

การปรับเปลี่ยนชนิดของคลิปทองแดงในผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมเพื่อลดต้นทุนการผลิต



น.ส.ภัทรนันท์ ภูรินันท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODIFICATION OF CU CLIP PARTS IN INTEGRATED CIRCUIT BOARD PRODUCTS FOR
PRODUCTION COST REDUCTION



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

Department of Industrial Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับเปลี่ยนชนิดของคลิปทองแดงในผลิตภัณฑ์แผงวงจร รวมเพื่อลดต้นทุนการผลิต
โดย	น.ส.ภัทรนันท์ ภูรินันท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชาย พัวจินดาเนตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูตีมา)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมชาย พัวจินดาเนตร)	
.....	กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ภูวตล ดุษฎีรังสีกุล)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเวช ชาญสง่าเวช)	

ภัทรนันท์ ภูรินันท์ : การปรับเปลี่ยนชนิดของคลิปทองแดงในผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวม เพื่อลดต้นทุนการผลิต. (MODIFICATION OF CU CLIP PARTS IN INTEGRATED CIRCUIT BOARD PRODUCTS FOR PRODUCTION COST REDUCTION) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ.จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.สมชาย พัวจินดาเนตร

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยมีการขยายตัวขึ้นอย่างมาก มีการเข้ามาตั้งรากฐานการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญอุตสาหกรรมหนึ่งของประเทศไทย ซึ่งมีการส่งออกคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 90-95 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ด้วยความต้องการที่เพิ่มสูงมากขึ้นทำให้มีผลกระทบกับห่วงโซ่อุปทานในส่วนของอุตสาหกรรมกลางน้ำ นั่นคือปัญหาการขาดแคลนชิ้นส่วนของแผงวงจรรวม ซึ่งจากการศึกษาประเภทของผลิตภัณฑ์ของแผงวงจรรวม พบว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์คลิปทองแดงหรือที่เรียกกันว่า Cu clip product เป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกนำไปใช้ในกลุ่มอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในชีวิตประจำวันมากที่สุด เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความต้านทานต่ำ ช่วยให้อุปกรณ์ทนต่อความร้อนได้ดี และมีความทนทานที่ค่อนข้างสูงมากกว่าชนิดอื่นๆ ด้วยเหตุนี้ทางผู้จัดทำจึงเกิดความสนใจที่จะทำการศึกษาผลิตภัณฑ์คลิปทองแดง รวมถึงกระบวนการในการผลิตเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการที่จะปรับเปลี่ยนชนิดของคลิปทองแดงในผลิตภัณฑ์เพื่อลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากการศึกษาพบว่าราคาต้นทุนของผลิตภัณฑ์คลิปทองแดงมาจากกลุ่มวัตถุดิบ ซึ่งคิดเป็น 56 % จากราคาต้นทุนทั้งหมด และราคาวัตถุดิบที่แพงที่สุดได้แก่ คลิปทองแดง แต่เนื่องจากคลิปทองแดงชนิดใหม่นี้มีขนาดในบางจุดที่แตกต่างจากเดิม จึงต้องทำการเลือกใช้พารามิเตอร์ให้เหมาะสม โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากวิธีการ 2^k full factorial design มาเป็นเครื่องมือ รวมถึงศึกษาจุดคุ้มในการปรับเปลี่ยนครั้งนี้ด้วย

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

6470245521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD:

Pattaranan Purinun : MODIFICATION OF CU CLIP PARTS IN INTEGRATED CIRCUIT BOARD PRODUCTS FOR PRODUCTION COST REDUCTION. Advisor: Assoc. Prof. JEERAPAT NGAOPRASERTWONG Co-advisor: Asst. Prof. Somchai Puajindanetr

Currently, the electronics industry in Thailand is expanding significantly. There has been a significant increase in establishing the production base for electronic devices, making the electronics industry one of the important industries in Thailand. It accounts for approximately 90-95% of the total production volume, with a high demand that impacts the supply chain in the electronics industry, particularly in the field of integrated circuit (IC) manufacturing. One of the challenges is the shortage of components, specifically copper clip products, which are widely used in electronic devices and household appliances, as they have low resistance, good heat resistance, and higher durability compared to other types of products. Due to these reasons, the researchers are interested in studying copper clip products, including the manufacturing process, to explore the possibility of changing the type of copper clip in the product to reduce production costs. The study reveals that the cost of copper clip products accounts for 56% of the total production cost, and the most expensive raw materials can be replaced by copper clip. However, due to the different sizes of the new type of copper clip in certain areas, appropriate parameters need to be selected. The 2k full factorial design method is used as a tool to design experiments and determine the suitable parameters, including studying the break-even point for this modification.

Field of Study: Industrial Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2022

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสร็จสมบูรณ์ไปได้ด้วยดี เนื่องจากการได้รับคำแนะนำความช่วยเหลือ คำปรึกษาต่างและแนวทางในการศึกษาปัญหา รวมถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยจากรองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เองประเสริฐวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร รวมถึงขอบคุณคณะกรรมการ ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ ดร.ภูวดล ดุษฎีรังสีกุล และรองศาสตราจารย์ ดร.ชูเวช ชาญสง่าเวชที่ร่วมให้คำแนะนำ และเสนอแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อการนำไปปรับใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น และขอบคุณคณะเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือการดำเนินการด้านเอกสารและติดต่อประสานงานในวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบคุณโรงงานในกรณีศึกษา หัวหน้างานและพนักงานร่วมงานทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการศึกษาในงานวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ และผู้วิจัยคาดหวังว่าการศึกษากการปรับเปลี่ยนคลิ๊ปทองแดงในผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมเพื่อลดต้นทุนในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์ให้กับผู้ที่สนใจเพื่อใช้ศึกษาต่อไป

ภัทรนันท์ ภูรินันท์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทกรณีศึกษา.....	2
1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.5 วิธีการดำเนินงาน.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 การออกแบบการทดลอง (Design of experiments).....	6
2.2 แนวคิดในการลดต้นทุน.....	10
2.3 การจำแนกต้นทุนตามพฤติกรรม.....	11
2.4 การลดต้นทุนด้านการผลิต.....	11
2.5 การศึกษาจุดคุ้มทุน.....	12
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	18

3.1 ข้อมูลของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงในบริษัทกรณีศึกษา.....	20
3.1.1 องค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง.....	21
3.1.2 องค์ประกอบราคาทุนของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง.....	23
3.2 ประเภทของคลิปทองแดงในท้องตลาด	24
3.2.1 เอ็ชคลิป (Etch Clip).....	24
3.2.2 แสทมป์คลิป (Stamp Clip).....	24
3.3 เกณฑ์การตรวจรับคลิปทองแดงทั้งประเภทเอ็ชคลิปและแสทมป์คลิป	25
3.3.1 การตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นของสินค้าที่ได้รับ	25
3.3.2 ตรวจสอบหีบห่อที่ใช้บรรจุสินค้า.....	27
3.3.3 เกณฑ์ในการตรวจสอบทางสายตา.....	28
3.3.4 เกณฑ์ในการตรวจสอบโดยการวัดขนาดของสินค้า.....	29
3.4 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงชนิด DrMOS.....	33
3.4.1 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงชนิด DrMOS.....	33
3.4.2 ขั้นตอนการติดคลิปทองแดง	35
3.4.3 เกณฑ์การตรวจสอบหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการติดคลิปทองแดง	39
3.5 การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมเบื้องต้น	42
3.5.1 กระบวนการที่มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงคลิปทองแดง.....	42
3.5.2 สรุปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อกระบวนการ.....	45
3.5.3 การกำหนดระดับของปัจจัย.....	46
3.5.4 การออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab.....	48
3.5.5 การระบุตัวแปรผลลัพธ์ตอบสนอง.....	54
3.5.6 การวัดตัวแปรตอบสนอง.....	54
3.5.7 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น.....	54
3.6 การทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์	55

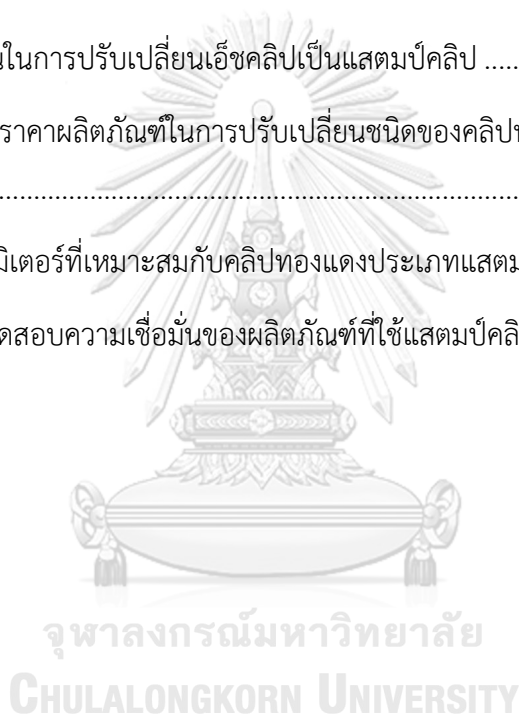
บทที่ 4	ผลการดำเนินงาน.....	56
4.1	ผลการตรวจรับคลิปทองแดง.....	56
4.1	การดำเนินการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Full factorial design.....	59
4.2	การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองแบบ Full Factorial Design	64
4.2.1	การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution).....	65
4.2.2	การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง	66
4.2.3	การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของส่วนตกค้าง (Residual)	66
4.2.4	การตรวจสอบค่าความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล.....	67
4.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA).....	67
4.4	การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	73
4.5	การทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	75
4.6	การทดสอบและตรวจสอบความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์ (Reliability test).....	77
4.7	จุดคุ้มทุนในการเปลี่ยนแปลงคลิปทองแดงจากเอชคลิปไปเป็นแสดมภ์คลิป.....	81
บทที่ 5	สรุปผลงานวิจัย.....	84
บรรณานุกรม.....		2
ประวัติผู้เขียน.....		4

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการผลิตจริงและการคาดการณ์ปริมาณการผลิตปี 2565 ถึง 2566 ผลิตภัณฑ์ แผนวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง	3
ตารางที่ 3.1 สัดส่วนต้นทุนของผลิตภัณฑ์แผนวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงต่อ 1 ยูนิท (เอ็ชคลิป) 24	
ตารางที่ 3.2 ความแตกต่างระหว่างเอ็ชคลิปกับแสดมภ์คลิป	25
ตารางที่ 3.3 เกณฑ์ในการตรวจสอบทางสายตา	28
ตารางที่ 3.4 เกณฑ์ในการตรวจสอบคลิปทองแดงประเภทแสดมภ์คลิป.....	30
ตารางที่ 3.5 เกณฑ์ในการตรวจสอบคลิปทองแดงประเภทเอ็ชคลิป.....	32
ตารางที่ 3.6 การตรวจสอบหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการติดคลิปทองแดง	39
ตารางที่ 3.7 ตำแหน่งในการวัดค่าตำแหน่งในการวางด้ายก่อนการอบ	40
ตารางที่ 3.8 ตำแหน่งในการวัดค่าตำแหน่งในการวางด้ายหลังการอบ	41
ตารางที่ 3.9 แผนผังประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment Matrix)	42
ตารางที่ 3.10 ความหมายของระดับความเสี่ยงแต่ละสี.....	43
ตารางที่ 3.11 การประเมินกระบวนการที่เป็นปัจจัยและมีความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนคลิปทองแดง....	43
ตารางที่ 3.12 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ก่อนการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลิปทองแดง	46
ตารางที่ 3.13 ระดับปัจจัยความดันและเวลาในการบีบอีพ็อกซีที่กระบวนการหยดอีพ็อกซีบนด้าย..	46
ตารางที่ 3.14 ระดับปัจจัยเวลาที่ใช้ติดและตำแหน่งในการติดคลิปที่กระบวนการติดคลิปทองแดง..	47
ตารางที่ 3.15 ระดับปัจจัยอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในกระบวนการอบอีพ็อกซี.....	47
ตารางที่ 3.16 ขอบเขตของระดับปัจจัยที่พิจารณา	47
ตารางที่ 3.17 การออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab®	49
ตารางที่ 4.1 เกณฑ์และผลการตรวจสอบคลิปทองแดงประเภทเอ็ชคลิป	56
ตารางที่ 4.2 เกณฑ์และผลการตรวจสอบคลิปทองแดงประเภทแสดมภ์คลิป	58

ตารางที่ 4.3 ความหนาอีพ็อกซีใต้คลิปที่ได้จากการทดลอง.....	60
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง.....	67
ตารางที่ 4.5 ตารางค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยที่มีผลต่อผลลัพธ์.....	70
ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการติดคลิปทองแดงชนิดแอสแตมป์คลิป	74
ตารางที่ 4.7 ผลค่าความหนาของอีพ็อกซีใต้คลิปทองแดงหลังจากใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง.....	76
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบความไวต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์	78
ตารางที่ 4.9 จุดคุ้มทุนในการปรับเปลี่ยนเอชคลิปเป็นแอสแตมป์คลิป	82
ตารางที่ 4.10 สัดส่วนราคาผลิตภัณฑ์ในการปรับเปลี่ยนชนิดของคลิปทองแดงจากเอชคลิปไปเป็นแอสแตมป์คลิป	83
ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับคลิปทองแดงประเภทแอสแตมป์คลิป.....	85
ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แอสแตมป์คลิป.....	86



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 ตำแหน่งจุดคุ้มทุน (Break Even Point)	12
ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	19
ภาพที่ 3.2 โครงสร้างผลิตภัณฑ์คลิปทองแดงชนิด DrMOS	20
ภาพที่ 3.3 ลีดเฟรม (Lead frame)	21
ภาพที่ 3.4 คลิปทองแดง (Copper clip).....	21
ภาพที่ 3.5 อีพ็อกซี (Epoxy)	22
ภาพที่ 3.6 แผ่นเวเฟอร์ (Wafer).....	22
ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างเอกสารที่ใช้ตัวรับสินค้าเบื้องต้น	26
ภาพที่ 3.8 คลิปทองแดงที่ถูกส่งมาจากซัพพลายเออร์	27
ภาพที่ 3.9 คลิปทองแดงที่มีพลาสติกและกระดาดารอบนอก	27
ภาพที่ 3.10 ตำแหน่งการตรวจรับคลิปทองแดงประเภทแสดมภ์คลิปบนม้วน	29
ภาพที่ 3.11 ตำแหน่งในการตรวจรับคลิปทองแดงประเภทเอ็ชคลิป	29
ภาพที่ 3.12 ตำแหน่งการตรวจรับคลิปทองแดงประเภทเอ็ชคลิปบนม้วน	31
ภาพที่ 3.13 ตำแหน่งในการตรวจรับคลิปทองแดงประเภทเอ็ชคลิป	31
ภาพที่ 3.14 กระบวนการโดยรวมในการผลิตแผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง.....	35
ภาพที่ 3.15 อีพ็อกซีชนิด Screen print ที่ถูกทาบบนลีดเฟรม	36
ภาพที่ 3.16 ดายตัวที่ 1 ติดทับลงบนอีพ็อกซีที่ตำแหน่งที่ 1	36
ภาพที่ 3.17 การหยดอีพ็อกซีชนิด Dispense ลงบนหน้าดายตัวที่ 1.....	37
ภาพที่ 3.18 ดายตัวที่ 2 ติดทับลงบนอีพ็อกซีที่ตำแหน่งที่ 2.....	37
ภาพที่ 3.19 การหยดอีพ็อกซีชนิด Dispense ลงบนหน้าดายตัวที่ 2.....	38
ภาพที่ 3.20 การนำคลิปทองแดงติดทับลงบนอีพ็อกซีชนิด Dispense.....	38

ภาพที่ 3.21 อีพ็อกซ์ที่เกิดการเซ็ตตัว.....	39
ภาพที่ 3.22 Full Factorial Design.....	48
ภาพที่ 3.23 ตำแหน่งจุดเริ่มต้นและทิศทางในการรันงาน.....	54
ภาพที่ 4.1 ด้านข้างของคลิปทองแดงแสดงขนาดของตำแหน่ง L ที่แตกต่างกันของเอ็ชคลิป (ภาพซ้าย) และแสดมภ์คลิป (ภาพขวา).....	59
ภาพที่ 4.2 Residual plot for response (Y).....	65
ภาพที่ 4.3 Probability plot of response (Y).....	65
ภาพที่ 4.4 ค่าของส่วนตกค้างเทียบกับ observe.....	66
ภาพที่ 4.5 Versus Fits.....	66
ภาพที่ 4.6 แผนภูมิพาเรโตค่าผลกระทบของปัจจัย.....	73
ภาพที่ 4.7 Regression Equation in Uncoded Units.....	73
ภาพที่ 4.8 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสม.....	74
ภาพที่ 4.9 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสม.....	75
ภาพที่ 4.10 ภาพ C-SAM หลังจากการทดสอบความไวต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์.....	78
ภาพที่ 4.11 ภาพ T-SAM หลังจากการทดสอบความไวต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์.....	79
ภาพที่ 4.12 ภาพ Cross section ของยูนิตที่ผ่านการทดสอบความเชื่อมั่นทางกายภาพ.....	79
ภาพที่ 4.13 ผลการทดสอบค่าการนำไฟฟ้า.....	80
ภาพที่ 4.14 จุดคุ่มทุนในการเปลี่ยนแปลงจากเอ็ชคลิปไปเป็นแสดมภ์คลิป.....	82

บทที่ 1

บทนำ

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปีพ.ศ. 2515 ซึ่งภาครัฐมีการส่งเสริมการลงทุนในการผลิตเพื่อส่งออก จึงทำให้นักลงทุนชาวต่างชาติทยอยเข้ามาลงทุนและตั้งรากฐานการผลิตอิเล็กทรอนิกส์ เช่น แผงวงจรรวม (Integrated Circuit : IC), มอเตอร์ไฟฟ้า, สายไฟและสายเคเบิล เป็นต้น ซึ่งทำให้อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งมีการส่งออกคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 90-95 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด Wanna Yongpisanphob (2564)

ในปัจจุบันความต้องการสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ค่อนข้างเพิ่มสูงมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากนโยบายหรือมาตรการที่เกิดขึ้นในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19 เช่น นโยบาย Work from home, การเรียนการสอนในรูปแบบออนไลน์ รวมถึงการสั่งอาหารในรูปแบบออนไลน์ เป็นต้น ซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain) เป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นผลกระทบต่อสินค้าในกลุ่มเครื่องใช้ไฟฟ้า สินค้ากลุ่มไอที สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต รวมไปถึงสินค้าในกลุ่มยานยนต์เกิดสภาวะขาดตลาด เนื่องจากผู้ผลิตสินค้าหลายประเทศทั่วโลกกำลังเผชิญหน้ากับปัญหาการขาดตลาดของอุตสาหกรรมกลางน้ำนั่นก็คืออุตสาหกรรมแผงวงจรรวม

จากการศึกษาประเภทของผลิตภัณฑ์ของแผงวงจรรวม พบว่ากลุ่มผลิตภัณฑ์คลิปทองแดง หรือที่เรียกกันว่า Cu clip product เป็นผลิตภัณฑ์ที่ถูกนำไปใช้ในกลุ่มอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในชีวิตประจำวันมากที่สุด เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความต้านทานต่ำ ช่วยให้อุปกรณ์ทนต่อความร้อนได้ดี และมีความทนทานที่ค่อนข้างสูงมากกว่าชนิดอื่นๆ ด้วยเหตุนี้ทางผู้จัดทำจึงทำการศึกษาค้นคว้าผลิตภัณฑ์คลิปทองแดง รวมถึงกระบวนการในการผลิตเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการที่จะปรับเปลี่ยนชนิดของคลิปทองแดงในผลิตภัณฑ์ ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์คลิปทองแดงมีกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างซับซ้อนและมีราคาขายในท้องตลาดที่ค่อนข้างสูงกว่าผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมชนิดอื่นๆ และจากการศึกษาพบว่าราคาต้นทุนของผลิตภัณฑ์คลิปทองแดงมาจากกลุ่มวัตถุดิบ ซึ่งคิดเป็น 56 % จากราคาต้นทุนทั้งหมด

ด้วยเหตุนี้เองทางผู้จัดทำจึงทำการศึกษาคลิปทองแดงในท้องตลาดร่วมกับทางผู้จัดหาซัพพลายเออร์ของบริษัทกรณีศึกษา A ซึ่งพบว่ามียุคลิปทองแดงอีกประเภทหนึ่งที่นอกเหนือจากที่ทางบริษัทตัวกรณีศึกษาใช้อยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นลิปทองแดงที่มีราคาต่อหน่วยที่ถูกกว่าถึง 4 เท่า รวมถึงระยะเวลาที่น้อยกว่าอีกด้วย แต่ในการที่จะปรับเปลี่ยนชนิดของลิปทองแดงจะต้องทำการศึกษาระบวนการผลิตให้แน่ใจก่อนว่ามีการใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมและจะไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากลิปทองแดงชนิดใหม่นี้มีขนาดในบางจุดที่แตกต่างจากเดิมและอาจจะต้องทำการเลือกใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากวิธีการ 2^k full factorial design มาเป็นเครื่องมือ รวมถึงศึกษาจุดคุ้มทุนในการปรับเปลี่ยนครั้งนี้ด้วย

1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการผลิตแผงวงจรรวม (Integrated Circuit : IC) ถือว่าเป็นอุตสาหกรรมกลางน้ำในกลุ่มอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยเป็นบริษัทที่ทั้งรับผลิตและทำการทดสอบ (Assembly and test) ปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย เช่น QFN (Quad Flat No Lead), DFN (Dual Flat No Lead), MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) เป็นต้น

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

จากข้อมูลในช่วงปีพ.ศ. 2565 จะเห็นว่าตั้งแต่เดือนมกราคม - เดือนมิถุนายน ความต้องการผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทลิปทองแดงค่อยๆ เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง และตั้งแต่เดือนกรกฎาคมเป็นต้นไป ความต้องการผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทลิปทองแดงมีปริมาณเพิ่มสูงมากขึ้นอย่างก้าวกระโดดดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการผลิตจริงและการคาดการณ์ปริมาณการผลิตปี 2565 ถึง 2566 ผลิตภัณท์
แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง

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.
ปริมาณการผลิตจริง 2565 (พันยูนิต)	10	16.46	25	100	163	338	823	1482	1,120	10	2,121	1,494
การคาดการณ์ ปริมาณการผลิต 2565 (พันยูนิต)	25	31	42	138	256	70	1440	1440	1595	1595	1518	1440
การคาดการณ์ ปริมาณการผลิต 2566 (พันยูนิต)	800	1847	1799	1068	1555	1343	1449	1257	1423	1982	1421	1265

จากการศึกษาพบว่าผลิตภัณท์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง ถูกใช้อย่างมากในกลุ่มอุปกรณ์ที่ต้องการลดความต้านทานในผลิตภัณท์ ทำให้อุปกรณ์สามารถถ่ายเทความร้อนภายในได้ดีมากขึ้น และเป็นการสร้างความน่าเชื่อถือให้กับผลิตภัณท์ ซึ่งอุตสาหกรรมปลายน้ำของผลิตภัณท์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง ได้แก่ เซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์ระดับไฮเอนด์/ศูนย์ข้อมูล และโครงสร้างพื้นฐานโทรคมนาคม แล็บท็อป กราฟิการ์ด และยานยนต์เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันความต้องการอุปกรณ์เหล่านี้เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ความต้องการแผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกัน แต่ผลิตภัณท์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงนี้มีกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างซับซ้อนและใช้ระยะเวลาเวลามากกว่าผลิตภัณท์แผงวงจรรวมประเภทอื่นๆ รวมถึงมีต้นทุนที่สูงและระยะเวลาในการรอคอยวัตถุดิบที่ค่อนข้างนาน

เมื่อได้ทำการศึกษาผลิตภัณท์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงพบว่า เป็นผลิตภัณท์ที่มีราคาขายที่สูงกว่าผลิตภัณท์แผงวงจรรวมประเภทอื่นๆ เนื่องมาจากต้นทุนราคาที่สูง ซึ่งราคาต้นทุนของผลิตภัณท์คลิปทองแดงประกอบไปด้วยค่าวัตถุดิบทางตรง วัตถุดิบทางอ้อม ค่าแรงงานพนักงาน ค่าเครื่อง ค่าไฟ ซึ่งพบว่าราคาต้นทุนที่สูงเป็นผลมาจากราคาของวัตถุดิบเป็นหลัก ซึ่งคิดเป็นมากกว่า 50% ของราคาต้นทุนทั้งหมด และจากการศึกษาพบว่าผลิตภัณท์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงมีชิ้นส่วนที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ 1. ลีดเฟรม (Lead frame) 2. คลิปทองแดง (Copper clip)

3. ลวด (Wire) 4. คอมปาวด์ (Compound) 5. อีพ็อกซี (Epoxy) 6. แผ่นเวเฟอร์ (Wafer) ซึ่งพบว่า วัสดุที่มีต้นทุนที่สูงที่สุดคือในส่วนของคลิปทองแดง ซึ่งคิดเป็นค่าใช้จ่ายเกือบครึ่งหนึ่งของราคา วัสดุทั้งหมด

ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงจึงพบว่า คลิปทองแดงที่บริษัทกรณศึกษาใช้อยู่ในปัจจุบัน เป็นคลิปทองแดงชนิดเอ็ชคลิป (Etch clip) ซึ่งเป็นคลิปที่มีราคาต้นทุนค่อนข้างสูง เนื่องจากวิธีการในการขึ้นรูปที่มีต้นทุนในเรื่องของต้นทุนผันแปรที่สูง ทางผู้วิจัยจึงได้มีการศึกษาประเภทของคลิปทองแดงในท้องตลาดร่วมกับทางฝ่ายจัดซื้อ ซึ่งพบว่า มีคลิปทองแดงอีกประเภทหนึ่งที่มีต้นทุนถูกกว่าถึง 4 เท่า รวมถึงมีช่วงเวลานำที่น้อยกว่า ซึ่งก็คือคลิปทองแดงชนิดสแตมป์คลิป (Stamp clip) แต่เนื่องจากก่อนหน้านี้ทางบริษัทตัวอย่างยังมีความต้องการของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ไม่มากพอที่จะถึงจุดคุ้มทุนในการปรับเปลี่ยนมาใช้คลิปทองแดงประเภทนี้ แต่เนื่องด้วยสถานการณ์ในปัจจุบันความต้องการของกลุ่มผลิตภัณฑ์ประเภทนี้สูงเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทางผู้วิจัยจึงเกิดความสนใจที่จะทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนชนิดของชิ้นส่วนคลิปทองแดงในผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงจากชนิดเอ็ชคลิปไปเป็นสแตมป์คลิป

งานวิจัยนี้จะเริ่มจากการศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนคลิปทองแดงในผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวม โดยเริ่มการศึกษาตั้งแต่กระบวนการการตรวจรับคลิปทองแดงจากทางซัพพลายเออร์ ศึกษากระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง รวมถึงการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องให้เหมาะสมและจะไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง และทำการทดสอบความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์เปรียบเทียบกับระหว่างก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลิปทองแดง รวมถึงศึกษาจุดคุ้มทุนในการปรับเปลี่ยนครั้งนี้ด้วย

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนชนิดของคลิปทองแดงในผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง จากประเภทเอ็ชคลิปไปเป็นสแตมป์คลิป

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงของบริษัทกรณศึกษา ซึ่งเป็นบริษัทที่ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ประเภทแผงวงจรรวม

1.5 วิธีการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาข้อมูลของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงในบริษัทกรณศึกษา

- 1.5.2 ศึกษาชนิดของคลิปทองแดงในท้องตลาด
- 1.5.3 ศึกษาเกณฑ์การตรวจรับคลิปทองแดงของบริษัทกรณีศึกษา
- 1.5.4 ศึกษากระบวนการผลิตแผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง
- 1.5.5 ออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
- 1.5.6 ผลิตผลิตภัณฑ์โดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้และเก็บข้อมูลของผลิตภัณฑ์
- 1.5.7 ทดสอบความคุณภาพและความน่าเชื่อถือ
- 1.5.8 รวบรวมข้อมูลและสรุปผลการวิจัย
- 1.5.9 ศึกษาจุดคุ้มทุนของการเปลี่ยนแปลงประเภทของคลิปทองแดง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

- 1.6.1 เพื่อทราบความเป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนประเภทของคลิปทองแดงในผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง
- 1.6.2 เพื่อเป็นแนวทางในการปรับเปลี่ยนชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ให้กับกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกัน
- 1.6.3 เพื่อสร้างข้อได้เปรียบทางการแข่งขันในกลุ่มอุตสาหกรรมเดียวกัน
- 1.6.4 เพื่อเป็นการสร้างกำไรให้กับผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้จำเป็นต้องการศึกษาทฤษฎี และหลักการต่างๆที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น ในบทนี้จะขอกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีความสำคัญสำหรับการศึกษาการปรับเปลี่ยนชนิดของคลิปทองแดงในผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมโดยมีทฤษฎีดังนี้

- 2.1 การออกแบบการทดลอง (Design of experiments)
- 2.2 แนวคิดในการลดต้นทุน
- 2.2 การจำแนกต้นทุนตามลักษณะพฤติกรรม
- 2.3 การลดต้นทุนด้านการผลิต
- 2.4 การศึกษาจุดคุ้มทุน (Break Even Point)
- 2.5 การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment)

2.1 การออกแบบการทดลอง (Design of experiments)

การออกแบบการทดลอง คือ การออกแบบในส่วนของการทดลอง เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล และทดสอบว่าตัวแปรนำเข้าหรือปัจจัย มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองหรือไม่ หรือเรียกว่าเป็นการออกแบบเพื่อควบคุมการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรอิสระของกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนองของกระบวนการนั้น

2.1.1 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

1) ตัวแปรตอบสนอง (Responses) คือ ผลลัพธ์หรือตัวชี้วัดสิ่งสนใจที่จะทำการปรับปรุง และต้องสามารถวัดค่าได้ เช่น อัตราผลดี สัดส่วนของเสีย ความหนาของชิ้นงาน ความแข็งของชิ้นงาน เป็นต้น

2) ตัวแปรนำเข้าหรือปัจจัย (Factors) คือ ตัวแปรที่สามารถทำการควบคุมและกำหนดค่าของตัวแปรได้ ซึ่งเป็นตัวแปรที่เราต้องการจะทราบว่าส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือไม่ และถ้าหากส่งผล เราควรจะต้องค่าตัวแปรนำเข้าหรือปัจจัยนี้ไว้เท่าใดถึงจะทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าตามที่ต้องการ

3) ตัวแปรรบกวน (Noise variable) คือ ตัวแปรที่ส่งผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง ซึ่งเป็นค่าที่ไม่สามารถควบคุมได้

4) ระดับของปัจจัย (Level) คือ ค่าที่จะทำการทดสอบของตัวแปรนำเข้าหรือปัจจัย ซึ่งการกำหนดระดับของปัจจัยมีด้วยกัน 2 รูปแบบ ได้แก่ หน่วยที่เป็นค่าจริง กับหน่วยที่เป็นค่ารหัส

5) สถานะการทดลอง (Factor setting) คือ เซ็ตของระดับปัจจัยที่ระดับต่างๆ ในการทำการทดลองแต่ละครั้ง

6) ครั้งการทดลอง (Run) คือ การทดลองที่สถานะการทดลองใดๆ หากไม่มีการทำซ้ำ จำนวนในการทดลองทั้งหมดจะมีจำนวนเท่ากับสถานะการทดลอง

7) แบบการทดลอง (Design) คือ แผนของการทดลองที่กำหนดจำนวนสถานะของการทดลองและจำนวนครั้งของการทดลองที่ต้องทำ

8) ตารางการออกแบบ (Design Matrix) คือ ตารางที่ใช้สำหรับแสดงระดับของปัจจัยในการทดลองที่ต้องทำทั้งหมด

9) ผลกระทบ (Effect) คือ ผลกระทบกับปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งจะถูกวัดโดยการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวแปรตอบสนอง เฉลี่ยภายใต้การทดสอบ 2 ระดับขึ้นไป

2.1.2 วัตถุประสงค์และประโยชน์ของการออกแบบการทดลอง

- 1) เพื่อทำการทดสอบผลกระทบหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง
- 2) เพื่อทำการทดสอบผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า อันตรกิริยา
- 3) เพื่อเป็นการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง ซึ่งจะถูกใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ให้ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าตามที่ต้องการ
- 4) เพื่อเป็นการสนับสนุนการปรับปรุงในเรื่องของการออกแบบผลิตภัณฑ์ การออกแบบกระบวนการและการดำเนินงานของกระบวนการ
- 5) ช่วยประหยัดจำนวนในการทดลองให้มีเท่าที่จำเป็นในการให้ได้ข้อมูลเพื่อสรุปผลกระทบของปัจจัยที่มีต่อตัวแปรตอบสนอง

2.1.3 ประเภทของการออกแบบการทดลอง

2.1.3.1 การออกแบบการทดลองแบบทีละปัจจัย (One-Factor-at-a-Time: OFAT)

ในการทำการทดสอบแต่ละครั้งจะมีการเปลี่ยนค่าของปัจจัยใดๆ เพียงแค่ปัจจัยเดียวเท่านั้น และยังคงค่าของปัจจัยอื่นๆไว้ที่ค่าๆหนึ่ง ซึ่งจะทำให้สามารถสรุปผลได้เพียงทีละปัจจัย และไม่สามารถสรุปผลของปัจจัยอื่นที่ถูกคงค่าเอาไว้ได้ รวมถึงไม่สามารถศึกษาผลกระทบร่วมกันระหว่างปัจจัยได้ และในการออกแบบการทดลองแบบทีละปัจจัยนี้จะใช้จำนวนในการทดลองและขนาดตัวอย่างที่มากกว่าการทดลองแบบที่แปรค่ามากกว่าหนึ่งปัจจัยไปพร้อมกัน

2.1.3.2 การออกแบบการทดลองแบบแปรค่ามากกว่าหนึ่งปัจจัยไปพร้อมกัน

วิธีการนี้เป็นการทดสอบที่ทำให้เห็นผลของปัจจัยใดๆ ที่ระดับของปัจจัยอื่นๆ อย่างน้อย 2 ระดับ ทำให้สามารถศึกษาได้ถึงผลกระทบร่วมกันระหว่างปัจจัยที่ต้องการทำการการศึกษาได้ รวมถึงวิธีการนี้จะใช้ขนาดตัวอย่างโดยรวมน้อยกว่าวิธีการแบบทดสอบทีละปัจจัย แต่ได้ข้อมูลและคุณภาพของผลสรุปในระดับเดียวกัน วิธีการนี้จะสามารถจัดเป็นประเภทที่ใหญ่ๆ 2 ประเภทตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ได้แก่

ประเภทที่ 1 เป็นการทดลองสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างนัยสำคัญ ถ้าหากมีผล จะมีผลในลักษณะของผลกระทบหลักหรือผลกระทบร่วมกันระหว่างปัจจัย ในการตอบวัตถุประสงค์ในลักษณะนี้ แบบทดลองที่เลือกใช้ทดสอบแต่ละปัจจัย ที่ 2 ระดับก็เพียงพอแล้ว เพื่อประหยัดจำนวนการทดลอง ซึ่งได้แก่ แบบการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full Factorial design) และแบบการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional factorial design) และในการทดลองที่ทดสอบปัจจัย 2 ระดับนี้ จะทำให้ประมาณความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนองในรูปแบบของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงได้เท่านั้น

ประเภทที่ 2 เป็นการทดลองสำหรับวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยที่ทำให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ต้องการ เนื่องจากในบางครั้งเราจะทราบเพียงว่าปัจจัยที่จะศึกษามีความสัมพันธ์ต่อตัวแปรตอบสนอง แต่เราจะไม่ทราบว่ามีความสัมพันธ์กันในรูปแบบใด และไม่ทราบว่าค่าปัจจัยที่ระดับเท่าใดที่ทำให้ค่าตัวแปรตอบสนองอยู่ในระดับที่ต้องการ ทำให้แต่ละปัจจัยต้องถูกทดสอบมากกว่า 2 ระดับ ซึ่งแบบการทดลองในประเภทนี้เรียกว่า แบบการทดลองพื้นผิวตอบสนอง ได้แก่ แบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design: CCD) และการทดลองแบบ Box-Behnken เป็นต้น

2.1.4 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

- 1) ระบุวัตถุประสงค์ของการทำการทดลอง ได้แก่ การกำหนดตัวแปรตอบสนองและปัจจัยที่จะศึกษา และการกำหนดว่าจะศึกษาเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัย หรือจะศึกษาเพื่อหา รูปแบบความสัมพันธ์และค่าที่เหมาะสมของปัจจัย
- 2) กำหนดแบบทดลองที่จะใช้ โดยพิจารณาตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ซึ่งจะใช้แบบการทดลองที่แตกต่างกันดังกล่าวข้างต้น และการกำหนดแบบการทดลองที่จะใช้ ยังต้องมีการพิจารณาจาก จำนวนปัจจัย จำนวนครั้งของการทดลอง และคุณภาพของผลสรุปที่จะได้จากแบบการทดลอง
- 3) เขียนตารางการออกแบบ ซึ่งจะแสดงถึงจำนวนครั้งของการทดลองทั้งหมดที่จะต้องทำ และระดับของปัจจัยต่างๆ ที่จะทดสอบในการทดลองแต่ละครั้ง
- 4) กำหนดค่าของแต่ละระดับปัจจัย ให้เป็นค่าที่จะทำการทดสอบแบบหน่วยที่เป็นค่าจริง เพื่อให้ทราบถึงค่าที่จะนำไปทำการทดลองจริง
- 5) กำหนดตัวแปรอื่นๆ ที่ไม่ได้ศึกษาที่อาจจะมีผลกับตัวแปรตอบสนอง เพื่อทำการควบคุมตัวแปรเหล่านั้นให้อยู่ที่ค่าคงที่ เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวแปรเหล่านั้นมามีผลกับตัวแปรที่ตั้งใจจะทำการศึกษา
- 6) กำหนดตัวแปรรบกวนที่ไม่สามารถทำการควบคุมได้ ที่อาจจะมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง เพื่อกำหนดลำดับของการทดลอง เพื่อลดผลกระทบของตัวแปรรบกวนเหล่านี้
- 7) ทำการทดลองตามรูปแบบที่ออกแบบไว้และทำการบันทึกผลการทดลอง
- 8) วิเคราะห์ผลการทดลอง

2.1.5 แบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบปัจจัยสองระดับ

เป็นรูปแบบการทดลองที่ประกอบไปด้วยทุกคอมบินชันของระดับปัจจัย โดยในแต่ละปัจจัย จะถูกทดลองที่ 2 ระดับในหน่วยที่เป็นคาร์รหัส ได้แก่ ระดับสูง (+1 หรือ High: H) และที่ค่าระดับต่ำ (-1 หรือ Low: L) และถ้าหากจำนวนปัจจัยที่จะศึกษามีทั้งหมด k ปัจจัย จะมีจำนวนของสถานะการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 2^k ทำให้แบบการทดลองสักแบบนี้มีชื่อเรียกอีกชื่อว่า 2^k design หรือ Two level factorial design.

2.1.6 ลำดับของการทดลอง

ในการทำการทดลองตามลำดับมาตรฐานมีข้อควรระวังว่า อาจเกิดผลที่ปะปนกันระหว่างผลของปัจจัยที่ศึกษาและผลจากตัวแปรรบกวนได้ ดังนั้นเพื่อไม่ให้มีผลของตัวแปรรบกวน จึงควรจัด

ให้ลำดับการทดลองเป็นไปแบบสุ่ม ซึ่งลำดับการทดลองที่เป็นไปตามลำดับก่อนหลังจะถูกเรียกว่าลำดับการทดลองจริง (Run Order)

และในทางอุดมคติ เวลาทำการทดลองในสภาวะการทดลองเดียวกันซ้ำกันหลายครั้ง ก็ควรจะมีค่าของตัวแปรตอบสนองที่เท่ากัน ซึ่งความแตกต่างของค่าตัวแปรตอบสนองที่สภาวะการทดลองเดียวกันจะแสดงถึงระดับความผิดพลาดอย่างสุ่ม และค่าความผิดพลาดอย่างสุ่มจะถูกนำไปใช้เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยที่ทดสอบด้วย

2.2 แนวคิดในการลดต้นทุน

AN Barbole et al. (2013) กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (2563) ต้นทุนการผลิต (Manufacturing cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานในกิจกรรมต่างๆ ในระบบการผลิต เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และตรงตามความต้องการของลูกค้า โดยส่วนประกอบของต้นทุนการผลิตจะประกอบไปด้วยดังนี้

2.2.1 ต้นทุนทางด้านวัตถุดิบ (Material cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่นำไปใช้ในการผลิตทางตรงและทางอ้อม

วัตถุดิบทางตรง (Direct material cost) หมายถึง วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตโดยตรง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นวัตถุดิบที่เป็นหนึ่งในส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ เช่น ในผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมมีอิพอกซี (Epoxy) คลิป (Copper clip) ดาย (Die) เป็นวัตถุดิบทางตรง เป็นต้น

วัตถุดิบทางอ้อม (Indirect material cost) หมายถึง วัตถุดิบ หรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับสนับสนุนกระบวนการผลิต ได้แก่ กล้องจุลทรรศน์ โต๊ะ เป็นต้น

2.2.2 ต้นทุนทางด้านแรงงาน (Labor cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับแรงงาน เพื่อให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้นทุนทางด้านแรงงาน สามารถแบ่งได้เป็น

ต้นทุนด้านแรงงานทางตรง (Direct labor cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายสำหรับจ้างแรงงาน หรือเงินเดือนของพนักงาน ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่าแรงงานส่วนสำคัญที่ใช้ในการแปรรูปวัตถุดิบต่างๆ ให้เป็นสินค้าสำเร็จรูปได้

ต้นทุนด้านแรงงานทางอ้อม (Indirect labor cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายสำหรับแรงงานที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้าโดยตรง เช่น ค่าแรงสำหรับพนักงานตรวจสอบคุณภาพ ค่าแรงสำหรับพนักงานทำความสะอาด ซึ่งต้นทุนด้านแรงงานทางอ้อมจะไม่แปรผันกับปริมาณการผลิต

2.2.3 ต้นทุนทางด้านค่าใช้จ่ายโรงงานหรือค่าโสหุ้ยการผลิต (Overhead cost) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับสาธารณูปโภค ค่าเช่าพื้นที่ ค่าขนย้ายเครื่องจักร ค่าบำรุงรักษาเครื่องจักร เป็นต้น

การคำนวณต้นทุนการผลิต สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$\text{ต้นทุนการผลิต} = \text{ต้นทุนวัตถุดิบ} + \text{ต้นทุนแรงงาน} + \text{ค่าโสหุ้ย} \quad (1)$$

2.3 การจำแนกต้นทุนตามพฤติกรรม

อนุรักษ์ ทองสุขโขวงศ์ (2564) การจำแนกต้นทุนตามลักษณะพฤติกรรมของต้นทุน (Cost behavior) สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

2.3.1 ต้นทุนคงที่ (Fixed costs) หมายถึง ต้นทุนที่มีลักษณะของพฤติกรรมคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือผันแปรไปตามระดับการผลิตในช่วงเวลาของการผลิตระดับหนึ่ง ซึ่งต้นทุนคงที่สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.3.1.1 ต้นทุนคงที่ระยะยาว (Committed fixed cost) หมายถึง ต้นทุนคงที่ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงได้ในระยะเวลายาว เช่น ค่าเช่าพื้นที่โรงงาน

2.3.1.2 ต้นทุนคงที่ระยะสั้น (Discretionary fixed cost) หมายถึง ต้นทุนคงที่ที่เกิดจากการตัดสินใจจากฝ่ายบริหาร เช่น ค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

2.3.2 ต้นทุนผันแปร (Variable cost) หมายถึง ต้นทุนที่มีลักษณะพฤติกรรมที่ไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามสัดส่วนหรือปริมาณการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไป

2.3.3 ต้นทุนแบบผสม (Mixed cost) หมายถึง ต้นทุนที่มีลักษณะของพฤติกรรมแบบต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรรวมอยู่ด้วยกัน ทำให้ต้นทุนมีทั้งเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามการเปลี่ยนแปลงของกิจกรรม

2.4 การลดต้นทุนด้านการผลิต

Sumipol Agile Technology (2565) Warisra Khemklad (2563) การลดต้นทุนทางด้านการผลิตเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ธุรกิจขององค์กรสามารถสร้างกำไรได้เพิ่มขึ้น โดยการลดต้นทุนการผลิตจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นสิ่งสำคัญ ถ้าหากลดต้นทุนการผลิตแล้วส่งผลเสียต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และบริการจะทำให้ความพึงพอใจของลูกค้าลดลงได้ ซึ่งแนวทางการลดต้นทุนด้านการผลิตแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังต่อไปนี้

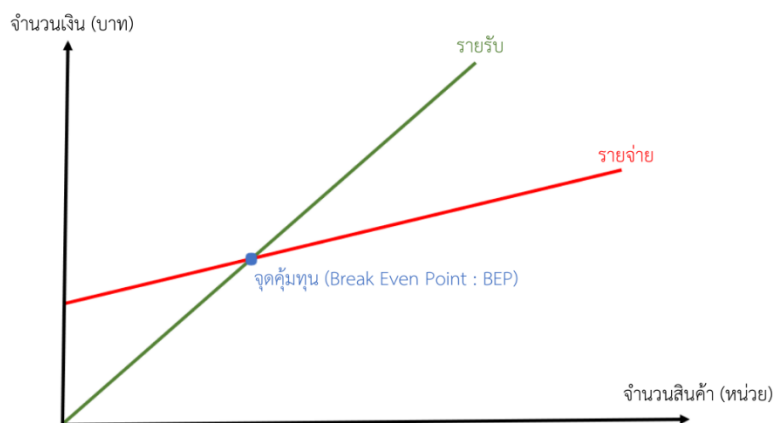
2.4.1 การลดต้นทุนวัตถุดิบ หมายถึง การลดต้นทุนวัตถุดิบทางตรง หรือลดต้นทุนวัตถุดิบทางอ้อม โดยการลดต้นทุนวัตถุดิบจะมีพิจารณาจากขั้นตอนการจัดหาวัตถุดิบโดยเปรียบเทียบราคาวัตถุดิบจากซัพพลายเออร์ของแต่ละที่ เพื่อให้ได้ราคาที่เหมาะสม และคงคุณภาพของวัตถุดิบ รวมถึงการพิจารณาระยะเวลานำในการสั่งซื้อ (Lead time)

2.4.2 การลดต้นทุนด้านแรงงานหรือค่าโสหุ้ยการผลิต ซึ่งการลดต้นทุนค่าโสหุ้ยการผลิตสามารถทำได้โดยการใช้เทคโนโลยีใหม่ๆมาใช้ในการกระบวนการผลิต

2.4.3 การลดต้นทุนด้านเครื่องจักร หมายถึง การบำรุงรักษาเครื่องจักรเป็นประจำหรือการบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงป้องกัน (Preventive maintenance) เพื่อให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นการสร้างเสถียรภาพในการทำงานของเครื่องจักร

2.5 การศึกษาจุดคุ้มทุน

Rudolf Kampf et al. (2016) จุดคุ้มทุน (Break Even Point) หมายถึง จุดที่มีรายรับเท่ากับต้นทุน ซึ่งเป็นจุดที่ไม่ได้มีกำไรหรือขาดทุน ถ้าหากจุดอยู่ต่ำกว่าจุดคุ้มทุนก็จะแปลว่าเกิดการขาดทุน แต่ถ้าหากอยู่สูงกว่าจุดคุ้มทุนก็จะแสดงว่าเกิดการได้กำไร ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ตำแหน่งจุดคุ้มทุน (Break Even Point)

ที่มา : [จุดคุ้มทุน \(Break Even Point\) คืออะไร - IE Business Solution \(ieprosoft.com\)](http://ieprosoft.com)

ในการหาจุดคุ้มทุนนี้มีประโยชน์ในการที่ทำให้ทราบว่าต้องมีการตั้งราคาขายเท่าไร ต้องขายได้ทั้งหมดกี่ชิ้นถึงจะได้กำไร ถ้าหากไม่มีการคำนึงถึงจุดนี้ก็ไม่ต่างจากการที่ขายผลิตภัณฑ์โดยไม่สนใจ

กำไรหรือขาดทุน จนเกิดปัญหาที่ว่าขายเท่าไรก็ได้กำไรสักที และในการคำนวณหาจุดคุ้มทุน จำเป็นต้องทราบในเรื่องของต้นทุนคงที่ (Fixed cost) และต้นทุนผันแปร (Variable cost) ก่อน

2.5.1 ต้นทุนคงที่ (Fixed cost)

เป็นต้นทุนที่ไม่ว่าจะทำการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งหมดก็ขึ้นก็จะส่งผลให้ต้นทุนโดยรวมมีค่าเท่าเดิม แต่ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยจะมีการปรับลดลงเมื่อมีจำนวนหน่วยการผลิตที่เพิ่มมากขึ้น

2.5.2 ต้นทุนผันแปร (Variable cost)

เป็นต้นทุนที่ผันแปรไปตามจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิต ถ้ามีการผลิตจำนวนมากก็จะมีต้นทุนผันแปรมาก แต่ถ้าหากมีการผลิตจำนวนน้อยก็จะมีต้นทุนผันแปรน้อย

และในการคำนวณจุดคุ้มทุนมีทั้งหมด 3 แบบด้วยกัน

$$1) \text{ จำนวนหน่วยขายที่คุ้มทุน} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{ราคาขายต่อหน่วย} - \text{ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย}} \quad (2)$$

$$2) \text{ ยอดขายที่คุ้มทุน} = \text{จำนวนหน่วยขายที่คุ้มทุน} \times \text{ราคาขายต่อหน่วย} \quad (3)$$

2.6 การประเมินความเสี่ยง

M. Rausand (2013) การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) หมายถึง การวิเคราะห์ และการพิจารณาโอกาส หรือการประเมินความเสี่ยงที่สนใจที่อาจมีผลต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งการประเมินความเสี่ยงประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนย่อยๆ คือ

2.7.1 การระบุความเสี่ยง (Risk identification)

การระบุความเสี่ยงเป็นขั้นตอนที่ต้องมีการระบุสาเหตุของปัจจัยที่คาดว่าจะทำให้เกิดความเสี่ยง รวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบของเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้น หรือประเมินถึงความเป็นไปได้ของ ความรุนแรงที่อาจเกิดขึ้น โดยลักษณะของการระบุความเสี่ยงนั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของ ความเสี่ยง ได้แก่ ความเสี่ยงจากการปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต ความเสี่ยงด้านการเงินหรือการลงทุน เป็นต้น

2.7.2 การวิเคราะห์ความเสี่ยง (Risk analysis)

การวิเคราะห์ความเสี่ยงเป็นขั้นตอนที่มีการนำข้อมูลมาประมวลผลของความเสี่ยง เพื่อเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจที่จะดำเนินการจัดการความเสี่ยง

2.7.3 การประเมินค่าของความเสี่ยง (Risk evaluation)

การประเมินค่าความเสี่ยงเป็นการตัดสินใจว่าความเสี่ยงนั้นอยู่ในระดับความเสี่ยงเท่าใด และจะดำเนินการพิจารณา หรือวิธีการการจัดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นได้นั้นตามระดับความเสี่ยงที่ได้มีการประเมินไว้ ซึ่งประโยชน์ของการประเมินความเสี่ยงเพื่อให้คณะปฏิบัติงานทราบความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นก่อนเริ่มทำการผลิตจริง เช่น พารามิเตอร์ในการตั้งค่าที่เครื่องจักร หากเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่เกิดขึ้นจะมีการตัดสินใจการใช้พารามิเตอร์ร่วมกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับวิศวกรที่ดูแลกระบวนการผลิตนั้นๆ เพื่อเป็นการปรับปรุงผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การผลิตขึ้นเป็นไปตามเป้าหมาย



งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อรุท ศุภคุณ (2555) ได้ทำการศึกษาเพื่อลดต้นทุนชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ โดยใช้หลักการของวิศวกรรมคุณค่าและการออกแบบเพื่อการประกอบขึ้นส่วนในอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ ซึ่งวิธีการศึกษาจะประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนแรก การบูรณาการวิศวกรรมคุณค่าและการออกแบบเพื่อการประกอบ โดยทำการแยกชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์เดิมตามหน้าที่หลักและหน้าที่

รอง จำแนกตามประเภท และหน้าที่ของส่วนประกอบย่อยเพื่อนำมาวิเคราะห์การบูรณาการวิศวกรรมคุณค่าและการออกแบบเพื่อการประกอบ ซึ่งขึ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่มีค่าที่ได้จากการบูรณาการมีค่าต่ำกว่าเฉลี่ยจะถูกวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการประกอบ เพื่อนำมาออกแบบขึ้นส่วนผลิตภัณฑ์ใหม่ ขั้นตอนที่สองคือ การออกแบบขึ้นส่วนผลิตภัณฑ์ โดยกำจัดชิ้นส่วนที่ไม่จำเป็นออก และทำการรวมหน้าที่คล้ายกันเข้าด้วยกันโดยยังคงรักษาหน้าที่ไว้เหมือนเดิม และขั้นตอนที่สาม คือ การประมาณต้นทุน ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบต้นทุนของการออกแบบขึ้นส่วนผลิตภัณฑ์ใหม่กับผลิตภัณฑ์เดิม โดยมีการพิจารณาปัจจัยต่างๆ เช่น ค่าวัสดุ ค่าบรรจุภัณฑ์ ค่าประกอบ รวมถึงต้นทุนของการส่งมอบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยนี้สามารถลดต้นทุนลงได้ 55.33 บาทต่อชิ้น คิดเป็นร้อยละ 65.66

มีเชาวน์ จันทร์ศิริวัฒนา (2552) ได้ทำการศึกษาการลดต้นทุนการผลิตในกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตขึ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ แผงวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน ซึ่งศึกษาในกระบวนการผลิตสุดท้ายก่อนส่งผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้า เนื่องจากเป็นกระบวนการมีต้นทุนการผลิตที่ไม่เกิดมูลค่าเพิ่มแก่ผลิตภัณฑ์ ซึ่งวิธีการดำเนินงานในงานวิจัยนี้ได้มีการใช้หลักการวิศวกรรมคุณค่าในการวิเคราะห์ เพื่อลดขั้นตอนการผลิตที่ไม่มีความจำเป็นและไม่เกิดประสิทธิภาพออกจากกระบวนการผลิต ในงานวิจัยนี้ได้มีการปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยวิธีการผสมผสานการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Manufacturing) เข้าไปแทนการผลิตแบบชุด (Batch Production) ซึ่งผลที่ได้จากการปรับปรุงทำให้เวลานำในการผลิตลดลง ต้นทุนแรงงานลดลง จำนวนแรงงานลดลง รวมถึงปริมาณการใช้เครื่องจักรลดลง

