การปรับปรุงกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวม ด้วยหลักการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น

น.ส.ทิฆัมพร ศรีสวัสดิ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FINAL ELECTRICAL TEST PROCESS ENHANCEMENT OF INTEGRATED CIRCUITS USING ANALYTIC HIERARCHY PROCESS APPROACH

Miss Thikhamporn Srisawat

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวม ด้วยหลักการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น
โดย	น.ส.ทิฆัมพร ศรีสวัสดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

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

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทิฆัมพร ศรีสวัสดิ์ : การปรับปรุงกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวม ด้วยหลักการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น. (
FINAL ELECTRICAL TEST PROCESS ENHANCEMENT OF INTEGRATED CIRCUIT S USING ANALYTIC HIERARCHY PROCESS APPROACH) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร. ปารเมศ ชุติมา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร และหาค่าปรับตั้งปัจจัยของเครื่องจักรที่ใช้ในการทดสอบที่เหมาะสมเพื่อให้อัตราของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจรมีค่าน้อยที่สุด ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องมือแผนผังและสาเหตุหลังจากนั้นจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่ออัตราของเสียที่การเกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร โดยใช้ FMEA ในขั้นตอนการปรับปรุงได้ทำการคัดเลือกเครื่องจักรโดยใช้หลักการคัดเลือกเครื่องจับงานที่เหมาะสมกับชิ้นงาน โดยอาศัยหลักการกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ จากนั้นทำการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องจักรโดยอาศัยวิธีการพื้นผิวตอบสนองแบบส่วนประสมกลางชนิดแบบ Faced Central Composite Design: CCF จากการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองเบื้องต้น พบว่าที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญเพื่อนำไปปรับปรุงหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม คือ B ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ 100 ไมโครเมตร, C จำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ 372 touchdown/time. นอกจากนั้นทางผู้วิจัยได้จัดทำแผนควบคุม และวิธีการปฏิบัติงานใหม่ของการตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อสร้างเป็นมาตรฐานในการตั้งค่าเครื่องจักรให้แก่พนักงานควบคุมเครื่องจักรต่อไป หลังจากปรับปรุงกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าพบว่าอัตราของเสียหลังการปรับปรุงโดยเฉลี่ยอยู่ 0.0045% หรือ 45 ตัวในหนึ่งล้านตัว (45 PPM) โดยก่อนปรับปรุงกระบวนการอัตราของเสียลดลงจากก่อนปรับปรุงเท่ากับ 2.2355% คิดเป็นร้อยละ 99.79 ของ % ของเสียในกระบวนการก่อนปรับปรุง และสามารถลดความสูญเสียได้ 1,322,926 บาทต่อปี

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา 2561 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6070921121 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: Analytic Hierarchy Process (AHP), Design of Experiments (DOE), Failure modes and effects analysis (FMEA)

Thikhamporn Srisawat :

FINAL ELECTRICAL TEST PROCESS ENHANCEMENT OF INTEGRATED CIRCUIT S USING ANALYTIC HIERARCHY PROCESS APPROACH. Advisor: Prof. Parames Chutima, Ph.D.

This research was conducted in a manufacturing company producing integrated circuits for global customers. The purpose of this research was to identify ways to reduce defects caused by fault contact open test in the final test process. A cause and effect diagram was used to identify possible causes of problems. After identifying the root causes, they were prioritised by applying the Pareto concept to Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) to identify the causes with the most significant impact. The AHP (Analytic Hierarchy Process) method was then used to select the most appropriate machine while Design of Experiment (DOE) was carried out to find the significant factors and optimal parameter settings. In addition, the control plan and standard operating procedure were developed to eliminate other defects. After improvement, it was found that the average defect rates decreased from 2.24 percent or 22,400 Part Per Million (PPM) to 0.0045 percent or 45 Part Per Million (PPM), equivalent to 99.79 percent reduction. Moreover, the decreasing of scraps in finished goods enabled cost-savings amounting to nearly one million baht per year. Based on the result, this research was a successful solution for the company since it reduced the defect rates as expected.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study: Industrial Engineering Student's Signature .....

Academic Year: 2018 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง “การปรับปรุงกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวม ด้วยหลักการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น” สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์อย่างสูงจากบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายท่าน และโรงงานกรณีศึกษาที่เอื้ออำนวยในการทดลองดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณทุกท่านและทุกหน่วยงานเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ ศ.ดร.ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำปรึกษาที่ดีมาโดยตลอดการทำวิจัย ช่วยชี้แนะแนวทางการดำเนินงานวิจัยนี้ให้ ให้ความรู้ คำนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือ เพื่อให้การทำวิทยานิพนธ์ดำเนินไปอย่างเรียบร้อย ราบรื่น และสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ รศ.จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ ประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร.วันชัย ริจิรวนิช กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ภายนอก ที่ได้ให้ความกรุณา เสียสละเวลาอันมีค่า มารับฟังการนำเสนองานวิจัย และให้คำปรึกษา คำแนะนำต่างๆ ในการแก้ปัญหา ยิ่งไปกว่านั่นช่วยตรวจสอบข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูณณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณโรงงานกรณ์ศึกษาที่ให้สถานที่การทำวิจัย ข้อมูลรวมถึงอุปกรณ์การดำเนินงานวิจัยต่างๆ ตลอดจน พี่หัวหน้างาน เป็นแรงบันดาลใจและผลักดันในการศึกษาต่อ และคอยให้คำปรึกษาชี้แนะและให้กำลังที่ดีมาโดยตลอด

ตลอดจนขอขอบพระคุณกัลยาณมิตร ที่เป็นแรงผลักดันและกำลังใจที่ดี และให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน และขอขอบคุณทุกๆ ท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนแต่ไม่ได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายกราบขอบพระคุณบิดามารดา ผู้เป็นเจ้าของปัญญา ซึ่งได้มอบความรัก พลังชีวิต และกำลังใจที่ยิ่งใหญ่ตลอดมา

ทิฆัมพร ศรีสวัสดิ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา 2

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 4

1.3 วัตถุประสงค์ในการวิจัย 14

1.4 ขอบเขตการศึกษาวิจัย 15

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 15

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 15

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 16

บทที่ 2 18

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 18

2.1 กระบวนการผลิตวงจรรวม (Integrated Circuit: IC) 18

2.2 กระบวนการทดสอบวงจรรวมและการบรรจุภัณฑ์ (Test and Pack Process) 24

2.3 เทคนิคการแก้ปัญหาด้วยวิธีการ DMAIC 28

2.4 กระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (Analysis Hierarchy Process: AHP) 30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.5 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)... 35
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 47
บทที่ 3 50
การดำเนินการวิจัย 50
3.1 รายละเอียดกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวมในปัจจุบัน 50
3.2 วิธีการในการทดสอบการเปิดวงจร (contact open test method)..... 55
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบ 56
3.4 การวิเคราะห์สภาพปัญหาของกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวมในปัจจุบัน... 62
3.5 การวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลต่อความผิดพลาดในการทดสอบการเปิดแผงวงจรรวม (Root cause Analysis)..... 63
3.6 ขั้นตอนจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบทางไฟฟ้าผิดพลาดเนื่องการเปิดของการทดสอบวงจร (fault open test) โดยใช้ FMEA..... 63
3.7 การวิเคราะห์หาเครื่องจักรและอุปกรณ์การทดสอบที่เหมาะสม (AHP) 71
บทที่ 4 86
ผลการดำเนินการวิจัย 86
4.1 การกำหนดปัจจัยนำเข้า..... 86
4.2 การออกแบบการทดลอง 87
4.3 วิธีการทดลอง 90
4.4 ผลการทดลอง..... 90
4.5 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง..... 91
4.6 สรุปผลขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ..... 99
บทที่ 5 101
การทดลองเพื่อยืนยันผล และควบคุมผล 101
5.1 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง 101

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ผลการปรับปรุง 102
5.3 การติดตามและควบคุมผล 112
บทที่ 6 115
บทสรุปและข้อเสนอแนะ 115
6.1 บทสรุปงานวิจัย 115
6.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย 118
6.3 ข้อเสนอแนะ 118
ภาคผนวก ก 119
บรรณานุกรม 150
ประวัติผู้เขียน 151

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ปริมาณชิ้นงานเสียในกระบวนการทดสอบทางฟ้าตั้งแต่ 9

ตารางที่ 2 ปริมาณชิ้นงานที่ทดสอบเสียจริงและชิ้นงานที่ทดสอบผิดพลาดในกระบวนการทดสอบทางฟ้าตั้งแต่เดือนสิงหาคม 60 – กรกฎาคม 2561 10

ตารางที่ 3 ข้อมูลจำนวนของเสียการทดสอบเนื่องจากการทดสอบการเปิดของวงจรของผลิตภัณฑ์ A จากแผนก final test ตั้งแต่เดือน ส.ค. 60 - ก.ค. 61 12

ตารางที่ 4 ปริมาณและมูลค่าความสูญเสียจากการทดสอบเปิดวงจรผิดพลาด 13

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบ Open/Short โดยใช้ PMU 27

ตารางที่ 6 ค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ (Random Consistency Index: R.I.) ... 32

ตารางที่ 7 แสดงเมตริกซ์เพื่อวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆเป็นคู่ๆ 33

ตารางที่ 8 เมตริกซ์เพื่อวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัย กรณีปัจจัย A มีระดับความสำคัญน้อยกว่า B 34

ตารางที่ 9 มาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ 34

ตารางที่ 10 เกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ (AIAG, 2001) 40

ตารางที่ 11 เกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ (AIAG, 2001) 42

ตารางที่ 12 เกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง (AIAG, 2001) 43

ตารางที่ 13 การประเมินผลการตรวจจับของระบบควบคุม (AIAG, 2001) 44

ตารางที่ 14 เกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ (Severity, S) 64

ตารางที่ 15 เกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง (Occurrence, O) 65

ตารางที่ 16 เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับของระบบควบคุม (Detection, D) 65

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์ลักษณะบกพร่องและผลกระทบต่อความผิดพลาดเนื่องจากการทดสอบเปิดของวงจร (fault contact open test) 67

ตารางที่ 18 การสรุปการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อความผิดพลาดเนื่องจากการทดสอบเปิดของวงจร (fault contact open test) 68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 19 ปัจจัยที่มีคะแนนรวมมากอย่างชัดเจนเรียงลำดับจากมากไปน้อย และแนวทางปรับปรุงปัจจัย 70
ตารางที่ 20 รายละเอียดผู้เชี่ยวชาญตอบแบบสอบถาม 73
ตารางที่ 21 หลักเกณฑ์การพิจารณาให้คะแนน 74
ตารางที่ 22 ผลการประเมินปัจจัยหลักจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 6 ท่าน 75
ตารางที่ 23 สรุปผลการจัดลำดับความสำคัญน้ำหนักคะแนนปัจจัยหลัก 76
ตารางที่ 24 สรุปผลการจัดลำดับความสำคัญน้ำหนักคะแนนปัจจัยหลักที่มีผลต่อปัจจัยทางเลือก ตามหลักการ AHP โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel 76
ตารางที่ 25 เกณฑ์การให้คะแนนด้านประสิทธิภาพ 77
ตารางที่ 26 ผลการคำนวณค่าระดับความสำคัญของทางเลือกกลุ่มเครื่องจักรกับประสิทธิภาพ 77
ตารางที่ 27 เกณฑ์การให้คะแนนด้านค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร 78
ตารางที่ 28 การประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร 78
ตารางที่ 29 เกณฑ์การให้คะแนนด้านกำลังการผลิต (Capacity) 79
ตารางที่ 30 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับกำลังการผลิต (kpcs/day) 79
ตารางที่ 31 เกณฑ์การให้คะแนนด้านอายุการใช้งานของเครื่องจักร (Useful life) 80
ตารางที่ 32 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับอายุการใช้งานของเครื่องจักร 80
ตารางที่ 33 เกณฑ์การให้คะแนนด้านปริมาณของเสีย (Defect rate) 81
ตารางที่ 34 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับปริมาณของเสีย (Defect rate) ... 81
ตารางที่ 35 เกณฑ์การให้คะแนนด้านราคาเครื่องจักร (Machine cost) 82
ตารางที่ 36 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับราคาเครื่องจักร 82
ตารางที่ 37 สรุปผลการคำนวณระดับคววามสำคัญทางเลือกเกณฑ์คะแนนกับค่าน้ำหนัก AHP 83
ตารางที่ 38 สรุปผลการประเมินปัจจัยทางเลือกกับค่าน้ำหนักของปัจจัยหลัก 83
ตารางที่ 39 ปัจจัยที่ใช้ในการตั้งค่าเครื่องจักรจะนำมาทดสอบสมมติฐานที่ส่งผลต่อการเกิดความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) 87
ตารางที่ 40 การออกแบบการทดลอง 89

ตารางที่ 41 ผลการทดลอง 90
ตารางที่ 42 ปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ 98
ตารางที่ 43 ค่าระดับปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยที่ทำให้ % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาดมีค่าน้อยที่สุด 99
ตารางที่ 44 ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรตอบสนอง % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาดเมื่อปรับปรุงกระบวนการด้วยการตั้งค่าที่เหมาะสมกับเครื่องจับงานที่ใช้ในการทดสอบแผงวงจรรวม 100
ตารางที่ 45 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมทั้ง 3 ปัจจัยเพื่อใช้ในการทดสอบยืนยันผล 102
ตารางที่ 46 จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบผิดพลาดเนื่องจากการเปิดของวงจร 103
ตารางที่ 47 จำนวนชิ้นงานเสียก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 110
ตารางที่ 48 เปรียบเทียบสัดส่วนชิ้นงานเสียก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ 111
ตารางที่ 49 วิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการทดสอบแผงวงจรรวม 113
ตารางที่ 50 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักตามหลักการ AHP ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1 123
ตารางที่ 51 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักตามหลักการ AHP ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 2 125
ตารางที่ 52 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักตามหลักการ AHP ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 3 127
ตารางที่ 53 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักตามหลักการ AHP ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 4 129
ตารางที่ 54 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักตามหลักการ AHP ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 5 131
ตารางที่ 55 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักตามหลักการ AHP ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 6 133
ตารางที่ 56 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักด้านประสิทธิภาพกับกลุ่มทางเลือกตามหลักการ AHP 135

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 57 เกณฑ์การให้คะแนนด้านประสิทธิภาพ..... 136
ตารางที่ 58 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับปัจจัยหลักด้านประสิทธิภาพ.... 136
ตารางที่ 59 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักด้านค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรกับกลุ่มทางเลือกตามหลักการ AHP 137
ตารางที่ 60 เกณฑ์การให้คะแนนด้านค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร..... 139
ตารางที่ 61 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร..... 139
ตารางที่ 62 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักด้านกำลังการผลิตกับกลุ่มทางเลือกตามหลักการ AHP..... 140
ตารางที่ 63 เกณฑ์การให้คะแนนด้านกำลังการผลิต (Capacity)..... 141
ตารางที่ 64 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับกำลังการผลิต (kpcs/day)..... 142
ตารางที่ 65 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักด้านอายุการใช้งานของเครื่องจักรกับกลุ่มทางเลือกตามหลักการ AHP 142
ตารางที่ 66 เกณฑ์การให้คะแนนด้านอายุการใช้งานของเครื่องจักร (Useful life)..... 144
ตารางที่ 67 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับอายุการใช้งานของเครื่องจักร 144
ตารางที่ 68 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักด้านคุณภาพกับกลุ่มทางเลือกตามหลักการ AHP 145
ตารางที่ 69 เกณฑ์การให้คะแนนด้านปริมาณของเสีย (Defect rate)..... 146
ตารางที่ 70 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับปริมาณของเสีย (Defect rate). 147
ตารางที่ 71 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักด้านราคาเครื่องจักรกับกลุ่มทางเลือกตามหลักการ AHP..... 147
ตารางที่ 72 เกณฑ์การให้คะแนนด้านราคาเครื่องจักร (Machine cost)..... 149
ตารางที่ 73 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับราคาเครื่องจักร..... 149

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งบริษัทในเครือ 3

รูปที่ 2 วงจรรวม (Integrated Circuit : IC) 4

รูปที่ 3 กระบวนการผลิตวงจรรวมและทดสอบวงจรรวม (IC) 5

รูปที่ 4 แผนผังการทดสอบวงจรรวม (IC) 6

รูปที่ 5 ภาพ top mark ของวงจรรวม 7

รูปที่ 6 ภาพ X-ray ชิ้นงานดี ผ่านการทดสอบการเปิดของวงจร 7

รูปที่ 7 ภาพ X-ray ชิ้นงานเสียเนื่องการทดสอบการเปิดของวงจร 7

รูปที่ 8 ภาพถ่ายหน้า die เมื่อถูก decapsulation and optical inspection 8

รูปที่ 9 ภาพชิ้นงานเสีย ball neck broken ถ่ายหน้า die เมื่อถูก decapsulation and optical inspection 8

รูปที่ 10 ปริมาณชิ้นงานเสียในกระบวนการทดสอบทางฟ้าตั้งแต่เดือน ส.ค. 60 - ก.ค. 61 10

รูปที่ 11 ปริมาณชิ้นงานที่ทดสอบเสียจริงและชิ้นงานที่ทดสอบผิดพลาดในกระบวนการทดสอบทางฟ้าตั้งแต่เดือนสิงหาคม 60 – กรกฎาคม 2561 11

รูปที่ 12 กราฟคะแนนสะสมของชิ้นงานที่ทดสอบผิดพลาดในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าตั้งแต่เดือนสิงหาคม 60 – กรกฎาคม 2561 11

รูปที่ 13 กระบวนการผลิตชิปวงจรรวม 18

รูปที่ 14 การทดสอบแผ่นเวเฟอร์ 19

รูปที่ 15 ลักษณะการเตรียมแผ่นเวเฟอร์ก่อนนำไปเจียรนัย 20

รูปที่ 16 ลักษณะการเจียรนัยหลังแผ่นเวเฟอร์ 20

รูปที่ 17 การตัดแผ่นเวเฟอร์ด้วยใบมีด 21

รูปที่ 18 การตัดแผ่นเวเฟอร์ด้วยเลเซอร์ 21

รูปที่ 19 การนำไดติดบนลีดเฟรม 22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 20 ตำแหน่งการติดกาวอีพอกซี 22
รูปที่ 21 ลักษณะการติดแผ่นฟิล์มบางด้านหลังเวเฟอร์ 22
รูปที่ 22 ลักษณะการเชื่อมต่อลวด 23
รูปที่ 23 เครื่องขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ (Molding Machine) 23
รูปที่ 24 เครื่องมือทดสอบอัตโนมัติ (ATE: Automatic Test Equipment) 25
รูปที่ 25 เครื่องจับชิ้นงานและจัดตำแหน่งชิ้นงาน (Handler) 26
รูปที่ 26 การทดสอบ Opens / Shorts Test : VDD Diode 27
รูปที่ 27 การทดสอบ Opens / Shorts Test : VSS Diode 27
รูปที่ 28 ลักษณะแผนภูมิระดับชั้น 33
รูปที่ 29 ส่วนที่รับชิ้นงานออกแยกงานดีและงานเสีย (OUTPUT MAGAZINE) 51
รูปที่ 30 งานรอเข้าเครื่องทดสอบ (untested devices) 51
รูปที่ 31 โหลดโปรแกรมเพื่อทดสอบเครื่องทดสอบก่อนรันจริง 51
รูปที่ 32 ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแล้วเตรียมส่งให้แผนกบรรจุภัณฑ์ (pack process) 52
รูปที่ 33 ผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบเทียบกับผลการทดสอบจากเครื่องจับงาน 52
รูปที่ 34 ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแล้วเตรียมส่งให้แผนกบรรจุภัณฑ์ (pack process) 53
รูปที่ 35 แผนผังกระบวนการทดสอบก่อนทำการทดสอบ (before test) 53
รูปที่ 36 แผนผังกระบวนการทดสอบขณะทำการทดสอบ (testing) 54
รูปที่ 37 แผนผังกระบวนการทดสอบหลังทดสอบแล้ว (completed lot) 54
รูปที่ 38 การทดสอบการเปิดของวงจร (contact test) 55
รูปที่ 39 อุปกรณ์การทดสอบทางไฟฟ้าแผงวงจรรวม (Test Operation set) 56
รูปที่ 40 ภาพจริงชุดอุปกรณ์การทดสอบทางไฟฟ้าแผงวงจรรวม (Test Operation set) 56
รูปที่ 41เครื่องทดสอบ (Tester) 57
รูปที่ 42 เครื่องจับงาน (Handler) 58
รูปที่ 43 การไหลของชิ้นงานเข้าเครื่องจับงาน (Material flow through the entire machine) .. 59

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 44 หมุดของเครื่องทดสอบ (spring contact pins or pogo pins)..... 60
รูปที่ 45 บอร์ดสำหรับทดสอบ (Type Dependent Interface :TDI)..... 60
รูปที่ 46 Adapter..... 61
รูปที่ 47 เข็มทดสอบ (contact pin)..... 61
รูปที่ 48 ตัวยึดเครื่องจับงานและเครื่องทดสอบ (TDI docking)..... 61
รูปที่ 49 ชิ้นงานที่เกิดความสียหายขางอ (Bent lead device)..... 62
รูปที่ 50 ชิ้นงานที่มองไม่เห็นความเสียหายภายนอก..... 62
รูปที่ 51 แผนผังสาเหตุและผลที่แสดงถึงปัจจัยที่มีผลต่อผิดพลาดเนื่องการเปิดของการทดสอบวงจร (fault contact open test)..... 63
รูปที่ 52 กราฟแสดงคะแนนสะสมของผลคะแนนรวมของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อความผิดพลาดเนื่องจากการทดสอบเปิดของวงจร (fault contact open test)..... 70
รูปที่ 53 รูปแบบโครงสร้างแผนภูมิลำดับชั้น..... 72
รูปที่ 54 ชิ้นงานแบบเป็นตัว ก่อนการปรับปรุง..... 84
รูปที่ 55 ชิ้นงานแบบเป็น in strip หลังการปรับปรุง..... 84
รูปที่ 56 กระบวนการทดสอบแผงวงจรรวมก่อนการปรับปรุง..... 85
รูปที่ 57 กระบวนการทดสอบแผงวงจรรวมด้วยเครื่องจักรที่ถูกคัดเลือกหลังการปรับปรุง..... 85
รูปที่ 58 รายละเอียดการออกแบบการทดลอง..... 88
รูปที่ 59 กราฟความน่าจะเป็นของ % ของเสีย..... 92
รูปที่ 60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต..... 93
รูปที่ 61 การฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของการเก็บข้อมูล..... 93
รูปที่ 62 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับตัวแปรตอบสนอง % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาดแบบสมการความสัมพันธ์เต็มรูป..... 95
รูปที่ 63 กราฟ Normal Plot ของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง..... 96
รูปที่ 64 แผนภูมิพาเรโตของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง..... 96

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 65 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคือ %ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด 97

รูปที่ 66 ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้ง 2 ปัจจัยที่ทำให้ % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาดมีค่าน้อยที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer คำนวณ 99

รูปที่ 67 แผนภูมิ np ควบคุมจำนวนชิ้นงานจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด 108

รูปที่ 68 ขั้นตอนการบันทึกข้อมูลและการปฏิบัติการเมื่อพบจุดออกนอกเขตควบคุม..... 109

รูปที่ 69 เปรียบเทียบจำนวนชิ้นงานเสียก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการทดสอบแผงวงจรรวมของผลิตภัณฑ์ A 111

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง เพราะได้รับแรงกระตุ้นจากความต้องการที่เพิ่มขึ้นของตลาดด้านผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีแผงวงจรไฟฟ้า (IC) เป็นหน่วยการทำงาน เป็นที่ทราบกันดีว่าอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำของไทยยังมีข้อจำกัดทางด้านนวัตกรรมและเทคโนโลยี และใช้เงินลงทุนสูง สำหรับประเทศไทยการผลิตส่วนใหญ่ยังต้องพึ่งการนำเข้าวัตถุดิบโดยเฉพาะแผ่นเวเฟอร์ ในด้านของเทคโนโลยีด้านการผลิตได้รับการถ่ายทอดจากต่างประเทศ เพื่อเผชิญหน้ากับความท้าทายของอุตสาหกรรมสารกึ่งตัวนำในอนาคต ประเทศไทยจำเป็นต้อง พัฒนาศักยภาพในการเติบโตของอุตสาหกรรมและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ การขยายฐานผลิตภัณฑ์ รวมถึงการสร้างความเชื่อมโยงของอุตสาหกรรมโรงงานผลิตต่าง ๆ จึงจำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการทำงาน โดยเฉพาะในด้านการผลิตและทดสอบให้มีความถูกต้อง แม่นยำ รวดเร็ว สามารถลดเวลา ลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิตให้ได้มากที่สุด เพื่อให้เกิดความยั่งยืนขององค์กรในอนาคต

การทดสอบ เป็นกระบวนการหนึ่งในสายการผลิตอุตสาหกรรมเซมิคอนดัคเตอร์ เพื่อเพิ่มความมั่นใจให้แก่ผู้ผลิตว่า ผลิตภัณฑ์ที่จะนำออกจำหน่ายสู่ท้องตลาดนั้น ได้ถูกประกอบขึ้นมาอย่างถูกต้อง ตรงตามขั้นตอน และสามารถทำงานได้ตามฟังก์ชันที่ได้ออกแบบไว้ การทดสอบผลิตภัณฑ์บางประเภทอาจกระทำได้โดยง่าย เช่น เสื้อผ้า หรือเครื่องปั้นดินเผา อาจสามารถทำการตรวจสอบได้ด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) โดยการพิจารณาที่การตัดเย็บ การปั้น สีสัน ขนาด หรือรูปทรงภายนอกต่างๆ เป็นต้น แต่ผลิตภัณฑ์บางประเภทไม่สามารถใช้วิธีการตรวจสอบอย่างง่ายๆ ดังกล่าวได้โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือวัดและเครื่องมือทดสอบที่มีความละเอียด (Resolution) มีความแม่นยำ (Accuracy) และมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) เข้าช่วยในกระบวนการทดสอบ ทั้งนี้ การทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้น เกี่ยวข้องโดยตรงกับเรื่องรายละเอียดความสามารถ (Specifications) นับตั้งแต่วัสดุ ตัวอุปกรณ์ วงจร และระบบอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งในเรื่องคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำ เช่น ลักษณะโครงสร้างของผลึก ค่าความบริสุทธิ์ และค่าความนำไฟฟ้า เป็นต้น ส่วนเรื่องฟังก์ชันการทำงาน (Functional Specifications) ได้แก่ พฤติกรรมการตอบสนองของสัญญาณทางขั้วขาออกต่อสัญญาณที่ป้อนเข้ามาทางขั้วขาเข้า การตอบสนองต่อความถี่ของสัญญาณ และการหน่วงเวลาของวงจร เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาเหตุหลักที่ต้องให้ความสำคัญกับการทดสอบวงจรดิจิตอลเป็นอย่างมาก เนื่องจากวงจรดิจิตอลเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประเภทหนึ่ง ที่ส่วนใหญ่แล้ว ถูกออกแบบมาให้ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูล (Data Processing) ในระบบต่างๆ เช่น ระบบควบคุมเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบควบคุมการทำงานบนเครื่องบิน เครื่องคอมพิวเตอร์ หรือเครื่องมือสื่อสารต่างๆ ซึ่งวงจรดิจิตอลเป็นส่วนที่สำคัญยิ่งสำหรับการประกอบกิจการและธุรกิจต่างๆ ในโลกปัจจุบัน ถ้าหากว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ของธนาคารแห่งหนึ่งเกิดขัดข้อง ระบบสื่อสารเกิดความล้มเหลว ระบบควบคุมบนเครื่องบินหยุดทำงาน หรือเครื่องมือแพทย์ในห้องดูแลผู้ป่วยหนักทำงานผิดพลาด อันเนื่องมาจากความพกพร่องบางอย่างที่แอบแฝงอยู่ภายในตัววงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานอยู่นั้น ก็อาจส่งผลให้การคำนวณมีความผิดพลาด การรับส่งข้อมูลคลาดเคลื่อนไปจากที่ควรจะเป็น หรือการควบคุมที่ผิดพลาด เหตุการณ์ดังกล่าวอาจก่อให้เกิดความเสียหายที่ไม่สามารถประเมินค่าได้ ในขณะที่วงจรและระบบอนาลอก โดยทั่วไปแล้ว เป็นส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลข้อมูล และสามารถทดสอบได้ด้วยวิธีการที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับวงจรนั้นๆ และโดยทั่วไปแล้ว หากวงจรแบบอนาลอกมีจุดเสียอยู่ภายในก็มักจะพบว่าวงจรนั้นไม่สามารถทำงานเลย ในขณะที่วงจรแบบดิจิตอลอาจยังคงสภาพการทำงานได้เช่นเดียวกับสภาพตามปกติ ถึงแม้ว่าจะมีจุดเสียอยู่ภายในวงจรก็ตาม หากจุดเสียนั้นยังไม่ได้รับการกระตุ้นด้วยสัญญาณที่เหมาะสม จุดเสียนั้นก็จะยังไม่แสดงพฤติกรรมออกมาให้เห็น

ดังนั้น การทดสอบวงจรดิจิตอลจะต้องกระทำด้วยความระมัดระวังเป็นพิเศษ จะต้องสามารถตรวจจับจุดเสียที่เป็นไปได้ทั้งหมดภายในวงจร หรือจนกว่าจะมั่นใจได้ในระดับหนึ่งแล้ว เพื่อป้องกันมิให้มีอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่มี จุดเสีย ผ่านเล็ดลอดออกจากโรงงานผู้ผลิตไปถึงมือผู้ใช้ สิ่งที่วิศวกรทดสอบจะต้องพิจารณากัน ก็คือ การพัฒนากระบวนการทดสอบอย่างเหมาะสมและถูกต้องแม่นยำในขณะที่จะต้องมีค่าใช้จ่ายสำหรับการทดสอบที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่จะต้องมีวิธีการทดสอบที่น่าเชื่อถือ (Reliable Test Methodology) และมีประสิทธิภาพสูง จึงจะสามารถเข้าถึงสาเหตุของปัญหาและหาวิธีการแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว (รองศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย แสงอินทร์, 2553)

1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา

เป็นบริษัทที่ดำเนินงานเกี่ยวกับอุตสากรรมเซมิคอนดัคเตอร์ โดยหลักๆ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Front end operation และ back end operation

- Front end operation (Fabs, Facility management, R&D) จะอยู่ในประเทศเนเธอร์แลนด์ อเมริกา และเยอรมัน เป็นหลัก

- Back end operation (Assembly and Test) จะอยู่ในโซนเอเชีย หลักๆจะมีโรงงานผลิตและประกอบอยู่ที่ประเทศไทย, จีน, ไต้หวัน และมาเลเซีย

รูปที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งบริษัทในเครือ

โรงงานกรณีศึกษาเป็นหนึ่งในผู้ผลิต IC (Integrated Circuit) รายใหญ่ของโลก มีสำนักงานใหญ่อยู่ที่ประเทศเนเธอร์แลนด์ มีบริษัทในเครือกว่า 50 ประเทศทั่วโลก Integrated Circuit (IC) หมายถึง แผงวงจรรวมขนาดเล็กที่รวมศักยภาพของวงจรการใช้งานเข้าไว้ด้วยกันทำให้เครื่องมือเครื่องใช้ในปัจจุบันมีขนาดเล็กลงแต่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้รูปแบบในการดำเนินชีวิตของคนเราสะดวกสบายยิ่งขึ้นด้วย ซึ่งทางบริษัทต้องใช้เทคโนโลยีระดับสูงในการผลิตด้วยความมุ่งมั่นพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งในด้านคุณภาพ ด้านวิศวกรรม ด้านการส่งมอบสินค้า ต้นทุนการผลิต การบริหารและการพัฒนาองค์กรทำให้บริษัทเป็นที่ยอมรับและได้รับการรับรองภายใต้มาตรฐานต่างๆเช่น PQA90 , ISO 9000 และ ISO 14001

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โรงงานกรณีศึกษาเพียบพร้อมไปด้วยอุปกรณ์การผลิตอันทันสมัยรวมไปถึงเทคโนโลยีการผลิตในระดับชั้นนำ ซึ่งนับเป็นตัวอย่างที่ดีของการดำเนินงานที่เปี่ยมไปด้วยประสิทธิภาพ ความปลอดภัย รวมไปถึงการเอาใจใส่ในด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษานับเป็นศูนย์กลางการประกอบและทดสอบแผงวงจรรวมที่สำคัญแห่งหนึ่ง ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา โรงงานกรณีศึกษาได้ทำการประกอบและทดสอบแผงวงจรรวม ด้วยวิทยาการชั้นสูงให้กับลูกค้าจากทั่วทุกมุมโลก ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าโรงงานกรณีศึกษามีบทบาทสำคัญยิ่งต่อประเทศไทยในการพัฒนาและส่งเสริมความเจริญทางด้านการสื่อสาร เทคโนโลยี คอมพิวเตอร์ ตลอดจนอุตสาหกรรมในด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

วงจรรวม หรือ วงจรเบ็ดเสร็จ (อังกฤษ: integrated circuit ; IC) หมายถึง วงจรที่นำเอาไดโอด, ทรานซิสเตอร์, ตัวต้านทาน, ตัวเก็บประจุ และองค์ประกอบวงจรต่าง ๆ มาประกอบรวมกันบนแผ่นวงจรขนาดเล็ก ในปัจจุบันแผ่นวงจรนี้จะทำด้วยแผ่นซิลิคอน บางทีอาจเรียก ชิป (Chip) และสร้างองค์ประกอบวงจรต่าง ๆ ฝังอยู่บนแผ่นผลึกนี้ ส่วนใหญ่เป็นชนิดที่เรียกว่า Monolithic

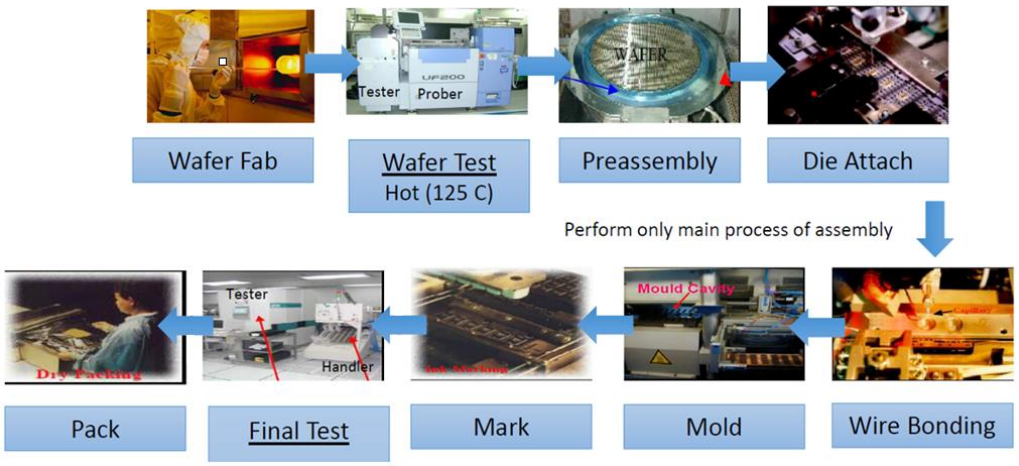
รูปที่ 2 วงจรรวม (Integrated Circuit : IC)

การสร้างองค์ประกอบวงจรบนผิวผลึกนี้ จะใช้กรรมวิธีทางด้านการถ่ายภาพอย่างละเอียดผสมกับขบวนการทางเคมีทำให้ลายวงจรมีความละเอียดสูงมากสามารถบรรจุองค์ประกอบวงจรได้จำนวนมาก ภายในไอซี จะมีส่วนของลอจิกมากมายในบรรดาวงจรเบ็ดเสร็จที่ซับซ้อนสูงเช่น ไมโครโปรเซสเซอร์ซึ่งใช้ทำงานควบคุมคอมพิวเตอร์ จนถึงโทรศัพท์มือถือแม้กระทั่งเตาอบไมโครเวฟแบบดิจิทัลสำหรับชิปหน่วยความจำ(RAM) เป็นอีกประเภทหนึ่งของวงจรเบ็ดเสร็จ ที่มีความสำคัญมากในยุคปัจจุบัน

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

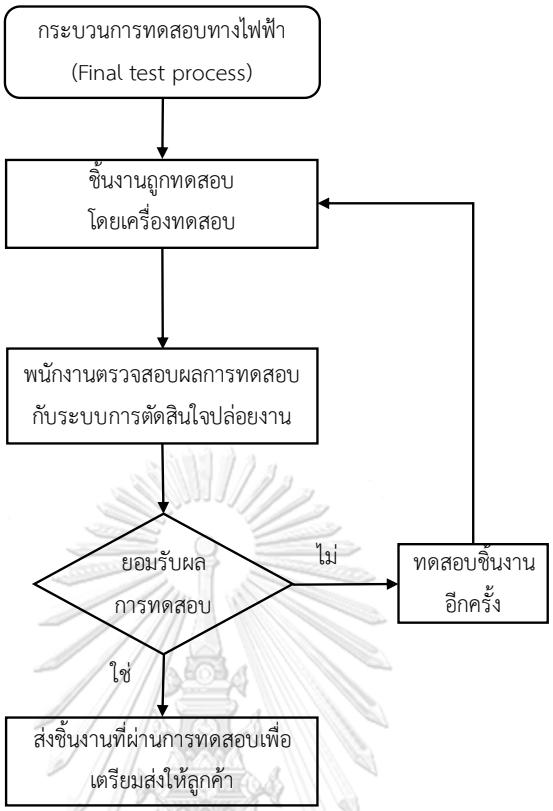
โรงงานผลิต IC โดยทั่วไปจะแบ่งสายการผลิตออกเป็นสองส่วนได้แก่ ส่วนการผลิต (Assembly) และส่วนของการทดสอบงานทางไฟฟ้า (Electrical Test) โดยกระบวนการผลิตจะรับเวเฟอร์มาจาก fab ที่อยู่ต่างประเทศและจากนั้นโรงงาน ณ ประเทศไทยจะทำการผลิตและทดสอบวงจรรวมซึ่งจะกล่าวละเอียดในบทที่ 2 เกี่ยวกับกระบวนการผลิต ซึ่งหลังจากสิ้นสุดกระบวนการผลิตจะต้องทดสอบทางฟ้าโดยเครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดสอบทางไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์ IC ได้แก่ เครื่องทดสอบ (Automatic Test Equipment : ATE) , เครื่องโหลดตัวงานเพื่อทำการทดสอบ (Test Handler) , บอร์ดการทดสอบ (Load Board) , โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบแผงวงจรรวม (Test Program) โดยงานวิจัยฉบับนี้จะทำการศึกษาในส่วนของการทดสอบงานทางไฟฟ้า (Electrical Final Test) โดยกระบวนการผลิตวงจรรวมและทดสอบวงจรรวม สามารถอธิบายด้วยแผนังแสดงดังรูปที่ 3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3 กระบวนการผลิตวงจรรวมและทดสอบวงจรรวม (IC)

จากแผนผังกระบวนการผลิตวงจรรวมและทดสอบวงจรรวม (IC) รูปที่ 3 จะพบว่าถ้าเกิดกรณีที่การทดสอบงานทางไฟฟ้าผิดพลาด (fault reject) หมายถึง ตรวจสอบชิ้นงานดีเป็นชิ้นงานเสีย หรือตรวจสอบชิ้นงานเสียเป็นชิ้นงานดี ในกรณีศึกษานี้จะกล่าวถึงทดสอบงานทางไฟฟ้าผิดพลาด (fault test) ในกรณี ตรวจสอบชิ้นงานดีเป็นชิ้นงานเสีย ซึ่งจะทำให้ต้องทิ้งชิ้นงานดีซึ่งผ่านกระบวนการขั้นตอนการผลิตตั้งแต่ wafer fab , wafer test , preassembly ,assembly , mark ซึ่งมีต้นทุนและค่าใช้จ่ายสูง ดังนั้นในการทดสอบวงจรดิจิตอลจะต้องกระทำด้วยความระมัดระวังเป็นพิเศษ จะต้องสามารถตรวจจับจุดเสียที่เป็นไปได้ทั้งหมดภายในวงจร หรือจนกว่าจะมั่นใจได้ในระดับหนึ่งแล้ว เพื่อป้องกันมิให้มีอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่มี จุดเสีย ผ่านเล็ดลอดออกจากโรงงานผู้ผลิตไปถึงมือผู้ใช้ และไม่เกิดการทดสอบผิดพลาด (fault test) สิ่งที่วิศวกรทดสอบจะต้องพิจารณากัน ก็คือการพัฒนากระบวนการทดสอบอย่างเหมาะสมและถูกต้องแม่นยำ (Accuracy) ในขณะที่จะต้องมีค่าใช้จ่ายสำหรับกาทดสอบที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่จะต้องมีวิธีการทดสอบที่น่าเชื่อถือ (Reliable Test Methodology) และมีประสิทธิภาพสูง จึงจะสามารถเข้าถึงสาเหตุของปัญหาและหาวิธีการแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว (รองศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย แสงอินทร์, 2553)



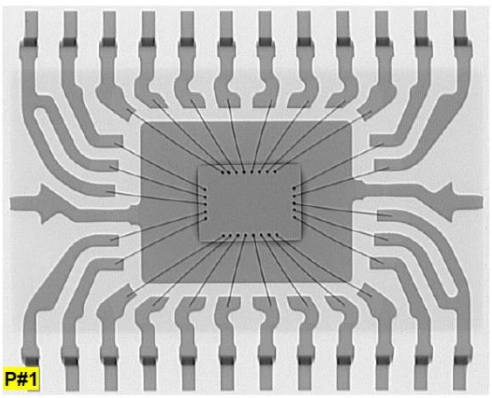
รูปที่ 4 แผนผังการทดสอบวงจรรวม (IC)

ในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า (Final test process) แสดงดังรูปที่ 4 จะเริ่มจากพนักงานโหลดชิ้นงานใส่ในเครื่องโหลดตัวงานเพื่อทำการทดสอบ (Handler) ซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องทดสอบ (Automatic Test Equipment : ATE) และทำการโหลดโปรแกรมสำหรับการทดสอบทางไฟฟ้า เมื่อการทดสอบเสร็จสิ้น พนักงานจะเช็คผลการทดสอบทางไฟฟ้าผ่านเครื่องช่วยการตัดสินใจปล่อยงานซึ่งเรียกว่า Br@t tool ระบบการตัดสินใจปล่อยงานถูกเขียนคำสั่งในการตัดสินใจโดยวิศวกรทดสอบโดยมาตรฐานการปล่อยงานถูกกำหนดร่วมกันโดยวิศวกรคุณภาพและลูกค้า ในเครื่องมือช่วยปล่อยงานจะเขียนคำสั่งการตัดสินใจเกี่ยวกับงานลอทที่ถูกทดสอบ เช่น สามารถปล่อยงานได้ , ให้ทำการทดสอบชิ้นงานเสียอีกครั้ง , ให้ทำการทดสอบชิ้นงานใหม่ทั้งลอท

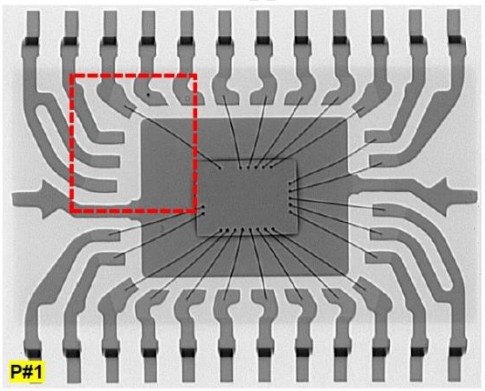
โดยลักษณะชิ้นงานเสียจากการทดสอบทางไฟฟ้าไม่สามารถมองด้วยตาเปล่าแล้วสามารถบอกได้ ต้องผ่านเครื่องทดสอบทางไฟฟ้าเพื่อทำการวัดค่าแรงดันโวลต์เตท (Voltage) ชิ้นงานดีที่ถูกทดสอบแล้วผลออกมาว่าเป็นชิ้นงานเสีย ทางโรงงานกรณีศึกษาเรียกของเสียในลักษณะนี้ว่าการทดสอบผิดพลาด (fault test) ซึ่งหลังจากทำการ verify หรือทดสอบอีกครั้งจะผ่านการทดสอบ เนื่องจากเป็นชิ้นงานดีแต่เกิดการทดสอบทางไฟฟ้าผิดพลาด (fault test) ลักษณะภายนอกของ

