้อนบนตัวอุปกรณ์โดยตรงและการลอกเทปออกหลังจากผ่านกระบวนการบัดกรีด้วยคลื่น เพื่อเป็นการป้องกันข้อบกพร่องอื่นๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการชุบตะกั่ว ทีมงานได้ทำการตรวจสอบการเกิดไฟฟ้าสถิตที่ขั้นตอนการติดเทปและลอกเทปเพื่อวิเคราะห์ผลต่อไป

5). Static Field on PCBA ที่กระบวนการลอก-ติดเทปกาว (spec. static voltage < 125 volts.)

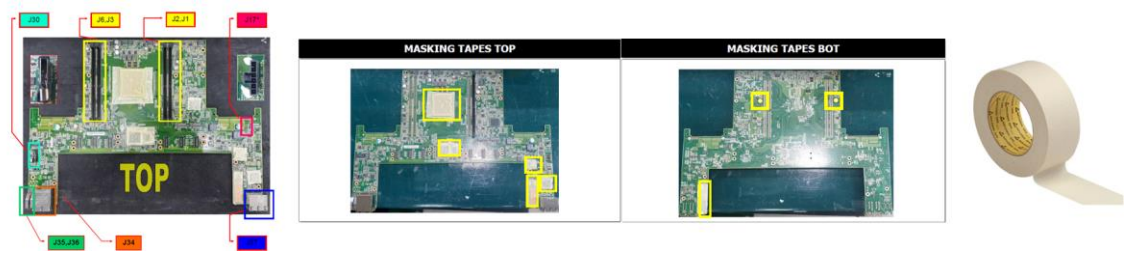
สำหรับฉนวนที่จำเป็นสำหรับกระบวนการผลิตใด ๆ ที่อยู่ห่างจากอุปกรณ์ที่ไวต่อไฟฟ้าสถิต และไม่มี การป้องกันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 มม. (2.5 ซม. หรือ 1 นิ้ว) แรงดันไฟฟ้าบนพื้นผิวของฉนวนจะต้องน้อยกว่า 125 โวลต์ เมื่อวัดด้วยโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้าสถิตแบบไม่สัมผัส เมื่อใช้เครื่องวัดสนามไฟฟ้าสถิตค่าที่อ่านได้จะต้องน้อยกว่า 125 โวลต์เมื่อวัดที่ระยะการวัดที่กำหนดของมิเตอร์

วิธีการวัดและสภาพการทำงานปัจจุบัน

- วัดแรงดันไฟฟ้าขณะลอกเทป
- ชิ้นงานวางบนถาดโฟมสีดำและที่โต๊ะทำงานไม่ได้ติดตั้ง Air Ionizer



รูปที่ 5.7 แสดงการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าขณะลอกเทปกั้นความร้อน  
ผลการวัดที่ได้ : 209 โวลต์ (ไม่ผ่าน )



รูปที่ 5.8 แสดงชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่วางที่สถานีไหลด้วยมือและตำแหน่งการติดเทป

### 5.2.1 การวิเคราะห์เหตุและผลที่สถานีไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น

การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดไฟฟ้าสถิตในแต่ละกิจกรรมที่สถานีไหลด้วยมือ และการบัดกรีด้วยคลื่น จากนั้นวิเคราะห์หาข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นได้ทั้งหมด

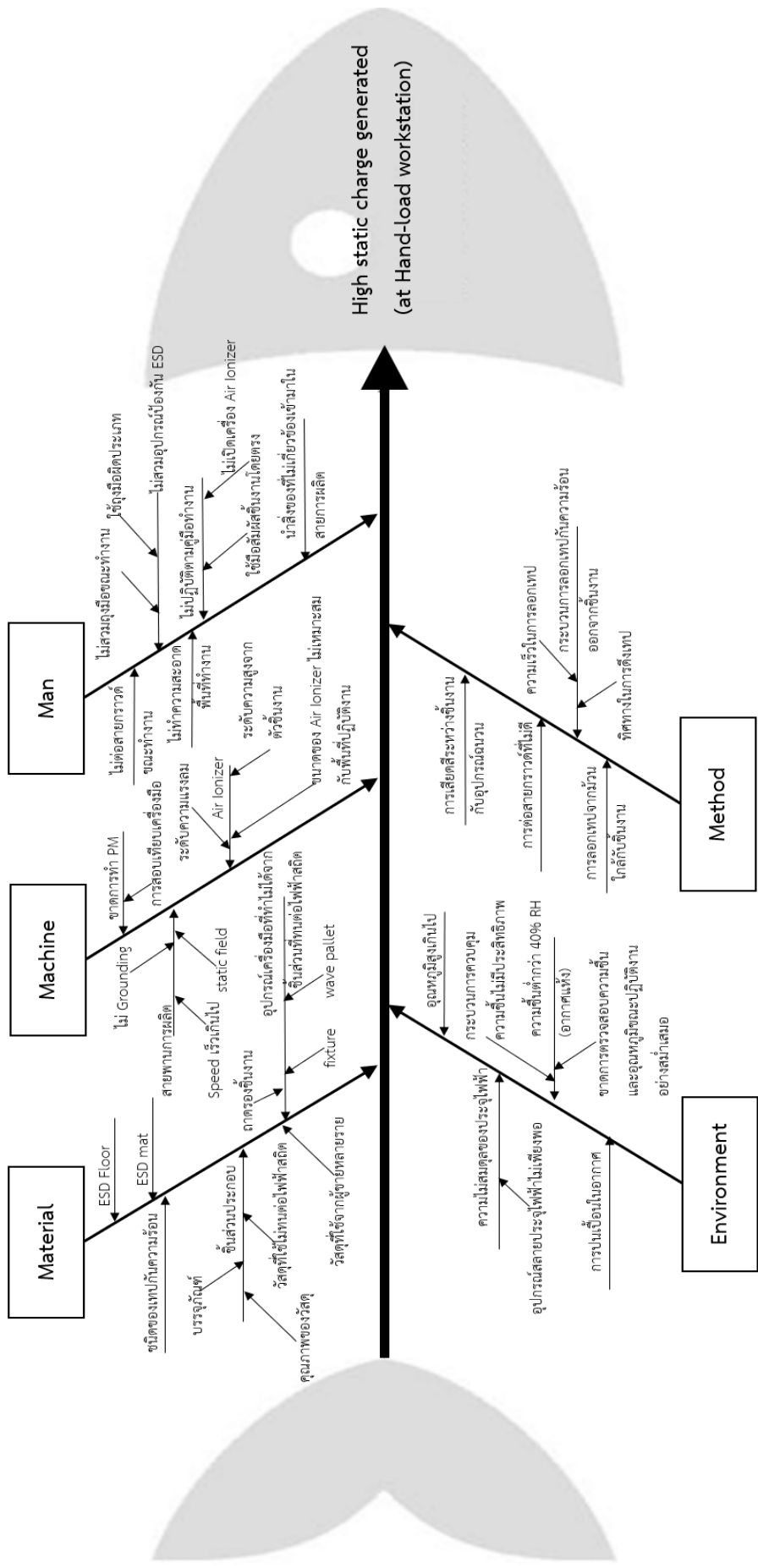
ตารางที่ 5.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดไฟฟ้าสถิตที่สถานีไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น

ลำดับที่	กิจกรรม	ปัจจัยนำเข้า	ลักษณะความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น	กลุ่มปัจจัย
1	การเคลื่อนย้ายแผงวงจรพิมพ์จากระเบียงในพาเลท	ถอดใส่ชิ้นงานไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ใช้ถาดใส่งานที่ไม่เป็น conductive tray	เกิดไฟฟ้าสถิตขณะจากการสัมผัสใช้งานทำให้เกิดการถ่ายเทประจุไปยังชิ้นงาน	Material
		ความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้าในอากาศ	ไอออนไนเซอร์ที่ไม่สมดุลสามารถสร้างประจุไฟฟ้าสถิตบนวัตถุใดๆ ที่ไม่ได้เชื่อมต่อกาวติดได้	Environment
2	ไหลชิ้นส่วน (part) ลงบนแผงวงจรพิมพ์	พนักงานไม่ต่อสายกราวด์ขณะทำงาน	กระแสไฟฟ้าสถิตไม่สามารถไหลผ่านลงดินเกิดการสะสมประจุไฟฟ้าสถิต	Man
		ความชื้นในอากาศที่ไม่เหมาะสม	เมื่อความชื้นในอากาศลดลงต่ำกว่า 40% RH จะทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้น	Environment
		ประจุไฟฟ้าสะสมที่สายพานการผลิต	สะสมประจุไฟฟ้าไว้เป็นจำนวนมาก สามารถก่อให้เกิดการ Discharge	Machine



ตารางที่ 5.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดไฟฟ้าสถิตที่สถานีโหลดด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น (ต่อ)

ลำดับที่	กิจกรรม	ปัจจัยนำเข้า	ลักษณะความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น	กลุ่มปัจจัย
		บรรจุหีบห่อของชิ้นส่วนประกอบที่ไม่ป้องกันไฟฟ้าสถิต	ชิ้นส่วนสะสมประจุไฟฟ้าก่อให้เกิดการ Discharge เมื่อสัมผัสกับชิ้นงาน	Material
		พนักงานไม่ใช้อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าสถิต	กระแสไฟฟ้าสถิตไม่สามารถไหลผ่านลงดิน	Man
3	การติดเทปป้องกันความร้อน	เกิดประจุไฟฟ้าขณะลอกเทป	เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปยังชิ้นงานทำให้อุปกรณ์เสียหาย	Method
		ไม่ใช้เทปที่มีคุณสมบัติป้องกันไฟฟ้าสถิต	เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปยังชิ้นงานทำให้อุปกรณ์เสียหาย	Material
		พนักงานจับชิ้นงานผิดวิธี ใช้มือสัมผัสชิ้นส่วนโดยตรง		Man
4	ชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่านเครื่องบัดกรีด้วยคลื่น	ความเร็วของสายพานการผลิตที่ไม่เหมาะสม	ไม่สามารถถ่ายเทประจุได้ทันขณะเคลื่อนผ่าน Air Ionizer	Machine
		Fixture ใส่ชิ้นงานไม่ Grounding	เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปยังชิ้นงานทำให้อุปกรณ์เสียหาย ความสมดุลทางไฟฟ้า	Material
		สิ่งแปลกปลอมที่เป็นสายพานการผลิตมีสิ่งปนเปื้อน	ฉนวนไฟฟ้าอาจทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตได้	Environment
5	การลอกเทปป้องกันความร้อนออกจากชิ้นงาน	ความเร็วในการดึงเทป	ไม่สามารถถ่ายเทประจุได้ทันขณะเคลื่อนผ่าน Air Ionizer	Method
		ระยะความสูงของ Air Ionizer กับชิ้นงานไม่เหมาะสม	ระยะความสูงที่ห่างเกินไปทำให้ไม่สามารถถ่ายเทประจุได้หมด	Machine
6	กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน	พนักงานจับชิ้นงานผิดวิธี ใช้มือสัมผัสชิ้นส่วนโดยตรง	เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปยังชิ้นงาน	Man
		พนักงานไม่ใช้อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าสถิต	กระแสไฟฟ้าสถิตไม่สามารถไหลผ่านลงดิน	Man



รูปที่ 5.9 แสดงแผนผังการวิเคราะห์เหตุและผลที่สถานีโหลดด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น

## 5.2.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) ที่สถานีโหลดด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยผังแสดงเหตุและผลแสดงให้เห็นถึงปัจจัยทั้งหมด ที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานผลิตและนำไปสู่การเกิดของเสียระหว่างกระบวนการ โดยการวิเคราะห์นั้นเป็นผลมาจากการระดมความคิดของทีมงานซิกซ์ซิกม่าที่มีความเชี่ยวชาญในกระบวนการผลิต มีประสบการณ์และมีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตชิ้นงานนี้ จากนั้นได้นำปัจจัยเหล่านั้นมาทำการวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบด้วยเครื่องมือ FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) เพื่อกรองปัจจัยที่ส่งผลกระทบและทำการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- กำหนดระดับความรุนแรงของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น (S: Severity) เกณฑ์การให้คะแนนคือ 1-6 โดย 1 หมายถึงผลกระทบจากปัญหาที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงน้อยที่สุดและ 6 คือผลกระทบจากปัญหาที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงมากที่สุด
- กำหนดระดับความถี่ในการเกิดปัญหา (O: Occurrence) เกณฑ์การให้คะแนนคือ 1-6 โดย 1 หมายถึงความถี่ของการเกิดข้อบกพร่องเกิดน้อยที่สุด และ 6 คือความถี่ของการเกิดข้อบกพร่องเกิดมากที่สุด
- กำหนดระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหา (D: Detection) เกณฑ์การให้คะแนนคือ 1-6 โดย 1 หมายถึงสามารถตรวจจับปัญหาได้ดีที่สุด และ 6 คือมีความสามารถในการตรวจจับปัญหาที่ต่ำที่สุด

หลังจากนั้นจะนำคะแนนที่ได้มาคำนวณค่าลำดับความสำคัญของความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) ซึ่งได้มาจากการคูณค่าลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ คือ  $S \times O \times D$  ในการศึกษานี้ค่าระดับความเสี่ยงที่เป็นไปได้ต่ำสุดคือ  $1 \times 1 \times 1$  ค่า RPN เท่ากับ 1 และระดับความเสี่ยงที่เป็นไปได้สูงสุดคือ  $6 \times 6 \times 6$  ค่า RPN เท่ากับ 216 จากข้อมูลปัจจัยนำเข้าข้างต้นนำมาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องที่อาจเป็นไปได้ทั้งหมด และผลกระทบของกระบวนการวางชิ้นส่วนประกอบด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น ดังแสดงในตารางโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.4 วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ที่สถานีไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น

Process FMEA   Process Failure Mode & Effects Analysis									
กระบวนการ (Process)	สถานีไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น (Hand load and Wave soldering)								
ผลิตภัณฑ์ (Product)	AZ (PCBA: Baseboard) R1147-G00xx-xx								
ลำดับที่	ลักษณะความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น	สาเหตุของความล้มเหลว	การควบคุมในปัจจุบัน	SEV	OCC	DET	RPN	Date	Report No.
1	เกิดไฟฟ้าสถิตเนื่องจากจากการสัมผัส/เสียดสีของชิ้นงานทำให้เกิดการถ่ายประจุไปยังอุปกรณ์ที่ไวต่อไฟฟ้าสถิต	ประจุไฟฟ้าสะสมจากภาคใส่ชิ้นงานขณะเคลื่อนย้าย พนักงานจับชิ้นงานผิดวิธี ใช้มือสัมผัสชิ้นส่วน/บอร์ดโดยตรง	มีการระบุชนิด/ขนาดของภาคใส่ชิ้นงานแต่ละรุ่นในคู่มือการปฏิบัติงาน ให้พนักงานปฏิบัติตามคู่มือปฏิบัติงาน	5	2	3	30	19-Dec-22	2022-FMEA-HL001 (Page 1)
									ปรับปรุงวัสดุที่จำเพาะเจาะจงสำหรับชิ้นงานที่มีความไวต่อไฟฟ้าสถิตมาก
							20		จัดอบรม ทวนสอบให้พนักงานมีความเข้าใจและตระหนักถึงการปฏิบัติตามคู่มือปฏิบัติงานอย่างเคร่งครัด
							40		จัดอบรม ทวนสอบให้พนักงานมีความเข้าใจและตระหนักถึงการปฏิบัติตามคู่มือปฏิบัติงานอย่างเคร่งครัด
							24		จัดอบรม ทวนสอบให้พนักงานมีความเข้าใจและตระหนักถึงการปฏิบัติตามคู่มือปฏิบัติงานอย่างเคร่งครัด

Process FMEA   Process Failure Mode & Effects Analysis									
กระบวนการ (Process)		สถานที่ผลิตด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น (Hand load and Wave soldering)					Report No.		
ผลิตภัณฑ์ (Product)		AZ (PCBA: Baseboard) R1147-G00xx-xx					Date		
ลำดับที่	ลักษณะความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น	สาเหตุของความล้มเหลว	การควบคุมในปัจจุบัน	SEV	OCC	DET	RPN	ค่าแนะนำดำเนินการ	
2	ประจุไฟฟ้าสะสมที่สายพานการผลิตก่อให้เกิดการ Discharge ขณะไหลลงบอร์ดเข้าสู่เครื่องบัดกรีด้วยคลื่น	ความเร็วของสายพานการผลิต Loading conveyor speed	ควบคุมพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องตามแผนการควบคุมการผลิต	5	3	5	75	ทำการทดลองเพื่อหาค่า speed ที่เหมาะสม	
		ชนิดของวัสดุและความกว้างของสายพานการผลิต	ควบคุมพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องตามแผนการควบคุมการผลิต	4	1	2	8	เลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับการผลิตชิ้นงานที่ไวต่อการเกิดไฟฟ้าสถิต	
3	ประจุไฟฟ้าสะสมที่ Wave pallet ก่อให้เกิดการ Discharge ขณะบอร์ดเคลื่อนที่	ชนิดของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับ Wave pallet	ไม่มีการควบคุม	4	2	5	40	เลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับการผลิตชิ้นงานที่ไวต่อการเกิดไฟฟ้าสถิต	
4	ประจุไฟฟ้าสะสมที่บรรจุภัณฑ์ของชิ้นส่วนประกอบ เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปยังแผงวงจรพิมพ์	การนำบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ไวสุดป้องกันไฟฟ้าสถิตเข้ามาในสายการผลิต	ขึ้นสวบระกอบต้องถูกเตรียมใส่บรรจุภัณฑ์ที่กำหนดก่อนเข้าสู่สายการผลิต	5	2	4	40	จัดอบรม ทวนสอบให้พนักงานมีความเข้าใจและตระหนักถึงการปฏิบัติตามคู่มือปฏิบัติงานอย่างเคร่งครัด	
		ผู้ผลิตชิ้นส่วนใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีความสมบูรณ์ป้องกันไฟฟ้าสถิต	Data sheet / Drawing	4	3	3	36	ปรึกษากับผู้ผลิตเพื่อหาแนวทางปรับปรุงบรรจุภัณฑ์	

Process FMEA   Process Failure Mode & Effects Analysis									
กระบวนการ (Process)	สถานที่ผลิตด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น (Hand load and Wave soldering) <th>Report No.</th> <td colspan="4">2022-FMEA-HL001 (Page 3)</td>				Report No.	2022-FMEA-HL001 (Page 3)			
ผลิตภัณฑ์ (Product)	AZ (PCBA: Baseboard) R1147-G00xx-xx				Date	19-Dec-22			
ลำดับที่	ลักษณะความเสี่ยงใหม่ที่อาจเกิดขึ้น	สาเหตุของความเสี่ยง	การควบคุมในปัจจุบัน	SEV	OCC	DET	RPN	ค่าแนะนำดำเนินการ	
5	ความชื้นในอากาศที่ไม่เหมาะสมเมื่อความชื้นในอากาศลดลงต่ำกว่า 40% RH จะทำให้วัสดุมีประจุไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้น	ขาดการตรวจสอบ ตรวจวัด ความชื้นและอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ	ทีมงานฝ่ายอาคารและความปลอดภัยทำการทวนสอบตามรอบ	3	2	4	24	เพิ่มระดับความถี่ในการเข้าตรวจสอบของพนักงานตรวจสอบและรายงานผลต่อเจ้าของพื้นที่ปฏิบัติงาน	
6	ความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้าในอากาศ	ไม่มีระบบแจ้งเตือนพนักงานหน้างานเมื่ออุณหภูมิไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	ทีมงานฝ่ายอาคารและความปลอดภัยแจ้งต่อเจ้าของพื้นที่เมื่อพบความผิดปกติ	4	2	4	32	พิจารณาระบบตรวจสอบและแจ้งเตือนต่อพนักงานที่เกี่ยวข้องเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขได้ทันที	
		พนักงานไม่เปิดพัดลมสลายประจุไฟฟ้า (Air Ionizer) ขณะทำงานที่โต๊ะทำงาน	ไม่มีการระบุเชิงบังคับสำหรับการติดตั้งงานในแต่ละรุ่น	5	4	2	40	เพิ่มการควบคุมการเปิดพัดลมสลายประจุไฟฟ้าที่สถานีทำงาน	
		ระดับความแรงลมของพัดลมสลายประจุไฟฟ้า	ไม่มีการควบคุมระดับ	5	3	5	75	ทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐานว่าความแรงของพัดลมมีผลหรือไม่	

Process FMEA   Process Failure Mode & Effects Analysis									
กระบวนการ (Process)	สถานที่ไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น (Hand load and Wave soldering)								
ผลิตภัณฑ์ (Product)	AZ (PCBA: Baseboard) R1147-G00xx-xx								
ลำดับที่	ลักษณะความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น	สาเหตุของความล้มเหลว	การควบคุมในปัจจุบัน	SEV	OCC	DET	RPN	Report No.	2022-FMEA-HL001 (Page 4)
		ชนิดของพัดลมสลายประจุไฟฟ้าไม่เหมาะสม	อ้างอิงจากเอกสารกลางของบริษัท	5	1	3	15		ปฏิบัติตามมาตรฐานของบริษัท
		ตำแหน่งที่ตั้ง Air Ionizer ไม่เหมาะสม	มีการระบุตำแหน่งในการติดตั้งพัดลมสลายประจุในเอกสารกลางของบริษัท	5	2	2	20		ปฏิบัติตามมาตรฐานของบริษัท
7	เกิดไฟฟ้าสถิตขณะไหลชิ้นส่วน (part) ลงบนแผงวงจรพิมพ์	ทิศทางการวางชิ้นส่วนประกอบก่อนการประกอบเข้ากับแผงวงจรพิมพ์	ไม่มีการควบคุม	5	5	4	100		ทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน
8	เกิดไฟฟ้าสถิตขณะติดตั้งและลอกเทปกันความร้อน	ชนิดของเทปกันความร้อน	ไม่มีการควบคุม	5	2	3	30		เลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติป้องกันไฟฟ้าสถิต
		วิธีในการลอกเทป ความเร็วระยะเวลาในการดึงเทปออกจากชิ้นงาน	ไม่มีการควบคุม	5	4	4	80		ทำการทดลองเพื่อหาวิธีการทำงานที่ดีที่สุด

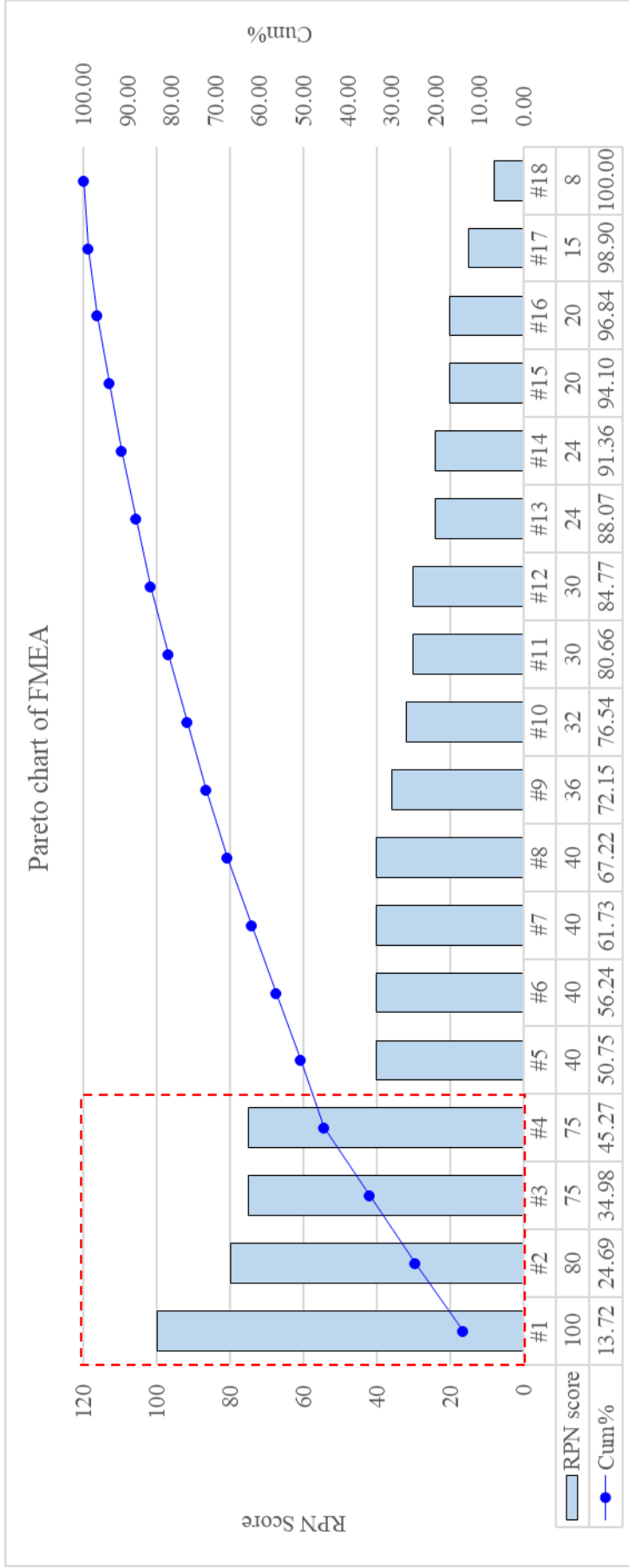
จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ที่สถานีไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่นทำให้สามารถจัดลำดับความสำคัญของปัญหาได้จากสาเหตุที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องของชิ้นงานโดยการนำผลคะแนน RPN มาเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยเพื่อเลือกปัจจัยที่สำคัญที่มีผลคะแนน RPN สูง สำหรับการนำไปพิจารณาปรับปรุงแก้ไขต่อไป

ตารางที่ 5.5 จัดลำดับสาเหตุของการเกิดปัญหาจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ที่สถานีไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น

อันดับที่	สาเหตุของความล้มเหลว	RPN
1	ทิศทางการวางชิ้นส่วนประกอบก่อนการประกอบเข้ากับแผงวงจรพิมพ์	100
2	วิธีในการลอกเทป ความเร็ว ระยะเวลาในการดึงเทปออกจากชิ้นงาน	80
3	ความเร็วของสายพานการผลิต (Loading conveyor speed)	75
4	ระดับความแรงลมของพัดลมสลายประจุไฟฟ้า (Air Ionizer speed)	75
5	การต่อระบบบราวน์ที่ไม่ดีขณะทำงานใช้สายรัดข้อมือ (Wrist strap) พร้อมกับระบบ Grounding	40
6	ชนิดของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับ Wave pallet	40
7	การนำบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ใช้วัสดุป้องกันไฟฟ้าสถิตเข้ามาในสายการผลิต	40
8	พนักงานไม่เปิดพัดลมสลายประจุไฟฟ้า (Air Ionizer) ขณะทำงานที่โต๊ะทำงาน	40
9	ผู้ผลิตชิ้นส่วนใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีคุณสมบัติป้องกันไฟฟ้าสถิต	36
10	ไม่มีระบบแจ้งเตือนพนักงานหน้างานเมื่ออุณหภูมิไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	32
11	ประจุไฟฟ้าสะสมจากภาคใส่ชิ้นงานขณะเคลื่อนย้าย	30
12	ชนิดของเทปกั้นความร้อนไม่ทนต่อการเกิดไฟฟ้าสถิต	30
13	พนักงานไม่ใช้อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าสถิต (ถุงมือและรองเท้าที่สวมใส่ไม่เป็นไปตามระเบียบ)	24
14	ขาดการตรวจสอบ ตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ	24
15	พนักงานจับชิ้นงานผิดวิธี ใช้มือสัมผัสชิ้นส่วน/บอร์ดโดยตรง	20
16	ตำแหน่งที่ตั้ง Air Ionizer ไม่เหมาะสม	20
17	ชนิดของพัดลมสลายประจุไฟฟ้าไม่เหมาะสม	15
18	ชนิดของวัสดุและความกว้างของสายพานการผลิต	8