นิพนธ์ จงพิทักษ์ศิลป์ (2551) ทำการวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการผลิต และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขึ้นรูปสักของฝาครอบเข้าใช้คอป โดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนวัสดุจากการใช้เหล็กแผ่นรีดเย็น SPEN-SD เป็นเหล็กแผ่นรีดเย็น SPCC และแผ่นเหล็กรีดร้อน SPHC ซึ่งมีราคาถูกกว่า เมื่อทำการทดสอบการขึ้นรูปจากโปรแกรม AUTOFORM พบว่า การขึ้นรูปเหล็กด้วยเหล็กแผ่นรีดเย็น SPCC โดยใช้แรงจับยึดแผ่นกดที่ 7,000 นิวตัน พบว่าชิ้นงานไม่เกิดการฉีกขาด ส่วนการขึ้นรูปเหล็กด้วยแผ่นเหล็กรีดร้อน SPHC เมื่อทำการทดสอบด้วยแรงจับยึดแผ่นกดมีค่า 7,000 นิวตันก็สามารถจำลองการขึ้นรูปฝาครอบเข้าใช้คอปได้โดยที่ชิ้นงานไม่เกิดการฉีกขาด ดังนั้นการปรับเปลี่ยนวัสดุจากแผ่นเหล็กรีดเย็น SPEN-SD เป็นแผ่นเหล็กรีดเย็น SPCC จะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ 9,622 บาทต่อเดือน ส่วนแผ่นเหล็กรีดร้อน SPHC จะสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ 3,978 บาทต่อเดือน

พีรภัทร์ สุขสมบูรณ์ (2553) ได้ทำการศึกษาเพื่อลดต้นทุนในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติก กิ่งสำเร็จรูป เนื่องจากเป็นการสร้างข้อได้เปรียบทางการค้า เพราะกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตเลนส์

แวนตามีสภาพการแข่งขันในธุรกิจสูง ในงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการลดต้นทุนในส่วนของวัตถุดิบเป็นหลัก ซึ่งวิธีการศึกษาจะทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่ากำลังขยายของเลนส์ เพื่อนำมาวิเคราะห์หาจำนวนปัจจัย (Factor Screening Experiment) และตรวจสอบรูปแบบเหมาะสมของรูปแบบจำลอง แพคทอเรียลเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่จะนำมาทดลอง และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในกระบวนการ จากผลการวิเคราะห์การทดลองพบว่าที่ระยะความสูงตรงกลางของเลนส์ 9 มิลลิเมตร ระยะความสูงตรงขอบเลนส์ 10 มิลลิเมตร ระยะเวลาที่ใช้เลนส์ 24 ชั่วโมงและความเร็วรอบในการลดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเลนส์ 25 รอบต่อนาที ส่งผลให้ค่ากำลังขยายของเลนส์อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนในส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเลนส์ลดลงได้ 30% และลดระยะเวลาในการอบเลนส์ลงได้ 50%

กิตติ วิบูลย์ศิริเสวีกุล (2542) ได้ทำการวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานที่ทำให้เกิดการลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ชุดสายไฟรถยนต์ ซึ่งใช้เทคนิคของวิศวกรรมคุณค่า โดยยังคงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์เดิมไว้ โดยในงานวิจัยนี้ได้มีการเก็บข้อมูลความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ของลูกค้า รวมถึงความต้องการของลูกค้า ศึกษาการวิเคราะห์หน้าที่หลักและหน้าที่รองของชิ้นส่วนการออกแบบของผลิตภัณฑ์ พร้อมทั้งเสนอแนวทางการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีหน้าที่การทำงานเหมือนเดิม แต่ใช้ต้นทุนในการออกแบบที่ต่ำกว่าแบบผลิตภัณฑ์ในปัจจุบัน รวมทั้งยังคงคุณภาพและความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ไว้

Prateek Guleria et al. (2022) ได้ใช้หลักการของสิน ชิกส์ชิกมาเป็นเครื่องมือในการกำจัดของเสียและกำจัดความสูญเปล่า รวมทั้งลดกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าและเป็นการเพิ่มผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพโดยการกำจัดความผันแปรของกระบวนการ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะทำการศึกษาด้วยเทคนิค VSM เพื่อแสดงรายละเอียดของข้อมูลย้อนหลัง เช่น ข้อมูลลูกค้า ซัพพลายเออร์ การส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า วัสดุคงคลัง งานวิจัยนี้พบว่ามีอัตราข้อบกพร่องของชิ้นงานประมาณ 10.4% ต่อเดือน จากการวิเคราะห์พบว่ามีปัญหาเพลามีรอยยุบซึ่งเกิดจากการจัดเก็บไม่ดีไม่มีวิธีการขนส่งที่เหมาะสมทำให้เกิดการกระแทกระหว่างโลหะด้วยกัน เกิดจากเพลาลุดออกจากรถยกกระหว่าเคลื่อนที่ทำให้เกิดรอยยุบได้ จากการปรับปรุงโดยใช้หลักการของ LSS ไปใช้พบว่าอัตราข้อบกพร่องลดลงจาก 10.4% เป็น 3.2%

Biswajit Sarkar & Ilkyeong Moon (2014) ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการปรับปรุงคุณภาพ จุดสั่งซื้อใหม่ ระยะเวลารอคอยสินค้าเนื่องจากเป็นผลกระทบที่ได้รับจากกระบวนการผลิต

ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุน ลดระยะเวลารอคอย รวมถึงค่าพารามิเตอร์ในเชิงคุณภาพของกระบวนการให้มีความเหมาะสม

Ugo Ibusuki & Paulo Carlos Kaminski (2007) ได้เสนอวิธีการปรับปรุงเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ในบริษัทรถยนต์ที่ระบบสตาร์ทเครื่องยนต์เพื่อมุ่งเน้นในการปรับปรุงต้นทุนของผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มจากการกำหนดฟังก์ชันของผลิตภัณฑ์มาวิเคราะห์การทำงาน จัดประเภทหน้าที่หลักและหน้าที่รองของฟังก์ชัน และสร้างโครงสร้างการทำงานด้วยแผนภาพของเทคนิคระบบวิเคราะห์ เพื่อช่วยระบุขอบเขตการศึกษาได้อย่างชัดเจน รวมถึงประเมินต้นทุนเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของต้นทุนก่อนและหลังทำการปรับปรุงซึ่งในงานวิจัยนี้สามารถลดต้นทุนลงได้ 10% ของราคาผลิตภัณฑ์



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ประสงค์ในศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนประเภทของคลิปทองแดงในผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงโดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นการลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์และลดช่วงเวลานำในการรอวัตถุดิบและสามารถรองรับความต้องการของลูกค้าได้มากยิ่งขึ้น รวมถึงใช้แนวคิดในเรื่องของจุดคุ้มทุนและระยะเวลาการคืนทุนเข้ามาเป็นส่วนในการประเมินความคุ้มค่าในการเปลี่ยนอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามในการปรับเปลี่ยนประเภทของคลิปทองแดงในงานวิจัยนี้ ผลิตภัณฑ์จะต้องผ่านการทดสอบความเชื่อมั่น (Reliability test) เพื่อเป็นข้อมูลยืนยันว่าการปรับเปลี่ยนในครั้งนี้จะไม่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงแต่อย่างใด

นอกจากนี้ยังได้นำหลักการของวิศวกรรมคุณค่าเข้ามาประยุกต์ใช้ ทำให้โครงการสำเร็จถูกลงไปได้โดยใช้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยไม่ทำให้คุณภาพ ประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือในผลิตภัณฑ์ลดน้อยลง รวมถึงใช้หลักในการประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) ของการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบในครั้งนี้เข้ามาเพื่อเป็นเครื่องมือในการระวังและจัดการความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นในการผลิตได้อย่างทันท่วงที ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการแบ่งขั้นตอนในการศึกษางานวิจัยดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงในบริษัท
กรณีศึกษา

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาประเภทของคลิปทองแดงในท้องตลาด

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาเกณฑ์การตรวจรับคลิปทองแดงของบริษัทกรณีศึกษา

ขั้นตอนที่ 4 ศึกษากระบวนการผลิตแผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง

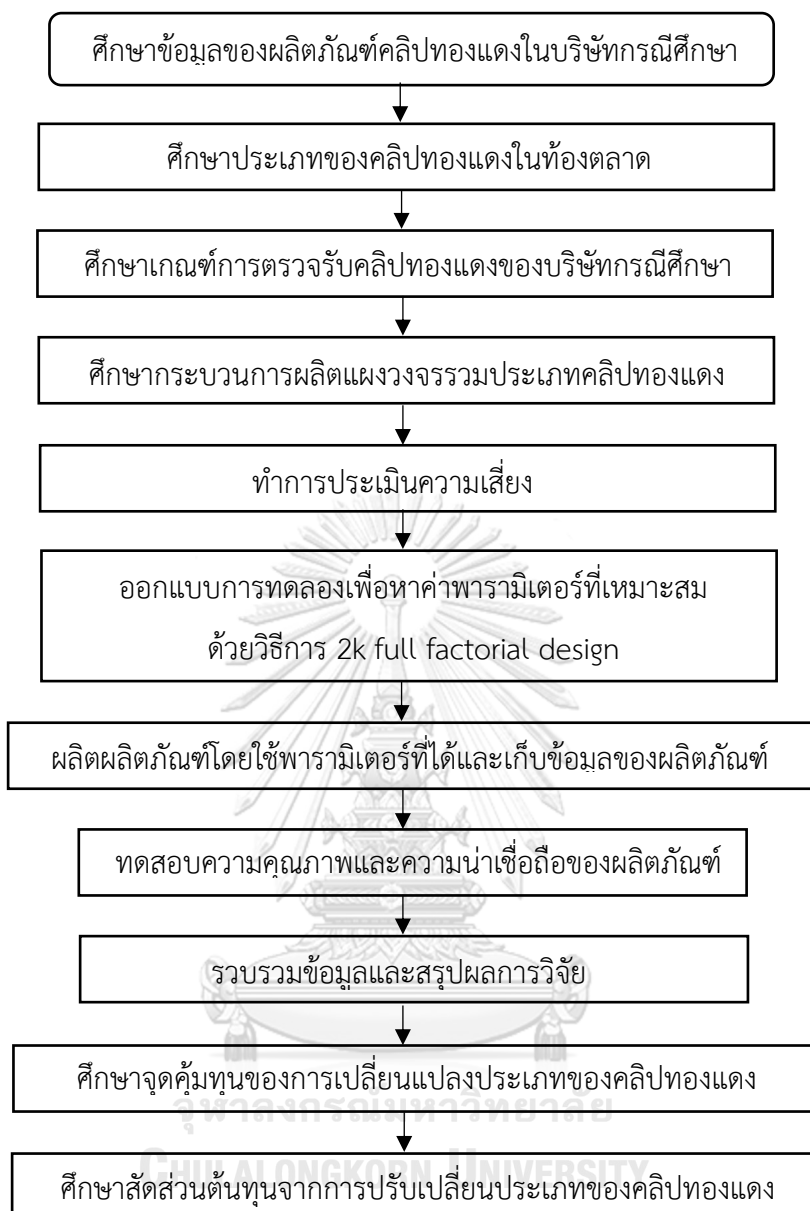
ขั้นตอนที่ 5 ออกแบบการทดลองขั้นตอนการติดคลิปเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ
คลิปประเภทแอสแตมป์คลิป

ขั้นตอนที่ 6 ผลิตผลิตภัณฑ์และเก็บข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่ใช้คลิปทองแดงต่างชนิดกัน

ขั้นตอนที่ 7 ทดสอบความน่าเชื่อถือ (Reliability test)

ขั้นตอนที่ 8 รวบรวมข้อมูลและสรุปผลการวิจัย

ขั้นตอนที่ 9 ศึกษาจุดคุ้มทุนของการเปลี่ยนแปลงประเภทของคลิปทองแดง

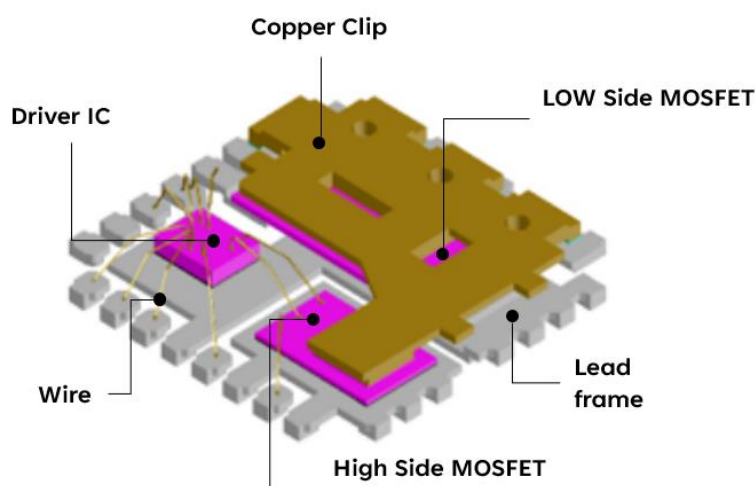


ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ข้อมูลของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงในบริษัทกรณีศึกษา

ผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมอย่างมากในกลุ่มอุตสาหกรรมปลายน้ำที่เป็นกลุ่มอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งแผงวงจรรวมประเภทนี้สร้างกำไรให้กับบริษัทได้อย่างมาก เนื่องจากคลิปทองแดงในผลิตภัณฑ์จะเป็นชิ้นส่วนที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการลดความต้านทานโดยรวมของผลิตภัณฑ์ได้มากเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมทั่วไปที่ใช้ลวดทองแดง เนื่องจากพื้นที่สัมผัสบริเวณหน้าตายของคลิปทองแดงมีมากกว่าลวดทองแดง ซึ่งส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความต้านทานน้อยลง ลดการเหนี่ยวนำโดยรวม และส่งผลให้อุปกรณ์มีการระบายความร้อนภายในอุปกรณ์ได้ดีขึ้น ซึ่งอุตสาหกรรมปลายทางของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงนี้ได้แก่ เซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์ระดับไฮเอนด์ / ศูนย์ข้อมูล และโครงสร้างพื้นฐานโทรคมนาคม แล็ปท็อป กราฟิกการ์ด และยานยนต์ เป็นต้น

ผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงที่จะกล่าวถึงในการทำวิจัยนี้ได้แก่ ผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภท Driver IC Metal Oxide Semiconductor หรือที่เรียกว่า DrMOS ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ประกอบไปด้วย Driver IC 1 ตัว และ MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) 2 ตัว ได้แก่ Low side MOSFET และ High side MOSFET ดังแสดงในภาพที่ 3.1

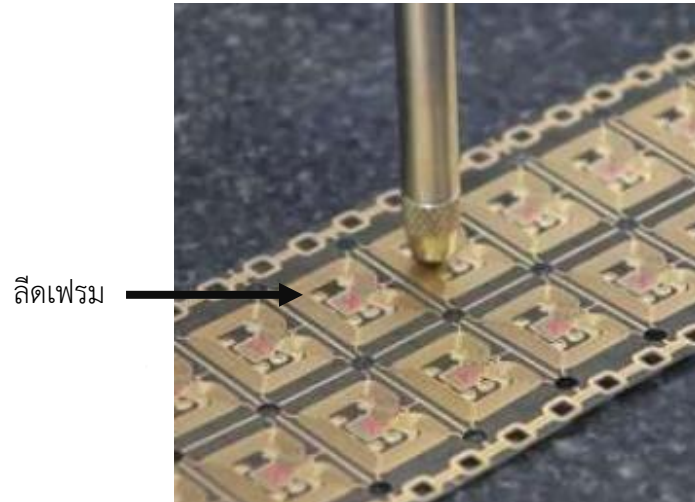


ภาพที่ 3.2 โครงสร้างผลิตภัณฑ์คลิปทองแดงชนิด DrMOS

3.1.1 องค์ประกอบหลักของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง

3.1.1.1 ลีดเฟรม (Lead frame)

เป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ในการนำสัญญาณจากตายออกไปยังภายนอกผลิตภัณฑ์

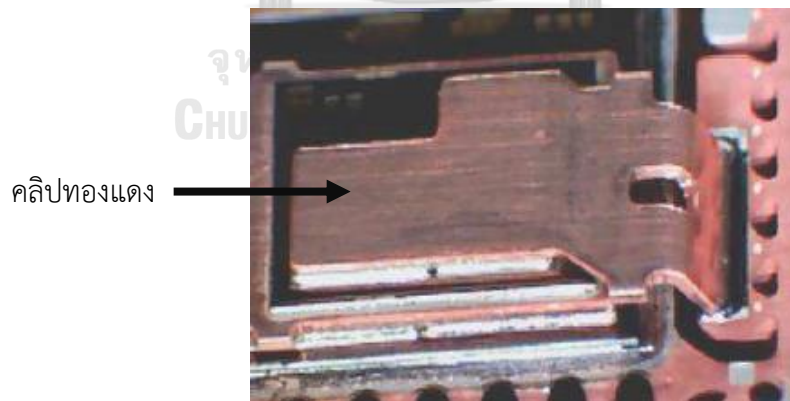


ภาพที่ 3.3 ลีดเฟรม (Lead frame)

ที่มา : รูปภาพจากบริษัทกรณีสึกษา

3.1.1.2 คลิปทองแดง (Copper clip)

เป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ในการนำสัญญาณจากตายลงไปสู่ขาลีดบนลีดเฟรม

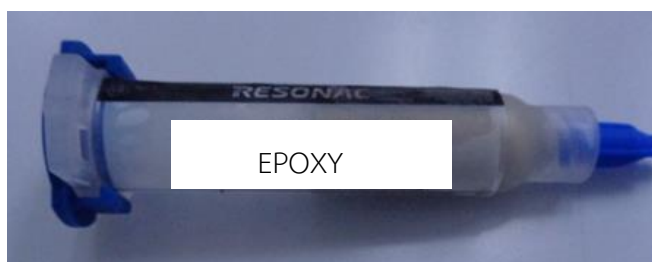


ภาพที่ 3.4 คลิปทองแดง (Copper clip)

ที่มา : รูปภาพจากบริษัทกรณีสึกษา

3.1.1.3 อีพ็อกซี (Epoxy)

เป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่คล้ายกาว ใช้ในการติดตายเข้ากับลีดเฟรม และติดคลิปทองแดงลงบนตาย ซึ่งอีพ็อกซีจะมีทั้งชนิดที่เป็น Dispense, Screen print และ DAF ซึ่งจะถูกเลือกใช้ตามความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท



ภาพที่ 3.5 อีพ็อกซี (Epoxy)

ที่มา : รูปภาพจากบริษัทกรณีสึกษา

3.1.1.4 ลวด (Wire)

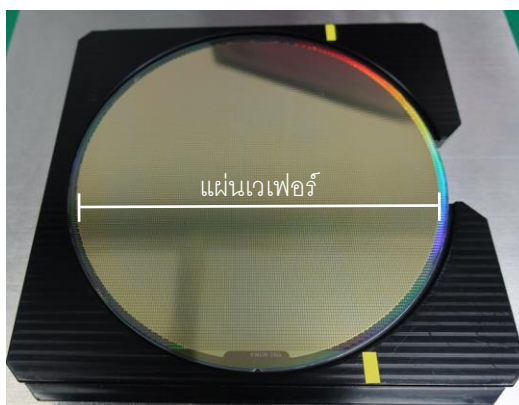
เป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ในการนำสัญญาณจากตายลงไปสู่ขาลีดบนลีดเฟรม

3.1.1.5 คอมปาวด์ (Compound)

เป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ในการปกคลุมชิ้นส่วนทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันเศษสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่วงจร

3.1.1.6 แผ่นเวเฟอร์ (Wafer)

เป็นชิ้นส่วนที่ต้องผ่านการตัดเพื่อให้ได้ชิ้นส่วนของตายออกมา แล้วนำชิ้นส่วนของตายนั้นติดตั้งลงบนลีดเฟรมหรือบนตายด้วยกันตามรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่กำหนด



ภาพที่ 3.6 แผ่นเวเฟอร์ (Wafer)

ที่มา : รูปภาพจากบริษัทกรณีสึกษา

3.1.2 องค์ประกอบราคาต้นทุนของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง

จากการศึกษาราคาต้นทุนของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงต่อ 1 หน่วยยูนิต พบว่าราคาต้นทุนประกอบไปด้วย 7 รายการ ดังนี้

1) ค่าวัตถุดิบทางตรง (Direct Material cost)

วัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต เป็นวัตถุดิบที่หากไม่มีจะไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้ เช่น ลีดเฟรม คลิปทองแดง ลวด คอมปาวด์ อีพ็อกซี เวเฟอร์ เป็นต้น

2) วัตถุดิบทางอ้อม (Indirect Materials)

วัตถุดิบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์โดยทางอ้อมกับการผลิตสินค้า แต่ไม่ใช่วัตถุดิบหลัก หรือวัตถุดิบส่วนใหญ่ที่ใช้การผลิต เช่น กล่องบรรจุภัณฑ์ ภาชนะใส่ยูนิต เป็นต้น

3) ค่าแรง (Labor)

เป็นค่าจ้างหรือผลตอบแทนที่จ่ายให้กับลูกจ้างหรือพนักงานที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสินค้าโดยตรง

4) ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Overhead Costs: VOH)

เป็นค่าใช้จ่ายที่ผันแปรเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณของการผลิต ซึ่งถ้ายิ่งผลิตสินค้ามากเท่าใด ค่าใช้จ่ายจากค่าใช้จ่ายผันแปรของก็จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น

5) ค่าใช้จ่ายคงที่ (Factory Overhead)

เป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณการผลิต เป็นค่าคงที่ที่ต้องจ่ายแม้ปริมาณการผลิตจะลดน้อยลงก็ตาม

6) ค่าไฟ (Machine Electricity)

7) ค่าเครื่องจักร (Machine Depreciation)

จากข้อมูลในตารางที่ 3.1 จะพบว่าค่าวัตถุดิบทางตรงมีสัดส่วนที่มากที่สุดในการราคาต้นทุนของผลิตภัณฑ์ และเมื่อทำการพิจารณาลึกลงไปในส่วนของวัตถุดิบทางตรง พบว่าคลิปทองแดงเป็นวัตถุดิบที่มีสัดส่วนราคาที่สูงที่สุดในรายการวัตถุดิบที่ใช้ทั้งหมด

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนต้นทุนของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงต่อ 1 ยูนิท (เอ็ชคลิป)

รายการ	% สัดส่วนค่าใช้จ่าย ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เอ็ชคลิป
ค่าวัตถุดิบทางตรง	56%
วัตถุดิบทางอ้อม	7%
ค่าแรง	14%
ค่าโสหุ้ยผันแปร	5%
ค่าโสหุ้ยคงที่	2%
ค่าไฟ	4%
ค่าเครื่องจักร	9%
รวมทั้งสิ้น	100%

3.2 ประเภทของคลิปทองแดงในท้องตลาด

จากการศึกษาประเภทของคลิปทองแดงในท้องตลาดร่วมกับทางทีมฝ่ายจัดซื้อของบริษัท ทรณีศึกษาพบว่า มีคลิปทองแดง 2 ประเภท ได้แก่ เอ็ชคลิปและแสตมป์คลิป ซึ่งคลิปประเภทเอ็ชคลิปเป็นประเภทที่ทางบริษัททรณีศึกษาใช้อยู่ในปัจจุบัน

3.2.1 เอ็ชคลิป (Etch Clip)

เป็นคลิปทองแดงที่ขึ้นรูปจากการใช้สารเคมีในการกัดกร่อนแผ่นทองแดงเพื่อขึ้นรูป ซึ่งคลิปทองแดงประเภทนี้จะมีราคาที่สูงกว่าคลิปทองแดงประเภทแสตมป์คลิปประมาณ 4 เท่า เนื่องจากต้นทุนผันแปรในส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการขึ้นรูป แต่คลิปทองแดงประเภทเอ็ชคลิปจะมีต้นทุนต่ำในการสั่งซื้อที่น้อยกว่า และมีช่วงระยะเวลานำที่ยาวนานกว่าคลิปทองแดงประเภทแสตมป์คลิป

3.2.2 แสตมป์คลิป (Stamp Clip)

เป็นคลิปทองแดงที่ขึ้นรูปจากการใช้เครื่องมือ (Tooling) ในการแสตมป์ลงบนแผ่นทองแดงเพื่อขึ้นรูป ซึ่งคลิปทองแดงประเภทนี้จะมีราคาที่ต่ำกว่าคลิปทองแดงประเภทเอ็ชคลิปประมาณ 4 เท่า เนื่องจากไม่มีต้นทุนผันแปรในส่วนของสารเคมีที่ใช้ในการขึ้นรูป แต่จะมีในเรื่องของต้นทุนคงที่ในส่วนของเครื่องมือที่ใช้ อย่างไรก็ตามหากต้องการใช้คลิปประเภทนี้ อาจต้องมีการศึกษาจัดค้มนทุนในการปรับเปลี่ยนอีกครั้ง เนื่องจากคลิปทองแดงประเภทแสตมป์คลิปจะมีต้นทุนต่ำในการสั่งซื้อที่มากกว่าประเภทเอ็ชคลิป รวมถึงมีช่วงระยะเวลานำที่น้อยกว่าคลิปทองแดงประเภทเอ็ชคลิป

ตารางที่ 3.2 ความแตกต่างระหว่างเอชคลิปกับแสดมภ์คลิป

รายละเอียดวัตถุดิบ	หน่วย	เอชคลิป	แสดมภ์คลิป
วิธีการขึ้นรูป	-	ใช้สารเคมีในการกัดแผ่นทองแดงเพื่อขึ้นรูป	ใช้เครื่องมือในการแสดมภ์ลงบนแผ่นทองแดงเพื่อขึ้นรูป
ราคาต่อหน่วย (Cost per unit)	ดอลลาร์สหรัฐต่อยูนิต	แพงกว่า 4 เท่าของราคาแสดมภ์คลิป	ถูกกว่า 4 เท่าของเอชคลิป
ขั้นต่ำในการสั่งซื้อ (Minimum Order Quantity)	ยูนิต	500 – 1,000	3,000
เกรดของทองแดง	-	C194	C194
เวลานำ (Leadtime)	สัปดาห์	20	4-6

3.3 เกณฑ์การตรวจรับคลิปทองแดงทั้งประเภทเอชคลิปและแสดมภ์คลิป

การตรวจรับสินค้าถือว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นขั้นตอนในการตรวจสอบความถูกต้องของสินค้า ทั้งจำนวน ความสมบูรณ์ของสินค้า และคุณภาพของสินค้าว่าตรงตามเกณฑ์ข้อกำหนดที่ตกลงกันไว้กับทางซัพพลายเออร์หรือไม่

จากการศึกษาบริษัทตัวอย่าง พบว่าเมื่อทางบริษัทได้รับคลิปทองแดงมาจากทางซัพพลายเออร์ ทางคลังสินค้าจะทำตรวจรับสินค้าโดยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลักดังนี้

3.3.1 การตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นของสินค้าที่ได้รับ

ทำการตรวจสอบและกรอกเอกสารเกี่ยวกับข้อมูลเบื้องต้นของสินค้าดังรายการด้านล่างนี้ และสามารถดูตัวอย่างเอกสารได้ในภาพที่ 3.6

3.3.1.1 รายละเอียดของวัตถุดิบ (Material Description)

3.3.1.2 ประเภทของวัตถุดิบ (Material type)

3.3.1.3 เลขเอกสารการสั่งซื้อ (PO number)

3.3.1.4 เลขสต็อกสินค้า (Stock number)

3.3.1.5 จำนวน (Quantity)

3.3.1.6 หมายเลขใบแจ้งหนี้ (Invoice number)

3.3.1.7 หมายเลขล็อต (Lot no.)

3.3.1.8 เลขที่ภาพวาด (Drawing no.)

3.3.1.9 วันที่ผลิต (Manufacturing date)

3.3.1.10 วันที่หมดอายุ (Expiry Date)

Supplier name

CERTIFICATION OF CONFORMANCE

To. :

Attn :

Date :

Materials indicated below have been manufactured in JMJ Korea Co., LTD according to your specification and have been inspected by our Outgoing Quality Assurance to ensure compliance to your requirements.