ชิ้นงานและภาพ X-ray แสดงดังรูปที่ 5 และรูปที่ 6 ตามลำดับ ซึ่งมีลักษณะเหมือนชิ้นงานดีทุกประการ แต่เกิดการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจรผิดพลาด (fault contact open test) ทำให้โรงงานพบชิ้นงานดีจำนวนมากเกิดจากการทดสอบทางไฟฟ้าผิดพลาดเนื่องจากการเปิดของวงจร

รูปที่ 5 ภาพ top mark ของวงจรรวม

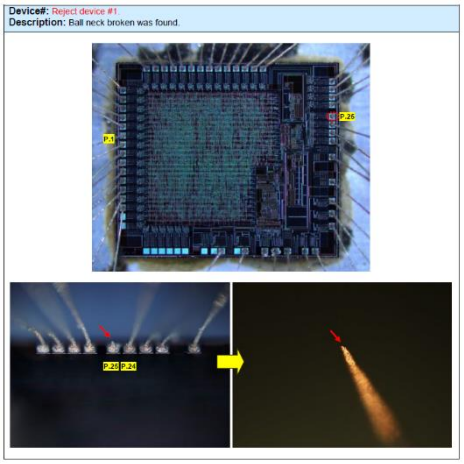


รูปที่ 6 ภาพ X-ray ชิ้นงานดี ผ่านการทดสอบการเปิดของวงจร (fault contact open test)

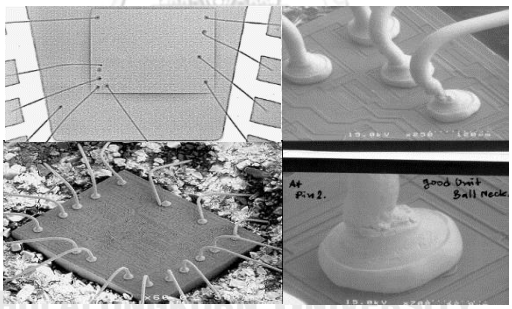


รูปที่ 7 ภาพ X-ray ชิ้นงานเสียเนื่องการทดสอบการเปิดของวงจร (contact open test fail)

ชิ้นงานเสียเนื่องจากไม่ผ่านการทดสอบการเปิดของวงจร (Contact open test fail) ภาพ X-ray แสดงดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8 ชิ้นงานเสียลักษณะนี้จะถูกเรียกว่า Ball neck broken ของเสียชนิดนี้มีความเสี่ยงสูงมากในการหลุดไปหาลูกค้าเนื่องจากในบางครั้งลวดยังไม่ขาดอย่างสมบูรณ์จาก bonding pad ทำให้ผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า แต่เมื่อลูกค้านำไปใช้ในสภาวะร้อนหรือเย็น ส่งผลให้ตัวงานเสียในเวลาต่อมา รูปงานเสียลักษณะ ball neck broken แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ภาพถ่ายหน้า die เมื่อถูก decapsulation and optical inspection



รูปที่ 9 ภาพชิ้นงานเสีย ball neck broken ถ่ายหน้า die เมื่อถูก decapsulation and optical inspection

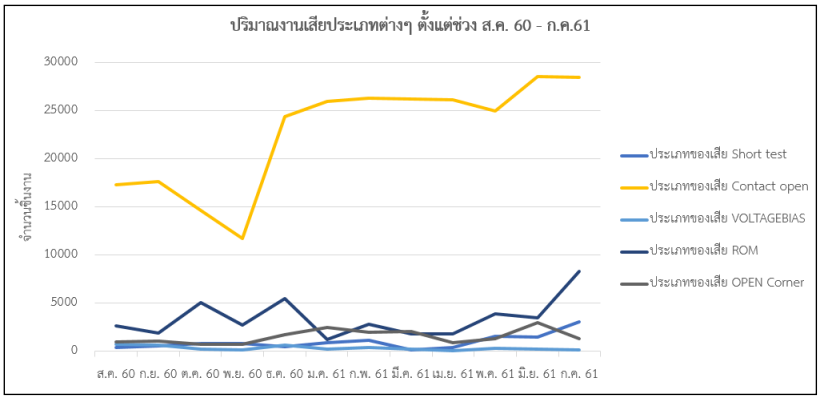
จากข้อมูลข้างต้นทั้งหมดที่กล่าวมาจะเห็นว่า ในแผนกทดสอบทางไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างมาก แผนกทดสอบทางไฟฟ้าขั้นสุดท้าย (Final Electrical Test Process) ต้องสามารถตรวจจับจุดเสียที่เป็นไปได้ทั้งหมดภายในวงจร เพื่อป้องกันมิให้ชิ้นงานเสีย ผ่านเล็ดลอดออกจากโรงงานผู้ผลิตไปถึงมือผู้ใช้ และไม่เกิดการทดสอบผิดพลาด (fault test) ทิ้งชิ้นงานดี โรงงานกรณีศึกษาในกระบวนทดสอบวงจรรวมมีผลิตภัณฑ์ A ที่มีความต้องการจากตลาดสูงอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นทางโรงงานจึงให้ความสำคัญการลดปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าผิดพลาด (fault test) ที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ A ดังตารางที่ 1 แสดงข้อมูลปริมาณชิ้นงานเสียในตั้งแต่เดือนสิงหาคม 60 ถึง

เดือนกรกฎาคม 2561 สำหรับผลิตภัณฑ์ A จากรูปที่ 10 จะเห็นแนวโน้มของเสียเนื่องจากการเปิดของวงจร (contact open) ซึ่งมีแนวโน้มสูงที่สุดและสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

ตารางที่ 1 ปริมาณชิ้นงานเสียในกระบวนการทดสอบทางฟ้าตั้งแต่
เดือนสิงหาคม 60 – เดือนกรกฎาคม 2561

เดือน	ประเภทของเสีย						
	Short test	Contact open	VOLTAGE BIAS	ROM	OPEN Corner	จำนวนงานออก	จำนวนงานเข้า
ส.ค. 60	420	17316	711	2699	982	1021909	1044037
ก.ย. 60	567	17698	676	1885	1111	987859	1009796
ต.ค. 60	842	14659	277	5062	787	691938	713565
พ.ย. 60	818	11751	150	2783	785	584765	601052
ธ.ค. 60	516	24416	660	5511	1769	1116630	1149502
ม.ค. 61	913	25976	222	1238	2488	1058886	1089723
ก.พ. 61	1128	26297	420	2803	1964	1396342	1428954
มี.ค. 61	152	26279	255	1824	2048	1218016	1248574
เม.ย. 61	455	26202	116	1844	897	758516	788030
พ.ค. 61	1595	25004	372	3937	1308	951097	983313
มิ.ย. 61	1508	28540	274	3525	2990	1019938	1056775
ก.ค. 61	3090	28493	182	8308	1350	989627	1031050
รวม	12004	272631	4315	41419	18479	11795523	12144371

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

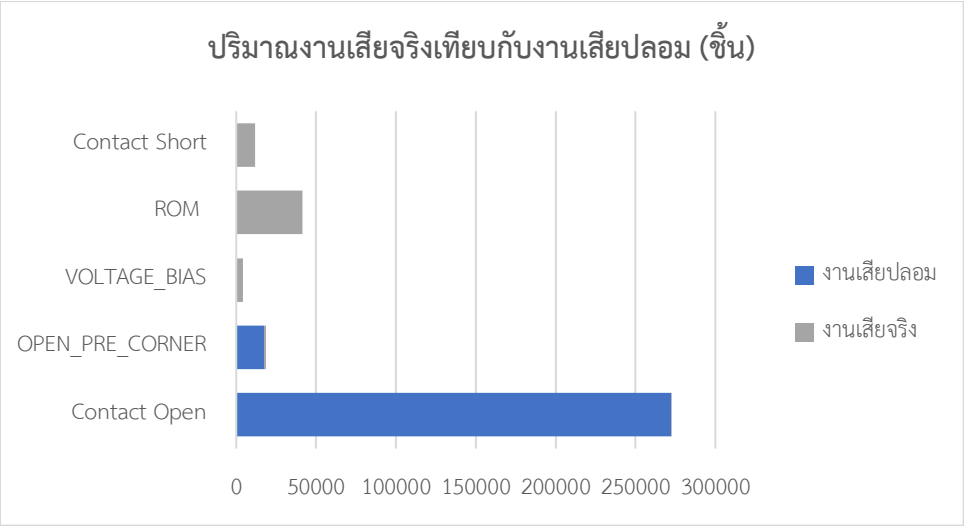


รูปที่ 10 ปริมาณชิ้นงานเสียในกระบวนการทดสอบทางฟ้าตั้งแต่เดือน ส.ค. 60 - ก.ค. 61

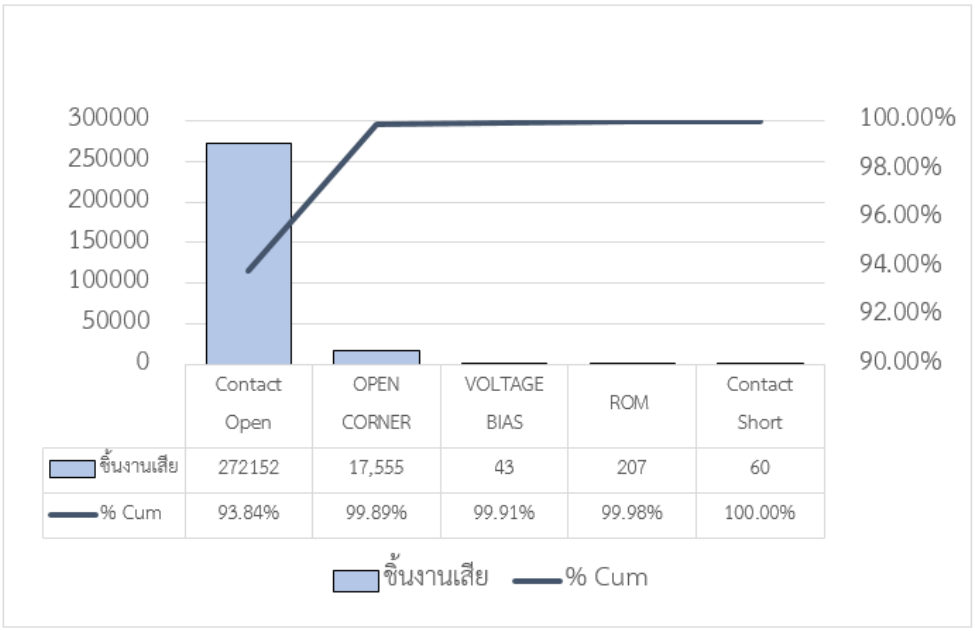
เนื่องจากพบว่ามีปริมาณชิ้นงานเสียจากการทดสอบการเปิดของวงจร (Contact open) เกิดขึ้นสูงจึงทำการตรวจสอบและแยกว่าชิ้นงานเสียเป็นชิ้นงานที่เสียอย่างแท้จริงหรือเกิดจากการทดสอบผิดพลาดโดยวิศวกร ดังแสดงในตารางที่ 2 จะเปรียบเทียบปริมาณชิ้นงานที่เสียจริงและชิ้นงานที่ทดสอบผิดพลาด พบว่า 99.82% เป็นของเสียที่เกิดจากการทดสอบผิดพลาดจากการทดสอบการเปิดของวงจร (fault contact open test) และ 95% เป็นชิ้นงานที่ทดสอบผิดพลาดจากการทดสอบการเปิดของวงจรที่ขามุม (fault contact open corner test) ดังรูปที่ 11 แสดงกราฟเปรียบเทียบชิ้นงานที่ทดสอบเสียจริงและชิ้นงานที่ทดสอบผิดพลาด ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงและมีความจำเป็นต้องหาสาเหตุของปัญหาและหาวิธีการแก้ไขอย่างรวดเร็ว เพื่อพัฒนากระบวนการทดสอบให้ถูกต้องแม่นยำ (Accuracy) ในขณะที่จะต้องมีค่าใช้จ่ายสำหรับการทดสอบที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 2 ปริมาณชิ้นงานที่ทดสอบเสียจริงและชิ้นงานที่ทดสอบผิดพลาดในกระบวนการทดสอบทางฟ้าตั้งแต่เดือนสิงหาคม 60 – กรกฎาคม 2561

ประเภทของงานเสีย	งานเสียปลอม	งานเสียจริง	% งานเสียปลอม	% งานเสียจริง	ปริมาณงานเสีย (ชิ้น)
Contact Open	272152	479	99.82%	0.18%	272,631
Open Corner	17,555	924	95.00%	5.00%	18,479
VOLTAGE_BIAS	43	4,272	1.00%	99.00%	4,315
ROM	207	41,212	0.50%	99.50%	41,419
Contact Short	60	11,944	0.50%	99.50%	12,004



รูปที่ 11 ปริมาณชิ้นงานที่ทดสอบเสียจริงและชิ้นงานที่ทดสอบผิดพลาดในกระบวนการทดสอบทางฟ้าตั้งแต่เดือนสิงหาคม 60 – กรกฎาคม 2561



รูปที่ 12 กราฟคะแนนสะสมของชิ้นงานที่ทดสอบผิดพลาดในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าตั้งแต่เดือนสิงหาคม 60 – กรกฎาคม 2561

การวิเคราะห์สัดส่วนของเสีย

โรงงานตัวอย่างที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ เป็นโรงงานผลิตและทดสอบแผงวงจรรวม จากการศึกษาสภาพปัญหาของกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวม พบว่าปัญหาของเสียที่

เกิดขึ้นจากการทดสอบผิดพลาดเนื่องจากการทดสอบการเปิดของวงจร (fault contact open test) มีปริมาณ 2.24 % คิดเป็นมูลค่าประมาณ 1.3 ล้านบาทต่อปี จากข้อมูลของโรงงานเดือนสิงหาคม 60 ถึงเดือนกรกฎาคม 2561 ปริมาณและมูลค่าความสูญเสียจากการทดสอบเปิดวงจรผิดพลาดในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ข้อมูลจำนวนของเสียการทดสอบเนื่องจากการทดสอบการเปิดของวงจรของผลิตภัณฑ์ A จากแผนก final test ตั้งแต่เดือน ส.ค. 60 - ก.ค. 61

เดือน	จำนวนชิ้นงานทั้งหมด	จำนวนชิ้นงานผ่านการทดสอบ	งานเสียจริง	งานเสียปลอม	% งานดี	%งานเสียจริง	%งานเสียปลอม
ส.ค. 60	1044037	1021909	36	17264	97.88%	0.00%	1.65%
ก.ย. 60	1009796	987859	39	17680	97.83%	0.00%	1.75%
ต.ค. 60	713565	691938	42	14600	96.97%	0.01%	2.05%
พ.ย. 60	601052	584765	37	11692	97.29%	0.01%	1.95%
ธ.ค. 60	1149502	1116630	36	24392	97.14%	0.00%	2.12%
ม.ค. 61	1089723	1058886	44	25950	97.17%	0.00%	2.38%
ก.พ. 61	1428954	1396342	40	26244	97.72%	0.00%	1.84%
มี.ค. 61	1248574	1218016	41	26253	97.55%	0.00%	2.10%
เม.ย. 61	788030	758516	38	26150	96.25%	0.00%	3.32%
พ.ค. 61	983313	951097	44	24979	96.72%	0.00%	2.54%
มิ.ย. 61	1056775	1019938	43	28483	96.51%	0.00%	2.70%
ก.ค. 61	1031050	989627	39	28465	95.98%	0.00%	2.76%
รวม	12144371	11795523	479	272152	97.13%	0.00%	2.24%

ที่มา: แผนกทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวม (final test department)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 ปริมาณและมูลค่าความสูญเสียจากการทดสอบเปิดวงจรผิดพลาด
ตั้งแต่เดือน ส.ค. 60 - ก.ค. 61

เดือน	ของเสียจากการทดสอบเปิดวงจรผิดพลาด (ชิ้น) (fault Contact open test)	มูลค่าความสูญเสีย (บาท)
ส.ค. 60	17264	85,284.42
ก.ย. 60	17680	87,340.69
ต.ค. 60	14600	72,125.80
พ.ย. 60	11692	57,759.69
ธ.ค. 60	24392	120,494.42
ม.ค. 61	25950	128,193.12
ก.พ. 61	26244	129,647.37
มี.ค. 61	26253	129,688.44
เม.ย. 61	26150	129,179.00
พ.ค. 61	24979	123,396.24
มิ.ย. 61	28483	140,705.62
ก.ค. 61	28465	140,614.66
รวม	272152	1,344,429.48

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โดยราคาความสูญเสียต่อหน่วยที่ใช้ในการคำนวณนั้นมีราคาต่อหน่วย ดังนี้

1.ราคาวัตถุดิบ (die, mold, wire, package) ต่อหน่วยเท่ากับ 2.36 บาท/ชิ้น

2.ราคาการทดสอบที่เวเฟอร์ ต่อหน่วยเท่ากับ 0.45 บาท/ชิ้น

3.ราคาที่แผนก pre-assembly และ assembly ต่อหน่วยเท่ากับ 1.06 บาท/ชิ้น

4.ราคากระบวนการทดสอบวงจรรวมและการบรรจุภัณฑ์ ต่อหน่วยเท่ากับ1.07 บาท/ชิ้น

จากข้อมูลปริมาณและมูลค่าความสูญเสียในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าตั้งแต่เดือนสิงหาคม 60 – กรกฎาคม 2561 จึงสามารถสรุปได้ว่าร้อยละโดยเฉลี่ยของความสูญเสียในการทดสอบผิดพลาดเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact Open test) เท่ากับ 2.24% และร้อยละโดยเฉลี่ยของความสูญเสียในการทดสอบผิดพลาดเนื่องจากการเปิดของวงจรที่ขามุม (fault Open Corner test) เท่ากับ 0.14% ส่วนมูลค่าความสูญเสียรวมที่เกิดจากกระบวนการทดสอบผิดพลาดเนื่องจากการการของวงจร (Fault contact open fail) สำหรับผลิตภัณฑ์ A มีค่ารวมเท่ากับ 1,344,429 บาทต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 4 จึงทำให้โรงงานกรณีศึกษาตระหนักถึงปัญหาของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) เป็นอย่างมาก ปัญหานี้จึงมีความสำคัญและจำเป็นต้องได้รับการแก้ไข เพื่อเป็นการพัฒนากระบวนการทดสอบอย่างเหมาะสมและถูกต้องแม่นยำ น่าเชื่อถือ (Reliable Test Methodology) มีประสิทธิภาพสูง และลดต้นทุนให้แก่โรงงานกรณีศึกษา

จากการที่ผู้วิจัยได้ศึกษาสภาพปัญหา และความสำคัญของปัญหาในปัจจุบันทำให้ผู้วิจัยและคณะทีมงาน ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของวงจรรวม ผลิตภัณฑ์ A ได้วิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) โดยคณะผู้วิจัยมีสมาชิกดังนี้

1.วิศวกรออกแบบ 1 คน
2. วิศวกรทดสอบ 1 คน
3. วิศวกรฝ่ายคุณภาพ 1 คน
4. วิศวกรฝ่ายซ่อมบำรุง 1 คน
5. วิศวกรฝ่ายเครื่องจักร 1 คน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อลดอัตราของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) ของผลิตภัณฑ์ A
2. เพื่อปรับปรุงกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของผลิตภัณฑ์ A

1.4 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

1. งานวิจัยนี้ทำการศึกษาวิจัยในแผนกทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรวงจรรวมเฉพาะผลิตภัณฑ์ A ซึ่งเป็นกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการของลูกค้าสูง

2. ทำการศึกษาวิจัยการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวมเพื่อพัฒนากระบวนการทดสอบโดยเลือกใช้เครื่องจักรอย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูง ในขณะที่จะต้องลดความสูญเสียที่เกิดจากการทดสอบผิดพลาดเนื่องจากของเสียชนิดการเปิดของวงจร (fault contact Open test) ให้มีค่าน้อยที่สุด

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดอัตราของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) ของผลิตภัณฑ์ A ลงตามเป้าหมาย 0.05%

2. สามารถนำผลที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงกระบวนการทดสอบผิดทางไฟฟ้าในผลิตภัณฑ์อื่นได้

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลประโยชน์ทางตรงมีดังต่อไปนี้

1. มูลค่าความสูญเสียของกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าผลิตภัณฑ์ A มีค่าลดลง
2. สามารถลดค่าใช้จ่ายในการทดสอบแผงวงจรรวมผลิตภัณฑ์ A ได้ 47.89×10^3 ดอลลาร์ต่อปี
3. ปริมาณผลผลิตในแผนกทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวม (Final test process) เพิ่มขึ้นจาก 25,000 ชิ้นต่อวัน เป็น 80,000 ชิ้นต่อวัน

ผลประโยชน์ทางอ้อมมีดังต่อไปนี้

1. สามารถลดการใช้เครื่องจักรจาก 6 เครื่องเหลือ 1เครื่อง
2. สามารถลดค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรได้ 6.16×10^3 ดอลลาร์ต่อปี
3. สามารถลดการใช้พื้นที่คำนวณเป็นค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ 10.32×10^3 ดอลลาร์ต่อปี
4. สามารถประหยัดพลังงานการใช้ไฟฟ้า ลดค่าไฟฟ้าได้ 4.75×10^3 ดอลลาร์ต่อปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. สามารถลดการใช้พนักงานดำเนินการเครื่องจักรได้ 5 คน คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ 16.3 x 10^3 ดอลลาร์ต่อปี

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.ศึกษาข้อมูลและนิยามปัญหา

- ศึกษาข้อมูลและปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา โดยศึกษาจากข้อมูลย้อนหลัง เพื่อศึกษาสภาพปัญหาจริงในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อระบุปัญหาที่จะศึกษาในงานวิจัยนี้
- ศึกษาการทำงานของกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า และศึกษาทฤษฎีรวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดปริมาณของเสียในการบวนการผลิต
- ระบุสภาพปัญหา และกำหนดขอบเขต วัตถุประสงค์ เงื่อนไข และผลที่คาดว่าจะได้รับของงานวิจัย รวมทั้งจัดตั้งคณะทำงานซึ่งคัดเลือกจากผู้ที่มีความเชี่ยวชาญเกี่ยวกับกระบวนการทดสอบวงจรรวม

2.การดำเนินงานวิจัย

- คณะทำงานช่วยกันระดมความคิด เพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่จะส่งผลต่อตัวแปรตอบสนอง วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้เครื่องมือแผนผังสาเหตุและผลในการวิเคราะห์ (Cause and Effect diagram) และจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่ออัตราของเสียที่การเกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) โดยใช้ FMEA
- เลือกปัจจัยที่มีคะแนนมากอย่างชัดเจน ทำการออกแบบกระบวนการทดสอบใหม่ (Redesign process) โดยใช้หลักกระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (Analysis Hierarchy Process: AHP) ในการตัดสินใจคัดเลือกเครื่องจักร

3.การปรับปรุงกระบวนการ

- ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อลดอัตราของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เปิดของวงจร (fault contact open test) โดยการออกแบบการทดลอง Design of Experiment (DOE) ทำการออกแบบการทดลองเพื่อปรับตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องจักร เมื่อได้ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแล้ว ใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า

4.การทดลองเพื่อยืนยันผล

- ทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองโดยใช้แผนภูมิควบคุม (Control chart) และจัดทำแผนปฏิบัตรงานเพื่อเป็นมาตรฐานในการรักษามาตรฐานหลังจากที่ได้ดำเนินการปรับปรุง และป้องกันไม่ให้ปัญหาต่างๆ เกิดขึ้นซ้ำซาก รวมทั้งทำการประเมินและสรุปผลการปรับปรุงด้วย
- สรุปและวิจารณ์ผลในการปรับปรุงกระบวนการ วิเคราะห์มูลค่าของเสียก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ และนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับกระบวนก่อนทำการปรับปรุง จัดทำแผนภูมิ และกำหนดมาตรฐานในการปฏิบัติงาน

5.สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2

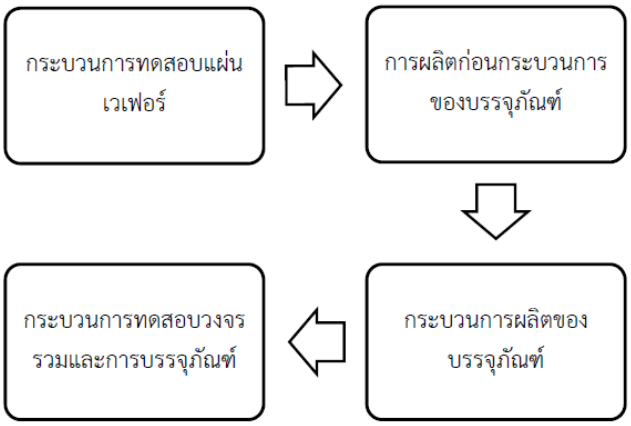
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ได้นำมาใช้ในงานวิจัย โดยใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการเพื่อเป็นแนวทางในการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต งานวิจัยที่เกี่ยวข้องสรุปได้ดังนี้

2.1 กระบวนการผลิตวงจรรวม (Integrated Circuit: IC)

วงจรรวม (Integrated Circuit: IC) วงจรที่นำเอาไดโอด ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และองค์ประกอบวงจรต่างๆ มาประกอบรวมกันบนแผ่นฐานรอง (Substrate) ซึ่งในปัจจุบันจะนิยมใช้ซิลิกอนเป็นฐานรอง โดยทั่วไปนิยมเรียกว่า ไอซี และแผ่นวงจรขนาดเล็กนี้บางครั้งเรียกว่า ชิป (Chip) โดยการสร้างองค์ประกอบวงจรต่างๆ ฝังอยู่บนผลึกซิลิกอนนี้จะใช้กรรมวิธีการถ่ายภาพอย่างละเอียดและมีการสร้างลวดลายวงจรโดยอาศัยกระบวนการที่เรียกกันว่า ลิโทกราฟี (Lithography) และกระบวนการทางเคมีซึ่งมีความละเอียดสูงมากจึงสามารถบรรจุองค์ประกอบวงจรได้จำนวนมาก วิธีการสร้างองค์ประกอบวงจรทั้งหมดลงบนแผ่นผลึกแผ่นเดียวนี้ เรียกว่า โมโนลิทิก (Monolithic) โดยความหนาแน่นขององค์ประกอบของวงจรที่บรรจุในวงจรรวมนี้ มีตั้งแต่หลายสิบตัว เรียกว่า SSI (Small Scale Integration) จนถึงหลายสิบล้านตัว เรียกว่า ULSI (Ultra Large Scale Integration) ซึ่งกระบวนการผลิตชิปวงจรรวมสามารถแสดงขั้นตอนได้ดังรูปที่ 13 และสามารถอธิบายขั้นตอนได้ดังนี้

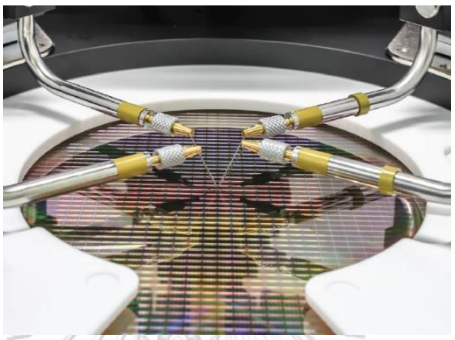
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 13 กระบวนการผลิตชิปวงจรรวม

กระบวนการทดสอบแผ่นเวเฟอร์ (Wafer Test Process)

เป็นกระบวนการแรกของการตรวจสอบของแผ่นเวเฟอร์ โดยจะรับแผ่นเวเฟอร์ (Wafer) จากผู้ผลิต หลังจากนั้นทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า และดิจิตอล เมื่อได้รับการตรวจสอบแล้วจะส่งให้กระบวนการถัดไปหรือส่งให้ลูกค้า แสดงลักษณะการทดสอบแผ่นเวเฟอร์ดังรูปที่ 14

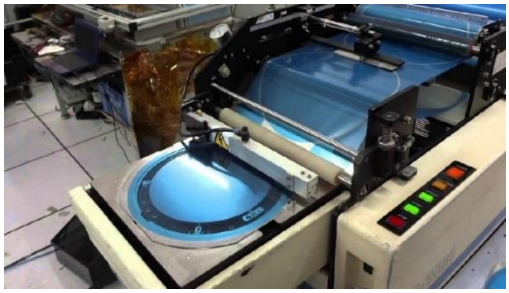


รูปที่ 14 การทดสอบแผ่นเวเฟอร์

การผลิตก่อนกระบวนของบรรจุภัณฑ์ (Pre-assembly Process)

ในส่วนของการผลิตก่อนกระบวนของบรรจุภัณฑ์วงจรรวมนั้นจะทำในห้องสะอาดหรือครีนรูม (Cleanroom) ซึ่งห้องดังกล่าวจะมีการควบคุมความสะอาด ฝุ่นละออง ความชื้น และอุณหภูมิภายในห้องบรรจุภัณฑ์ ซึ่งจะใช้คลีนรูมคลาส 10000 ในการควบคุมความสะอาดดังกล่าว โดยทางโรงงานจะมีการกำหนดเขตพื้นที่สะอาด (Clean Area) โดยบุคคลที่เข้าไปในเขตดังกล่าวต้องสวมชุดบันนีสูท (Bunny Suit) และต้องใช้หน้ากาก (Mask) ปิดปากและจมูก โดยชุดบันนีสูทเป็นชุดป้องกันประจุไฟฟ้าสถิตย์ (Electro Static Discharge, ESD) ที่เกิดขึ้นในตัวมนุษย์ โดยชุดดังกล่าวทำมาจากเส้นใยคาร์บอน เพื่อช่วยส่งถ่ายประจุไฟฟ้าสถิตย์ในร่างมนุษย์ลงกราวด์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายต่อวงจรรวมได้ ลักษณะของชุดบันนีสูทจะมีการสวมทั้งร่างกายตั้งแต่เท้าขึ้นไปจนถึงศีรษะคล้ายชุดหมี การผลิตก่อนกระบวนของบรรจุภัณฑ์วงจรรวมนั้นสามารถแบ่งออกตามขั้นตอนได้ดังนี้

1. กระบวนการเวเฟอร์เมาท์ (Wafer Mount) เป็นกระบวนการเตรียมแผ่นเวเฟอร์ก่อนนำไปเจียรนัย โดยการตัดแผ่นพลาสติก (Laminate Tape) ไว้บนด้านหน้าของแผ่นเวเฟอร์เพื่อป้องกันเศษซิลิกอนปนเปื้อนลงบนแผ่นเวเฟอร์ แสดงดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ลักษณะการเตรียมแผ่นเวเฟอร์ก่อนนำไปเจียรนัย

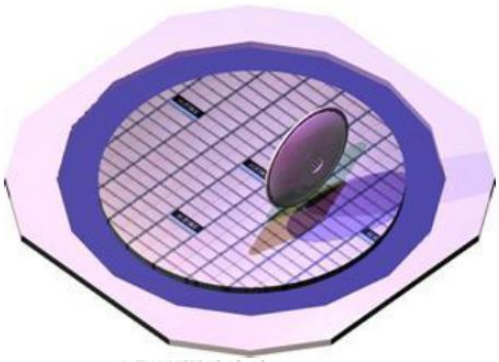
2. กระบวนการเจียรนัยแผ่นหลัง (Wafer Back Grinding) หลังจากผ่านกระบวนการเวเฟอร์เมาท์เรียบร้อยแล้ว จะนำแผ่นเวเฟอร์ไปผ่านกระบวนการเจียรนัยแผ่นหลัง เนื่องจากเวเฟอร์ที่เข้าสู่กระบวนการบรรจุภัณฑ์วงจรรวมจะมีความหนามากกว่าที่กำหนดสามารถแสดงดังรูปที่ 16

รูปที่ 16 ลักษณะการเจียรนัยหลังแผ่นเวเฟอร์

3. กระบวนการเวเฟอร์เมาท์ครั้งที่ 2 เป็นการติดเทปสำหรับการตัด (Dicing Tape) เพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการตัด (Saw Process) โดยการใช้เครื่องติดเทป (Mounter Machine) ในการติด

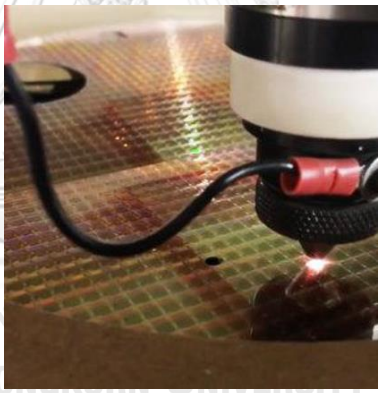
4. กระบวนการตัด (Saw Process) หลังจากติดเทปสำหรับกระบวนการตัดด้านหลัง แผ่นเวเฟอร์ จะนำแผ่นเวเฟอร์เข้าสู่กระบวนการตัด (Saw Process) โดยกระบวนการตัดจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

- กระบวนการตัดแบบใช้ใบมีด ซึ่งกระบวนการตัดแบบนี้จะใช้ใบมีดที่มีส่วนประกอบของกริท (Grit) ที่ทำจากเพชรแสดงดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 การตัดแผ่นเวเฟอร์ด้วยใบมีด

- กระบวนการตัดแบบใช้เลเซอร์จะใช้เลเซอร์ (Laser) ดังรูปที่ 18 ในการบากบนส่วนของเวเฟอร์ให้แตกออกตรงบริเวณเส้นทางการตัด เพื่อป้องกันการแตกของได

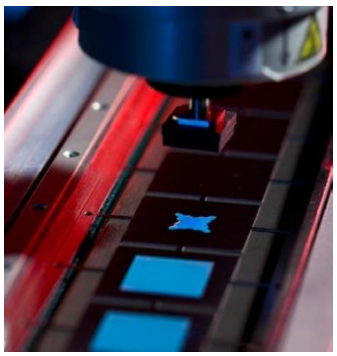


รูปที่ 18 การตัดแผ่นเวเฟอร์ด้วยเลเซอร์

กระบวนผลิตของบรรจุภัณฑ์ (Assembly Process)

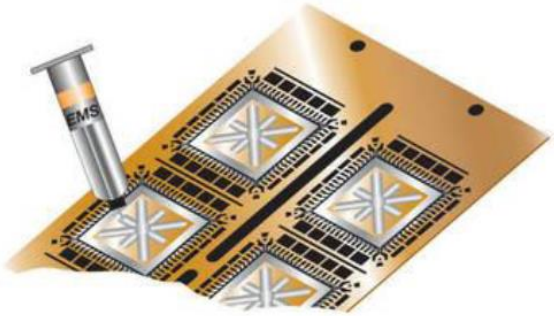
ในส่วนของกระบวนการผลิตของบรรจุภัณฑ์นั้นสามารถแบ่งตามขั้นตอนได้ดังนี้

1. เป็นกระบวนการนำเอาไดมาติดบนฐานรอง (Substrate) หรือลีดเฟรม (Lead Frame) แสดงดังรูปที่ 19 โดยแบ่งวิธีการออกเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 19 การนำไดติดบนลีดเฟรม

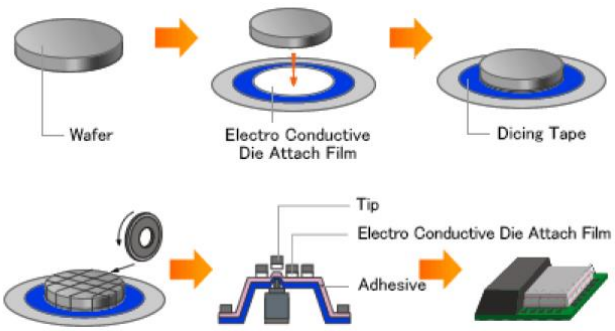
- กระบวนการติดไดแบบหยดกาว จะนิยมใช้วัสดุที่เป็นตัวยึดติดโดยจะใช้กาวอีพอกซี (Epoxy) ซึ่งอาจจะใช้วิธีการเขียน (Write) หรือประทับ (Stamp) ลงบนบริเวณแพด (PAD) ด้วยปริมาณที่เหมาะสม และตำแหน่งที่เหมาะสมแสดงดังรูปที่ 20



รูปที่ 20 ตำแหน่งการติดกาวอีพอกซี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- กระบวนการติดไดแบบแผ่นฟิล์ม เป็นการเชื่อมต่อไดกับลีดเฟรม โดยการใช้แผ่นฟิล์มแทนกาวอีพอกซี โดยคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มจะเหมือนกาวอีพอกซี แต่แผ่นฟิล์มจะถูกติดไว้ด้านหลังแผ่นเวเฟอร์หลังจากกระบวนการเวเฟอร์เมาท์และกระบวนการตัดนั่นเองแสดงดังรูปที่ 21

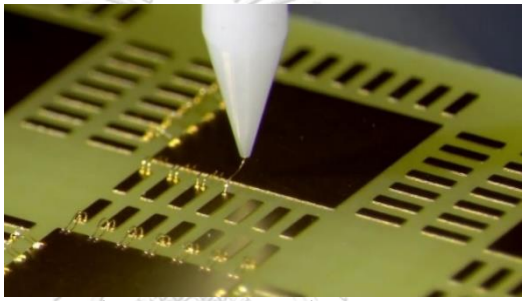


รูปที่ 21 ลักษณะการติดแผ่นฟิล์มบางด้านหลังเวเฟอร์

- กระบวนการติดไดแบบสกรีนพริ้น จะใช้วิธีการเคลือบอีพอกซี ตามความหนาที่ต้องการลงบนด้านหลังของแผ่นเวเฟอร์ และทำการอบ เพื่อให้คุณสมบัติของอีพอกซีเปลี่ยนจากของเหลวเป็นของแข็ง

- กระบวนการติดไดแบบสกรีนโซลเดอร์ฟลิบชิป วิธีการนี้จะเป็นการเชื่อมต่อไดกับวงจรภายนอกโดยการใช้โซลเดอร์บั้ม (Solder Bump)

2. กระบวนการเชื่อมลวด (Wire Bonding) กระบวนการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างซิลิกอนชิป หรือได กับวงจรภายนอกผ่านขาลีดของวงจรรวม หรืออุปกรณ์สารกึ่งตัวนำโดยใช้เส้นลวดขนาดเล็กแสดงดังรูปที่ 22



รูปที่ 22 ลักษณะการเชื่อมต่อลวด

3. กระบวนการโมลด์ (Molding Process) กระบวนการโมลด์เป็นกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์วงจรรวมโดยใช้การฉีด อีพอกซีโมลดิ้งคอมปาวน์ ปกคลุมผิวหน้าไดบนลีดเฟรม เพื่อให้ได้ลักษณะตามนี้ ความต้องการของแต่ละบรรจุภัณฑ์ และป้องกันไดจากอันตรายภายนอก เช่น ความชื้น อุณหภูมิ และสิ่งปนเปื้อน เป็นต้น ตลอดจนเป็นโครงสร้างสำหรับยึดไดและเป็นฉนวนไฟฟ้าอีกด้วย

รูปที่ 23 เครื่องขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ (Molding Machine)

4. กระบวนการอบหลังการโมลด์ (PMC) ภายหลังจากกระบวนการโมลด์แล้ว นำบรรจุภัณฑ์วงจรรวมไปทำการอบเพื่อให้อีพอกซีคอมปาวน์แข็งตัวและเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างตาข่ายหรือเกิดการครอสลิ้ง (Crossing)

5. กระบวนการกำหนดเครื่องหมาย (Marking Process) เป็นกระบวนการระบุตัวอักษร สัญลักษณ์ หรือ โลโก้ ตามความต้องการของลูกค้า โดยแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

- กระบวนการกำหนดเครื่องหมายด้วยหมึกพิมพ์ เป็นกระบวนการที่นำตัวงานเข้าสู่เครื่อง (Machine) ที่ใช้ในการพิมพ์ โดยจะใช้วัสดุในการทำหมึกพิมพ์ 3 ชนิดด้วยกัน คือ หมึกพิมพ์ (Ink Mark) สารทำให้แข็งตัวและตัวทำละลาย หลังจากทำการประทับตัวอักษรลงบนตัวงานเรียบร้อยแล้ว จะนำไปทำการอบเพื่อให้หมึกพิมพ์แข็งตัว
- กระบวนการกำหนดเครื่องหมายด้วยเลเซอร์ เป็นการใช้พลังงานของเลเซอร์เข้าเผาไหม้ (Burn) และทำการสลัก (Engrave) ลงบนผิวของบรรจุภัณฑ์วงจรรวม ตรงบริเวณอีพอกซีโมลดิ้งคอมปาวน์ ส่งผลให้สีบริเวณที่โดนเลเซอร์จะเปลี่ยนไป ซึ่งเป็นปฏิกิริยาทางเคมี

6. กระบวนการตัดแยกยูนิต (Trim Form and Singulation) เป็นกระบวนการตัดแยกสตริป (Strip) ของลีดเฟรมออกเป็นยูนิตเดี่ยว (Single Unit) โดยการใช้ใบมีดตัด (Dicing Blade) และใช้เครื่องจักรในการตัดแยกเป็นยูนิต (Singulation Machine)

2.2 กระบวนการทดสอบวงจรรวมและการบรรจุภัณฑ์ (Test and Pack Process)

- การทดสอบวงจรรวม (Final Test) เป็นการทดสอบคุณภาพของตัวงานตามคุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น การทดสอบหน้าที่การทำงาน (Functional Test) การทดสอบพารามิเตอร์ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC Parameter Test) เป็นต้น เพื่อเป็นการทดสอบพิสูจน์ (Verify) การทำงานของวงจรรวมว่าใช้การได้หรือไม่
- การบรรจุภัณฑ์ (Packing) เป็นการบรรจุยูนิตที่ผ่านการตรวจคุณภาพเรียบร้อยตามความต้องการของลูกค้าลงในวัสดุที่ใช้บรรจุ หรือกล่อง โดยผู้ปฏิบัติงานจะต้องทำการตรวจสอบใบตรวจสอบผลิตภัณฑ์ตลอดทั้งกระบวนการ (Process Traveler) และทำการพิมพ์ฉลาก (Label) โดยระบบบาร์โค้ดอัตโนมัติ (Auto System Barcode) ติดด้านบนของกล่อง จึงเสร็จสิ้นกระบวนการผลิตชิปวงจรรวม (Integrated Circuit)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.1 การทดสอบทางไฟฟ้า (Electrical Testing)

การทดสอบทางไฟฟ้า (Electrical Testing) เป็นกระบวนการหนึ่งในสายการผลิต เพื่อเพิ่มความมั่นใจให้แก่ผู้ผลิตว่า ผลิตภัณฑ์ที่จะนำออกจำหน่ายสู่ท้องตลาดนั้น ได้ถูกประกอบขึ้นมาอย่างถูกต้อง ตรงตามขั้นตอน และสามารถทำงานได้ตามฟังก์ชันที่ได้ออกแบบไว้ การทดสอบเพื่อพิสูจน์ (Verify) พารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อใช้เป็นตัวพิจารณาอุปกรณ์ที่ทำการทดสอบว่าใช้การได้หรือไม่ นอกจากนี้เป็นการนำความรู้พื้นฐานเรื่องกฎของโอห์ม (Ohm's Law) มาคำนวณหาค่าความต้านทาน ค่ากระแส หรือค่าแรงดัน โดยเปลี่ยนวงจรหรืออุปกรณ์ให้เป็นวงจรเสมือนตัวต้านทานหนึ่งตัว ในบทนี้จะได้อธิบายความหมาย, จุดมุ่งหมาย หรือวิธีการในการทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆ

เครื่องมือทดสอบอัตโนมัติ (ATE: Automatic Test Equipment) แสดงดังรูปที่ 24 โดยเครื่องมือนั้น จะประกอบด้วย หัววัด (Probe) จำนวนหนึ่ง เชื่อมต่อเข้ากับตำแหน่งต่างๆ ในวงจร พร้อมกับทำการวัดลักษณะสมบัติของวงจรในส่วนต่างๆ ทั้งนี้ อาจมีป้อนสัญญาณทดสอบ (Test Signal) เข้าสู่วงจร แล้วทำการวัดสัญญาณที่ปรากฏออกมาทางหัววัดเหล่านั้นด้วยก็ได้ หากลักษณะสมบัติหรือสัญญาณที่วัดได้นั้น ถูกต้องตรงตามที่กำหนดไว้ ก็ถือว่า วงจรภายใต้การทดสอบ (CUT: Circuit Under Test) นั้น สามารถทำงานได้ตามฟังก์ชันที่ออกแบบไว้ โดยทั่วไปแล้ว การทดสอบควรกระทำอย่างทั่วถึงจนครบทุก โหนด (Node) ในวงจร เพื่อให้ จุดเสีย (Fault) ที่อาจจะแอบแฝงอยู่ภายในวงจรนั้นสามารถแสดงพฤติกรรมออกมาให้ตรวจจับได้ ทั้งนี้ เครื่องมือวัดที่ใช้กันทั่วไปในการทดสอบ ได้แก่ เครื่องวัดแรงดัน (Voltmeter) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Ammeter) เครื่องวัดความต้านทาน (Resistance Meter) ซึ่งอาจรวมไปถึงเครื่องมือวัดสัญญาณออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) และเครื่องมือวัดสัญญาณทางดิจิตอลต่างๆ เช่น เครื่องวิเคราะห์ทางตรรก (Logic Analyzer) เป็นต้น แต่การทดสอบวงจรรวมขนาดใหญ่มาก จำเป็นต้องมีเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยอีกอย่างหนึ่งจึงจะทำให้การทดสอบประสบความสำเร็จ