ในขั้นตอนนี้ได้เลือก 4 อันดับปัจจัยแรกที่มีคะแนนสูงเกิน 50 ไปพิจารณาการปรับปรุงปัจจัยนำเข้าได้แก่ ทิศทางในการวางชิ้นส่วนก่อนการประกอบ ระยะเวลาในการลอกเทปกั้นความร้อนออกจากชิ้นงาน ความเร็วของสายการผลิต และระดับความแรงลมของพัดลมสลายประจุ

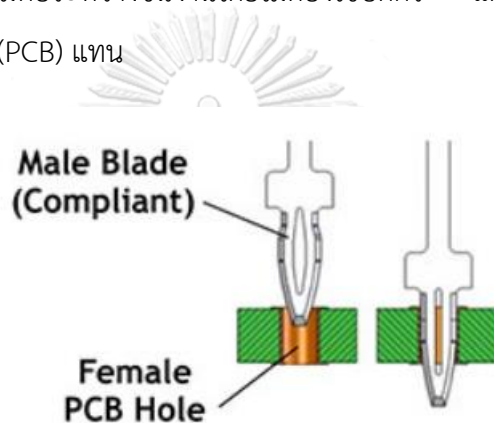




รูปที่ 5.10 กราฟแสดงการจัดการลำดับสาเหตุของปัญหาที่ได้จากค่าลำดับความสำคัญของความเสียหายที่สถานีไหลลดด้วยมือและการปรับกรีดด้วยคลื่น

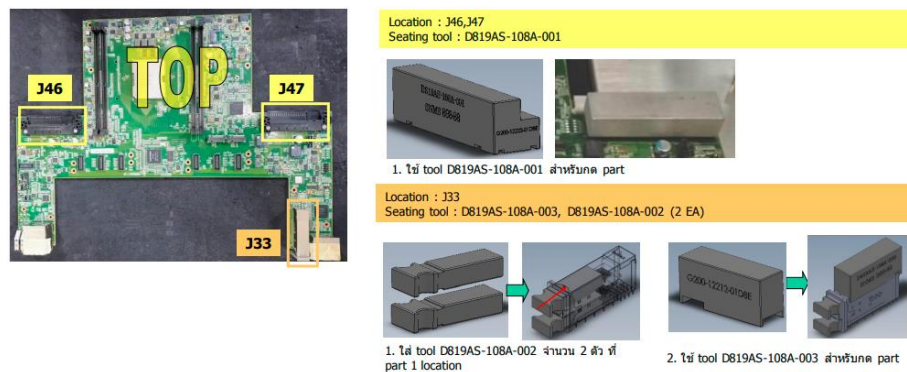
### 5.3 วิเคราะห์กระบวนการสวมอัดชิ้นงาน (Press fit assembly process)

กระบวนการสวมอัดคือการยึดชิ้นส่วนสองส่วน ซึ่งทำได้โดยใช้การอัดชิ้นงานหนึ่งลงไปบนอีกชิ้นงานหนึ่งโดยอาศัยแรงเสียดทานระหว่างชิ้นงานทั้งสอง โดยปกติชิ้นงานที่จะทำการสวมอัดนั้นจะเป็นชิ้นงานที่เป็นเพลากับรู โดยจะทำให้ชิ้นงานที่เป็นรูนั้นมีขนาดเล็กกว่าชิ้นงานที่เป็นเพลาก่อน จากนั้นเครื่องอัดไฮดรอลิกจะทำการอัดเพลาลงไปในรู แรงกดนั้นจะต้องชนะแรงเสียดทานระหว่างชิ้นงานทั้งสอง โดยความแน่นในการอัดนั้นขึ้นอยู่กับระยะที่เกยกันอยู่ระหว่างชิ้นงานทั้งสอง ปัจจุบันเทคโนโลยี Press-Fit ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยเทคโนโลยี Press-Fit ผู้ผลิตสามารถสร้างการเชื่อมต่อระหว่างชิ้นงานโดยไม่ต้องใช้บัดกรี แต่ใช้การอัดชิ้นส่วนลงในรูทะลุ (PTH) ของแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) แทน

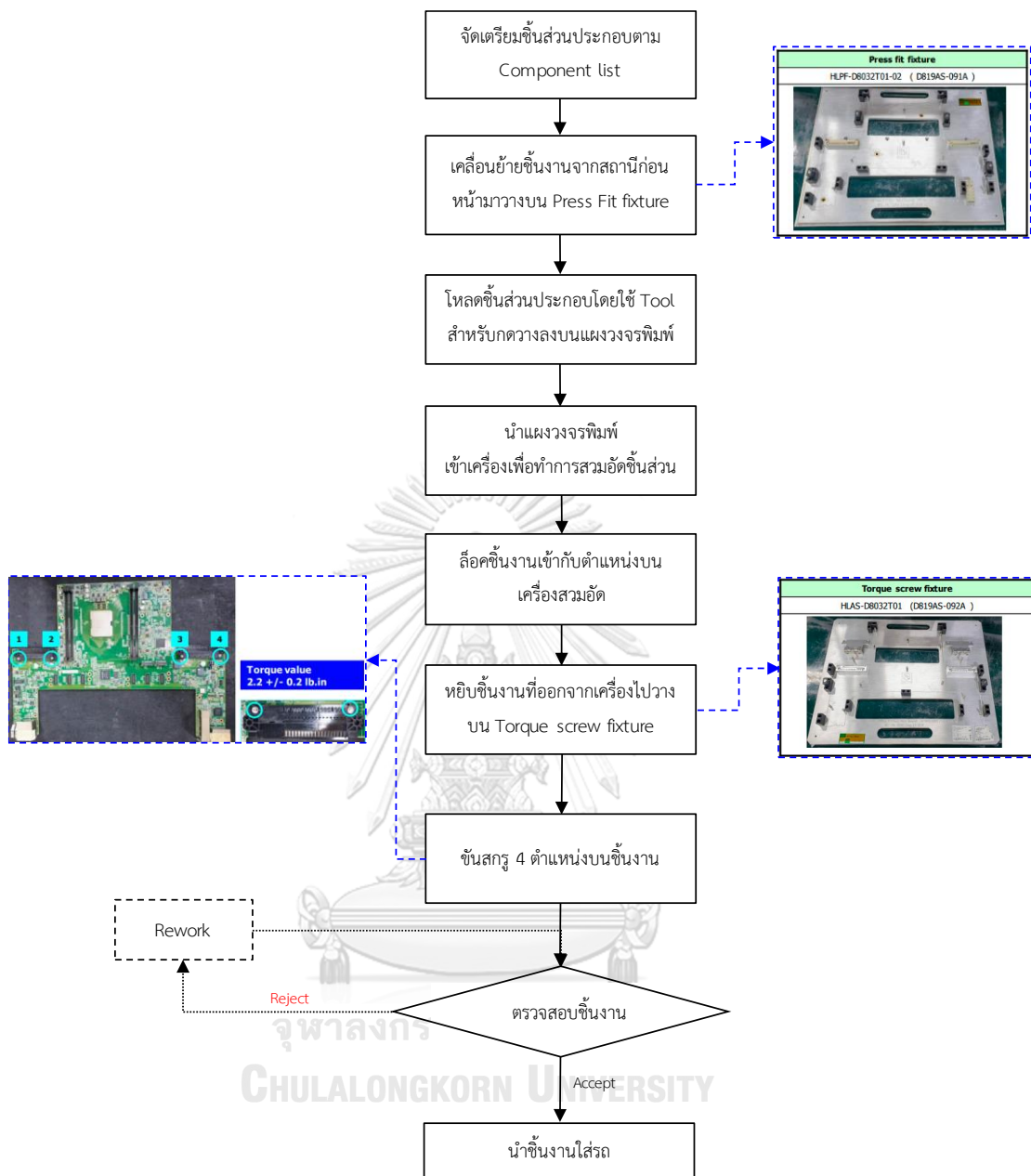


รูปที่ 5.11 แสดงลักษณะการสวมอัดชิ้นส่วนลงบนแผ่นวงจรพิมพ์

พิจารณากระบวนการสวมอัดชิ้นงานพบว่ามีการประกอบชิ้นส่วนทั้งหมด 3 ชิ้น ที่ขั้นตอนนี้ได้แก่ ชิ้นส่วนสำหรับเชื่อมต่อ (Connector SPF 1 ชิ้น และ Power connector 2 ชิ้น) ที่ทีมงานได้ตรวจสอบความเป็นไปได้ของต้นเหตุของการเกิดไฟฟ้าสถิตย์อย่างละเอียด เพื่อหาสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องของชิ้นงานต่อไป



รูปที่ 5.12 แสดงชิ้นส่วนประกอบและตำแหน่งการประกอบที่สถานีสวมอัด



รูปที่ 5.13 กระบวนการสวมอัดชิ้นงาน (Press fit assembly process)

ทีมงานได้ทำการตรวจวัดการเกิดไฟฟ้าสถิตที่ตำแหน่งต่างๆ รวมไปถึงชิ้นส่วนสำหรับเชื่อมต่อ (Connector SFP 1 ชิ้น และ Power connector 2 ชิ้น) ซึ่งมีสัญญาณเชื่อมต่อโดยตรงถึงอุปกรณ์หน่วยประมวลผลกลางตำแหน่ง U21

1). Static field บนตัวชิ้นส่วน SFP connector (spec. static voltage < 125 volts.) ขณะชิ้นงานอยู่ในถาด

วิธีการวัดและสภาพการทำงานปัจจุบัน

- วัดค่าแรงดันไฟฟ้าขณะชิ้นส่วนอยู่ในถาด
- ชิ้นงานวางบนโต๊ะทำงานที่ไม่ได้ติดตั้ง Air Ionizer



รูปที่ 5.14 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน SFP connector (ขณะชิ้นงานอยู่ในถาด) ผลการวัดที่ได้

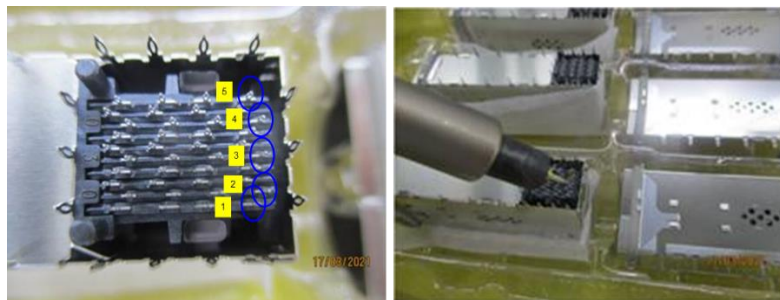
ตารางที่ 5.6 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน SFP connector (ขณะชิ้นงานอยู่ในถาด)

Without Ionizer: Max Static field Spec. less than 125 Volts					
Sample	Static field (Volts)				
	1	2	3	4	5
SFP Connector 1	133	126	100	102	137
SFP Connector 2	52	59	48	66	38
SFP Connector 3	126	158	148	109	136
SFP Connector 4	23	22	17	42	29
SFP Connector 5	139	98	120	133	146

2). ค่าแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector ขณะชิ้นงานอยู่ในถาด ( spec. static voltage between -35 volts and +35 volts)

วิธีการวัดและสภาพการทำงานปัจจุบัน

- วัดแรงดัน (Voltage) ที่ขาสัญญาณอุปกรณ์ก่อนวางบน PCBA ขณะชิ้นส่วนอยู่ในถาด โดยทำการพลิกชิ้นส่วนให้ขาสัญญาณหงายขึ้นด้านบนเพื่อทำการวัด
- ชิ้นงานวางบนโต๊ะทำงานที่ไม่ได้ติดตั้ง Air Ionizer



รูปที่ 5.15 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector (ขณะชิ้นงานอยู่ในถาด)  
ผลการวัดที่ได้

ตารางที่ 5.7 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector (ขณะชิ้นงานอยู่ในถาด)

Without Ionizer: Max Static field Spec. between -35 volts and +35 volts.					
Sample	Voltage on signal Pin (Volts)				
	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5
SFP Connector 1	42	56	26	36	38
SFP Connector 2	22	22	42	26	47
SFP Connector 3	41	25	29	36	20
SFP Connector 4	32	37	49	44	32
SFP Connector 5	47	33	39	53	52

3). Static field บนตัวชิ้นส่วน SFP connector ขณะที่พนักงานหยิบชิ้นส่วนออกจากถาด (spec. static voltage < 125 volts.)

วิธีการวัดและสภาพการทำงานปัจจุบัน

- วัดค่าแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วนขณะพนักงานหยิบชิ้นส่วนออกจากถาด
- พนักงานทำงานบนโต๊ะทำงานที่ไม่ได้ติดตั้ง Air Ionizer



รูปที่ 5.16 การวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน SFP connector (ขณะหยิบชิ้นส่วนออกจากถาด)

### ผลการวัดที่ได้

ตารางที่ 5.8 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน SFP connector (ขณะหยิบออกจากถาด)

Without Ionizer: Max Static field Spec. less than 125 Volts					
Sample	Static field (Volts)				
	1	2	3	4	5
SFP Connector 1	122	99	200	109	133
SFP Connector 2	96	87	88	100	107
SFP Connector 3	177	166	147	200	122
SFP Connector 4	123	145	114	118	129
SFP Connector 5	98	87	129	142	152

4). ค่าแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector ขณะพนักงานหยิบชิ้นส่วนออกจากถาด (spec. static voltage between -35 volts and +35 volts)

วิธีการวัดและสภาพการทำงานปัจจุบัน

- วัดแรงดัน (Voltage) ที่ขาสัญญาณอุปกรณ์ก่อนวางบน PCBA ขณะพนักงานหยิบชิ้นส่วนออกจากถาด โดยทำการพลิกชิ้นส่วนให้ขาสัญญาณหงายขึ้นด้านบนเพื่อทำการวัด
- พนักงานทำงานบนโต๊ะทำงานที่ไม่ได้ติดตั้ง Air Ionizer



รูปที่ 5.17 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector (ขณะหยิบออกจากถาด)  
ผลการวัดที่ได้

ตารางที่ 5.9 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector (ขณะหยิบออกจากถาด)

Without Ionizer: Max Static field Spec. between -35 volts and +35 volts.					
Sample	Voltage on signal Pin (Volts)				
	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5
SFP Connector 1	36	41	29	26	38
SFP Connector 2	4	10	15	8	10
SFP Connector 3	44	25	40	36	35
SFP Connector 4	15	28	13	29	12
SFP Connector 5	50	48	62	39	30

5). Static field บนตัวชิ้นส่วน Power connector (spec. static voltage < 125 volts.) ขณะ  
ชิ้นงานอยู่ในสภาพ

วิธีการวัดและสภาพการทำงานปัจจุบัน

- วัดค่าแรงดันไฟฟ้าขณะชิ้นส่วนอยู่ในสภาพ
- ชิ้นงานวางบนโต๊ะทำงานที่ไม่ได้ติดตั้ง Air Ionizer



รูปที่ 5.18 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน Power connector (ขณะชิ้นงานอยู่ในสภาพ)  
ผลการวัดที่ได้

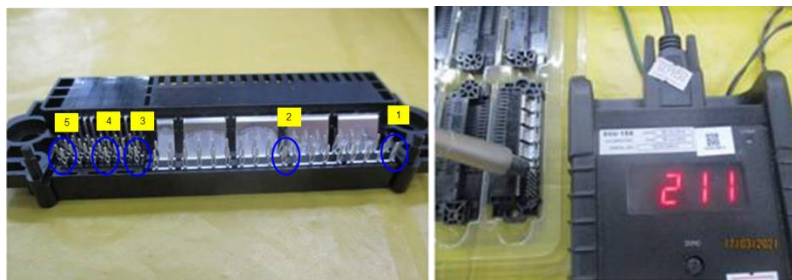
ตารางที่ 5.10 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วนของ Power connector (ขณะที่ชิ้นงานอยู่  
ในสภาพ)

Without Ionizer: Max Static field Spec. less than 125 Volts					
Sample	Static field (Volts)				
	1	2	3	4	5
Power Connector 1	202	259	201	163	348
Power Connector 2	118	341	113	382	392
Power Connector 3	132	175	289	210	325
Power Connector 4	183	161	329	249	214
Power Connector 5	113	208	160	127	242

6). ค่าแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณของ Power connector ขณะชิ้นงานอยู่ในสภาพ (spec. static  
voltage between -35 volts and +35 volts)

วิธีการวัดและสภาพการทำงานปัจจุบัน

- วัดแรงดัน (Voltage) ที่ขาสัญญาณอุปกรณ์ก่อนวางบน PCBA ขณะชิ้นส่วนอยู่ในสภาพ โดยทำ  
การพลิกชิ้นส่วนให้ขาสัญญาณหงายขึ้นด้านบนเพื่อทำการวัด
- ชิ้นงานวางบนโต๊ะทำงานที่ไม่ได้ติดตั้ง Air Ionizer



รูปที่ 5.19 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ Power connector (ขณะขึ้นงานอยู่ในถาด)  
ผลการวัดที่ได้

ตารางที่ 5.11 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณของ Power connector (ขณะขึ้นงานอยู่ในถาด)

Without Ionizer: Max Static field Spec. between -35 volts and +35 volts.					
Sample	Voltage on signal Pin (Volts)				
	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5
Power Connector 1	11	50	31	41	60
Power Connector 2	89	48	211	141	158
Power Connector 3	27	-32	-71	-109	-142
Power Connector 4	-8	-83	-57	-54	-68
Power Connector 5	-92	-78	-83	-50	-72

7). Static field บนตัวชิ้นส่วน Power connector ขณะที่พนักงานหยิบชิ้นส่วนออกจากถาด (spec. static voltage < 125 volts.)

วิธีการวัดและสภาพการทำงานปัจจุบัน

- วัดค่าแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วนขณะพนักงานหยิบชิ้นส่วนออกจากถาด
- พนักงานทำงานบนโต๊ะทำงานที่ไม่ได้ติดตั้ง Air Ionizer



รูปที่ 5.20 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน Power connector (ขณะหยิบออกจากถาด)  
ผลการวัดที่ได้



ตารางที่ 5.12 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนตัว Power connector (ขณะหยิบออกจากถาด)

Without Ionizer: Max Static field Spec. less than 125 Volts					
Sample	Static field (Volts)				
	1	2	3	4	5
Power Connector 1	217	155	151	234	198
Power Connector 2	150	230	107	172	181
Power Connector 3	122	124	225	176	281
Power Connector 4	186	291	210	142	165
Power Connector 5	320	350	393	307	344

8). ค่าแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณของ Power connector ขณะที่พนักงานหยิบชิ้นส่วนออกจากถาด (spec. static voltage between -35 volts and +35 volts)

วิธีการวัดและสภาพการทำงานปัจจุบัน

- วัดแรงดัน (Voltage) ที่ขาสัญญาณอุปกรณ์ก่อนวางบน PCBA ขณะพนักงานหยิบชิ้นส่วนออกจากถาด โดยทำการพลิกชิ้นส่วนให้ขาสัญญาณหงายขึ้นด้านบนเพื่อทำการวัด
- พนักงานทำงานบนโต๊ะทำงานที่ไม่ได้ติดตั้ง Air Ionizer



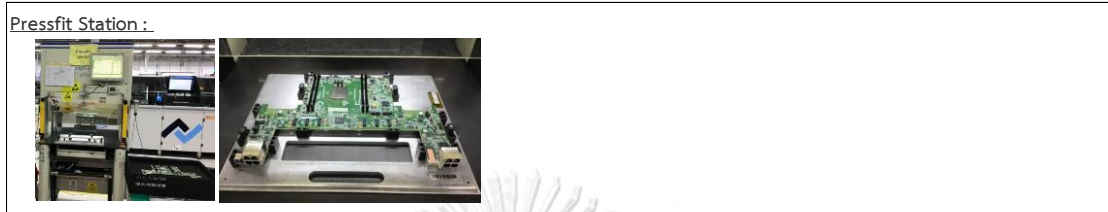
รูปที่ 5.21 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน Power connector (ขณะหยิบออกจากถาด) ผลการวัดที่ได้


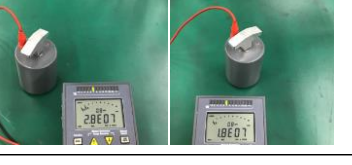
ตารางที่ 5.13 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ Power connector (ขณะหยิบออกจากถาด)

Without Ionizer: Max Static field Spec. between -35 volts and +35 volts.					
Sample	Voltage on signal Pin (Volts)				
	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5
Power Connector 1	118	76	3	11	8
Power Connector 2	89	105	51	25	48
Power Connector 3	277	285	63	-14	-16
Power Connector 4	243	432	-7	44	129
Power Connector 5	121	118	2	4	-32

ตารางที่ 5.14 ผลการตรวจสอบไฟฟ้าสถิตบนอุปกรณ์และเครื่องมือที่กระบวนการสวมอัด

<u>ESD Audit</u>		
<u>Location : PressFit Assembly</u>		
Date: 4-Dec-2022		
Measurement Equipment :	S/N :	Calibration Date:
Resistance Meter ( PRS-812 )	0110AB0035	May 23'2022
Electrostatic Volt meter ( Trek 520 )	3467	Sep 2'2022
Ground Integrity Meter ( Ground Pro )	511538012	Nov 18'2022



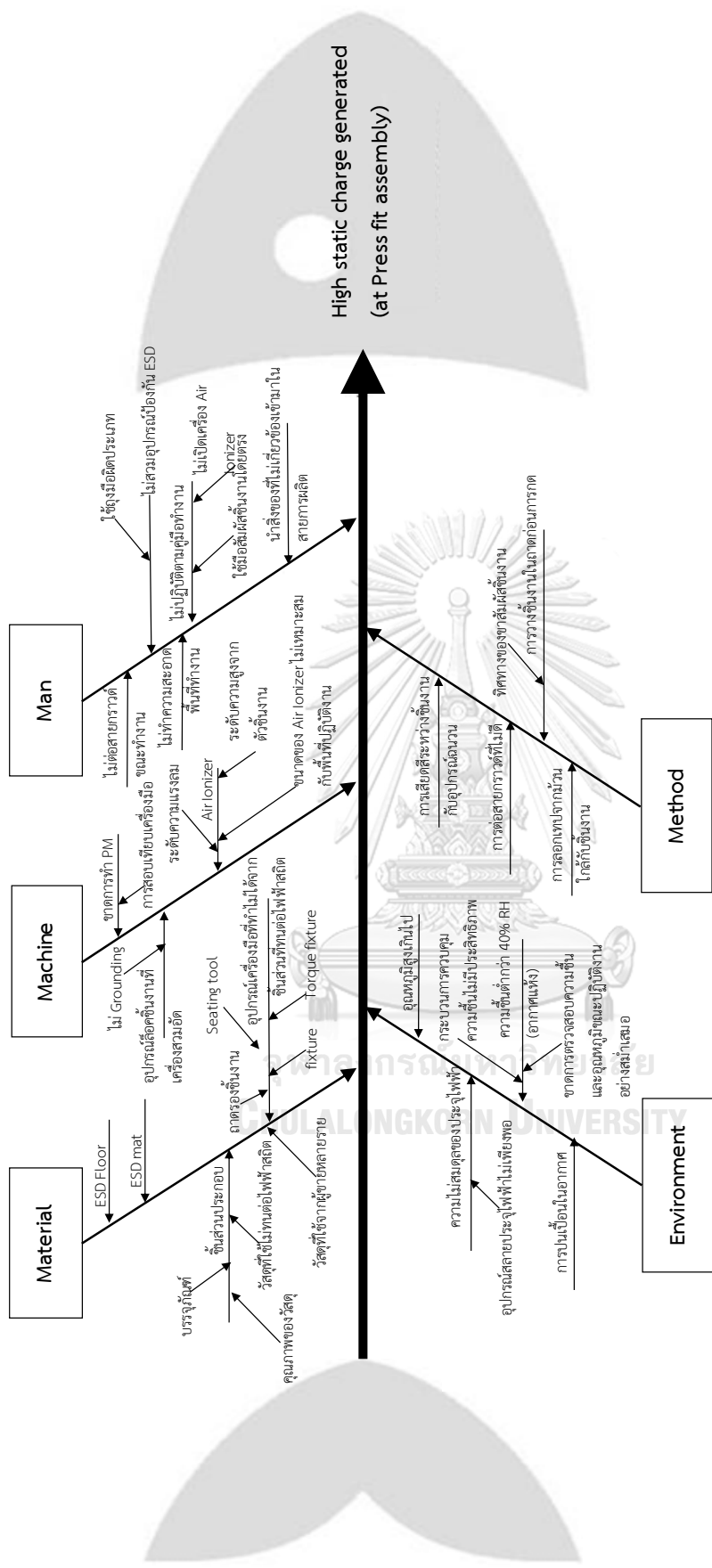
Audited Items	Specification	Finding		
		Area : Pressfit	Result	Remark/Pic.
Machine Grounding	Resistance < 1 Ohm.	Machine no.: 0207 Value = 0.615 Ohm.	Pass	
PCBA grounding ( on fixture )	Resistance to Ground <1E+09 Ohms.	PCBA on fixture Value = 6.9E+07 Ohms	Pass	
Static field on PCBA	Voltage < 35 V	Voltage on PCBA Value = -6 Volts. -5 Volts. -6 Volts.	Pass	
Table	Resistance to Ground <1E+09 Ohms.	Pressfit Cell4 27C,28C Value = 2.8E+07 Ohms 1.8E+07 Ohms	Pass	
Process required Insulators	Static field < 2000V within 12 inches of ESDS < 125V within 1 inch of ESDS	< 125V within 1 inch of ESDS Value : 1V 3V 1V -2V	Pass	

### 5.3.1 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) ของกระบวนการสวมอัดชิ้นงาน

วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดไฟฟ้าสถิตในแต่ละกิจกรรมที่กระบวนการสวมอัดชิ้นงาน (Press fit assembly process) จากนั้นวิเคราะห์หาข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นได้ทั้งหมด