Material Description (Title)	:	_____
Material type / Rev.	:	_____
PO NUMBER	:	_____
STOCK NUMBER	:	_____
Quantity	:	_____
Invoice number	:	_____
Lot no.	:	_____
Drawing no. / Rev.	:	_____
Manufacturing date	:	_____
Expiry Date (with Vacuum pack)	:	_____
Remarks	:	_____

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างเอกสารที่ใช้ตัวรับสินค้าเบื้องต้น

ที่มา: จากบริษัทกรณีศึกษา

3.3.2 ตรวจสอบหีบห่อที่ใช้บรรจุสินค้า

จากนั้นทางคลังสินค้าจะเริ่มตรวจสอบจากหีบห่อที่ใช้บรรจุสินค้ามา โดยหีบห่อต้องมีลักษณะดังต่อไปนี้

3.3.2.1 คลิปทองแดงจะต้องถูกบรรจุอยู่ในรีล (Reel) และมีถุงดูความชื้นจำนวน 4 ถุง พร้อมกับโดนปิดทับอีกครั้งแบบสุญญากาศ



ภาพที่ 3.8 คลิปทองแดงที่ถูกส่งมาจากซัพพลายเออร์

ที่มา: รูปภาพจากบริษัทกรณีสึกษา

3.3.2.2 คลิปทองแดงจะต้องถูกล้อมรอบด้วยกระดาษรองและมีพลาสติกป้องกันรอบนอก



ภาพที่ 3.9 คลิปทองแดงที่มีพลาสติกและกระดาษรองรอบนอก

ที่มา: รูปภาพจากบริษัทกรณีสึกษา

3.3.3 เกณฑ์ในการตรวจสอบทางสายตา

เกณฑ์ในการตรวจสอบทางสายตา มีรายการดังตารางที่ 3.3 ดังนี้
 ตารางที่ 3.3 เกณฑ์ในการตรวจสอบทางสายตา

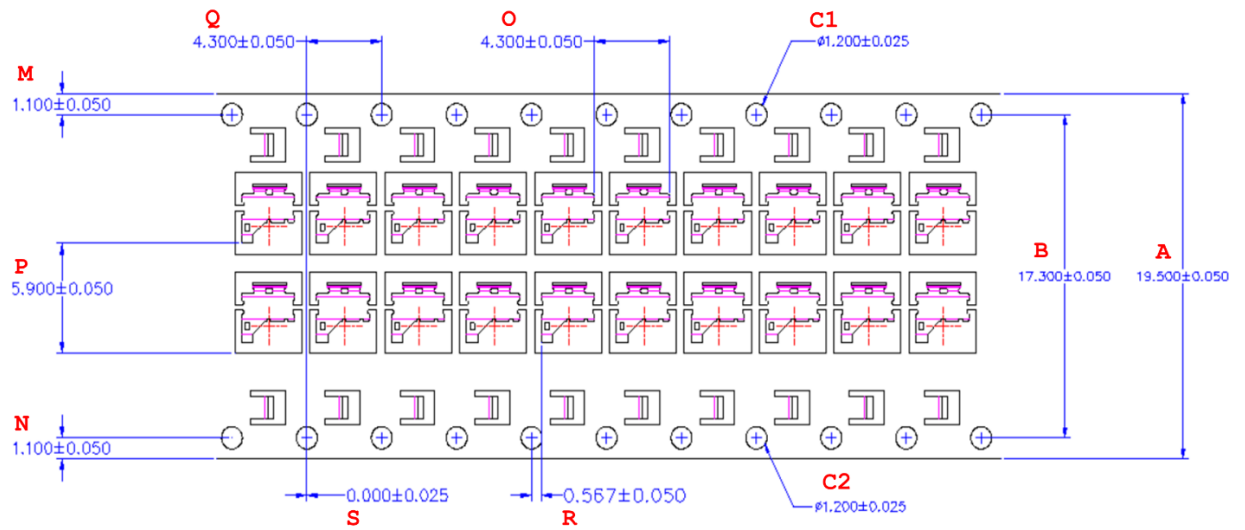
ข้อบกพร่อง (Visual failure)	การควบคุมสเปค (Specification control)	พื้นที่ควบคุม (Control area)
ออกซิเดชัน/เปลี่ยนสี (Oxidation/Discolor)	ไม่อนุญาตให้เกิด	ทุกพื้นที่ (Any area)
รอยขีดข่วน (Scratch)	ไม่อนุญาตให้เกิดรอยขีดข่วน ที่ลึกถึงทองแดง	บริเวณพื้นที่ใช้งาน (Active area)
สิ่งสกปรก (Contamination)	ไม่อนุญาตให้เกิด	บริเวณพื้นที่ใช้งาน (Active area)
คราบ (Stain)	ไม่อนุญาตให้เกิด	บริเวณพื้นที่ใช้งาน (Active area)
สิ่งแปลกปลอม (Foreign material)	ไม่อนุญาตให้เกิด	บริเวณพื้นที่ใช้งาน (Active area)
สิ่งแปลกปลอมที่ไม่สามารถเอา ออกได้ (Un-removable foreign material)	ไม่อนุญาตให้เกิด	ทุกพื้นที่ (Any area)
รอยกด (Dent)	ไม่อนุญาตหากความลึกถึง ทองแดง	บริเวณพื้นที่ใช้งาน (Active area)
งอ, โค้ง, โกง (Bent)	ไม่อนุญาตหากระยะที่เกิด เกินค่าสเปค	ทุกพื้นที่ (Any area)
ผิดรูปร่าง (Deformation)	ไม่อนุญาตหากขนาดที่เกิดมี ค่าเกินจากกำหนดในตรออิ่ง	ทุกพื้นที่ (Any area)
การขึ้นรูปที่ไม่สมบูรณ์ (Under or over etch/stamp)	ไม่อนุญาตหากขนาดที่เกิดมี ค่าเกินจากกำหนดในตรออิ่ง	บริเวณพื้นที่ใช้งาน (Active area)

3.3.4 เกณฑ์ในการตรวจสอบโดยการวัดขนาดของสินค้า

คลิปทองแดงประเภทเอ็ชคลิปและแอสแตมป์คลิปจะมีช่วงข้อมูลจำเพาะที่ใช้ในการตรวจรับที่แตกต่างกันดังนี้

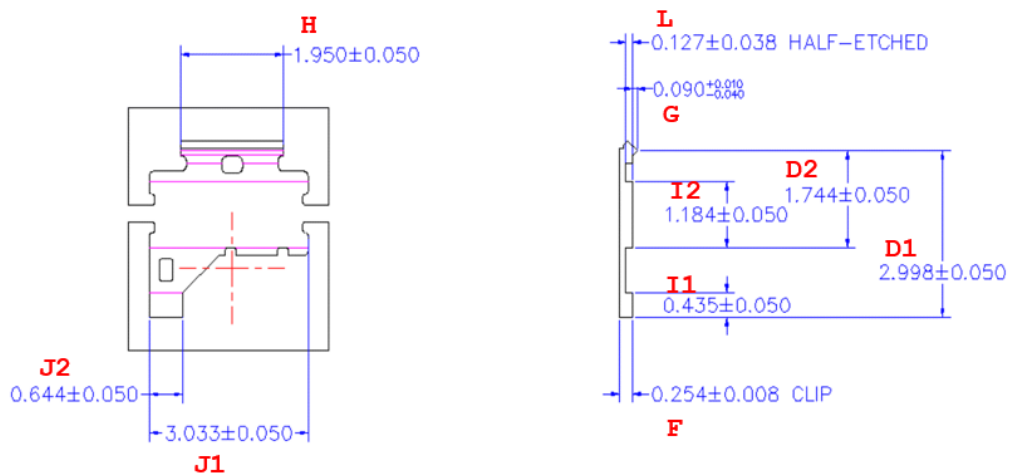
3.3.3.1 เกณฑ์ในการตรวจสอบคลิปทองแดงประเภทแอสแตมป์คลิป

จากการศึกษาพบว่าทางคลังสินค้าจะทำการวัดขนาดของคลิปทองแดงประเภทแอสแตมป์คลิปทั้งหมด 21 ตำแหน่งดังภาพที่ 3.10 และ 3.11 และตามเกณฑ์ดังตารางที่ 3.4



ภาพที่ 3.10 ตำแหน่งการตรวจรับคลิปทองแดงประเภทแอสแตมป์คลิปบนม้วน

ที่มา: รูปภาพจากบริษัทกรณีศึกษา



ภาพที่ 3.11 ตำแหน่งในการตรวจรับคลิปทองแดงประเภทเอ็ชคลิป

ด้านบน (ภาพซ้าย) ด้านข้าง (ภาพขวา)

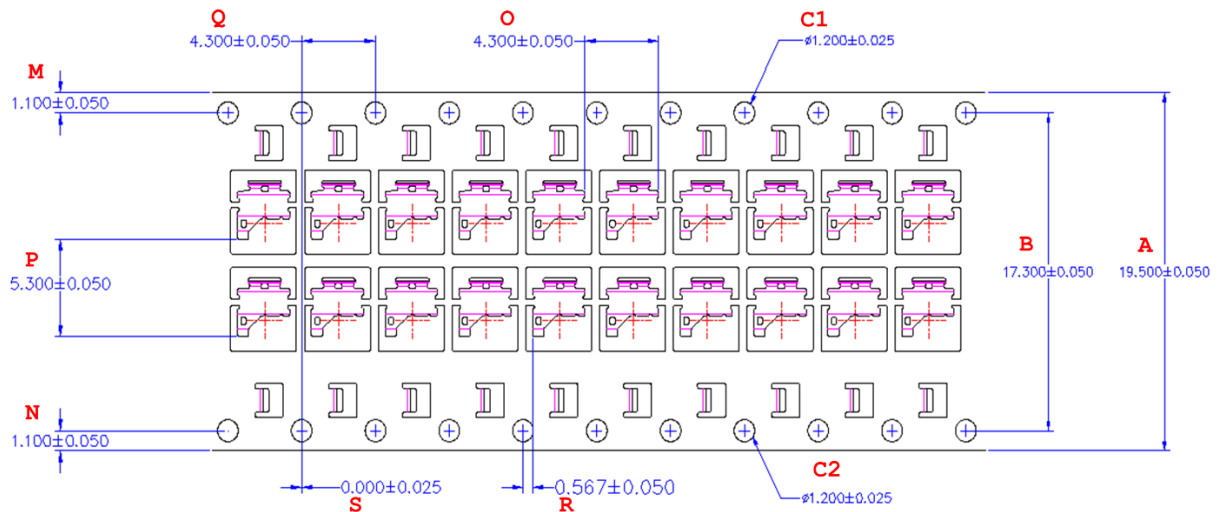
ที่มา: รูปภาพจากบริษัทกรณีศึกษา

ตารางที่ 3.4 เกณฑ์ในการตรวจสอบคลิปทองแดงประเภทแสดมภ์คลิป

NO.	INSPECTION ITEM				SPEC. CRITERIA RANGE	
					LSL	USL
1	A	19.500	±	0.05	19.450	19.550
2	B	17.300	±	0.05	17.250	17.350
3	C1	1.200	±	0.025	1.175	1.225
4	C2	1.200	±	0.025	1.175	1.225
5	D1	2.998	±	0.05	2.948	3.048
6	D2	1.744	±	0.05	1.694	1.794
7	F	0.254	±	0.008	0.246	0.262
8	G	0.090	+ -	0.01 0.04	0.050	0.100
9	H	1.950	±	0.05	1.900	2.000
10	I1	0.435	±	0.05	0.385	0.485
11	I2	1.184	±	0.05	1.134	1.234
12	J1	3.033	±	0.05	2.983	3.083
13	J2	0.644	±	0.05	0.594	0.694
14	L	0.127	±	0.03	0.097	0.157
15	M	1.100	±	0.05	1.050	1.150
16	N	1.100	±	0.05	1.050	1.150
17	O	4.300	±	0.05	4.250	4.350
18	P	5.300	±	0.05	5.250	5.350
19	Q	4.300	±	0.05	4.250	4.350
20	R	0.567	±	0.05	0.517	0.617
21	S	0.000	±	0.025	-0.025	0.025

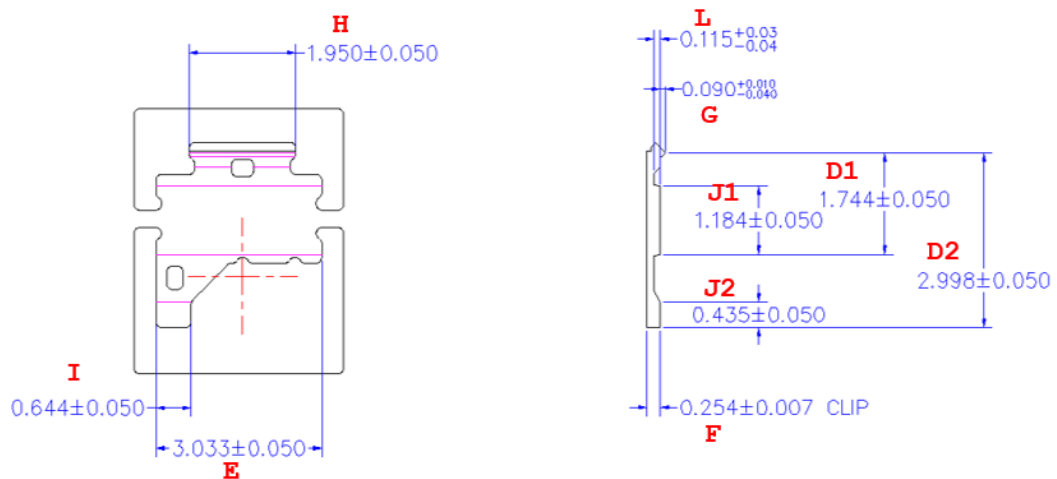
3.3.3.1 เกณฑ์ในการตรวจสอบคลิปทองแดงประเภทเอ็ชคลิป

จากการศึกษาพบว่าทางคลังสินค้าจะทำการวัดขนาดของคลิปทองแดงประเภทเอ็ชคลิปทั้งหมด 21 ตำแหน่งดังภาพที่ 3.12 และ 3.13 และตามเกณฑ์ดังตารางที่ 3.5



ภาพที่ 3.12 ตำแหน่งการตรวจรับคลิปทองแดงประเภทเอ็ชคลิปบนม้วน

ที่มา: รูปภาพจากบริษัทกรณีศึกษา



ภาพที่ 3.13 ตำแหน่งในการตรวจรับคลิปทองแดงประเภทเอ็ชคลิป

ด้านบน (ภาพซ้าย) ด้านข้าง (ภาพขวา)

ที่มา: รูปภาพจากบริษัทกรณีศึกษา

ตารางที่ 3.5 เกณฑ์ในการตรวจสอบคลิปทองแดงประเภทเอ็ชคลิป

NO.	INSPECTION ITEM				SPEC. CRITERIA RANGE	
					LSL	USL
1	A	19.500	±	0.05	19.450	19.550
2	B	17.300	±	0.05	17.250	17.350
3	C1	1.200	±	0.025	1.175	1.225
4	C2	1.200	±	0.025	1.175	1.225
5	D1	1.744	±	0.05	1.694	1.794
6	D2	2.998	±	0.05	2.948	3.048
7	E	3.033	±	0.05	2.983	3.083
8	F	0.254	±	0.007	0.247	0.261
9	G	0.090	+ -	0.01 0.04	0.050	0.100
10	H	1.950	±	0.05	1.900	2.000
11	I	0.644	±	0.05	0.594	0.694
12	J1	1.184	±	0.05	1.134	1.234
13	J2	0.435	±	0.05	0.385	0.485
14	L	0.115	±	+0.03 -0.04	0.075	0.145
15	M	1.100	±	0.05	1.050	1.150
16	N	1.100	±	0.05	1.050	1.150
17	O	4.300	±	0.05	4.250	4.350
18	P	5.300	±	0.05	5.250	5.350
19	Q	4.300	±	0.05	4.250	4.350
20	R	0.567	±	0.05	0.517	0.617
21	S	0.000	±	0.025	-0.025	0.025

3.4 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงชนิด DrMOS

3.4.1 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงชนิด DrMOS

กระบวนการหลักในการผลิตผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงชนิด DrMOS มีทั้งหมด 15 กระบวนการ ได้แก่

3.4.1.1 Transfer-In-Wafer

กระบวนการในการนำเวเฟอร์เข้าสู่กระบวนการผลิตและทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแผ่นเวเฟอร์ พร้อมกับตรวจสอบความถูกต้องของเอกสารประกอบการผลิตก่อนเข้าสู่กระบวนการถัดไป

3.4.1.2 Back-Grind

ขั้นตอนการลดความหนาของเวเฟอร์ลงโดยการใช้อลูกรายด์หรือแผ่นขัดผิวละเอียด (Grind wheel or Polishing pad) หลังทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของแผ่นเวเฟอร์เรียบร้อยแล้ว ซึ่งก่อนการรันงานขั้นตอนนี้จะต้องมีการตรวจสอบความหนาในเอกสารความต้องการของลูกค้าเปรียบเทียบกับความหนาของเวเฟอร์จริงก่อนทุกครั้ง รวมถึงความถูกต้องโดยรวมของแผ่นเวเฟอร์กับเอกสารแนบ หากพบความหนาไม่ตรงกับเอกสาร ต้องแจ้งทางเอ็นจีเนียร์เพื่อทำการยืนยันอีกครั้ง

3.4.1.3 SAW

ขั้นตอนการแยกตัวตายโดยการใส่ใบเลื่อย (Blade) ตัดลงบนเวเฟอร์ตามขนาดตายที่กำหนด โดยการเลือกชนิดของใบเลื่อยจะขึ้นอยู่กับชนิดของเวเฟอร์ที่นำมาใช้

3.4.1.4 Solder Screen

ขั้นตอนการทำฮีฟ็อกซีที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานคล้ายกับกาวลงบนลีดเฟรมเพื่อเตรียมพร้อมในการติดตาย หรือทาลงบนคลิปทองแดงเพื่อทำการติดทับลงบนตัวตาย

3.4.1.5 Die attach die 1 and 2

ขั้นตอนในการนำตาย 1 (Low side MOSFET) และตาย 2 (High side MOSFET) ติดลงบนลีดเฟรมโดยใช้ฮีฟ็อกซีเป็นตัวยึดติดตาย

3.4.1.6 Clip attach

ขั้นตอนการติดคลิปทองแดงลงบนตาย 1 และตาย 2 โดยทำการยึดด้วยฮีฟ็อกซี (Epoxy)

3.4.1.7 Die attach die3

ขั้นตอนการติดตาย 3 หรือที่เรียกว่า Driver IC ลงบนลีดเฟรมโดยทำการยึดด้วยฮีฟ็อกซี (Epoxy)

3.4.1.8 Snap cure

ขั้นตอนการอบฮีทช็อกซีให้แห้งหลังจากที่ทำการติดคลิปและตายเรียบร้อยแล้ว

3.4.1.9 Plasma Cleaning

ขั้นตอนการทำความสะอาดชิ้นงานด้วยน้ำพลาสมา เป็นการเตรียมความพร้อมก่อนทำการเชื่อมลวด เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกที่อาจจะส่งผลให้การเชื่อมลวดเกิดปัญหาได้

3.4.1.10 Wire bond

ขั้นตอนการเชื่อมลวด เป็นการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าจากแพดหน้าตาย (PAD) ลงไปยังขาสีดบน ลีดเฟรม

3.4.1.11 Mold

ขั้นตอนการฉีดคอมปาวด์ (Compound) เพื่อปกคลุมชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมต่อวงจร เรียบร้อยแล้ว

3.4.1.12 Package cure

ขั้นตอนของการนำชิ้นงานที่ทำการโมลด์ (Mold) เรียบร้อยแล้วไปทำการอบเพื่อไล่ความชื้น

3.4.1.13 Laser Top Mark

ขั้นตอนการมาร์คตัวอักษรและบาร์โค้ด รวมถึงเครื่องหมายทางการค้าลงบนชิ้นงานด้วย เลเซอร์

3.4.1.14 Singulation

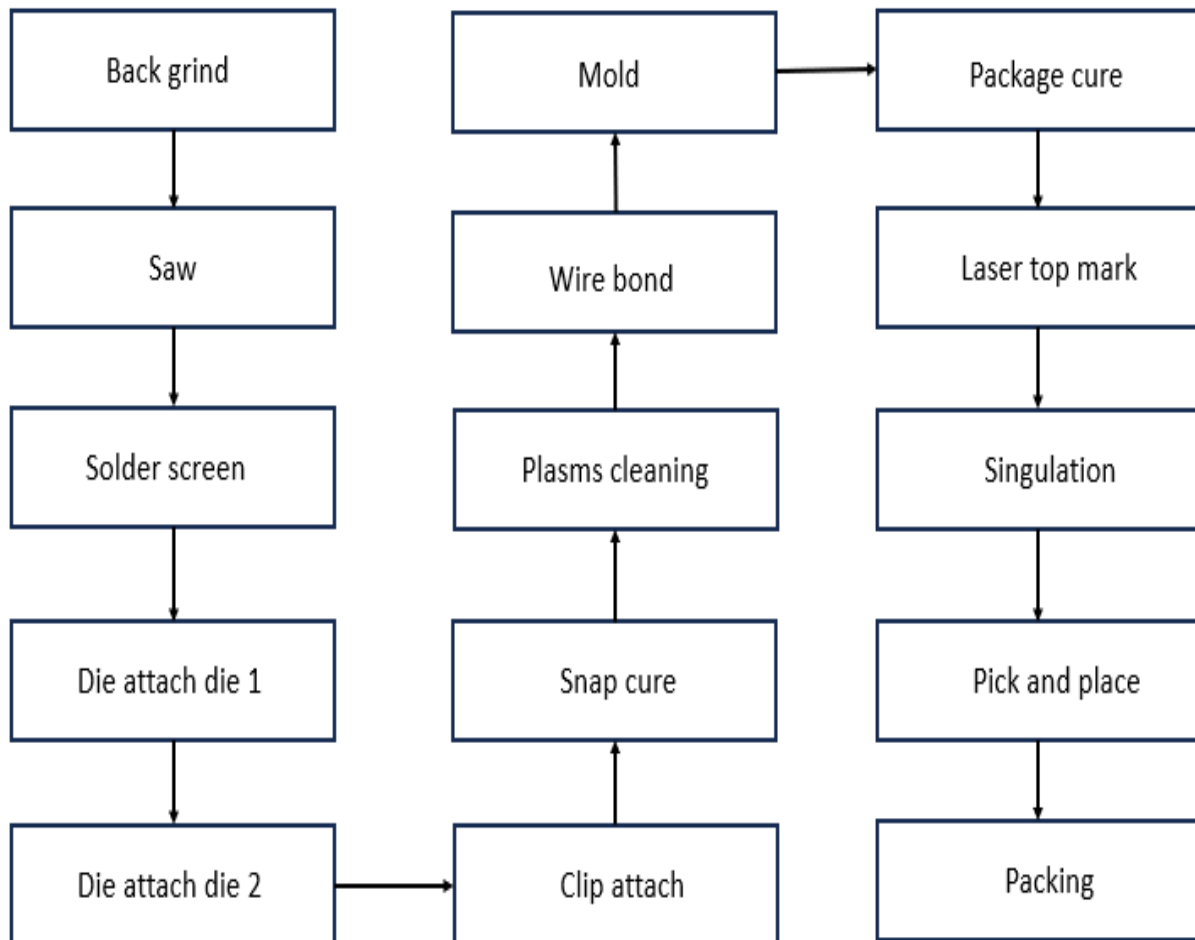
ขั้นตอนการตัดแยกส่วนของชิ้นงานบนสตริปออกเป็นยูนิต

3.4.1.15 Pick and place

ขั้นตอนการหยิบชิ้นงานและทำการวางเรียงงานลงบนถาด, หลอด หรือกระป๋อง ตามความต้องการของลูกค้า

3.4.1.16 Packing

ขั้นตอนการทำฉลากและบรรจุชิ้นงานลงในกล่อง เพื่อเตรียมจัดส่ง



ภาพที่ 3.14 กระบวนการโดยรวมในการผลิตแผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.4.2 ขั้นตอนการติดคลิปทองแดง

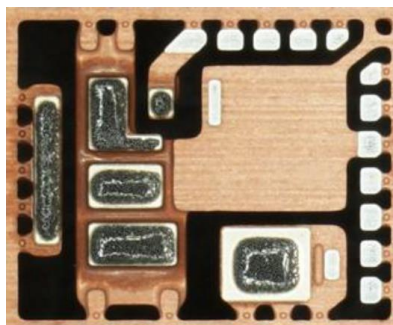
ในการปรับเปลี่ยนประเภทของคลิปในผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง ขั้นตอนที่ต้องทำการศึกษาเป็นพิเศษ เนื่องจากมีผลกระทบโดยตรงจากการเปลี่ยนแปลงในครั้งนี้ก็คือ ขั้นตอนของการติดคลิป ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษารายละเอียดของขั้นตอนและพารามิเตอร์ในการติดคลิป ดังนี้

3.4.2.1 ขั้นตอนการติดคลิปทองแดงในผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง

จากการศึกษากระบวนการติดคลิปทองแดงโดยละเอียดพบว่าประกอบไปด้วย 7 ขั้นตอนดังนี้

3.4.2.1.1 Screen print

ขั้นตอนนี้จะทำการปาดอีพ็อกซีที่เป็นชนิด Screen print ลงบนลีดเฟรม

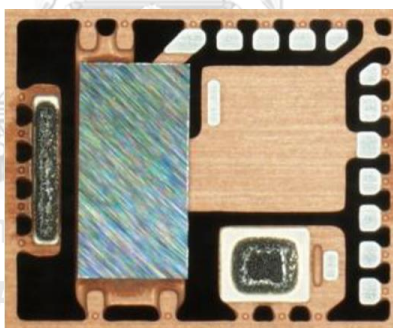


ภาพที่ 3.15 อีพ็อกซีที่ชนิด Screen print ที่ถูกทาลงบนลีดเฟรม

ที่มา: รูปภาพจากบริษัทกรณศึกษา

3.4.2.1.2 Die attach die 1

นำสายตัวที่ 1 ติดทับลงบนอีพ็อกซีที่ตำแหน่งที่ 1

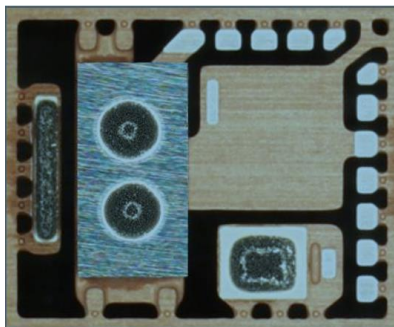


ภาพที่ 3.16 ดายตัวที่ 1 ติดทับลงบนอีพ็อกซีที่ตำแหน่งที่ 1

ที่มา: รูปภาพจากบริษัทกรณศึกษา

3.4.2.1.3 Dispense on die 1

นำอีพ็อกซีชนิด Dispense หยดลงบนหน้าตายตัวที่ 1

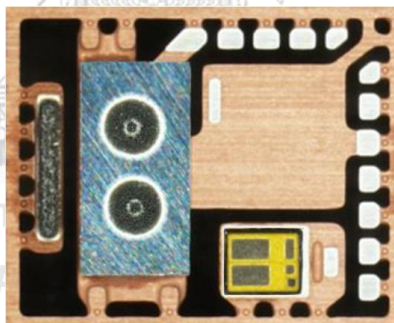


ภาพที่ 3.17 การหยดอีพ็อกซีชนิด Dispense ลงบนหน้าตายตัวที่ 1

ที่มา: รูปภาพจากบริษัทกรณศึกษา

3.4.2.1.4 Die attach die 2

นำตายตัวที่ 2 ติดทับลงบนอีพ็อกซีที่ตำแหน่งที่ 2

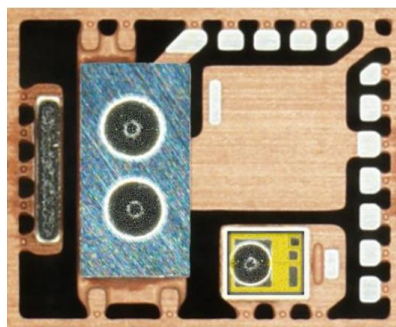


ภาพที่ 3.18 ตายตัวที่ 2 ติดทับลงบนอีพ็อกซีที่ตำแหน่งที่ 2

ที่มา: รูปภาพจากบริษัทกรณศึกษา

3.4.2.1.5 Dispense on die 2

นำอีพ็อกซีชนิด Dispense หยดลงบนหน้าตายตัวที่ 2

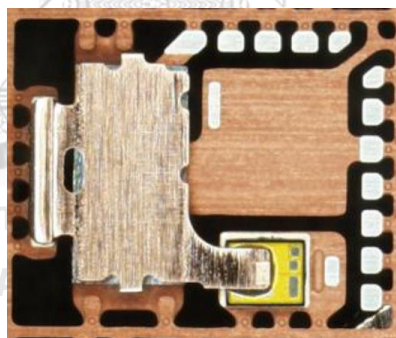


ภาพที่ 3.19 การหยดอีพ็อกซีชนิด Dispense ลงบนหน้าตายตัวที่ 2

ที่มา: รูปภาพจากบริษัทกรณศึกษา

3.4.2.1.6 Clip attach

นำคลิปทองแดงติดทับลงบนอีพ็อกซีชนิด Dispense ทั้งตำแหน่งที่ 3 และ 4

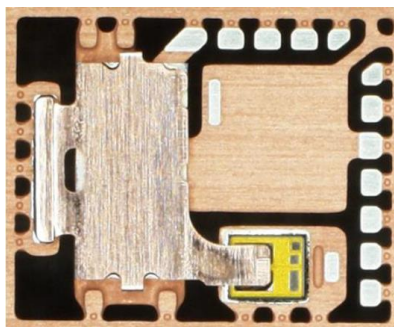


ภาพที่ 3.20 การนำคลิปทองแดงติดทับลงบนอีพ็อกซีชนิด Dispense

ที่มา: รูปภาพจากบริษัทกรณศึกษา

3.4.2.1.7 Reflow

เป็นขั้นตอนที่ทำให้ฮีฟ็อกซีเกิดการเซ็ตตัวและองค์ประกอบยึดติดเข้าด้วยกันได้ดีมากขึ้น



