การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นงานปั๊มโลหะกรณีศึกษา: บริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

นรากร ชาโสรถ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
2568
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นงานปั๊มโลหะกรณีศึกษา: บริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

นรากร ชาโสรถ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
2568
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

DEFECT REDUCTION IN METAL STAMPING PARTS: CASE STUDY OF AUTOMOTIVE MANUFACTURING

NARAKORN CHASOROT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR MASTER DEGREE OF ENGINEERING
IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
BURAPHA UNIVERSITY
2025

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ นรากร ชาโสรถ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

.....
(ดร.จักรวาล คุณะดิลก)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุนาริน จันทะ)

..... กรรมการ
(ดร.จักรวาล คุณะดิลก)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤภูวัลย์ จันทรสา)

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณยศ คุรุกิจโกศล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทวัส แจ้งเอี่ยม)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

64920566: สาขาวิชา: วิศวกรรมอุตสาหการ; วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)
คำสำคัญ: การลดของเสีย/ การออกแบบการทดลอง/ กระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะ

นรากร ชาโสรถ : การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นงานปั๊มโลหะกรณีศึกษา: บริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์. (DEFECT REDUCTION IN METAL STAMPING PARTS: CASE STUDY OF AUTOMOTIVE MANUFACTURING) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: จักรวาล คุณะดิลก ปี พ.ศ. 2568.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อบกพร่องและของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นงานปั๊มขึ้นรูปโลหะด้วยแม่พิมพ์แบบต่อเนื่อง โดยมุ่งเน้นผลิตภัณฑ์ประเภทขั้วแบตเตอรี่ (Battery terminal) ที่ผลิตจากแผ่นทองแดงซึ่งมีต้นทุนการผลิตสูงเนื่องจากต้องผ่านกระบวนการชุบผิวด้วยดีบุกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการนำไฟฟ้าและยังเป็นกระบวนการผลิตที่มีข้อบกพร่องสูงเมื่อเทียบกับขั้วแบตเตอรี่ที่ผลิตจากทองเหลือง ในการศึกษาครั้งนี้การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA) ถูกนำมาใช้เพื่อประเมินและระบุปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสีย และใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด ผลการวิจัยพบว่าปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียประเภทขั้วแบตเตอรี่เสียรูปคือการตั้งค่าพารามิเตอร์ของการบวนการอบแห้งไม่เหมาะสม และเมื่อกำหนดอุณหภูมิการอบเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบที่ 1400 รอบต่อนาที และจำนวนชิ้นงานต่อรอบการผลิตเท่ากับ 800 ชิ้น ทำให้อัตราการเกิดขั้วแบตเตอรี่เสียรูปลดลงจาก 1856 PPM เหลือ 653 PPM

64920566: MAJOR: INDUSTRIAL ENGINEERING; M.Eng. (INDUSTRIAL ENGINEERING)
KEYWORDS: DEFECT REDUCTION/ DESIGN OF EXPERIMENTS/ METAL STAMPING PROCESS

NARAKORN CHASOROT : DEFECT REDUCTION IN METAL STAMPING PARTS: CASE STUDY OF AUTOMOTIVE MANUFACTURING. ADVISORY COMMITTEE: JAKKRAWARN KUNADILOK, 2025.

This research aims to reduce defects and waste generated in the metal stamping production process using progressive dies, with a focus on battery terminals manufactured from copper sheets. Copper has a high production cost due to the requirement for tin plating to enhance electrical conductivity, and it also presents a higher defect rate compared to terminals made from brass. In this study, Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) was applied to evaluate and identify the factors influencing waste generation, while Design of Experiments (DOE) was used to determine the optimal factor levels that minimize defects. The research results revealed that a critical factor influencing terminal deformation defects is the parameter setting of the drying process. Setting the drying temperature at 60 degrees Celsius, the rotation speed at 1400 RPM, and the batch size at 800 pieces reduced the terminal deformation defect rate from 1856 PPM to only 653 PPM.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ ดร.จักรวาล คุณะดิลก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำอย่างต่อเนื่อง ช่วยชี้แนะแนวทางการศึกษาตลอดจนให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่อเนื้อหาและกระบวนการดำเนินงานวิจัย ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณในความเอาใจใส่ ความเมตตา และการสนับสนุนทางวิชาการที่มีมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำอย่างสร้างสรรค์และมีส่วนช่วยเสริมคุณภาพของผลงานให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ในโอกาสนี้ ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบคุณต่อ บิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจสำคัญ และให้การสนับสนุนอย่างเต็มที่ตลอดระยะเวลาการศึกษา รวมทั้ง เพื่อน ๆ และผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจในช่วงเวลาสำคัญของการดำเนินงานวิจัย

ข้าพเจ้าหวังว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ และสามารถนำไปต่อยอดในเชิงวิชาการหรือการประยุกต์ใช้ในอนาคต

นรากร ชาโสรถ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูปภาพ ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 13
ที่มาและความสำคัญ 13
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 18
ขอบเขตการศึกษา 18
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 18
แผนการดำเนินงาน 18
นิยามศัพท์ 19
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20
แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart) 21
แผนภาพเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) 22
การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) 23
การวิเคราะห์โหมดความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure Mode and Effective Analysis) 29
การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) 50
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 61
สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 66

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย.....67
การศึกษากระบวนการผลิตของขั้วแบตเตอรี่.....68
การวิเคราะห์ระบบการวัด.....74
วิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อชิ้นงานเสียรูป.....80
การวิเคราะห์โหมดความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure Mode and Effective Analysis).....82
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....93
การวางแผนและดำเนินการปรับปรุงคุณภาพ.....93
การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพ.....94
การทดลองเพื่อยืนผลและการนำไปใช้งาน.....103
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล.....106
สรุปผลการวิจัย.....108
ข้อเสนอแนะ.....109
บรรณานุกรม.....110
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....113

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 จำนวนข้อบกพร่องของขั้วแบตเตอรี่ รุ่นเอ ในปี พ.ศ. 2565 16
ตารางที่ 2 เกณฑ์การประเมินผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลเชิงคุณภาพ 27
ตารางที่ 3 เกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ 37
ตารางที่ 4 เกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง 39
ตารางที่ 5 เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับข้อบกพร่อง 41
ตารางที่ 6 แผนการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูป 57
ตารางที่ 7 สรุปงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 66
ตารางที่ 8 รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 67
ตารางที่ 9 หัวข้อการตรวจสอบและเกณฑ์การยอมรับรูปลักษณ์ภายนอก 74
ตารางที่ 10 ข้อมูลการวิเคราะห์ระบบการวัดที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงคุณภาพนับ (Attribute MSA) 76
ตารางที่ 11 สรุปการวิเคราะห์ระบบการวัดที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงคุณภาพนับของพนักงาน 78
ตารางที่ 12 สาเหตุที่คาดว่าทำให้เกิดการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ 82
ตารางที่ 13 ตารางวิเคราะห์แนวโน้มข้อบกพร่องของกระบวนการ 84
ตารางที่ 14 การตรวจสอบงานเสียรูปโดยใช้จิ๊กตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบผล 87
ตารางที่ 15 ผลการตรวจสอบหลังการเพรส ด้วยจิ๊กตรวจสอบรูปร่าง 88
ตารางที่ 16 เปรียบเทียบค่าความแข็ง 68.8 HV(5) และ 72.0 HV(5) 88
ตารางที่ 17 รายงานผลการตรวจสอบด้วยจิ๊กตรวจสอบรูปร่าง 91
ตารางที่ 18 รายงานผลการตรวจสอบการเสียรูปของชิ้นงาน 92
ตารางที่ 19 รายงานผลการตรวจสอบการเสียรูปของชิ้นงาน 93
ตารางที่ 20 กำหนดระดับปัจจัยที่ต้องการวิเคราะห์ (Factors) 96

ตารางที่ 21 ผลการทดลองเพื่อทดสอบพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบกับการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่.....97

ตารางที่ 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....98

ตารางที่ 23 ผลการทดลองยืนยันผลด้วยสภาวะการผลิตใหม่.....103

ตารางที่ 24 จำนวนข้อบกพร่องของขั้วแบตเตอรี่ก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพ.....105

ตารางที่ 25 ผลการของการประยุกต์ใช้เครื่องมือวิศวกรรมคุณภาพ.....106

สารบัญรูปภาพ

หน้า

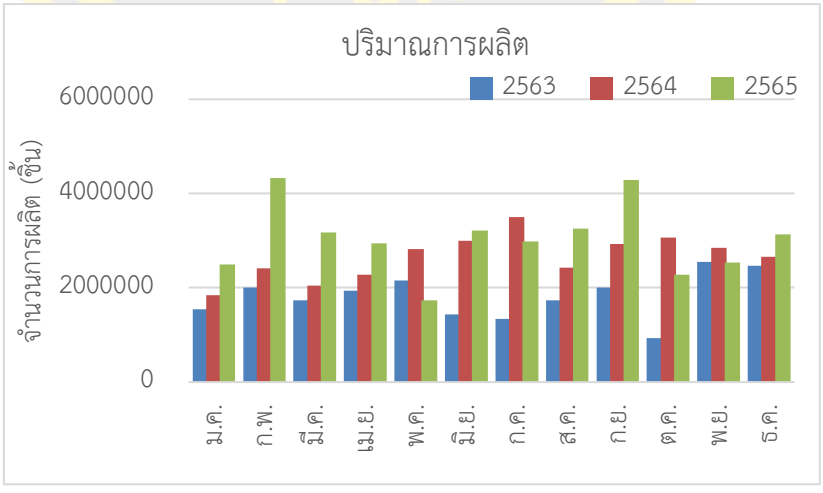
ภาพที่ 1 ปริมาณการผลิต....13
ภาพที่ 2 อัตราส่วนยอดขายของขั้วแบตเตอรี่....14
ภาพที่ 3 อัตราการเกิดของเสียขั้วแบตเตอรี่ รุ่นเอ....17
ภาพที่ 4 แผนภูมิความสำคัญของลักษณะข้อบกพร่อง....17
ภาพที่ 5 ลักษณะของแผนภูมิพาเรโต....21
ภาพที่ 6 ลักษณะแผนภาพเหตุและผล....23
ภาพที่ 7 ตัวอย่างแบบฟอร์มการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ ของบริษัทกรณีศึกษา....31
ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ....51
ภาพที่ 9 รูปแบบทางเรขาคณิตสำหรับแผนการทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียลที่เพิ่มจุดศูนย์กลาง....58
ภาพที่ 10 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตขั้วแบตเตอรี่....69
ภาพที่ 11 แผนภูมิการไหลกระบวนการชุบผิว....70
ภาพที่ 12 จิ๊กตรวจสอบการเสียรูป (Inspection Jig)....71
ภาพที่ 13 ตัวอย่างงานดี....72
ภาพที่ 14 ตัวอย่างงานเสีย (แบบที่1)....72
ภาพที่ 15 ตัวอย่างงานเสีย (แบบที่ 2)....73
ภาพที่ 16 ชิ้นงานสวมลงได้ไม่หมดยังมีส่วนที่ติดอยู่บนจิ๊ก 2 ใน 3 ส่วน....73
ภาพที่ 17 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วน Within appraisers....79
ภาพที่ 18 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วน Each appraiser vs Standards/ Between Appraiser/ All appraiser vs standards....79
ภาพที่ 19 Assessment Agreement....80
ภาพที่ 20 แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram: CE)....81

ภาพที่ 21 การปรับวิธีการเทงาน 86
ภาพที่ 22 กราฟตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลค่าความแข็งวัสดุเท่ากับ 68.8 90
ภาพที่ 23 กราฟตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลค่าความแข็งวัสดุเท่ากับ 72.0 90
ภาพที่ 24 2-Sample t-Test 90
ภาพที่ 25 หลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ 99
ภาพที่ 26 กำลังการทดสอบที่การทดลองซ้ำ 3 ครั้ง 100
ภาพที่ 27 การวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อสมมติในการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ 101
ภาพที่ 28 ระดับปัจจัยที่ทำให้อัตราการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ต่ำที่สุด 103
ภาพที่ 29 แสดงอัตราการเกิดของเสียก่อน และหลังการปรับปรุง 3 เดือน 105
ภาพที่ 30 เปรียบเทียบอัตราของเสียก่อน – หลังการปรับปรุง 108

บทที่ 1
บทนำ

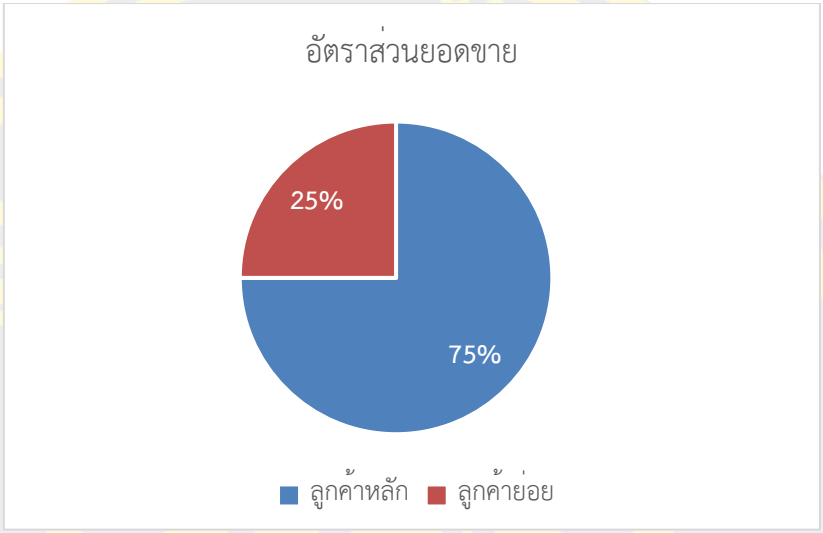
ที่มาและความสำคัญ

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทเอกชนสัญชาติญี่ปุ่น เริ่มก่อตั้งบริษัทครั้งแรกที่ประเทศญี่ปุ่นในปี พ.ศ. 2493 ดำเนินธุรกิจเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนสำหรับยานยนต์ประเภทงานปั๊มโลหะ โดยมีผลิตภัณฑ์หลักคือ เทอร์มินัล (Terminal) ซึ่งมีหลายประเภทตามฟังก์ชันการใช้งาน เช่น เทอร์มินัลสำหรับประกอบเป็นขั้วแบตเตอรี่ (Battery terminal), เทอร์มินัลแบบโซ่ (Chain terminal), เทอร์มินัลสำหรับสายดิน (Body earth terminal), เทอร์มินัลไฟฟ้าแรงสูง (High voltage terminal) และขายึด (Bracket) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยขอนิยามโดยรวมว่า “ขั้วแบตเตอรี่” เพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายในขั้นตอนต่อๆ ไป โดยขั้วแบตเตอรี่นับว่าเป็นชิ้นส่วนที่มีความสำคัญชิ้นหนึ่งเพื่อประกอบกับสายไฟและอุปกรณ์อิเล็คทรอนิกส์ในรถยนต์ โดยมีกรรมวิธีการผลิตแบบกระบวนการปั๊มขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบต่อเนื่อง (Progressive die stamping process) ขั้นตอนการทำงานเริ่มตั้งแต่กระบวนการออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์ ออกแบบแม่พิมพ์ ออกแบบกระบวนการผลิต จนถึงการส่งมอบให้กับลูกค้า ต่อมาในปี พ.ศ. 2556 ได้ขยายฐานการผลิตมาเปิดสาขาในประเทศไทย ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร จังหวัดชลบุรี โดยในช่วงแรกผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ทำการผลิต จะถูกส่งกลับไปยังบริษัทแม่ที่ญี่ปุ่นและส่งต่อให้ลูกค้าในนามสำนักงานใหญ่ ต่อมาสามารถขยายฐานลูกค้าในประเทศไทย และต่างประเทศทั้งในทวีปเอเชียและทวีปยุโรป การดำเนินกิจการของบริษัทสาขาในประเทศไทยมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะเห็นได้จากแผนภูมิแสดงกำลังการผลิตภายในระยะเวลา 3 ปีย้อนหลังจากปี พ.ศ. 2565 ย้อนไปถึงปี พ.ศ. 2563 ตามแผนภูมิดังภาพที่ 1 ด้านล่าง



ภาพที่ 1 ปริมาณการผลิต

จากข้อมูลในรูปข้างต้นสามารถแจกแจงได้ว่า กำลังการผลิตของบริษัทกรณีศึกษาเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2564 เท่ากับ 44.97% เมื่อเปรียบเทียบจากปี พ.ศ. 2563 และกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2565 เท่ากับ 17.98% เมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2564 ซึ่งผลผลิตรวมทั้งหมดที่แสดงนี้มีอัตราส่วนของสินค้าที่ส่งให้กับลูกค้าภายในประเทศ (ลูกค้าหลัก) 75% และส่งให้กับลูกค้าต่างประเทศ (ลูกค้ารายย่อย) อีก 25% ตามรายละเอียดดังภาพที่ 2 ด้านล่าง



ภาพที่ 2 อัตราส่วนยอดขายของขั้วแบตเตอรี่

แม้ว่าการขยายตัวของบริษัทกรณีศึกษาที่ดำเนินกิจการในประเทศไทยจะมีแนวโน้มในทิศทางที่ดี โดยสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้อย่างต่อเนื่อง และมีการขยายตลาดไปสู่กลุ่มลูกค้าในประเทศและต่างประเทศทั้งในเอเชียและยุโรป แต่ในขณะเดียวกัน การเพิ่มขึ้นของกำลังการผลิตก็ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงด้านคุณภาพมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเกิดของเสีย (Defect) ในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการผลิต ต้นทุนการดำเนินงาน และความสามารถในการแข่งขันขององค์กร ซึ่งของเสียที่เกิดขึ้นในสายการผลิตไม่เพียงแต่ก่อให้เกิดความสูญเปล่าทางวัตถุดิบ แต่ยังทำให้เกิดต้นทุนแฝงอื่น ๆ เช่น ค่าแรงงานเพิ่มเติมจากการทำงานซ้ำ เวลาที่สูญเสียไปในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ และค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการปัญหาดังกล่าว นอกจากนี้ยังอาจก่อให้เกิดความล่าช้าในการส่งมอบสินค้า ซึ่งส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้า และในระยะยาวอาจส่งผลต่อความเชื่อมั่นและภาพลักษณ์ของบริษัทในสายตาของคู่ค้าได้เช่นกัน

ในยุคที่อุตสาหกรรมยานยนต์กำลังเผชิญกับความเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทั้งในด้านเทคโนโลยี ความต้องการของผู้บริโภค และการเปลี่ยนผ่านสู่ยานยนต์ไฟฟ้า ความไม่แน่นอนของอุป

สงค์และอุปทานจึงเป็นปัจจัยที่ท้าทายต่อการดำเนินธุรกิจอย่างยิ่ง ส่งผลให้ผู้ผลิตไม่สามารถพึ่งพาการปรับราคาสินค้าเพื่อสร้างผลกำไรได้เช่นในอดีต หากแต่ต้องเน้นการควบคุมต้นทุนภายในและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต เพื่อรักษาขีดความสามารถในการแข่งขันในตลาดโลก แรงจูงใจในการลดของเสียจึงอยู่ที่การสร้างความมั่นคงด้านผลกำไรขององค์กรในระยะยาว การลดของเสียจะช่วยให้ต้นทุนต่อหน่วยของสินค้าอยู่ในระดับที่เหมาะสม เพิ่มอัตรากำไรขั้นต้น และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันขององค์กรในตลาดทั้งในและต่างประเทศ นอกจากนี้ ยังเป็นแนวทางที่เอื้อต่อการจัดสรรทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ อาทิ การลดภาระงานที่ไม่สร้างมูลค่า การลดเวลาในการดำเนินการ และการใช้เครื่องจักรอย่างเต็มศักยภาพ

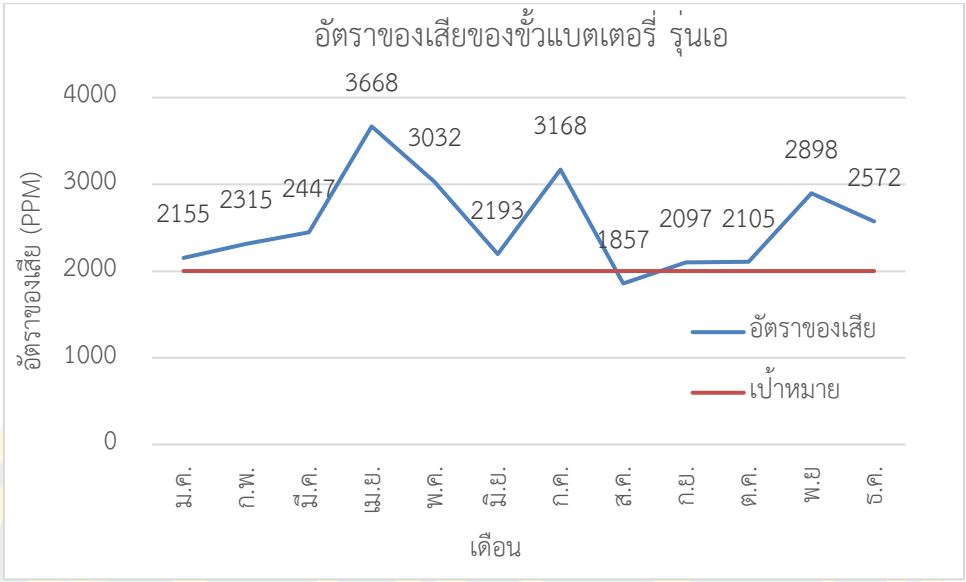
ในอีกมิติหนึ่ง การลดของเสียยังส่งเสริมการพัฒนาบุคลากรภายในองค์กรผ่านการฝึกอบรมและการมีส่วนร่วมในการปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งช่วยสร้างวัฒนธรรมองค์กรที่เน้นคุณภาพและการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ การนำเทคโนโลยีและนวัตกรรม เช่น ระบบตรวจสอบคุณภาพอัตโนมัติ หรือการใช้ข้อมูลจากระบบดิจิทัลในการวิเคราะห์กระบวนการผลิต ยังสามารถเสริมสร้างประสิทธิภาพการทำงานและลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากปัจจัยมนุษย์ กล่าวโดยสรุป การลดของเสียในกระบวนการผลิตไม่ใช่เพียงแนวทางในการลดต้นทุนเท่านั้น หากแต่เป็นกลยุทธ์สำคัญในการเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขัน และความยั่งยืนขององค์กรในระยะยาว ภายใต้บริบทของอุตสาหกรรมที่ต้องการความยืดหยุ่น ประสิทธิภาพ และคุณภาพในเวลาเดียวกัน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อบกพร่องและของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตขั้วแบตเตอรี่ (Terminal) ที่ผลิตจากแผ่นทองแดงซึ่งมีต้นทุนการผลิตสูงเนื่องจากต้องผ่านกระบวนการชุบผิวด้วยดีบุกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการนำไฟฟ้าและยังเป็นกระบวนการผลิตที่มีข้อบกพร่องสูงเมื่อเทียบกับขั้วแบตเตอรี่ที่ผลิตจากทองเหลือง ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับข้อบกพร่อง (Defect) ที่เกิดขึ้นในการผลิตขั้วแบตเตอรี่รุ่นเอ (ผลิตจากทองแดง) จากเดือน มกราคม พ.ศ. 2565 ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2565 รวมระยะเวลา 12 เดือน โดยอ้างอิงจากใบบันทึกคุณภาพ (Check sheet) ของแผนกควบคุมคุณภาพ (Quality control department) ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ยอดการผลิตรวม เท่ากับ 1,708,199 ชิ้น มียอดของเสียรวม 4,203 ชิ้น คิดเป็นอัตราของเสีย 2460 PPM ซึ่งมากกว่าเป้าหมายของบริษัทที่กำหนดไว้ไม่เกิน 2000 PPM

ตารางที่ 1 จำนวนข้อบกพร่องของขั้วแบตเตอรี่ รุ่นเอ ในปี พ.ศ. 2565

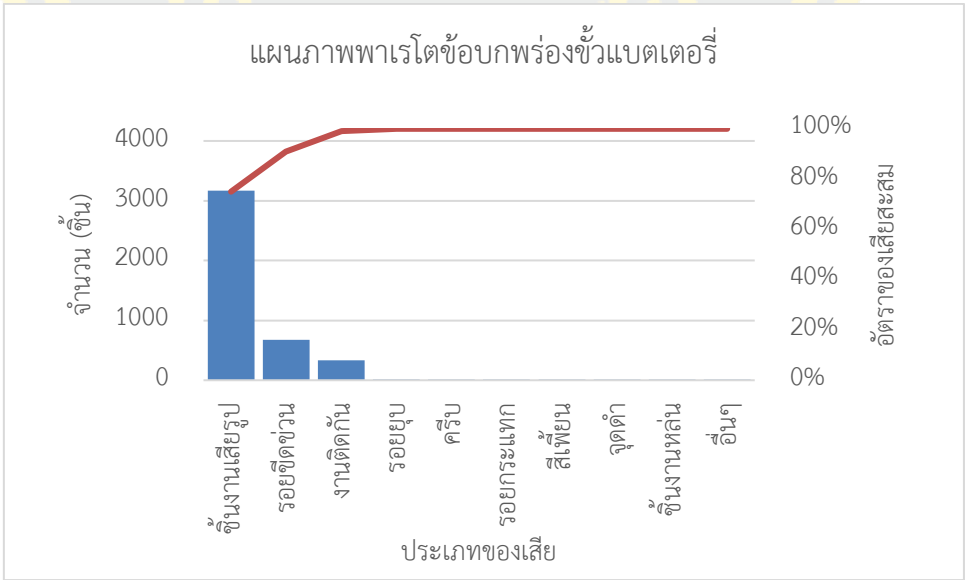
ชนิดของเสีย	เดือน											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ชิ้นงานเสียรูป	262	192	424	203	245	136	303	338	226	245	406	191
รอยกระแทก	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
รอบขีดข่วน	60	96	105	105	82	9	30	56	29	31	40	28
รอยยุบ	0	0	3	2	2	0	1	0	0	0	2	1
สีเพี้ยน	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
งานติดกัน	40	38	54	26	16	12	30	56	16	12	22	14
จุดดำ	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
ชิ้นงานหล่น	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
ครีบ	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0
อื่นๆ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0
จำนวนผลิต (พันชิ้น)	168	141	240	92	114	716	115	244	130	140	162	91
จำนวนของเสีย (ชิ้น)	362	326	586	336	346	157	365	453	273	295	470	234
อัตราของเสีย (PPM)	2155	2315	2447	3668	3032	2193	3168	1857	2097	2105	2898	2572

เมื่อพิจารณาอัตราของเสียรายเดือนจะเห็นว่า มีเพียงเดือน สิงหาคม เท่านั้นที่มีอัตราการเกิดของเสียเป็นไปตามเกณฑ์ของบริษัทซึ่งแสดงให้เห็นถึงของเสียในกระบวนการผลิตนี้เกิดขึ้นอย่างค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดการผลิตในรอบ 1 ปี ส่วนเดือนเมษายน พฤษภาคม และ กรกฎาคม มีอัตราของเสียมากกว่า 3000 PPM จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นมาก ดังนั้น การกำหนดลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นบนขั้วแบตเตอรี่ การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา และการปรับปรุงคุณภาพการผลิตจากสาเหตุสำคัญเหล่านั้น จึงเป็นกิจกรรมที่จำเป็นต้องดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาคุณภาพที่เกิดขึ้น ซึ่งการดำเนินกิจกรรมเหล่านี้ไม่เพียงช่วยลดต้นทุนการผลิต แต่ยังช่วยเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าอีกด้วย



ภาพที่ 3 อัตราการเกิดของเสียขั้วแบตเตอรี่ รุ่นเอ

ลักษณะข้อบกพร่องสำคัญที่เกิดขึ้นบนขั้วแบตเตอรี่ถูกจำแนกประเภทด้วยแผนภาพพาเรโต เมื่อวิเคราะห์จากหลักการ 80:20 ซึ่งระบุว่าสาเหตุหลัก 20% สามารถส่งผลกระทบได้ถึง 80% ของปัญหาทั้งหมด พบว่า ข้อบกพร่องประเภทชิ้นงานเสียรูป (Deformation) เป็นข้อบกพร่องที่ส่งผลกระทบมากที่สุด โดยคิดเป็นสัดส่วนถึง 70% ของข้อบกพร่องทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 4 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการแก้ไขปัญหาการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ ซึ่งจะช่วยลดอัตราของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการปั๊มขึ้นรูปได้



ภาพที่ 4 แผนภูมิความสำคัญของลักษณะข้อบกพร่อง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดการเสียรูปของผลิตภัณฑ์ขั้วแบตเตอรี่
2. เพื่อลดข้อบกพร่องด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขั้วแบตเตอรี่

ขอบเขตการศึกษา

1. การแก้ไขปัญหาการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ประเภททองแดง
2. ข้อมูลที่ใช้ในการทำวิจัย เก็บข้อมูลจากการผลิตและของเสียในกระบวนการ 12 เดือน ตั้งแต่เดือน มกราคม พ.ศ. 2565 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2565

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลดปัญหาข้อบกพร่องด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์
2. การสร้างจิตตระหนักด้านคุณภาพ และผลกระทบของต้นทุนคุณภาพให้กับพนักงาน
3. ลดต้นทุนการผลิต
4. เพื่อเพิ่มผลิตภาพ และใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด
5. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์อื่น

แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานในครั้งนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นจริงในสายการผลิต โดยอาศัยเครื่องมือและแนวคิดด้านคุณภาพ เพื่อค้นหาแนวทางปรับปรุงที่เหมาะสมกับบริบทขององค์กร ซึ่งจะช่วยลดความสูญเปล่าที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต และลดต้นทุนแฝงที่เกิดจากกระบวนการที่ไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ระบบการผลิตมีความคล่องตัวมากขึ้น พร้อมสนับสนุนการเติบโตขององค์กรได้อย่างยั่งยืน ทั้งในด้านสมรรถนะการแข่งขัน การส่งมอบที่ตรงเวลา และการตอบสนองต่อความคาดหวังของลูกค้า

โดยแผนการดำเนินงานประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ ดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลข้อบกพร่องและจำนวนชิ้นงานเสียในสายการผลิต ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2565 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2565 เพื่อทำความเข้าใจสถานการณ์ปัจจุบันอย่างชัดเจน

2. ทบทวนทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและงานวิจัยที่สนับสนุนการวิเคราะห์ปัญหา เพื่อสร้างพื้นฐานทางวิชาการสำหรับการแก้ไขปัญหา

3. ศึกษากระบวนการผลิตขั้วแบตเตอรี่และเกณฑ์การตัดสินใจปัญหาชิ้นงานเสียรูป โดยใช้จิ๊กตรวจสอบเป็นเครื่องมือหลัก

4. วิเคราะห์ความสามารถในการวัดของการประเมินเชิงคุณภาพ (Attribute MSA) เพื่อประเมินความแม่นยำในการตรวจสอบการเสียรูป

5. วิเคราะห์สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ เพื่อระบุปัจจัยที่ต้องการปรับปรุงอย่างชัดเจน

6. วางแผนและดำเนินการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องมือและเทคนิคที่เหมาะสม

7. ทดลองและประเมินผลการปรับปรุงคุณภาพ พร้อมเตรียมนำไปใช้งานจริงในสายการผลิตเพื่อยืนยันประสิทธิผล

8. สรุปผลการดำเนินงาน พร้อมจัดทำข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาต่อเนื่องในอนาคต

นิยามศัพท์

1. ขั้วแบตเตอรี่ หรือ แบตเตอรี่เทอร์มินัล คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตโดยกรรมวิธีปั๊มขึ้นรูปโลหะโดยใช้แม่พิมพ์แบบต่อเนื่องโดยมีวัตถุดิบหลักเป็น ทองเหลืองกับทองแดง
2. งานเสียรูป คือ งานที่รูปร่างผิดปกติไปจากเดิม ซึ่งไม่ผ่านการตรวจสอบด้วยจิ๊ก และเป็นปัญหาคุณภาพที่ลูกค้าไม่ยอมรับ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การลดของเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมถือเป็นกิจกรรมหนึ่งของการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง (Continuous quality improvement: CQI) ซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ลดต้นทุน และยกระดับขีดความสามารถในการแข่งขันขององค์กร การดำเนินการดังกล่าวต้องอาศัยเครื่องมือทางวิศวกรรมคุณภาพ (Quality engineering tools) และเทคนิคเชิงสถิติที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถระบุ วิเคราะห์ และจัดการกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัญหาคุณภาพได้อย่างเป็นระบบและเชิงประจักษ์

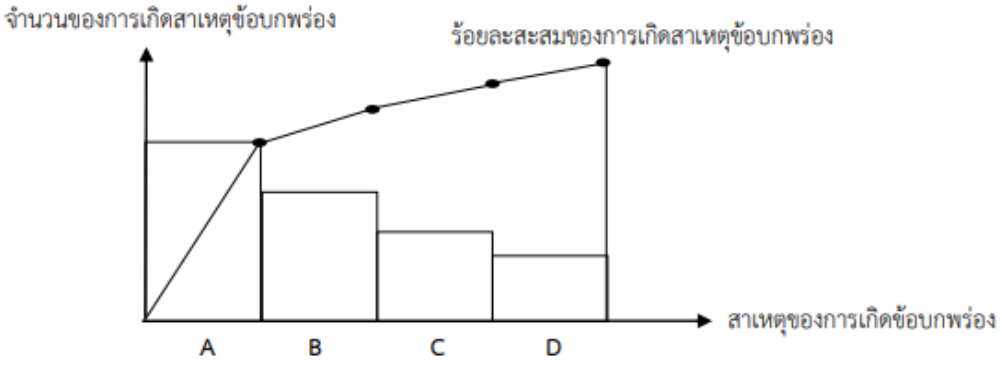
ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้พิจารณาคัดเลือกเครื่องมือคุณภาพที่มีความเหมาะสมกับลักษณะปัญหาและวัตถุประสงค์ของการวิจัย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เครื่องมือที่อยู่ภายใต้แนวคิดของการควบคุมและปรับปรุงกระบวนการผลิต แผนภูมิพาเรโต (Pareto chart) ใช้จัดลำดับความสำคัญของปัญหา ตามหลัก 80/20, แผนภาพเหตุและผล (Cause and Effect diagram) หรือแผนภูมิก้างปลา (Ishikawa Diagram) ใช้ในการระบุและจัดกลุ่มสาเหตุของปัญหาในมิติต่าง ๆ เช่น คน เครื่องจักร วัสดุ วิธีการ การวัด และสิ่งแวดล้อมนอกจากนี้ การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) มีความสำคัญต่อการประเมินความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ ส่วนการวิเคราะห์โหมดความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis: FMEA) เป็นเทคนิคการจัดการความเสี่ยงเชิงรุก ที่ช่วยประเมินระดับความรุนแรง ความถี่ในการเกิด และความสามารถในการตรวจจับของโหมดความล้มเหลว เพื่อจัดลำดับความสำคัญและกำหนดมาตรการป้องกันอย่างเหมาะสม ขณะที่ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) เป็นเครื่องมือทางสถิติที่ช่วยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต้นและตัวแปรตาม เพื่อค้นหาระดับที่เหมาะสมที่สุดในการลดข้อบกพร่องในกระบวนการ

การเลือกใช้เครื่องมือเหล่านี้มิได้จำกัดเฉพาะการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเทคนิคเท่านั้น แต่ยังเป็นแนวทางในการวางกรอบการวิจัย กำหนดสมมติฐาน และแปลผลอย่างเป็นระบบ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของการวิจัยเชิงประยุกต์ในภาคอุตสาหกรรม ที่มุ่งเน้นการพัฒนาคุณภาพอย่างยั่งยืนและสามารถนำไปใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ

แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)