รูปที่ 24 เครื่องมือทดสอบอัตโนมัติ (ATE: Automatic Test Equipment)

เครื่องจับชิ้นงานและจัดตำแหน่งชิ้นงาน (Handler) เป็นเครื่องมือสำหรับจับและจัดตำแหน่งชิ้นงานแบบอัตโนมัติ จะเชื่อมต่อกับเครื่องทดสอบ (Tester)

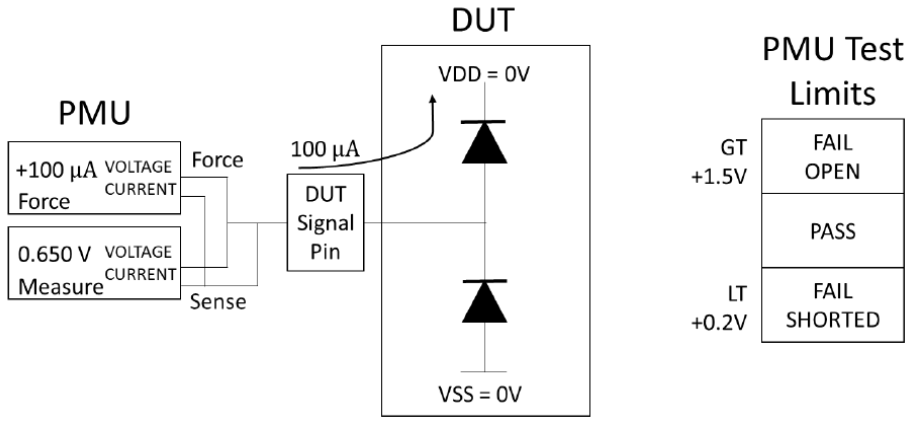
รูปที่ 25 เครื่องจับชิ้นงานและจัดตำแหน่งชิ้นงาน (Handler)

2.3.2 การทดสอบการเปิดและลัดวงจร (Opens and Shorts Test)

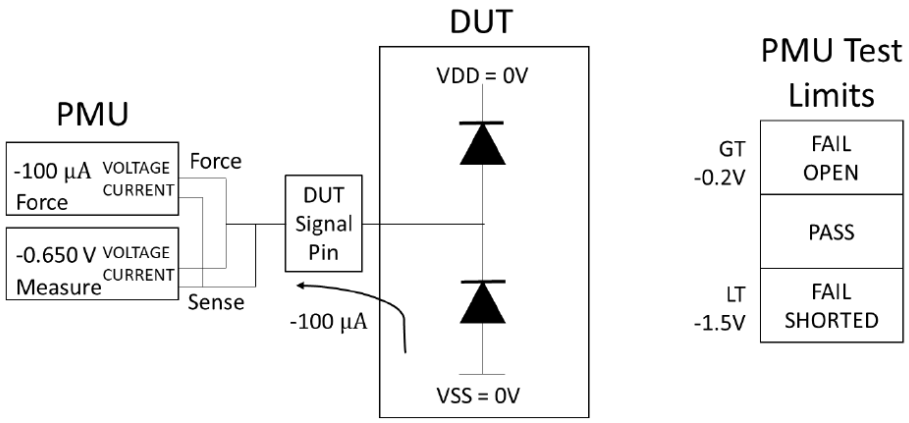
การทดสอบนี้บางครั้งเรียกว่า Continuity หรือ Contact Test เพื่อทดสอบสัญญาณที่ขาของชิ้นงาน และทดสอบการลัดวงจรที่ขาของชิ้นงาน โดยการทดสอบแบบนี้ยังเป็นเครื่องบ่งชี้ว่าเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบต่ออย่างถูกต้องตรงกับตำแหน่งหรือไม่อีกด้วย เงื่อนไขการทดสอบการเปิดและลัดวงจรจะไม่ได้ระบุไว้ในคู่มือ (Data Sheet) แต่เป็นที่รู้กันว่าการทดสอบแบบนี้จะถูกกระทำในทุกๆ อุปกรณ์ (Lioy, 1992)

วิธีการในการทดสอบการเปิดและลัดวงจร (Opens and Shorts Test)

ในขั้นแรกต่อขาสำหรับป้อนแรงดันและขากราวด์ ของอุปกรณ์ลงกราวด์ ของแหล่งจ่ายไฟ จากนั้นต่อขาของ (PMU) เข้ากับขาของอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบแล้วจ่ายกระแสเข้าไป ซึ่งจะมีผลทำให้ไดโอดที่ทำหน้าที่ป้องกัน (Protection Diode) ตัวใดตัวหนึ่งอยู่ในลักษณะไบแอสตรง ดังรูปที่ 26 และรูปที่ 27 โดยถ้าป้อนกระแสบวกเข้าไปไดโอดตัวที่ต่อกับ VDD จะได้รับไบแอสตรง (Forward Bias) ซึ่งกระแสที่จ่ายเข้าไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 100 uA ถึง 500 uA ไดโอดที่ได้รับไบแอสตรงจะมีแรงดันตกคร่อมประมาณ 0.65 V ขึ้นอยู่กับชนิดของไดโอดซึ่งแรงดันนี้จะสามารถใช้เป็นค่าในการตรวจสอบได้ PMU จะถูกกำหนดให้เป็นตัวจ่ายกระแสและวัดแรงดัน ซึ่งแรงดันแคลมป์จะถูกโปรแกรมให้จำกัดแรงดันอยู่ที่ 3V ไม่ว่าจะเกิดการเปิดหรือลัดวงจรของขาอุปกรณ์ที่ทดสอบข้อดีของการทดสอบการเปิดและลัดวงจรนี้ คือ เมื่ออุปกรณ์ชำรุดค่าแรงดันที่วัดได้ คือค่าแรงดันจริงที่สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเกิดการลัดหรือเปิดวงจรได้ทันที



รูปที่ 26 การทดสอบ Opens / Shorts Test : VDD Diode



รูปที่ 27 การทดสอบ Opens / Shorts Test : VSS Diode

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบ Open/Short โดยใช้ PMU

Pin	Force/rang	Measurement/rang	Min	Max	Result
Pin1	-0.100 mA/2mA	-641mV/8V	-1.500V	-200mV	PASS
Pin2	-0.100mA/2mA	-2.0/8V	-1.500V	-200mA	FAIL
Pin3	-0.100mA/2mA	-633mV/8V	-1.500V	-200mA	PASS
Pin4	-0.100mA/2mA	-0.04mV/8V	-1.500V	-200mA	FAIL

จากตารางที่ 5 พบว่าเมื่อป้อนกระแส -100 ไมโครแอมป์ (-0.100mA) เข้าที่ขา Pin 1และ Pin 3 เมื่อวัดแรงดันจะได้เท่ากับ -641mV และ -633mV ตามลำดับ ซึ่งประมาณเท่ากับแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะได้รับไบแอสตรง แสดงว่า Pin 1 และขา Pin 3 ปกติ เครื่องจะรายงานผลลัพธ์ออกมาว่า “PASS” ส่วนที่ขา Pin 2 เมื่อป้อนกระแสค่าเดียวกัน แต่วัดแรงดันได้ -2.0 V ซึ่งแสดงว่า

ขานี้ Open Circuit ส่วนที่ขา Pin 4 วัดค่าแรงดันได้ -0.04 mV ซึ่งแสดงว่าขานี้ Short Circuit เครื่องจะรายงานผลลัพธ์ออกมาว่า “FAIL”

2.3 เทคนิคการแก้ปัญหาด้วยวิธีการ DMAIC

เนื่องจากซิกซ์ซิกม่าเป็นการบริหารคุณภาพที่เน้นการปรับปรุง ดังนั้นการจัดองค์กรเพื่อการปรับปรุงคุณภาพตามแนวทางซิกซ์ซิกม่าจึงต้องรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการที่แปรเปลี่ยนไปของลูกค้า โดยการปรับปรุงนี้จะต้องเป็นการปรับปรุงที่เน้นผลลัพธ์ และทำการวิเคราะห์กระบวนการเพื่อให้ได้มาซึ่งปัญหาที่ซ่อนเร้นในระบบ (Hidden Factory)
วิธีการ DMAIC หรือ Define-Measure-Analyze-Improve-Control เป็นกลไกของขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหาที่ใช้ในการบริหารแบบซิกซ์ซิกม่า โดยการวิเคราะห์จะทำในระดับกระบวนการ (Process Level) และเน้นไปที่การแก้ปัญหาในกระบวนการเป็นหลัก ผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการทำงานส่วนนี้ได้แก่ แบล็กเบลต์ (Black Belt) และทีมงานของเขา โดยมีความรับผิดชอบเป็นผู้นำในการพิจารณาปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการแล้วแนะนำการแก้ไขเพื่อมิให้ปัญหาดังกล่าวเกิดซ้ำอีกหรือหาทางป้องกันปัญหาที่มีแนวโน้มว่าจะเกิด มีการกำหนดบทบาทความรับผิดชอบอย่างชัดเจนและเป็นที่เข้าใจตรงกัน (Hoerl, 1998)

ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน จำเป็นต้องมีการผสมผสานระหว่างความรู้พื้นฐานในเรื่องนั้น ๆ และความรู้ทางสถิติ การฝึกอบรมในซิกซ์ซิกม่ามีเป้าหมายสูงสุดเพื่อให้บุคลากรสามารถบริหารการเปลี่ยนแปลง (Change Management) และสามารถใช้เครื่องมือหรือเทคนิคสำหรับการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิผล โดยจะทำการคัดเลือกผู้ที่มีความสามารถและเหมาะสมมารับการฝึกอบรมในเนื้อหาที่จำเป็นต่อการคิดแก้ปัญหา เรียกว่า แบล็กเบลต์ หรือกรีนเบลต์
วิธีการซิกซ์ซิกม่าประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก คือ การค้นหาปัญหา (Define), การวัดผล(Measure), การวิเคราะห์ (Analyze), การปรับปรุง (Improve) และการควบคุม (Control)

ขั้นตอนการค้นหาและระบุปัญหา (Define phase)เป็นการกำหนดหัวข้อปัญหาว่าปัญหาอะไร ที่สอดคล้องกับปัญหาที่องค์กรกำลังประสบอยู่ซึ่งจะต้องมองให้อยู่ในรูปของกระบวนการเพื่อให้พบปัญหาในระดับที่สามารถจัดการและแก้ไขปรับปรุงได้ โดยปัญหาที่เลือกมานั้นต้องเป็นปัญหาที่วิกฤติต่อคุณภาพ (Critical to Quality) เพื่อสะท้อนถึงคุณลักษณะที่วิกฤตของผลิตภัณฑ์ โดยพยายามจำกัดขอบข่ายของปัญหาให้แคบลงเรื่อย ๆ และพยายามคัดเลือกปัญหาที่เป็นสร้างความเสียหายมากที่สุดต่อธุรกิจ โดยพิจารณาจากปัญหาที่เป็นต้นทุนค่าใช้จ่ายมากที่สุด ปัญหาที่ทำให้ลูกค้าไม่พอใจ หรือในทางกลับกัน เลือกปัญหาที่แก้ไขแล้วจะทำให้เกิดผลตอบแทนมากที่สุด

ขั้นตอนการวัดผล (Measure phase)เป็นการกำหนดตัววัดและทำความเข้าใจกับกระบวนการ เริ่มต้นด้วยการวัดความสามารถของกระบวนการ เพื่อให้รู้ถึงโอกาสในการเกิดของเสียขึ้นในกระบวนการหรือการปฏิบัติงานใด ๆ อันหนึ่งแล้วคำนวณว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นเท่าไร ซึ่งเรียกว่า ความถี่ในการเกิดของเสีย โดยมีสิ่งสำคัญตลอดการทำงานในขั้นตอนการวัดที่จะต้องระลึกถึงเสมอ คือ เรื่องของลักษณะ “จุดวิกฤติต่อคุณภาพ” หรือ Critical to Quality – CTQ Characteristics หรือสิ่งที่มีผลกระทบมากที่สุดต่อลักษณะคุณภาพหรือ ผลงานของเรา โดยจะต้องค้นหาให้พบว่าสิ่งใดบ้างที่เป็นจุดวิกฤติต่อคุณภาพ และความน่าเชื่อถือของค่าที่วัดได้ จากนั้นจึงเป็นการทำแผนผังกระบวนการทำงานเพื่อทำความเข้าใจการไหลของการทำงานและสิ่งที่ผลิต ซึ่งเป็นการให้รายละเอียดและเป็นพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติในช่วงการวิเคราะห์ต่อ ๆ ไป

ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze phase) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อศึกษาทำความเข้าใจถึงผลของตัวแปรแต่ละตัวที่ได้คัดเลือกมาเพื่อคัดกรองตัวแปรเพื่อพิสูจน์ตัวแปรที่สำคัญที่สุดในกระบวนการ (Key Process Variables) ที่เป็นสาเหตุต้นตอของปัญหาที่นิยามไว้ โดยเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการวัดผลซึ่งเป็นข้อมูลที่รวบรวมมาเพื่อเป็นสารสนเทศในทิศทางการปรับปรุง แล้วทำการศึกษาอาการของปัญหาแล้วโยงกลับไปถึงสาเหตุของกระบวนการที่เป็นต้นเหตุแห่งความผันแปร เพื่อบรรยายถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการ โดยการวิเคราะห์ข้อมูลของผลิตภัณฑ์นั้นให้ทราบว่าสาเหตุของปัญหานั้นน่าจะมาจากปัจจัยใดบ้าง

ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve phase) เป็นการปรับปรุงกระบวนการที่ได้วิเคราะห์ไปแล้วและพบว่า สิ่งใดบ้างที่มีผลต่อคุณภาพหรือ CTQ หรือจุดวิกฤติต่อคุณภาพและสิ่งนั้นไม่เป็นไปตามความคาดหวังที่เราตั้งเอาไว้ เราจะมาเน้นในเรื่องการเปลี่ยนแปลงที่เราจะต้องทำ เพื่อให้เกิดการปรับปรุงที่ CTQ ตัวนั้น และจะเป็นการปรับปรุงกระบวนการไปด้วย การปรับปรุงเพื่อทำให้เราบรรลุเป้าหมายหรือผลสำเร็จ โดยช่วงของข้อกำหนดที่ยอมรับได้ที่เป็นข้อกำหนดของ CTQ ตัวแปรต้นหรือปัจจัยของกระบวนการ ไม่ใช่ผลลัพธ์ของกระบวนการ แล้วพยายามบีบช่วงของข้อกำหนดที่ยอมรับได้นี้

ขั้นตอนการควบคุม (Control phase) เป็นขั้นตอนการนำสิ่งที่ได้รับการปรับปรุง มารักษาไว้ซึ่งผลที่ควรจะเป็นให้ได้ โดยการเฝ้าติดตามถึงปัจจัยการผลิตที่ได้รับการออกแบบมาว่ามีผลต่อผลิตภัณฑ์อย่างไร เพื่อคอยควบคุมตัวแปรสำคัญ ๆ ให้อยู่ในช่วงมาตรฐานใหม่ที่เป็นระดับการทำงานที่ค้นพบในขั้นตอนการปรับปรุงและทำให้ประสบความสำเร็จ จนมั่นใจว่าความสำเร็จที่ได้เป็นผลมาจากการปรับปรุงที่กระบวนการนั้นจริง ๆ ในขั้นตอนนี้เป็นเรื่องสำคัญที่เราจะต้องแยกแยะการแสดงผลของกระบวนการทางสถิติ ออกจากการควบคุมกระบวนการทางสถิติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สรุปแล้ว การนำขั้นตอนของ DMAIC มาใช้มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือ ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ (Process Improvement) ซึ่งเป็นการมองหาว่าอะไรคือตัวแปรที่สำคัญที่ควรปรับปรุง

2.4 กระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (Analysis Hierarchy Process: AHP)

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ว่า เป็นกระบวนการที่ใช้ในการ “วัดค่าระดับ ” ของการตัดสินใจในเรื่องต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ และให้ผลการตัดสินใจที่ถูกต้องตรงกับเป้าหมายของการตัดสินใจได้มากที่สุด กระบวนการที่ว่านี้ได้รับการคิดค้นเมื่อปลายศตวรรษที่ 1970 โดยศาสตราจารย์ Thomas Satty (Thomas Saaty, 1980) (Thomas Saaty, 1990)

จุดเด่นของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ มีดังนี้

1. ให้ผลการสำรวจน่าเชื่อถือกว่าวิธีอื่นๆ เนื่องจากใช้วิธีการเปรียบเทียบเชิงคู่ในการตัดสินใจก่อนที่จะลงมือตอบคำถาม
2. มีโครงสร้างเป็นแผนภูมิลำดับชั้น เลียนแบบกระบวนการความคิดของมนุษย์ทำให้ง่ายต่อการใช้และการทำความเข้าใจ
3. ผลลัพธ์ที่ได้เป็นปริมาณตัวเลข ทำให้ง่ายต่อการจัดลำดับความสำคัญ และยังสามารถนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปเปรียบเทียบ (Benchmarking) กับหน่วยงานอื่นได้สามารถขจัดการตัดสินใจแบบมีอคติหรือลำเอียงออกไปได้
4. ใช้ได้ทั้งกับการตัดสินใจแบบคนเดียวและแบบที่เป็นกลุ่มหรือหมู่คณะก่อให้เกิดการประนีประนอมและการสร้างประชามติไม่จำเป็นต้องให้ผู้เชี่ยวชาญมาคอยควบคุมจาก

การนำเอากระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ไปใช้กับปัญหาที่มีลักษณะดังต่อไปนี้ (กุสุมา จิรวงศ์สวัสดิ์, 2550)

1. การจัดลำดับความสำคัญ
2. การเลือกทางเลือกเป็นกลุ่มๆ
3. การเลือกนโยบายที่ดีที่สุด
4. การตัดสินเรื่องกฎเกณฑ์ต่างๆ
5. การกระจายทรัพยากร
6. การคาดการณ์ผลที่จะเกิดขึ้นในอนาคต และการประเมินความเสี่ยง
7. การวัดผลหรือการประเมินผล
8. การวางแผน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

9. การลดความขัดแย้ง

หลักการสำคัญของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

การวิเคราะห์แบบลำดับชั้นพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับผู้บริหาร โดยมีหลักการที่สำคัญ 3 ส่วนคือ จำแนกออกเป็นลำดับชั้น เปรียบเทียบองค์ประกอบในการตัดสินใจที่ละคู่ และเรียงลำดับทางเลือก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. พัฒนาลำดับชั้นการทำางานว่าจะมีการเรียงลำดับชั้นอย่างไร ซึ่งโครงสร้างของการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น ประกอบด้วย 4 ส่วนใหญ่ๆ เรียงลำดับ อันได้แก่ เป้าหมาย (Goal) วัตถุประสงค์ (Objective) คุณลักษณะ (Attribute) และทางเลือก (Alternative) แต่จำนวนของระดับชั้นอาจมีมากกว่า 4 ลำดับชั้นเนื่องจากวัตถุประสงค์อาจมีวัตถุประสงค์ย่อย หรือผู้ตัดสินใจอาจมีมากกว่า 1 กลุ่ม

2. การเปรียบเทียบองค์ประกอบที่ใช้ในการตัดสินใจทีละคู่ (Pairwise) ซึ่งเป็นการให้ค่าถ่วงน้ำหนักวิธีหนึ่งที่เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์แบบลำดับชั้นการตัดสินใจทีละคู่เป็นการลดกระบวนการที่ซับซ้อนลงให้เหลือเพียงการตัดสินใจองค์ประกอบทีละคู่ แต่ในการพิจารณาอาจต้องใช้เวลามากขึ้น โดยสามารถแบ่งเป็น3 ขั้นตอนย่อยดังนี้

2.1) การสร้างเมทริกซ์การเปรียบเทียบทีละคู่ (Pairwise Comparison Matrix) โดยแต่ละข้อมูลจะมีการเปรียบเทียบกัน 9 ระดับ

2.2) คำนวณผลรวมของค่าน้ำหนักที่ได้จากการเปรียบเทียบข้อมูลแต่ละคู่ทุกคู่ หลังจากนั้นทำให้เป็นบรรทัดฐาน (Normalize) ข้อมูล และรวมข้อมูลในแต่ละแถว ซึ่งทำให้ได้ค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งได้จากการพิจารณาข้อมูลแต่ละคู่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3) คำนวณอัตราส่วนความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) โดยผลการคำนวณอัตราส่วนความสอดคล้องที่ได้ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.1 จึงจะถือว่าการเปรียบเทียบที่ละคู่ที่ใช้มีความสมเหตุสมผล

2.4) คำนวณหาค่า λ_{max} เป็นค่าที่คำนวณได้จากการนำเอาผลรวมของค่าวินิจฉัยของแต่ละเกณฑ์ในแต่ละแถว มาคูณด้วยผลรวมค่าเฉลี่ยในแนวนอนแต่ละแถว แล้วนำเอาผลคูณที่ได้มารวมกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะเท่ากับจำนวนเกณฑ์ทั้งหมดที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ โดยถ้าการวินิจฉัยในเกณฑ์นั้นมีความสอดคล้องกันอย่างสมบูณณ์ จะทำให้ค่า λ_{max} = n

2.5) คำนวณค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง (Consistency Index: CI) ตามสมการ C.I. = $\frac{(\lambda max - n)}{(n-1)}$)

2.6) เปิดตารางค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I) โดยที่ค่า R.I. เป็นค่าที่ขึ้นกับขนาดเมตริกซ์ตั้งแต่ 1x1 จนถึง 15x15 ผลของ R.I. แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ (Random Consistency Index: R.I.)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

2.7) คำนวณค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio: C.R.) คำนวณได้จากอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่า ดัชนีวัดความสอดคล้อง (Consistency Index: C.I.) ที่คำนวณได้จากตารางเมตริกซ์กับค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังนี้ C.R. = $\frac{\mathbf{C.I.}}{\mathbf{R.I.}}$ สำหรับค่าของ C.R. ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.10 ถือว่ายอมรับได้ ถ้ามากกว่า 0.10 ถือว่ายอมรับไม่ได้จำต้องทำการทบทวนการให้ค่าน้ำหนักคะแนนเปรียบเทียบในเกณฑ์นั้นกันใหม่ จนได้ค่า C.R. ที่สามารถยอมรับได้

3. รวมค่าคะแนนของแต่ละทางเลือกที่ได้ และเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย โดยทางเลือกที่ดีสุดคือทางเลือกที่มีผลรวมของค่าคะแนนมากที่สุด

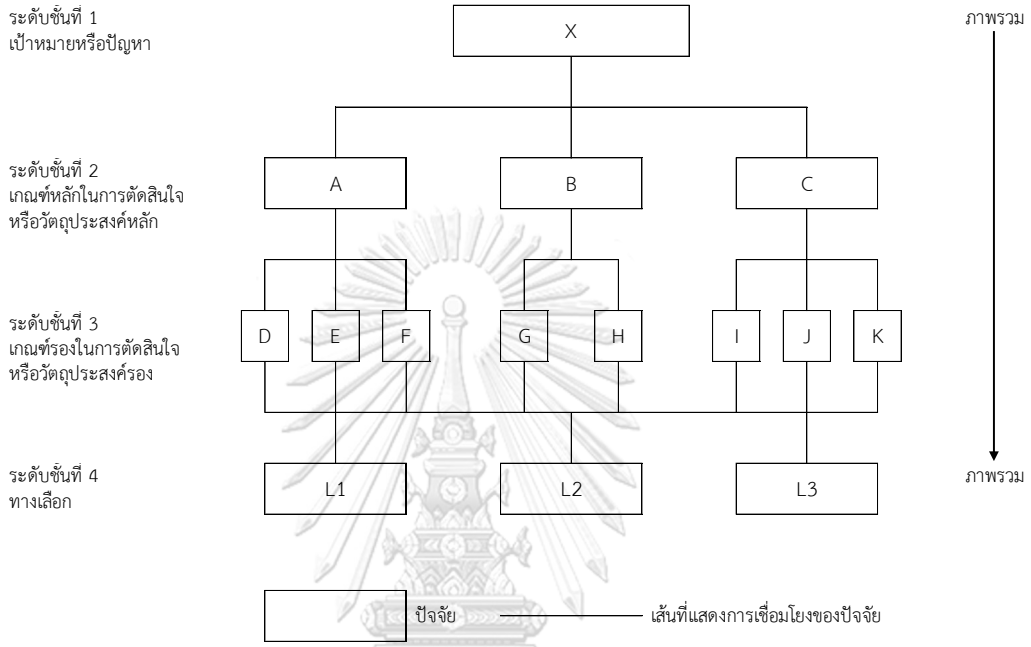
ขั้นตอนของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ประกอบด้วยสามหลักการหลักคือหลักการสร้างรูปแบบของปัญหาหลักการใช้ดุลยพินิจเปรียบเทียบและหลักการความสอดคล้องของเหตุผลที่กล่าวไว้ข้างต้นประกอบด้วยขั้นตอนย่อย 8 ขั้นตอนสำหรับการประยุกต์ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ดังนี้

1.การวางกรอบของปัญหาก่อนอื่นจะต้องมั่นใจว่ากระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ สามารถตอบคำถามที่ตั้งไว้ได้แล้ววางกรอบของปัญหา กำหนดเป้าหมาย วัตถุประสงค์ย่อย และกำหนดทางเลือกให้มีความชัดเจนเพื่อไม่ให้เกิดความสับสนหรือเกิดความลำเอียงในการตัดสินใจ รวมถึงการกำหนดคุณสมบัติของบุคคล และหลักเกณฑ์ต่างๆในการตัดสินใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.การสร้างแผนภูมิ ของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ โดยการนำเป้าหมาย วัตถุประสงค์ย่อย ทางเลือกที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาเขียนเป็นโครงสร้างลำดับชั้นโดยเริ่มจากระดับชั้นบนสุดลงมา ระดับชั้นบนสุดเป้าหมาย ระดับชั้นต่อมาเป็นวัตถุประสงค์ย่อย และทางเลือก ตามลำดับ จำนวนระดับชั้นขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหาที่ทำการศึกษา



รูปที่ 28 ลักษณะแผนภูมิระดับชั้น

3.การสร้างตารางเมตริกซ์เพื่อวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆเป็นคู่ๆกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์กำหนดตัวเลข 1-9 แทนระดับความสำคัญของการเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆที่มีต่อปัจจัยในระดับชั้นที่สูงกว่า ตารางเมตริกซ์มีช่องว่างให้ใส่ผลการวินิจฉัยในพื้นที่เหนือเส้นทแยงมุงเป็นค่าต่างตอบแทนหรือเศษส่วน ดังนั้นถ้าปัจจัย A มีความสำคัญกว่าปัจจัย B ในระดับ 5 ค่าตัวเลขที่ได้ให้เขียนลงบนพื้นที่เหนือเส้นทแยงมุมของเมตริกซ์

ตารางที่ 7 แสดงเมตริกซ์เพื่อวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆเป็นคู่ๆ

เกณฑ์การตัดสินใจ	ปัจจัย A	ปัจจัย B	ปัจจัย C
ปัจจัย A	1	5	
ปัจจัย B	1/5	1	
ปัจจัย C			1

แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้าปัจจัย A มีความสำคัญน้อยกว่าปัจจัย B ที่ระดับ 5 ค่าที่ได้ก็จะเป็นเศษส่วนเหนือเส้นทแยงมุม ค่าที่เป็นเศษส่วนแสดงว่า A มีระดับความสำคัญน้อยกว่า B ส่วนค่าที่อยู่ด้านล่างเส้นทแยงมุมจะเท่ากับค่าต่างตอบแทน ของค่าที่อยู่เหนือเส้นทแยงมุมเสมอ

ตารางที่ 8 เมตริกซ์เพื่อวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัย กรณีปัจจัย A มีระดับความสำคัญน้อยกว่า B

เกณฑ์การตัดสินใจ	ปัจจัย A	ปัจจัย B	ปัจจัย C
ปัจจัย A	1	1/5	
ปัจจัย B	5	1	
ปัจจัย C			1

ตารางที่ 9 มาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ

ค่าความสำคัญ	นิยาม	คำอธิบาย
1	มีความสำคัญเท่ากัน	ปัจจัยทั้งสองที่กำลังพิจารณาเปรียบเทียบ มีความสำคัญเท่าเทียมกัน
3	มีความสำคัญมากกว่าพอประมาณ	ปัจจัยที่กำลังพิจารณาเปรียบเทียบ มีความสำคัญมากกว่าปัจจัยตัวหนึ่งพอประมาณ
5	มีความสำคัญมากกว่าอย่างเด่นชัด	ปัจจัยที่กำลังพิจารณาเปรียบเทียบ มีความสำคัญมากกว่าปัจจัยอีกตัวหนึ่งอย่างเด่นชัด
7	มีความสำคัญมากกว่าอย่างเด่นชัดมาก	ปัจจัยที่กำลังพิจารณาเปรียบเทียบ มีความสำคัญมากกว่าปัจจัยอีกตัวหนึ่งอย่างเด่นชัดมาก
9	มีความสำคัญมากกว่าอย่างยิ่ง	ค่าความสำคัญสูงสุดที่จะเป็นไปได้ ในการพิจารณาเปรียบเทียบปัจจัยทั้งสอง
2,4,6,8	เป็นค่าความสำคัญระหว่างกลางของค่าที่กล่าวไว้ข้างต้น	ค่าความสำคัญในการเปรียบเทียบปัจจัยถูกพิจารณาว่าควรเป็นค่าระหว่างกลางของค่าที่กล่าวไว้ข้างต้น

4.หาผลการวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นคู่ๆทั้งหมดทีละคู่แล้วใส่ข้อมูลตัวเลขของการวินิจฉัยเปรียบเทียบลงในตารางเมตริกซ์ตามขั้นตอนที่ 3 จนครบทุกเกณฑ์ในการตัดสินใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5. หลังจากใส่ข้อมูลของการวินิจฉัยเปรียบเทียบทั้งหมดลงในตารางเมตริกซ์แล้วจึงคำนวณหาลำดับความสำคัญและวิเคราะห์ความสอดคล้องของการตัดสินใจในแต่ละระดับ

6.ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3, 4 และ 5 สำหรับปัจจัยแต่ละระดับชั้น แต่ละชุดตามโครงสร้างแผนภูมิลำดับชั้น

7.สังเคราะห์องค์ประกอบทั้งหมดของแผนภูมิ โดยนาเอาลำดับความสำคัญของปัจจัยในระดับล่างมาถ่วงน้ำหนัก กับลำดับความสำคัญของปัจจัยที่อยู่ในระดับถัดขึ้นไป และนำค่าผลรวมที่ได้มาหาค่าลำดับความสำคัญทั่วทั้งแผนภูมิ ทำเช่นนี้จนถึงลำดับชั้นล่างสุด

8.คำนวณหาค่าความสอดคล้องของการตัดสินใจทั่วทั้งแผนภูมิ เพื่อทดสอบว่าการวินิจฉัยทั่วทั้งแผนภูมิสมเหตุสมผลหรือไม่ โดยมีข้อกำหนดของค่าอัตราส่วนความไม่สอดคล้อง (Inconsistency Ratio: IR) ดังต่อไปนี้

IR < 0.05 สาหรับการเปรียบเทียบ 3 ปัจจัย

IR < 0.09 สาหรับการเปรียบเทียบ 4 ปัจจัย

IR < 0.10 สาหรับการเปรียบเทียบ 5 ปัจจัยขึ้นไป

2.5 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA)

(Stamatis, 2003) ได้นิยามไว้ว่า FMEA สำหรับการออกแบบและกระบวนการ หมายถึงเทคนิคเชิงวิเคราะห์ (Analytical Technique) หนึ่งที่ใช้โดยวิศวกรหรือทีมงานที่รับผิดชอบด้านการออกแบบ (สำหรับ FMEA การออกแบบ) หรือวิศวกร หรือทีมงานที่รับผิดชอบด้านการผลิต/สายงานประกอบ (สำหรับ FMEA กระบวนการ) สำหรับวิธีการในการสร้างความมั่นใจว่าแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง (Potential Failure Modes) ตลอดจนสาเหตุ และกลไกที่เกี่ยวข้องต่างๆ ได้รับการพิจารณาและระบุแล้วโดยการดำเนินการด้าน FMEA นี้ควรได้รับการดำเนินการในขั้นตอนของการออกแบบหรือการวางแผนกระบวนการผลิต

เทคนิคหรือกระบวนการที่สร้างขึ้น เพื่อวิเคราะห์กิจกรรมในด้านการออกแบบหรือกระบวนการผลิตเพื่อให้แน่ใจได้ว่ามีการระบุถึงปัญหาหรือข้อบกพร่องใด ๆ ที่มีโอกาสเกิดขึ้น ได้ในกิจกรรมนั้น ๆ โดยพิจารณาถึงคุณลักษณะพิเศษระดับความรุนแรงผลกระทบที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งระบุถึงวิธีการป้องกันปัญหาดังกล่าวและตรวจสอบประสิทธิผลของการป้องกัน FMEA มี 2 ชนิดใหญ่ด้วยกันคือ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1. FMEA ด้านการออกแบบ (Design FMEA) กิจกรรมที่สร้างขึ้นในขั้นตอนการออกแบบเพื่อพิจารณา คุณสมบัติของสินค้าตรงตามข้อกำหนดของลูกค้า และสามารถผลิตได้ตามเป้าหมาย ใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะดำเนินการผลิต (mass production)

2. FMEA ด้านกระบวนการ (Process FMEA) เป็นกระบวนการที่สร้างขึ้นโดยบริษัทผู้ผลิตเพื่อให้แน่ใจว่าได้มีการพิจารณาถึงข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้นทั้งหมด รวมทั้งสาเหตุและกลไกในการเกิดที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตการทำ FMEA จะมุ่งเน้นไปที่การออกแบบเสมอ ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product) หรือการออกแบบกระบวนการผลิตเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ (Process) สามารถกล่าวได้ว่า FMEA คือ กิจกรรมที่มีการจัดกลุ่มอย่างเป็นระบบและเป็นไปเพื่อ

- พิจารณาและประเมินลักษณะข้อบกพร่องที่มีโอกาสเกิดขึ้นของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการและผลที่เกิดขึ้นตามมาจากข้อบกพร่องนั้น
- จากนั้นจึงกำหนดกิจกรรมที่สามารถกำจัด หรือ ลดโอกาสเกิดข้อบกพร่องข้างต้น
- จัดทำกระบวนการที่กล่าวผ่านมาแล้วข้างต้นให้เป็นเอกสารในปัจจุบัน แนวโน้มของการพัฒนาด้านคุณภาพของอุตสาหกรรมคือ การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ และกระบวนการต่างๆ อย่างต่อเนื่องในทุก ๆ ด้านที่เป็นไปได้ ดังนั้น จึงเป็นความจำเป็นอย่างหนึ่งในการนำเอา FMEA มาเป็นวินัยทางด้านเทคนิค เพื่อการบ่งชี้และช่วยลดโอกาสที่จะเกิดข้อบกพร่องลง ให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ factor หนึ่งที่สำคัญที่สุดในการนำ FMEA มาใช้ก็คือ ระยะเวลาที่ทำ FMEA หมายความว่า FMEA ควรทำก่อนที่เหตุการณ์จริงจะเกิดขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.5.1 การประยุกต์ใช้ FMEA นี้จะเป็นประโยชน์หลายประการด้วยกัน ดังนี้

1. ช่วยในการประเมินผลของแบบที่ได้จากการออกแบบทั้งความต้องการด้านหน้าที่และทางเลือกในการออกแบบ
2. การประเมินการออกแบบเพื่อการผลิต (DFM) เบื้องต้น
3. ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพ ความไว้วางใจ ตลอดจนความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์หรือการบริการ
4. ช่วยในการลดต้นทุนที่ซ่อนเร้นของกระบวนการผลิต ทำให้องค์กรสามารถเพิ่มอำนาจในการแข่งขันทางธุรกิจระยะยาวได้ดี
5. ช่วยเพิ่มความมั่นใจและความพอใจให้แก่ลูกค้า

6. ช่วยในการลดต้นทุนและเวลาในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งมีผลทำให้สามารถวางตลาดผลิตภัณฑ์ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น
7. ช่วยในกระบวนการป้องกันข้อบกพร่อง
8. ช่วยเพิ่มศักยภาพด้านเทคโนโลยีเฉพาะด้าน (Intrinsic Technology) ให้แก่คณะทำงาน FMEA ในระหว่างการดำเนินการ ซึ่งจะเป็นรากฐานสำคัญในการพัฒนาและวิจัยผลิตภัณฑ์ใหม่ในอนาคต
9. ช่วยในการกำหนดถึงลำดับความสำคัญก่อนหลังของกิจกรรมการปรับปรุงคุณภาพโดยผ่านตัวเลขวิเคราะห์ความเสี่ยง
10. ช่วยในการบ่งชี้ถึงความผิดพลาด (Error) ที่อาจจะเกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆของการออกแบบและกระบวนการ และกำหนดแนวทางในการป้องกันต่อไป
11. ช่วยในกระบวนการบ่งชี้ปัจจัยที่คาดว่าจะเป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาเพื่อดำเนินการพิสูจน์และแก้ไขต่อไป โดยลักษณะดังกล่าวนี้จะมีความสำคัญมากในกระบวนการของ Six Sigma
12. ช่วยในการบ่งชี้ถึงวิธีการวินิจฉัยการออกแบบและกระบวนการ (Diagnostic Procedures)

2.5.2 ขั้นตอนการสร้าง FMEA สำหรับกระบวนการ

ในการสร้าง FMEA สำหรับกระบวนการควรเริ่มต้นจาก การสร้างแผนภูมิแสดงการไหลเพื่อแสดงแนวคิดของกระบวนการ โดยแผนภูมิดังกล่าวควรบ่งชี้ถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการที่สอดคล้องกันของแต่ละขั้นตอนการปฏิบัติการ ซึ่งการสร้าง FMEA สำหรับกระบวนการจะดำเนินการตามลำดับ ดังนี้

1. หมายเลข FMEA ให้ใส่หมายเลขเอกสารสำหรับ FMEA ลงไปเพื่อประโยชน์ในการสอบกลับได้
2. ชื่อผลิตภัณฑ์/กระบวนการ ให้ใส่ชื่อและจำนวนของระบบ ระบบย่อย หรือชิ้นส่วนประกอบสำหรับกระบวนการที่จะทำการวิเคราะห์
3. ผู้รับผิดชอบกระบวนการ ให้ใส่ชื่อผู้ผลิต (OEM) ฝ่ายงานและกลุ่มงานลงไป ทั้งนี้อาจจะรวมถึงชื่อผู้ส่งมอบ
4. ผู้จัดทำ ให้ใส่ชื่อของผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการจัดเตรียม FMEA พร้อมทั้งหมายเลขโทรศัพท์ และชื่อของบริษัทที่สังกัด
5. ชื่อรุ่นของผลิตภัณฑ์ ให้ใส่ชื่อรุ่นของผลิตภัณฑ์ (ปี พ.ศ. หรือโปรแกรม) ที่จะใช้และ/หรือได้รับผลกระทบจากการออกแบบและกระบวนการที่จะทำการวิเคราะห์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
CHULALONGKORN UNIVERSITY

6. วันสำคัญ (Key Date) ให้ใส่วัน เดือน ปี ที่ควรกำหนดเสร็จสิ้น ซึ่งไม่ควรจะเกินกำหนดวันเริ่มต้นทำการผลิต แต่ถ้าเป็นกรณีที่มีการจัดทำ FMEA โดยผู้ส่งมอบ วันเดือนปีที่เสร็จสิ้นไม่ควรเกินกำหนดวันที่จะต้องทำการส่ง PPAP (Production Part Approval Process)
7. วัน เดือน ปี สำหรับ FMEA ให้ใส่วัน เดือน ปี ที่เริ่มต้นจัดทำ FMEA และ วัน เดือน ปีที่ทบทวน FMEA ครั้งล่าสุด
8. คณะทำงาน ให้ใส่ชื่อบุคคลที่รับผิดชอบรวมทั้งฝ่ายงานที่มีอำนาจในการบ่งชี้ และ/หรือดำเนินงาน (แนะนำให้ใส่ชื่อสมาชิกแต่ละคน ฝ่ายงานต้นสังกัด เบอร์โทรศัพท์ ตลอดจนที่อยู่ของสมาชิกทั้งหมดในคณะทำงาน FMEA ลงในเอกสารแนบ)
9. หน้าที่/ความต้องการของกระบวนการ ให้ใช้คำอธิบายอย่างง่ายเกี่ยวกับกระบวนการหรือขั้นตอนการปฏิบัติที่ได้รับการวิเคราะห์ (เป็นต้นว่า การกลึง การเจาะ การเชื่อมประสาน การประกอบ การลงทะเบียน การบันทึก ฯลฯ) และให้ใส่หมายเลขของกระบวนการหรือ ขั้นตอนการปฏิบัติลงไปด้วยในกรณีนี้คณะทำงาน FMEA ควรมีการทบทวนถึงสมรรถนะ วัตถุดิบ กระบวนการ สิ่งแวดล้อม และมาตรฐานด้านความปลอดภัยโดยทั่วไปแล้วควรจะอธิบายอย่างกระชับที่สุดเท่าที่จะทำได้ถึงวัตถุประสงค์ของกระบวนการ หรือขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ได้รับการวิเคราะห์รวมถึงสารสนเทศเกี่ยวกับแบบ (ตัว
วัด/ค่าที่ประมาณ) ของระบบ ระบบย่อย หรือชิ้นส่วนประกอบ และในกรณีที่กระบวนการประกอบด้วยขั้นตอนการปฏิบัติงานจำนวนมาก (เช่น สายงานการประกอบ) ที่มีแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่องที่แตกต่างกันแล้ว ก็อาจจะแยกพิจารณากันได้
10. แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง จากความหมายของข้อบกพร่อง (Failure) และลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Modes) ที่หมายถึง ลักษณะทางกายภาพที่กระบวนการจะไม่สามารถทำหน้าที่ได้ตามที่ออกแบบไว้หรือกำหนดความต้องการไว้ โดยลักษณะข้อ บกพร่องที่พิจารณานี้อาจจะเป็นสาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องของกระบวนการและอาจเป็นผลกระทบจากลักษณะข้อบกพร่องของกระบวนการในการวิเคราะห์แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่องสำหรับกระบวนการที่พิจารณานี้ ให้ กำหนดภายใต้ข้อสมมติที่ว่า ชิ้นส่วนหรือวัตถุดิบที่นำเข้ามาจากกระบวนการก่อนหน้ามีความถูกต้องเสมอ เพื่อจะได้พิจารณาถึงลักษณะข้อบกพร่องที่แท้จริงของกระบวนการที่พิจารณาได้ ยกเว้นในกรณีที่คณะทำงาน

FMEA มีข้อมูลในอดีตที่แสดงถึงความไร้ประสิทธิภาพของวัตถุดิบนำเข้าโดยทั่วไปแล้ว สามารถจำแนกข้อบกพร่องของกระบวนการออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

1. การตรวจสอบวัตถุดิบ
   - เหตุผลที่ชิ้นงานได้รับการปฏิเสธ

2. การผลิต

- คุณลักษณะที่ตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual Characteristics)
- คุณลักษณะที่สามารถวัดได้ (Dimensional Characteristics)
- คุณลักษณะของแบบ (Design Characteristics)