ภาพที่ 3.21 ฮีฟ็อกซีเกิดการเซ็ตตัว
ที่มา: รูปภาพจากบริษัททรนศึกษา

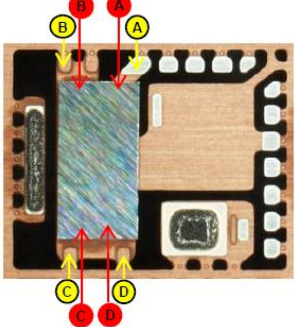
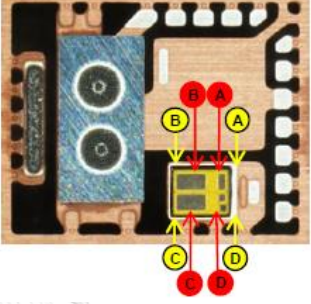
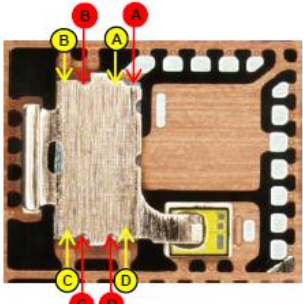
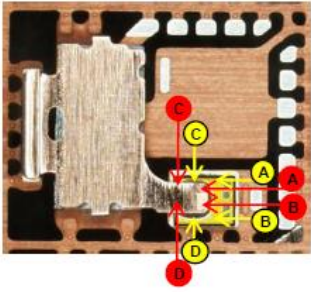
3.4.3 เกณฑ์การตรวจสอบหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการติดคลิปทองแดง

การตรวจสอบหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการติดคลิปทองแดง จะทำการวัดค่าความหนาของฮีฟ็อกซีใต้คลิป (Bond line thickness) ตำแหน่งในการวางตาย (Die placement) หลังการอบ (Reflow) และทำการช่องว่างที่เกิดขึ้นในระหว่างตายถึงคลิปทองแดง

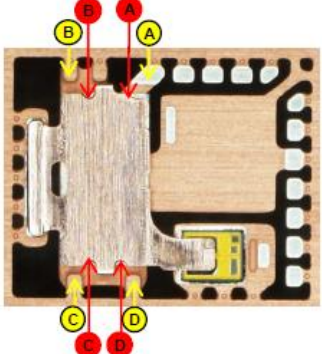
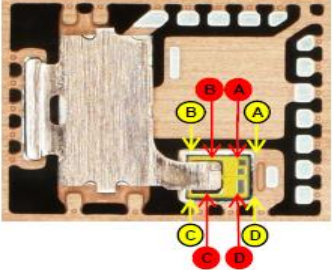
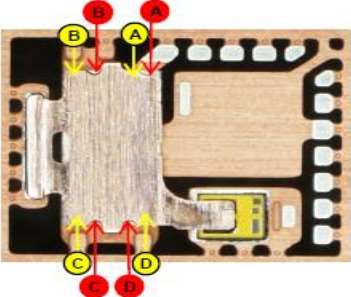
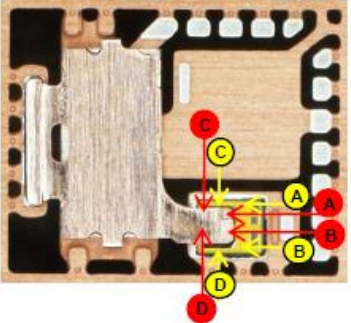
ตารางที่ 3.6 การตรวจสอบหลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการติดคลิปทองแดง

รายการ (Item)	จำนวนค่าที่เก็บ	Lower Specification Limit (LSL)	Upper Specification Limit (USL)	
Dry bond line thickness under die 1	ขนาดตัวอย่าง อ้างอิงตาม ปริมาณงานที่ ผลิต	7.62 ไมโครเมตร	25.4 ไมโครเมตร	
Dry bond line thickness under die 2		7.62 ไมโครเมตร	25.4 ไมโครเมตร	
Dry bond line thickness on die 1 to clip		12.7 ไมโครเมตร	38.1 ไมโครเมตร	
Dry bond line thickness on die 2 to clip		12.7 ไมโครเมตร	38.1 ไมโครเมตร	
Dry die placement under die 1		-50.8 ไมโครเมตร	50.8 ไมโครเมตร	
Dry die placement under die 2		-63.5 ไมโครเมตร	63.5 ไมโครเมตร	
Dry die placement on die 1 to clip		-50.8 ไมโครเมตร	50.8 ไมโครเมตร	
Dry die placement on die 2 to clip		-63.5 ไมโครเมตร	63.5 ไมโครเมตร	
%Void on die 1 to clip			ไม่เกิน 20%	
%Void on die 2 to clip			ไม่เกิน 20%	

ตารางที่ 3.7 ตำแหน่งในการวัดค่าตำแหน่งในการวางตายก่อนการอบ

รายการ (Item)	ตัวอย่างแสดงตำแหน่งการวัด
<p>Wet die placement on die 1</p> <p>● Reference point</p> <p>● Measurement point</p>	
<p>Wet die placement on die 2</p> <p>● Reference point</p> <p>● Measurement point</p>	
<p>Wet bond line thickness on die 1 to clip</p> <p>● Reference point</p> <p>● Measurement point</p>	
<p>Wet bond line thickness on die 2 to clip</p> <p>● Reference point</p> <p>● Measurement point</p>	

ตารางที่ 3.8 ตำแหน่งในการวัดค่าตำแหน่งในการวางตายหลังการอบ

รายการ (Item)	ตัวอย่างแสดงตำแหน่งการวัด
Dry die placement on die 1 ● Reference point ● Measurement point	
Dry die placement on die 2 ● Reference point ● Measurement point	
Dry bond line thickness on die 1 to clip ● Reference point ● Measurement point	
Dry bond line thickness on die 2 to clip ● Reference point ● Measurement point	

3.5 การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมเบื้องต้น

3.5.1 กระบวนการที่มีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงคลิปทองแดง

ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นของแต่ละกระบวนการ เพื่อประเมินกระบวนการที่ได้รับผลกระทบที่สุดในการผลิตแผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง

การประเมินความเสี่ยง เป็นขั้นตอนในการระบุกระบวนการในการผลิตทั้งหมดออกมา แล้วทำการประเมินโดยวิศวกรที่เกี่ยวข้องว่าแต่ละกระบวนการผลิตว่าแต่ละกระบวนการนั้นมีความเสี่ยงมากหรือน้อยเพียงใด แล้วต้องการกำจัดหรือลดความเสี่ยงนั้นอย่างไรบ้าง ซึ่งจะใช้แผนผังประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment Matrix) ดังนี้

ตารางที่ 3.9 แผนผังประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment Matrix)

แผนผังประเมินความเสี่ยง			ความเป็นไปได้/โอกาสที่จะเกิด					สรุประดับความเสี่ยง
			น้อยมาก	น้อย	ปานกลาง	สูง	สูงมาก	
			1	2	3	4	5	
ผลกระทบ/ความรุนแรง	สูงมาก	5	5	10	15	20	25	
	สูง	4	4	8	12	16	20	
	ปานกลาง	3	3	6	9	12	15	
	น้อย	2	2	4	6	8	10	
	น้อยมาก	1	1	2	3	4	5	

ทั้งนี้สามารถแปลความหมายของระดับความเสี่ยงได้ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ความหมายของระดับความเสี่ยงแต่ละสี

ระดับคะแนนความเสี่ยง	แถบสี	ความหมาย
1-2	ขาว	ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้
3-9	ฟ้า	ระดับความเสี่ยงที่พอจะยอมรับได้ แต่ต้องมีการควบคุมเพื่อที่จะทำให้ความเสี่ยงนั้นขยายตัวขึ้นไปถึงระดับที่ยอมรับไม่ได้
10-16	เหลือง	ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ ต้องมีการจัดการความเสี่ยงที่ทำให้ความเสี่ยงลดลงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้
20-25	แดง	ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้และต้องมีการจัดการให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทันที

ตารางที่ 3.11 การประเมินกระบวนการที่เป็นปัจจัยและมีความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนคลิป์ทองแดง

กระบวนการ	ปัจจัย	ความเสี่ยง	โอกาสที่จะเกิด	ความรุนแรง	ระดับความเสี่ยง	เหตุผล
Back grind	ความหนาของเวเฟอร์	ความหนาของเวเฟอร์เกินจากสเปคกำหนด	1	1	1	งานวิจัยนี้ใช้เวเฟอร์ที่มีความหนาเท่าเดิม ไม่เปลี่ยนแปลง
Saw	เวเฟอร์ล๊อตใหม่จาก ซัพพลายเออร์ที่ไม่เคยใช้	เวเฟอร์เกิดการแตกระหว่างการตัด	1	1	1	งานวิจัยนี้ใช้เวเฟอร์ล๊อตเก่าที่เคยใช้กับงานก่อนหน้าและมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
Die attach die 1	ปริมาณอีพอกซีน้อยหรือมากเกินไปเกินค่ามาตรฐาน	ค่าความหนาของชั้นอีพอกซีเกินจากสเปคกำหนด	1	1	1	งานวิจัยนี้ใช้ตายที่เคยใช้กับงานก่อนหน้าและมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
Die attach die 1	ปริมาณอีพอกซีน้อยหรือมากเกินไปเกินค่ามาตรฐาน	ค่าความหนาของชั้นอีพอกซีเกินจากสเปคกำหนด	1	1	1	งานวิจัยนี้ใช้ตายที่เคยใช้กับงานก่อนหน้าและมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

กระบวนการ	ปัจจัย	ความเสี่ยง	โอกาส	ความ	ระดับ	เหตุผล
-----------	--------	------------	-------	------	-------	--------

			ที่จะ เกิด	รุนแรง	ความ เสี่ยง	
Clip attach	ปริมาณอีพ็อกซี น้อยหรือมาก เกินค่า มาตรฐาน	ค่าความหนาของ ชั้นอีพ็อกซีเกิน จากสเปคกำหนด	3	4	12	เนื่องจากการวิจัยนี้ได้ทำ การเปลี่ยนประเภทของ คลิปทองแดง ซึ่งความหนา ของคลิปทองแดงที่บางลง อาจได้รับผลกระทบจากค่า ความหนาของชั้นอีพ็อกซี และส่งผลกระทบต่อ คุณภาพ
	ตำแหน่งและ ระนาบไปการ วางคลิป ทองแดง	คลิปหมุน/ตำแหน่ง การวางคลิปที่ไม่ เหมาะสม	3	4	12	เนื่องจากการวิจัยนี้ได้ทำ การเปลี่ยนประเภทของ คลิปทองแดง ซึ่งความหนา ของทองแดงที่เปลี่ยนไป อาจจะส่งผลต่อ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการ ติดคลิปทองแดง
	เวลาในการรี โฟลว์ไม่ เหมาะสม	เกิดช่องว่างใน อีพ็อกซี	3	4	12	เนื่องจากการวิจัยนี้ได้ทำ การเปลี่ยนประเภทของ คลิปทองแดง ซึ่งขนาดของ ทองแดงที่เปลี่ยนไปอาจจะ ส่งผลต่อเวลาและอุณหภูมิ ในการอบอีพ็อกซี
Wire bond	ขนาดของลวด ขนาดของแพด และตำแหน่ง การบอนด์ที่ เปลี่ยนแปลงไป	บอนด์ไม่ติด/บอนด์ ออกนอกแพด	1	1	1	งานวิจัยนี้ใช้ผลิตภัณฑ์เดิม ที่มีขนาดของลวดที่ใช้เท่า เดิม
Mold	การ เปลี่ยนแปลง คอมปาวด์	คอมปาวด์โฟลว์ได้ ไม่เต็มสตริป/เกิด ช่องว่างระหว่างคอม โนเนนท์ภายใน ผลิตภัณฑ์	1	1	1	งานวิจัยนี้ใช้ผลิตภัณฑ์เดิม ที่ใช้คอมปาวด์เหมือนเดิม ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

จากการประเมินความเสี่ยงพบว่ากระบวนการที่มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับเปลี่ยนคลิปทองแดงได้แก่ กระบวนการติดคลิป โดยกระบวนการอื่นๆ ไม่ได้เป็นปัจจัยที่ส่งผลกับการปรับเปลี่ยนคลิปเนื่องจาก

- 1) กระบวนการ Back grind ไม่เป็นปัจจัยที่ส่งผลเนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเวเฟอร์เท่านั้น และใช้เครื่องในการผลิตคนละเครื่องกันกับกระบวนการติดคลิปทองแดงโดยสิ้นเชิง
- 2) กระบวนการ Die attach ไม่เป็นปัจจัยที่ส่งผลเนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับเวเฟอร์เท่านั้น และใช้เครื่องในการผลิตคนละเครื่องกันกับกระบวนการติดคลิปทองแดงโดยสิ้นเชิง
- 3) กระบวนการ Wire bond ไม่เป็นปัจจัยที่ส่งผลเนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับลวดทองแดงเพียงเท่านั้นและตำแหน่งในการบอนด์ไม่ได้ทับซ้อนกับตำแหน่งการติดคลิปทองแดง และใช้เครื่องในการผลิตคนละเครื่องกันกับกระบวนการติดคลิปทองแดงโดยสิ้นเชิง
- 4) กระบวนการ Mold ไม่เป็นปัจจัยที่ส่งผลเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ฉีดคอมปาวด์เพื่อปกคลุมชิ้นงานหลังจากองค์ประกอบภายในชิ้นงานผ่านการอบฮีท็อกซีเจินแห้งและยึดติดเข้าด้วยกันแล้วเท่านั้น และใช้เครื่องในการผลิตคนละเครื่องกันกับกระบวนการติดคลิปทองแดงโดยสิ้นเชิง

3.5.2 สรุปปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อกระบวนการ

จากการประเมินร่วมกันของทางวิศวกรที่เชี่ยวชาญแต่ละกระบวนการ พบว่ากระบวนการที่เป็นปัจจัยและผลกระทบต่อทางเปลี่ยนแปลงชนิดของคลิปทองแดงมากที่สุด ได้แก่ กระบวนการติดคลิปทองแดง เนื่องจากงานวิจัยนี้มีการเปลี่ยนแปลงประเภทของคลิปทองแดงและมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดคลิปทองแดงบางส่วนเพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจส่งผลต่อค่าความหนาของชั้นฮีท็อกซีเจินจากสเปคกำหนดจึงต้องมีการควบคุมระดับของความดันและเวลาในการบีบฮีท็อกซี คลิปหมุนหรือตำแหน่งการวางคลิปที่ไม่เหมาะสมจึงต้องมีการควบคุมเวลาและตำแหน่งในการติดคลิปทองแดง และสุดท้ายหากใช้เวลาและอุณหภูมิในการรีโฟลว์ไม่เหมาะสมอาจเกิดช่องว่างในฮีท็อกซีหรือเกิดการยึดติดที่ไม่ดีของคลิปทองแดงกับชิ้นส่วนอื่นๆ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้ต้องได้รับการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับผลิตภัณฑ์

จากการศึกษากระบวนการย่อยของกระบวนการติดคลิปทองแดง พบว่ากระบวนการย่อยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับคลิปทองแดงโดยตรง ได้แก่ กระบวนการหยดฮีท็อกซีลงบนตาย, กระบวนการติดคลิปทองแดง และกระบวนการรีโฟลว์ และปัจจัยที่มีผลกระทบได้แก่ ความดันและเวลาในการบีบฮีท็อกซีลงบนตาย, เวลาและตำแหน่งในการติดคลิปทองแดง และอุณหภูมิและเวลาในการรีโฟลว์ ซึ่งในตาราง

ด้านล่างนี้จะแสดงค่าพารามิเตอร์ปัจจุบันของปัจจัยทั้ง 6 ที่ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์คลิปทองแดงที่ใช้คลิปทองแดงประเภทเอชคลิป

ตารางที่ 3.12 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ก่อนการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลิปทองแดง

ปัจจัย	หน่วย	สัญลักษณ์	พารามิเตอร์ปัจจุบัน
ความดันในการบีบอีพ็อกซี	กิโลปาสกาล	A	105
เวลาที่ใช้บีบอีพ็อกซี	วินาที	B	100
เวลาที่ใช้ในการติดคลิปทองแดง	วินาที	C	125
ตำแหน่งในการติดคลิปทองแดง	ไมโครเมตร	D	70
อุณหภูมิที่ใช้บีบอีพ็อกซี	องศาเซลเซียส	E	382
เวลาที่ใช้ในการอบอีพ็อกซี	วินาที	F	52

3.5.3 การกำหนดระดับของปัจจัย

จากการพิจารณาเลือกปัจจัยของกระบวนการที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงคลิปทองแดงในผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง ได้แก่ ความดันและเวลาในการบีบอีพ็อกซีที่กระบวนการหยุดอีพ็อกซีบนตาย, เวลาที่ใช้ติดและตำแหน่งในการติดคลิปที่กระบวนการติดคลิปทองแดง และอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในกระบวนการอบอีพ็อกซี

จากข้อกำหนดของความสูงอีพ็อกซีระหว่างตายกับคลิปทองแดงหลังการอบต้องอยู่ที่ระหว่าง 12.7 ถึง 38.1 ไมโครเมตร รวมถึงต้องไม่เกิดช่องว่างในอีพ็อกซีมากเกินไป 20% โดยอ้างอิงจากค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อยู่ปัจจุบัน ซึ่งจะอธิบายขอบเขตของระดับปัจจัยที่ใช้พิจารณาดังตารางที่ 3.13 ถึง 3.15

ตารางที่ 3.13 ระดับปัจจัยความดันและเวลาในการบีบอีพ็อกซีที่กระบวนการหยุดอีพ็อกซีบนตาย

ระดับปัจจัยความดันและเวลาในการบีบอีพ็อกซีที่กระบวนการหยุดอีพ็อกซีบนตาย			
ปัจจัย	ระดับต่ำ	ระดับที่ใช้ในปัจจุบัน	ระดับสูง
ความดัน (กิโลปาสกาล)	100	105	110
เวลาในการบีบ (วินาที)	95	100	105

ตารางที่ 3.14 ระดับปัจจัยเวลาที่ใช้ติดและตำแหน่งในการติดคลิปที่กระบวนการติดคลิปทองแดง

ระดับปัจจัยเวลาที่ใช้ติดและตำแหน่งในการติดคลิปที่กระบวนการติดคลิปทองแดง			
ปัจจัย	ระดับต่ำ	ระดับที่ใช้ในปัจจุบัน	ระดับสูง
เวลาที่ใช้ (วินาที)	120	125	130
ตำแหน่งในการติดคลิป (ไมโครเมตร)	65	70	75

ตารางที่ 3.15 ระดับปัจจัยอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในกระบวนการอบฮีท็อกซี

ระดับปัจจัยอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้ในกระบวนการอบฮีท็อกซี			
ปัจจัย	ระดับต่ำ	ระดับที่ใช้ในปัจจุบัน	ระดับสูง
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	380	382	384
เวลาที่ใช้ (วินาที)	50	52	54

จากการศึกษาพารามิเตอร์พบว่าค่าพารามิเตอร์ระดับต่ำและระดับสูง ได้มาจากการทำ Process windows เป็นการหาค่าพารามิเตอร์ของแต่ละแพ็คเกจ ซึ่งจะเริ่มจากการหาพารามิเตอร์ที่ต่ำที่สุดที่แพ็คเกจนั้นสามารถใช้ได้ และทำการหาระดับพารามิเตอร์ที่สูงที่สุดที่แพ็คเกจนั้นสามารถใช้ได้เช่นกัน และกำหนดเป็นช่วงในการศึกษาวิจัยโดยไม่เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาคุณภาพอื่นๆ โดยแสดงขอบเขตของระดับปัจจัยที่พิจารณาดังตารางที่ 3.16

ตารางที่ 3.16 ขอบเขตของระดับปัจจัยที่พิจารณา

ปัจจัย	หน่วย	สัญลักษณ์	พารามิเตอร์ปัจจุบัน	ระดับปัจจัย	
				ต่ำ	สูง
ความดันในการบีบฮีท็อกซี	กิโลปาสคาล	A	105	100	110
เวลาที่ใช้บีบฮีท็อกซี	วินาที	B	100	95	105
เวลาที่ใช้ในการติดคลิปทองแดง	วินาที	C	125	120	130
ตำแหน่งในการติดคลิป	ไมโครเมตร	D	70	65	75
อุณหภูมิที่ใช้อบฮีท็อกซี	องศาเซลเซียส	E	382	380	384
เวลาที่ใช้ในการอบฮีท็อกซี	วินาที	F	52	50	54

3.5.4 การออกแบบการทดลองโดยการใช้โปรแกรม Minitab

เมื่อทำการกำหนดระดับของปัจจัยเสร็จสิ้นตามตารางที่ 3.14 ทางผู้วิจัยจึงได้เลือกโปรแกรม Minitab® ในการออกแบบการทดลอง โดยใช้การออกแบบเชิงแฟรคทอเรียลขนาด 2^k full factorial design ซึ่งเนื่องจากทางผู้วิจัยต้องการผลการทดลองที่มีความแม่นยำมากที่สุด ที่จะช่วยให้การศึกษาครั้งนี้สมบูรณ์ที่สุด โดยในการทดลองครั้งนี้จะมีจำนวน $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 64$ การทดลอง โดยจะทำการทำซ้ำ 1 ครั้งเพื่อประมาณการค่าของความคลาดเคลื่อนในการทดลองและเป็นการเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ ในการทดลองครั้งนี้ จึงเกิดการทดลองทั้งหมด 128 การทดลอง โดยทางผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Minitab® เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการจัดลำดับของการทดลอง ดังที่แสดงในตาราง 3.17



Full Factorial Design

Design Summary			
Factors:	6	Base Design:	6, 64
Runs:	128	Replicates:	2
Blocks:	1	Center pts (total):	0

ภาพที่ 3.22 Full Factorial Design

ตารางที่ 3.17 การออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab®

Std Order	Run Order	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	F	Y = ค่าเฉลี่ยของ ค่าความหนาของ อิพ็อกซีที่เคลือบ
66	1	1	1	110	95	120	65	380	50	
19	2	1	1	100	105	120	65	384	50	
22	3	1	1	110	95	130	65	384	50	
61	4	1	1	100	95	130	75	384	54	
60	5	1	1	110	105	120	75	384	54	
28	6	1	1	110	105	120	75	384	50	
41	7	1	1	100	95	120	75	380	54	
90	8	1	1	110	95	120	75	384	50	
67	9	1	1	100	105	120	65	380	50	
36	10	1	1	110	105	120	65	380	54	
114	11	1	1	110	95	120	65	384	54	
64	12	1	1	110	105	130	75	384	54	
6	13	1	1	110	95	130	65	380	50	
37	14	1	1	100	95	130	65	380	54	
12	15	1	1	110	105	120	75	380	50	
21	16	1	1	100	95	130	65	384	50	
47	17	1	1	100	105	130	75	380	54	
56	18	1	1	110	105	130	65	384	54	
73	19	1	1	100	95	120	75	380	50	
96	20	1	1	110	105	130	75	384	50	
43	21	1	1	100	105	120	75	380	54	
118	22	1	1	110	95	130	65	384	54	
99	23	1	1	100	105	120	65	380	54	
110	24	1	1	110	95	130	75	380	54	
69	25	1	1	100	95	130	65	380	50	
105	26	1	1	100	95	120	75	380	54	
57	27	1	1	100	95	120	75	384	54	

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	F	Y = ค่าเฉลี่ยของ ค่าความหนาของ อีพ็อกซีที่เคลือบ
68	28	1	1	110	105	120	65	380	50	
83	29	1	1	100	105	120	65	384	50	
15	30	1	1	100	105	130	75	380	50	
115	31	1	1	100	105	120	65	384	54	
34	32	1	1	110	95	120	65	380	54	
42	33	1	1	110	95	120	75	380	54	
125	34	1	1	100	95	130	75	384	54	
113	35	1	1	100	95	120	65	384	54	
31	36	1	1	100	105	130	75	384	50	
2	37	1	1	110	95	120	65	380	50	
106	38	1	1	110	95	120	75	380	54	
11	39	1	1	100	105	120	75	380	50	
63	40	1	1	100	105	130	75	384	54	
119	41	1	1	100	105	130	65	384	54	
123	42	1	1	100	105	120	75	384	54	
7	43	1	1	100	105	130	65	380	50	
97	44	1	1	100	95	120	65	380	54	
13	45	1	1	100	95	130	75	380	50	
17	46	1	1	100	95	120	65	384	50	
30	47	1	1	110	95	130	75	384	50	
91	48	1	1	100	105	120	75	384	50	
94	49	1	1	110	95	130	75	384	50	
87	50	1	1	100	105	130	65	384	50	
50	51	1	1	110	95	120	65	384	54	
79	52	1	1	100	105	130	75	380	50	
14	53	1	1	110	95	130	75	380	50	
10	54	1	1	110	95	120	75	380	50	
104	55	1	1	110	105	130	65	380	54	