แผนภูมิพาเรโต (Pareto chart) เป็นหนึ่งในเครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพพื้นฐานที่ใช้เพื่อแสดงสาเหตุของปัญหา หรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยจัดลำดับความสำคัญของปัญหาตามขนาดของผลกระทบ เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าสาเหตุใดควรได้รับการปรับปรุงก่อน ทั้งยังสามารถใช้ตรวจสอบผลลัพธ์หลังการดำเนินการปรับปรุงได้อีกด้วย โดยแนวคิดพื้นฐานของแผนภูมินี้มาจากหลักการของพาเรโต (Pareto principle) หรือกฎ 80/20 ซึ่งเสนอโดย Vilfredo Pareto นักเศรษฐศาสตร์ชาวอิตาเลียน และต่อมาได้ถูกนำมาใช้ในวงการบริหารคุณภาพ โดย Joseph Juran ระบุว่า ในหลายกระบวนการ ปัญหาส่วนใหญ่ (80%) มักมีต้นเหตุมาจากสาเหตุเพียงไม่กี่ประเภท (20%)

แผนภูมิพาเรโตมีลักษณะคล้ายกับฮิสโตแกรม โดยเป็นกราฟแท่งที่มีความกว้างเท่ากันเรียงชิดติดกันในแนวนอน แต่มีความแตกต่างที่สำคัญคือ แผนภูมิพาเรโตประกอบด้วยแกนตั้ง 2 แกน และแกนนอน 1 แกน ได้แก่ แกนตั้งด้านซ้ายแทนจำนวนหรือความถี่ของข้อบกพร่อง, แกนตั้งด้านขวาแทนร้อยละสะสมของข้อบกพร่อง และแกนนอนเป็นสาเหตุของข้อบกพร่อง เรียงจากมากไปน้อย โดยมีการวางเส้นแสดงร้อยละสะสม (Cumulative line) เพื่อช่วยระบุว่า สาเหตุใดส่งผลกระทบต่อปัญหาทั้งหมดในสัดส่วนที่มากที่สุด ดังตัวอย่างในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ลักษณะของแผนภูมิพาเรโต

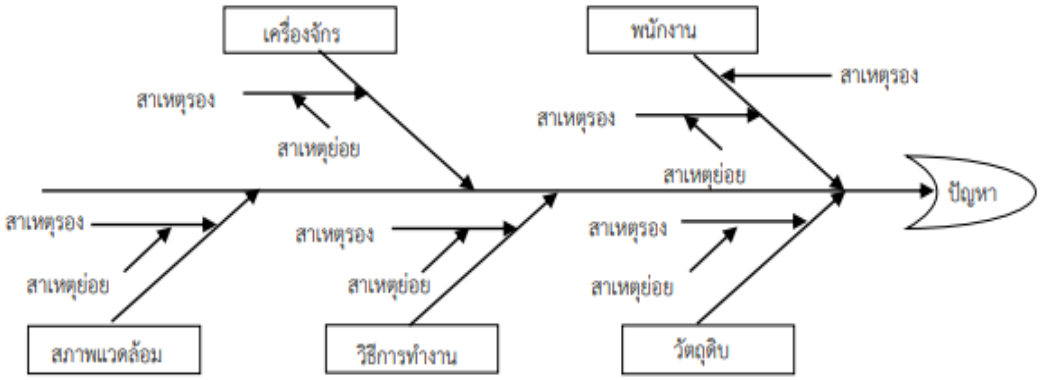
การใช้แผนภูมิพาเรโตในงานวิจัยด้านอุตสาหกรรมสามารถพบได้อย่างชัดเจน เช่น ในงานวิจัยของ ธนกฤษ ชุ่นเซ่ง (2557) ที่ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยใช้แผนภูมิพาเรโตวิเคราะห์ข้อมูลของเสีย พบว่าจำนวนของเสียทั้งหมด 5,325 ชิ้น มีของเสียประเภทจุดดำมากที่สุดจำนวน 2,844 ชิ้น (คิดเป็นร้อยละ 53.41) ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสาเหตุหลักของปัญหานั้นคือจุด

ดำ จากนั้นผู้วิจัยจึงเลือกดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตในส่วนนั้น และพบว่าหลังการปรับปรุงจำนวนของเสียประเภทจุดดำลดลงเหลือ 1,294 ชิ้น แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของเครื่องมือนี้ในเชิงประจักษ์ นอกจากนี้ ในบริบทของการลดของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติก ยังมีงานวิจัยของกิตติชัย อธิกุลรัตน์ (2562) ได้ศึกษาและประยุกต์ใช้เครื่องมือบริหารคุณภาพ 7 ประการ โดยเฉพาะแผนภูมิพาเรโตและแผนภาพเหตุและผล เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การใช้เครื่องมือดังกล่าวช่วยระบุสาเหตุสำคัญของปัญหาได้อย่างชัดเจน และนำไปสู่การลดของเสียในกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิผล ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดพื้นฐานของแผนภูมิพาเรโตที่เน้นการจัดลำดับความสำคัญของปัญหา และการแก้ไขสาเหตุสำคัญก่อน นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการใช้เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพเชิงระบบเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพและคุณภาพสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

แผนภาพเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนภาพเหตุและผล หรือที่รู้จักกันในชื่อแผนภาพก้างปลา (Fishbone diagram) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพที่ช่วยในการระบุและจัดระบบสาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหาหรือข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยแผนภาพเหตุและผลนี้ได้รับการพัฒนาโดย Dr. Kaoru Ishikawa ในช่วงทศวรรษ 1960 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาคุณภาพในอุตสาหกรรม

โครงสร้างของแผนภาพเหตุและผล ดังแสดงในภาพที่ 6 ประกอบด้วยเส้นหลักที่แสดงถึงปัญหาหรือผลลัพธ์ (Effect) ที่ต้องการแก้ไข และเส้นย่อยที่แสดงสาเหตุหลัก (Major causes) ซึ่งแบ่งออกเป็นหมวดหมู่ต่าง ๆ ตามประเภทของสาเหตุ เช่น คน (Man), เครื่องจักร (Machine), วัสดุ (Material), วิธีการ (Method) และสิ่งแวดล้อม (Environment) โดยแต่ละหมวดหมู่จะประกอบด้วยสาเหตุย่อยที่ช่วยให้การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเป็นไปอย่างละเอียดและเป็นระบบ



ภาพที่ 6 ลักษณะแผนภาพเหตุและผล

แผนภาพเหตุและผลมักถูกนำมาใช้ร่วมกับเครื่องมือบริหารคุณภาพอื่น ๆ เพื่อวิเคราะห์และระบุสาเหตุสำคัญของปัญหา (กิตติชัย อธิกุลรัตน์ และ กฤษฎา ดลปัญญา. 2562) ซึ่งประยุกต์แผนภาพเหตุและผลในการวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่องประเภทจุดดำในกระบวนการผลิตแผ่นฟิล์มพลาสติกที่ถูกเลือกมาจากการใช้แผนภาพพาเรโต การใช้แผนภาพเหตุและผลนี้ช่วยให้สามารถระบุปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพได้อย่างครบถ้วนและแม่นยำ และนำไปสู่การแก้ไขปัญหาคุณภาพได้อย่างเหมาะสมทำให้สามารถลดข้อบกพร่องประเภทจุดดำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สมพร วงษ์เพ็ง และ อัญญารัตน์ ประสันใจ. 2563) ได้วิเคราะห์ปัญหาตะกั่วลัดวงจรที่ขาซีพียูในกระบวนการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้แผนภาพเหตุและผล (Ishikawa Diagram) โดยผลการวิเคราะห์สาเหตุหลักของปัญหาพบว่า ขนาดของรูพิมพ์บล็อกสกรีนตะกั่วในตำแหน่งของซีพียูมีขนาดใหญ่เกินไปเมื่อเทียบกับพื้นที่แพด (Pad) บนแผ่นพีซีบี (PCB) ส่งผลให้เกิดตะกั่วล้นจนลัดวงจรระหว่างขาซีพียู เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว จึงมีการออกแบบรูพิมพ์บล็อกสกรีนตะกั่วใหม่ โดยปรับขนาดจากเดิม 0.30 มิลลิเมตร เป็น 0.25 มิลลิเมตร พร้อมทั้งดำเนินการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิต เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดชิ้นงานเสียจากปัญหาตะกั่วลัดวงจรอีกในอนาคต

การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA)

MSA หรือ Measurement System Analysis คือ การวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของระบบการวัดที่ใช้ในการเก็บข้อมูล โดยเฉพาะในการควบคุมคุณภาพและ

กระบวนการผลิต MSA เป็นส่วนหนึ่งของ Core tools ด้านคุณภาพ เช่นเดียวกับ FMEA และ SPC ซึ่งมีที่มาจากการพัฒนาวิธีการควบคุมคุณภาพในภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในช่วงที่แนวคิด Total Quality Management (TQM) และ Statistical Process Control (SPC) เริ่มได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 20 โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมยานยนต์ของสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 5 ประเภทหลักๆ ตามลักษณะของข้อมูลและจุดประสงค์ในการวิเคราะห์ ดังนี้

1. Gage R&R (สำหรับข้อมูลเชิงปริมาณ/ Variable data)
2. Attribute MSA (สำหรับข้อมูลเชิงคุณภาพ/ Attribute data)
3. Linearity study (การวิเคราะห์ความเป็นเส้นตรง)
4. Bias study (การวิเคราะห์ความเบี่ยงเบน)
5. Stability study (การวิเคราะห์ความเสถียร)

ในการทำวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ Attribute MSA สำหรับข้อมูลเชิงคุณภาพ (Attribute data) เพื่อให้มั่นใจว่าพนักงานผู้มีหน้าที่ตรวจสอบการเสียรูปของชิ้นงานด้วยจิ๊กตรวจสอบนั้นมีความสามารถในการตัดสินใจถูกต้อง แม่นยำ และสม่ำเสมอ เพื่อไม่ให้กระทบต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปัญหาจากการตัดสินผิดพลาด

การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลเชิงคุณภาพ (Attribute MSA)

Attribute MSA (Attribute Measurement System Analysis) คือการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบการวัดที่ให้ผลเป็นลักษณะไม่ต่อเนื่อง การวิเคราะห์นี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อตรวจสอบว่า "ระบบการวัด" โดยเฉพาะที่อาศัยการตัดสินจากคน (เช่น พนักงานตรวจสอบ) มีความน่าเชื่อถือเพียงใด

องค์ประกอบสำคัญในการวิเคราะห์ Attribute MSA ประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่

1. ความถูกต้อง (Correctness) เป็นการประเมินความสามารถของผู้ตรวจสอบในการให้ผลตรงกับค่าจริงหรือมาตรฐานอ้างอิง (Reference standard) กล่าวคือ ระบบการวัดสามารถจำแนกชิ้นงานได้ถูกต้องหรือไม่

2. ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) เป็นการตรวจสอบว่าผู้ตรวจสอบคนเดียวกันสามารถให้ผลการตรวจที่สอดคล้องกัน ได้หรือไม่ เมื่อทำการตรวจซ้ำชิ้นงานเดิมในเวลาต่างกัน โดยไม่มีการบอกล่วงหน้าว่าเป็นชิ้นงานเดียวกัน

3. ความสามารถในการทำซ้ำระหว่างบุคคล (Reproducibility) เป็นการวิเคราะห์ว่าผู้ตรวจสอบหลายคนสามารถให้ผลการตรวจที่สอดคล้องกันในชิ้นงานเดียวกันหรือไม่ หากผลต่างกันมาก แสดงว่ามีความไม่แน่นอนในระบบการตัดสินใจ

วิธีการประเมินระบบการวัดแบบข้อมูลลักษณะ โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แนวทาง ได้แก่

การประเมินระยะสั้น (Short method) เป็นการคัดเลือกชิ้นงานตัวอย่างที่มีลักษณะ “ดี”, “เสีย” และ “ก้ำกึ่ง” อย่างสมดุล แล้วสุ่มลำดับให้ผู้ตรวจสอบทำการประเมินหลายรอบ โดยไม่ทราบล่วงหน้าว่าชิ้นงานนั้นซ้ำกันหรือไม่ จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลกับค่ามาตรฐาน เพื่อคำนวณค่าต่าง ๆ เช่น เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง (Percent agreement with standard), เปอร์เซ็นต์การทำซ้ำภายในบุคคล (Within-Appraiser agreement), เปอร์เซ็นต์การทำซ้ำระหว่างบุคคล (Between-Appraiser agreement)

การประเมินระยะยาว (Long method) เป็นแนวทางที่ไม่ค่อยนิยมใช้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากใช้เวลาและทรัพยากรมากกว่า แต่จะเน้นเก็บข้อมูลการตรวจจริงจากสายการผลิตในช่วงเวลานาน แล้ววิเคราะห์แนวโน้มความสม่ำเสมอในระยะยาว

การประเมินผลการตรวจสอบ มีขั้นตอนดังนี้

1) ทำการเลือก “คณะผู้ชำนาญการ” ซึ่งเป็นบุคคลที่มีความสามารถในการแยกแยะคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดี/เสียและลูกคาให้การยอมรับในการตรวจสอบดังกล่าว

2) ให้กำหนด “ล็อตมาตรฐาน (Standard lots)” สำหรับใช้ในการตรวจสอบเพื่อประเมินความสามารถของระบบการตรวจสอบ ประกอบด้วยตัวอย่างงานที่มีคุณภาพดี จำนวน 1 ใน 3 ของสิ่งตัวอย่างทั้งหมด โดยมีตัวอย่างที่มีคณภาพไม่ดีอีกจำนวน 1 ใน 3 ของสิ่งตัวอย่างทั้งหมด และอีก 1 ใน 3 เป็นสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพก้ำกึ่ง (Marginal) โดยงานก้ำกึ่งนี้ควรจะประกอบด้วยงานดีแบบก้ำกึ่ง (Marginal conformity) และงานไม่ดีแบบก้ำกึ่ง (Marginal nonconformity)

3) ทำการเลือกพนักงานตรวจสอบงานมา 2-4 คน โดยพนักงานที่เลือกมาจะตองเป็นพนักงานที่มีหน้าที่ประจำในการตรวจสอบคุณภาพ และได้รับการฝกอบรมมาอย่างดีพรอม ผ่านการสอบประเมินผล

4) ทำการกำหนดจำนวนชิ้นงานตัวอย่างและจำนวนครั้งในการทดสอบซ้ำ โดยจำนวนดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพนักงานทดสอบ

5) ให้สุ่มพนักงานตรวจสอบมา 1 คน แล้วให้ทำการตรวจสอบตัวอย่าง ประเมินผลคุณภาพของสิ่งตัวอย่างว่า “ผ่าน” หรือ “ไม่ผ่าน” พร้อมบันทึกผลในตารางทดสอบ

6) ทำการสุ่มพนักงานมาอีก แล้วดำเนินการเหมือนขึ้นตอนที่ผ่านมา ทำแบบนี้ไปจนครบการประเมินผลจากพนักงานทุกคน

ในการประเมินผลการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบข้อมูลเชิงคุณภาพ มีดัชนีที่ใช้ในการประเมินผลดังนี้

% ความแม่นยำเมื่อเทียบกับมาตรฐาน (%Agreement with Standard) หมายถึง การวัดความแม่นยำของผู้ตรวจสอบว่า ตัดสินชิ้นงานได้ถูกต้องเท่าใดเมื่อเทียบกับผลที่แท้จริง (Reference standard) ใช้ในการเปรียบเทียบผลของผู้ตรวจสอบแต่ละคนกับ "ค่าความจริง" (Ground truth) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\%\ \text{Agreement with Standard} = \frac{\text{จำนวนการตัดสินใจที่ตรงกับค่าจริง}}{\text{จำนวนการตัดสินใจทั้งหมด}} \times 100 \qquad (1)$$

% ความสามารถในการวัดซ้ำ (% Repeatability Agreement) หมายถึง ร้อยละของผลการตรวจซ้ำโดยผู้ตรวจสอบคนเดียวกัน ที่ให้ผลสอดคล้องกันในแต่ละครั้ง ซึ่งสะท้อนถึงความสม่ำเสมอในการวัดและความน่าเชื่อถือของระบบการตรวจสอบในระดับบุคคล ใช้ในการประเมินความสม่ำเสมอในตัวของผู้ตรวจสอบเอง (สองรอบต้องให้ผลเหมือนกัน) มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\%\ \text{Repeatability Agreement} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่ผู้ตรวจสอบคนเดียวให้ผลตรงกัน}}{\text{จำนวนการวัดซ้ำทั้งหมด}} \times 100 \qquad (2)$$

% ความสามารถในการทำซ้ำ (% Reproducibility Agreement) คือ ร้อยละของการตรวจสอบชิ้นงานเดียวกันโดยผู้ตรวจสอบหลายคน ซึ่งให้ผลการวัดตรงกัน สะท้อนถึงความน่าเชื่อถือของระบบการวัดเมื่อมีผู้ใช้งานหลายคน ใช้ในการประเมินดูความสอดคล้องของผู้ตรวจสอบหลายคนที่ตรวจชิ้นเดียวกัน มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\% \text{ Reproducibility Agreement} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้เหมือนกัน}}{\text{จำนวนการเปรียบเทียบระหว่างบุคคลทั้งหมด}} \times 100 \quad (3)$$

% ความถูกต้องรวมของระบบการวัด (% Overall Agreement) หมายถึง ร้อยละของจำนวนครั้งที่การตัดสินของผู้ตรวจสอบทุกคนในทุกครั้งตรงกับค่าคุณภาพที่แท้จริง (มาตรฐาน) สะท้อนถึงความแม่นยำโดยรวมของระบบการตรวจสอบทั้งหมด ใช้เพื่อเปรียบเทียบทุกการตัดสินในระบบกับค่าความจริง มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\% \text{ Overall Agreement} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจสอบได้ถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นที่ตรวจสอบ}} \times 100 \quad (4)$$

ดำเนินการตัดสินใจจากสมการ (1) ถึง (4) พิจาราณาจากผลการประเมินตามเกณฑ์ในตารางที่ 2 โดยที่ หาก % Agreement ต่ำกว่า 90% ในด้านใดด้านหนึ่ง แสดงว่าระบบการวัดนั้นอาจจะเชื่อถือไม่ได้ และควรดำเนินการปรับปรุง เช่น อบรมผู้ตรวจเพิ่มเติม ปรับคู่มือการตรวจ ใช้เกณฑ์ตัดสินที่ชัดเจนขึ้น หรือใช้เครื่องมือวัดที่เสถียรกว่า เพื่อปรับปรุงระบบการวัดให้ดีขึ้น โดยต้องทำการประเมินซ้ำจนกว่าพนักงานจะผ่านเกณฑ์ หรือมิฉะนั้นจะต้องกำหนดให้ชิ้นงานนั้นได้รับการตรวจสอบโดยผู้ชำนาญเฉพาะเท่านั้น ซึ่งอาจจะเป็นข้อจำกัดในทางปฏิบัติมากเกินไปจนเกิดผลกระทบต่อภาระงานของพนักงานคนใดคนหนึ่ง

ตารางที่ 2 เกณฑ์การประเมินผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลเชิงคุณภาพ

ประเภทของ % Agreement	**ความหมาย**	**ค่าที่แนะนำให้ยอมรับ**
% Agreement with Standard	ความสามารถในการตัดสินให้ตรงกับมาตรฐาน (หรือ Master)	≥ 90%

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ประเภทของ % Agreement	ความหมาย	ค่าที่แนะนำให้ยอมรับ
% Repeatability	ความสามารถของผู้ตรวจคนเดียวกันที่ให้ผลเหมือนเดิมในรอบถัดไป	≥ 90%
% Reproducibility	ความสามารถของผู้ตรวจสอบหลายคนที่ให้ผลเหมือนกัน	≥ 90%
%Overall Agreement (โดยรวม)	ความสอดคล้องทั้งหมดของการวัด	≥ 90%

ในงานวิจัยและอุตสาหกรรม การวิเคราะห์ Attribute MSA เป็นขั้นตอนสำคัญก่อนการนำข้อมูลไปใช้วิเคราะห์คุณภาพและปรับปรุงกระบวนการผลิต รวมถึงภาคการศึกษา (เอราวิล ถาวร. 2560) นำการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) มาประยุกต์ใช้กับงานกลึงโลหะ เพื่อระบุและลดความผันแปรของระบบการวัด โดยพบว่าความเที่ยงไม่ผ่านเกณฑ์ (P/T Ratio > 30%) จึงวิเคราะห์หาสาเหตุและปรับปรุง จนค่า P/T Ratio ลดเหลือ 7.16% ส่งผลให้ระบบการวัดแม่นยำขึ้น และสามารถจัดทำมาตรฐานเพื่อใช้ในการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ (จรรยา ชื่นอารมณ์ และ เภตรา ชื่นอารมณ์. 2568) ได้ใช้การวิเคราะห์ระบบการวัดมาใช้ปรับปรุงการวัดสีฟันเทียม เพื่อเพิ่มความแม่นยำสำหรับพนักงานใหม่ โดยใช้พนักงานชำนาญการและพนักงานใหม่รวม 4 คนวัดค่าสีด้วยเครื่องสเปคโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่า %GR&R เบื้องต้นสูงถึง 59% ซึ่งเกินเกณฑ์ที่ยอมรับ (30%) จึงปรับปรุงด้วยการกำหนดตำแหน่งวางชิ้นงานให้แน่นอน และอบรมพนักงานใหม่อย่างเข้มข้น ผลคือ %GR&R ลดลงเหลือ 23% แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์ระบบการวัดช่วยเพิ่มความแม่นยำ และสามารถนำไปจัดทำขั้นตอนปฏิบัติงานสำหรับพนักงานใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ย่อมแสดงให้เห็นว่า การทำ MSA ช่วยลดความผิดพลาดในการวัด และทำให้การควบคุมคุณภาพมีประสิทธิผลมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ MSA จึงเป็นเครื่องมือพื้นฐานที่ขาดไม่ได้ในการบริหารคุณภาพ เพื่อสร้างความมั่นใจว่าการวัดผลและข้อมูลที่ใช้ตัดสินใจนั้นมีความน่าเชื่อถือสูงสุด

การวิเคราะห์โหมดความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure Mode and Effective Analysis)

การบริหารคุณภาพในภาคอุตสาหกรรมยุคใหม่ไม่อาจมองข้ามความสำคัญของเครื่องมือที่ช่วยในการระบุ วิเคราะห์ และลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นต่อผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ หนึ่งในเครื่องมือที่มีบทบาทอย่างมากในเรื่องนี้คือ FMEA หรือ Failure Mode and Effects Analysis ซึ่งถือเป็นวิธีการวิเคราะห์เชิงระบบที่ออกแบบมาเพื่อคาดการณ์และป้องกันความล้มเหลว (Failure) ก่อนที่จะเกิดขึ้นจริง โดยเน้นการวิเคราะห์ตั้งแต่ช่วงต้นของการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต โดย FMEA ได้รับการพัฒนาครั้งแรกในช่วงทศวรรษ 1950 โดยองค์การนาซา (NASA) เพื่อใช้ในโครงการสำรวจอวกาศ ซึ่งต้องการมาตรฐานความน่าเชื่อถือสูงและปราศจากข้อผิดพลาด จากนั้นจึงถูกถ่ายทอดเข้าสู่อุตสาหกรรมยานยนต์ โดยเฉพาะในปี ค.ศ. 1972 ที่บริษัท Ford Motor ได้ผนวก FMEA เข้ากับโปรแกรมฝึกอบรมพนักงานในหัวข้อความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ และกลายเป็นส่วนสำคัญของแนวทางการประกันคุณภาพอย่างเป็นระบบของอุตสาหกรรมรถยนต์ในอเมริกาเหนือ

ในบริบทของประเทศไทย การนำ FMEA มาใช้เริ่มขึ้นราวปี ค.ศ. 1990 โดยเฉพาะในกลุ่มอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ซึ่งต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของ Ford Motor ผ่านมาตรฐาน Q101 ต่อมาเมื่อมาตรฐานระบบบริหารคุณภาพระดับสากล เช่น QS9000, ISO/TS16949 และ TL9000 เริ่มมีบทบาทมากขึ้น ทำให้อุตสาหกรรมไทย โดยเฉพาะกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์และอิเล็กทรอนิกส์ มีการปรับใช้ FMEA อย่างแพร่หลายมากขึ้น

FMEA เป็นกระบวนการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความล้มเหลว ด้วยการระบุรูปแบบของข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น (Potential failure modes) วิเคราะห์ผลกระทบของข้อบกพร่องนั้น (Effects) และกำหนดแนวทางเพื่อลดความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องให้เหลือน้อยที่สุด จากแนวคิดของ AIAG (2002) FMEA ไม่เพียงเป็นการประเมินความเสี่ยง แต่ยังเป็นเวทีในการอภิปรายและทบทวนกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์อย่างรอบด้าน เพื่อให้การพัฒนานั้นมีคุณภาพและปลอดภัยต่อผู้ใช้ปลายทางซึ่งโดยทั่วไป FMEA ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ประการ ได้แก่

1. การระบุลักษณะของข้อบกพร่องและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น

2. การประเมินระดับความเสี่ยงโดยใช้เกณฑ์ ความรุนแรง (Severity) – ความถี่ในการเกิด (Occurrence) – ความสามารถในการตรวจจับ (Detection)

3. การดำเนินการป้องกันหรือแก้ไขตามลำดับความสำคัญของความเสี่ยงที่คำนวณได้จากค่า RPN (Risk Priority Number)

RPN เป็นค่าที่เกิดจากการคูณคะแนนของ 3 ปัจจัยข้างต้น โดยมีสูตรคือ

RPN = Severity × Occurrence × Detection

ค่าที่สูงบ่งชี้ถึงความเสี่ยงที่ต้องให้ความสำคัญในการดำเนินการปรับปรุงหรือแก้ไขก่อน

FMEA สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภทตามลักษณะการนำไปใช้ ได้แก่

• Design FMEA (DFMEA) มุ่งเน้นที่การวิเคราะห์ข้อบกพร่องจากการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อให้สามารถแก้ไขก่อนส่งเข้าสู่กระบวนการผลิต

• Process FMEA (PFMEA): ใช้เพื่อประเมินและควบคุมความเสี่ยงในกระบวนการผลิตเพื่อป้องกันข้อผิดพลาดระหว่างการดำเนินงาน

• Service FMEA (SFMEA): ใช้สำหรับการวิเคราะห์ในกระบวนการให้บริการ โดยเน้นคุณภาพของการให้บริการและความพึงพอใจของลูกค้า

ในงานวิจัยนี้ เป็นกรณีศึกษาของโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ขนาดกลาง ซึ่งไม่ได้ทำการออกแบบผลิตภัณฑ์เอง แต่จะรับแบบผลิตภัณฑ์ (Drawing) จากบริษัทแม่ในประเทศญี่ปุ่น จากนั้นบริษัทจะดำเนินการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการปั๊มขึ้นรูปโลหะด้วยแม่พิมพ์แบบต่อเนื่อง (Progressive die stamping) สิ่งที่ควบคุมได้โดยตรงจึงเป็นกระบวนการผลิตภายในบริษัท งานวิจัยจะมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ Process FMEA เพื่อวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงในขั้นตอนการผลิต โดยมีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

1. เริ่มต้นจากการจัดทำแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (Process flow diagram) เพื่อแสดงลำดับของขั้นตอนที่เกิดขึ้นจริงในสายการผลิต

2. จากนั้นจึงนำข้อมูลในแผนภูมิการไหลมาจัดทำแบบฟอร์ม FMEA สำหรับกระบวนการโดยใช้แบบฟอร์มมาตรฐาน ซึ่งจะแสดงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน ความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น สาเหตุ ผลกระทบ และมาตรการควบคุมที่มีอยู่ รวมถึงการให้คะแนนความรุนแรง ความถี่ในการเกิด และความสามารถในการตรวจจับ โดยอ้างอิงแบบฟอร์ม FMEA ที่เป็นแบบฟอร์มมาตรฐานที่มีข้อมูลขั้นต่ำที่ต้องการ ดังแสดงในภาพที่ 7

การวิเคราะห์แนวโน้มลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ

(FMEA ของกระบวนการ)

(FMEA ของการบวนการ) ②　　③　　หมายเลข FMEA ①

ส่วนประกอบ _____　ผู้รับผิดชอบกระบวนการ _____　หน้า _____ จากทั้งหมด _____

รุ่นปี/โปรแกรม _____ ④ _____ ⑤ _____ จัดทำโดย _____ ⑧

ทีมงานหลัก ⑦　　วันที่ FMEA (ครั้งแรก) ⑥ _____

ขั้นตอน / ฟังก์ชั่น หน้าที่	ข้อกำหนด	แนวโน้มลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มผลกระทบของข้อบกพร่อง	ระดับร้ายแรง	เฉพาะคุณลักษณะ	แนวโน้มสาเหตุของข้อบกพร่อง	กระบวนการในปัจจุบัน			RPN	ข้อปฏิบัติที่แนะนำ	ผู้รับผิดชอบและเป้าหมายวันที่กำหนดเสร็จ	ผลการดำเนินการ				
							การควบคุมการป้องกัน	ดัชนีบ่งชี้	การควบคุมการตรวจสอบ				ข้อปฏิบัติที่ดำเนินการแล้ว วันที่เสร็จ	ระดับร้ายแรง	ดัชนีบ่งชี้	การตรวจจับ	RPN
⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓			

ภาพที่ 7 ตัวอย่างแบบฟอร์มการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ ของบริษัทกรณีศึกษา

แบบฟอร์มที่ใช้เป็นตัวอย่างต่างๆ ในงานวิจัยฉบับนี้เป็นเพียงแนวทางในการบันทึกการอภิปรายและวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ของ PFMEA เท่านั้น โดยรายละเอียดในแบบฟอร์มจะประกอบไปด้วยรายละเอียดขั้นต่ำ ที่เป็นที่คาดหวังทั่วไปของผู้ผลิตรถยนต์ (OEM) การปรับเปลี่ยนและการจัดเรียงหัวข้อ หรือการเพิ่มหัวข้อในแบบฟอร์มสามารภทำได้ตามความต้องการและความคาดหวังขององค์กร และลูกค้า ทั้งนี้แบบฟอร์มใดๆ ที่นำมาใช้งานต้องเป็นที่ยอมรับของลูกค้า

ส่วนหัวของแบบฟอร์ม FMEA สำหรับกระบวนการ (ช่อง 1-8) หัวข้อ PFMEA ควรระบุจุดสนใจในการทำ PFMEA และข้อูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดทำเอกสารและกระบวนการควบคุมอย่างชัดเจน ได้แก่ หมายเลข FMEA การระบุขอบข่าย ผู้รับผิดชอบในการออกแบบ วันกำหนดเสร็จ เป็นต้น ในส่วนหัวของตารางจึงควรประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

1. หมายเลข FMEA: กรอกชุดอักษรและตัวเลขที่ใช้ในการชี้บ่งเอกสาร PFMEA สำหรับการควบคุมเอกสาร

2. ส่วนประกอบ: กรอกชื่อและหมายเลขระบบ ระบบย่อย หรือส่วนประกอบที่จะนำมาวิเคราะห์

3. ผู้รับผิดชอบกระบวนการ: กรอกชื่อผู้ผลิตรถยนต์ (OEM) องค์กร และหน่วยงานหรือกลุ่มที่รับผิดชอบการออกแบบกระบวนการกรอกชื่อองค์กรผู้ส่งมอบด้วย หากมีความเกี่ยวข้อง

4. รุ่นปี / โปรแกรม ในส่วนนี้ให้กรอกรุ่นปีและชื่อโครงการ ที่มีการนำกระบวนการที่ได้รับการวิเคราะห์มาใช้ หรือได้รับผลกระทบจากกระบวนการดังกล่าว (ถ้าทราบ)

5. วันที่กำหนดเสร็จ: กรอกวันที่กำหนดส่ง PFMEA ในครั้งแรก ซึ่งไม่ควรเลยกำหนดวันเริ่มต้นการผลิตสำหรับองค์กรผู้ส่งมอบ วันที่ไม่ควรเลยกำหนดของกระบวนการขออนุมัติชิ้นส่วนสำหรับการผลิต (PPAP) ที่ลูกค้าต้องการ

6. วันที่จัดทำ FMEA (ครั้งแรก): กรอกวันที่ที่จัดทำ FMEA ฉบับแรกสมบูรณ์ และวันที่ของฉบับปรับปรุงล่าสุด

7. ทีมงานหลัก: กรอกชื่อสมาชิกของทีมงานที่รับผิดชอบในการจัดทำ PFMEA อาจจะรวมถึงรายละเอียดในการติดต่อ (เช่น ชื่อ ชื่อองค์กร หมายเลขโทรศัพท์) และอีเมลล์) ระบุไว้เป็นเอกสารแนบเพื่ออ้างอิง

8. จัดทำโดย: กรอกชื่อและรายละเอียดในการติดต่อ รวมทั้งชื่อองค์กร (ชื่อบริษัท) ที่วิศวกรหรือหัวหน้าทีมผู้รับผิดชอบการจัดทำ PFMEA สังกัดอยู่

ส่วนกลางของแบบฟอร์ม FMEA สำหรับกระบวนการ (ช่อง 9-23)

9. ขั้นตอนของกระบวนการและฟังก์ชันหน้าที่ กรอกสิ่งที่บ่งชี้ขั้นตอนในกระบวนการหรือการปฏิบัติงานที่จะนำมาวิเคราะห์ โดยอาจจะชี้บ่งเป็นระบบตัวเลขหรือชื่อเรียก ตัวอย่างเช่น ใส่ตัวเลขหรือใส่หมายเลขชี้บ่ง ชื่อผลิตภัณฑ์ (Item name) สำหรับระบุชื่อสินค้า / ผลิตภัณฑ์ ส่วนฟังก์ชั่นหน้าที่/ความต้องการของกระบวนการ (Process Function/Requirement) นั้นให้ระบุขั้นตอนกระบวนการ ให้ใช้คำถามง่ายๆ ว่าสิ่งนั้นคืออะไร และสิ่งนั้นใช้ทำอะไร และในกรณี ที่มีหน้าที่ของกระบวนการหลายข้อ ควรมีการจัดลำดับก่อนหลัง เพราะอาจทำให้มีข้อบกพร่อง แตกต่างกันได้ ข้อกำหนด ทำการร่างรายการข้อกำหนดต่างๆ สำหรับแต่ละฟังก์ชันหน้าที่ของกระบวนการ ในแต่ละขั้นตอนหรือการปฏิบัติ ข้อกำหนดคือ ปัจจัยนำเข้า ของกระบวนการเพื่อที่จะก่อให้เกิดความสอดคล้องกับเจตนารมณ์ในการออกแบบและข้อกำหนดต่างๆ ของลูกค้า หากมีข้อกำหนดหลายข้อที่เกี่ยวข้องกับฟังก์ชั่นหน้าที่นั้นๆ ควรระบุข้ออกำหนดแต่ละข้อกับลักษณะข้อบกพร่องตามลำดับให้ตรงกันและอยู่บรรทัดเดียวกันในแบบฟอร์ม เพื่อที่จะช่วยให้ทำการวิเคราะห์ได้ง่ายขึ้น

10. แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง (Potential Failure Mode) สำหรับระบุลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Mode) ซึ่งในการวิเคราะห์อยู่ภายใต้สมมติฐานที่ว่า ชิ้นส่วนหรือวัตถุดิบที่นำเข้ามาจากกระบวนการก่อนหน้ามีความถูกต้องเสมอ เพื่อพิจารณาถึงลักษณะข้อบกพร่องที่ แท้จริงของกระบวนการ

11. แนวโน้มของผลกระทบของข้อบกพร่อง (Potential Effects of Failure) สำหรับระบุแนวโน้มของผลจากข้อบกพร่อง หมายความถึง ผลกระทบของลักษณะข้อบกพร่องที่กระทบกับ ลูกค้า โดยผลกระทบอยู่ในรูปของสิ่งที่ลูกค้าสังเกตเห็นหรือสิ่งที่ลูกค้าเคยมีประสบการณ์มาก่อน