ตารางที่ 5.15 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดไฟฟ้าสถิตที่กระบวนการสวมอัดชิ้นงาน

ลำดับที่	กิจกรรม	ปัจจัยนำเข้า	ลักษณะความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น	กลุ่มปัจจัย
1	เคลื่อนย้ายชิ้นงานจากสถานีก่อนหน้ามาวางบน Press Fit fixture	ถอดใส่ชิ้นงานไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ใช้ถาดใส่งานที่ไม่เป็น conductive tray	เกิดไฟฟ้าสถิตขณะใช้งานทำให้เกิดประจุไฟฟ้าสะสม	Material
		พนักงานจับชิ้นงานผิดวิธี ใช้มือสัมผัสชิ้นส่วนโดยตรง	เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปยังชิ้นงาน ทำให้อุปกรณ์เสียหาย	Man
2	การวางชิ้นส่วน (part) และอุปกรณ์การกดลงบนแผงวงจรพิมพ์	พนักงานไม่ต่อสายกราวด์ขณะทำงาน	กระแสไฟฟ้าสถิตไม่สามารถไหลผ่านลงดินเกิดการสะสมประจุไฟฟ้าสถิต	Man
		ความชื้นในอากาศที่ไม่เหมาะสม	เมื่อความชื้นในอากาศลดลงต่ำกว่า 40% RH จะทำให้วัตถุมีประจุไฟฟ้าสถิตเกิดขึ้น	Environment
		เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าจาก Press Fit fixture	Fixture ใส่ชิ้นงานไม่ Grounding เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปยังชิ้นงาน	Material
		เกิดประจุไฟฟ้าขณะวาง Tool สำหรับกดลงบน part	เกิดไฟฟ้าสถิตขณะทำงาน	Method
3	ถือชิ้นงานเข้ากับตำแหน่งบนเครื่องสวมอัด	เกิดประจุไฟฟ้าขณะถือชิ้นงานกับเครื่อง	เกิดไฟฟ้าสถิตขณะทำงาน	Method
		ความสะอาดของเครื่องจักรและอุปกรณ์สัมผัสชิ้นงาน	สิ่งแปลกปลอมที่เป็นฉนวนไฟฟ้าอาจทำให้เกิดไฟฟ้าสถิตได้	Environment
4	การขันสกรู 4 ตำแหน่งบนชิ้นงาน	เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าจาก Torque screw fixture	Fixture ใส่ชิ้นงานไม่ Grounding เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปยังชิ้นงาน	Material
5	กระบวนการตรวจสอบชิ้นงาน	พนักงานจับชิ้นงานผิดวิธี ใช้มือสัมผัสชิ้นส่วนโดยตรง	เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปยังชิ้นงาน ทำให้อุปกรณ์เสียหาย	Man
		พนักงานไม่ต่อสายกราวด์ขณะทำงาน	กระแสไฟฟ้าสถิตไม่สามารถไหลผ่านลงดินเกิดการสะสมประจุไฟฟ้าสถิต	Man



รูปที่ 5.22 แสดงแผนผังการวิเคราะห์เหตุและผลของกระบวนการสวมอัดชิ้นงาน

5.3.2 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) ของกระบวนการสวมอัดชิ้นงาน

ตารางที่ 5.16 วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) กระบวนการสวมอัดชิ้นงาน

Process FMEA   Process Failure Mode & Effects Analysis									
กระบวนการ (Process)		กระบวนการสวมอัดชิ้นงาน (Press fit assembly process)							
ผลิตภัณฑ์ (Product)		AZ (PCBA: Baseboard) R1147-G00xx-xx							
ลำดับที่	ลักษณะความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น	สาเหตุของความล้มเหลว	การควบคุมในปัจจุบัน	SEV	OCC	DET	RPN	Date	Report No.
1	เกิดไฟฟ้าสถิตเนื่องจากจากการสัมผัส/เสียดสีของชิ้นงานทำให้เกิดการถ่ายประจุไปยังอุปกรณ์ที่ไวต่อไฟฟ้าสถิต	ประจุไฟฟ้าสะสมจากภาคใช้ชิ้นงานขณะเคลื่อนย้าย	มีการระบุชนิด/ขนาดของภาคใช้ชิ้นงานแต่ละรุ่นในคู่มือการปฏิบัติงาน	5	2	3	30	11-Jan-23	2022-FMEA-PF001 (Page 1)
		พนักงานจับชิ้นงานผิดวิธี ใช้มือสัมผัสชิ้นส่วน/บอร์ดโดยตรง	ให้พนักงานปฏิบัติตามคู่มือปฏิบัติงาน	5	2	2	20		
2	ประจุไฟฟ้าสะสมที่บรรจุภัณฑ์ของชิ้นส่วนประกอบ เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปยังแผงวงจรพิมพ์	การนำบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ใช้วัสดุป้องกันไฟฟ้าสถิตเข้ามาในสายการผลิต	ชิ้นส่วนประกอบต้องถูกเตรียมใส่บรรจุภัณฑ์ที่กำหนดก่อนเข้าสายการผลิต	5	2	4	40		
3	เกิดไฟฟ้าสถิตขณะไหลตื้นส่วน (part) ลงบนแผงวงจรพิมพ์	ผู้ผลิตชิ้นส่วนใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีความต้านทานป้องกันไฟฟ้าสถิต	ทิศทางการวางชิ้นส่วนประกอบก่อนการประกอบเข้ากับแผงวงจรพิมพ์	4	3	3	36		
			ไม่มีการควบคุม	5	5	4	100		

คำแนะนำดำเนินการ

ปรับปรุงวัสดุที่จำเพาะเจาะจงสำหรับชิ้นงานที่มีความไวต่อไฟฟ้าสถิตมาก

จัดอบรม ทวนสอบให้พนักงานมีความเข้าใจและตระหนักถึงการปฏิบัติตามคู่มือปฏิบัติงานอย่างเคร่งครัด

จัดอบรม ทวนสอบให้พนักงานมีความเข้าใจและตระหนักถึงการปฏิบัติตามคู่มือปฏิบัติงานอย่างเคร่งครัด

ปรึกษากับผู้ผลิตเพื่อหาแนวทางปรับปรุงบรรจุภัณฑ์

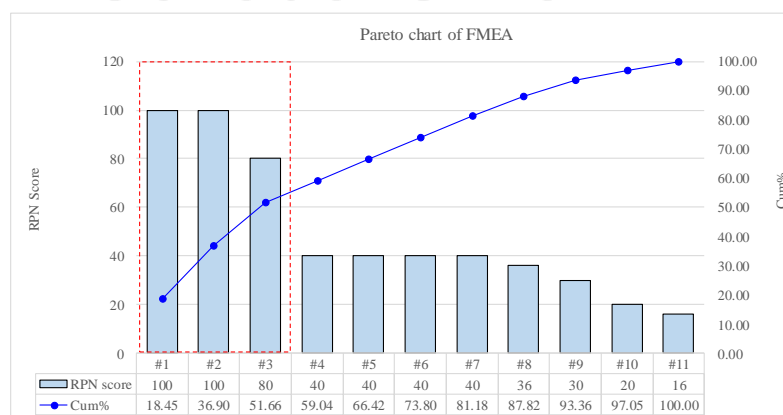
ทำการทดลองเพื่อทดสอบสมมติฐาน

Process FMEA   Process Failure Mode & Effects Analysis									
กระบวนการ (Process)	กระบวนการสวมอัดชิ้นงาน (Press fit assembly process)								
ผลิตภัณฑ์ (Product)	AZ (PCBA: Baseboard) R1147-G00xx-xx								
ลำดับที่	ลักษณะความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น	สาเหตุของความล้มเหลว	การควบคุมในปัจจุบัน	SEV	OCC	DET	RPN	Report No.	2022-FMEA-PF001 (Page 2)
		พนักงานไม่ต่อสายกราวด์ขณะทำงาน	ให้พนักงานปฏิบัติตามคู่มือปฏิบัติงาน	5	2	4	40		จัดอบรม ทวนสอบให้พนักงานมีความเข้าใจและตระหนักถึงการปฏิบัติตามคู่มือปฏิบัติงานอย่างเคร่งครัด
		Fixture ใช้ชิ้นงานไม่ Grounding เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปยังชิ้นงาน	ไม่มีการควบคุม	4	2	5	40		เลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับการผลิต ชิ้นงานที่ไวต่อการเกิดไฟฟ้าสถิต
		Seating Tool สำหรับกดงานไม่ Grounding	ไม่มีการควบคุม	4	2	5	40		เลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมกับการผลิต ชิ้นงานที่ไวต่อการเกิดไฟฟ้าสถิต
4	เกิดไฟฟ้าสถิตขณะเครื่องกดชิ้นงานเข้ากับแผงวงจรพิมพ์	ความสะอาดของเครื่องจักรและอุปกรณ์สัมผัสชิ้นงาน	ให้พนักงานปฏิบัติตามคู่มือปฏิบัติงาน	4	2	2	16		กำหนดให้พนักงานทำความสะอาดเครื่องจักรและอุปกรณ์ก่อนและหลังการปฏิบัติงาน
		เกิดประจุไฟฟ้าขณะถือชิ้นงานกับเครื่อง	ไม่มีการควบคุม	5	4	4	80		ทำการทดลองเพื่อหาวิธีการทำงานที่ดีที่สุด
5	ความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้าในอากาศ	ไม่มีพัดลมระบายประจุไฟฟ้าที่โต๊ะทำงาน	ไม่มีการควบคุม	5	5	4	100		พิจารณาติดตั้งพัดลมระบายประจุไฟฟ้า

ตารางที่ 5.17 จัดลำดับสาเหตุของการเกิดปัญหาจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) กระบวนการสวมอัดชิ้นงาน

อันดับที่	สาเหตุของความล้มเหลว	RPN
1	ทิศทางการวางชิ้นส่วนประกอบก่อนการประกอบเข้ากับแผงวงจรพิมพ์	100
2	ไม่มีพัดลมสลายประจุไฟฟ้าที่โต๊ะทำงาน	100
3	เกิดประจุไฟฟ้าขณะลือคชิ้นงานกับเครื่อง	80
4	การนำบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ใช้วัสดุป้องกันไฟฟ้าสถิตเข้ามาในสายการผลิต	40
5	พนักงานไม่ต่อสายกราวด์ขณะทำงาน	40
6	Fixture ใส่ชิ้นงานไม่ Grounding เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปยังชิ้นงาน	40
7	Seating Tool สำหรับกดงานไม่ Grounding	40
8	ผู้ผลิตชิ้นส่วนใช้วัสดุบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีคุณสมบัติป้องกันไฟฟ้าสถิต	36
9	ประจุไฟฟ้าสะสมจากถาดใส่ชิ้นงานขณะเคลื่อนย้าย	30
10	พนักงานจับชิ้นงานผิดวิธี ใช้มือสัมผัสชิ้นส่วน/บอร์ดโดยตรง	20
11	ความสะอาดของเครื่องจักรและอุปกรณ์สัมผัสชิ้นงาน	16

ในขั้นตอนนี้ได้เลือก 3 อันดับปัจจัยแรกที่มีคะแนนสูงเกิน 50 ไปกำหนดปัจจัยนำเข้า ได้แก่ ทิศทางในการวางชิ้นส่วนก่อนการประกอบ การติดตั้งพัดลมสลายประจุ และการเกิดประจุขณะลือคชิ้นงานกับเครื่อง แต่ภายหลังการประเมินสภาพการทำงานปัจจุบันพบว่าการเกิดประจุขณะลือคมีผลมาจากหัวจับมีสิ่งแปลกปลอมติดอยู่และเมื่อนำออกก็ไม่มีผลต่อการเกิดประจุไฟฟ้าสถิต จึงไม่ได้พิจารณานำปัจจัยนี้ไปทำการทดสอบเพื่อปรับปรุง






รูปที่ 5.23 กราฟแสดงการจัดลำดับสาเหตุของปัญหาที่ได้จากค่าลำดับความสำคัญของความเสี่ยงของ กระบวนการสวมอัดชิ้นงาน

#### 5.4 วิเคราะห์กระบวนการทดสอบวงจรไฟฟ้า (ICT: In Circuit Test)

การตรวจสอบวงจรไฟฟ้าและทดสอบการทำงาน หลังจากขั้นตอนการบัดกรีเสร็จสิ้นจะทำการส่งชุดแผงวงจรพิมพ์เพื่อไปทดสอบการทำงานของวงจรไฟฟ้าบนชุดแผงวงจรพิมพ์ โดยจำลองการทำงานปกติของชุดแผงวงจรพิมพ์ ในการทดสอบนี้จะมีการส่งสัญญาณกำลังเพื่อตรวจสอบลักษณะการทำงานทางไฟฟ้าของชุดแผงวงจรพิมพ์โดยแต่ละตำแหน่งที่ถูก Pin probe จาก ICT fixture สัมผัส ถูกตรวจสอบข้อผิดพลาดของชิ้นส่วน, ตรวจสอบข้อบกพร่องของวงจร (Short/Open) และยังตรวจจับการวางชิ้นส่วนที่ไม่ตรงกับรายการ BOM อีกด้วย

ที่กระบวนการนี้ทีมงานได้ทำการตรวจสอบค่าความต้านทานพื้นผิว (RTG) ของ Pin probe ที่จะสัมผัสลงบนจุดทดสอบต่างๆ บนแผงวงจรซึ่งปัจจัยที่จะทำให้ชิ้นงานเกิดข้อบกพร่องเนื่องจากไฟฟ้าสถิตได้แก่

- พบฝุ่นบริเวณ Pin probe
- ไม่ได้มีการทำ PM fixture และ Guide pin ตามรอบที่กำหนด
- ไม่มีการตรวจสอบไฟฟ้าสถิตก่อนเริ่มปฏิบัติงานทุกครั้ง

Area	Audited Items	Specification	Finding		
			Measurement data	Result	Remark/Picture.
ICT	Static Field on ICT Fixture	Static Field < 125 V	1,165 V	Fail	
ICT	RTG Fixture	Resistance to Ground < 1E+09 Ohms.	Fixture S/N: FICT 2539 (Clamp lock) Value = 1.30E+11 Ohms.	Fail	
ICT	RTG Fixture	Resistance to Ground < 1E+09 Ohms.	Fixture S/N: FICT 2539 (Guide Pin) Value = 1.10E+11	Fail	

รูปที่ 5.24 แสดงผลการตรวจสอบค่าไฟฟ้าสถิตที่กระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า



### 5.5 สรุปปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมุติฐานเพื่อการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้างต้นจะสามารถระบุปัจจัยนำเข้าที่สำคัญสำหรับทั้ง 3 กระบวนการ โดยเลือกจากปัจจัยที่มีผลคะแนน RPN สูง ประกอบกับการประเมินสภาพการทำงานในปัจจุบัน เพื่อนำมาทดสอบสมมุติฐานว่า ปัจจัยเหล่านั้นมีผลต่อการเกิดไฟฟ้าสถิตในกระบวนการผลิตหรือไม่ โดยทีมงานซิกซ์ซิกม่าและผู้เชี่ยวชาญด้านไฟฟ้าสถิตในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้ร่วมกันกำหนดระดับของปัจจัยแต่ละตัว เพื่อทดสอบสมมุติฐานและนำไปดำเนินการออกแบบการทดลองในการปรับปรุงกระบวนการต่อไป โดยแต่ละปัจจัยจะกำหนดเป็น 2 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำและระดับสูง แทนด้วยหมายเลข -1 และ 1 ซึ่งกำหนดปัจจัยนำเข้า 4 ปัจจัยที่สามารถนำมาทดสอบสมมุติฐานและกำหนดระดับของปัจจัยไว้ดังนี้

ตารางที่ 5.18 ปัจจัยนำเข้าและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐาน

ปัจจัยนำเข้า	ระดับของปัจจัย		หน่วย
	-1	1	
ทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนประกอบ	คว่ำขาสัญญาณลง	หงายขาสัญญาณขึ้น	ไม่มี
การห้วงเวลาขณะลอกเทปกั้นความร้อน	0	5	วินาที
ความเร็วของสายพานการผลิต	0.6	1	เมตร/นาที
ระดับพัลลคมของ Air Ionizer	ระดับกลาง	ระดับสูงสุด	ไม่มี

ตารางที่ 5.19 คำนวณจำนวนสิ่งตัวอย่างสำหรับทดสอบสมมุติฐาน

Power and Sample Size				
2-Sample t Test				
Testing mean 1 = mean 2 (versus ≠)				
Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference				
$\alpha = 0.05$ Assumed standard deviation = 7.67				
<b>Results</b>				
Difference	Sample Size	Target Power	Actual Power	
7.67	23	0.9	0.912498	
<i>The sample size is for each group.</i>				

จำนวนตัวอย่างที่จะใช้ในการทดลองอย่างน้อยต้องมี 23 ตัวอย่าง ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการทดลองกับตัวอย่างทั้งหมด 25 ตัวอย่างซึ่งเพียงพอสำหรับการทดสอบสมมุติฐาน

#### 5.5.1 การทดสอบสมมุติฐาน

การทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้า ที่มีผลกระทบต่อความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของค่ากระแสไฟฟ้าสถิตบนแผงวงจร PCB โดยกำหนดสมมุติฐานไว้ดังนี้

ก). ทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนการประกอบ

ในการทดสอบสมมุติฐานขั้นแรก เป็นการพิจารณาค่าความแปรปรวนของกระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บน PCB ทำยกระบวนการโดยการทำงานสองแบบในช่วงเตรียมชิ้นส่วนว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่

#### วิธีการทดลอง

- 1). พนักงานต่อสายกราวด์ สวมอุปกรณ์ป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตตามมาตรฐานการทำงาน
- 2). เปิดบรรจุหีบห่อของชิ้นส่วนแล้วหยิบชิ้นส่วนมาวางบนชิ้นงานที่เตรียมไว้บนเวฟพาเลท
- 3). ทำการไหลตชิ้นงานเข้าเครื่องบัดกรีด้วยเครื่อง
- 4). ทำการวัดกระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB (หน่วยเป็นโวลต์) และบันทึกค่า
- 5). ทำการทดลองเช่นเดียวกัน โดยในขั้นตอนการเตรียมชิ้นส่วนให้พนักงานหญิงชาวอุปกรณ์ขึ้นด้านบนก่อนในช่วงการเตรียมเพื่อให้หาสัญญาณสัมผัสกับอากาศ

- สมมุติฐานในการทดสอบความแปรปรวน

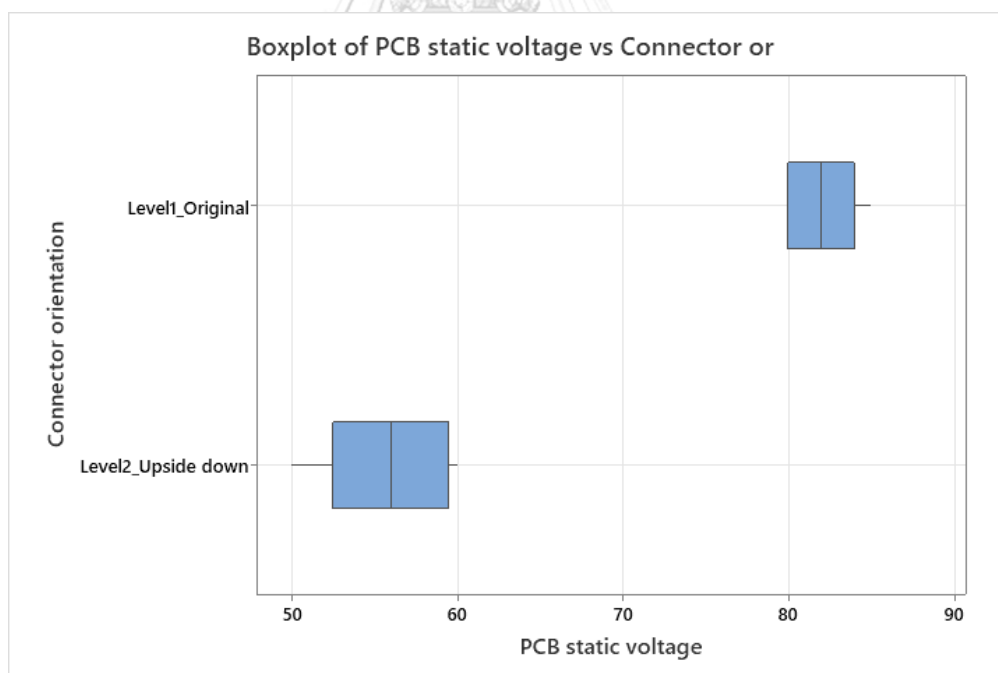
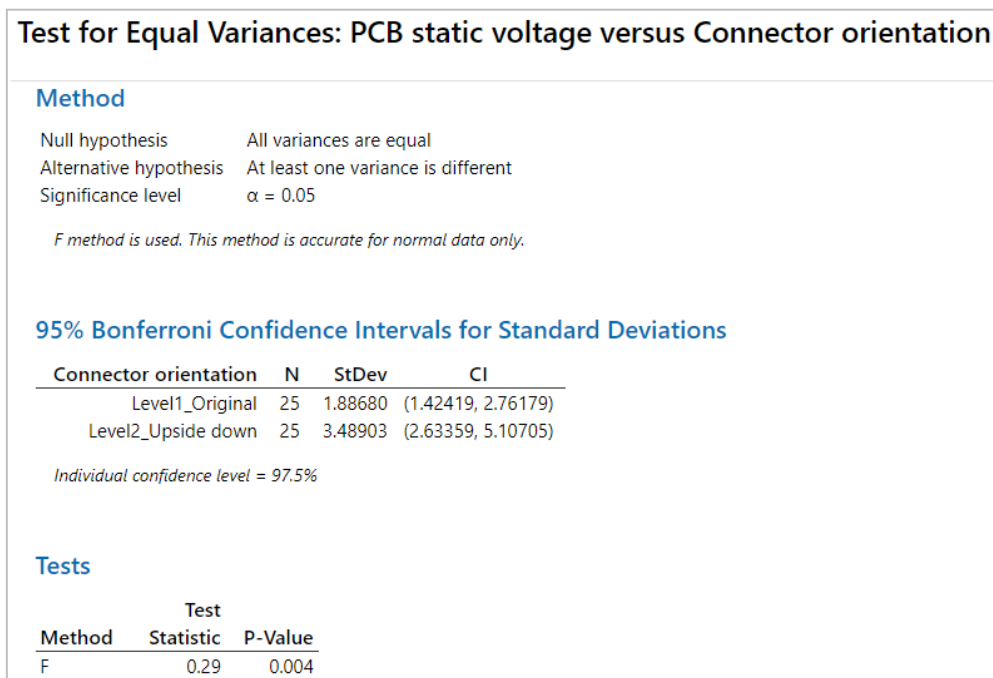
$$H_0 : \sigma_x^2 = \sigma_y^2 \quad (ก-1)$$

$$H_1 : \sigma_x^2 \neq \sigma_y^2 \quad (ก-2)$$

โดยที่  $x =$  กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อคว่ำชาวอุปกรณ์ลง

$y =$  กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อหงายชาวอุปกรณ์ขึ้น

ตารางที่ 5.20 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนประกอบ



รูปที่ 5.25 บอกรูปที่แสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่มาจากทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนประกอบ

จากการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่ากระแสไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากปัจจัยทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนประกอบค่า P-Value=0.04 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าทิศทางการ

วางชิ้นส่วนก่อนประกอบมีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่ากระแสไฟฟ้าสถิต ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างมีนัยสำคัญ ในลำดับถัดไปจะเป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่ากระแสไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนประกอบซึ่งมีสมมุติฐานดังนี้

- สมมุติฐานในการทดสอบค่าเฉลี่ย

$$H_0 : \mu_x = \mu_y \quad (\text{ก-3})$$

$$H_1 : \mu_x \neq \mu_y \quad (\text{ก-4})$$

โดยที่  $x =$  กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อคว่ำขาอุปกรณ์ลง

$y =$  กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อหงายขาอุปกรณ์ขึ้น

ตารางที่ 5.21 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยจากทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนประกอบ

Two-Sample T-Test and CI: PCB static voltage, Connector orientation				
<b>Descriptive Statistics: PCB static voltage</b>				
Connector orientation	N	Mean	StDev	SE Mean
Level1_Original	25	82.32	1.89	0.38
Level2_Upside down	25	55.56	3.49	0.70
<b>Estimation for Difference</b>				
Difference	95% CI for Difference			
26.760	(25.151, 28.369)			
<b>Test</b>				
Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$			
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$			
T-Value	DF	P-Value		
33.73	36	0.000		

จากการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่ากระแสไฟฟ้าสถิต ที่เกิดจากทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนประกอบ ค่า P-Value=0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 สามารถปฏิเสธสมมุติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้งสองนั้นเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนประกอบมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของค่ากระแสไฟฟ้าสถิตที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างมีนัยสำคัญ

ข). การหน่วงเวลาขณะลอกเทปกั้นความร้อน

ในการทดสอบสมมุติฐานขั้นแรก เป็นการพิจารณาค่าความแปรปรวนของกระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บน PCB ท้ายกระบวนการโดยการทำงานสองแบบในขั้นตอนลอกเทปกั้นความร้อนออกจากอุปกรณ์ U21 ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่

#### วิธีการทดลอง

- 1). พนักงานต่อสายกราวด์ สวมอุปกรณ์ป้องกันการเกิดไฟฟ้าสถิตตามมาตรฐานการทำงาน
- 2). หยิบชิ้นงานที่ออกมาจากเครื่องบัดกรีด้วยคลื่นมาวางบนฟีกเจอร์
- 3). ลอกเทปกั้นความร้อนออกจากชิ้นงาน
- 4). ทำการวัดกระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB (หน่วยเป็นโวลต์) และบันทึกค่าลงในตาราง
- 5). ทำการทดลองเช่นเดียวกันอีกครั้งโดยเพิ่มเวลาในการลอกเทปให้ช้าลง หน่วงเวลาเพิ่มขึ้นประมาณ 5 วินาที

- สมมุติฐานในทดสอบความแปรปรวน

$$H_0 : \sigma_x^2 = \sigma_y^2 \quad \text{จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย} \quad (\text{ข-1})$$