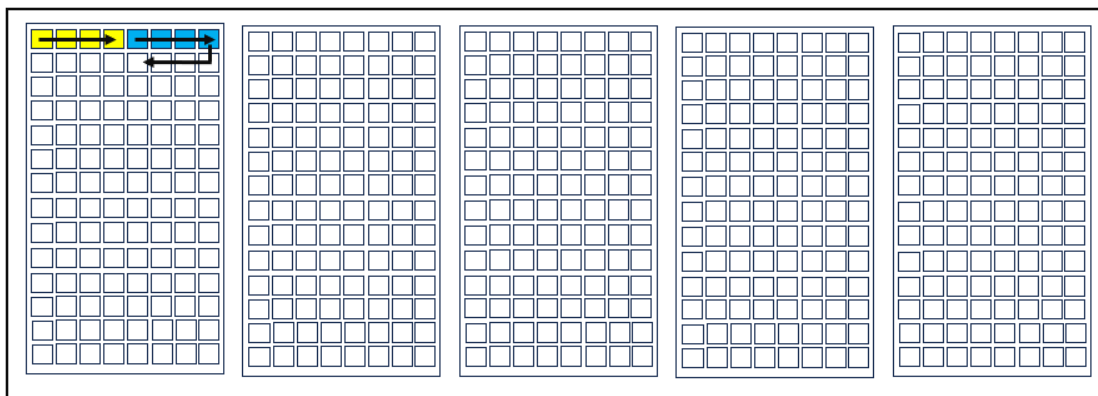
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	F	Y = ค่าเฉลี่ยของ ค่าความหนาของ อีพ็อกซีที่เคลือบ
101	56	1	1	100	95	130	65	380	54	
46	57	1	1	110	95	130	75	380	54	
84	58	1	1	110	105	120	65	384	50	
71	59	1	1	100	105	130	65	380	50	
112	60	1	1	110	105	130	75	380	54	
29	61	1	1	100	95	130	75	384	50	
24	62	1	1	110	105	130	65	384	50	
55	63	1	1	100	105	130	65	384	54	
35	64	1	1	100	105	120	65	380	54	
27	65	1	1	100	105	120	75	384	50	
117	66	1	1	100	95	130	65	384	54	
95	67	1	1	100	105	130	75	384	50	
116	68	1	1	110	105	120	65	384	54	
70	69	1	1	110	95	130	65	380	50	
81	70	1	1	100	95	120	65	384	50	
121	71	1	1	100	95	120	75	384	54	
88	72	1	1	110	105	130	65	384	50	
76	73	1	1	110	105	120	75	380	50	
16	74	1	1	110	105	130	75	380	50	
48	75	1	1	110	105	130	75	380	54	
86	76	1	1	110	95	130	65	384	50	
1	77	1	1	100	95	120	65	380	50	
4	78	1	1	110	105	120	65	380	50	
53	79	1	1	100	95	130	65	384	54	
80	80	1	1	110	105	130	75	380	50	
65	81	1	1	100	95	120	65	380	50	
18	82	1	1	110	95	120	65	384	50	
102	83	1	1	110	95	130	65	380	54	

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	F	Y = ค่าเฉลี่ยของ ค่าความหนาของ อีพ็อกซีที่เคลือบ
39	84	1	1	100	105	130	65	380	54	
124	85	1	1	110	105	120	75	384	54	
59	86	1	1	100	105	120	75	384	54	
85	87	1	1	100	95	130	65	384	50	
103	88	1	1	100	105	130	65	380	54	
107	89	1	1	100	105	120	75	380	54	
26	90	1	1	110	95	120	75	384	50	
20	91	1	1	110	105	120	65	384	50	
25	92	1	1	100	95	120	75	384	50	
33	93	1	1	100	95	120	65	380	54	
78	94	1	1	110	95	130	75	380	50	
38	95	1	1	110	95	130	65	380	54	
8	96	1	1	110	105	130	65	380	50	
75	97	1	1	100	105	120	75	380	50	
52	98	1	1	110	105	120	65	384	54	
44	99	1	1	110	105	120	75	380	54	
54	100	1	1	110	95	130	65	384	54	
82	101	1	1	110	95	120	65	384	50	
49	102	1	1	100	95	120	65	384	54	
23	103	1	1	100	105	130	65	384	50	
111	104	1	1	100	105	130	75	380	54	
51	105	1	1	100	105	120	65	384	54	
98	106	1	1	110	95	120	65	380	54	
58	107	1	1	110	95	120	75	384	54	
100	108	1	1	110	105	120	65	380	54	
108	109	1	1	110	105	120	75	380	54	
74	110	1	1	110	95	120	75	380	50	
32	111	1	1	110	105	130	75	384	50	

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	F	Y = ค่าเฉลี่ยของ ค่าความหนาของ ฮีฟอกซีไค์คลิป
9	112	1	1	100	95	120	75	380	50	
45	113	1	1	100	95	130	75	380	54	
128	114	1	1	110	105	130	75	384	54	
92	115	1	1	110	105	120	75	384	50	
72	116	1	1	110	105	130	65	380	50	
62	117	1	1	110	95	130	75	384	54	
77	118	1	1	100	95	130	75	380	50	
40	119	1	1	110	105	130	65	380	54	
109	120	1	1	100	95	130	75	380	54	
127	121	1	1	100	105	130	75	384	54	
93	122	1	1	100	95	130	75	384	50	
89	123	1	1	100	95	120	75	384	50	
122	124	1	1	110	95	120	75	384	54	
120	125	1	1	110	105	130	65	384	54	
3	126	1	1	100	105	120	65	380	50	
5	127	1	1	100	95	130	65	380	50	
126	128	1	1	110	95	130	75	384	54	

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ทั้งนี้ในหนึ่งการทดลองจะรันไปทั้งหมด 4 ยูนิตแล้วทำการหยุด จากนั้นเปลี่ยนเป็นชุดการทดลองถัดไปแล้วรันต่อไปอีก 4 ยูนิต ทำแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนครบทั้งหมด 128 การทดลอง โดยแสดงตำแหน่งจุดเริ่มต้นและทิศทางในการรันงานดังภาพที่ 3.23



ภาพที่ 3.23 ตำแหน่งจุดเริ่มต้นและทิศทางในการรันงาน

3.5.5 การระบุตัวแปรผลลัพธ์ตอบสนอง

จากการพิจารณาแต่ละปัจจัยและแต่ละระดับของปัจจัย พบว่าการเลือกตัวแปรผลลัพธ์ตอบสนอง คือ ค่าความสูงของอีพ็อกซีไต้คลิบ มีหน่วยเป็น ไมโครเมตร โดยจากเกณฑ์ตามสเปคที่กำหนดไว้คือจะต้องมีค่าความสูงไต้คลิบหลังจากผ่านการอบอยู่ในช่วง 12.7 – 38.1 ไมโครเมตร โดยจะทำการวัดความสูงของอีพ็อกซีไต้คลิบแต่ละตำแหน่งและนำมาคิดเป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งจะมีวิธีการวัดค่าผลตัวแปรตอบสนองตามหัวข้อที่ 3.5.6

3.5.6 การวัดตัวแปรตอบสนอง

หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการติดคลิบทองแดง ชิ้นงานจะถูกผ่านการทำรีโฟลว์หรือเป็นการที่ทำให้อีพ็อกซีแห้งและเซ็ดตัวจากของเหลวเป็นของแข็ง จากนั้นให้ทำการวัดตัวแปรตอบสนองโดยการวัดผ่านการใช้กล้อง High power scope โดยชิ้นงานที่มีความหนาของอีพ็อกซีไต้คลิบอยู่ระหว่าง 12.7 ถึง 38.1 ไมโครเมตรจะจัดว่าเป็นชิ้นงานที่ดี ส่วนชิ้นงานที่มีความหนาของอีพ็อกซีไต้คลิบเกินความช่วงที่กำหนดถือว่าเป็นชิ้นงานที่มีข้อบกพร่อง

3.5.7 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเบื้องต้น

ในงานวิจัยนี้จะใช้การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k และนำไปวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ Minitab © โดยการวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการออกแบบการทดลอง ทางผู้วิจัยจะเลือกใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนเบื้องต้น (ANOVA) ซึ่งในโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติจะทำการคำนวณค่าความน่าจะเป็น (P-Value) ออกมาให้ ซึ่งจะสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยใดที่มีอิทธิพลกับความหนาไต้คลิบอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งงานวิจัยนี้มีการกำหนดระดับ

ความเชื่อมั่นอยู่ที่ 95% จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ผลการตอบสนองที่ดีที่สุด (Response Optimization) โดยขั้นตอนนี้เป็นกรนำเอาค่าตอบสนอง (Response) ที่ได้จากการทำการทดลอง มาวิเคราะห์ต่อ เพื่อยืนยันผลของการทดลอง จากนั้นทำการสรุปผล และนำค่าที่ได้ไปใช้ในปรับตั้งค่า เครื่องตัดคลิปทองแดง

3.6 การทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์

ในการทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ จะทำโดยการนำชิ้นงานไปผ่านการทดสอบทางไฟฟ้า และผ่านการทดสอบความไวต่อความชื้น เพื่อดูการแยกชั้นกันขององค์ประกอบภายในชิ้นงาน และเพื่อเป็นการทดสอบว่าการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลิปทองแดงจากเอ็ชคลิปไปเป็นแอสมป์คลิป ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานหรือไม่



บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการตรวจรับคลิป์ทองแดง

จากการตรวจสอบคลิป์ทองแดงที่ได้รับมาจากทางซัพพลายเออร์ตามเกณฑ์ข้อกำหนด พบว่า เอ็ชคลิป์และแสดมภ์คลิป์มีตำแหน่งที่แตกต่างกัน 1 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งที่ L หรือที่ทาง เอนจินีเยร์เรียกว่าตำแหน่งดิมเปิล (Dimple) ซึ่งตำแหน่งดิมเปิลของแสดมภ์คลิป์จะมีขนาดที่ลึกกว่า ทำให้พื้นที่ที่เหลือมีขนาดบางกว่าเอ็ชคลิป์ ตามภาพที่ 4.1 ตรงตำแหน่งนี้เองที่ทำให้แสดมภ์คลิป์ไม่สามารถใช้พารามิเตอร์เดียวกันกับเอ็ชคลิป์ได้ เนื่องจากมีความเสี่ยงที่อีพ็อกซ์จะขึ้นหน้าคลิป์และส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานได้หากไม่มีการควบคุมระดับและปริมาณของอีพ็อกซ์ให้เหมาะสม

ตารางที่ 4.1 เกณฑ์และผลการตรวจสอบคลิป์ทองแดงประเภทเอ็ชคลิป์

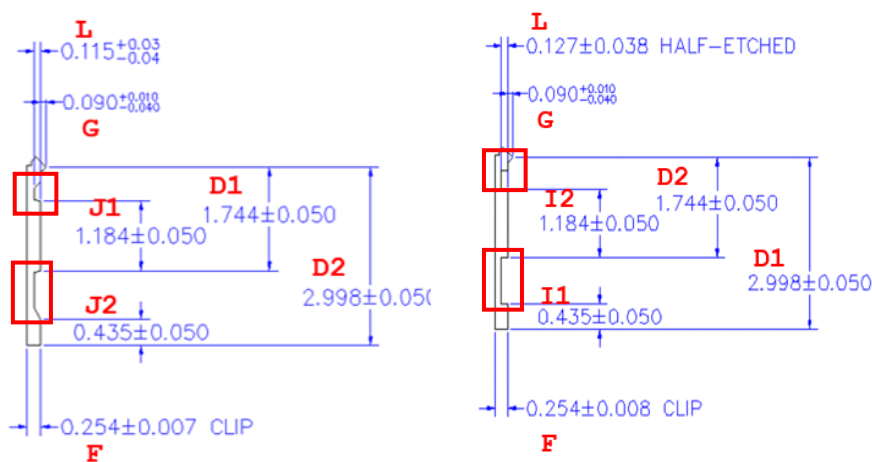
NO.	INSPECTION ITEM				SPEC. CRITERIA RANGE		RESULT	
					LSL	USL	Average	Result
1	A	19.500	±	0.05	19.450	19.550	19.500	PASS
2	B	17.300	±	0.05	17.250	17.350	17.301	PASS
3	C1	1.200	±	0.025	1.175	1.225	1.207	PASS
4	C2	1.200	±	0.025	1.175	1.225	1.208	PASS
5	D1	1.744	±	0.05	1.694	1.794	1.741	PASS
6	D2	2.998	±	0.05	2.948	3.048	2.998	PASS
7	E	3.033	±	0.05	2.983	3.083	3.018	PASS
8	F	0.254	±	0.007	0.247	0.261	0.255	PASS
9	G	0.090	+	0.01	0.050	0.100	0.069	PASS
			-	0.04				
10	H	1.950	±	0.05	1.900	2.000	1.942	PASS

No.	INSPECTION ITEM				SPEC. CRITERIA RANGE		RESULT	
					LSL	USL	Average	RESULT
11	I	0.644	±	0.05	0.594	0.694	0.653	PASS
12	J1	1.184	±	0.05	1.134	1.234	1.187	PASS
13	J2	0.435	±	0.05	0.385	0.485	0.442	PASS
14	L	0.115	±	+0.03 -0.04	0.075	0.145	0.107	PASS
15	M	1.100	±	0.05	1.050	1.150	1.102	PASS
16	N	1.100	±	0.05	1.050	1.150	1.094	PASS
17	O	4.300	±	0.05	4.250	4.350	4.300	PASS
18	P	5.300	±	0.05	5.250	5.350	5.301	PASS
19	Q	4.300	±	0.05	4.250	4.350	4.300	PASS
20	R	0.567	±	0.05	0.517	0.617	0.567	PASS
21	S	0.000	±	0.025	-0.025	0.025	0.004	PASS

ตารางที่ 4.2 กณฑ์และผลการตรวจสอบคลิปทองแดงประเภทแสดมบ์คลิป

NO.	INSPECTION ITEM	SPEC. CRITERIA RANGE		RESULT	
		LSL	USL	Average	Result
1	A 19.500 ± 0.05	19.450	19.550	19.497	PASS
2	B 17.300 ± 0.05	17.250	17.350	17.296	PASS
3	C1 1.200 ± 0.025	1.175	1.225	1.206	PASS
4	C2 1.200 ± 0.025	1.175	1.225	1.202	PASS
5	D1 2.998 ± 0.05	2.948	3.048	2.972	PASS
6	D2 1.744 ± 0.05	1.694	1.794	1.732	PASS
7	F 0.254 ± 0.008	0.246	0.262	0.255	PASS
8	G 0.090 + 0.01 - 0.04	0.050	0.100	0.075	PASS
9	H 1.950 ± 0.05	1.900	2.000	1.959	PASS
10	I1 0.435 ± 0.05	0.385	0.485	0.448	PASS
11	I2 1.184 ± 0.05	1.134	1.234	1.197	PASS
12	J1 3.033 ± 0.05	2.983	3.083	3.046	PASS
13	J2 0.644 ± 0.05	0.594	0.694	0.654	PASS
14	L 0.127 ± 0.03	0.097	0.157	0.139	PASS
15	M 1.100 ± 0.05	1.050	1.150	1.096	PASS
16	N 1.100 ± 0.05	1.050	1.150	1.102	PASS
17	O 4.300 ± 0.05	4.250	4.350	4.299	PASS
18	P 5.300 ± 0.05	5.250	5.350	5.301	PASS

NO.	INSPECTION ITEM	SPEC. CRITERIA RANGE		RESULT	
		LSL	USL	Average	Result
19	Q 4.300 ± 0.05	4.250	4.350	4.300	PASS
20	R 0.567 ± 0.05	0.517	0.617	0.557	PASS
21	S 0.000 ± 0.025	-0.025	0.025	0.003	PASS



ภาพที่ 4.1 ด้านข้างของคลิปทองแดงแสดงขนาดของตำแหน่ง L ที่แตกต่างกันของเอ็ชคลิป (ภาพถ่าย) และแสดมบ์คลิป (ภาพขวา)

4.1 การดำเนินการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Full factorial design

ในการออกแบบการทดลองเบื้องต้นด้วยวิธีการ Full factorial design เป็นวิธีการที่สามารถได้ผลการทดลองที่ครอบคลุมทุกเงื่อนไขของทุกๆ ปัจจัย ซึ่งในงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วยปัจจัยทั้งหมด 6 ปัจจัย และแต่ละปัจจัยจะประกอบไปด้วยระดับปัจจัย 2 ระดับ ดังนั้นในการทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสมบูรณ์นี้จะต้องทำการทดลองทั้งหมด $2^6 = 64$ การทดลอง และจะทำการทดลองซ้ำ 1 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 128 การทดลอง โดยในการทดลองจะจัดลำดับการทดลองแบบสุ่ม เพื่อลดความผิดพลาดของการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยกำหนดให้ค่าผลลัพธ์ตอบสนองหรือค่า Y เป็นค่าความหนาของอีพ็อกซีใต้คลิปที่ได้จากการเฉลี่ยวัดจาก 4 ยูนิตที่ใช้พารามิเตอร์เดียวกัน ดังผลที่แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.3 ความหนาฮีฟ็อกซีไต้คลิปที่ได้จากการทดลอง

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	F	Y
66	1	1	1	110	95	120	65	380	50	36.61
19	2	1	1	100	105	120	65	384	50	23.51
22	3	1	1	110	95	130	65	384	50	23.39
61	4	1	1	100	95	130	75	384	54	13.37
60	5	1	1	110	105	120	75	384	54	25.36
28	6	1	1	110	105	120	75	384	50	21.19
41	7	1	1	100	95	120	75	380	54	36.85
90	8	1	1	110	95	120	75	384	50	25.23
67	9	1	1	100	105	120	65	380	50	24.35
36	10	1	1	110	105	120	65	380	54	22.15
114	11	1	1	110	95	120	65	384	54	33.71
64	12	1	1	110	105	130	75	384	54	23.65
6	13	1	1	110	95	130	65	380	50	21.59
37	14	1	1	100	95	130	65	380	54	27.83
12	15	1	1	110	105	120	75	380	50	36.35
21	16	1	1	100	95	130	65	384	50	18.21
47	17	1	1	100	105	130	75	380	54	19.46
56	18	1	1	110	105	130	65	384	54	27.43
73	19	1	1	100	95	120	75	380	50	26.80
96	20	1	1	110	105	130	75	384	50	20.21
43	21	1	1	100	105	120	75	380	54	21.23
118	22	1	1	110	95	130	65	384	54	15.22
99	23	1	1	100	105	120	65	380	54	19.68
110	24	1	1	110	95	130	75	380	54	28.61
69	25	1	1	100	95	130	65	380	50	24.89
105	26	1	1	100	95	120	75	380	54	13.93
57	27	1	1	100	95	120	75	384	54	28.29
68	28	1	1	110	105	120	65	380	50	18.17

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	F	Mean
83	29	1	1	100	105	120	65	384	50	28.23
15	30	1	1	100	105	130	75	380	50	20.42
115	31	1	1	100	105	120	65	384	54	22.29
34	32	1	1	110	95	120	65	380	54	16.22
42	33	1	1	110	95	120	75	380	54	21.08
125	34	1	1	100	95	130	75	384	54	17.28
113	35	1	1	100	95	120	65	384	54	27.35
31	36	1	1	100	105	130	75	384	50	21.21
2	37	1	1	110	95	120	65	380	50	13.48
106	38	1	1	110	95	120	75	380	54	19.33
11	39	1	1	100	105	120	75	380	50	20.14
63	40	1	1	100	105	130	75	384	54	14.46
119	41	1	1	100	105	130	65	384	54	36.66
123	42	1	1	100	105	120	75	384	54	18.45
7	43	1	1	100	105	130	65	380	50	20.46
97	44	1	1	100	95	120	65	380	54	22.81
13	45	1	1	100	95	130	75	380	50	27.48
17	46	1	1	100	95	120	65	384	50	23.88
30	47	1	1	110	95	130	75	384	50	21.24
91	48	1	1	100	105	120	75	384	50	26.19
94	49	1	1	110	95	130	75	384	50	29.03
87	50	1	1	100	105	130	65	384	50	25.80
50	51	1	1	110	95	120	65	384	54	23.97
79	52	1	1	100	105	130	75	380	50	26.70
14	53	1	1	110	95	130	75	380	50	13.23
10	54	1	1	110	95	120	75	380	50	32.40
104	55	1	1	110	105	130	65	380	54	28.78
101	56	1	1	100	95	130	65	380	54	15.73
46	57	1	1	110	95	130	75	380	54	23.45

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	F	Mean
84	58	1	1	110	105	120	65	384	50	22.08
71	59	1	1	100	105	130	65	380	50	28.46
112	60	1	1	110	105	130	75	380	54	27.37
29	61	1	1	100	95	130	75	384	50	20.90
24	62	1	1	110	105	130	65	384	50	29.45
55	63	1	1	100	105	130	65	384	54	29.71
35	64	1	1	100	105	120	65	380	54	28.49
27	65	1	1	100	105	120	75	384	50	23.93
117	66	1	1	100	95	130	65	384	54	37.17
95	67	1	1	100	105	130	75	384	50	27.63
116	68	1	1	110	105	120	65	384	54	18.21
70	69	1	1	110	95	130	65	380	50	26.76
81	70	1	1	100	95	120	65	384	50	29.47
121	71	1	1	100	95	120	75	384	54	27.56
88	72	1	1	110	105	130	65	384	50	23.15
76	73	1	1	110	105	120	75	380	50	24.89
16	74	1	1	110	105	130	75	380	50	16.68
48	75	1	1	110	105	130	75	380	54	22.50
86	76	1	1	110	95	130	65	384	50	26.33
1	77	1	1	100	95	120	65	380	50	27.06
4	78	1	1	110	105	120	65	380	50	24.28
53	79	1	1	100	95	130	65	384	54	34.85
80	80	1	1	110	105	130	75	380	50	14.64
65	81	1	1	100	95	120	65	380	50	28.64
18	82	1	1	110	95	120	65	384	50	28.17
102	83	1	1	110	95	130	65	380	54	26.71
39	84	1	1	100	105	130	65	380	54	29.38
124	85	1	1	110	105	120	75	384	54	16.48
59	86	1	1	100	105	120	75	384	54	19.77

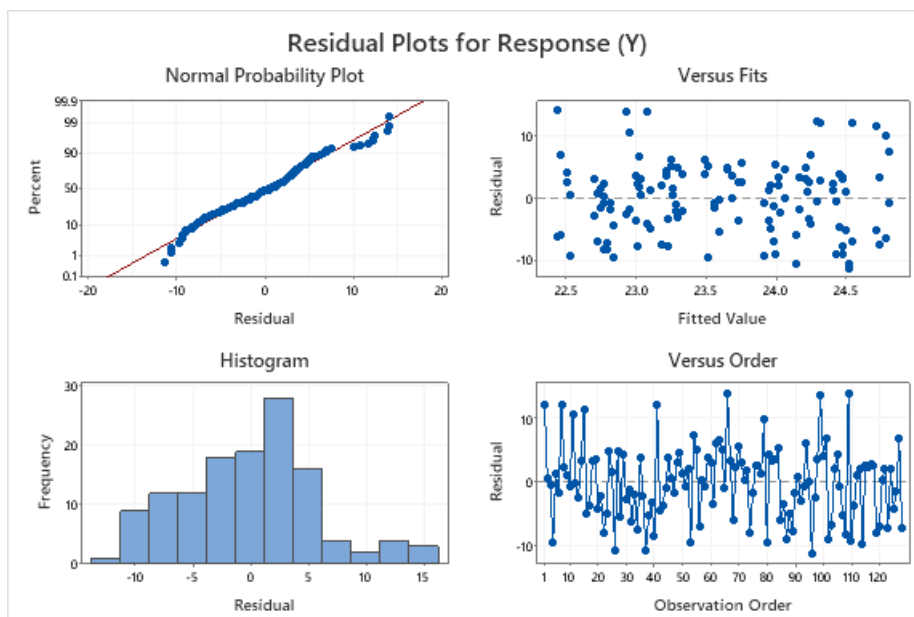
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	F	Mean
85	87	1	1	100	95	130	65	384	50	15.50
103	88	1	1	100	105	130	65	380	54	19.10
107	89	1	1	100	105	120	75	380	54	15.67
26	90	1	1	110	95	120	75	384	50	22.06
20	91	1	1	110	105	120	65	384	50	25.48
25	92	1	1	100	95	120	75	384	50	19.74
33	93	1	1	100	95	120	65	380	54	23.22
78	94	1	1	110	95	130	75	380	50	29.70
38	95	1	1	110	95	130	65	380	54	24.18
8	96	1	1	110	105	130	65	380	50	13.24
75	97	1	1	100	105	120	75	380	50	21.69
52	98	1	1	110	105	120	65	384	54	27.40
44	99	1	1	110	105	120	75	380	54	36.80
54	100	1	1	110	95	130	65	384	54	26.60
82	101	1	1	110	95	120	65	384	50	31.24
49	102	1	1	100	95	120	65	384	54	15.41
23	103	1	1	100	105	130	65	384	50	18.21
111	104	1	1	100	105	130	75	380	54	25.30
51	105	1	1	100	105	120	65	384	54	27.71
98	106	1	1	110	95	120	65	380	54	23.80
58	107	1	1	110	95	120	75	384	54	19.51
100	108	1	1	110	105	120	65	380	54	14.60
108	109	1	1	110	105	120	75	380	54	36.59
74	110	1	1	110	95	120	75	380	50	14.89
32	111	1	1	110	105	130	75	384	50	20.01
9	112	1	1	100	95	120	75	380	50	25.32
45	113	1	1	100	95	130	75	380	54	26.23
128	114	1	1	110	105	130	75	384	54	13.88
92	115	1	1	110	105	120	75	384	50	26.99

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	F	Mean
72	116	1	1	110	105	130	65	380	50	26.30
62	117	1	1	110	95	130	75	384	54	25.71
77	118	1	1	100	95	130	75	380	50	25.16
40	119	1	1	110	105	130	65	380	54	15.38
109	120	1	1	100	95	130	75	380	54	17.10
127	121	1	1	100	105	130	75	384	54	22.98
93	122	1	1	100	95	130	75	384	50	25.23
89	123	1	1	100	95	120	75	384	50	15.61
122	124	1	1	110	95	120	75	384	54	26.05
120	125	1	1	110	105	130	65	384	54	19.03
3	126	1	1	100	105	120	65	380	50	22.62
5	127	1	1	100	95	130	65	380	50	29.45
126	128	1	1	110	95	130	75	384	54	17.51

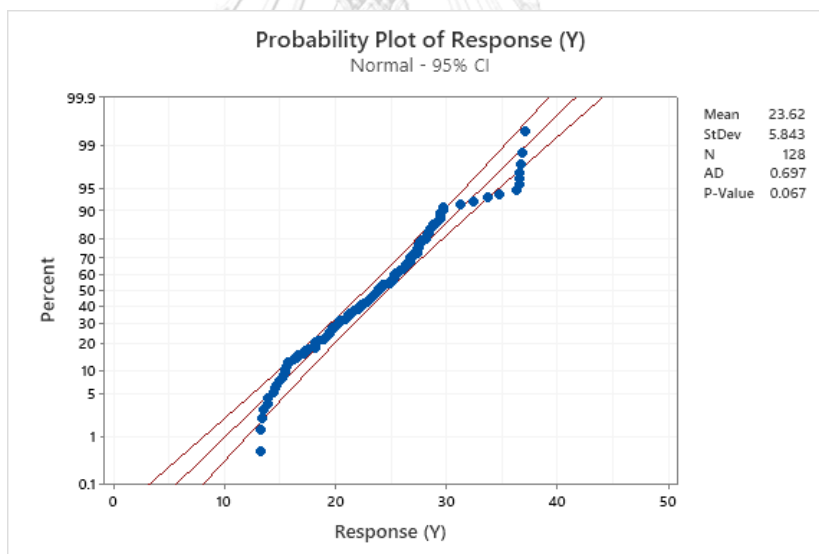
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองแบบ Full Factorial Design

จากผลการทดลอง ผู้วิจัยได้นำค่าผลลัพธ์ตอบสนองหรือว่าค่าความหนาของอีพ็อกซีได้คลิบมาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้เครื่องมือเป็นโปรแกรม Minitab ® โดยเริ่มจากการตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking) ซึ่งการตรวจสอบความถูกต้องนี้จะเป็นการตรวจสอบความถูกต้องและความเหมาะสมของข้อมูลที่ได้มาจากการทดลอง โดยที่ค่าของส่วนตกค้างหรือ Residuals ที่มาจากการทำการทดลองต้องมีการแจกแจงตามปกติ และต้องมีความเป็นอิสระที่มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกับ 0 และ σ^2 ต้องมีค่าคงตัว ถึงจะทำให้ข้อมูลผลลัพธ์ของตัวแปรตอบสนองที่ได้มามีความถูกต้องและเชื่อถือได้ ซึ่งการตรวจสอบจะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.2.1 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal distribution)



ภาพที่ 4.2 Residual plot for response (Y)



ภาพที่ 4.3 Probability plot of response (Y)

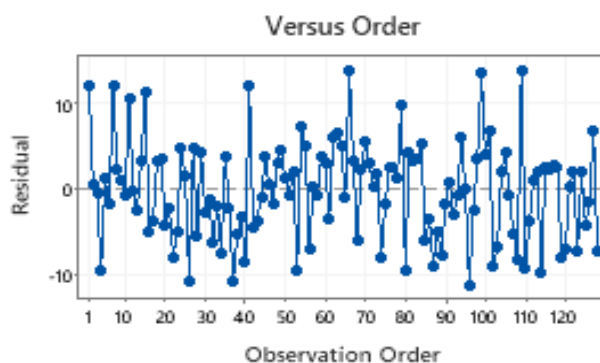
จากการพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างที่ใช้ในการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% ($\alpha=0.05$) ดังภาพที่ 4.2 และ 4.3 ซึ่งได้ตั้งสมมติฐานดังนี้ กำหนดให้ μ_1 = ระดับความเชื่อมั่นของข้อมูล μ_2 = ระดับความเชื่อมั่นที่งานวิจัยกำหนด

$H_0: \mu_1 > \mu_2$ เป็นการแจกแจงปกติ

$H_1: \mu_1 < \mu_2$ ไม่เป็นการแจกแจงปกติ

พบว่าค่าของส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแนวเส้นตรง และค่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.067 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับความเชื่อมั่น $\alpha=0.05$ จึงสรุปได้ว่าไม่ปฏิเสธ H_0

4.2.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าส่วนตกค้าง



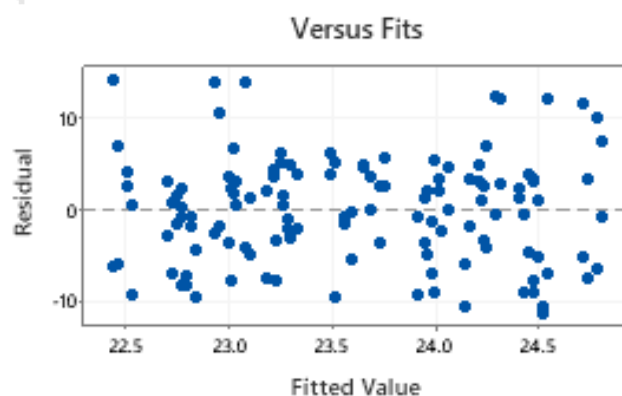
ภาพที่ 4.4 ค่าของส่วนตกค้างเทียบกับ observe

ดังภาพที่ 4.4 จะเห็นว่าการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีรูปแบบของการกระจายตัวที่เป็นอิสระต่อกัน และเป็นการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ไม่สามารถทำการประมาณการรูปแบบของข้อมูลที่แน่นอนได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าส่วนตกค้างเป็นอิสระต่อกัน และอนุมานได้ว่าข้อมูลมีความถูกต้องและสามารถเชื่อถือได้

4.2.3 การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของส่วนตกค้าง (Residual)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

C



ภาพที่ 4.5 Versus Fits

จากภาพที่ 4.5 เมื่อพิจารณาการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างเทียบกับระดับปัจจัยทุกตัว พบว่าค่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบสุ่ม โดยรวมใกล้เคียงกับค่า 0 จึงทำให้สรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของค่าส่วนตกค้างมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับ 0

4.2.4 การตรวจสอบค่าความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล

จากภาพที่ 4.4 จะสังเกตเห็นว่าค่าความแปรปรวนของการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่ง และไม่พบรูปแบบการกระจายตัวที่มีลักษณะเป็นแนวโน้ม จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูลผลจากการทดลองนี้มีความเสถียร

ดังนั้นจากการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลทั้งหมด 4 ขั้นตอน พบว่าข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ สามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นตอนต่อไปได้

4.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

จากผลที่ได้จากการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง ซึ่งสรุปได้ว่าไม่มีความผิดปกติจากการทดลองที่เกิดขึ้น และข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความน่าเชื่อถือ ผู้วิจัยจึงได้ทำการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทำการศึกษาอิทธิพลที่มีปัจจัยร่วมของปัจจัยทั้งหมดที่ส่งผลกระทบต่อค่าความหนาของอีพ็อกซีไต์คิลิป โดยได้กำหนดระดับความเชื่อมั่นอยู่ที่ 95% ($\alpha=0.05$) และได้เลือกการวิเคราะห์ผลโดยโปรแกรม Minitab ®

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		23.625	0.544	43.43	0.000	
A	-1.219	-0.609	0.544	-1.12	0.267	1.00
B	0.261	0.131	0.544	0.24	0.811	1.00
C	0.307	0.153	0.544	0.28	0.779	1.00
D	-0.488	-0.244	0.544	-0.45	0.656	1.00
E	0.070	0.035	0.544	0.06	0.949	1.00
F	-0.026	-0.013	0.544	-0.02	0.981	1.00
A*B	-1.074	-0.537	0.544	-0.99	0.327	1.00
A*C	-1.028	-0.514	0.544	-0.95	0.348	1.00
A*D	-2.048	-1.024	0.544	-1.88	0.064	1.00

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
A*E	-1.464	-0.732	0.544	-1.35	0.183	1.00
A*F	1.486	0.743	0.544	1.37	0.177	1.00
B*C	3.040	1.520	0.544	2.79	0.007	1.00
B*D	-0.445	-0.222	0.544	-0.41	0.684	1.00
B*E	0.520	0.260	0.544	0.48	0.634	1.00
B*F	1.009	0.504	0.544	0.93	0.357	1.00
C*D	1.129	0.564	0.544	1.04	0.303	1.00
C*E	0.400	0.200	0.544	0.37	0.714	1.00
C*F	-0.255	-0.127	0.544	-0.23	0.816	1.00
D*E	-0.316	-0.158	0.544	-0.29	0.773	1.00
D*F	0.381	0.191	0.544	0.35	0.727	1.00
E*F	-0.038	-0.019	0.544	-0.03	0.973	1.00
A*B*C	-0.647	-0.324	0.544	-0.59	0.554	1.00
A*B*D	0.300	0.150	0.544	0.28	0.784	1.00
A*B*E	-0.172	-0.086	0.544	-0.16	0.875	1.00
A*B*F	-0.236	-0.118	0.544	-0.22	0.829	1.00
A*C*D	0.817	0.408	0.544	0.75	0.456	1.00
A*C*E	0.342	0.171	0.544	0.31	0.754	1.00
A*C*F	-0.144	-0.072	0.544	-0.13	0.895	1.00
A*D*E	-0.719	-0.360	0.544	-0.66	0.511	1.00
A*D*F	1.153	0.576	0.544	1.06	0.293	1.00
A*E*F	2.083	1.042	0.544	1.92	0.060	1.00
B*C*D	1.039	0.519	0.544	0.95	0.343	1.00
B*C*E	0.492	0.246	0.544	0.45	0.653	1.00
B*C*F	0.964	0.482	0.544	0.89	0.379	1.00
B*D*E	1.026	0.513	0.544	0.94	0.349	1.00
B*D*F	-1.818	-0.909	0.544	-1.67	0.100	1.00
B*E*F	0.118	0.059	0.544	0.11	0.914	1.00

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
C*D*E	0.904	0.452	0.544	0.83	0.409	1.00
C*D*F	0.020	0.010	0.544	0.02	0.985	1.00
C*E*F	-0.620	-0.310	0.544	-0.57	0.571	1.00
D*E*F	0.358	0.179	0.544	0.33	0.743	1.00
A*B*C*D	0.018	0.009	0.544	0.02	0.987	1.00
A*B*C*E	-0.782	-0.391	0.544	-0.72	0.475	1.00
A*B*C*F	-0.014	-0.007	0.544	-0.01	0.990	1.00
A*B*D*E	-0.106	-0.053	0.544	-0.10	0.923	1.00
A*B*D*F	0.173	0.087	0.544	0.16	0.874	1.00
A*B*E*F	0.320	0.160	0.544	0.29	0.770	1.00
A*C*D*E	-0.484	-0.242	0.544	-0.45	0.658	1.00
A*C*D*F	-1.000	-0.500	0.544	-0.92	0.361	1.00
A*C*E*F	1.037	0.518	0.544	0.95	0.344	1.00
A*D*E*F	0.467	0.234	0.544	0.43	0.669	1.00
B*C*D*E	0.534	0.267	0.544	0.49	0.625	1.00
B*C*D*F	-0.013	-0.006	0.544	-0.01	0.991	1.00
B*C*E*F	0.155	0.078	0.544	0.14	0.887	1.00
B*D*E*F	0.368	0.184	0.544	0.34	0.736	1.00
C*D*E*F	1.715	0.858	0.544	1.58	0.120	1.00
A*B*C*D*E	1.920	0.960	0.544	1.76	0.082	1.00
A*B*C*D*F	-0.571	-0.286	0.544	-0.52	0.601	1.00
A*B*C*E*F	-1.603	-0.802	0.544	-1.47	0.145	1.00
A*B*D*E*F	-0.806	-0.403	0.544	-0.74	0.461	1.00
A*C*D*E*F	-0.359	-0.180	0.544	-0.33	0.742	1.00
B*C*D*E*F	0.287	0.143	0.544	0.26	0.793	1.00
A*B*C*D*E*F	2.227	1.113	0.544	2.05	0.045	1.00

เมื่อทำการพิจารณาผลของการวิเคราะห์จากตารางที่ 4.2 โดยมีระดับความเชื่อมั่น $\alpha=0.05$ เพื่อเป็นการหาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อกระบวนการ ซึ่งพิจารณาจากทั้ง 6 ปัจจัย ได้แก่

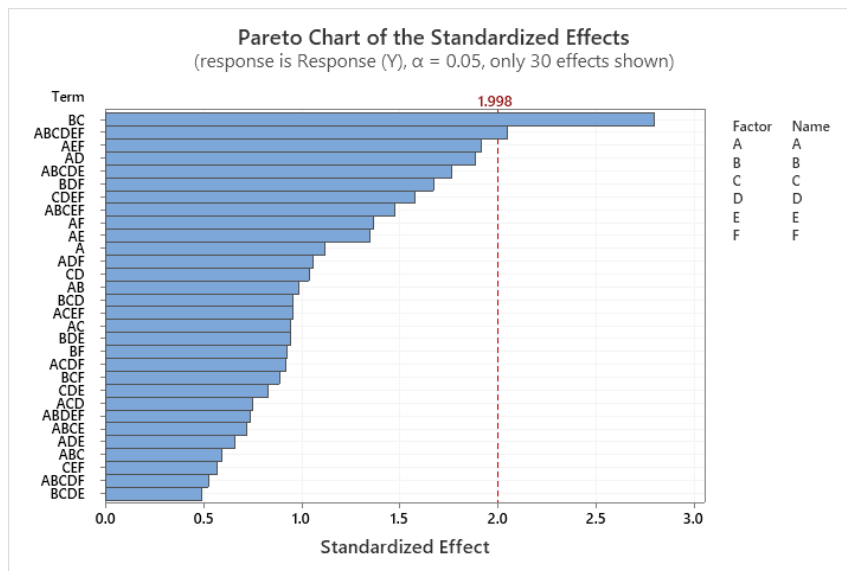
- 1) ความดันในการบีบอัดพ็อกซี (A)
 - 2) เวลาที่ใช้บีบอัดพ็อกซี (B)
 - 3) เวลาที่ใช้ในการติดคลิปทองแดง (C)
 - 4) ตำแหน่งในการติดคลิปทองแดง (D)
 - 5) อุณหภูมิที่ใช้อบพ็อกซี (E)
 - 6) เวลาที่ใช้ในการอบพ็อกซี (F)
- พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการได้แก่ A, B, C, D, E และ F

ตารางที่ 4.5 ตารางค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยที่มีผลต่อผลลัพธ์

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant		23.625	0.544	43.43	0.000
A	-1.219	-0.609	0.544	-1.12	0.267
B	0.261	0.131	0.544	0.24	0.811
C	0.307	0.153	0.544	0.28	0.779
D	-0.488	-0.244	0.544	-0.45	0.656
E	0.070	0.035	0.544	0.06	0.949
F	-0.026	-0.013	0.544	-0.02	0.981
A*B	-1.074	-0.537	0.544	-0.99	0.327
A*C	-1.028	-0.514	0.544	-0.95	0.348
A*D	-2.048	-1.024	0.544	-1.88	0.064
A*E	-1.464	-0.732	0.544	-1.35	0.183
A*F	1.486	0.743	0.544	1.37	0.177
B*C	3.040	1.520	0.544	2.79	0.007
B*D	-0.445	-0.222	0.544	-0.41	0.684
B*E	0.520	0.260	0.544	0.48	0.634

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
B*F	1.009	0.504	0.544	0.93	0.357
C*D	1.129	0.564	0.544	1.04	0.303
C*E	0.400	0.200	0.544	0.37	0.714
C*F	-0.255	-0.127	0.544	-0.23	0.816
D*E	-0.316	-0.158	0.544	-0.29	0.773
D*F	0.381	0.191	0.544	0.35	0.727
E*F	-0.038	-0.019	0.544	-0.03	0.973
A*B*C	-0.647	-0.324	0.544	-0.59	0.554
A*B*D	0.300	0.150	0.544	0.28	0.784
A*B*E	-0.172	-0.086	0.544	-0.16	0.875
A*B*F	-0.236	-0.118	0.544	-0.22	0.829
A*C*D	0.817	0.408	0.544	0.75	0.456
A*C*E	0.342	0.171	0.544	0.31	0.754
A*C*F	-0.144	-0.072	0.544	-0.13	0.895
A*D*E	-0.719	-0.360	0.544	-0.66	0.511
A*D*F	1.153	0.576	0.544	1.06	0.293
A*E*F	2.083	1.042	0.544	1.92	0.060
B*C*D	1.039	0.519	0.544	0.95	0.343
B*C*E	0.492	0.246	0.544	0.45	0.653
B*C*F	0.964	0.482	0.544	0.89	0.379
B*D*E	1.026	0.513	0.544	0.94	0.349
B*D*F	-1.818	-0.909	0.544	-1.67	0.100
B*E*F	0.118	0.059	0.544	0.11	0.914
C*D*E	0.904	0.452	0.544	0.83	0.409
C*D*F	0.020	0.010	0.544	0.02	0.985
C*E*F	-0.620	-0.310	0.544	-0.57	0.571
D*E*F	0.358	0.179	0.544	0.33	0.743
A*B*C*D	0.018	0.009	0.544	0.02	0.987

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
A*B*C*E	-0.782	-0.391	0.544	-0.72	0.475
A*B*C*F	-0.014	-0.007	0.544	-0.01	0.990
A*B*D*E	-0.106	-0.053	0.544	-0.10	0.923
A*B*D*F	0.173	0.087	0.544	0.16	0.874
A*B*E*F	0.320	0.160	0.544	0.29	0.770
A*C*D*E	-0.484	-0.242	0.544	-0.45	0.658
A*C*D*F	-1.000	-0.500	0.544	-0.92	0.361
A*C*E*F	1.037	0.518	0.544	0.95	0.344
A*D*E*F	0.467	0.234	0.544	0.43	0.669
B*C*D*E	0.534	0.267	0.544	0.49	0.625
B*C*D*F	-0.013	-0.006	0.544	-0.01	0.991
B*C*E*F	0.155	0.078	0.544	0.14	0.887
B*D*E*F	0.368	0.184	0.544	0.34	0.736
C*D*E*F	1.715	0.858	0.544	1.58	0.120
A*B*C*D*E	1.920	0.960	0.544	1.76	0.082
A*B*C*D*F	-0.571	-0.286	0.544	-0.52	0.601
A*B*C*E*F	-1.603	-0.802	0.544	-1.47	0.145
A*B*D*E*F	-0.806	-0.403	0.544	-0.74	0.461
A*C*D*E*F	-0.359	-0.180	0.544	-0.33	0.742
B*C*D*E*F	0.287	0.143	0.544	0.26	0.793
A*B*C*D*E*F	2.227	1.113	0.544	2.05	0.045



ภาพที่ 4.6 แผนภูมิพารेटอค่าผลกระทบของปัจจัย

สามารถเขียนเป็นสมการถดถอยได้ดังนี้

Regression Equation in Uncoded Units

$$\begin{aligned}
 \text{Response (Y)} = & 844863957 - 8072536 A - 8356806 B - 6658684 C - 11458298 D - 2209062 E \\
 & - 16783113 F + 79992 A*B + 63642 A*C + 109528 A*D + 21107 A*E + 160394 A*F \\
 & + 65871 B*C + 113452 B*D + 21848 B*E + 165993 B*F + 90260 C*D + 17410 C*E \\
 & + 132328 C*F + 29958 D*E + 227781 D*F + 43884 E*F - 631 A*B*C - 1086 A*B*D \\
 & - 209.1 A*B*E - 1589 A*B*F - 863 A*C*D - 166.4 A*C*E - 1265 A*C*F - 286 A*D*E \\
 & - 2178 A*D*F - 419 A*E*F - 894 B*C*D - 172.2 B*C*E - 1309 B*C*F - 297 B*D*E \\
 & - 2255 B*D*F - 434 B*E*F - 236 C*D*E - 1795 C*D*F - 346 C*E*F - 596 D*E*F \\
 & + 8.56 A*B*C*D + 1.649 A*B*C*E + 12.54 A*B*C*F + 2.84 A*B*D*E + 21.6 A*B*D*F \\
 & + 4.15 A*B*E*F + 2.26 A*C*D*E + 17.17 A*C*D*F + 3.31 A*C*E*F + 5.69 A*D*E*F \\
 & + 2.34 B*C*D*E + 17.78 B*C*D*F + 3.42 B*C*E*F + 5.90 B*D*E*F + 4.69 C*D*E*F \\
 & - 0.0224 A*B*C*D*E - 0.1703 A*B*C*D*F - 0.0328 A*B*C*E*F - 0.0565 A*B*D*E*F \\
 & - 0.0449 A*C*D*E*F - 0.0465 B*C*D*E*F + 0.000445 A*B*C*D*E*F
 \end{aligned}$$

ภาพที่ 4.7 Regression Equation in Uncoded Units

จากสมการ Regression พบว่าอันตรกิริยาร่วมระหว่างปัจจัย BC และอันตรกิริยาร่วมระหว่าง ABCDEF เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง เนื่องจากมีค่าระดับความเชื่อมั่นที่น้อยกว่า 0.05

4.4 การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์โดยใช้ฟังก์ชันการหาค่าที่ดีที่สุด (Response Optimizer) ในการหาค่าที่เหมาะสมที่ใช้ในการปรับพารามิเตอร์ (A, B, C, D, E และ F)

โดยกำหนดให้ค่าเป้าหมายให้ค่าผลลัพธ์ (Y) หรือค่าความหนาของอีพ็อกซีได้คลิบมีค่าอยู่ในช่วง 12.7 ถึง 38.1 ไมโครเมตร เนื่องจากเป็นค่าที่อยู่ในข้อกำหนดในกระบวนการติดคลิบทองแดง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ฟังก์ชันการหาค่าที่ดีที่สุด ดังภาพที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าค่าที่เหมาะสมที่จะใช้ในการปรับพารามิเตอร์ และตารางที่ 4.6 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการติดคลิบทองแดงชนิดแสดมบ์คลิบ

ปัจจัย	หน่วย	สัญลักษณ์	พารามิเตอร์ปัจจุบัน
ความดันในการบีบอีพ็อกซี	กิโลปาสคาล	A	100
เวลาที่ใช้บีบอีพ็อกซี	วินาที	B	104
เวลาที่ใช้ในการติดคลิบทองแดง	วินาที	C	129
ตำแหน่งในการติดคลิบทองแดง	ไมโครเมตร	D	74
อุณหภูมิที่ใช้อบอีพ็อกซี	องศาเซลเซียส	E	380
เวลาที่ใช้ในการอบอีพ็อกซี	วินาที	F	50

Response Optimization: Response (Y)

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Response (Y)	Target 13.2286	27	37.1656		1	1

Solution

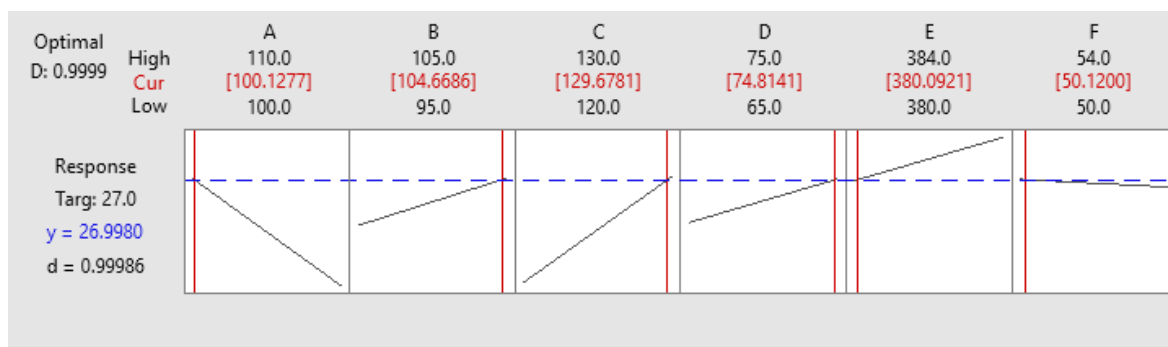
Solution	Response (Y)						Composite Desirability
	A	B	C	D	E	F	
1	100.128	104.669	129.678	74.8141	380.092	50.1200	26.9980

Multiple Response Prediction

Variable	Setting
A	100.128
B	104.669
C	129.678
D	74.8141
E	380.092
F	50.12

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Response (Y)	27.00	2.20	(22.63, 31.37)	(14.75, 39.25)

ภาพที่ 4.8 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสม



ภาพที่ 4.9 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสม

4.5 การทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 4.4 มากำหนดเป็นพารามิเตอร์ในการตั้งค่าเครื่องจักรในกระบวนการติดคลิปทองแดง ซึ่งจะใช้ในการรันงานที่ใช้แอสตัมป์คลิปเป็นวัตถุดิบและทำการวัดผลค่าความหนาของอีพ็อกซีใต้คลิป เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการติดคลิปทองแดง รวมถึงวัดค่าตำแหน่งที่การวางคลิปทองแดง และช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในอีพ็อกซีด้วย จากนั้นทำการรันงานจนถึงกระบวนการสุดท้าย แล้วนำไปทำการทดสอบความเชื่อมั่นโดยการทดสอบความไวต่อความชื้น รวมถึงนำชิ้นงานไปทำงานทดสอบทางไฟฟ้าเพื่อเป็นการการันตีว่าการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลิปทองแดงจากเอชคลิปไปเป็นแอสตัมป์คลิป ไม่มีผลต่อค่าการนำไฟฟ้าของชิ้นงาน

ในการทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมนี้ ทางผู้วิจัยได้ทำการเตรียมข้อมูลสำหรับการรันงานดังนี้

1) รันงานจำนวน 200 ยูนิต

2) ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 133 ยูนิต ซึ่งเป็นจำนวนที่เหมาะสม ซึ่งได้มาจากการคิด

โดยใช้สมการหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมดังนี้

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} = \frac{200}{1 + (200)(0.05)^2} \quad (4)$$

$$n = 13$$

โดยที่ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N = ขนาดของประชากร

e = ระดับความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้

ในงานวิจัยนี้กำหนดอยู่ที่ 95% ($e = 0.05$)

ตารางที่ 4.7 ผลค่าความหนาของอีพ็อกซีใต้คลิปทองแดงหลังจากใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง

Unit	BLT	Unit	BLT	Unit	BLT	Unit	BLT	Unit	BLT	Unit	BLT
1	28.66	27	29.14	53	22.65	79	23.64	105	28.81	131	23.52
2	22.26	28	28.52	54	23.91	80	27.98	106	25.57	132	27.39
3	24.92	29	27.47	55	23.10	81	22.39	107	22.93	133	27.03
4	27.29	30	22.03	56	26.31	82	27.31	108	25.03		
5	25.03	31	29.12	57	24.51	83	28.62	109	27.18		
6	28.42	32	20.74	58	28.50	84	26.56	110	29.58		
7	21.50	33	22.02	59	26.75	85	28.19	111	19.51		
8	26.69	34	29.17	60	21.95	86	22.79	112	26.49		
9	28.34	35	28.18	61	22.15	87	25.67	113	19.98		
10	23.35	36	27.04	62	28.86	88	25.19	114	19.95		
11	23.47	37	26.69	63	29.56	89	28.19	115	28.68		
12	24.82	38	28.49	64	20.23	90	29.57	116	25.35		
13	22.48	39	21.06	65	26.87	91	24.36	117	23.63		
14	26.84	40	28.89	66	26.40	92	29.86	118	27.75		
15	26.88	41	23.27	67	21.43	93	27.07	119	24.64		
16	28.75	42	28.93	68	24.07	94	27.83	120	20.62		
17	27.45	43	24.95	69	20.92	95	24.93	121	24.36		
18	28.12	44	26.57	70	28.60	96	28.62	122	27.81		
19	29.27	45	26.30	71	28.51	97	28.64	123	19.16		
20	23.50	46	22.97	72	29.57	98	21.40	124	29.87		
21	27.17	47	23.30	73	22.10	99	20.66	125	27.85		
22	20.48	48	20.69	74	29.39	100	25.50	126	24.19		
23	22.63	49	29.53	75	22.74	101	23.20	127	23.36		
24	24.16	50	24.51	76	29.20	102	28.76	128	25.90		
25	26.97	51	26.69	77	26.67	103	26.49	129	24.51		
26	23.36	52	19.60	78	26.11	104	21.27	130	23.55		

จากผลการรันงานด้วยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับคลิปชนิดแอสแตมป์คลิป พบว่าค่าของอีพ็อกซีไต้คลิปมีค่าอยู่ในช่วงข้อกำหนด คืออยู่ระหว่าง 12.7 – 38.1 ไมโครเมตร จึงแสดงให้เห็นว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้จากกระบวนการการออกแบบการทดลองนั้นสามารถใช้ในการติดคลิปทองแดงชนิดแอสแตมป์คลิปได้

4.6 การทดสอบและตรวจสอบความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์ (Reliability test)

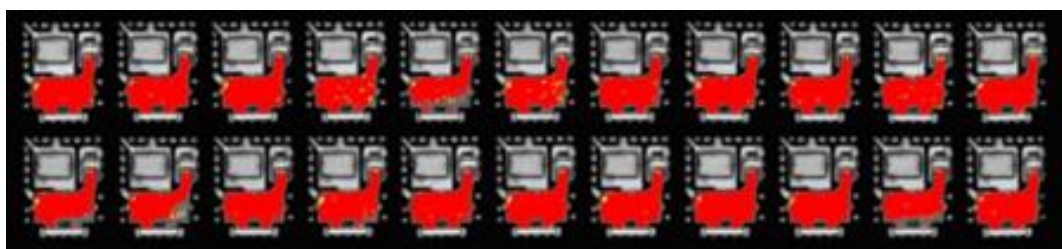
ในงานวิจัยนี้ได้เลือกการทดสอบความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์โดยการทำการทดสอบทางไฟฟ้า โดยเกณฑ์การทดสอบทางไฟฟ้าจะอ้างอิงจากโปรแกรมที่ได้มาจากลูกค้า และแตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ และทำการทดสอบระดับความไวต่อความชื้น (Moisture Sensitivity Level) ที่เงื่อนไขความไวต่อความชื้นระดับที่ 1 ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับที่ลูกค้ากำหนดในการยอมรับได้ ซึ่งจะทำการส่งผลิตภัณฑ์จำนวน 22 ยูนิตไปทำการทดสอบนี้ จากผลการทดสอบพบว่าไม่มีการเกิดการแยกชั้นขององค์ประกอบผลิตภัณฑ์บริเวณพื้นที่ใช้งาน (Active area) ขึ้นเมื่อผ่านการทดสอบความไวต่อความชื้น ดังผลที่แสดงในตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.10 และภาพที่ 4.11

4.6.1 ทดสอบค่าความไวต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture sensitivity level)

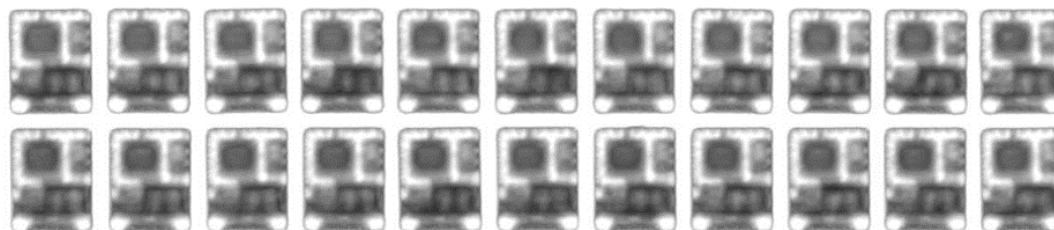
ทดสอบค่าความไวต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์ เป็นการทดสอบระดับที่แสดงความไวของชิ้นงานต่อความเสียหาย เนื่องจากความชื้นที่ดูดซับอาจจะติดอยู่ภายในชิ้นงานและเกิดการขยายตัวของความชื้นที่กักไว้เมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการแยกตัวภายในชิ้นงาน สามารถอ่านค่าได้โดยการดูภาพ T-SAM และ C-SAM ซึ่งข้อกำหนดของลูกค้าสำหรับผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงอยู่ที่ MSL level 1 ที่ 260 องศาเซลเซียส จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 22 ยูนิตโดยไม่อนุญาตให้เกิดความเสียหายของชิ้นงานเลย ซึ่งรายละเอียดการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบความไวต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์

Reliability test	Duration	Condition	Customer Target	Test result
Condition Level1 @260'C (+0/-5)			22 units	0/22
- VISUAL INSPECTION		40X		
- C+TSAM PRE-STRESS				0/22
DIE				0/22
DAP				0/22
LEAD				0/22
T-SAM				0/22
- TMCL	5 CYCLES	-65C/150C		0/22
- BAKE	24 HRS	125'C		0/22
- SOAK L1	168 HRS	85'C/85%RH		0/22
- CONVECTION REFLOW	3X	260'C (+0/-5'C)		0/22
- VISUAL INSPECTION		40X		
- C+TSAM POST-STRESS				0/22
DIE				0/22
DAP				0/22
LEAD				0/22
T-SAM				0/22



ภาพที่ 4.10 ภาพ C-SAM หลังจากการทดสอบความไวต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์
ที่มา : รูปภาพจากบริษัทกรณศึกษา

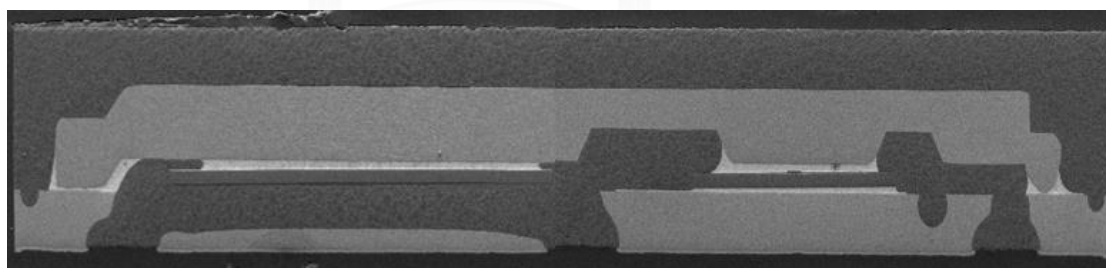


ภาพที่ 4.11 ภาพ T-SAM หลังจากการทดสอบความไวต่อความชื้นของผลิตภัณฑ์
ที่มา : รูปภาพจากบริษัทกรณีศึกษา

จากภาพที่ 4.10 จะเห็นว่าบริเวณที่เป็นสีแดงไม่ใช่บริเวณพื้นที่ใช้งาน และบริเวณพื้นที่ใช้งานไม่มีการเกิดสีแดงหรือสีเหลืองขึ้น แสดงให้เห็นว่าไม่เกิดการแยกชั้นขององค์ประกอบภายในผลิตภัณฑ์หลังจากการทดสอบความไวต่อความชื้น ซึ่งเป็นการการันตีว่าการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลิพทองแดงไม่ได้ส่งผลต่อค่าความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์

4.6.2 การทดสอบความเชื่อมั่นทางกายภาพ (Cross section)

เป็นการนำชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบความไวต่อความชื้นมาทำการตัดผ่านชิ้นงาน แล้วทำการถ่ายภาพผ่าน Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อเป็นการยืนยันว่าไม่มีการเกิดการแยกชั้นขององค์ประกอบภายในชิ้นงาน



ภาพที่ 4.12 ภาพ Cross section ของยูนิตที่ผ่านการทดสอบความเชื่อมั่นทางกายภาพ
ที่มา : รูปภาพจากบริษัทกรณีศึกษา

4.6.3 การทดสอบทางไฟฟ้า (Electrical test)

การทดสอบทางไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ จะเป็นการทดสอบเพื่อวัดความต้านทานไฟฟ้าของชิ้นงานว่ายังผ่านเกณฑ์คุณภาพของลูกค้ำ ซึ่งโปรแกรมที่จะใช้ทดสอบจะเป็นโปรแกรมของทางลูกค้ำ โดยเฉพาะ เนื่องจากแต่ละโปรแกรมจะมีการกำหนดบิน (BIN) คือเป็นตัวกำหนดว่าแต่ละยูนิตหากผ่านการทดสอบจะแสดงผลเป็นบินเลขที่เท่าไร และถ้ายูนิตมีข้อบกพร่องจะแสดงเป็นบินที่มีหมายเลขต่างกันไปตามประเภทที่เป็นสาเหตุของข้อบกพร่องนั้น อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ทางโปรแกรมของลูกค้ำมีการกำหนดว่าบินหมายเลข 13 และ 14 เป็นบินที่แสดงถึงการไม่ผ่านในเรื่องของค่าการนำไฟฟ้าที่ระดับโวลต์ที่แตกต่างกัน หากทำการทดสอบแล้วไม่พบบินหมายเลขที่ 13 และ 14 จะแสดงว่าชิ้นงานนี้ผ่านการทดสอบความต้านการนำไฟฟ้าตามเกณฑ์คุณภาพของลูกค้ำ ซึ่งจากการนำงานที่ผ่านการรันด้วยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมาทำการทดสอบทางไฟฟ้า พบว่าไม่พบบินหมายเลขที่ 13 และ 14 แต่จะพบบินหมายเลข 9 ซึ่งเป็นบินที่แสดงถึงชิ้นงานที่มีข้อบกพร่องในส่วนของลวดหาย (Missing wire) ซึ่งไม่ได้เกี่ยวข้องกับหรือเป็นผลมาจากกระบวนการปรับเปลี่ยนคลิปทองแดง แสดงดังภาพที่ 4.13

```

LOT_ID:
DEVICE:Device A
CUSTASSYLOT:
TESTER_NO:QT-4100A-03
HANDLER_NO:HS300-03
OPERATOR:452122
QTY:
TEST_FLOW:FT
PACKAGE:Package Cu clip QFN 5X5
TEMPERATURE:25
=====
PowerTech Tester      Update Time:4/28/2023 4:56:08 PM
Station <A>           Counter file name:      Log data file name:
FileName: <C:\Users\prod\Desktop\SIR580DP\FRGBH659_REV01.ptf>
Comment : Device name
Pass   :                177   99.44 %
Fail   :                   1    0.56 %
Total  :                178  100.00 %
=====

```

BIN#	ItemName	Counter	Fail/Pass	Percent
1	KELVIN	178	Pass	0.00 %
2	IGSS	178	Pass	0.00 %
3	IDSX	178	Pass	0.00 %
4	BVDSX	178	Pass	0.00 %
5	VDSP	178	Pass	0.00 %
6	IGSS	178	Pass	0.00 %
7	IGSO	178	Pass	0.00 %
8	IGSS	178	Pass	0.00 %
9	IGSS	177	Fail	0.56 %
10	VTH1	177	Pass	0.00 %
11	IDSX	177	Pass	0.00 %
12	VDSP	177	Pass	0.00 %
13	RDSP	177	Pass	0.00 %
14	RDSP	177	Pass	0.00 %

ภาพที่ 4.13 ผลการทดสอบค่าการนำไฟฟ้า

ที่มา : รูปภาพจากบริษัทกรณีศึกษา

4.7 จุดคุ้มทุนในการเปลี่ยนแปลงคลิปทองแดงจากเอชคลิปไปเป็นแอสตมป์คลิป

ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลิปทองแดงในผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง ในงานวิจัยนี้ได้มีการคำนึงถึงเรื่องของจุดคุ้มทุน (Break Even Point) เข้ามาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจในการเปลี่ยนแปลงประเภทของคลิปทองแดง เมื่อเปรียบเทียบกับความต้องการของลูกค้า ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วย ดังข้อมูลในตารางที่ 4.9 จะเห็นว่าปริมาณการผลิตเฉลี่ยของ 6 เดือนแรกตั้งแต่เดือนมกราคมถึงมิถุนายนในปี 2565 อยู่ที่ 62,000 ยูนิตต่อเดือน และปริมาณการคาดการณ์การผลิตโดยเฉลี่ยของ 6 เดือนหลังตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงธันวาคมในปี 2565 อยู่ที่ 1,500,000 ยูนิตต่อเดือน ซึ่งสมมติให้ราคาต่อหน่วยของคลิปทองแดงประเภทแอสตมป์คลิปอยู่ที่ 0.2 ดอลลาร์เหรียญสหรัฐ และราคาคลิปทองแดงประเภทเอชคลิปอยู่ที่ 0.8 ดอลลาร์เหรียญสหรัฐ เนื่องจากเอชคลิปจะมีราคาสูงกว่าแอสตมป์คลิปอยู่ประมาณ 4 เท่า และสมมติให้แอสตมป์คลิปมีราคาต้นทุนคงที่อยู่ที่ 150,000 ดอลลาร์เหรียญสหรัฐ

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างราคารวมของการใช้คลิปทองแดงประเภทเอชคลิปกับแอสตมป์คลิปพบว่าหากปริมาณการผลิตน้อยกว่า 250,000 ยูนิต การใช้เอชคลิปจะให้ราคารวมของต้นทุนที่น้อยกว่า แต่เมื่อปริมาณการผลิตมีมากกว่า 250,000 ยูนิตขึ้นไป การใช้แอสตมป์คลิปจะให้ราคารวมของต้นทุนที่น้อยกว่า

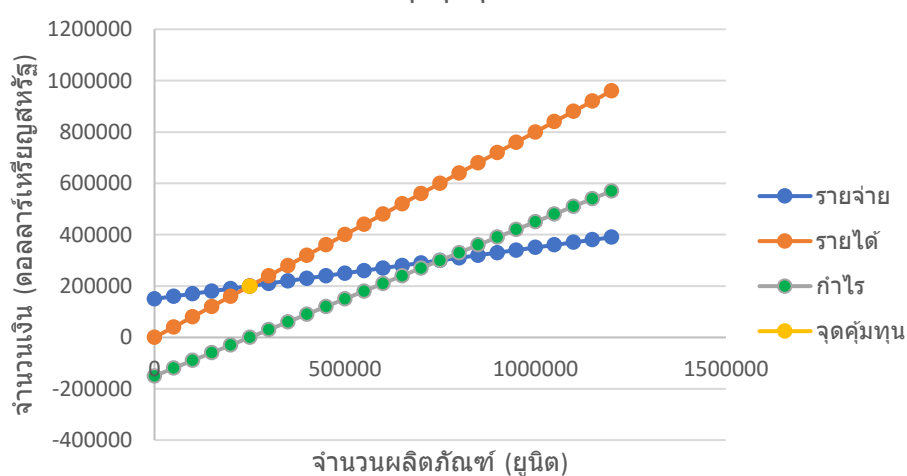
จุดคุ้มทุนของการเปลี่ยนแปลงประเภทของคลิปนั้นก็คือจุดที่มีปริมาณการผลิตเท่ากับ 250,000 ยูนิต ซึ่งเป็นจุดที่ให้ราคารวมของต้นทุนระหว่างการใช้เอชคลิปกับแอสตมป์คลิป มีค่าเท่ากัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อมีปริมาณความต้องการการผลิตของลูกค้าที่เพิ่มมากขึ้น การปรับเปลี่ยนจากเอชคลิปไปเป็นแอสตมป์คลิปเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมากและคืนทุนในระยะเวลาเพียงไม่กี่สัปดาห์

ตารางที่ 4.9 จุดคุ้มทุนในการปรับเปลี่ยนเอชคลิปเป็นแสตมป์คลิป

ประเภทของคลิปทองแดง	รายการ	ปริมาณการผลิตเฉลี่ยของ 6 เดือนแรกในปีพ.ศ. 2565	จุดดุลยภาพในการเปลี่ยนแปลงประเภทของคลิปทองแดง	ปริมาณการคาดการณ์การผลิตโดยเฉลี่ยของ 6 เดือนหลังในปีพ.ศ. 2565
เอชคลิป (Etch clip)	ปริมาณการผลิต (ยูนิต)	62,000	250,000	1,500,000
	ราคาต่อหน่วย (ดอลลาร์สหรัฐ)	0.8	0.8	0.8
	ต้นทุนคงที่ (ดอลลาร์สหรัฐ)	N/A	N/A	N/A
	ราคารวม (ดอลลาร์สหรัฐ)	49,600	200,000	1,200,000
แสตมป์คลิป (Stamp clip)	ปริมาณการผลิต (ยูนิต)	62,000	250,000	1,500,000
	ราคาต่อหน่วย (ดอลลาร์สหรัฐ)	0.2	0.2	0.2
	ต้นทุนคงที่ (ดอลลาร์สหรัฐ)	150,000	150,000	150,000
	ราคารวม (ดอลลาร์สหรัฐ)	162,500	200,000	450,000

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุดคุ้มทุน



ภาพที่ 4.14 จุดคุ้มทุนในการเปลี่ยนแปลงจากเอชคลิปไปเป็นแสตมป์คลิป

จากภาพที่ 4.14 จะเห็นว่าจุดคุ้มทุนในการปรับเปลี่ยนคลิปทองแดงจากเอชคลิปไปเป็น แสตมป์คลิปอยู่ที่จำนวนผลิตภัณฑ์ 250,000 ยูนิต รายจ่ายอยู่ที่ 200,000 ดอลลาร์สหรัฐ และเมื่อจำนวนผลิตภัณฑ์มีปริมาณเพิ่มสูงมากขึ้นเรื่อยๆ การปรับเปลี่ยนคลิปทองแดงจากเอชคลิปไปเป็น แสตมป์คลิปจะส่งผลให้มีรายได้และกำไรที่เพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.10 สัดส่วนราคาผลิตภัณฑ์ในการปรับเปลี่ยนชนิดของคลิปทองแดงจากเอชคลิปไปเป็น แสตมป์คลิป

รายการ	ผลิตภัณฑ์ที่ใช้เอชคลิป	ผลิตภัณฑ์ที่ใช้แสตมป์คลิป
ค่าวัตถุดิบทางตรง	56%	46%
วัตถุดิบทางอ้อม	14%	17%
ค่าแรง	7%	8%
ค่าเสียหายผันแปร	5%	6%
ค่าเสียหายคงที่	4%	5%
ค่าไฟ	9%	11%
ค่าเครื่องจักร	2%	2%
รวมทั้งสิ้น	100%	100%

ดังนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบสัดส่วนราคาของผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดงที่ใช้คลิปทองแดงประเภทเอชคลิปและประเภทแสตมป์คลิป พบว่าสัดส่วนราคาของแผงวงจรรวมที่ใช้คลิปทองแดงชนิดแสตมป์คลิปมีสัดส่วนราคาของวัตถุดิบทางตรงลดลงถึง 10% ดังตารางที่ 4.10 หรือลดลงถึง 33% ของราคาต้นทุนทั้งหมดต่อยูนิต ซึ่งคิดเป็นราคาต้นทุนลดลงยูนิตละ 19 บาท และจากปริมาณคาดการณ์การผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 1400 ล้านยูนิตต่อเดือน ดังนั้นการปรับเปลี่ยนชนิดของคลิปทองแดงนี้สามารถลดต้นทุนให้กับทางบริษัทกรณีศึกษาถึง 26.6 ล้านบาทต่อเดือน

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาผลิตภัณฑ์แผงวงจรรวมประเภทคลิปทองแดง พบว่าราคาต้นทุนของผลิตภัณฑ์มาจากส่วนของวัสดุเป็นหลัก และคลิปทองแดงเป็นวัสดุที่มีราคาสูงมากที่สุดในกลุ่มวัสดุ ซึ่งจากการศึกษาชนิดของคลิปทองแดงในท้องตลาด พบว่ามีคลิปทองแดงอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ เอ็ชคลิปและแสดมป์คลิป ซึ่งเอ็ชคลิปจะเป็นวัสดุที่ใช้ทางบริษัทกรณีศึกษาใช้อยู่ในปัจจุบัน แต่ในส่วนของแสดมป์คลิปจะมีราคาต่อหน่วยที่ถูกกว่าเอ็ชคลิปถึง 4 เท่ารวมถึงระยะเวลาในการรอคอยวัสดุีบรวดเร็วมากกว่า แต่จะมีค่าใช้จ่ายในเรื่องของต้นทุนคงที่ที่มากกว่าเอ็ชคลิป รวมถึงขนาดของคลิปในบางตำแหน่งที่แตกต่างกัน ทำให้ในการที่จะทำการปรับเปลี่ยนคลิปทองแดงจากเอ็ชคลิปไปเป็นแสดมป์คลิปต้องมีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนคลิปทองแดงจากชนิดเอ็ชคลิปไปเป็นแสดมป์คลิป และศึกษาจุดคุ้มทุนในการปรับเปลี่ยนในครั้งนี้ด้วย

ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับเปลี่ยนคลิปทองแดงในครั้งนี้โดยเริ่มจากการใช้แผนผังการประเมินความเสี่ยงเข้ามาใช้ในการประเมินว่ามีกระบวนการใดบ้างในการผลิตแผงวงจรรวมที่จะได้รับผลกระทบในการเปลี่ยนแปลงนี้ จึงพบว่ากระบวนการติดคลิปทองแดงเป็นกระบวนการที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด ซึ่งในกระบวนการติดคลิปทองแดงจะถูกแบ่งย่อยออกเป็น 3 กระบวนการหลัก นั่นคือกระบวนการหยดอีพ็อกซีลงบนหน้าตาย 1 และ 2 กระบวนการติดคลิป และกระบวนการรีโฟลว์ โดยที่ 3 กระบวนการนี้จะประกอบไปด้วย 6 ปัจจัยด้วยกัน จากนั้นทางผู้วิจัยจะใช้การออกแบบการทดลอง 2^k full factorial design ในการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับคลิปทองแดงชนิดแสดมป์คลิป ซึ่งในการทำการทดลองนี้จะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 6 ปัจจัย ได้แก่ ความดันในการบีบอีพ็อกซี, เวลาที่ใช้ในการติดคลิปทองแดง, ตำแหน่งในการติดคลิปทองแดง, อุณหภูมิที่ใช้อีพ็อกซีและเวลาที่ใช้ในการอบอีพ็อกซี ทำให้ในงานวิจัยนี้จะทำการทดลองทั้งหมด 64 รัน และทำซ้ำอีก 1 ครั้ง รวมเป็นทั้งหมด 128 การทดลอง เพื่อป้องกันความไบอัสของข้อมูล หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลและพบว่าข้อมูลที่ได้ที่การกระจายตัวแปรปกติและมีความน่าเชื่อถือได้

เมื่อเสร็จสิ้นการวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว จากนั้นจะทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากการวิเคราะห์โดยใช้ฟังก์ชันการหาค่าที่ดีที่สุด (Response Optimizer) ในการหาค่าที่เหมาะสมที่ใช้

ในการปรับพารามิเตอร์ (A, B, C, D, E และ F) โดยกำหนดให้ค่าเป้าหมายให้ค่าผลลัพธ์ (Y) หรือค่าความหนาของอีพ็อกซีได้คลิบมีค่าอยู่ในช่วง 12.7 ถึง 38.1 ไมโครเมตร ซึ่งพบว่าได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับคลิบทองแดงประเภทแสดมบ์คลิบ

ปัจจัย	หน่วย	สัญลักษณ์	พารามิเตอร์ปัจจุบัน
ความดันในการบีบอีพ็อกซี	กิโลปาสคาล	A	100
เวลาที่ใช้บีบอีพ็อกซี	วินาที	B	104
เวลาที่ใช้ในการติดคลิบทองแดง	วินาที	C	129
ตำแหน่งในการติดคลิบทองแดง	ไมโครเมตร	D	74
อุณหภูมิที่ใช้อีพ็อกซี	องศาเซลเซียส	E	380
เวลาที่ใช้ในการอบอีพ็อกซี	วินาที	F	50

จากนั้นได้นำพารามิเตอร์ที่ได้ไปทำงานรันงานจริงทั้งหมด 200 ตัว และทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 133 ตัว พบว่าทั้ง 133 ตัวมีค่าความหนาของอีพ็อกซีได้คลิบที่อยู่ในช่วงที่กำหนดคือ 12.7 – 38.1 ไมโครเมตร และไม่พบอีพ็อกซีขึ้นหน้าคลิบ หลังจากเสร็จสิ้นการผลิตชิ้นงานเรียบร้อยแล้ว ทางผู้วิจัยได้ทำการตั้ง 22 ยูนิตไปทำการทดสอบความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์โดยวิธีการทดสอบความไวต่อความชื้น, การทดสอบทางกายภาพและการทดสอบทางไฟฟ้า ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์ที่ใช้แสดมภ์คลิป

รายการ	กระบวนการ	ผลการวิจัย
การทดสอบความเชื่อมั่นของผลิตภัณฑ์	การทดสอบความไวต่อความชื้น	ผลิตภัณฑ์ผ่านการทดสอบความไวต่อความชื้นที่ระดับ MSL1 @260°C และไม่พบการแยกชั้นขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์
	การทดสอบทางกายภาพ	ไม่พบการแยกชั้นขององค์ประกอบของผลิตภัณฑ์
	การทดสอบทางไฟฟ้า	ไม่พบ Bin13 และ Bin14 เป็นการยืนยันว่าผลิตภัณฑ์มีค่าการนำไฟฟ้าที่ปกติ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหลังจากที่ทำการเปลี่ยนคลิปทองแดงเป็นชนิดแสดมภ์คลิป

เมื่อพบว่าผลิตภัณฑ์หลังจากที่ทำการปรับเปลี่ยนคลิปทองแดงจากเฮ้ชคลิปไปเป็นแสดมภ์คลิปไม่ได้ทำให้ความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ลดลง ทางผู้วิจัยจึงได้ศึกษาจุดคุ้มทุนและเปรียบเทียบสัดส่วนราคาของหลังจากการเปลี่ยนคลิปทองแดงเป็นประเภทแสดมภ์คลิป ซึ่งได้ผลสรุปดังตารางที่ 4.9 และ 4.10

จากการวิจัยนี้ได้ผลสรุปว่าการเปลี่ยนแปลงชนิดคลิปทองแดงจากประเภทเฮ้ชคลิปไปเป็นแสดมภ์คลิปมีความเป็นไปได้ และสามารถลดต้นทุนการผลิตได้จริงมากถึง 10% หรือลดลงถึง 33% ของราคาต้นทุนทั้งหมดต่อยูนิต ซึ่งคิดเป็นราคาต้นทุนลดลงถึง 19 บาทต่อยูนิต และจากปริมาณคาดการณ์การผลิตเฉลี่ยอยู่ที่ 1,400 ล้านยูนิตต่อเดือน ดังนั้นการปรับเปลี่ยนชนิดของคลิปทองแดงนี้สามารถลดต้นทุนให้กับทางบริษัทกรณีศึกษาถึง 26.6 ล้านบาทต่อเดือน จึงได้ผลสรุปว่าการปรับเปลี่ยนชนิดของคลิปทองแดงจากเฮ้ชคลิปไปเป็นแสดมภ์คลิปในขณะที่ต้องการของลูกค้าเพิ่มสูงขึ้นเกินจุดคุ้มทุนสามารถช่วยลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ได้อย่างมาก



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ภัทรนันท์ ภูรินันท์
วัน เดือน ปี เกิด	4 กันยายน 2539
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	จบการศึกษาปริญญาตรี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวัสดุศาสตร์
ที่อยู่ปัจจุบัน	นนทบุรี



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

- Barbole, A. N., Nalwade, Y. D., & Parakh, S. D. (2013). Impact of cost control and cost reduction techniques on manufacturing sector. *Indian streams research journal*, 3(5), 1-8.
- Guleria, P., Pathania, A., Sharma, S., & Sá, J. C. (2022). Lean six-sigma implementation in an automobile axle manufacturing industry: A case study. *Materials Today: Proceedings*, 50, 1739-1746.
- Ibusuki, U., & Kaminski, P. C. (2007). Product development process with focus on value engineering and target-costing: A case study in an automotive company. *International Journal of production economics*, 105(2), 459-474.
- Kampf, R., Majerčák, P., & Švagr, P. (2016). Application of break-even point analysis. *NAŠE MORE: znanstveni časopis za more i pomorstvo*, 63(3 Special Issue), 126-128.
- Rausand, M. (2013). *Risk assessment: theory, methods, and applications* (Vol. 115). John Wiley & Sons.
- Sarkar, B., & Moon, I. (2014). Improved quality, setup cost reduction, and variable backorder costs in an imperfect production process. *International journal of production economics*, 155, 204-213.
- Sumipol Agile Technology. (2565). *Production cost vs. Manufacturing cost* (ต้นทุนการผลิต) ต่างกันอย่างไร? สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2566, จาก <https://www.sumipol.com/knowledge/what-is-the-difference-between-production-costs-vs-manufacturing-costs/>
- Wanna Yongpisanphob. (2564). แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2564-2566: อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์. สืบค้นเมื่อ 1 เมษายน 2566, จาก <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/Hi-tech-Industries/Electronics/IO/io-Electronics-21>
- Warisra Khemklad. (2563). ทำความรู้จัก *Cost Reduction* เทคนิคการลดต้นทุน. สืบค้นเมื่อ 6 เมษายน 2566, จาก <https://www.pantavanij.com/th-develop-a-cost-reduction-strategy-for-your-brand/>
- กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. (2563). ต้นทุนการผลิต และวิธีการลดต้นทุนการผลิต. สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2566, จาก <https://bsc.dip.go.th/th/category/sale-marketing/sm-productioncost>

- กิตติ วิบูลย์ศิริเสวีกุล. (2542) การลดต้นทุนโดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า/การวิเคราะห์คุณค่า :
กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตชุดสายไฟฟ้ารถยนต์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิพนธ์ จงพิทักษ์ศิลป์. (2551) การลดต้นทุนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ โดยการเปลี่ยนวัสดุเริ่มต้น.
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พิรภัทร์ สุขสมบูรณ์. (2553) การพัฒนาและปรับปรุงเพื่อลดต้นทุน ในกระบวนการผลิตเลนส์พลาสติก
กิ่งสำเร็จรูป. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- มีเชาวน์ จันท์ศิริวัฒนา และ Meechao Junsiriwatna. (2552). การลดต้นทุนกระบวนการผลิตโดย
ใช้หลักวิศวกรรมคุณค่า กรณีศึกษาการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ แผงวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน.
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- อนุรักษ์ ทองสุโขวงศ์. (2564). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการบัญชีต้นทุน. ภาควิชาการเงินและบัญชี
คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. สืบค้นเมื่อ 6 เมษายน 2566, จาก
<https://home.kku.ac.th/anuton/cost%20accounting/cost%20split.htm>
- อรุท ศุภคุณ. (2555). การออกแบบและพัฒนาชิ้นส่วนเครื่องปรับอากาศเพื่อลดต้นทุน. การประชุม
วิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555.