12. ความรุนแรงของผลกระทบ (Severity: S) สำหรับระบุเลขระดับความรุนแรงของปัญหาซึ่งได้จากการประเมินโดยใช้ค่าสเกล 1 ถึง 10 โดยเกณฑ์ดังกล่าวจะพิจารณาจากลูกค้าภายนอกก่อนเป็นลำดับแรก และกรณีที่ผลกระทบเกิดขึ้นทั้งลูกค้าภายนอกและลูกค้าภายใน ให้ใช้คะแนนจากความรุนแรงที่สูงกว่าจากการประเมิน การวิเคราะห์คะแนนความรุนแรงของผลกระทบดังตัวอย่างในตารางที่ 3

13. การจำแนก (Classification) สำหรับระบุลักษณะพิเศษของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ (Special product characteristic) เช่น คุณลักษณะวิกฤต สำคัญมาก สำคัญน้อย และมีนัยสำคัญ

14. แนวโน้มของสาเหตุ/กลไกของข้อบกพร่อง (Potential causes/Mechanisms of failure) สำหรับระบุแนวโน้มของสาเหตุกลไกที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง ซึ่งระบุรายการที่เป็นไป ได้ทำให้เกิดความบกพร่องนั้น

15. การควบคุมในปัจจุบัน (Current process controls) สำหรับระบุการควบคุมกระบวนการ หรือ ความมุ่งมั่นอื่น ๆ ที่จะทำให้มั่นใจว่ากระบวนการผลิตมีความสามารถที่จะ รองรับความบกพร่องที่เกิดขึ้นได้ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ การป้องกัน (Prevention) หมายถึง การป้องกันสาเหตุ/กลไกของข้อบกพร่องหรือ ลักษณะของข้อบกพร่องจากการเกิดขึ้น การตรวจจับ (Detection) หมายถึง การตรวจจับสาเหตุ/กลไกของข้อบกพร่องหรือ ลักษณะข้อบกพร่องเพื่อนำไปสู่การปฏิบัติการแก้ไขต่อไป

16. โอกาสในการเกิด (Occurrence: O) สำหรับระบุโอกาสความเป็นไปได้ในการเกิดผลกระทบซึ่งการกำหนดคะแนนให้กับโอกาสการเกิดอาศัยข้อมูลอัตราข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ (Possible failure rates) ที่ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อบกพร่องที่มีการคาดหมายในระหว่างการ ปฏิบัติกับกระบวนการหรือได้มาจากข้อมูลเชิงสถิติโดยอาศัยการคำนวณค่าดัชนีความสามารถ เชิงสมรรถนะของกระบวนการ Ppk สำหรับกระบวนการที่คล้ายคลึงกัน ดังตัวอย่างในตารางที่ 3

17. การควบคุมการตรวจจับ คือคำอธิบายถึงการควบคุมต่างๆ ที่สามารถป้องกันทั้งการป้องกันไม่ให้สาเหตุของข้อบกพร่องเกิดขึ้น หรือที่สามารถตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องหรือสาเหตุของข้อบกพร่องหากเกิดขึ้นจริง ภายในขอบเขตที่เป็นไปได้

18. การตรวจจับ (Detection: D) สำหรับระบุคะแนนการประเมินขีดความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่อง โดยจะให้คะแนนในการตรวจจับต่ำลงก็ต่อเมื่อระบบมีความสามารถในการตรวจจับที่ดีขึ้น ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนวิธีการควบคุมที่ได้วางแผนไว้เท่านั้น ให้กฎเกณฑ์การประเมินผลความสามารถในการตรวจจับของระบบควบคุมกระบวนการ ดังตัวอย่างในตารางที่ 3

19. ตัวเลขแสดงลำดับของความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) สำหรับระบุเลขแสดงความรุนแรงต่อความล้มเหลว โอกาสที่เกิดความล้มเหลว และความสามารถในการ ตรวจจับผลิตภัณฑ์ซึ่งมีค่าระหว่าง 1-1000 ซึ่งค่า RPN สามารถคำนวณได้จาก S × O × D เมื่อ กำหนดให้ RPN คือ ตัวเลขแสดงลำดับความเสี่ยง เมื่อ S คือ คะแนนความรุนแรงของ ผลกระทบ เมื่อ O คือ คะแนนโอกาสในการเกิด และเมื่อ D คือ การตรวจจับ

20. ข้อปฏิบัติที่แนะนำ โดยทั่วไปแล้ว การทำการป้องกันเป็นวิธีที่ดีกว่าการทำการตรวจจับ เจตนารมณ์ของการดำเนินการที่แนะนำนี้คือเพื่อลดอันดับคะแนนต่างๆ เหล่านี้ดังคำอธิบาย

21. ผู้รับผิดชอบในการปฏิบัติการแก้ไขและวันเสร็จสิ้น (Responsibility for the recommended action) สำหรับระบุชื่อผู้รับผิดชอบในการดำเนินการตามมาตรการที่แนะนำในแต่ละข้อให้เสร็จสมบูรณ์ รวมถึงวันที่กำหนดเสร็จด้วย วิศวกรหรือหัวหน้าทีมที่รับผิดชอบกระบวนการต้องรับผิดชอบในการทำให้แน่ใจว่า ทุกมาตรการที่แนะนำได้ถูกนำไปปฏิบัติอย่างครบถ้วนหรือมีการระบุไว้อย่างเพียงพอ

22. ผลการดำเนินการ ใช้ในการระบุผลลัพธ์ของมาตรการต่างๆ ที่ได้ดำเนินการเสร็จสมบูรณ์แล้ว รวมถึงการส่งผลต่ออันดับคะแนนของ SOD และค่า RPN หลังจากที่ได้ดำเนินการเสร็จแล้ว ให้กรอกคำอธิบายโดยย่อเกี่ยวกับมาตรการที่ได้ดำเนินการไปและวันที่ที่ดำเนินการแล้วเสร็จจริง

23. ความรุนแรง โอกาสเกิด การตรวจจับ และค่า RPN หลังจากที่ได้ดำเนินการป้องกัน/แก้ไขเสร็จสมบูรณ์แล้ว ให้กำหนดและบันทึกอันดับความรุนแรง โอกาสเกิด และการตรวจจับที่เป็นผลลัพธ์ของของมาตรการดังกล่าว คำนวณและบันทึกค่าตัวชี้บ่งลำดับความสำคัญ (ความเสี่ยง) ในการดำเนินการ (ก็คือ ค่า RPN) อันดับคะแนนที่มีการแก้ไขใหม่นั้นควรได้รับการทบทวนทั้งหมด การปฏิบัติตามมาตรการที่แนะนำต่างๆ เพียงเท่านั้น ไม่ได้เป็นการรับประกันว่าปัญหา ได้รับการแก้ไข ดังนั้นควรทำการวิเคราะห์หรือทดสอบความเหมาะสมให้เสร็จสมบูรณ์ ซึ่งเป็นเสมือนการทวนสอบ หากพิจารณาว่าจำเป็นต้องมีมาตรการใดๆ เพิ่มเติมให้ทำการวิเคราะห์ซ้ำอีกครั้ง ทั้งนี้ควรให้ความสำคัญกับการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเสมอ

เทคนิคและกระบวนการประยุกต์ใช้ FMEA

การทำ Process FMEA (PFMEA) หรือ การวิเคราะห์โหมดความล้มเหลวและผลกระทบในกระบวนการผลิต เป็นขั้นตอนเชิงระบบที่มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบและป้องกันปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการก่อนที่ปัญหานั้นจะส่งผลกระทบต่อลูกค้าหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปแล้ว PFMEA จะมี 7 ขั้นตอนหลัก ตามแนวทางของ AIAG & VDA (2022) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่องค์กรชั้นนำใช้ร่วมกันในอุตสาหกรรมยานยนต์และการผลิตอื่น ๆ ดังนี้

1. การวางแผนและการเตรียมความพร้อม (Planning and preparation) เป็นการกำหนดขอบเขตของกระบวนการที่จะทำ PFMEA และเตรียมข้อมูลพื้นฐาน เช่น Process flow diagram (PFD), รายละเอียดผลิตภัณฑ์, ข้อกำหนดลูกค้า, รายงานปัญหาเดิม ฯลฯ จากนั้นจึงระบุทีมงานที่เกี่ยวข้องแบบข้ามสายงาน (Cross-functional team) และกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์โครงสร้าง (Structure analysis) เพื่อทำความเข้าใจโครงสร้างของกระบวนการ เช่น ขั้นตอนการผลิตทั้งหมด แยกแยะระดับของกระบวนการ เช่น ระบบ (System), ส่วนย่อยของระบบ (Sub-system) และขั้นตอนเฉพาะ (Process step) โดยใช้เครื่องมือเช่นแผนผังกระบวนการ (Process map) หรือแผนภาพสายงาน (Flow diagram)

3. การวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน (Function analysis) เพื่อระบุหน้าที่หลักของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการ และพิจารณาหน้าที่ทั้งตามข้อกำหนดผลิตภัณฑ์และตามการปฏิบัติจริงแล้วจึงทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ต้องการจากแต่ละขั้นตอน

4. การวิเคราะห์ความล้มเหลว (Failure analysis) เพื่อระบุ โหมดความล้มเหลว (Failure Mode) ที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอน นำไปสู่การวิเคราะห์ ผลกระทบ (Effects) หากโหมดความล้มเหลวเกิดขึ้น แล้ววิเคราะห์ สาเหตุ (Causes) ที่ทำให้เกิดโหมดความล้มเหลวนั้น โดยสามารถใช้ Ishikawa Diagram หรือ 5 Why เพื่อช่วยระบุสาเหตุราก (Root cause)

5. การประเมินความเสี่ยง (Risk evaluation) โดยการกำหนดเกณฑ์การให้คะแนน

- Severity (S): ความรุนแรงของผลกระทบ
- Occurrence (O): ความถี่ที่คาดว่าจะเกิดสาเหตุ
- Detection (D): ความสามารถในการตรวจพบก่อนส่งถึงลูกค้า

แล้วคำนวณค่า RPN (Risk Priority Number) = S × O × D หรือใช้ Action Priority (AP) ตามแนวทาง AIAG & VDA. (2019). FMEA Handbook – Failure Mode and Effects Analysis. 1st Edition. AIAG (Automotive Industry Action Group). แทน RPN เพื่อจัดลำดับความสำคัญในการดำเนินการ

ตัวอย่างกฎเกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ จากตารางเกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความเสี่ยงใน PFMEA โดยเฉพาะคะแนน Severity (S), Occurrence (O) และ Detection (D) โดยมีที่มาจากมาตรฐาน AIAG-VDA FMEA Handbook (ฉบับปรับปรุงล่าสุดเผยแพร่ปี 2019 โดย AIAG และ VDA ร่วมกัน)

เกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ Severity (S) คือ ระดับความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดจาก “โหมดความล้มเหลว” (Failure mode) ต่อผู้ใช้งาน ลูกค้า หรือกระบวนการต่อไป โดยไม่คำนึงว่าความล้มเหลวนั้นจะเกิดขึ้นบ่อยแค่ไหน หรือสามารถตรวจพบได้หรือไม่ โดยคะแนนความรุนแรงมีค่าตั้งแต่ระดับ 1 ถึงระดับ 10 ยิ่งคะแนนสูง แสดงถึงผลกระทบที่รุนแรงมากขึ้น โดยจำแนกตามผลกระทบดังรายละเอียดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของผลกระทบ

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
เกิดอันตรายโดยไม่มีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้หรือขัดต่อกฎหมายโดยไม่มีการเตือนล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยไม่มีการ	10
เกิดอันตรายโดยมีการเตือน	ผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้หรือขัดต่อกฎหมายโดยมีการเตือนล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อการเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยมีการเตือน	9
ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้ (เนื่องจากสูญเสียหน้าที่หลัก)	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องถูกทำลายหรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนกซ่อมบำรุงโดยใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง	8
ผลกระทบสูง	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้แต่ระดับสมรรถนะลดลงจนทำให้ลูกค้าไม่พอใจมาก	อาจมีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบคดเลือก (Sorting) และผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า100%) อาจถูกทำลายหรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนกซ่อมบำรุงระหว่างครึ่งถึงหนึ่งชั่วโมง	7

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้แต่ขาด ความสะดวกสบายและทำให้ ลูกค้าไม่พอใจ	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลายและไม่ต้องตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sorting) หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่แผนกซ่อมบำรุงใช้เวลาต่ำกว่าครึ่งชั่วโมง	6
ผลกระทบต่ำ	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้ด้วยความสะดวกสบายแต่สมรรถนะลดลง	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องได้รับการทำกระบวนการซ้ำ หรือได้รับการซ่อมแซมนอกสายการผลิตที่ฝ่ายผลิต	5
ผลกระทบต่ำมาก	ความเรียบรอยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนักอาจมีเสียงดังบ้าง ลูกค้าส่วนใหญ่ (มากกว่า 75%) สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	ผลิตภัณฑ์อาจได้รับการตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sorting) โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย แต่บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจได้รับการกระทำกระบวนการซ้ำ	4
ผลกระทบเล็กน้อย	ความเรียบรอยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนักอาจมีเสียงดังบ้าง ลูกค้าประมาณครึ่งหนึ่งสามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจต้องได้รับการทำกระบวนการซ้ำในสายการผลิต แต่นอกจดปฏิบัติงาน โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย	3

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
เกือบไม่มีผลกระทบ	ความเรียบรอยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนักอาจมีเสียงดังบ้างลูกค้าส่วนน้อย (ต่ำกว่า 25%) สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจต้องได้รับการทำกระบวนการซ้ำในสายการผลิตที่จุดปฏิบัติงานโดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตเห็นได้	อาจมีความไม่สะดวกสบายเล็กน้อยต่อการปฏิบัติงานหรือตัวพนักงาน หรือไม่มีผลกระทบใดๆ	1

เกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง Occurrence (O) คือ ความน่าจะเป็นที่ “สาเหตุ” ของโหมดความล้มเหลว (Failure mode) จะเกิดขึ้น และทำให้เกิดข้อบกพร่องในกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ กล่าวคือ “มีโอกาสเกิดปัญหานี้บ่อยแค่ไหน” โดยพิจารณาจากประสบการณ์, ข้อมูลจริง, สถิติการผลิต, หรือการทดลอง มีเกณฑ์คะแนนตั้งแต่ระดับ 1 ถึงระดับ 10 โดยคะแนนยิ่งสูงโอกาสเกิดข้อบกพร่องยิ่งมากตามไปด้วย ดังรายละเอียดในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง

โอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุ	อัตราข้อบกพร่องที่เป็นไปได้	Ppk	คะแนน
สูงมาก เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ	≥100,000 (หรือ 10%)	<0.55	10
สูง เกิดข้อบกพร่องบอย	50,000 (หรือ 5%)	≥0.55	9
	20,000 (หรือ 2%)	≥0.78	8
	10,000 (หรือ 1%)	≥0.86	7
ปานกลาง เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้ง	5,000 (หรือ 0.5%)	≥0.94	6

ตารางที่ 4 (ต่อ)

โอกาสในการเกิดขึ้นของสาเหตุ	อัตราข้อบกพร่องที่เป็นไปได้	Ppk	คะแนน
ปานกลาง เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้ง	2,000 (หรือ 0.2%)	≥1.00	5
	1,000 (หรือ 0.1%)	≥1.10	4
ต่ำ เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	500	≥1.20	3
	100	≥1.30	2
ห่างไกล เกือบไม่มีโอกาสเกิด	≤10	≥1.67	1

หมายเหตุ: PPM ย่อมาจาก Part per million คือส่วนในล้านส่วน ซึ่งคล้ายกับการเปรียบเทียบเป็น % หรือร้อยละ แต่สำหรับ % นั้น เป็นการเปรียบเทียบอัตราส่วนของ 100 ส่วน แต่ PPM เป็นการเปรียบเทียบอัตราส่วนของ 1,000,000 ส่วน ยกตัวอย่างเช่น ถ้ามีของเสียจำนวน 1,400 ชิ้น จากชิ้นงานที่ผลิตได้จำนวน 3,000,000 ชิ้น ในการคำนวณทาง % จะคำนวณได้คือ (1,400/3,000,000) *100 = 0.46% หมายความว่า ทุกๆ 100 ชิ้นมีของเสียประมาณ 0.46 ชิ้น และในการคำนวณทาง PPM จะคำนวณได้คือ PPM=(จำนวนชิ้นที่เสียหรือมีข้อบกพร่อง/จำนวนชิ้นทั้งหมด)×1,000,000 แทนค่าในสูตรก็จะได้ (1,400/3,000,000)*1,000,000 = 4666.6 PPM หมายความว่า ทุกๆ 1,000,000 ชิ้น มีของเสียประมาณ 4,666 ถึง 4,667 ชิ้น ส่วนดัชนี Ppk (Performance capability indices) คือ ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านสมรรถนะที่กระบวนการเบี่ยงเบนไประยะยาว เป็นดัชนีที่อยู่ในแนวคิดที่ว่าการผลิตตามเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ (Acceptability concept) หรือตามค่าพิกัดของข้อกำหนดนั่นเอง ค่า Ppk ตัว “K” มาจาก Katayori มีความหมายว่า ความเบี่ยงเบนไป หรือเลื่อนออกไป

เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับข้อบกพร่อง Detection (D) คือ ความสามารถของระบบหรือกระบวนการตรวจสอบในการค้นหา ข้อบกพร่องหรือสาเหตุของโหมดความล้มเหลว ก่อนที่สินค้าหรือบริการจะถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนถัดไปหรือถึงมือลูกค้า โดยคะแนนการตรวจจับยิ่งต่ำหมายถึงความสามารถในการตรวจจับข้อบกพร่องสูง (ดีมาก) คะแนนสูง หมายถึงโอกาสที่ข้อบกพร่องจะไม่ถูกตรวจจับ (แย่) และคะแนนการตรวจจับข้อบกพร่องมีตั้งแต่ระดับ 1 ถึง 10 ซึ่งระดับ 1 หมายถึงตรวจจับได้แน่นอน และระดับ 10 คือตรวจจับไม่ได้เลย โดยแบ่งได้ 3 ประเภทได้แก่

ประเภท A = การป้องกันความผิดพลาด (POKA-YOKE)

ประเภท B = การใช้อุปกรณ์วัด (Gauging)

ประเภท C = ตรวจสอบโดยอาศัยบุคคล (Manual inspection) รายละเอียดดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับข้อบกพร่อง

การตรวจจับ	**กฎเกณฑ์**	**ประเภทการตรวจสอบ**			**ขอบเขตวิธีการตรวจจับ**	**คะแนน**
		A	B	C		
เกือบเป็นไปไม่ได้	ไม่มีระบบการตรวจจับใดๆ			×	ไม่สามารถตรวจจับหรือ	10
ห่างไกลมาก	มีการควบคุม แต่ไม่สามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้			×	การควบคุมกระทำได้โดยทางอ้อมหรือเป็นเพียงการสุ่มตรวจเท่านั้น	9
ห่างไกล	มีการควบคุม แต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้			×	การควบคุมกระทำได้โดยตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual Inspection) เท่านั้น	8
ต่ำมาก	มีการควบคุม แต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้			×	การควบคุมกระทำได้โดยตรวจสอบด้วยตาเปล่าสองครั้ง (Double visual inspection) เท่านั้น	7

ตารางที่ 5 (ต่อ)

การตรวจจับ	กฎเกณฑ์	ประเภทการตรวจสอบ			ขอบเขตวิธีการตรวจจับ	คะแนน
		A	B	C		
ต่ำมาก	มีการควบคุม แต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้			×	การควบคุมกระทำได้โดยตรวจสอบด้วยตาเปล่าสองครั้ง (Double Visual Inspection) เท่านั้น	7
ต่ำ	มีระบบควบคุมและอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้		×	×	การควบคุมกระทำได้ด้วยแผนภูมิการควบคุมเชิงสถิติ (SPC)	6
ปานกลาง	มีระบบควบคุมและอาจจะตรวจจับข้อบกพร่องได้		×		มีการควบคุมโดยการใช้เครื่องมือวัดชิ้นงานก่อนออกจากจุดปฏิบัติงาน หรือใช้เกจ แบบ Go/No Go กับงานทั้งหมดก่อนออกจากจุดปฏิบัติงาน	5

ตารางที่ 5 (ต่อ)

การตรวจจับ	กฎเกณฑ์	ประเภทการตรวจสอบ			ขอบเขตวิธีการตรวจจับ	คะแนน
		A	B	C		
ค่อนข้างสูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	×	×		มีการตรวจจับความผิดพลาดในกระบวนการถัดไป หรือมีการใช้เครื่องมือวัด วัดชิ้นงานชิ้นแรกในขั้นตอนการปรับตั้ง (Set up)	4
สูง	ระบบควบคุม และมีโอกาสสุงที่จะตรวจจับข้อบกพร่องได้	×	×		มีการตรวจจับความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงานหรือมีการตรวจจับความผิดพลาดในกระบวนการถัดไปโดยการตรวจสอบเพื่อยอมรับ	3
สูงมาก	มีระบบควบคุม และเกือบจะมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	×	×		มีการตรวจจับความผิดพลาดที่จุดปฏิบัติงานด้วยเครื่องอัตโนมัติ ทำให้ชิ้นงานบกพร่องไม่สามารถหลุดไปได้	2

ตารางที่ 5 (ต่อ)

การตรวจจับ	กฎเกณฑ์	ประเภทการตรวจสอบ			ขอบเขตวิธีการตรวจจับ	คะแนน
		A	B	C		
สูงมาก	มีระบบควบคุม และมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับข้อบกพร่องได้	×			ไม่มีโอกาสเกิดผลิตภัณฑ์บกพร่องเพราะใช้ระบบป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoke) ในขั้นตอนการออกแบบ/กระบวนการ	1

6. การระบุและวางแผนการดำเนินการแก้ไข (Optimization/ Action planning) เป็นขั้นตอนที่มุ่งเน้นการตรวจสอบและประเมินมาตรการควบคุมที่มีอยู่ในปัจจุบัน (Current controls) ว่ามีความเพียงพอในการป้องกันหรือควบคุมความล้มเหลวหรือไม่ หากพบว่ามาตรการควบคุมที่มีอยู่ยังไม่เพียงพอ จำเป็นต้องกำหนดแนวทางการดำเนินการเพิ่มเติม เช่น การปรับปรุงกระบวนการผลิต การปรับเปลี่ยนหรือเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักร ตลอดจนการจัดฝึกอบรมให้แก่บุคลากรที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งต้องกำหนดผู้รับผิดชอบในแต่ละกิจกรรมอย่างชัดเจน รวมถึงระบุระยะเวลาดำเนินงานที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถติดตามและประเมินผลได้อย่างเป็นระบบ

7. การจัดทำเอกสารและการติดตามผล (Documentation and follow-up) เป็นขั้นตอนสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการบันทึกผลการวิเคราะห์ทั้งหมดลงในเอกสาร PFMEA อย่างเป็นระบบ โดยเอกสารนี้จะต้องได้รับการทบทวนและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องตามความจำเป็น โดยเฉพาะในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการ ผลิตภัณฑ์ วัสดุ อุปกรณ์ หรือเงื่อนไขในการผลิต ทั้งนี้ ต้องมีการติดตามผลการดำเนินงานที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนก่อนหน้า เพื่อตรวจสอบว่ามาตรการที่ดำเนินการนั้นสามารถลดระดับความเสี่ยงได้จริงหรือไม่

หมายเหตุ: PFMEA เป็นกระบวนการที่มีลักษณะแบบไดนามิก ไม่ใช่เอกสารที่จัดทำเพียงครั้งเดียวแล้วจบสิ้น แต่ควรได้รับการทบทวนและปรับปรุงอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถสะท้อนสภาพการณ์ของกระบวนการผลิตที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาได้อย่างถูกต้องและทันสมัย

การควบคุมกระบวนการใน FMEA และความสำคัญ

ในการดำเนินการ Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในรูปแบบ Process FMEA (PFMEA) หนึ่งในองค์ประกอบสำคัญที่ต้องพิจารณาคือ “การควบคุม (Controls)” ซึ่งหมายถึงมาตรการที่องค์กรมีอยู่แล้วในปัจจุบัน เพื่อ ป้องกัน หรือ ตรวจจับ ความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตหรือการให้บริการ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่

การควบคุมเพื่อป้องกัน (Prevention controls)

เป็นมาตรการที่ใช้เพื่อลดโอกาสในการเกิดความล้มเหลวตั้งแต่ต้นทาง เช่น การออกแบบกระบวนการที่ลดความเสี่ยง การเลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสม การกำหนดเงื่อนไขการตั้งค่าเครื่องจักรที่แม่นยำ หรือการใช้เครื่องมือ Poka-Yoke เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากมนุษย์

การควบคุมเพื่อตรวจจับ (Detection controls)

เป็นมาตรการที่มุ่งเน้นการตรวจสอบหรือทดสอบผลิตภัณฑ์ เพื่อค้นหาความล้มเหลวก่อนที่จะส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งานหรือเข้าสู่กระบวนการถัดไป เช่น การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual inspection) การตรวจสอบด้วยเครื่องมือวัดเฉพาะทาง หรือการทดสอบการทำงานของผลิตภัณฑ์ หรืออาจกล่าวได้อีกมุมนึงว่าการตรวจจับเป็นการตรวจพบสิ่งที่เกิดขึ้นแล้ว เพื่อแก้ไขมิให้เกิดขึ้นซ้ำอีก ในขณะการป้องกันจะเป็นการตรวจพบในขณะที่ข้อบกพร่องยังไม่เกิดขึ้น วิธีการควบคุมกระบวนการอาจจะได้รับการจำแนกออกได้หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่

1. วิธีการป้องกันความผิดพลาด (Poka-Yoke)
2. วิธีการควบคุมด้วยสายตา (Visual control)
3. วิธีการควบคุมด้วยตัวเอง (Self-control)
4. วิธีการควบคุมกระบวนการโดยอาศัยสถิติ (SPC: Statistical Process Control)
5. วิธีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ซึ่งอาจจำแนกออกเป็นวิธีการตรวจสอบแบบ 100% ตรวจสอบแบบครั้งคราว (Spot check) ตลอดจนวิธีการตรวจสอบโดยแผนการชักสิ่งตัวอย่าง วิธีการ

ควบคุม จะต้องได้รับการประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมกับระบบและสถานการณ์ในแต่ละวิธีการจะให้ประสิทธิผลด้านการควบคุมที่แตกต่างกัน

Poka-Yoke: ระบบป้องกันความผิดพลาดในกระบวนการผลิต

Poka-Yoke เป็นเทคนิคที่ใช้ในระบบการผลิตเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความผิดพลาดขึ้นตั้งแต่ต้นทาง โดยเฉพาะข้อผิดพลาดที่เกิดจาก “มนุษย์” ซึ่งมักมีสาเหตุมาจากความเผลอเรอ การลืม ความเข้าใจผิด หรือการตีความข้อมูลคลาดเคลื่อน แนวคิดนี้ถูกพัฒนาโดย Shigeo Shingo ผู้เชี่ยวชาญด้านการปรับปรุงกระบวนการผลิตในระบบโตโยต้า (Toyota Production System) โดยมีจุดประสงค์เพื่อสร้างระบบที่ไม่เปิดโอกาสให้เกิดข้อผิดพลาด และถ้าเกิดขึ้น ก็สามารถตรวจจับและจัดการได้ทันที

แนวคิดหลักของ Poka-Yoke

• ไม่มีใครตั้งใจทำผิด แต่ข้อผิดพลาดสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

• หากมีการออกแบบกระบวนการให้สามารถป้องกันหรือจับข้อผิดพลาดได้ตั้งแต่ต้น จะลดการเกิดของข้อบกพร่องที่ส่งผลต่อคุณภาพสินค้า

• ระบบ Poka-Yoke จึงถูกออกแบบมาเพื่อ "ทำให้ความผิดพลาดเกิดไม่ได้" หรือ "ถ้าเกิดต้องตรวจพบได้ทันที"

ประเภทของระบบ Poka-Yoke

Poka-Yoke สามารถแบ่งออกเป็น 2 มุมมองหลัก ดังนี้

1. ตามหน้าที่ของระบบ (Functional classification)

• วิธีการควบคุม (Control method) เป็นระบบที่ทำให้กระบวนการหยุดชะงักทันทีเมื่อเกิดข้อผิดพลาด เช่น เครื่องหยุดทำงานเมื่อไม่มีชิ้นส่วนอยู่ในตำแหน่ง

• วิธีการเตือน (Warning method) ใช้การแจ้งเตือน เช่น เสียง แสง หรือสัญญาณภาพเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานรับรู้และแก้ไข เช่น ไฟแจ้งเตือนเมื่อขันน็อตไม่ครบจำนวน

2. ตามเทคนิคการตรวจจับ (Detection method)

• วิธีการสัมผัส (Contact method) ตรวจสอบคุณลักษณะของชิ้นงาน เช่น ขนาด รูปร่าง น้ำหนัก ฯลฯ

• วิธีการกำหนดจำนวน (Fixed value method) ใช้ตรวจนับจำนวนการทำงาน เช่น ต้องขันน็อต 4 ตัว หากครบแล้วจึงไปขั้นตอนถัดไปได้

• วิธีการตามลำดับขั้นตอน (Motion-step method): ตรวจสอบว่ากระบวนการทำตามขั้นตอนที่กำหนดไว้หรือไม่ เช่น ต้องใส่ชิ้นส่วน A ก่อน B ถ้าสลับจะไม่สามารถดำเนินต่อได้

ตัวอย่างการใช้งาน Poka-Yoke

• แจ็คเสียบ USB ที่ออกแบบให้เสียบได้ทางเดียว

- ระบบล็อกการสตาร์ทเครื่องหากฝากระโปรงเปิดอยู่
- แม่พิมพ์ที่ปิดไม่ได้ถ้าชิ้นส่วนจัดวางไม่ถูกตำแหน่ง

ความสัมพันธ์กับ Visual control และ 5S

Poka-Yoke มักทำงานร่วมกับระบบ Visual control หรือการควบคุมด้วยสายตา และแนวคิด 5S เช่น การแยกแยะวัตถุที่จำเป็น (Seiri), การจัดวาง (Seiton), และการสร้างนิสัย (Shitsuke) ซึ่งล้วนช่วยลดข้อผิดพลาดในงานประจำวัน

วิธีการควบคุมด้วยสายตา (Visual control)

นอกจากการใช้วิธีป้องกันความผิดพลาดแบบ Poka-Yoke แล้ว อีกหนึ่งแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมกระบวนการผลิตคือ การควบคุมด้วยสายตา (Visual control) หรือ การจัดการด้วยสายตา (Visual management) ซึ่งหมายถึงการใช้สื่อหรือเครื่องมือที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจน เพื่อช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานและผู้บริหารสามารถรับรู้สถานะของกระบวนการได้ในทันที ซึ่งการจัดการด้วยสายตาอาจอยู่ในรูปแบบของ ของจริง (Genbutsu) แผนผังขั้นตอนการปฏิบัติงาน บันทึกผลการดำเนินงาน หรือสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ช่วยระบุปัญหาหรือความผิดปกติที่เกิดขึ้นในหน้างานได้อย่างรวดเร็ว จุดมุ่งหมายของการควบคุมด้วยสายตาคือเพื่อให้ทุกคนสามารถเห็นและเข้าใจสิ่งที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการ ไม่ว่าจะเป็นความผิดปกติหรือความสูญเปล่า และสามารถตัดสินใจดำเนินการแก้ไขได้โดยไม่ล่าช้า

หลักสำคัญของการควบคุมด้วยสายตาคือ การแยกแยะสิ่งปกติออกจากสิ่งผิดปกติ ผ่านสื่อแสดงผล (Visual display) และสื่อควบคุม (Visual control) เช่น ป้ายแสดงสถานะ สีไฟเตือน หรือกราฟแสดงผลการดำเนินงาน โดยต้องสามารถระบุได้ว่า สิ่งใดคือเป้าหมายที่ต้องการบรรลุ สิ่งใดคือสถานะปัจจุบัน และมีความเบี่ยงเบนเกิดขึ้นหรือไม่ เพื่อให้การควบคุมด้วยสายตามีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จึงนิยมเชื่อมโยงกับการบริหารจัดการพื้นที่ทำงาน (Genba management) โดยอาศัยแนวทาง 5ส ซึ่งเป็นรากฐานของการสร้างระเบียบวินัยในองค์กร

การควบคุมด้วยตัวเอง (Self-control) การควบคุมด้วยตัวเองถือเป็นระบบการควบคุมกระบวนการที่มีประสิทธิผลอีกวิธีหนึ่ง โดยการควบคุมตัวเอง คือ การควบคุมที่ทำให้มั่นใจว่าพนักงานทุกคนได้ทำงานได้ตามจุดประสงค์ด้านคุณภาพ และได้ทำการเปรียบเทียบการควบคุม ดังกล่าวกับ

กระบวนการควบคุมแบบดั้งเดิม (Classic control) เกณฑ์สำหรับกำหนดสถานการณ์ควบคุมด้วยตนเองไว้ 3 ประการดังนี้

1. ความรู้ที่ทำให้พนักงานทราบว่าทำอะไร ซึ่งประกอบด้วย การทำความเข้าใจอย่างแจ่มชัดกับกระบวนการทำงาน การทำความเข้าใจกับมาตรฐานของสมรรถนะและการสรรหา และฝึกอบรมพนักงานอย่างพอเพียง

2. ความรู้ที่ทำให้พนักงานทราบว่าพนักงานกำลังทำอะไร ประกอบด้วยการทบทวนงานที่ทำอย่างเพียงพอ และป้อนกับผลลัพธ์ที่ได้มาจากการทบทวน

3. ความสามารถและความปรารถนาในการปฏิบัติการกับกระบวนการ ให้มีความผันแปรต่ำที่สุดซึ่งประกอบด้วย แบบของงานและกระบวนการที่ทำให้บรรลุจุดประสงค์ด้านคุณภาพการปรับกระบวนการที่ทำให้ความผันแปรมีค่าต่ำที่สุด การฝึกอบรมอย่างเพียงพอสำหรับการปรับแต่งกระบวนการ การบำรุงรักษากระบวนการเพื่อรักษาความสามารถของกระบวนการสิ่งแวดล้อม และวัฒนธรรมด้านคุณภาพที่เพียงพอ

วิธีการควบคุมกระบวนการโดยอาศัยสถิติ (SPC)

การตรวจจับความผันแปรของกระบวนการ แล้วแยกความผันแปรจากสาเหตุผิดปกติออกจากสาเหตุปกติของความผันแปรโดยอาศัยกลไกจากเทคนิคของแผนภูมิควบคุม วิธีการควบคุมกระบวนการนี้จะอยู่บนพื้นฐานของการป้องกันจากการใช้สารสนเทศจากสิ่งตัวอย่างในการอธิบายกระบวนการ อย่างไรก็ตาม ในอุตสาหกรรมหลายแห่งก็ใช้แผนภูมิการควบคุมในการตรวจดูกระบวนการมากกว่าการนำมาใช้ในทางสถิติเพื่อคาดการณ์ความผันแปร

การตรวจสอบผลิตภัณฑ์

การควบคุมคุณภาพประเภทการตรวจจับนี้จะเป็นการตรวจสอบผลิตภัณฑ์โดยคำว่าผลิตภัณฑ์ในที่นี้หมายความว่า ผลิตภัณฑ์ที่กล่าวถึงได้รับการสร้างคุณภาพให้เกิดขึ้นในตัวแล้วโดยได้จำแนกการควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับนี้ออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. การออกแบบ 100% หมายถึง การตรวจสอบผลิตภัณฑ์ทีละหน่วยทุกหน่วยจนครบ โดยทั่วไปแล้ววิธีการตรวจสอบแบบนี้จะไม่สามารถตรวจสอบผลิตภัณฑ์บกพร่องได้ทั้งหมดเนื่องจากความล้าของพนักงานและเครื่องมือตรวจสอบ