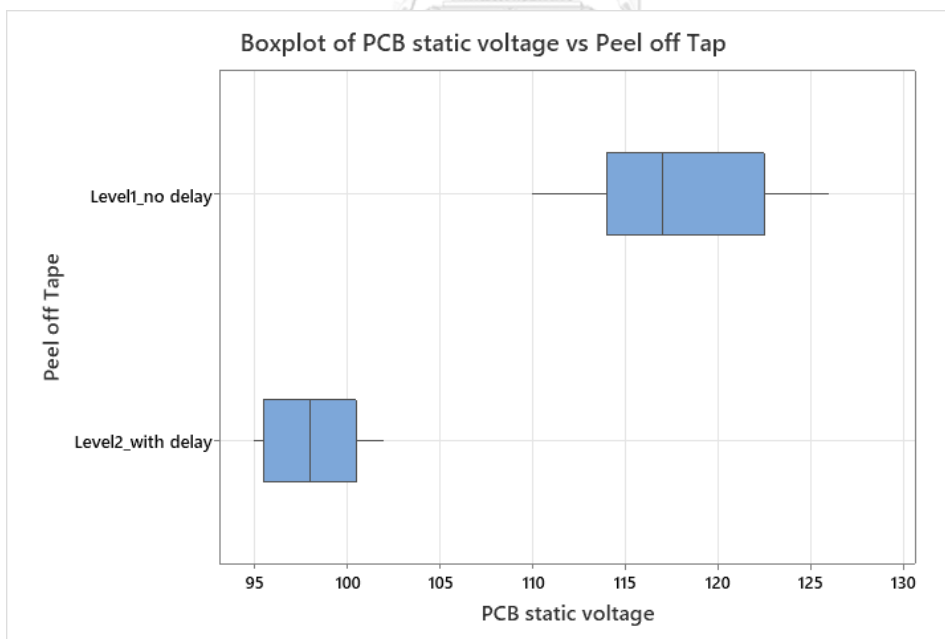
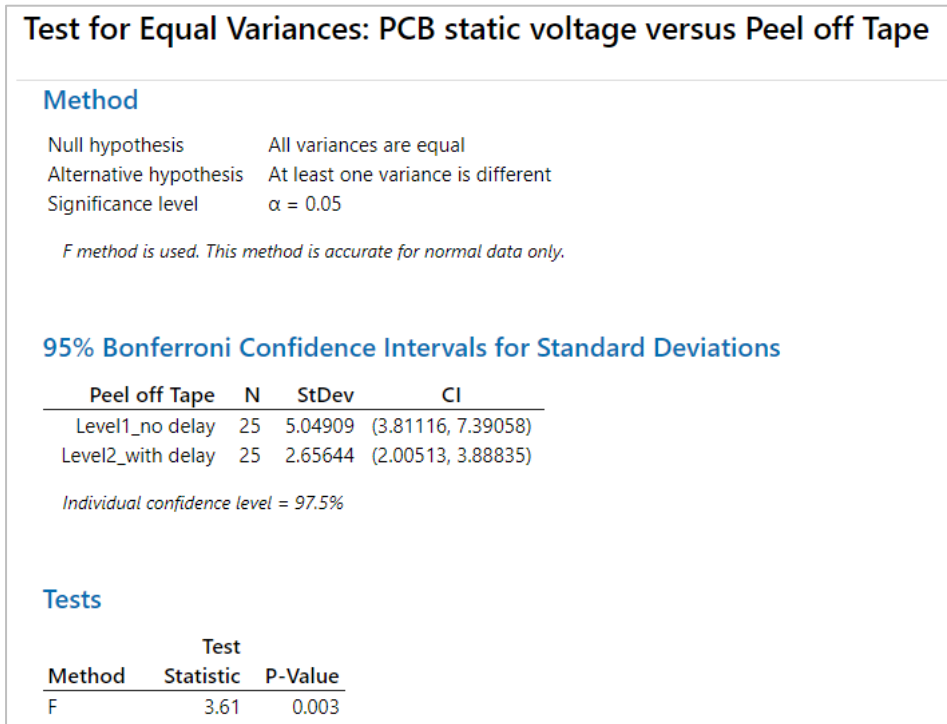
$$H_1 : \sigma_x^2 \neq \sigma_y^2 \quad \text{CHULALONGKORN UNIVERSITY} \quad (\text{ข-2})$$

โดยที่  $x =$  กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อลอกเทปแบบรวดเร็ว

$y =$  กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อค่อยๆ ลอกเทปกั้นความร้อน

ด้วยเวลา 5 วินาที

ตารางที่ 5.22 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากระยะเวลาในการลอกเทปกั้นความร้อน



รูปที่ 5.26 บ็อกซ์พล็อตแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากระยะเวลาในการลอกเทปกั้นความร้อน

จากการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่ากระแสไฟฟ้าสถิตจากรยะเวลาในการลอกเทปกั้นความร้อน ค่า P-Value=0.003 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการลอกเทปกั้นความร้อนมีผลกระทบต่อความแปรปรวนของกระแสไฟฟ้าสถิตที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างมีนัยสำคัญ ในลำดับถัดไปจะเป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่ากระแสไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากรยะเวลาในการลอกเทปกั้นความร้อน ซึ่งมีสมมุติฐานดังนี้

- สมมุติฐานในทดสอบค่าเฉลี่ย

$$H_0 : \mu_x = \mu_y \quad (\text{ข-3})$$

$$H_1 : \mu_x \neq \mu_y \quad (\text{ข-4})$$

โดยที่  $x =$  กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อลอกเทปแบบรวดเร็ว

$y =$  กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อค่อยๆ ลอกเทปกั้นความร้อน ด้วยเวลา 5 วินาที

ตารางที่ 5.23 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากรยะเวลาในการลอกเทปกั้นความร้อน

### Two-Sample T-Test and CI: PCB static voltage, Peel off Tape

#### Descriptive Statistics: PCB static voltage

Peel off Tape	N	Mean	StDev	SE Mean
Level1_no delay	25	117.92	5.05	1.0
Level2_with delay	25	98.16	2.66	0.53

#### Estimation for Difference

95% CI for	
Difference	Difference
19.76	(17.45, 22.07)

#### Test

Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
17.32	36	0.000

จากการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่ากระแสไฟฟ้าสถิต ที่เกิดจากระยะเวลาในการลอกเทปกั้นความร้อน ค่า P-Value=0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 สามารถ ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้งสองนั้นเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการลอกเทปกั้นความร้อน มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของค่ากระแสไฟฟ้าสถิตที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างมีนัยสำคัญ

ค). ความเร็วของสายพานการผลิต

- สมมติฐานในทดสอบความแปรปรวน

$$H_0 : \sigma_x^2 = \sigma_y^2 \quad (\text{ค-1})$$

$$H_1 : \sigma_x^2 \neq \sigma_y^2 \quad (\text{ค-2})$$

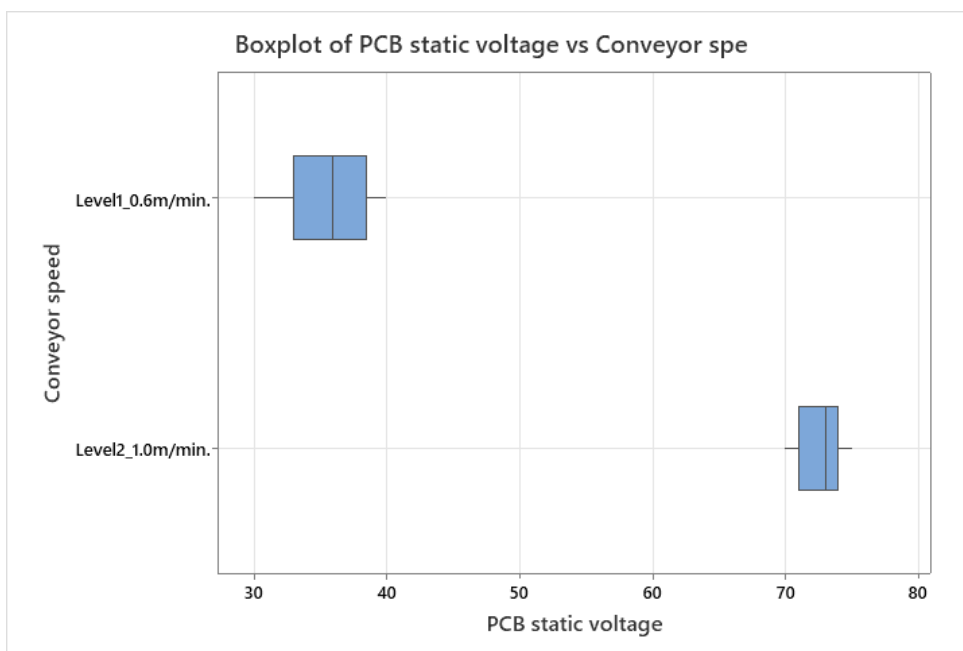
โดยที่ x= กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อปรับความเร็วของสายพานการผลิตที่ 0.6 เมตรต่อนาที

y= กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อปรับความเร็วของสายพานการผลิตที่ 1 เมตรต่อนาที

ตารางที่ 5.24 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความเร็วของสายพานการผลิต

Test for Equal Variances: PCB static voltage versus Conveyor speed			
<b>Method</b>			
Null hypothesis	All variances are equal		
Alternative hypothesis	At least one variance is different		
Significance level	$\alpha = 0.05$		
<i>F method is used. This method is accurate for normal data only.</i>			
<b>95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations</b>			
<b>Conveyor speed</b>	<b>N</b>	<b>StDev</b>	<b>CI</b>
Level1_0.6m/min.	25	3.18224	(2.40202, 4.65799)
Level2_1.0m/min.	25	1.75594	(1.32542, 2.57025)
<i>Individual confidence level = 97.5%</i>			
<b>Tests</b>			
<b>Method</b>	<b>Statistic</b>	<b>P-Value</b>	
F	3.28	0.005	





รูปที่ 5.27 บ็อกซ์พล็อตแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากความเร็วของสายพานการผลิต

จากการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าสถิต ที่เกิดจากความเร็วของสายพานการผลิต ค่า P-Value=0.005 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าความเร็วของสายพานการผลิตมีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่ากระแสไฟฟ้าสถิต ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างมีนัยสำคัญ ในลำดับถัดไปจะเป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่ากระแสไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากความเร็วของสายพานการผลิต ซึ่งมีสมมุติฐานดังนี้

- สมมุติฐานในทดสอบค่าเฉลี่ย

$$H_0 : \mu_x = \mu_y \quad (\text{ค-3})$$

$$H_1 : \mu_x \neq \mu_y \quad (\text{ค-4})$$

โดยที่  $x$  = กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อปรับความเร็วของสายพานการผลิตที่ 0.6 เมตรต่อนาที

$y$  = กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อปรับความเร็วของสายพานการผลิตที่ 1 เมตรต่อนาที

ตารางที่ 5.25 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากความเร็วของสายพานการผลิต

Two-Sample T-Test and CI: PCB static voltage, Conveyor speed				
<b>Descriptive Statistics: PCB static voltage</b>				
Conveyor speed	N	Mean	StDev	SE Mean
Level1_0.6m/min.	25	35.72	3.18	0.64
Level2_1.0m/min.	25	72.60	1.76	0.35
<b>Estimation for Difference</b>				
		95% CI for		
Difference	Difference			
	-36.880	(-38.353, -35.407)		
<b>Test</b>				
Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$			
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$			
T-Value	DF	P-Value		
-50.74	37	0.000		

จากการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่ากระแสไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากความเร็วของสายพานการผลิต ค่า P-Value=0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้งสองนั้นเท่ากัน ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าความเร็วของสายพานการผลิตนั้นมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของค่ากระแสไฟฟ้าสถิตที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างมีนัยสำคัญ

ง). การปรับระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้า

- สมมติฐานในทดสอบความแปรปรวน

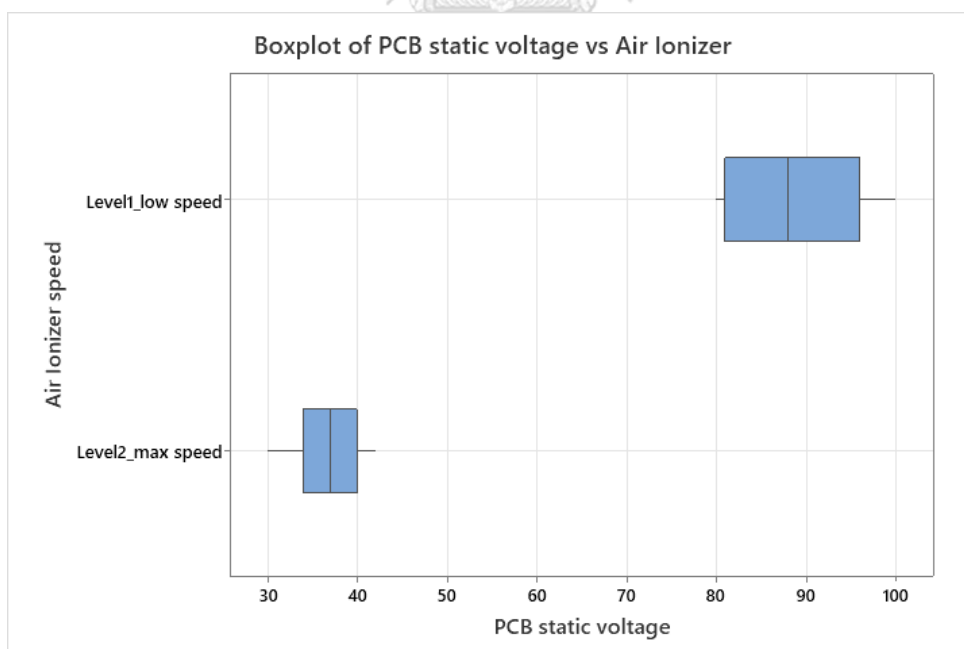
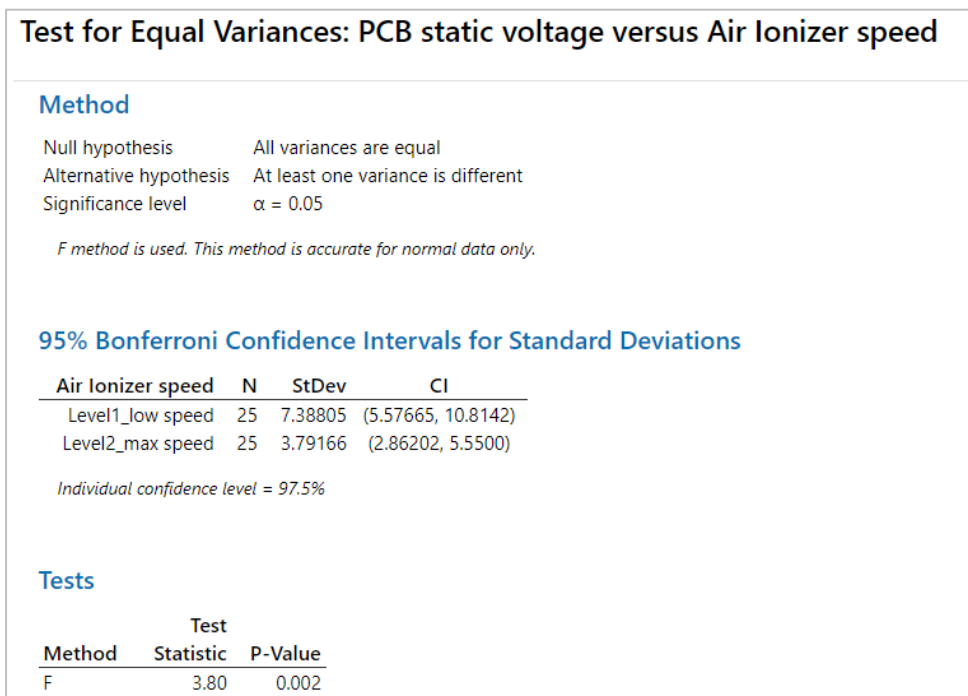
$$H_0 : \sigma_x^2 = \sigma_y^2 \quad (\text{ง-1})$$

$$H_1 : \sigma_x^2 \neq \sigma_y^2 \quad (\text{ง-2})$$

โดยที่  $x =$  กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อปรับระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้าไว้ที่ระดับกลาง

$y =$  กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อปรับระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้าไว้ที่ระดับสูงสุด

ตารางที่ 5.26 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากการปรับระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้า



รูปที่ 5.28 บอกรูปพล็อตแสดงผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนที่เกิดจากปรับระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้า

จากการทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนของค่ากระแสไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้าค่า P-Value=0.002 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้ามีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่ากระแสไฟฟ้าสถิตที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างมีนัยสำคัญ ในลำดับถัดไปจะเป็นการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่ากระแสไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้า ซึ่งมีสมมุติฐานดังนี้

- สมมุติฐานในทดสอบค่าเฉลี่ย

$$H_0 : \mu_x = \mu_y \quad (\text{ง-3})$$

$$H_1 : \mu_x \neq \mu_y \quad (\text{ง-4})$$

โดยที่  $x =$  กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อปรับระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้าไว้ที่ระดับกลาง

$y =$  กระแสไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจร PCB เมื่อปรับระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้าไว้ที่ระดับสูงสุด

ตารางที่ 5.27 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการปรับระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้า

Two-Sample T-Test and CI: PCB static voltage, Air Ionizer speed				
<b>Descriptive Statistics: PCB static voltage</b>				
<b>Air Ionizer speed</b>	<b>N</b>	<b>Mean</b>	<b>StDev</b>	<b>SE Mean</b>
Level1_low speed	25	88.60	7.39	1.5
Level2_max speed	25	36.72	3.79	0.76
<b>Estimation for Difference</b>				
	95% CI for			
<b>Difference</b>	<b>Difference</b>			
51.88	(48.51, 55.25)			
<b>Test</b>				
Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$			
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$			
<b>T-Value</b>	<b>DF</b>	<b>P-Value</b>		
31.24	35	0.000		

จากการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของค่ากระแสไฟฟ้าสถิต ที่เกิดจากการระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้า ค่า P-Value=0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ว่าค่าเฉลี่ยทั้งสองนั้นเท่ากัน ซึ่งจะแสดงให้เห็นได้ว่าการปรับระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้านั้นมีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของค่ากระแสไฟฟ้าสถิตที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อย่างมีนัยสำคัญ

#### 5.5.2 สรุปผลการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองข้างต้นของทั้ง 4 ปัจจัยนำเข้า แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทั้งหมดข้างต้นมีผลต่อค่ากระแสไฟฟ้าสถิตที่คงค้างอยู่บนชิ้นงานหลังกระบวนการผลิต โดยสามารถสรุปผลจากการทดสอบสมมติฐานได้ดังนี้

- 1). ทิศทางของการวางชิ้นส่วนโดยนำขาสัญญาณหงายขึ้นให้ผลการเกิดไฟฟ้าสถิตที่ต่ำกว่าการคว่ำขาสัญญาณลง แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสอากาศภายใต้พัดลมสลายประจุไฟฟ้าทำให้เกิดการลดประจุไฟฟ้าสถิตที่ไม่สมดุลบนขาสัญญาณก่อนการวางชิ้นส่วน
- 2). การลอกเทปด้วยความเร็วก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิตมากกว่าการค่อยๆ ลอกเทปภายใต้การทำงานของพัดลมสลายประจุไฟฟ้า (ในการศึกษานี้กำหนดวิธีการลอกแบบช้าๆ โดยค่อยๆ ลอกจากมุมล่างซ้ายของชิ้นงานขึ้นมาเป็นระยะเวลาประมาณ 5 วินาที)
- 3). ความเร็วของสายพานการผลิตขณะเคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ช้ากว่าเป็นการเพิ่มระยะเวลาของการสัมผัสอากาศขณะเคลื่อนผ่านพัดลมสลายประจุสามารถลดประจุไฟฟ้าสถิตได้อย่างมีนัยสำคัญ
- 4). การปรับระดับของพัดลมสลายประจุไฟฟ้าไว้ที่สูงสุด (ความแรงลมเท่ากับ 330 CFM อ้างอิงจากข้อมูลจำเพาะของพัดลมสลายประจุรุ่น SL-003) จะมีประสิทธิภาพในการสลายประจุไฟฟ้ามากกว่าการปรับไว้ที่ระดับกลางความแรงลมประมาณ 220 CFM (ความแรงลมระดับต่ำสุดที่ 120 CFM อ้างอิงจากข้อมูลจำเพาะของพัดลมสลายประจุรุ่น SL-003)

ดังนั้นจึงนำปัจจัยทั้งหมดข้างต้นไปพิจารณาปรับปรุงแก้ไข เพื่อลดอัตราการเกิดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าของชิ้นงานต่อไป

## บทที่ 6

### การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขปัญหา (Improve phase) ผู้วิจัยและทีมงานซิกซ์ซิกมา ได้ทำการระดมความคิดเพื่อร่วมกันหาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขปัญหาจากการพิจารณาปัจจัยนำเข้าที่มีผลทำให้เกิดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ในบทที่แล้ว โดยมีการเสนอแนวคิดและค้นหาข้อมูลจากผู้ที่มีความเชี่ยวชาญด้านนี้โดยตรง ในกรณีศึกษานี้ได้มีการปรึกษาผู้เชี่ยวชาญจากทีมส่วนกลางของบริษัทกรณีศึกษา (ตำแหน่ง Regional ESD Program specialist) เพื่อจัดตั้งแผนการกำจัดกาเกิดไฟฟ้าสถิตในระหว่างกระบวนการผลิต (ESD mitigation plan) เมื่อทำการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องเนื่องจากไฟฟ้าสถิตในกระบวนการต่างๆ แล้วทีมงานวิศวกรได้ทำการปรับปรุงแก้ไขในแต่ละกระบวนการโดยแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 6.1 การปรับปรุงในกระบวนการโหลดด้วยมือและบัดกรีด้วยคลื่น (Handload and wave soldering)

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมุติฐานดังกล่าวในบทที่ 5 มีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตทั้งหมด 4 ปัจจัยได้แก่ ทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนประกอบ, การเพิ่มเวลาขณะลอกเทปกั้นความร้อน, ความเร็วของสายพานการผลิต และระดับของพัลลวมสลายประจุไฟฟ้า เมื่อทำการทดลองวัดไฟฟ้าสถิตที่ตกค้างอยู่บนแผงวงจรพิมพ์ภายหลังกระบวนการผลิต ภายใต้การปรับระดับของปัจจัยแต่ละระดับสังเกตได้ว่าระดับของปัจจัยที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิตน้อยกว่าเป็นดังนี้

- 1). ทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนการประกอบบนโต๊ะทำงานในลักษณะหงายขาอุปกรณ์ขึ้นด้านบนจะทำให้ค่าไฟฟ้าสถิตที่น้อยกว่าการคว่ำขาลงด้านล่าง ทางทีมวิศวกรจึงได้ออกแบบอุปกรณ์สำหรับใส่ชิ้นส่วน Dimm connector สำหรับหันขาสัญญาณที่จะวางลงบนแผงวงจรขึ้นด้านบนเตรียมไว้บนโต๊ะทำงานก่อนทำการประกอบ



รูปที่ 6.1 Dimm connector ที่ขั้นตอนการเตรียมชิ้นส่วนประกอบ



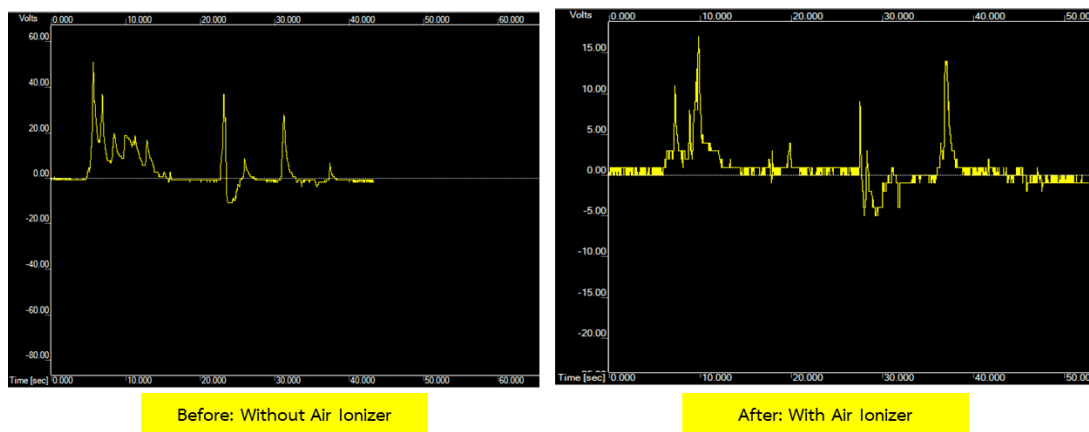
รูปที่ 6.2 การประกอบ Dimm connector และวัตไฟฟ้าสถิตบนแผงวงจร

2). ความเร็วของสายพานการผลิตขณะเข้าเครื่องบัดกรีด้วยคลื่นเมื่อปรับความเร็วที่ 0.6 เมตรต่อนาที จะให้ผลการเกิดประจุไฟฟ้าบนชิ้นงานที่ต่ำกว่า เนื่องจากความเร็วของสายการผลิตมีผลต่อการพ่นสเปรย์ฟลักซ์สำหรับยึดติดขาอุปกรณ์เข้ากับแผงวงจรจึงได้ทดลองปรับความเร็วจาก 1.0 เมตรต่อนาที ลดเป็น 0.6 เมตรต่อนาทีที่จะไม่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องของการเชื่อมตะกั่วระหว่างขาของชิ้นส่วน (Solder bridging) ซึ่งภายหลังจากทดลองที่ความเร็ว 0.6 เมตรต่อนาทีให้ผลการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตที่ต่ำกว่า เนื่องจากระยะเวลาขณะบอร์ดเคลื่อนที่เข้าเครื่องบัดกรีมีการสลายประจุไฟฟ้าในอากาศจากพัดลมสลายประจุไฟฟ้าในเวลาเดียวกัน

SOLDER BAR TYPE SAC305	PREHEAT TEMPERATURE (UNIT : °C)						SOLDER POT		PUMP SPEED	CONVEYOR	
	LPH # 3	LPH #2	LPH #1	UPH #3	UPH #2	UPH #1	Temp (°C)	LEAD CLEARANCE (mm)	CONTOUR (rpm)	WIDTH (mm)	SPEED (m/min)
B94 HL06,HL07	140 (+/-50)	180 (+/-50)	230 (+/-50)	N/A	220 (+/-50)	230 (+/-50)	265 (+/-5)	9.0 (+/-2)	1100 (+/-100)	500 (+/-10)	0.6 (+/-0.2)

รูปที่ 6.3 แสดงค่าพารามิเตอร์ใหม่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่เครื่องบัดกรีด้วยคลื่น

3). ขณะลอกเทปป้องกันความร้อนออกจากชิ้นงานในทุกๆ ตำแหน่งภายใต้การเปิดพัดลมสลายประจุไฟฟ้านั้น การลอกแบบมีระยะเวลาหน่วง 5 วินาทีให้ผลของการเกิดไฟฟ้าสถิตที่ต่ำกว่า กิจกรรมการลอกเทปเป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าสถิต จึงได้มีการควบคุมเพิ่มเติมให้พนักงานทำงานภายใต้พัดลมสลายประจุไฟฟ้าและปรับระยะเวลาการลอกดึงให้ช้าลงและหลีกเลี่ยงการดึงเทปแบบรวดเร็ว เพื่อให้สามารถสลายประจุไฟฟ้าได้ทัน