3. การประกอบครบถ้วน

- ใช้ชิ้นส่วนประกอบที่ไม่ถูกต้อง หรือทำการประกอบชิ้นส่วนไม่ครบถ้วน

4. การทดสอบและ/หรือการตรวจสอบ

- การยอมรับผลิตภัณฑ์บกพร่อง/การปฏิเสธผลิตภัณฑ์ที่ดี

11. แนวโน้มของผลจากข้อบกพร่อง ในช่องแบบฟอร์ม FMEA ให้แสดงแนวโน้มของผลจากข้อบกพร่องที่มีความหมายว่า ผลกระทบของลักษณะข้อบกพร่องที่กระทบกับลูกค้า โดยผลกระทบดังกล่าวอาจจะอยู่ในรูปของสิ่งที่ลูกค้าสังเกตเห็นหรือสิ่งที่ลูกค้าเคยมีประสบการณ์มาก่อน
12. ความรุนแรงของผลกระทบ (Severity) ในช่องนี้จะวิเคราะห์ถึงความรุนแรงของแนวโน้มของผลกระทบจากข้อบกพร่องที่กำหนดในช่อง (11) โดยความรุนแรงจะหมายถึง ขนาดของความรุนแรง (Seriousness) ของผลกระทบและความรุนแรงนี้ จะเป็นลักษณะเชิงสัมพัทธ์ภายใต้ขอบเขตของแต่ละ FMEA และในการลดความรุนแรงของผลกระทบนี้จะได้มาจากการออกแบบใหม่สำหรับระบบหรือกระบวนการเท่านั้น

ในการประเมินความรุนแรง คณะทำงาน FMEA ควรจะกำหนดกฎเกณฑ์สำหรับการประเมินผลก่อนเสมอ โดยทั่วไปอาจจะใช้สเกล 1-10 (อาจจะใช้สเกล 1-4, 1-25 หรือ 1-100 ก็ได้โดยความสนใจถึงความสามารถในการแยกความแตกต่างของสเกลที่ใช้ได้) และควรกำหนดให้ความรุนแรงที่สูงที่สุด (อาจจะหมายถึง ความมีอันตรายของลูกค้า) ได้คะแนนสูงที่สุด และให้ความรุนแรงที่ต่ำที่สุด (อาจจะหมายถึง ผลกระทบที่ลูกค้าไม่ได้ให้ความสนใจหรือไม่สามารถสังเกตได้) ได้คะแนนต่ำที่สุด และถ้าผลกระทบใดได้คะแนนต่ำที่สุดแล้วก็จะทำการตัดผลกระทบดังกล่าวออกจากการพิจารณาต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
Chulalongkorn University

ตารางที่ 10 แสดงตัวอย่างการให้คะแนนความรุนแรงของผลกระทบ โดยเกณฑ์ ดังกล่าวจะพิจารณาลูกค้าภายนอกที่เป็นผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ก่อนเป็นลำดับแรก จากนั้นจึงพิจารณาถึงกระบวนการภายใน และกรณีที่ผลกระทบเกิดขึ้นทั้งลูกค้าภายนอกและลูกค้าภายใน ให้ใช้คะแนนจากความรุนแรงที่สูงกว่าจากการประเมินในการวิเคราะห์ FMEA

13. การจำแนกประเภท ช่องนี้อาจจะได้รับการใช้ในการจำแนก (Classify) คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการพิเศษ (เช่น คุณลักษณะวิกฤต สำคัญมาก สำคัญมีนัยสำคัญ)
14. แนวโน้มของสาเหตุ/กลไกของข้อบกพร่อง ในช่องนี้ผู้วิเคราะห์ FMEA จะต้องค้นหาสาเหตุหรือกลไกของข้อบกพร่องมาใส่ลงไป สาเหตุของข่อบกพร่อง หมายถึง วิธีการที่ข้อบกพร่องจะเกิดขึ้นโดยอธิบายในรูปของสิ่งที่จะได้รับการแก้ไข หรือสามารถได้รับการควบคุมได้

ในการค้นหาสาเหตุของลักษณข้อบกพร่องต้องพยายามค้นหาให้ทราบถึงสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยสาเหตุบางสาเหตุจะมีผลกระทบต่อลักษณะข้อบกพร่องโดยตรง (ถ้าหากควบคุมสาเหตุดังกล่าวได้ ก็จะไม่เกิดลักษณะข้อบกพร่องอีก) ก็จะทำให้ FMEA สมบูรณ์มาก

การอธิบายเกี่ยวกับสาเหตุ ต้องใช้คำพูดที่แสดงกลไกการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง เช่น เครื่องมือสึกหรอ ใส่ชิ้นงานผิด โปรแกรมไม่ถูกต้อง แรงบิดไม่ถูกต้อง กระบวนการความร้อน (เวลา อุณหภูมิ) ไม่ถูกต้อง โดยพยายามหลีกเลี่ยงคำพูดที่คลุมเครือ เช่น ความผิดพลาดของพนักงาน (Human Error) วัตถุดิบไม่ดี เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 10 เกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ (AIAG, 2001)

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อลูกค้า	เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
เกิดอันตรายโดยไม่มีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้หรือขัดต่อกฎหมายโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	10

เกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ (AIAG, 2001) (ต่อ)

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อลูกค้า	เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
เกิดอันตรายโดยมีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้หรือขัดต่อกฎหมายโดยมีการเตือนล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยมีการเตือนล่วงหน้า	9
มีผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากสูญเสียหน้าที่หลัก	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องถูกทำลายหรือส่งเข้าซ่อมแซมบำรุงโดยใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง	8
มีผลกระทบสูง	ผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้งานได้ และระดับสมรรถนะลดลงจนทำให้ลูกค้าไม่พอใจมาก	อาจมีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบคัดเลือก (Sorting) และผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลายหรือถูกซ่อมแซมบำรุงระหว่างครึ่งถึงหนึ่งชั่วโมง	7
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้งานได้แต่ขาดความสะดวกสบายและลูกค้าไม่พอใจ	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลายหรือถูกซ่อมแซมที แผนกซ่อมบำรุงต่ำกว่าครึ่งชั่วโมง	6
ผลกระทบต่ำ	ผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้งานได้ด้วยความสะดวกสบายแต่ระดับสมรรถนะลดลง	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจได้รับการ Rework หรือได้รับการซ่อมแซมนอกสายการผลิตที่ฝ่ายผลิต	5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 11 เกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ (AIAG, 2001)

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อลูกค้า	เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
ผลกระทบต่ำมาก	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีมากนัก ลูกค้าส่วนใหญ่ (> 75%) สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่อง	ผลิตภัณฑ์อาจได้รับการตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sorting) โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย แต่มีผลิตภัณฑ์ (ต่ำกว่า 100%) อาจจะได้รับการ Rework	4
เกือบไม่มีผลกระทบ	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก ลูกค้าส่วนน้อย (< 25%) สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่อง	มีผลิตภัณฑ์บางส่วน ที่มีจำนวนต่ำกว่า 100% อาจได้รับการ Rework ในสายการผลิต ที่จุดปฏิบัติงานโดยไม่ถูกทำลาย	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตเห็นได้	อาจมีความไม่สะดวกสบายเล็กน้อยต่อการปฏิบัติงาน หรือตัวพนักงาน หรือไม่มีผลกระทบใดๆ	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

15. โอกาสเกิดขึ้น (Occurrence, O) โอกาสการเกิดขึ้น หมายถึง ความเป็นไปได้ของสาเหตุหรือกลไกเฉพาะหนึ่งจะเกิดขึ้น ดังนั้น อันดับของความเป็นไปได้ในการเกิด (Likelihood of Occurrence) จึงมีความหมายเชิงสัมพัทธ์มากกว่าตัวเลขสัมบูรณ์ และการลดโอกาสการเกิดขึ้นนี้ จะต้องได้มาจากการป้องกันหรือการควบคุมสาเหตุหรือกลไกของข้อบกพร่องที่ผ่านการเปลี่ยนแปลงแบบหรือกระบวนการเท่านั้น
16. การควบคุมในปัจจุบัน การควบคุมกระบวนการ คือ ลักษณะของการควบคุมที่อาจจะอยู่ในรูปการป้องกันสิ่งที่เป็นไปได้ของลักษณะข้อบกพร่องหรือสาเหตุตลอดจนกลไกของข้อบกพร่องจากการเกิดขึ้น หรือตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง หรือสาเหตุตลอดจนกลไกของข้อบกพร่องที่อาจจะทำให้เกิดขึ้น โดยระบบการควบคุมดังกล่าวจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

16.1 การป้องกัน (Prevention) หมายถึง การป้องกันสาเหตุ/กลไกของข้อบกพร่องหรือลักษณะข้อบกพร่องจากการเกิดขึ้น หรือลดอัตราการเกิดขึ้นของสาเหตุหรือกลไกของข้อบกพร่อง

16.2 การตรวจจับ (Detection) หมายถึง การตรวจจับสาเหตุ/กลไกของข้อบกพร่องหรือลักษณะข้อบกพร่องเพื่อนำไปสู่การปฏิบัติการแก้ไขต่อไป

ตารางที่ 12 เกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง (AIAG, 2001)

โอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุหนึ่งๆ	อัตราข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ (PPM)	Ppk	คะแนน
สูงมาก : เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ	≥ 100,000 (หรือ 10%)	< 0.55	10
	50,000 (หรือ 5%)	>= 0.55	9
สูง : เกิดข้อบกพร่องบ่อย	20,000 (หรือ 2%)	>= 0.78	8
	10,000 (หรือ 1%)	>=0.86	7
ปานกลาง : เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว	5,000 (หรือ 0.5%)	>=0.94	6
	2,000 (หรือ 0.2%)	>=1.00	5
	1,000 (หรือ 0.1%)	>=1.00	4
ต่ำ : เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	500	>=1.20	3
	100	>=1.30	2
ห่างไกล : เกือบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องเลย	<= 10	>=1.67	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

17. การตรวจจับ (Detection, D) ในการพิจารณาคะแนนประเมินผลการตรวจจับนี้จะต้องพิจารณาจากความสามารถของระบบการควบคุมในปัจจุบันที่จะป้องกันการส่งมอบข้อบกพร่องถึงลูกค้าเท้านั้น โดยไม่ต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ของการเกิดขึ้น (Likelihood of Occurrence) ของลักษณะข้อบกพร่อง

18. ตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) ในช่องนี้ให้ใส่ตัวเลขที่แสดงถึงลำดับความเสี่ยงที่พิจารณาได้มาจากองค์ประกอบ 3 ประการ คือ ความรุนแรงโอกาสการเกิดขึ้น และการตรวจจับ ดังนั้น RPN = S × O × D

โดยทั่วไปแล้ว ตัวเลข RPN จะไม่มีความหมายใดๆ นอกจากใช้สื่อถึงลำดับในการกำหนดความเสี่ยงของลักษณะข้อบกพร่องจากกระบวนการเท่านั้น และเพื่อให้เกิดความมั่นใจว่าผู้วิเคราะห์สามารถให้คะแนนตมเกณฑ์ที่กำหนดจนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 13 การประเมินผลการตรวจจับของระบบควบคุม (AIAG, 2001)

ลักษณะการตรวจจับ	เกณฑ์	ประเภทการตรวจจับ			ขอบเขตวิธีการตรวจจับ	คะแนน
		A	B	C		
เกือบเป็นไปไม่ได้	ไม่มีระบบการตรวจจับใดๆ			X	ไม่สามารถตรวจจับหรือตรวจสอบได้	10
ห่างไกลมาก	มีระบบควบคุมแต่ไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้			X	การควบคุมกระทำได้เพียงการสุ่มตรวจเท่านั้น	9
ห่างไกลมาก	มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้			X	การควบคุมกระทำได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่าเท่านั้น	8
ต่ำมาก	มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้			X	การควบคุมกระทำได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่าสองครั้งเท่านั้น	7
ต่ำ	มีระบบควบคุมและอาจตรวจจับข้อบกพร่องได้		X	X	การควบคุมกระทำได้ด้วยแผนภูมิ SPC	6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การประเมินผลการตรวจจับของระบบควบคุม (AIAG, 2001) (ต่อ)

ลักษณะการตรวจจับ	เกณฑ์	ประเภทการตรวจจับ			ขอบเขตวิธีการตรวจจับ	คะแนน
		A	B	C		
ปานกลาง	มีระบบควบคุมละอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้		X		มีการควบคุมโดยใช้เครื่องมือวัดวัดชิ้นงานก่อนออกจากจุดปฏิบัติงานหรืออาจใช้เกจ แบบ Go/No Go	5
ค่อนข้างสูง	มีระบบควบคมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		มีการตรวจสอบจับความผิดพลาดในกระบวนการถัดไปหรือมีการใช้เครื่องมือวัดงานชิ้นแรกในขั้นตอนการปรับตั้ง (Set up)	4
สูง	มีระบบควบคมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	X	X		มีการตรวจสอบจับความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงานหรือมีการตรวจจับความผิดพลาดโดยกาตรวจสอบเพื่อการยอมรับ	3
สูงมาก	มีระบบควบคุมและเกือบจะมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่อง	X	X		มีการตรวจสอบจับความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงานหรือด้วยเครื่องมืออัตโนมัติชิ้นงานบกพร่องไม่สามารถผ่านไปได้	2
สูงมาก	มีระบบควบคุมและเกือบจะมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่อง	X			ไม่มีโอกาสเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเพราะใช้ Poka Yoke ในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์และกระบวนการ	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประเภทการตรวจจับ

A: การป้องกันข้อผิดพลาด

B: การใช้อุปกรณ์วัด (Gauging)

C: ตรวจสอบโดยอาศัยบุคคล (Manual Inspection)

19. วิธีการปฏิบัติการแก้ไข ในช่องนี้ของแบบฟอร์ม FMEA สำหรับกระบวนการให้ทำการระบุวิธีการปฏิบัติเพื่อตอบโต้เชิงป้องกัน/แก้ไขกับลักษณะข้อบกพร่องที่มีความรุนแรงมากที่สุดก่อน (ในกรณีที่ S มีคะแนน 9 หรือ 10 ให้กำหนดมาตรการตอบโต้ทันที โดยมาสนใจว่า RPN จะมีค่าเท่าไร) และจากนั้นให้ทำการพิจารณามาตรการตอบโต้กับลักษณะข้อบกพร่องที่มีคะแนน RPN สูงในระดับแรกๆ หลังจากที่คณะทำงาน FMEA ดำเนินการกับลักษณะข้อบกพร่องที่มีคะแนนความรุนแรงเท่ากับ 9 หรือ 10 แล้ว คณะทำงานก็ควรจะให้ความสนใจต่อลักษณะข้อบกพร่องอื่นๆ โดยมีความประสงค์ในการลดความเสี่ยงเองจากความรุนแรง โอกาสที่เกิดขึ้น และการตรวจจับโดยลำดับ
20. ผู้รับผิดชอบในการปฏิบัติการแก้ไขและวันเสร็จสิ้น ในช่องนี้ให้ระบุชื่อบุคคลที่รับผิดชอบต่อกานดำเนินการปฏิบัติการแก้ไขนี้ รวมทั้งระบุวันเสร็จสิ้นที่เป็นเป้าหมาย
21. การแก้ไข ในช่องนี้ให้ทำการสรุปรายละเอียดของการปฏิบัติการแก้ไขที่ได้กระทำไปรวมถึงวันที่เสร็จสิ้นด้วย
22. ผลการแก้ไข ภายหลังจากมีการบ่งชี้มาตรการแก้ไข/ป้องกันแล้วทำให้การประมาณค่าและบันทึกถึงผลการประเมินความรุนแรง โอกาสการเกิดขึ้นและการตรวจจับ พร้อมคำนวณค่า RPN อีกครั้ง แต่ถ้ามิได้มีการกำหนดมาตรการใดๆ เลย ให้ปล่อยช่องนี้ให้ว่างไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้แล้วควรจะมีการทบทวนคะแนนประเมินเหล่านี้อีกครั้ง และถ้ามีการปฏิบัติการแก้ไขแล้ว ให้ดำเนินการวิเคราะห์ซ้ำอีกครั้งตั้งแต่ขั้นตอนที่ (19) ถึง (22) โดยควรอยู่บนแนวความคิดของการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องและอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ FMEA คือเอกสารที่มีชีวิตตลอดไป

การใช้หลักการ FMEA มาวิเคราะห์และแก้ไขรากของปัญหาที่แท้จริงในกระบวนการ (ออกแบบผลิต หรือบริการ) จะทำให้ผู้ผลิตมีมุมมองในการแก้ปัญหาที่ครอบคลุมมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ปัญหาที่เคยเกิดขึ้นซ้ำซากลดลงไป ทำให้กระบวนการผลิตมีความผันแปรที่ลดลง นั่นหมายถึงว่า ผลผลิตทุกชิ้นจะมีคุณภาพที่สม่ำเสมอและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด สุดท้ายแล้วผลพลอยได้ที่ตามมาคือ ลูกค้ามีความพึงพอใจต่อผลผลิตนั้นๆ อย่างสูงสุด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(ธนิตพล จันทสม, 2553) การประยุกต์ใช้ FMEA และ AHP เพื่อปรับปรุงกระบวนการฟอกย้อมในโรงงานตัวอย่าง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนงานซ่อมรวมที่ผลิตในกระบวนการฟอกย้อม ทำการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุโดยแผนภาพสาเหตุและผลในการวิเคราะห์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบสำหรับกระบวนการผลิต และตัดสินใจโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ เพื่อหาสาเหตุที่ส่งผลกระทบร่วมและหาความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดปัญหาในกระบวนการผลิ เพื่อกำหนดมาตรการในเชิงป้องกันของปัจจัยที่มีผลกระทบปัญหา พร้อมกับประเมินผลความสำเร็จจากกระปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยอาศัยหลักการ ถดถอยเชิงเส้นและสหสัมพันธ์ (Linear Regression and Correlation) จากผลการศึกษา พบว่าสัดส่วนงานซ่อมของบริษัทอยู่ที่ร้อยละ 7.49% ที่ผลิตทั้งหมด ลดลงเฉลี่ยร้อยละ 4.76 ซึ่งเป้าหมายกำหนดไม่เกินร้อยละ 5 ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตในครั้งนี้ จำนวนของเสียลดลงโดยเฉลี่ย 11,440 กิโลกรัม เหลือ 77,160 กิโลกรัม คิดเป็นจำนวนเงินประมาณ 915,200 บาท และคุณภาพสีเพิ่มขึ้นตามคุณภาพ ณ ระดับ 95%

(กุสุมา จิรวงศ์สวัสดิ์, 2550) การประยุกต์ใช้ FMEA และ AHP เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตฟริต กรณีศึษา: โรงงานผลิตสารเคลือบเซรามิกส์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตฟริตเพื่อลดจำนวนของเสีย โดยวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผลจากนั้นทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบสำหรับกระบวนการผลิต พร้อมกับประเมินผลความสำเร็จจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยอาศัยหลักการกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ดำเนินการแก้ไขข้อบกพร่องโดยการพัฒนาแบบฟอร์มการตรวจสอบเครื่องจักรประจำวัน และเอกสารวิธีการปฏิบัติงาน ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล เพื่อปรับอัตราการหมุนส่งวัตถุดิบและขนาดสกรูที่เหมาะสม และปริมาณทรายที่เหมาะสมในขั้นตอนการทำความสะอาด ผลการวิเคราะห์น้ำหนักความสำคัญของปัจจัยสนับสนุนเรียงดังนี้ การปรับปรุงเครื่องจักร (0.531) การปรับปรุงวิธีการทำงาน (0.469) จากการปรับปรุงการผลิตในครั้งนี้จำนวนของเสียลดลงโดยเฉลี่ย 68,337.5 ก.ก. เหลือ 50,856.6 ก.ก. คิดเป็นจำนวนเงินประมาณ 314,656.2 บาท และคุณภาพฟริตเพิ่มขึ้นตามเป้าหมายคุณภาพ ณ ระดับ 98.6%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อดิศักดิ์ แป๊ะพุฒ,(2553) การเพิ่มผลิตภาพในกระบวนการผลิตของโรงงานประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตของโรงงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตของโรงงานให้มากขึ้น เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นจากการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพ สายการผลิตที่ไม่สมดุล ส่งผลกระทบต่อการส่งมอบสินค้าไม่ทันตามกำหนด ผู้วิจัยจึงใช้แนวคิดการผลิตแบบลีน ทำการแก้ไขปรับปรุงเพื่อลดความสูญเปล่าและกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ผลจากการดำเนินการปรับปรุงโรงงาน สามารถลดแรงงานจาก 16 คนเป็น 14 คน และพบว่ากระบวนการผลิต มีผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 2499 ชิ้นงานต่อวัน เป็น 3239 ชิ้นงานต่อวัน คิดเป็น 29.61% และประสิทธิภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 79.33% เป็น 93.57% คิดเป็น 17.95%

โกเมศ เจนอนันต์พร, (2543) การเพิ่มผลผลิตในโรงงานประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

งานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะเพิ่มผลิตภาพการผลิตภายในโรงงาน โดยศึกษาปัญหาและหาสาเหตุของปัญหาจากการศึกษาพบว่ามีปัญหาคือ ปัญหาผลิตภาพต่ำและของเสียมีมาก โดยสาเหตุของปัญหาเกิดจากคนขาดความชำนาญในการปฏิบัติงานและเวลาสูญเสียของเครื่องจักรมีมาก จึงได้เสนอแนวทางแก้ไขโดยจัดให้มีการฝึกอบรมพนักงานและจัดทำระบบบำรุงรักษาเชิงป้องกัน หลังจากพัฒนาแก้ไข เวลาสูญเสียของเครื่องจักรลดลงจาก 61,059 ชั่วโมงต่อเดือน เหลือ 52,187 ชั่วโมงต่อเดือน โดยเฉลี่ยเวลาสูญเสียของเครื่องจักรลดลงจาก 5.80% เป็น 4.95% ผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 370,760 ตัวต่อเดือน เป็น 377,655 ตัวต่อเดือน ผลผลิตเพิ่มขึ้นจาก 71.3% เป็น 72.6% และโอกาสทางการขายเพิ่มขึ้นเป็น 16,692,792 บาทต่อเดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

How Sheng Boon, University Malaysia Pahang, (2010) Productivity improvement using industrial engineering tools

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อบกพร้องและปรับปรุงผลิคภาพของโรงงานกรณีศึกษา คือ NamHwa Paper Industries (M) SDN.BHD โดยทำการเลือกวิเคราะหุผลิตภัณฑ์กระดาษ 1040mm โดยเลือกใช้ 7 Quality Control tools ขั้นแรกทำการศึกษาขั้นตอนในการผลิตกระดาษแต่ละขั้นตอน ซึ่งมีทั้งหมด 8 ขั้นตอน ทำการเก็บข้อมูลข้อบกพร่องแต่ละขั้นตอนโดยใช้ check sheets จากข้อมูลนำมาวิเคราะห์โดยใช้ Pareto chart เลือกทำการปรับปรุงขั้นตอน Glue เนื่องจากพบข้อบกพร่องสูงสุดและปริมาณงานออกไม่ได้ตามความต้องการ จากนั้นใช้แผนภูมิก้างปลาในการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่อง สรุปวิธีการที่ใช้คือ ทำกล่องเล็กก่อนจะไป stacking up ใช้พัดลม หรือที่อากาศถ่ายเท และใช้โต๊ะที่มีโคมไฟ หรือ ไดว์เป่าผม คำนวณค่าใช้จ่ายของแต่ละวิธีในการแก้ปัญหา โดยเลือกวิธีการที่ลดค่าใช้จ่ายได้มากที่สุด เพื่อทำการเพิ่มผลิตภาพของโรงงาน

ดาริน เปรมปรีชา ,(2560) การเพิ่มผลิตภาพในกระบวนการบรรจุน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์เลี้ยงบรรจุถ้วยพลาสติก

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความสูญเสียของวัตถุดิบในกระบวนการบรรจุอาหารสัตว์เลี้ยงบรรจุถ้วยพลาสติกในโรงงานแห่งหนึ่ง การวิจัยนี้เริ่มต้นศึกษากระบวนการผลิต พิจารณาของเสียในกระบวนการผลิตที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตและผลิตภาพ วิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาโดยใช้แผนภูมิก้างปลา พร้อมทั้งตั้งสมมติฐาน และการทดสอบสมมติฐาน แล้วนำมาวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อให้ทราบถึงสภาวการ์ณก่อนปรับปรุง โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ ผลการศึกษาพบว่าค่าตัวเลขความเสี่ยง (RPN) แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหามากสุดคือวิธีการชั่งน้ำหนักอ่านค่ายาก (RPN = 560) จึงเสนอแนวทางการปรับปรุง 2 แนวทางคือ 1) การปรับปรุงวิธีการชั่งน้ำหนักใหม่โดยนำหลักการควบคุมการมองเห็น (Visual control) และ 2) การจัดสมดุลสายการผลิต ผลการปรับปรุงสามารถลดการสูญเสียวัตถุดิบจากการบรรจุน้ำหนักเกินมาตรฐานได้ 28.31% และอัตราเร็วในการทำงานในขั้นตอนชั่งน้ำหนักเพิ่มขึ้นจาก 19.5 ถ้วยต่อคนต่อนาที เป็น 21.7 ถ้วยต่อคนต่อนาที จากการปรับปรุงสามารถลดพนักงานวนขั้นตอนชั่งน้ำหนักได้ 2 คน สามารถลดต้นทุนค่าแรงจากการลดพนักงานในขั้นตอนชั่งน้ำหนักได้ 192,192 บาทต่อปี

(รัฐรุจน์ ฐิติชาติธนวงศ์, 2557) การจัดลำดับปัจจัยความสำคัญในการคัดเลือกเครื่องจักรโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นกรณีศึกษา: โรงงานผลิตเครื่องประดับ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดลำดับปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกเครื่องจักรกรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องประดับ เพื่อการตัดสินใจเลือกเครื่องจักรย้ายไปติดตั้งที่โรงงานแห่งใหม่ทั้งสิ้น 7 กลุ่มได้แก่ เครื่องอัดโมลด์ เตาหลอม เครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์ เครื่องเขย่าขัดผิว เครื่องขัดผิว เครื่องอุลตราโซนิค และเครื่องเชื่อมเลเซอร์ ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกิบด้วยการเก็บรวบรวมความคิดเห็นของผู้บริหาร โดยใช้แบบสอบถามตามหลักการของเทคนิคกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น โดยมี 3 ปัจจัยหลักได้แก่ คุณภาพ เวลา และตุ้นทุน และปัจจัยรอง 8 ปัจจัยได้แก่ ประสิทธิภาพการผลิต ปริมาณของเสีย จำนวนครั้งการซ่อม อายุการใช้งานเครื่องจักร ระยะเวลาการเคลื่อนย้ายและติดตั้ง มูลค่าเครื่องจักร ค่าซ่อมบำรุง และค่าใช้จ่ายการเคลื่อนย้ายและติดตั้ง ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยหลักสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกเครื่องจักรเรียงดำลับ จากคุณภาพ (0.7722) ตามด้วยเวลา (0.1268) และต้นทุน (0.1009) สำหรับปัจจัยรองเรียงลำดับความสำคัญจากมากไปหาน้อยได้แก่ ปริมาณของเสีย (0.3741) ประสิทธิภาพ(0.3520) และอายุเครื่องจักร (0.1093) เมื่อนำค่าน้ำหนักความสำคัญแต่ละปัจจัยมาพิจารณาร่วมกับค่าระดับคะแนนแต่ละกลุ่มเครื่องจักร ทำให้ทราบว่ากลุ่มเครื่องเชื่อมเลเซอร์ควรถูกพิจารณาเป็นอันดับแรกในการย้ายไปติดตั้งที่โรงงานใหม่ ผลการศึกษานี้ทำให้องค์กรมีเครื่องมือช่วยสนับสนุนการตัดสินใจอย่างเป็นระบบ

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงสภาพปัญหาและแนวทางในการแก้ไขปัญหา เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการทดสอบแผงวงจรรวม วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้เครื่องมือแผนผังสาเหตุและผลในการวิเคราะห์ (Cause and Effect diagram) และจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่ออัตราของเสียที่การเกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) โดยใช้ FMEA เลือกปัจจัยที่มีคะแนนมากอย่างชัดเจน ทำการออกแบบกระบวนการทดสอบใหม่ (Redesign process) โดยใช้หลักกระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (Analysis Hierarchy Process: AHP) ในการตัดสินใจคัดเลือกเครื่องจักร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลด % ของเสียที่การเกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test)

3.1 รายละเอียดกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวมในปัจจุบัน

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงขั้นตอนในการทดสอบแผงวงจรรวม การทดสอบวงจรรวม (Final Test) เป็นการทดสอบคุณภาพของตัวงานตามคุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น การทดสอบหน้าที่การทำงาน (Functional Test) การทดสอบพารามิเตอร์ทางด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC Parameter Test) เป็นต้น เพื่อเป็นการทดสอบพิสูจน์ (Verify) การทำงานของวงจรรวมว่าใช้การได้หรือไม่ จุดประสงค์เพื่อช่วยให้เข้าใจขั้นตอนการทดสอบแผงวงจรรวม เข้าใจถึงหลักการกระบวนการในการทดสอบแผงวงจรรวม และช่วยในการสร้างแผนภาพสาเหตุและผลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา กระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวม Product A จะประกอบไปด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนการทดสอบวงจรรวม

1. พนักงานเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบวงจรรวมก่อนเริ่มทดสอบ เช่น บอร์ด, อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างบอร์ดและเครื่องจับงาน จากนั้นประกอบเข้ากับเครื่องทดสอบและเครื่องจับงาน ให้พร้อมสำหรับการทดสอบชิ้นงาน โดยเครื่องจับงาน (Handler) ไม่ให้มีงานค้างอยู่ในเครื่อง ตรวจสอบและเคลียร์งานที่ค้างในเครื่องจับงานออกให้หมด แสดงดังรูปที่ 29

รูปที่ 29 ส่วนที่รับชิ้นงานออกแยกงานดีและงานเสีย (OUTPUT MAGAZINE)

หลังจากกระบวนการติดแยกยูนิตนำงานไปไว้บนชั้น แสดงดังรูปที่ 30 ตรวจสอบข้อมูลของกลุ่มวงจรรวม เพื่อที่จะเตรียมอุปกรณ์การทดสอบวงจรรวมให้ทดสอบได้ตรงตามกลุ่มที่ระบุในข้อมูล

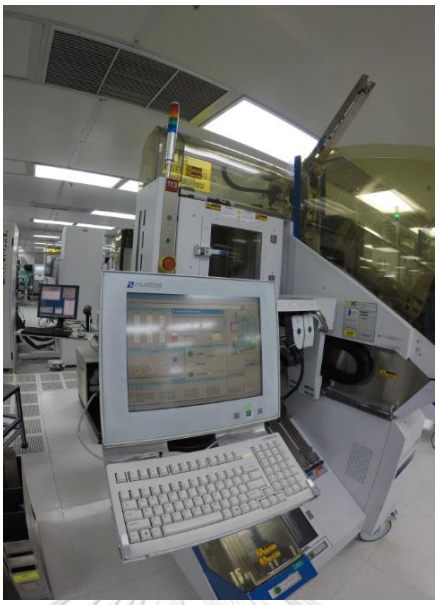
รูปที่ 30 งานรอเข้าเครื่องทดสอบ (untested devices)

2. เตรียมการเริ่มการทดสอบ เปิดกล่องบรรจุชิ้นงานและพนักงานตรวจสอบหน้ามาร์ก (top mask) ของวงจรรวมและทำลองโหลดโปรแกรมก่อนทดสอบงานจริง จากนั้นพนักงานทำการลงข้อมูลลอทที่จะเริ่มทดสอบในระบบ (Lot Start)

รูปที่ 31 โหลดโปรแกรมเพื่อทดสอบเครื่องทดสอบก่อนรันจริง

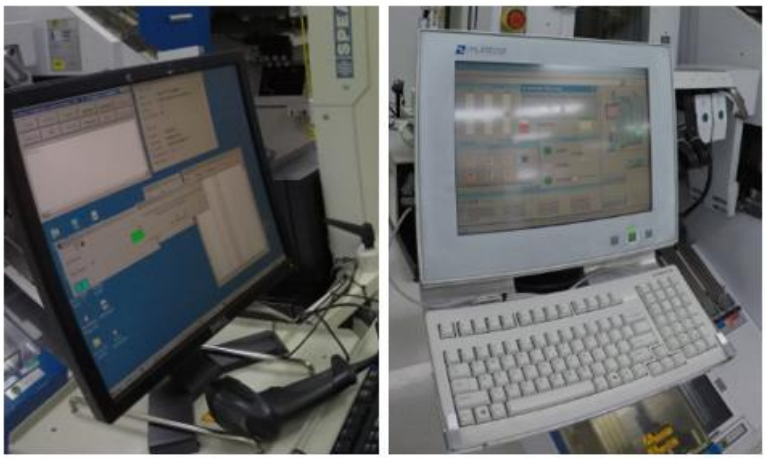
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. นำชิ้นงานใส่ลงในเครื่องจับงาน (Handler) เพื่อเริ่มการทดสอบ



รูปที่ 32 ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแล้วเตรียมส่งให้แผนกบรรจุภัณฑ์ (pack process)

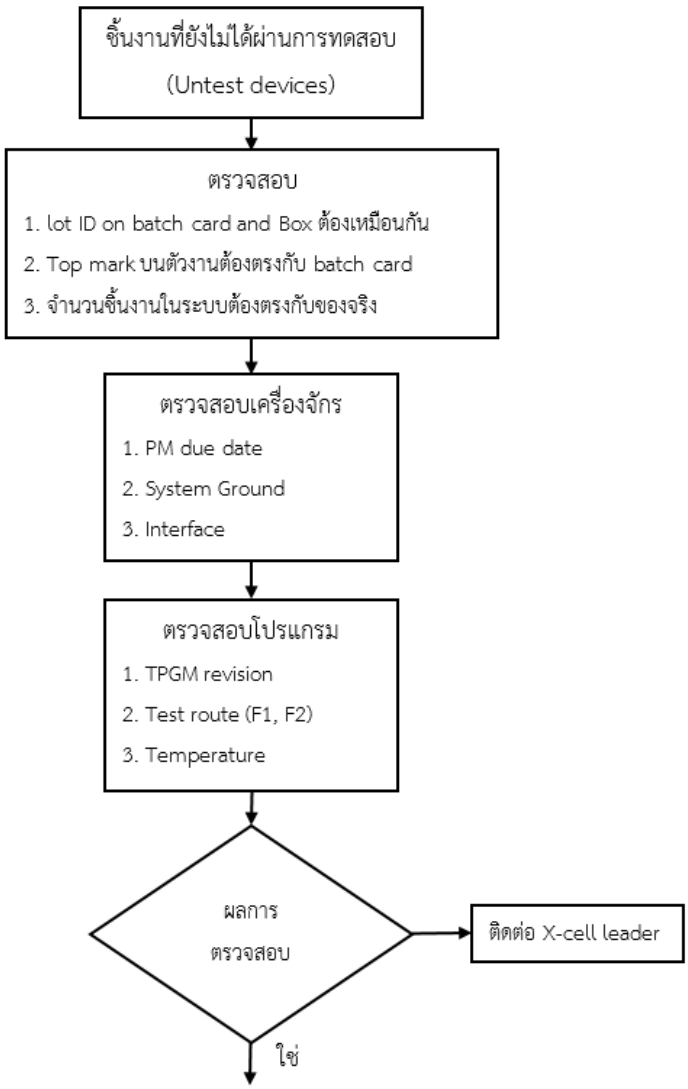
4. โหลดโปรแกรมที่เครื่องทดสอบ (Tester) จากนั้นกดปุ่มเริ่มการทดสอบ
5. เมื่อการทดสอบเสร็จสิ้น ตรวจสอบข้อมูลผลการทดสอบ จำนวนยอดงานของจริงเทียบกับผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบ (Tester), ผลจากเครื่องจับงาน (Handler) และลงบันทึกข้อมูลผลการทดสอบในระบบ



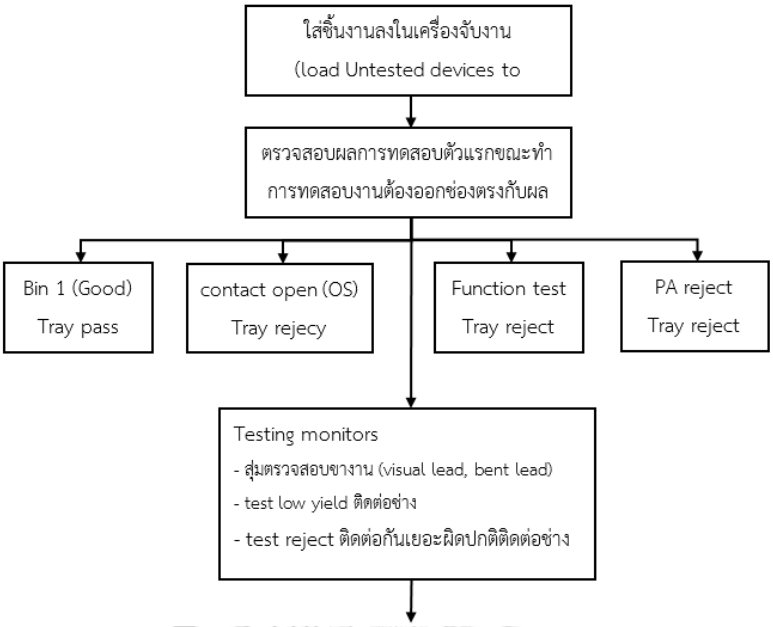
รูปที่ 33 ผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบเทียบกับผลการทดสอบจากเครื่องจับงาน

6. ส่งงานให้กับแผนกตรวจสอบ (QA process) ในการตรวจสอบอีกครั้งหลังการทดสอบจากนั้นส่งให้แผนกบรรจุภัณฑ์ (packing)

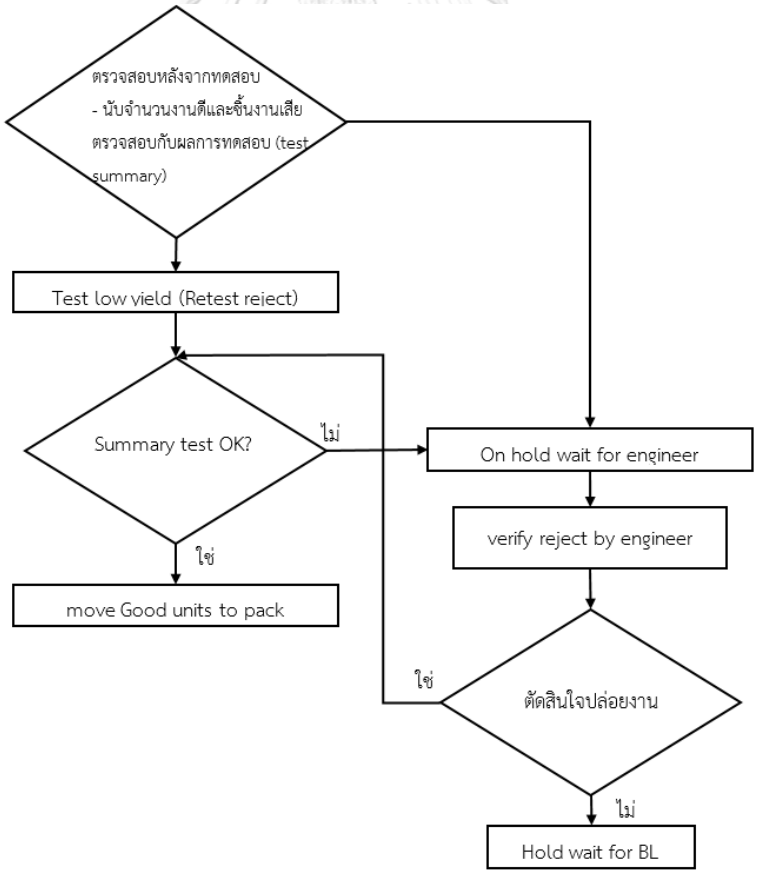
รูปที่ 34 ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแล้วเตรียมส่งให้แผนกบรรจุภัณฑ์ (pack process)



รูปที่ 35 แผนผังกระบวนการทดสอบก่อนทำการทดสอบ (before test)



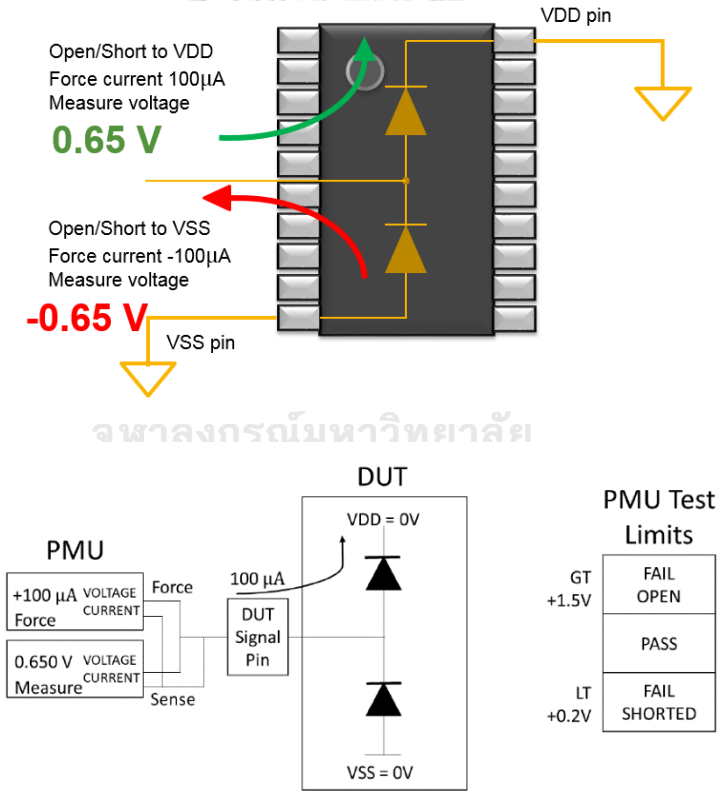
รูปที่ 36 แผนผังกระบวนการทดสอบขณะทำการทดสอบ (testing)



รูปที่ 37 แผนผังกระบวนการทดสอบหลังทดสอบแล้ว (completed lot)

3.2 วิธีการในการทดสอบการเปิดวงจร (contact open test method)

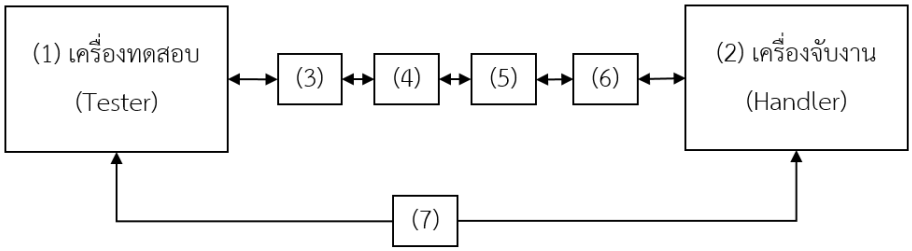
ในขั้นแรกต่อขาสำหรับป้อนแรงดันและขากราวด์ ของอุปกรณ์ลงกราวด์ ของแหล่งจ่ายไฟ จากนั้นต่อขาของเครื่องทดสอบ MPU เข้ากับขาของอุปกรณ์ที่ต้องการทดสอบแล้วจ่ายกระแสเข้าไป ซึ่งจะมีผลทำให้ไดโอดที่ทำหน้าที่ป้องกัน (Protection Diode) ตัวใดตัวหนึ่งอยู่ในลักษณะไบแอสตรง ดังรูป 38 โดยถ้าป้อนกระแสบวกเข้าไปไดโอดตัวที่ต่อกับ VDD จะได้รับไบแอสตรง (Forward Bias) ซึ่งกระแสที่จ่ายเข้าไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 100 µA ถึง 500 µA ไดโอดที่ได้รับไบแอสตรงจะมีแรงดันตกคร่อมประมาณ 0.65 V คือผ่านการทดสอบการเปิดวงจร เมื่อป้อนกระแสค่าเดียวกัน แต่วัดแรงดันได้ -2.0 V แสดงว่าขานี้ไม่ผ่านการทดสอบการเปิดของวงจร (Open Circuit) เครื่องจะรายงานผลลัพธ์ออกมาว่า “FAIL” แต่วัดค่าแรงดันได้ -0.04 mV แสดงว่าขานี้ไม่ผ่านการทดสอบการปิดของวงจร (Short Circuit) เครื่องจะรายงานผลลัพธ์ออกมาว่า “FAIL”



รูปที่ 38 การทดสอบการเปิดของวงจร (contact test)

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบ

หลังจากสิ้นสุดกระบวนการผลิตจะต้องทดสอบทางฟ้าโดยเครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจร (IC) ได้แก่ เครื่องทดสอบ (Automatic Test Equipment : ATE or Tester), เครื่องโหลดตัวงานเพื่อทำการทดสอบหรือเครื่องจับงาน (Test Handler), บอร์ดการทดสอบ (Load Board), โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบแผงวงจรรวม (Test Program) กระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า (Final test process) เป็นกระบวนการหรือขั้นตอนสุดท้ายในการตรวจสอบชิ้นงานแผนกทดสอบทางไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างมาก แผนกทดสอบต้องสามารถตรวจจับจุดเสียที่เป็นไปได้ทั้งหมดภายในวงจร เพื่อป้องกันมิให้ชิ้นงานเสีย ผ่านเล็ดลอดออกจากโรงงานผู้ผลิตไปถึงมือผู้ใช้ ด้วยอุปกรณ์การทดสอบอัตโนมัติ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแผงวงจรรวม (Test Operation set) แสดงดังรูปที่ 39



(3) Pogo pin, (4) Type Dependent Interface (TDI)
(5) Adapter, (6) Contact pin, (7) TDI Docking

รูปที่ 39 อุปกรณ์การทดสอบทางไฟฟ้าแผงวงจรรวม (Test Operation set)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 40 ภาพจริงชุดอุปกรณ์การทดสอบทางไฟฟ้าแผงวงจรรวม (Test Operation set)

1. เครื่องทดสอบ (Tester)

เครื่องมือทดสอบอัตโนมัติ (ATE: Automatic Test Equipment) โดยเครื่องมือนั้น จะประกอบด้วย หัววัด (Probe) จำนวนหนึ่ง เชื่อมต่อเข้ากับตำแหน่งต่างๆ ในวงจร พร้อมกับทำการวัดลักษณะสมบัติของวงจรในส่วนต่างๆ ทั้งนี้ อาจมีป้อนสัญญาณทดสอบ (Test Signal) เข้าสู่วงจร แล้วทำการวัดสัญญาณที่ปรากฏออกมาทางหัววัดเหล่านั้นด้วยก็ได้ หากลักษณะสมบัติหรือสัญญาณที่วัดได้นั้น ถูกต้องตรงตามที่กำหนดไว้ ก็ถือว่า วงจรภายใต้การทดสอบ (CUT: Circuit Under Test) นั้นสามารถทำงานได้ตามฟังก์ชันที่ออกแบบไว้ ทั้งนี้ เครื่องมือวัดที่ใช้กันทั่วไปในการทดสอบ ได้แก่ เครื่องวัดแรงดัน (Voltmeter) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Ammeter) เครื่องวัดความต้านทาน (Resistance Meter) ซึ่งอาจรวมไปถึงเครื่องมือวัดสัญญาณออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) และเครื่องมือวัดสัญญาณทางดิจิตอลต่างๆ เช่น เครื่องวิเคราะห์ทางตรรก (Logic Analyzer) แสดงเครื่องทดสอบดังรูปที่ 41

รูปที่ 41เครื่องทดสอบ (Tester)

2. เครื่องจับงาน (Handler)

เป็นเครื่องมือสำหรับจับและจัดตำแหน่งชิ้นงานแบบอัติโนมัติจะเชื่อมต่อกับเครื่องทดสอบ (Tester) เพื่อทดสอบชิ้นงาน แสดงดังรูปที่ 42 โดย

รูปที่ 42 เครื่องจับงาน (Handler)

เครื่องจับงานมีขั้นตอนในการทำงานดังต่อไปนี้

1. เริ่มแรกหลังจากตรวจสอบเครื่องเบื้องต้นแล้วจะต้องสวมสาย GROUND ก่อนทุกครั้ง จากนั้นให้พนักงานกดปุ่ม START เครื่องก็จะทำการ SETUP ตัวมันเองให้พร้อมที่จะใช้งาน โดยจะใช้เวลาประมาณ 5 นาที

2. ให้พนักงานนำ MAGAZINE ที่บรรจุงานที่จะทดสอบใส่วางเข้าไปที่ INPUT LOADER ในช่องที่เขียนว่า INPUT เมื่อมี MAGAZINE มาวางที่บริเวณ INPUT LOADER ไฟที่ SHOW จะดับลง

3. จากนั้นให้พนักงานกดปุ่ม START สีเขียว เครื่องก็จะปล่อย MAGAZINE หนึ่งอันมาลงที่LOADER SHIFTER ต่อจากนั้น LOADER SHIFTER จะเลื่อนพา MAGAZINE เข้าไปใน LOADER GRIPPER ซึ่งจะทำหน้าที่ยก MAGAZINE ให้ตัวงานไหลเข้าไปใน LOADER FEED SHUTTLE ซึ่งจะปล่อยตัวงานไหลเข้าไปเป็นช่วง ๆ ถึง 4 ช่วง เมื่อ LOADER FEED

SHUTTLE รับงานมา 1 ช่วง แล้วก็หมุนกลับตัวงานเลื่อนมาปล่อยลงที่ LOADER ADAPTER และตัวงานก็จะไหลผ่านลงมาที่ MONO RAIL TRACK

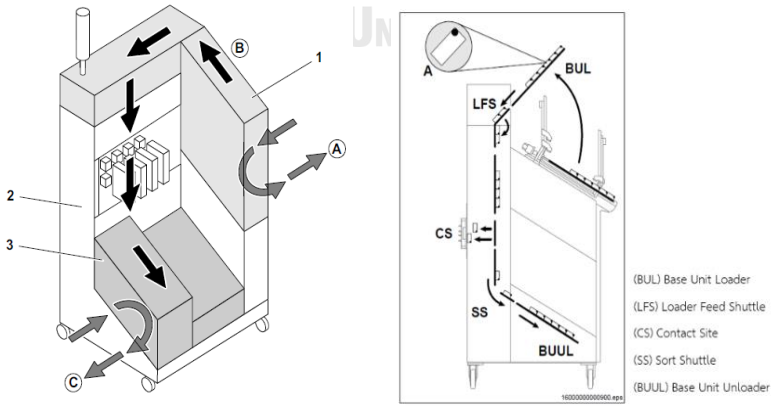
4. ตัวงานที่อยู่ใน MONO RAIL TRACK จะไหลลงไปที่ SINGULATOR ซึ่งจะถูก FEED ที่จะลงไปที่ TEST HEAD เพื่อพาตัวงานลงไปที่ CONTACT SITE ต่อไป

5. เมื่อตัวงานถูกลงไปที่ CONTACT SITE ก็จะมี STOPPER พักตัวงานไว้ก่อนที่ PLUNGER จะผลักตัวงานและขางานไปกดที่เข็มทดสอบ (CONTACT PIN)

6. ณ จุดนี้เครื่องจับงาน (Handler) ก็จะส่งสัญญาณ SOT ไปบอกให้เครื่องทดสอบ (TESTER) ส่งสัญญาณ TEST และสัญญาณ BIN กลับมาขณะเครื่องทำการ TEST อยู่นี้ที่หน้าจอจะ SHOW ว่าTESTING และสัญญาณ BIN เพื่อบอกให้เครื่องทดสอบ (TESTER) ว่าการทดสอบได้เสร็จสิ้นแล้ว

7. ตัวงานที่อยู่ใน CONTACT SITE เมื่อทดสอบเสร็จก็จะถูกปล่อยเข้ามาใน OUTPUT SEGMENT และ OUTPUT SEGMENT จะปล่อยงานที่จะผ่านเข้ามาหยุดใน STOPPER ของ SORT SHUTTLE จากนั้น SORT SHUTTLE ก็จะพาตัวงานไปลง DESOAK TRACK ก่อนที่จะปล่อยงานตาม OUTPUT MAGAZINE ต่าง ๆ ตามที่เราได้กำหนดไว้ เครื่องจะทำงานเช่นนี้หมุนเวียนไป

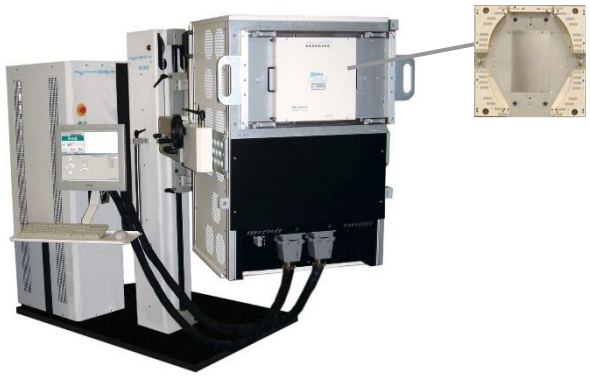
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 43 การไหลของชิ้นงานเข้าเครื่องจับงาน (Material flow through the entire machine)

3. Pogo connectors (Pogo Pin)

ประกอบไปด้วยหมุด (spring contact pins or pogo pins) ที่ช่วยให้สามารถเชื่อมต่อกับบอร์ดทดสอบ (TDI) ซึ่งเป็นส่วนประสานทางไฟฟ้า (Electrical Interface) กับชิ้นงาน (Device under test)

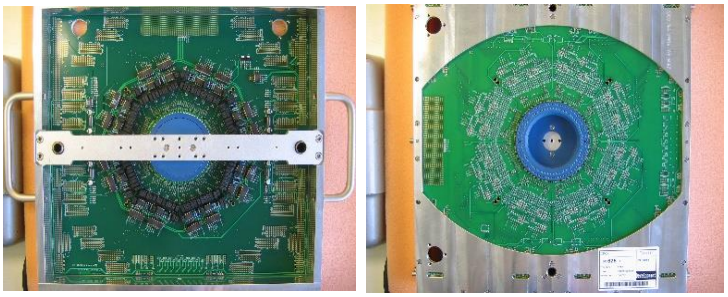


รูปที่ 44 หมุดของเครื่องทดสอบ (spring contact pins or pogo pins)

4. บอร์ดสำหรับทดสอบ (Type Dependent Interface: TDI)

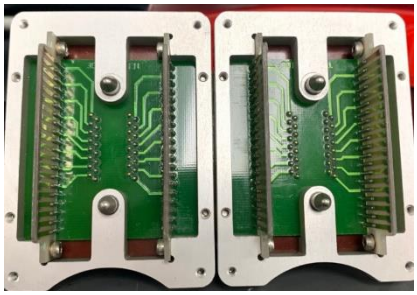
ถูกออกแบบโดยเฉพาะสำหรับชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดสอบทางไฟฟ้า ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องทดสอบ (Tester) และเครื่องจับงาน (Handler)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 45 บอร์ดสำหรับทดสอบ (Type Dependent Interface :TDI)

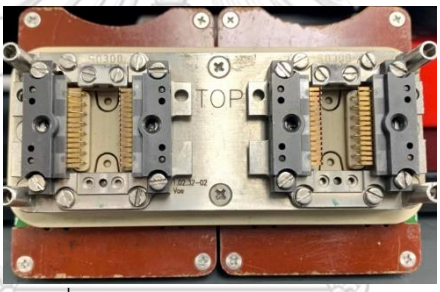
5. อุปกรณ์เชื่อมต่อบอร์ดทดสอบกับเข็มทดสอบ (Adapter



รูปที่ 46 Adapter

6. เข็มทดสอบ (Contact pin)

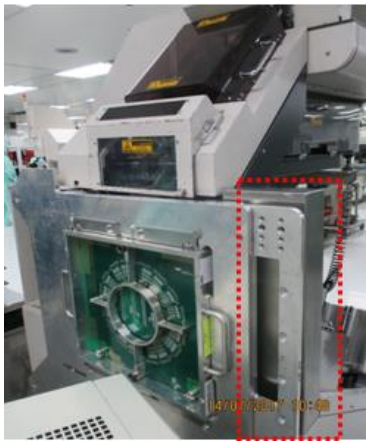
ลักษณะเป็นเข็มที่จะสัมผัสกับขาชิ้นงาน ในการทดสอบแผงวงจรรวม (IC) อุปกรณ์นี้มีความสำคัญ ถ้าเชื่อมต่อไม่ดี หรือ pin มีสภาพชำรุด สกปรก จะไม่สามารถทำการทดสอบชิ้นงานได้ถูกต้อง



รูปที่ 47 เข็มทดสอบ (contact pin)

7. ตัวยึดเครื่องจับงานและเครื่องทดสอบ (TDI docking)

คืออุปกรณ์ที่ช่วยยึดเครื่องทดสอบ (Tester) กับเครื่องจับงาน (Handler) ไว้ด้วยกันเพื่อทำไม่ทำให้เกิดการเลื่อนหรือขยับขณะที่เครื่องจักรกำลังทำงาน



รูปที่ 48 ตัวยึดเครื่องจับงานและเครื่องทดสอบ (TDI docking)

3.4 การวิเคราะห์สภาพปัญหาของกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวมในปัจจุบัน

จากการสุ่มเก็บข้อมูลในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวมของผลิตภัณฑ์ A จะมีประเภทของการเกิดความสูญเสียของ 2 กรณี ดังนี้

1. ชิ้นงานที่สามารถเห็นความเสียหายภายนอก เกิดความเสียหายที่ขาชิ้นงานงอ (bent lead) หลังจากเข้าเครื่องจับงาน ผลการทดสอบทางไฟฟ้าของชิ้นงานจะมีค่าโวลเตท (voltage) เท่ากับ -2 v. ที่ขางานทำให้เกิดของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) ซึ่งเป็นการทดสอบทางไฟฟ้าที่เรียกว่าการทดสอบการเปิดของวงจร (contact open test) ในกรณีที่มีการดัดขาและทดสอบชิ้นงานอีกครั้งจะผ่านการทดสอบการเปิดของวงจร ทางโรงงานกรณีศึกษาเรียกของเสียในลักษณะนี้ว่าการทดสอบผิดพลาดเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) ลักษณะของชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 49

รูปที่ 49 ชิ้นงานที่เกิดความสียหายขางอ (Bent lead device)

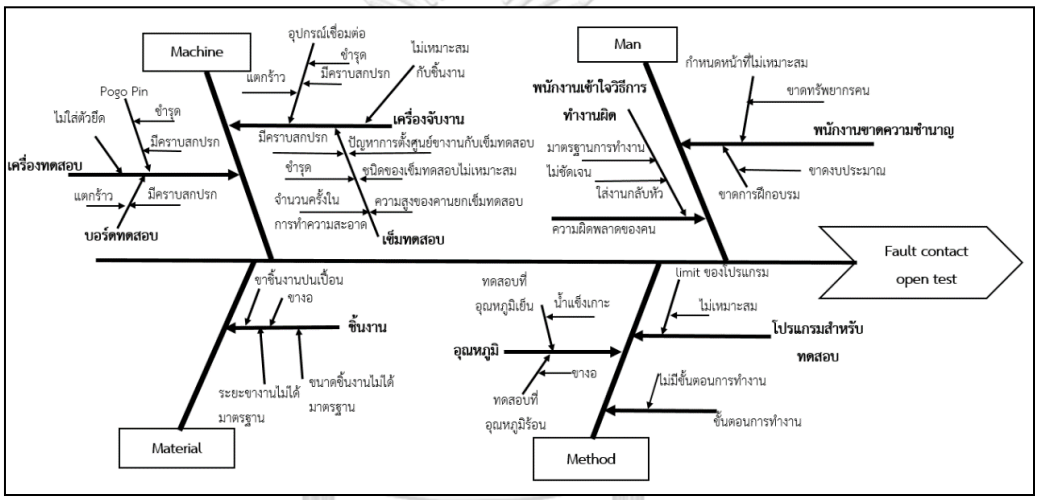
2. ชิ้นงานที่ไม่สามารถเห็นความเสียหายภายนอก แต่พบว่าไม่ผ่านการทดสอบการเปิดของวงจร (contact open test fail) แต่เมื่อนำไปทดสอบรอบที่สองผ่าน ลักษณะเช่นนี้ทางโรงงานเรียกว่าการทดสอบผิดพลาดเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) ทางโรงงานต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทดสอบซ้ำ และทางโรงงานต้องทิ้งชิ้นงานที่เป็นชิ้นงานดีทำให้เกิดความเสียหาย ลักษณะชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 50

รูปที่ 50 ชิ้นงานที่มองไม่เห็นความเสียหายภายนอก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.5 การวิเคราะห์หาสาเหตุที่ส่งผลต่อความผิดพลาดในการทดสอบการเปิดแผงวงจรรวม (Root cause Analysis)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่องมือแผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect diagram) ในการวิเคราะห์ เนื่องจากสามารถระบุสาเหตุของปัญหาที่เป็นไปได้อย่างครอบคลุม และผู้วิจัยได้วิเคราะห์สาเหตุตามหมวดหมู่ 5M1E ซึ่งประกอบไปด้วย คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) เครื่องมือวัด (Measurement) วิธีการดำเนินงาน (Method) และสภาพแวดล้อม (Environment) หลังจากผู้วิจัยได้ระดมความคิดจึงได้แผนผังสาเหตุและผลที่แสดงถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) ซึ่งแสดงในรูปที่ 51



รูปที่ 51 แผนผังสาเหตุและผลที่แสดงถึงปัจจัยที่มีผลต่อผิดพลาดเนื่องการเปิดของการทดสอบวงจร (fault contact open test)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.6 ขั้นตอนจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบทางไฟฟ้าผิดพลาดเนื่องการเปิดของการทดสอบวงจร (fault open test) โดยใช้ FMEA

ผู้วิจัยเลือกใช้การวิเคราะห์ลักษณะบกพร่องและผลกระทบต่อความผิดพลาด (FMEA) ในการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อต่อความผิดพลาดเนื่องจากการทดสอบการเปิดของวงจร (fault contact open test) เกณฑ์การให้คะแนนลำดับความสำคัญแสดงรายละเอียดเกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ (Severity, S) ในตารางที่ 14, เกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง (Occurrence, O) ในตารางที่ 15 และ เกณฑ์การประเมินการตรวจจับของระบบควบคุม (Detection, D) แสดงในตารางที่ 16 (C. Paciarotti, 2014)

การคำนวณคะแนนลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) ในช่องนี้ให้ใส่ตัวเลขที่แสดงถึงลำดับความเสี่ยงที่พิจารณาได้มาจากองค์ประกอบ 3 ประการ คือ ความรุนแรงของผลกระทบ (Severity, S), โอกาสการเกิดขึ้น (Occurrence, O) และการตรวจจับ (Detection, D)

ดังนั้น RPN = S × O × D

ตารางที่ 14 เกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ (Severity, S)

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อลูกค้า	เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
เกิดอันตรายโดยมีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้หรือขัดต่อกฎหมายโดยมีการเตือนล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยมีการเตือนล่วงหน้า	9
มีผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากสูญเสียหน้าที่หลัก	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องถูกทำลายหรือส่งเข้าซ่อมแซมบำรุงโดยใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง	7
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์สามารถนำไปใช้งานได้แต่ขาดความสะดวกสบายและลูกค้าไม่พอใจ	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลายหรือถูกซ่อมแซมที แผนกซ่อมบำรุงต่ำกว่าครึ่งชั่วโมง	5
ผลกระทบต่ำมาก	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีมากนัก ลูกค้าส่วนใหญ่ (> 75%) สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่อง	ผลิตภัณฑ์อาจได้รับการตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sorting) โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย แต่มีผลิตภัณฑ์ (ต่ำกว่า 100%) อาจจะได้รับการ Rework	3
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตเห็นได้	อาจมีความไม่สะดวกสบายเล็กน้อยต่อการปฏิบัติงาน หรือตัวพนักงานหรือไม่มีผลกระทบใดๆ	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 15 เกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง (Occurrence, O)

โอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุหนึ่งๆ	อัตราข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ (PPM)	Ppk	คะแนน
สูงมาก : เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ	≥ 100,000 (หรือ 10%)	< 0.55	10
	50,000 (หรือ 5%)	>= 0.55	9
สูง : เกิดข้อบกพร่องบ่อย	20,000 (หรือ 2%)	>= 0.78	8
	10,000 (หรือ 1%)	>=0.86	7
ปานกลาง : เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว	5,000 (หรือ 0.5%)	>=0.94	6
	2,000 (หรือ 0.2%)	>=1.00	5
	1,000 (หรือ 0.1%)	>=1.00	4
ต่ำ : เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	500	>=1.20	3
	100	>=1.30	2
ห่างไกล : เกือบไม่มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องเลย	<= 10	>=1.67	1

ตารางที่ 16 เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับของระบบควบคุม (Detection, D)

ลักษณะการตรวจจับ	**เกณฑ์**	**ขอบเขตวิธีการตรวจจับ**	**คะแนน**
ห่างไกลมาก	มีระบบควบคุมแต่ไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	การควบคุมกระทำได้เพียงการสุ่มตรวจเท่านั้น	9
ต่ำมาก	มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	การควบคุมกระทำได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่าสองครั้งเท่านั้น	7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับของระบบควบคุม (Detection, D) (ต่อ)

ลักษณะการตรวจจับ	เกณฑ์	ขอบเขตวิธีการตรวจจับ	คะแนน
ปานกลาง	มีระบบควบคุมละอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้	มีการควบคุมโดยใช้เครื่องมือวัด วัดชิ้นงานก่อนออกจากจุดปฏิบัติงานหรืออาจใช้เกจแบบ Go/No Go	5
สูง	มีระบบควบคมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	มีการตรวจสอบจับความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงานหรือมีการตรวจจับความผิดพลาดโดยกาตรวจสอบเพื่อการยอมรับ	3
สูงมาก	มีระบบควบคุมและเกือบจะมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่อง	มีการตรวจสอบจับความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงานหรือด้วยเครื่องมืออัตโนมัติชิ้นงานบกพร่องไม่สามารถผ่านไปได้	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในการลงคะแนนของผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการทดสอบแผงวงจรรวมโดยการระดมความคิด (Brainstorm) โดยผลคะแนนลำดับความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) แสดงดังในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 การวิเคราะห์ลักษณะบกพร่องและผลกระทบต่อความผิดพลาดเนื่องจากการทดสอบเปิดของวงจร (fault contact open test)

ประเภทของสาเหตุ	ปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดเนื่องจากการทดสอบเปิดของวงจร		S	O	D	RPN
Machine	เครื่องทดสอบ (Automatic Test Equipment)	Pogo pin ชำรุด	7	6	5	210
		Pogo pin สกปรก	7	4	5	140
		ไม่ใส่ตัวยึดบอร์ดกับเครื่องทดสอบ	5	2	1	10
		บอร์ดแตกร้าว	5	3	1	15
		บอร์ดสกปรก	3	2	3	18
	เครื่องจับงาน (Handler)	อุปกรณ์เชื่อมต่อแตกร้าว	5	6	1	30
		อุปกรณ์เชื่อมต่อสกปรก	3	6	3	54
		อุปกรณ์เชื่อมต่อชำรุด	7	2	1	14
		เข็มทดสอบชำรุด	9	3	3	81
		เข็มทดสอบสกปรก	5	2	3	30
		ปัญหาการตั้งศูนย์งานกับเข็มทดสอบ	7	5	7	245
		ชนิดของเข็มทดสอบไม่เหมาะสมกับชิ้นงาน	5	8	7	280
		จำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ	5	8	7	280
		ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ	7	8	7	392
		เครื่องจับงานไม่เหมาะสมกับชิ้นงาน	7	8	7	392
Method	โปรแกรมสำหรับทดสอบ	limit ของโปรแกรมทดสอบไม่เหมาะสม	5	2	3	30
	อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ	น้ำแข็งเกาะที่ pin ขณะทดสอบที่เย็น	3	2	1	6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

		อุณหภูมิส่งผลให้เกิดการโค้งของขางาน	3	2	1	6
	คู่มือในการปฏิบัติงาน	ไม่มีขั้นตอนการปฏิบัติงาน	5	1	1	5
Man	ความผิดพลาดของพนักงาน	ใส่ชิ้นงานกลับด้าน	7	3	1	21
		มาตรฐานการทำงานไม่ชัดเจน	5	2	1	10
	ประสบการ์ณของพนักงาน	ขาดงบประมาณในการอบรม	7	3	1	21
		ขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญ	7	2	1	14
Material	ชิ้นงาน	ขาชิ้นงานงอ	5	3	1	15
		ขาชิ้นงานปนเปื้อน	7	2	1	14
		ระยะขางานไม่ได้มาตรฐาน	5	3	1	15
		ขนาดชิ้นงานไม่ได้มาตรฐาน	5	3	3	45

ตารางที่ 18 การสรุปการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อความผิดพลาดเนื่องจากการทดสอบเปิดของวงจร (fault contact open test)

ลำดับที่	**กระบวนการ**	**สาเหตุของข้อบกพร่อง**	**คะแนนรวม**	**% สะสม**
1	เครื่องจับงาน	ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ	392	16.38%
2	เครื่องจับงาน	เครื่องจับงานไม่เหมาะสมกับชิ้นงาน	392	32.76%
3	เครื่องจับงาน	ชนิดของเข็มทดสอบไม่เหมาะสมกับชิ้นงาน	280	44.46%
4	เครื่องจับงาน	จำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ	280	56.16%
5	เครื่องจับงาน	ปัญหาการตั้งศูนย์งานกับเข็มทดสอบ	245	66.40%
6	เครื่องทดสอบ	Pogo pin ชำรุด	210	75.18%
7	เครื่องทดสอบ	Pogo pin สกปรก	140	81.03%

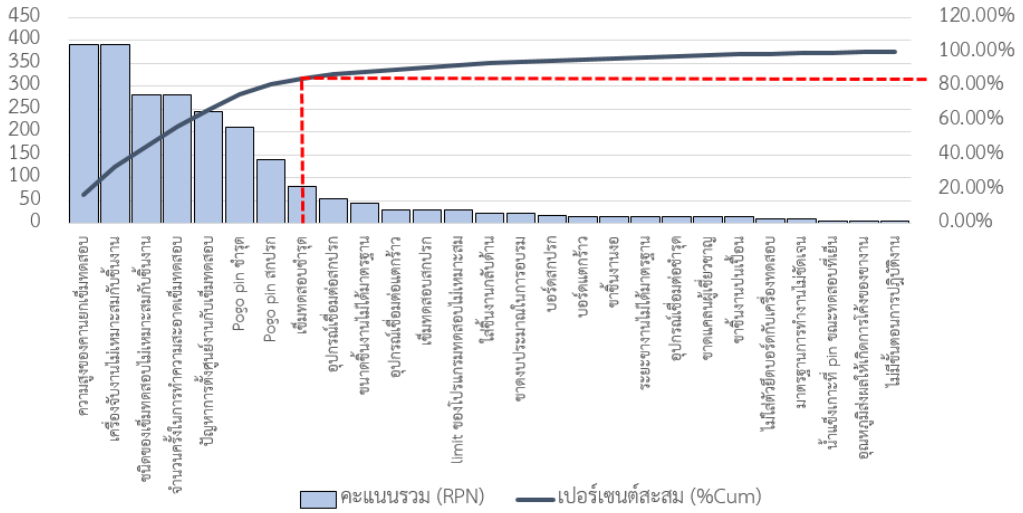
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การสรุปการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อความผิดพลาดเนื่องจากการทดสอบเปิดของวงจร (fault contact open test) (ต่อ)

ลำดับที่	กระบวนการ	สาเหตุของข้อบกพร่อง	คะแนนรวม	% สะสม
8	เครื่องจับงาน	เข็มทดสอบชำรุด	81	84.41%
9	เครื่องจับงาน	อุปกรณ์เชื่อมต่อสกปรก	54	86.67%
10	ชิ้นงาน	ขนาดชิ้นงานไม่ได้มาตรฐาน	45	88.55%
11	เครื่องจับงาน	อุปกรณ์เชื่อมต่อแตกร้าว	30	89.80%
12	เครื่องจับงาน	เข็มทดสอบสกปรก	30	91.06%
13	โปรแกรมสำหรับทดสอบ	limit ของโปรแกรมทดสอบไม่เหมาะสม	30	92.31%
14	ความผิดพลาดของพนักงาน	ใส่ชิ้นงานกลับด้าน	21	93.19%
15	ประสบการ์ณของพนักงาน	ขาดงบประมาณในการอบรม	21	94.07%
16	เครื่องทดสอบ	บอร์ดสกปรก	18	94.82%
17	เครื่องทดสอบ	บอร์ดแตกร้าว	15	95.45%
18	ชิ้นงาน	ขาชิ้นงานงอ	15	96.07%
19	ชิ้นงาน	ระยะขางานไม่ได้มาตรฐาน	15	96.70%
20	เครื่องจับงาน	อุปกรณ์เชื่อมต่อชำรุด	14	97.28%
21	ประสบการ์ณของพนักงาน	ขาดแคลนผู้เชี่ยวชาญ	14	97.87%
22	ชิ้นงาน	ขาชิ้นงานปนเปื้อน	14	98.45%
23	เครื่องทดสอบ	ไม่ใส่ตัวยึดบอร์ดกับเครื่องทดสอบ	10	98.87%
24	ความผิดพลาดของพนักงาน	มาตรฐานการทำงานไม่ชัดเจน	10	99.29%
25	อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ	น้ำแข็งเกาะที่ pin ขณะทดสอบที่เย็น	6	99.54%
26	อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ	อุณหภูมิส่งผลให้เกิดการโค้งของขางาน	6	99.79%
27	คู่มือในการปฏิบัตงาน	ไม่มีขั้นตอนการปฏิบัติงาน	5	100%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางสรุปผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อความผิดพลาดเนื่องจากการทดสอบเปิดของวงจร (fault contact open test) นำค่าดัชนีความเสี่ยงชี้นำ (RPN) มาสร้างแผนภาพพาเรโต เพื่อทำการคัดเลือกและพิจารณาสาเหตุสำคัญ ที่สมควรแก้ไขในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวมดังรูปที่ 52



รูปที่ 52 กราฟแสดงคะแนนสะสมของผลคะแนนรวมของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อความผิดพลาดเนื่องจากการทดสอบเปิดของวงจร (fault contact open test)

ตารางที่ 19 ปัจจัยที่มีคะแนนรวมมากอย่างชัดเจนเรียงลำดับจากมากไปน้อย และแนวทางปรับปรุงปัจจัย

สาเหตุของข้อบกพร่อง	RPN	%Cum	แนวทางการปรับปรุง
เครื่องจับงานไม่เหมาะสมกับชิ้นงาน	392	16.38%	ทำการคัดเลือกเครื่องจับงานที่เหมาะสมโดยใช้ AHP
ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ	392	32.76%	ออกแบบการทดลอง และหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะกับสำหรับการตั้งค่าในการทดสอบ
ชนิดของเข็มทดสอบไม่เหมาะสมกับชิ้นงาน	280	44.46%	ออกแบบการทดลอง และหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะกับสำหรับการตั้งค่าในการทดสอบ
จำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ	280	56.16%	ออกแบบการทดลอง และหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะกับสำหรับการตั้งค่าในการทดสอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปัญหาการตั้งศูนย์งานกับเข็มทดสอบ	245	66.40%	ออกแบบการทดลอง และหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะกับสำหรับการตั้งค่าในการทดสอบ
Pogo pin ชำรุด	210	75.18%	จัดทำระบบการนับจำนวนอายุการใช้งานของ pogo pin จัดให้มีแผนกำหนดการเปลี่ยน pogo pin เมื่อครบอายุการใช้งาน (pogo pin life time)
Pogo pin สกปรก	140	81.03%	จัดทำวิธีการปฏิบัติงานโดยให้ทำความสะอาดทุกครั้งที่ทำ PM เครื่องจับงาน
เข็มทดสอบชำรุด	81	84.41%	จัดทำวิธีการปฏิบัติงานโดยให้ทำความสะอาด pin ทุกครั้งที่ทำ PM เครื่องจับงาน

เมื่อทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อความผิดพลาดเนื่องจากการทดสอบเปิดของวงจร (fault contact open test) ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีคะแนนรวมมากอย่างชัดเจนทั้ง 8 ปัจจัยแล้วทางผู้วิจัยพิจารณาปัจจัยดังกล่าว พบว่าสาเหตุของข้อบกพร่องเป็นส่วนประกอบที่เกิดจากปัจจัยหลัก คือ เครื่องจับงาน (Handler) ใช้ contact pin ที่ไม่เหมาะสมกับชิ้นงานส่งผลให้ชิ้นงานขางอ และเกิดความผิดพลาดในการทดสอบเปิดวงจร (fault contact open test) ผู้วิจัยต้องการที่จะคัดเลือกเครื่องจับงานที่เหมาะสมกับชิ้นงาน โดยอาศัยหลักการกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถแก้ปัญหาทั้งที่เป็นนามธรรมและรูปธรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

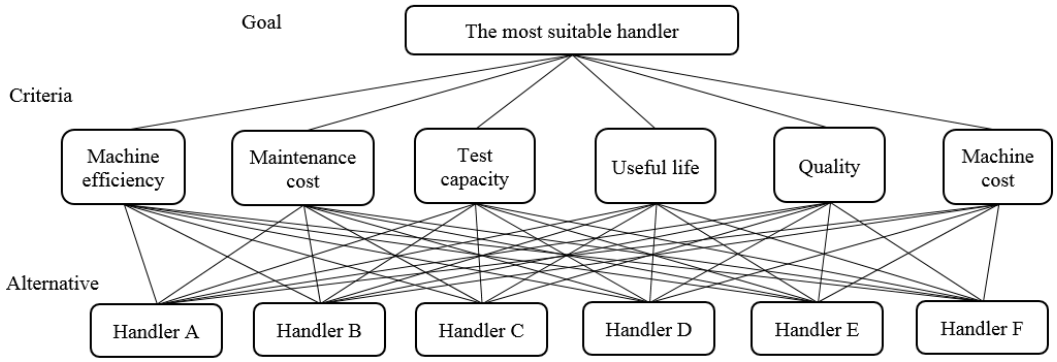
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.7 การวิเคราะห์หาเครื่องจักรและอุปกรณ์การทดสอบที่เหมาะสม (AHP)

ปัจจัยหลักที่ใช้เป็นเกณฑ์การตัดสินใจเลือกเครื่องจักร สำหรับแผนกทดสอบแผงวงจรรวม กรณีศึกษาสอบถามผู้เชี่ยวชาญในโรงงานกรณีศึกษาถึงความจำเป็นในโรงงานกรณีศึกษาที่พิจารณาแล้วว่ามีผลต่อการตัดสินใจ ซึ่งผู้วิจัยได้ข้อสรุปและกำหนดปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเครื่องจักรได้แก่ ประสิทธิภาพของเครื่องจักร (machine efficiency), ค่าซ่อมบำรุง (maintenance cost), กำลังการผลิต(test capacity), อายุการใช้งาน (useful life), คุณภาพ (quality), ราคาเครื่องจักร(machine cost), ทั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดทางเลือกในการตัดสินใจ หรือ กลุ่มเครื่องจักรที่จะคัดเลือกได้ทางเลือกได้แก่ handler A, B, C, D, E และF

3.7.1 การสร้างรูปแบบของปัญหา

แผนภูมิการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยในการคัดเลือกเครื่องจักรโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นในการคัดเลือกเครื่องจักรเป็นการแสดงแบบจำลองหรือแผนภูมิลำดับชั้นของกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ซึ่งเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ช่วยในการพิจารณาตัดสินใจ โครงสร้างของแผนภูมิแสดงในรูปที่ 53



รูปที่ 53 รูปแบบโครงสร้างแผนภูมิลำดับชั้น

3.7.2 รายละเอียดของปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น

ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาคัดเลือกเครื่องจักรมีรายละเอียดดังนี้

- ประสิทธิภาพ คือ ผลผลิตที่ได้จากการเดินเครื่องจักร เทียบกับจำนวนผลผลิตมาตรฐาน
- ค่าซ่อมบำรุง คือ ค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการบำรุงรักษาเครื่องจักร และซ่อมเครื่องจักรในกรณีเกิดขัดข้อง
- กำลังการผลิต คือ ความสามารถในการผลิตงาน
- อายุการใช้งานของเครื่องจักร คือ อายุการใช้งานของกลุ่มเครื่องจักรตั้งแต่เริ่มผลิตจนถึงปัจจุบัน หรืออายุการใช้งานของเครื่องจักรตามอายุที่กำหนดไว้
- คุณภาพ คือ ความสามารถในการผลิตงานได้ตรงตามมาตรฐานที่กำหนด, ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในการผลิตโดยเปรียบเทียบจากของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตด้วยเครื่องจักร เทียบกับปริมาณการผลิตทั้งหมดของเครื่องจักรกลุ่มนั้น
- ราคาเครื่องจักร คือ มูลค่าของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต โดยคิดมูลค่าทางบัญชีและคิดอัตราเสื่อมแบบคงที่เท่ากันทุกปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.7.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้คือผู้ที่มีหน้าที่หลักและมีหน้าที่เกี่ยวข้องโดยตรงในการพิจารณาตัดสินใจคัดเลือกเครื่องจักร ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญและชำนาญในการทดสอบแผงวงจรรวมของบริษัทกรณีศึกษา แสดงดังในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 รายละเอียดผู้เชี่ยวชาญตอบแบบสอบถาม

รายละเอียดผู้ตอบแบบสอบถาม			ฝ่ายแผนก	ประสบการ์ณการทำงาน
ลำดับ	เพศ	อายุ (ปี)		
1	ชาย	55	ฝ่ายบริหาร	30
2	ชาย	40	วิศวกรโรงงาน	15
3	หญิง	30	วิศวกรโรงงาน	7
4	ชาย	40	วิศวกรเครื่องจักร	15
5	หญิง	35	วิศวกรควบคุมคุณภาพ	12
6	ชาย	45	วิศวกรออกแบบ	14

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือ แบบสอบถาม เพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่ใช้เป็นเกณฑ์ ในการคัดเลือกเครื่องจักร ซึ่งรายละเอียดของแบบสอบถามจะแสดงในภาคผนวก ก และแสดงตัวอย่างแบบสอบถามตามตารางในภาคผนวก ก

เกณฑ์การให้ค่าน้ำหนักในแต่ละเกณฑ์

หลักเกณฑ์การพิจารณาให้คะแนนต่างๆ ออบแบบโดยให้ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตตอบแบบสอบถามดังตารางในภาคผนวก ก

ตารางที่ 21 หลักเกณฑ์การพิจารณาให้คะแนน

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวเลข (Numerical)
ดีมากที่สุด	1
ดีมาก	2
ดี	3
ค่อนข้างดี	4
ปานกลาง	5
ค่อนข้างไม่ดี	6
ไม่ดี	7
ไม่ดีมาก	8
ไม่ดีมากที่สุด	9

3.7.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ค่าน้ำหนักจากกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นของปัจจัยหลักและปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) หลังจากส่งแบบสอบถามไปยังผู้ตอบแบบสอบถามที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเพื่อดำเนินการเก็บข้อมูลให้ได้ตามวัตถุประสงค์แล้ว ในการประมวลจึงใช้โปรแกรม Microsoft Excel ช่วยในการประมวลผลและตัดสินใจ ซึ่งนอกจากการวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยแต่ละปัจจัยที่มีความสัมพันธ์แล้ว ยังสามารถตรวจสอบความสอดคล้องของข้อมูลที่จะใช้สำหรับการตัดสินใจด้วย ซึ่งการวัดค่าความสอดคล้องของข้อมูลนี้เป็นประโยชน์สำหรับตรวจสอบหาความผิดพลาดที่เกิดจากการป้อนข้อมูลการตัดสินใจที่ผิดพลาด หรือความไม่สอดคล้องของข้อมูลที่กำลังทำการตัดสินใจแต่ละชุด ซึ่งการแสดงผลจะอยู่ในรูปอัตราส่วนความไม่สอดคล้องถ้ามีค่า ≤ 0.1 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และ ≥ 0.1 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับไม่ได้ซึ่งเป็นตัวชี้บ่งที่สำคัญ สำหรับโปรแกรม Microsoft Excel ที่ใช้ในการคำนวณแสดงตัวอย่างตามตารางที่ 22

3.7.5 ผลการประเมินปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการคัดเลือกเครื่องจักร

ในส่วนของการประเมินปัจจัยหลัก ข้อมูลมาจากการตอบแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญ 6 ท่านซึ่งแสดงผลการประเมินตามตารางที่ 22 และแสดงผลแต่ละผู้เชียวชาญอย่างละเอียดในภาคผนวก ก

ตารางที่ 22 ผลการประเมินปัจจัยหลักจากผู้เชี่ยวชาญทั้ง 6 ท่าน

ลำดับ	ปัจจัยหลัก	Performance Score						ค่าเฉลี่ย	ลำดับ
		คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6		
1	ประสิทธิภาพ	0.155	0.173	0.161	0.136	0.170	0.170	0.161	3
2	ค่าซ่อมบำรุง	0.064	0.058	0.061	0.062	0.061	0.071	0.063	5
3	กำลังการผลิต	0.268	0.256	0.274	0.295	0.269	0.248	0.268	2
4	อายุ	0.036	0.028	0.034	0.034	0.034	0.035	0.033	6
5	คุณภาพ	0.396	0.409	0.396	0.396	0.392	0.399	0.398	1
6	ราคาเครื่องจักร	0.080	0.076	0.073	0.077	0.075	0.078	0.077	4
	อัตราความสอดคล้อง Consistency Ratio: CR	0.045	0.096	0.0648	0.063	0.0862	0.043		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการประมวลผลอัตราความสอดคล้อง (Consistency Ratio: CR) ได้ค่าแสดงความสอดคล้องน้อยกว่า 0.10 ทำให้สรุปได้ว่าผู้ตัดสินใจได้ทำการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยต่างๆ และให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยได้อย่างสอดคล้องกัน และแสดงให้เห็นว่า ปัจจัยหลักที่มีความสำคัญอันดับหนึ่งคือ ด้านคุณภาพ มีคะแนนความสำคัญ 0.398 อันดับสองคือ ด้านกำลังการผลิต 0.268 , ด้านประสิทธิภาพ มีคะแนนความสำคัญ 0.161, ด้านราคาเครื่องจักร มีคะแนนความสำคัญ 0.077, ด้านค่าซ่อมบำรุง มีคะแนนความสำคัญ 0.063, ด้านอายุการใช้งานของเครื่องจักร มีคะแนนความสำคัญ 0.033 สรุปผลการจัดลำดับความสำคัญแสดงในตารางที่ 23

ตารางที่ 23 สรุปผลการจัดลำดับความสำคัญน้ำหนักคะแนนปัจจัยหลัก

ปัจจัยหลัก	คะแนน	ลำดับความสำคัญ
ประสิทธิภาพ	0.161	3
ค่าซ่อมบำรุง	0.063	5
กำลังการผลิต	0.268	2
อายุ	0.033	6
คุณภาพ	0.398	1
ราคาเครื่องจักร	0.077	4

3.7.6 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) เป็นรายคู่กับปัจจัยหลักตามหลักการ AHP โดยใช้ Microsoft Excel

ในส่วนของการประเมินปัจจัยทางเลือก ข้อมูลมาจากการตอบแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญ 6 ท่านซึ่งแสดงผลการประเมินตามตารางที่ 24 และแสดงผลอย่างละเอียดในภาคผนวก ก

ตารางที่ 24 สรุปผลการจัดลำดับความสำคัญน้ำหนักคะแนนปัจจัยหลักที่มีผลต่อปัจจัยทางเลือก ตามหลักการ AHP โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel

CHULALONGKORN UNIVERSITY

	ประสิทธิภาพ	ค่าซ่อมบำรุง	กำลังการผลิต	อายุ	คุณภาพ	ราคาเครื่องจักร
เครื่องจับงาน A	0.282	0.050	0.286	0.269	0.306	0.048
เครื่องจับงาน B	0.192	0.075	0.286	0.269	0.306	0.074
เครื่องจับงาน C	0.077	0.423	0.059	0.082	0.034	0.431
เครื่องจับงาน D	0.302	0.124	0.116	0.149	0.176	0.123
เครื่องจับงาน E	0.098	0.124	0.126	0.149	0.111	0.123
เครื่องจับงาน F	0.050	0.204	0.126	0.082	0.067	0.203

เกณฑ์การพิจารณาด้านประสิทธิภาพการผลิต (Machine Efficiency)

จากตารางที่ 26 ประสิทธิภาพการผลิต พบว่าประสิทธิภาพสูงสุดคือ 92% และประสิทธิภาพต่ำสุดคือ 80.3% ดังนั้นการคำนวณช่วง %ประสิทธิภาพการผลิต แต่ละระดับความสำคัญ มีรายละเอียดดังนี้

อันตรภาคชั้น (Class Interval) = (คะแนนสูงสุด – คะแนนต่ำสุด)/ จำนวนชั้น

= (92% - 80.3%)/5

= 2.34%

ตารางที่ 25 เกณฑ์การให้คะแนนด้านประสิทธิภาพ

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวลข (Numerical)	ประสิทธิภาพการผลิต (Efficiency)
ควรเลือกมากที่สุด	5	89.66% ขึ้นไป
ควรเลือกมาก	4	89.65% - 87.32%
ควรเลือกปานกลาง	3	87.31% - 84.98%
ควรเลือกน้อย	2	84.97% - 82.64%
ควรเลือกน้อยที่สุด	1	82.64% ลงมา

ตารางที่ 26 ผลการคำนวณค่าระดับความสำคัญของทางเลือกกลุ่มเครื่องจักรกับประสิทธิภาพ

กลุ่มเครื่องจักร	ประสิทธิภาพ (%)	เกณฑ์คะแนน A	ค่าน้ำหนัก (AHP) B	ค่าระดับความสำคัญ A x B
เครื่องจับงาน A	90.5%	5	0.282	1.41
เครื่องจับงาน B	85.5%	3	0.192	0.576
เครื่องจับงาน C	80.2%	1	0.077	0.077
เครื่องจับงาน D	92.0%	5	0.302	1.51
เครื่องจับงาน E	85.0%	3	0.097	0.294
เครื่องจับงาน F	80.3%	1	0.050	0.05

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์การพิจารณาด้านค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร (Repair and Maintenance cost)

จากตารางที่ 28 พบว่าค่าซ่อมบำรุงสูงสุดคือ 35,000 บาท/เดือน และค่าซ่อมบำรุงต่ำสุดคือ 16,600 บาท/เดือน ดังนั้นการคำนวณช่วงค่าซ่อมบำรุง แต่ละระดับความสำคัญ มีรายละเอียดดังนี้

อันตรภาคชั้น (Class Interval) = (คะแนนสูงสุด – คะแนนต่ำสุด)/ จำนวนชั้น

= (35000 - 16600)/5

= 3680

ตารางที่ 27 เกณฑ์การให้คะแนนด้านค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวลข (Numerical)	ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร (บาท) (Repair and Maintenance cost)
ควรเลือกมากที่สุด	5	20280 ลงมา
ควรเลือกมาก	4	20279 - 23960
ควรเลือกปานกลาง	3	23959 - 27640
ควรเลือกน้อย	2	27639 - 31320
ควรเลือกน้อยที่สุด	1	31321 ขึ้นไป

ผลการคำนวณค่าระดับความสำคัญของทางเลือกกลุ่มเครื่องจักร กับค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร แสดงดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 การประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร

กลุ่มเครื่องจักร	ค่าซ่อมบำรุง(฿)	เกณฑ์คะแนน A	ค่าน้ำหนัก (AHP) B	ค่าระดับความสำคัญ A x B
เครื่องจับงาน A	16600	5	0.050	0.2500
เครื่องจับงาน B	17000	5	0.075	0.3750
เครื่องจับงาน C	35000	1	0.423	0.4230
เครื่องจับงาน D	22500	4	0.124	0.4960
เครื่องจับงาน E	22500	4	0.124	0.4960
เครื่องจับงาน F	28000	2	0.204	0.4080

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์การพิจารณาด้านกำลังการผลิต (Capacity)

จากตารางที่ 30 พบว่ากำลังการผลิต สูงสุดคือ 200 kpcs/day และกำลังการผลิตต่ำสุดคือ 80 kpcs/day ดังนั้นการคำนวณช่วงกำลังการผลิต แต่ละระดับความสำคัญ มีรายละเอียดดังนี้

อันตรภาคชั้น (Class Interval) = (คะแนนสูงสุด – คะแนนต่ำสุด)/ จำนวนชั้น

= (200 - 80)/5

= 24

ตารางที่ 29 เกณฑ์การให้คะแนนด้านกำลังการผลิต (Capacity)

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวลข (Numerical)	กำลังการผลิต (Capacity)
ควรเลือกมากที่สุด	5	176 ขึ้นไป
ควรเลือกมาก	4	175 - 152
ควรเลือกปานกลาง	3	151 - 128
ควรเลือกน้อย	2	127 - 104
ควรเลือกน้อยที่สุด	1	103 ลงมา

ผลการคำนวณค่าระดับความสำคัญของทางเลือกกลุ่มเครื่องจักร กับกำลังการผลิต (kpcs/day) แสดงดังตารางที่ 30

ตารางที่ 30 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับกำลังการผลิต (kpcs/day)

กลุ่มเครื่องจักร	กำลังการผลิต (kpcs/day)	เกณฑ์คะแนน A	ค่าน้ำหนัก (AHP) B	ค่าระดับความสำคัญ A x B
เครื่องจับงาน A	200	5	0.286	1.4300
เครื่องจับงาน B	200	5	0.286	1.4300
เครื่องจับงาน C	80	1	0.059	0.0590
เครื่องจับงาน D	125	2	0.116	0.2320
เครื่องจับงาน E	130	3	0.126	0.3780
เครื่องจับงาน F	130	3	0.126	0.3780

เกณฑ์การพิจารณาด้านอายุการใช้งานของเครื่องจักร (Useful life)

จากตารางที่ 32 พบว่าอายุการใช้งานสูงสุดคือ 25 ปี และอายุการใช้งานต่ำสุดคือ 18 ปีดังนั้นการคำนวณช่วงอายุการใช้งาน แต่ละระดับความสำคัญ มีรายละเอียดดังนี้

อันตรภาคชั้น (Class Interval) = (คะแนนสูงสุด – คะแนนต่ำสุด)/ จำนวนชั้น

= (25 - 18)/5

= 1.4

ตารางที่ 31 เกณฑ์การให้คะแนนด้านอายุการใช้งานของเครื่องจักร (Useful life)

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวลข (Numerical)	อายุการใช้งานของเครื่องจักร
ควรเลือกมากที่สุด	5	23.6 ขึ้นไป
ควรเลือกมาก	4	23.5 - 22.2
ควรเลือกปานกลาง	3	22.1 - 20.8
ควรเลือกน้อย	2	20.7 - 19.4
ควรเลือกน้อยที่สุด	1	19.4 ลงมา

ตารางที่ 32 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับอายุการใช้งานของเครื่องจักร

กลุ่มเครื่องจักร	อายุการใช้งานของเครื่องจักร (ปี)	เกณฑ์คะแนน A	ค่าน้ำหนัก (AHP) B	ค่าระดับความสำคัญ A x B
เครื่องจับงาน A	25	5	0.269	1.3450
เครื่องจับงาน B	25	5	0.269	1.3450
เครื่องจับงาน C	18	1	0.082	0.0820
เครื่องจับงาน D	23	4	0.149	0.5960
เครื่องจับงาน E	23	4	0.149	0.5960
เครื่องจับงาน F	18	1	0.082	0.0820

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์การพิจารณาด้านคุณภาพ, ปริมาณของเสีย (Defect rate)

จากตารางที่ 34 พบว่าปริมาณของเสียสูงสุดคือ 5.1% และปริมาณของเสียต่ำสุดคือ 0.1% ดังนั้น การคำนวณช่วงปริมาณของเสีย แต่ละระดับความสำคัญ มีรายละเอียดดังนี้

อันตรภาคชั้น (Class Interval) = (คะแนนสูงสุด – คะแนนต่ำสุด)/ จำนวนชั้น

= (5.1 – 0.1)/5

= 1

ตารางที่ 33 เกณฑ์การให้คะแนนด้านปริมาณของเสีย (Defect rate)

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวลข (Numerical)	ปริมาณของเสีย %
ควรเลือกมากที่สุด	5	1.1 ลงมา
ควรเลือกมาก	4	1.2 - 2.1
ควรเลือกปานกลาง	3	2.2 - 3.1
ควรเลือกน้อย	2	3.2 - 4.1
ควรเลือกน้อยที่สุด	1	4.1 ขึ้นไป

ตารางที่ 34 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับปริมาณของเสีย (Defect rate)

กลุ่มเครื่องจักร	ปริมาณของเสีย %	เกณฑ์คะแนน A	ค่าน้ำหนัก (AHP) B	ค่าระดับความสำคัญ A x B
เครื่องจับงาน A	0.1	5	0.306	1.5300
เครื่องจับงาน B	0.1	5	0.306	1.5300
เครื่องจับงาน C	5.1	1	0.034	0.0340
เครื่องจับงาน D	0.9	1	0.176	0.1760
เครื่องจับงาน E	1.2	4	0.111	0.4440
เครื่องจับงาน F	1.5	4	0.067	0.2680

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์การพิจารณาด้านราคาเครื่องจักร (Machine cost)

จากตารางที่ 36 พบว่าราคาเครื่องจักรสูงสุดคือ 550 k$ และราคาเครื่องจักรต่ำสุดคือ 400 k$ ดังนั้นการคำนวณช่วงราคาเครื่องจักร แต่ละระดับความสำคัญ มีรายละเอียดดังนี้

อันตรภาคชั้น (Class Interval) = (คะแนนสูงสุด – คะแนนต่ำสุด)/ จำนวนชั้น

= (550 – 400)/5

= 30

ตารางที่ 35 เกณฑ์การให้คะแนนด้านราคาเครื่องจักร (Machine cost)

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวลข (Numerical)	ราคาเครื่องจักร (k$)
ควรเลือกมากที่สุด	5	430 ลงมา
ควรเลือกมาก	4	431 - 460
ควรเลือกปานกลาง	3	461 - 490
ควรเลือกน้อย	2	491 - 520
ควรเลือกน้อยที่สุด	1	520 ขึ้นไป

ตารางที่ 36 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับราคาเครื่องจักร

กลุ่มเครื่องจักร	ราคาเครื่องจักร (k$)	เกณฑ์คะแนน A	ค่าน้ำหนัก (AHP) B	ค่าระดับความสำคัญ A x B
เครื่องจับงาน A	550	1	0.048	0.0480
เครื่องจับงาน B	520	2	0.074	0.1480
เครื่องจับงาน C	400	5	0.431	2.1550
เครื่องจับงาน D	480	3	0.123	0.3690
เครื่องจับงาน E	480	3	0.123	0.3690
เครื่องจับงาน F	450	4	0.203	0.8120

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.7.7 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร)

จากการพิจารณาทางเลือกด้วยการนำค่าน้ำหนัก AHP มาคูณกับเกณฑ์คะแนนของแต่ละปัจจัยหลักแสดงรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก สามารถสรุปผลการคำนวณได้ดังตารางที่ 37

ตารางที่ 37 สรุปผลการคำนวณระดับความสำคัญทางเลือกเกณฑ์คะแนนกับค่าน้ำหนัก AHP

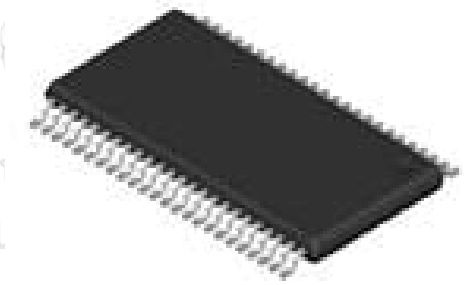
รายละเอียด	ค่าระดับความสำคัญ					
	ประสิทธิภาพ	ค่าซ่อมบำรุง	กำลังการผลิต	อายุ	ปริมาณของเสีย	ราคาเครื่องจักร
เครื่องจับงาน A	1.410	0.250	1.430	1.345	1.530	0.048
เครื่องจับงาน B	0.576	0.375	1.430	1.345	1.530	0.148
เครื่องจับงาน C	0.077	0.423	0.059	0.082	0.034	2.155
เครื่องจับงาน D	1.510	0.496	0.232	0.596	0.176	0.369
เครื่องจับงาน E	0.294	0.496	0.378	0.596	0.444	0.369
เครื่องจับงาน F	0.050	0.408	0.378	0.082	0.268	0.812

ตารางที่ 38 สรุปผลการประเมินปัจจัยทางเลือกกับค่าน้ำหนักของปัจจัยหลัก

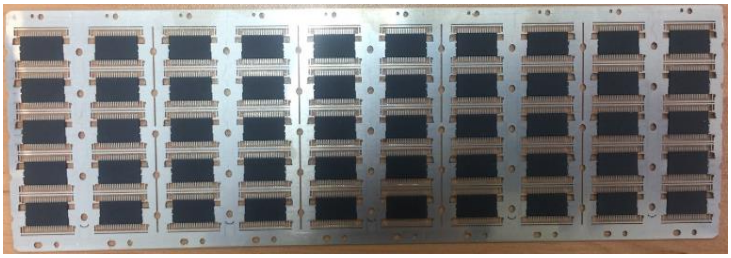
รายละเอียด	ค่าระดับความสำคัญ						ผลรวมค่าถ่วงน้ำหนัก	ลำดับ
	ประสิทธิภาพ	ค่าซ่อมบำรุง	กำลังการผลิต	อายุ	ปริมาณของเสีย	ราคาเครื่องจักร		
	0.161	0.063	0.268	0.033	0.398	0.077		
เครื่องจับงาน A	1.410	0.250	1.430	1.345	1.530	0.048	1.284	1
เครื่องจับงาน B	0.576	0.375	1.430	1.345	1.530	0.148	1.165	2
เครื่องจับงาน C	0.077	0.423	0.059	0.082	0.034	2.155	0.236	6
เครื่องจับงาน D	1.510	0.496	0.232	0.596	0.176	0.369	0.454	3
เครื่องจับงาน E	0.294	0.496	0.378	0.596	0.444	0.369	0.405	4
เครื่องจับงาน F	0.050	0.408	0.378	0.082	0.268	0.812	0.307	5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากผลการจัดลำดับความสำคัญของเครื่องจักร ในโรงงานกรณีศึกษา ผู้วิจัยและทีมผู้บริหารได้ประชุมร่วมกันเพื่อสรุปผลการประเมินปัจจัยหลักและปัจจัยทางเลือกแสดงในตารางที่ 38 พบว่าอันดับหนึ่งคือกลุ่มเครื่องจับงาน A มีระดับคะแนน 1.284 และอันดับสุดท้ายคือเครื่องจับงาน F มีระดับคะแนน 0.307 ดังนั้นทีมผู้บริหารตัดสินใจปรับปรุงกระบวนการทดสอบโดยเลือกใช้แครื่องจับงาน A ในการทดสอบ Product A เนื่องจากเครื่องจับงาน A มีลักษณะการจับงานแนวนอน แสดงดังรูปที่ 55 เป็นการเปลี่ยนทิศทางในการไหลของงานเข้าเครื่องจับงานจากการไหลของชิ้นงานแนวตั้งแสดงดังรูปที่ 56 เป็นชิ้นงานไหลแบบเป็น in strip ในทิศทางแนวนอน ซึ่งช่วยลดโอกาสในการขางาขอของชิ้นงานซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการทดสอบผิดพลาดเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) เป็นไปตามวัตถุประจับสงค์หลักคือเพื่อลดอัตราการเกิดความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) นอกจากนั้นยังให้กำลังการผลิตที่มากขึ้น หลังจากเลือกเครื่องจักรที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงาน ได้มีการกำหนดความรับผิดชอบโดยมีการออกแบบบอร์ดสำหรับการทดสอบใหม่ เขียนโปรแกรมสำหรับการทดสอบใหม่ และเมื่อมีการย้ายเครื่องจักรใหม่จำเป็นต้องมีการทดลองเพื่อปรับตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องจักร ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในบทต่อไป



รูปที่ 54 ชิ้นงานแบบเป็นตัว ก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 55 ชิ้นงานแบบเป็น in strip หลังการปรับปรุง

รูปที่ 56 กระบวนการทดสอบแผงวงจรรวมก่อนการปรับปรุง

รูปที่ 57 กระบวนการทดสอบแผงวงจรรวมด้วยเครื่องจักรที่ถูกคัดเลือกหลังการปรับปรุง

บทที่ 4

ผลการดำเนินการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการให้คะแนนในแต่ละปัจจัยหลัก และทางเลือกกลุ่มเครื่องจักร โดยการตอบแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญ 6 ท่าน ซึ่งมีความรู้และความชำนาญในการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา และในบทที่ 4 จะกล่างถึงการทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อลด % ของเสียที่การเกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) โดยการออกแบบการทดลอง Design of Experiment (DOE) เมื่อได้ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแล้ว ใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า ในบทนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ % ของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) อยู่ที่มาตราฐานที่โรงงานกำหนด

4.1 การกำหนดปัจจัยนำเข้า

ปัจจัยนำเข้าจะพิจารณาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจับงานและการตั้งค่าเข็มการทดสอบ (contact pin) โดยตรงมีทั้งหมด 3 ปัจจัย โดยสัญลักษณ์แทนปัจจัย ประเภทของข้อมูล และระดับที่ทำการทดลองจะแสดงในตารางที่ 39 โดยหลักการในการกำหนดระดับของแต่ละปัจจัยมีดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. ชนิดของเข็มทดสอบ ทางผู้วิจัยเลือกเข็มทดสอบมา 3 ชนิด
2. ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ (Z-high overdrive) ทางผู้วิจัยกำหนดความสูงที่ใช้ในการทำการทดลองเท่ากับ 50 ถึง 100 ไมโครเมตร เนื่องจากน้อยกว่า 50 ไมโครเมตรจะทำให้เข็มทดสอบไม่ถึงขางาน ส่วนความสูง 100 ไมโครเมตรเป็นค่าสูงสุดตามมาตรฐานที่ให้สามารถใช้ได้ในโรงงาน เนื่องจากถ้ามากกว่านี้จะเกิดปัญหา probe deep ส่งผลต่อความเสียหายของขางาน
3. จำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ (pin online cleaning) ทางผู้วิจัยกำหนดจำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบเท่ากับ 175 ถึง 375 (touchdown/time) เนื่องจากถ้าน้อยกว่า 175 (touchdown/time) จะส่งผลให้ pin สึกและเสื่อมสภาพไว อีกทั้งยังส่งผลต่อ processing time ในการกระบวนการที่ยาวขึ้นเนื่องจากความถี่ในการทำความสะอาดเข็มทดสอบสูง ส่วนค่า 375 (touchdown/time) จะทำให้เข็มทดสอบมีคราบ

สกปรกมากส่งผลต่อการเกิดความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าในการทดสอบการเปิดวงจร

ตารางที่ 39 ปัจจัยที่ใช้ในการตั้งค่าเครื่องจักรจะนำมาทดสอบสมมติฐานที่ส่งผลต่อการเกิดความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test)

ลำดับ	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ประเภทของข้อมูล	ระดับที่ทำการทดลอง		
				ต่ำ	ปานกลาง	สูง
1	ชนิดของเข็มทดสอบ (ระดับ)	A	Variable data ปรเภท Discrete	1	2	3
2	Z-high overdrive (um)	B	Variable data ปรเภท Continuous	50	75	100
3	pin online cleaning (touchdown/time)	C	Variable data ปรเภท Continuous	175	275	375

- ตัวแปรตอบสนอง

ตัวแปรตอบสนองของงานวิจัยนี้ คือความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าในการทดสอบการเปิดของวงจร (fault contact open test) โดยจะใช้ในรูปแบบของ % ของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2 การออกแบบการทดลอง

ผู้วิจัยเลือกการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบ CCF แบบครึ่งหนึ่ง (Half Face Central Composite Design: CCF) ในการออกแบบการทดลองเนื่องด้วยเหตุผล คือการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบครึ่ง วัตถุประสงค์คือเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการได้แม่นยำ ส่วนประกอบของการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางแบบ Faced Central Composite Design: CCF แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ (Montgomery, 2009)

- ส่วนการทดลองแฟกทอเรียล (Factorial Runs) จะมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 2^k การทดลอง หรือการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับจะมีการทดลองเท่ากับ 2^k การทดลอง โดยที่ k คือจำนวนปัจจัย หน่วยจากการทดลองที่จุดศูนย์กลางที่ระดับ 0 ในงานวิจัยนี้ส่วนการทดลองแฟทอเรียลแบบครึ่งหนึ่งมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 2^3 = 8 การทดลอง
- ส่วนของจุดแกน (Axial Runs or Star Runs) จะมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 2k การทดลอง โดยมีระดับอยู่ที่ +/- α หน่วยจากการทดลองที่จุดศูนย์กลางที่ระดับ 0 ในงานวิจัยนี้ส่วนของจุดแกนมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 2x3 = 6 การทดลอง และกำหนด α เท่ากับ 1 เพื่อให้ระดับการทดลองมีเพียง 3 ระดับ
- ส่วนของจุดศูนย์กลาง (Center Runs) จะมีจำนวนการทดลองขึ้นอยู่กับค่า k หรือจำนวนปัจจัย โดยมีระดับอยู่ที่ 0 ในงานวิจัยนี้ส่วนของจุดศูนย์กลางมีจำนวนการทดลองเท่ากับ 6 จากการคำนวณข้างต้นพบว่าจำนวนการทดลองทั้งหมดจึงเท่ากับ 20 การทดลอง ประกอบด้วย 1. การทดลองแฟกทอเรียลมี 8 การทดลอง แบ่งเป็นระดับปัจจัยระดับสูง 4 การทดลอง และระดับปัจจัยระดับต่ำ 4 การทดลอง 2. การทดลองจุดแกนมี 6 การทดลอง และ 3. การทดลองจุดศูนย์กลางมี 6 การทดลอง (นภัสสวงค์ โอสถศิลป์, 2559)

ในการทำการทดลองนั้นลำดับการทดลองเป็นไปอย่างสุ่ม (Randomization) เพื่อกำจัดผลของตัวแปรรบกวนที่อาจจะปะปนกันกับผลของปัจจัยที่ต้องการศึกษา และเพื่อทำให้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาดและลำดับการทดลองไม่เกิดแนวโน้ม (No trend) ค่าความผิดพลาดจึงเปนอิสระต่อกัน (Independence) โดยรูปแสดงรายละเอียดการออกแบบการทดลองแสดงในรูปที่ 58 และตารางออกแบบการทดลอง (Design Metrix) แสดงในตารางที่ 40

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Central Composite Design

Design Summary

Factors:	3	Replicates:	1
Base runs:	20	Total runs:	20
Base blocks:	1	Total blocks:	1

α = 1

Two-level factorial: Full factorial

Point Types

Cube points:	8
Center points in cube:	6
Axial points:	6
Center points in axial:	0

รูปที่ 58 รายละเอียดการออกแบบการทดลอง

ตารางที่ 40 การออกแบบการทดลอง

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C
9	1	-1	1	-1	0	0
2	2	1	1	1	-1	-1
15	3	0	1	0	0	0
11	4	-1	1	0	-1	0
5	5	1	1	-1	-1	1
14	6	-1	1	0	0	1
20	7	0	1	0	0	0
3	8	1	1	-1	1	-1
8	9	1	1	1	1	1
7	10	1	1	-1	1	1
10	11	-1	1	1	0	0
18	12	0	1	0	0	0
17	13	0	1	0	0	0
1	14	1	1	-1	-1	-1
19	15	0	1	0	0	0
4	16	1	1	1	1	-1
13	17	-1	1	0	0	-1
12	18	-1	1	0	1	0
6	19	1	1	1	-1	1
16	20	0	1	0	0	0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อ สัญลักษณ์ -1 หมายถึง ระดับของปัจจัยที่มีระดับต่ำ (Low)

สัญลักษณ์ 0 หมายถึง จุดศูนย์กลางของปัจจัย (Center point)

สัญลักษณ์ 1 หมายถึง ระดับของปัจจัยที่มีระดับสูง (High)

4.3 วิธีการทดลอง

งานวิจัยจะทำการทดลองทั้งหมด 20 การทดลอง ทำการทดลองตามลำดับการทดลองที่ทำการสุ่มไว้โดยโปรแกรม Minitab คือทำการทดลองตามลำดับในช่อง “Run Order” โดยในแต่ละการทดลองจะมีการตั้งค่าระดับปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยแตกต่างกันตามการออกแบบพื้นผิวผลตอบแบบส่วนประสมกลางชนิด (Faced Central Composite Design) และในแต่ละการทดลองจะมีการเก็บผลการทดลองโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เตรียมชิ้นงาน 20 แผ่น คิดเป็นชิ้นงาน 3360 ตัว ที่จะทำการทดลอง
2. จากนั้นเข้าสู่การทดลอง โดยการนำงานเข้าเครื่องทดสอบตามปัจจัยและระดับที่กำหนดไว้ คือ ชนิดของเข็มทดสอบชนิดที่ 1 และทำการตั้งค่าความสูงของคานยก (Z-high over drive) และตั้งค่าจำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบตามที่กำหนด
3. โหลดโปรแกรมสำหรับการทดสอบ เมื่อการทดสอบเสร็จเรียบร้อยให้เก็บข้อมูลผลการทดสอบ
4. เมื่อเริ่มการทดลองครั้งต่อไปต้องทำการเปลี่ยนเข็มทดสอบใหม่ จากนั้นทำการทดลองจนครบ 20 การทดลอง

4.4 ผลการทดลอง

หลังจากทำการทดลองตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ ได้ผลการทดลองเป็น % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด (fault contact open test) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 41 ผลการทดลอง

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	%defect
9	1	-1	1	-1	0	0	2.53
2	2	1	1	1	-1	-1	1.67
15	3	0	1	0	0	0	1.46
11	4	-1	1	0	-1	0	2.95
5	5	1	1	-1	-1	1	4.17
14	6	-1	1	0	0	1	2.65
20	7	0	1	0	0	0	1.1

ผลการทดลอง (ต่อ)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B	C	%defect
3	8	1	1	-1	1	-1	0.3
8	9	1	1	1	1	1	2.53
7	10	1	1	-1	1	1	2.08
10	11	-1	1	1	0	0	1.34
18	12	0	1	0	0	0	1.67
17	13	0	1	0	0	0	1.96
1	14	1	1	-1	-1	-1	1.1
19	15	0	1	0	0	0	2.05
4	16	1	1	1	1	-1	0.15
13	17	-1	1	0	0	-1	0.6
12	18	-1	1	0	1	0	1.19
6	19	1	1	1	-1	1	3.72
16	20	0	1	0	0	0	2.2

4.5 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

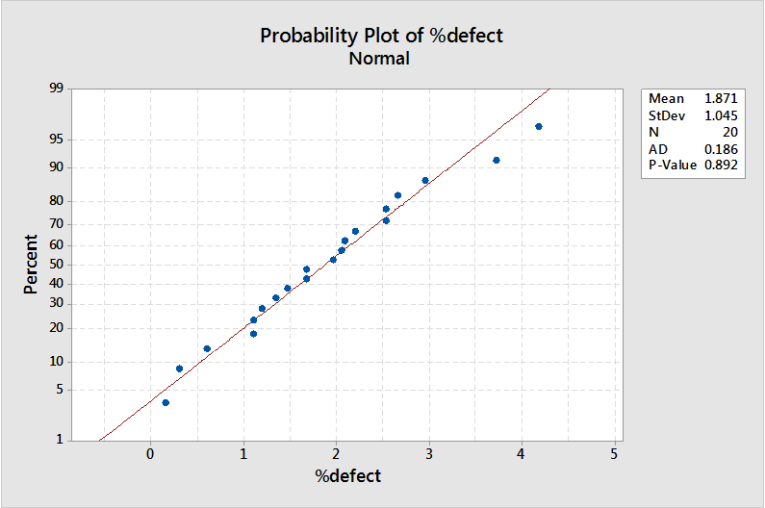
การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองในขั้นตอนนี้ จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อนการวิเคราะห์ผลการทดลอง จากนั้นหากข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดจึงจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญและใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไปนี้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองนั้น จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ซึ่งเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลก่อนนำมาวิเคราะห์ โดยตรวจสอบว่าข้อมูลมีรูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ

ε_{ij} ~ NID (0, σ^2) หรือไม่ ด้วยการทดสอบข้อกำหนดเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อนของการทดลองตามสมมติฐาน 3 ข้อ คือสมมติฐานของการแจกแจงปกติ สมมติฐานของความเป็นอิสระ และ สมมติฐานของความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ก่อนที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ และสรุปผลของการออกแบบการทดลอง ดังนี้ (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

- การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ (Normality Assumption)

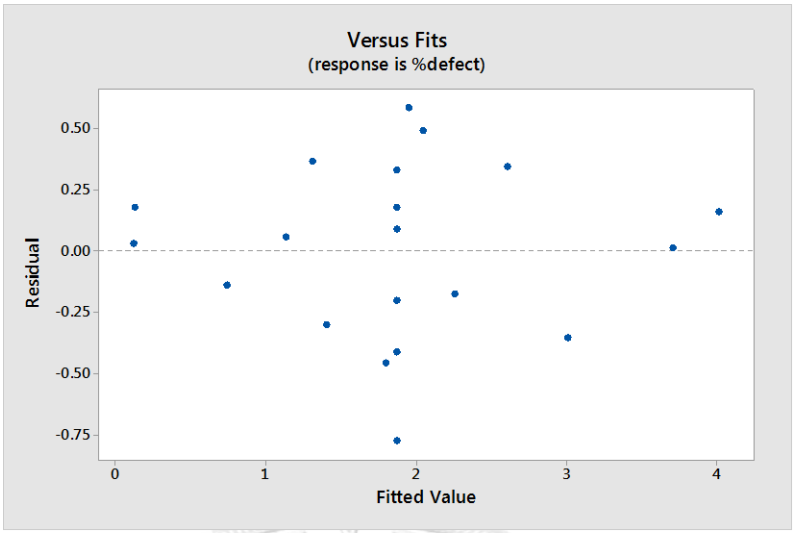


รูปที่ 59 กราฟความน่าจะเป็นของ % ของเสีย

การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติสามารถดูได้จากกราฟ Normal Probability Plot ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (Residual) ของค่าตัวแปรตอบสนองว่ามีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ หากพิจารณา Normal Probability Plot ควรมีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง และมีค่า P-value มากกว่า 0.05 จากการทดสอบค่าตัวแปรตอบสนองในที่นี้คือ % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด (fault contact open test) พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติคือมีลักษณะเป็นเส้นตรง และมีค่า P-value เท่ากับ 0.882 ซึ่งมากกว่า 0.05 ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานของการแจกแจงปกติ แสดงดังรูปที่ 59

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

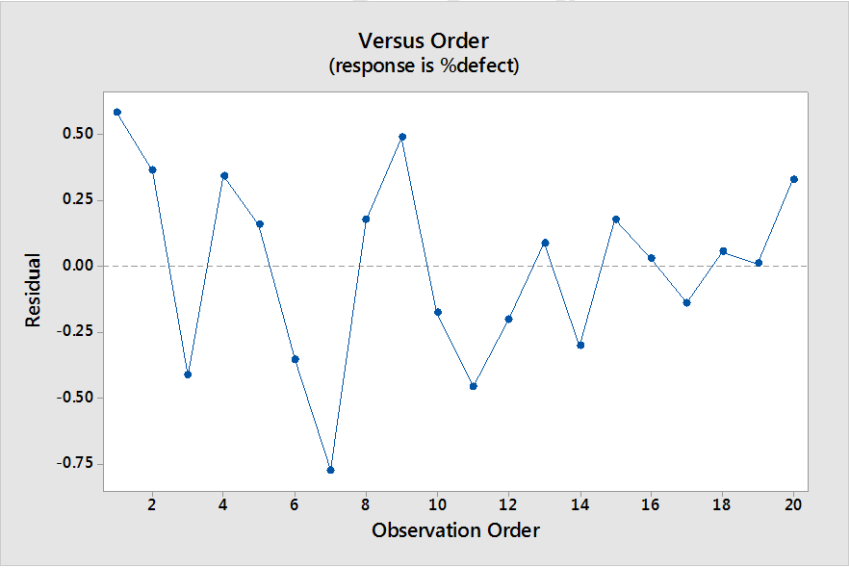
- การทดสอบสมมติฐานของค่าความแปรปรวนคงที่ (Variance Stability)



รูปที่ 60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต

การตรวจสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนนี้ สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต (Fitted value) ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีการกระจายตัวเป็นรูปแบบกรวยปากเปิด จากรูปที่ 60 จะเห็นว่าค่าส่วนตกค้าง ไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นรูปแบบกรวยปากเปิด จึงสรุปได้ว่าข้อมูลมีสเถียรภาพของค่าความแปรปรวน

- การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Residual)



รูปที่ 61 การฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของการเก็บข้อมูล

การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระของส่วนตกค้าง (Independence of Residual) สามารถตรวจสอบได้โดยการพิจารณาจากแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับของการเก็บข้อมูล (Observation Order) โดยการกระจายตัวของส่วนตกค้างควรมีรูปแบบที่เป็นอิสระต่อกัน ไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม หรือมีรูปแบบที่แน่นอน จากรูปที่ 61 แสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นอิสระไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังนั้นสรุปได้ว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแปรตอบสนอง สรุปได้ว่าข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลอง เป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ มีการกระจายตัวแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และมีความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน จึงเป็นไปตามเงื่อนไข ของการออกแบบการทดลอง ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นตอนต่อไป

4.5.2 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในตารางที่ 41 จะเห็นได้ว่า ทางผู้วิจัยได้นำข้อมูลในตารางที่ 41 ไปวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลกระทบต่อ %ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด (fault contact open test) ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ด้วยโปรแกรมมินิแทป (Minitab)

1. ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับตัวแปรตอบสนอง

เมื่อแบบจำลองถูกต้องตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อดังได้กล่าวมาข้างต้น จึงวิเคราะห์ผลการทดลองดังต่อไปนี้ การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์แบบเต็มรูปแบบ (Full Model) จะใช้โปรแกรมมินิแทปในการวิเคราะห์หาความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าต่อ % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด (fault contact open test) ที่ผ่านการแปลงข้อมูลระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 0.05 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงดังรูปที่ 62

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Response Surface Regression: %defect versus A, B, C

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	18.4544	3.0757	17.30	0.000
Linear	3	18.3131	6.1044	34.34	0.000
A	1	0.0593	0.0593	0.33	0.573
B	1	5.4170	5.4170	30.47	0.000
C	1	12.8369	12.8369	72.21	0.000
2-Way Interaction	3	0.1413	0.0471	0.26	0.849
A*B	1	0.0041	0.0041	0.02	0.882
A*C	1	0.0220	0.0220	0.12	0.730
B*C	1	0.1152	0.1152	0.65	0.435
Error	13	2.3109	0.1778		
Lack-of-Fit	8	1.4619	0.1827	1.08	0.490
Pure Error	5	0.8490	0.1698		
Total	19	20.7654			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.421621	88.87%	83.73%	54.56%

Coded Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	1.8710	0.0943	19.85	0.000	
A	-0.077	0.133	-0.58	0.573	1.00
B	-0.736	0.133	-5.52	0.000	1.00
C	1.133	0.133	8.50	0.000	1.00
A*B	0.022	0.149	0.15	0.882	1.00
A*C	-0.052	0.149	-0.35	0.730	1.00
B*C	-0.120	0.149	-0.81	0.435	1.00

Regression Equation in Uncoded Units

%defect = 1.8710 - 0.077 A - 0.736 B + 1.133 C + 0.022 A*B - 0.052 A*C - 0.120 B*C

รูปที่ 62 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้ากับตัวแปรตอบสนอง % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาดแบบสมการความสัมพันธ์เต็มรูป

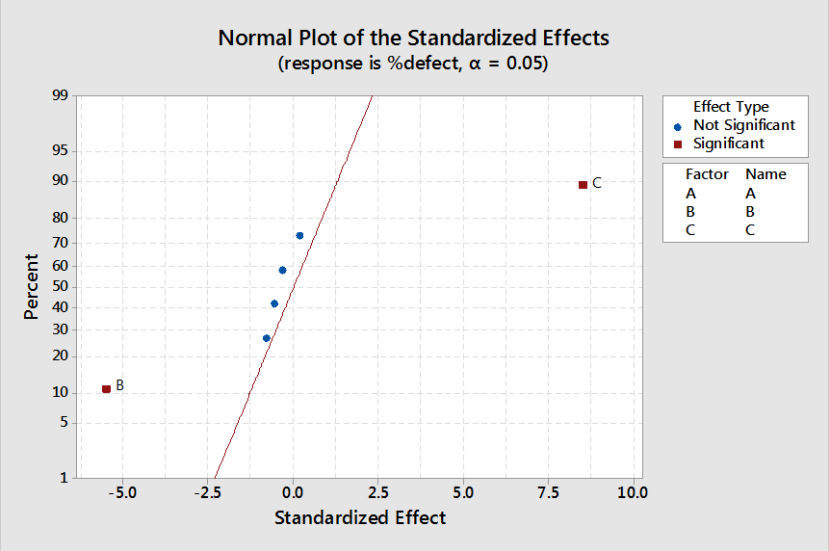
การวิเคราะห์ผลการออบแบบการทดลองเบื้องต้นจากโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาเทอมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลต่อ % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด (fault contact open test) พบว่าที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งก็คือปัจจัยที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญได้แก่ B, C และสมการถดถอยมีค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ และค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจที่ปรับแล้ว 88.87% และ 83.73% ตามลำดับ

โดยที่ A คือ ชนิดของเข็มทดสอบ

B คือ ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ (Z-high overdrive)

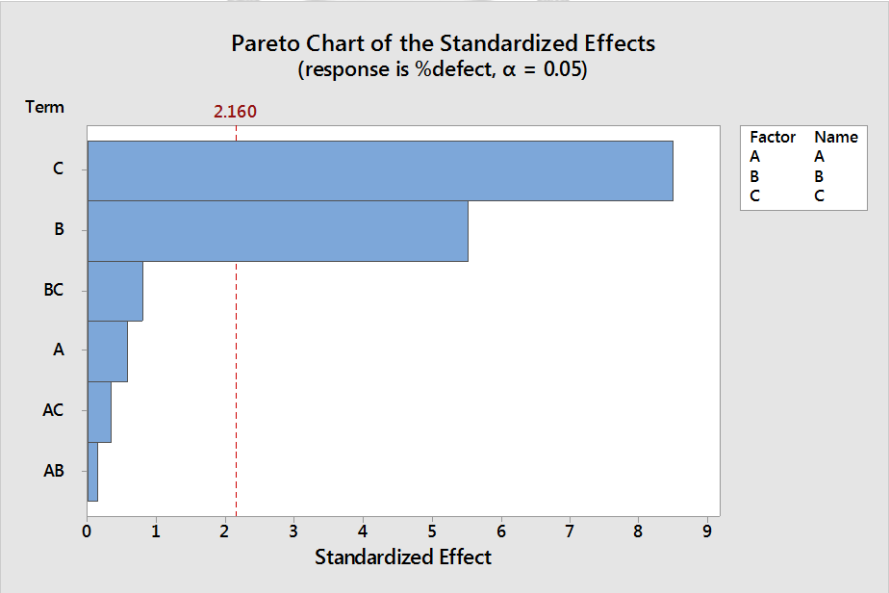
C คือ จำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ (pin online cleaning)

ซึ่งโปรแกรม Minitab สามารถแสดงผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญออกมาในรูปแบบของกราฟ Normal Plot และแผนภูมิพาเรโต ดังรูปที่ 63 และ 64



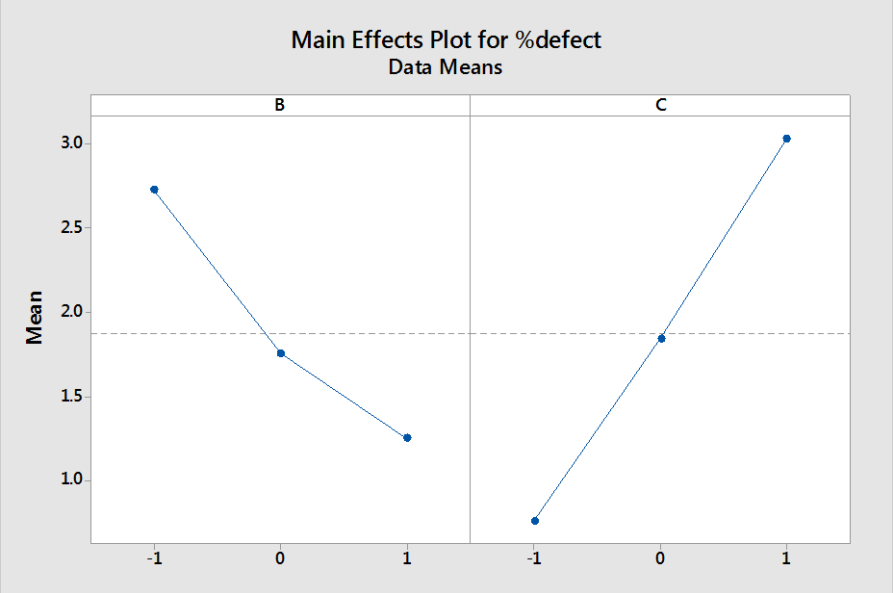
รูปที่ 63 กราฟ Normal Plot ของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

นอกจากนี้การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นด้วยโปรแกรม Minitab ยังสามารถแสดงแผนภาพผลการออกแบบการทดลองของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองและผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง หรือ % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด (fault contact open test) ดังรูปที่ 64



รูปที่ 64 แผนภูมิพาเรโตของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

จากผลของปัจจัยหลักของความสูงของคานยกเข็มทดสอบพบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราของเสียที่ค่าความสูงของคานยกเข็มทดสอบที่ระดับสูงมีค่าเท่ากับ 1.25% และค่าเฉลี่ยของอัตราของเสียค่าความสูงของคานยกเข็มทดสอบที่ระดับต่ำมีค่าเท่ากับ 2.722% ทำให้คำนวณค่าผลกระทบหลักของค่าความสูงของคานยกเข็มทดสอบได้เป็น 1.25 – 2.722 = -1.472% ซึ่งหมายความว่า เมื่อความสูงของคานยกเข็มทดสอบเปลี่ยนแปลงจากระดับต่ำไประดับสูง จะทำให้อัตราของเสียเปลี่ยนแปลงลดลง 1.472% ในส่วนของผลกระทบหลักของจำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบพบว่าค่าเฉลี่ยของอัตราของเสียที่ค่าจำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบที่ระดับสูงทีค่าเท่ากับ 3.03% และค่าเฉลี่ยของอัตราของเสียที่ค่าจำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบที่ระดับต่ำมีค่าเท่ากับ 0.764% ทำให้คำนวณค่าผลกระทบหลักของค่าความสูงของคานยกเข็มทดสอบได้เป็น 3.03 – 0.764 = 2.266% ซึ่งหมายความว่า เมื่อความสูงของคานยกเข็มทดสอบเปลี่ยนแปลง จากระดับต่ำไประดับสูง จะทำให้อัตราของเสียเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 2.266%



รูปที่ 65 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองคือ %ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด

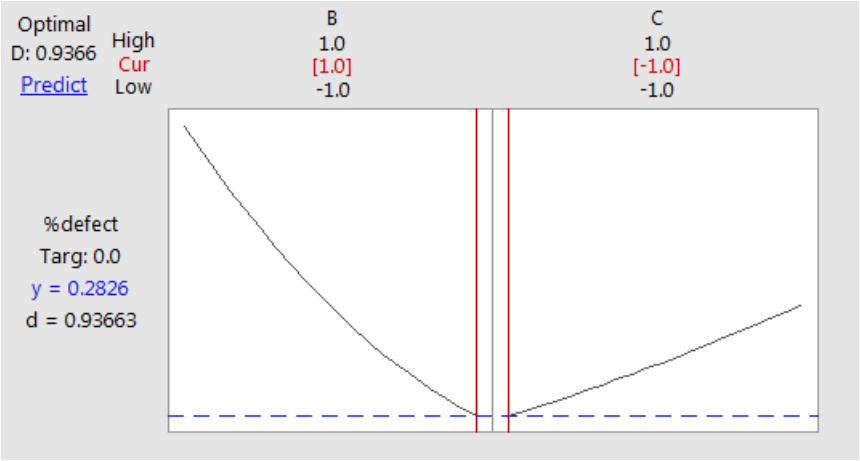
ตารางที่ 42 ปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

เทอม	ตัวแปรตอบสนอง % ของเสีย
A	
B	✓
C	✓
AB	
AC	
BC	

4.5.3 การหาค่าระดับที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยนำเข้า (Response Optimization) โดยใช้โปรแกรม Minitab

เมื่อได้ผลการทดลองปัจจัยนำเข้าที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทั้ง 2 ปัจจัยได้แก่ ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ และจำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ ทางผู้วิจัยเลือกใช้ ชนิดของเข็มทดสอบ ชนิดที่ราคาถูกและอายุการใช้งานสูงที่สุด เพื่อทำการทดลองอีกครั้งในการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้ง 2 ปัจจัยโดย ใช้โปรแกรมมินิแทปในฟังก์ชัน Response Optimizer โดยผู้วิจัยกำหนดเป้าหมาย (target) เท่ากับ 0.0 % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด (% fault contact open test) ซึ่ง % ของเสียก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 2.24% และผู้วิจัยมีจุดประสงค์ที่ต้องการหาค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่ % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาดน้อยที่สุด ผลการวิเคราะห์ที่ได้จาก การทำ Response Optimizer ในโปรแกรมมินิแทปแสดงดังรูปที่ 4.9 ซึ่งปัจจัย B ความสูงของคานยกเข็มทดสอบได้ค่าเท่ากับ 100 ไมโครเมตร และ ปัจจัย C จำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ ไม่สามารถปรับเป็นทศนิยมได้ จึงปรับเป็นจำนวนเต็มได้ค่าเท่ากับ 175 touchdowns/time

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 66 ค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าทั้ง 2 ปัจจัยที่ทำให้ % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาดมีค่าน้อยที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer คำนวณ

ตารางที่ 43 ค่าระดับปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยที่ทำให้ % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาดมีค่าน้อยที่สุด

ปัจจัย	ค่าระดับปัจจัย	
	นำไปใช้จริงแบบรหัส (Code)	นำไปใช้จริงแบบค่าจริง (Uncode)
ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ	1	100
จำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ	-1	175

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.6 สรุปผลขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ

เมื่อได้ผลการทดลองแล้วจึงนำมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง โดยทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) เมื่อพบว่าข้อมูลเป็นไปตามสมมติฐานทั้ง 3 ข้อ จึงได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นตอนต่อไป

ผลจากการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองเบื้องต้น พบว่าที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญเพื่อนำไปปรับปรุงหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม คือ B ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ (Z-high overdrive), C จำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ (pin online cleaning) แต่ปัจจัย A คือชนิดของเข็มทดสอบ (contact pin type) จากผลการทดลองพบว่าปัจจัย A ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองดังนั้นจึง เลือกใช้ ชนิดที่ 2 ที่อายุการใช้งาน

ยาวสุด และราคาอยู่ในระดับกลาง จากนั้นนำปัจจัย B และ C ไปวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด (fault contact open test) มีค่าน้อยที่สุด โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab ได้ผลการทดลองคือ ค่า B ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ (Z-high overdrive) เท่ากับ 100 ไมโครเมตร และค่า C จำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ (pin online cleaning) เท่ากับ 175 touchdowns/time ผลจากการวิเคราะห์หาระดับของปัจจัยที่หมาะสมที่สุดด้วยฟังก์ชัน (Response Optimization) ของโปรแกรม Minitab พบว่าได้ค่าทำนายของ % ของเสียเกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด (y) มีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 0.2826%

ขั้นตอนต่อไปคือผู้วิจัยจะนำค่าระดับปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยดังกล่าวไปปรับตั้งระดับของผลิตภัณฑ์ A ในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองซึ่งรายละเอียดจะกล่าวไว้ในบทที่ 5 การทดลองเพื่อยืนยันผล และควบคุมผล

ตารางที่ 44 ผลการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรตอบสนอง % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาดเมื่อปรับปรุงกระบวนการด้วยการตั้งค่าที่เหมาะสมกับเครื่องจับงานที่ใช้ในการทดสอบแผงวงจรรวม

ขั้นตอนการปรับปรุง	**% ของเสีย**
ก่อนปรับปรุง	2.24
แนวทางทำการทดลองเพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัย (ค่าทำนาย)	0.2826

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5

การทดลองเพื่อยืนยันผล และควบคุมผล

หลังจากได้ค่าระดับปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยที่ทำให้อัตราของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) มีค่าน้อยที่สุดจากบทก่อนหน้านี้ ในบทการทดลองเพื่อยืนยันผล และควบคุมผลทางผู้วิจัยจะทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลเป็นจำนวน 100 lots โดยปรับค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญตามค่าที่ได้กำหนดไว้ เพื่อตรวจสอบว่าสัดส่วนของเสียเป็นไปตามผลการทดลองหรือไม่ จากนั้นจัดทำแผนควบคุม (Control Plan) แผนภูมิควบคุมที่เหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลที่มีอยู่ หลังจากการทดลองเพื่อยืนยันผลได้ทำการปรับปรุงกระบวนการในกระบวนการทดสอบแผงวงจรรวมและเก็บข้อมูล 4 เดือนหลังจากการปรับปรุง และทำเป็นมาตรฐานเพื่อรักษามาตรฐานหลังจากที่ได้ดำเนินการปรับปรุง และป้องกันไม่ให้ปัญหาต่างๆ เกิดขึ้นซ้ำซาก รวมทั้งทำการประเมินและสรุปผลการปรับปรุงด้วย สรุปและวิจารณ์ผลในการปรับปรุงกระบวนการ วิเคราะห์มูลค่าของเสียก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ และนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับกระบวนก่อนทำการปรับปรุง

5.1 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

การทดลองเพื่อยืนยันผลสรุปของค่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งหมด 3 ปัจจัย โดยศึกษาปริมาณสัดส่วนของเสีย หลังจากปรับค่าปัจจัยนำเข้าตามค่าที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ โดยนำค่าปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยซึ่งได้แก่ ชนิดของเข็มทดสอบ ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ และจำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ ที่ทำให้ % ของเสียที่การเกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) มีค่าน้อยที่สุดมาตั้งค่าเครื่องจับงาน (Handler) แผงวงจรรวมผลิตภัณฑ์ A ในการทดสอบทางไฟฟ้าเพื่อยืนยันผลการปรับปรุง

5.1.1 ขั้นตอนในการทดลองเพื่อยืนยันผล

ทำการเตรียมการทดลองโดยการเตรียมเครื่องมือและเครื่องจักรที่ในให้พร้อม รวมทั้งทำการอบรมพนักงานที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ให้เข้าใจถึงการตั้งค่าพารามิเตอร์ วิธีการทำงาน รวมถึงการใช้เครื่องมือต่างๆ ในการทดลองให้ถูกต้องกับระดับที่ต้องการ รวมทั้งวิธีการเก็บข้อมูล โดยทำการทดลองกับผลิตภัณฑ์ A เป็นเวลา 1 เดือน มีรายละเอียดการทดลองดังนี้

1. ตั้งค่าระดับปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยของเครื่องจับงาน (Handler) ตามระดับที่ได้จากการหาระดับที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ % ของเสียที่การเกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งระดับปัจจัยแสดงในตารางที่ 45

ตารางที่ 45 ระดับของปัจจัยนำเข้าที่เหมาะสมทั้ง 3 ปัจจัยเพื่อใช้ในการทดสอบยืนยันผล

สัญลักษณ์ของปัจจัย	ปัจจัย	ระดับที่เหมาะสม	หน่วย
A	ชนิดของเข็มทดสอบ	ชนิดที่ 2	-
B	ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ	100	um
C	จำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ	175	Touchdown/time

2. ติดตั้งบอร์ดสำหรับการทดสอบ เข็มการทดสอบ และประกอบเครื่องทดสอบ (Tester) กับเครื่องจับงาน (Handler) จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ A เข้าเครื่องจับงานเพื่อเริ่มการทดสอบชิ้นงาน

3. จากนั้นโหลดโปรแกรมสำหรับการทดสอบ และกดปุ่มเริ่มการทดสอบที่เครื่องจักร เมื่อการทดสอบเสร็จเรียบร้อยให้เก็บข้อมูลผลการทดสอบ (test summary) และบันทึกผลจำนวนงานที่ไม่ผ่านการทดสอบเนื่องจากการเปิดของวงจร (contact open fail) ในแผ่นรายรายตรวจสอบ

5.2 ผลการปรับปรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2.1 การติดตามโดยใช้แผนภูมิควบคุม

ในการยืนยันผลนั้นจะทำการตรวจยืนยันโดยใช้แผนภูมิควบคุม ซึ่งในงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลจำนวนของเสีย (Defectives) หรือสัดส่วนของเสีย และในการกระบวนการทดสอบงานจะมาเป็นล็อท (Lot) จำนวนชิ้นงานแผงวงจรรวม (Integrated Circuits) มีขนาดตัวอย่างคงที่ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้แผนภูมิควบคุม np เป็นแผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลแบบหน่วยนับ (Attribute Control Chart) ใช้สำหรับควบคุมจำนวนของเสีย (D) ซึ่งสามารถสื่อความหมายกับผู้ปฏิบัติงานได้ง่าย แผนภูมิ np แสดงดังรูปที่ 67

การคำนวณขีดจำกัดควบคุม

$$\text{UCL} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$
$$\text{CL} \quad = n\bar{p}$$
$$\text{LCL} = n\bar{p} \ - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองยืนยันผลโดยเก็บข้อมูลจำนวน 100 lots โดยแต่ละล็อทมีจำนวนชิ้นงานเท่ากัน คือ 3360 ชิ้นงานโดยข้อมูลในการสร้างแผนภูมิควบคุม np เพื่อควบคุมจำนวนชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการทดสอบ ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 46

ตารางที่ 46 จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบผิดพลาดเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test)

Sample No. i	Sample Size ni	No. of Nonconforming Units Di	Sample Fraction Nonconforming pi = Di/ni
1	3360	0	0.000000
2	3360	0	0.000000
3	3360	0	0.000000
4	3360	0	0.000000
5	3360	0	0.000000
6	3360	0	0.000000
7	3360	0	0.000000
8	3360	0	0.000000
9	3360	1	0.000298
10	3360	0	0.000000
11	3360	0	0.000000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Sample No. i	Sample Size ni	No. of Nonconforming Units Di	Sample Fraction Nonconforming pi = Di/ni
12	3360	0	0.000000
13	3360	1	0.000298
14	3360	0	0.000000
15	3360	0	0.000000
16	3360	0	0.000000
17	3360	0	0.000000
18	3360	0	0.000000
19	3360	0	0.000000
20	3360	0	0.000000
21	3360	0	0.000000
22	3360	0	0.000000
23	3360	0	0.000000
24	3360	0	0.000000
25	3360	0	0.000000
26	3360	0	0.000000
27	3360	0	0.000000
28	3360	0	0.000000
29	3360	1	0.000298
30	3360	2	0.000595
31	3360	0	0.000000
32	3360	0	0.000000
33	3360	0	0.000000
34	3360	0	0.000000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Sample No. i	Sample Size ni	No. of Nonconforming Units Di	Sample Fraction Nonconforming pi = Di/ni
35	3360	0	0.000000
36	3360	0	0.000000
37	3360	0	0.000000
38	3360	0	0.000000
39	3360	0	0.000000
40	3360	0	0.000000
41	3360	0	0.000000
42	3360	0	0.000000
43	3360	0	0.000000
44	3360	0	0.000000
45	3360	0	0.000000
46	3360	0	0.000000
47	3360	0	0.000000
48	3360	1	0.000298
49	3360	1	0.000298
50	3360	0	0.000000
51	3360	0	0.000000
52	3360	0	0.000000
53	3360	1	0.000298
54	3360	1	0.000298
55	3360	1	0.000298
56	3360	1	0.000298
57	3360	0	0.000000

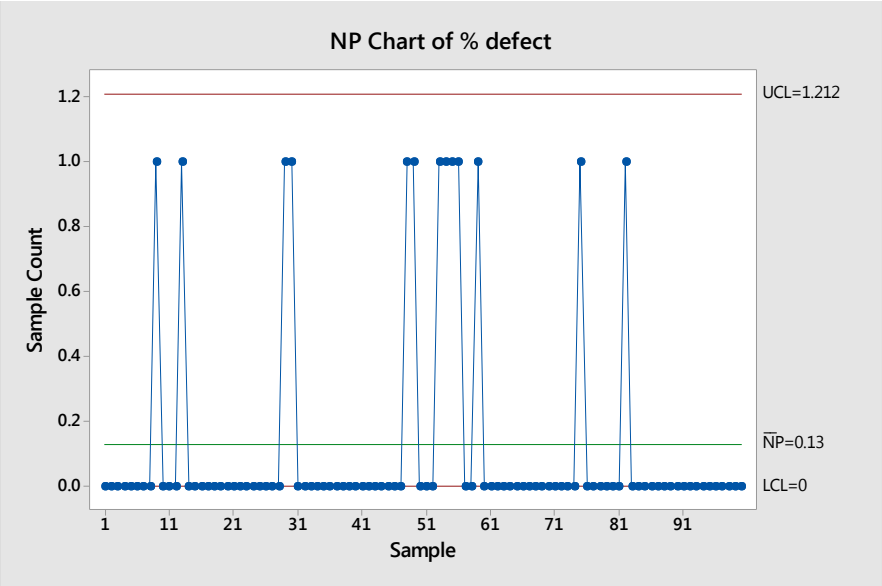
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Sample No. i	Sample Size ni	No. of Nonconforming Units Di	Sample Fraction Nonconforming pi = Di/ni
58	3360	0	0.000000
59	3360	1	0.000298
60	3360	0	0.000000
61	3360	0	0.000000
62	3360	0	0.000000
63	3360	0	0.000000
64	3360	0	0.000000
65	3360	0	0.000000
66	3360	0	0.000000
67	3360	0	0.000000
68	3360	0	0.000000
69	3360	0	0.000000
70	3360	0	0.000000
71	3360	0	0.000000
72	3360	0	0.000000
73	3360	0	0.000000
74	3360	0	0.000000
75	3360	1	0.000298
76	3360	0	0.000000
77	3360	0	0.000000
78	3360	0	0.000000
79	3360	0	0.000000
80	3360	0	0.000000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Sample No. i	Sample Size ni	No. of Nonconforming Units Di	Sample Fraction Nonconforming pi = Di/ni
81	3360	0	0.000000
82	3360	1	0.000298
83	3360	0	0.000000
84	3360	0	0.000000
85	3360	0	0.000000
86	3360	0	0.000000
87	3360	0	0.000000
88	3360	0	0.000000
89	3360	0	0.000000
90	3360	0	0.000000
91	3360	0	0.000000
92	3360	0	0.000000
93	3360	0	0.000000
94	3360	0	0.000000
95	3360	0	0.000000
96	3360	0	0.000000
97	3360	0	0.000000
98	3360	0	0.000000
99	3360	0	0.000000
100	3360	0	0.000000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

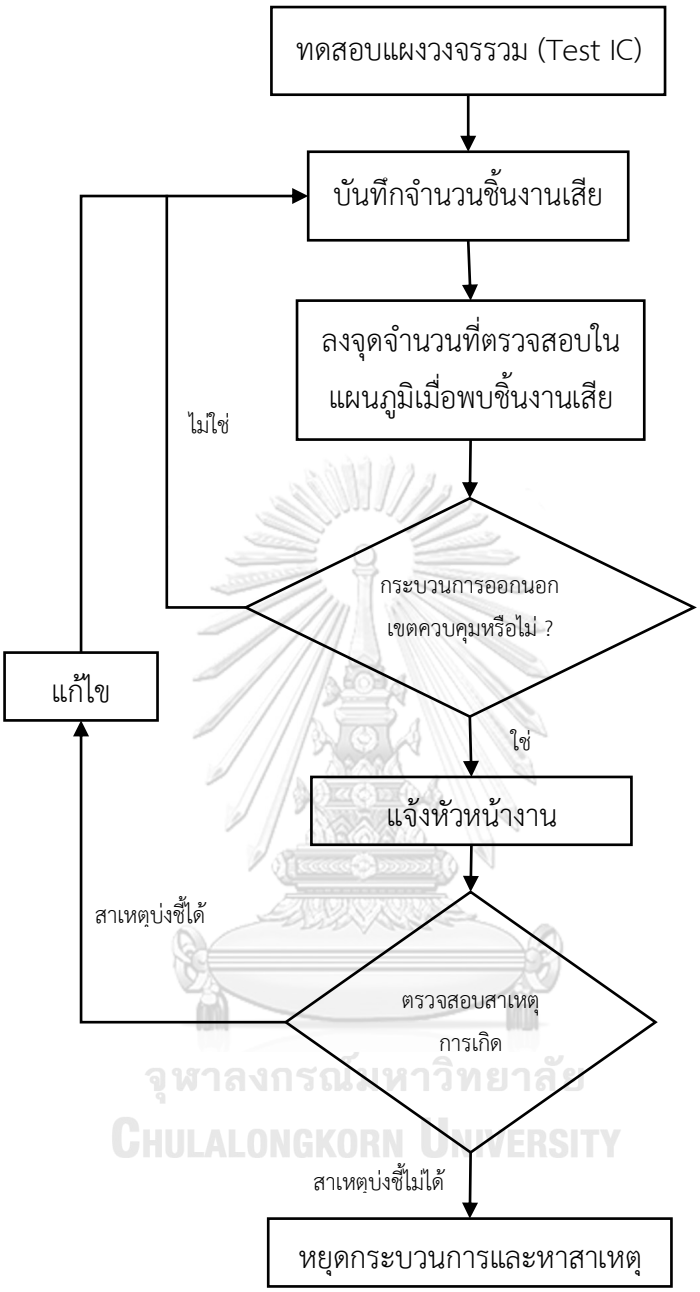


รูปที่ 67 แผนภูมิ np ควบคุมจำนวนชิ้นงานจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด

จากการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดสอบโดยสุ่มจำนวนงานมาทั้งหมด 100 lots เพื่อสร้างแผนภูมิควบคุม np โดย มีขอบเขตควบคุมเป็น LCL = 0 , CL = 0.13, UCL = 1.212 จากการพิจารณาแผนภูมิแสดงให้เห็นว่าไม่มีจุดใดๆ ออกนอก LCL, UCL ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากระบวนการได้ถูกปรับปรุงให้ดีขึ้นนั่นเอง

หากทำการพิจารณาข้อมูลเป็นสัดส่วนของเสีย พบว่า % ของเสียในการทดสอบยืนยันมีค่าเท่ากับ 0.0036 ซึ่งมีค่าตามเป้าหมายคือน้อยกว่า 0.0056 ดังนั้นจึงกำหนดให้นำค่าของปัจจัยทั้ง 3 ตามระดับที่ได้จากการทดลองไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง เพื่อทำให้สามารถลด % ของเสียที่เกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) ได้ตามเป้าหมาย และเมื่อทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากข้อมูลการทดสอบยืนยันผลนี้ พบ % ของเสีย 0.0036% นั้นคิดเป็นจำนวนของเสีย 36 ตัวในหนึ่งล้านตัว (Part per Million) หรือ 36 PPM

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 68 ขั้นตอนการบันทึกข้อมูลและการปฏิบัติการเมื่อพบจุดออกนอกเขตควบคุม

5.2.2 % ของเสียหลังการปรับปรุง

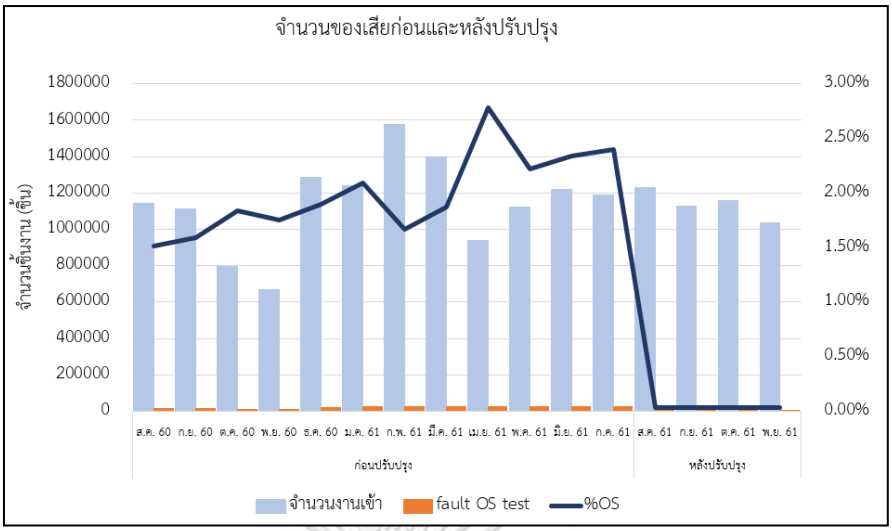
ก่อนปรับปรุงกระบวนการพบว่ามี % ของเสียโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 2.24% หรือ 22,400 ตัวในหนึ่งล้านตัว คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียรวมอยู่ที่ประมาณ 1.3 ล้านบาทต่อปี หลังจากการทดลองเพื่อยืนยันผลได้ทำการปรับปรุงกระบวนการในกระบวนการทดสอบแผงวงจรรวมและเก็บข้อมูล 4 เดือน

หลังจากการปรับปรุงกระบวนการพบว่า % ของเสียหลังการปรับปรุงโดยเฉลี่ยอยู่ 0.0045% หรือ 45 ตัวในหนึ่งล้านตัว ดังแสดงในตารางที่ 47

ตารางที่ 47 จำนวนชิ้นงานเสียก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

	เดือน	จำนวนงานเข้า	จำนวนชิ้นงานเสีย	สัดส่วนของเสีย	มูลค่าความสูญเสีย (บาท)
ก่อนปรับปรุง	ส.ค. 60	1141774	17264	1.5120%	85,284.42
	ก.ย. 60	1110579	17680	1.5920%	87,340.69
	ต.ค. 60	793324	14600	1.8404%	72,125.80
	พ.ย. 60	665969	11692	1.7557%	57,759.69
	ธ.ค. 60	1285933	24392	1.8968%	120,494.42
	ม.ค. 61	1239006	25950	2.0944%	128,193.12
	ก.พ. 61	1578532	26244	1.6626%	129,647.37
	มี.ค. 61	1400237	26253	1.8749%	129,688.44
	เม.ย. 61	940048	26150	2.7817%	129,179.00
	พ.ค. 61	1124477	24979	2.2214%	123,396.24
	มิ.ย. 61	1217668	28483	2.3391%	140,705.62
	ก.ค. 61	1187200.17	28465	2.3976%	140,614.66
หลังปรับปรุง	ส.ค. 61	1231088	50	0.0041%	247.00
	ก.ย. 61	1129882	51	0.0045%	251.94
	ต.ค. 61	1157136	49	0.0042%	242.06
	พ.ย. 61	1038182	52	0.0050%	256.88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 69 เปรียบเทียบจำนวนชิ้นงานเสียก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการทดสอบแผงวงจรรวมของผลิตภัณฑ์ A

ตารางที่ 48 เปรียบเทียบสัดส่วนชิ้นงานเสียก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

ระยะ	% ของเสีย	แม่แบบของเสียในหนึ่งล้านตัว (PPM)
ก่อนปรับปรุง	2.24	22,400
การทดลองเพื่อหาค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัย (ค่าทำนาย)	0.28	2800
ควบคุมกระบวนการผลิต	0.0045	45

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 48 พบว่าหลังปรับปรุง % ของเสียที่การเกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) เท่ากับ 2.24% คิดเป็น 22,400 ตัวในชิ้นงานหนึ่งล้านตัว ในกระบวนการควบคุมกระบวนการผลิตพบว่ามี % ชิ้นงานเสียเท่ากับ 0.0045% คิดเป็น 45 ตัวในชิ้นงานหนึ่งล้านตัว ดังนั้นผู้วิจัยจึงสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการหลังการปรับปรุงมีสัดส่วนของเสียน้อยกว่าก่อนปรับปรุง

5.2.3 มูลค่าความสูญเสียหลังการปรับปรุง

ในการคิดมูลค่าความสูญเสียรวมที่เกิดขึ้นจากชิ้นงานที่การเกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) จะคำนวณจากต้นทุนของโดยราคาความสูญเสียต่อหน่วยที่ใช้ในการคำนวณนั้นมีราคาต่อหน่วย ดังนี้

1.ราคาวัตถุดิบ (die, mold, wire, package) ต่อหน่วยเท่ากับ 2.36 บาท/ชิ้น

2.ราคาการทดสอบที่เวเฟอร์ ต่อหน่วยเท่ากับ 0.45 บาท/ชิ้น

3.ราคาที่แผนก pre-assembly และ assembly ต่อหน่วยเท่ากับ 1.06 บาท/ชิ้น

4.ราคากระบวนการทดสอบวงจรรวมและการบรรจุภัณฑ์ ต่อหน่วยเท่ากับ1.07 บาท/ชิ้น

ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียรวมของชิ้นงานเสียหลังการปรับปรุง คำนวณจากสัดส่วนของเสียที่ลดได้เทียบกับสัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุง พบว่าสามารถลดชิ้นงานเสียเฉลี่ยได้ 22,629 ตัวต่อเดือน คิดเป็นมูลค่าของเสียที่ลดลงได้ 111,786 บาทต่อเดือน คิดเป็นมูลค่าของเสียรวมประมาณ 1.3 ล้านบาทต่อปี

5.3 การติดตามและควบคุมผล

หลังการปรับปรุงกระบวนการทดสอบแผงวงจรรวมของผลิตภัณฑ์ A และทำการทดลองเพื่อยืนยันผลแล้ว ทางผู้วิจัยจึงจัดทำแผนควบคุมและวิธีการปฏิบัติงานใหม่ของการตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อสร้างเป็นมาตรฐานในการตั้งค่าให้แก่พนักงานควบคุมเครื่องจักรต่อไป ซึ่งแผนควบคุมการตั้งค่าเครื่องจักรและวิธีการปฏิบัติงานใหม่ของการตั้งค่าเครื่องจักรในกระบวนการทดสอบแสดงดังตารางที่ 49

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 49 วิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการทดสอบแผงวงจรรวม

Work Instruction		Form: R	Date
เรื่อง	การปฏิบัติงานในกระบวนการทดสอบผลิตภัณฑ์ A	OID:600-0097	
ขั้นตอน	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	อุปกรณ์	รูปภาพประกอบ
1	ขั้นตอนการตรวจสอบงานก่อนนำเข้าเครื่องจักร - ตรวจสอบความถูกต้องของ lot งานกับ batch card	แผ่นตรวจสอบ	
2	ตรวจสอบเครื่องจักร - เปิดเครื่องจักร - PM due date - System Ground - เชคงานต้องไม่ค้างอยู่ในเครื่องจับงาน (Handler)	แผ่นตรวจสอบ	
3	การตั้งค่าเครื่องจักร		
3.1	ใส่บอร์ดสำหรับการทดสอบและเข็มทดสอบ	ไขควง	
3.2	ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ 100 um	ตั้งค่าที่เครื่องจับงาน	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิธีการปฏิบัติงานในกระบวนการทดสอบแผงวงจรรวม (ต่อ)

3.4	ชนิดของเข็มทดสอบ ชนิดที่ 2	ตั้งค่าที่เครื่องจับงาน	
3.5	อายุการใช้งานของเข็มทดสอบ สแกนชุดอุปกรณ์เข็มทดสอบก่อนทำการทดสอบเพื่อบันทึกข้อมูลการใช้งาน	สแกนบาร์โค้ด	VSVXUD024SS992000310 (Instrip-Contact Block : 143,789)
4	ขั้นตอนทดสอบงานและขั้นตอนเมื่อทดสอบงานเสร็จ โหลดโปรแกรมและนำงานเข้าเครื่องทดสอบ เมื่อเครื่องจักรทดสอบงานเสร็จให้ นับงานจริงที่ผ่านการทดสอบและงานเสียทั้งหมด จดบันทึกและ save ข้อมูลผลการทดสอบจากเครื่องทดสอบ เพื่อตรวจสอบข้อมูลต้องตรงกัน จากนั้นทำการเชคผลการตรวจสอบด้วยระบบปล่อยงาน lot ที่สามารถปล่อยได้ให้ส่งให้ QA ตรวจสอบผลการทดสอบอีกครั้ง สำหรับ lot ทีมีปัญหาให้ Hold รอวิศวกรตรวจสอบ		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุปและข้อเสนอแนะจะกล่าวถึงการดำเนินการปรับปรุงกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวมสำหรับผลิตภัฑณ์ A ของโรงงานกรณีศึกษาตั้งแต่เริ่มต้นดำเนินการปรับปรุงจนกระทั่งการปรับปรุงเสร็จสิ้น และกล่าวถึงข้อจำกัดและข้อเสนอแนะของงานวิจัย

6.1 บทสรุปงานวิจัย

การปรับปรุงกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าของแผงวงจรรวมสำหรับผลิตภัณฑ์ A ของโรงงานกรณีศึกษา พบ % ของเสียที่การเกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) มีค่าสูงโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 2.24% หรือ 22,400 ตัวในหนึ่งล้านตัว คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียรวมอยู่ที่ประมาณ 1.3 ล้านบาทต่อปี ดังนั้นมูลค่าความสูญเสียรวมในกระบวนการทดสอบแผงวงจรรวมทางไฟฟ้าสำหรับผลิตภัณฑ์ A ก่อนการปรับปรุงต่อ 1 เดือนจะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 112,035 บาท ทางโรงงานกรณีศึกษาจึงต้องการ % ของเสียที่การเกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) ที่เกิดจากกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าสำหรับผลิตภัณฑ์ A เพื่อเป็นการลดต้นทุนให้กับโรงงานกรณีศึกษาและเพิ่มศักยภาพทางการแข่งขันทางการตลาดให้มากยิ่งขึ้น

ทางผู้วิจัยและคณะทีมงานซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าสำหรับผลิตภัณฑ์ A จึงได้วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้เครื่องมือแผนผังสาเหตุและผลในการวิเคราะห์ (Cause and Effect diagram) พบว่าสาเหตุทั้งหมดจากแผนผังและมีผลมีค่าเท่ากับ 27 สาเหตุ ทางผู้วิจัยจึงจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อ % ของเสียที่การเกิดจากความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) โดยใช้ FMEA พบว่าปัจจัยที่มีคะแนนรวมมากอย่างชัดเจนมี 8 ปัจจัย ทางผู้วิจัยพิจารณาปัจจัยดังกล่าว พบว่าสาเหตุของข้อบกพร่องเป็นส่วนประกอบที่เกิดจากปัจจัยหลัก คือ เครื่องจับงาน (Handler) ใช้เข็มทดสอบ (contact pin) ที่ไม่เหมาะสมกับชิ้นงานส่งผลให้ชิ้นงานขางอ ส่งผลต่อการเกิดความผิดพลาดในการทดสอบเปิดวงจร (fault contact open test) ผู้วิจัยต้องการที่จะออกแบบกระบวนการทดสอบใหม่ (Redesign process) โดยการคัดเลือกเครื่องจับงานที่เหมาะสมกับชิ้นงาน โดยอาศัยหลักการกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) โดยสามารถแบ่งแนวทางการปรับปรุงของปัจจัยทั้ง 8 ปัจจัยได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ 1. แนวทางการหาเครื่องจักรที่เหมาะสมกับชิ้นงานโดยใช้ AHP และทำการทดลองเพื่อหาค่าระดับปัจจัยในการตั้งค่าของเครื่องจักรที่เหมาะสมของปัจจัยประกอบด้วย 3

ปัจจัย ได้แก่ 1. ชนิดของเข็มทดสอบ 2. ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ และ 3. จำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ และ 2. แนวทางการจัดทำวิธีการปฏิบัติงานประกอบด้วย 1. จัดทำระบบการนับจำนวนอายุการใช้งานของ pogo pin จัดให้มีแผนกำหนดการเปลี่ยน pogo pin เมื่อครบอายุการใช้งาน (pogo pin life time) เพื่อแก้ปัญหา pogo pin ชำรุด 2. จัดทำระบบการนับจำนวนอายุการใช้งานของเข็มทดสอบ (contact pin) จัดให้มีแผนกำหนดการเปลี่ยนเข็มทดสอบ เมื่อครบอายุการใช้งาน (contact pin life time) เพื่อแก้ปัญหาเข็มทดสอบชำรุดและทำให้เกิดของเสีย 3. จัดทำวิธีการปฏิบัติงานโดยทำความสะอาดเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบทุกครั้งที่ทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยหลักและปัจจัยทางเลือกที่ส่งผลต่อการคัดเลือกเครื่องจักรโดยใช้หลักการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (AHP) ในการตัดสินใจ ข้อสรุปและกำหนดปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเครื่องจักรได้แก่ ประสิทธิภาพของเครื่องจักร (machine efficiency), ค่าซ่อมบำรุง (maintenance cost), กำลังการผลิต(test capacity), อายุการใช้งาน (useful life), คุณภาพ (quality), ราคาเครื่องจักร(machine cost), ทั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดทางเลือกในการตัดสินใจ หรือ กลุ่มเครื่องจักรที่จะคัดเลือกได้ทางเลือกได้แก่ handler A, B, C, D, E และF กระบวนการตัดสินใจได้ทำการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยต่างๆ และให้คะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัย ข้อสรุปว่าปัจจัยหลักที่มีความสำคัญอันดับหนึ่งคือ ด้านคุณภาพ มีคะแนนความสำคัญ 0.398 อันดับสองคือ ด้านกำลังการผลิต 0.268 , ด้านประสิทธิภาพ มีคะแนนความสำคัญ 0.161, ด้านราคาเครื่องจักร มีคะแนนความสำคัญ 0.077, ด้านค่าซ่อมบำรุง มีคะแนนความสำคัญ 0.063, ด้านอายุการใช้งานของเครื่องจักร มีคะแนนความสำคัญ 0.033 ผู้วิจัยและทีมผู้บริหาร ได้ประชุมร่วมกันเพื่อสรุปผลการประเมินปัจจัยหลักและปัจจัยทางเลือก พบว่าอันดับหนึ่งคือกลุ่มเครื่องจับงาน A มีระดับคะแนน 1.284 และอันดับสุดท้ายคือเครื่องจับงาน F มีระดับคะแนน 0.307 ดังนั้นทีมผู้บริหารตัดสินใจปรับปรุงกระบวนการทดสอบโดยเลือกใช้แครื่องจับงาน A ในการทดสอบ Product A เนื่องจากเครื่องจับงาน A มีความเหมาะสมกับชิ้นงาน วัตถุประสงค์หลักคือเพื่อลดอัตราการเกิดความผิดพลาดในการทดสอบทางไฟฟ้าเนื่องจากการเปิดของวงจร (fault contact open test) และสามารถให้กำลังการผลิตที่มากขึ้น

เมื่อมีการย้ายเครื่องจักรใหม่จำเป็นต้องมีการทดลองเพื่อปรับตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องจักร ผลจากการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองเบื้องต้นพบว่าที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญเพื่อนำไปปรับปรุงหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม คือ B ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ (Z-high overdrive), C จำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ (pin online cleaning) แต่ปัจจัย A คือชนิดของเข็ม

ทดสอบ (contact pin type) จากผลการทดลองพบว่าปัจจัย A ไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองดังนั้นจึงเลือกใช้ ชนิดที่ 2 ที่อายุการใช้งานยาวสุด และราคาอยู่ในระดับกลาง จากนั้นนำปัจจัย B และ C ไปวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด (fault contact open test) มีค่าน้อยที่สุด โดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรม Minitab ได้ผลการทดลองคือ ค่า B ความสูงของคานยกเข็มทดสอบ (Z-high overdrive) เท่ากับ 100 ไมโครเมตร และค่า C จำนวนครั้งในการทำความสะอาดเข็มทดสอบ (pin online cleaning) เท่ากับ 175 touchdowns/time และผู้วิจัยนำระดับปัจจัยที่เหมาะสมแทนลงในสมการถดถอย จึงได้ค่าทำนายของตัวแปรตอบสนองเท่ากับ 0.28

หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดลองเพื่อยืนยันผล โดยเก็บข้อมูลทั้งหมด 100 lots และสร้างแผนภูมิควบคุม np เพื่อควบคุมจำนวนชิ้นงานเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการทดสอบ การพิจารณาข้อมูลเป็นสัดส่วนของเสีย พบว่าสัดส่วนของเสียในการทดสอบยืนยันมีค่าเท่ากับ 0.0036 ซึ่งมีค่าตามเป้าหมายคือน้อยกว่า 0.0056 ดังนั้นจึงกำหนดให้นำค่าของปัจจัยทั้ง 3 ตามระดับที่ได้จากการทดลองไปใช้ในกระบวนการผลิตจริง ก่อนปรับปรุงกระบวนการพบว่ามี % ของเสียโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 2.24% หรือ 22,400 ตัวในหนึ่งล้านตัว คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียรวมอยู่ที่ประมาณ 1.3 ล้านบาทต่อปี โดยเฉลี่ยเท่ากับ 112,035 บาทต่อเดือน หลังจากการทดลองเพื่อยืนยันผลได้ทำการปรับปรุงกระบวนการในกระบวนการทดสอบแผงวงจรรวมและเก็บข้อมูล 4 เดือนหลังจากการปรับปรุงกระบวนการพบว่า % ของเสียหลังการปรับปรุงโดยเฉลี่ยอยู่ 0.0045% หรือ 45 ตัวในหนึ่งล้านตัว โดยก่อนปรับปรุงกระบวนการ % ของเสียลดลงจากก่อนปรับปรุงเท่ากับ 2.2355% คิดเป็นร้อยละ 99.79 ของ % ของเสียในกระบวนการก่อนปรับปรุง และคาดว่าสามารถลดความสูญเสียได้ 1,322,926 บาทต่อปี ซึ่ง % ของเสียในกระบวนการทดสอบลดลงมากกว่าเป้าหมายที่ทางผู้วิจัยตั้งไว้ โดยเป้าหมายคือ ของเสียอยู่ที่ 0.0056% ฉะนั้นเครื่องจักร A และระดับปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยที่ได้จากการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ % ของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด (fault contact open test) มีค่าน้อยที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Response Optimizer ในโปรแกรมมินิแทปจึงสามารถนำไปปรับใช้ในกระบวนการทดสอบได้จริง และทางผู้วิจัยได้จัดทำแผนควบคุม และวิธีการปฏิบัติงานใหม่ของการตั้งค่าเครื่องจักรเพื่อสร้างเป็นมาตรฐานในการตั้งค่าเครื่องจักรให้แก่พนักงานควบคุมเครื่องจักรต่อไป

6.2 ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้ศึกษาแค่เฉพาะผลิตภัณฑ์ A ที่มีขางานเท่ากับ 48 ขา

2. งานวิจัยนี้ศึกษาการลดอัตราการเกิดของเสียที่เกิดจากการทดสอบการเปิดของวงจรผิดพลาด (fault contact open test) จากกระบวนการทดสอบทางไฟฟ้าที่เกิดจากกระบวนการทดสอบเท่านั้น

3. งานวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะในแผนกการทดสอบแผงวงจรรวม (Final test process) และขอบเขตปัญหาแค่ในส่วนของแผนกการทดสอบแผงวงจรรวมเท่านั้น

6.3 ข้อเสนอแนะ

1. ทางโรงงานสามารถนำเครื่องจักร A และระดับปัจจัยไปปรับใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นที่มีลักษณะขางานเหมือนหรือใกล้เคียงกันได้

2. แนวทางการปรับปรุงนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นในโรงงานกรณีศึกษาได้ แต่ต้องหาค่าที่เหมาะสมของระดับปัจจัยใหม่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

แบบสอบถามเพื่อการวิจัย

การจัดลำดับปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกเครื่องจักรโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น

แบบสอบถามการให้ค่าคะแนนน้ำหนักด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

เพื่อใช้เครื่องมือกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น หรือ AHP (Analytic Hierarchy Process) ศึกษาและจัดลำดับความสำคัญปัจจัยที่มีอิทธิพลในการตัดสินใจคัดเลือกเปลี่ยนเครื่องจักรในสายการผลิต (กรณีศึกษาโรงงานผลิตและทดสอบแผงวงจรรวมแห่งหนึ่ง)

ข้อมูลหน่วยงาน และข้อมูลผู้กรอกแบบสอบถาม

1. ตำแหน่งงาน (โปรดระบุ).....
2. เพศ ชาย หญิง
3. อายุ (ปี) .....
4. ประสบการ์ณการทำงาน (ปี) .....

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โปรดกาเครื่องหมาย “O” ในช่องที่เหมาะสมเพื่อเปรียบเทียบระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อการคัดเลือกเครื่องจักรในสายการผลิต

A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
A มีความสำคัญ									A และ B มีความสำคัญเท่ากัน								B มีความสำคัญ	

1= เท่ากัน 3 = ปานกลาง 5 = มากพอสมควร 7= มาก 9 = มากที่สุด

ตัวอย่างการกรอกข้อมูล

กรณีเปรียบเทียบปัจจัยด้านค่าซ่อมบำรุงกับปัจจัยด้านประสิทธิภาพ ถ้าผู้กรอกข้อมูลมีความเห็นว่าค่าซ่อมบำรุงมีความสำคัญน้อยกว่าด้านประสิทธิภาพเป็น 5 เท่าของปัจจัยด้านประสิทธิภาพ ผู้กรอกข้อมูลต้องวงกลมที่หมายเลข 5 ดังตัวอย่างข้างล่างนี้

ปัจจัยหลัก	คะแนนมาตรฐานของการเปรียบเทียบปัจจัย																ปัจจัยหลัก
	มากกว่า								เท่า	น้อยกว่า							
ค่าซ่อมบำรุง	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	(5)	6	7	8	9	ประสิทธิภาพ

ในทำนองเดียวกัน ถ้าผู้กรอกข้อมูลมีความเห็นว่าปัจจัยด้านอายุมีความสำคัญมากกว่าด้านกำลังการผลิต 6 เท่าของปัจจัยด้านกำลังการผลิต ผู้กรอกข้อมูลต้องวงกลมที่หมายเลข 6 ดังตัวอย่างข้างล่างนี้

ปัจจัยหลัก	คะแนนมาตรฐานของการเปรียบเทียบปัจจัย																ปัจจัยหลัก
	มากกว่า								เท่า	น้อยกว่า							
อายุ	9	8	7	(6)	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	กำลังการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แต่ถ้าผู้กรอกข้อมูลมีความเห็นว่า ปัจจัยด้านกำลังการผลิตมีความสำคัญเท่ากับปัจจัยด้านประสิทธิภาพ ผู้กรอกข้อมูลต้องวงกลมที่หมายเลข 1

ปัจจัยหลัก	คะแนนมาตรฐานของการเปรียบเทียบปัจจัย																ปัจจัยหลัก
	มากกว่า								เท่า	น้อยกว่า							
กำลังการผลิต	9	8	7	6	5	4	3	2	(1)	2	3	4	5	6	7	8	9	ประสิทธิภาพ

โปรดวงกลมในช่องที่เหมาะสมเพื่อเปรียบเทียบระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อการคัดเลือกเครื่องจักรในสายการผลิต

ปัจจัยหลัก	คะแนนมาตรฐานของการเปรียบเทียบปัจจัย																ปัจจัยหลัก
	มากกว่า								เท่า	น้อยกว่า							
ค่าซ่อมบำรุง	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ประสิทธิภาพ
กำลังการผลิต	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ประสิทธิภาพ
อายุ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ประสิทธิภาพ
คุณภาพ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ประสิทธิภาพ
ราคาเครื่องจักร	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ประสิทธิภาพ

ปัจจัยหลัก	คะแนนมาตรฐานของการเปรียบเทียบปัจจัย																ปัจจัยหลัก
	มากกว่า								เท่า	น้อยกว่า							
กำลังการผลิต	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ค่าซ่อมบำรุง
อายุ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ค่าซ่อมบำรุง
คุณภาพ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ค่าซ่อมบำรุง
ราคาเครื่องจักร	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ค่าซ่อมบำรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปัจจัยหลัก	คะแนนมาตรฐานของการเปรียบเทียบปัจจัย																ปัจจัยหลัก
	มากกว่า								เท่า	น้อยกว่า							
อายุ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	กำลังการผลิต
คุณภาพ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	กำลังการผลิต
ราคาเครื่องจักร	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	กำลังการผลิต

ปัจจัยหลัก	คะแนนมาตรฐานของการเปรียบเทียบปัจจัย																ปัจจัยหลัก
	มากกว่า								เท่า	น้อยกว่า							
คุณภาพ	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	อายุ
ราคาเครื่องจักร	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	อายุ

ปัจจัยหลัก	คะแนนมาตรฐานของการเปรียบเทียบปัจจัย																ปัจจัยหลัก
	มากกว่า								เท่า	น้อยกว่า							
ราคาเครื่องจักร	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	คุณภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดผู้เชี่ยวชาญตอบแบบสอบถาม

รายละเอียดผู้ตอบแบบสอบถาม			ฝ่ายแผนก	ประสบการ์ณการทำงาน
ลำดับ	เพศ	อายุ (ปี)		
1	ชาย	55	ฝ่ายบริหาร	30
2	ชาย	40	วิศวกรโรงงาน	15
3	หญิง	30	วิศวกรโรงงาน	7
4	ชาย	40	วิศวกรเครื่องจักร	15
5	หญิง	35	วิศวกรควบคุมคุณภาพ	12
6	ชาย	45	วิศวกรออกแบบ	14

ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1

ปัจจัยหลัก: แสดงผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่แบบปกติ และแสดงอัตราความสอดคล้อง

ตารางที่ 50 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักตามหลักการ AHP ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 1

การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ กับเป้าหมายของปัญหา	การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pairwise Comparison)					
	ประสิทธิภาพ	ค่าซ่อมบำรุง	กำลังการผลิต	อายุ	คุณภาพ	ราคาเครื่องจักร
ประสิทธิภาพ	1	3	0.5	5	0.33	2
ค่าซ่อมบำรุง	0.33	1	0.14	2	0.2	1
กำลังการผลิต	2	5	1	7	0.33	5
อายุ	0.2	0.5	0.14	1	0.14	0.33
คุณภาพ	3	5	3	7	1	4
ราคาเครื่องจักร	0.5	1	0.2	3	0.25	1
ผลรวมแนวตั้ง	7.030	15.500	4.980	25.000	2.250	13.33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ กับเป้าหมายของปัญหา	การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pairwise Comparison)						ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย (ผลรวมแนวนอน/6)	Priority
	ประสิทธิภาพ	ค่าซ่อมบำรุง	กำลังการผลิต	อายุ	คุณภาพ	ราคาเครื่องจักร			
ประสิทธิภาพ	0.14	0.19	0.10	0.20	0.15	0.15	0.93	0.16	3
ค่าซ่อมบำรุง	0.05	0.06	0.03	0.08	0.09	0.08	0.38	0.06	5
กำลังการผลิต	0.28	0.32	0.20	0.28	0.15	0.38	1.61	0.27	2
อายุ	0.03	0.03	0.03	0.04	0.06	0.02	0.22	0.04	6
คุณภาพ	0.43	0.32	0.60	0.28	0.44	0.30	2.38	0.40	1
ราคาเครื่องจักร	0.07	0.06	0.04	0.12	0.11	0.08	0.48	0.08	4
ผลรวมแนวตั้ง	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	6.00	1.00	

ผลรวมแนวตั้ง	0.155	0.064	0.268	0.036	0.396	0.080	
ผลรวมแนวนอน	7.030	15.500	4.980	25.000	2.250	13.330	
Lamda max	1.093	0.991	1.336	0.899	0.891	1.071	6.281

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$C.I. = \frac{(\lambda max - n)}{(n-1)} = \frac{(6.281 - 6)}{(6-1)} = 0.0561$$

C.R. = C.I. / R.I. = 0.0561 / 1.24 = 0.0453

C.R. $\leq$ 0.1 จึงวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความสอดคล้อง

ค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ (Random Consistency Index: R.I.)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 2

ปัจจัยหลัก: แสดงผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่แบบปกติ และแสดงอัตราความสอดคล้อง

ตารางที่ 51 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักตามหลักการ AHP ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 2

การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ กับเป้าหมายของปัญหา	การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pairwise Comparison)					
	ประสิทธิภาพ	ค่าซ่อมบำรุง	กำลังการผลิต	อายุ	คุณภาพ	ราคาเครื่องจักร
ประสิทธิภาพ	1.00	5.00	0.33	7.00	0.33	3.00
ค่าซ่อมบำรุง	0.20	1.00	0.20	3.00	0.14	1.00
กำลังการผลิต	3.00	5.00	1.00	6.00	0.33	5.00
อายุ	0.14	0.33	0.17	1.00	0.11	0.20
คุณภาพ	3.00	7.00	3.00	9.00	1.00	5.00
ราคาเครื่องจักร	0.33	1.00	0.20	5.00	0.20	1.00
ผลรวมแนวตั้ง	7.68	19.33	4.90	31.00	2.12	15.20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ กับเป้าหมายของปัญหา	การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pairwise Comparison)						ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย (ผลรวมแนวนอน/6)	Priority
	ประสิทธิภาพ	ค่าซ่อมบำรุง	กำลังการผลิต	อายุ	คุณภาพ	ราคาเครื่องจักร			
ประสิทธิภาพ	0.13	0.26	0.07	0.23	0.16	0.20	1.04	0.17	3
ค่าซ่อมบำรุง	0.03	0.05	0.04	0.10	0.07	0.07	0.35	0.06	5
กำลังการผลิต	0.39	0.26	0.20	0.19	0.16	0.33	1.53	0.26	2
อายุ	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05	0.01	0.17	0.03	6
คุณภาพ	0.39	0.36	0.61	0.29	0.47	0.33	2.46	0.41	1
ราคาเครื่องจักร	0.04	0.05	0.04	0.16	0.09	0.07	0.46	0.08	4
ผลรวมแนวตั้ง	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	6.00	1.00	

ผลรวมแนวตั้ง	0.173	0.058	0.256	0.028	0.409	0.076	
ผลรวมแนวนอน	7.676	19.333	4.900	31.000	2.121	15.200	
Lamda max	1.327	1.123	1.252	0.866	0.868	1.159	6.595

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$C.I. = \frac{(\lambda max - n)}{(n-1)} \quad = \frac{(6.595 - 6)}{(6-1)} \quad = 0.1190$$

$$C.R. = C.I. / R.I. \quad = 0.1190 / 1.24 \quad = 0.0960$$

C.R. $\leq$ 0.1 จึงวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความสอดคล้อง

ค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ (Random Consistency Index: R.I.)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 3

ปัจจัยหลัก: แสดงผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่แบบปกติ และแสดงอัตราความสอดคล้อง

ตารางที่ 52 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักตามหลักการ AHP ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 3

การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ กับเป้าหมายของปัญหา	การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pairwise Comparison)					
	ประสิทธิภาพ	ค่าซ่อมบำรุง	กำลังการผลิต	อายุ	คุณภาพ	ราคาเครื่องจักร
ประสิทธิภาพ	1.00	3.00	0.50	7.00	0.33	2.00
ค่าซ่อมบำรุง	0.33	1.00	0.14	2.00	0.20	1.00
กำลังการผลิต	2.00	7.00	1.00	7.00	0.33	5.00
อายุ	0.14	0.50	0.14	1.00	0.14	0.33
คุณภาพ	3.00	5.00	3.00	7.00	1.00	5.00
ราคาเครื่องจักร	0.50	1.00	0.20	3.00	0.20	1.00
ผลรวมแนวตั้ง	6.98	17.50	4.99	27.00	2.21	14.33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ กับเป้าหมายของปัญหา	การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pairwise Comparison)						ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย (ผลรวมแนวนอน/6)	Priority
	ประสิทธิภาพ	ค่าซ่อมบำรุง	กำลังการผลิต	อายุ	คุณภาพ	ราคาเครื่องจักร			
ประสิทธิภาพ	0.14	0.17	0.10	0.26	0.15	0.14	0.96	0.16	3
ค่าซ่อมบำรุง	0.05	0.06	0.03	0.07	0.09	0.07	0.37	0.06	5
กำลังการผลิต	0.29	0.40	0.20	0.26	0.15	0.35	1.65	0.27	2
อายุ	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06	0.02	0.20	0.03	6
คุณภาพ	0.43	0.29	0.60	0.26	0.45	0.35	2.38	0.40	1
ราคาเครื่องจักร	0.07	0.06	0.04	0.11	0.09	0.07	0.44	0.07	4
ผลรวมแนวตั้ง	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	6.00	1.00	

ผลรวมแนวตั้ง	0.161	0.061	0.274	0.034	0.396	0.073	
ผลรวมแนวนอน	6.976	17.500	4.986	27.000	2.210	14.333	
Lamda max	1.122	1.073	1.368	0.912	0.876	1.052	6.402

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$C.I. = \frac{(\lambda max - n)}{(n-1)} = \frac{(6.402 - 6)}{(6-1)} = 0.0805$$

C.R. = C.I. / R.I. = 0.0805 / 1.24 = 0.0649

C.R. $\leq$ 0.1 จึงวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความสอดคล้อง

ค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ (Random Consistency Index: R.I.)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 4

ปัจจัยหลัก: แสดงผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่แบบปกติ และแสดงอัตราความสอดคล้อง

ตารางที่ 53 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักตามหลักการ AHP ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 4

การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ กับเป้าหมายของปัญหา	การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pairwise Comparison)					
	ประสิทธิภาพ	ค่าซ่อมบำรุง	กำลังการผลิต	อายุ	คุณภาพ	ราคาเครื่องจักร
ประสิทธิภาพ	1.00	3.00	0.33	4.00	0.33	2.00
ค่าซ่อมบำรุง	0.33	1.00	0.14	2.00	0.20	1.00
กำลังการผลิต	3.00	7.00	1.00	7.00	0.33	5.00
อายุ	0.25	0.50	0.14	1.00	0.11	0.33
คุณภาพ	3.00	5.00	3.00	9.00	1.00	4.00
ราคาเครื่องจักร	0.50	1.00	0.20	3.00	0.25	1.00
ผลรวมแนวตั้ง	8.08	17.50	4.82	26.00	2.23	13.33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ กับเป้าหมายของปัญหา	การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pairwise Comparison)						ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย (ผลรวมแนวนอน/6)	Priority
	ประสิทธิภาพ	ค่าซ่อมบำรุง	กำลังการผลิต	อายุ	คุณภาพ	ราคาเครื่องจักร			
ประสิทธิภาพ	0.12	0.17	0.07	0.15	0.15	0.15	0.82	0.14	3
ค่าซ่อมบำรุง	0.04	0.06	0.03	0.08	0.09	0.08	0.37	0.06	5
กำลังการผลิต	0.37	0.40	0.21	0.27	0.15	0.38	1.77	0.30	2
อายุ	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.03	0.20	0.03	6
คุณภาพ	0.37	0.29	0.62	0.35	0.45	0.30	2.37	0.40	1
ราคาเครื่องจักร	0.06	0.06	0.04	0.12	0.11	0.08	0.46	0.08	4
ผลรวมแนวตั้ง	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	6.00	1.00	

ผลรวมแนวตั้ง	0.136	0.062	0.295	0.034	0.396	0.077	
ผลรวมแนวนอน	8.083	17.500	4.819	26.000	2.228	13.333	
Lamda max	1.102	1.078	1.424	0.877	0.882	1.029	6.392

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$C.I. = \frac{(\lambda max - n)}{(n-1)} = \frac{(6.392 - 6)}{(6-1)} = 0.0784$$

C.R. = C.I. / R.I. = 0.0784 / 1.24 = 0.0632

C.R. $\leq$ 0.1 จึงวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความสอดคล้อง

ค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ (Random Consistency Index: R.I.)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 5

ปัจจัยหลัก: แสดงผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่แบบปกติ และแสดงอัตราความสอดคล้อง

ตารางที่ 54 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักตามหลักการ AHP ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 5

การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ กับเป้าหมายของปัญหา	การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pairwise Comparison)					
	ประสิทธิภาพ	ค่าซ่อมบำรุง	กำลังการผลิต	อายุ	คุณภาพ	ราคาเครื่องจักร
ประสิทธิภาพ	1.00	3.00	0.33	4.00	0.33	5.00
ค่าซ่อมบำรุง	0.33	1.00	0.14	2.00	0.20	1.00
กำลังการผลิต	3.00	7.00	1.00	7.00	0.33	3.00
อายุ	0.25	0.50	0.14	1.00	0.11	0.33
คุณภาพ	3.00	5.00	3.00	9.00	1.00	4.00
ราคาเครื่องจักร	0.20	1.00	0.33	3.00	0.25	1.00
ผลรวมแนวตั้ง	7.78	17.50	4.95	26.00	2.23	14.33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ กับเป้าหมายของปัญหา	การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pairwise Comparison)						ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย (ผลรวมแนวนอน/6)	Priority
	ประสิทธิภาพ	ค่าซ่อมบำรุง	กำลังการผลิต	อายุ	คุณภาพ	ราคาเครื่องจักร			
ประสิทธิภาพ	0.13	0.17	0.07	0.15	0.15	0.35	1.02	0.17	3
ค่าซ่อมบำรุง	0.04	0.06	0.03	0.08	0.09	0.07	0.37	0.06	5
กำลังการผลิต	0.39	0.40	0.20	0.27	0.15	0.21	1.62	0.27	2
อายุ	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.02	0.20	0.03	6
คุณภาพ	0.39	0.29	0.61	0.35	0.45	0.28	2.35	0.39	1
ราคาเครื่องจักร	0.03	0.06	0.07	0.12	0.11	0.07	0.45	0.07	4
ผลรวมแนวตั้ง	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	6.00	1.00	

ผลรวมแนวตั้ง	0.170	0.061	0.269	0.034	0.392	0.075	
ผลรวมแนวนอน	7.783	17.500	4.952	26.000	2.228	14.333	
Lamda max	1.323	1.065	1.333	0.872	0.873	1.069	6.535

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$C.I. = \frac{(\lambda max - n)}{(n-1)} = \frac{(6.535 - 6)}{(6-1)} = 0.1070$$

C.R. = C.I. / R.I. = 0.1070 / 1.24 = 0.0863

C.R. $\leq$ 0.1 จึงวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความสอดคล้อง

ค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ (Random Consistency Index: R.I.)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

ผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 6

ปัจจัยหลัก: แสดงผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่แบบปกติ และแสดงอัตราความสอดคล้อง

ตารางที่ 55 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักตามหลักการ AHP ของผู้เชี่ยวชาญท่านที่ 6

การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ กับเป้าหมายของปัญหา	การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pairwise Comparison)					
	ประสิทธิภาพ	ค่าซ่อมบำรุง	กำลังการผลิต	อายุ	คุณภาพ	ราคาเครื่องจักร
ประสิทธิภาพ	1.00	3.00	0.50	5.00	0.33	3.00
ค่าซ่อมบำรุง	0.33	1.00	0.14	3.00	0.20	1.00
กำลังการผลิต	2.00	4.00	1.00	7.00	0.33	4.00
อายุ	0.20	0.33	0.14	1.00	0.14	0.33
คุณภาพ	3.00	5.00	3.00	7.00	1.00	4.00
ราคาเครื่องจักร	0.33	1.00	0.25	3.00	0.25	1.00
ผลรวมแนวตั้ง	6.87	14.33	5.04	26.00	2.26	13.33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ กับเป้าหมายของปัญหา	การเปรียบเทียบเป็นรายคู่ (Pairwise Comparison)						ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย (ผลรวมแนวนอน/6)	Priority
	ประสิทธิภาพ	ค่าซ่อมบำรุง	กำลังการผลิต	อายุ	คุณภาพ	ราคาเครื่องจักร			
ประสิทธิภาพ	0.15	0.21	0.10	0.19	0.15	0.23	1.02	0.17	2
ค่าซ่อมบำรุง	0.05	0.07	0.03	0.12	0.09	0.08	0.43	0.07	5
กำลังการผลิต	0.29	0.28	0.20	0.27	0.15	0.30	1.49	0.25	4
อายุ	0.03	0.02	0.03	0.04	0.06	0.03	0.21	0.03	6
คุณภาพ	0.44	0.35	0.60	0.27	0.44	0.30	2.39	0.40	1
ราคาเครื่องจักร	0.05	0.07	0.05	0.12	0.11	0.08	0.47	0.08	3
ผลรวมแนวตั้ง	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	6.00	1.00	

ผลรวมแนวตั้ง	0.170	0.071	0.248	0.035	0.399	0.078	
ผลรวมแนวนอน	6.867	14.333	5.036	26.000	2.260	13.333	
Lamda max	1.166	1.017	1.247	0.899	0.901	1.042	6.272

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$C.I. = \frac{(\lambda max - n)}{(n-1)} = \frac{(6.272-6)}{(6-1)} = 0.0544$$

C.R. = C.I. / R.I. = 0.0544 / 1.24 = 0.0439

C.R. $\leq$ 0.1 จึงวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความสอดคล้อง

ค่าดัชนีความสอดคล้องตามขนาดของเมตริกซ์ (Random Consistency Index: R.I.)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

ผลการประเมินปัจจัยทางเลือกเป็นรายคู่กับปัจจัยหลักตามหลักการ AHP โดยใช้ Microsoft Excel

ปัจจัยหลักด้านประสิทธิภาพ: กลุ่มปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) แสดงผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ปกติ และแสดงอัตราความสอดคล้อง

ตารางที่ 56 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักด้านประสิทธิภาพกับกลุ่มทางเลือกตามหลักการ AHP

ประสิทธิภาพ	เครื่องจับงาน A	เครื่องจับงาน B	เครื่องจับ C	เครื่องจับ D	เครื่องจับงาน E	เครื่องจับงาน F
เครื่องจับงาน A	1	2	4	1	3	4
เครื่องจับงาน B	0.5	1	3	0.5	3	4
เครื่องจับงาน C	0.25	0.33	1	0.2	0.5	3
เครื่องจับงาน D	1	2	5	1	3	5
เครื่องจับงาน E	0.33	0.33	2	0.33	1	2
เครื่องจับงาน F	0.25	0.25	0.33	0.2	0.5	1
ผลรวมแนวตั้ง	3.33	5.91	15.33	3.23	11	19

ประสิทธิภาพ	เครื่องจับงาน A	เครื่องจับงาน B	เครื่องจับ C	เครื่องจับ D	เครื่องจับงาน E	เครื่องจับงาน F	ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย (ผลรวมแนวนอน/6)	priority
เครื่องจับงาน A	0.30	0.34	0.26	0.31	0.27	0.21	1.69	0.282	2
เครื่องจับงาน B	0.15	0.17	0.20	0.15	0.27	0.21	1.15	0.192	3
เครื่องจับงาน C	0.08	0.06	0.07	0.06	0.05	0.16	0.46	0.077	5
เครื่องจับงาน D	0.30	0.34	0.33	0.31	0.27	0.26	1.81	0.302	1
เครื่องจับงาน E	0.10	0.06	0.13	0.10	0.09	0.11	0.58	0.097	4
เครื่องจับงาน F	0.08	0.04	0.02	0.06	0.05	0.05	0.30	0.050	6

ผลรวมแนวตั้ง	0.282	0.192	0.077	0.302	0.097	0.050	

ผลรวมแนวนอน	3.330	5.910	15.330	3.230	11.000	19.000	6.245

$$\text{C.I.} = \frac{(\lambda max - n)}{(n-1)} = \frac{(6.245 - 6)}{(6-1)} = 0.049$$

C.R. = C.I. / R.I. = 0.049 / 1.24 = 0.039

C.R. $\leq$ 0.1 จึงวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความสอดคล้อง

เกณฑ์การพิจารณาด้านประสิทธิภาพการผลิต (Machine Efficiency)

จากตารางที่ 58 ประสิทธิภาพการผลิต พบว่าประสิทธิภาพสูงสุดคือ 92% และประสิทธิภาพต่ำสุดคือ 80.3% ดังนั้นการคำนวณช่วง %ประสิทธิภาพการผลิต แต่ละระดับความสำคัญ มีรายละเอียดดังนี้

อันตรภาคชั้น (Class Interval) = (คะแนนสูงสุด – คะแนนต่ำสุด)/ จำนวนชั้น

= (92% - 80.3%)/5

= 2.34%

ตารางที่ 57 เกณฑ์การให้คะแนนด้านประสิทธิภาพ

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวลข (Numerical)	ประสิทธิภาพการผลิต (Efficiency)
ควรเลือกมากที่สุด	5	89.66% ขึ้นไป
ควรเลือกมาก	4	89.65% - 87.32%
ควรเลือกปานกลาง	3	87.31% - 84.98%
ควรเลือกน้อย	2	84.97% - 82.64%
ควรเลือกน้อยที่สุด	1	82.64% ลงมา

ผลการคำนวณค่าระดับความสำคัญของทางเลือกกลุ่มเครื่องจักร กับประสิทธิภาพแสดงดังตารางที่ 58

ตารางที่ 58 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับปัจจัยหลักด้านประสิทธิภาพ

กลุ่มเครื่องจักร	ประสิทธิภาพ (%)	เกณฑ์คะแนน A	ค่าน้ำหนัก (AHP) B	ค่าระดับความสำคัญ A x B
เครื่องจับงาน A	90.5%	5	0.282	1.41
เครื่องจับงาน B	85.5%	3	0.192	0.576
เครื่องจับงาน C	80.2%	1	0.077	0.077
เครื่องจับงาน D	92.0%	5	0.302	1.51
เครื่องจับงาน E	85.0%	3	0.097	0.294
เครื่องจับงาน F	80.3%	1	0.050	0.05

ปัจจัยหลักด้านค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร : กลุ่มปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) แสดงผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ปกติ และแสดงอัตราความสอดคล้อง

ตารางที่ 59 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักด้านค่าบำรุงรักษาเครื่องจักรกับกลุ่มทางเลือกตามหลักการ AHP

ค่าซ่อมบำรุง	เครื่องจับงาน A	เครื่องจับงาน B	เครื่องจับ C	เครื่องจับ D	เครื่องจับงาน E	เครื่องจับงาน F
เครื่องจับงาน A	1.00	0.50	0.20	0.33	0.33	0.25
เครื่องจับงาน B	2.00	1.00	0.20	0.50	0.50	0.33
เครื่องจับงาน C	5.00	5.00	1.00	4.00	4.00	3.00
เครื่องจับงาน D	3.00	2.00	0.25	1.00	1.00	0.50
เครื่องจับงาน E	3.00	2.00	0.25	1.00	1.00	0.50
เครื่องจับงาน F	4.00	3.00	0.33	2.00	2.00	1.00
ผลรวมแนวตั้ง	18.00	13.50	2.23	8.83	8.83	5.58

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่าซ่อมบำรุง	เครื่องจับงาน A	เครื่องจับงาน B	เครื่องจับ C	เครื่องจับ D	เครื่องจับงาน E	เครื่องจับงาน F	ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย (ผลรวมแนวนอน/6)	priority
เครื่องจับงาน A	0.06	0.04	0.09	0.04	0.04	0.04	0.30	0.050	4
เครื่องจับงาน B	0.11	0.07	0.09	0.06	0.06	0.06	0.45	0.075	5
เครื่องจับงาน C	0.28	0.37	0.45	0.45	0.45	0.54	2.54	0.423	1
เครื่องจับงาน D	0.17	0.15	0.11	0.11	0.11	0.09	0.74	0.124	3
เครื่องจับงาน E	0.17	0.15	0.11	0.11	0.11	0.09	0.74	0.124	3
เครื่องจับงาน F	0.22	0.22	0.15	0.23	0.23	0.18	1.23	0.204	2
ผลรวมแนวตั้ง	1	1	1	1	1	1			

ผลรวมแนวตั้ง	0.050	0.075	0.423	0.124	0.124	0.204	
ผลรวมแนวนอน	18.000	13.500	2.233	8.833	8.833	5.583	6.186

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$C.I. = \frac{(\lambda max - n)}{(n-1)} = \frac{(6.186 - 6)}{(6-1)} = 0.0373$$

$$C.R. = C.I. / R.I. = 0.0373 / 1.24 = 0.030$$

C.R. $\leq$ 0.1 จึงวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความสอดคล้อง

เกณฑ์การพิจารณาด้านค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร (Repair and Maintenance cost)

จากตารางที่ 61 พบว่าค่าซ่อมบำรุงสูงสุดคือ 35,000 บาท/เดือน และค่าซ่อมบำรุงต่ำสุดคือ 16,600 บาท/เดือน ดังนั้นการคำนวณช่วงค่าซ่อมบำรุง แต่ละระดับความสำคัญ มีรายละเอียดดังนี้

อันตรภาคชั้น (Class Interval) = (คะแนนสูงสุด – คะแนนต่ำสุด)/ จำนวนชั้น

= (35000 - 16600)/5

= 3680

ตารางที่ 60 เกณฑ์การให้คะแนนด้านค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวลข (Numerical)	ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร (บาท) (Repair and Maintenance cost)
ควรเลือกมากที่สุด	5	20280 ลงมา
ควรเลือกมาก	4	20279 - 23960
ควรเลือกปานกลาง	3	23959 - 27640
ควรเลือกน้อย	2	27639 - 31320
ควรเลือกน้อยที่สุด	1	31321 ขึ้นไป

ผลการคำนวณค่าระดับความสำคัญของทางเลือกกลุ่มเครื่องจักร กับค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร แสดงดังตารางที่ 61

ตารางที่ 61 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร

กลุ่มเครื่องจักร	ค่าซ่อมบำรุง(฿)	เกณฑ์คะแนน A	ค่าน้ำหนัก (AHP) B	ค่าระดับความสำคัญ A x B
เครื่องจับงาน A	16600	5	0.050	0.2500
เครื่องจับงาน B	17000	5	0.075	0.3750
เครื่องจับงาน C	35000	1	0.423	0.4230
เครื่องจับงาน D	22500	4	0.124	0.4960
เครื่องจับงาน E	22500	4	0.124	0.4960
เครื่องจับงาน F	28000	2	0.204	0.4080

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปัจจัยหลักด้านกำลังการผลิต : กลุ่มปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) แสดงผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ปกติ และแสดงอัตราความสอดคล้อง

ตารางที่ 62 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักด้านกำลังการผลิตกับกลุ่มทางเลือกตามหลักการ AHP

กำลังการผลิต	เครื่องจับงาน A	เครื่องจับงาน B	เครื่องจับ C	เครื่องจับ D	เครื่องจับงาน E	เครื่องจับงาน F
เครื่องจับงาน A	1.00	1.00	4.00	2.00	3.00	3.00
เครื่องจับงาน B	1.00	1.00	4.00	2.00	3.00	3.00
เครื่องจับงาน C	0.25	0.25	1.00	0.33	0.50	0.50
เครื่องจับงาน D	0.50	0.50	3.00	1.00	0.50	0.50
เครื่องจับงาน E	0.33	0.33	2.00	2.00	1.00	1.00
เครื่องจับงาน F	0.33	0.33	2.00	2.00	1.00	1.00
ผลรวมแนวตั้ง	3.42	3.42	16.00	9.33	9.00	9.00

กำลังการผลิต	เครื่องจับงาน A	เครื่องจับงาน B	เครื่องจับ C	เครื่องจับ D	เครื่องจับงาน E	เครื่องจับงาน F	ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย (ผลรวมแนวนอน/6)	priority
เครื่องจับงาน A	0.29	0.29	0.25	0.21	0.33	0.33	1.72	0.286	1
เครื่องจับงาน B	0.29	0.29	0.25	0.21	0.33	0.33	1.72	0.286	1
เครื่องจับงาน C	0.07	0.07	0.06	0.04	0.06	0.06	0.36	0.059	5
เครื่องจับงาน D	0.15	0.15	0.19	0.11	0.06	0.06	0.70	0.116	4
เครื่องจับงาน E	0.10	0.10	0.13	0.21	0.11	0.11	0.76	0.126	3
เครื่องจับงาน F	0.10	0.10	0.13	0.21	0.11	0.11	0.76	0.126	2
ผลรวมแนวตั้ง	1	1	1	1	1	1			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลรวมแนวตั้ง	0.286	0.286	0.059	0.116	0.126	0.126	
ผลรวมแนวนอน	3.416	3.416	16.000	9.333	9.000	9.000	6.259

$$\text{C.I.} = \frac{(\lambda max - n)}{(n-1)} = \frac{(6.259 - 6)}{(6-1)} = 0.0517$$

C.R. = C.I. / R.I. = 0.0517 / 1.24 = 0.0417

C.R. $\leq$ 0.1 จึงวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความสอดคล้อง

เกณฑ์การพิจารณาด้านกำลังการผลิต (Capacity)

จากตารางที่ 64 พบว่ากำลังการผลิต สูงสุดคือ 200 kpcs/day และกำลังการผลิตต่ำสุดคือ 80 kpcs/day ดังนั้นการคำนวณช่วงกำลังการผลิต แต่ละระดับความสำคัญ มีรายละเอียดดังนี้

อันตรภาคชั้น (Class Interval) = (คะแนนสูงสุด – คะแนนต่ำสุด)/ จำนวนชั้น

= (200 - 80)/5

= 24

ตารางที่ 63 เกณฑ์การให้คะแนนด้านกำลังการผลิต (Capacity)

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวลข (Numerical)	กำลังการผลิต (Capacity)
ควรเลือกมากที่สุด	5	176 ขึ้นไป
ควรเลือกมาก	4	175 - 152
ควรเลือกปานกลาง	3	151 - 128
ควรเลือกน้อย	2	127 - 104
ควรเลือกน้อยที่สุด	1	103 ลงมา

ผลการคำนวณค่าระดับความสำคัญของทางเลือกกลุ่มเครื่องจักร กับกำลังการผลิต (kpcs/day) แสดงดังตารางที่ 64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 64 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับกำลังการผลิต (kpcs/day)

กลุ่มเครื่องจักร	กำลังการผลิต (kpcs/day)	เกณฑ์คะแนน A	ค่าน้ำหนัก (AHP) B	ค่าระดับความสำคัญ A x B
เครื่องจับงาน A	200	5	0.286	1.4300
เครื่องจับงาน B	200	5	0.286	1.4300
เครื่องจับงาน C	80	1	0.059	0.0590
เครื่องจับงาน D	125	2	0.116	0.2320
เครื่องจับงาน E	130	3	0.126	0.3780
เครื่องจับงาน F	130	3	0.126	0.3780

ปัจจัยหลักด้านอายุการใช้งานของเครื่องจักร : กลุ่มปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) แสดงผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ปกติ และแสดงอัตราความสอดคล้อง

ตารางที่ 65 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักด้านอายุการใช้งานของเครื่องจักรกับกลุ่มทางเลือกตามหลักการ AHP

อายุการใช้งานของเครื่องจักร	เครื่องจับงาน A	เครื่องจับงาน B	เครื่องจับ C	เครื่องจับ D	เครื่องจับงาน E	เครื่องจับงาน F
เครื่องจับงาน A	1.00	1.00	3.00	2.00	2.00	3.00
เครื่องจับงาน B	1.00	1.00	3.00	2.00	2.00	3.00
เครื่องจับงาน C	0.33	0.33	1.00	0.50	0.50	1.00
เครื่องจับงาน D	0.50	0.50	2.00	1.00	1.00	2.00
เครื่องจับงาน E	0.50	0.50	2.00	1.00	1.00	2.00
เครื่องจับงาน F	0.33	0.33	1.00	0.50	0.50	1.00
ผลรวมแนวตั้ง	3.67	3.67	12.00	7.00	7.00	12.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อายุการใช้งานของเครื่องจักร	เครื่องจับงาน A	เครื่องจับงาน B	เครื่องจับ C	เครื่องจับ D	เครื่องจับงาน E	เครื่องจับงาน F	ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย (ผลรวมแนวนอน/6)	priority
เครื่องจับงาน A	0.27	0.27	0.25	0.29	0.29	0.25	1.62	0.269	1
เครื่องจับงาน B	0.27	0.27	0.25	0.29	0.29	0.25	1.62	0.269	1
เครื่องจับงาน C	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.08	0.49	0.082	3
เครื่องจับงาน D	0.14	0.14	0.17	0.14	0.14	0.17	0.89	0.149	2
เครื่องจับงาน E	0.14	0.14	0.17	0.14	0.14	0.17	0.89	0.149	2
เครื่องจับงาน F	0.09	0.09	0.08	0.07	0.07	0.08	0.49	0.082	3
ผลรวมแนวตั้ง	1	1	1	1	1	1			

ผลรวมแนวตั้ง	0.269	0.269	0.082	0.149	0.149	0.082	
ผลรวมแนวนอน	3.666	3.666	12.000	7.000	7.000	12.000	6.022

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$C.I. = \frac{(\lambda max - n)}{(n-1)} = \frac{(6.022 - 6)}{(6-1)} = 0.0433$$

C.R. = C.I. / R.I. = 0.0517 / 1.24 = 0.0349

C.R. $\leq$ 0.1 จึงวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความสอดคล้อง

เกณฑ์การพิจารณาด้านอายุการใช้งานของเครื่องจักร (Useful life)

จากตารางที่ 67 พบว่าอายุการใช้งานสูงสุดคือ 25 ปี และอายุการใช้งานต่ำสุดคือ 18 ปีดังนั้นการคำนวณช่วงอายุการใช้งาน แต่ละระดับความสำคัญ มีรายละเอียดดังนี้

อันตรภาคชั้น (Class Interval) = (คะแนนสูงสุด – คะแนนต่ำสุด)/ จำนวนชั้น

= (25 - 18)/5

= 1.4

ตารางที่ 66 เกณฑ์การให้คะแนนด้านอายุการใช้งานของเครื่องจักร (Useful life)

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวลข (Numerical)	อายุการใช้งานของเครื่องจักร
ควรเลือกมากที่สุด	5	23.6 ขึ้นไป
ควรเลือกมาก	4	23.5 - 22.2
ควรเลือกปานกลาง	3	22.1 - 20.8
ควรเลือกน้อย	2	20.7 - 19.4
ควรเลือกน้อยที่สุด	1	19.4 ลงมา

ตารางที่ 67 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับอายุการใช้งานของเครื่องจักร

กลุ่มเครื่องจักร	อายุการใช้งานของเครื่องจักร (ปี)	เกณฑ์คะแนน A	ค่าน้ำหนัก (AHP) B	ค่าระดับความสำคัญ A x B
เครื่องจับงาน A	25	5	0.269	1.3450
เครื่องจับงาน B	25	5	0.269	1.3450
เครื่องจับงาน C	18	1	0.082	0.0820
เครื่องจับงาน D	23	4	0.149	0.5960
เครื่องจับงาน E	23	4	0.149	0.5960
เครื่องจับงาน F	18	1	0.082	0.0820

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปัจจัยหลักด้านคุณภาพ โดยวัดจากปริมาณของเสีย (defect rate) : กลุ่มปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) แสดงผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ปกติ และแสดงอัตราความสอดคล้อง

ตารางที่ 68 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักด้านคุณภาพกับกลุ่มทางเลือกตามหลักการ AHP

คุณภาพ (ปริมาณของเสีย)	เครื่องจับงาน A	เครื่องจับงาน B	เครื่องจับ C	เครื่องจับ D	เครื่องจับงาน E	เครื่องจับงาน F
เครื่องจับงาน A	1.00	1.00	7.00	2.00	3.00	5.00
เครื่องจับงาน B	1.00	1.00	7.00	2.00	3.00	5.00
เครื่องจับงาน C	0.14	0.14	1.00	0.20	0.25	0.33
เครื่องจับงาน D	0.50	0.50	5.00	1.00	2.00	3.00
เครื่องจับงาน E	0.33	0.33	4.00	0.50	1.00	2.00
เครื่องจับงาน F	0.20	0.20	3.00	0.33	0.50	1.00
ผลรวมแนวตั้ง	3.18	3.18	27.00	6.03	9.75	16.33

คุณภาพ (ปริมาณของเสีย)	เครื่องจับงาน A	เครื่องจับงาน B	เครื่องจับ C	เครื่องจับ D	เครื่องจับงาน E	เครื่องจับงาน F	ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย (ผลรวมแนวนอน/6)	priority
เครื่องจับงาน A	0.31	0.31	0.26	0.33	0.31	0.31	1.83	0.306	1
เครื่องจับงาน B	0.31	0.31	0.26	0.33	0.31	0.31	1.83	0.306	1
เครื่องจับงาน C	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.21	0.034	5
เครื่องจับงาน D	0.16	0.16	0.19	0.17	0.21	0.18	1.05	0.176	2
เครื่องจับงาน E	0.10	0.10	0.15	0.08	0.10	0.12	0.67	0.111	3
เครื่องจับงาน F	0.06	0.06	0.11	0.06	0.05	0.06	0.40	0.067	4
ผลรวมแนวตั้ง	1	1	1	1	1	1			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลรวมแนวตั้ง	0.306	0.306	0.034	0.176	0.111	0.067	
ผลรวมแนวนอน	3.176	3.176	27.000	6.033	9.750	16.333	6.114

$$C.I. = \frac{(\lambda max - n)}{(n-1)} \quad = \frac{(6.114 - 6)}{(6-1)} \quad = 0.0228$$

C.R. = C.I. / R.I. = 0.0228 / 1.24 = 0.0184

C.R. $\leq$ 0.1 จึงวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความสอดคล้อง

เกณฑ์การพิจารณาด้านคุณภาพ, ปริมาณของเสีย (Defect rate)

จากตารางที่ 70 พบว่าปริมาณของเสียสูงสุดคือ 5.1% และปริมาณของเสียต่ำสุดคือ 0.1% ดังนั้น การคำนวณช่วงปริมาณของเสีย แต่ละระดับความสำคัญ มีรายละเอียดดังนี้

อันตรภาคชั้น (Class Interval) = (คะแนนสูงสุด – คะแนนต่ำสุด)/ จำนวนชั้น

= (5.1 – 0.1)/5

= 1

ตารางที่ 69 เกณฑ์การให้คะแนนด้านปริมาณของเสีย (Defect rate)

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวลข (Numerical)	ปริมาณของเสีย %
ควรเลือกมากที่สุด	5	1.1 ลงมา
ควรเลือกมาก	4	1.2 - 2.1
ควรเลือกปานกลาง	3	2.2 - 3.1
ควรเลือกน้อย	2	3.2 - 4.1
ควรเลือกน้อยที่สุด	1	4.1 ขึ้นไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 70 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับปริมาณของเสีย (Defect rate)

กลุ่มเครื่องจักร	ปริมาณของเสีย %	เกณฑ์คะแนน A	ค่าน้ำหนัก (AHP) B	ค่าระดับความสำคัญ A x B
เครื่องจับงาน A	0.1	5	0.306	1.5300
เครื่องจับงาน B	0.1	5	0.306	1.5300
เครื่องจับงาน C	5.1	1	0.034	0.0340
เครื่องจับงาน D	0.9	1	0.176	0.1760
เครื่องจับงาน E	1.2	4	0.111	0.4440
เครื่องจับงาน F	1.5	4	0.067	0.2680

ปัจจัยหลักด้านราคาเครื่องจักร: กลุ่มปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) แสดงผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ปกติ และแสดงอัตราความสอดคล้อง

ตารางที่ 71 ผลการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ของปัจจัยหลักด้านราคาเครื่องจักรกับกลุ่มทางเลือกตามหลักการ AHP

ราคาเครื่องจักร	เครื่องจับงาน A	เครื่องจับงาน B	เครื่องจับ C	เครื่องจับ D	เครื่องจับงาน E	เครื่องจับงาน F
เครื่องจับงาน A	1.00	0.50	0.17	0.33	0.33	0.25
เครื่องจับงาน B	2.00	1.00	0.20	0.50	0.50	0.33
เครื่องจับงาน C	6.00	5.00	1.00	4.00	4.00	3.00
เครื่องจับงาน D	3.00	2.00	0.25	1.00	1.00	0.50
เครื่องจับงาน E	3.00	2.00	0.25	1.00	1.00	0.50
เครื่องจับงาน F	4.00	3.00	0.33	2.00	2.00	1.00
ผลรวมแนวตั้ง	19.00	13.50	2.20	8.83	8.83	5.58

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ราคาเครื่องจักร	เครื่องจับงาน A	เครื่องจับงาน B	เครื่องจับ C	เครื่องจับ D	เครื่องจับงาน E	เครื่องจับงาน F	ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ย (ผลรวมแนวนอน/6)	priority
เครื่องจับงาน A	0.05	0.04	0.08	0.04	0.04	0.04	0.29	0.048	5
เครื่องจับงาน B	0.11	0.07	0.09	0.06	0.06	0.06	0.44	0.074	4
เครื่องจับงาน C	0.32	0.37	0.45	0.45	0.45	0.54	2.58	0.431	1
เครื่องจับงาน D	0.16	0.15	0.11	0.11	0.11	0.09	0.74	0.123	3
เครื่องจับงาน E	0.16	0.15	0.11	0.11	0.11	0.09	0.74	0.123	3
เครื่องจับงาน F	0.21	0.22	0.15	0.23	0.23	0.18	1.22	0.203	2
ผลรวมแนวตั้ง	1	1	1	1	1	1			

ผลรวมแนวตั้ง	0.048	0.074	0.431	0.123	0.123	0.203	
ผลรวมแนวนอน	19.000	13.500	2.200	8.833	8.833	5.583	6.147

$$\text{C.I.} = \frac{(\lambda max - n)}{(n-1)} = \frac{(6.147 - 6)}{(6-1)} = 0.0294$$

$$\text{C.R.} = \text{C.I.} / \text{R.I.} = 0.0294 / 1.24 = 0.0237$$

C.R. $\leq$ 0.1 จึงวิเคราะห์ว่าข้อมูลมีความสอดคล้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เกณฑ์การพิจารณาด้านราคาเครื่องจักร (Machine cost)

จากตารางที่ 73 พบว่าราคาเครื่องจักรสูงสุดคือ 550 k$ และราคาเครื่องจักรต่ำสุดคือ 400 k$ ดังนั้นการคำนวณช่วงราคาเครื่องจักร แต่ละระดับความสำคัญ มีรายละเอียดดังนี้

อันตรภาคชั้น (Class Interval) = (คะแนนสูงสุด – คะแนนต่ำสุด)/ จำนวนชั้น

= (550 – 400)/5

= 30

ตารางที่ 72 เกณฑ์การให้คะแนนด้านราคาเครื่องจักร (Machine cost)

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวลข (Numerical)	ราคาเครื่องจักร (k$)
ควรเลือกมากที่สุด	5	430 ลงมา
ควรเลือกมาก	4	431 - 460
ควรเลือกปานกลาง	3	461 - 490
ควรเลือกน้อย	2	491 - 520
ควรเลือกน้อยที่สุด	1	520 ขึ้นไป

ตารางที่ 73 ผลการประเมินปัจจัยทางเลือก (กลุ่มเครื่องจักร) กับราคาเครื่องจักร

กลุ่มเครื่องจักร	ราคาเครื่องจักร (k$)	เกณฑ์คะแนน A	ค่าน้ำหนัก (AHP) B	ค่าระดับความสำคัญ A x B
เครื่องจับงาน A	550	1	0.048	0.0480
เครื่องจับงาน B	520	2	0.074	0.1480
เครื่องจับงาน C	400	5	0.431	2.1550
เครื่องจับงาน D	480	3	0.123	0.3690
เครื่องจับงาน E	480	3	0.123	0.3690
เครื่องจับงาน F	450	4	0.203	0.8120

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

AIAG. (2001). *Potential failure mode and effect analysis*. Southfield, MI: Ford Motor Company, General Motors Corporation.

C. Paciarotti, G. M., D. D'Ettorre. (2014). A revised FMEA application to the quality control managementInternational Journal of Quality & Reliability Management

Hoerl, R. W. (1998). *Six Sigmar and the future of the quality profession* (Vol. 31).

Lioy, A. (1992). Advance Fault Collapsing. *IEEE Design and Test of Computers Magazine*, 67-71.

Montgomery, D. C. (2009). *Design and Analysis of Experiments*.

Saaty, T. (1980). The Analytic Hierarchy Process. In *McGraw-Hill*. New York.

Saaty, T. (1990). *How to make a decision: The Analytic Hierachy Process.* European Jounal of Operational Research.

Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution*: ASQ Quality Press.

กุสุมา จิรวงศ์สวัสดิ์. (2550). การประยุกต์ใช้ *FMEA* และ *AHP* เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตฟลิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ).

ธนิตพล จันทสม. (2553). การประยุกต์ใช้ *FMEA* และ *AHP* เพื่อปรับปรุงกระบวนการฟอกย้อมในโรงงานตัวอย่าง, มหาวิทยาลัยศิลปากร).

นภัสสวงค์ โอสถศิลป์. (2559). เอกสารประกอบการเรียนวิชา *Quality Improvement* กรุงเทพฯ.

ปารเมศ ชุติมา. (2545). การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: สานักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รองศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย แสงอินทร์. (2553). การทดสอบวงจรรวมขนาดใหญ่มาก VLSI Testing. Retrieved from http://www.ecti-thailand.org/emagazine/views/49

รัฐรุจน์ ฐิติชาติธนวงศ์. (2557). การจัดลำดับปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกเครื่องจักรโดยใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นกรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องประดับ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล).

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ทิฆัมพร ศรีสวัสดิ์
วัน เดือน ปี เกิด	26 Aug 1988
สถานที่เกิด	นนทบุรี
วุฒิการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ที่อยู่ปัจจุบัน	ปทุมธานี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University