2. การตรวจสอบแบบครั้งคราว (Spot – check) การตรวจผลิตภัณฑ์ตามใจชอบโดยไม่ขึ้นอยู่กับเกณฑ์ด้านวิทยาศาสตร์เช่น การตรวจสอบงานชิ้นแรก การตรวจสอบตามลำดับหรือการ

ตรวจสอบแบบลาดตระเวน (Patrol inspection) เป็นต้น โดยการตรวจสอบแบบนี้จะมีโอกาสที่จะปล่อยผลิตภัณฑ์บกพร่องออกไปได้มาก ดังนั้นจึงควรใช้วิธีการตรวจสอบแบบนี้เฉพาะกรณีที่คุณภาพขึ้นอยู่กับความตั้งใจของพนักงานปฏิบัติงานตลอดจนจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่มีความรุนแรงของผลิตภัณฑ์บกพร่องมีไม่มากนัก

3. การให้คำรับรอง (Certification) หมายถึง การควบคุมคุณภาพเพื่อการยอมรับโดยการให้วิศวกรหรือสถาบันที่ลูกค้าให้การยอมรับเป็นผู้ออกแบบระบบและรับรองคุณภาพโดยการให้คำรับรองซึ่งวิธีการควบคุมคุณภาพดังกล่าวจะมีความเหมาะสมกับกรณีคุณภาพของงานขึ้นอยู่กับความชำนาญเฉพาะด้าน เช่น งานเชื่อมโลหะ

4. การชักสิ่งตัวอย่างเพื่อการยอมรับ (Acceptance sampling) โดยวิธีการนี้อาศัยแนวความคิดด้านสถิติเชิงอนุมานในการชักสิ่งตัวอย่างจากประชากร และใช้สารสนเทศจากสิ่งตัวอย่างในการอนุมัติคุณภาพ

การวัดผลของการประยุกต์ใช้เทคนิค FMEA

1. จำนวนของเสียที่ส่งไปหาลูกค้าเป็นศูนย์ (Zero defect) โดยการตรวจสอบจำนวนร้องเรียนเรื่องคุณภาพจากลูกค้าว่าก่อนและหลังเป็นอย่างไร

2. ของเสียในกระบวนการ (Defect in process) ก่อนทำ FMEA กับหลังทำ FMEA มีการเปลี่ยนแปลงไปในทางลดลงหรือไม่

3. ปัญหาและต้องนำงานมาทำการแก้ไขในกระบวนการ (Rework process) ก่อนทำ FMEA กับหลังทำ FMEA มีการเปลี่ยนแปลงไปในทางลดลงหรือไม่

ในยุคอุตสาหกรรม 4.0 FMEA กำลังพัฒนาไปสู่การผสานกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big data), ปัญญาประดิษฐ์ (AI), และระบบเซนเซอร์ IoT ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับและวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบเรียลไทม์ ทำให้การบริหารจัดการความเสี่ยงกลายเป็นกระบวนการที่มีความแม่นยำและตอบสนองได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ดังนั้น FMEA เป็นเครื่องมือที่มีคุณค่ายิ่งต่อการพัฒนาคุณภาพในระดับโครงสร้างของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ เมื่อใช้ควบคู่กับเครื่องมืออื่น ๆ อย่าง MSA (Measurement System Analysis), DOE (Design of Experiment) หรือการวิเคราะห์เชิงสถิติ FMEA จะสามารถแสดงศักยภาพได้อย่างเต็มที่ในฐานะกลไกป้องกันปัญหาเชิงรุกที่ยกระดับมาตรฐานคุณภาพขององค์กรอย่างยั่งยืน (อรวิกา ศรีทอง และ

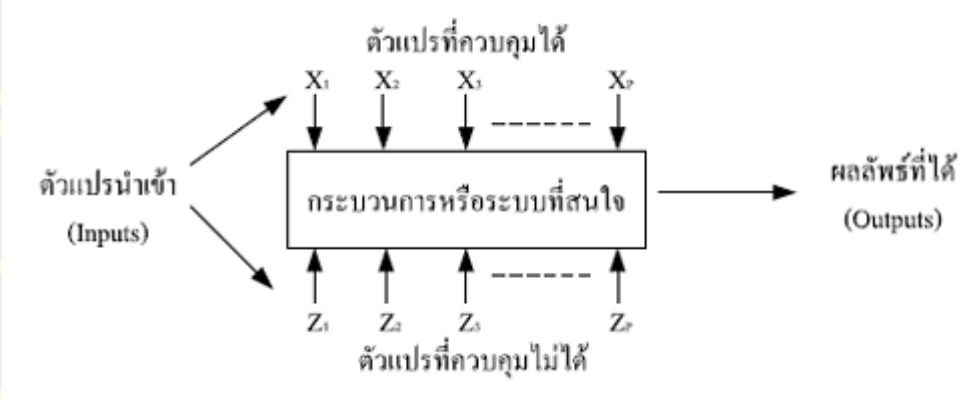
คณะ 2567) ได้ปรับปรุงกระบวนการโดยใช้แผนภาพพาเรโต แผนภาพสาเหตุและผล และเทคนิค FMEA วิเคราะห์สาเหตุและลดของเสียจากกระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแบบฉีด รวมถึงลดต้นทุนการผลิต ผลการวิจัยพบว่าปัญหาหลักเกิดจากจุดดำหรือจุดสีบนผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีสาเหตุจากการทำความสะอาดเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ไม่เพียงพอ และผู้ปฏิบัติงานยังขาดความเข้าใจในการบำรุงรักษา หลังการปรับปรุงพบว่า ค่า RPN ลดลงจาก 155.75 เหลือ 17.50 ลดลง 138.25 คะแนน ของเสียลดลงถึง 95.57% และสามารถลดต้นทุนได้ถึง 746,200 บาท นอกจากนี้ (ทิวานันท์ มณีรัตน์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ 2566) ได้วิเคราะห์สาเหตุปัญหาแผงยาเสียจากการปิดผนึกไม่สมบูรณ์ด้วยแผนภาพสาเหตุและผล คัดกรองปัจจัยด้วยคะแนนความสัมพันธ์ และใช้การวิเคราะห์ FMEA ร่วมกับการทดลองแบบแฟคทอเรียล เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม เพื่อลดสัดส่วนแผงยาเสียจากการปิดผนึกไม่สมบูรณ์ในบรรจุภัณฑ์แผงสตริป และลดระยะเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร ผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่เหมาะสม ได้แก่ อุณหภูมิ 130°C ความเร็วลูกกลิ้ง 14 รอบ/นาที และความตึงฟอยล์ระดับ 7 เมื่อนำมาปรับใช้ พบว่าอัตราแผงยาเสียลดลงจาก 4.82% เหลือ 1.38% และลดเวลาปรับตั้งเครื่องจักรจาก 130 นาทีต่อวัน เหลือ 78 นาทีต่อวัน

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE)

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการปรับค่ากระบวนการให้ได้ผลลัพธ์ตามต้องการ แตกต่างจากการทดลองแบบเดิมซึ่งมักเป็นการปรับค่าทีละตัว (One Factor at a Time: OFAT) ที่ใช้เวลานานและสิ้นเปลืองทรัพยากร โดยเฉพาะอย่างยิ่งไม่เหมาะกับกระบวนการที่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร (สรรฐติชัย ชีวสุทธิศิลป์, 2557) การทดลองทางวิศวกรรมหนึ่งๆ ทำเพื่อพิสูจน์ว่าผลลัพธ์ของระบบหรือกระบวนการทางวิศวกรรมนั้นเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดไว้หรือไม่ สมมติฐานในการทดลองถูกกำหนดเพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่สนใจที่มีผลต่อผลลัพธ์ของระบบหรือกระบวนการทางวิศวกรรม เช่น การทดลองเกี่ยวกับการอบชุบด้วยความร้อนเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของโลหะ ผู้ทดลองต้องศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการอบที่มีผลต่อความแข็งโลหะ เป็นต้น การทดลองหนึ่งๆ ผู้ทำการทดลองอาจจะต้องทำการตัดสินใจว่าปัจจัยใดบ้างที่ต้องศึกษา และยังต้องตัดสินใจว่าต้องใช้จำนวนชิ้นงานทดสอบจำนวนเท่าใด ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลองเป็นอย่างไร เพื่อให้มั่นใจว่าผลการทดลองที่ได้มีความน่าเชื่อถือเชิงสถิติ ทั้งนี้เนื่องจากระบบหรือกระบวนการทางวิศวกรรมที่ทดลองนั้นมีความผันแปรที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเสมอ และความผันแปรเหล่านี้ส่งผลต่อความผันแปรของผลการทดลอง

นอกจากการตัดสินใจต่างๆ ที่กล่าวมานี้ยังมีรายละเอียดอื่นๆ อีกที่ผู้ทำการทดลองจะต้องตัดสินใจและวางแผนก่อนการลงมือจริง

การออกแบบการทดลอง คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input variable) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Out puts or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่ควบคุมได้ (Controllable variables or factor) หรือ ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่สามารถออกแบบได้ (Design variable or factors) และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปร (หรือปัจจัย) ที่รบกวนระบบ (Uncontrollable or noise variables factors) ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ

(ที่มา (ปฐมพงษ์ หอมศรี และ จักรพรรณ คงธนะ 2556))

โดยทั่วไปแล้วตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้หรือตัวแปรรบกวน (Noise variables) จะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ลม อุณภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ฝุ่น ส่วนตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น ที่มาของวัตถุดิบ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต เครื่องจักร พนักงาน การออกแบบการทดลองมีหลักสำคัญ 3 ประการเพื่อช่วยให้การทดลองมีความถูกต้องเที่ยงตรง และแม่นยำ ได้แก่

1. หลักการสุ่มตัวอย่าง (Randomization) โดยจัดลำดับที่เกี่ยวข้องในการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม เช่น ลำดับสิ่งของที่ใช้ในการทดลอง ลำดับของการทดลองและการวัดผลว่าจะทำเงื่อนไขใดก่อน หลัง ซึ่งหลักการสุ่มจะช่วยสมดุลความผิดพลาดที่เกิดจากปัจจัยรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือไม่ทราบ หรือไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ เช่น ผลกระทบที่เกิดจากความเหนื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงาน

ผลกระทบ ด้านสภาพแวดล้อมของการทดลอง นอกจากนั้นข้อกำหนดเบื้องต้นในการวิเคราะห์การทดลอง กำหนดให้ข้อมูลและความผิดพลาดในการทดลองจะต้องเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบอิสระ (Independently distributed random variables) และมาจากกลุ่มประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ โดยมีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนคงที่ แต่ในการทดลองอาจมีปัจจัยรบกวนที่ส่งผลต่อการทดลอง เนื่องจากลำดับหรือเวลาในการทดลองส่งผลให้ลการทดลองมีความสัมพันธ์ (Correlated) กับเวลาหรือปัจจัยรบกวนอื่น ๆ ซึ่งส่งผลให้ไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดเบื้องต้นในการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งหลักการสุ่มจะช่วยสนับสนุนให้สอดคล้องกับข้อกำหนดดังกล่าวมากขึ้น

2. การทดลองซ้ำ (Replication) คือการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกันมากกว่า 1 ครั้ง เพื่อยืนยันและเพิ่มความถูกต้องของผลการทดลอง ช่วยให้ผู้ทดลองสามารถคำนวณค่าความผิดพลาด (Error/Random noises) ในการทดลองเพื่อใช้ในการประมาณค่าความแปรปรวนในการทดลองที่ใช้เป็นหน่วยพื้นฐานสำหรับเปรียบเทียบกบผลกระทบของปัจจัยว่ามีผลต่อการทดลองอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่โดยการทดลองซ้ำในกรณีนี้จะหมายถึงการทำซ้ำอย่างแท้จริง (True independent replication) ซึ่งหมายถึงการทำการทดลองเงื่อนไขเดียวกันมากกว่า 1 ครั้งและในการทดลองแต่ละครั้งต้องเริ่มทำการทดลองตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนขั้นสุดท้าย อย่างไรก็ตามการทดลองซ้ำจะมีข้อเสียคือสิ้นเปลืองทรัพยากรในการทดลอง

3. การบล็อก (Blocking) ระหว่างการทดลองระดับของปัจจัยที่ไม่ได้เลือกในการศึกษามีการเปลี่ยนแปลงระดับในระหว่างการทดลองจะส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental errors) ซึ่งเรียกว่าปัจจัยรบกวน (Nuisance/Noise factors) โดยระหว่างการทดลองปัจจัยรบกวนอาจส่งผลในหลายรูปแบบดังนี้

- ส่งผลต่อการทดลองเป็นครั้งคราว ไม่สามารถคาดการณ์หรือทำนายได้
- ส่งผลต่อการทดลองตลอดเวลาและเกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ

ผู้ทดลองต้องพยายามค้นหาแหล่งของปัจจัยรบกวนและหามาตรการในการควบคุมหรือลดความผันแปรมากแหล่งเหล่าซึ่งต้องควบคุมให้ระดับของปัจจัยรบกวนมีค่าคงที่ตลอดการทดลองและให้มีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะระดับปัจจัยที่ศึกษาเท่านั้นซึ่งเรียกวาการบล็อก (Blocking) สามารถทำได้ดังนี้

3.1 ควบคุมสภาวะแวดล้อมหรือปัจจัยรบกวนในการทดลองให้มีสภาพใกล้เคียงกันมากที่สุด เช่น ใช้เครื่องจักรเดียวกัน คนทดลองคนเดียวกันทดลองในช่วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน เปลี่ยนเฉพาะเงื่อนไขของปัจจัยที่ศึกษาเท่านั้น

3.2) ให้การบล็อกแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ในกรณีที่ระดับของปัจจัยรบกวนมีการเปลี่ยนแปลงระดับอย่างมีระบบ เนื่องจากมีข้อมูลจำกัดในการทดลอง เช่น ต้องใช้วัตถุดิบหลายล็อต คนทดลองหลายคน อุปกรณ์หลายชุด หรือผู้วัดหลานคน

ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

ในการประยุกต์ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง มีขั้นตอนการออกแบบการทดลองแยกออกเป็น 7 ลำดับขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดวัตถุประสงค์ วัตถุประสงค์ในการทดลอง (Define the problems) ผู้ออกแบบการทดลองต้องทำความเข้าใจและศึกษาปัญหาที่จะทำการทดลองอย่างละเอียด โดยศึกษาจากหนังสือ วารสารทางวิชาการ งานวิจัย การดูงาน ผังการทำงานของกระบวนการ (Flow process chart) หรือจากผู้เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่เกิดปัญหา เพื่อระบุปัญหา กำหนดตัวแปรตอบสนอง (Response variable) และตั้งสมมติฐาน เช่น ต้องการหาค่าที่เหมาะสม หรือวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัย

ขั้นตอนที่ 2 เลือกปัจจัยในการศึกษา และกำหนดช่วงของปัจจัยให้เหมาะสม โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

2.1 วิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีผลต่อการทดลอง (อาจใช้แผนภาพเหตุและผลหรือการวิเคราะห์โหมดความล้มเหลวและผลกระทบ) โดยเลือกเฉพาะปัจจัยที่ปรับเปลี่ยนได้ คาดว่าสำคัญและมีจำนวนเหมาะสม เรียกปัจจัยที่เลือกในการศึกษา (Interested/Potential design factors) ซึ่งปัจจัยที่เหลือต้องควบคุมให้คงที่อยู่ในระดับที่เหมาะสมตลอดการทดลองเรียกปัจจัยควบคุม (Held-Constant factors) และปัจจัยรบกวนที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable/ Noise factors) ซึ่งปัจจัยนี้อาจรบกวนผลการทดลองให้ใช้หลักการสุ่ม

2.2 เลือกปัจจัยที่ศึกษาในการทดลอง (Interested/Potential factors) เลือกปัจจัยจากขั้นตอนที่ 1 โดยอาจพิจารณาจากแผนภาพเหตุและผล ผังกระบวนการที่แสดงปัจจัยนำเข้าและปัจจัยนำออก (IPO : Input Process Output Diagram)

2.3 คัดกรองปัจจัยเบื้องต้น ใช้ในกรณีที่ปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาการทดลองมีจำนวนมากเกินกว่าที่จะสามารถทดลองได้ (มีข้อจำกัดในด้าน ทรัพยากร) อาจทำการคัดกรองโดยผู้เชี่ยวชาญโดยให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยในด้านความรุนแรง ความถี่ที่เกิด และโอกาสที่เกิด หรืออื่น ๆ (หลักการ คล้ายการประเมิน FMEA) จากนั้นรวมคะแนนและใช้หลักพาเรโต โดยตัวแปรที่คัดกรองแล้วไม่ควรเกิน 15 ตัวแปร

2.4 การกำหนดช่วงของปัจจัย การพิจารณาช่วงของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง พิจารณาจากคู่มือการทำงาน ประสบการณ์ และความรู้ด้านทฤษฎีของกระบวนการที่เกี่ยวข้อง การเลือกช่วงของปัจจัยที่ง่ายที่สุดคือกำหนดค่าต่ำและสูง และการกำหนดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการทดลอง การคัดกรองควรเลือกพื้นที่ในการศึกษาขนาดใหญ่ หรือกว้างที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ และกำหนดให้แคบลงในขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดและวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับและจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษานั้นได้ดีด้วย

ขั้นตอนที่ 4 เลือกรูปแบบวิธีการออกแบบการทดลองที่เหมาะสม (Choices of experimental designs) ทำการเลือกวิธีการออกแบบการทดลองและวิธีทำการทดลองให้เหมาะสมสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และได้ผลการทดลองที่ถูกต้องแมนยำ เช่น การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน และการออกแบบการทดลองแบบครั้งละปัจจัย (One factor at a time experiment) เป็นต้น รูปแบบการทดลองที่ต่างกันจะมีจำนวนการทดลองที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการทดลองจึงไม่เท่ากันด้วย หากทำการทดลองทุกๆ สภาวะการทดลองจำนวนสภาวะการทดลองทั้งหมดมีค่าเท่ากับผลคูณของจำนวนระดับปัจจัยของทุกปัจจัย การทดลองรูปแบบนี้มักเรียกว่า การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอรียลเต็มรูป (Full factorial design) หากผู้ออกแบบการทดลองออกแบบให้ทุกปัจจัยมีจำนวนระดับปัจจัย 2 ระดับ จำนวนสภาวะการทดลองมีค่าเท่ากับ 2^k สภาวะการทดลอง เมื่อ k คือจำนวนปัจจัยที่ศึกษา การทดลองรูปแบบนี้เรียกว่า การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียล (2^k Factorial design) หากจำนวนสภาวะการทดลองทั้งหมดมีจำนวนมากเมื่อทำการทดลองซ้ำในแต่ละสภาวะการทดลอง

มากกว่า 1 ครั้งจะทำให้จำนวนการทดลองมีจำนวนมากขึ้นอีก เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายและเวลาการทดลองที่มีอยู่อย่างจำกัดในการออกแบบการทดลองหนึ่งๆ ผู้ทดลองอาจกำหนดการทดลองเพียงบางสภาวะการทดลองได้ การทดลองรูปแบบนี้เรียกว่า การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional factorial design) การออกแบบการทดลองที่คาดว่าการเปลี่ยนระดับปัจจัยมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับค่าตัวแปรตอบสนอง การวิเคราะห์ผลจึงต้องมีวิธีการคำนวณหาความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งนั้น วิธีการออกแบบการทดลองนี้เรียกว่า วิธีการพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology; RSM)

ขั้นตอนที่ 5 ทำการทดลอง (Conduct the experiment) ทำการทดลองตามตารางที่ออกแบบไว้โดยต้องคำนึงถึงหลักสำคัญในการทดลอง ได้แก่ การทดลองซ้ำ การสุ่ม และการบล็อก ระหว่างการทดลองควรมีการเฝ้าระวัง (Monitoring) กระบวนการเพื่อให้มั่นใจว่าสามารถกำหนดค่าของตัวแปรในการทดลองตามระดับที่กำหนดและวางแผนไว้อย่างถูกต้อง ก่อนทดลองจริงอาจลองทำการทดลอง 2-3 การทดลองที่ค่าต่ำสุด-สูงสุด เพื่อตรวจสอบความพร้อมและประเมินเบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 6 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical analysis of experiment data) การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติจะช่วยให้การสรุปผลที่ได้เหมาะสมกับเหตุและผลโดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีทางวิชาการมากกว่าการสรุปผลเชิงพรรณนา โดยมีเครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน ตารางวิเคราะห์แบบ t-test การวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูลโดยกราฟ (Graphical method) หรืออาจนำเสนอในรูปแบบจำลอง(Empirical models) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบที่มีนัยสำคัญ (Important effect) กับผลตอบ (Response) และควรตรวจสอบความถูกต้องของสมการความสัมพันธ์โดยการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual analysis) เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Adequacy checking)

ขั้นตอนที่ 7 สรุปผลและยืนยันความถูกต้องของการทดลอง (Conclusion and confirmation) หลังวิเคราะห์ผลการทดลอง ควรสรุปผลและจัดทำข้อเสนอแนะที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริง พร้อมทั้งทำการทดลองยืนยันผล (Confirmation testing) โดยทดลองซ้ำ 3–5 ครั้งเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่ได้ อาจใช้การเปรียบเทียบช่วงความเชื่อมั่น หรือทดสอบสมมุติฐานระหว่างค่าทดลองและค่าทำนาย หากผลลัพธ์มีความสอดคล้อง ควรนำไปกำหนดเป็นมาตรฐานปฏิบัติงาน พร้อมวางระบบควบคุมเพื่อให้เกิดความยั่งยืนต่อไป

การทดลองแฟกทอเรียล (Factorial Experiment)

การทดลองแฟกทอเรียล (Factorial experiment) คือการทดลองที่มีวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย หรือ อันตรกริยา (Interactions) เช่น กรณีศึกษา 3 ปัจจัย คือปัจจัย A, B และ C ผลกระทบที่เกิดขึ้นสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทคือ

1) ผลกระทบหลัก หรือ ผลกระทบปัจจัยเดี่ยว (Main effects) คือผลกระทบที่เกิดขึ้นจากแต่ละปัจจัย ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัย A ผลกระทบของปัจจัย B และผลกระทบของปัจจัย C

2) ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Two-factors or 2-Ways interactions) คือผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยพร้อมกันเป็นคู่ (ครั้งละ 2 ปัจจัย) ได้แก่ ผลกระทบของปัจจัยร่วม (อันตรกริยา) AB, BC และ AC

3) ผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย (Three-factors or 3-ways interactions) คือผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยสามปัจจัยพร้อมกัน ในที่นี้ได้แก่ ผลกระทบร่วม ABC การทดลองแฟกทอเรียลแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีหลักคือ

การทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูป (Full factorial experiment) เป็นการทดลองที่ทำขึ้นสำหรับศึกษาปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปได้ทุกกรณีที่เป็นไปได้ สามารถศึกษาผลกระทบหลัก (Main effect) ซึ่งเป็นผลกระทบของปัจจัยเดี่ยว (Main factors) และผลกระทบของปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัย (อันตรกริยา หรือ Interaction factors) จำนวนวิธีปฏิบัติทั้งหมดที่เป็นไปได้ (จำนวนการทดลองโดยไม่ทำซ้ำ) มีค่าเท่ากับผลคูณของจำนวนระดับปัจจัยของทุกปัจจัยที่ศึกษา สำหรับรูปแบบการทดลองที่มี k ปัจจัยและทุกปัจจัยมีสองระดับ จะเรียกการทดลองนี้ว่า 2^k แฟคทอเรียล ตารางที่ 6 แสดงแผนการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียล จะเห็นว่า ถ้ามี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ จะมีการทดลองทั้งหมด 2^3 ซึ่งเท่ากับ 8 ชุดการทดลอง โดยจะครอบคลุมทั้งผลของปัจจัยหลัก (Main effects) และปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (Interaction effects) อย่างสมบูรณ์

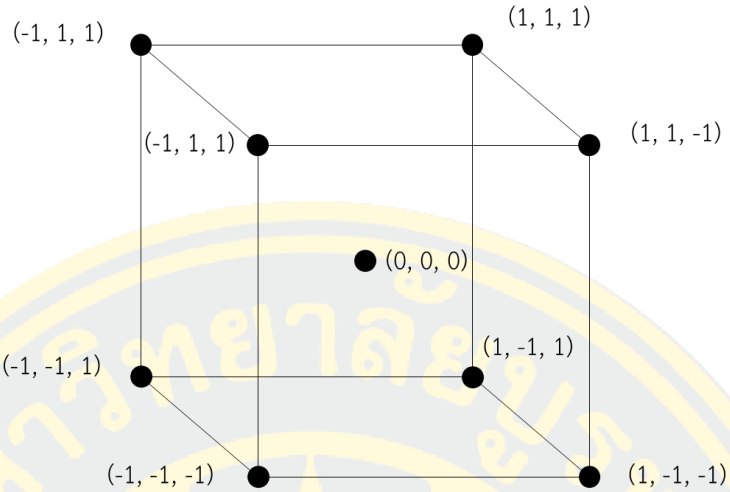
อย่างไรก็ตามแผนการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูป (Full factorial experiment) มีข้อเสียคือค่าใช้จ่ายสูง ใช้เวลาและทรัพยากรมากตามจำนวนระดับของปัจจัยและจำนวนปัจจัยที่ศึกษา การทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปจึงเหมาะสำหรับสถานการณ์ที่ต้องการความถูกต้องสูง และต้องการเข้าใจผลของแต่ละปัจจัยรวมถึงปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยอย่างละเอียด โดยเฉพาะในกรณีที่จำนวน

ปัจจัยไม่มากนัก เช่น 2–4 ตัว อย่างไรก็ตาม หากจำนวนปัจจัยเพิ่มขึ้นมาก ควรพิจารณาการทดลองแบบ Fractional Factorial ซึ่งเป็นการลดจำนวนชุดทดลองลงโดยยังรักษาข้อมูลสำคัญไว้

ตารางที่ 6 แผนการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูป

Run	A	B	C
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	+1
3	-1	+1	-1
4	-1	+1	+1
5	+1	-1	-1
6	+1	-1	+1
7	+1	+1	-1
8	+1	+1	+1

การใช้จุดศูนย์กลาง (Center point) ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial design) โดยเฉพาะการทดลองแบบ 2^k ซึ่งเป็นการศึกษาผลของหลายปัจจัยที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ (เช่น ต่ำและสูง) นักวิจัยมักจะเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center point) ลงไปในการทดลองเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของแบบจำลองเพื่อตรวจสอบความโค้งของระบบ (Curvature test) หากระบบไม่มีความโค้ง ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลลัพธ์จะเป็นเส้นตรง และค่าจาก Center point ควรจะอยู่ใกล้กับค่าที่คาดหมายจากแบบจำลองเชิงเส้น แต่ถ้า มีความโค้ง ค่าจาก Center point จะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าอาจจำเป็นต้องใช้แบบจำลองเชิงไม่เชิงเส้น (Nonlinear model) เช่น Quadratic model ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตได้ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 รูปแบบทางเรขาคณิตสำหรับแผนการทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียลที่เพิ่มจุดศูนย์กลาง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

อิทธิพลของปัจจัยหลัก ปัจจัยร่วม และอิทธิพลเชิงเส้นโค้งในการออกแบบการทดลอง ในการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อผลตอบสนอง (Response) ถือเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้นักวิจัยสามารถทำความเข้าใจพฤติกรรมของระบบและพัฒนาแนวทางการควบคุมหรือปรับปรุงกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main effects) และ อิทธิพลร่วมของปัจจัย (Interaction effects) จะมีบทบาทต่อความถูกต้องของแบบจำลองและการแปลผลการทดลอง และอีกประเด็นที่มีความสำคัญสำหรับการออกแบบการทดลองคือการพิจารณาอิทธิพลเชิงเส้นโค้ง (Curvature) โดยการเพิ่มจุดกึ่งกลาง (Center points) เข้าไปในการทดลองจะช่วยให้ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์ได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับผลลัพธ์เป็นเชิงเส้นตรงหรือไม่ หากพบความโค้งแสดงว่าแบบจำลองเชิงเส้นอาจไม่เพียงพอในการอธิบายระบบ และควรพัฒนาแบบจำลองเชิงไม่เชิงเส้น (Nonlinear model) ต่อไป

อิทธิพลของปัจจัยหลัก หมายถึง อิทธิพลของปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งโดยลำพัง ที่ส่งผลต่อค่าผลตอบสนอง โดยไม่ขึ้นกับค่าของปัจจัยอื่นในระบบ หากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยใดทำให้ผลลัพธ์เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ จะถือว่าปัจจัยนั้นมีผลหลัก ตัวอย่างเช่น การเพิ่มอุณหภูมิในกระบวนการผลิตอาจทำให้ความแข็งของชิ้นงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง แสดงว่า "อุณหภูมิ" มีอิทธิพลเป็นปัจจัยหลักต่อความแข็งของผลิตภัณฑ์

อิทธิพลร่วมของปัจจัย คือ อิทธิพลที่เกิดจากการทำงานร่วมกันของสองปัจจัยหรือมากกว่า ซึ่งส่งผลต่อผลลัพธ์แตกต่างจากที่คาดการณ์ไว้เมื่อพิจารณาปัจจัยแต่ละตัวแยกกัน กล่าวคือ ผลของปัจจัยหนึ่งอาจขึ้นอยู่กับระดับของอีกปัจจัยหนึ่ง ตัวอย่างเช่น หากทั้งอุณหภูมิและความเร็วของเครื่องจักรถูกเพิ่มขึ้นพร้อมกัน แล้วกลับทำให้ผลิตภัณฑ์เปราะบางลง แสดงว่าอุณหภูมิและความเร็วมีผลร่วมกันในทางลบ ซึ่งไม่สามารถอธิบายได้ด้วยการพิจารณาแบบปัจจัยเดี่ยว

อิทธิพลเชิงเส้นโค้ง คือ ความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรงระหว่างปัจจัยกับผลตอบสนองในการทดลอง ซึ่งการตรวจสอบ Curvature ช่วยให้นักวิจัยทราบว่าแบบจำลองเชิงเส้นเพียงพอหรือไม่ และควรขยายแบบจำลองไปสู่เชิงไม่เชิงเส้นหรือไม่ โดยวิธีการตรวจสอบอิทธิพลเชิงเส้นโค้งว่าแบบจำลองมีอิทธิพลเชิงโค้งหรือไม่นั้น มักทำโดย เพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Points) เข้าไปในการทดลองแฟกทอเรียล แล้วทำการวิเคราะห์ด้วย ANOVA หรือการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย เพื่อความแม่นยำในการวิเคราะห์และการปรับปรุงกระบวนการต่อไป

การวิเคราะห์ทางสถิติ ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง มักใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อประเมินนัยสำคัญทางสถิติของปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม โดยดูจากค่า *P-value* ถ้าค่าดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ (เช่น 0.05) แสดงว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อระบบอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังสามารถใช้กราฟแสดงผล เช่น Main effects plot และ Interaction plot เพื่อช่วยในการตีความลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลตอบสนอง

ความถูกต้องของการทดลอง (Validity of experiment) ความถูกต้องของการทดลอง คือ ความน่าเชื่อถือและความแม่นยำของผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินการทดลอง ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถของการทดลองในการวัดผลที่เกิดจากปัจจัยที่ตั้งใจศึกษาอย่างแท้จริง โดยทั่วไป ความถูกต้องของการทดลองสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ด้านหลัก ได้แก่ ความถูกต้องภายใน ความถูกต้องภายนอก และความถูกต้องเชิงสถิติ

ความถูกต้องภายใน (Internal validity) ความถูกต้องภายใน หมายถึง ระดับความมั่นใจที่สามารถกล่าวได้ว่า ผลลัพธ์ของการทดลองนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยที่ควบคุมไว้จริง ๆ โดยไม่มีผลกระทบจากปัจจัยแทรกซ้อนอื่น ๆ การที่การทดลองมีความถูกต้องภายในสูงจะช่วยให้ผลที่ได้มีความชัดเจน และสามารถยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามได้อย่างแม่นยำ

แนวทางในการเพิ่มความถูกต้องภายใน ได้แก่ การควบคุมตัวแปรรบกวน การสุ่มลำดับการทดลอง (Randomization) การทำซ้ำ (Replication) และการใช้กลุ่มควบคุมเพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องภายนอก (External validity) ความถูกต้องภายนอก คือ ความสามารถในการนำผลลัพธ์จากการทดลองไปประยุกต์ใช้หรือสรุปทั่วไปได้ในบริบทอื่น เช่น สถานที่ บุคคล เวลา หรือสภาวะการผลิตที่แตกต่างออกไป หากการทดลองถูกออกแบบภายใต้เงื่อนไขที่จำกัดเกินไป อาจทำให้ผลลัพธ์ไม่สามารถนำไปใช้ได้จริงในสถานการณ์ภายนอก

การเพิ่มความถูกต้องภายนอกสามารถทำได้โดย การทดลองในสภาวะที่ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง การเลือกหน่วยทดลองที่มีความหลากหลาย และการทำซ้ำการทดลองในช่วงเวลาหรือสถานที่ต่างกัน

ความถูกต้องเชิงสถิติ (Statistical validity) ความถูกต้องเชิงสถิติ หมายถึง ความเหมาะสมของการใช้วิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งรวมถึงการเลือกใช้เทคนิคที่สอดคล้องกับลักษณะของข้อมูล ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่เพียงพอ และการควบคุมความแปรปรวนในระบบอย่างเหมาะสม เพื่อให้ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ และสามารถสรุปผลได้อย่างถูกต้อง

การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมในการออกแบบการทดลอง

การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม (Optimization) คือ กระบวนการค้นหาค่าของปัจจัยหรือเงื่อนไขในการทดลองที่ทำให้ผลลัพธ์ (Response) บรรลุเป้าหมายที่ต้องการมากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุน หรือควบคุมคุณภาพให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม การหาค่าที่เหมาะสมนี้เป็นขั้นตอนสำคัญหลังจากการวิเคราะห์ผลการทดลอง (DOE) เพื่อให้ได้คำตอบที่นำไปใช้ประโยชน์ได้จริงในการพัฒนากระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ ในการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยต่าง ๆ มักใช้แบบจำลองทางสถิติที่ได้จากการทดลอง เช่น สมการถดถอย (Regression equation) ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับผลลัพธ์ จากนั้นนำสมการนี้มาใช้ในเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยมีวิธีการหลัก ๆ ดังนี้

1. การวิเคราะห์และประเมินสมการทางคณิตศาสตร์ วิเคราะห์สมการถดถอยหรือสมการแบบจำลองที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาค่าของตัวแปรอิสระ (ปัจจัย) ที่ทำให้ผลลัพธ์เป็นไปตามเป้าหมาย เช่น ค่าสูงสุด ต่ำสุด หรือค่าคงที่ที่ต้องการ

2. การใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์และซอฟต์แวร์ ใช้เครื่องมือและโปรแกรม เช่น Minitab, Design-expert เพื่อช่วยในการค้นหาค่าที่เหมาะสม โดยใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น การเพิ่มขึ้นตามกราเดียนท์ (Gradient method), การใช้ Genetic algorithm หรือการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology: RSM) ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองที่ละเอียดและแม่นยำขึ้น