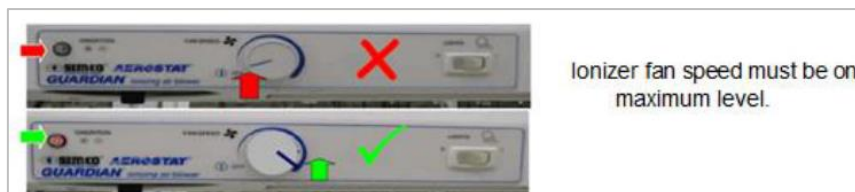
รูปที่ 6.4 กราฟเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าสถิตก่อนและหลังการปรับปรุง

4). การปรับระดับความแรงของพัดลมสลายประจุไฟฟ้าไปที่สูงสุดจะให้ค่าไฟฟ้าสถิตสะสมบนชิ้นงานน้อยกว่าการปรับไว้ที่ระดับกลาง ที่สถานีไหลลดด้วยมือตำแหน่งการเตรียมชิ้นส่วนก่อนเข้าเครื่องบัดกรีด้วยคลื่นและปลายสายการผลิตมีการติดตั้งพัดลมสลายประจุไฟฟ้าประเภท Overhead Air Ionizer โดยระยะห่างระหว่าง 300 – 600 มิลลิเมตร โดยอยู่เหนือ ESDS หรือฉนวนที่มีประจุไฟฟ้าสถิตสูง โดยทำมุม 90 องศาจากจุดกึ่งกลางของพัดลมไอออนเซอร์ไปยังพื้นที่เป้าหมายและมีการกำหนดระดับของพัดลมให้ปรับไว้ที่ระดับสูงสุดเสมอ โดยไม่อนุญาตให้พนักงานทำการปรับระดับลมหรือปิดพัดลมสลายประจุไฟฟ้าขณะทำงาน



รูปที่ 6.5 ตำแหน่งของพัดลมสลายประจุไฟฟ้าที่โต๊ะทำงาน





รูปที่ 6.6 กำหนดระดับของพัดลมไอวีที่ระดับสูงสุดเท่านั้น



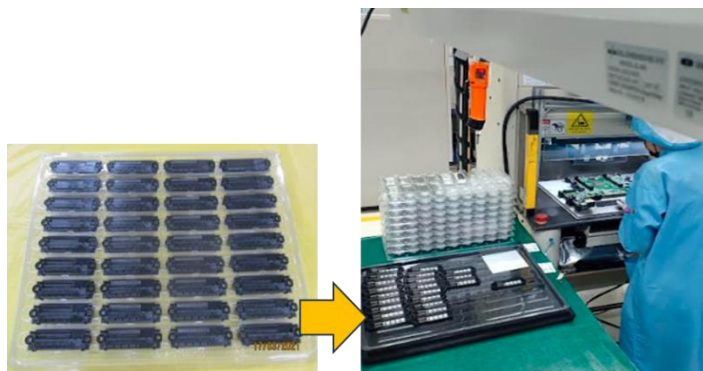
รูปที่ 6.7 ตำแหน่งการติดตั้งพัดลมสลายประจุไฟฟ้า

เมื่อพบกระแสไฟฟ้าสถิตสะสมที่ต่ำลงจากการปรับระดับของปัจจัยตั้งข้างต้น ดังนั้นเพื่อการพิสูจน์ข้อสันนิษฐานว่าปัจจัยทั้ง 4 จะส่งผลต่อการเกิดข้อบกพร่องของชิ้นงานหรือไม่ จึงได้ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามระดับของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดไฟฟ้าสถิตที่สถานงานโหลดด้วยมือและบัดกรีด้วยคลื่นและทำการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อดูแนวโน้มของจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากข้อบกพร่องทางไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## 6.2 การปรับปรุงในกระบวนการสวมอัดชิ้นงาน (Press-Fit Assembly)

1). ปรับทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนการประกอบบนโต๊ะทำงานในลักษณะหงายขาอุปกรณ์ขึ้นด้านบน โดยในขั้นตอนการเตรียมชิ้นส่วนประกอบ ให้พนักงานหมุนชิ้นส่วนในถาดโดยให้ขาของชิ้นส่วนหันขึ้นด้านบนวางลงในถาดที่ทีมวิศวกรได้มีการออกแบบเพื่อควบคุมทิศทางการวางชิ้นส่วน โดยการทำงานถูกควบคุมให้อยู่บนโต๊ะทำงานที่มีการติดตั้งพัดลมสลายประจุไฟฟ้า



รูปที่ 6.8 แสดงการเตรียมชิ้นส่วนประกอบที่กระบวนการสวมอัดชิ้นงานหลังการปรับปรุง

2). เนื่องจากกระบวนการก่อนการปรับปรุงที่สถานีสวมอัดชิ้นงานไม่ได้มีการติดตั้งพัดลมสลายประจุไฟฟ้าที่บริเวณการเตรียมชิ้นงานและการตรวจสอบชิ้นงานท้ายสายการผลิต จึงได้ทำการติดตั้งพัดลมสลายประจุไฟฟ้าชนิด Overhead Air Ionizer โดยระยะห่างระหว่าง 300 – 600 มิลลิเมตร โดยอยู่เหนือ ESDS หรือฉนวนที่มีประจุไฟฟ้าสถิตสูง โดยทำมุม 90 องศาจากจุดกึ่งกลางของพัดลมไอออนเซอร์ไปยังพื้นที่เป้าหมายและมีการกำหนดระดับของพัดลมให้ปรับไว้ที่ระดับสูงสุดเสมอโดยไม่อนุญาตให้พนักงานทำการปรับระดับลมหรือปิดพัดลมสลายประจุไฟฟ้าขณะทำงาน เช่นเดียวกับสถานีไหลลดด้วยมือ

3). ปรับปรุงการต่อกราวด์ของเครื่องสวมอัดชิ้นงาน เนื่องจากเกิดการสะสมประจุไฟฟ้าขณะสวมกดชิ้นส่วนลงบนแผงวงจรเมื่อเครื่องมือสัมผัสกับชิ้นงานกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไปยังชิ้นงานได้ จึงต้องมีการตรวจสอบกระบวนการต่อกราวด์ของเครื่องสวมอัดชิ้นงานและการวัดกระแสไฟฟ้าบริเวณหัวจับชิ้นส่วนและตัวจับแผ่นชิ้นงาน โดยการเพิ่มรายการตรวจสอบก่อนเริ่มปฏิบัติงานเพื่อควบคุม ESD ในกระบวนการผลิต

### 6.3 การปรับปรุงในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า (ICT: In Circuit Test)

จากการตรวจสอบไฟฟ้าสถิตที่กระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า (ICT) จุดที่สัมผัสกับชิ้นงาน ได้แก่บริเวณ Pin probe ที่ใช้วัดตามจุดทดสอบต่างๆ บนแผงวงจรพิมพ์ซึ่งพบปัญหาความไม่สะอาดและมีสิ่งแปลกปลอมในฟิวเจอร์ที่ใช้ทำการทดสอบเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานสำหรับการทำงานเพิ่มเติมก่อนการทดสอบทางไฟฟ้าได้แก่ กำหนดให้มีการพ่นสเปรย์เคลือบบริเวณฟิวเจอร์สัมผัสชิ้นงานสำหรับป้องกันไฟฟ้าสถิต และการตรวจสอบไฟฟ้าสถิตที่จุดต่างๆ ของสถานีก่อนการเริ่มปฏิบัติงานหรือทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่นการผลิต



รูปที่ 6.9 ฟิวเจอร์ที่ใช้ในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า



รูปที่ 6.10 การวัดไฟฟ้าสถิตบริเวณ Pin probe สำหรับทดสอบชิ้นงาน



รูปที่ 6.11 การวัดค่าความต้านทานของฟิวเจอร์ทดสอบ



#### 6.4 การวัดผลการปรับปรุงกระบวนการ

หลังจากการปรับปรุงกระบวนการตามแผนการกำจัดไฟฟ้าสถิต ในระหว่างกระบวนการผลิต (ESD mitigation plan) ทีมงานได้มีการตรวจวัดไฟฟ้าสถิตในแต่ละกระบวนการที่เกี่ยวข้องอีกครั้ง หลังจากนั้นได้ทำการเก็บข้อมูลการเกิดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าของชิ้นงาน ในขณะที่งานเสมือนระบบ (Full system run) เป็นระยะเวลาหกเดือนเพื่อเปรียบเทียบกับจำนวนชิ้นงานเสียก่อนการปรับปรุง

##### 6.4.1 สถานีโหลดด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น (Hand load and Wave soldering)

1). วัดกระแสไฟฟ้าสถิต (Voltage) บนตัว DIMM connector ก่อนวางบนชิ้นงาน (spec. static voltage between -35 volts and +35 volts)

##### ผลการวัดที่ได้

ตารางที่ 6.1 แสดงผลการวัดไฟฟ้าสถิตบนตัวอุปกรณ์ Dimm connector หลังการปรับปรุง

With Ionizer: Max Static field Spec. between -35 volts and +35 volts.					
Sample	Static field (Volts)				
	1	2	3	4	5
Dimm Connector 1	-1	-4	-6	-3	-2
Dimm Connector 2	-5	-4	-7	-5	-3
Dimm Connector 3	3	6	5	2	4
Dimm Connector 4	-4	-3	-3	-6	-6
Dimm Connector 5	-6	-4	-5	-6	-2

2). วัดกระแสไฟฟ้าสถิต (Voltage) ที่ขาสัญญาณ DIMM connector ก่อนวางบนชิ้นงาน (spec. static voltage between -35 volts and +35 volts)

##### ผลการวัดที่ได้

ตารางที่ 6.2 แสดงผลการวัดไฟฟ้าสถิตบนขาอุปกรณ์ Dimm connector หลังการปรับปรุง

With Ionizer: Max Static field Spec. between -35 volts and +35 volts.					
Sample	Voltage on signal Pin (Volts)				
	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5
Dimm Connector 1	4	7	6	8	10
Dimm Connector 2	5	6	6	7	9
Dimm Connector 3	6	7	8	9	5
Dimm Connector 4	8	7	7	8	6
Dimm Connector 5	6	7	9	8	9

3). Wave pallet grounding (spec. Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.)

วิธีการวัดและสภาพการทำงานหลังปรับปรุง

- วัดความต้านทานพื้นผิว (RTG) บน Wave pallet ที่ใช้ใส่ชิ้นงานเข้าเครื่องบัดกรีด้วยคลื่น
- ตำแหน่งที่ใส่ชิ้นงานลงบน Wave pallet มีการติดตั้ง Air Ionizer เหนือสายพานการผลิต (ปรับระดับไว้ที่สูงสุด)

ผลการวัดที่ได้ : 4.5E+07 โอห์ม ( ผ่าน )

4). PCB Grounding (spec. Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.)

วิธีการวัดและสภาพการทำงานหลังปรับปรุง

- วัดความต้านทานพื้นผิว (RTG) บนชิ้นงานที่ก่อนเข้าเครื่องบัดกรีด้วยคลื่น
- ตำแหน่งที่วางชิ้นงานมีการติดตั้ง Air Ionizer เหนือสายพานการผลิต (ปรับระดับไว้ที่สูงสุด)

ผลการวัดที่ได้ : 1.8E+07 โอห์ม ( ผ่าน )

5). Static Field on PCBA ที่กระบวนการลอก-ติดเทปกาว (spec. static voltage < 125 volts.)

วิธีการวัดและสภาพการทำงานหลังปรับปรุง

- วัดแรงดันไฟฟ้าขณะลอกเทป
- ชิ้นงานวางบนถาดโฟมสีดำและที่โต๊ะทำงานติดตั้ง Air Ionizer เหนือสายพานการผลิต (ปรับระดับไว้ที่สูงสุด)

ผลการวัดที่ได้ : 85 โวลต์ ( ผ่าน )

#### 6.4.2 สถานีไหลด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น (Hand load and Wave soldering)

1). Static field บนตัวชิ้นส่วน SFP connector (spec. static voltage < 125 volts.) ขณะชิ้นงานอยู่ในถาด

##### ผลการวัดที่ได้

ตารางที่ 6.3 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน SFP connector (ขณะชิ้นงานอยู่ในถาด) หลังการปรับปรุง

With Ionizer: Max Static field Spec. less than 125 Volts					
Sample	Static field (Volts)				
	1	2	3	4	5
SFP Connector 1	98	77	92	93	97
SFP Connector 2	116	113	77	112	88
SFP Connector 3	80	85	87	107	95
SFP Connector 4	107	88	111	94	81
SFP Connector 5	90	96	120	98	93

2). ค่าแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector ขณะชิ้นงานอยู่ในถาด (spec. static voltage between -35 volts and +35 volts)

##### ผลการวัดที่ได้

ตารางที่ 6.4 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector (ขณะชิ้นงานอยู่ในถาด) หลังการปรับปรุง

With Ionizer: Max Static field Spec. between -35 volts and +35 volts.					
Sample	Voltage on signal pin (Volts)				
	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5
SFP Connector 1	7	19	7	19	12
SFP Connector 2	9	9	16	20	25
SFP Connector 3	13	16	14	25	11
SFP Connector 4	12	14	15	26	8
SFP Connector 5	12	11	9	9	21

3). Static field บนตัวชิ้นส่วน SFP connector ขณะที่พนักงานหยิบชิ้นส่วนออกจากถาด (spec. static voltage < 125 volts.)

##### ผลการวัดที่ได้

ตารางที่ 6.5 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน SFP connector (ขณะที่หยิบออกจากถาด) หลังการปรับปรุง

With Ionizer: Max Static field Spec. less than 125 Volts					
Sample	Static field (Volts)				
	1	2	3	4	5
SFP Connector 1	73	76	85	75	90
SFP Connector 2	80	73	79	88	76
SFP Connector 3	80	66	86	90	70
SFP Connector 4	68	80	65	77	81
SFP Connector 5	75	87	78	79	67

4). ค่าแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector ขณะพนักงานหยิบชิ้นส่วนออกจากถาด (spec. static voltage between -35 volts and +35 volts)

ผลการวัดที่ได้

ตารางที่ 6.6 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ SFP connector (ขณะที่หยิบออกจากถาด) หลังการปรับปรุง

With Ionizer: Max Static field Spec. between -35 volts and +35 volts.					
Sample	Voltage on signal pin (Volts)				
	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5
SFP Connector 1	9	8	10	12	12
SFP Connector 2	19	13	10	6	14
SFP Connector 3	18	5	20	14	8
SFP Connector 4	11	9	14	19	10
SFP Connector 5	19	9	8	4	13

5). Static field บนตัวชิ้นส่วน Power connector (spec. static voltage < 125 volts.) ขณะที่ชิ้นงานอยู่ในถาด

ผลการวัดที่ได้

ตารางที่ 6.7 แสดงผลการวัดแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน Power connector (ขณะที่ชิ้นงานอยู่ในถาด) หลังการปรับปรุง

With Ionizer: Max Static field Spec. less than 125 Volts					
Sample	Static field (Volts)				
	1	2	3	4	5
Power Connector 1	45	50	58	70	47
Power Connector 2	41	70	58	98	62
Power Connector 3	56	62	51	62	70
Power Connector 4	43	57	64	58	52
Power Connector 5	51	63	40	68	56



6). ค่าแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ Power connector ขณะที่ชิ้นงานอยู่ในถาด (spec. static voltage between -35 volts and +35 volts)

ผลการวัดที่ได้

ตารางที่ 6.8 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ Power connector (ขณะที่ชิ้นงานอยู่ในถาด) หลังการปรับปรุง

With Ionizer: Max Static field Spec. between -35 volts and +35 volts.					
Sample	Voltage on signal pin (Volts)				
	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5
Power Connector 1	13	9	11	13	15
Power Connector 2	8	-5	9	14	9
Power Connector 3	16	12	8	14	-1
Power Connector 4	7	15	6	12	6
Power Connector 5	9	14	16	6	13

7). Static field บนตัวชิ้นส่วน Power connector ขณะที่พนักงานหยิบชิ้นส่วนออกจากถาด (spec. static voltage < 125 volts.)

ผลการวัดที่ได้

ตารางที่ 6.9 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนตัวชิ้นส่วน Power connector (ขณะที่พนักงานหยิบชิ้นส่วนออกจากถาด) หลังการปรับปรุง

With Ionizer: Max Static field Spec. less than 125 Volts					
Sample	Static field (Volts)				
	1	2	3	4	5
Power Connector 1	45	50	58	70	47
Power Connector 2	41	70	58	98	62
Power Connector 3	56	62	51	62	70
Power Connector 4	43	57	64	58	52
Power Connector 5	51	63	40	68	56

8). ค่าแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ Power connector ขณะที่พนักงานหยิบชิ้นส่วนออกจากถาด (spec. static voltage between -35 volts and +35 volts)

ผลการวัดที่ได้

ตารางที่ 6.10 แสดงผลการแรงดันไฟฟ้าบนขาสัญญาณ Power connector (ขณะที่หยิบออกจาก ถาด) หลังการปรับปรุง

With Ionizer: Max Static field Spec. between -35 volts and +35 volts.					
Sample	Voltage on signal pin (Volts)				
	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4	Pin 5
Power Connector 1	10	12	10	13	11
Power Connector 2	-2	7	9	14	14
Power Connector 3	4	13	3	5	9
Power Connector 4	8	8	5	11	-4
Power Connector 5	13	2	5	9	10

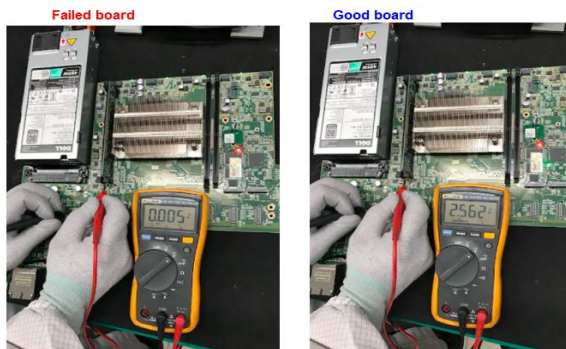
จะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบผลในการวัดค่าไฟฟ้าสถติก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ค่าแรงดันไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าสถิตภายหลังการปรับปรุงมีค่าลดลงและไม่เกินตามมาตรฐานกำหนด (สำหรับฉนวนที่จำเป็นสำหรับกระบวนการใด ๆ ที่อยู่ห่างจากรายการ ESDS ที่ไม่มีการป้องกันน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 มม. (2.5 ซม. หรือ 1 นิ้ว) แรงดันไฟฟ้าบนพื้นผิวของฉนวนจะต้องน้อยกว่า 125 โวลต์เมื่อวัดด้วยโวลต์มิเตอร์ไฟฟ้าสถิตแบบไม่สัมผัส หรือเมื่อใช้เครื่องวัดสนามไฟฟ้าสถิตค่าที่อ่านได้ จะต้องน้อยกว่า 125 โวลต์เมื่อวัดที่ระยะการวัดที่กำหนดของมิเตอร์ และสำหรับตัวนำที่ไม่สามารถต่อลงดินหรือสัมผัสกับสิ่งของที่ไวต่อไฟฟ้าสถิต จะต้องตรวจสอบให้แน่ใจว่าศักย์ไฟฟ้าระหว่างตัวนำและกราวด์อยู่ระหว่าง -35 โวลต์และ +35 โวลต์) ในลำดับถัดไปจะเป็นการบันทึกข้อมูลจำนวนข้อบกพร่องของตัวชิ้นงานเมื่อทดสอบการทำงานฟังก์ชัน เปรียบเทียบระหว่างก่อนการปรับปรุงและภายหลังการปรับปรุงกระบวนการ

#### วิธีการตรวจสอบการทำงานฟังก์ชันทางไฟฟ้าของชิ้นงาน

เนื่องจากชิ้นงานที่นำมาวิเคราะห์ยังอยู่ในขั้น PCBA ยังไม่ได้ทำการประกอบขึ้นเป็นระบบ (Server) เพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อน ทางทีมงานได้จำลองระบบการทำงานให้เสมือนประกอบเป็นระบบ (Server) และทำการทดลองฟังก์ชันทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับที่สถานีทดสอบ System FCT

- นำแผงวงจรพิมพ์ (Mainboard) ที่ผ่านกระบวนการแต่ละขั้นตอนมาทำการต่อวงจรเข้ากับตัวจ่ายไฟและอุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็น
- ทดลองจ่ายไฟเข้าสู่ระบบและป้อนคำสั่งเพื่อรันโปรแกรมสำหรับทดสอบ เช่นเดียวกับที่สถานีทดสอบระบบ System FCT

- สังเกตผลการทดสอบว่าระบบเกิดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าเนื่องจากไฟฟ้าจาก U21 หรือไม่  
(Failed code=#BIOS Boot failed) แล้วบันทึกผลการทดสอบ



รูปที่ 6.13 แสดงการจำลองระบบทดสอบเพื่อหาข้อบกพร่องทางไฟฟ้าของชิ้นงาน

ตารางที่ 6.11 จำนวนข้อบกพร่องทางไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงแยกตามสถานีงาน

เดือน	จำนวนการผลิต (หน่วย)	จำนวนของเสีย (หน่วย)				สัดส่วนของเสีย
		สถานีไหลตด้วยมือ	สถานีสวมอัด	สถานีทดสอบ ICT	รวม	
มีนาคม 2565	1073	4	1	1	6	0.56%
เมษายน 2565	1070	7	6	4	17	1.59%
พฤษภาคม 2565	618	18	10	4	32	5.18%
มิถุนายน 2565	1578	22	9	10	41	2.60%
กรกฎาคม 2565	1036	6	2	5	13	1.25%
สิงหาคม 2565	574	2	3	0	5	0.87%
รวม	5949				114	1.92%

ตารางที่ 6.12 จำนวนข้อบกพร่องทางไฟฟ้าก่อนการปรับปรุงแยกตามรุ่นของชิ้นส่วน U21

รุ่นของ CPU (U21)	ราคาชิ้นส่วน (\$)	จำนวนการผลิต (หน่วย)	จำนวนของเสียที่พบ (หน่วย)	อัตราการเกิดของเสีย (%)
D-XX23IT	201.00	565	9	1.59%
D-XX45NT	552.20	2489	56	2.25%
D-XX87NT	2187.90	2895	49	1.69%

ตารางที่ 6.13 จำนวนข้อบกพร่องทางไฟฟ้าหลังการปรับปรุงแยกตามสถานีงาน

เดือน	จำนวนการผลิต (หน่วย)	จำนวนของเสีย (หน่วย)				สัดส่วนของเสีย
		สถานีโหลดด้วยมือ	สถานีสวมอัด	สถานีทดสอบ ICT	รวม	
พฤศจิกายน 2565	1094	9	3	1	13	1.19%
ธันวาคม 2565	461	2	2	0	4	0.87%
มกราคม 2566	1237	9	3	1	13	1.05%
กุมภาพันธ์ 2566	1587	15	2	0	17	1.07%
มีนาคม 2566	1261	8	4	1	13	1.03%
เมษายน 2566	534	3	2	0	5	0.94%
	6174				65	1.05%

ตารางที่ 6.14 จำนวนข้อบกพร่องทางไฟฟ้าหลังการปรับปรุงแยกตามรุ่นของชิ้นส่วน U21

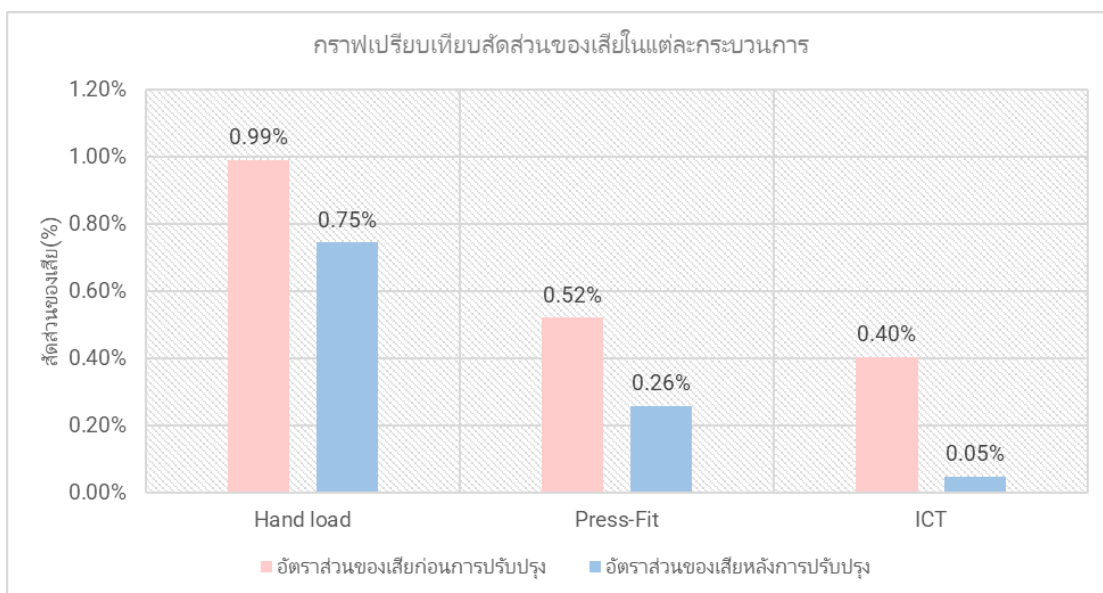
รุ่นของ CPU (U21)	ราคาชิ้นส่วน (\$)	จำนวนการผลิต (หน่วย)	จำนวนของเสียที่พบ (หน่วย)	อัตราการเกิดของเสีย (%)
D-XX23IT	201.00	287	2	0.70%
D-XX45NT	552.20	2882	37	1.28%
D-XX87NT	2187.90	3005	26	0.87%

## 6.5 สรุปผลการปรับปรุงกระบวนการ

จากการเฝ้าติดตามผลการปรับปรุงกระบวนการข้างต้นเป็นระยะเวลาหกเดือน ข้อบกพร่องของชิ้นงานโดยรวมลดลงจาก 1.92 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 1.05 เปอร์เซ็นต์หรือกล่าวได้ว่า อัตราของเสียจากไฟฟ้าสถิตลดลง 0.86 เปอร์เซ็นต์

- ที่สถานีโหลดด้วยมือสัดส่วนของเสียลดลงจาก 0.99 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.75 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือลดลง 0.24 เปอร์เซ็นต์
- ที่สถานีสวมอัดชิ้นงานสัดส่วนของเสียลดลงจาก 0.52 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.26 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือลดลง 0.26 เปอร์เซ็นต์

- ที่สถานีทดสอบ ICT สัดส่วนของเสียลดลงจาก 0.40 เปอร์เซ็นต์เหลือ 0.05 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือลดลง 0.35 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6.14 กราฟเปรียบเทียบอัตราของเสียจากข้อบกพร่องทางไฟฟ้าในแต่ละสถานีนงานก่อน-หลังการปรับปรุงกระบวนการ