3. การพิจารณาข้อจำกัดและเงื่อนไขเฉพาะ ในการหาค่าที่เหมาะสม จะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ ของกระบวนการ เช่น ช่วงค่าที่ปัจจัยสามารถปรับได้ หรือเงื่อนไขพิเศษที่กระบวนการต้องปฏิบัติตาม เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปใช้จริงและปลอดภัย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การลดของเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นกิจกรรมการปรับปรุงคุณภาพที่ดำเนินการอย่างต่อเนื่องเป็นประจำ การใช้เครื่องมือบริหารคุณภาพที่เหมาะสมในการหาสาเหตุสำคัญของปัญหาคุณภาพ และการใช้เครื่องมือประยุกต์สถิติในการปรับปรุงคุณภาพสำหรับกำหนดระดับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัญหาคุณภาพจะช่วยลดปัญหาคุณภาพที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิผล (อรวิกา ศรีทอง และคณะ 2567) ได้ประยุกต์แผนภาพพาเรโต (Pareto diagram) เพื่อกำหนดลักษณะข้อบกพร่องสำคัญที่เกิดขึ้นบนชิ้นงานที่ผลิตจากกระบวนการฉีดขึ้นรูปพลาสติก ได้แก่ จุดดำและจุดสีบนชิ้นงาน จากนั้นใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram: CE) เพื่อหาสาเหตุทั้งหมดที่คาดว่าส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องนี้ แล้วใช้หลักการการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) จัดลำดับความเสี่ยงของสาเหตุข้อบกพร่องที่ได้จากแผนภาพเหตุและผลภายใต้คะแนนความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) โดยใช้เกณฑ์การประเมิน 3 เกณฑ์ คือ ค่าความรุนแรงของผลกระทบ (Severity: S) มีการกำหนดค่าตั้งแต่ 1-10 โดย 1 หมายถึงไม่มีผลกระทบ และ 10 หมายถึงผลกระทบรุนแรงมาก โอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง (Occurrence: O) มีการกำหนดค่าตั้งแต่ 1-10 โดย 1 หมายถึง ไม่น่ามีโอกาสเกิดข้อบกพร่องและ 10 หมายถึง เกิดข้อบกพร่องขึ้นเป็นประจำ และค่าความสามารถในการตรวจหาข้อบกพร่อง (Detectability: D) มีการกำหนดค่าตั้งแต่ 1-10 โดย 1 หมายถึงจุดควบคุมสามารถค้นพบข้อบกพร่องได้อย่างแน่นอน และ 10 หมายถึง ไม่สามารถตรวจสอบพบข้อบกพร่องได้เลย แล้วหาค่า RPN จากผลคูณของ S, O, และ D หากค่าที่สูงกว่า 100 จะแสดงให้เห็นว่าปัญหาจากสาเหตุข้อบกพร่องนั้นมีความสำคัญต้องทำการปรับปรุงแก้ไข ผลการวิจัยพบว่าสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดจุดดำและจุดสีบนชิ้นงานมี 4 สาเหตุจึงดำเนินการปรับปรุงแก้ไข ทำให้ลดของเสียที่เกิดขึ้นได้ร้อยละ 95.57

ยศวรรธน์ จันทนา (2565) ได้ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งค่าเครื่องหั่นใบตะไคร้ โดยใช้การทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2^3 Full factorial design) ศึกษา 3 ปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อระยะเวลาในการหั่นใบตะไคร้ที่ได้คุณภาพ ได้แก่ ระยะห่างใบมีด (30 และ 50 มิลลิเมตร) ระยะเหลื่อมใบมีด (1 และ 4 มิลลิเมตร) และความเร็วรอบมอเตอร์ (100 และ 130 รอบ/นาที) พบว่า

ค่าที่เหมาะสม คือ ระยะห่างใบมีด 40 มิลลิเมตร ระยะเหลื่อมใบมีด 2.5 มิลลิเมตร และความเร็วรอบ 115 รอบ/นาที ส่งผลให้สามารถหั่นใบตะไคร้ 20 กิโลกรัมได้ในเวลา 2 นาที 35 วินาที

โศจิรพักร์ บุตรคำโชติพร และคณะ (2564) ใช้วิธีการดำเนินการวิจัยแบบเดียวกันในการลดของเสียของกระบวนการเป่าขึ้นรูปพลาสติกขวดพลาสติกด้วยการประยุกต์แผนภาพพาเรโต แผนภาพสาเหตุและผล และ FMEA เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสีย พบว่า อุณหภูมิในกระบอกสกรูและหัวไหล จำนวนรูดูดฉลากที่แมพิมพ และแรงลมเปา เป็นสาเหตุข้อบกพร่องที่มีค่า RPN มากกว่า 100 จึงทำการปรับปรุงแก้ไขด้วยการปรับตั้งคาอุณหภูมิการทำงานของเครื่องเป่าขึ้นรูป เพิ่มจำนวนรูดูดฉลากที่แมพิมพตันทำให้ระบายอากาศไมทัน และปรับแรงลมเปาให้สูงขึ้น ผลการวิจัยพบว่าสามารถลดของเสียลงได้ 91.88%

เกวลี วรนันท์ และจิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ (2564) ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลังด้วยกราฟพาเรโต แผนผังเหตุและผล และการประเมินความเสี่ยง (RPN) เพื่อปรับปรุงอัตราคุณภาพของเส้นใยสังเคราะห์ชนิดสั้น โดยลดสินค้าที่ไม่ได้คุณภาพ พบสาเหตุหลักคือ ลมเย็นออกไม่สม่ำเสมอ และการเคลื่อนที่ของถังกับลูกกลิ้งไม่สัมพันธ์กัน หลังปรับปรุงพบว่าอัตราสินค้าดีเพิ่มจาก 92.97% เป็น 95.79% ของเสียลดลงเหลือ 4.21% ทำให้กำไรเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเดือนละ 130,892.63 บาท และบริษัทจึงขยายกำลังการผลิตจาก 93 ตัน เป็น 96 ตันต่อวัน

สุรศักดิ์ ชุบไธสง และ ระพี กาญจนะ (2563) เน้นใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) และการประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพเพื่อระบุและแก้ไขปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยการวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลัง พบว่าก่อนดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีของเสียเฉลี่ยรวม 8947 ppm ซึ่งสูงกว่าเป้าหมายที่บริษัทตั้งไว้ที่ไม่เกิน 3000 ppm พบว่าปัญหาหลักคือ "ปัญหาประกายเงิน" ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนมากถึง 95.70% ของปัญหาทั้งหมด จึงได้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหานี้ พบว่ามีปัจจัยในกระบวนการฉีดพลาสติกที่ไม่เหมาะสมอยู่ 8 ปัจจัย จึงเริ่มต้นด้วยการทดลองแบบ 2^{8-3} Fractional factorial design เพื่อคัดกรองหาปัจจัยที่มีอิทธิพลสูงสุด และพบว่ามี 4 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเกิดประกายเงิน ได้แก่ แรงดันในการฉีด (Injection pressure), แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force), อุณหภูมิที่หัวฉีด (Nozzle temperature) และความเร็วในการฉีด (Injection speed) จากนั้นจึงนำเทคนิค Response Surface Methodology (RSM) โดยใช้แผนการทดลองแบบ Central composite design มาหาค่าที่เหมาะสมของทั้ง 4 ปัจจัยนี้ และได้ค่าที่เหมาะสมคือ Injection pressure: 97 MPa, Clamping force: 240 ตัน, Nozzle temperature: 237 °C, Injection speed: 30 mm/sec ผลการทดลองพบว่าปัญหาประกายเงินของชิ้นงานหมายเลข 1220402 ลดลงจากเดิม 33748 ppm เหลือเพียง 6778 ppm และเมื่อพิจารณาภาพรวมของชิ้นงานใหม่ทั้งหมด สัดส่วนของเสียเฉลี่ยก็ลดลงจาก 8947 ppm เหลือ 2320 ppm ซึ่งได้ตามเป้าหมายของบริษัท ผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้

เครื่องมือคุณภาพร่วมกับการออกแบบการทดลอง สามารถช่วยลดของเสียในกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับเป้าหมายขององค์กร

สมพร วงษ์เพ็ง และ อัญญารัตน์ ประสันใจ (2563) ใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) เพื่อหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมในการพิมพ์ตะกั่ว เพื่อลดปัญหาตะกั่วลัดวงจรในกระบวนการประกอบแผงวงจรพิมพ์ (PCB) โดยจากการศึกษากระบวนการผลิต พบว่าของเสียทั้งหมดมีสัดส่วน 2.58% โดยมีปัญหาตะกั่วลัดวงจรบริเวณตำแหน่งซีพียูเป็นสาเหตุหลัก ซึ่งคิดเป็น 1.85% ของของเสียทั้งหมด ขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการใช้แผนภูมิพาเรโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา และใช้แผนผังเหตุและผลในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปัญหา จากนั้นดำเนินการออกแบบการทดลองโดยพิจารณา 2 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ขนาดรูพิมพ์ของบล็อกสกรีน (0.25 มิลลิเมตร และ 0.30 มิลลิเมตร) และระยะการพิมพ์ตะกั่ว (0.50 มิลลิเมตร และ 1.00 มิลลิเมตร) ผลการทดลองพบว่าค่าที่เหมาะสมคือ ขนาดรูพิมพ์ 0.25 มิลลิเมตร และระยะการพิมพ์ตะกั่ว 0.50 มิลลิเมตร ซึ่งช่วยลดปัญหาตะกั่วลัดวงจรบริเวณซีพียูจาก 1.85% จนไม่พบปัญหานี้อีก อีกทั้งยังส่งผลให้สัดส่วนของเสียรวมในกระบวนการผลิตลดลงจาก 2.58% เหลือเพียง 0.35% ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายที่บริษัทกำหนดไว้

ธนิชญา มีชำนาญ (2563) ได้ดำเนินการศึกษาการลดปริมาณของเสียประเภท “จุดดำ (Black dot)” ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไม้แขวนพลาสติก โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ (QC tools) ได้แก่ ใบตรวจสอบ (Check sheet), แผนภูมิพาเรโต (Pareto chart), และแผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) เพื่อค้นหาสาเหตุของปัญหาและวางแนวทางปรับปรุงคุณภาพอย่างเป็นระบบ จากการเก็บข้อมูลของเสียตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2563 ถึงเมษายน 2564 พบว่าสามารถลดของเสียประเภทจุดดำได้จาก 6,675 ชิ้น หรือ 2.52% เหลือ 2,266 ชิ้น หรือ 0.85% คิดเป็นการลดลง 1.67% หรือคิดเป็นมูลค่าทางการตลาดที่ลดความสูญเสียได้ถึง 83,771 บาทต่อปี การวิเคราะห์สาเหตุโดยใช้แผนภูมิก้างปลาภายใต้กรอบแนวคิด 4M1E (Man, Machine, Material, Method, Environment) ร่วมกับการระดมความคิด (Brainstorming) ทำให้สามารถกำหนดมาตรการปรับปรุงที่ส่งผลต่อการควบคุมกระบวนการผลิตและต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าหลังการปรับปรุงยังคงมีของเสียเฉลี่ยที่ 0.85% แต่ก็สามารถสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้ QC tools ในการค้นหาสาเหตุและการปรับปรุงอย่างเป็นระบบนั้นส่งผลให้คุณภาพกระบวนการผลิตดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และยังมีแนวทางเพิ่มเติมในการลดของเสียที่สามารถศึกษาและดำเนินการต่อไปได้ในอนาคต

บุญชัย แซ่สิ้ว และณัฐธยาน์ โสกุล (2559) ได้ศึกษาการลดของเสียจากกระบวนการบรรจุที่เกิดจากอาการซองรั่วด้วยการกำหนดระดับปัจจัยในการปรับตั้งค่าเครื่องจักรให้เหมาะสม โดยใช้หลักการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มรูป (2^4 Full factorial design) ศึกษา 4 ปัจจัยที่

คาดว่าส่งผลต่ออาการรั่วซึม ได้แก่ ความเร็วรอบ อุณหภูมิ แรงกด และเวลาในการซีล โดยทำการทดลองซ้ำแบบละ 3 ครั้ง ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าระดับปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องจักรที่เหมาะสม คือ ความเร็วรอบ 60 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 157 องศาเซลเซียส แรงกด 6 บาร์ และเวลาในการซีล 0.5 วินาที เมื่อนำผลจากการวิจัยมาใช้ในกระบวนการทำงานจริงพบว่า มูลค่าของเสียที่เกิดจากอาการซองรั่วลดลงอย่างเห็นได้ชัด คิดเป็นอัตราลดลงร้อยละ 30.29

ดุษฎี บุญธรรม (2559) การหาค่าระดับปัจจัยความเร็วตัดชิ้นงานและความถี่ของการสุ่มวัดขนาดชิ้นงานของกระบวนการตัดแท่งพลาสติกที่ทำให้อัตราผลผลิตและเวลาตัดชิ้นงานดีที่สุด การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (2^2 Full factorial design) งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เริ่มจากสรุปผลปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA table) ที่มีค่า p ต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ พร้อมทั้งนำเสนอรูปการพล๊อตแฟคทอเรียลเพื่อแสดงลักษณะอิทธิพลของปัจจัยที่มีต่อค่าตัวแปรตอบสนอง จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของผลการทดลองจากค่าคาดหมาย (Residual value) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการทดลองจากแผนภาพ Residual แล้วใช้อ่านค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดจากกราฟตอบสนองของระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด

ปฐมพงษ์ หอมศรี และ จักรพรรณ คงธนะ (2556) ใช้แผนภาพสาเหตุและผล (Ishikawa Diagram) เพื่อค้นหาปัจจัยที่ก่อให้เกิดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก จากนั้นจึงออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial design เพื่อตรวจสอบอิทธิพลของปัจจัยที่สำคัญ หลังจากคัดเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อของเสียประเภทขนาดไม่ได้มาตรฐาน (ใหญ่เกินกำหนด) มากที่สุด 3 อันดับ ได้แก่ แรงดันย้ำ (Holding pressure), อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Mold temperature) และรอบการทำงาน (Cycle time) ออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial design ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทั้งสามปัจจัยมีผลต่อขนาดของชิ้นงานทั้งในแง่ของอิทธิพลหลัก (Main effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction effect) จึงดำเนินการปรับค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมที่สุดดังนี้ Mold temperature ปรับเป็น 45°C ช่วยให้การจัดเรียงตัวของโมเลกุลดีขึ้น ขนาดชิ้นงานลดลง, Cycle time ปรับลดเหลือ 32 วินาที ช่วยให้ชิ้นงานเย็นตัวนอกแม่พิมพ์มากขึ้น ส่งผลให้หดตัวได้มาก, Holding pressure ปรับเหลือ 10 MPa ช่วยลดมวลของชิ้นงาน หลังการปรับปรุง พบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียจากเดิม 39.05% เหลือเพียง 2.78% ซึ่งดีกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ว่าจะลดลงอย่างน้อย 50% แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จของการปรับพารามิเตอร์ในกระบวนการผลิตตามหลักการทางสถิติ

คนัน ธนกุลชัยทวี และ ศุภชัย นาทะพันธ์ (2556) ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนา กับ ปริมาตรการบรรจุ และ ระยะเวลาใช้งานที่เหมาะสม ของถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยูชนิดโพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง โดยจำแนกเป็นขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ การวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Design (CCD) เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสม โดยวัดค่าร้อยละการยืด

ตัวต่อการรับน้ำหนักของถุงพลาสติก ตามมาตรฐาน มอก. 1116-2535 ผลการทดลองพบว่า ความหนาที่เหมาะสมของถุงแต่ละขนาด คือ 0.015 มิลลิเมตร (เล็ก), 0.020 มิลลิเมตร (กลาง) และ 0.025 มิลลิเมตร (ใหญ่) โดยสามารถรองรับการใช้งานได้นานกว่าค่าเฉลี่ยมาตรฐาน (12 นาที) ถึง 18, 18 และ 9 นาที ตามลำดับ และค่าการยืดยังอยู่ในเกณฑ์ที่เป็นไปตามมาตรฐาน มอก.1116-2535 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการกำหนดค่าความหนาที่เหมาะสมต่อการใช้งานในเชิงพาณิชย์

ระพีพัฒน์ ช้วนตระกูล (2564) ได้ศึกษาเพื่อปรับปรุงกระบวนการรีดลวดซึ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการของบริษัทผลิตเครื่องมือแพทย์ตัวอย่าง โดยศึกษาปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดที่เกิดขึ้นในกระบวนการรีดลวด ซึ่งพบว่า หัวข้อการตรวจสอบสภาพผิวของเส้นลวด สี และค่าความโค้ง โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อคุณภาพ (Failure Mode and Effect Analysis : FMEA) เพื่อประเมินแนวโน้มข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่เกิดขึ้น รวมถึงลดโอกาสในการเกิดข้อบกพร่อง เพื่อให้สามารถดำเนินการปรับปรุงแก้ไขและสามารถเป็นประโยชน์กับบริษัทได้ผลการปรับปรุง พบว่า ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดลดลงจากร้อยละ 1.95 เหลืออยู่ที่ร้อยละ 0.47 โดยคิดเป็นปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดลดลงจากเดิมร้อยละ 1.48 คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถลดได้ 123,990.35 บาทต่อเดือนหรือ 1,487,884.20 บาทต่อปี

ยอดนภา เกษเมือง (2560) ได้ประยุกต์ใช้หลักการ DMAIC ของ Six sigma เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตปั๊มน้ำขนาด 1 HP โดยพบว่าปัญหาหลักอยู่ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนหอยโข่ง (Pump Casing) โดยเฉพาะขั้นตอนการเจาะและต๊าปเกลียว และทำการวิเคราะห์ด้วย FMEA พบสาเหตุหลักคืออุปกรณ์จับยึดไม่มั่นคงและไม่มีการตรวจสอบเครื่องมือก่อนใช้งาน จึงได้ออกแบบอุปกรณ์ใหม่และจัดทำมาตรฐานการทำงาน ผลการปรับปรุงสามารถลดของเสียจาก 76685 DPPM เหลือ 12,711 DPPM ลดลง 83.42% และลดมูลค่าความสูญเสียเฉลี่ยต่อเดือนจาก 30,597 บาท เหลือ 3,905 บาท คิดเป็น 87.23% แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้ DMAIC ในการแก้ไขปัญหาเชิงคุณภาพในกระบวนการผลิตได้อย่างเป็นรูปธรรม

สุกานดา พรมเทพ และ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2554) ทำงานวิจัยเพื่อมุ่งลดของเสียในกระบวนการผลิตฟิล์ม BOPP สำหรับบรรจุภัณฑ์อ่อนตัว โดยประยุกต์ใช้แนวทาง Six sigma ตามขั้นตอน DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) พบว่าในปี 2553 มีของเสียจากข้อบกพร่อง 6 ประเภทหลัก ได้แก่ ฟิล์มหย่อน ความหนาผิดปกติ คราบ ฟิล์มลื่นไถล ฟิล์มยับ และฟิล์มเป็นรอย รวมปริมาณ 122,340.58 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 8.56 ล้านบาท จึงดำเนินการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการโดยใช้เครื่องมือ FMEA ร่วมกับหลัก SOD (Severity, Occurrence, Detection) เพื่อลำดับความเสี่ยงและเลือกแนวทางการปรับปรุงอย่างมีประสิทธิภาพ

ผลลัพธ์ที่คาดหวังคือการลดของเสียลงอย่างน้อย 50% หรือคิดเป็นมูลค่าที่ลดลงประมาณ 4.28 ล้านบาท

สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาและรวบรวมงานวิจัยต่างๆ จากหลากหลายสายงานเพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนและเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพครั้งนี้ ผู้วิจัยจะขอสรุปเป็นภาพรวมไว้ดังนี้

ตารางที่ 7 สรุปงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	MSA	C/E diagram	FMEA	DOE
จรรยา ชื่นอารมณ และ เภตรา ชื่นอารมณ์ (2568)	✓			
อรวิกา ศรีทอง และคณะ (2567)		✓	✓	
ทิวานันท มณีรัตน จิรพัฒน เงาประเสริฐวงศ์ 2566)		✓	✓	✓
ยศวรรธน์ จันทนา (2565)				✓
โศจิรพักร บุตรคำโชติพร และคณะ (2564)		✓	✓	✓
เกวลี วรนันท์ และจิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ (2564)		✓	✓	
ระพีพัฒน์ ช้วนตระกูล (2564)		✓	✓	
สุรศักดิ์ ชุบไธสง และ ระพี กาญจนะ (2563)		✓		✓
สมพร วงษ์เพ็ง และ อัญญารัตน์ ประสันใจ (2563)		✓		✓
เอราวิล ถาวร (2560)	✓	✓		
ยอดนภา เกษเมือง (2560)			✓	
ดุษฎี บุญธรรม (2559)				✓
บุญชัย แซ่สิ้ว (2559)				✓
คนัน ธนกุลชัยทวี และศุภชัย นาทะพันธ์ (2556)				✓
ปฐมพงษ์ หอมศรี และจักรพรรณ คงธนะ (2556)		✓		✓
สุกานดา พรมเทพ และดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย (2554)		✓	✓	✓

บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย

เพื่อให้การลดของเสียในกระบวนการผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและตรง ตามวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยจึงมุ่งศึกษากระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ขั้วแบตเตอรี่ที่ผลิตจากทองแดงเป็นหลัก โดยเน้นทำความเข้าใจรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของสายการผลิตอย่างรอบด้าน เพื่อเตรียมข้อมูลและความพร้อมในการวิเคราะห์ปัญหาและพัฒนาแนวทางปรับปรุงที่เหมาะสมต่อไป

จากการวิเคราะห์ข้อมูลข้อของเสียจากรายงานการผลิตย้อนหลังเป็นระยะเวลา 12 เดือน แล้วนำข้อมูลวิเคราะห์ลักษณะของข้อบกพร่องด้วยแผนภาพพาเรโต พบว่า “การเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่” เป็นปัญหาหลักที่เกิดซ้ำบ่อย และยังเป็นปัญหาของเสียส่วนใหญ่ (ประมาณ 70%) ซึ่งปัญหาดังกล่าวจะตรวจพบในขั้นตอนการตรวจสอบรูปร่างด้วยจิ๊กตรวจสอบซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการ เมื่อตรวจพบว่าชิ้นงานมีตำหนิ จึงไม่สามารถนำกลับมาแก้ไขได้ ส่งผลให้เกิดต้นทุนที่สูญเปล่าอย่างมีนัยสำคัญ และส่งผลกระทบต่อคุณภาพโดยรวมอย่างชัดเจน จึงถือเป็นจุดเริ่มต้นของการกำหนดแผนดำเนินการปรับปรุงเพื่อแก้ไขปัญหาอย่างเป็นระบบ ซึ่งแผนดังกล่าวประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

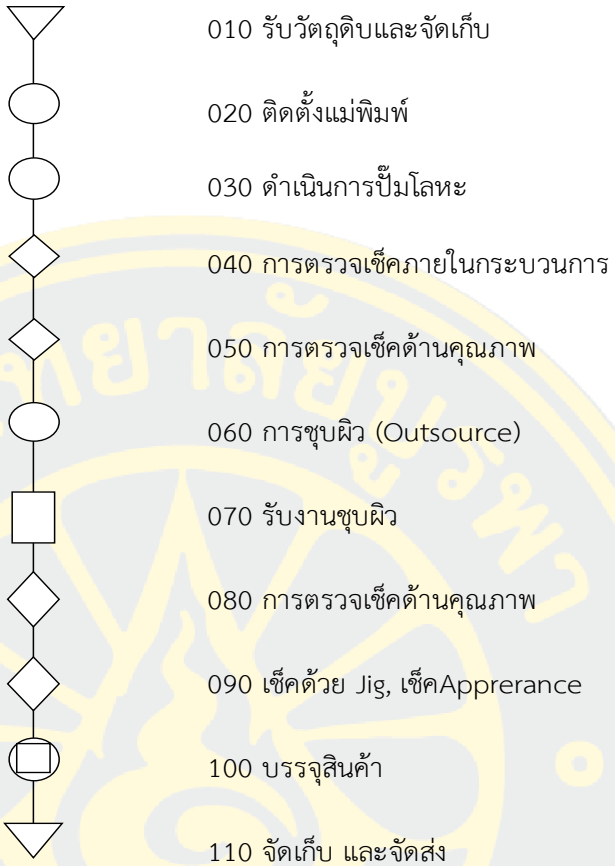
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	**จุดประสงค์**	**รายละเอียดและเครื่องมือที่ใช้**
การรวบรวมข้อมูลข้อบกพร่องและอัตราของเสีย	คัดเลือกปัญหาหลักที่ต้องการปรับปรุง	พาเรโตช่วยจำแนกและระบุปัญหาหลักที่มีความสำคัญที่กระทบกับภาพรวม
การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	เพื่อประยุกต์ใช้ในงานวิจัย	- Attribute MSA - Cause & Effect diagram - FMEA - DOE
ศึกษากระบวนการผลิตขั้วแบตเตอรี่	ศึกษารายละเอียดเชิงลึกเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหา	ผังการไหลของกระบวนการ
วิเคราะห์ความสามารถในการวัด	ประเมินความน่าเชื่อมั่นของการตรวจวัดงาน	Attribute MSA

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	จุดประสงค์	รายละเอียดและเครื่องมือที่ใช้
วิเคราะห์สาเหตุของการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่	ค้นหาสาเหตุของปัญหาเพื่อดำเนินการปรับปรุง	- Cause & Effect diagram - FMEA
วางแผนและดำเนินการปรับปรุงคุณภาพ	ปรับปรุงปัญหาจากสาเหตุหลักและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	การออกแบบการทดลอง (DOE)
ทดลองและประเมินผลการปรับปรุงคุณภาพ	ประเมินความมีประสิทธิภาพของการปรับปรุง	วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
สรุปผลการดำเนินงานพร้อมจัดทำข้อเสนอแนะ	เพื่อสรุปผลการปรับปรุงกระบวนการ	

การศึกษากระบวนการผลิตของขั้วแบตเตอรี่

กระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ขั้วแบตเตอรี่ที่ผลิตจากทองแดงนั้นจะประกอบไปด้วย 2 กระบวนการหลัก ได้แก่ กระบวนการปั๊มขึ้นรูป (Stamping) และกระบวนการชุบผิวด้วยดีบุก (Plating) โดยมีทั้งหมด 11 กระบวนการ ตั้งแต่การรับวัตถุดิบ กระบวนการผลิต กระบวนการตรวจสอบ จนถึงการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้า ซึ่งมีรายละเอียดทั้งหมดตามแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตตามภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตขั้วแบตเตอรี่

รายละเอียดของแต่ละกระบวนการมีดังต่อไปนี้

1) รับวัตถุดิบ เป็นการตรวจสอบเพื่อรับวัตถุดิบที่ส่งมาจากผู้รับจ้างช่วง ซึ่งก็คือ ม้วนทองแดงที่มีขนาดความหนา 2.3 มิลลิเมตร ความกว้าง 104 มิลลิเมตร น้ำหนักโดยเฉลี่ยประมาณ 450 กิโลกรัมต่อม้วน โดยเป็นการตรวจสอบลักษณะภายนอกของคอยล์ สนิม การกระแทก บรรจุภัณฑ์ และน้ำหนัก ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล และองค์ประกอบทางเคมีนั้นหน่วยงานตรวจสอบจะยืนยันผลโดยใช้เอกสารรายงานจากผู้ผลิต

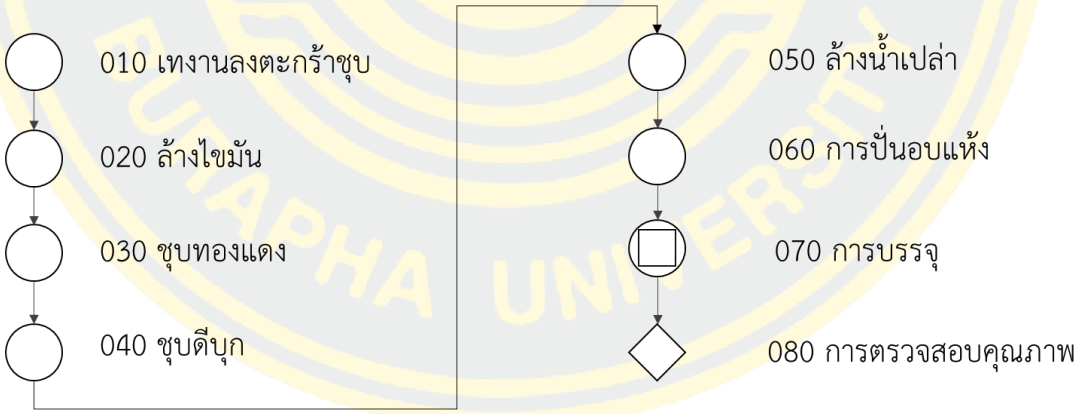
2) ติดตั้งแม่พิมพ์ ฝ่ายผลิตจะทำการติดตั้งแม่พิมพ์ที่มีการตรวจสอบไว้พร้อมแล้ว จากฝ่ายซ่อมบำรุงแม่พิมพ์ จะถูกนำมาติดตั้งเข้ากับเครื่องปั๊ม และปรับตั้งพารามิเตอร์ตามมาตรฐานการติดตั้งแม่พิมพ์ของแต่ละรุ่น

3) ดำเนินการปั๊มโลหะ เป็นการเริ่มการผลิตหลังจากการปรับตั้งพารามิเตอร์ของเครื่องจักร โดยก่อนเริ่มผลิตจะมีการปั๊มชิ้นงานจำนวน 30 ชิ้น เพื่อดูความพร้อมของการทำงานของเครื่องจักร โดยงานชุดนี้จะทิ้งทั้งหมดโดยไม่นำมาใช้งาน

4) การตรวจเช็คภายในกระบวนการ ขั้นตอนนี้ฝ่ายผลิตจะตรวจสอบคุณภาพก่อนการผลิตทุกครั้ง ตามมาตรฐานการตรวจสอบชิ้นงานแรกก่อนการผลิต

5) การตรวจเช็คด้านคุณภาพ ขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจยืนยันโดยเจ้าหน้าที่ฝ่ายคุณภาพ โดยฝ่ายผลิตจะส่งชิ้นงานตัวอย่างหลังจากการปรับตั้ง และผ่านการตรวจสอบแล้ว ให้ฝ่ายคุณภาพ ทำการตรวจสอบเพื่อยืนยันอีกครั้ง ตามเงื่อนไข งานชิ้นแรก งานระหว่างผลิต และงานชิ้นสุดท้ายของการผลิต หลังจากได้รับการยืนยันผลการตรวจสอบจากฝ่ายควบคุมคุณภาพแล้วเท่านั้นจึงจะเริ่มการผลิตได้

6) การชุบผิว (Plating) งานที่ผลิตเสร็จแล้วจะถูกแยกใส่กล่องพลาสติก กล่องละ 400 ชิ้น หลังจากนั้นจะถูกส่งไปชุบเคลือบผิวด้วยดีบุกเพื่อให้มีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่บริษัทผู้รับจ้างช่วง (บริษัทในเครือเดียวกัน) โดยมีกระบวนการย่อยอีกหลายกระบวนการดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แผนภูมิการไหลกระบวนการชุบผิว

รายละเอียดของแต่ละกระบวนการ

- การเทงานลงตะกร้าชุบ เป็นการถ่ายชิ้นงานเข้าสู่ตะกร้าชุบงานโดยพนักงาน
- การล้างคราบสกปรก เป็นกระบวนการล้างคราบสกปรกและคราบไขมัน น้ำมัน ออกจากชิ้นงาน
- การชุบทองแดง เป็นการบวนการชุบเคลือบผิวด้วยทองแดงก่อน

• การชุบดีบุก เป็นกระบวนการชุบเคลือบผิวด้วยดีบุก

• การล้างน้ำเปล่า เป็นกระบวนการล้างคราบเคมีออกจากชิ้นงาน

• การปั่นอบแห้ง เป็นกระบวนการปั่น และอบไล่ความชื้นออกจากงาน

• การบรรจุ เป็นกระบวนการเทงานออกจากตะกร้าอบ แล้วแยกใส่บรรจุภัณฑ์

• การตรวจสอบคุณภาพ เช่น ความหนาการชุบ และรูปลักษณ์ภายนอก (ความด่าง คราบเคมี หยดน้ำ เป็นต้น)

7) รับงานชุบผิว จะเป็นขั้นตอนการตรวจสอบจำนวนตามใบส่งของ และสุ่มตรวจลักษณะภายนอกตามมาตรฐานการตรวจรับงานชุบผิว (plating)

8) การตรวจเช็คด้านคุณภาพ ชิ้นงานที่รับมาจากกระบวนการชุบ หลังจากตรวจรับจำนวนชิ้นงานจะถูกตรวจสอบ คุณภาพ 100 เปอร์เซ็นต์โดยหน่วยงาน VI (Visual inspection) โดยมีขั้นตอนการตรวจสอบ 2 ขั้นตอนคือ

9) การตรวจสอบการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ และ ลักษณะภายนอก (Appearance)

การตรวจสอบการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการตรวจสอบด้วยจิ๊ก (Inspection Jig) ซึ่งออกแบบเพื่อตรวจจับและแยกงานที่เสียรูป โก่ง งอ ออกจากงานในล็อตนั้นๆ โดยได้รับการอนุมัติจากลูกค้าและมีการสอบเทียบและทวนสอบประจำปีโดยลักษณะของจิ๊กตรวจสอบการเสียรูปแสดงดังภาพที่ 12

ภาพที่ 12 จิ๊กตรวจสอบการเสียรูป (Inspection Jig)

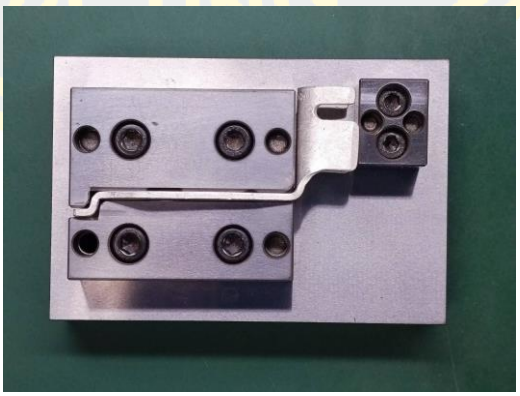
เกณฑ์ในการตัดสินชิ้นงานเสียรูป มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การตัดสิน ชิ้นงานดี (ไม่เสียรูป) ชิ้นงานต้องสวมลงจิ๊กได้ทั้งหมด ไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งติด หรือเบียดกับจิ๊ก หรืออยู่สูงกว่าขอบด้านบนของจิ๊ก หลังจากถอดชิ้นงานออกจากจิ๊ก งานต้องไม่มีรอบเบียด รอบขีดข่วนที่เกิดจากการกด การเสียดสี รายละเอียดตามภาพที่ 13

ภาพที่ 13 ตัวอย่างงานดี

หมายเหตุ กรณีชิ้นงานสวมลงจิ๊กไม่หมดมีบางส่วนติดบนจิ๊ก แต่เหลือพื้นที่น้อยกว่า 1 ใน 3 ส่วนให้ออกแรงกดจนชิ้นงานสวมลงไปทั้งหมด หลังถอดชิ้นงานออกจากจิ๊ก หากไม่พบรอยเบียด เสียดสี ขีดข่วนใดๆ ให้ตัดสินเป็นชิ้นงานดี

การตัดสิน ชิ้นงานเสีย (เสียรูป) ชิ้นงานสวมไม่ลงจิ๊กทั้งหมด มีส่วนใดส่วนหนึ่ง ติดหรือเบียดกับจิ๊ก จากภาพที่ 14 จะเห็นว่าชิ้นงานบางส่วนยังติดอยู่ไม่สามารถสวมลงได้ทั้งหมด ประมาณ 1 ใน 3 ส่วน ในลักษณะนี้จะถือว่าชิ้นงานนั้นไม่ได้รูปร่างตามเกณฑ์ที่เป็นงานดี



ภาพที่ 14 ตัวอย่างงานเสีย (แบบที่1)

ลักษณะงานเสียรูปในแบบที่ 2 ชิ้นงานสวมไม่ลงจิ๊กทั้งหมด มีส่วนใดส่วนหนึ่ง ติด หรือเบียดกับจิ๊ก จากภาพที่ 15 จะเห็นว่าชิ้นงานบางส่วนยังติดอยู่ไม่สามารถสวมลงได้ทั้งหมด ประมาณ 1 ใน 3 ส่วน ในลักษณะนี้จะถือว่าชิ้นงานนั้นไม่ได้รูปร่างตามเกณฑ์ที่เป็นงานดี