## บทที่ 7

### การควบคุมกระบวนการผลิต

หลังจากการวิเคราะห์เพื่อกำหนดสาเหตุของการเกิดปัญหา และการหาแนวทางแก้ไขปัญหาแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการปฏิบัติตามแนวทางแก้ไขปัญหาเป็นการควบคุมกระบวนการที่เกิดปัญหาอย่างยั่งยืน ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการในการควบคุมกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องให้อยู่ในแนวปฏิบัติของการแก้ปัญหาจากบทที่แล้วได้แก่ ส่วนควบคุมหรือการกำหนดมาตรฐานในการทำงานเพื่อปรับใช้กระบวนการทำงานใหม่และปรับปรุงวิธีการทำงานแบบเดิมที่มีปัญหาพร้อมกับการติดตามปัจจัยต่างๆว่าเป็นไปตามความคาดหวังหรือไม่

#### 7.1 แผนการควบคุม

##### 7.1.1 การควบคุมปัจจัยที่พิสูจน์แล้วว่ามีผลต่อกระบวนการ

ในการควบคุมระดับปัจจัยที่สำคัญสำหรับอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักรหรือวิธีการทำงานที่ต้องการการควบคุมให้สอดคล้องกับระดับปัจจัยที่ผ่านการทดสอบสมมุติฐานมานั้นจำเป็นต้องมีการแก้ไขคู่มือการปฏิบัติงานและระเบียบวิธีการทำงานให้ชัดเจน พร้อมทั้งมีการอบรมพนักงานผู้ที่เกี่ยวข้องให้มีความเข้าใจและตระหนักถึงผลกระทบหากไม่ได้ปฏิบัติตามคู่มือการปฏิบัติงาน ในการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการกำหนดแผนควบคุมคือ

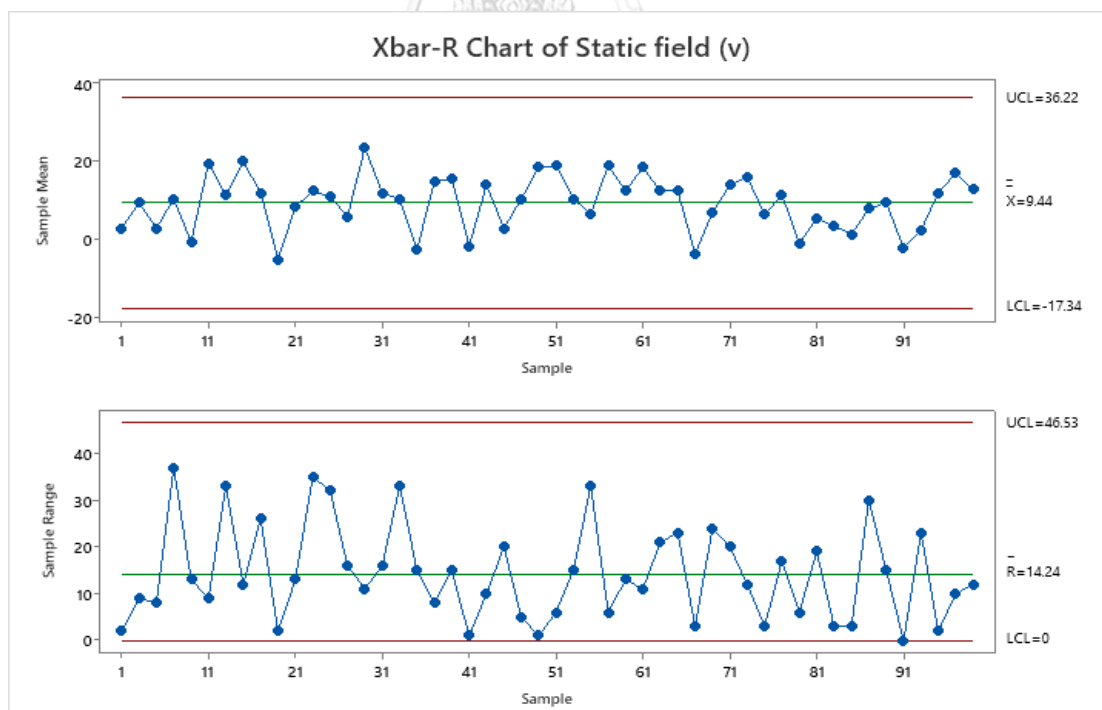
- ทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนประกอบ ควบคุมระดับ : หายขาดสัญญาณขึ้น
- การหน่วงเวลาขณะลอกเทปกั้นความร้อน ควบคุมระดับ : 5 วินาที
- ความเร็วของสายพานการผลิต ควบคุมระดับ : 0.6 เมตร/นาที
- ระดับพัลลคมของ Air Ionizer ควบคุมระดับ : ระดับสูงสุด

นอกจากนี้การจัดทำระบบทวนสอบโดยเจ้าหน้าที่คุณภาพเป็นระยะๆ ก็เป็นสิ่งสำคัญ ภายหลังจากได้แนวทางการแก้ปัญหาแล้ว ทีมงานวิศวกรได้เพิ่มรายการตรวจสอบโดยกำหนดปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยนี้ให้เป็นปัจจัยวิกฤตในกระบวนการทำงานของผลิตภัณฑ์อย่างจำเพาะเจาะจง เพื่อให้พนักงานทุกคนปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด

### 7.1.2 การควบคุมตัวแปรตอบสนอง

ในการควบคุมตัวแปรตอบสนองให้อยู่เขตควบคุมโดยการวิเคราะห์แผนภูมิควบคุม จุดข้อมูลที่แสดงในแผนภูมิควบคุมจะถูกใช้เพื่อระบุว่า มีปัญหาเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่กำหนดใช้ในกระบวนการใหม่หรือไม่ หลังจากปรับปรุงแล้วพารามิเตอร์ใหม่จะถูกตั้งค่าด้วยขีดจำกัดการควบคุมและในขั้นตอนการควบคุม ตัวอย่าง 20 ตัวอย่างจะถูกสุ่มวัดทุกๆ ชั่วโมง เพื่อวัดแรงดันไฟฟ้าสถิตหลังจากกระบวนการบัดกรีด้วยคลื่น ผลลัพธ์กราฟที่แสดงในรูปที่ 7.1 เป็นข้อมูลตัวอย่างภายหลังการปรับปรุงโดยเก็บข้อมูลในช่วงเดือนมีนาคมที่ผ่านมาจำนวน 100 ตัวอย่าง จากกราฟแสดงให้เห็นว่าไม่มีจุดข้อมูลตกนอกขอบเขตควบคุมแสดงให้เห็นว่ากิจกรรมกำจัดไฟฟ้าสถิตในกระบวนการนั้นให้ผลที่ดีสำหรับสถานีไหลด้วยมือและบัดกรีด้วยคลื่น

ผลการศึกษาที่ได้รับการประเมินโดยการลดอัตราของเสียในระดับระบบของชิ้นงาน ตามที่ระบุไว้ก่อนหน้านี้ขึ้นส่วนหน่วยประมวลผลกลาง (U21) นั้นก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายจำนวนมากในการซ่อมเปลี่ยน เนื่องจากข้อบกพร่องทางไฟฟ้าเนื่องจากไฟฟ้าสถิตในการผลิตและสถานีไหลด้วยมือเป็นกระบวนการที่เกิดอัตราความล้มเหลวสูงสุด



รูปที่ 7.1 แผนภูมิ X bar-R ของการวัดกระแสไฟฟ้าที่กระบวนการไหลด้วยมือหลังการปรับปรุง

### 7.1.3 แผนการตรวจวัดไฟฟ้าสถิตในกระบวนการผลิต (ESD Audit plan)

โดยปกติแล้วบริษัทกรณีศึกษาได้มีการกำหนดแผนสุ่มตรวจกระบวนการผลิตในทุกกระบวนการ โดยทีมงานส่วนกลางไตรมาสละ 1 ครั้ง เพื่อเป็นการควบคุมปัญหาการเกิดไฟฟ้าสถิตในกระบวนการผลิตเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ในกรณีศึกษานี้ ทีมงานจึงได้มีการกำหนดแผนการตรวจสอบแยกสำหรับผลิตภัณฑ์นี้โดยปรับเปลี่ยนความถี่เป็นเดือนละ 1 ครั้งและปรับรายการตรวจสอบดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 แสดงแบบฟอร์มสำหรับควบคุม ESD ในกระบวนการผลิต

ESD PROCESS CONTROL AUDIT CHECKLIST					
Area/ Line:		Building/ Cell:		Audited Date:	
Supervisor In-Charge:			Audited By:		
Audited Items	Specification	Finding		Result	Remark/ Action
1 Equipment	1.1 Equipment Grounding Resistance < 1 Ohm.	1) Eq. No. _____ Eq. Name _____ Value = _____ Ohm.	2) Eq. No. _____ Eq. Name _____ Value = _____ Ohm.		
	1.2 Contact Surface, Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.	Value = _____ Ohm.	Value = _____ Ohm.		
	1.3 Static Field < 2000 V within 12 inches of ESDS	Value = _____ V.	Value = _____ V.		
	1.4 Static Field < 125 V within 1 inch of ESDS	Value = _____ V.	Value = _____ V.		
2 Common Ground Point	2.1 Resistance < 1 Ohm.	1) _____ vs. Ref. _____ Value = _____ Ohm.	2) _____ vs. Ref. _____ Value = _____ Ohm.		
3 Wrist Strap Box	3.1 Resistance to CGP < 2 Ohms.	1) WS Box No. _____ Value = _____ Ohm.	2) WS Box No. _____ Value = _____ Ohm.		
	3.2 CV is not overdue.	CV Due _____	CV Due _____		
4 Wrist Strap Monitor Box / Wrist Strap Monitor Box with sensor	4.1 Verify by wrist strap (Spec. 800 - 1,200 K-ohms)	1) WS MB No. _____ Wrist strap Value = _____ K-Ohms. LED Result: ___Green or ___Red & Alarm	2) WS MB No. _____ Wrist strap Value = _____ K-Ohms. LED Result: ___Green or ___Red & Alarm		
	4.2 Verify by wrist strap (Spec. OL K-ohms)	Wrist strap Value = _____ K-Ohms. LED Result: ___Green or ___Red & Alarm	Wrist strap Value = _____ K-Ohms. LED Result: ___Green or ___Red & Alarm		
	4.3 CV is not overdue.	CV Due _____	CV Due _____		
5 Wrist Strap	5.1 Entry Record on web	1) EN: _____ Record: ___Pass or ___Fail	2) EN: _____ Record: ___Pass or ___Fail		
	5.2 Wearing practice	Result: ___correct or ___wrong	Result: ___correct or ___wrong		
	5.3 System Resistance between 1.00E+06 Ohms to 1.00E+07 Ohms.	Value = _____ Ohms.	Value = _____ Ohms.		
6 ESD Footwear	6.1 Entry Record on web	Record: ___Pass or ___Fail	Record: ___Pass or ___Fail		
	6.2 System Resistance between 3.00E+04 Ohms to 3.50E+07 Ohms.	Value = _____ Ohms.	Value = _____ Ohms.		
7 Training	7.1 Basic Training Record	1) EN: _____ Record: ___Yes or ___No	2) EN: _____ Record: ___Yes or ___No		
	7.2 Refresher is not overdue.	Due: _____	Due: _____		
8 Flooring	8.1 Resistance to Ground < 3.50E+07 Ohms.	1) Area: _____ Value = _____ Ohms.	2) Area: _____ Value = _____ Ohms.		



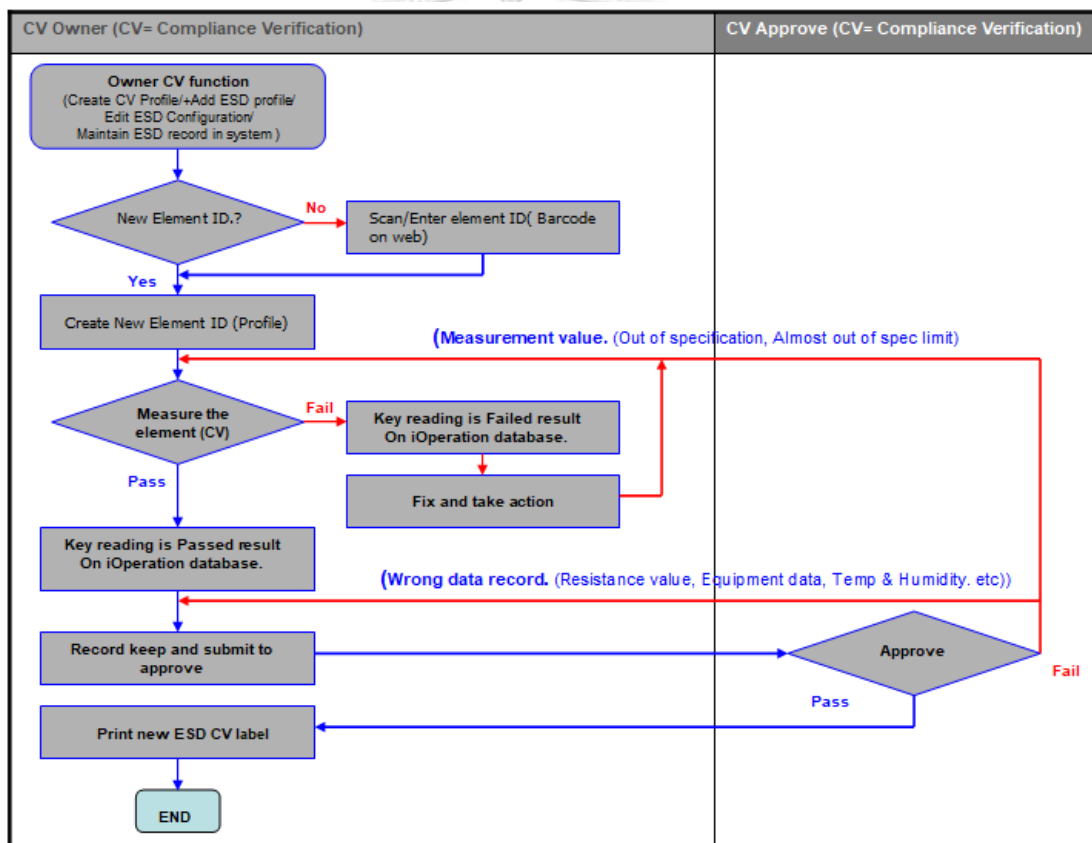
9 Table Mat (Black Foam /Sponge included)	9.1 Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.	1) No. _____ Value = _____ Ohms.	2) No. _____ Value = _____ Ohms.		
	9.2 CV is not overdue.	CV Due _____	CV Due _____		
10 Fixture/ Pallet	10.1 Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.	1) No. _____ Value = _____ Ohms.	2) No. _____ Value = _____ Ohms.		
11 Belt / Conveyor / Roller	11.1 Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.	1) Area: _____ Value = _____ Ohms.	2) Area: _____ Value = _____ Ohms.		
12 Air Ionizer (Overhead / Bench)  *โปรดค่าจากพัฒนาทุก ตัวที่ประกอบอยู่กับ Air Ionizer แล้วบันทึก ค่าสูงสุดที่อ่านได้ใน แบบฟอร์ม	12.1 Discharge Time <20s. (from 1000V to 100V)	1) MC No. _____ Positive ____ s., Negative ____ s.	2) MC No. _____ Positive ____ s., Negative ____ s.		
	12.2 Offset voltage < +/-35V	Value = _____ V	Value = _____ V		
	12.3 CV is not overdue.	CV Due _____	CV Due _____		
	12.4 CV Record	Result: __correct or __wrong	Result: __correct or __wrong		
	12.5 Practice	Result: __correct or __wrong	Result: __correct or __wrong		
13 ESD Air Gun	13.1 Discharge Time <20s. (from 1000V to 100V)	1) MC No. _____ Positive ____ s., Negative ____ s.	2) MC No. _____ Positive ____ s., Negative ____ s.		
	13.2 Offset voltage < +/-35V	Value = _____ V	Value = _____ V		
	13.3 CV is not overdue.	CV Due _____	CV Due _____		
	13.4 CV Record	Result: __correct or __wrong	Result: __correct or __wrong		
14 Nonessential Insulators	14.1 Static Field < 2000 V within 12 inches of ESDS	1) Area: _____ Insulator _____ Value = _____ V.	2) Area: _____ Insulator _____ Value = _____ V.		
	14.2 Static Field < 125 V within 1 inch of ESDS	1) Area: _____ Insulator _____ Value = _____ V.	2) Area: _____ Insulator _____ Value = _____ V.		
15 Process Required Insulators	15.1 Static Field < 2000 V within 12 inches of ESDS.	1) Area: _____ Insulator _____ Value = _____ V.	2) Area: _____ Insulator _____ Value = _____ V.		
	15.2 Static Field < 125 V within 1 inch of ESDS.	1) Area: _____ Insulator _____ Value = _____ V.	2) Area: _____ Insulator _____ Value = _____ V.		
16 Cart	16.1 Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.	1) Cart No. _____ Value = _____ Ohms.	2) Cart No. _____ Value = _____ Ohms.		
	16.2 CV is not overdue.	CV Due _____	CV Due _____		
	16.3 CV Record on web/paper	Result: __correct or __wrong	Result: __correct or __wrong		
17 Tray on cart	17.1 Resistance to Ground < 1.00E+11 Ohms.	1) Cart No. _____ Value = _____ Ohms.	2) Cart No. _____ Value = _____ Ohms.		
18 Shelf/ Cabinet	18.1 Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.	1) Area: _____ Value = _____ Ohms.	2) Area: _____ Value = _____ Ohms.		
	18.2 Identification if not for ESDS items.	Result: __correct or __wrong	Result: __correct or __wrong		
19 Smock	19.1 Sleeve to Sleeve Resistance < 1.00E+09 Ohms.	1) EN: _____ Mfg. _____ Lot _____ Value = _____ Ohms.	2) EN: _____ Mfg. _____ Lot _____ Value = _____ Ohms.		
20 Gloves	20.1 Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.	1) EN: _____ Value = _____ Ohms.	2) EN: _____ Value = _____ Ohms.		
	20.2 Static Field < 100 V	Value = _____ V.	Value = _____ V.		
21 Finger Cot  **โปรดทุกนิ้วที่สวม finger cot แล้วบันทึก ค่าที่อ่านได้สูงสุด	21.1 Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.	1) EN: _____ Value = _____ Ohms.	2) EN: _____ Value = _____ Ohms.		
	21.2 Static Field < 100 V	Value = _____ V.	Value = _____ V.		

22 Soldering Iron	22.1 Resistance to Ground < 10 Ohms.	1) MC No. _____ Value = _____ Ohms.	2) MC No. _____ Value = _____ Ohms.		
	22.2 Daily Record	Result: ___correct or ___wrong	Result: ___correct or ___wrong		
	22.3 CV is not overdue.	CV Due _____	CV Due _____		
23 Torque	23.1 Resistance to Ground < 1.0E+9 Ohms.	1) MC No. _____ Value = _____ Ohms.	2) MC No. _____ Value = _____ Ohms.		
	24 Tray / Foam Tray	24.1 Surface resistance < 1.0E+09 Ohms.	Value = _____ Ohms.	Value = _____ Ohms.	
24 Tray / Foam Tray	24.2 Static Field < 100 V	Value = _____ V.	Value = _____ V.		
	24.3 Lot Code of Tray / Foam Tray	Result: ___correct or ___wrong	Result: ___correct or ___wrong		
	25 Tote Box	25.1 Surface resistance < 1.0E+09 Ohms.	Value = _____ Ohms.	Value = _____ Ohms.	
25 Tote Box	25.2 Static Field < 100 V	Value = _____ V.	Value = _____ V.		
	26 Bin Box	26.1 Static Field < 100 V	Value = _____ V.	Value = _____ V.	
26 Bin Box	26.2 Surface resistance < 1.0E+09 Ohms.	Value = _____ Ohms.	Value = _____ Ohms.		
	27 Tape	27.1 Pull Test < 100 V	Value = _____ V.	Value = _____ V.	
28 Lint-Free/ Wiper	28.1 Static Field < 100 V ( Wipe on CPM )	Value = _____ V.	Value = _____ V.		
29 Bag	29.1 Surface resistance < 1.0E+11 Ohms.	Value = _____ Ohms.	Value = _____ Ohms.		
	29.2 Static Field < 100 V	Value = _____ V.	Value = _____ V.		
30 ESD Caution Sign	30.1 EPA is identified.	Result: ___correct or ___wrong	Result: ___correct or ___wrong		
31 Humidity	31.1 30 - 60 %RH within EPA (Non Clean Room )	Value = _____ %RH	Value = _____ %RH		
	31.2 40 - 60 %RH within EPA (Clean Room )	Value = _____ %RH	Value = _____ %RH		
32 Isolated Conductors	32.1 ตรวจสอบดูว่ามีวัสดุตัวนำสัมผัสกับ PCBA หรือไม่ ?	<input type="checkbox"/> มีตัวนำสัมผัส PCBA (ข้อ 32.2)	<input type="checkbox"/> ไม่มีตัวนำสัมผัส PCBA (Conformity ไม่ต้องข้อ 32.2)		
	32.2 Resistance to ground measurement	Value = _____ Ohms.	* Conformity ถ้า <1.0E+9 Ohms. * Nonconformity ถ้า >1.0E+9 Ohms แต่ <1.0E+12 Ohms * ถ้า >1.0E+12 Ohms. (ข้อ 32.3)		
	32.3 Difference in Potential < 35 V	Value = _____ Volts.	* วัดโดย contact volt meter		
Other (pls identify)					
<b>Equipment :</b> <input type="checkbox"/> Resistance Meter S/N: _____ Cal. Due: _____ <input type="checkbox"/> Static Field Meter S/N: _____ Cal. Due: _____ <input type="checkbox"/> Multimeter S/N: _____ Cal. Due: _____ <input type="checkbox"/> Ground Pro Meter S/N: _____ Cal. Due: _____ <input type="checkbox"/> Other _____ S/N: _____ Cal. Due: _____					
<b>Note:</b> 					

\*คำอธิบายของรายการตรวจสอบแสดงในภาคผนวก

#### 7.1.4 การพัฒนาระบบเพื่อควบคุมการตรวจสอบไฟฟ้าสถิตในกระบวนการ (i-Operation system for ESD control)

เนื่องจากปัญหาการเกิดไฟฟ้าสถิตขึ้นในกระบวนการ นำไปสู่การเกิดข้อบกพร่องในตัวชิ้นงานผลิต บริษัทกรณีศึกษาจึงได้พัฒนาระบบในส่วนการควบคุมอุปกรณ์เครื่องมือเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตขึ้นมาเพื่อบันทึกข้อมูลและตรวจสอบสถานะเกี่ยวกับอุปกรณ์ ESD เช่น สายพานลำเลียงไฟฟ้าสถิต (ESD Conveyor), ปืนลมไฟฟ้าสถิต (ESD Air Gun), เสื้อคลุมป้องกันไฟฟ้าสถิต (ESD Gament), พื้น ESD (ESD Floor), รถเข็นเคลื่อนที่ (Mobile Equipment), ค่าความต้านทานถึงกราวด์ของตัว Torque (Torque Driver RTG (Resistance to Ground)), พื้นี่การทำงาน (Work surface) เป็นต้น ซึ่งในระบบจะมีการบันทึกอุปกรณ์ที่ต้องควบคุมไฟฟ้าสถิตพร้อมผลบันทึกการทวนสอบตรวจสอบอุปกรณ์



\*(CV=Compliance Verification การตรวจสอบการปฏิบัติตามข้อกำหนด)

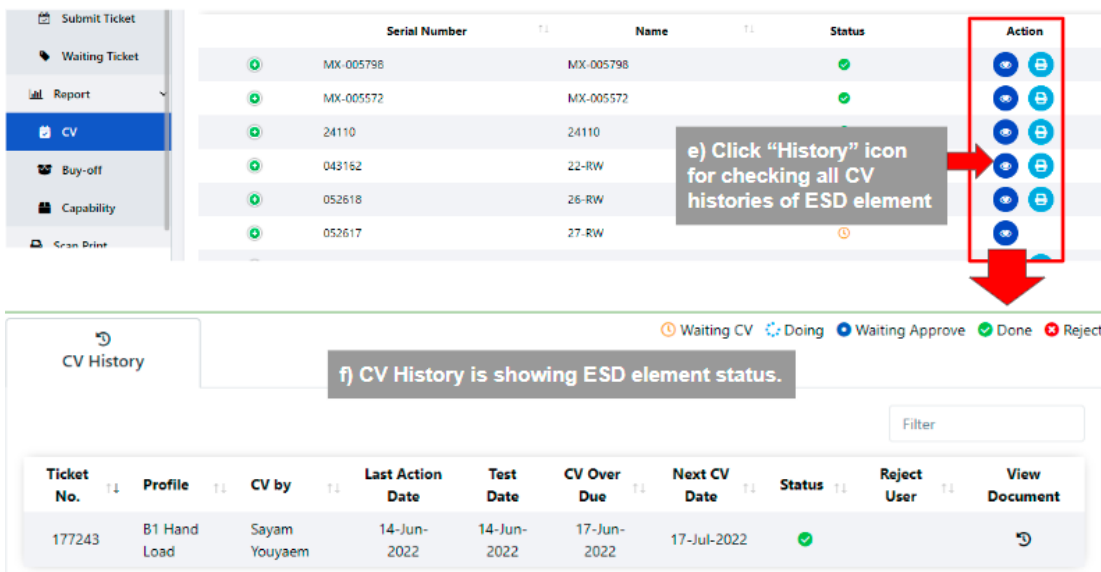
รูปที่ 7.2 ผังการไหลการใช้นระบบควบคุมไฟฟ้าสถิตในกระบวนการ

ตารางที่ 7.2 แสดงผู้มีส่วนรับผิดชอบและหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลในระบบ

User by role	working description
CV Owner	Create CV profile for ESD element.
	Edit ESD configuration.
	Maintain ESD record in system.
	Print and attach ESD CV label.
	Record ESD buy-off report.
	Record capability report.
CV manager	Review and approve CV profile.
	Review and approve ESD record.
	Review and approve ESD buy-off report.
	Review and approve capability report.
Generic user	Select ESD record/preview ESD record and ESD status.

- พนักงานตรวจสอบหรือ CV Owner มีหน้าที่ปฏิบัติงานให้ถูกต้องตามเอกสาร
- ผู้จัดการฝ่ายตรวจสอบการปฏิบัติตามข้อกำหนด มีหน้าที่ปฏิบัติงานตามเอกสารและตรวจสอบรายงาน อนุมัติเอกสาร
- วิศวกรฝ่ายคุณภาพทำการตรวจสอบแก้ไข ปรับปรุงเครื่องมือรวมถึงอุปกรณ์และเอกสารฉบับนี้ให้พร้อมใช้งานอย่างถูกต้องอยู่เสมอ

ในระบบจะมีการจัดเก็บเอกสารรายการตรวจสอบ พร้อมระบุวันที่ต้องทำการตรวจสอบซ้ำอีกครั้งพร้อมแสดงสถานะของรายงานและอุปกรณ์ ESD นั้นๆ พนักงานตรวจสอบจะทำการบันทึกข้อมูลในระบบและส่งให้ผู้จัดการอนุมัติ เครื่องมือที่ไม่อยู่ในสถานะที่ใช้งานได้หรือยังไม่ผ่านการอนุมัติรายการตรวจสอบนั้นจะไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในกระบวนการผลิตได้ หากมีการละเมิดหรือนำอุปกรณ์ที่ไม่ผ่านการตรวจสอบในระยะเวลาที่กำหนด พนักงานที่นำอุปกรณ์นั้นมาใช้จะต้องถูกลงโทษตามกฎระเบียบของบริษัทตามขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 7.3 ตัวอย่างการแสดงผลการตรวจสอบอุปกรณ์ ESD ในระบบ

ภายหลังการตรวจสอบและบันทึกข้อมูลการตรวจสอบในระบบเสร็จสิ้น พนักงานตรวจสอบจะติดสติ๊กเกอร์เพื่อระบุสถานะที่ตัวอุปกรณ์นั้นๆ ดังตัวอย่างรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 ตัวอย่างการติดสติ๊กเกอร์ ESD CV

ระบบนี้จะช่วยในการควบคุมการตรวจวัดอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดการป้องกันไฟฟ้าสถิตในกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา และป้องกันการเกิดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าจากอุปกรณ์หรือเครื่องมือไปสู่ชิ้นงานระหว่างการผลิต ทั้งนี้พนักงานจะต้องมีความเข้าใจและปฏิบัติตามข้อกำหนด เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตและป้องกันการเกิดปัญหาคุณภาพของชิ้นงานไม่เป็นที่ไปตามข้อกำหนดดังกล่าว

## บทที่ 8

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาข้างต้นงานวิจัยฉบับนี้ได้มีการศึกษาถึงปัญหาข้อบกพร่องทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเน็ตเวิร์กสวิตช์ของบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง โดยได้มีการนำเสนอแนวคิดและการประยุกต์ใช้วิธีการดำเนินงานการแบบซิกซ์ซิกม่า ในเบื้องต้นการระบุปัญหาคุณภาพที่เกี่ยวข้องกับข้อบกพร่องทางไฟฟ้า ได้อาศัยการวิเคราะห์และทดสอบเชิงฟังก์ชันจากทีมวิศวกรของบริษัทผู้ผลิตชิ้นส่วนประกอบสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหา จึงได้พบว่าผลิตภัณฑ์เน็ตเวิร์กสวิตช์ของบริษัทกรณีศึกษาได้เกิดข้อบกพร่องจากชิ้นส่วนหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ไม่สามารถรับส่งสัญญาณทางไฟฟ้าได้ปกติ เนื่องจากเกิดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าจากการถ่ายเทประจุไฟฟ้า ในระหว่างกระบวนการประกอบของบริษัทกรณีศึกษาหรือที่เรียกกันว่า ESD (Electrostatic discharge) หน่วยประมวลผลกลางที่บริษัทกรณีศึกษาเลือกมาใช้ในกระบวนการผลิตมีคุณสมบัติตามที่ลูกค้ากำหนดและเป็นชิ้นส่วนที่ลูกค้ามีการกำหนดควบคุม เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนสำคัญและมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้นเมื่อเกิดปัญหาทางคุณภาพที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด จึงส่งผลกระทบต่อความเชื่อมั่นของลูกค้าที่มีต่อบริษัทกรณีศึกษาและราคาต้นทุนในการผลิตสูงขึ้นเนื่องจากสาเหตุของการเกิดปัญหาถูกระบุว่า เกิดจากกระบวนการผลิตและการควบคุมกระบวนการที่ไม่ดีพอของบริษัทกรณีศึกษา หลังจากทราบปัญหาที่เกิดขึ้นฝ่ายวิศวกรและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องจึงได้ปรึกษาเพื่อหาแนวทางการแก้ไขและป้องกันปัญหาอย่างยั่งยืน จึงได้มีการจัดตั้งทีมงานเพื่อนำแนวทางของซิกซ์ซิกมามาช่วยในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา เมื่อมีการกำหนดปัญหาแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้ทำการประเมินความแม่นยำของระบบการวัดเพื่อให้แน่ใจว่าผลที่ได้จากการวัดใดๆ ในระหว่างการศึกษานั้นมีความแม่นยำและเชื่อถือได้ ในการศึกษาครั้งนี้เครื่องมือวัดที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาประกอบไปด้วย การวัดสนามไฟฟ้าสถิตด้วยเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าสถิต (Electrostatic field meter) เครื่องมือวัดชนิดนี้จะบอกว่ามีกระแสไฟฟ้าสถิตอยู่เท่าใดและมีค่าเป็นประจุบวกหรือลบ และการวัดค่าความต้านทานพื้นผิว (Resistance to Ground: RTG) โดยใช้เครื่องวัดค่าความต้านทานพื้นผิววัดค่าความต้านทานไฟฟ้าสถิต ความต้านทานแสดงถึงความสามารถของวัสดุในการนำประจุไฟฟ้า (กระแสไหล) ไปที่จุดต่อกราวนด์ที่อยู่ยังแนวต้านในเส้นทางสูงเท่าใดประจุกก็จะมีเคลื่อนที่ช้าลงตามเส้นทางที่กำหนดไว้ ความต้านทานต่อพื้นผิวถูกวัดเพื่อให้แน่ใจว่าพื้นผิวได้รับการต่อสายดินอย่างถูกต้อง

### 8.1 บทสรุปขั้นตอนการวัด

จากข้อมูลการวัดที่วัดโดยพนักงานวัดสองคนโดยการทำซ้ำทั้งหมดสามครั้งสามารถวิเคราะห์รีพีทหะบิลิตี้ของความแปรปรวน จากพนักงานวัดเดียวกันและรีโพรดิวซิบิลิตี้ของตัวอย่างเดียวกันโดยพนักงานวัดหลายคนของทั้งสองเครื่องมือวัดผลที่ได้คือ

- พิจารณาความแตกต่างระหว่างพนักงานวัดพบว่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 (ที่ระดับนัยสำคัญ) แสดงให้เห็นว่าพนักงานวัดทั้งสองให้ผลการวัดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

- พิจารณาจากอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานตัวอย่างพบว่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 (ที่ระดับนัยสำคัญ) สามารถแสดงให้เห็นว่าไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานวัดและชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ

- ผลรวม Gage R%R มีค่า น้อยกว่า 10 เปอร์เซนต์แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดนี้มีความแม่นยำและอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

เมื่อได้ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดแล้วก็จะนำไปสู่ระยะการวิเคราะห์ เพื่อค้นหากระบวนการที่ก่อให้เกิดปัญหา

### 8.2 บทสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา

จากผลการบันทึกติดตามข้อมูลจำนวนของเสียที่เกิดในแต่ละกระบวนการ พบว่ากระบวนการที่เกิดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าจากหน่วยประมวลผลกลางสูงที่สุดสามอันดับแรกได้แก่ กระบวนการไหลตด้วยมือและการบัดกรีด้วยคลื่น (Hand load and Wave soldering), กระบวนการสวมอัดชิ้นงาน (Press fit Assembly) และกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า (In-circuit test) จึงเลือกกระบวนการดังกล่าวมาศึกษาวิเคราะห์ โดยผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) และการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ทำให้สามารถกรองปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อการเกิดปัญหาเพื่อนำมาปรับปรุงดังนี้

- 1). ทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนการประกอบบนโต๊ะทำงาน
- 2). การหนดวงเวลาขณะลอกเทปป้องกันความร้อน
- 3). ความเร็วของสายพานการผลิต

#### 4. การปรับระดับพัลลวมสลายประจุไฟฟ้าที่สถานีทำงาน

ตารางที่ 8.1 สรุประดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมุติฐาน

ปัจจัยนำเข้า	ระดับของปัจจัย		หน่วย
	-1	1	
ทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนประกอบ	คว่ำขาสัญญานลง	หงายขาสัญญานขึ้น	ไม่มี
การหน่วงเวลาขณะลอกเทปกั้นความร้อน	0	5	วินาที
ความเร็วของสายพานการผลิต	0.6	1	เมตร/นาที
ระดับพัลลวมของ Air Ionizer	ระดับกลาง 220 CFM	ระดับสูงสุด 330 CFM	ไม่มี

(หมายเหตุ: CFM ย่อมาจาก Cubic Feet per Minute)

นอกเหนือจากปัจจัยข้างต้นยังพบว่ากระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า (ICT) ขาดการตรวจสอบประเมินเกี่ยวกับการเกิดไฟฟ้าสถิตก่อนการปฏิบัติงาน รวมไปถึงการตรวจวัดและกำจัดไฟฟ้าสถิตบนอุปกรณ์เครื่องมือในสถานีงานที่ถูกต้องอีกด้วย ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวนี้ได้นำไปพิจารณาเพื่อปรับปรุงแก้ไขและจัดตั้งเป็นมาตรฐานในการทำงานต่อไป

### 8.3 บทสรุปขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการผลิต

8.3.1 ผลสรุปการปรับปรุงในกระบวนการไหลด้วยมือและบัดกรีด้วยคลื่น (Handload and wave soldering)

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมุติฐานให้ผลว่ามีปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลและระดับของปัจจัยที่สามารถลดการเกิดไฟฟ้าสถิตในกระบวนการได้ทั้งหมด 4 ปัจจัย จึงได้นำค่าของปัจจัยเหล่านั้นมาปรับใช้ในกระบวนการได้แก่ การปรับทิศทางของชิ้นส่วนก่อนการประกอบภายใต้การเปิดพัลลวมสลายประจุไฟฟ้าปรับระดับไว้ที่ความแรงสูงสุด การปรับความเร็วของสายพานเคลื่อนแผงวงจรพิมพ์เข้าสู่เครื่องบัดกรีด้วยคลื่น และหลังจากผ่านกระบวนการเชื่อมประสานในขั้นตอนการดึงเทปกั้นความร้อนออกจากชิ้นงาน ให้พนักงานเปลี่ยนวิธีทำงานโดยให้ค่อยๆ ดึงเทปกั้นออกจากชิ้นงานช้าๆ เป็นระยะเวลา 5 วินาที และมีการกำหนดให้ทำงานภายใต้พัลลวมสลายประจุไฟฟ้าเท่านั้น จากนั้นจึงปรับปรุงเอกสารคู่มือการปฏิบัติงานและเฝ้าติดตามผลการดำเนินการ



### 8.3.2 ผลสรุปการปรับปรุงในกระบวนการสวมอัดชิ้นงาน (Press-Fit Assembly)

เนื่องจากสถานีงานนี้มีลักษณะการทำงานและขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานประกอบใกล้เคียงกับกระบวนการไหลด้วยมือ แต่ไม่มีการติดตั้งพัดลมสลายประจุไฟฟ้าที่บริเวณโต๊ะทำงาน จึงได้เพิ่มการติดตั้งพัดลมไว้ตำแหน่งที่พนักงานเตรียมชิ้นงาน และปรับทิศทางของชิ้นส่วนก่อนการประกอบภายใต้การเปิดพัดลมสลายประจุไฟฟ้าโดยปรับระดับพัดลมไว้ที่ความแรงสูงสุด นอกจากนี้ยังใช้การตรวจประเมินการเกิดไฟฟ้าสถิตบนวัสดุสัมผัสที่ชิ้นงาน เพื่อเป็นตัวชี้วัดความพร้อมของสายการผลิตก่อนเริ่มปฏิบัติงาน

### 8.3.3 ผลสรุปการปรับปรุงในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า (ICT: In Circuit Test)

จากการตรวจสอบไฟฟ้าสถิตที่กระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า (ICT) จุดที่สัมผัสกับชิ้นงานมีเพียงบริเวณ Pin probe ที่ใช้วัดตามจุดทดสอบต่างๆ บนแผงวงจรพิมพ์ซึ่งพบปัญหาความไม่สะอาดและมีสิ่งแปลกปลอมในฟีกเจอร์ที่ใช้ทำการทดสอบเมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานสำหรับการทำงานเพิ่มเติมก่อนการทดสอบทางไฟฟ้าได้แก่ กำหนดให้มีการพ่นสเปรย์เคลือบบริเวณฟีกเจอร์สัมผัสชิ้นงานสำหรับป้องกันไฟฟ้าสถิต และการตรวจสอบไฟฟ้าสถิตที่จุดต่างๆ ของสถานีก่อนการเริ่มปฏิบัติงานหรือทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่นการผลิต

ภายหลังการกำหนดมาตรฐานการทำงานแบบใหม่ ได้มีการเฝ้าติดตามผลการดำเนินงานโดยการวัดไฟฟ้าสถิตอีกครั้งที่จุดทำงานต่างๆ ของกระบวนการผลิตและการจำลองระบบทดสอบของชิ้นงานเสมือนประกอบเป็นสวิตช์ เพื่อติดตามผลแยกแต่ละกระบวนการและบันทึกจำนวนข้อบกพร่องที่พบเป็นระยะเวลาหกเดือน ได้ผลลัพธ์คือข้อบกพร่องของชิ้นงาน (System run) โดยรวมลดลงจาก 1.92 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 1.05 เปอร์เซ็นต์หรือกล่าวได้ว่า อัตราของเสียจากการเกิดไฟฟ้าสถิตที่ตัวอุปกรณ์ U21 ลดลง 0.86 เปอร์เซ็นต์ ผลลัพธ์แยกตามกระบวนการทำงานเป็นดังนี้

- ที่สถานีไหลด้วยมือสัดส่วนของเสียลดลงจาก 0.99 เปอร์เซ็นต์เหลือ 0.75 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือลดลง 0.24 เปอร์เซ็นต์
- ที่สถานีสวมอัดชิ้นงานสัดส่วนของเสียลดลงจาก 0.52 เปอร์เซ็นต์เหลือ 0.26 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือลดลง 0.26 เปอร์เซ็นต์
- ที่สถานีทดสอบ ICT สัดส่วนของเสียลดลงจาก 0.40 เปอร์เซ็นต์เหลือ 0.05 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือลดลง 0.35 เปอร์เซ็นต์

จากการข้อมูลหลังการปรับปรุงคุณภาพ สามารถเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียก่อนและหลังการปรับปรุงโดยก่อนการปรับปรุงมีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยเท่ากับ 19,162.88 DPPM หรือค่าระดับซีกม่า  $\sigma$  อยู่ที่ระดับ 3.57 หลังการปรับปรุงมีสัดส่วนของเสียเฉลี่ยเท่ากับ 10,528.02 DPPM ระดับซีกม่า  $\sigma$  อยู่ที่ระดับ 3.81 อัตราของเสียลดลง 0.86 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาวิเคราะห์ในแง่ของต้นทุนการผลิตตามสมการที่ (2) ต้นทุนของเสียที่ลดลงได้จะเป็นดังนี้

$$\text{ต้นทุนของเสีย} = \text{จำนวนของเสีย (หน่วย)} \times \text{ราคาชิ้นส่วน (\$)} \quad (2)$$

ตารางที่ 8.2 แสดงจำนวนและต้นทุนของเสียก่อนการปรับปรุง

รุ่นของ CPU (U21)	ราคาชิ้นส่วน (\\$)	จำนวนการผลิต (หน่วย)	จำนวนของเสีย (หน่วย)	อัตราการเกิดของเสีย	ต้นทุนของเสีย (\\$)
D-XX23IT	201.00	565	9	1.59%	1809.00
D-XX45NT	552.20	2489	56	2.25%	30923.20
D-XX87NT	2187.90	2895	49	1.69%	107207.10

เฉลี่ยค่าใช้จ่ายในการซ่อมเปลี่ยนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าจากการเกิดไฟฟ้าสถิตก่อนการปรับปรุงต่อเดือนเท่ากับ 23,233.22 เหรียญดอลลาร์สหรัฐ

ตารางที่ 8.3 แสดงจำนวนและต้นทุนของเสียหลังการปรับปรุง

รุ่นของ CPU (U21)	ราคาชิ้นส่วน (\\$)	จำนวนการผลิต (หน่วย)	จำนวนของเสีย (หน่วย)	อัตราการเกิดของเสีย	ต้นทุนของเสีย (\\$)
D-XX23IT	201.00	287	2	0.70%	402.00
D-XX45NT	552.20	2882	37	1.28%	20431.40
D-XX87NT	2187.90	3005	26	0.87%	56885.40

เฉลี่ยค่าใช้จ่ายในการซ่อมเปลี่ยนชิ้นงานที่เกิดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าจากการเกิดไฟฟ้าสถิตภายหลังการปรับปรุงต่อเดือนเท่ากับ 12,953.13 เหรียญดอลลาร์สหรัฐ

จะเห็นได้ว่าหลังจากการปรับปรุงที่สามกระบวนการดังกล่าวข้างต้น สามารถลดสัดส่วนของเสียจากไฟฟ้าสถิต ลดลงจากก่อนปรับปรุง 19,162.88 DPPM มาเป็น 10,528.02 DPPM ซึ่งยังคงสูงกว่าค่าเป้าหมายของบริษัทการศึกษาที่ตั้งไว้คือ 2,000 DPPM แต่เนื่องจากราคาชิ้นส่วนค่อนข้างสูง เมื่อ

คำนวณในเชิงต้นทุนจากการผลิตของเสีย การปรับปรุงนี้สามารถลดต้นทุนจากการผลิตของเสียได้เป็นจำนวนเงินเฉลี่ย 10,370.08 เหรียญดอลลาร์สหรัฐต่อเดือน ผลที่ได้จากการศึกษานี้ยังช่วยต่อยอดในเรื่องการปรับปรุงจัดการการเกิดไฟฟ้าสถิตในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยอาศัยปัจจัยในการปรับวิธีการทำงาน นอกเหนือจากการใช้อุปกรณ์ป้องกัน ESD ในกระบวนการผลิต

#### 8.4 บทสรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต

หลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามระดับปัจจัยที่ผ่านการทดสอบสมมติฐานเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมมาแล้วนั้น เพื่อควบคุมกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามที่กำหนดจึงมีการควบคุมระดับปัจจัยทั้งหมดให้คงที่ โดยการปรับปรุงมาตรฐานการปฏิบัติงาน พร้อมทั้งมีการตรวจสอบกระบวนการผลิตเกี่ยวกับการควบคุมไฟฟ้าสถิตในกระบวนการ และการเก็บบันทึกผลในระบบเพื่อให้สามารถเข้าถึงได้และสะดวกต่อการตรวจสอบ

#### 8.5 ข้อจำกัดและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย

##### 8.5.1 ข้อจำกัดด้านวัตถุดิบในการทดลอง

เนื่องจากชิ้นส่วนประกอบที่พบข้อบกพร่องมีราคาค่อนข้างสูงและมีจำนวนจำกัดสำหรับการผลิตแต่ละครั้งเท่านั้น การทำการทดสอบจึงมีข้อจำกัดคือสามารถเก็บข้อมูลจากการผลิตตามแผนการผลิตเท่านั้น จึงใช้ระยะเวลาค่อนข้างมากในการเก็บข้อมูลและเปรียบเทียบข้อมูลในอดีตกับข้อมูลที่ได้จากการทดลองด้วยระดับปัจจัยที่กำหนด

##### 8.5.2 ข้อจำกัดของเครื่องจักร

การปรับพารามิเตอร์ของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต เป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อนและต้องผ่านการประเมินอย่างรอบคอบ เนื่องจากอาจจะส่งผลกระทบต่อด้านคุณภาพด้านอื่นๆ ของตัวชิ้นงานได้ ดังนั้นการเลือกระดับปัจจัยที่นำมาทดลองจึงต้องผ่านการประเมินและเห็นชอบจากผู้เชี่ยวชาญก่อนจะนำมาใช้กับชิ้นงานจริงและไม่สามารถปรับค่าให้มีความหลากหลายเพื่อทำการทดลองหลายๆ ครั้งได้ เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องจักร

### 8.5.3 ข้อจำกัดในการวัดผลการทดลอง

ข้อบกพร่องทางไฟฟ้าที่พบในชิ้นงานนั้น สามารถตรวจพบได้เมื่อทำการทดลองเต็มทั้งระบบของเน็ตเวิร์กสวิตช์โดยการประกอบทุกชิ้นส่วนจนครบแล้วจึงนำไปทดสอบที่สถานีทดสอบฟังก์ชันทางไฟฟ้า (System functional test: FCT) แต่เพื่อลดระยะเวลาในการวัดผลและประหยัดทรัพยากรในการทดลอง จึงต้องอาศัยการจำลองระบบโดยการต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟและทดลองเปิดระบบเพื่อติดตามผลการทำงานว่าหน่วยประมวลผลกลาง สามารถรับ-ส่งสัญญาณทางไฟฟ้าในระบบได้หรือไม่ ดังนั้นหากเกิดข้อบกพร่องจากไฟฟ้าสถิตภายหลังกระบวนการที่สนใจทั้ง 3 กระบวนการข้างต้นนั้นจะไม่สามารถวัดผลได้จากการศึกษา

### 8.5.4 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงบ่อย

ผลิตภัณฑ์ที่นำมาศึกษานั้นเป็นผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการออกแบบโดยลูกค้าร่วมกับทีมออกแบบของบริษัทการศึกษา ซึ่งลักษณะพิเศษของผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ตลอดเวลาเพื่อปรับปรุงให้เป็นที่ไปตามความต้องการของลูกค้า และเนื่องด้วยระยะเวลาที่ต้องใช้ในการเก็บผลการทดสอบค่อนข้างนาน ดังนั้นเมื่อผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงหรืออัปเดต (การเปลี่ยนแปลงทางวิศวกรรม) ปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อข้อบกพร่องอาจเปลี่ยนแปลงไปหรือต้องมีการพิจารณาปัจจัยใหม่ทุกครั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

### 8.6 ข้อเสนอแนะ

ปัญหาการเกิดไฟฟ้าสถิตเป็นปัญหาที่ต้องได้รับการแก้ไขโดยเร็วที่สุด ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และเป็นปัญหาที่ร้ายแรงเนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อตัวผลิตภัณฑ์ การศึกษาดำเนินงานวิจัยฉบับนี้ได้เสนอแนวทางการลดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์เน็ตเวิร์กสวิตช์ โดยนำแนวคิดแบบซิกซ์ซิกม่ามาช่วยในการปรับปรุงกระบวนการ พิจารณาจากสถานีทำงานที่ก่อให้เกิดจำนวนข้อบกพร่องสูงที่สุด 3 อันดับแรกเนื่องจากระยะเวลาที่จำกัด ในลำดับถัดไปสำหรับการต่อยอดการศึกษาปัญหานี้บริษัทการศึกษาควรมีการศึกษาในทุกๆ ขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียดเพื่อกำจัดแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสถิตที่ไม่สามารถควบคุมได้และป้องกันข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ และนำมาจัดทำเป็นมาตรฐานในการทำงาน เพื่อให้สอดคล้องกับเป้าหมายของบริษัทการศึกษาคือ

สัดส่วนของเสียจากการผลิตควบคุมที่ 2000 DPPM การฝึกอบรมให้พนักงานมีความตระหนักและเข้าใจถึงความสำคัญของการปฏิบัติตามมาตรฐานการทำงาน

กระบวนการทำงานในปัจจุบันยังมีการใช้การสัมผัสชิ้นงานโดยตรงในหลายๆ กระบวนการซึ่งกิจกรรมเหล่านั้นเป็นสาเหตุของการเกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าจากวัสดุหนึ่งไปยังอีกวัสดุหนึ่ง ดังนั้นการพัฒนากระบวนการผลิตให้มีการสัมผัสชิ้นงานน้อยที่สุดน่าจะเป็นแนวทางที่ช่วยลดสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องทางไฟฟ้าของชิ้นงานจากไฟฟ้าสถิตได้



## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

- เพ็ญประภา กล้ากสิการ. (2553). การปรับปรุงกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ตัวลือคชุดหัวอ่านเพื่อลดข้อบกพร่องประเภทระยะความสูงของบอล วารสาร วิศวกรรมศาสตร์, 3(1), 61-72.
- ชาญชัย บวรโชคชัย. (2545). การลดของเสียแขนจับหัวอ่านด้วยวิธีการซิกซ์ซิกม่า กรณีศึกษากระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่าน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธงชัย คล้ายคลึง. (2559). การควบคุมและการป้องกันอันตรายจากประจุไฟฟ้าสถิต. สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2565 จาก <http://www.thailandindustry.com/onlinemag/view2.php?id=727&section=9&issues=28>
- ธานี โหมดสง่า. (2563). ความแตกต่างระหว่าง network hub กับ network switch และการใช้ network switch ในชุด network streaming ของชุดเครื่องเสียง. สืบค้นเมื่อ 4 กันยายน 2565 จาก <https://www.allabout.in.th/what-is-the-difference-between-a-network-hub-and-a-network-switch/>
- นवलพรรณ ใจงาม. (2542). การลดของเสียที่เกิดจากการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิต ในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้ระเบียบวิธีซิกซ์ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิวัฒน์ วรสาร. (2561). ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ โดยใช้รูปแบบการเรียนรู้เชิงรุก รายวิชาไฟฟ้าและแม่เหล็ก (ว 30203) เรื่องไฟฟ้าสถิต. สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2565 จาก [http://www.pccm.ac.th/tiny\\_mce/home/articles/2019052901/2019052901-electro-static.pdf](http://www.pccm.ac.th/tiny_mce/home/articles/2019052901/2019052901-electro-static.pdf)
- ปารเมศ ชูติมา. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปิยนันท์ สวัสดิ์ศฤงฆาร. (2563). สารานุกรมการบริหารและการจัดการ Six Sigma: แนวคิดและการนำไปปฏิบัติ. สืบค้นเมื่อ 18 กันยายน 2565 จาก <https://drpiyanan.com/2020/10/10/6-sigma-principles/>
- พิชญา ทองรักษ์. (2563). การวิเคราะห์เพื่อพัฒนาระบบการรับข้อมูลรายการหักเงินเดือน เพื่อชำระหนี้สวัสดิการบุคลากร มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ผลงานเชิงวิเคราะห์สำนักงานอธิการบดี: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

- พิชิต สุขเจริญพงษ์. (2543). การควบคุมคุณภาพเชิงวิศวกรรม Engineering Quality Control. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.
- ภัทร อายูวัฒน์. (2546). การลดของเสียที่เกิดจากค่าการรับน้ำหนักกดของชุดหัวอ่านสำเร็จไม่ได้ ตามข้อกำหนดในกระบวนการประกอบหัวอ่านโดยใช้แนวทางซิกซ์ ซิกม่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อัศววัฒน์ ไค่นุ่นสิงห์. (2551). การเพิ่มอัตราผลผลิตของสายการประกอบชุดหัวอ่านเขียนสำเร็จในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุดมศักดิ์ จิตสงบ. (2563). การวิเคราะห์ระบบการวัด Measurement System Analysis ( MSA ) 4th Edition. สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2565 จาก <https://www.bigqtraining.com/download-tools/>
- อุมาร์ตัน ศิริจรูญวงศ์. (2553). FMEA เทคนิคการซั้งอันตรายเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุจากงาน,”.วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ. วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ, 2-4.