ภาพที่ 15 ตัวอย่างงานเสีย (แบบที่ 2)

ลักษณะงานเสียรูปในแบบที่ 3 ชิ้นงานสวมไม่ลงจิ๊กทั้งหมด มีส่วนใดส่วนหนึ่ง ติด หรือเบียดกับจิ๊ก จากภาพที่ 16 จะเห็นว่าชิ้นงานบางส่วนยังติดอยู่ไม่สามารถสวมลงได้ทั้งหมด ประมาณ 2 ใน 3 ส่วนยังติดอยู่บนจิ๊ก ในลักษณะนี้จะถือว่าชิ้นงานนั้นไม่ได้รูปร่างตามเกณฑ์ที่เป็นงานดี

ภาพที่ 16 ชิ้นงานสวมลงได้ไม่หมดยังมีส่วนที่ติดอยู่บนจิ๊ก 2 ใน 3 ส่วน

การตรวจสอบรูปลักษณ์ภายนอกของชิ้นงาน เป็นการตรวจสอบลักษณะทั่วไปของชิ้นงาน ตามมาตรฐานการตรวจสอบรูปลักษณ์ภายนอก (Appearance criteria) โดยชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบด้วยจิ๊กได้เท่านั้น จะถูกตรวจในขั้นตอนที่ 2 โดยมีหัวข้อที่ต้องทำการตรวจสอบดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 หัวข้อการตรวจสอบและเกณฑ์การยอมรับรูปลักษณ์ภายนอก

ลักษณะ	เกณฑ์การยอมรับ	
ข้อบกพร่อง	โซน ก	โซน ข
รอยกระแทก	ต้องไม่มี	มีได้ 1 จุด, ไม่มีครีบสูง ไม่นูนขึ้น
รอยขีดข่วน	ต้องไม่มี	มีได้ 2 จุด ยาวไม่เกิน 2 มิลลิเมตรลึกต้องไม่ถึงเนื้อวัสดุ
รอยบุบ รอยยุบ	ลึกไม่เกิน 0.3 มิลลิเมตร ไม่เห็นทองแดง	ลึกไม่เกิน 0.3 มิลลิเมตร ไม่เห็นเนื้อวัสดุ(ทองแดง)
สีเพี้ยน	ไม่ต่างจากชิ้นงานต้นแบบ (master sample)	ไม่ต่างจาก master sample
ผิวชุบลอก	ไม่ต่างจากชิ้นงานต้นแบบ (master sample)	ไม่ต่างจาก master sample
จุดดำ	ไม่เกิน Ø1.0 มิลลิเมตร มีได้ 1 จุด	ไม่เกิน Ø2.0 มิลลิเมตร มีได้ 1
ครีบ	ต้องไม่มี	ไม่เกิน 0.05 มิลลิเมตร ต้องไม่หลุดออกมา ไม่เห็นเนื้อวัสดุ

10) บรรจุสินค้า จะเป็นการบรรจุสินค้าใส่ถุงพลาสติกถุงละ 50 ชิ้น โดยการชั่งน้ำหนักแทนการนับจำนวนเพื่อความแม่นยำและรวดเร็วแล้วรัดด้วยหนังยาง ก่อนจะบรรจุลงในกล่องกระดาษลูกฟูก กล่องละ 10 ถุง แล้วปิดผลึกและติดลาเบลชื่อสินค้า

11) การจัดส่ง จะเป็นกระบวนการจัดเตรียมงานที่บรรจุเรียบร้อยแล้ว เพื่อเตรียมส่งให้ลูกค้า โดยเป็นการตรวจสอบชื่อผลิตภัณฑ์ รหัสผลิตภัณฑ์ เลขที่ใบสั่งซื้อ จำนวน และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาด ซึ่งถือเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนที่สินค้าจะส่งถึงมือลูกค้า

การวิเคราะห์ระบบการวัด

ของเสียประเภท “ขั้วแบตเตอรี่เสียรูป” เป็นปัญหาที่ต้องใช้การตัดสินใจผ่านการตรวจสอบด้วยจิ๊กที่ออกแบบมาเพื่อการตรวจจับการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ซึ่งไม่สามารถตรวจหรือแยกแยะได้ด้วยสายตา ดังนั้นการตัดสินใจของผู้ตรวจสอบจึงมีส่วนสำคัญในต่ออัตราการเกิดของเสียที่เพิ่มขึ้น

หรือลดลง ซึ่งผู้ตรวจสอบจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องผ่านการประเมินความสามารถผ่านการวิเคราะห์ระบบการวัด (Attribute MSA) โดยมีจุดมุ่งหมาย

• เพื่อให้มั่นใจว่าการตรวจพบลักษณะการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ซึ่งถูกจัดว่าเป็นของเสียนั้น ไม่ได้เกิดจากความผิดพลาดของกระบวนการตรวจสอบหรือการตัดสินใจที่คลาดเคลื่อนของผู้ตรวจสอบ

• เพื่อรับรองว่าข้อมูลจากการตรวจสอบคุณภาพโดยพนักงานมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยกำหนดให้หัวหน้าแผนกควบคุมคุณภาพเป็นผู้พิจารณาขั้นสุดท้ายในการยอมรับหรือปฏิเสธชิ้นงานโดยใช้ข้อมูลจากแต่ละขั้นตอนของพนักงานประกอบการตัดสินใจ

• เพื่อประเมินและยกระดับความเข้าใจของพนักงานในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่บกพร่อง ลดผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนในการตัดสินใจ และนำไปสู่การแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การทดสอบสมมติฐานเพื่อพิสูจน์สาเหตุ

ขั้นตอนนี้จะนำหลักการวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับข้อมูลเชิงคุณภาพ (Attribute MSA) มาใช้ในแผนกควบคุมคุณภาพ โดยมีเป้าหมายเพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำของการตัดสินใจของพนักงานในการตรวจสอบลักษณะการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ เนื่องจากการสรุปผลที่คลาดเคลื่อนจากข้อเท็จจริงอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่นำไปสู่การปฏิเสธล็อตการผลิตโดยไม่จำเป็น ดังนั้น การนำการวิเคราะห์ระบบการวัดเชิงคุณภาพ หรือ Attribute MSA มาใช้จะช่วยให้สามารถประเมินความน่าเชื่อถือของผู้ตรวจสอบ และยกระดับความแม่นยำในการตัดสินใจเกี่ยวกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการประเมินผล ด้วยดัชนีต่างๆ ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

การวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบคุณภาพ

การวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบคุณภาพที่มีหน้าที่ในการตรวจสอบลักษณะชิ้นงานเสียรูป ดังนั้นการทดสอบในครั้งนี้ผลิตภัณฑ์บกพร่องคือ ชิ้นงานเสียรูปที่ต้องตรวจสอบด้วยจิ๊กตรวจสอบ โดยการวางชิ้นงานลงบนจิ๊ก แล้วตัดสินตามเกณฑ์ที่กำหนดว่าชิ้นงานนั้นผ่าน หรือไม่ผ่าน โดยพนักงานที่ทำการทดสอบในครั้งนี้มีจำนวน 3 คน จำนวนชิ้นงานทั้งหมด 30 ชิ้น โดยข้อมูลการวิเคราะห์ระบบการวัดที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงคุณภาพ หรือ Attribute MSA แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ข้อมูลการวิเคราะห์ระบบการวัดที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงคุณภาพนับ (Attribute MSA)

สิ่งตัวอย่าง	คุณภาพงานที่แท้จริง	พนักงานตรวจสอบคนที่1		พนักงานตรวจสอบคนที่2		พนักงานตรวจสอบคนที่3	
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่1	ครั้งที่2
1	G	G	G	G	G	G	G
2	G	G	G	G	G	G	G
3	G	G	G	G	G	G	G
4	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
5	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
6	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
7	กึ่ง NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
8	G	G	G	G	G	G	G
9	กึ่ง NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
10	G	G	G	G	G	G	G
11	G	G	G	G	G	G	G
12	G	G	G	G	G	G	G
13	G	G	G	G	G	G	G
14	กึ่ง G	G	G	G	G	NG	G
15	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
16	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
17	กึ่ง NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
18	G	G	G	G	G	G	G
19	G	G	G	G	G	G	G
20	กึ่ง G	G	G	G	G	G	G
21	กึ่ง G	G	G	G	G	G	G
22	G	G	G	G	G	G	G
23	G	G	G	G	G	G	G
24	กึ่ง G	G	G	G	G	G	G
25	G	G	G	G	G	G	G
26	G	G	G	G	G	G	G

ตารางที่ 10 (ต่อ)

สิ่งตัวอย่าง	คุณภาพงานที่แท้จริง	พนักงานตรวจสอบคนที่1		พนักงานตรวจสอบคนที่2		พนักงานตรวจสอบคนที่3	
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่1	ครั้งที่2
27	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
28	NG	NG	NG	NG	NG	NG	NG
29	G	G	G	G	G	G	G
30	G	G	G	G	G	G	G

จากสมการที่ (1) การเปรียบเทียบผลของผู้ตรวจสอบแต่ละคนกับค่าความจริงของชิ้นงานทดสอบ

% Agreement with Standard ของพนักงานตรวจสอบคุณภาพคนที่ 1

$$= \frac{30}{30} \times 100 \ = 100\%$$

% Agreement with Standard ของพนักงานตรวจสอบคุณภาพคนที่ 2

$$= \frac{30}{30} \times 100 \ = 100\%$$

% Agreement with Standard ของพนักงานตรวจสอบคุณภาพคนที่ 3

$$= \frac{29}{30} \times 100 \ = 96.67\%$$

จากสมการที่ (2) ผู้วิจัยจะทำการประเมิน % Repeatability ของพนักงานตรวจสอบคนที่ 1 คนที่ 2 และคนที่ 3 โดยการพิจารณาจากความสามารถในการตรวจสอบได้ผลลัพธ์เหมือนกันของพนักงานตรวจสอบคุณภาพแต่ละคนโดยไม่สนใจว่าผลการตรวจสอบนั้นถูกต้องหรือไม่ ดังนี้

% ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) ของพนักงานตรวจสอบคุณภาพคนที่ 1

$$= \frac{30}{30} \times 100 \ = 100\%$$

% ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) ของพนักงานตรวจสอบคุณภาพคนที่ 2

$$= \frac{30}{30} \times 100 \ = 100\%$$

% ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) ของพนักงานตรวจสอบคุณภาพคนที่ 3

$$= \frac{29}{30} \times 100 \ = 96.67\%$$

จากสมการที่ (3) จะประเมินผล % ความสามารถในการทำซ้ำ (% Reproducibility Agreement) ผู้วิจัยต้องการตรวจสอบว่าทั้ง 3 คนในแต่ละรอบให้ผลเหมือนกันหรือไม่ พบว่ามี 29 ตัวอย่างที่ผู้ตรวจสอบ 3 คนให้ผลเหมือนกันทั้ง 2 รอบ

$$= \frac{29}{30} \times 100 \ = 96.67\%$$

จากสมการที่ (4) ร้อยละของจำนวนครั้งที่การตัดสินของผู้ตรวจสอบทุกคนในทุกครั้งตรงกับค่าคุณภาพที่แท้จริง

$$= \frac{179}{180} \times 100 \ = 99.44\%$$

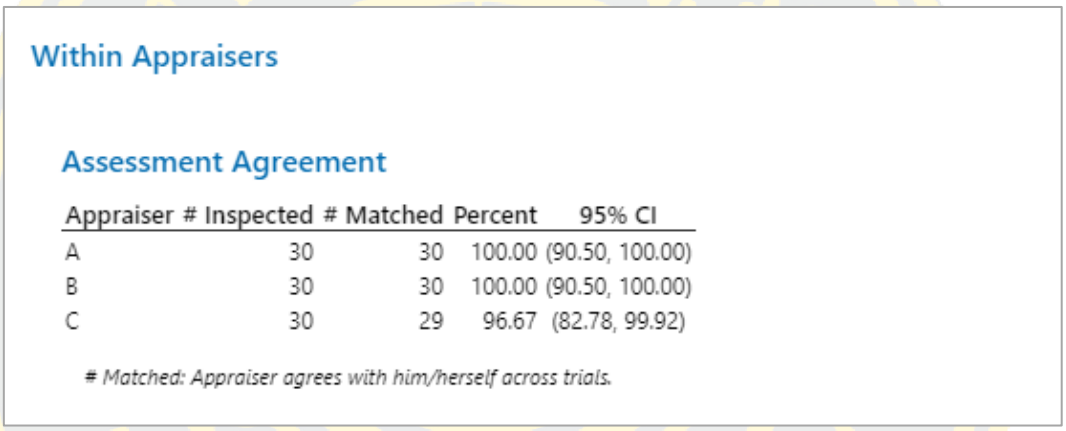
จากการเปรียบเทียบ % ความสามารถในการวัดซ้ำ (Repeatability) ของพนักงานตรวจสอบคุณภาพ และ % ความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานตรวจสอบคุณภาพแต่ละคนพบว่าพนักงานทั้ง 3 คนมีความสามารถในการวัดซ้ำที่ดีมาก และความสามารถในการทำซ้ำของพนักงานทั้ง 3 คน ก็ผ่านการประเมินระบบการวัดเช่นกัน ซึ่งนำมาสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 11 สรุปการวิเคราะห์ระบบการวัดที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงคุณภาพนับของพนักงาน

ดัชนีชี้วัด	**ค่าที่ได้ (%)**
% ความแม่นยำเมื่อเทียบกับมาตรฐาน ผู้ตรวจสอบคนที่ 1	100
% ความแม่นยำเมื่อเทียบกับมาตรฐาน ผู้ตรวจสอบคนที่ 2	100
% ความแม่นยำเมื่อเทียบกับมาตรฐาน ผู้ตรวจสอบคนที่ 3	96.67
% ความสามารถในการตรวจซ้ำ ผู้ตรวจสอบคนที่ 1	100
% ความสามารถในการตรวจซ้ำ ผู้ตรวจสอบคนที่ 2	100
% ความสามารถในการตรวจซ้ำ ผู้ตรวจสอบคนที่ 3	96.67
% ความสามารถในการทำซ้ำของผู้ตรวจสอบ	96.67
% ความถูกต้องรวมของระบบการวัด	99.44

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม Minitab

ผลจากการคำนวณ % ประสิทธิผลด้านความสามารถในการตรวจซ้ำ (Repeatability) ของการตรวจสอบคุณภาพ และ % ประสิทธิผลด้านความสามารถในการทำซ้ำ (Reproducibility) ของการตรวจสอบคุณภาพ แสดงว่าระบบการตรวจสอบไม่มีปัญหาที่ต้องทำการแก้ไขก่อน เพื่อความแม่นยำและความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลจึงนำข้อมูลในตารางที่ 10 ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab อีกครั้ง ดังรายละเอียดในภาพที่ 18 และสรุปผลการประเมินระบบการวัดในภาพที่ 19



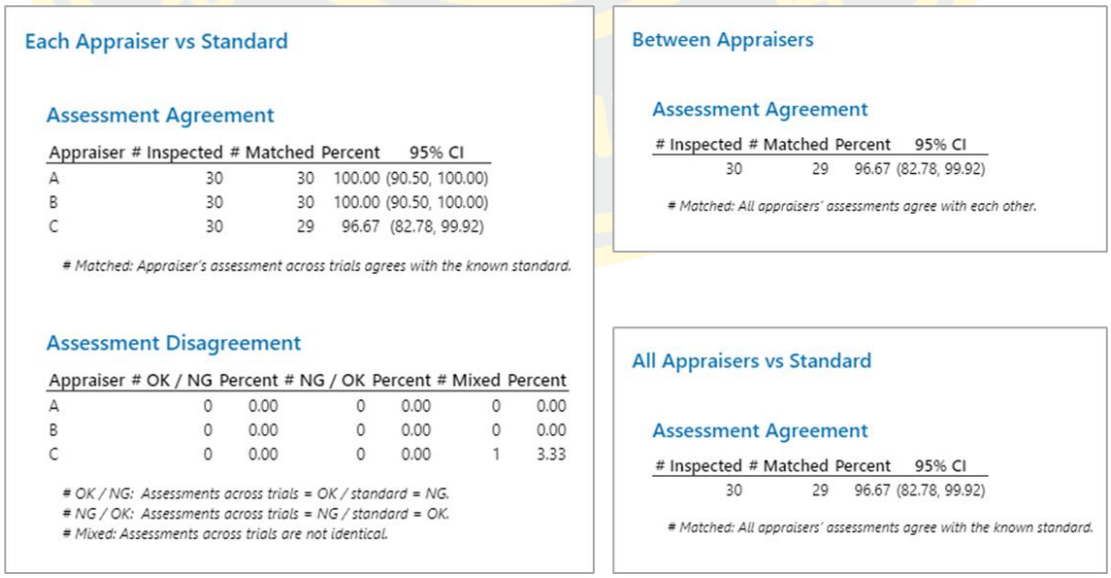
Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
A	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
B	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
C	30	29	96.67	(82.78, 99.92)

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

ภาพที่ 17 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วน Within appraisers



Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
A	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
B	30	30	100.00	(90.50, 100.00)
C	30	29	96.67	(82.78, 99.92)

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

Assessment Disagreement

Appraiser	# OK / NG	Percent	# NG / OK	Percent	# Mixed	Percent
A	0	0.00	0	0.00	0	0.00
B	0	0.00	0	0.00	0	0.00
C	0	0.00	0	0.00	1	3.33

 # OK / NG: Assessments across trials = OK / standard = NG.
 # NG / OK: Assessments across trials = NG / standard = OK.
 # Mixed: Assessments across trials are not identical.

Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	29	96.67	(82.78, 99.92)

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

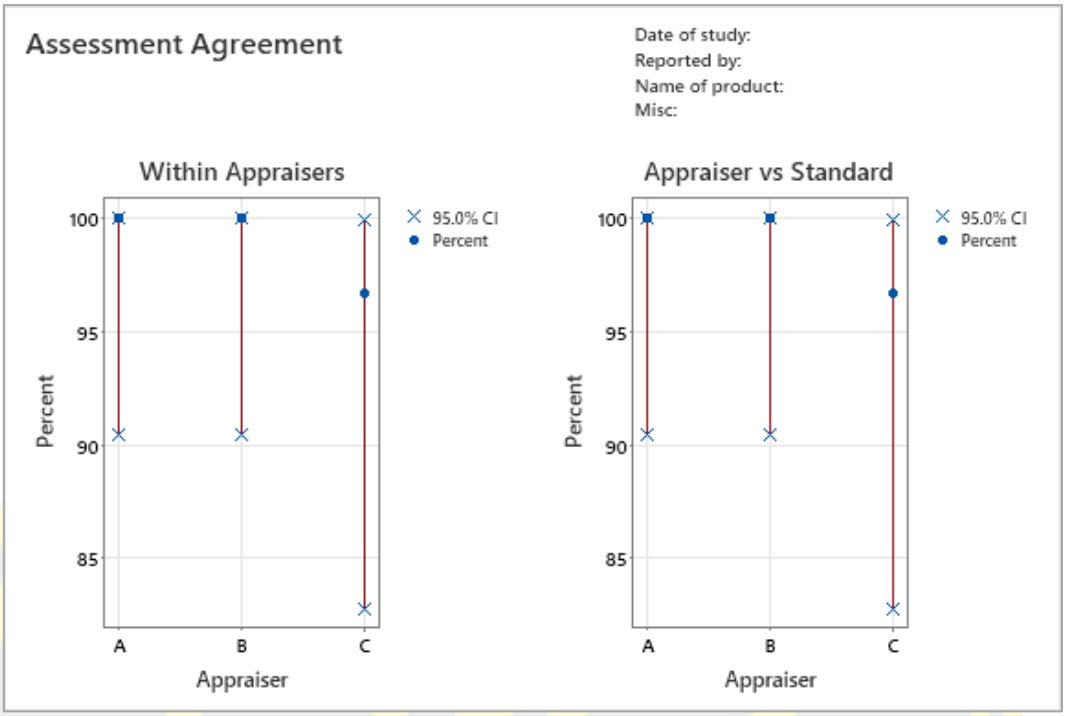
All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected	# Matched	Percent	95% CI
30	29	96.67	(82.78, 99.92)

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

ภาพที่ 18 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วน Each appraiser vs Standards/ Between Appraiser/ All appraiser vs standards



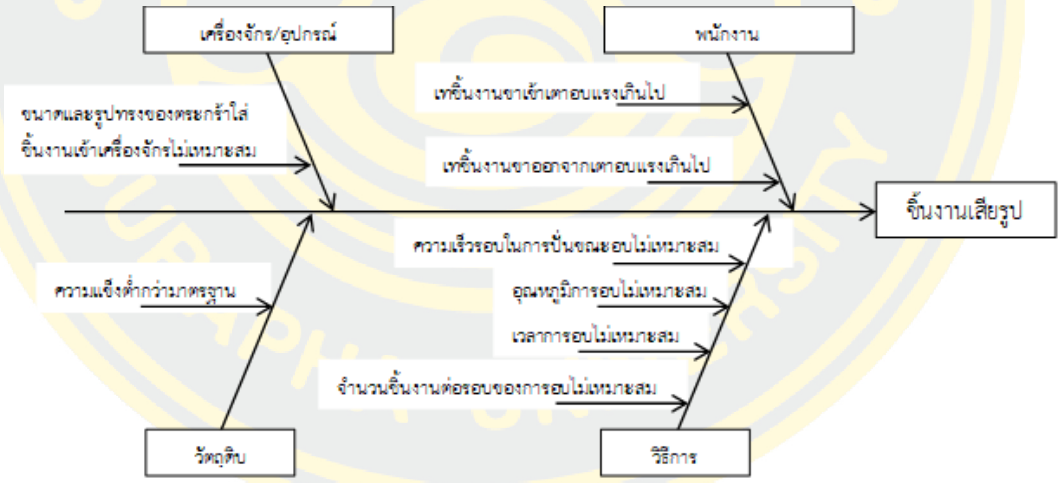
ภาพที่ 19 Assessment Agreement

กล่าวโดยสรุป จะเห็นว่ากราฟ Within Appraisers (Repeatability) ทางด้านซ้ายมือหมายความว่า แต่ละคนมีความสามารถในการตรวจสอบได้คงที่มากน้อยแค่ไหนจากการตรวจสอบซ้ำ 2 ครั้ง จากกราฟค่าเฉลี่ยความสามารถของพนักงานคนที่ 1 และคนที่ 2 คือ 100% ส่วนคนที่ 3 คือ 96.67% (จุดกลม ๆ สีน้ำเงิน) โดยที่มีเปอร์เซ็นต์ของช่วงความน่าเชื่อมั่นอยู่ที่ 90.50% - 100.00% ของพนักงานคนที่ 1 กับพนักงานคนที่ 2 และเปอร์เซ็นต์ความน่าเชื่อมั่นอยู่ที่ 82.78% - 99.92% ของพนักงานคนที่ 3 ภายใต้ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ หรือผิดพลาดได้ 5 เปอร์เซ็นต์

วิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อชิ้นงานเสียรูป

ในการวิเคราะห์ปัญหาการเสียรูปของชิ้นงานขั้วแบตเตอรี่ ผู้วิจัยได้ดำเนินการระดมสมองร่วมกับทีมงานจากหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ฝ่ายวางแผนการผลิต ฝ่ายผลิต ฝ่ายซ่อมบำรุงแม่พิมพ์ ฝ่ายวิศวกรรม และฝ่ายควบคุมคุณภาพ โดยมีเป้าหมายเพื่อค้นหาสาเหตุที่อาจทำให้เกิดปัญหา โดยใช้เครื่องมือแผนภาพสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) ซึ่งในการระดมสมองครั้งนี้แต่ละฝ่ายจะวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อปัญหาตามประสบการณ์และความเชี่ยวชาญของแต่ละฝ่าย แล้วนำข้อมูลทั้งหมดมาสรุปผลในภาพรวมด้วยการให้คะแนนจากความเห็นของทุกฝ่าย

ด้วยการให้น้ำหนักตามความรุนแรง ผลกระทบและโอกาสการเกิด ซึ่งสามารถช่วยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหาและปัจจัยที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบ สาเหตุของปัญหาถูกจำแนกออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ สาเหตุหลัก สาเหตุรอง และสาเหตุย่อย ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์ได้ลึกและครอบคลุมมากขึ้น การใช้แผนภาพสาเหตุและผลทำให้สามารถระบุสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดได้อย่างชัดเจน และช่วยให้ทีมงานมองเห็นภาพรวมของปัญหารวมถึงสามารถวางแผนเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างตรงจุด ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์นี้จะเป็นฐานสำคัญในการพัฒนาแนวทางป้องกันและลดความเสี่ยงในการเกิดปัญหาในอนาคต โดยการประเมินคัดเลือกปัญหาที่อาจส่งผลต่อการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่นั้นมีการกำหนดเกณฑ์เพื่อประเมินความเกี่ยวข้องของแต่ละสาเหตุที่ระบุได้อย่างเป็นระบบและมีน้ำหนักความน่าเชื่อถือ ซึ่งจากการวิเคราะห์และประเมินร่วมกันของทีมงาน พบว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเสียรูปของชิ้นงานมีครอบคลุมทั้ง 4M ได้แก่ ปัจจัย ด้านคน เครื่องจักรอุปกรณ์ วัสดุดิบ และวิธีการ ซึ่งมีขอบเขตตั้งแต่การรับวัตถุดิบจนถึงการตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังภาพ



ภาพที่ 20 แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram: CE)

จากแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram: CE) สามารถสรุปสาเหตุที่คาดว่าทำให้เกิดการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ โดยพบว่ามีสาเหตุย่อยที่เป็นไปได้รวม 8 สาเหตุ ดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 สาเหตุที่คาดว่าทำให้เกิดการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่

ปัจจัย	สาเหตุที่คาดว่าทำให้เกิดการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่
พนักงาน (Man)	1) พนักงานเทชิ้นงานขาเข้าเตาอบแรงเกินไป 2) พนักงานเทชิ้นงานขาออกเตาอบแรงเกินไปงานแรง
เครื่องจักร (Machine)	3) ขนาดและรูปทรงของตะกร้าไม่เหมาะสม
วัสดุ หรือวัตถุดิบ	4) วัสดุมีความแข็งไม่เท่ากัน วัสดุที่มีความแข็งน้อย
วิธีการ (Method)	5) ความเร็วในการปั่นขณะอบชิ้นงานไม่เหมาะสม 6) อุณหภูมิการอบไม่เหมาะสม 7) เวลาการอบไม่เหมาะสม 8) จำนวนชิ้นงานต่อรอบการอบไม่เหมะสม

จากการวิเคราะห์เบื้องต้นด้วยแผนภาพเหตุและผล (แผนภาพก้างปลา) ซึ่งได้ระบุสาเหตุย่อยที่อาจส่งผลต่อการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ไว้ทั้งหมด 8 สาเหตุ ผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลเหล่านี้ไปวิเคราะห์ต่อด้วย FMEA เพื่อประเมินว่าสาเหตุใดมีโอกาสสร้างผลกระทบรุนแรงที่สุด หรือเกิดขึ้นได้บ่อยที่สุด และตรวจจับได้ยากที่สุด ซึ่งจะช่วยให้การวางแผนแก้ไขสามารถมุ่งเป้าไปยังสาเหตุที่มีความเสี่ยงสูงสุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การวิเคราะห์โหมดความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure Mode and Effective Analysis)

เพื่อให้การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่มีความเป็นระบบและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ซึ่งช่วยรวบรวมและจัดกลุ่มสาเหตุที่เป็นไปได้ มาใช้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ต่อด้วยเครื่องมือ FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงของแต่ละสาเหตุอย่างเป็นระบบโดยมุ่งเน้นที่กระบวนการออกแบบกระบวนการผลิตและการกำหนดมาตรฐานในการผลิตว่ามีความเสี่ยงมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะแตกต่างจากการประเมินความล้มเหลวและผลกระทบของผลิตภัณฑ์

ในการดำเนินการวิเคราะห์ FMEA นี้ ได้มีการจัดประชุมร่วมกับทีมงานจากหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง เพื่อทบทวนและวิเคราะห์ปัจจัยเสี่ยงที่อาจส่งผลต่อการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ โดยยึดตาม

หัวข้อสาเหตุที่ถูกคัดเลือกมาจากแผนภาพเหตุและผล จากนั้นจึงพิจารณาลักษณะของความเสียหาย ผลกระทบ ความถี่ของการเกิด และความสามารถในการตรวจจับของแต่ละสาเหตุที่มุ่งประเด็นในเรื่องของทบทวนเงื่อนไขที่ใช้ในกระบวนการต่าง ๆ เพื่อใช้ในการประเมินความรุนแรงและจัดลำดับความเสี่ยง อันจะนำไปสู่การวางแผนปรับปรุงกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดโอกาสเกิดปัญหาซ้ำในอนาคต โดยมีฝ่ายต่างๆ เข้าร่วมดังนี้ ฝ่ายผลิต ฝ่ายคุณภาพ ฝ่ายซ่อมบำรุงแม่พิมพ์ และฝ่ายวางแผน มีขั้นตอนการทบทวนดังนี้

1. ทบทวนรายละเอียดผลิตภัณฑ์ ทบทวนกระบวนการ ขั้นตอนการผลิต และหน้าที่การทำงานของแบตเตอรี่ขั้วแบตเตอรี่ (Battery Terminal)

2. ทบทวนเกณฑ์การประเมินให้สอดคล้อง และเป็นปัจจุบัน

3. ทบทวนคุณลักษณะพิเศษของผลิตภัณฑ์ ทำการบ่งชี้หน้าที่และเป้าหมายของแต่ละกระบวนการ พร้อมทั้งระบุจุดวิกฤต (Special Characteristic)

4. กำหนดรายการข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ และวิเคราะห์ความล้มเหลว

5. ชี้บ่งผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้น และส่งผลต่อปัญหาการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ พร้อมทั้งทำการประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น (Severity)

6. บ่งชี้สาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการกำหนดเงื่อนไขหรือพารามิเตอร์ในการผลิต ว่ามีโอกาสหรือความถี่ในการทบทวนมากน้อยเพียงใด (Occurrence)

7. ระบุสภาวะการควบคุมในปัจจุบันในการตรวจสอบหรือทวนสอบเกี่ยวกับเงื่อนไขการผลิตที่มีการกำหนดไว้เป็นมาตรฐานนั้นสามารถตรวจสอบได้ชัดเจน (Detection)

8. ประเมินค่าความเสี่ยงของแต่ละสาเหตุ เพื่อจัดอันดับความสำคัญ (RPN) โดยกำหนดเกณฑ์ในการปฏิบัติการแก้ไข RPN Risk Priority Number (RPN) = S*O*D หมายถึง เลขแสดงความสำคัญ ที่แสดงถึงความรุนแรงต่อความล้มเหลว โอกาสที่เกิด ความล้มเหลว และความสามารถในการตรวจพบบนผลิตภัณฑ์ซึ่งมีค่าระหว่าง 1-1000 สำหรับการลด RPN ให้ปฏิบัติดังนี้

8.1 ให้ความสำคัญค่า D ที่มีค่าสูง (7-10 คะแนน) ก่อนเป็นอันดับแรก เพื่อพิจารณากำหนดมาตรการแก้ไขปรับปรุง แล้วจึงพิจารณาค่า S และ O ตามลำดับ

8.2 พิจารณาลงมือแก้ไข ถ้า RPN ≥ 120

8.3 ถ้าค่า RPN เท่ากัน และค่าของ S เท่ากัน ให้เลือกค่าของ O ที่มากกว่ามาทำการแก้ไขก่อน เช่น RPN1 = 7 x 4 x 3 = 84 ต้องแก้ไขก่อน RPN2 = 7 x 3 x 4 = 84 จากตัวอย่าง

RPN1 มี O = 4 และ D = 3 ซึ่ง RPN2 มี O = 3 และ D = 4 ดังนั้น ควรลงมือแก้ไข RPN1 ก่อน RPN2

8.4 ลดค่า S โดยการปรับปรุงการออกแบบ และ/หรือ กระบวนการผลิต และลดค่า D โดยใช้วิธีการป้องกันความผิดพลาด เช่น การควบคุมกระบวนการ และปรับปรุงกระบวนการผลิตมากกว่าเพิ่มความถี่ในการสุ่มตรวจ

9. ทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการในภาพรวมเพื่อลดค่า RPN ลดลง

10. เตรียมเอกสารการสรุปผลลัพธ์

จากประเด็นที่ผู้วิจัยและทีมข้ามสายงานได้ทำสรุปไว้ในแผนภาพเหตุและผลเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่แล้วนั้น เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วย FMEA สามารถสรุปผลได้ดังนี้

ตารางที่ 13 ตารางวิเคราะห์แนวโน้มข้อบกพร่องของกระบวนการ

ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น	S	O	D	RPN
ขนาดของตระกร้าใส่ชิ้นงานเข้าเครื่องจักร	ตระกร้าขนาดเล็กเกินไปทำให้เทชิ้นงานยาก อาจเกิดการกระแทกของชิ้นงานมากทำให้เสียรูปได้	3	2	3	18
รูปทรงของตระกร้าใส่ชิ้นงานเข้าเครื่องจักร	ตระกร้ารูปทรงสูงทำให้มีน้ำหนักชิ้นงานด้านบนกดทับชิ้นงานด้านล่างทำให้เสียรูปได้	4	2	3	24
ความแข็งต่ำกว่ามาตรฐาน	ชิ้นงานที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีความแข็งไม่เป็นไปตามกำหนด เมื่อถูกกดทับจะเกิดการเสียรูปได้	7	4	2	56
พนักงานเทชิ้นงานลงสู่ตระกร้าก่อนเข้าเตาอบแรงเกินไป	ชิ้นงานเกิดการกระแทกทำให้เสียรูปได้	4	2	5	40
พนักงานเทชิ้นงานออกจากตระกร้าหลังอบเสร็จแรงเกินไป	ชิ้นงานเกิดการกระแทกทำให้เสียรูปได้	4	3	5	60
การกำหนดความเร็วรอบในการปั่นขณะอบชิ้นงานไม่เหมาะสม	แรงเหวี่ยงที่เกิดจากการปั่นส่งผลให้เกิดแรงกดทับชิ้นงานซึ่งอาจทำให้ชิ้นงานเสียรูปได้	4	7	6	168

ตารางที่ 13 (ต่อ)

ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น	S	O	D	RPN
การกำหนดอุณหภูมิในการอบชิ้นงานไม่เหมาะสม	อุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของทองแดง ซึ่งอาจทำให้ชิ้นงานอ่อนตัวไม่สามารถรับแรงกดทับชิ้นงานจากชิ้นงานอื่นขณะทำการอบทำให้เสียรูปได้	6	7	6	252
การกำหนดเวลาในการอบชิ้นงานไม่เหมาะสม	เวลาที่ใช้ในการอบที่นานเกินไปทำให้ชิ้นงานต้องรับรับแรงกดทับจากชิ้นงานอื่นเป็นเวลานาน อาจทำให้เสียรูปได้	2	7	6	84
จำนวนชิ้นงานต่อรอบของการอบ	ความหนาแน่นของชิ้นงานในตะกร้าอบมีผลต่อการถ่ายเทความร้อน หากงานเบียดกันมากเกินไป อาจเกิดการเสียรูปได้	5	7	6	210

จากการวิเคราะห์ปัญหาและระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังแผนภาพเหตุและผลและการวิเคราะห์โหมดความล้มเหลวและผลกระทบที่แสดงไว้ในตารางที่ 13 ผู้วิจัยได้ดำเนินการกับแต่ละปัจจัยอย่างเป็นขั้นเป็นตอน เพื่อลดเวลาและต้นทุนที่จะเกิดขึ้นในการดำเนินการและผลกระทบอื่น ๆ เพื่อพิสูจน์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยนั้น ๆ แล้วตัดประเด็นที่ไม่เกี่ยวข้องออกทีละประเด็นจนเหลือประเด็นที่เกี่ยวข้องมากที่สุดตามลำดับ โดยเริ่มจาก วัตถุดิบ เครื่องจักร คน และวิธีการ ซึ่งจะเห็นว่าประเด็นที่เกี่ยวกับวัตถุดิบและเครื่องจักรนั้นผู้ดำเนินการวิจัยและทีมข้ามสายงานระบุว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบน้อยที่สุด แต่เพื่อไม่ให้เกิดการมองข้ามปัจจัยที่อาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อปัญหาการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ในครั้งนี้จึงได้ดำเนินการให้ครอบคลุมประเด็นดังกล่าวด้วย ดังรายละเอียดดังนี้

ปัจจัยด้าน คน (Man) พนักงานเทชิ้นงานเข้า-ออกจากตระกร้าแรงเกินไป โดยไม่ระมัดระวังและขาดความตระหนักถึงผลกระทบด้านคุณภาพ ซึ่งมีค่า RPN เท่ากับ 40 และ 60 จากการวิเคราะห์สามารถประเมินความรุนแรงอยู่ในระดับ 4 ซึ่งหมายถึงการไม่ได้ทบทวนวิธีการทำงานของพนักงานนั้นไม่ได้ส่งผลต่อการเสียรูปของชิ้นงานมากนัก ส่วนโอกาสก็ถือว่ามีโอกาสน้อยที่จะที่การทบทวนจึงอยู่ในระดับ 3 และการตรวจจับก็ว่ามาตรฐานการทำงานนั้นส่งผลหรือไม่ก็อยู่ในระดับที่ยังไม่มีความชัดเจนจึงอยู่ในระดับ 5 (กลาง) และจากการเข้าไปสังเกตกระบวนการทำงานของพนักงานในขั้นตอนการโหลดชิ้นงานลงตะกร้าสำหรับการชุบ พบว่าพนักงานไม่มีการทบทวนหรืออบรมซ้ำเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานจึงขาดความระมัดระวังในการเทชิ้นงาน และไม่ตระหนักถึงผลกระทบด้านคุณภาพที่อาจ

เกิดขึ้น พนักงานเทชิ้นงานลงตะกร้าโดยตรงจนกระแทกกับขอบตะกร้า ซึ่งออกแบบให้มีมุมเอียงเพียงเล็กน้อย อาจทำให้ชิ้นงานเกิดการเสียรูปได้ง่าย นอกจากนี้ยังพบว่าพนักงานเทชิ้นงานจากหลายกล่องลงในจุดเดียวกัน ส่งผลให้ชิ้นงานทับถมกันหนาแน่น เมื่อเข้าสู่กระบวนการหมุนของตะกร้าในบ่อชุบชิ้นงานอาจจะกระแทกกันเองอย่างรุนแรง นำไปสู่การเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ขึ้นได้

จากการสัมภาษณ์เพิ่มเติม พบว่าพนักงานไม่เคยได้รับข้อมูลเกี่ยวกับอัตราของเสียหรือต้นทุนด้านคุณภาพที่เกิดจากการทำงานของตนเองมาก่อน จึงไม่มีความเข้าใจถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับบริษัทและต่อตัวพนักงานเองเมื่องานเสียหายและไม่สามารถส่งมอบให้ลูกค้าได้

เพื่อแก้ไขปัญหานี้ ได้มีการดำเนินการฝึกอบรมให้พนักงานได้รับรู้ข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตขั้วแบตเตอรี่ รวมถึงต้นทุนที่สูญเสียจากของเสียเหล่านั้น เพื่อสร้างความตระหนักด้านคุณภาพและทำให้พนักงานเห็นความสำคัญของบทบาทตนเองในกระบวนการผลิต ทั้งนี้เน้นให้พนักงานเข้าใจว่า ทุกคนมีส่วนร่วมในการลดของเสียและพัฒนากระบวนการทำงานให้ตรงตามความต้องการของลูกค้า

ในส่วนของการปรับปรุงวิธีการทำงาน ได้มีการกำหนดวิธีการเทงานใหม่ โดยปรับองศาตะกร้าและทิศทางการเทชิ้นงาน เพื่อป้องกันการกระแทกและการทับถมของชิ้นงานดังนี้

เริ่มจากการปรับองศาตะกร้าให้อยู่ในระดับเส้นสีเขียว แล้วเทงานจากกล่องที่ 1 โดยใช้วิธีสไลด์ซ้าย-ขวาต่อมา ปรับองศาตะกร้าให้อยู่ในระดับเส้นสีเหลือง แล้วเทงานจากกล่องที่ 2 ด้วยวิธีเดียวกันขั้นตอนสุดท้าย ปรับองศาตะกร้าให้อยู่ในระดับเส้นสีแดง แล้วเทงานจากกล่องที่ 3 โดยสไลด์ซ้าย-ขวาเช่นกันการเทงานทุกกล่องต้องกระจายชิ้นงานไปทั่วตะกร้า ไม่กองรวมกันตรงกลาง เพื่อให้การหมุนของตะกร้าในบ่อชุบเป็นไปอย่างนุ่มนวล ลดการกระแทกและเสียรูปของชิ้นงานการดำเนินการนี้มีเป้าหมายเพื่อเสริมสร้างความเข้าใจและความร่วมมือของพนักงานในการพัฒนาคุณภาพการผลิต ลดอัตราของเสีย และสร้างความเชื่อมั่นให้กับลูกค้าในระยะยาว

ภาพที่ 21 การปรับวิธีการเทงาน

ปัจจัยด้าน อุปกรณ์ และเครื่องจักร จากการวิเคราะห์ความเสี่ยงด้วยวิธีการ FMEA พบว่าปัจจัยด้านขนาดและรูปทรงของตะกร้าใส่ชิ้นงานเข้าเครื่องจักรมีค่าคะแนน RPN เท่ากับ 18 และ 24

ซึ่งอยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ ตามเกณฑ์การตัดสินใจจึงไม่จำเป็นต้องดำเนินการปรับปรุงในประเด็นดังกล่าว ทั้งนี้ การดำเนินการแก้ไขหรือปรับเปลี่ยนตะกร้าอาจส่งผลต่อการลงทุนที่สูง และอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์รุ่นอื่น ๆ อีกจำนวน 8 รุ่น ซึ่งใช้ตะกร้าชนิดเดียวกันในการผลิต นอกจากนี้ ยังจำเป็นต้องมีการประเมินผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อคุณภาพและประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นร่วมด้วย ดังนั้น ด้วยเหตุผลข้างต้น คณะทำงานแบบข้ามสายงาน (Cross-functional Team) จึงมีมติร่วมกันให้ตัดประเด็นนี้ออกจากแผนการดำเนินงานปรับปรุง

ปัจจัยด้าน วัสดุ วัตถุดิบ (Material) ปัจจัยด้านวัสดุ หรือวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตที่มีความแตกต่างทางคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล จากการวิเคราะห์มีค่า RPN เท่ากับ 56 และค่าความรุนแรง (Severity) เท่ากับ 7 นั้นอาจส่งผลต่อการเกิดของเสียประเภท ขั้วแบตเตอรี่เสียรูป ผู้วิจัยได้กำหนดเงื่อนไขในการทดลองการผลิต เพื่อตรวจสอบผลกระทบที่เกิดจากวัตถุดิบ โดยนำวัตถุดิบที่มีความแตกต่างกันทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางกล แต่ยังเป็นวัตถุดิบที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด โดยทำการคัดเลือกจากผลการทดสอบและรายงานผลที่ทางผู้ผลิตส่งมาให้แล้วนำมาทำการผลิตด้วยพารามิเตอร์การผลิตแบบเดียวกัน ดังรายละเอียดในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 การตรวจสอบงานเสียรูปโดยใช้จิ๊กตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบผล

ล็อตวัตถุดิบ	Thickness	Hardness	การปรับตั้งเครื่องจักร				จำนวนการผลิต	ของเสีย		
	2.3 ±0.050	60-90 HV(5)	SPM	Die High	Oil	Gap	(ชิ้น)	งานเสียรูป	รอยกระแทก	รอยบุบ
R01-1743	2.299	68.8	60	279.1	0.7 - 1.2 t/sm	10µm.	14,400	0	0	0
R11-3478	2.288	72.0	60	279.1	0.7 - 1.2 t/sm	10µm.	14,400	0	0	0
R12-9003	2.300	70.0	60	279.1	0.7 - 1.2 t/sm	10µm.	14,400	0	0	0
R01-1744	2.309	70.4	60	279.1	0.7 - 1.2 t/sm	10µm.	14,400	0	0	0

หลังจากนั้นทำการตรวจสอบงานเสียรูปโดยใช้จิ๊กตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบผลของความแตกต่างของวัตถุดิบที่ต่างกัน ซึ่งรายงานผลการตรวจสอบหลังการเพรส ด้วยจิ๊กตรวจสอบรูปร่างได้ผลดังตารางที่ 15 ซึ่งพบว่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตที่มีความแตกต่างทางคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล ผลการตรวจสอบหลังปั๊มงานพบของเสียประเภทรอยขีดข่วนจำนวน 1 ชิ้น

ตารางที่ 15 ผลการตรวจสอบหลังการเพรส ด้วยจิ๊กตรวจสอบรูปร่าง

หมายเลขล็อต	จำนวนชิ้นงาน	จำนวนของเสีย	รายละเอียดของเสีย						
			เสียรูป	รอยขีดข่วน	รอยยุบ	รอยกระแทก	งานติดก้น	สีเพี้ยน	ขุยไม่เต็ม
230110-001-006	2,400	0							
230110-007-012	2,400	0							
230110-013-018	2,400	1				1			
230110-019-024	2,400	0							
230110-025-030	2,400	0							
230110-031-036	2,400	0							
รวม	14,400	1	0	0	0	1	0	0	0

ผู้วิจัยต้องการทราบว่าความความแข็งของวัสดุมีผลต่อค่าความขนานของชิ้นงานหลังเพรสหรือไม่ ซึ่งค่าความขนานเกี่ยวข้องกับการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ ผู้วิจัยทำการคัดเลือกวัสดุที่มีความแข็งวัสดุที่แตกต่างกันมาทำการทดลองผลิต โดยคาดว่าความแข็งวัสดุที่มีความแตกต่างกันแต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ลูกค้ากำหนด จะไม่มีผลต่อค่าความขนาน หรือทำให้ชิ้นงานเสียรูปจากการเพรส แล้วทำการเก็บข้อมูลจำนวน 30 ชิ้น ของค่าความแข็ง 68.8 HV(5) และ 72.0 HV(5) ได้ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 เปรียบเทียบค่าความแข็ง 68.8 HV(5) และ 72.0 HV(5)

ค่าความขนานของชิ้นงาน (สเปค: ไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร)			
ค่าความแข็งวัสดุ 68.8 HV(5)		ค่าความแข็งวัสดุ 72.0 HV(5)	
0.057	0.054	0.063	0.065
0.063	0.060	0.059	0.051
0.059	0.057	0.061	0.053
0.056	0.062	0.061	0.060
0.058	0.062	0.056	0.053
0.062	0.061	0.061	0.060
0.063	0.052	0.054	0.058
0.053	0.056	0.057	0.059

ตารางที่ 16 (ต่อ)

ค่าความขนานของชิ้นงาน (สเปค: ไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร)			
ค่าความแข็งวัสดุ 68.8 HV(5)		**ค่าความแข็งวัสดุ 72.0 HV(5)**	
0.058	0.059	0.059	0.057
0.056	0.061	0.061	0.056
0.053	0.062	0.058	0.056
0.054	0.061	0.063	0.059
0.058	0.055	0.058	0.060
0.048	0.057	0.056	0.059
0.056	0.061	0.060	0.056

จากนั้นผู้วิจัยทำการวิเคราะห์การทดลองเปรียบเทียบพร้อมทั้งหาข้อสรุปว่าค่าความแข็งวัสดุที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อความขนานของชิ้นงานหรือไม่ โดยใช้โปรแกรม Minitab ดังนี้

สมมุติฐาน

ความความแข็งวัสดุ ส่งผลต่อค่าความขนานหรือไม่

X1 = ค่าความขนานเมื่อความแข็งวัสดุเท่ากับ 68.8 HV (5)

X2 = ค่าความขนานเมื่อความแข็งวัสดุเท่ากับ 72.0 HV (5)

X1 และ X2 มีการแจกแจงแบบปกติ

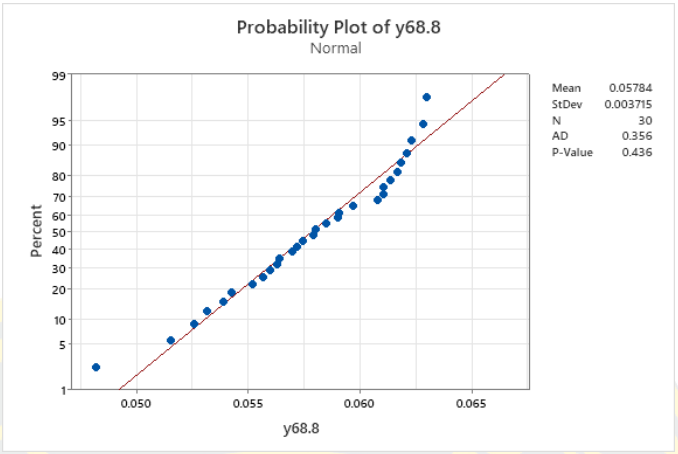
เป็นการทดสอบแบบ 2 sample t test

H0 $\mu 1 - \mu 2 = 0$

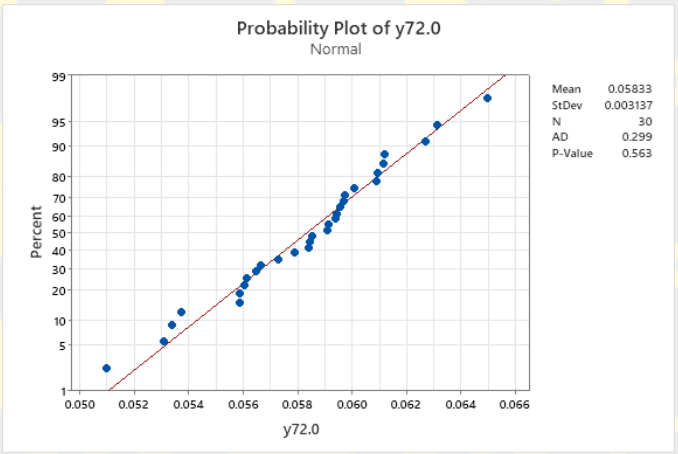
H1 $\mu\ 1 - \mu\ 2 \neq 0$

α = 0.05

n1 = n2 = 30



ภาพที่ 22 กราฟตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลค่าความแข็งวัสดุเท่ากับ 68.8



ภาพที่ 23 กราฟตรวจสอบการแจกแจงข้อมูลค่าความแข็งวัสดุเท่ากับ 72.0

จากภาพที่ 22-23 พบว่า

X1 ⟶ P-Value = 0.436 > α ไม่ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก

X2 ⟶ P-Value = 0.563 > α ไม่ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก

ดังนั้น X1 และ X2 มีการแจกแจงแบบปกติ

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
-0.55	56	0.582

ภาพที่ 24 2-Sample t-Test

ส่วนภาพที่ 24 แสดงการทดสอบค่าความขนานเฉลี่ยของวัสดุที่มีความแข็งแตกต่างกันพบว่า P-Value = 0.582 > 0.05 *จึงไม่ปฏิเสธสมมุติฐานหลัก ซึ่งสรุปได้ว่าค่าความแข็งไม่มีอิทธิพลต่อค่าความขนานด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05*

จากผลการทดลองผลิตสามารถสรุปได้ว่า ความแตกต่างของวัตถุดิบในแต่ละล็อตซึ่งยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานนั้น ไม่มีผลต่อการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ และเนื่องจากมีการตรวจรับและประเมินผลจาก lab test เมื่อรับวัตถุดิบทุกล็อตจึงมั่นใจว่าความแข็งและความหนาชิ้นงานจะไม่สูงเกินกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ จึงมั่นใจว่าความรุนแรงระดับ 7 นั้นสามารถควบคุมได้

ปัจจัยด้านวิธีการ จากการทดสอบที่กระบวนการเพรส สามารถสรุปได้ว่า วัสดุที่มีความแตกต่างกันทั้งคุณสมบัติทางกายภาพและทางกล และกระบวนการเพรส ไม่มีมีอิทธิพลต่อการเสียรูปของชิ้นงาน ผู้วิจัยได้นำงานล็อตดังกล่าวจำนวน 14,400 ชิ้น ในขั้นตอนต่อไป ผู้วิจัยต้องการยืนยันว่าการชุบผิวมีผลต่อการเสียรูปของชิ้นงานหรือไม่ จึงนำงานมาตรวจสอบด้วยจิ๊กตรวจสอบรูปร่าง ซึ่งได้ผลตามรายงานผลการตรวจสอบดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 17 รายงานผลการตรวจสอบด้วยจิ๊กตรวจสอบรูปร่าง

หมายเลขล็อต	จำนวนชิ้นงาน	จำนวนของเสีย	รายละเอียดของเสีย						
			เสียรูป	รอยขีดข่วน	รอยยุบ	รอยกระแทก	งานติดค้าง	สีเพี้ยน	ชุบไม่เต็ม
230110-001-006	2,400	0							
230110-007-012	2,400	1			1				
230110-013-018	2,400	0							
230110-019-024	2,400	1				1			
230110-025-030	2,400	1			1				
230110-031-036	2,400	1				1			
รวม	**14,400**	**4**	**0**	**0**	**2**	**2**	**0**	**0**	**0**

จากตารางที่ 17 ผลการตรวจสอบจะพบว่า งานหลังเพรสพบของเสียประเภทขั้วแบตเตอรี่เสียรูปเลย พบเพียงชิ้นงานมีรอยยุบ จำนวน 2 ชิ้น และเกิดรอยกระแทก 2 ชิ้น ซึ่งไม่อยู่ในขอบเขตของการทำวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำชิ้นงานล็อตดังกล่าวทั้งหมดเข้ากระบวนการชุบดีบุกตามปกติ หลังจากนั้นตรวจสอบการเสียรูปของชิ้นงานหลังกระบวนการชุบ ผลดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 รายงานผลการตรวจสอบการเสียรูปของชิ้นงาน

หมายเลขล็อต	จำนวนชิ้นงาน	จำนวนของเสีย	รายละเอียดของเสีย						
			เสียรูป	รอยขีดข่วน	รอยยุบ	รอยกระแทก	งานติดกัน	สีเพี้ยน	ซุปไม่เต็ม
230110-001-006	2,400	0							
230110-007-012	2,399	0							
230110-013-018	2,400	0							
230110-019-024	2,399	2					2		
230110-024-030	2,399	0							
230110-030-036	2,399	0							
รวม	**14,396**	**2**	**0**	**0**	**0**	**0**	**2**	**0**	**0**

จากตารางผลการตรวจสอบจะพบว่า งานหลังชุบพบของเสียประเภทขั้วแบตเตอรี่ติดกัน จำนวน 2 ชิ้น ซึ่งไม่อยู่ในขอบเขตของการทำวิจัยในครั้งนี้ จึงสรุปได้ว่ากระบวนการในการชุบดีบุกนั้นไม่ส่งผลต่อการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ ผู้วิจัยจึงไม่นำมาวิเคราะห์และดำเนินการในครั้งนี้ โดยในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการมุ่งประเด็นไปในปัจจัยที่มีการวิเคราะห์ค่า RPN ที่มีค่าเกิน 120 เป็นประเด็นสำคัญ

บทที่ 4 ผลการวิจัย

จากการใช้เครื่องมือวิศวกรรมคุณภาพ (Quality Engineering Tools) มาช่วยในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ แล้วนำ เพื่อจัดลำดับความสำคัญและกำหนดมาตรการป้องกันอย่างเหมาะสม และกำหนดหัวข้อในการดำเนินการแก้ไขตามลำดับ โดยเหลือปัจจัยที่มีความสำคัญจากผลการวิเคราะห์โหมดความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure Mode and Effective Analysis) ที่มีค่า RPN สูงกว่า 120 ที่อาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้การเกิดชิ้นงานเสียรูป ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ การกำหนดมาตรฐานการอบที่ไม่เหมาะสมของความเร็วรอบ อุณหภูมิ และจำนวนชิ้นงานต่อรอบ จากนี้จะถูกนำไปพิจารณาปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป

การวางแผนและดำเนินการปรับปรุงคุณภาพ

จากตารางที่ 19 หลังจากตรวจสอบหลังการชุบดีบุกไม่พบของเสียประเภทชิ้นงานเสียรูป ผู้วิจัยได้นำชิ้นงานล็อตดังกล่าวทั้งหมดเข้ากระบวนการปั่นอบแห้ง หลังจากนั้นตรวจสอบการเสียรูปของชิ้นงาน พบว่ามี ชิ้นงานเสียทั้งหมด 38 ชิ้น และยังพบว่ามีของเสียประเภทอื่นๆ หลังจากการตรวจสอบขั้นสุดท้าย โดยพบว่ามี รอยขีดข่วนจำนวน 5 ชิ้น สีเพี้ยนจำนวน 1 ชิ้น รอยกระแทก จำนวน 2 ชิ้น งานติดกัน 2 ชิ้น ชุบไม่เต็ม จำนวน 2 ชิ้น และอื่นๆ อีก 1 ชิ้น ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 19 รายงานผลการตรวจสอบการเสียรูปของชิ้นงาน

หมายเลขล็อต	จำนวนต่อรอบ	จำนวนของเสีย	รายละเอียดของเสีย						
			เสียรูป	รอยขีดข่วน	รอยยุบ	กระแทก	งานติดกัน	สีเพี้ยน	ชุบไม่เต็ม
230110-001-006	2,400	7	6					1	
230110-007-012	2,399	10	7	1					2
230110-013-018	2,400	10	6	2			2		
230110-019-024	2,397	8	8						
230110-025-030	2,399	8	5			2			
230110-031-036	2,399	8	6	2					
รวม	**14,394**	**51**	**38**	**5**	**0**	**2**	**2**	**1**	**2**

ข้อมูลจากตารางที่ 19 ที่ได้จากการทดลองผลิต เป็นข้อมูลที่สามารถยืนยันได้ว่าเครื่องจักร วัสดุ คน และวิธีการในกระบวนการผลิตเพรส นั้นไม่ส่งผลต่อการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลมาทีละขั้นตอนพอจะสรุปได้แล้วว่าปัญหาน่าจะเกิดขึ้นในกระบวนการปั่นอบแห้ง ดังนั้นการแก้ไขควรมุ่งเน้นไปที่การควบคุมพารามิเตอร์ในกระบวนการปั่นอบแห้ง ซึ่งมีพารามิเตอร์ในการปรับเครื่องจักรอยู่ 4 หัวข้อด้วยกัน คือ เวลาในการอบ อุณภูมิการอบ ความเร็วรอบในการอบ และจำนวนชิ้นของงานต่อรอบการอบ แต่เนื่องด้วยปัจจัยด้านเวลานั้นมีผลโดยตรงต่อผลผลิต เนื่องจากกระบวนการชุบจนถึงอบแห้งเป็นกระบวนการต่อเนื่องแบบกระบวนการ conveyor ซึ่งมีความไวต่อ เวลาที่เพิ่มขึ้นในแต่ละ station มากกว่ากระบวนการแบบ batch หรือ job shop เพราะความต่อเนื่องเป็นหัวใจสำคัญ หากจุดใดช้าลงอาจจะส่งผลกระทบให้ทั้งไลน์ช้าทันที ประเด็นการปรับเพิ่มหรือลดเวลาในการอบจึงเป็นประเด็นที่ต้องระมัดระวังและทำการศึกษาให้ดีก่อน ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยพยายามหลีกเลี่ยงเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบดังกล่าว ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะดำเนินการกับพารามิเตอร์ที่เหลือ อีก 3 ปัจจัย โดยใช้การออกแบบการทดลอง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

การออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงคุณภาพ

ผู้วิจัยได้ใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เพื่อสรุปผลเชิงสถิติว่าปัจจัยใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่อย่างมีนัยสำคัญ และหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้อัตราการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ต่ำที่สุด การออกแบบการทดลองนี้กำหนดตัวแปรตอบสนอง คือ อัตราการเสียรูปในหน่วย PPM ปัจจัยที่ทำการศึกษามีจำนวน 3 ปัจจัยที่ได้จากผลการวิเคราะห์ โหมดความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure Mode and Effective Analysis: FMEA) ที่มีค่า RPN สูงกว่า 120 ประกอบด้วย 3 ปัจจัย คือ การกำหนดมาตรฐานการอบที่ไม่เหมาะสมของความเร็วรอบ อุณหภูมิ และจำนวนชิ้นงานต่อรอบ เนื่องจากปัจจัยแต่ละปัจจัยสามารถปรับตั้งค่าได้อย่างต่อเนื่อง จึงกำหนดให้ทุกปัจจัยมีจำนวนระดับปัจจัยเท่ากับ 2 ระดับ และทำการทดลองเพิ่มที่จุดกึ่งกลางแต่ละปัจจัยจำนวน 3 การทดลอง เพื่อวิเคราะห์ผลเชิงสถิติว่าปัจจัยมีอิทธิพลเชิงเส้นโค้งต่ออัตราการเสียรูปหรือไม่ ดังนั้นการทดลองนี้จึงเป็นการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 แฟคทอเรียลเต็มรูปที่มีการเพิ่มจุดกึ่งกลาง 3 จุด (2^3 Full Factorial Design with 3 center points) และกำหนดให้ทำการทดลองซ้ำ (Replication) จำนวน 3 ครั้งในแต่ละสภาวะการทดลองที่จุดมุม (Corner points) รวมจำนวนการทดลองทั้งสิ้นเท่ากับ (2^3 X 3) + 3 = 27 การทดลอง

หมายเหตุ จำนวนการทดลอง (Factorial runs) ไม่เกิน 8 ชุดการทดลอง ควรมีจำนวน Center Points อย่างน้อย 3 จุดเพื่อการวิเคราะห์ Curvature ยิ่งแม่นยำ

อนึ่งในการศึกษานี้ ผู้วิจัยเลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป 2^3 (Full Factorial Design) ซึ่งเป็นรูปแบบการทดลองที่ศึกษาทุกชุดของการรวมค่าระดับของปัจจัยทั้ง 3 ตัว โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (–1) และระดับสูง (+1) ซึ่งส่งผลให้มีชุดการทดลองทั้งหมด 8 ชุด (ไม่รวม Center Points) ด้วยเหตุผลหลักที่เลือกใช้รูปแบบการทดลองนี้ เนื่องจากมีข้อได้เปรียบหลายประการที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา ดังนี้

1. สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main effects) และอิทธิพลร่วมของปัจจัย (Interaction effects) การออกแบบแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปจะไม่เพียงให้ข้อมูลว่าปัจจัยแต่ละตัวมีผลต่อผลตอบสนองอย่างไร แต่ยังสามารถระบุได้ว่าเมื่อปัจจัยหลายตัวทำงานร่วมกัน ผลที่ได้มีลักษณะเสริม ส่งเสริม หรือหักล้างกันอย่างไร ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบในเชิงลึก

2. ให้ข้อมูลครบถ้วนต่อการสร้างแบบจำลองทางสถิติที่แม่นยำ การออกแบบ 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูปทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และสร้างสมการถดถอย (Regression equation) เพื่อใช้ในการพยากรณ์ผลลัพธ์ในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. เหมาะสมกับจำนวนปัจจัยและทรัพยากรที่มีจำกัด แม้ว่าการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปจะมีจำนวนชุดการทดลองเพิ่มขึ้นแบบทวีคูณเมื่อจำนวนปัจจัยเพิ่มขึ้น แต่ในกรณีที่มีเพียง 3 ปัจจัย จะมีชุดการทดลองเพียง 8 ชุด ซึ่งยังอยู่ในขอบเขตที่สามารถบริหารจัดการได้ง่าย ทั้งในแง่เวลา ต้นทุน และทรัพยากรในการทดลอง

4. รองรับการตรวจสอบความโค้งของระบบได้เมื่อเพิ่ม Center points การเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center Points) เข้ามาในแผนการทดลอง จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่าระบบมีความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งหรือไม่ (Curvature) ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่ช่วยให้การสร้างแบบจำลองมีความถูกต้องยิ่งขึ้น และสนับสนุนการตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลองเชิงเส้นหรือเชิงไม่เชิงเส้นในขั้นต่อไป

จากเหตุผลทั้งหมดข้างต้น การเลือกใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูปจึงเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาในครั้งนี้ เนื่องจากสามารถวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยหลัก ปัจจัยร่วม และสามารถตรวจสอบลักษณะความโค้งของระบบได้ด้วยการเพิ่ม Center Points โดยใช้จำนวนชุดการทดลองน้อยกว่ารูปแบบ 3^3 หรือการวิเคราะห์แบบ 3-Way ANOVA อย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งการตรวจสอบลักษณะความโค้งของระบบที่การออกแบบ แบบ 2^3 แฟกทอเรียลเต็มรูปจะแม่นยำพอเพียงและมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า และเมื่อเทียบกับ One-Factor-at-a-Time (OFAT) ที่มีรูปแบบการทดลองแบบเปลี่ยนทีละปัจจัย (OFAT) จะดูเรียบง่ายและใช้งานได้ง่ายกว่า แต่ไม่สามารถตรวจสอบปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยได้ และอาจนำไปสู่ข้อสรุปที่คลาดเคลื่อน กล่าวโดยรวม

แล้วการออกแบบการทดลองนี้ช่วยให้สามารถใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ โดยยังได้ข้อมูลที่เพียงพอสำหรับการวิเคราะห์เชิงลึก ความคุ้มค่าด้านต้นทุนและเวลา และสามารถนำไปพัฒนาแบบจำลองหรือปรับปรุงกระบวนการในขั้นต่อไปได้

การกำหนดค่าของระดับต่ำและระดับสูงของปัจจัยถูกกำหนดจากค่าปรับลดและเพิ่มตามลำดับจากค่ามาตรฐานการทำงานเดิมที่ใช้ในการผลิตที่คาดว่าทำให้มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนอง โดยการกำหนดระดับต่ำ-ระดับสูง ผู้วิจัยพิจารณาจากความเป็นไปได้ของกระบวนการ และไม่ตั้งค่าที่ห่างกันเกินไปจนเสี่ยงกับการเกิดของเสียหรือปัญหาคุณภาพ และความปลอดภัยในการทดลอง ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดให้ใช้ระดับกึ่งกลางในการทดลอง (Center points) เป็นค่ามาตรฐานการทำงานในปัจจุบันคือความเร็วรอบในการปั่นที่ 1100 รอบต่อนาที อุณหภูมิในการอบ 50 องศาเซลเซียส และจำนวนชิ้นงานต่อการอบ 600 ชิ้นต่อรอบการอบ แล้วกำหนดระดับต่ำและสูงโดย บวกลบค่าที่เหมาะสมจาก Center Point

ระดับต่ำ (Low) = Center point - Δ

ระดับสูง (High) = Center point + Δ

โดยที่

Δ = ค่าช่วง (Range) ที่เหมาะสมต่อการเปลี่ยนแปลงโดยไม่กระทบกระบวนการรุนแรง ซึ่งได้ค่าระดับต่ำ กึ่งกลาง และสูงของปัจจัยทั้งสามดังแสดงไว้ในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 กำหนดระดับปัจจัยที่ต้องการวิเคราะห์ (Factors)

ปัจจัย	ระดับต่ำ (Low, -1)	ระดับกลาง (Center, 0)	ระดับสูง (High, +1)
ความเร็วรอบในการปั่น (รอบต่อนาที)	800	1100	1400
อุณหภูมิในการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)	40	50	60
จำนวนชิ้นต่อรอบการอบ (ชิ้น)	400	600	800

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองผลิตตามลำดับ Run order หรือการจัดเรียงลำดับการทำชุดการทดลองแบบสุ่ม โดยการนำงานก่อนเข้าเตาอบมาตรวจสอบรูปร่างด้วยจิ๊ก 100% เพื่อเป็นการยืนยันว่าชิ้นงานไม่เกิดการเสียรูปก่อนทำการทดลอง หลังจากนั้นนำชิ้นงานเข้าปั่นอบแห้งด้วยพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้แบบสุ่ม เพื่อตรวจสอบความเกี่ยวข้องและการมีอิทธิพลต่อการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ และบันทึกผลลัพธ์ที่ได้ของแต่ละระดับเป็นอัตราของเสียที่มีหน่วยเป็น PPM ที่ได้จากการคำนวณจากสูตร

PPM = จำนวนของเสีย / จำนวนการผลิต * 1000000 โดยใช้เวลาในการทดลองทั้ง 27 ชุดการทดลองเป็นเวลา 1 เดือน ได้ผลดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ผลการทดลองเพื่อทดสอบพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบกับการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่

Std Order	Run Order	Temp	Speed	batch Size	PPM
1	2	40	800	400	10000
2	5	60	800	400	5000
3	3	40	1400	400	7500
4	8	60	1400	400	2500
5	15	40	800	800	6250
6	16	60	800	800	2500
7	9	40	1400	800	5000
8	27	60	1400	800	2500
9	22	40	800	400	10000
10	17	60	800	400	5000
11	19	40	1400	400	7500
12	7	60	1400	400	2500
13	12	40	800	800	6250
14	10	60	800	800	2500
15	26	40	1400	800	3750
16	18	60	1400	800	1250
17	1	40	800	400	10000
18	25	60	800	400	5000
19	21	40	1400	400	7500
20	13	60	1400	400	5000
21	14	40	800	800	5000
22	4	60	800	800	2500
23	6	40	1400	800	2500

ตารางที่ 21 (ต่อ)

Std Order	Run Order	Temp	Speed	batch Size	PPM
24	23	60	1400	800	1250
25	20	50	1100	600	5000
26	11	50	1100	600	6666.7
27	24	50	1100	600	3333.3

การวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab 17 ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย การตรวจสอบความถูกต้องของสมมติฐานการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ การหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุด และการทดลองเพื่อยืนผลและการนำไปใช้งาน

การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัย

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance: ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ถูกนำมาใช้เพื่อหาข้อสรุปตามลำดับต่อไปนี้ 1) ปัจจัยมีอิทธิพลเชิงเส้นโค้งต่ออัตราการเสียรูปหรือไม่ 2) มีอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่าง ๆ ที่ศึกษาหรือไม่ 3) ปัจจัยหลักใดบ้างที่มีอิทธพลต่ออัตราการเสียรูป กรณีที่การวิเคราะห์ความแปรปรวนแสดงผลว่าปัจจัยไม่มีอิทธิพล จะนำการวิเคราะห์ปัจจัยนั้นให้เป็นความคลาดเคลื่อนของการทดลอง หลังจากได้ผลลัพธ์การวิเคราะห์ความแปรปรวนแล้ว งานวิจัยนี้ได้แสดงผลของความมีอิทธิพลด้วยแผนภาพการพล๊อตอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วม และกำลังการทดสอบที่การทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

แหล่งความผันแปร	องศาความเป็นอิสระ	ผลรวมกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยความผันแปร	ค่า p
ความเร็วรอบ	1	18815104	18815104	0.000
อุณหภูมิ	1	79752604	79752604	0.000
จำนวนชิ้นงานต่อรอบการอบ	1	54752604	54752604	0.000
อุณหภูมิ*จำนวนชิ้นงานต่อรอบการอบ	1	5273437	5273437	0.016
Error	22	17216657	782575	
Curvature	1	7234	7234	0.926
Lack-of-Fit	3	2278646	759549	0.453

ตารางที่ 22 (ต่อ)

แหล่งความผันแปร	องศาความเป็นอิสระ	ผลรวมกำลังสอง	ค่าเฉลี่ยความผันแปร	ค่า p
Pure Error	18	14930778	829488	
Total	26	175810407		

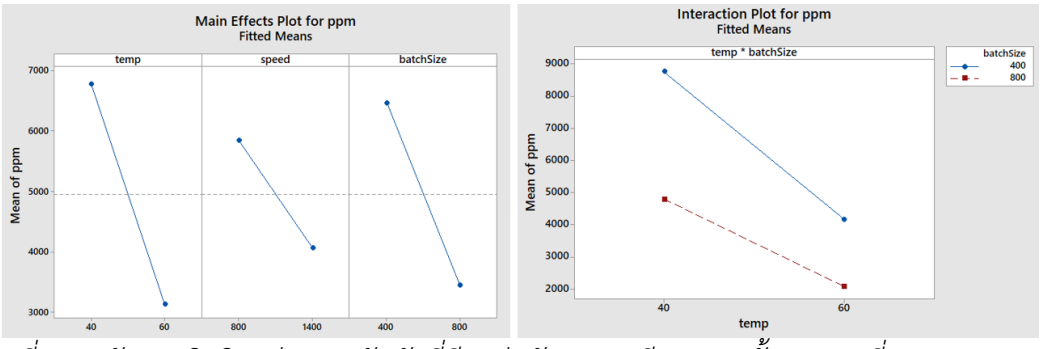
ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

1) ไม่มีปัจจัยใดแสดงอิทธิพลเชิงเส้นโค้งต่ออัตราการเสียรูป (0.926 ไม่มีอิทธิพลเชิงเส้นโค้ง)

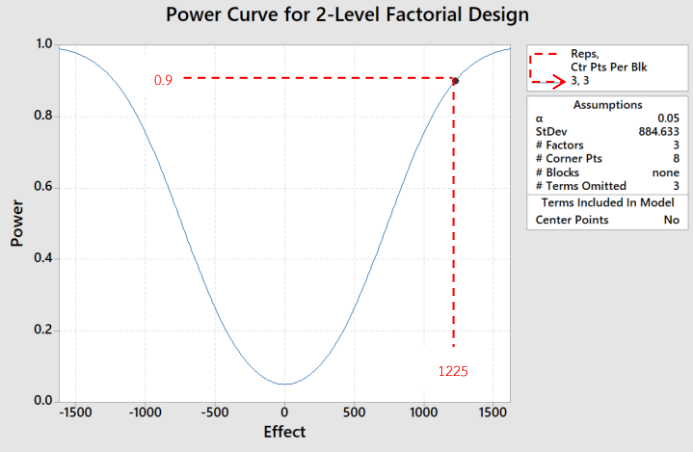
2) มีอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิกับจำนวนชิ้นงานต่อรอบการอบ

3) ความเร็วรอบ อุณหภูมิ และจำนวนชิ้นงานต่อรอบการอบเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเสียรูป

เมื่อการมีอิทธิพลของปัจจัยถูกตัดสินจากค่า p ที่มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) และการเปลี่ยนแปลงอัตราการเสียรูปเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยหลักแสดงได้ดังภาพที่ 25 (ด้านซ้าย) พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบจาก 40 องศาเซลเซียสเป็น 60 องศาเซลเซียสทำให้อัตราการเสียรูปลดลงจาก ≈6800 PPM เป็น ≈3200 PPM การเพิ่มความเร็วรอบจาก 800 รอบต่อนาที เป็น 1400 รอบต่อนาที ทำให้อัตราการเสียรูปลดลงจาก ≈5600 PPM เป็น ≈4100 PPM และการเพิ่มจำนวนชิ้นงานต่อรอบการอบจาก 400 ชิ้นต่อรอบการอบ ไปเป็น 800 ชิ้นต่อรอบการอบเป็น ทำให้อัตราการเสียรูปลดลงจาก ≈6200 PPM เป็น ≈3200 PPM ส่วนภาพที่ 25 (ด้านขวา) แสดงผลการมีอิทธิพลร่วมเมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิการอบจาก 40 องศาเซลเซียสเป็น 60 องศาเซลเซียสทำให้อัตราการเสียรูปลดลงด้วยอัตราที่แตกต่างกันที่จำนวนชิ้นงานต่อรอบการอบ 400 ชิ้นกับ 800 ชิ้น โดยจำนวนการอบ 400 ชิ้นต่อรอบมีอัตราการเสียรูปลดลงจาก ≈8700 PPM เป็น ≈4800 PPM และจำนวนการอบ 800 ชิ้นต่อรอบมีอัตราการเสียรูปลดลงจาก ≈4200 PPM เป็น ≈2100 PPM



ภาพที่ 25 หลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่

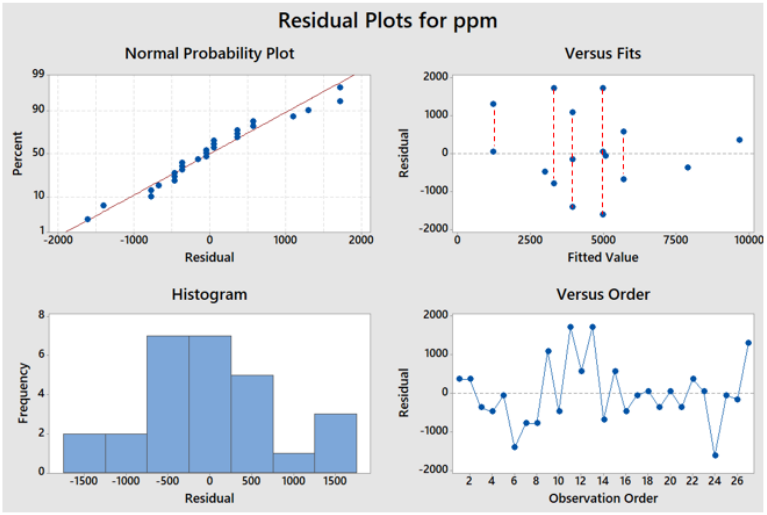


ภาพที่ 26 กำลังการทดสอบที่การทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

การประมวลผลกำลังการทดสอบที่ 90% (Power) และจำนวนการทดลองซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละสภาวะการทดลอง (Reps) โดยใช้ค่าประมาณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนเท่ากับ 884.63 PPM แสดงได้ดังภาพที่ 26 พบว่า หากความแตกต่างของอัตราการเสียรูปมีค่าตั้งแต่ 1225 PPM ขึ้นไป (ค่า Effect) เมื่อทำการทดลองที่ระดับต่ำและระดับสูงของปัจจัยที่ศึกษาจะทำให้มีโอกาสตั้งแต่ 90% ที่การวิเคราะห์ความแปรปรวนจะสรุปผลได้ว่าปัจจัยที่ศึกษามีอิทธิพลต่ออัตราการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่เช่น หากความแตกต่างของอัตราการเสียรูปที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาที กับ 1400 รอบต่อนาทีมีค่าเท่ากับ 1225 PPM จะทำให้การวิเคราะห์ความแปรปรวนมีโอกาส 90% ที่จะสรุปผลว่าปัจจัยความเร็วรอบมีอิทธิพลต่ออัตราการเสียรูป เป็นต้น

การตรวจสอบความถูกต้องของการทดลอง

การวิเคราะห์ความแปรปรวนอยู่ภายใต้สมมติฐานเชิงสถิติที่กำหนดให้ค่าความแตกต่างของผลการทดลองกับค่าคาดหมายของผลการทดลอง (ค่า Residual) ต้องมีการแจกแจงแบบปกติและเกิดขึ้นอย่างเป็นอิสระ โดยที่ความผันแปรของค่า Residual ในแต่ละสภาวะการทดลองต้องเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ จากภาพที่ 27 (ด้านซ้ายบน) แสดงให้เห็นว่าค่า Residual ส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงหรือทับกับเส้นอ้างอิง (เส้นสีแดง) และเมื่อนำไปทดสอบการแจกแจงแบบปกติด้วยวิธีการ Anderson-Darling ให้ผลค่า p เท่ากับ 0.217 ซึ่งเชื่อได้ว่าได้ว่า ค่า Residual มีการแจกแจงแบบปกติ เมื่อพิจารณารูปฮิสโตแกรม (ภาพที่ 27 ด้านซ้ายล่าง) พบว่า สามารถประมาณรูปทรงให้เป็นรูประฆังตามการแจกแจงแบบปกติได้



ภาพที่ 27 การวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อสมมติในการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ

ภาพที่ 27 (ด้านขวาบน) แสดงความสัมพันธ์ของค่า Residual ที่ค่าคาดหมายของผลการทดลองที่สภาวะการทดลองต่าง ๆ (Fitted value) การทดลองนี้มีทั้งสิ้น 9 สภาวะการทดลอง (8 สภาวะการทดลองที่จุดมุม และ 1 สภาวะการทดลองที่จุดกึ่งกลาง) ความผันแปรของสภาวะการทดลองทั้งหมดนี้ควรอยู่ในระดับเดียวกัน เมื่อพิจารณาจากเส้นประสีแดงที่แสดงถึงค่าพิสัยของค่า Residual ในแต่ละสภาวะการทดลองพบว่ามี 4 สภาวะการทดลองที่ค่าพิสัยเท่ากับศูนย์ (มีผลการทดลองซ้ำเท่ากัน) ส่วนอีก 5 สภาวะการทดลองมีค่าพิสัยไม่แตกต่างกันมาก เมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วจึงไม่อาจสรุปได้ว่าความผันแปรของค่า Residual ในแต่ละสภาวะการทดลองเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

การวิเคราะห์ความเป็นอิสระของค่า Residual พิจารณาแนวโน้มของค่า Residual ตามลำดับการทดลองดังแสดงในภาพที่ 27 (ด้านขวาล่าง) ไม่พบรูปแบบการเรียงตัวของค่า Residual ที่ชัดเจน จึงสรุปได้ว่าค่า Residual ตามลำดับการทดลองเกิดขึ้นอย่างสุ่มจึงมีความเป็นอิสระต่อกัน

การหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุด

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทำให้สร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ สมการนี้ใช้สำหรับทำนายอัตราการเสียรูปตามการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบ อุณหภูมิ และจำนวนชิ้นงานต่อรอบการอบ ได้ดังสมการ (5) ต่อไปนี้

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 (X_2 \times X_3) + \varepsilon \qquad (5)$$

โดยที่

- Y คือ ตัวแปรตาม (dependent variable)
- X_1, X_2, X_3 คือ ตัวแปรอิสระ (independent variables)
- $X_2 \times X_3$ คือ พจน์ปฏิสัมพันธ์ (interaction term)
- β_0 คือ ค่าคงที่ (intercept)
- $\beta_1, \beta_2,...$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ (coefficients)
- ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (error term)

แทนค่าในสมการได้ดังนี้

ppm = 28,877– 2.951speed – 322.9temp – 19.27batchSize + 0.2344temp*batchSize

โดยที่ ppm = ค่าคาดหมายของอัตราการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ (PPM)
speed = ความเร็วรอบในการปั่นขณะอบชิ้นงาน (รอบต่อนาที) มีค่าอยู่ระหว่าง 800 ถึง 1400
temp = อุณหภูมิอบ (องศาเซลเซียส) มีค่าอยู่ระหว่าง 40 ถึง 60
batchSize = จำนวนชิ้นงานต่อรอบการอบ (ชิ้น) มีค่าอยู่ระหว่าง 400 ถึง 800

สมการนี้มีค่า R^2 เท่ากับ 90.21% แสดงให้เห็นถึงความผันแปรของอัตราการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่สามารถอธิบายได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงของความเร็วรอบ อุณหภูมิ และจำนวนชิ้นงานต่อรอบการอบตามสมการ (4) ด้วยปริมาณ 90.21% ของความผันแปรทั้งหมด

จากสมการ (4) พบว่าการเพิ่มขึ้นของความเร็วรอบ อุณหภูมิ และจำนวนชิ้นงานต่อรอบการอบทำให้อัตราการเสียรูปลดน้อยลง ขณะที่พจน์สุดท้ายของสมการแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของอัตราการเสียรูปเมื่ออุณหภูมิและจำนวนชิ้นงานต่อรอบการอบเพิ่มขึ้น เมื่อหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม Minitab 17 ดังแสดงในภาพที่ 28 พบว่าค่าประมาณอัตราการเสียรูปจะลดลงต่ำที่สุดเท่ากับ 1203.7 PPM เมื่อกำหนดสภาวะการผลิตที่ในการปั่นขณะอบชิ้นงานเท่ากับ 1400 รอบต่อนาที อุณหภูมิการอบเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส และจำนวนขิ้นงานต่อรอบการอบเท่ากับ 800 ชิ้น

ภาพที่ 28 ระดับปัจจัยที่ทำให้อัตราการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ต่ำที่สุด

การทดลองเพื่อยืนผลและการนำไปใช้งาน

หลังจากได้สภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดในการผลิต ผู้วิจัยได้นำสภาวะดังกล่าวไปกำหนดเป็นค่าพารามิเตอร์สำหรับการผลิต แล้วเก็บข้อมูลเพื่อยืนยันผลได้ดังตารางที่ 23

การทดลองยืนยันผลด้วยสภาวะการผลิตใหม่ก่อนการนำไปใช้งานจริงจำนวน 18 รอบการอบ รวมจำนวนชิ้นงานที่ผลิต 14,400 ชิ้น พบว่า ขั้วแบตเตอรี่ที่เสียรูปมีจำนวน 13 ชิ้น คิดเป็น 903 PPM และจำนวนขั้วแบตเตอรี่ที่เสียจากข้อบกพร่องลักษณะอื่นอีก 5 ชิ้น คิดเป็น 347 PPM จากค่าประมาณอัตราการเสียรูปจะลดลงต่ำที่สุดเท่ากับ 1203.7 PPM จากสมการ แต่เมื่อนำมายืนยันผลพบว่าอัตราการเสียรูปเท่ากับ 903 PPM ซึ่งน้อยกว่าที่คำนวณไว้ ผู้วิจัยจึงได้คำนวณหาค่าความเชื่อมั่นที่ 95% (CI95%) พบว่าอัตราของเสียที่ความเชื่อมั่น 95% นั้นมีค่าตั้งแต่ 412 PPM ถึง 1393 PPM จึงยืนยันได้ว่า สภาวะการผลิตใหม่นี้ทำให้อัตราการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ลดลงได้ ดังรายละเอียดตามตารางที่ 23

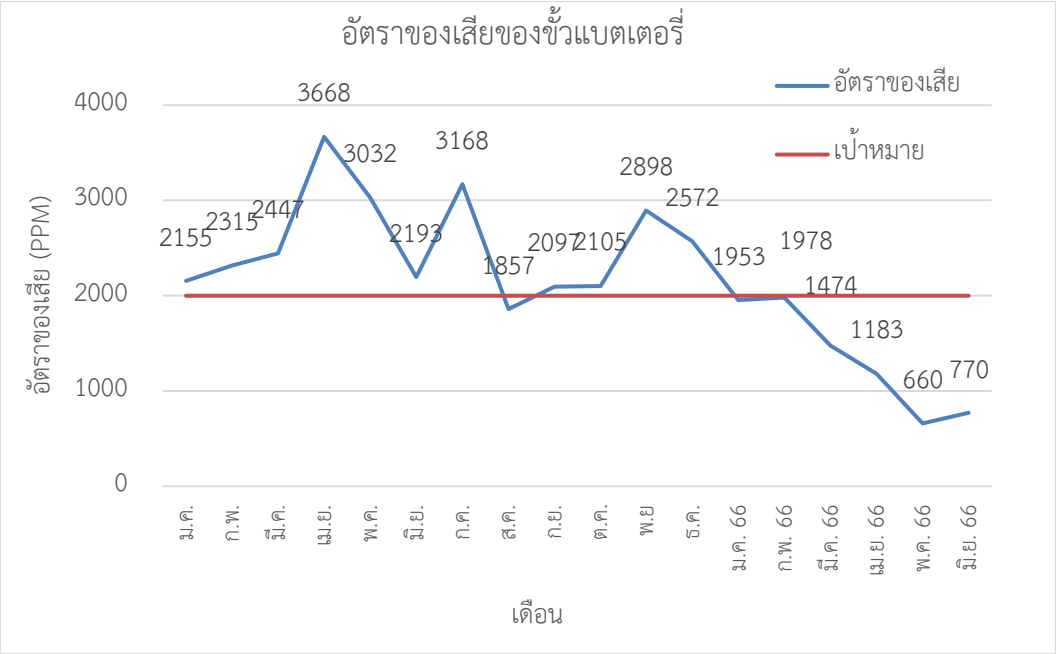
ตารางที่ 23 ผลการทดลองยืนยันผลด้วยสภาวะการผลิตใหม่

หมายเลขล็อต	จำนวนต่อรอบ	จำนวนของเสีย	รายละเอียดของเสีย					
			เสียรูป	รอยขีดข่วน	รอยยุบ	รอยกระแทก	งานติดกัน	สีเพี้ยน	ชุบไม่เต็ม
230403-001-002	800								
230403-003-004	800	2	2						
230403-005-006	800								
230403-007-008	800	2	1		1				
230403-009-010	800	2	1			1			

ตารางที่ 23 (ต่อ)

หมายเลขล็อต	จำนวนต่อรอบ	จำนวนของเสีย	รายละเอียดของเสีย						
			เสียรูป	รอยขีดข่วน	รอยบุบ	รอยกระแทก	งานติดกัน	สีเพี้ยน	ชุบไม่เต็ม
230403-011-012	800	1	1						
230403-013-014	800								
230403-015-016	800	2	1			1			
230403-017-018	800	1	1						
230403-019-020	800	2	2						
230403-021-022	800	1	1						
230403-023-024	800	1		1					
230403-025-026	800	2	2						
230403-027-028	800								
230403-029-030	800								
230403-031-032	800	1	1						
230403-033-034	800	1			1				
230403-035-036	800								
รวม	**14,400**	**18**	**13**	**1**	**2**	**2**	**0**	**0**	**0**

ผู้วิจัยจึงได้นำสภาวะดังกล่าวไปกำหนดเป็นค่าพารามิเตอร์มาตรฐานสำหรับการผลิตแบบต่อเนื่อง จากนั้นได้นำข้อมูลอัตราของเสียทำเป็นกราฟเพื่อดูแนวโน้ม ในส่วนนี้ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลของเดือน มกราคม ถึง มีนาคม ควบคู่กันไปด้วยซึ่งจะเป็นช่วงการเริ่มต้นในการปรับปรุงพบว่าอัตราของเสียของเดือนสามเดือนมีผลลัพธ์ที่ดีขึ้นเนื่องจากเริ่มมีการเก็บข้อมูลและเข้าไปทำการทดลองและปรับปรุงในบางส่วนที่ยังไม่ใช่ปัจจัยหลัก เช่นการอบรมพนักงานเกี่ยวกับปัญหาของเสีย และวิธีการทำงานที่พนักงานสามารถช่วยในการปรับปรุงได้ทันที เช่น การเพิ่มความระมัดระวังในการ และปรับวิธีการให้ดีขึ้น และเมื่อเริ่มการปรับปรุงและกำหนดสภาวะในการผลิตใหม่ในเดือน เมษายน ถึง เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2566 รวมจำนวนการผลิต 482,500 ชิ้น เพื่อเปรียบเทียบผลการปรับปรุงคุณภาพ ก็พบว่า อัตราการเสียรูปลดลงตามลำดับ โดยในเดือน เมษายน เหลือ 1183 PPM ในเดือน พฤษภาคม เหลือ 660 PPM และในเดือนมิถุนายน เหลือ 770 PPM ตามภาพที่ 29



ภาพที่ 29 แสดงอัตราการเกิดของเสียก่อน และหลังการปรับปรุง 3 เดือน

เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงคุณภาพ จะเห็นได้ว่าอัตราของเสียโดยรวม (เฉลี่ย) ของปัญหาชิ้นงานเสียรูป ลดลงจาก 1856 PPM เหลือ 653 PPM ขณะที่อัตราของเสียจากข้อบกพร่องลักษณะอื่นลดลงด้วยเช่นกันจากเดิม 604 PPM เป็น 199 PPM รวมอัตราของเสียลดลงจากเดิม 2460 PPM เหลือ 852 PPM ดังจะเห็นได้ในตารางที่ 24

ตารางที่ 24 จำนวนข้อบกพร่องของขั้วแบตเตอรี่ก่อนและหลังปรับปรุงคุณภาพ

ลักษณะข้อบกพร่อง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ความแตกต่าง
ปริมาณการผลิต	1,708,199 ชิ้น	482,500 ชิ้น	-
ชิ้นงานเสียรูป	3,171 ชิ้น คิดเป็น 1856 PPM	315 ชิ้น คิดเป็น 653 PPM	ลดลง 1,203 PPM
ลักษณะอื่น ๆ	1,032 ชิ้น คิดเป็น 604 PPM	96 ชิ้น คิดเป็น 199 PPM	ลดลง 405 PPM
รวม	4,203 ชิ้น คิดเป็น 2460 PPM	411 ชิ้น คิดเป็น 852 PPM	ลดลง 1608 PPM

บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล

ผลการวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสาเหตุของการเสียรูปในกระบวนการผลิตขั้วแบตเตอรี่ และพัฒนาแนวทางเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนผลิต โดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมคุณภาพร่วมกับเทคนิคทางสถิติอย่างเป็นระบบ ในการระบุและควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดอัตราของเสียประเภทขั้วแบตเตอรี่เสียรูปให้ต่ำกว่า 2000 PPM ตามที่บริษัทกำหนด โดยได้เก็บข้อมูลย้อนหลังเป็นระยะเวลา 12 เดือน แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางวิศวกรรมคุณภาพร่วมกับเทคนิคทางสถิติตามตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ผลการของการประยุกต์ใช้เครื่องมือวิศวกรรมคุณภาพ

เครื่องมือ	การนำไปประยุกต์ใช้	ผลของการดำเนินการ
แผนภาพพาเรโต	แจงแจงและชี้บ่งความสำคัญของปัญหา การจัดลำดับตามผลกระทบเพื่อนำสู่การแก้ไข	สามารถระบุปัญหาหลักของอัตราของเสียขั้วแบตเตอรี่แบบทองแดงคือ “การเสียรูปของชิ้นงาน”
แผนภาพเหตุและผล	วิเคราะห์หาสาเหตุของขั้วแบตเตอรี่เสียรูปด้วยการระดมสมองจากทีมงานข้ามสายงาน	สามารถระบุสาเหตุย่อยที่อาจส่งผลต่อการเสียรูปของชิ้นงานได้ 8 สาเหตุจากปัจจัยที่มาจาก คน เครื่องจักร วัสดุ และวิธีการ ได้แก่ 1) พนักงานเทชิ้นงานขาเข้าแรงเกินไป 2) พนักงานเทชิ้นงานขาออกแรงเกินไป 3) ขนาดและรูปทรงของตะกร้าไม่เหมาะสม 4) วัสดุมีความแข็งไม่เท่ากัน วัสดุที่มีความแข็งน้อย อาจจะมีผลต่อการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ 5) ความเร็วในการปั่นขณะอบชิ้นงานไม่เหมาะสม 6) อุณหภูมิการอบไม่เหมาะสม 7) เวลาการอบไม่เหมาะสม 8) จำนวนชิ้นงานต่อรอบการอบไม่เหมะสม

ตารางที่ 25 (ต่อ)

เครื่องมือ	การนำไปประยุกต์ใช้	ผลของการดำเนินการ
การวิเคราะห์โหมดความล้มเหลวและผลกระทบ (FMEA)	การวิเคราะห์คัดกรองปัจจัยที่คาดว่าเป็นสาเหตุหลักของปัญหาการเสียรูป โดยการประเมินความเสี่ยงจาก Risk priority number RPN = S x O x D (>120)	ระบุปัจจัยที่ส่งผลส่งผลต่อการเสียรูปเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบการทดลองได้แก่ ปัจจัยความเร็วรอบในการปั่นอบชิ้นงาน อุณหภูมิการอบชิ้นงาน และจำนวนชิ้นงานต่อรอบการอบ รวม 3 ปัจจัย เป็นปัจจัยที่มีค่า RPN สูงกว่า 120 คะแนน
การออกแบบการทดลอง (DOE) แบบ 2^3 แฟคทอเรียลแบบเต็มรูป +3 Center points	หาอิทธิพลของปัจจัยหลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัยและการวิเคราะห์อิทธิพลเชิงเส้นโค้งที่มีผลต่ออัตราการเสียรูปของชิ้นงานและการหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้อัตราการเสียรูปลดลงด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นตรง	สภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดที่ความเร็วรอบ 1400 (รอบต่อนาที) อุณหภูมิ 60 (องศาเซลเซียส) และจำนวนต่อรอบการอบ 800 ชิ้น (ต่อรอบการอบ) ที่จะทำให้อัตราการเสียรูปลดลงเหลือ 1203.7 PPM

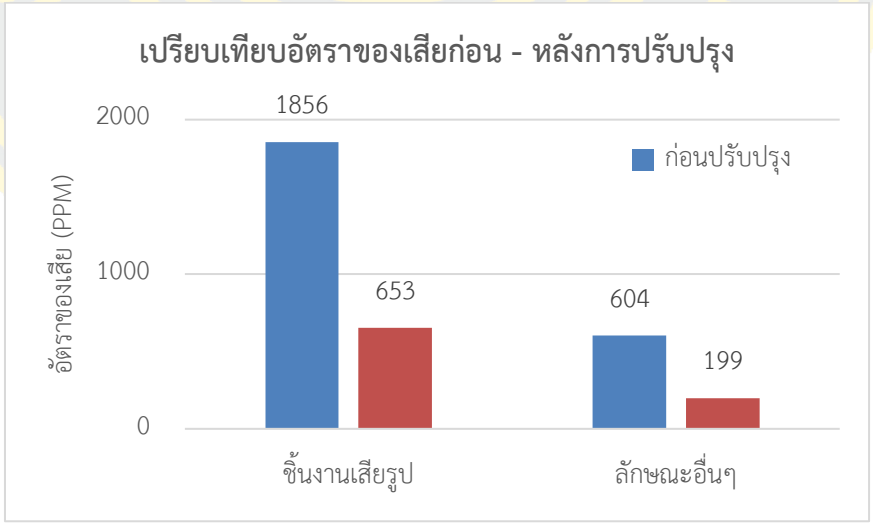
จากการวิเคราะห์ความถูกต้องของการทดลอง 9 สภาวะการทดลอง (8 สภาวะการทดลองที่จุดมุม และ 1 สภาวะการทดลองที่จุดกึ่งกลาง) ซึ่งความผันแปรของสภาวะทั้งหมดควรอยู่ในระดับเดียวกัน แต่พบว่าการวิเคราะห์ความแปรปรวน “ไม่อาจสรุปได้ว่าความผันแปรของค่า Residual ในแต่ละสภาวะการทดลองเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ” แม้ว่าจะพบแนวโน้มของความแปรปรวนที่ไม่สม่ำเสมอ แต่เนื่องจากข้อจำกัดของทรัพยากร จึงไม่สามารถทำการทดลองซ้ำได้ อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบยืนยันผลจากการนำสภาวะใหม่ไปใช้ในการผลิตจริงพบว่า สามารถลดปัญหาการเสียรูปของชิ้นงานได้จริง

การหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นตรงจนสามารถกำหนดสภาวะใหม่ที่ดีที่สุดคือ ความเร็วรอบ 1400 (รอบต่อนาที) อุณหภูมิ 60 (องศาเซลเซียส) และจำนวนต่อรอบการอบ 800 ชิ้น (ต่อรอบการอบ) ส่งผลให้อัตราการเสียรูปลดลง ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดนี้ทำให้อุณหภูมิและความเร็วรอบเสถียรและเพียงพอสำหรับกระบวนการ ช่วยให้กระบวนการอบมีความสม่ำเสมอทางความร้อนและแรงกล เป็นการปรับกระบวนการที่เหมาะสมทั้งเชิงวิศวกรรมและทางสถิติ โดยมีการยืนยันด้วยการทดลองจริง

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพสาเหตุและผล ร่วมกับการวิเคราะห์ FMEA ทำให้สามารถระบุปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเสียรูป ได้แก่ ความเร็วรอบในการปั่นขณะอบ อุณหภูมิการอบ และจำนวนชิ้นงานต่อรอบการอบ ซึ่งได้รับการพิสูจน์ว่ามีผลต่อการเสียรูปอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากผลการทดลองที่ออกแบบโดยใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียล

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติช่วยให้สามารถสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นตรงที่ใช้พยากรณ์อัตราการเสียรูปได้อย่างแม่นยำ และกำหนดค่าสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดด้วยความเร็วรอบ 1400 (รอบต่อนาที) อุณหภูมิ 60 (องศาเซลเซียส) และ จำนวนต่อรอบการอบ 800 ชิ้น (ต่อรอบการอบ) เมื่อนำสภาวะการผลิตที่เหมาะสมที่สุดนี้ไปทดลองผลิตเบื้องต้น จำนวน 14,400 ชิ้น พบว่าขั้วแบตเตอรี่ที่เสียรูปมีจำนวน 13 ชิ้น คิดเป็น 903 PPM และจำนวนขั้วแบตเตอรี่ที่เสียจากข้อบกพร่องลักษณะอื่นอีก 5 ชิ้น คิดเป็น 347 PPM และเมื่อนำไปผลิตจริงต่อเนื่อง 3 เดือน ในเดือนเมษายน ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2566 จำนวน 482,500 ชิ้น พบว่า อัตราการเสียรูปลดลงจากก่อนปรับปรุง 1856 PPM คงเหลือ 653 PPM ซึ่งลดลงได้มากกว่าที่คาดหมายจากผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอัตราการเกิดข้อบกพร่องประเภทอื่น พบว่า มีค่าลดลงคงเหลือ 199 PPM จึงยืนยันได้ว่าสภาวะการผลิตใหม่นี้ทำให้อัตราการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่ลดลงได้จริงและต่ำกว่าเป้าหมายกำหนด ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 เปรียบเทียบอัตราของเสียก่อน – หลังการปรับปรุง

ผลลัพธ์ที่ได้นอกจากจะช่วยลดอัตราการเสียรูปของขั้วแบตเตอรี่แล้ว สภาวะการผลิตใหม่ส่งผลต่อข้อบกพร่องประเภทอื่น ๆ นั้นลดลงด้วยเนื่องจากการดำเนินการที่เป็นระบบและการวิเคราะห์ปัญหาที่ครอบคลุมปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตทั้ง 4M ทำให้ส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการ

ผลิต ต้นทุนการผลิต และความพึงพอใจของลูกค้า ถือเป็นแบบอย่างของการประยุกต์แนวคิดวิศวกรรมคุณภาพในโลกอุตสาหกรรมอย่างเป็นรูปธรรม

ข้อเสนอแนะ

1. สมการถดถอยเชิงเส้น สามารถใช้ได้กับโมเดลของขั้วแบตเตอรี่ที่ทำการวิจัยนี้เท่านั้น หากต้องการจะนำไปประยุกต์ใช้กับโมเดลอื่นๆ ต้องทำการตรวจสอบยืนยันผลก่อน
2. การออกแบบการทดลองที่กำหนดให้ตัวแปรตอบสนองเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่สามารถวัดค่าเป็นตัวเลขได้ จะทำให้การผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น
3. เครื่องมือทางวิศวกรรมคุณภาพที่นำมาการประยุกต์ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพในการบวนการผลิตที่คล้ายกันได้
4. แนะนำให้จัดอบรมความรู้ด้านการวิเคราะห์คุณภาพ เช่น Cause and effect diagram และ FMEA ให้แก่พนักงานฝ่ายผลิต เพื่อเสริมสร้างทักษะและความตระหนักรู้ในการควบคุมคุณภาพ

บรรณานุกรม

เกวลี วรนันท์ และจิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์. (2564). การเพิ่มอัตราคุณภาพสินค้าดีของกระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ชนิดสั้น. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่* 28(3): 112-125.

เอราวิล ถาวร. (2560). การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับป้องกันความผิดพลาดการตรวจชิ้นงานวิชาปฏิบัติการทางวิศวกรรม. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต* 7(1): 140-153.

โสจิรพักร์ บุตรคำโชติพร และคณะ. (2564). การปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้แนวคิด FMEA ในการขึ้นรูปแม่พิมพ์ขวดพลาสติก กรณีศึกษาบริษัท GP. *Journal of science and technology, Southeast Bangkok College.* 1(3): 30-44.

กิตติชัย อธิกุลรัตน์ และ กฤษฎา ดลปัญญา. (2562). การลดของเสียในการะบวนการผลิตแผ่นฟิล์ม. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์* 11(13): 41-50.

คนัน ธนกุลชัยทวี และ ศุภชัย นาทะพันธ์. (2556). การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้งานถุงพลาสติกหิ้วรูปตัวยู.

จรรยา ชื่นอารมณ์ และ เกตรา ชื่นอารมณ์. (2568). การปรับปรุงกระบวนการวัดสีซี่ฟันเทียมเพื่อลดความผิดพลาดของการวัดสีด้วยการวิเคราะห์ระบบการวัด. *วารสารวิชาการ ปชมท.* 14(1): 1-14.

ดุษฎี บุญธรรม. (2559). การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมของการบงนการตัดแท่งพลาสติกโดยใช้หลักการออกแบบการทดลอง. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*(2): 20-29.

ทิวานันท์ มณีรัตน์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์. (2566). การประยุกต์การออกแบบการทดลองเพื่อลดของเสียในกระบวนการบรรจุแผงยาเม็ด. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ* 18(2): 1-16.

ธนิชญา มีชำนาญ. (2563). การลดของเสียประเภทมีจุดดำในกระบวนการผลิตไม้แขวนพลาสติก กรณีศึกษา : บริษัทพลาสติกเวิลด์ จำกัด. คณะบริหารการพัฒนาสิ่งแวดล้อม, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต.

บุญชัย แซ่สิ้ว และณัฐธยาน์ โสกุล. (2559). การลดของเสียในขั้นตอนกระบวนการบรรจุ โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: บริษัทขนมขบเคี้ยว. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง* 9(2): 30-44.

ปฐมพงษ์ หอมศรี และ จักรพรรณ คงธนะ. (2556). การลดของเสียในการะบวนการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์โกยใช้หลักการออกแบบการทดลอง. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต* 3(2): 73-95.

ยศวรรธน์ จันทนา. (2565). ปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อการปรับตั้งค่าเครื่องหั่นใบตะใคร้ด้วยเทคนิคออกแบบการทดลอง. *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์* 14(19): 83-95.

ยอดนภา เกษเมือง. (2560). การลดของเสียในกระบวนการผลิตปั๊มน้ำขนาด 1 แรงม้า โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคซิกส์-ซิกม่า และ FMEA. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยธนบุรี(วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)* 1(1): 1-13.

ระพีพัฒน์ ช้วนตระกูล (2564). การลดของเสียในกระบวนการรีดลวดโดยใช้เทคนิค FMEA สำหรับการผลิตเครื่องมือแพทย์ตัวอย่าง. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ, มหาวิทยาลัยศิลปากร. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต.

สมพร วงษ์เพ็ง และ อัญญารัตน์ ประสันใจ. (2563). การกำหนดค่าปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อลดปัญหาตะกั่วลัดวงจร โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง: กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์. *Pathumwan Academic Journal* 10(28): 1-13.

สุกานดา พรมเทพ และ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย. (2554). การลดของเสียในกระบวนการผลิตฟิล์มพลาสติกบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อนตัว. *วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา* 22(4): 77-85.

สุรศักดิ์ ชุบไธสง และ ระพี กาญจนะ (2563). การปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยการควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ. *การประชุมนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา* 15.

อรวิกา ศรีทอง และคณะ. (2567). การใช้ FMEA เพื่อลดของเสียในอุตสาหกรรมการฉีดขึ้นรูปพลาสติก: กรณีศึกษาบริษัท AB จำกัด. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม* 7(1): 14-26.

มหาวิทยาลัยบูรพา
BURAPHA UNIVERSITY

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นรากร ชาโสรถ
วัน เดือน ปี เกิด	27 มีนาคม 2521
สถานที่เกิด	ชัยภูมิ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	306/62 หมู่5 ตำบลสุรศักดิ์ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี
ตำแหน่งและประวัติการทำงาน	ผู้ช่วยผู้จัดการโรงงาน ผู้จัดการฝ่ายประกันคุณภาพ / ควบคุมคุณภาพ
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา BURAPHA UNIVERSITY