## ภาษาอังกฤษ

- Almazar, R., & Hoffman, B. (1996). Immediate Elimination of Gross ESD Failures in PLCC MECL Product Line Through Innovative Techniques. ELECTRICAL OVERSTRESS ELECTROSTATIC DISCHARGE SYMPOSIUM PROCEEDINGS,
- Andrade-Morelli, S., Ruiz-Sánchez, E., Sendra, S., & Lloret, J. (2013). Router power consumption analysis: towards green communications. Green Communication and Networking: Second International Conference, GreeNets 2012, Gandia, Spain, October 25-26, 2012.,
- Ball, M. O., & Magazine, M. J. (1988). Sequencing of insertions in printed circuit board assembly. *Operations Research*, 36(2), 192-201.
- Brown, C., & Feher, K. (1996). A Flexible Modem Structure for Increased Network Capacity and Multimedia Transmission in GSM PCS. Proceedings of IEEE INFOCOM'96. Conference on Computer Communications,
- Carey, R. G., & Stake, L. V. (2003). Improving healthcare with control charts: basic and advanced SPC methods and case studies. Quality Press.
- Chen, H., Jia, X., & Li, H. (2011). A brief introduction to IoT gateway. IET international conference on communication technology and application (ICCTA 2011),
- Díaz, C. H., Kang, S.-M. S., & Duvvury, C. (2012). Modeling of electrical overstress in integrated circuits (Vol. 289). Springer Science & Business Media.
- Graves, S. B. (1998). Statistical quality control of a multistep production process using total process yield. *Quality Engineering*, 11(2), 187-195.
- Hassoun, A., Ait-Kaddour, A., Abu-Mahfouz, A. M., Rathod, N. B., Bader, F., Barba, F. J., Biancolillo, A., Cropotova, J., Galanakis, C. M., & Jambrak, A. R. (2022). The fourth industrial revolution in the food industry—Part I: Industry 4.0 technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-17.
- Held, G. (2001). Data communications networking devices: operation, utilization and LAN and WAN internetworking. John Wiley & Sons, Inc.
- Montgomery, D. C. (2017). Design and analysis of experiments. John wiley & sons.
- Nosko, C. (2010). Competition and quality choice in the cpu market. Manuscript, Harvard University.



- Prasad, R. (2013). Surface mount technology: principles and practice. Springer Science & Business Media.
- Thompson, S. (2000). Intelligent Hub Access System. MILCOM 2000 Proceedings. 21st Century Military Communications. Architectures and Technologies for Information Superiority (Cat. No. 00CH37155),
- Uluskan, M. (2019). Design of Experiments Based Six Sigma DMAIC Application: Electrostatic Powder Coating Process. 2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT),





## ภาคผนวก ก

## เกณฑ์การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

1). The detection is a reflection of the capability and effectiveness of the process control strategy to identify a failure mode once it has occurred.

Ranking	Qualitative Term	Quantitative
1	Certain	100% Detection
2	Almost Certain	95% Detection
3	High	75% Detection
4	Moderate	50% Detection
5	Low	25% Detection
6	Undetectable	<10% Detection

2). The occurrence ranking is define as likelihood or probability that a failure will occur.

Ranking	Qualitative Term	Semi-Quantitative	Quantitative
1	Extremely Unlikely	1	Less than 1 in 1,000,000
2	Remote	2	Between 1 in 1,000,000 & 1 in 100,000
3	Unlikely	3	Between 1 in 100,000 & 1 in 10,000
4	Occasional	4	Between 1 in 10,000 & 1 in 1,000
5	Frequent	5	Between 1 in 1,000 & 1 in 100
6	Often	6	Greater than 1 in 100

3). The severity is a measure of degree to which the end user is effected (impacted) by the potential failure mode being analyzed.

Ranking	Category	Definition
1	None	No relevant effect on reliability or safety
2	Very Minor	No damage, no injuries, only results in a maintenance action (only noticed by discriminating customers)
3	Minor	Low damage, light injuries (affects very little of the system, noticed by average customer)
4	Moderate	Moderate damage, injuries possible (most customers are annoyed, mostly financial damage)
5	Critical	Causes a loss of primary function; Loss of all safety Margins, 1 failure away from a catastrophe, severe damage, severe injuries, max 1 possible death
6	Catastrophic	Product becomes inoperative; the failure may result in complete unsafe operation and possible multiple deaths

## ภาคผนวก ข

## ค่าผลการทดสอบมาตรฐานของปัจจัยนำเข้าโดยการวัดกระแสไฟฟ้าสถิตบนชิ้นงาน (โวลต์)

การทดลองที่	ทิศทางการวางชิ้นส่วนก่อนประกอบ		การหน่วงเวลาขณะลอกเทปกั้น		ความเร็วของสายพานการผลิต		ระดับพัลสมของ Air Ionizer	
	คว่ำขาสัญญาณลง	หงายขาสัญญาณขึ้น	ไม่มี	5 วินาที	0.6 เมตรต่อนาที	1 เมตรต่อนาที	ระดับกลาง	ระดับสูงสุด
1	80	51	115	102	37	73	96	30
2	84	57	121	97	36	75	80	37
3	82	53	121	96	39	70	99	31
4	82	60	113	102	36	73	82	40
5	83	59	125	97	39	70	80	42
6	80	50	120	99	35	73	81	41
7	81	54	120	97	33	72	93	39
8	83	60	117	101	39	74	88	34
9	85	57	125	95	40	75	100	36
10	80	55	124	96	31	70	80	35
11	85	60	110	95	30	74	81	35

12	84	52	119	100	39	71	100	30
13	82	56	126	99	37	72	83	39
14	83	51	117	95	30	73	81	41
15	81	54	113	102	32	74	99	39
16	83	60	115	102	34	71	97	34
17	80	50	125	100	37	72	92	31
18	85	54	110	98	31	75	80	38
19	83	52	112	99	36	71	89	40
20	82	58	115	95	38	71	85	37
21	85	56	111	102	40	71	96	42
22	85	60	118	95	33	75	85	33
23	80	57	124	96	38	74	94	38
24	80	53	115	99	38	75	84	35
25	80	60	117	95	35	71	90	41

## ภาคผนวก ค

## คำอธิบายรายการตรวจสอบ ESD ในกระบวนการผลิต

คำอธิบายรายการตรวจสอบ ESD Process Control Audit Checklist		
Audited Item / Specification	คำอธิบาย	
1	Equipment	
1.1	Equipment Grounding, Resistance < 1 Ohm.	วัดค่าความต้านทานของเครื่องกับ AC กราวนด์ ต้องมีค่าน้อยกว่า 1 โอห์ม โดยก่อนทำการวัดให้ทำการปิดเครื่องจักร/เครื่องมือก่อน และระบุให้ใช้ปลายสายวัดสีค่า (ขั้ว -ve ) ของมัลติมิเตอร์ต่อกับ AC กราวนด์ของเครื่องจักร/เครื่องมือ ส่วนปลายสายวัดสีแดง (ขั้ว +ve ) ของมัลติมิเตอร์ ให้ต่อเข้ากับจุดกราวนด์ตรงเพาเวอร์ซัพพลายของเครื่องจักร/เครื่องมือ หรือต่อกับตัวถัง, โครงของเครื่องจักร/เครื่องมือแต่บริเวณนั้น ต้องไม่ถูกเคลือบด้วยสี คราบสกปรก หรือ สนิม ซึ่งอาจทำให้ค่าที่วัดได้ผิดเพี้ยนหรือคลาดเคลื่อนได้ หมายเหตุ หากไม่สามารถหยุดไลน์เพื่อปิดเครื่องจักร/เครื่องมือได้เนื่องจากงานต้องผลิตเร่งด่วนให้ใช้ 3M Ground Pro ( ground impedance measurement ) วัดแทนมัลติมิเตอร์
1.2	Contact Surface, Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.	วัดค่าความต้านทานจากพื้นผิวที่สัมผัส ESD sensitive item (เช่น Nozzle, Pin Support ฯลฯ) ค่าความต้านทานที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1.00E+09 โอห์ม หากไม่สามารถหยุดไลน์ได้เนื่องจากงานต้องผลิตเร่งด่วนให้ใส่ N/A และ/หรือใส่เหตุผลช่องรีมาร์ค
1.3	Static Field < 2000 V within 12 inches of ESDS	วัดค่าไฟฟ้าสถิตที่อาจเกิดขึ้นบนส่วนต่างๆของเครื่อง เน้นส่วนที่ต้องสัมผัส หรือใกล้กับ ESD Sensitive item. ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 2000 โวลท์ ในระยะ 12 นิ้ว
1.4	Static Field < 125 V within 1 inch of ESDS.	วัดค่าไฟฟ้าสถิตที่อาจเกิดขึ้นบนส่วนต่างๆของเครื่อง เน้นส่วนที่ต้องสัมผัส หรือใกล้กับ ESD Sensitive item. ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 125 โวลท์ ในระยะ 1 นิ้ว
2	Common Ground Point	
2.1	Resistance < 1 Ohm.	วัดค่าความต้านทานจาก Common Ground Point เทียบกับจุด Reference Point ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1 โอห์ม ต้องบันทึกค่าใน Checklist อย่างน้อย 2 จุด แนะนำให้ทำการวัดทุกจุดของ Common Ground Point โดยบันทึกค่าเพิ่มเติมพร้อม layout ของไลน์ไว้ในหัวข้อ Note ท้าย Checklist
3	Wrist Strap Box	
3.1	Resistance to CGP < 2 Ohms.	วัดค่าความต้านทานจาก Wrist Strap Box เทียบกับจุด Common Ground Point ค่าที่วัดได้ต้องมีค่าน้อยกว่า 2 โอห์ม
3.2	CV is not overdue	ตรวจสอบสถานะการทำ CV จาก CV Sticker ต้องยังไม่เกินกำหนด

<p>4 Wrist Strap Monitor Box / Wrist Strap Monitor Box with sensor</p> <p>4.1 Verify by wrist strap (Spec. 800 - 1,200 K-ohms)</p> <p>4.2 Verify by wrist strap (Spec. OL K-ohms)</p> <p>4.3 CV is not overdue</p>	<p>ทำการวัดค่าของสาย Wrist strap ที่จะใช้ verify ก่อน โดยต้องมีค่าความต้านทาน อยู่ที่ 800-1,200 K-ohms ใส่ wrist strap ให้พอดีกับข้อมือแล้วเสียบ Jack เข้ากับ Wrist strap monitor box หาก LED แสดงผลเป็นสีเขียว แสดงสถานะถูกต้อง หากเป็นสีแดงและมีเสียง alarm แสดงว่า Wrist strap monitor box นั้นผิดปกติ</p> <p>ทำการวัดค่าของสาย Wrist strap ที่จะใช้ verify ก่อน โดยต้องมีค่าความต้านทาน อยู่ที่ OL K-ohms ใส่ wrist strap ให้พอดีกับข้อมือแล้วเสียบ Jack เข้ากับ Wrist strap monitor box หาก LED แสดงผลเป็นสีแดงและมีเสียง alarm แสดงสถานะ ถูกต้อง หากเป็นสีเขียว แสดงว่า Wrist strap monitor box นั้นผิดปกติ</p> <p>ตรวจสอบสถานะการทำ CV จาก CV Sticker ต้องยังไม่เกินกำหนด</p>
<p>5 Wrist Strap</p> <p>5.1 Entry Record on web</p> <p>5.2 Wearing Practice</p> <p>5.3 System Resistance &lt; 1.00E+07 Ohms.</p>	<p>ตรวจสอบบันทึกการเช็คสายกราวด์ของพนักงานก่อนเข้าไลน์ ผลที่บันทึกต้อง PASS</p> <p>สังเกตว่าพนักงานใส่สายกราวด์ระหว่างการทำงานถูกต้องหรือไม่</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- หากพนักงานยืนปฏิบัติงานบนพื้น ESD ไม่ต้องสวมสายกราวด์ขณะยืนปฏิบัติงาน</li> <li>- พนักงานนั่งหรือยืนบนพื้นอื่นๆ ขณะปฏิบัติงาน ต้องสวมสายกราวด์</li> <li>- ไม่ต้องสวมสายกราวด์หากทดสอบงานที่ Hi Pot</li> </ul> <p>วัดค่าความต้านทานรวมของ Wrist Strap และตัวพนักงาน ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1.00E+07 โอห์ม</p> <p>ให้พนักงานใส่สายกราวด์ ใช้มือข้างที่ใส่สายกราวด์ถือลูกตุ้มซึ่งต่อกับ Resistance Meter และปลายสายของ Wrist Strap ต่อเข้ากับ Resistance Meter เพื่อทำการวัดค่า เพื่อให้ได้ผลการวัดที่ถูกต้อง พนักงานต้องไม่สวมถุงมือขณะที่ใช้มือ ถือลูกตุ้มเพื่อทำการวัด</p>
<p>6 ESD Footwear</p> <p>6.1 Entry Record on web</p> <p>6.2 System Resistance &lt; 3.50E+07 Ohms.</p>	<p>ตรวจสอบบันทึกการเช็ครองเท้าของพนักงานก่อนเข้าไลน์ ผลที่บันทึกต้อง PASS</p> <p>วัดค่าความต้านทานรวมของรองเท้าและตัวพนักงาน ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 3.50E+07 โอห์ม</p> <p>ให้พนักงานยืนบนพื้น ESD ใช้มือถือลูกตุ้มซึ่งต่อเข้ากับ Resistance Meter ในขณะที่ ที่ลูกตุ้มอีกลูกซึ่งต่อกับ Resistance Meter วางอยู่บนพื้น ESD เพื่อให้ได้ผลการวัด ที่ถูกต้อง พนักงานต้องไม่สวมถุงมือและ Wrist Strap ขณะที่ใช้มือถือลูกตุ้มเพื่อทำ การวัด</p>



7	Training	
7.1	Basic Training Record	ตรวจสอบบันทึกการฝึกอบรมพื้นฐานของพนักงานจากระบบ
7.2	Refresher is not overdue.	ตรวจสอบบันทึกการฝึกอบรม Refresher ของพนักงานจากระบบ
8	Flooring	
8.1	Resistance to Ground < 3.50E+07 Ohms.	วัดค่าความต้านทานพื้น ESD เทียบกับกราวด์ ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 3.50E+07 โอห์ม
9	Table Mat (Black Foam/Sponge included)	
9.1	Resistance to Ground < 1.00E+9 Ohms.	วัดค่าความต้านทาน Table Mat (รวมทั้งแผ่นโฟมสีดำหากมีการนำมาใช้รองเพื่อปฏิบัติงาน) เทียบกับกราวด์ ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1.00E+09 โอห์ม
9.2	CV is not overdue	ตรวจสอบสถานะการทำ CV จาก CV Sticker ต้องยังไม่เกินกำหนด
10	Fixture / Pallet	วัดค่าความต้านทานจากบน Fixture หรือ Pallet เทียบกับกราวด์
10.1	Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.	วัดค่าความต้านทานบริเวณพื้นผิวต่างๆ เทียบกับกราวด์ ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1.00E+09 โอห์ม
11	Belt / Conveyor / Roller	
11.1	Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.	วัดค่าความต้านทาน Belt / Conveyor / Roller เทียบกับกราวด์ ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1.00E+09 โอห์ม
12	Air Ionizer (Overhead/ Bench)	* ค่าที่วัดได้จากพัดลมทุกตัวที่ประกอบอยู่กับ Air Ionizer ต้องได้ตามข้อกำหนด จึงจะถือว่าผ่าน บันทึกค่าสูงสุดที่อ่านได้ในแบบฟอร์มเพื่อการอ้างอิง
12.1	Discharge Time < 20s. (from 1000V to 100V)	วัดค่า Discharge Time ขณะที่ static field ลดจาก 1000V ลงถึง 100V ค่าที่ได้ต้องน้อยกว่า 20 วินาที ต้องทำการวัดค่าทั้งประจุบวกและประจุลบ
12.2	Offset voltage < +/- 35V	วัดค่า Offset voltage โดยต้องทำการตั้งค่านีเตอร์เป็นศูนย์หรือใกล้ศูนย์ก่อน ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 35 V ไม่ว่าจะ เป็นประจุบวกหรือประจุลบ
12.3	CV is not overdue	ตรวจสอบสถานะการทำ CV จาก CV Sticker ต้องยังไม่เกินกำหนด
12.4	CV Record	ตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่วัดได้ในบันทึกการทำ CV
12.5	Practice	สังเกตว่าพนักงานต้องเปิดเครื่อง Air Ionizer ขณะปฏิบัติงาน
13	ESD Air Gun	
13.1	Discharge Time < 20s. (from 1000V to 100V)	วัดค่า Discharge Time ขณะที่ static field ลดจาก 1000V ลงถึง 100V ค่าที่ได้ต้องน้อยกว่า 20 วินาที ต้องทำการวัดค่าทั้งประจุบวกและประจุลบ
13.2	Offset voltage < +/- 35 V	วัดค่า Offset voltage โดยต้องทำการตั้งค่านีเตอร์เป็นศูนย์หรือใกล้ศูนย์ก่อน ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 35 V ไม่ว่าจะ เป็นประจุบวกหรือประจุลบ
13.3	CV is not overdue	ตรวจสอบสถานะการทำ CV จาก CV Sticker ต้องยังไม่เกินกำหนด
13.4	CV Record	ตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่วัดได้ในบันทึกการทำ CV

14	Nonessential Insulators	
14.1	Static Field < 2000 V within 12 inches of ESDS	ต้องไม่มีวัสดุใดๆที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน(เช่น ขวดน้ำพลาสติก,ไม่บรรทัดพลาสติก,ถุงพลาสติก ฯลฯ) บนโต๊ะที่ใช้ปฏิบัติงาน หากพบว่ามีให้ทำการวัดค่าไฟฟ้าสถิตที่อาจเกิดขึ้นบนฉนวนนั้น โดยค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 2,000 โวลท์ ในระยะ 12 นิ้ว
14.2	Static Field < 125 V within 1 inch of ESDS.	ต้องไม่มีวัสดุใดๆที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน(เช่น ขวดน้ำพลาสติก,ไม่บรรทัดพลาสติก,ถุงพลาสติก ฯลฯ) บนโต๊ะที่ใช้ปฏิบัติงาน หากพบว่ามีให้ทำการวัดค่าไฟฟ้าสถิตที่อาจเกิดขึ้นบนฉนวนนั้น โดยค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 125 โวลท์ ในระยะ 1 นิ้ว
15	Process required insulators	
15.1	Static Field < 2000 V within 12 inches of ESDS	หากจำเป็นต้องมีการใช้วัสดุที่เป็นฉนวนในกระบวนการผลิต ค่า Static Field ที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 2000V ภายในระยะ 12 นิ้ว ระหว่างวัสดุนี้กับอุปกรณ์ ESD sensitive item
15.2	Static Field < 125 V within 1 inch of ESDS.	หากจำเป็นต้องมีการใช้วัสดุที่เป็นฉนวนในกระบวนการผลิต ค่า Static Field ที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 125V ภายในระยะ 1 นิ้ว ระหว่างวัสดุนี้กับอุปกรณ์ ESD sensitive item
16	Cart	
16.1	Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.	วัดค่าความต้านทานจากตัวรถขึ้นเทียบกับกราวด์ ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1.00E+09 โอห์ม หากมีผ้า Mat วางอยู่บนตัวรถขึ้นให้ทำการวัดความต้านทานจากผ้า Mat ถึงกราวด์
16.2	CV is not overdue	ตรวจสอบสถานะการทำ CV จาก CV Sticker ต้องยังไม่เกินกำหนด
16.3	CV Record	ตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่วัดได้ในบันทึกการทำ CV บน web/paper
17	Tray on Cart	
17.1	Resistance to Ground < 1.00E+11 Ohms.	วัดค่าความต้านทานจากถาดบนรถขึ้นเทียบกับกราวด์ ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1.00E+11 โอห์ม
18	Shelf / Cabinet	
18.1	Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.	วัดค่าความต้านทานจากตัว Shelf / Cabinet เทียบกับกราวด์ ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1.00E+09 โอห์ม
18.2	Identification if not for ESDS items	หาก Shelf / Cabinet ไม่ได้ใช้สำหรับการจัดเก็บ ESD sensitive item ต้องมีการระบุไว้ที่ตัว Shelf / Cabinet ให้ชัดเจน
19	Smock	
19.1	Sleeve to Sleeve Resistance < 1.00E+09 Ohms.	วัดค่าความต้านทานจากปลายแขน smock ถึง ปลายแขนอีกด้าน ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1.00E+09 Ohms.

20	Gloves	
20.1	Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.	วัดค่าความต้านทานจากถุงมือเทียบกับกราวด์ในขณะที่พนักงานใส่ถุงมือ โดยให้พนักงานถือตุ้มข้างหนึ่งไว้และตุ้มอีกข้างวางบนพื้น ESD ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1.00E+09 โอห์ม
20.2	Static Field < 100V	วัดค่า static field บนถุงมือ ค่าที่ได้ต้องน้อยกว่า 100V
21	Finger Cot	
21.1	Resistance to Ground < 1.00E+09 Ohms.	วัดค่าความต้านทานจากถุงนิ้วเทียบกับกราวด์ในขณะที่พนักงานใส่ถุงนิ้ว โดยต่อสายข้างหนึ่งเข้ากับมิเตอร์และ CAFE ให้พนักงานสัมผัสที่ CAFE probe ที่ละนิ้ว และอีกข้างหนึ่งให้ต่อ wrist strap ที่สวมไว้ที่มือเดียวกับถุงนิ้วเข้ากับมิเตอร์ ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1.00E+09 โอห์ม บันทึกค่าที่อ่านได้สูงสุดลงในแบบฟอร์ม
21.2	Static Field < 100V	วัด Voltage เมื่อถือ finger cot ลงบนแผ่น Charge Plate ต้องน้อยกว่า 100V ให้พนักงานสวม finger cot และถูลงบน Charge Plate 5 ครั้งโดยให้กลับไปทิศทางเดียวกัน จากนั้นให้เลือกบันทึกค่า Charge Voltage ที่มากที่สุด
22	Soldering Iron	
22.1	Resistance to Ground < 10 Ohms.	วัดค่าความต้านทานจากปลายหัวแร้งเทียบกับกราวด์ ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 10 โอห์ม
22.2	Daily Record	ตรวจสอบความถูกต้องของบันทึกการวัดค่าหัวแร้งประจำวัน
22.3	CM is not overdue	ตรวจสอบสถานะการทำ CV จาก CV Sticker ต้องยังไม่เกินกำหนด
23	Torque	
23.1	Resistance to Ground < 1.00E+9 Ohms.	วัดค่าความต้านทานจากปลาย Torque เทียบกับกราวด์ ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1.00E+9 โอห์ม (วัดค่าโดย Resistance Meter ใช้ chocrodie clip คีบที่ปลาย torque ในขณะที่ปลายสายอีกด้านของมิเตอร์ต่อกับลูกตุ้มซึ่งวางอยู่บนพื้น ESD)
24	Tray / Foam Tray	
24.1	Point to Point Resistance < 1.00E+09 Ohms.	วัดค่าความต้านทานบนพื้นผิวลาดหรือลาดโฟม ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1.00E+09 โอห์ม
24.2	Static Field < 100V	วัดค่า static field บนลาดหรือลาดโฟม ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 100V
24.3	Lot Code of Tray / Foam Tray	ตรวจสอบว่า Lot Code ต้องถูกระบุไว้บน Tray / Foam Tray
25	Tote Box	
25.1	Point to Point Resistance < 1.00E+09 Ohms.	วัดค่าความต้านทานบนพื้นผิว Tote Box ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1.00E+09 โอห์ม
25.2	Static Field < 100V	วัดค่า static field บน Tote Box ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 100V

26	Bin Box	
26.1	Static Field < 100V	วัดค่า static field บน Bin Box ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 100V
26.2	Static Field < 100V	วัดค่าความต้านทานของ Bin Box โดยใช้ปากคิบบที่สองด้านของ Bin Box แล้ววัดค่าความต้านทานโดยใช้ Resistance Meter ค่าที่วัดได้มีค่าตั้งแต่ 1.00E+4 แต่ต้องไม่เกิน 1.00E+09 โอห์ม
27	Tape	
27.1	Static Field < 100V,	วัดค่า Static field ขณะที่ตั้งเทปออกจาก charge plate ต้องน้อยกว่า 100V
28	Lint-Free/Wiper	
28.1	Static Field < 100V,	วัด Charge Voltage เมื่อถู Lint-Free/Wiper ลงบนแผ่น Charge Plate ต้องน้อยกว่า 100V ให้นำ Lint-Free/Wiper 1 แผ่นถูลงบน Charge Plate 5 ครั้งโดยให้ถูทิศทางเดียวกัน , จากนั้น ให้เลือกบันทึกค่า Charge Voltage ที่มากที่สุด. หมายเหตุ : ก่อนทำการวัดให้สวม smock และสาย wrist strap ทุกครั้ง.
29	ESD Bag	
29.1	Point to Point Resistance < 1.00E+11 Ohms.	วัดค่าความต้านทานของ Bag / Sheet ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 1.00E+11 โอห์ม
29.2	Static Field < 100V	วัดค่า static field ของ Bag/ Sheet ค่าที่วัดได้ต้องน้อยกว่า 100V
30	ESD Caution Sign	
30.1	EPA is identified.	ตรวจสอบสัญลักษณ์บอกขอบเขตบริเวณ EPA ต้องชัดเจน
31	Humidity within EPA	
31.1	- 30 -> 60% RH (Operation area, non Clean Room)	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในบริเวณ EPA ต้องมีค่าระหว่าง - 30->60%RH ( Operation area, non Clean Room )
31.1	- 40 -> 60% RH (Clean Room)	ค่าความชื้นสัมพัทธ์ภายในบริเวณ EPA ต้องมีค่าระหว่าง - 40->60%RH
32	Isolated Conductors	
32.1	Check the isolated conductor that comes contact with PCBA.	ตรวจสอบดูว่ามีวัสดุตัวนำ สัมผัสกับ PCBA หรือไม่? (ใช่ ต่อข้อ 31.2, ไม่มีไม่ต้องต่อข้อ 31.2)
32.2	Check Resistance to ground.	วัดค่าความต้านทาน RTG - Conformity, < 1.00E+9 ohms. - NC, > 1.00E+9 ohms to < 1.00E+12 ohms. - ถ้า > 1.00E+12 ohms (ต่อข้อ 31.3)
32.3	Differenct in Potential < 35 V.	วัดค่าความต่างศักย์โดย Contact Volt Meter ต้องมีค่าน้อยกว่า 35 โวลท์
	Other (pls identify)	หากมีการตรวจสอบหัวข้ออื่นๆเพิ่มเติมให้ทำการบันทึกไว้ในหัวข้อนี้ รวมถึง spec. และผลที่ได้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	จิรนนท์ มณีวรรณ
วัน เดือน ปี เกิด	29 มีนาคม 2535
สถานที่เกิด	จังหวัดนครปฐม
วุฒิการศึกษา	จบการศึกษาปริญญาตรี จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ที่อยู่ปัจจุบัน	ชลบุรี



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY