

การผลิตอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์และการ ประกอบแผ่นวงจรพิมพ์

โครงการยกระดับผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทย
เพื่อเตรียมความพร้อมในการเข้าสู่ห่วงโซ่อุปทานของ
อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่
(PARTS TRANSFORMATION)



THAILAND
AUTOMOTIVE
INSTITUTE
สถาบันยานยนต์

หลักสูตร
**การผลิตอุปกรณ์
อิเล็กทรอนิกส์และ
การประกอบแผ่น
วงจรพิมพ์**

วิชาพื้นฐานการออกแบบ
แผงวงจร PCB

โครงการยกระดับผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทย
เพื่อเตรียมความพร้อมในการเข้าสู่ห่วงโซ่อุปทานของ
อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่
(Parts Transformation)



02-712-2414



www.thaiauto.or.th



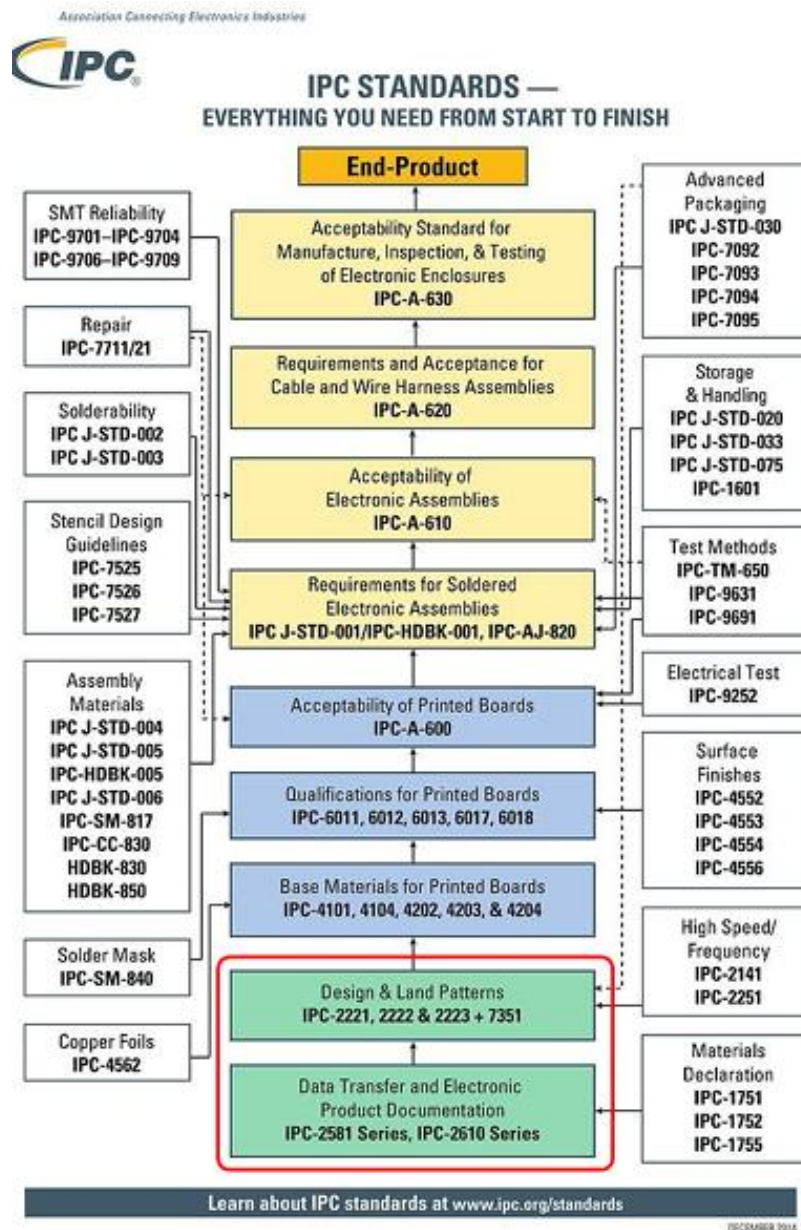
@thaiauto

สารบัญ

บทที่ 1	ข้อกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์	1
บทที่ 2	พื้นฐานองค์ประกอบบน PCB	3
2.1	การออกแบบวงจร (Design)	4
2.2	การเตรียมวัสดุ (Material Preparation).....	4
2.3	การพิมพ์ลายทองแดง (Image Transfer)	4
2.4	การกัดกรด (Etching).....	4
2.5	การเจาะรู (Drilling).....	5
2.6	การเคลือบผิว (Plating and Surface Finishing)	5
2.7	การพิมพ์สกรีน (Silkscreen Printing).....	5
2.8	การทดสอบและตรวจสอบคุณภาพ (Testing and Quality Control).....	5
2.9	การตัดและบรรจุ (Cutting and Packaging)	5
บทที่ 3	การวางอุปกรณ์มาตรฐาน และสมรรถนะของโปรแกรม EasyEDA.....	6
3.1	คุณสมบัติของ EasyEDA.....	6
3.2	ประโยชน์ของการใช้ EasyEDA	6
3.3	การเข้าใช้โปรแกรม EasyEDA โดยเข้าผ่าน https://easyeda.com/	8
3.4	สัญลักษณ์พื้นฐานของวงจรไฟฟ้า	9
3.5	การเขียนวงจรไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ แสดงดังรูป.....	13
3.6	การวางตำแหน่งอุปกรณ์กับระยะห่าง แสดงดังรูป.....	21
3.7	การสร้างรอยพิมพ์ (Footprint) ของอุปกรณ์.....	30
3.8	การสร้าง Panel ของแผ่นลายวงจรพิมพ์	37
3.9	การสร้างไฟล์รายการอุปกรณ์ของวงจรพิมพ์ (BOM)	38
3.10	การสั่งต้นแบบวงจรพิมพ์กับ JLCPCB.com	40

บทที่ 1 ข้อกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์

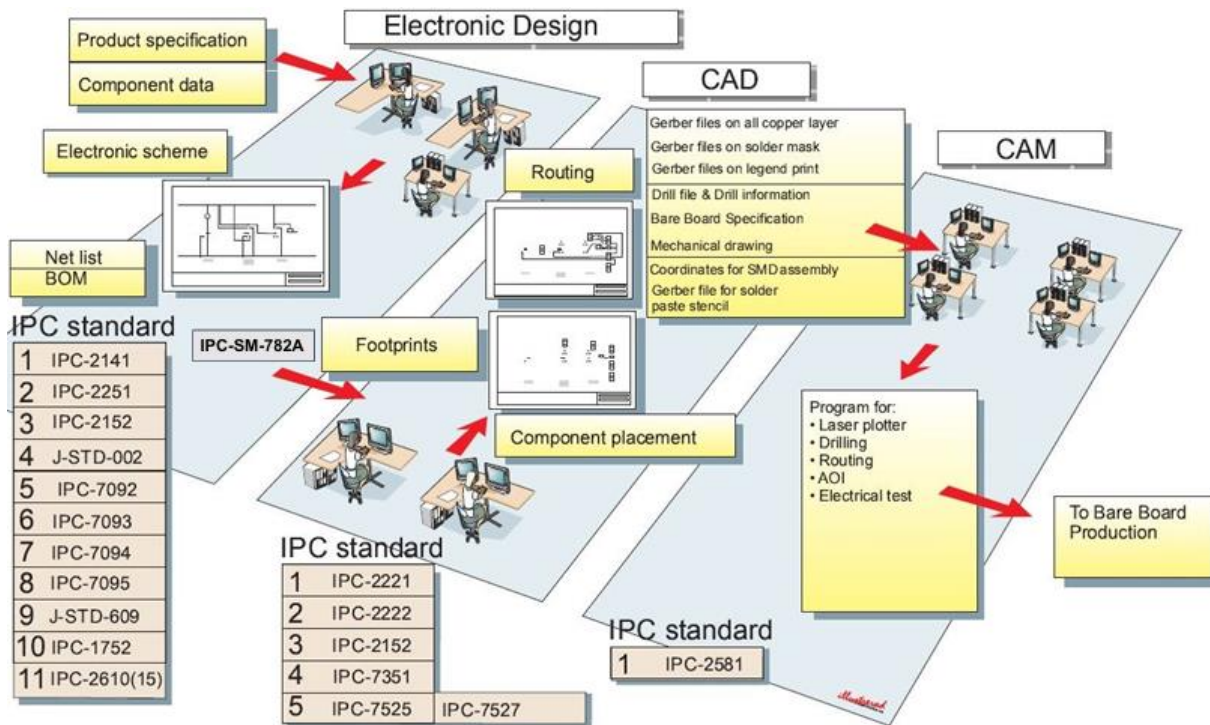
ข้อกำหนดมาตรฐานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ที่ถูกบังคับใช้ในหลายประเทศคือ IPC ย่อมาจาก Institute of Printed Circuits เป็นสมาคมที่เชื่อมโยงงานทางด้านอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อย่างมีเป้าหมาย เริ่มก่อตั้งเมื่อปี พ.ศ.2500 มีหน้าที่ออกมาตรฐาน เพื่อกำกับกระบวนการของผลิตภัณฑ์ด้านอิเล็กทรอนิกส์ครบวงจร ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการ มีอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลกเข้าร่วมมากกว่า 3,000 บริษัท เป็นที่ยอมรับของนักออกแบบและพัฒนาผลงานทางอิเล็กทรอนิกส์



- หน้าที่ของ IPC ออกมาตรฐานเพื่อกำกับกระบวนการของผลิตภัณฑ์ด้านอิเล็กทรอนิกส์ครบวงจรตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการ
- การยอมรับในอุตสาหกรรม มีอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทั่วโลกเข้าร่วมมากกว่า 3,000 บริษัท
- มาตรฐาน IPC ที่สำคัญ:
 - IPC-A-610 มาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพการประกอบอิเล็กทรอนิกส์
 - IPC-2221 มาตรฐานการออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ทั่วไป
 - IPC-SM-782A มาตรฐานสำหรับการวางตำแหน่งอุปกรณ์
 - วิธีการวางอุปกรณ์ให้ถูกต้องตามมาตรฐาน
 - การใช้ Thief Pad เพื่อช่วยในการบัดกรี
 - IPC-DRM-18H มาตรฐานสำหรับการออกแบบลายทองแดง
 - การกำหนดขนาดและระยะห่างของลายทองแดง
 - การตรวจสอบและป้องกันข้อผิดพลาดในการออกแบบ

บทที่ 2 พื้นฐานองค์ประกอบบน PCB

กระบวนการพิมพ์ เริ่มที่ Electronic Design แล้วส่งไปสร้าง CAD จากนั้นส่งต่อไป CAM เพื่อทำการผลิต



2.1 การออกแบบวงจร (Design)

2.1.1 การใช้ซอฟต์แวร์ CAD นักออกแบบใช้ซอฟต์แวร์ CAD เช่น EasyEDA, Altium Designer หรือ KiCad เพื่อสร้างรูปแบบวงจรและลายทองแดงบนแผ่น PCB

2.1.2 การสร้างไฟล์ Gerber เมื่อการออกแบบเสร็จสมบูรณ์ ไฟล์ Gerber จะถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการผลิตลายทองแดง

2.1.3 การตรวจสอบไฟล์ นักออกแบบจะตรวจสอบไฟล์ Gerber เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีข้อผิดพลาดหรือปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในการผลิต

2.2 การเตรียมวัสดุ (Material Preparation)

2.2.1 การเลือกวัสดุฐาน วัสดุฐานที่นิยมใช้คือ FR4 ซึ่งเป็นไฟเบอร์กลาสที่เคลือบด้วยทองแดง วัสดุอื่น ๆ อาจใช้ตามความต้องการพิเศษ เช่น CEM-1, CEM-3 หรือ Polyimide

2.2.2 การทำความสะอาด แผ่นวัสดุฐานจะถูกทำความสะอาดเพื่อลบคราบสกปรกและน้ำมันที่อาจขัดขวางกระบวนการต่อไป

2.3 การพิมพ์ลายทองแดง (Image Transfer)

2.3.1 การพิมพ์ฟิล์ม (Photolithography) ฟิล์มที่มีลวดลายวงจรจะถูกวางบนแผ่นทองแดง แล้วฉายแสง UV เพื่อถ่ายลวดลายลงบนแผ่น

2.3.2 การพิมพ์หมึก (Inkjet Printing) การพิมพ์ลายทองแดงลงบนแผ่นโดยตรงด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์หมึก

2.3.3 การพัฒนาภาพ (Development) หลังจากฉายแสงแล้ว แผ่นจะถูกล้างด้วยสารเคมีเพื่อเผยลวดลายทองแดงที่ต้องการ

2.4 การกัดกรด (Etching)

2.4.1 การกัดกรด ใช้สารเคมีกัดกรด (เช่น เฟอร์ริคคลอไรด์ หรือ อามโมเนียเพอร์ซัลเฟต) เพื่อกำจัดทองแดงส่วนเกินออกจากแผ่น เหลือไว้เฉพาะลายทองแดงที่ต้องการ

2.4.2 การล้างและทำความสะอาด แผ่นจะถูกล้างและทำความสะอาดเพื่อกำจัดสารเคมีที่เหลืออยู่

2.5 การเจาะรู (Drilling)

2.5.1 การเจาะรูผ่าน (Through-hole) ใช้เครื่องเจาะ CNC เพื่อเจาะรูที่ต้องการสำหรับติดตั้งส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์

2.5.2 การเจาะรูยึด (Mounting Holes) เจาะรูสำหรับติดตั้งและยึดแผ่นวงจรในตำแหน่งที่ต้องการ

2.6 การเคลือบผิว (Plating and Surface Finishing)

2.6.1 การเคลือบผิว (Plating) เคลือบแผ่นวงจรด้วยทองแดงเพิ่มเติมในบริเวณรูเจาะและลายทองแดงเพื่อเพิ่มความหนาและความทนทาน

2.6.2 การเคลือบป้องกัน (Surface Finishing) ใช้การเคลือบผิว เช่น HASL (Hot Air Solder Leveling), ENIG (Electroless Nickel/Immersion Gold) หรือ OSP (Organic Solderability Preservatives) เพื่อป้องกันการออกซิเดชันและเตรียมผิวสำหรับการบัดกรี

2.7 การพิมพ์สัญลักษณ์ (Silkscreen Printing)

การพิมพ์สัญลักษณ์ พิมพ์สัญลักษณ์และข้อความลงบนแผ่น PCB เช่น ชื่อส่วนประกอบ ตำแหน่งติดตั้งและโลโก้

2.7 การทดสอบและตรวจสอบคุณภาพ (Testing and Quality Control)

2.7.1 การทดสอบไฟฟ้า (Electrical Testing) ตรวจสอบการเชื่อมต่อไฟฟ้าและความถูกต้องของวงจรเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีข้อผิดพลาด

2.7.2 การตรวจสอบทางกายภาพ (Visual Inspection) ตรวจสอบรูปร่างและขนาดของลายทองแดง ความสะอาดของรูเจาะ และความเรียบร้อยของการพิมพ์สัญลักษณ์

2.8 การตัดและบรรจุ (Cutting and Packaging)

2.8.1 การตัดแผ่นวงจร (Cutting) ตัดแผ่นวงจรตามขนาดที่กำหนดโดยใช้เครื่องตัด CNC หรือเลเซอร์

2.8.2 การบรรจุ (Packaging) แผ่นวงจรที่เสร็จสมบูรณ์จะถูกบรรจุในบรรจุภัณฑ์ป้องกันไฟฟ้าสถิตย์และเตรียมสำหรับการส่งมอบ

กระบวนการเหล่านี้รวมกันเพื่อสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีคุณภาพสูงและพร้อมใช้งานในผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

บทที่ 3 การวางอุปกรณ์มาตรฐาน และสมรรถนะของโปรแกรม EasyEDA

โปรแกรม EasyEDA เป็นเครื่องมือสำหรับงานด้าน (Electronic Design Automation : EDA) เป็นระบบปฏิบัติการบน Website จึงไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมลงบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โปรแกรมสามารถสั่งทำแผ่นวงจรพิมพ์กับ JLCPCB ได้ และสามารถวางอุปกรณ์โดย LCSC ได้อีกด้วย

3.1 คุณสมบัติของ EasyEDA

3.1.1 การออกแบบวงจรไฟฟ้า (Schematic Capture)

- สามารถสร้างและแก้ไขวงจรไฟฟ้าได้ง่าย
- มีฐานข้อมูลอุปกรณ์และสัญลักษณ์ที่ครบถ้วน
- สามารถเพิ่มและแก้ไขสัญลักษณ์ได้ตามต้องการ

3.1.2 การจำลองวงจร (Circuit Simulation)

- รองรับการจำลองวงจรแบบ SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis)
- สามารถตรวจสอบการทำงานของวงจรและวิเคราะห์ผลลัพธ์ได้ทันที

3.1.3 การออกแบบลายทองแดง (PCB Layout)

- มีเครื่องมือสำหรับการวางตำแหน่งและการเชื่อมต่ออุปกรณ์บนแผ่น PCB
- รองรับการสร้างลายทองแดงหลายชั้น (Multilayer PCB)
- มีฟังก์ชันการตรวจสอบข้อผิดพลาด (DRC: Design Rule Check) เพื่อป้องกันปัญหาในการออกแบบ

3.1.4 การสร้างรายการอุปกรณ์ (BOM: Bill of Materials)

- สามารถสร้างรายการอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรได้อย่างละเอียด
- รองรับการเชื่อมต่อกับร้านค้าจำหน่ายอุปกรณ์ เช่น LCSC สำหรับการสั่งซื้ออุปกรณ์

3.1.5 การส่งผลิต (PCB Fabrication)

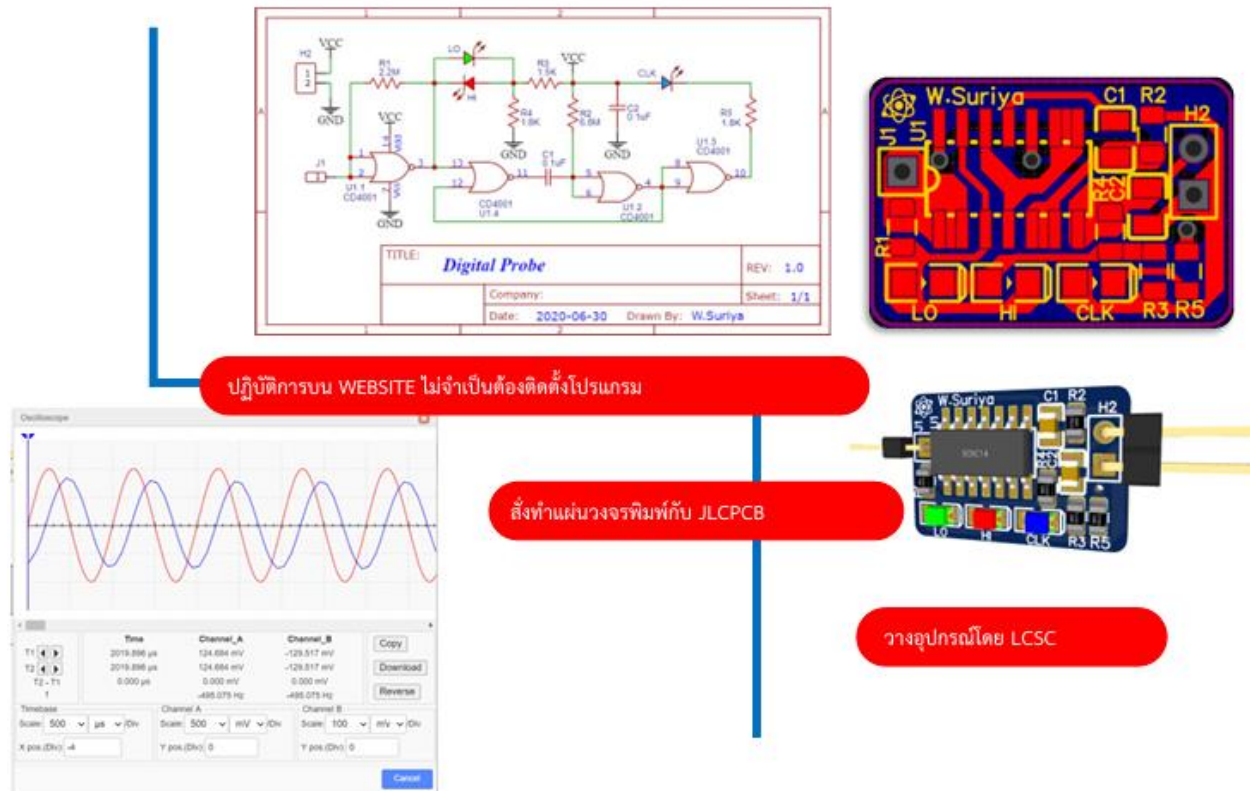
- สามารถสร้างไฟล์ Gerber สำหรับการส่งผลิตแผ่น PCB
- รองรับการส่งผลิตโดยตรงกับผู้ผลิต เช่น JLCPCB ซึ่งเป็นพันธมิตรของ EasyEDA

3.2 ประโยชน์ของการใช้ EasyEDA

1. ใช้งานง่าย มีอินเตอร์เฟซที่ใช้งานง่ายและไม่ซับซ้อน ทำให้นักออกแบบสามารถเริ่มต้นใช้งานได้ทันที
2. ออนไลน์ ไม่จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรม สามารถใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้ทุกที่ทุกเวลา
3. ฟังก์ชันครบถ้วน มีเครื่องมือครบถ้วนตั้งแต่การออกแบบวงจรไฟฟ้า การจำลองวงจร ไปจนถึงการออกแบบและสั่งผลิต PCB
4. การเชื่อมต่อกับผู้ผลิต สามารถสั่งผลิต PCB ได้โดยตรงผ่านแพลตฟอร์ม ทำให้สะดวกและรวดเร็ว

5. การทำงานร่วมกัน รองรับการทำงานร่วมกันแบบออนไลน์ ทำให้นักออกแบบหลายคนสามารถทำงานบนโปรเจกต์เดียวกันได้

EasyEDA จึงเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับนักออกแบบวงจรทั้งมือใหม่และมืออาชีพ ที่ต้องการเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพและใช้งานได้สะดวก



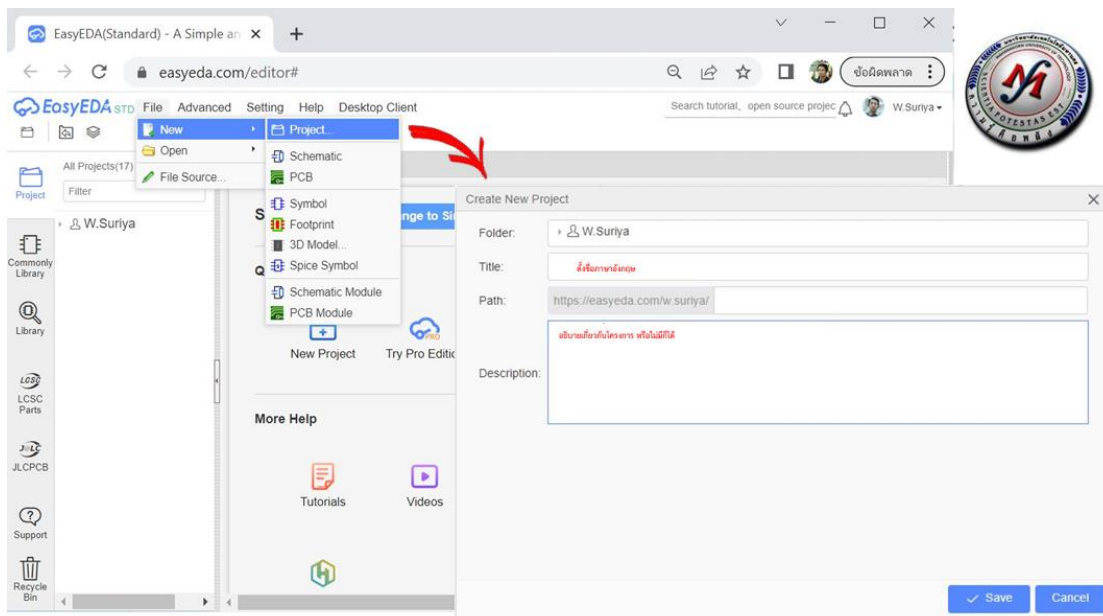
EasyEDA สามารถใช้วาด schematics ได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้ไลบรารีที่มีอยู่แล้วบนเบราร์เซอ์ และมีการอัปเดตอัตโนมัติ โดยไม่กระทบกระเทือนต่อการทำงาน สามารถใช้ทดสอบวงจรแอนะล็อก ดิจิตอล และวงจรสัญญาณผสม ด้วยวงจรย่อยและโมเดล spice ระบบ EasyEDA มีความเสถียรมาก เชื่อถือได้ เรียนรู้ได้ง่าย ตอบสนองได้รวดเร็ว และมีไลบรารีจำนวนมาก

3.3 การเข้าใช้โปรแกรม EasyEDA โดยเข้าผ่าน <https://easyeda.com/>

ลงชื่อเข้าใช้งาน โดยกรอกข้อมูลผู้ใช้ และยืนยันตัวตนใน Email แสดงดังรูป



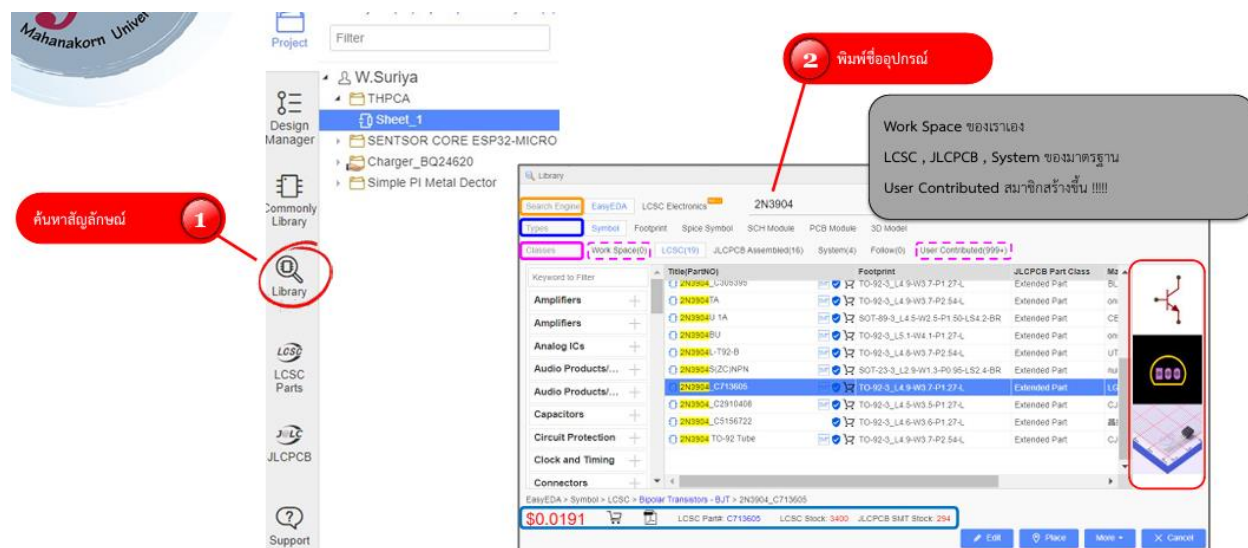
ในการเริ่มการใช้งานโปรแกรม ผู้ใช้ต้องการสร้างโปรเจกใหม่ (Create New Project) แสดงดังรูป



เข้าเมนูด้านซ้ายล่าง เพื่อเปิด Website ซึ่งเมนูด้านซ้ายบนจะเปลี่ยนแปลงตาม ส่วนเมนูด้านบน เป็นเมนูหลักกับแถบเครื่องมือ ของ Schematic แสดงดังรูป

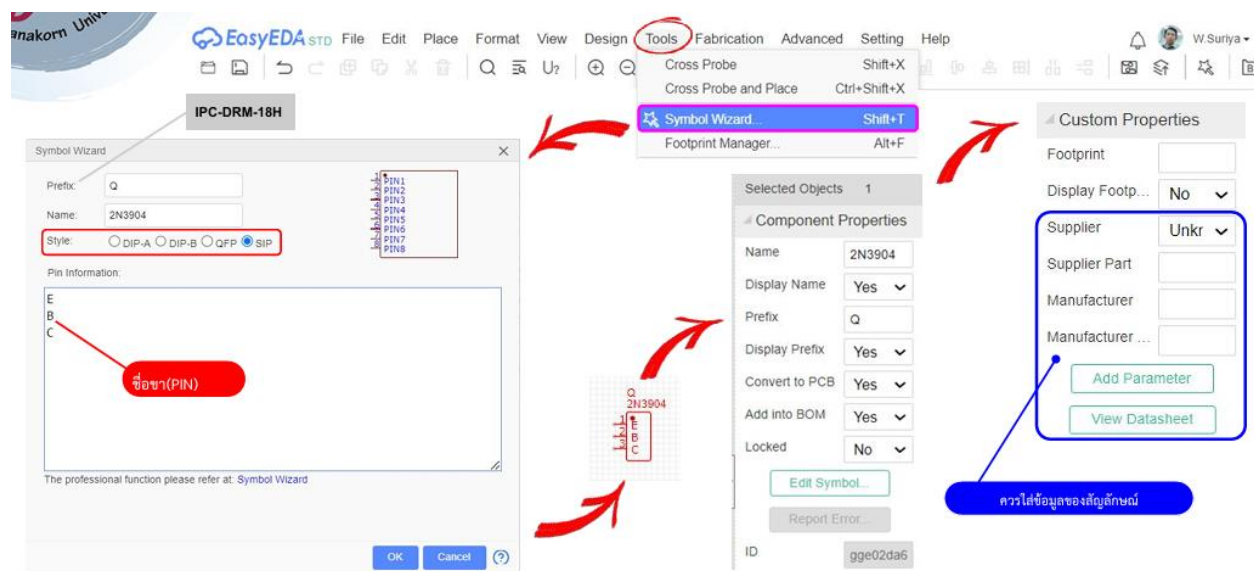
สัญลักษณ์ในห้องสมุด (Library symbol)

ค้นหาสัญลักษณ์จากแถบเครื่องมือด้านซ้าย Library แล้วพิมพ์ชื่ออุปกรณ์ที่ต้องการค้นหาได้เลย แสดงดังรูป



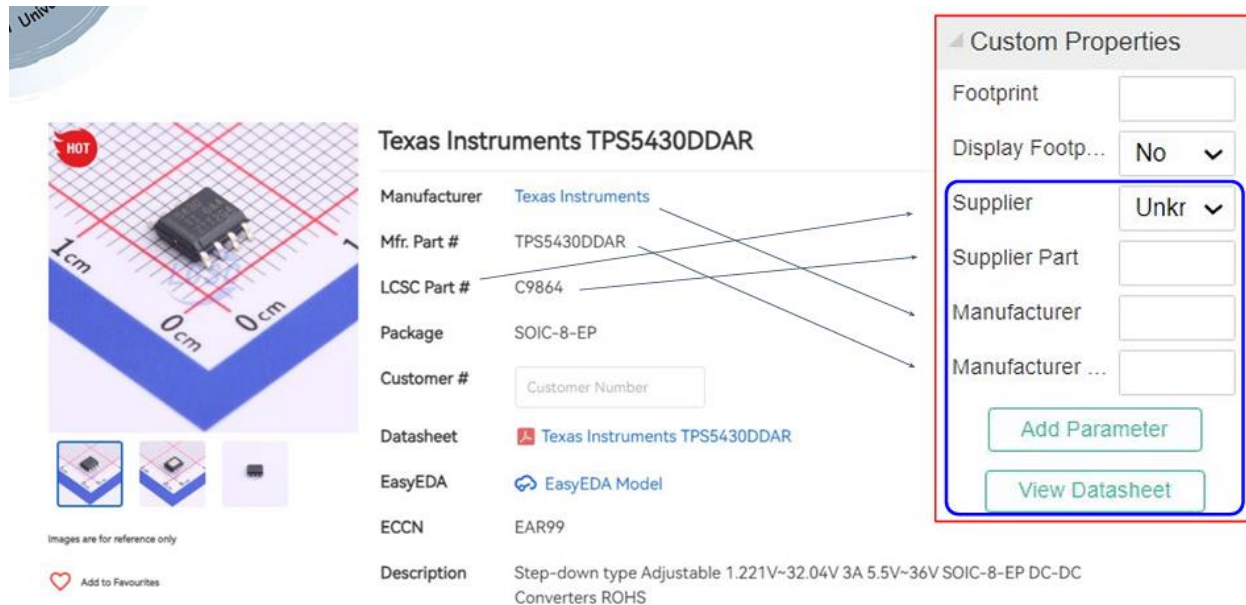
สร้างสัญลักษณ์จาก Wizard

เลือกแถบเครื่องมือด้านบน Tools เลือก Symbol Wizard จะมีหน้าต่างขึ้นมาให้ สามารถสร้างสัญลักษณ์จาก Wizard ได้เลย จากนั้นกด OK และดำเนินการตามขั้นตอนถัดไปในการ Selected Objects และ Custom Properties แสดงดังรูป



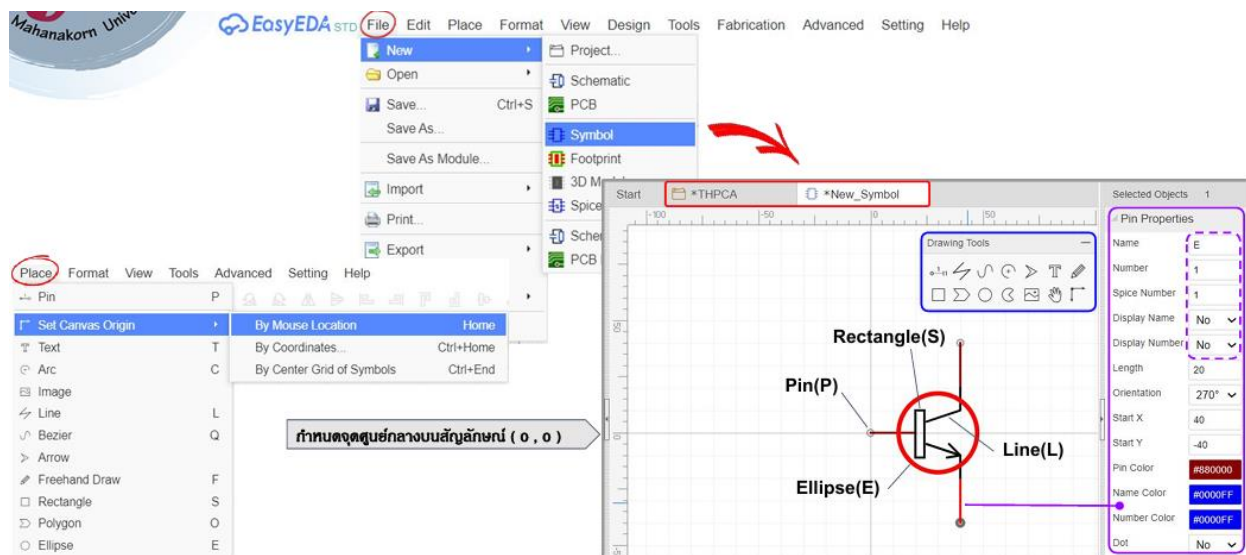
การเพิ่มข้อมูลของอุปกรณ์ลงในสัญลักษณ์

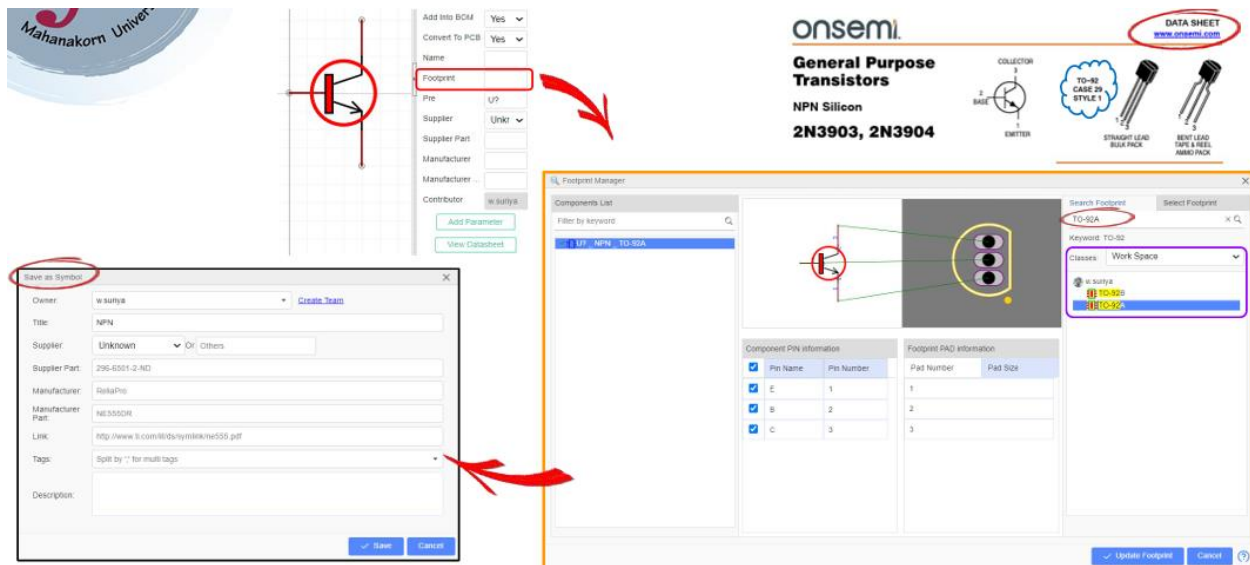
สามารถเพิ่มข้อมูลของอุปกรณ์ลงในสัญลักษณ์ ผ่านหน้าต่าง Custom Properties แสดงดังรูป



การสร้างสัญลักษณ์ด้วยตนเอง

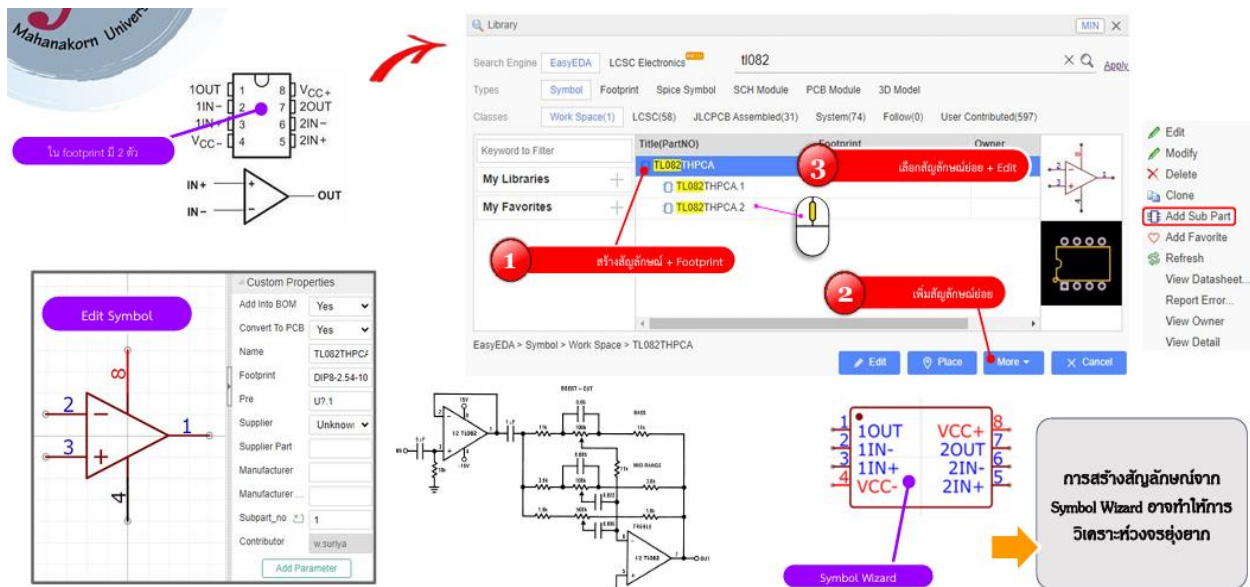
สร้างสัญลักษณ์ด้วยตนเอง ด้วยการเลือกแถบเครื่องมือด้านบนบน File เลือก New แล้วเลือก Symbol จะมีหน้าต่างขึ้นมาให้ เลือก New Symbol แสดงดังรูป





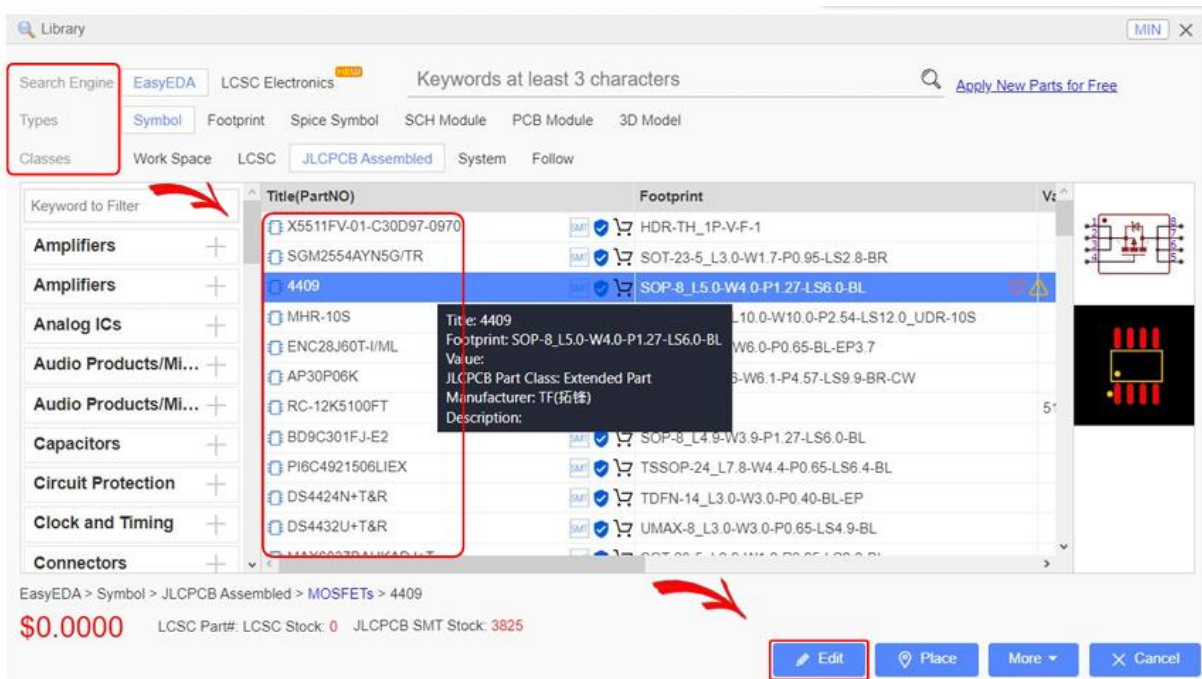
สร้างสัญลักษณ์ย่อย (Sub Part)

เริ่มจากการสร้างสัญลักษณ์ และ Footprint จากนั้น เลือก More เพื่อเพิ่มสัญลักษณ์ย่อย ทำการเพิ่มสัญลักษณ์ย่อย และแก้ไข Edit จากนั้น เลือก Add Sub Part แสดงดังรูป

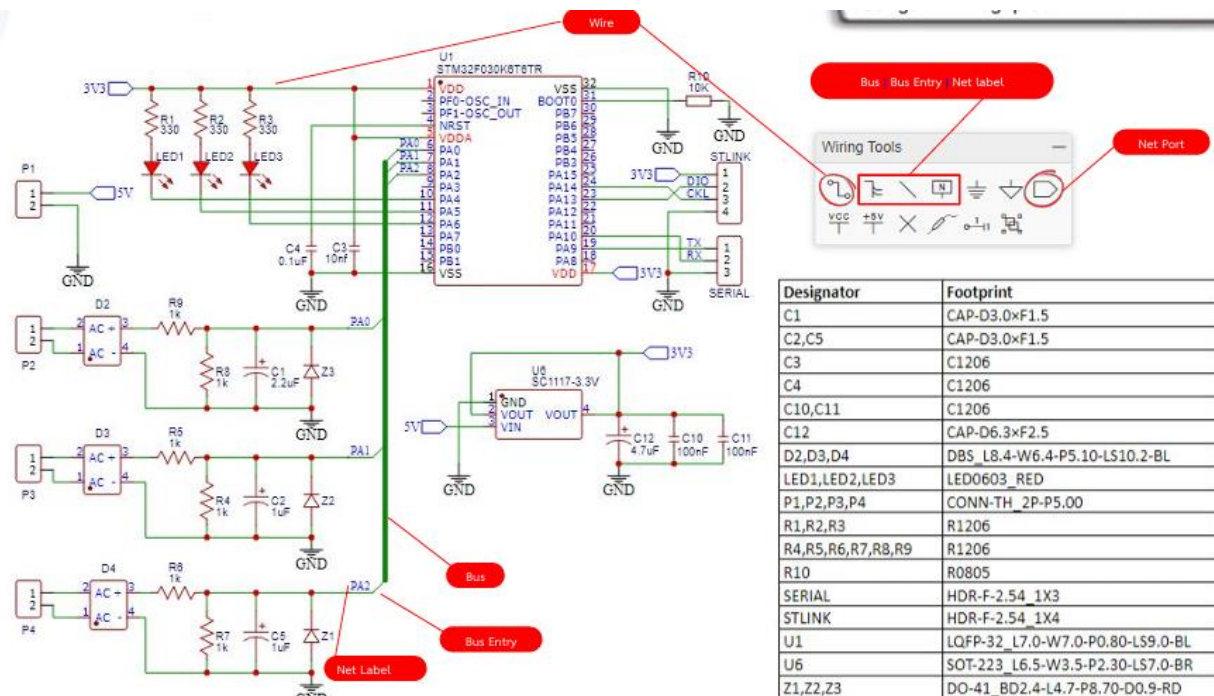


การแก้ไขสัญลักษณ์

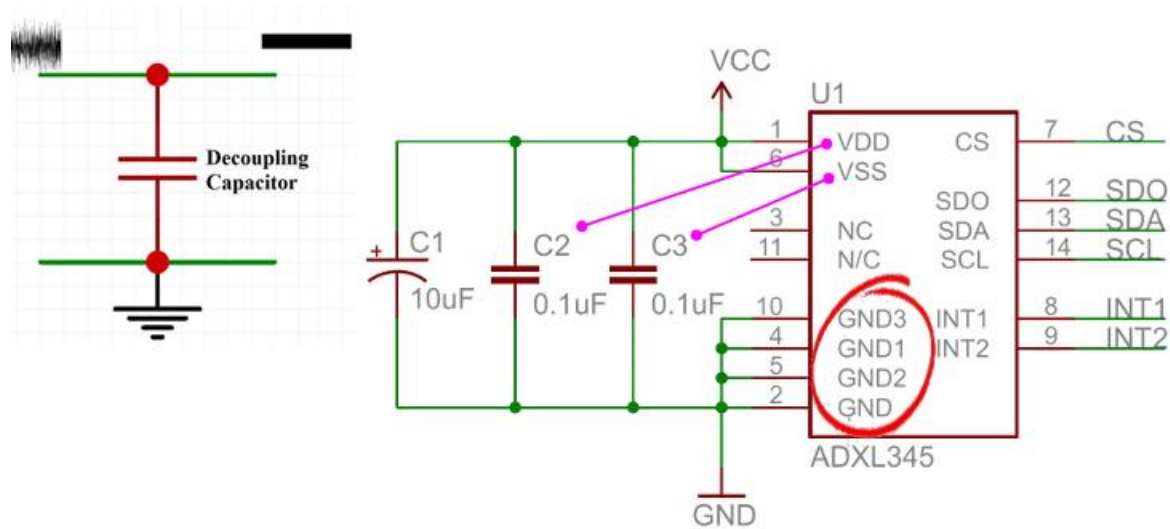
สามารถเลือก Title ที่ต้องการแก้ไข แล้วกดแก้ไข Edit แสดงดังรูป



3.5 การเขียนวงจรไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ แสดงดังรูป



ตัวเก็บประจุคัปปลิ่ง (Decoupling Capacitor) แสดงดังรูป



POWER SUPPLY DECOUPLING

A 1 μF tantalum capacitor (C_S) at V_S and a 0.1 μF ceramic capacitor (C_{IO}) at $V_{DD\ I/O}$ placed close to the ADXL345 supply pins is recommended to adequately decouple the accelerometer from noise on the power supply. If additional decoupling is necessary, a resistor or ferrite bead, no larger than 100 Ω , in series with V_S may be helpful. Additionally, increasing the bypass capacitance on V_S to a 10 μF tantalum capacitor in parallel with a 0.1 μF ceramic capacitor may also improve noise.

Care should be taken to ensure that the connection from the ADXL345 ground to the power supply ground has low impedance because noise transmitted through ground has an effect similar to noise transmitted through V_S . It is recommended that V_S and $V_{DD\ I/O}$ be separate supplies to minimize digital clocking noise on the V_S supply. If this is not possible, additional filtering of the supplies, as previously mentioned, may be necessary.

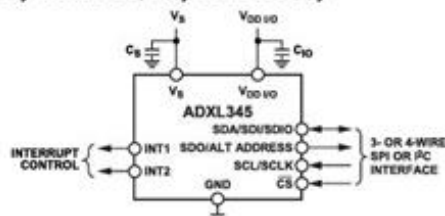
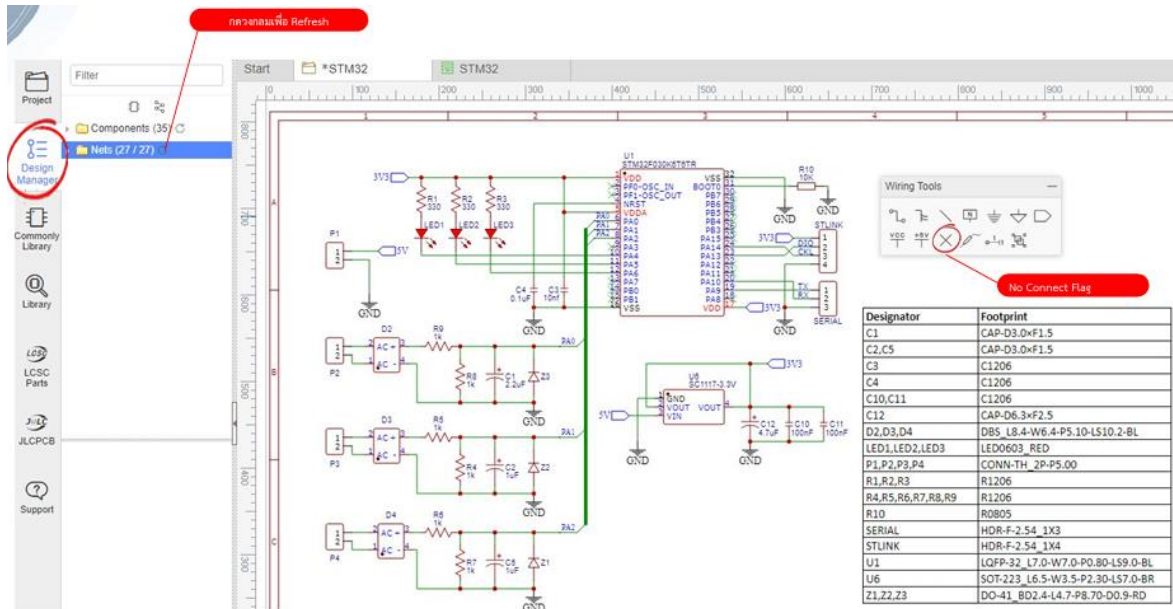


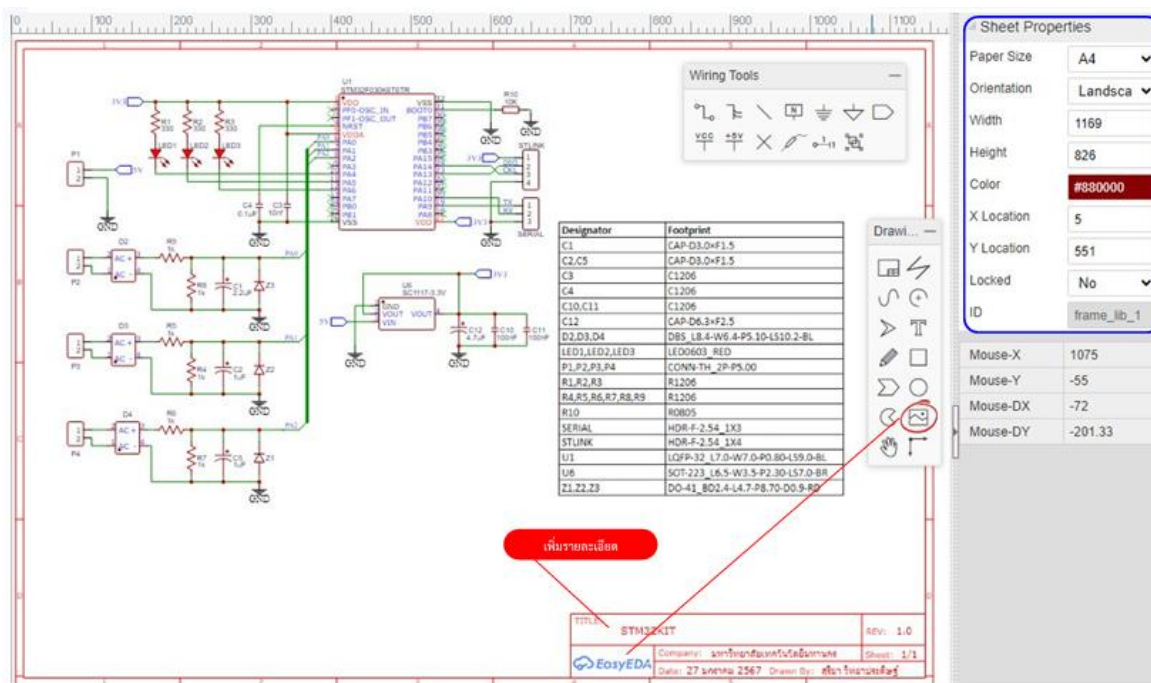
Figure 44. Application Diagram

ตรวจสอบวงจรไฟฟ้า

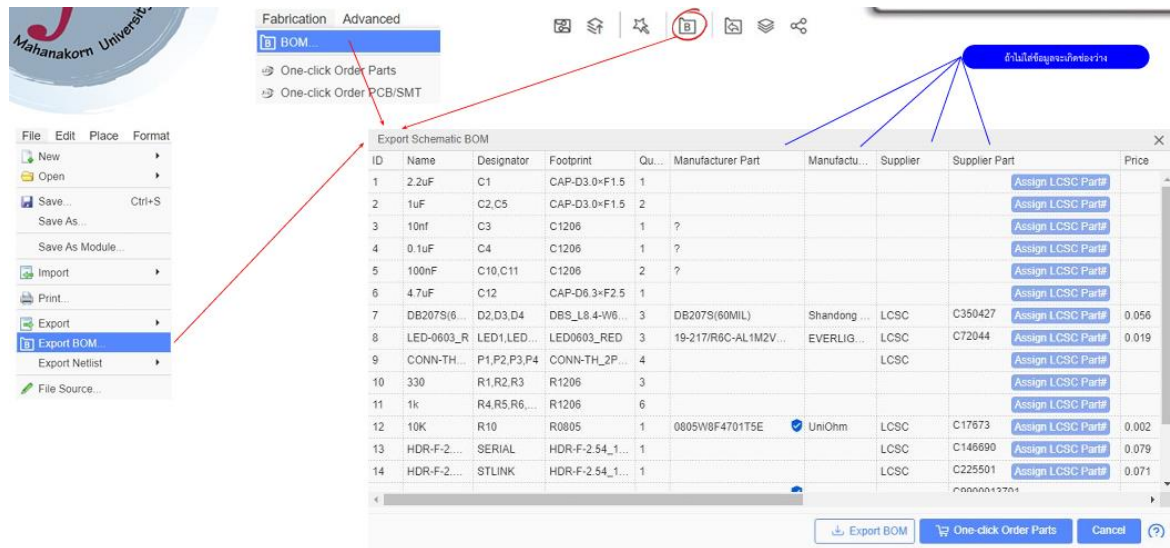
เลือกวงจรที่ต้องการ แล้วกดแถบเครื่องมือด้านซ้าย Design Manager เพื่อ Refresh แล้วตรวจสอบวงจร โดยเลือกจากบาท No Connect Flag เพื่อตรวจสอบ แสดงดังรูป



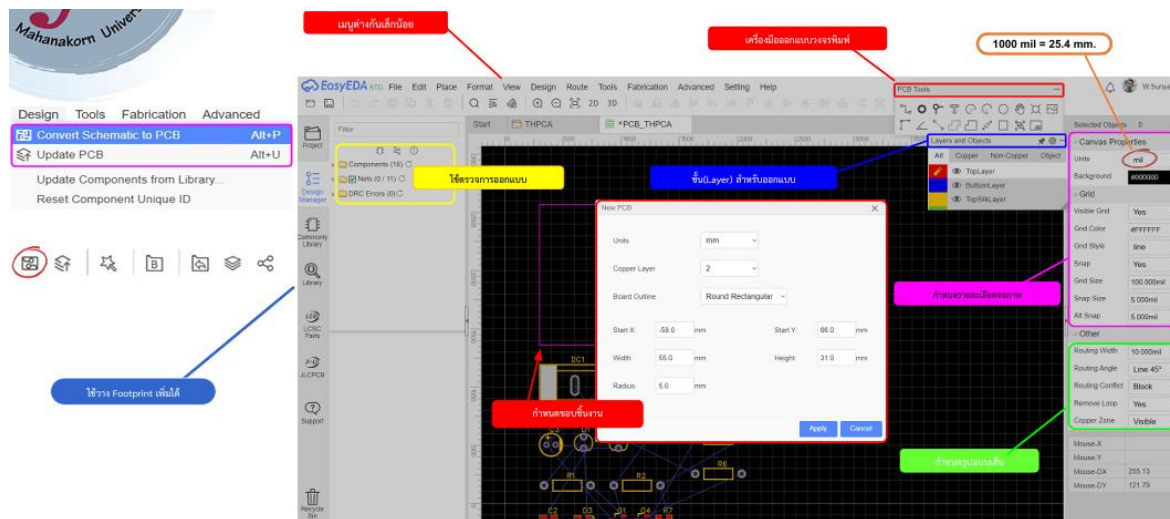
เลือกขนาดเอกสารและเขียนรายละเอียด แสดงดังรูป



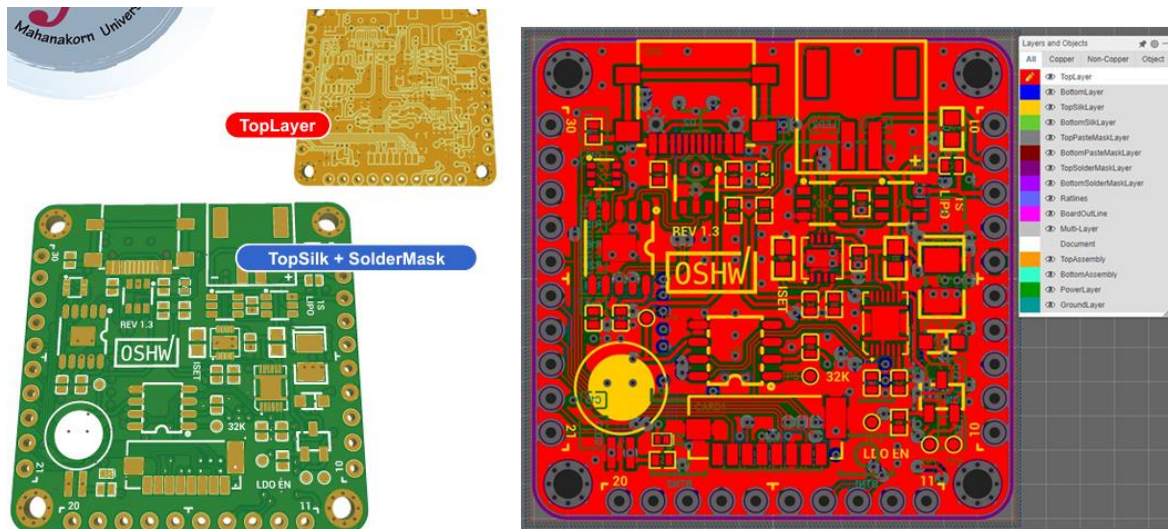
สร้างรายการอุปกรณ์ (Bill of Materials ; BOM) แสดงดังรูป



รายละเอียดของจอภาพการออกแบบลายทองแดง แสดงดังรูป

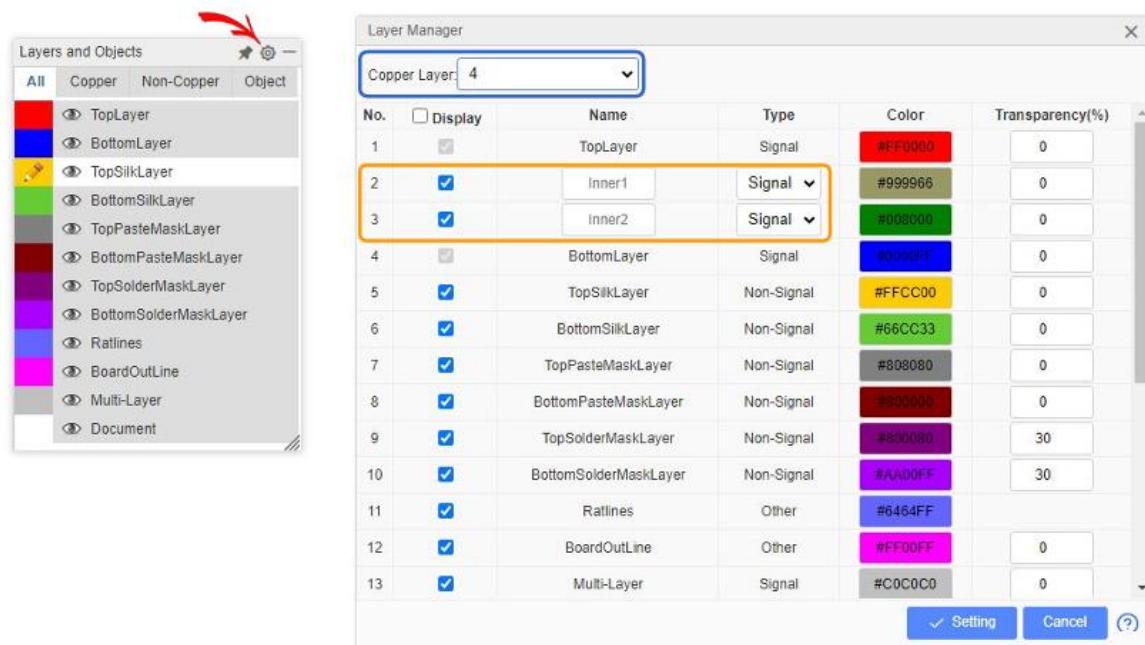


Layers and Objects แสดงดังรูป

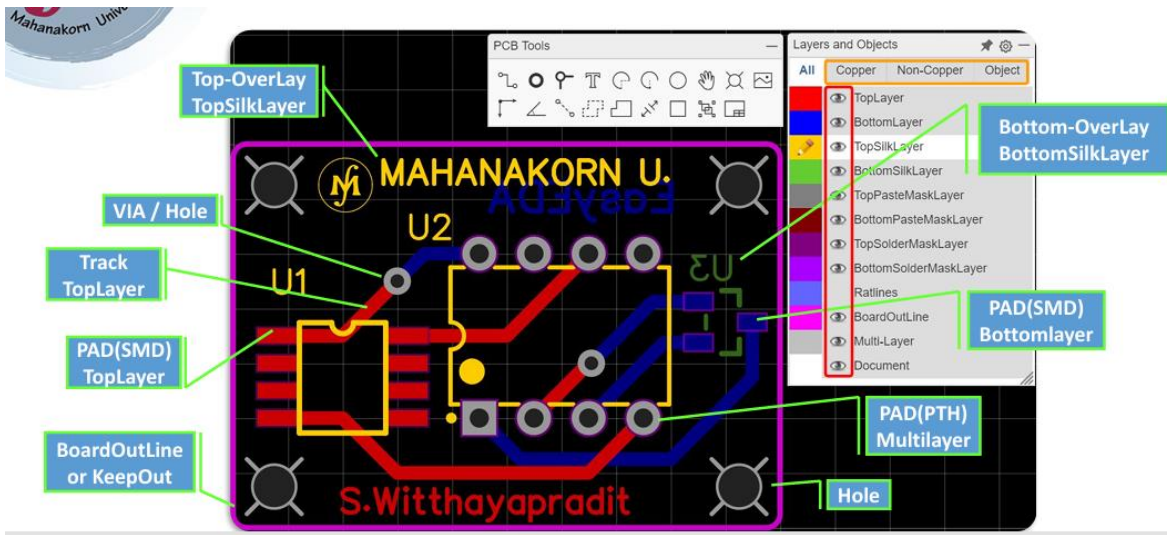


การตั้งค่ากับเพิ่มชั้น Layers

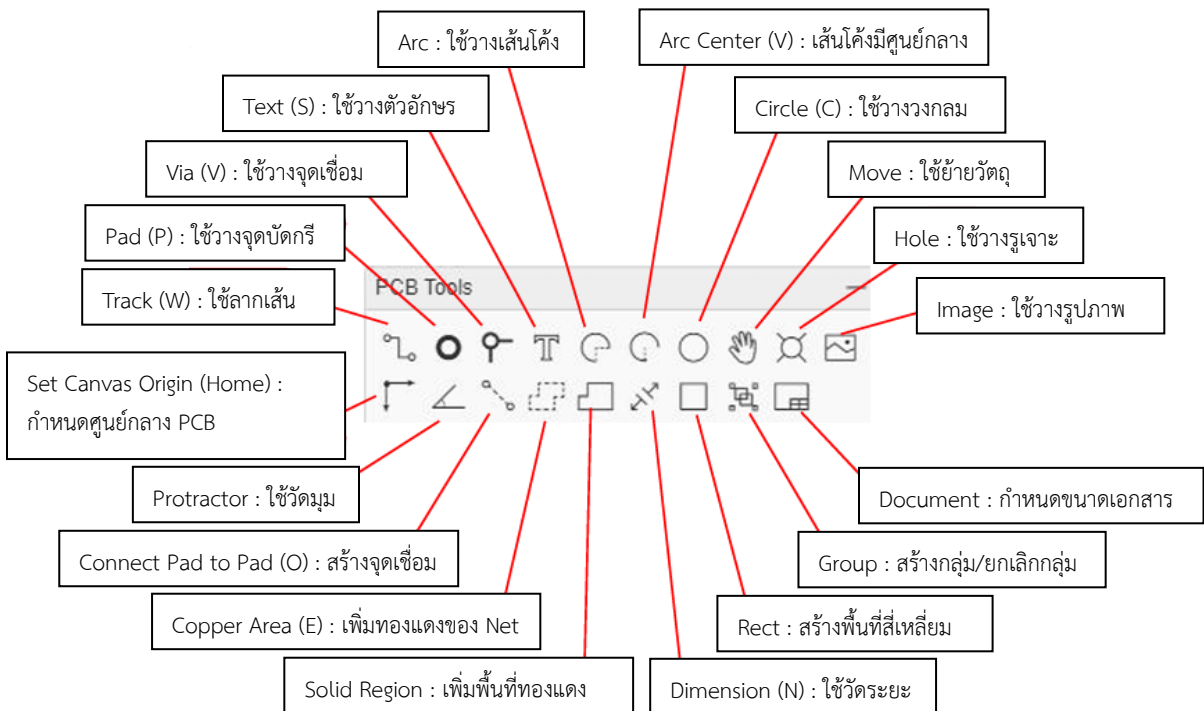
สามารถเลือกที่สัญลักษณ์ฟันเฟือง เพื่อเพิ่มชั้น Layers โดยเลือกตัวเลขที่ต้องการ แสดงดังรูป



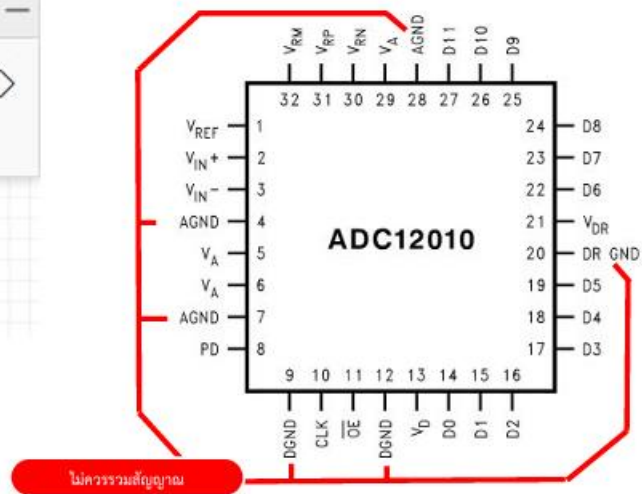
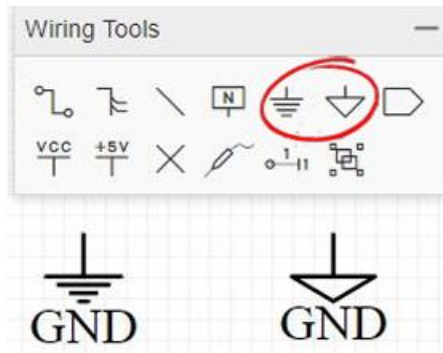
ชื่อเรียกต่าง ๆ ของการเขียนแบบลายทองแดง แสดงดังรูป



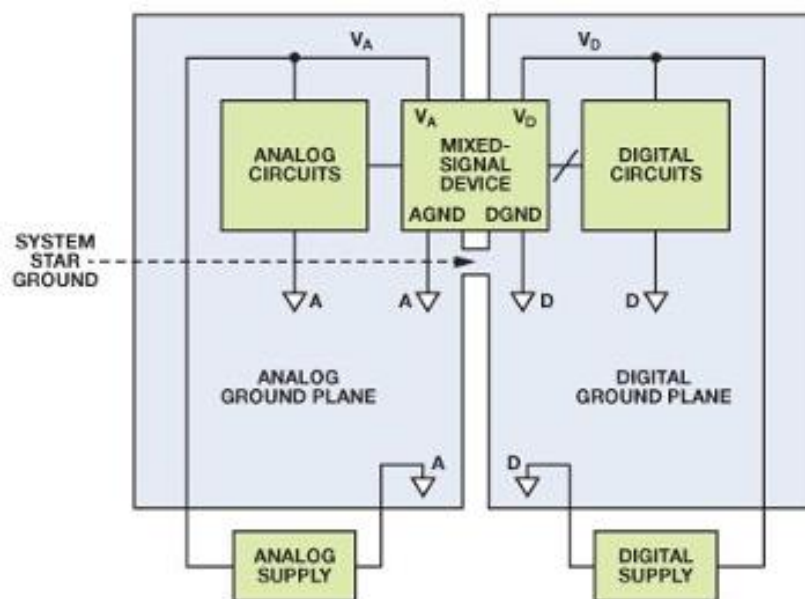
เครื่องมือการเขียนแบบลายทองแดง ใช้ PCB Tools อธิบายสัญลักษณ์ต่าง ๆ แสดงดังรูป

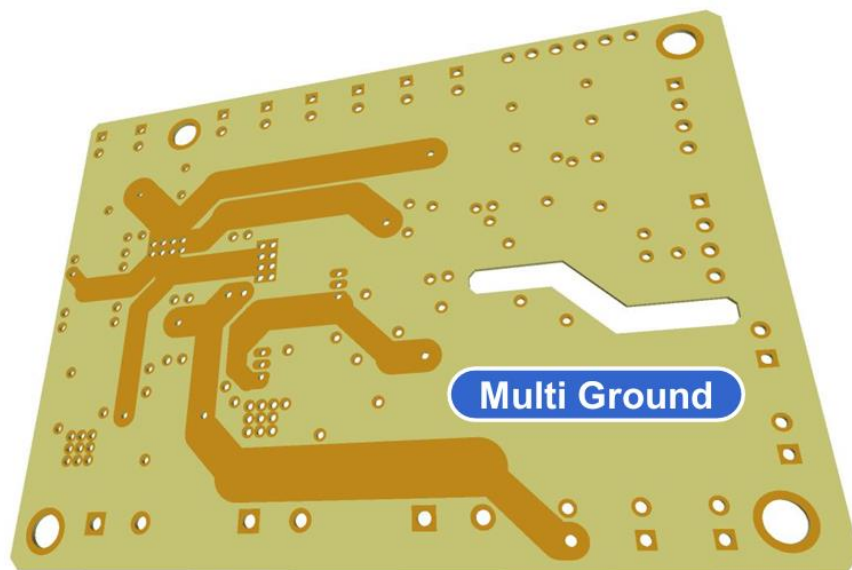
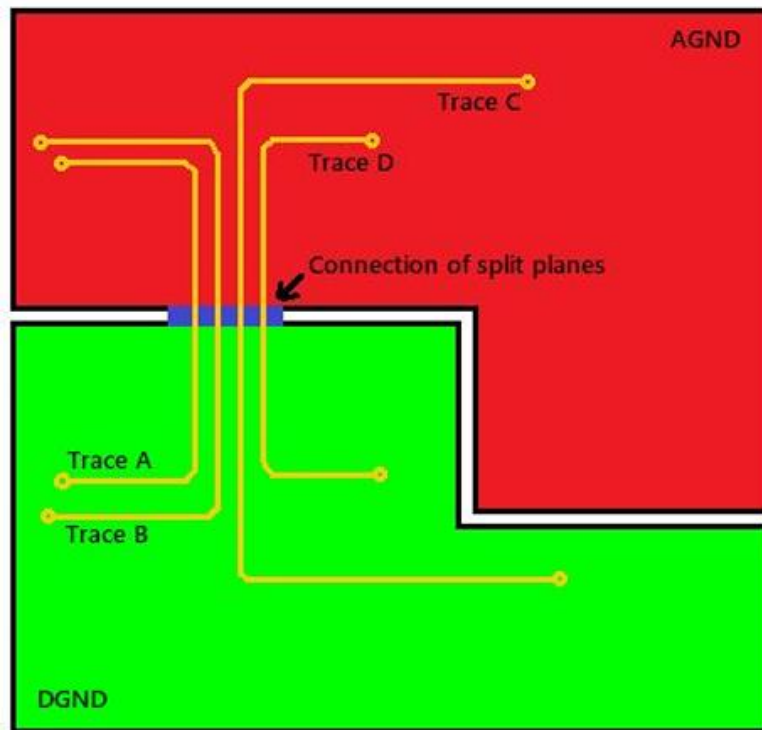


Analog & Digital Signal แสดงดังรูป

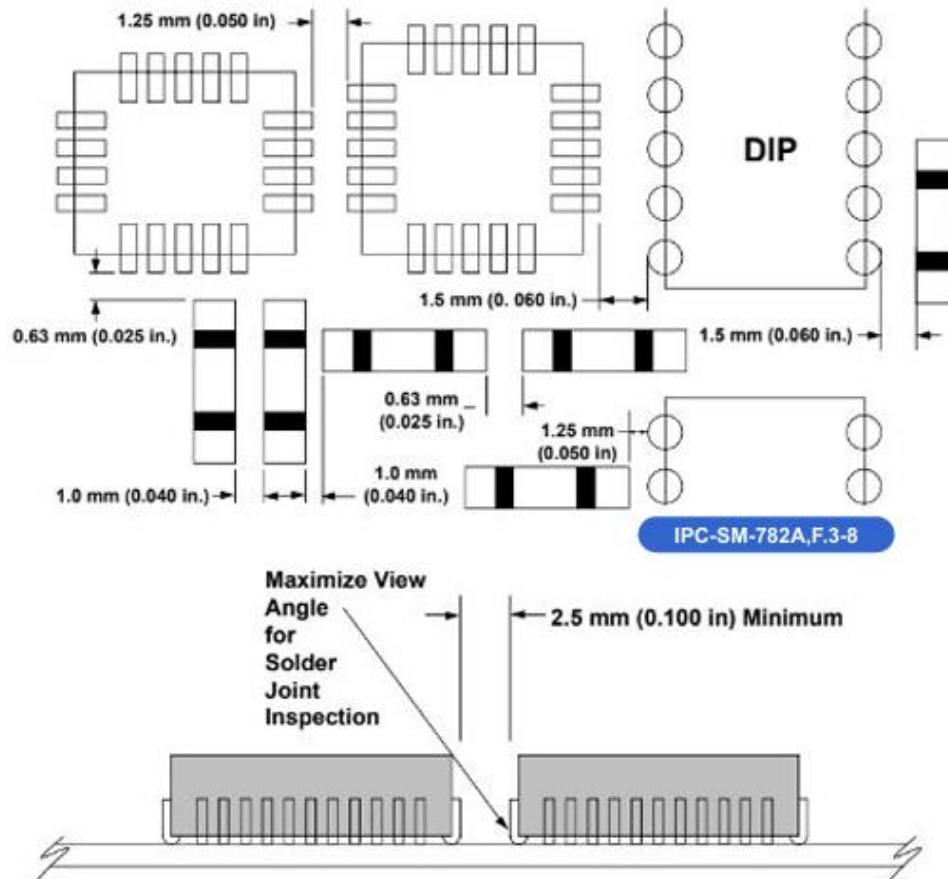


- ❑ สัญลักษณ์ต่างกัน
- ❑ มีชื่อกำกับ เช่น AGND และ DGND
- ❑ แยกกระบบออกจากกัน หรือใช้จุดร่วมเดียวกัน





3.6 การวางตำแหน่งอุปกรณ์กับระยะห่าง แสดงดังรูป



Component-to-Component Spacing

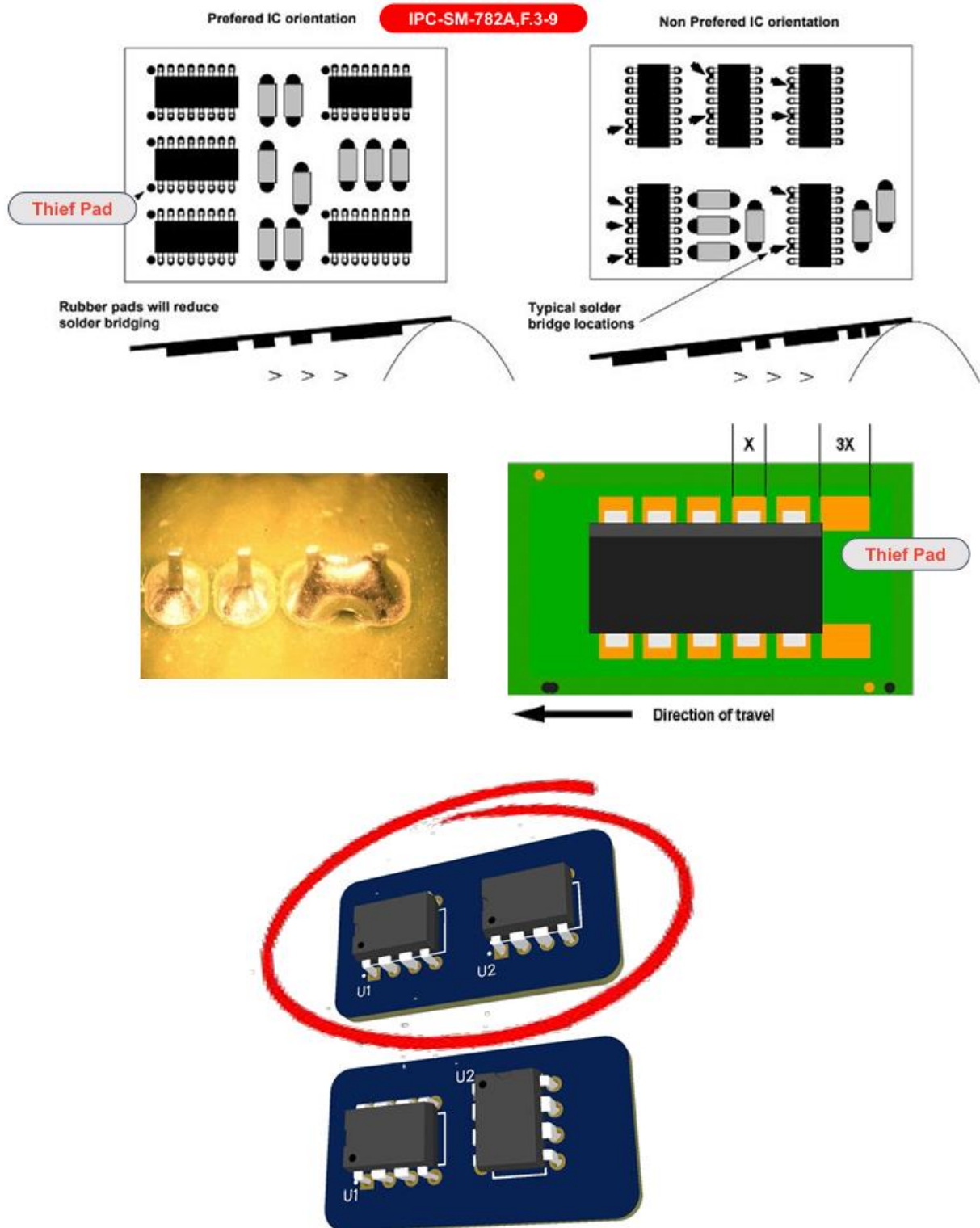
IPC-7351[4-1]

ALL DIMENSIONS IN MILS

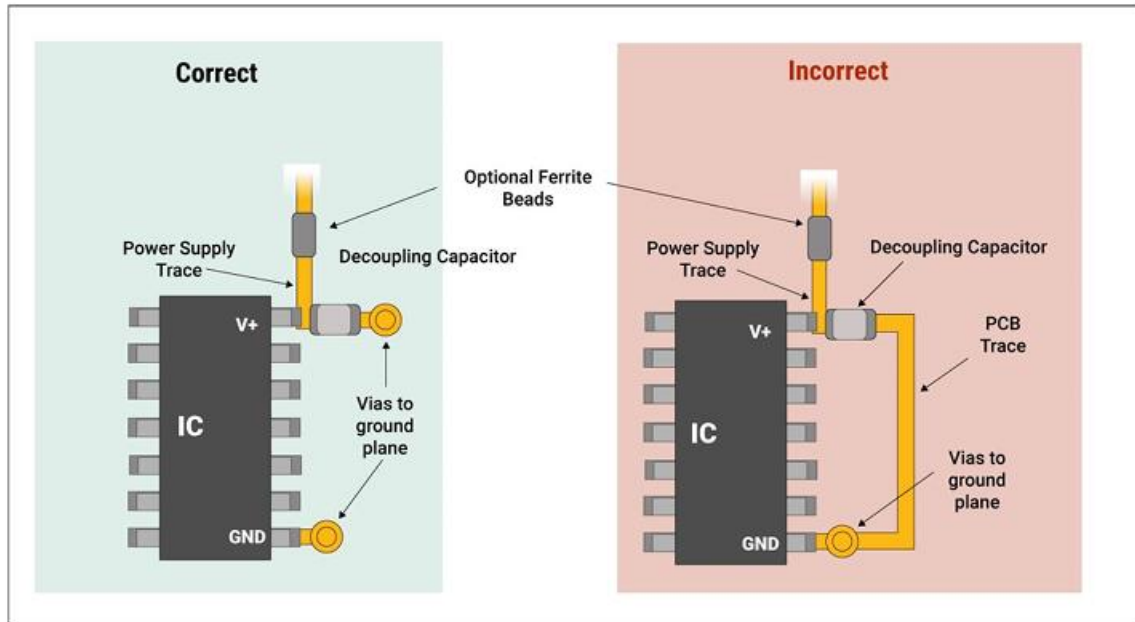
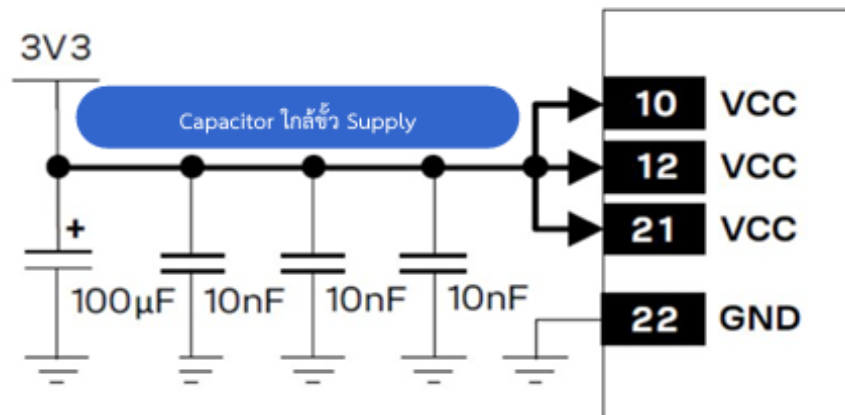
To / From	Chip	Tantalum	SOIC	QFP/QFN	SOT23	PLCC	BGA	CSP	DIP
Chip	40	50	40	100	50	50	125	125	60
Tantalum	50	50	55	100	75	100	125	100	60
SOIC	40	55	50	100	50	100	125	125	60
QFP/QFN	100	100	100	100	100	100	250	250	100
SOT23	50	75	50	100	35	100	125	125	60
PLCC	50	100	100	100	100	100	125	125	60
BGA	125	125	125	250	125	125	250	250	125
CSP	125	100	125	250	125	125	250	100	125
DIP	60	60	60	100	60	60	125	125	100

Figure 31b - Standard Clearance Requirements for Component Spacing Based on Type^{1a-2f}

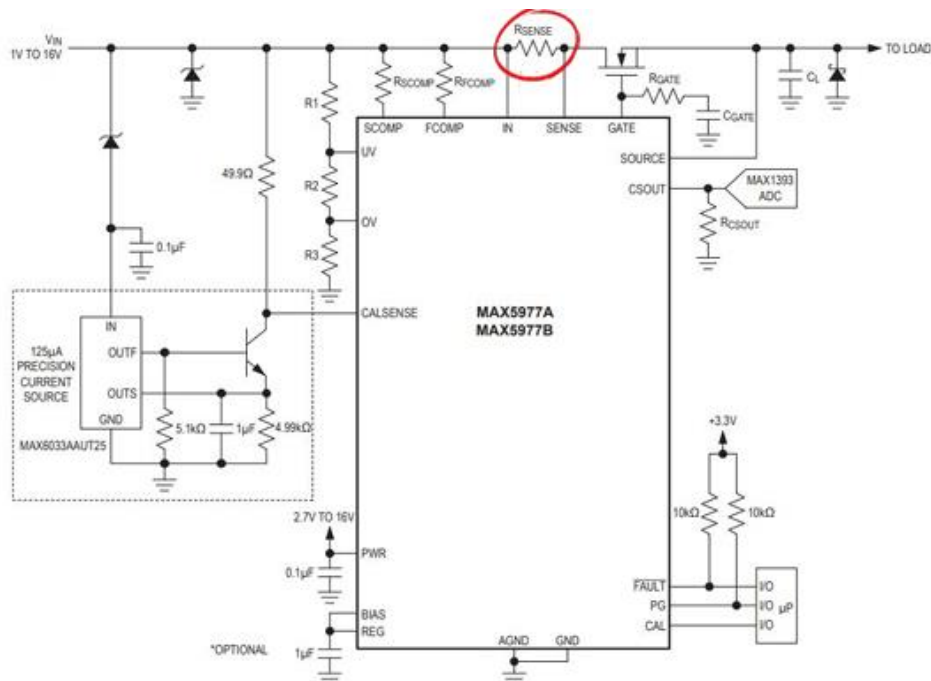
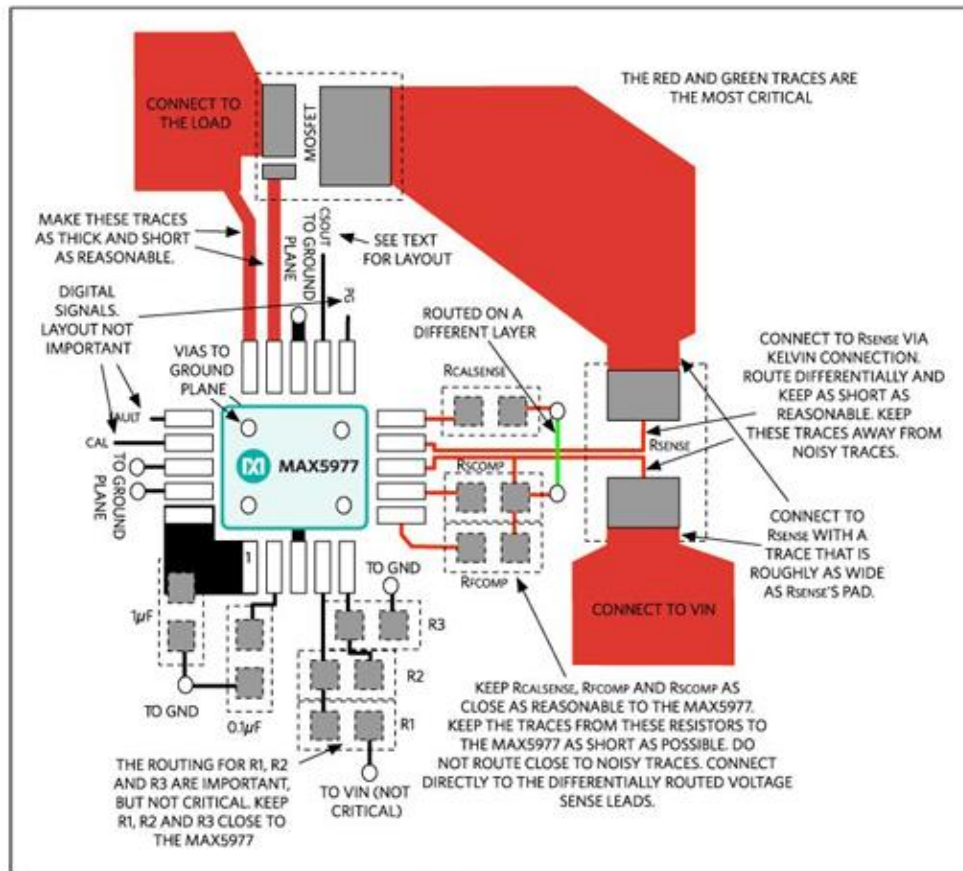
การจัดวางทิศทางของอุปกรณ์กับ Thief Pad แสดงดังรูป



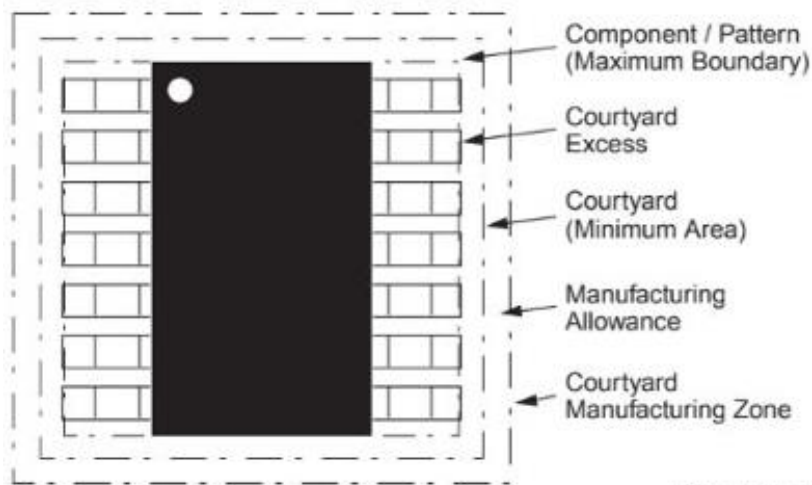
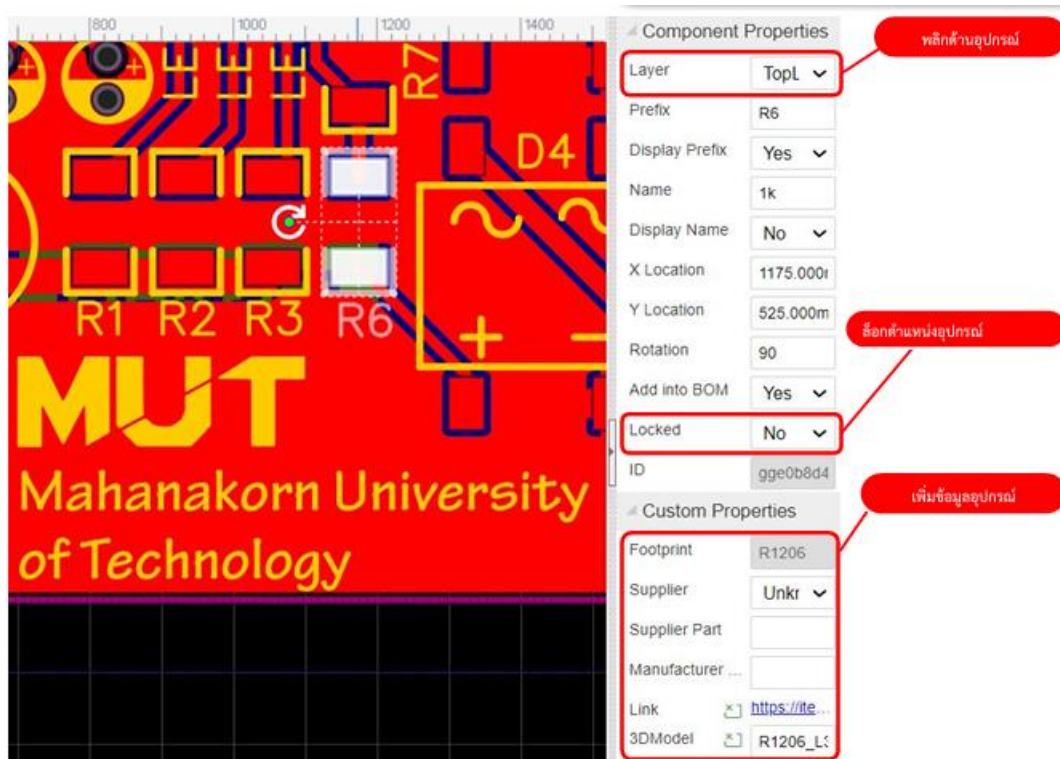
การวางตัวเก็บประจุคัปปลิง (Decoupling Capacitor) แสดงดังรูป



Kelvin Connection | Kelvin Junction แสดงดังรูป

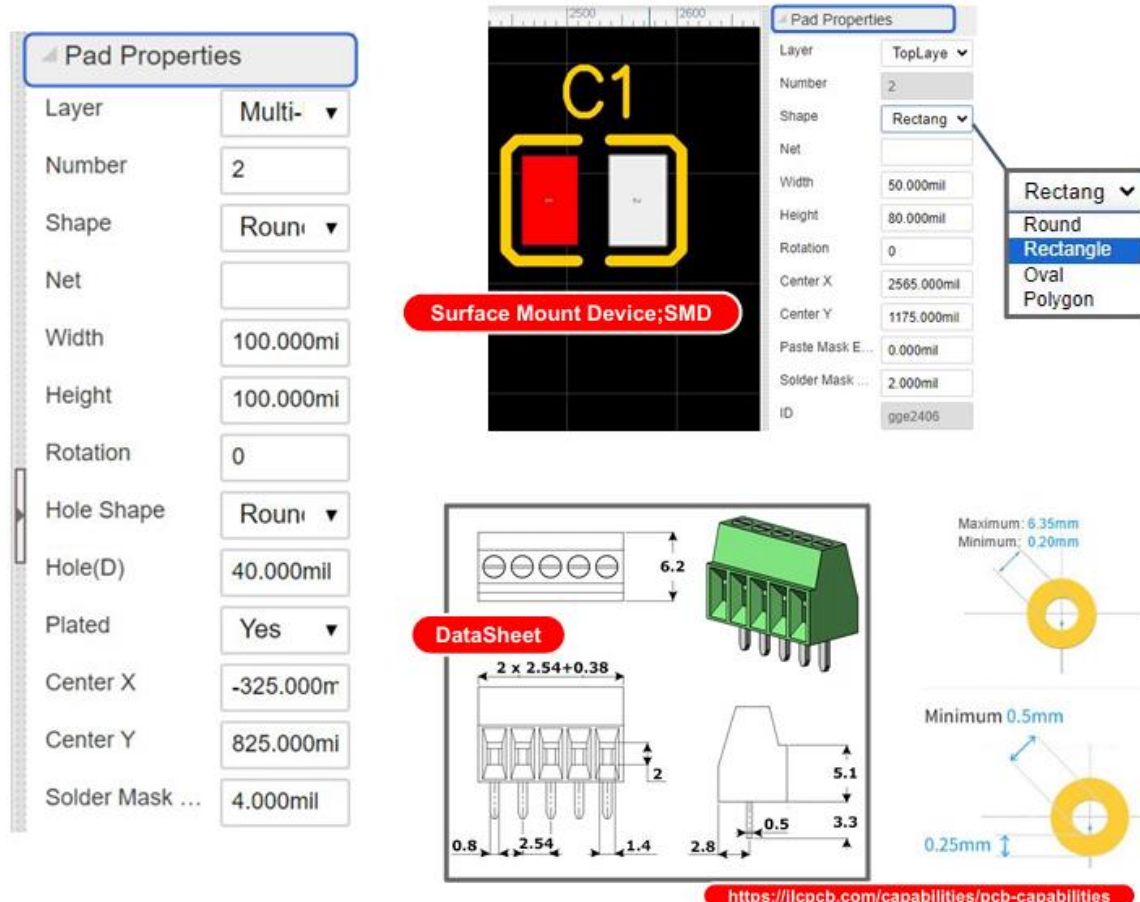
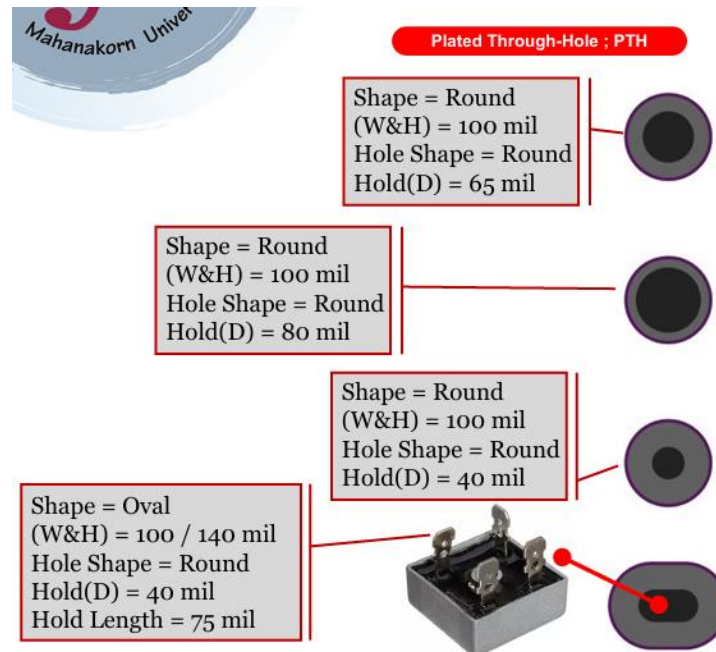


การวางอุปกรณ์กับการเลือกตำแหน่ง แสดงดังรูป

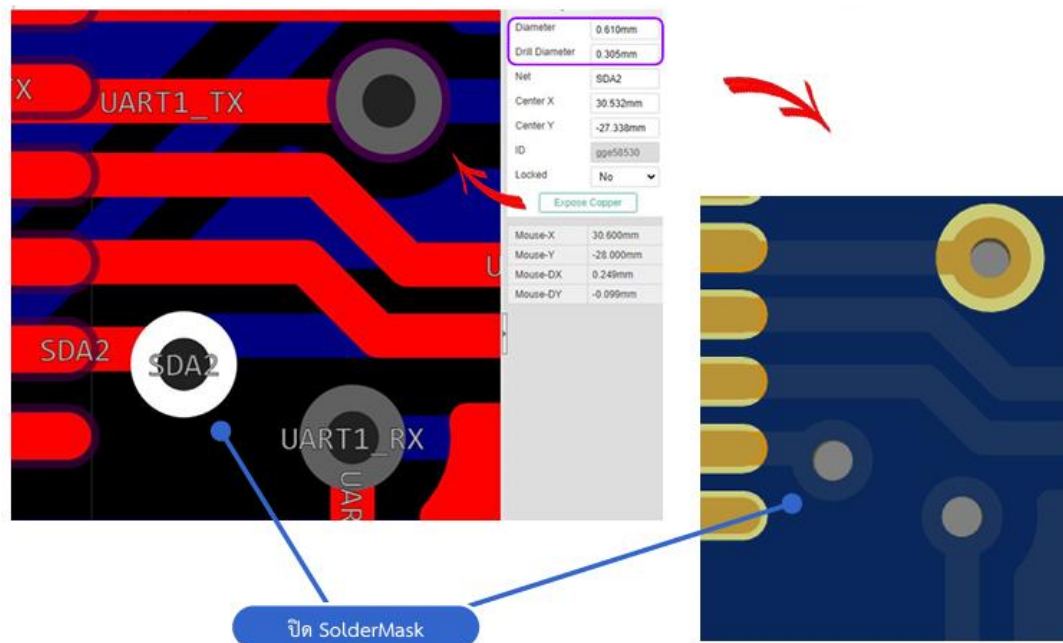


IPC-7351-3-05

การปรับขนาดและรูปแบบของจุดบัดกรี (Pad) แสดงดังรูป



การปรับขนาดและรูเจาะของจุดเชื่อม (Via) แสดงดังรูป



ตำแหน่งและขนาดของชื่อเรียกของอุปกรณ์ แสดงดังรูป

Capacitor CRD

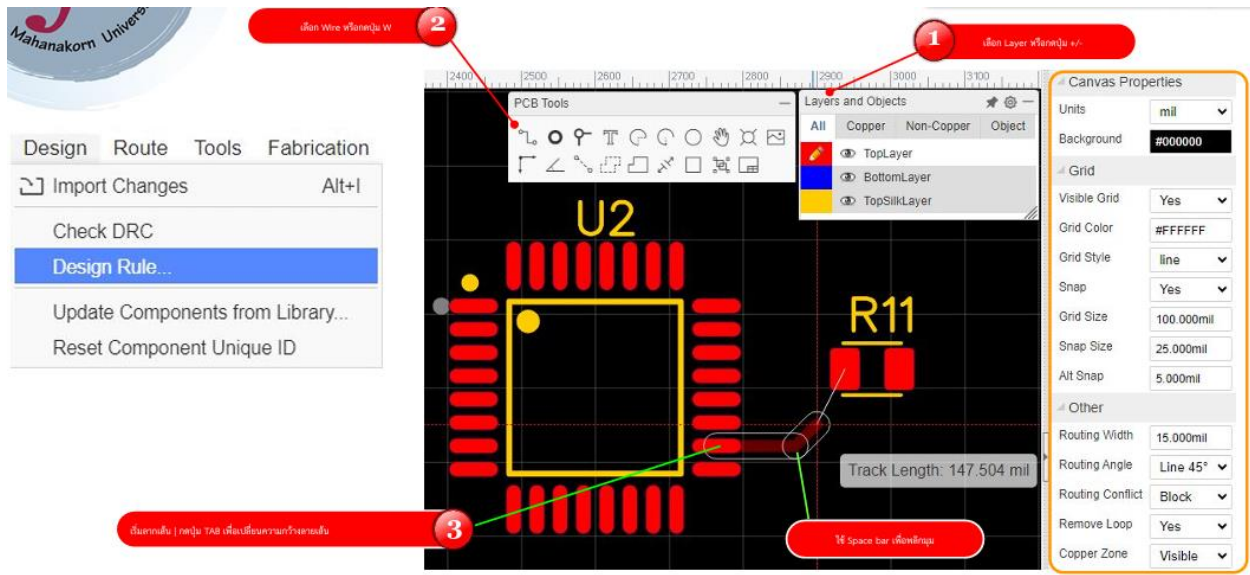
Class Letter(s) Unit Number

Common Class Letters for CRDs

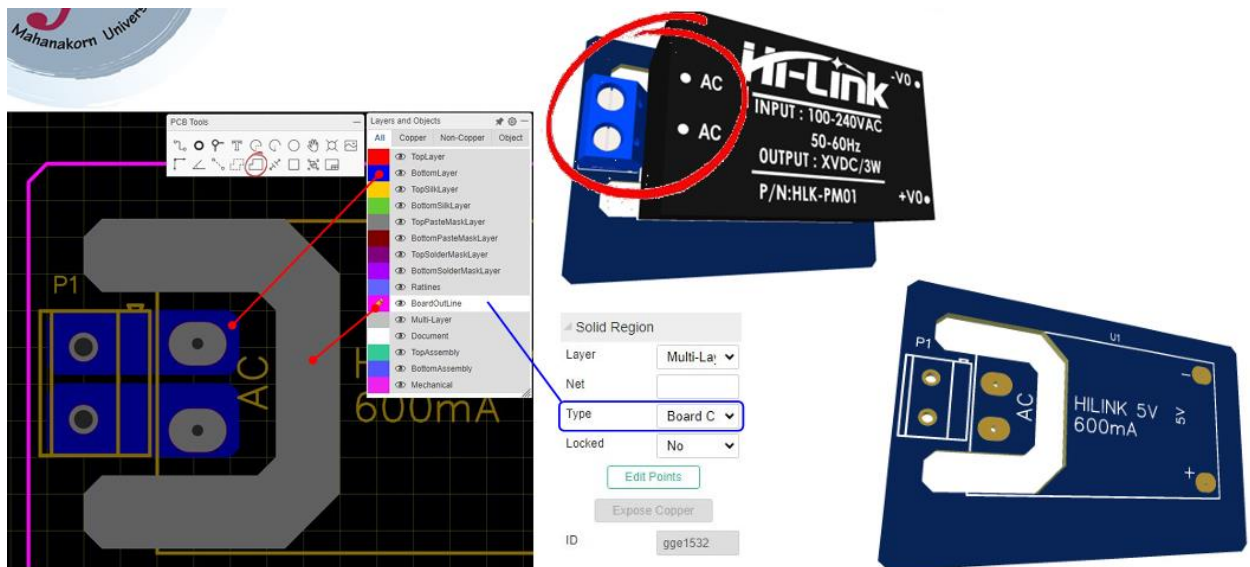
	ANSI/IEEE	IEC	Other
Amplifier	AR	A	
Capacitor	C		
pack or network	C		
polarized	C		
variable	C		
Connector	J or P		
Crystal	Y	B	
Delay Line	DL		D ---
Diode	D or CR	V	
Light Emitting Diode	DS (Display)	E	LED, D, DIS, CR
Voltage Rectifier	D or CR	V	
Zener Diode	D or VR	V	VR

- ความหนาและความสูงตัวอักษรเท่ากัน
- ใช้ทิศทางแนวนิ่งและแนวอนสมมาตร
- วางข้างตัวอุปกรณ์
- อุปกรณ์มีชื่อให้แสดงสัญลักษณ์ชัดเจน

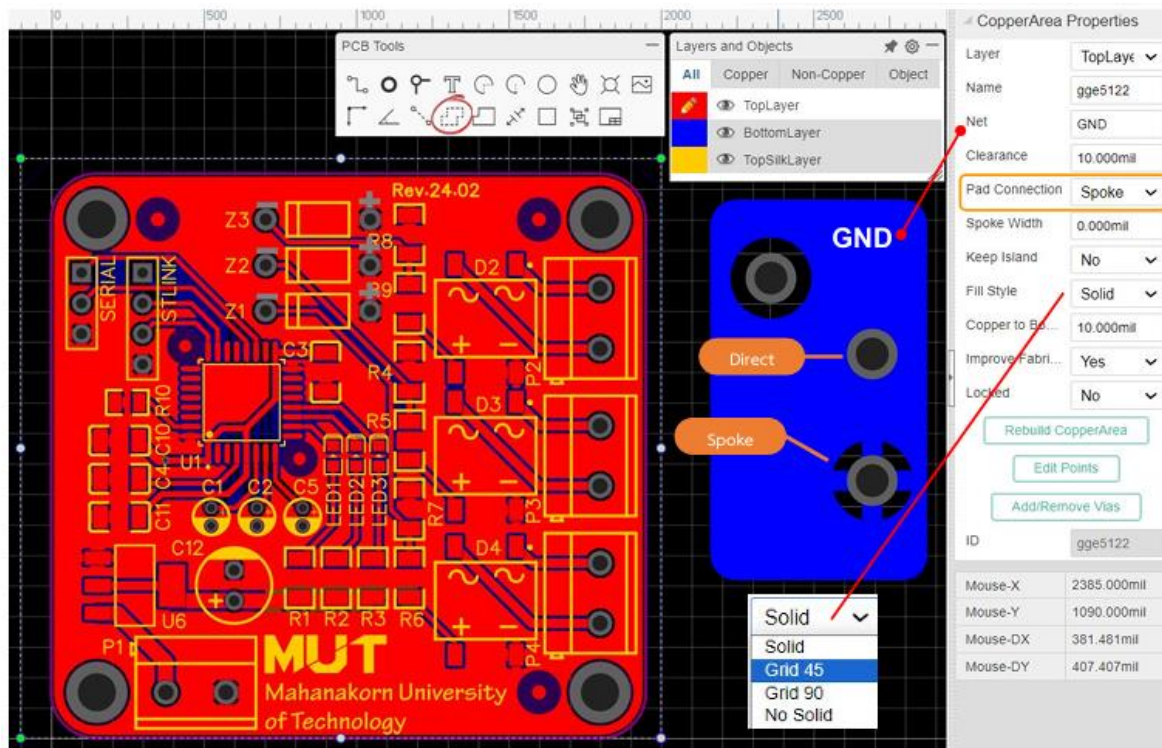
การเขียนแบบลายทองแดง แสดงดังรูป



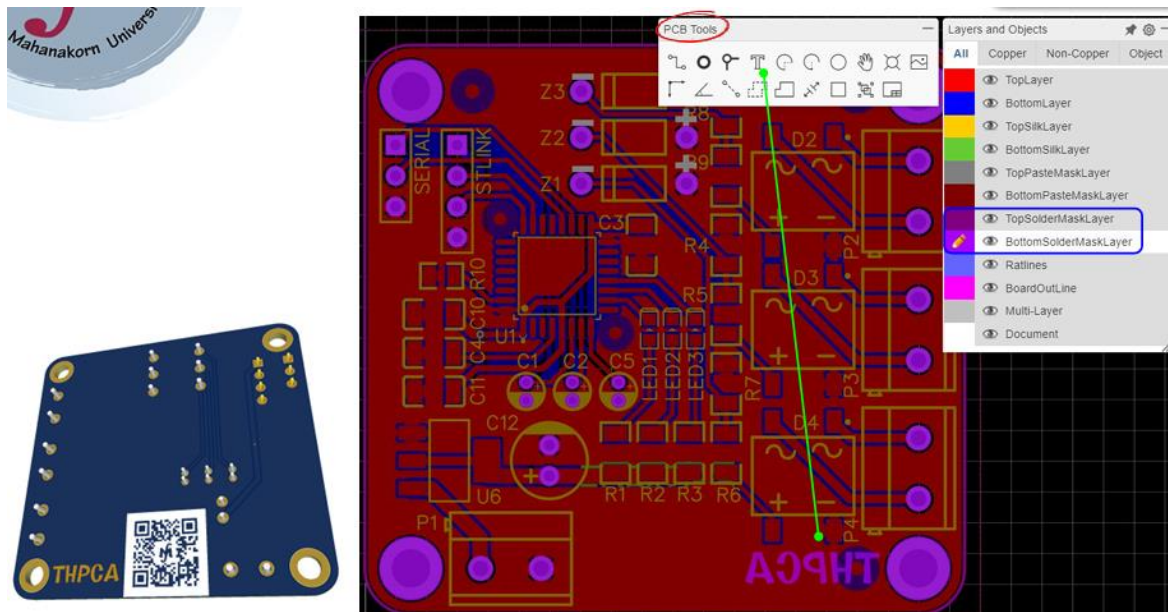
Solid Region & Board Cutout แสดงดังรูป



การตั้งค่าของ Copper Area แสดงดังรูป



การเปิด SolderMask แสดงดังรูป



The screenshot shows the Eagle PCB design software interface. On the left, the 'Canvas Properties' panel is visible, showing settings for Background, Visible Grid, Grid Color, Grid Style, Grid Size, Snap, Snap Size, and Alt Snap. Below this, the 'Custom Properties' panel shows settings for Add into BOM, Convert to PCB, Name, Footprint, Pre, Supplier, Supplier Part, and Manufacturer. A red circle highlights the 'Footprint' property, and an orange arrow points to it with the text 'ปัด Name และ Number' (Click Name and Number). In the center, the 'Footprint Manager' dialog is open, showing a list of components and their footprints. A red arrow points to the 'Footprint' column header with the text 'ตรวจสอบ Pin กับ Pad' (Check Pin with Pad). On the right, the 'Footprint Manager' dialog is shown with the 'Footprint' column selected, and a red circle highlights the 'Footprint' column header with the text 'ถ้าพบนำไปใช้ได้' (If found, take it and use it). At the bottom, the 'File' menu is open, and the 'Footprint' option is highlighted with a red arrow and the text 'ไม่มีให้สร้างเอง' (No need to create yourself).

การสร้างรอยพิมพ์ (Footprint) ของอุปกรณ์ (ต่อ)

STRAIGHT LEAD BULK PACK

Notes:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.185	3.18	4.19
D	0.016	0.021	0.407	0.533
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	---	12.70	---
L	0.250	---	6.35	---
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	---	0.100	---	2.54
R	0.115	---	2.93	---
V	0.135	---	3.43	---

Minimum annular ring PTH Patterns

	Minimum annular ring	PTH	Patterns
1oz Copper	0.13mm	0.3mm	Min Annular Ring 0.13mm
2oz Copper	0.2mm	0.3mm	

Pad Properties

Layer: Multi-La

Number: 1

Shape: Oval

Width: 75.000mil

Height: 40.000mil

Rotation: 0

Hole Shape: Round

Hole(D): 25.000mil

Plated: Yes

Center X: 0.000mil

Center Y: -50.000mil

Solder Mask: 2.000mil

ID: rep7

Locked: No

Mouse-X: 0.000mil

Mouse-Y: -50.000mil

Mouse-DX: 63.704mil

Mouse-DY: -84.444mil

STRAIGHT LEAD BULK PACK

Notes:

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.185	3.18	4.19
D	0.016	0.021	0.407	0.533
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	---	12.70	---
L	0.250	---	6.35	---
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	---	0.100	---	2.54
R	0.115	---	2.93	---
V	0.135	---	3.43	---

Minimum annular ring PTH Patterns

	Minimum annular ring	PTH	Patterns
1oz Copper	0.13mm	0.3mm	Min Annular Ring 0.13mm
2oz Copper	0.2mm	0.3mm	

Arc Properties

Arc Type: Center

Layer: TopSilk

Width: 10.000mil

Radius: 100.000mil

Length: 443.800mil

Start Angle: 52.9

End Angle: 307.1

Center X: 0.000mil

Center Y: 0.000mil

Rotation Dire: Anti-Clo

Locked: No

Expose Copper

ID: gge34

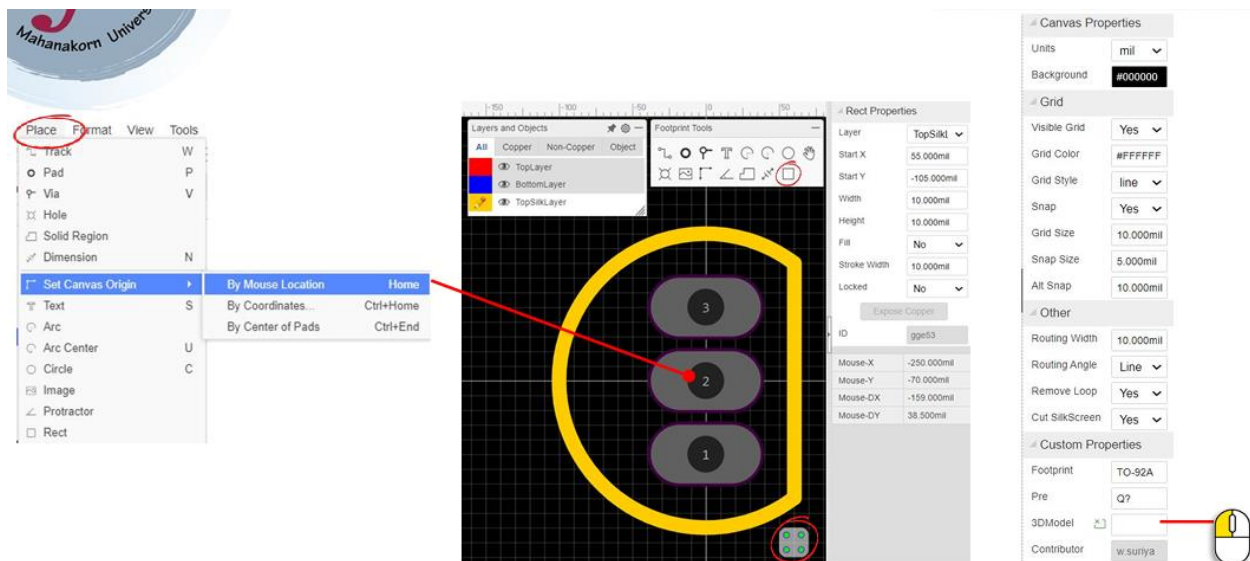
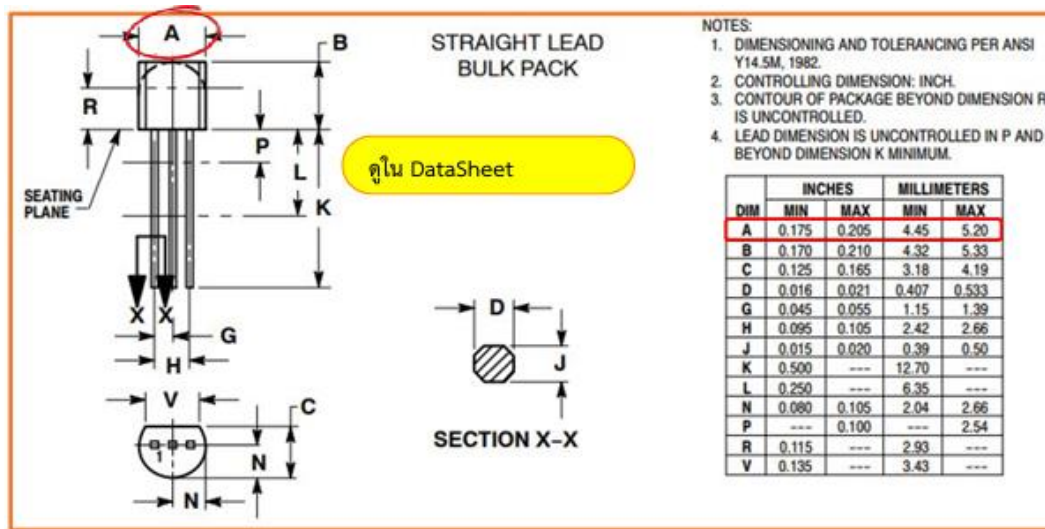
Mouse-X: 60.000mil

Mouse-Y: 80.000mil

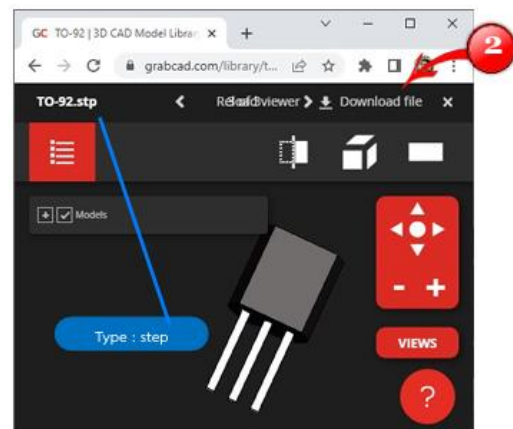
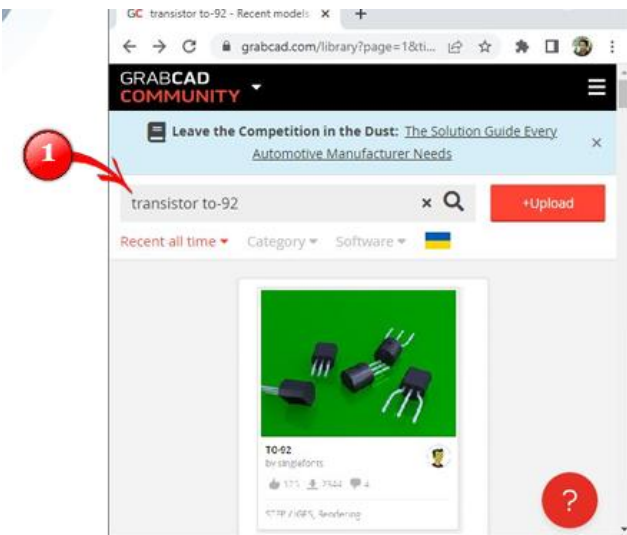
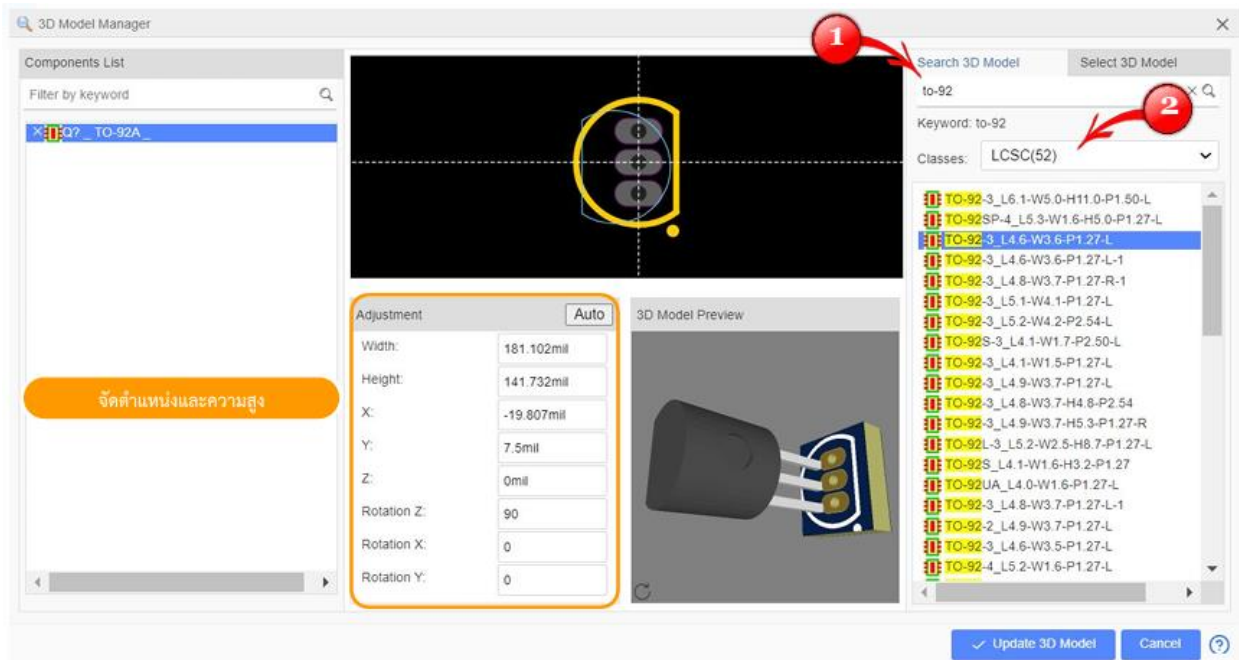
Mouse-DX: -0.500mil

Mouse-DY: 1.500mil

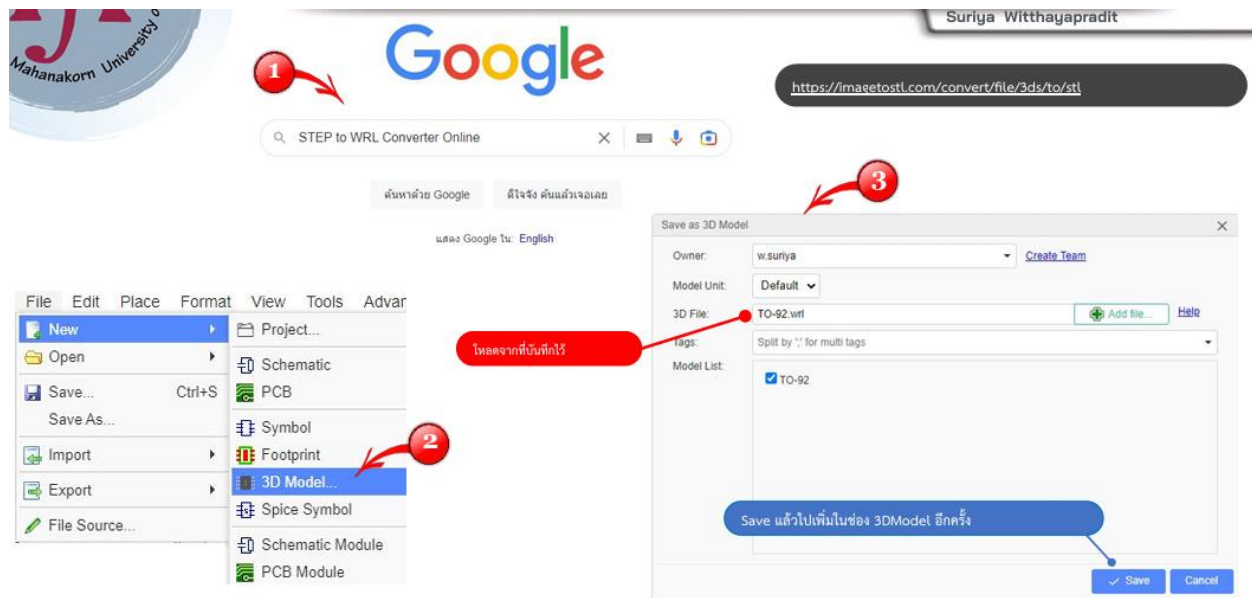
การสร้างรอยพิมพ์ (Footprint) ของอุปกรณ์ (ต่อ)



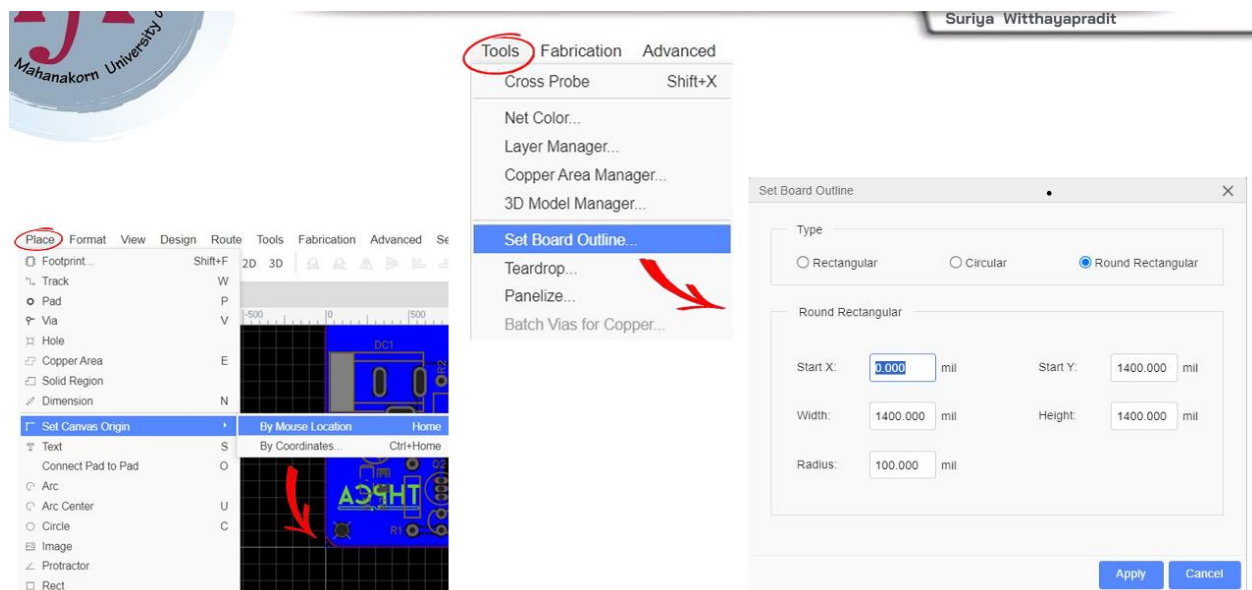
การเพิ่ม 3D ลงในรอยพิมพ์ แสดงดังรูป



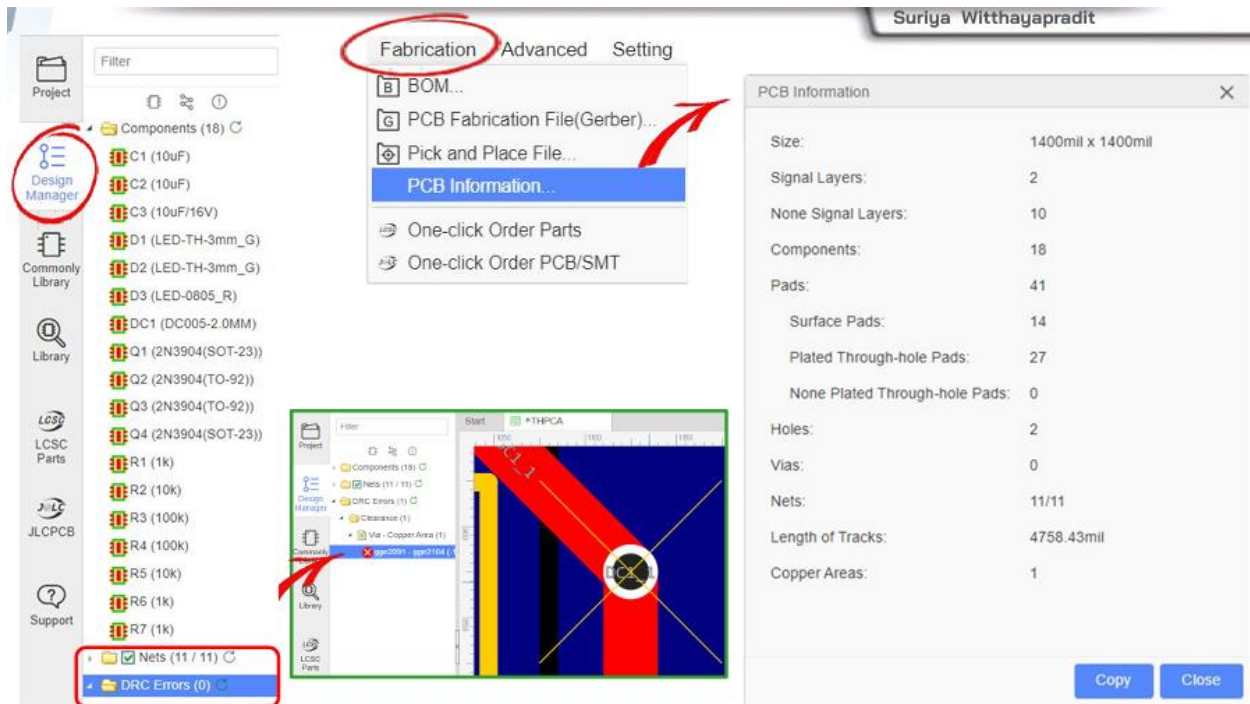
การเพิ่ม 3D ลงในรอยพิมพ์ (ต่อ)



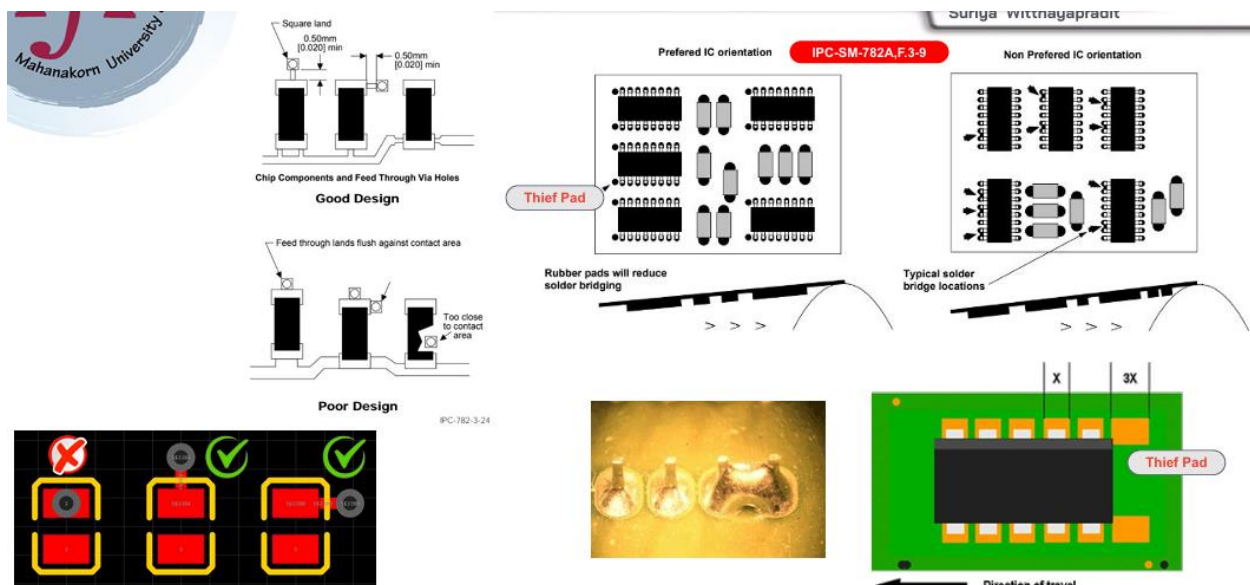
กำหนดจุดศูนย์กลางกับการสร้าง Board Outline แสดงดังรูป



ตรวจสอบการออกแบบกับรายละเอียด PCB แสดงดังรูป



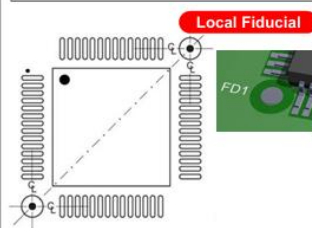
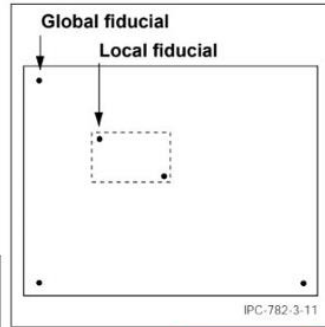
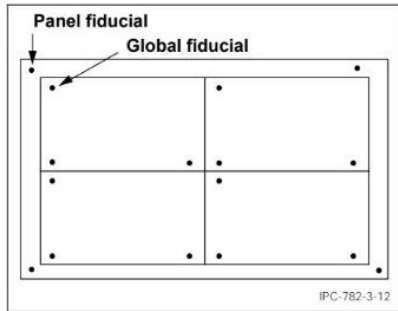
มาตรฐานต่าง ๆ ของ IPC แสดงดังรูป



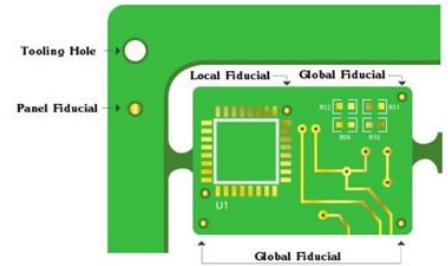
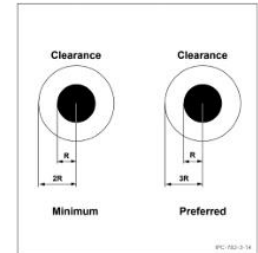


การสร้าง Fiducial

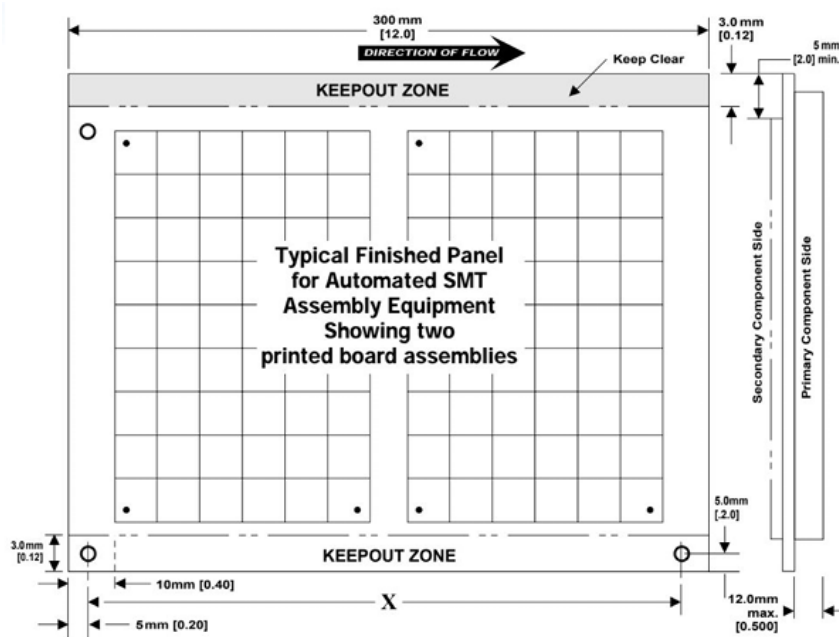
- ใช้ Top Pad
- ปรับความกว้าง SolderMask



Preferred
● Solid round dot typically 1.5mm Dia.
Other
■ Solid square typically 2.0mm on a side
◆ Solid diamond typically 2.0mm on a side
+ Single cross hair typically 2.0mm high
≡ Double cross hair typically 2.0mm high

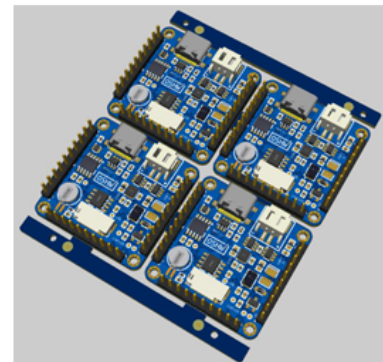


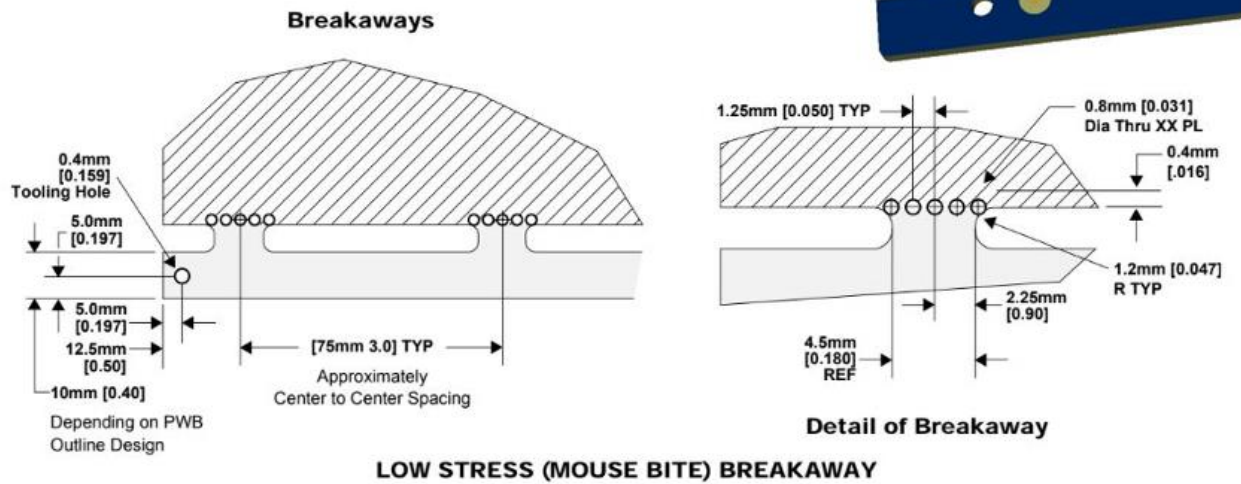
มาตรฐานต่าง ๆ ของ IPC (ต่อ)



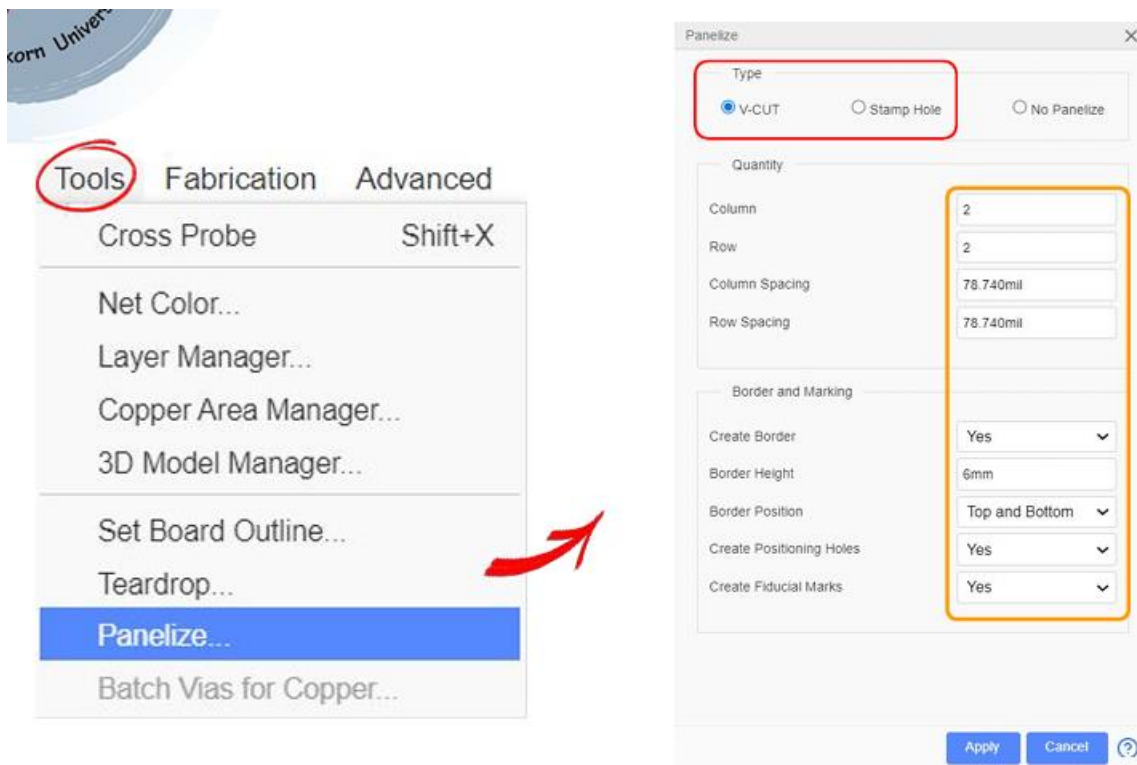
The keepout zone defined in this illustration is typical for in-line assembly automation using reflow and wave solder processes.

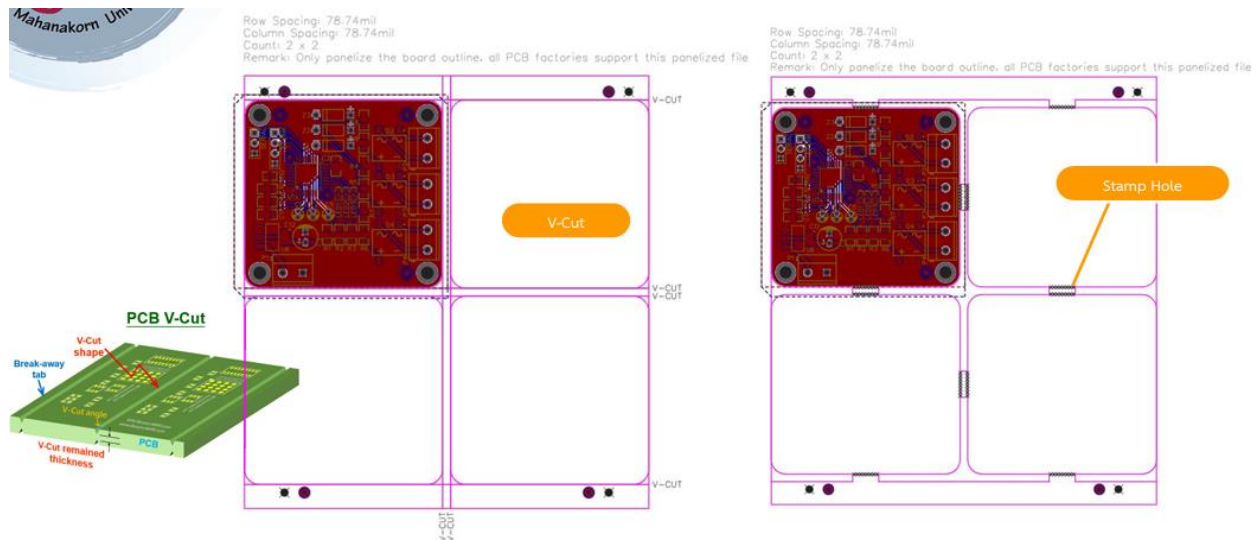
IPC-782-3-15



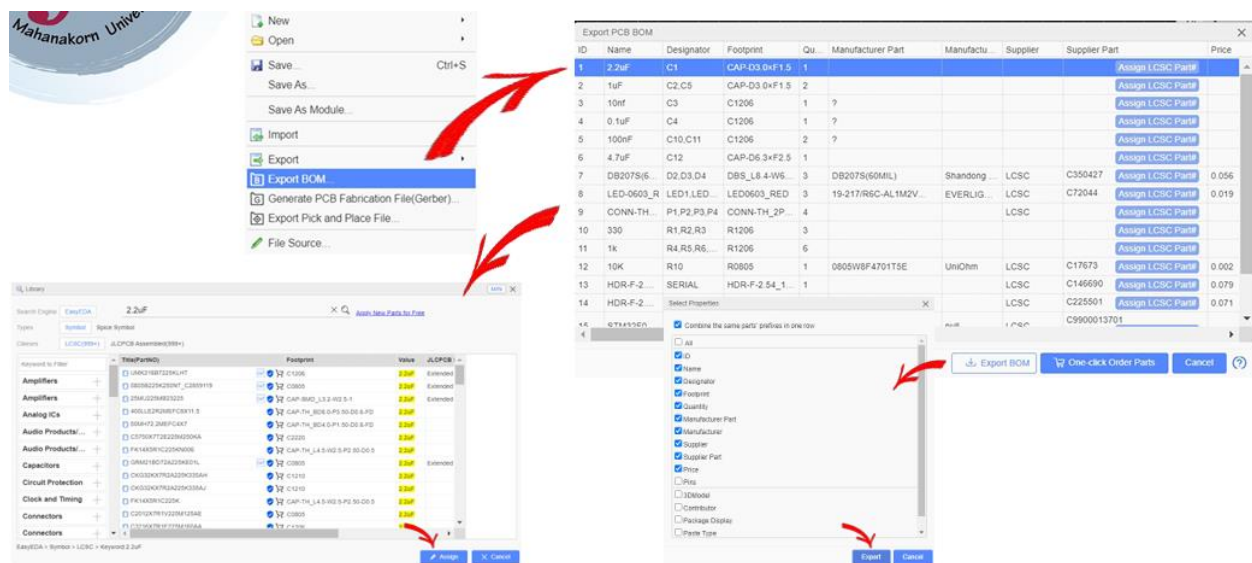


3.8 การสร้าง Panel ของแผ่นลายวงจรพิมพ์ แสดงดังรูป

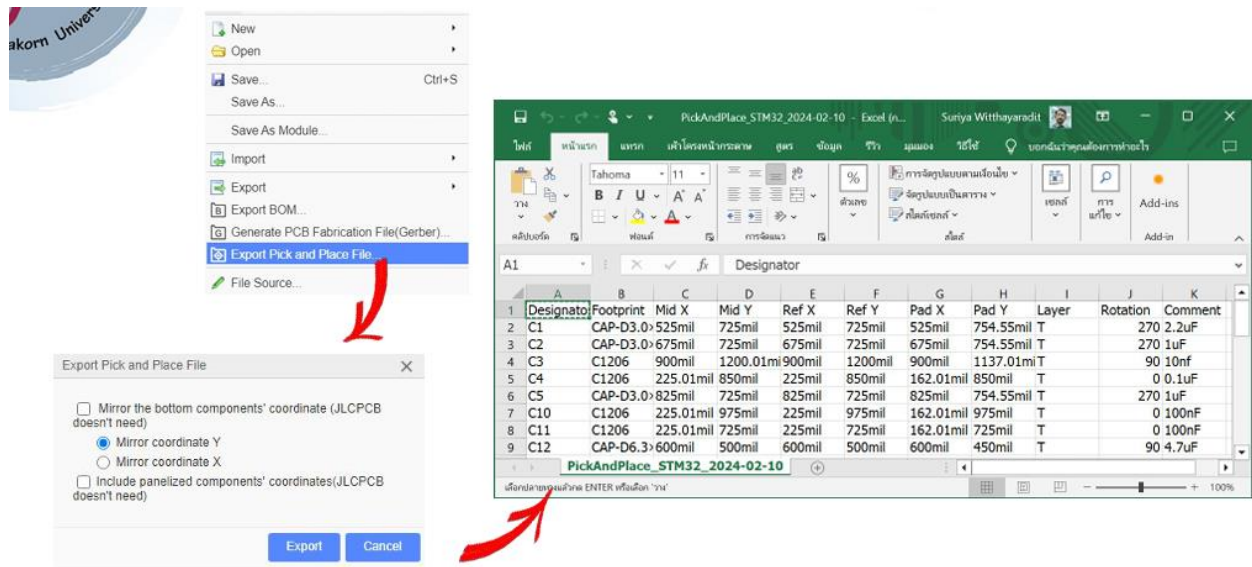




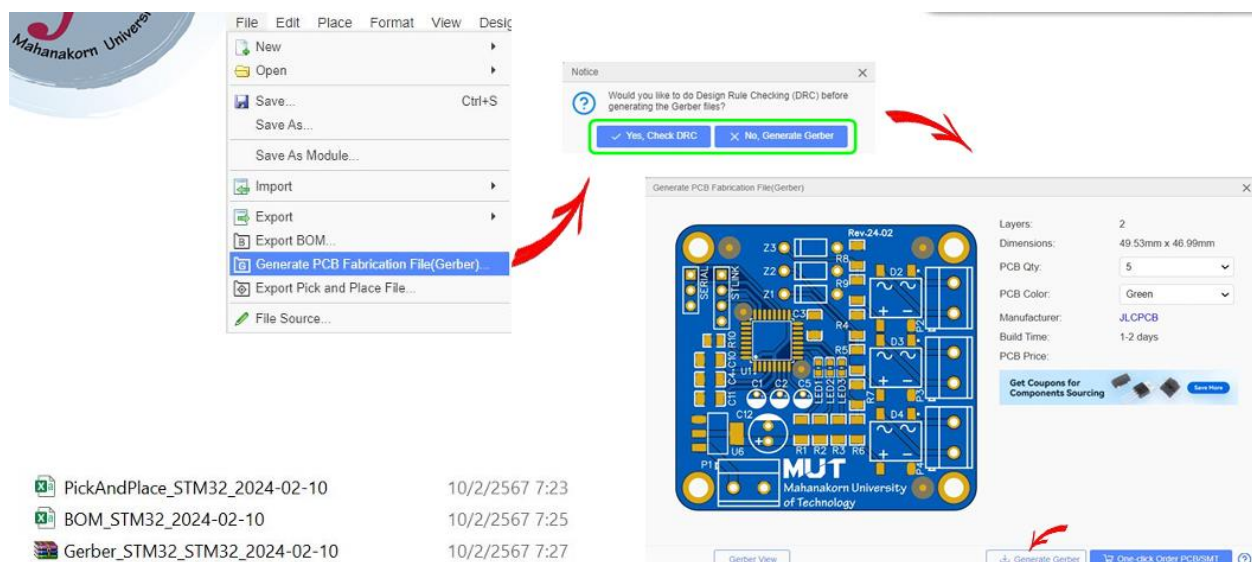
3.9 การสร้างไฟล์รายการอุปกรณ์ของวงจรพิมพ์ (BOM) แสดงดังรูป



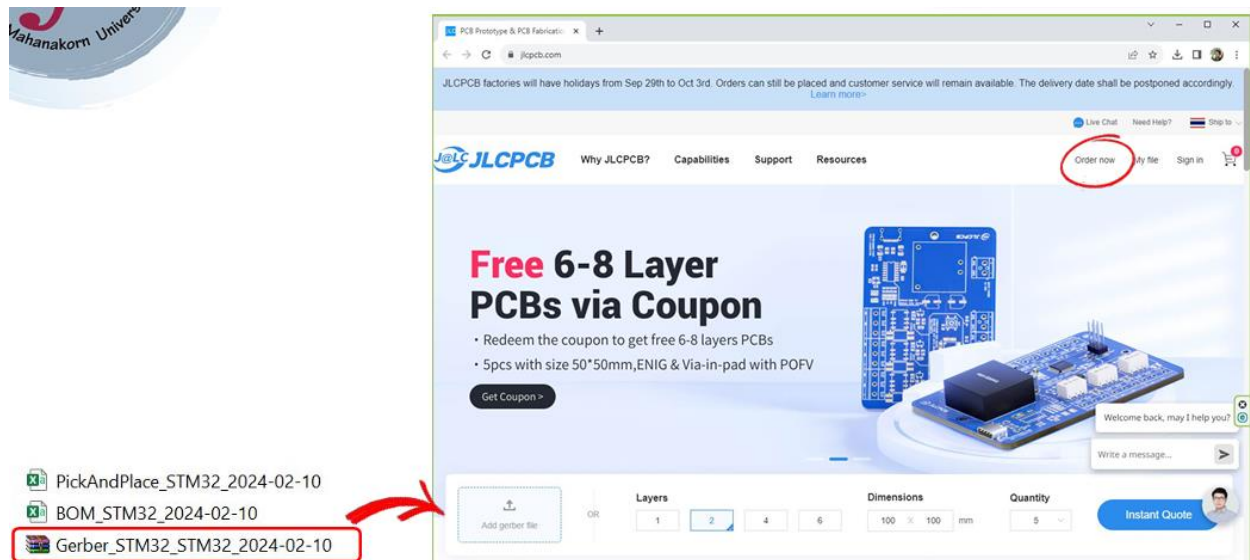
การสร้างไฟล์สำหรับวางอุปกรณ์ (Pick & Place) แสดงดังรูป



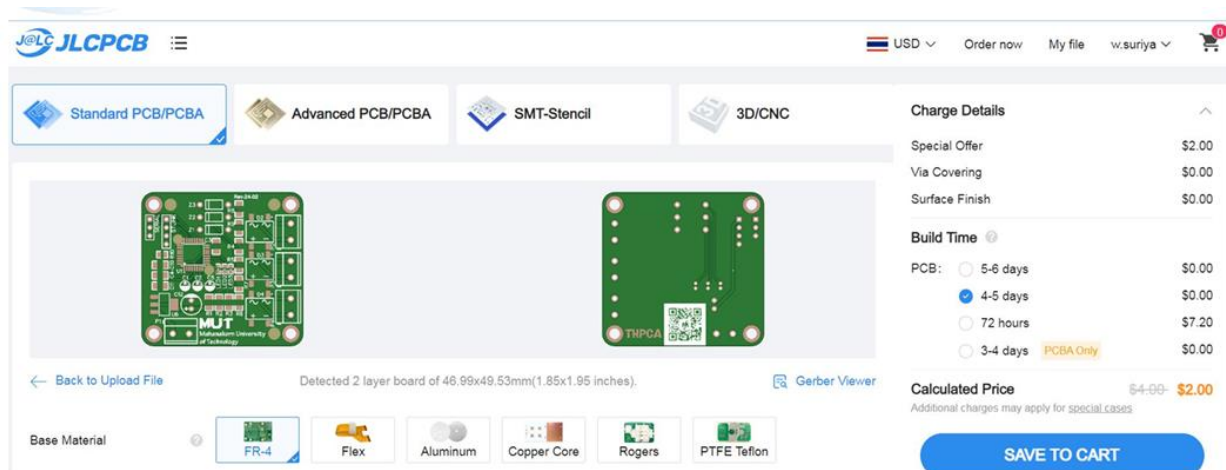
การสร้างไฟล์ Gerber กับการสั่งต้นแบบ แสดงดังรูป



3.10 การสั่งต้นแบบวงจรพิมพ์กับ JLCPCB.com แสดงดังรูป



การสั่งต้นแบบวงจรพิมพ์กับ JLCPCB.com (ต่อ)



PCB Prototype & PCB Fabrication - JLCPCB

cart.jlpcb.com/quote/orderType=1&homeId=716f039967147e2b2bc477ae4b84114&homeId=716f039967147e2b2bc477ae4b84114

PCB Specifications

Different Design: 1 2 3 4

Delivery Format: Single PCB Panel by Customer Panel by JLCPCB

PCB Thickness: 0.4 0.5 0.8 1.0 1.2 1.5 2.0

PCB Color: Green Purple Red Yellow Blue White

Silkscreen: White

Surface Finish: HASL(with lead) LeadFree HASL ENIG

High-spec Options

Outer Copper Weight: 1 oz 2 oz

Via Covering: Tented Untented Plugged Epoxy Filled & Capped

Board Outline Tolerance: ±0.2mm(Regular) ±0.1mm(Precision)

Confirm Production file: No Yes

Remove Order Number: No Yes Specify a location

Flying Probe Test: Fully Test

Gold Fingers: No Yes

Cabled holes: No Yes

Charge Details

Special Offer: \$2.00

Via Covering: \$0.00

Surface Finish: \$0.00

Build Time

PCB: 2 days \$0.00

24 hours \$7.10

Calculated Price

\$4.00 - \$0.00

Get Free PCB by EasyEDA project

Additional charges may apply for special cases

SAVE TO CART

Shipping Estimate

\$1.94

Economical Global Direct ... 8-11 business days

Weight: 0.14kg

PCB Assembly

Coupon Free Assembly for your PCB order

Stencil

Order together with PCB

การสั่งวางอุปกรณ์บนแผงวงจรพิมพ์กับ JLCPCB.com แสดงดังรูป

PCB Assembly

Coupon Free Assembly for your PCB order

Assemble top side

Assemble bottom side

PCBA Type: Economic Standard [What's the difference?](#)

Assembly Side: Top Side Bottom Side Both Sides

PCBA Qty: 5 2

Tooling holes: Added by JLCPCB Added by Customer

Confirm Parts Placement: No Yes

Advanced Options

Photo Confirmation: No

Conformal Coating: No

Packaging: Antistatic bubble film

Solder Paste: Sn96.5% Ag3.0% Cu

Others: No

Board Cleaning: No

Bake Components: No

Depanel boards & edge rail before delivery: No

Add paste for unpopulated pad & step stencil opening: No

Remark

I agree to the Terms and Conditions of JLCPCB assembly Service

Confirm

PCBA Type: Economic

Assembly Side: Top Side

PCBA Qty: 5

NEXT

PCB Bill of Materials Component Placements Quote & Order Automatically saved, last updated on 10 February, 07:43

Only accept XLS, XLSX, CSV. [View Sample BOM](#)

Pick&Place File, Only accept XLS, XLSX, CSV. [View Sample CPL](#)

Not sure where to start? Check our [SMT FAQs](#) page.

PickAndPlace_STM32_2024-02-10
 BOM_STM32_2024-02-10
 Gerber_STM32_STM32_2024-02-10

10/2/2567 7:23
 10/2/2567 7:25
 10/2/2567 7:27

การสั่งวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์กับ JLCPCB.com (ต่อ)

JLCPCB Why JLCPCB? Capabilities Support Resources [Order now](#) [My file](#) [w.suriya](#)

Gerber_STM32_STM32_2024-02-10

PCB Bill of Materials Component Placements Quote & Order Automatically saved, last updated on 10 February, 07:43

Top Side Total 17 parts detected | 11 Parts confirmed | 2 parts Inventory shortage | 4 parts not selected [Upload BOM/CPL](#)

Ref	Part	QTY	Unit Price	Total Price	Status
Z1,Z2,Z3	1N4007 DO-41, B02-4...	17	\$0.0057	\$0.2057	Extended
LED1,LED2,LED3	LED-0803_R LED0803_RED	20	\$0.1408	\$2.8160	12 shortfall
STLRK	HDR-F-2.54_104 HDR-F-2.54_104	6	\$0.0006	\$0.0036	5 shortfall
For below not matched parts, try our Manual Parts Selection					
C2,C5	1uF CAP-D3-D4F1.5	No Part Selected			
C12	4.7uF CAP-D6.3-F2.5	No Part Selected			
P1,P2,P3,P4	CONN-THT_2...	No Part Selected			
U1	STM32F030...	No Part Selected			

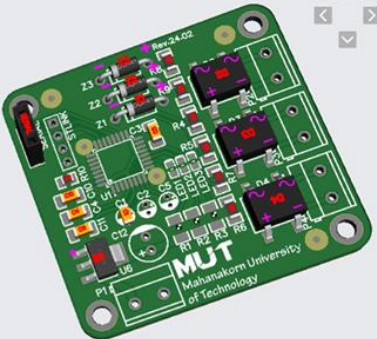
Please carefully check the packages of selected parts before proceeding.

[Go Back](#) [NEXT](#)

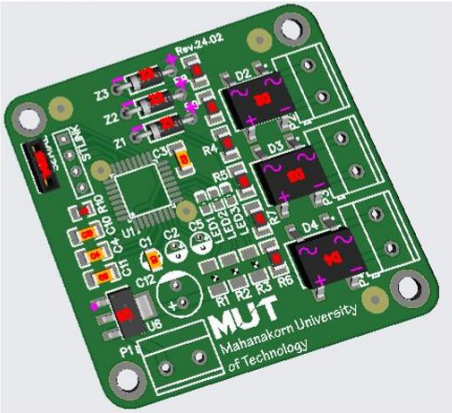
PCB Bill of Materials Component Placements Quote & Order Automatically saved, last updated on 10 February, 08:15

↓ ↶ ↷ 🔍 📐 📏 90° 2D 3D Simplify Model Top Bottom

☐ Select all top parts



Top Designator	JLPCB Part #	Comment	Footprint
C1	C386165	2.2uF	CAP-03...
C3	C1846	10nf	C1206
C4	C24497	0.1uF	C1206
C10,C11	C24497	100nF	C1206
D2,D3,D4	C350427	DB207S[...	DBS_L8.4...
R1,R2,R3	C2078683	330	R1206
R4,R5,R6,R7,R8,R9	C3018015	1k	R1206
R10	C17673	10K	R0805
SERIAL	C146690	HDR-F-2...	HDR-F-2...
U6	C173386	SC1117-3...	SOT-223...
Z1,Z2,Z3	C106903	1N4007	DO-41_B...



Total Price: \$33.74

Weight ? 390.80g

Product Description ?

Select ▼

SAVE TO CART

NEXT
↗

แผ่นวงจรพิมพ์แบบอ่อน (Flex PCB) แสดงดังรูป

J@LC JLCPCB Why JLCPCB? Capabilities Support Resources Order now My file w.suriya 

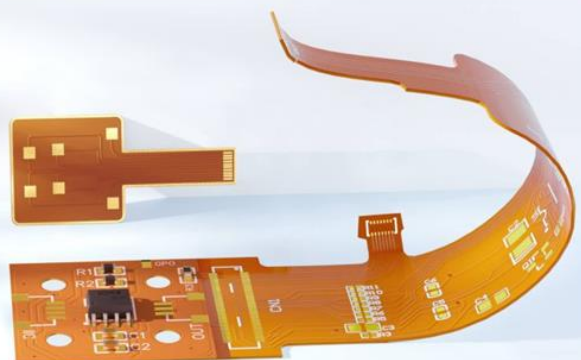
New Arrival!

Flex PCBs from \$16

Support Standard PCBA

- ✓ Super Lightweight & Excellent Mechanical Flexibility
- ✓ Support 4 different Stiffeners

Learn more >



ขีดความสามารถในการผลิต PCB ของ JLCPCB แสดงดังรูป

PCB Manufacturing & Assembly Capabilities

Know JLCPCB's Capabilities & Get your PCBs Built Fast

Green Purple Red Yellow Blue White Black

PCB Specifications

Features	Capability	Notes	Patterns
Layer count	1-20 Layers	The number of copper layers in the board	
Controlled Impedance	4/6 layer, default layer stack-up	Controlled Impedance PCB Layer Stackup JLCPCB Impedance Calculator	
Material	FR-4 Aluminum	FR-4: Tg 135 / Tg140 / Tg155 / Tg170 Aluminum thermal conductivity: 17000 W/m.K	FR-4 Copper

การคัดลอก Project จากแหล่งเปิด (Open Source) แสดงดังรูป

SENSOR CORE ESP32-MICRO

oshwlab.com/sensor-project/sensor-core-esp32-micro

OSHW Lab
Open Source Hardware Lab

Home > Explore > Project Details

Project Members

adamalfath

Share Project

Project Homepage Link
<https://oshwlab.com/sensor-project/sensor-core-esp32-micro> Copy

Open in Editor:
https://easyeda.com/editor#project_id=157b27ed24f44409ad779bd Copy

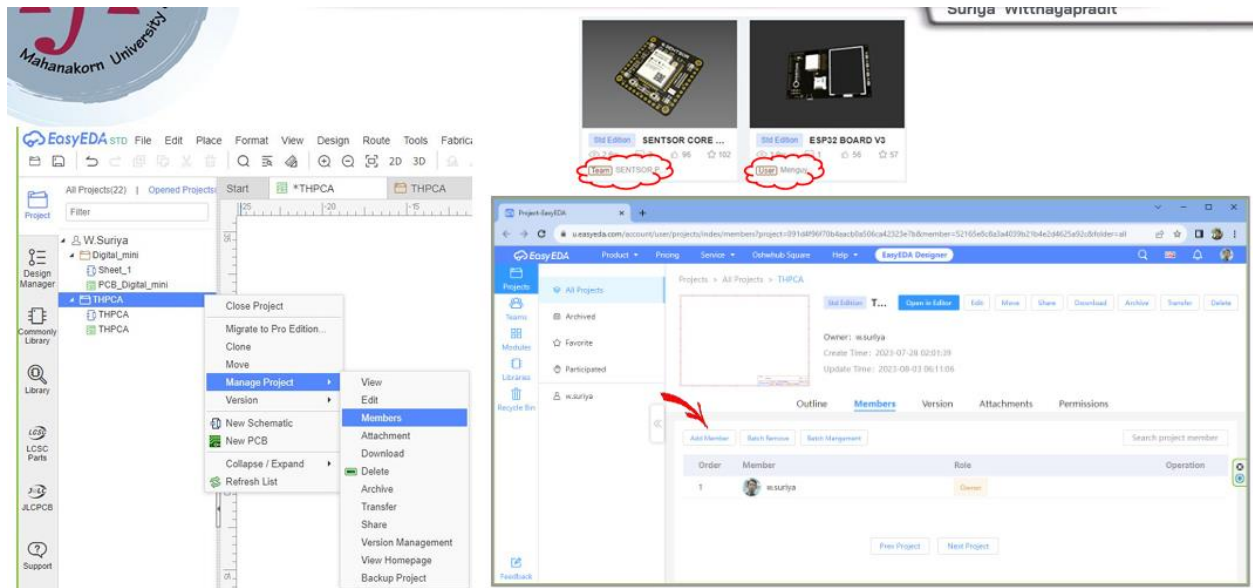
Scan the QR code and open it on the mobile terminal

Share on social media platforms:

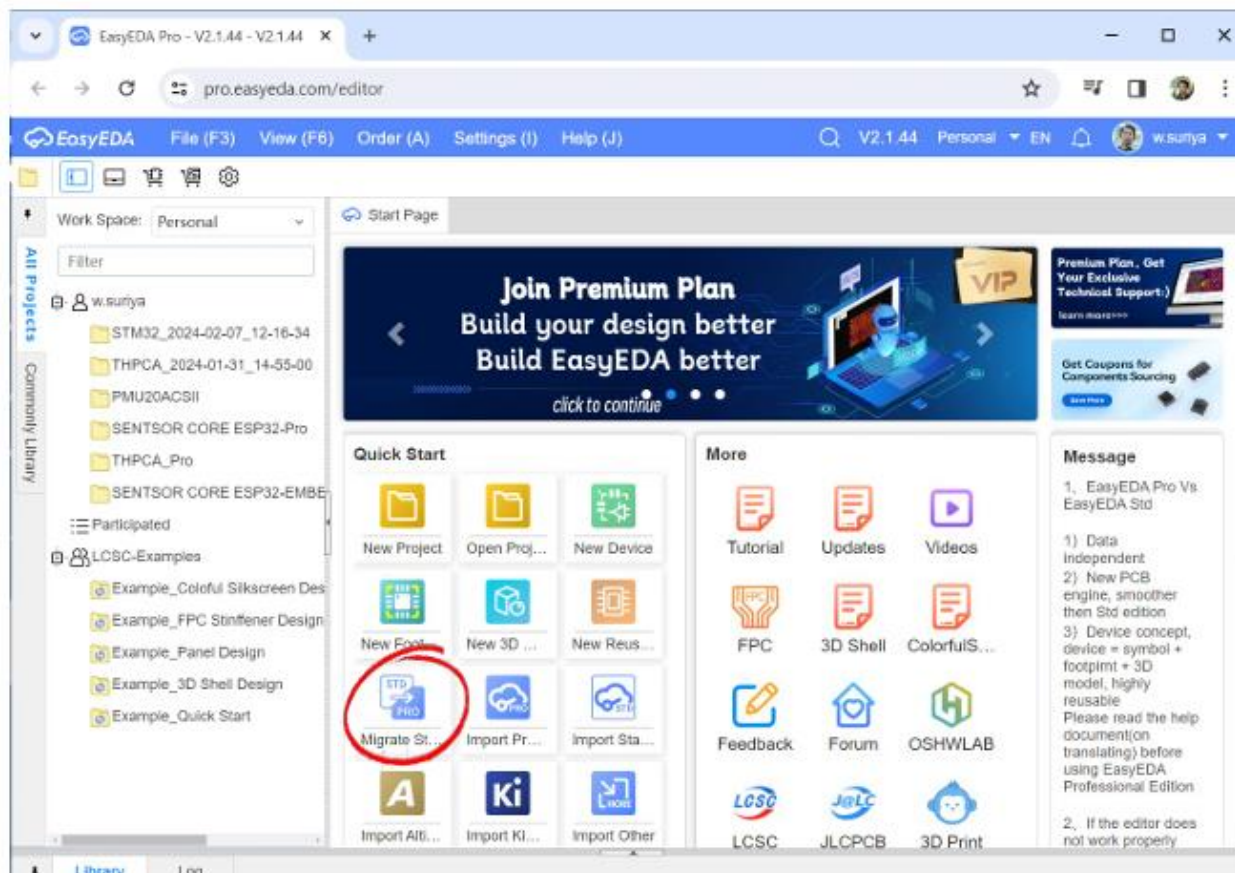
Facebook Twitter LinkedIn Tumblr

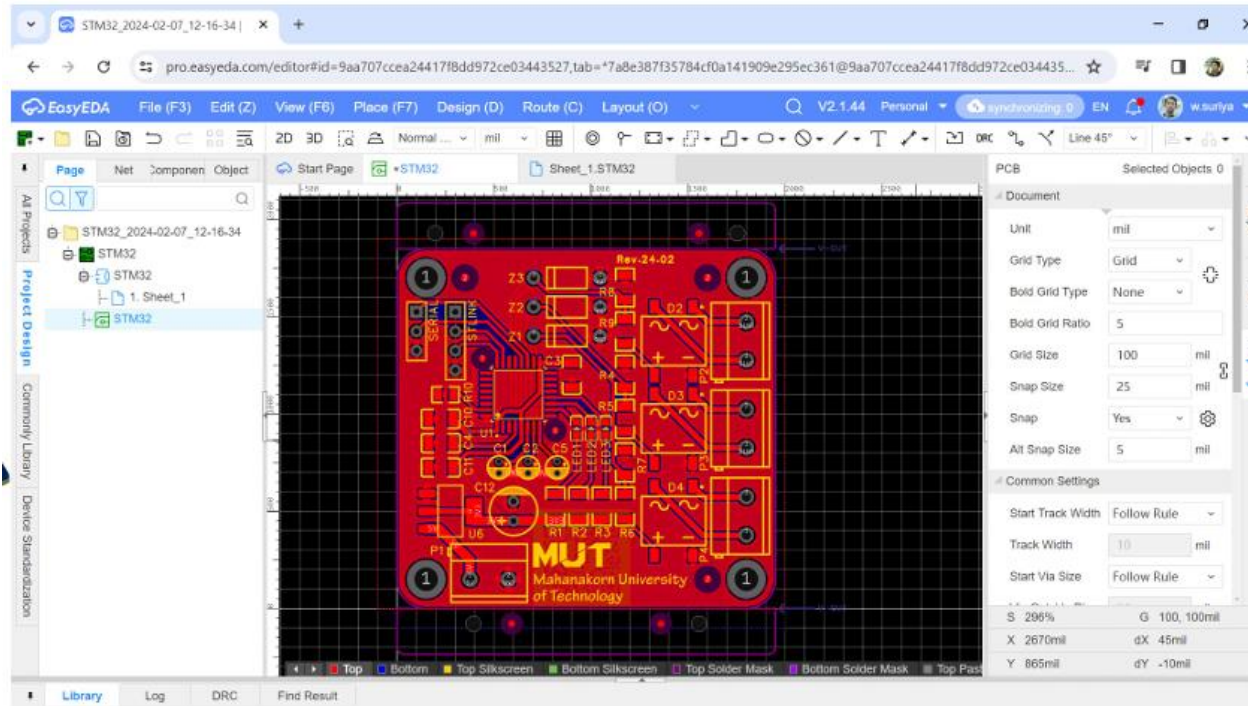
110 120

การสร้างทีมงานใน Project แสดงดังรูป



การโอนจาก Std Edition ไปสู่ Pro Edition แสดงดังรูป





บทสรุป

สิ่งที่ได้จากการเรียนรู้

- มีความเข้าใจขั้นตอนในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์เบื้องต้น
- มาตรฐาน IPC การรู้จักและปฏิบัติตามมาตรฐาน IPC เพื่อลดข้อผิดพลาดในการออกแบบ
 - การปฏิบัติตามมาตรฐาน IPC การออกแบบลายทองแดงตามมาตรฐาน
- วิธีการเขียนวงจรไฟฟ้า การเขียนวงจรไฟฟ้าในระดับวิศวกรรม
 - การสร้างสัญลักษณ์และการเพิ่มข้อมูลอุปกรณ์
- การออกแบบลายทองแดง การออกแบบลายทองแดงตามมาตรฐาน IPC
 - การตรวจสอบและการแก้ไขข้อผิดพลาด

แหล่งข้อมูลเพิ่มเติม

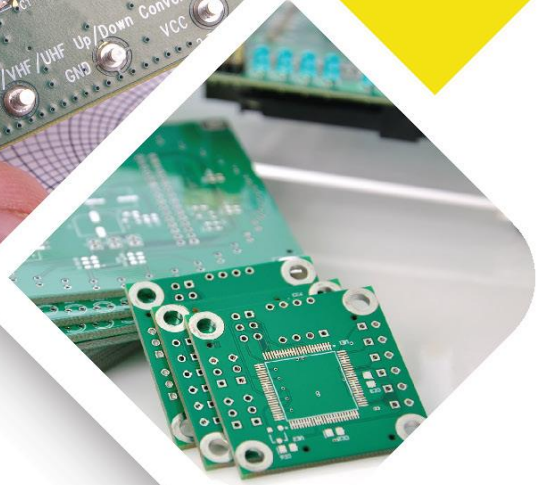
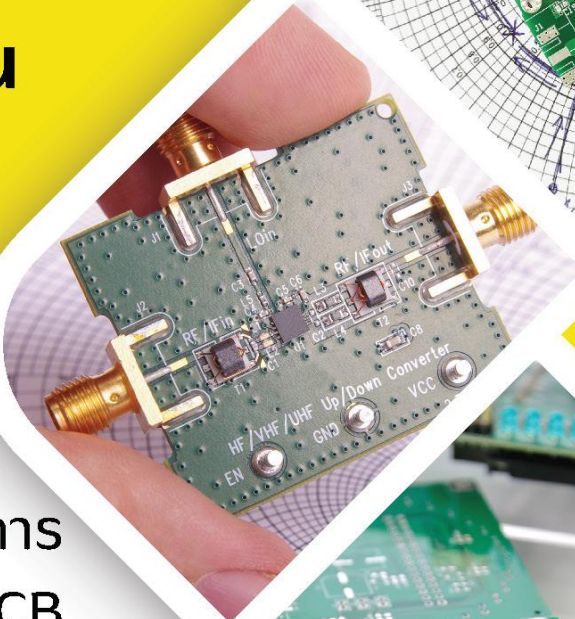
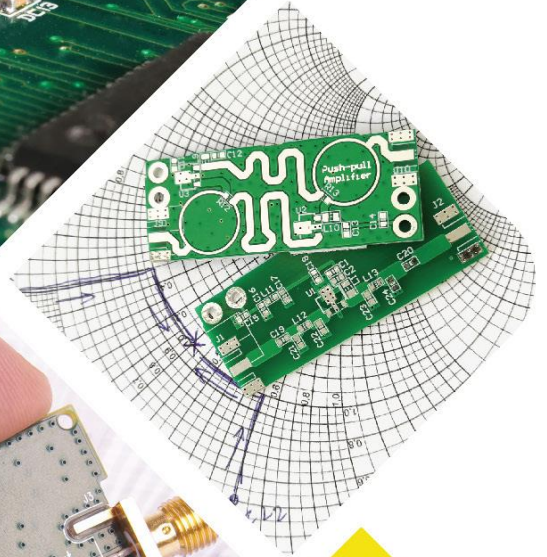
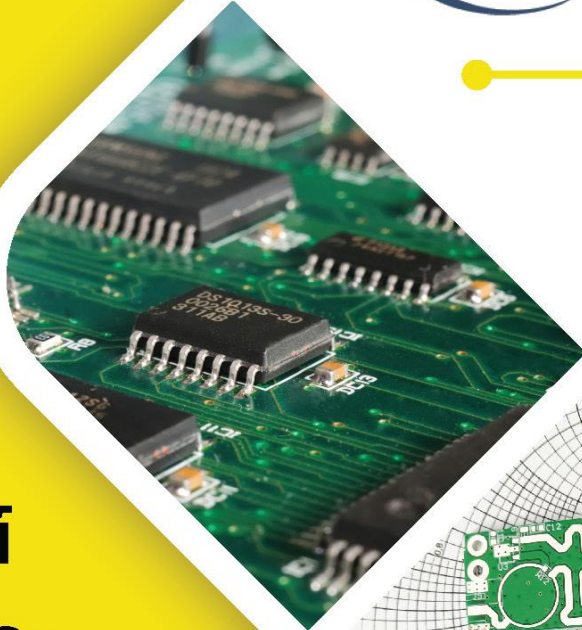
- โปรแกรมอื่นๆ พื้นฐานในการเรียนรู้โปรแกรมอื่นๆ เช่น Altium, KiCAD
 - Altium โปรแกรมสำหรับการออกแบบลายทองแดงระดับมืออาชีพ
 - KiCAD โปรแกรมฟรีและโอเพ่นซอร์สสำหรับการออกแบบลายทองแดง



THAILAND
AUTOMOTIVE
INSTITUTE
สถาบันยานยนต์

หลักสูตร

การผลิตอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์และ การประกอบแผ่น วงจรพิมพ์



วิชากระบวนการผลิตและการ ประกอบแผ่น PCB

โครงการยกระดับผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทย
เพื่อเตรียมความพร้อมในการเข้าสู่ห่วงโซ่อุปทานของ
อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่
(Parts Transformation)



02-712-2414



www.thaiauto.or.th



@thaiauto

สารบัญ

บทที่ 1 การออกแบบฮาร์ดแวร์ด้านอิเล็กทรอนิกส์และทำต้นแบบ	1
1.1 การออกแบบเชิงแนวคิด (Conceptual Design).....	1
1.2 การออกแบบผังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Schematic Design)	3
1.3 Bill of Materials (BOM).....	4
1.4 การออกแบบแผ่นวงจร (PCB Design)	4
1.5 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง.....	7
1.6 การสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB Fabrication).....	9
1.7 ลงอุปกรณ์ (Board Assembly) และทำการทดสอบการทำงานของบอร์ด (Board Testing)	12
1.8 จัดทำเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ (Design Documentation).....	13
บทที่ 2 การผลิต Copper Clad Laminate (CCL)	16
2.1 PCB Manufacturing vs PCB Assembly (PCBA).....	16
2.2 กระบวนการผลิต CCL.....	16
2.3 กระบวนการผลิตพีเรก	18
2.4 กระบวนการผลิตแผ่นลามิเนต	20
บทที่ 3 การผลิตแผ่นวงจรพิมพ์เปล่า (Bare PCB)	22
3.1 DFM Check	23
3.2 Cutting of CCL.....	23
3.3 Drilling.....	24
3.4 Through Hole Plating.....	25
3.5 Layout	25
3.6 Etching.....	27
3.7 Quality Inspection.....	27
3.8 Solder Mask Printing	29
3.9 Legend Printing.....	29
3.10 Surface Finish.....	30
3.11 Profile (Milling) หรือ V – Groove (หรือ V – Cut Scoring)	31
3.12 Electrical Test (หรือ E – Test).....	31
3.13 Final Inspection.....	34
3.14 – 3.15 Packing, Labeling & Ship out.....	35

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 การประกอบแผงวงจร (PCBA).....	36
4.1 SMT Process (Front End Process).....	39
4.2 กระบวนการ IMT (IMT Process หรือ THT Process)	51
4.3 การซ่อมแซม/แก้ไขบอร์ดที่มีความบกพร่อง (Debug and Rework)	60
4.4 Final Quality Assurance (หรือ Final Quality Audit) (FQA).....	61
4.5 Out-Going Quality Assurance (หรือ Out-Going Quality Audit) (OQA).....	61

บทที่ 1 การออกแบบฮาร์ดแวร์ด้านอิเล็กทรอนิกส์และทำต้นแบบ

เพื่อให้มองภาพรวมในการทำแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board, PCB) และ การประกอบแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB Assembly, PCBA) ออก ในเชิงของการออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิกส์ เรามาคูยเรื่องนี้กันพอเป็นแนวคิด และการออกแบบที่กล่าวมานั้น พอเขียนออกมาเป็นขั้นตอนเพื่อให้ทำความเข้าใจได้ดังนี้

1.1 การออกแบบเชิงแนวคิด (Conceptual Design)

ขั้นตอนนี้ก็จะเป็นการวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้า (Customer Requirement Analysis) โดยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลอันเป็นความต้องการของลูกค้า (Customer Requirements) ขึ้นมาก่อน จากนั้นจึงนำข้อมูลเหล่านี้ ซึ่งอาจจะระบุเป็นคำพูดตรง ๆ หรือ ทำการเทียบเคียงให้เป็นภาพ เป็นต้น มาจัดกลุ่มความต้องการต่าง ๆ

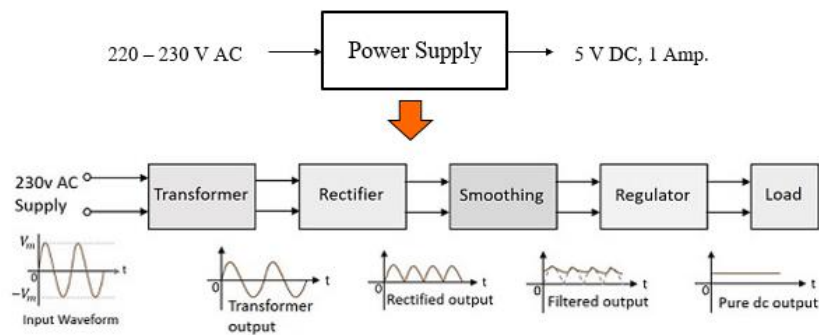


รูปที่ 1.1 การเปลี่ยนข้อมูลเชิงบอกเล่าให้เป็นข้อกำหนดเฉพาะที่สามารถวัดได้

จากนั้นจะทำการเปลี่ยนกลุ่มข้อมูลในเชิงคำพูด หรือ การเทียบเคียง ให้เป็นข้อกำหนดจำเพาะ (Specification) ของผลิตภัณฑ์ โดยข้อกำหนดข้างต้นจะต้องเป็นข้อกำหนดเชิงวิศวกรรม (เช่น สามารถวัดได้ เป็นต้น) ทั้งนี้รวมถึงฟังก์ชันอื่น ๆ ด้วย เช่น ต้นทุน ความสามารถในการแข่งขันทางการตลาด ความสามารถในการผลิต เทคโนโลยีต่าง ๆ เป็นต้น

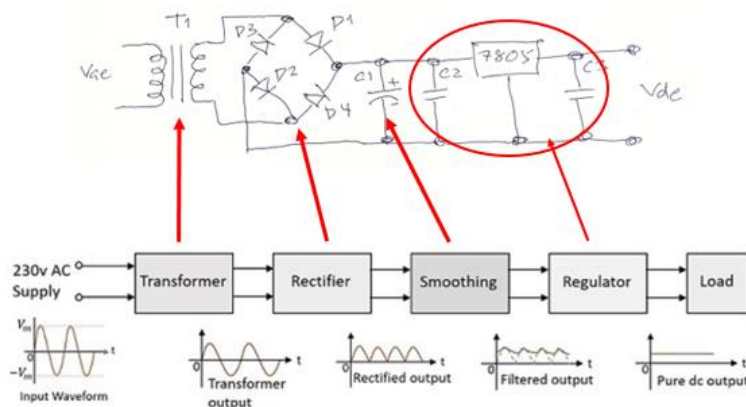
หลังจากได้ข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมออกมาแล้ว โดยทั่วไป เราก็จะเริ่มด้วยการออกแบบในเชิงบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ขึ้นมาก่อน ... จากนั้นก็เปลี่ยนจากบล็อกแต่ละบล็อกมาเป็นวงจรที่สัมพันธ์กัน ตัวอย่างเช่น การ

เขียนบล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟตรง 5 โวลต์ 1 แอมป์ เป็นดังรูปด้านล่าง



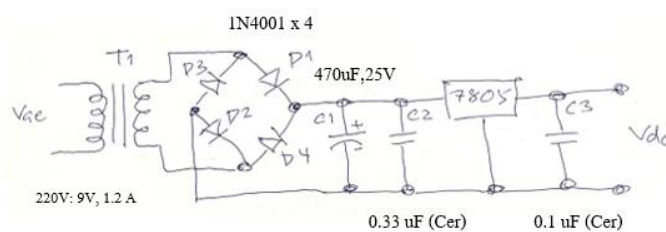
รูปที่ 1.2 การออกแบบเชิงบล็อกไดอะแกรม

หลังจากทำการออกแบบในเชิงบล็อกไดอะแกรมแล้ว ก็ทำการเปลี่ยนแต่ละบล็อกให้เป็นวงจรที่สัมพันธ์กับแต่ละบล็อกเหล่านั้น



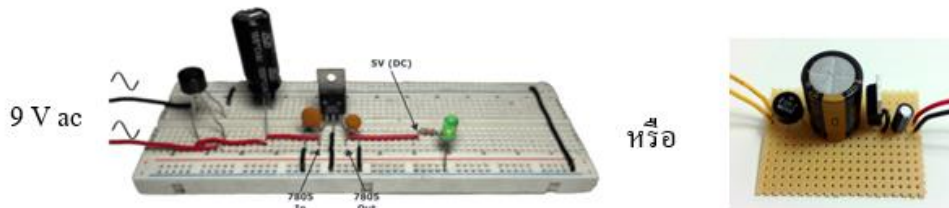
รูปที่ 1.3 เปลี่ยนบล็อกไดอะแกรมให้เป็นวงจรที่สอดคล้องกัน

เมื่อได้วงจรออกมาแล้ว ก็จะต้องทำการเลือกใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ให้ถูกต้องเหมาะสม (เช่น จะใช้ตัวเก็บประจุประเภทใด หรือ ไดโอดแบบใด เป็นต้น) ซึ่งคงต้องอาศัยข้อมูลจาก Data Sheet ของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องการนำมาใช้งาน ... จากนั้นก็ทำการกำหนดค่า (หรือ สิ่งที่ต้องไปจัดหา ... จะจากการคำนวณ การจำลอง การทดลอง หรือ ประสพการณ์ ก็แล้วแต่) ที่ต้องการออกมาให้ชัดเจน



รูปที่ 1.4 กำหนดรายละเอียดของอุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน

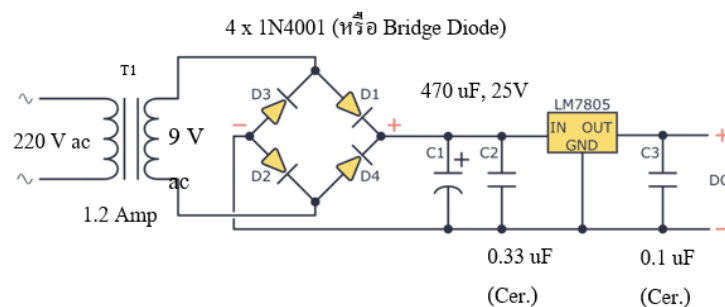
เพื่อเป็นการยืนยันว่า วงจรที่ออกแบบขึ้นมานั้นทำงานได้จริงหรือไม่ ก็ต้องลองต่อวงจรขึ้นมาจริง ๆ แล้ว ทดลอง วัดค่าแรงดัน (หรือ กระแส) และรูปร่างของสัญญาณตามจุดต่าง ๆ ว่า เป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ ... ถ้าไม่เป็นไปตามที่ต้องการ จะปรับแก้ตรงไหนเพื่อให้วงจรทำงานได้ตามต้องการก็ว่ากันไป แต่เมื่อมีปรับแก้ไขใด ๆ ก็อย่าลืมไป อัปเดต (update) วงจรที่เขียนเอาไว้ด้วย



รูปที่ 1.5 ต่อวงจรขึ้นมาดูว่าทำงานได้ตามต้องการหรือไม่

1.2 การออกแบบผังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Schematic Design)

ขั้นตอนนี้ก็จะเป็นการเขียน (หรือ Update) ผังวงจร (Schematic) ให้ถูกต้องตามวงจรที่ได้สร้างขึ้น การออกแบบแผนผังอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Schematic Design) เป็นกระบวนการสร้างการแสดงผล ภาพกราฟิกของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นการแสดงการเชื่อมต่อระหว่างส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ด้วย ภาพ โดยแผนผังนี้จะช่วยให้วิศวกรผู้ออกแบบและนักออกแบบคนอื่น ๆ เข้าใจการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่าง ๆ และ วิธีการทำงานร่วมกัน ตัวอย่างเป็นดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 1.6 ผังวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Schematic Diagram)

เมื่อได้ Schematic Diagram ที่ถูกต้องแล้ว ... โดยทั่วไป ก็จะนำไปใช้ในการออกแบบ PCB และ สร้าง BOM (Bill of Material)

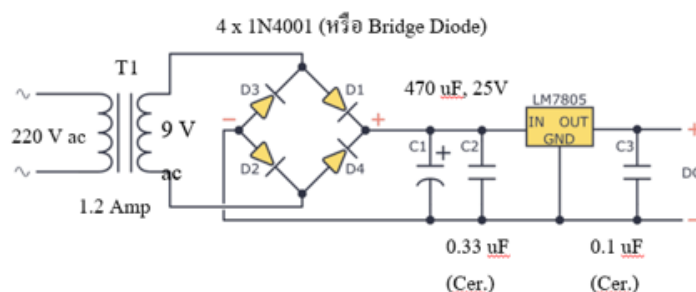
1.3 Bill of Materials (BOM)

BOM ย่อมาจาก Bill of Materials หรือจะเรียกว่า สูตรวัตถุดิบ (ที่ใช้ในการผลิตสินค้า) ก็ได้ ... BOM จึงเป็นเอกสารที่อธิบายว่า สินค้าที่ต้องการทำการผลิตขึ้นมา 1 ชิ้นนั้น ต้องใช้ชิ้นส่วน วัตถุดิบ หรือ วัสดุอะไหล่บ้าง มีจำนวนเท่าไร พร้อมระบุรายละเอียดต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต่อการจัดซื้อและการผลิต



รูปที่ 1.7 BOM แสดงให้ทราบว่า ชิ้นงาน 1 ชิ้นประกอบไปด้วยอะไหล่บ้าง จำนวนเท่าใด

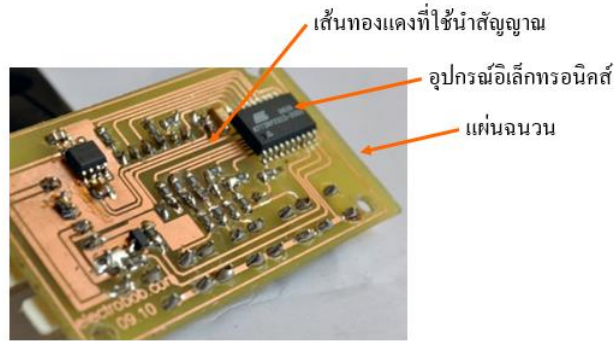
โดยทั่วไป ... BOM จะดึงข้อมูลมาจาก Schematic Drawing (และต้นแบบที่เราจะสร้างขึ้นต่อไป) ตัวอย่างง่าย ๆ เป็นดังนี้



Item	Component	Quantity	Description
1	T1	1	Transformer Pri / Sec = 220Vac / 9Vac, 1.2 Amp.
2	D1 – D4	4	Rectify Diode 1N4001
3	C1	1	Electrolytic Capacitor, 470 uF, 25 Vdc
4	C2	1	Ceramic Capacitor, 0.33 uF
5	C3	1	Ceramic Capacitor, 0.1 uF
6			

1.4 การออกแบบแผ่นวงจร (PCB Design)

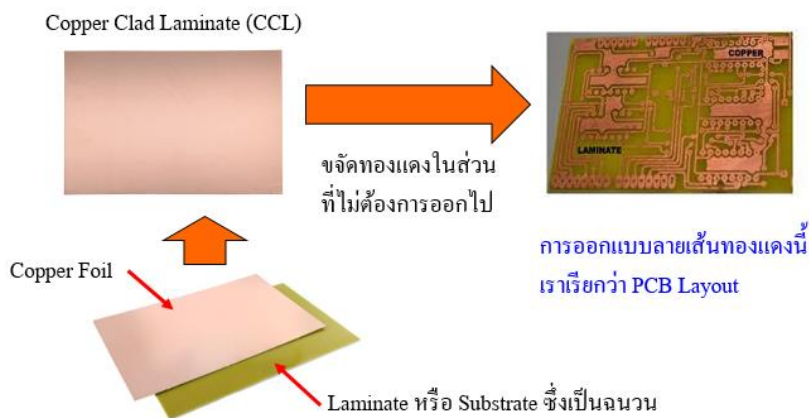
แผงวงจรพิมพ์ (หรือ แผ่นวงจรพิมพ์ หรือ Printed Circuit Board, PCB) ก็คือ แถบเส้นตัวนำ (เส้นทองแดง) ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้สัญญาณไฟฟ้าวิ่งถึงกันได้นั่นเอง ... และเพื่อให้เส้นทองแดงมันคงตัว (ไม่ขยับ ไม่เลื่อนมาแต่กัน) เราก็จับมันไปติดเอาไว้บนแผ่นฉนวน



รูปที่ 1.8 แผ่นวงจรพิมพ์ (PCB)

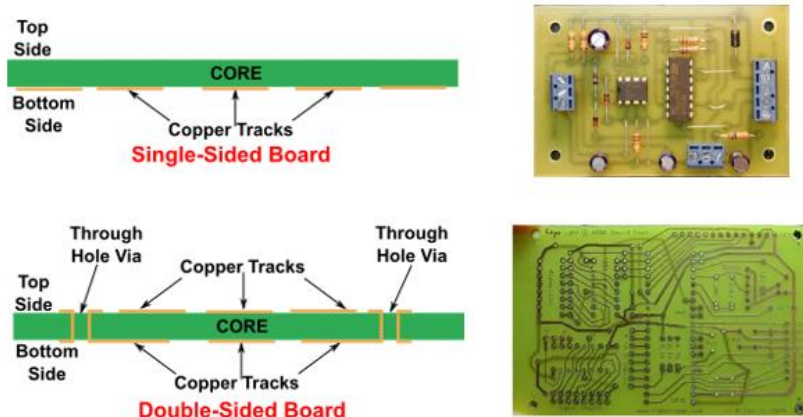
แทนที่จะเอาเส้นทองแดงมาแปะบนแผ่นฉนวนไปที่ละเส้น ... เราจะนำแผ่นทองแดงบาง ๆ (Copper foil) มายึดติดเข้ากับแผ่นฉนวนที่ใช้เป็นฐาน (Substrate) (เพื่อความเข้าใจง่าย ๆ สมมติว่าใช้กาว (Glue) ก็แล้วกัน) เมื่อยึดติดเข้าด้วยกันเรียบร้อยแล้ว จะเรียกว่า Copper Clad Laminate หรือ เรียกย่อ ๆ ว่า CCL ... จากนั้น จะทำการขจัดทองแดงส่วนที่ไม่ต้องการทิ้งไป โดยให้เหลือเฉพาะลายเส้นทองแดง (บางที่เรียกว่า ลายทองแดง หรือ ลายวงจร) เอาไว้เท่านั้น

การออกแบบลายเส้นทองแดงที่ใช้เชื่อมต่อสัญญาณระหว่างจุดต่าง ๆ (เช่น จากขาอุปกรณ์หนึ่งไปยังอีกขาอุปกรณ์หนึ่ง) เพื่อให้เป็นไปตาม Schematic Drawing ตามที่กล่าวมาแล้วนั้น จะเรียกว่า PCB Layout นั่นเอง



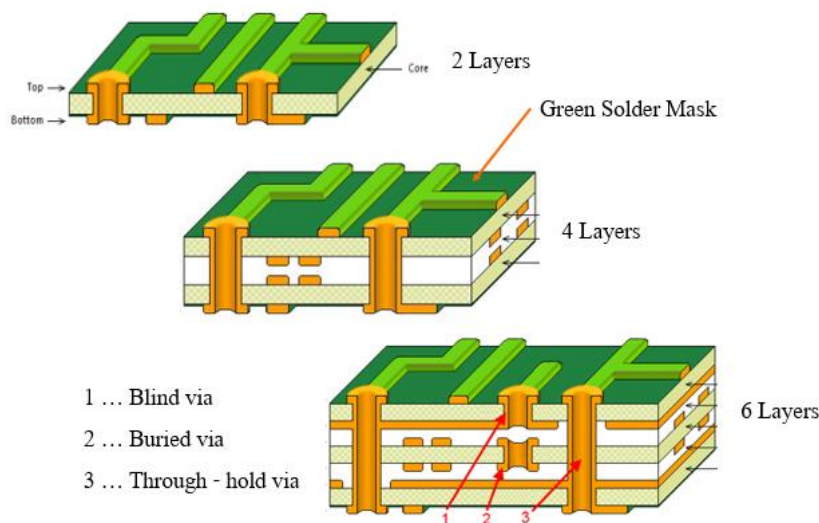
รูปที่ 1.9 แนวทางการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์

ถ้าออกแบบให้ลายทองแดงอยู่หน้าเดียว (Single Side) ของแผ่นฉนวนก็จะเรียกว่า PCB ที่มีลายทองแดงด้านเดียว หรือ Single – Sided PCB ทำนองเดียวกัน เราก็สามารถออกแบบให้มีลายทองแดงทั้งสองด้าน (Double Side) ก็ได้ ซึ่งจะเรียกว่า PCB ที่มีลายทองแดงสองด้าน หรือ Double-Sided PCB



รูปที่ 1.10 PCB แบบที่มีลายทองแดงด้านเดียว และ แบบที่มีลายทองแดงสองด้าน

การออกแบบ PCB ให้มีลายทองแดงที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์อยู่ทั้งสองด้าน (หรือ ถ้านับชั้นของแผ่นทองแดง ก็ จะถือว่า มีสองชั้น หรือ 2 Layers) ก็เพื่อลดขนาด (ความกว้างยาว) ของ PCB ลง ... ถ้าสองชั้น หรือ 2 Layers ยัง มีขนาดเล็กไม่พอ ... ก็สามารถเพิ่มซ้อนเข้าไปด้วยกันอีกก็ได้ เช่น เป็น 4, 6, ... ชั้น เป็นต้น โดยจะต้องมีแผ่นฉนวน กั้นอยู่ระหว่าง ๆ ชั้น เพื่อไม่ให้ลายทองแดงสัมผัสกัน



รูปที่ 1.11 แผ่นวงจรพิมพ์แบบมีลายทองแดง 2, 4, 6 ชั้น

จากที่กล่าวมาแล้วว่า จะต้องฉนวนกันอยู่ระหว่างแผ่น (หรือ ลายทองแดง) แต่ละชั้น เพื่อไม่ให้เกิดการ ลัดวงจร (Short circuit) เกิดขึ้น ... คำถามก็คือ แล้วจะเชื่อมลายวงจรระหว่างชั้นเข้าหากันได้อย่างไร ... คำตอบก็ คืออาศัย “เวีย (Via)” เข้าช่วย

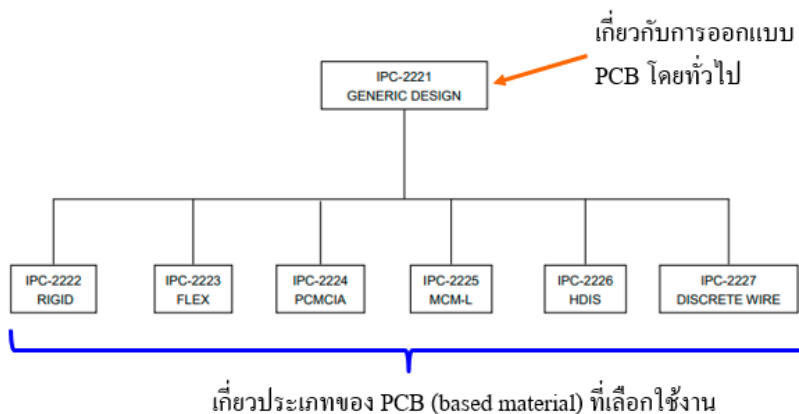
เวีย ก็คือ การเจาะรูระหว่างลายวงจร (ลายทองแดง) ที่ต้องการให้เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน แล้วสร้างทองแดงขึ้นมาในรู ที่เจาะเอาไว้เพื่อให้เชื่อมลายวงจรเข้าด้วยกัน

กล่าวโดยทั่วไป เวีย จะมีอยู่สามประเภท คือ ประเภทแรกเรียกว่า ทรูโฮลเวีย (Through – hole via) หมายถึง เวีย ที่เจาะทะลุจากลายทองแดงด้านบนไปโผล่ที่ลายทองแดงด้านล่างของ PCB ส่วนจะลายทองแดงชั้นใดจะเชื่อมต่อ เข้ากับเวียบ้างก็ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ ประเภทสองคือ บลายด์เวีย (Blind via) เวียประเภทนี้จะเจาะจาก ลายทองแดงด้านหนึ่ง (ด้านบนหรือด้านล่างด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้น) ไปสู่ชั้นในของ PCB (หรือ สังกะต่ง่าย ๆ ก็คือ ปลายอีกด้านจะไม่โผล่ออกมายังด้านตรงข้าม แต่จะหยุดอยู่ด้านในของ PCB) ประเภทที่สามคือ เบอร์เวีย (Buried via) เวียประเภทนี้จะอยู่ระหว่างชั้นของ PCB โดยจะไม่มีด้านใดด้านหนึ่งโผล่ออกมาที่ลายทองแดงด้านบน หรือ ด้านล่างของ PCB เลย

เวลาออกแบบ PCB (PCB Design) นั้น ไม่ใช่แค่ทำการออกแบบลายวงจร (PCB Layout) เท่านั้น ... ผู้ออกแบบ จะต้องกำหนดด้วยว่า จะใช้ทองแดงแบบไหน หนาเท่าใด มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าอย่างไร ... วัสดุที่นำมาทำ Substrate (แผ่นฉนวน) จะเอาแบบไหน หนาเท่าใด มีคุณสมบัติทางไฟฟ้า อย่างไร ... ซึ่งจะเห็นว่า ไม่ใช่แค่ ออกแบบลายวงจรเท่านั้น แต่ต้องออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ทั้งหมด ... จึงเรียกว่า การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ หรือ PCB Design นั่นเอง

1.5 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้การออกแบบได้มาตรฐานเข้าใจตรงกันระหว่างผู้ออกแบบ ผู้ผลิต และผู้ใช้งาน ก็จะมีมาตรฐาน เกิดขึ้นเพื่อใช้งานร่วมกัน ที่นิยมกันก็คือ มาตรฐาน IPC (IPC ย่อมาจาก Institute of Printed Circuits (ก่อนหน้านี้ย่อ มาจาก Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits))



รูปที่ 1.12 มาตรฐาน IPC

มาตรฐานของ IPC 2220 ซึ่งประกอบด้วย

IPC-2221 Generic Standard on Printed Board Design และจะถือว่า มี IPC ต่อไปนี้เป็น Subset

IPC-2222 Rigid organic printed board structure design

IPC-2223 Flexible printed board structure design

IPC-2224 Organic, PC card format, printed board structure design

IPC-2225 Organic, MCM-L, printed board structure design

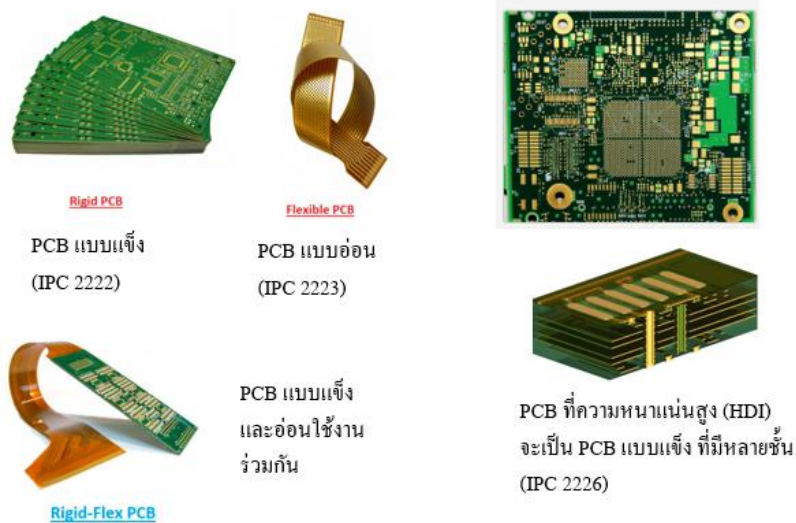
IPC-2226 High Density Interconnect (HDI) structure design

IPC-2227 Organic board design using discrete wiring

IPC-2221 Generic Standard on Printed Board Design

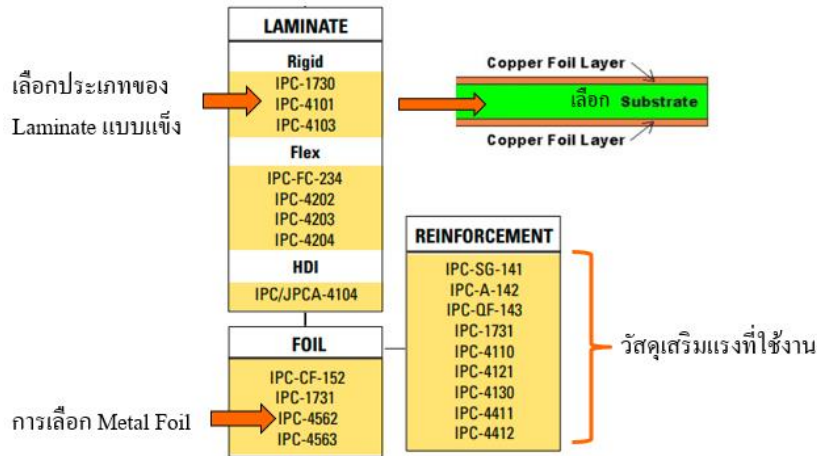
IPC-2221 คือ แนวทางมาตรฐาน (standard guideline) ที่ใช้สำหรับกระบวนการออกแบบ PCB โดย IPC – 2221 จะระบุเกี่ยวกับ การจัดวางการออกแบบ (design layout) การแสดงรายการชิ้นส่วน (part list) วัสดุที่นำมาใช้ คุณสมบัติทางกายภาพและกลไก (mechanical and physical properties) คุณสมบัติทางไฟฟ้า คุณสมบัติทางความร้อน และ อื่น ๆ

นอกจากนั้น ในกลุ่มนี้ (IPC – 2220) ยังแยกออกเป็นตามประเภทของ PCB ด้วย เช่น IPC-2222 เป็น PCB แบบแข็ง (Rigid PCB) IPC-2223 เป็น PCB แบบอ่อน (Flex PCB) IPC 2226 เป็น PCB ที่มีความหนาแน่นสูง (High Density Interconnect (HDI)) เป็นต้น



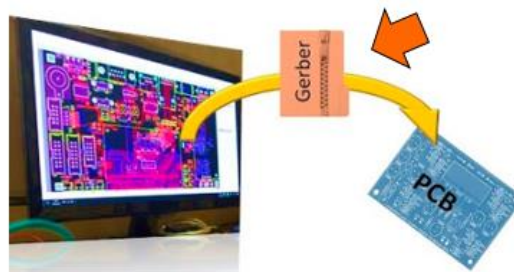
รูปที่ 1.13 PCB ประเภทต่าง ๆ

เมื่อเลือกแล้ว (เช่น IPC 2222 เป็น Rigid PCB) ก็จะมีตามมาอีก... เช่น



รูปที่ 1.14 กลุ่มย่อยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ Rigid PCB

เมื่อกำหนดตอนที่ออกแบบ PCB แล้ว ... การสร้าง PCB ตามที่ออกแบบขึ้นมานั้น (เช่น สร้าง Substrate ขึ้นมาอย่างไร) ก็ถือเป็นหน้าที่ของโรงงานทำ PCB ซึ่งรายละเอียดตรงนี้คงไม่ต้องลงลึกไปถึงขนาดนั้นก็ได้ ... อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันนี้มีโปรแกรม CAD ที่ช่วยทำเรื่องนี้หลายตัว และส่วนมากก็จะสอดคล้องกับมาตรฐาน IPC ตามที่กล่าวมาอยู่แล้ว จึงทำให้มีความสะดวกต่อผู้ออกแบบมากขึ้น และเมื่อออกแบบ PCB เสร็จแล้ว ... ผู้ออกแบบก็ทำการส่ง Gerber File ไปให้ผู้รับจ้างผลิต PCB ทำแผ่น PCB ออกมา

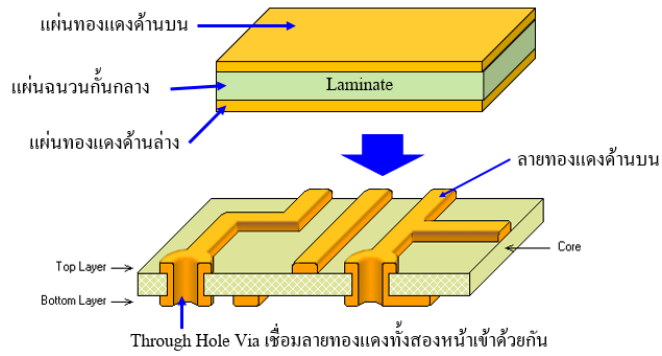


รูปที่ 1.15 เมื่อออกแบบ PCB เสร็จแล้ว ก็ส่งไฟล์เกอร์เบอร์ (Gerber File) ไปให้ผู้ผลิต PCB

1.6 การสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB Fabrication)

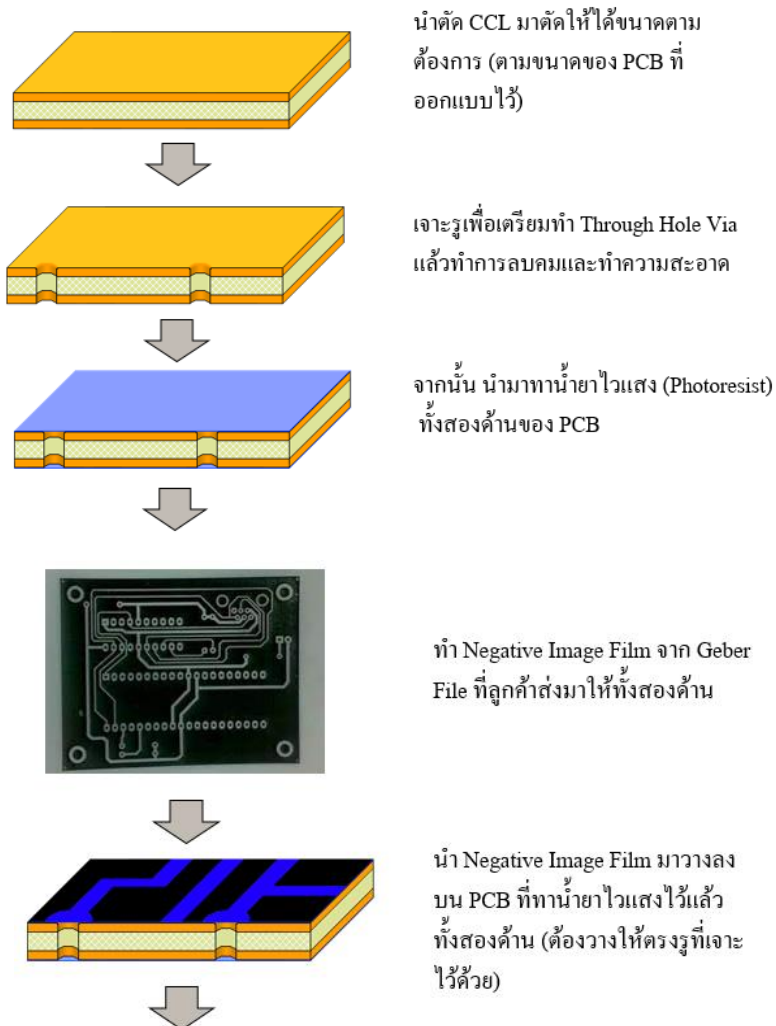
เมื่อผู้ผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ได้รับ Gerber File แล้ว ก็จะตรวจสอบความถูกต้องของไฟล์เพื่อเป็นการตรวจสอบซ้ำ (Recheck) จากนั้นก็จะทำแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) ตามที่เราออกแบบเอาไว้

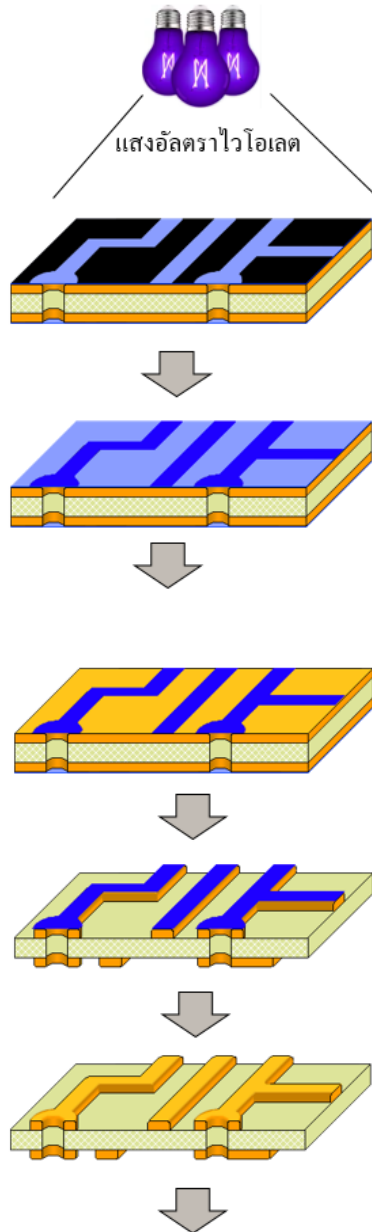
เพื่อความเข้าใจกระบวนการผลิต PCB ในเบื้องต้น ... สมมติว่า จะทำ PCB ที่มีลายเส้นทองแดงสองหน้า (Double Sides หรือ มีลายทองแดงสองชั้น (Two Layers)) ดังรูป



รูปที่ 1.16 กระบวนการเปลี่ยน CCL ให้เป็น PCB แบบสองหน้า

ขั้นตอนหลัก ๆ จะเขียนออกมาเป็นผังได้ดังรูปด้านล่าง





แสงอัลตราไวโอเลต

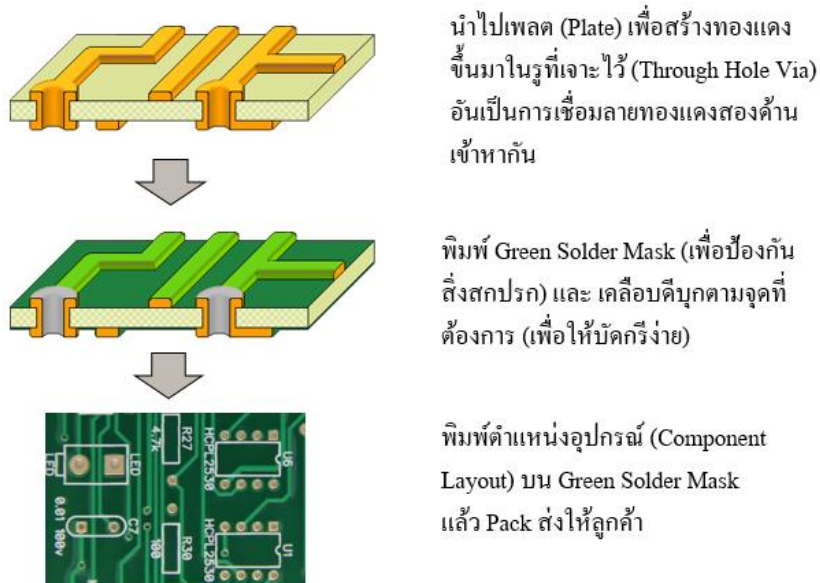
ฉายแสงอัลตราไวโอเลตผ่านฟิล์มไปยัง
น้ำยาไวแสงระยะเวลาหนึ่ง น้ำยาไวแสง
ที่ถูกแสงอัลตราไวโอเลตจะแข็งตัว

นำแผ่นฟิล์มออกไป น้ำยาไวแสง
ที่ถูกแสงอัลตราไวโอเลตจะแข็งตัว

นำไปล้างด้วยสารเคมี น้ำยาไวแสง
ส่วนที่ไม่ถูกแสงอัลตราไวโอเลต
จะถูกล้างออกไป เหลือเฉพาะส่วน
ที่แข็งตัว (เพราะ โคนแสง
อัลตราไวโอเลต) ติดอยู่บน PCB

นำไปกัด (Etching) ด้วยสารเคมี เนื้อ
ทองแดงส่วนที่ไม่มี Photoresist ที่แข็งตัว
ปิดทับเอาไว้ จะโดนสารเคมีกัดออก

นำไปล้าง Photoresist ที่เคลือบผิว
ทองแดงออกไปและทำความสะอาด
PCB ไปด้วยในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 1.17 กระบวนการทำ Bare PCB อย่างง่าย

1.7 ลงอุปกรณ์ (Board Assembly) และทำการทดสอบการทำงานของบอร์ด (Board Testing)

หลังจากได้ PCB มาจากผู้ผลิตและประกอบชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็ทำการทดสอบการทำงานของชิ้นงานที่สร้างขึ้นว่า ทำงานถูกต้องตามที่เราก่อแบบไว้หรือไม่



รูปที่ 1.18 ทำการทดสอบชิ้นงานที่สร้างขึ้น

ถ้าชิ้นงานทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ ... ก็ทำการบันทึกข้อมูลการวัดสัญญาณตามจุดต่าง ๆ ที่ต้องการเอาไว้เพื่อจัดทำเอกสารต่อไป

ในทางกลับกัน ถ้าชิ้นงานไม่ทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ ... ก็ต้องปรับแก้ให้ชิ้นงานทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ ... การปรับแก้ใด ๆ ที่เกิดขึ้นนั้น จะต้อง Update ใน Schematic Diagram, BOM, PCB Layout ด้วยเสมอ

บางครั้ง (ในอนาคต) ผู้สร้างชิ้นงานอาจจะไม่ได้วัดสัญญาณต่าง ๆ ด้วยเอง เพราะไปจ้างให้โรงงานผลิตชิ้นงานให้ ... จึงต้องกำหนดเอาไว้ว่า ต้องใช้เครื่องมือวัดอะไรบ้าง วัดที่จุดไหนก่อนหลัง ค่าที่วัดได้ที่ต้องต้องมันเป็นอย่างไร ทั้งนี้รวมถึง ถ้าสัญญาณมันผิดปกติออกไป ก็ควรไปดูจุดเสียที่ตรงไหน เพื่อจะได้ซ่อมแซมแก้ไขได้ ... แล้วทำเป็นเอกสารเอาไว้เพื่อส่งไปให้ทางโรงงานดำเนินการต่อไป

1.8 จัดทำเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ (Design Documentation)

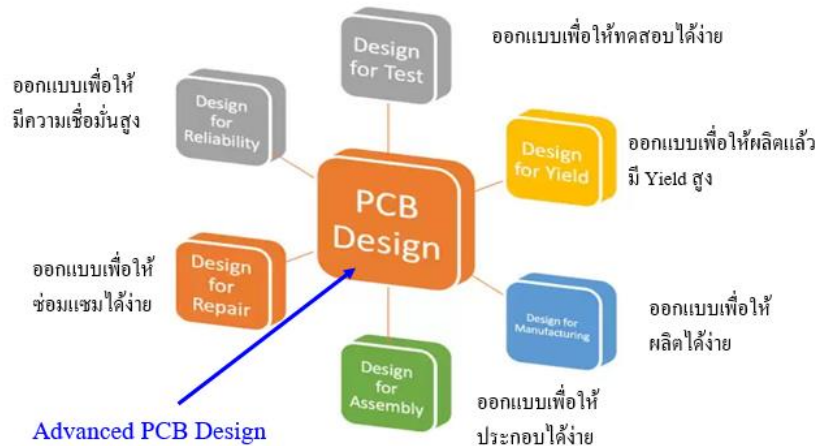
รวบรวมและจัดทำเอกสารเกี่ยวกับการออกแบบที่เราทำมาทั้งหมด เช่น

- 1) Schematic Diagram (Assembly Drawing ... ถ้ามี)
- 2) BOM (รวมถึง การ Update ให้ทันสมัยด้วย)
- 3) Data Sheet ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่สามารถหาได้ทั่วไป
- 4) ลายแผ่นพิมพ์ (PCB Layout) และตำแหน่งการวางอุปกรณ์ (Component Layout)
- 5) วิธีการทดสอบชิ้นงาน (Testing) และค่าสัญญาณที่วัดได้ตามจุดต่าง ๆ
- 6) แนวทางการแก้ไขปัญหา (Debug Symptom Guideline)
- 7) (ถ้าต้องการ) แผงวงจรพิมพ์เปล่า / แผงวงจรที่เป็นชิ้นงานต้นแบบ
- 8) เอกสารอื่น ๆ ตามความจำเป็น
- 9) การออกแบบครั้งที่สอง (Second Design)

ลองคิดต่อไปว่า ... ถ้าเรารับจ้างออกแบบและทำต้นแบบ (Prototype) ให้กับลูกค้ารายหนึ่ง แม้ว่า การออกแบบจะแล้วเสร็จตามที่กล่าวผ่านมาแล้วก็ตาม ... ถ้าลูกค้าต้องการให้สินค้าที่เราออกมาชิ้นมานั้น ใช้งานแล้วเกิดความมั่นใจ (Reliability) ว่า สินค้าจะใช้ได้นาน (เช่น อายุการใช้งานนาน 5 ปีเป็นอย่างน้อย) เราจะออกแบบอย่างไร ?

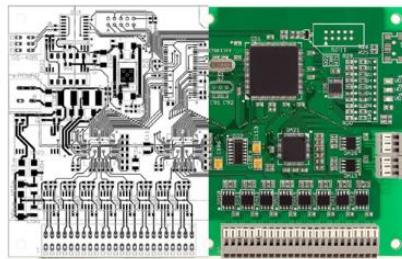
ถ้าลูกค้าเน้นเรื่องการการผลิตได้เร็ว การประกอบได้ง่าย ทำแล้วได้ Yield ($(\text{output}/\text{Input}) \times 100\%$) เราจะออกแบบอย่างไร ? หรือ ลูกค้าต้องการให้ต้นทุน (Cost) ต่ำ เราจะออกแบบอย่างไร ? หรือ เราต้องการให้เกิดความประหยัดในการผลิต (ผลิตง่าย ประกอบง่าย ทดสอบง่าย) เราจะออกแบบอย่างไร ?

ตามตัวอย่างที่กล่าวผ่านมานั้น ย่อมทำให้ต้องทำการออกแบบซ้ำ (Redesign) อีกครั้ง (บางที่เรียก Second Design) เพื่อทำสิ่งที่ลูกค้าต้องการให้เกิดขึ้น ในแง่ของ PCB Design แล้ว เรื่องที่เกี่ยวข้อง ขอให้ดูจากรูปด้านล่าง



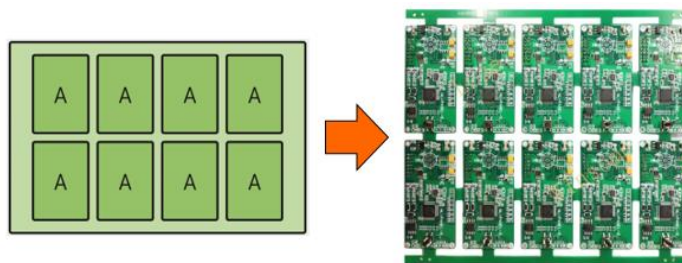
รูปที่ 1.19 เรื่องที่เกี่ยวกับ Second Design

ตัวอย่าง ... Design for Manufacturing (ทำอย่างไรจะผลิตได้เร็ว) ... ทำการออกแบบใหม่ โดยเปลี่ยนอุปกรณ์ให้เป็น SMD ให้มากที่สุด และสอดคล้องกับขีดความสามารถของเครื่องจักรที่ใช้งานในโรงงาน



รูปที่ 1.20 ออกแบบใหม่โดยใช้อุปกรณ์ประเภท SMD (Surface Mount Devices)

หรือ ออกแบบใหม่ให้เป็น Panel ... ถ้างานมีขนาดเล็กก็สามารถออกแบบให้เป็น Panel ได้ เพื่อให้ผลิตได้เร็วขึ้น



รูปที่ 1.21 การออกแบบให้เป็น Panel เพื่อผลิตได้เร็วขึ้น

Design for Assembly (ออกแบบเพื่อให้ประกอบได้ง่าย) ... เวลาไปจ้างโรงงานประกอบชิ้นส่วน (หรือ ผลิต) ให้ทางโรงงานจะคิดเวลาตามที่พนักงานลงมือทำงาน ยิ่งประกอบยากก็ยิ่งต้องใช้เวลานาน ค่าแรงในการประกอบก็จะสูงตามไปด้วย ... ถ้าทำการออกแบบให้ชิ้นงานประกอบได้ง่ายและใช้เวลาสั้น ๆ ค่าแรงในการประกอบก็จะลดลง ... ประหยัดได้ขึ้นละ 1 บาท ผลิตหนึ่งล้านชิ้นก็ประหยัดได้หนึ่งล้านบาท



รูปที่ 1.22 การออกแบบเพื่อให้ประกอบง่าย

บทที่ 2 การผลิต Copper Clad Laminate (CCL)

2.1 PCB Manufacturing vs PCB Assembly (PCBA)

โรงงาน PCB หรือ PCB Manufacturing จะหมายถึง โรงงานที่ผลิตแผ่นวงจรพิมพ์เปล่า (bare printed circuit boards, bare PCB) ในขณะที่ โรงงานประกอบแผ่นวงจรพิมพ์ หรือ PCB Assembly หรือ PCBA จะหมายถึง โรงงานที่มีกระบวนการบัดกรีอุปกรณ์ลงไปในแผ่นวงจรพิมพ์เปล่า



Bare PCB



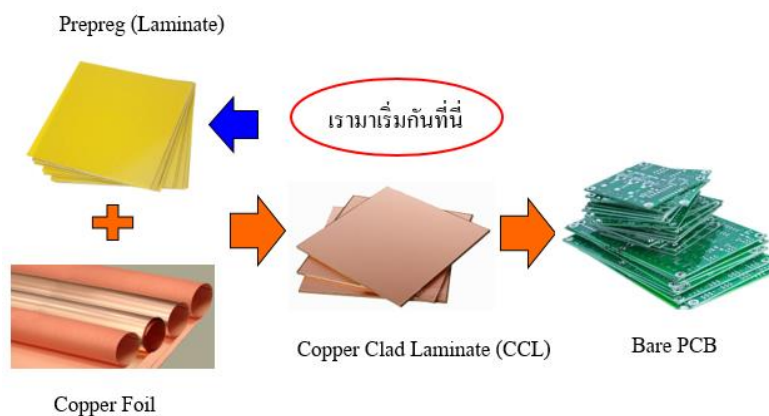
PCB Assembly

รูปที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่าง PCB กับ PCBA

ปัจจุบันนี้ โรงงาน PCBA จะเป็นแบบ Turn Key โดยทำการจัดหาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และ Bare PCB (ตาม BOM) เพื่อนำมาประกอบเข้าด้วยกัน

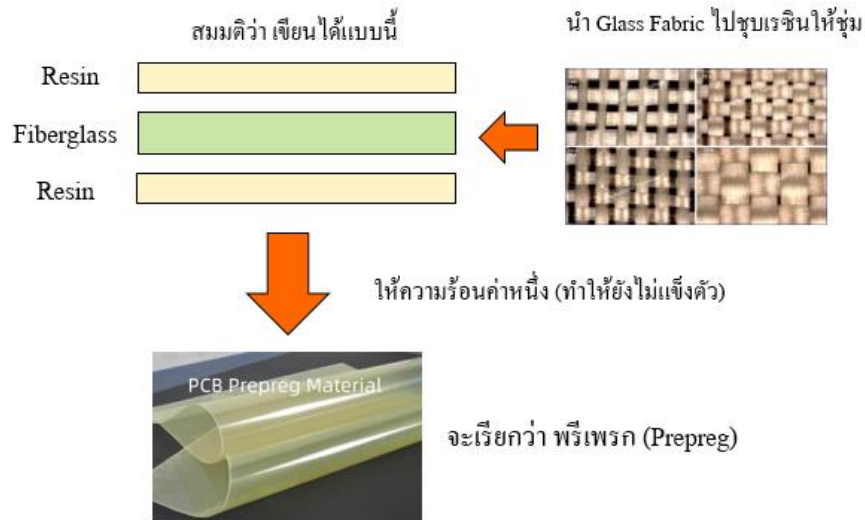
2.2 กระบวนการผลิต CCL

โรงงานทำ Bare PCB ขนาดใหญ่ ส่วนมากจะรวมถึงการทำ Copper Clad Laminate (CCL) (หรือ บางแห่งเรียก Blank PCB) เอาไว้ด้วย



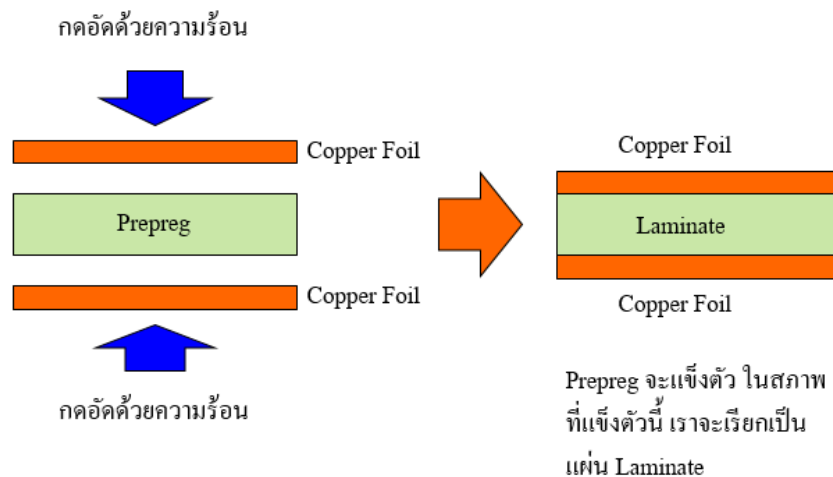
รูปที่ 2.2 จากพรีเพรก (Prepreg) มาเป็นแผ่นวงจรเปล่าที่ยังไม่ได้ลงอุปกรณ์ (Bare PCB)

การสร้าง Prepreg ขออธิบายภาพรวมง่าย ๆ ได้ดังนี้ นำแผ่นใยสังเคราะห์ (เช่น Glass Fabric) ไปชุบเรซิน (Resin) ให้ชุ่ม (ตามภาพเขียนให้เข้าใจได้ง่าย ๆ ว่า เหมือนมี Resin ประกอบอยู่ทั้งสองด้านของใยสังเคราะห์) จากนั้นนำใยสังเคราะห์ที่ชุ่มด้วยเรซินไปอบความร้อนเอาไว้ช่วงเวลาหนึ่ง จนทำให้ใยสังเคราะห์ที่ชุบเรซินมีลักษณะยุ่นคล้ายขนมชั้น หรือ ขนมเปียกปูน ... จะเรียกแผ่นนี้ว่า แผ่นพรีเพรก (Prepreg)



รูปที่ 2.3 ภาพรวมของการผลิต Prepreg

จากนั้นนำแผ่นพรีเพรกมาปิดด้วยแผ่นทองแดงบาง ๆ (Copper Foil) ... ถ้าปิดแผ่นทองแดงทั้งสองด้านก็จะกลายเป็น PCB แบบสองเลเยอร์ (หรือ มีทองแดงอยู่ทั้งสองหน้า) ... ถ้าปิดหน้าเดียว ก็เป็นแบบหนึ่งเลเยอร์ ... แล้วนำไปกดอัดด้วยความร้อน (Heated Press) จนแผ่นพรีเพรกแข็งตัว (เป็นแผ่นลามิเนต (Laminate))



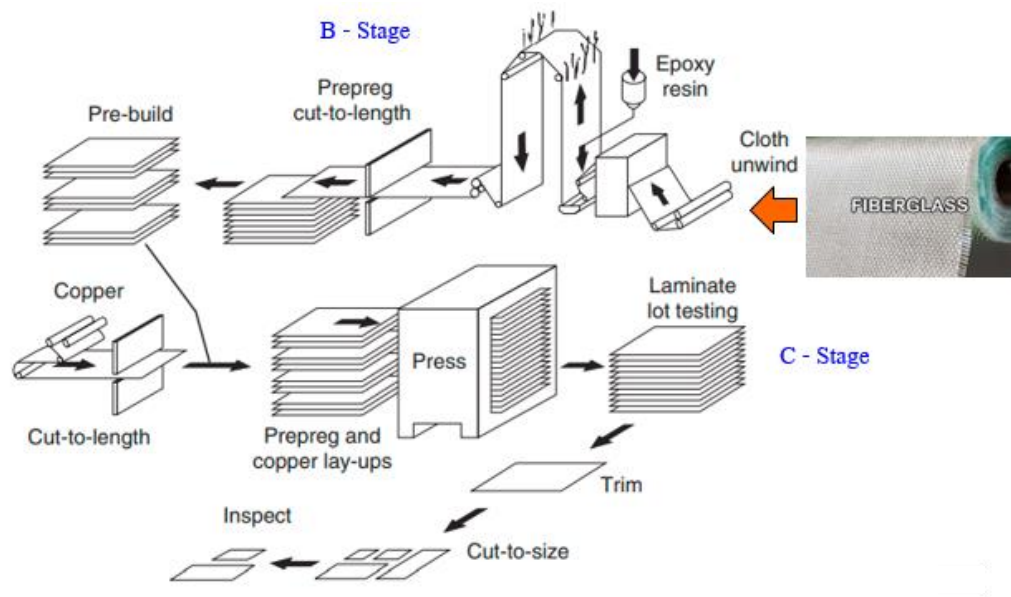
รูปที่ 2.4 จาก Prepreg มาเป็น Laminate

มีคำศัพท์สองคำที่ควรทำความเข้าใจก่อนในเบื้องต้น คือคำว่า B - Stage กับ C - Stage ... กระบวนการผลิต CCL ทั่วไปในภาพรวม สามารถแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนได้แก่ การผลิตพรีเพรก (Prepreg Manufacturing) และการผลิตลามิเนต (Laminate Manufacturing) ... บางครั้ง Prepreg เรียกอีกอย่างว่า B-Stage หรือแผ่นยึดติด (Bonding Sheet) ในขณะที่ลามิเนตเรียกว่า C - Stage

คำว่า B - Stage และ C- Stage หมายถึง สภาพของระดับที่ระบบเรซินแข็งตัว (Cure) มากน้อยเพียงใด ... ให้นึกภาพง่าย ๆ ก็คือ ถ้าเรซินที่เริ่มต้นจากสถานะของเหลว (สมมติว่าเป็น A - Stage) แล้วให้ความร้อนไปเรื่อย ๆ จนถึง

จุดที่กำหนด (สมมติว่า 100%) มันจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง (เหมือนแผ่นไม้) ตรงนี้เรียกว่า “C – Stage” ... ที่นี้ถ้าให้ความร้อนไปสัก 50% สถานะมันจะอยู่ระหว่างกลางระหว่างของเหลวและของแข็ง (นุ่มคล้าย ๆ กับขนมชั้น หรือ ขนมเปียกปูน) ตรงนี้เรียกว่า “B – Stage”

ต่อไป มาดูกระบวนการผลิตแผ่น Prepreg และ Laminate ต่อเนื่องกันไป กระบวนการจะเป็นดังรูป ...

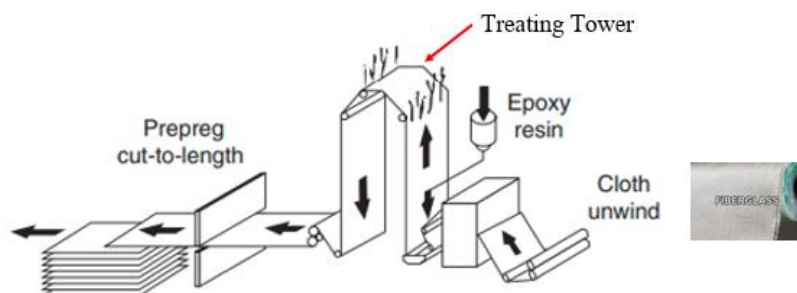


รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิต CCL

เพื่อให้ทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้น เรามาค่อย ๆ ดูไปที่ละส่วน

2.3 กระบวนการผลิตพีเรก

กระบวนการผลิตพีเรกจะเป็นดังรูปด้านล่าง

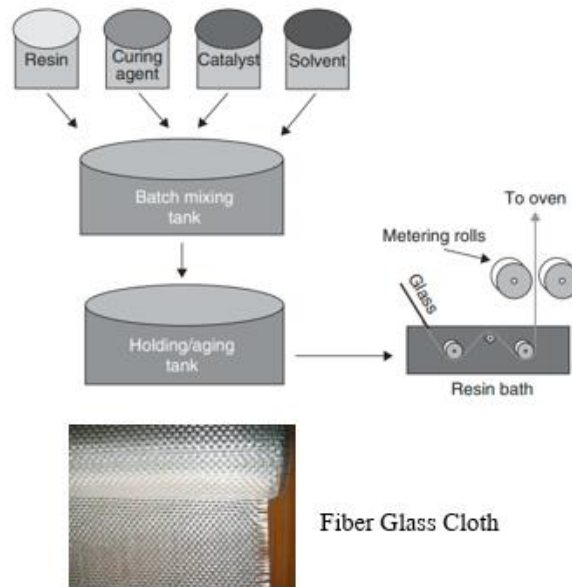


รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตพีเรก

ม้วนแผ่นผ้าที่เป็นใยสังเคราะห์ จะถูกนำมาคลื่อนจากม้วน (Cloth unwind) และทำให้ตึง แล้วเคลื่อนผ่านเรซิน (Epoxy resin) ซึ่งเป็นของเหลวจนชุ่ม (Impregnate) (เหมือนกับเอาผ้ามาชุบน้ำ (เรซิน) นั้นเอง) แล้วเคลื่อนผ่าน หอคอยให้ความร้อน (Treating Tower) ซึ่งจะค่อย ๆ ให้ความร้อนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วลดลงความร้อนลง

เรซินจะเริ่ม Cure บางส่วน (ไม่แข็งตัวจนเป็นของแข็ง แต่ก็ไม่เหลว อยู่ในสภาวะ B - Stage) แล้วเคลื่อนผ่านลูกกลิ้งเพื่อรีดให้เรียบและตัดให้ได้ขนาด

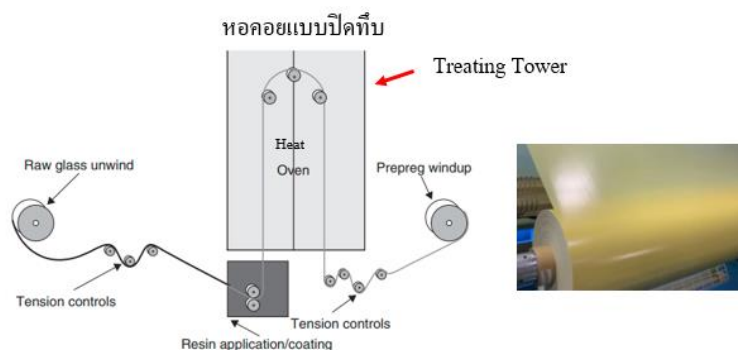
การผสมเรซินและการชุบผ้าใยแก้ว (Fiberglass cloth) จะเป็นดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.7 การผสมเรซินและการชุบเรซิน

จากรูป เราก็นำเรซิน น้ำยาทำละลาย (Solvent) ตัวเร่ง (Catalyst) และ สารทำให้แข็งตัว (Curing agent) มาผสมกันที่ถังผสม (Batch mixing tank) แล้วมาเก็บไว้ที่ถังเก็บ (Holding tank) แล้วปล่อยมาที่อ่างชุบผ้า (Resin bath) แล้วให้ผ้าใยแก้ว (Glass Fabric) เคลื่อนผ่านน้ำยาเรซิน (ซึ่งจะเป็นตัวเสริมแรง (Reinforcement) ให้กับผ้าใยแก้ว

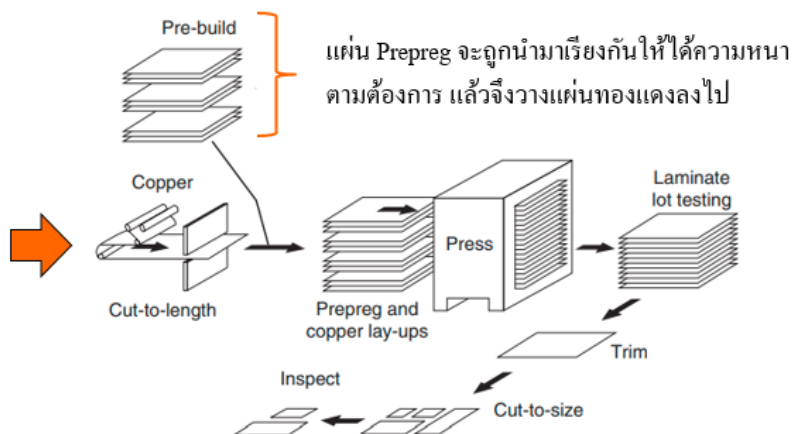
ถัดไปผ้าใยแก้วจะถูกดึงไปผ่านหอคอยแบบปิดที่บัพที่มีโซนความร้อน (Heat zone) หลายโซนด้วยกัน ... โซนแรกจะทำให้ตัวทำละลายในส่วนประกอบเรซินระเหยออกไป โซนต่อมาจะมีไว้เพื่อสำหรับการ cure เรซินให้เข้าสู่ B-stage จนได้พรีเพรกกออกมา แล้วม้วนเป็นม้วนหรือนำไปตัดเป็นแผ่นต่อไป



รูปที่ 2.8 การให้ความร้อนเพื่อให้ได้พรีเพรกกออกมา

2.4 กระบวนการผลิตแผ่นลามิเนต

เมื่อได้ Prepreg ออกมาแล้ว ต่อไปก็เข้าสู่กระบวนการผลิต Laminate



รูปที่ 2.9 กระบวนการผลิตแผ่นลามิเนต

จากรูปที่ผ่านมา ม้วน Copper foil จะถูกคลี่ออกแล้วนำมาตัดให้ได้ขนาด (เท่ากับแผ่น Prepreg) แล้วก็นำมาซ้อนด้านบนของแผ่น Prepreg (หรือ ชุด Prepreg ที่มีหลายแผ่น)



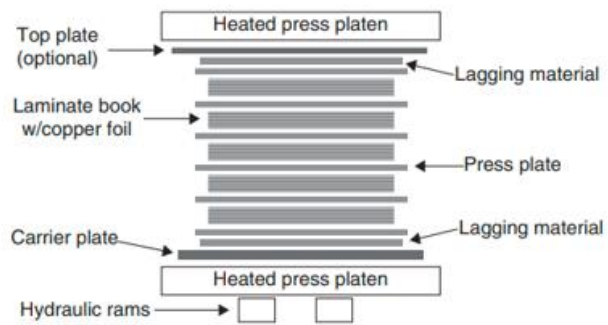
ตัดแผ่น Copper foil ให้เท่ากับแผ่น Prepreg ที่เตรียมไว้



นำมาวางซ้อนกับแผ่น Prepreg (เรียกว่า Laminate book with copper foil)

รูปที่ 2.10 การเตรียมชุด Prepreg และ Copper Foil

จากนั้นจะนำมากดอัด (press) เข้าหากันด้วยความร้อน ... โดยเราจะนำแผ่น Prepreg + Copper foil (ในรูปคือ Laminate book with copper foil) มาวางซ้อนกันโดยมี Press plate เป็นตัวกั้น (ในนี้ภาพที่เราใช้แผ่นโลหะสแตนเลสเป็นตัวกั้นระหว่างชุด) โดยมีแผ่นให้ความร้อน (Heated press plate) อยู่ด้านบนและล่างสุดและมีแกนไฮดรอลิก (Hydraulic rams) ดันแผ่นให้ความร้อนเข้าหากัน ... คราวนี้เราจะให้ความร้อนสูงขึ้นเพื่อเปลี่ยนจาก B – Stage ไปสู่ C – Stage



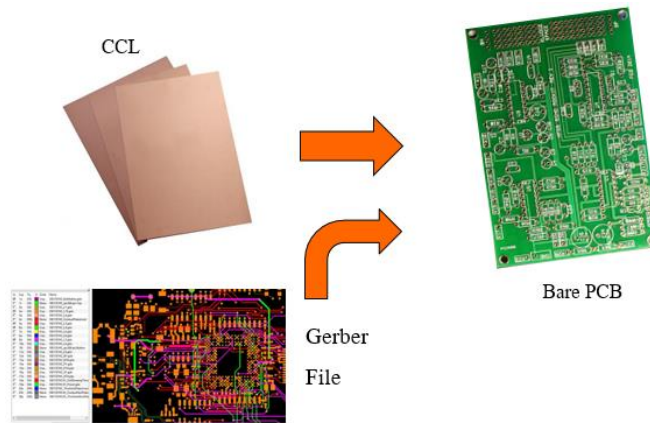
รูปที่ 2.11 การกดอัดและให้ความร้อน

เมื่อกดอัดและให้ความร้อนไประยะหนึ่ง แผ่น Pregreg จะแข็งตัว (เป็น Laminate ที่มีแผ่นทองแดงอยู่ด้านบน (และด้านล่าง) จากนั้นก็จะทำให้เย็นตัวลง จากนั้นก็นำมาตัดขอบ (Trim) ให้ได้ตามขนาดมาตรฐาน พร้อมทั้งทำการทดสอบ หรือ ตรวจสอบให้ได้ตามข้อกำหนด แล้วทำการPack เพื่อจัดเก็บ (หรือส่งไปให้ลูกค้า)

บทต่อไป จะกล่าวถึงการนำ CCL มาผลิต Bare PCB หรือ แผ่นวงจรพิมพ์เปล่า

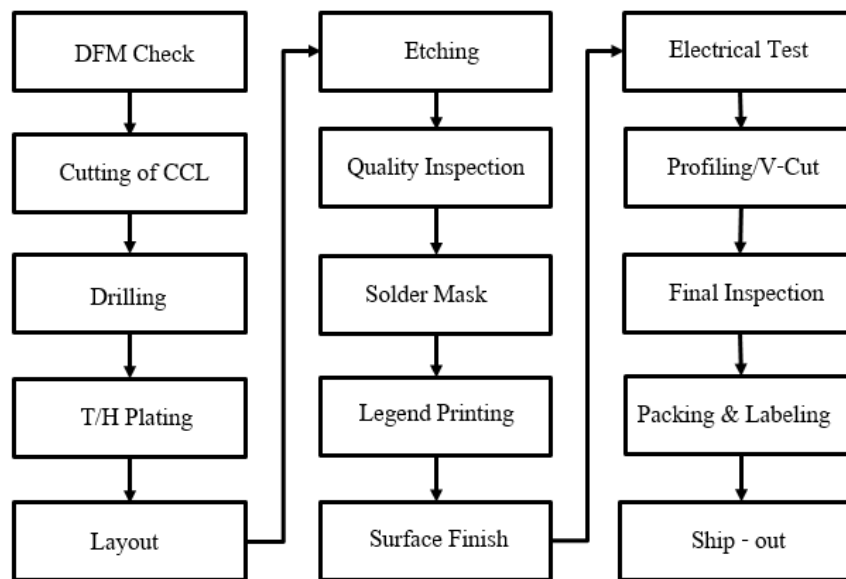
บทที่ 3 การผลิตแผ่นวงจรพิมพ์เปล่า (Bare PCB)

บทนี้ จะกล่าวถึงการนำ Copper Clad Laminate (CCL) มาเป็น Bare PCB ตามรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.1 การทำ CCL ให้เป็น Bare PCB

และเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ เราจะคุยกันแค่ PCB ที่เป็นแบบสองหน้า (Two Layer) เท่านั้น กระบวนการจะเขียนออกมาเป็นกระบวนการผลิตแบบง่าย ๆ จะเป็นดังรูป



รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิต Bare PCB

3.1 DFM Check

หลังจากโรงงานได้รับไฟล์เกอร์เบอร์ (Gerber File) และเอกสารที่เกี่ยวข้องจากลูกค้ามาแล้ว จะเริ่มด้วยการทำ DFM (Design for Manufacturing) Check ...

โดยทั่วไปทางโรงงานจะมีฝ่ายตรวจสอบไฟล์เกอร์เบอร์ที่ส่งมาจากลูกค้าเสียก่อนว่า มีความถูกต้องหรือไม่ (Check and Review Gerber File) ... โดยฝ่ายตรวจสอบจะใช้ซอฟต์แวร์เปิดไฟล์เกอร์เบอร์ของลูกค้าขึ้นมาบนจอภาพเพื่อทำการตรวจสอบและอาจทำการปรับแก้บ้างตามความจำเป็น เพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตของเขา ...

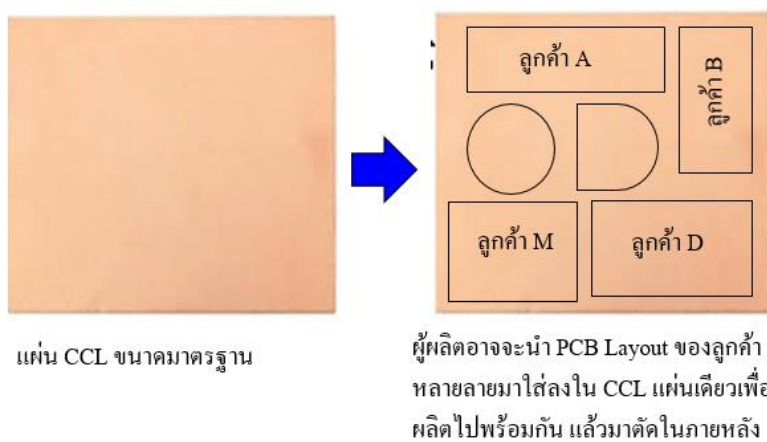
3.2 Cutting of CCL

เนื่องจาก Copper Clad Laminate ที่เป็นวัตถุดิบที่ซื้อมาจากโรงงานที่ผลิต CCL นั้น จะมีแผ่นขนาดใหญ่ ไม่เรียบ และอาจมีสิ่งสกปรกปนเปื้อนอยู่บนผิวหน้า ดังนั้นจึงต้องนำมาขัดให้พื้นผิวทองแดงเรียบตามต้องการ แล้วล้างจนสะอาด จากนั้นจึงตัดออกเป็นชิ้น ๆ ตามขนาดที่ต้องการ (ทั้งนี้อาจรวมถึงการลบคมด้านข้างให้เรียบด้วย)



รูปที่ 3.3 นำ CCL มาตัดให้ได้ขนาดและทำความสะอาดพื้นผิว

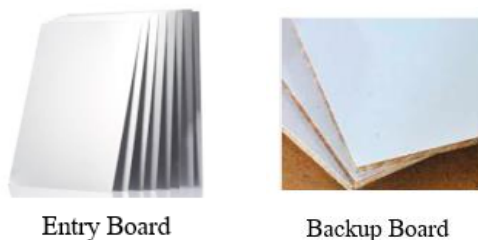
มีเรื่องหนึ่งที่ต้องทราบก็คือ ทางโรงงานอาจจะทำ Panel Design เพื่อให้ผลิตงานของลูกค้าหลายรายได้พร้อม ๆ กัน ทั้งนี้เพื่อประหยัดเวลาในการผลิต จากนั้นจึงนำมาตัดแบ่งออกเป็นลูกค้าแต่ละรายในภายหลัง ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.4 ทางโรงงานอาจจะทำ Panel Design เพื่อให้ผลิตงานได้พร้อมกัน

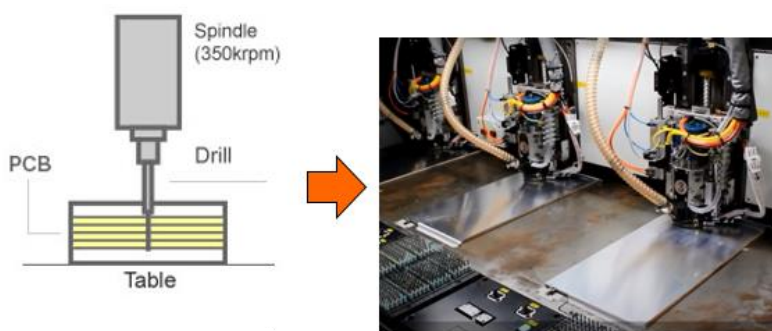
3.3 Drilling

ในกระบวนการเจาะรูบน PCB นั้น จะมีอีกสองส่วนที่เข้ามาเกี่ยวข้องคือ แผ่น Entry Board (เป็นแผ่นอลูมิเนียมบาง ๆ เพื่อป้องกันผิวหน้าของ CCL ไม่ให้เป็นรอย และช่วยระบายความร้อนที่เกิดจากการเจาะ) และแผ่น Backup Board (เป็นแผ่นไม้เอาไว้วรอง) ซึ่งจะต้องถูกนำมาตัดให้เท่ากับ CCL เพื่อนำไปประกบกับชุดแผ่น CCL ที่นำมาเจาะ (โดยจะเจาะแผ่น CCL ที่วางซ้อนกันหลายแผ่น (Stack) ไปพร้อมกัน)



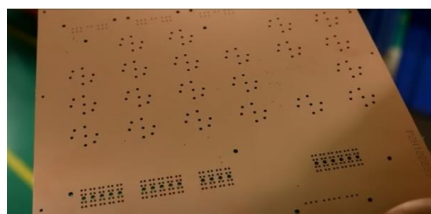
รูปที่ 3.5 แผ่น Entry Board และ Backup Board

ขั้นตอนนี้จะนำแผ่น PCB มาซ้อนกันแล้ววางบนแผ่น Backup Board แล้วปิดทับด้วยแผ่น Entry Board แล้วนำมาวางบนแท่นเจาะ ล็อกให้แน่นด้วย แล้วทำการเจาะรู PCB ตามตำแหน่งที่ Gerber File กำหนดเอาไว้



รูปที่ 3.6 การเจาะรูบน PCB ที่วางซ้อน ๆ กัน

จากนั้น จะแยก PCB ที่ผ่านการเจาะรูแล้วออกจากกัน นำไปขัดขอบรูที่เจาะและขอบ PCB ให้เรียบ (Deburring & Desmearing) แล้วทำความสะอาด

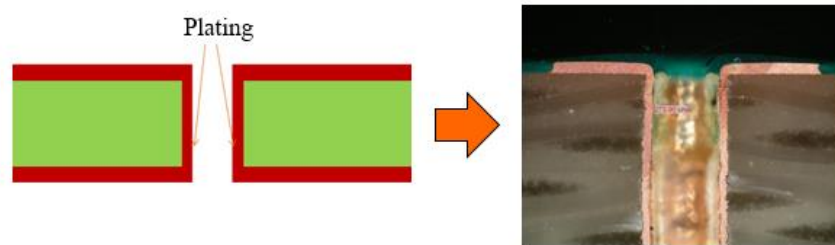


รูปที่ 3.7 ตัวอย่างของรูที่เจาะบน PCB

คราวนี้เราจะได้ PCB ที่เจาะรูเรียบร้อยแล้ว ... จากนั้นเราจะนำไปทำ Through hold plating หรือ พุดง่าย ๆ ก็คือ สร้างทองแดงขึ้นมาในรูที่เจาะเอาไว้ เพื่อให้เชื่อมต่อระหว่างทองแดงทั้งสองด้านเข้าด้วยกัน ... แล้วก็ล้างทำความสะอาดอีกครั้ง

3.4 Through Hole Plating

ก่อน Plating นั้น ในรูที่เจาะเอาไว้จะไม่มี การเชื่อมต่อระหว่างทองแดงด้านบนและด้านล่าง หลัง Plating แล้ว ในรูที่เจาะเอาไว้จะเกิดชั้นทองแดงบาง ๆ ขึ้นมา โดยมันจะเชื่อมต่อระหว่างทองแดงด้านบนและด้านล่าง ... ในบางกรณี ในภายหลังเราจะชุบทองแดงให้หนาขึ้น (Copper Plating) เพื่อให้ลายทองแดงหนาได้ตามข้อกำหนดทองแดงในรูก็จะหนาขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 3.8 Through Hole Plating

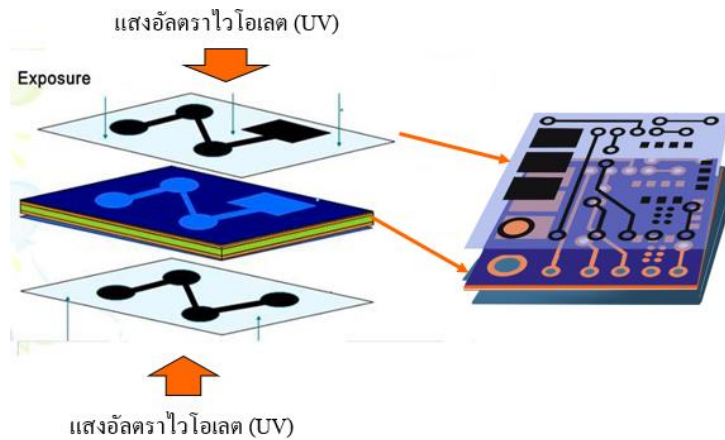
3.5 Layout

เริ่มด้วยการจัดเตรียมอาร์ตเวิร์ก (Artwork) ที่ต้องใช้งาน ... อาร์ตเวิร์กหมายถึง फिल्मภาพถ่ายของลายวงจรของ PCB ที่ใช้ในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีความคมชัด โดยทั่วไปอาร์ตเวิร์กจะมีสามประเภท: 1) รูปลายเส้นของตัวนำบน PCB (จะเป็น Positive หรือ Negative Film ก็ได้แต่ความจำเป็นในการใช้งาน) 2) Solder Mask 3) Silk Screen (โดยทั่วไปจะทำในขั้นตอนเตรียมวัตถุดิบในขั้นตอนที่ 3.2)



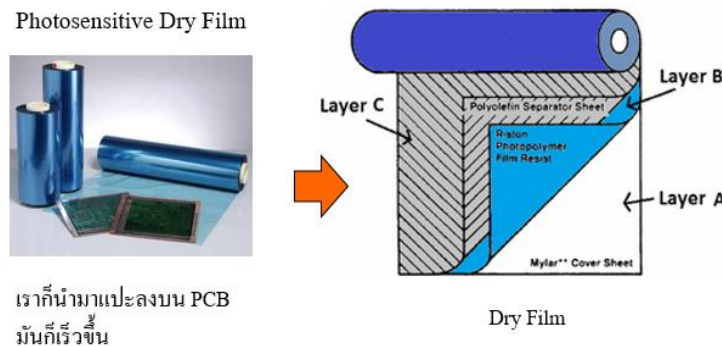
รูปที่ 3.9 การทำอาร์ตเวิร์กรูปลายเส้นบน PCB

ต่อไปก็คือ การ Layout หรือ ถ่ายแบบลงบน CCL ที่เคลือบน้ำยา Photoresist เอาไว้แล้ว ... น้ำยาไวแสง (Photoresist) คือพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถทำปฏิกิริยากับแสงได้ ส่งผลให้บริเวณที่โดนแสงแข็งตัว (หรือหายไป) เมื่อโดนล้างในน้ำยาเคมี (Developer)



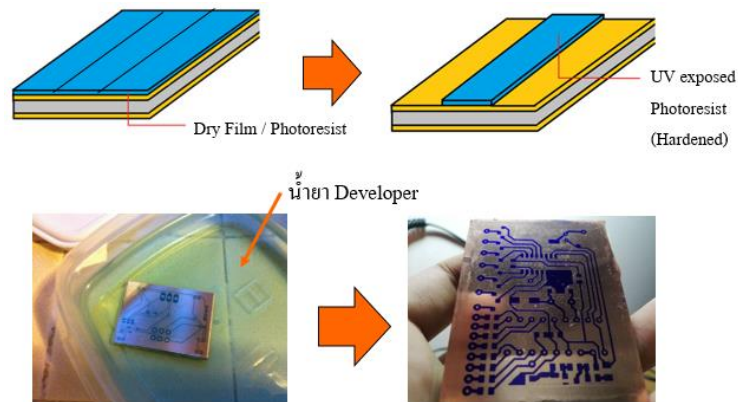
รูปที่ 3.10 ทำการถ่ายแบบลงบน CCL ที่เคลือบน้ำยาไวแสงไว้แล้ว

น้ำยาไวแสงแบบนี้นั้นต้องรอให้แห้งก่อนที่จะนำไปถ่ายแบบ ทำให้เสียเวลา ... ก็มีผู้พัฒนาให้ดีขึ้น โดยนำน้ำยาไวแสงมาทำให้แห้งเป็นแผ่น (Layer B) แล้วแปะเอาไว้บนแผ่นฟิล์ม (Layer A) แล้วปิดทับด้วยแผ่นฟิล์ม (Layer C) เพื่อป้องกัน เวลาใช้งานก็นำฟิล์มมาวางด้านบนของ PCB ที่เคลือบน้ำยาไวแสงแล้ว (และล่าง ถ้าเป็น PCB สองหน้า) แล้วฉายแสง UV ผ่านฟิล์มไปยัง PCB



รูปที่ 3.11 น้ำยาไวแสงที่เป็น Dry Film

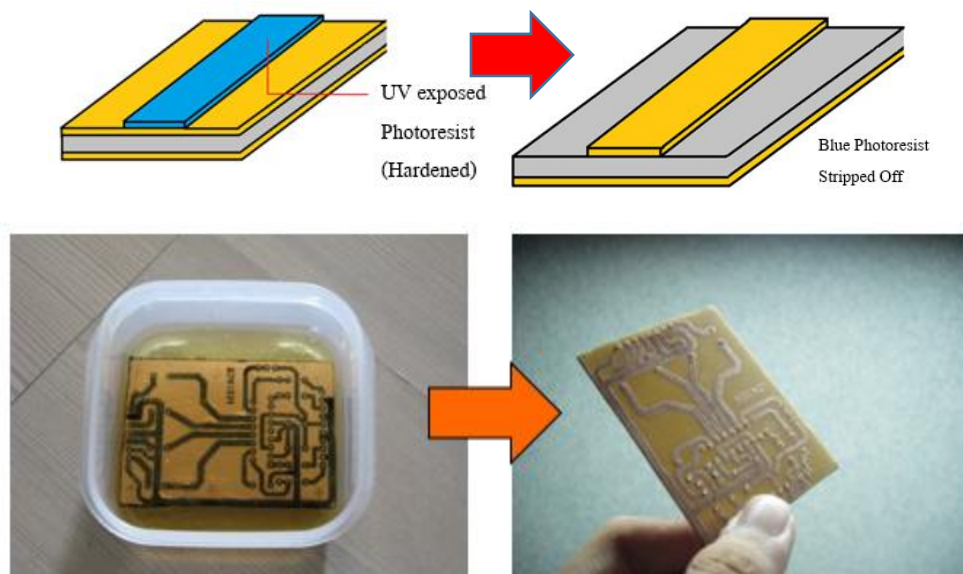
เมื่อถ่ายแบบเสร็จสิ้นแล้ว ก็นำ CCL ไปล้างด้วยน้ำยา (Developer) น้ำยาไวแสงส่วนใดที่โดนแสง UV จะแข็งตัวติดแน่นอยู่บน PCB ส่วนที่ไม่โดนแสงจะไม่แข็งตัวและถูกล้างออกไป ตามตัวอย่างดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.12 นำ CCL มาล้างด้วย Developer

3.6 Etching

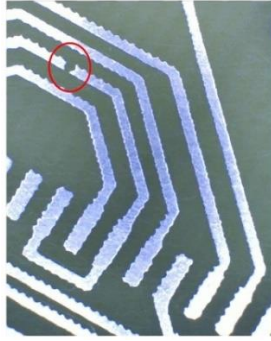
ต่อไปก็ใช้สารเคมีกัด (Etch) ทองแดงส่วนที่ไม่มีน้ำยาไวแสงปิดอยู่ (แสดงด้วยสีฟ้าในรูปบน) ออกไป ก็จะเหลือเฉพาะลายทองแดงที่ต้องการเอาไว้เท่านั้น จากนั้นก็ล้างน้ำยาไวแสงที่เคลือบอยู่ทิ้งไป



รูปที่ 3.13 ใช้สารเคมีกัดทองแดงส่วนที่ไม่มี Photoresist ทิ้งไป

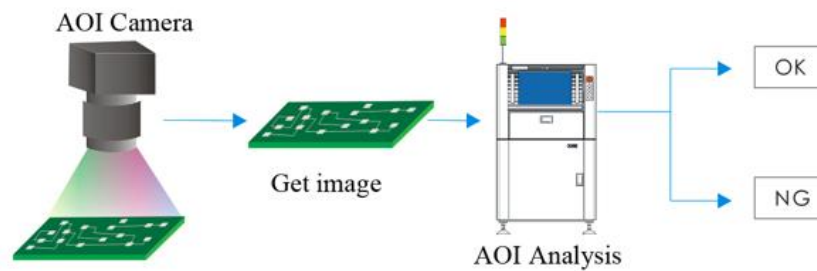
3.7 Quality Inspection

ขั้นตอนนี้ก็จะเป็นการตรวจสอบคุณภาพของ PCB ที่เราผลิตขึ้นมา เช่น ดูว่า ลายเส้นขาดหายไปหรือไม่ หรือ ดูว่า สิ่งต่าง ๆ เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่



รูปที่ 3.14 ลายเส้นทองแดงขาด

การตรวจโดยทั่วไป มักจะใช้ Automated Optical Inspection (AOI) หรือ กล้องขยายเพื่อตรวจด้วยสายตา



รูปที่ 3.15 หลักการทำงานของเครื่อง AOI

หลักการทำงาน ๆ ของเครื่อง AOI ก็คือ ถ่ายรูปแผงวงจรที่เราต้องการตรวจสอบ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับรูปต้นแบบ (ซึ่งรู้ว่า “ดี”) ถ้ามันเหมือนกันก็ถือว่า OK ... ถ้ามันต่างกัน ก็ถือว่าแผงวงจรที่ทำการตรวจสอบนั้นไม่ดี (No Good, NG) หรือ มีจุดบกพร่องเกิดขึ้นนั่นเอง ... ตัวอย่างการตรวจสอบทั้ง AOI และ Inspection



บางจุดอาจต้อง
การกล้องขยาย
กำลังสูงเพื่อ
ตรวจสอบให้
ละเอียดมากขึ้น

รูปที่ 3.16 การตรวจด้วย AOI และ ดูด้วยสายตาผ่านกล้องขยาย

3.8 Solder Mask Printing

ต่อไปเราจะพิมพ์ Green Solder Mask ลงไปบน PCB ... แล้วนำไปอบให้ Solder Mask แห้ง

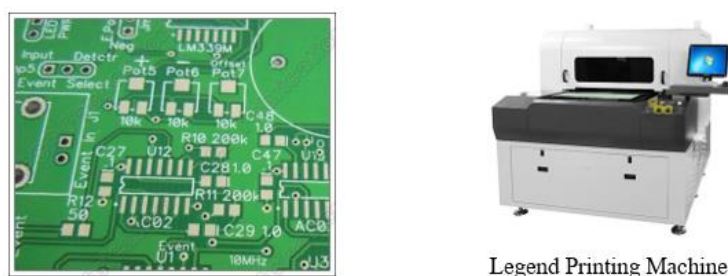


รูปที่ 3.17 พิมพ์ Green Solder Mask ลงบน PCB

Solder mask มักจะทำมาจากวัสดุเรซินเพราะสามารถทำหน้าที่ได้ดีเป็นพิเศษในแง่ของการต้านทานความชื้น มีความเป็นฉนวนสูง ทนต่อการบัดกรีได้ดีและทนต่ออุณหภูมิได้สูง จุดประสงค์ของการใช้ Solder Mask ก็คือ เพื่อป้องกันการลัดวงจร (ที่เกิดจากการบัดกรี) ป้องกันการขีดขีดเป็นรอยบนลายทองแดงบนบอร์ด และยังป้องกันไม่ให้ทองแดงสัมผัสกับอากาศซึ่งสามารถทำให้เกิดการออกซิเดชันและการกัดกร่อนของลายทองแดง

3.9 Legend Printing ... (หรือ พิมพ์ Component Layout ลงบน PCB)

ที่ผ่านมา เราเคลือบ PCB ด้วย Green Solder Mask แล้ว ... ถ้าไม่กำหนดชื่อ รูปร่าง หรือ ทิศทางของอุปกรณ์ ... เวลาเราวางอุปกรณ์ลง PCB ก็อาจจะทำให้เราสับสนได้ ... เราจึงตัวอักษรและรูปร่างของอุปกรณ์ (พร้อมทิศทาง) ลงไป



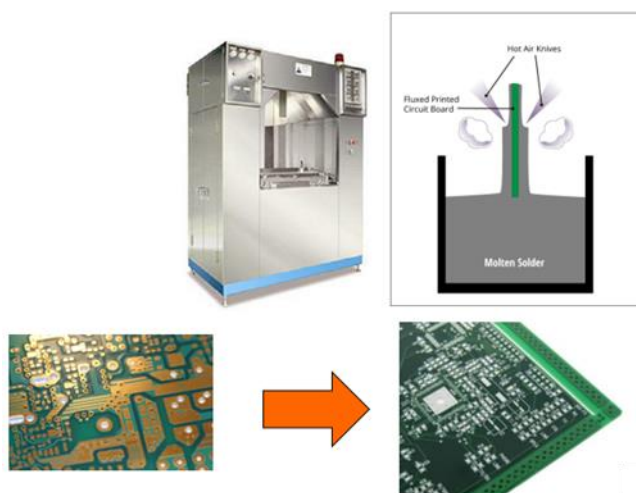
รูปที่ 3.18 การพิมพ์ Component Layout ลงบน PCB

3.10 Surface Finish

การทำ Surface Finish นั้น ก็คือการเคลือบปิดผิวของทองแดงบริเวณตำแหน่งที่ใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์ (Land Pad) หรือบริเวณ Via Hole และ Test point ซึ่งหากไม่มีการทำ Surface Finish แล้วจะทำให้เกิดออกซิเดชันบนทองแดง ทำให้บัดกรีติดได้ยากและทำให้ PCB ที่ทำไม่มีเสถียรภาพเนื่องจากจุดเชื่อมต่อไม่สมบูรณ์และการกัดกร่อนของทองแดงจากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศ

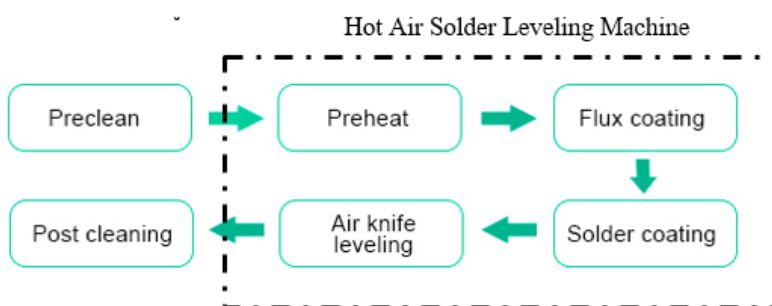
ในปัจจุบันจะทำ Surface finish หลายประเภทด้วยกัน ในที่นี้จะขอกล่าวถึงแค่ HASL

Hot Air Solder Leveling (HASL)



รูปที่ 3.19 Hot Air Solder Leveling Machine

HASL (การบัดกรี (เคลือบ) ด้วยลมนร้อน) เป็นเทคนิคการตกแต่งพื้นผิวโลหะซึ่งทำบนชั้นนอกสุดของ PCB เพื่อปกป้องพื้นผิวทองแดงที่สัมผัสได้ เช่น จุดบัดกรี เป็นต้น ... โดยสารที่ใช้บัดกรีประกอบด้วย ดีบุก 63% และ ตะกั่ว 37% กระบวนการเป็นดังรูป



รูปที่ 3.20 กระบวนการใน Hot Air Solder Leveling Machine

กระบวนการเริ่มต้นด้วยการล้างทำความสะอาด PCB (Pre-clean)

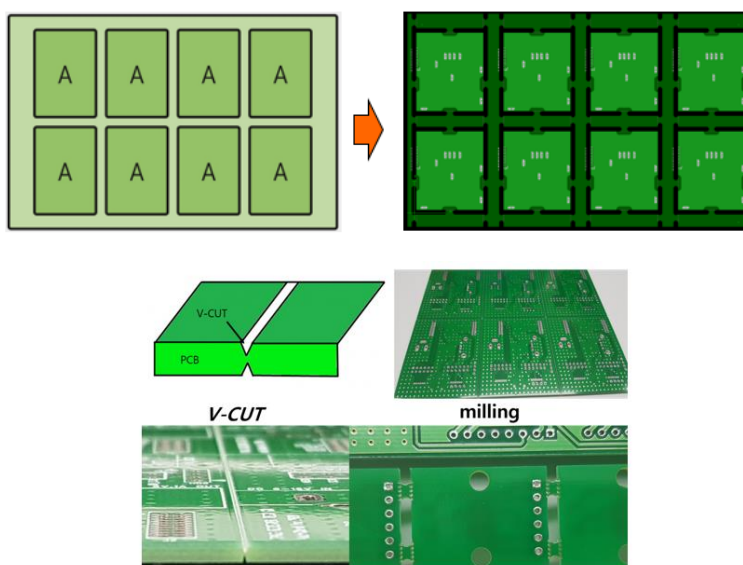
จากนั้นนำเข้าสู่เครื่อง Hot Air Solder Leveling Machine เครื่องจะให้ความร้อนแก่ PCB จากนั้นจะมีกลไกจุ่ม PCB ลงในถังสารละลายดีบุก/ตะกั่วที่หลอมเหลว ทำให้พื้นที่ที่เป็นทองแดงทั้งหมดถูกคลุมไว้ด้วยสารละลายนี้

หลังจากนั้น เครื่องจะดึง PCB ขึ้นมา ผ่านใช้ลมร้อนที่มีความดันสูงผ่านกลไกให้ลมร้อนออกมาคล้ายใบมีด (Hot Air knife) ...

เมื่อ PCB ผ่านลมร้อนนี้ การบัดกรีส่วนเกินจะถูกลมไล่ออกไปจากบอร์ด ทำให้ชั้นบัดกรีมีความบางและสม่ำเสมอ จากนั้นนำ PCB ไปล้างอีกครั้ง (Post-clean)

3.11 Profile (Milling) หรือ V – Groove (หรือ V – Cut Scoring)

จากที่กล่าวมาแล้วว่า ทางโรงงานต้องนำแบบของ PCB ของลูกค้าต่าง ๆ มาวางเรียงกันให้เต็มแผ่น PCB เปล่าตามขนาดมาตรฐาน (หรือ ผู้ออกแบบทำการออกแบบเป็น Panel เอาไว้) ... ดังนั้นเขาก็ต้องทำการเซาะร่อง (milling) หรือ ทำรอยตัด (V – cut) เพื่อให้สามารถแยก PCB ออกมาเป็นชิ้น ๆ ได้ตามต้องการ



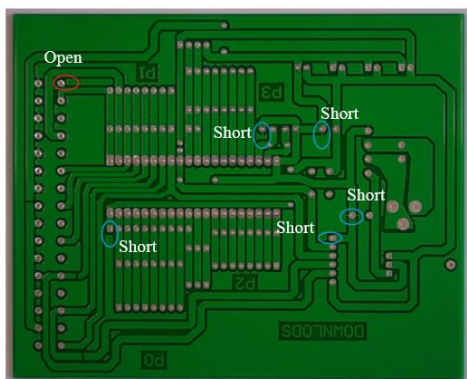
รูปที่ 3.21 การทำ Profiling (Milling) และ V -Cut

3.12 Electrical Test (หรือ E – Test)

แม้ว่า จะมีการตรวจสอบในขั้นตอนแรก ๆ มาบ้างแล้ว (เช่น ทำ AOI) แต่เนื่องจากจุดบกพร่องอาจมีขนาดเล็กมาก (เช่น ส่วนที่ทำให้เกิดการลัดวงจร (Short circuit) ระหว่างเส้นทองแดงสองเส้นเล็กขนาดเส้นผม ... ดังรูปในสไลด์หน้าถัดไป) การดูด้วยการถ่ายรูปเปรียบเทียบ หรือ ดูด้วยสายตา อาจจะไม่เห็นจุดบกพร่องเหล่านั้น

ขั้นตอนนี้จึงเป็นการทดสอบทางไฟฟ้า เพื่อดูว่า เกิดการลัดวงจร (หรือ เปิดวงจร) ในส่วนต่าง ๆ หรือไม่

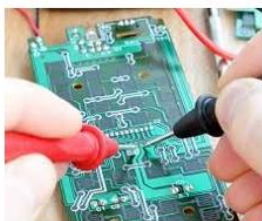
ทำการขัดผิวและทำความสะอาด PCB แล้ว ... ถ้าเป็นงานต้นแบบเรามักจะใช้ Flying Probe มาทดสอบ ... แต่ถ้าเป็นการผลิตจำนวนมาก (งานที่ผลิตไม่มีการแก้ไขอีกแล้ว) เรามักจะใช้เครื่องประเภท Bed of nails มาทดสอบ



รูปที่ 3.22 การลัดวงจรบน PCB

1) Flying Probe

หลักการง่าย ๆ ก็คือ เอามิเตอร์มาวัดดูว่า เส้นทองแดงเส้นหนึ่งมีขาดออกจากกันไหม หรือ เส้นทองแดงสองเส้นหรือมากกว่ามีการแตะกันไหม (ลัดวงจร)



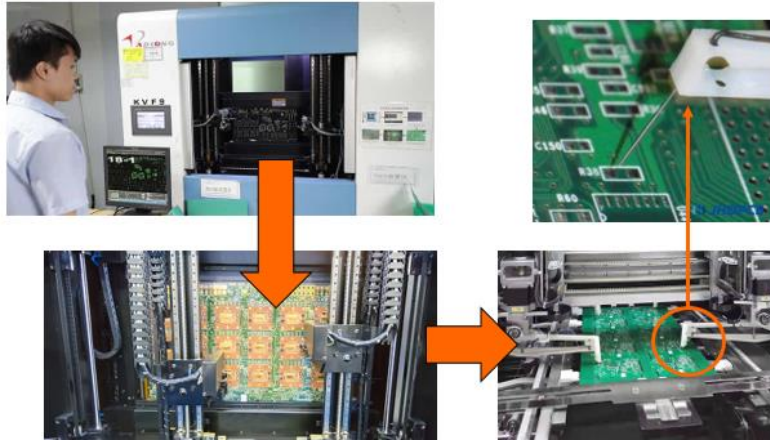
- ถ้าทำแบบนี้กับทุก ๆ เส้นทองแดงที่มีอยู่บน PCB ... ผมคงทำไม่ไหว ...
- หาเครื่องจักรมาทำแทนผมก็แล้วกัน ... เจ้าเครื่องนี้ก็คือ Flying Probe นั่นเอง



รูปที่ 3.23 หลักการของ Flying Probe

เราก็เอารายละเอียดจาก Geber File (ในส่วนของ Net List ซึ่งระบุว่า โหนด (หรือจุดหนึ่ง ๆ) บน PCB เชื่อมอยู่กับโหนดใดบ้าง) มาป้อนเข้าไปในเครื่อง Flying Probe ... เครื่องมันก็จะรู้แล้วว่า จุดใดกับจุดใดควรเชื่อมต่อถึงกัน และระหว่าง ๆ จุดใด ๆ นั้นควรจะไม่เชื่อมถึงกัน ... จากนั้นมันก็จะทำการวัด (ตรวจสอบ PCB) ให้เราโดยอัตโนมัติ

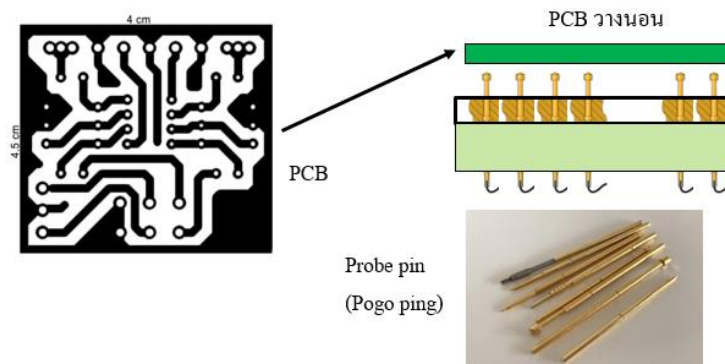
ในทางปฏิบัติแล้ว โหนดที่อยู่บนลายเส้นทองแดงที่เชื่อมต่อถึงกัน จะต้องวัดทั้งหมดเพื่อให้มั่นใจว่า ไม่มีการลายเส้นขาดจากกัน ... ส่วนการวัดลายเส้นทองแดงที่อาจเกิดการลัดวงจรเข้าหากัน เราก็จะดูเส้นที่วิ่งอยู่ติดกัน หรือ ใกล้กันเท่านั้น ... เส้นที่อยู่ห่างกันมีโอกาสน้อยมากที่จะลัดวงจรเข้าหากัน (อย่าลืมว่า ก่อนหน้านี้เราทำการตรวจสอบโดย AOI มาแล้ว)



รูปที่ 3.24 ตัวอย่างของ Flying Probe

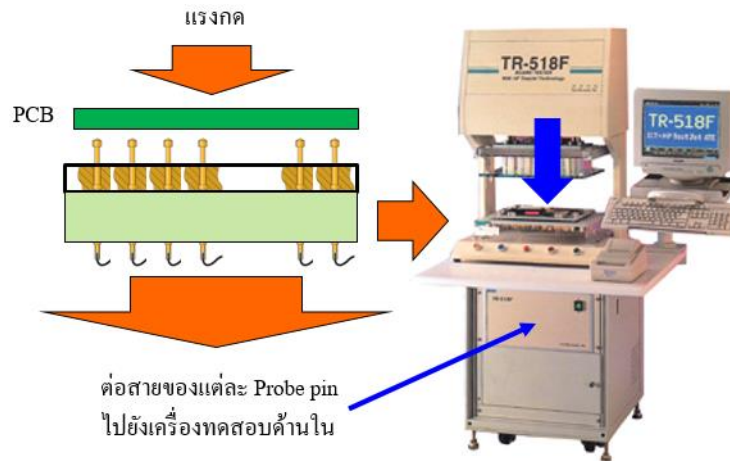
2) Bed of nail fixture test

ถ้าเราทำกล่องขึ้นมา แล้วติดตั้ง Probe pin เอาไว้ให้ตรงกับจุดหรือตำแหน่งที่เราต้องการวัดบน PCB ... เราจะเรียกกล่องนี้ว่า Test Fixture หรือ ฟิกเจอร์เพื่อการทดสอบ



รูปที่ 3.25 แนวคิดของ Test Fixture

จากนั้นก็นำฟิกเจอร์มาติดตั้งบนเครื่องทดสอบ และทำโปรแกรมทดสอบขึ้นมา ... จากนั้นก็นำ PCB ที่ต้องการทดสอบมาวางบนฟิกเจอร์ แล้วกดปุ่มให้เครื่องทดสอบทำงาน ... เครื่องจะกด PCB ลงมาสัมผัส Probe Pin มันจะทำการวัดแต่ละจุดตามที่เรที่ตั้งโปรแกรมเอาไว้ ... และรายงานผลออกมาบนจอภาพ



รูปที่ 3.26 เครื่องทดสอบที่ใช้ Test Fixture

เนื่องจากไม่ต้องเสียเวลาในการเคลื่อน Probe ไปมาเหมือน Flying Probe ดังนั้น เครื่องนี้จึงทำการทดสอบหาข้อบกพร่องได้เร็วมาก (ทดสอบ 1,000 จุด ใช้เวลาไม่กี่วินาที)

(หมายเหตุ: การทดสอบแบบใช้ฟิกเจอร์นั้น ถ้าบอร์ดของลูกค้ามีขนาดใหญ่ก็อาจจะแยกบอร์ดของแต่ละลูกค้าแต่ละรายก่อนแล้วจึงนำมาทดสอบ แต่บางกรณี (เช่น บอร์ดมีขนาดเล็ก) ก็ทำการทดสอบทั้ง Panel ก่อน แล้วจึงนำมาแยกบอร์ดให้ลูกค้าแต่ละราย)

3.13 Final Inspection

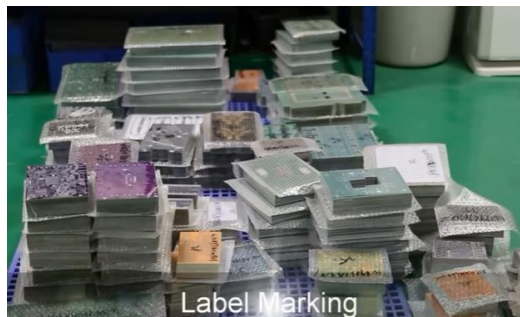
การตรวจสอบขั้นสุดท้าย ก็จะมาตรฐานตามที่ตกลงกัน โดยทั่วไปก็จะใช้ IPC – A – 600 (เพราะเมื่อส่ง Bare PCB ไปให้โรงงานทำ PCBA เขาจะใช้มาตรฐานนี้ทำการตรวจรับ Bare PCB เข้าคลังสินค้าเช่นกัน)



รูปที่ 3.27 การตรวจสอบขั้นสุดท้ายตามมาตรฐาน IPC-A-610

3.14 – 3.15 Packing, Labeling & Ship out

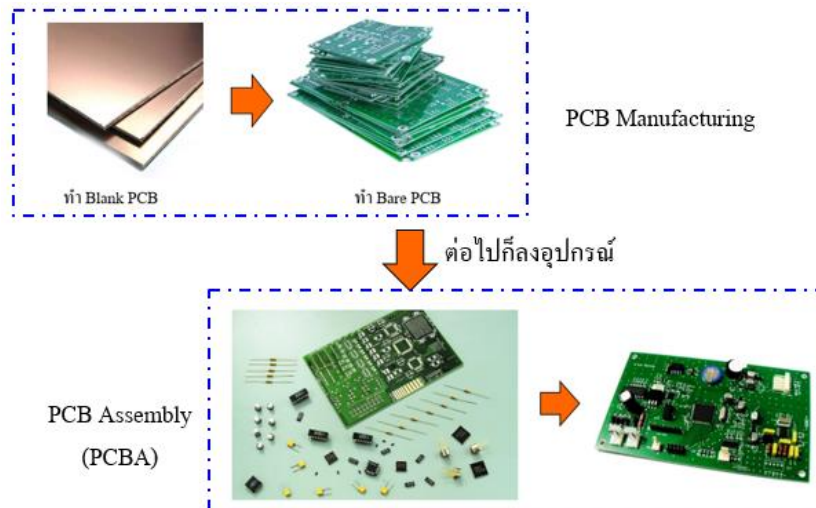
สองขั้นตอนสุดท้ายก็คือ นำ PCB ของแต่ละลูกค้ามาห่อบรรจุ (Packing) ตามข้อกำหนดที่ตกลงกัน พิมพ์ป้ายเพื่อจัดส่ง (Labeling) และ จัดส่งไปยังลูกค้า (Ship out)



รูปที่ 3.28 ห่อบรรจุ ติดป้ายเพื่อจัดส่ง และส่งไปยังลูกค้า

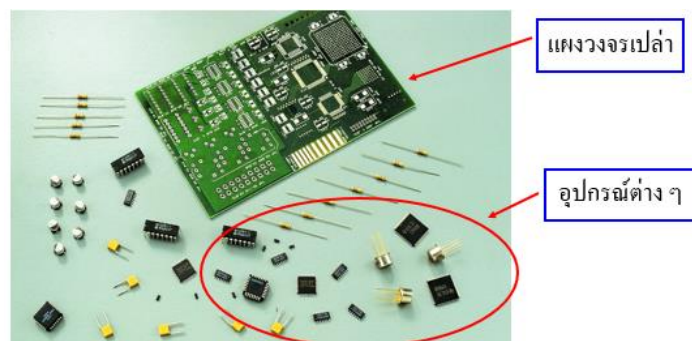
บทที่ 4 การประกอบแผงวงจร (PCBA)

ที่ผ่านมา นั้น เรามาถึงไหนกันแล้ว ... สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.1 ... เราได้เรียนรู้กระบวนการผลิต PCB มาแล้ว ต่อไปก็จะเป็นการนำแผ่นวงจรพิมพ์เปล่า (Bare PCB) มาลงอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นกระบวนการของโรงงานทำ PCBA



รูปที่ 4.1 จาก Blank PCB มาเป็น Bare PCB และตามด้วย PCBA

งานของ PCBA (PCB Assembly) ก็คือ การจับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหลายบัดกรีลงไปบนแผงวงจร แล้วก็ทดสอบว่ามันทำงานถูกต้องตามต้องการหรือไม่

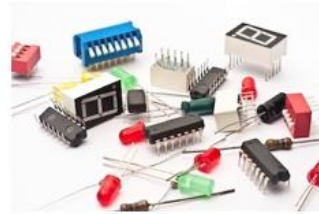


รูปที่ 4.2 งานของ PCBA คือการวางอุปกรณ์ลงบน PCB แล้วบัดกรี

สิ่งที่ผู้ผลิตแผงวงจรไฟฟ้าสนใจไม่ใช่ตัววงจรที่ออกแบบขึ้นมา แต่เป็นรูปแบบทางกายภาพ หรือ Package ของตัวอุปกรณ์ เพราะมันจะเป็นตัวกำหนดเทคโนโลยี (เครื่องมือ เครื่องจักร วิธีการทำงาน เป็นต้น) ที่ต้องนำมาใช้งาน ... โดยทั่วไป จะแบ่งตัวอุปกรณ์ออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ Surface Mount Devices (SMD) กับ Through Hole Devices (THD) ดังรูปด้านล่าง



Surface Mount Devices (SMD)



Through Hole Devices

รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ประเภท SMD และ THD

ดังนั้นเทคโนโลยีหลัก ๆ จึงแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ตามรูปร่างของอุปกรณ์ คือ Surface Mount Technology (SMT) และ Inserted Mount Technology (IMT) (หรือ Through Hole Technology (THT))

Surface Mount Devices (SMD)



ไม่มีขายื่นออกมา

Surface Mount Technology, SMT



Pin Through Hole (PTH)



มีขายื่นออกมา

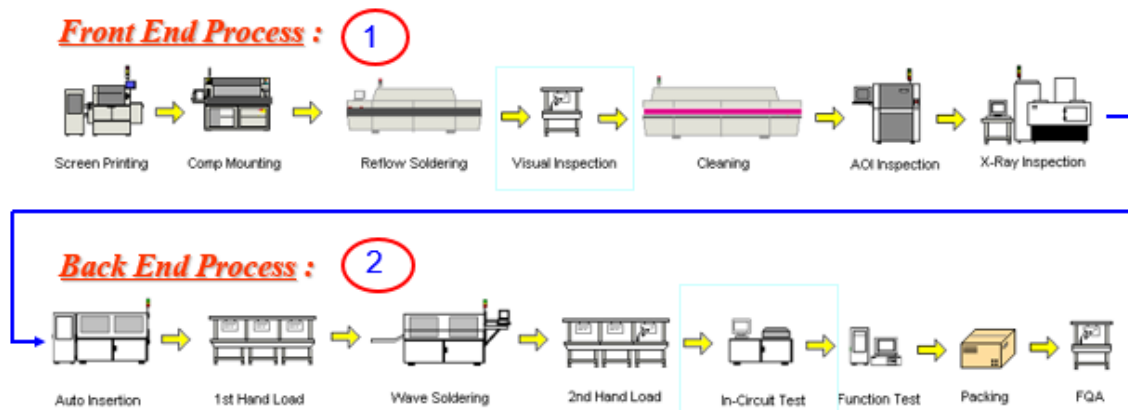
Inserted Mount Technology, IMT



รูปที่ 4.4 เทคโนโลยีแบบ SMT และ IMT

บอร์ด ๆ หนึ่งอาจจะมีทั้งอุปกรณ์แบบ SMD และ THD อยู่บนบอร์ด จึงต้องใช้เทคโนโลยีในการผลิตผสมกัน เรียกว่า Mixed Technology ... โดยทั่วไป การผลิตจะทำการวางอุปกรณ์ประเภท SMD ก่อน แล้วจึงไปวางอุปกรณ์ประเภท Through Hole และจะวางอุปกรณ์ตัวเล็กกว่าก่อนเสมอ

เพื่อสะดวกต่อการทำความเข้าใจ จะยกกระบวนการผลิตแบบ Mixed Technology มาอธิบาย โดยจะวางสายการผลิตแบบ SMT เอาไว้ด้านหน้า แล้วตามด้วยสายการผลิตเอาไว้ด้านหลัง ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 4.5 กระบวนการผลิตที่ใช้ Mixed Technology

โดยทั่วไปแล้ว จะแยกออกเป็นสองส่วน คือ

1) กระบวนการด้านหน้า หรือ Front End Process

กระบวนการด้านหน้าจะพิจารณาเฉพาะการจัดวางอุปกรณ์แบบ SMD (Surface Mount Devices) ลงบนแผงวงจร การล้างทำความสะอาด และ การตรวจสอบ (Automated Optical Inspection (AOI), Automated X-Ray Inspection (AXI))

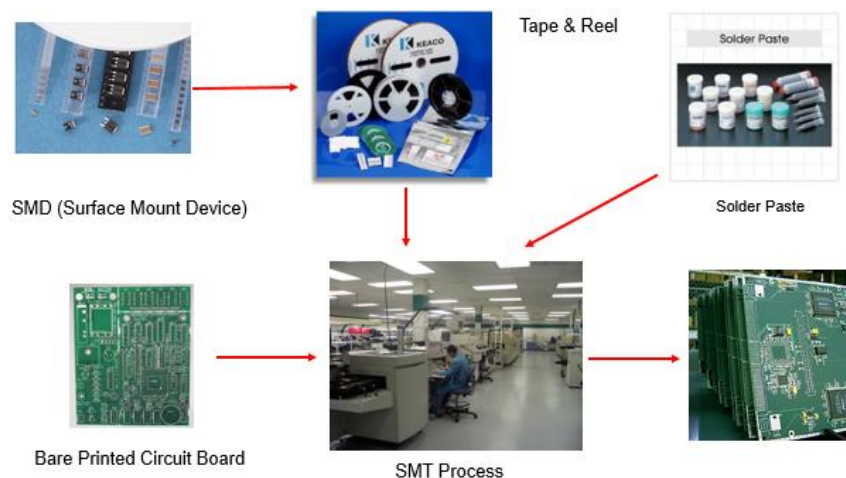
2) กระบวนการด้านหลัง หรือ Back End Process

กระบวนการด้านหลังจะพิจารณาจากการใส่อุปกรณ์มีขา (Pin In Hole (PIH) หรือ Pin Through Hole (PTH)) รวมไปถึงการทดสอบในวงจร (In-circuit Tester (ICT)) การทดสอบเชิงฟังก์ชัน (Functional Test (FCT)) (อาจรวมถึง การวิเคราะห์ข้อบกพร่อง และ ทำการซ่อมแซมแก้ไข)

นอกจากนั้น ในพื้นที่การผลิตจะต้องมีการควบคุมการถ่ายโอนไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge) และการควบคุมความชื้นในตัวอุปกรณ์ (Moisture Sensitive Devices, MSD) ด้วย ซึ่งจะไม่ขอกล่าวถึงในที่นี้

เรามาดูกันไปที่ละส่วน

4.1 SMT Process (Front End Process)



รูปที่ 4.6 SMT Process

4.1.1) ตะกั่วเหลว (Solder Paste)

ตะกั่วเหลว (Solder Paste) จะประกอบไปด้วยสองส่วนหลักด้วยกัน

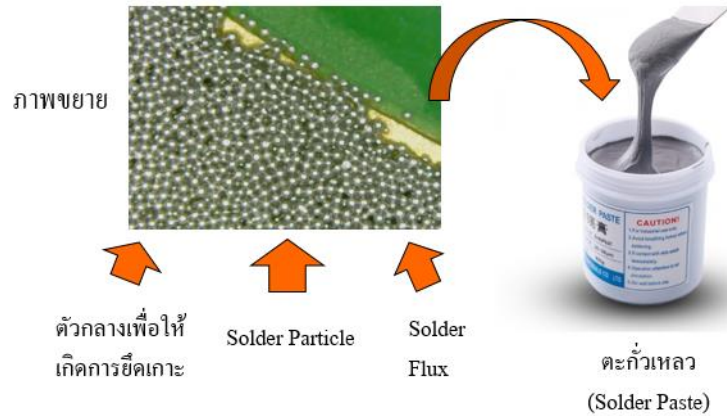
1) Alloy

Solder Power ประกอบด้วยโลหะผสม (Alloy) ได้หลากหลาย ชนิดที่พบมากที่สุดคือส่วนผสมของยูเทคติก (eutectic) ซึ่งมีสารตะกั่ว (ดีบุกและตะกั่ว) และไร้สารตะกั่วโดยทั่วไปคือ SAC305 (ดีบุก (Sn) 95.5 เงิน (Ag) 3.0 ทองแดง (Cu) 0.5) โลหะผสมทั้งสองประกอบด้วยดีบุกเป็นส่วนใหญ่ซึ่งมีจุดหลอมเหลวต่ำและมีความต้านทานแรงดึงและแรงเฉือนสูง นอกจากนี้ยังสามารถเติมโลหะเพิ่มเติมเพื่อเปลี่ยนคุณสมบัติทางกลของโลหะผสมได้อีกด้วย ... โลหะผสมใน Solder Power ที่ทำเป็นเม็ดเล็ก ๆ นั้นยังมีการกำหนดขนาดเอาไว้ด้วย เพื่อจะได้เลือกให้เหมาะสมกับรูที่เจาะเอาไว้บน Stencil

2) Flux

ฟลักซ์เป็นสารที่ใช้เตรียมพื้นผิวของโลหะโดยการกำจัดออกไซด์และสิ่งสกปรก อันเป็นการเตรียมพื้นผิวโดยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของพื้นผิวโลหะและบวมวัสดุที่เชื่อม และช่วยในการทำให้โลหะหลอมเหลวยึดเกาะได้ดี การยึดเกาะ (Wetting) เป็นสิ่งสำคัญสำหรับตะกั่วเหลว ฟลักซ์จะช่วยลดแรงตึงผิวของโลหะหลอมเหลวและช่วยให้ไหลได้ง่ายขึ้นในระหว่างกระบวนการบัดกรี

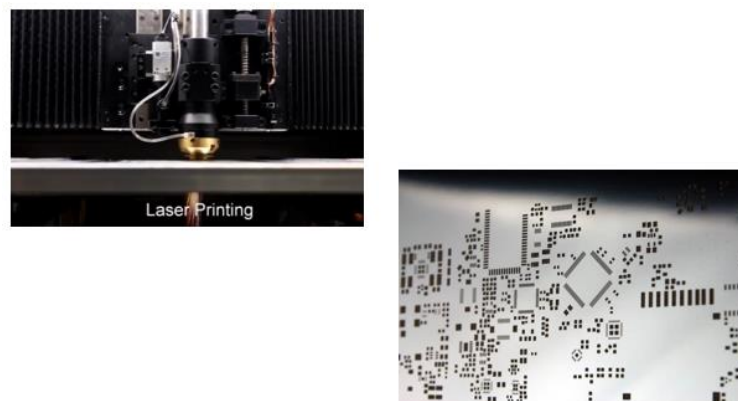
ฟลักซ์ที่ใช้กันจะมีสามแบบคือ Water Soluble Fluxes (ล้างออกด้วยน้ำ) No-Clean Flux (ใช้แล้วไม่ต้องล้าง) และ Rosin Flux (ต้องล้างด้วยน้ำยาพิเศษ)



รูปที่ 4.7 ตะกั่วเหลว หรือ Solder Paste

4.1.2) สแตมป์ซิล (Stencil)

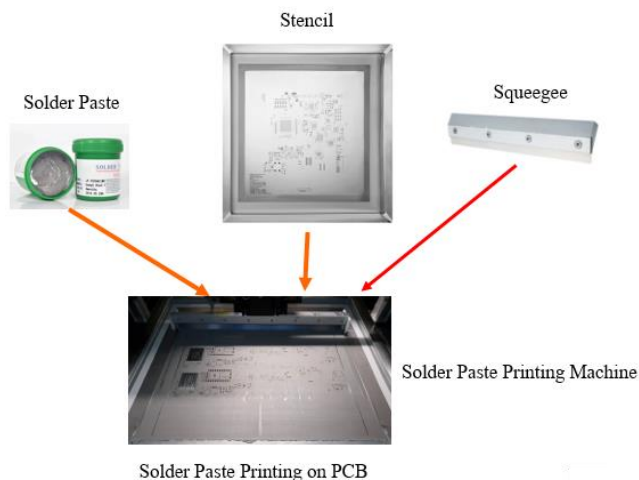
Stencil เป็นแผ่นโลหะบาง ๆ ที่มีการเจาะรู (apertures) แล้วนำมายึดเข้ากับกรอบอลูมิเนียมเพื่อซึ่งให้ตั้งหน้าที่หลักของ Stencil ได้แก่ การส่งผ่านตะกั่วเหลวไปยังตำแหน่งที่กำหนดบน PCB ได้อย่างแม่นยำ ควบคุมปริมาณของตะกั่วเหลวให้เป็นไปตามขนาดและรูปร่างของรูที่เจาะไว้ และ ทำหน้าที่เป็นหน้ากาก (mask) เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกั่วเหลวลงไปยังพื้นที่ที่ไม่ต้องการ



รูปที่ 4.8 การใช้เลเซอร์ทำการเจาะรู Stencil

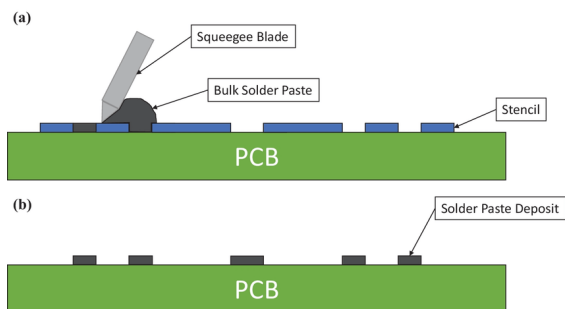
4.1.3) กระบวนการพิมพ์ตะกั่วเหลว (Solder Paste Printing Process)

องค์ประกอบของกระบวนการพิมพ์ตะกั่วเหลวจะเป็นดังรูป



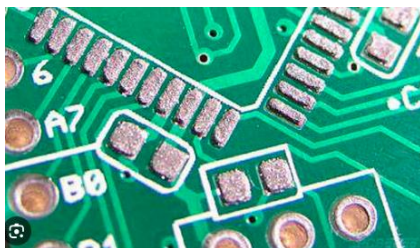
รูปที่ 4.9 องค์ประกอบของการพิมพ์ตะกั่วเหลว

กระบวนการพิมพ์ตะกั่วเหลวก็คือการนำเอา PCB ไปวางไว้ด้านล่างของ Stencil ให้รูที่เจาะไว้บน Stencil ตรงกับตำแหน่ง Pad ที่ต้องการให้ตะกั่วเหลวลงไปใน PCB จากนั้นเทตะกั่วเหลวลงไปใน Stencil แล้วใช้ Squeegee (หรือ ไม้ปาดตะกั่ว) ปาดตะกั่วเหลวเพื่อกดให้ตะกั่วลอดช่องที่เจาะลงไปใน PCB (รูปที่ 4.10 a) จากนั้นก็ยก Stencil ออกไป ก็จะได้ตะกั่วเหลวติดอยู่บน PCB (รูปที่ 4.10 b)



รูปที่ 4.10 การพิมพ์ตะกั่วเหลวลงบน PCB

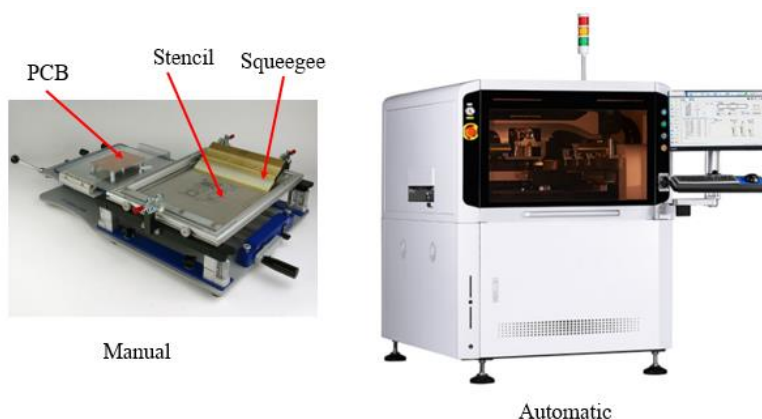
ตัวอย่างของตะกั่วเหลวที่ติดอยู่บน PCB จะเป็นดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ตะกั่วเหลวที่พิมพ์ลงบน PCB

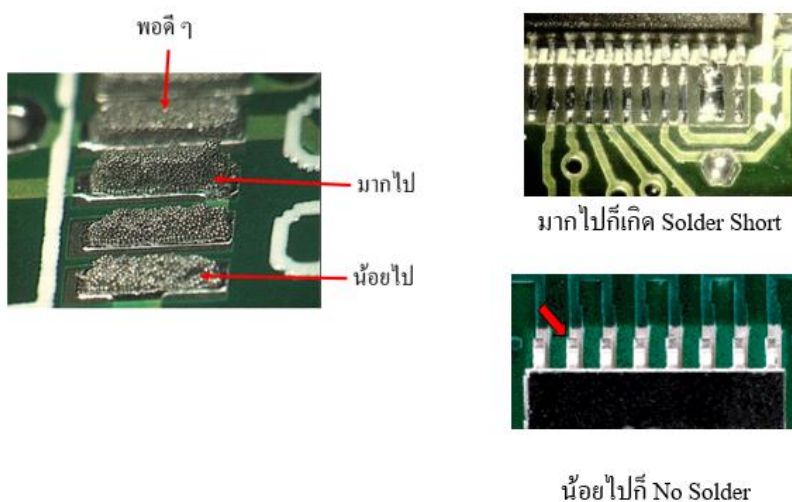
4.1.4) เครื่องพิมพ์ตะกั่วเหลว (Solder Paste Printing Machine)

เครื่องพิมพ์ตะกั่วเหลวมีทั้งแบบใช้มือปาด และ เป็นเครื่องจักรอัตโนมัติ (บางที่เรียก Screen Printing) ... ในสายการผลิตแบบ SMT ก็จะใช้เป็นเครื่องจักรอัตโนมัติ ซึ่งหลังจากใส่ Stencil เข้าไปในเครื่อง ติดตั้ง Squeegee เข้าไป และตั้งโปรแกรมหน้าเครื่องเพื่อกำหนดความเร็วและแรงกดในการปาดตะกั่วแล้ว จากนั้นตะกั่วลงไปใน Stencil ... เมื่อ PCB วิ่งเข้ามาอยู่ใต้ Stencil เครื่องก็จะทำการปาดตะกั่วโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 4.12 เครื่องพิมพ์ตะกั่วเหลว

หลังจากปาดตะกั่วเหลวลงไปใน PCB แล้ว ปริมาตรของตะกั่วบนจุดบัดกรีจะต้องมีความสูงและปริมาณที่เหมาะสมพอดี ๆ เท่า ๆ กันทุกจุด ... ถ้ามีมากเกินไปก็อาจทำให้เกิดการลัดวงจร (Solder Short) น้อยเกินไปก็อาจทำให้บัดกรีไม่ดี (No Solder)



รูปที่ 4.13 ปัญหาของการปาดตะกั่วเหลว

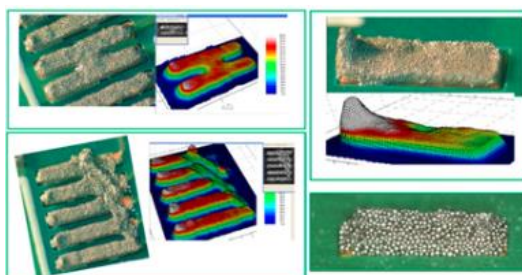
4.1.5) เครื่องตรวจสอบการพิมพ์ตะกั่วเหลว (Solder Paste Inspection (SPI) Machine)

SPI Machine มีทั้งแบบ Off – Line (ซึ่งต้องนำบอร์ดออกมาจากสายการผลิตในเชิงสุ่มตรวจ) และแบบ In – Line ซึ่งติดตั้งเข้าไปในสายการผลิต จึงทำให้สามารถตรวจสอบในสายการผลิตได้เลย



รูปที่ 4.14 เครื่องตรวจสอบการพิมพ์ตะกั่วเหลว (Solder Paste Inspection (SPI) Machine)

SPI Machine ช่วย ดูปริมาณ (Volume) ดูความสูง (Height) ของ Solder paste ที่พิมพ์บนบอร์ด ดูพื้นที่ การพิมพ์ (Printing area) ของ Solder paste ดูความระนาบ (Flatness) ของการพิมพ์ Solder paste ... นอกจากนี้ยังช่วยตรวจจับลักษณะบกพร่องต่าง ๆ เช่น การพิมพ์ Solder paste เคลื่อน (Shift) ออกไปตำแหน่ง ที่กำหนด ความสูงของการพิมพ์ Solder paste เกิดผันแปรไปจากที่กำหนดไว้ Solder paste สองจุดเกิดเชื่อม (bridge) เข้าหากัน และรูปร่างของ Solder paste ที่พิมพ์ออกมา มีข้อบกพร่อง หรือ เสียหาย



รูปที่ 4.15 ตัวอย่างข้อบกพร่องที่แสดงโดย SPI

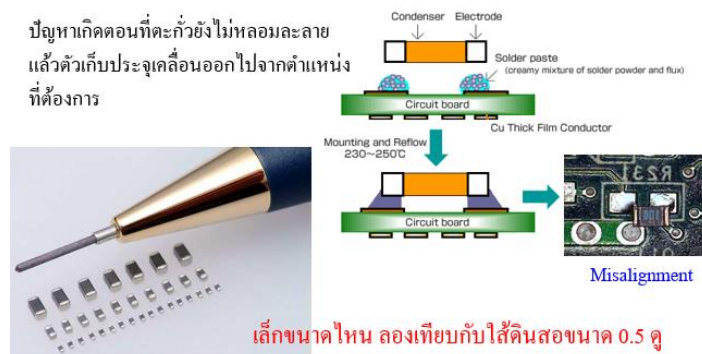
Stencil เมื่องานแล้วก็ต้องทำความสะอาดก่อนจัดเก็บ เราก็ใช้เครื่องล้างอัตโนมัติดังตัวอย่างที่แสดงไว้ หรือ ถ้าเรา ปาดตะกั่วเหลวลงไปใน PCB แล้วใช้ไม่ได้ (เช่น ปริมาณไม่พอ หรือ เลอะเปรอะเปื้อน) ก็ต้องล้างตะกั่วเหลวบน PCB ออกไปเช่นกัน



รูปที่ 4.16 เครื่องล้าง PCB หรือ Stencil

4.1.6 กระบวนการหยอดกาว (Glue Process)

โดยทั่วไปแล้ว หลังจากทำการปาดตะกั่วแล้ว ก็จะมีการวางอุปกรณ์ลงบนตะกั่วที่ปากเอาไว้น PCB แต่ก็มีเรื่องที่ต้องพิจารณาเพิ่มเติม เช่น ถ้าอุปกรณ์ตัวเล็กน้ำหนักเบา เวลาเครื่องจักรมันทำงาน มันจะมีการสั่นไหวและขยับออกมาจากตำแหน่งที่กำหนดไว้ดังรูป



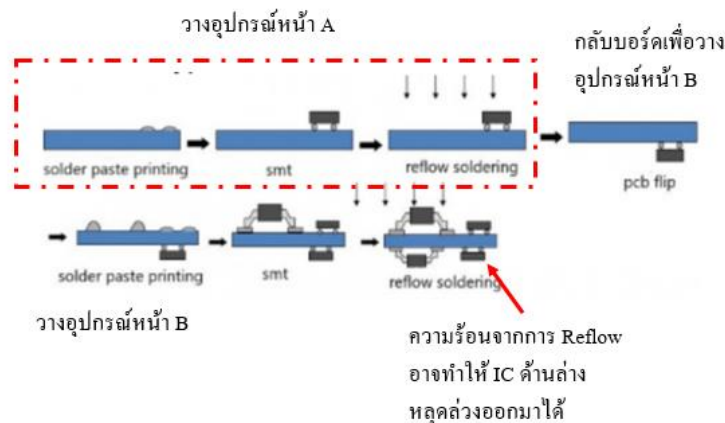
รูปที่ 4.17 อุปกรณ์ตัวเล็ก ๆ อาจมีการสั่นไหวจนขยับออกมาจากตำแหน่งที่กำหนด

ในกรณีนี้ ก็อาจต้องเพิ่มกระบวนการหยอดกาวเข้ามาเพื่อล็อกตัวมันไว้ไม่ให้ขยับดังรูป



รูปที่ 4.18 การหยอดกาวเพื่อยึดอุปกรณ์

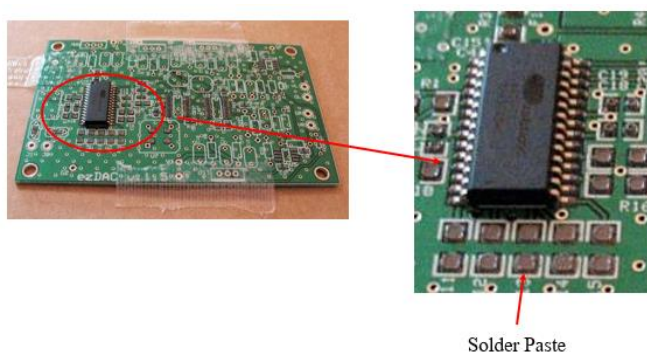
อีกกรณีหนึ่ง ถ้าทำการผลิต PCB ที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีน้ำหนักมาก (เช่น IC ที่มี Package ขนาดใหญ่) อยู่ทั้งสองด้านของ PCB การพลิก PCB เพื่อวางอุปกรณ์อาจทำให้ IC ที่มีน้ำหนักมากซึ่งอยู่ด้านล่างของ PCB หลุดออกมาได้เมื่อผ่าน Reflow Oven ... ดังนั้นก็ควรจะติดกาว IC ที่อยู่ด้านล่าง (หลังจากกลับบอร์ด) เอาไว้ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.19 การหยอดกาวเพื่อยึด IC ที่มีน้ำหนักมากที่อยู่ด้านล่างของ PCB

4.1.7) การวางอุปกรณ์ (Component Mounting)

หลังจากปากตะกั่วเหลวเรียบร้อยแล้ว เราจะวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ทับลงบนตะกั่วเหลว ดังรูป



รูปที่ 4.20 การวาง IC ลงบนตะกั่วเหลวที่ปาดเอาไว้บน PCB

เนื่องจากอุปกรณ์มีขนาดเล็กและมีจำนวนมาก เราจะใช้เครื่องจักรหยิบอุปกรณ์มาวางให้เรา การวางอุปกรณ์นั้น จะวางตัวเล็กก่อนตัวใหญ่เสมอ ทั้งนี้เพราะถ้าวางตัวใหญ่ก่อน ความสูงของมันจะกีดขวางการวางตัวเล็กในภายหลัง ... เครื่องจักรรุ่นใหม่ ๆ จะทำงานได้เร็วมาก

Tape & Reel



- เครื่องจักรสามารถหยิบอุปกรณ์ เช่น ตัวความต้านทาน วางบนแผงวงจร ได้เร็วถึง 80,000 ตัวต่อชั่วโมง

รูปที่ 4.21 Mounting Machine

4.1.8) การบัดกรีโดยการรีโฟลว์ (Reflow Soldering (Reflow Oven))

เมื่อวางอุปกรณ์แล้ว ขั้นตอนต่อมา คือ ให้ความร้อนจนทำให้ตะกั่วเหลวหลอมละลาย น้ำหนักของอุปกรณ์จะกดตัวมันเองให้จมลงในตะกั่วที่หลอมละลายเล็กน้อย จากนั้นก็จะลดอุณหภูมิให้เย็นลง ตะกั่วจะเริ่มแข็งตัว ทำให้ยึดตัวอุปกรณ์กับทองแดงบนแผ่นพิมพ์ ... หน้าที่นี้เป็นการทำงานของ Reflow Oven ซึ่งจะมีแหล่งความร้อนอยู่ภายในและสามารถกำหนดค่าความร้อนที่ต้องการได้



รูปที่ 4.22 Reflow Oven

สิ่งที่ต้องกำหนดขึ้นมาก่อนก็คือ รูปแบบการให้ความร้อน (Temperature Profile) ภายในตัว Reflow Oven



รูปที่ 4.23 Temperature Profile

ความหมายของ Temperature Profile แต่ละช่วง

Ramp to Soak

ในขั้นตอนนี้ เราจะทำให้อุณหภูมิของบอร์ดจะไต่เพิ่มขึ้น (Ramp) จากอุณหภูมิปกติไปจนถึงอุณหภูมิพักค้าง (Soak temperature) ที่กำหนดไว้ จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้ก็เพื่อให้ชิ้นงานค่อย ๆ ปรับตัวไปถึงอุณหภูมิพักค้างอย่างปลอดภัย โดยไม่เกิดการช็อกเพราะความร้อน (Thermal Shock) นอกจากนั้นขั้นตอนนี้ยังช่วยให้ตัวทำละลาย (Solvents) ถูกระบายก๊าซออกก่อนที่จะถึงอุณหภูมิที่สูงขึ้นในจุดต่อไป การกำหนดอัตราเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินี้ขึ้นอยู่กับเวลาในกระบวนการที่ต้องการและอุปกรณ์ที่ไวต่อความร้อนบน PCB (ถ้ามี)

Preheat / Soak

โดยทั่วไปขั้นตอนนี้ เราจะทำให้ความร้อนที่บอร์ดค้างเอาไว้ค่าหนึ่งโดยใช้เวลาประมาณ 60 ถึง 120 วินาที เพื่อกำจัดสารระเหยที่ผสมอยู่ในตะกั่วเหลวและเริ่มให้ฟลักซ์ทำงาน นอกจากนั้นยังช่วยให้แน่ใจว่าบอร์ดและตะกั่วเหลวมีความสมดุลทางความร้อน (thermal equilibrium) ก่อนที่จะเคลื่อนไปยังขั้นตอนการรีโฟลว์ ... หากความร้อนของบอร์ด (PCB และ อุปกรณ์) กับตะกั่วเหลว ยังร้อนไม่เท่ากัน อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของตะกั่วเหลวทำให้เกิดข้อบกพร่องในระหว่างการผลิตได้

Ramp to Peak

ขั้นตอนนี้ จะเป็นการเพิ่มเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปอย่างรวดเร็วเพื่อไปสู่จุดที่ตะกั่วหลอมละลาย (reflowing temperature) และค้างอยู่ที่จุดนี้ไม่กี่วินาที

Reflow

ในขั้นตอนนี้ อุณหภูมิของบอร์ดจะขึ้นสูงสุดสำหรับการ reflow ซึ่งรู้จักกันโดยทั่วไปว่า เวลาที่อยู่เหนือสถานะที่กลายเป็นของเหลว (time above liquidus, TAL) อันหมายถึงระยะเวลาที่โลหะบัดกรีต้องอยู่ในสถานะของเหลวไปช่วงเวลาหนึ่ง โดยค่านี้ถูกกำหนดโดยผู้ผลิตตะกั่วเหลวที่ใช้ในการบัดกรีแต่ละราย การมีอุณหภูมิหรือเวลาไม่ถูกต้องนั้นอาจส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องในการบัดกรีและการประสานระหว่างเนื้อโลหะ (intermetallic bonds) ไม่ดี

Cooling

ขั้นตอนสุดท้ายใน Reflow Oven จะทำให้บอร์ดค่อย ๆ เย็นลงและช่วยให้รอยบัดกรี (Solder joint) ขึ้นรูปได้อย่างเหมาะสม หากขั้นตอนนี้เกิดขึ้นเร็วเกินไปอาจทำให้ชิ้นส่วนแตกหัก (breaking) และแตกร้าว (crack) ได้ในทางกลับกัน ถ้าช้าเกินไปก็อาจทำให้การเชื่อมต่อระหว่างโลหะลดประสิทธิภาพลงได้ สิ่งสำคัญก็คือต้องตรวจสอบข้อกำหนดของผู้ผลิตสำหรับตะกั่วเหลวแต่ละยี่ห้อให้ดี

Temperature Profile ที่กล่าวผ่านมานั้น จะกำหนดให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของตะกั่วเหลว และบอร์ดที่ผ่านเข้าไป Reflow Oven จากนั้นจึงทำการโปรแกรมเครื่อง Reflow Oven ให้สร้างความร้อนขึ้นมาในตัวเครื่องตาม Profile ที่กำหนดไว้

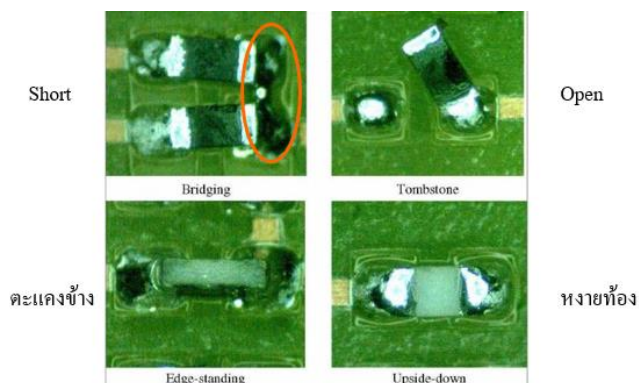
4.1.9) การตรวจสอบหลังโอเวน (Post Oven Inspection)

บางจุด บางพื้นที่อาจจะไม่ดี ตามคำพูดที่ว่า “No one perfect” ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบ ความถูกต้องเสียก่อน โดยใช้ตา ดูผ่านกล้อง หรือ ตาเปล่าก็ตาม



รูปที่ 4.24 Post Oven Inspection

ตัวอย่างของปัญหาที่เกิดจากกระบวนการ SMT เมื่อปรับตั้งตัวแปรของ Profile ไม่ถูกต้อง



รูปที่ 4.25 ตัวอย่างของลักษณะบกพร่อง (Defect)

เมื่อบอร์ดออกจาก Reflow Oven แล้ว จะเกิดคำถามว่า บอร์ดที่ผลิตขึ้นมานี้จะต้องทำการล้าง (Clean) บอร์ดหรือไม่ ... คำตอบก็จะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตที่กำหนดว่า จำเป็นต้องล้าง หรือไม่ นั่นเอง (ถ้าใช้ตะกั่วเหลวแบบ non clean flux (หรือ ไม่ต้องล้างทำความสะอาดคราบฟลักซ์ที่ผสมอยู่) เราก็ไม่ต้องใส่บอร์ดเข้าเครื่องล้าง)



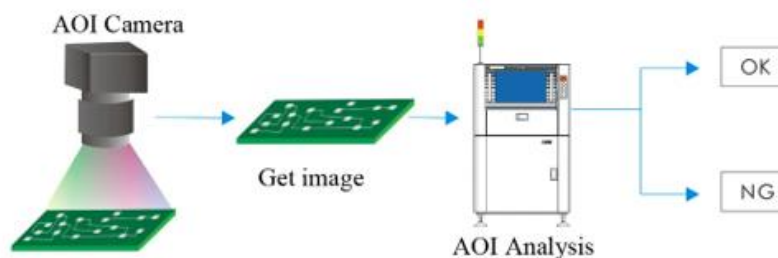
รูปที่ 4.26 เครื่องล้างบอร์ด

ในกรณีที่เราใช้ฟลักซ์ที่ต้องล้างในกระบวนการผลิตแล้ว ถ้าไม่ล้างบอร์ดที่ผลิตขึ้นมา นานไปฟลักซ์ที่ตกค้างอยู่บนบอร์ดก็จะก่อให้เกิดการกัดกร่อนจนทำให้เกิดความเสียหายแก่บอร์ดได้

ในกรณีที่อุปกรณ์มีขนาดเล็ก หรือ IC ที่มีขาเรียงชิดกันมา (Fine Pitch IC) การตรวจด้วยสายตาคงลำบากและต้องดูใต้กล้องขยาย พอดูนานเข้าจะเกิดความเมื่อยล้า การตรวจจะด้อยประสิทธิภาพลง ไม่สามารถตรวจจับการ Short ระหว่างขาได้ ทางออก คือ การใช้ AOI เข้าช่วย

4.1.10) Automated Optical Inspection (AOI)

หลักการง่าย ๆ ก็คือ ใช้กล้องถ่ายรูปที่มีรายละเอียดสูง ถ่ายรูปบอร์ดเข้าไป (Get Image) แล้วก็ไปวิเคราะห์เทียบกับรูปต้นแบบที่เก็บเอาไว้ (ขั้นตอนนี้เรียกว่า AOI Analysis) ... ถ้ามีข้อแตกต่างอะไรออกไปจากต้นแบบ ก็จะถือว่า เกิดข้อบกพร่อง (Defect หรือ No Good, NG) ... ถ้าเป็นไปตามต้นแบบที่เก็บเอาไว้ ก็ถือว่า OK



รูปที่ 4.27 หลักการทำงานง่าย ๆ ของ AOI

รูปร่างหน้าตาของเครื่อง AOI จะเป็นดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 4.28 เครื่อง AOI

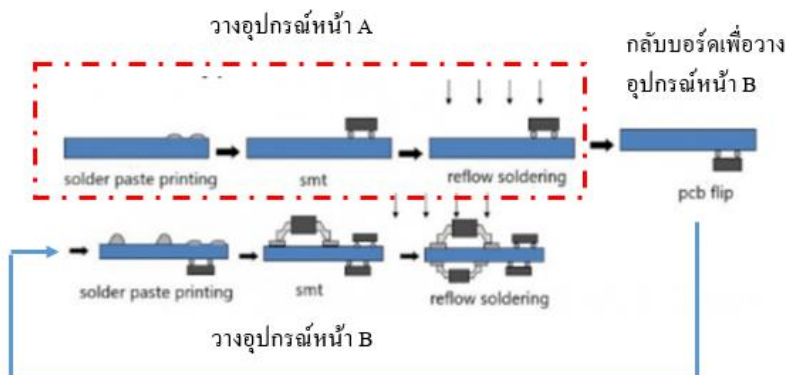
4.1.11) Automated X-Ray Inspection (AXI)

อุปกรณ์ใหม่ ๆ เช่น IC แบบ BGA (Ball Grid Arrays) จะไม่สามารถมองเห็นจุดบัดกรีด้วยตาเปล่าได้ ทั้งนี้เพราะตัวถังจะบังอยู่ด้านบน หรือ ขนาดเล็กเกินไป จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์พิเศษเข้าช่วยซึ่งได้แก่เครื่อง AXI ซึ่งจะทำงานคล้าย ๆ กับเครื่อง AOI แต่แทนที่จะใช้กล้องถ่ายรูป AXI จะให้การเอ็กซเรย์ทะลุผ่านตัวอุปกรณ์ IC แบบ BGA ลงไปยังจุดบัดกรี แล้วสร้างภาพขึ้นมาบนจอภาพ



รูปที่ 4.29 เครื่อง AXI

เมื่อจบกระบวนการ SMT ที่กล่าวมาแล้ว อุปกรณ์ประเภท Surface Mount จะถูกใส่และบัดกรีบน PCB เรียบร้อยแล้ว ... ในกรณีที่ต้องวางอุปกรณ์ทั้งสองด้านของ PCB เราก็จะทำการกลับบอร์ดและนำไปวางอุปกรณ์บนด้านที่เหลืออีกครั้ง



รูปที่ 4.30 การผลิตบอร์ดที่มีอุปกรณ์อยู่สองด้านของ PCB ต้องเข้ากระบวนการ SMT สองครั้ง

เมื่อวางอุปกรณ์ SMD ทั้งสองหน้าแล้ว ... ถ้าบอร์ดที่ผลิตไม่มีอุปกรณ์แบบ Through Hole ก็ถือว่า บอร์ดพร้อมเข้าสู่กระบวนการทดสอบ (Testing) แล้ว ... แต่ถ้าบอร์ดมีอุปกรณ์ประเภท Through Hole ต่อไปเราก็นำบอร์ดจะมาใส่อุปกรณ์ประเภท Through Hole และบัดกรี กระบวนการนี้มักเรียกว่า กระบวนการส่วนหลัง หรือ Back End Process

4.2 กระบวนการ IMT (IMT Process หรือ THT Process)

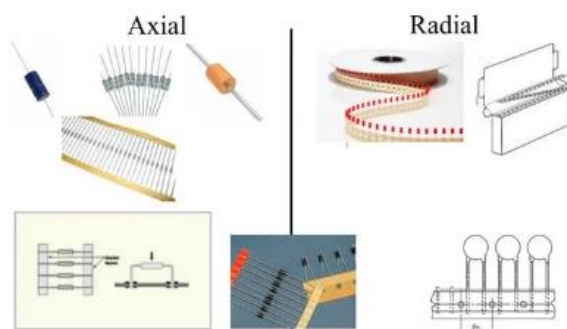
กระบวนการ IMT (Inserted Mount Technology) หรือ THT (Through Hole Technology) คือ การนำอุปกรณ์ประเภท Through Hole มาใส่ลงบนบอร์ดและทำการบัดกรีให้แล้วเสร็จนั่นเอง



รูปที่ 4.31 ใส่อุปกรณ์ประเภท Through Hole หลังกระบวนการ SMT

4.2.1) Auto-insertion machine

เครื่องประเภทนี้ จะทำหน้าที่ใส่อุปกรณ์ Thru Hole ลงไปบนบอร์ด ตามที่โปรแกรมตำแหน่งเอาไว้ ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับอุปกรณ์ Thru Hole ที่จัดเตรียมไว้ด้วย ... โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็นสองแบบ คือ Axial Inserter กับ Radial Inserter ตามรูปร่างของอุปกรณ์



รูปที่ 4.32 อุปกรณ์ประเภท Through Hole จะมีรูปร่างสองแบบคือ Axial กับ Radial

1) Axial Insertion Machine

เครื่องจะมีกลไกตัดอุปกรณ์ที่มีขา Axial ออกมาจากม้วน (รูปซ้ายของรูปที่ 4.32) แล้วทำการงอขาอุปกรณ์ (จากขาตรงให้งอเป็นมุมฉาก) แล้วเสียบขาเข้าไปในรูบน PCB



รูปที่ 4.33 Axial Insertion Machine สำหรับใส่อุปกรณ์ประเภท Axial

2) Radial Insertion Machine

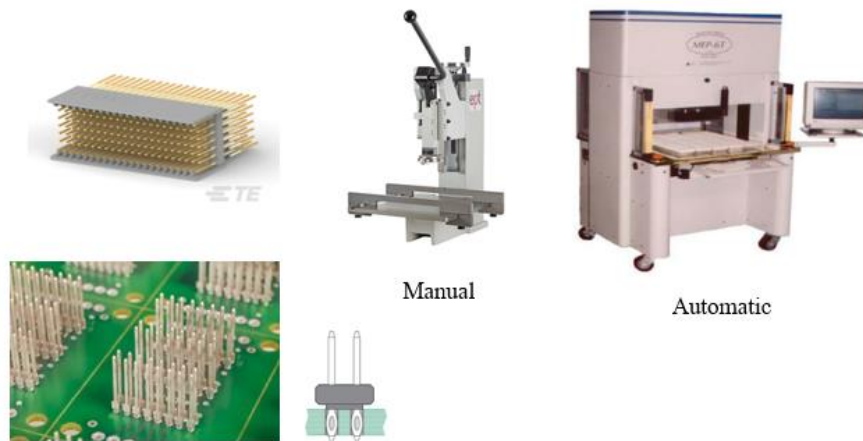


รูปที่ 4.34 Radial Insertion Machine สำหรับใส่อุปกรณ์แบบ Radial

เครื่องจะมีกลไกสำหรับตัดอุปกรณ์ที่มีขาแบบ Radial ออกมาจากม้วน (รูปขาวของรูปที่ 4.32) แล้วเสียบขาเข้าไปในรูบน PCB

3) Press Fit Machine

อุปกรณ์ที่เป็น Connector ที่มีขาแบบ Radial เราก็คงต้องใช้เครื่อง Press Fit เข้าช่วยดังรูป โดยเครื่องจะช่วยกดขา Connector ลงไปในรู PCB



รูปที่ 4.35 Press Fit Machine

4.2.2) การใส่อุปกรณ์ด้วยมือ (Manual Insertion)

ตัวไหนใส่ด้วยเครื่องไม่ได้ ก็ต้องใช้มือใส่ (Manual Insertion) ... บางทีเรียกตรง ๆ ว่า Hand - load



รูปที่ 4.36 การใส่อุปกรณ์ด้วยมือ

4.2.3) Wave Soldering

การบัดกรีอุปกรณ์ประเภท Through Hole จะต่างกับ อุปกรณ์ประเภท SMD โดยจะใช้ Wave Soldering Machine ดังรูป



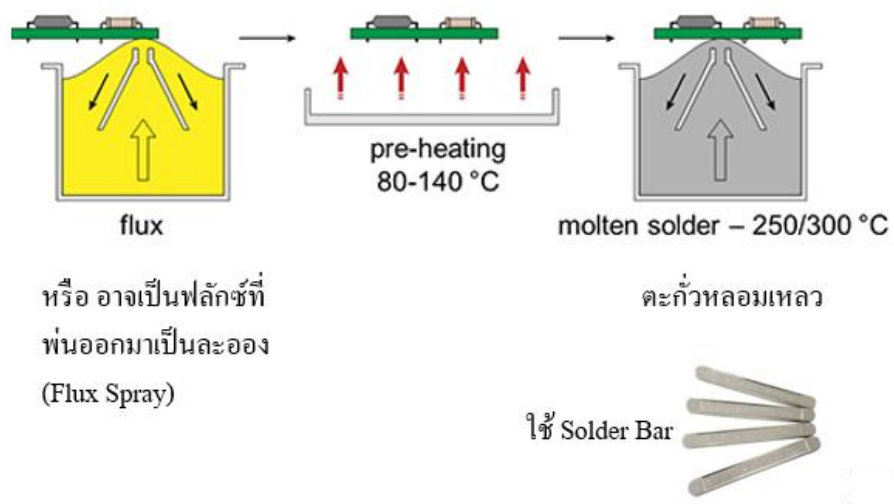
ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม

แผ่นวงจรไฟฟ้าจะเคลื่อนผ่านน้ำตะกั่ว
เหลวที่ถูกดันให้พุ่งขึ้นมาเหมือนคลื่น
น้ำทะเล



รูปที่ 4.37 Wave Soldering machine

การทำงานภายใน Wave Soldering Machine เป็นดังรูป



รูปที่ 4.38 หลักการทำงานของ Wave Soldering Machine

บอร์ดจะผ่านโซนการให้ฟลักซ์เพื่อให้บัดกรีได้ง่าย (การให้ฟลักซ์นี้ อาจจะเป็นรูปแบบที่เป็นน้ำที่ใช้ลมดันให้ผิวหน้าพุ่งขึ้นมาสัมผัสกับบอร์ดที่เคลื่อนที่ผ่าน หรือ พ่นออกมาเป็นสเปรย์ (Flux Spray) ก็ได้) จากนั้นบอร์ดจะ

เคลื่อนผ่านโซน Pre-Heating เพื่อให้ฟลักซ์แห้งและทำให้อุปกรณ์บนบอร์ดและตัว PCB ร้อนขึ้น แล้วจึงเคลื่อนผ่าน บ่อตะกั่วเหลว (Molten Solder Pot) ที่มีตะกั่วหลอมเหลวเป็นน้ำ (เกิดจากการนำแท่งตะกั่ว (Solder Bar) ไป หลอมละลาย) ที่ถูกกลดดันให้ผิวหน้าสูงขึ้น (คล้ายกับคลื่นในท้องทะเล ... จึงเรียกเครื่องจักรนี้ว่า Wave Soldering) ที่จุดยอดคลื่นนี้ ใช้อุปกรณ์และจุดบัดกรีที่ PCB จะสัมผัสกับน้ำตะกั่ว จึงเหมือนกับเกิดการบัดกรีขึ้นที่ จุดนี้ จากนั้นบอร์ดจะถูกทำให้เย็นตัวลง

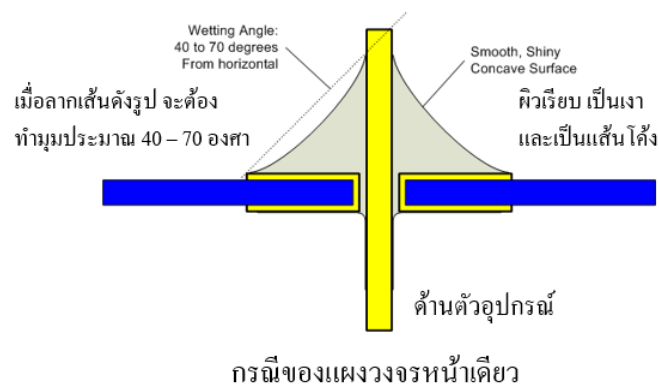
4.2.4) การใส่อุปกรณ์ด้วยมือครั้งที่สอง (Second Manual Insertion) (ถ้ามี)

บางครั้ง อาจต้องใส่อุปกรณ์เพิ่มเติมด้วยมืออีก (และจะทำการบัดกรีด้วยมือ หรือ Soldering Robot (จะไม่ใช้ Wave Soldering Machine ซ้ำอีก เพราะส่วนมากจะบัดกรีเพิ่มไม่กี่จุด)) ... บางแห่งจะเรียกว่า Second Hand-load



รูปที่ 4.39 Second Manual Insertion หรือ Second Hand-load

ไม่ว่าจะใช้คนบัดกรี หรือ เครื่องจักรก็ตาม ... รูปร่างของการบัดกรีควรออกมาเป็นแบบนี้



รูปที่ 4.40 รูปร่างของการบัดกรีตามมาตรฐานที่ยอมรับกัน

4.2.5) การทดสอบ (Testing)

เมื่อทำบอร์ดออกมาแล้ว (ไม่ว่าจะมาจาก SMT Process หรือ IMT Process ก็ตาม) ก็ต้องนำมาทดสอบดู ว่า บอร์ดที่ผลิตขึ้นมานั้นเกิดข้อบกพร่องหรือไม่ (เช่น เป็ดวงจร ลัดวงจร ใส่อุปกรณ์ผิดทิศ/ผิดตำแหน่ง หรือ

ฟังก์ชันการทำงานไม่เป็นไปตามข้อกำหนด) ก็ต้องนำบอร์ดมาทดสอบดู ... เครื่องมือที่ใช้ ทดสอบจะแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ

ก) ทดสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ บนบอร์ด (ICT, In Circuit Tester) ... เพื่อดูว่า มีการลัดวงจรไหม เปิดวงจรไหม ใส่อุปกรณ์ถูกต้องไหม ใส่ถูกทิศทางไหม

ข) ทดสอบฟังก์ชันการทำงานของบอร์ด (FCT, Functional Tester) โดยการจ่ายไฟให้กับบอร์ดแล้วดูฟังก์ชันการทำงานว่า ถูกต้องไหม

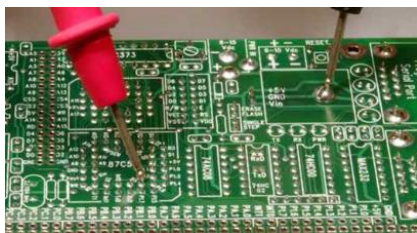
4.2.5.1) ICT (In-Circuit Testing)

การทดสอบก็คือการวัดค่าทางไฟฟ้าต่าง ๆ (เช่น ค่าความต้านทาน) โดยปกติแล้ว จะวัดค่าอุปกรณ์ที่แยกอิสระจากกันเป็นตัว ๆ ไป ... แต่ในกรณีนี้ จะทำการวัด (หรือ ทดสอบ) ค่าอุปกรณ์ที่ต่อรวมกันเป็นวงจรอยู่บนบอร์ด จึงเรียกว่า เป็นการวัดในวงจร (In – Circuit Measurement) ค่าที่วัดได้ก็จะนำไปเทียบกับค่ามาตรฐานที่เรากำหนดไว้ก่อนแล้ว ... ถ้าค่าเท่ากันก็จะถือว่า อุปกรณ์ที่วัด (หรือ ใส่ลงบนบอร์ด) นั้นถูกต้อง ... ถ้าค่าแตกต่างกันออกไปมาก ก็อาจเป็นไปได้ว่า อุปกรณ์ที่วัด (หรือ ใส่ลงบนบอร์ด) นั้นไม่ถูกต้อง จะต้องทำการตรวจสอบดู ... เครื่องจักรที่ทำการทดสอบแบบนี้เล่ามา จะเรียกว่า In – Circuit Testing Machine หรือ เครื่องทดสอบแบบวัดในวงจร

เครื่อง ICT จะแบ่งเป็นสองประเภท คือ แบบที่ไม่ต้องใช้ฟิกเจอร์เข้าช่วย (Fixtureless) เช่น เครื่อง Flying Probe กับ แบบที่ต้องใช้ฟิกเจอร์เข้าช่วย (Test Fixture Installed) เช่น เครื่อง MDA

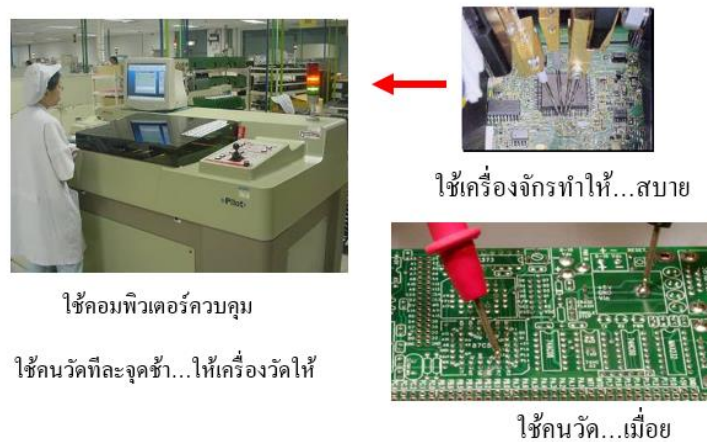
1) Flying Probe ... (อยู่ในกลุ่มของ ICT ที่ไม่ใช้ฟิกเจอร์ หรือ Fixtureless ICT)

โดยทั่วไป เมื่อเราต้องการวัดความต้านทานระหว่างจุด A กับ จุด B เราก็มักจะใช้โพรบของโอห์มมิเตอร์ไปแตะที่จุด A และ B แล้วก็อ่านผลจากจอแสดงผลของโอห์มมิเตอร์



รูปที่ 4.41 การวัดสัญญาณระหว่างสองจุดด้วยมือ

ลองนึกต่อไปว่า ถ้าพนักงานต้องวัดสัญญาณสัก 1,000 จุด คงจะใช้เวลามาก และ มีโอกาสผิดพลาดสูงมาก (ทั้งในแง่ของตำแหน่งที่ต้องทำการวัด การอ่านค่า และ การจดบันทึกค่า ... เราใช้เครื่อง Flying Probe มาทำงานแทนดีกว่า



รูปที่ 4.42 Flying Probe

โดยกลไกภายในของ Flying Probe นั้น มันก็คือการเคลื่อนโพรบ (Probe) ที่เป็นโลหะปลายแหลมไปสัมผัสกับจุดที่กำหนด (จุดที่ต้องการวัด) แล้วก็นำสัญญาณนี้เข้าเครื่องมือวัดที่อยู่ภายในตัวเครื่อง ผลที่วัดได้จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงที่กำหนดไว้แล้ว

ข้อดีของ Flying Probe ก็คือ ต้นทุนต่ำ เพราะไม่ต้องใช้ฟิกเจอร์ จึงมีความคล่องตัวสูง เหมาะกับงานต้นแบบที่ยังไม่นิ่ง (อาจจะมีการปรับแก้แบบ จึงยังไม่ต้องการสร้างฟิกเจอร์) และงานที่ผลิตจำนวนไม่มาก

2) MDA (Manufacturing Defected Analyzer) ... (อยู่ในกลุ่มของ ICT ที่ต้องใช้ Test Fixture)

จากการวัดทีละจุด (แบบ Flying Probe) ก็กลายเป็นวัดทีละหลาย ๆ จุด โดยใช้ฟิกเจอร์เข้าช่วยดังรูป



รูปที่ 4.43 MDA Test Fixture

โครงสร้างของฟิกเจอรื้นั้น จะมีกลไกไปการบังคับให้โพรบไปแตะกับจุดที่ต้องการวัด จากนั้นก็จะนำสัญญาณจากโพรบไปเข้าเครื่องมือวัดคล้าย ๆ กับการทำงานของ Flying Probe แต่ฟิกเจอร์จะมีโพรบติดตั้งอยู่จำนวนมาก ซึ่งหมายความว่า โพรบเหล่านี้จะสัมผัสจุดวัดบนบอร์ดพร้อมกันทุกโพรบ ทั้งนี้ก็แล้วแต่คอมพิวเตอร์ใน MDA จะเลือกสัญญาณจากโพรบตัวไหนเข้ามาวัดก่อนหลัง



ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม

วัดทีละจุดซ้ำ...วัดมันพร้อม ๆ กันทีละ 2000 จุด



รูปที่ 4.44 Manufacturing Defect Analyzer (MDA) และ Test Fixture

โดยทั่วไป MDA จะใช้วัดอุปกรณ์ประเภท Passive Component และ Transistor, Diode ... และเป็น การวัดที่ไม่จ่ายไฟเลี้ยงเข้าบอร์ด (Unpowered Test) จึงทำให้สามารถวัดอุปกรณ์ในเชิง Passive เป็นหลัก ... ตัวอย่างการวัดก็เช่น การลัดวงจร (Short circuits) เช่น Solder bridges การเปิดวงจร (Open circuits) การใส่ อุปกรณ์ผิดค่า (R, L, C) หรือ ไม่ได้ใส่ (missing components) การใส่อุปกรณ์กลับทิศ เช่น Diode, LED หรือ Transistor หรือ ไม่ได้ใส่มาบนบอร์ด เป็นต้น

3) In-Circuit Tester (ICT) ... (อยู่ในกลุ่มของ ICT ที่ต้องใช้ Fixture)



ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม

วัดมันพร้อม ๆ กันทีละ 7,000 จุด (มีการจ่ายไฟให้อุปกรณ์แต่ละตัวเพื่อวัดฟังก์ชันการ ทำงานของมันด้วย ... ซึ่ง MDA ไม่มีแบบนี้)



รูปที่ 4.45 เครื่อง ICT

ICT จะแบ่งการทดสอบออกเป็นสองส่วน คือ:

1) Power-Off tests ... ส่วนนี้จะดำเนินการก่อน โดยทำการทดสอบ PCB เมื่อยังไม่มีจ่ายไฟเข้าตัวบอร์ด (ลักษณะการทดสอบจะคล้ายกับ MDA ที่ผ่านมา)

2) Power-On tests ... (หลังจากผ่านข้อ 1) แล้ว จะมีการจ่ายไฟเข้าตัวบอร์ด การทดสอบอุปกรณ์ประเภท Active จะเริ่มดำเนินการต่อไป ตัวอย่างของการทดสอบก็เช่น ฟังก์ชันของ IC (ทั้ง Analog และ Digital) ทำงานผิดพลาด ใส่ IC กลับทิศ วัดค่า RLC วัดอัตราการขยายสัญญาณของทรานซิสเตอร์ เป็นต้น



ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม



วัดมันพร้อม ๆ กันทีละ 7,000 จุด (มีการจ่ายไฟให้อุปกรณ์แต่ละตัวเพื่อวัดฟังก์ชันการทำงานของมันด้วย ... ซึ่ง MDA ไม่มีแบบนี้)

รูปที่ 4.46 เครื่อง ICT

4.2.5.2 FCT (Functional Tester)

ต่อไปก็เป็นการทดสอบเชิงฟังก์ชันที่ต้องจ่ายไฟเข้าชิ้นงาน เราต้องสร้าง Test fixture เพื่อใช้ทดสอบชิ้นงาน ก็มีตั้งแต่แบบคั่นโย่งง่าย ๆ ดังรูป



อาจใส่บอร์ดควบคุมการทดสอบไว้ที่นี้

หรือเชื่อมต่อออกไปภายนอกผ่านช่องทางนี้

รูปที่ 4.47 FCT Test Fixture อย่างง่าย

เมื่อใส่บอร์ด (ขนาดเล็ก มีจุดวัดไม่กี่จุด และการวัดไม่ซับซ้อน) ที่ต้องการทดสอบเข้าไปในฟิกเจอร์แล้วกดคั่นโย่งลง โพรบก็จะสัมผัสกับจุดวัดบนบอร์ด สัญญาณจากจุดวัดก็จะถูกป้อนเข้าเครื่องมือวัดและประมวลผลต่อไป

เมื่อบอร์ดมีขนาดใหญ่ขึ้น มีจัดวัดมากขึ้น และมีการวัดที่ซับซ้อนมากขึ้น ขนาดของฟิกเจอร์จะใหญ่ขึ้นและมีจำนวนโปรบมากขึ้น ระบบการวัดก็จะถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์จนกลายเป็นระบบทดสอบอัตโนมัติไปในที่สุด



รูปที่ 4.48 ระบบทดสอบแบบอัตโนมัติ

ระบบทดสอบทางฟังก์ชัน มักจะเป็นระบบอัตโนมัติ ที่ใช้คอมพิวเตอร์เข้าควบคุม ร่วมกับซอฟต์แวร์ต่าง ๆ เช่น HP Vee, LabView, C++, Visual Basic เป็นต้น และเมื่อทำออกมาเป็นระบบใส่ Rack ก็จะเป็น ระบบทดสอบอัตโนมัติ หรือ Automatic Test System (ATS)



รูปที่ 4.49 ระบบทดสอบแบบอัตโนมัติที่มีความซับซ้อนมากขึ้นและติดตั้งบน Rack

4.3 การซ่อมแซม/แก้ไขบอร์ดที่มีความบกพร่อง (Debug and Rework)

ถ้าทดสอบทั้ง ICT และ FCT ไม่ Work (หรืองานเกิดข้อบกพร่อง) แล้วจะทำอย่างไร? ... หลังจากการทดสอบต่าง ๆ ข้างต้นกระทำแล้ว จะมีบางส่วนไม่ทำงาน หรือ ทำงาน ผิดปกติออกไปจากที่กำหนด แสดงว่างานนั้น ๆ ไม่ผ่านการทดสอบ ก็ต้องเอาไป ซ่อมแซม แก้ไขที่แผนก Debug and Rework เช่น แก้ไขการลัดวงจร เปลี่ยนอุปกรณ์ เป็นต้น ... จากนั้นก็ต้องนำไปทดสอบซ้ำอีกครั้ง



รูปที่ 4.50 การหาปัญหาที่ทำให้เกิดความบกพร่องและแก้ไขให้กลับมาทำงานอย่างถูกต้อง

4.4 Final Quality Assurance (หรือ Final Quality Audit) (FQA)

เมื่อบอร์ดที่ผลิตขึ้นผ่านการทดสอบ FCT แล้วก็นำมาใส่กล่อง (Packing) เพื่อเตรียมจัดส่งไปให้ลูกค้า ... ก่อนปิดกล่อง บอร์ดในกล่องจะถูกสุ่มตรวจเชิงฟังก์ชันอีกครั้งหนึ่งโดยฝ่าย FQA เพื่อเป็นการยืนยันว่า บอร์ดได้ผ่านการทดสอบแล้วจริง ๆ (ถ้าพบว่า มีบอร์ดที่สุ่มมาผ่านการทดสอบ ก็จะขอให้ฝ่ายผลิตนำบอร์ดไปทดสอบใหม่ทั้งหมด) จากนั้นจะทำการปิดผนึกกล่องเพื่อส่งเข้าสโตร์หรือคลังสินค้า โดยทั่วไปสถานี FQA นี้จะถือเป็นสถานีสุดท้ายของกระบวนการผลิต



รูปที่ 4.51 บอร์ดจะถูกสุ่มตรวจโดยฝ่าย FQA

4.5 Out-Going Quality Assurance (หรือ Out-Going Quality Audit) (OQA)

ก่อนส่งสินค้าไปให้ลูกค้า ก็อาจจะมีการตรวจความถูกต้องอีกครั้ง (เช่น ป้ายระบุสินค้าที่ติดบนกล่อง ป้ายระบุผู้รับปลายทาง ความเรียบร้อยของกล่องบรรจุ เป็นต้น) เรียกว่า Out-Going Quality Assurance (OQA) เพื่อดูความเรียบร้อยของสินค้าก่อนส่งออก

4.6) Ship out/Transportation

จากนั้นก็ขนส่งไปให้ลูกค้า



รูปที่ 4.52 ทำการขนส่งไปให้ลูกค้าตามที่ตกลงกัน



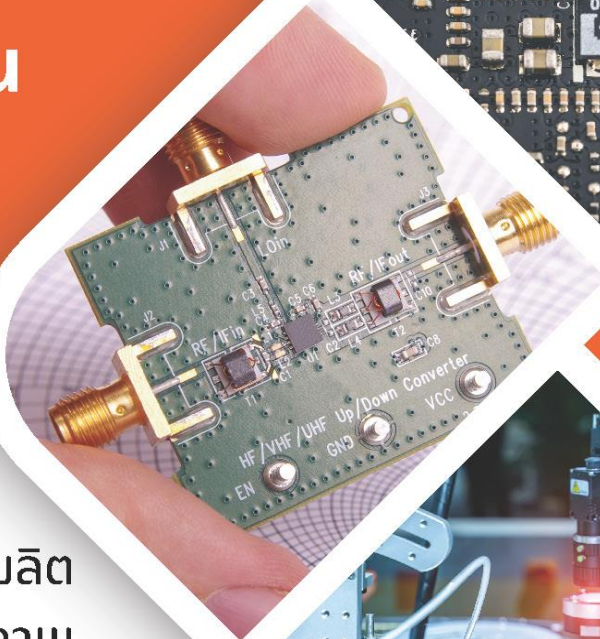
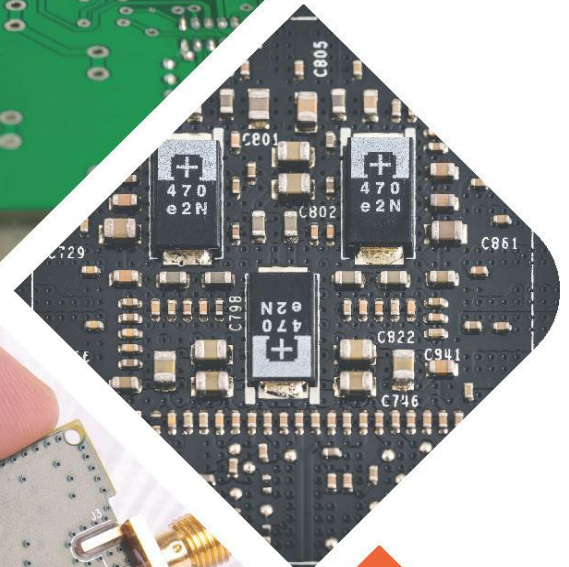
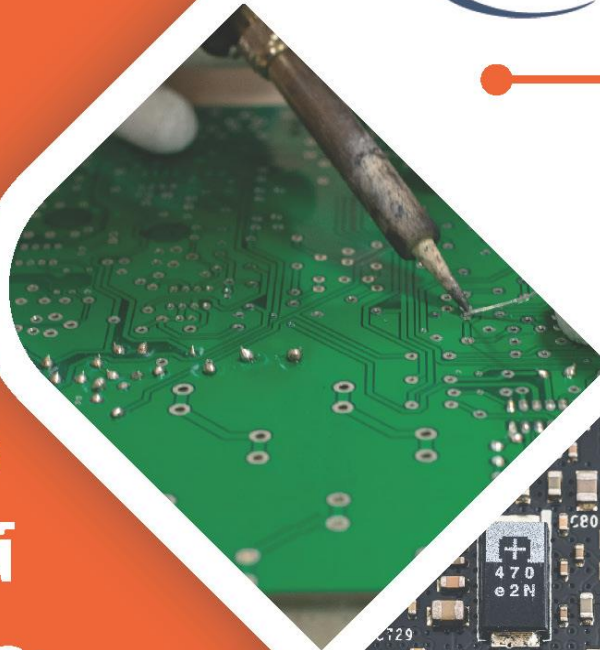
THAILAND
AUTOMOTIVE
INSTITUTE
สถาบันยานยนต์

หลักสูตร

การผลิตอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์และ การประกอบแผ่น วงจรพิมพ์

วิชามาตรฐานการผลิต แผ่น PCB และการควบคุมคุณภาพ

โครงการยกระดับผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทย
เพื่อเตรียมความพร้อมในการเข้าสู่ห่วงโซ่อุปทานของ
อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่
(Parts Transformation)



02-712-2414



www.thaiauto.or.th



@thaiauto

สารบัญ

บทที่ 1 การควบคุมคุณภาพ.....	1
1.1 มาตรฐานการผลิตที่เกี่ยวข้อง.....	1
1.2 ความสำคัญของการควบคุมคุณภาพ	2
1.3 รูปแบบการแก้ไขปัญหา.....	3
1.4 ชนิดของปัญหา.....	4
1.5 ชนิดของสาเหตุ.....	4
1.6 การแก้ปัญหาด้วย QC story	4
1.7 เครื่องมือที่ใช้ในการปรับปรุง	6
บทที่ 2 การควบคุมคุณภาพด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด.....	8
2.1 ใบตรวจสอบ (Check Sheet).....	8
2.2 แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram).....	11
2.4 กราฟ (Graphs).....	21
2.5 พังการกระจาย (SCATTER DIAGRAM)	24
2.6 ฮิสโตแกรม (Histogram).....	30
2.7 แผนภูมิควบคุม (CONTROL CHART).....	32
บทที่ 3 Power Bi for QC Dashboard	35

บทที่ 1 การควบคุมคุณภาพ

นิยาม

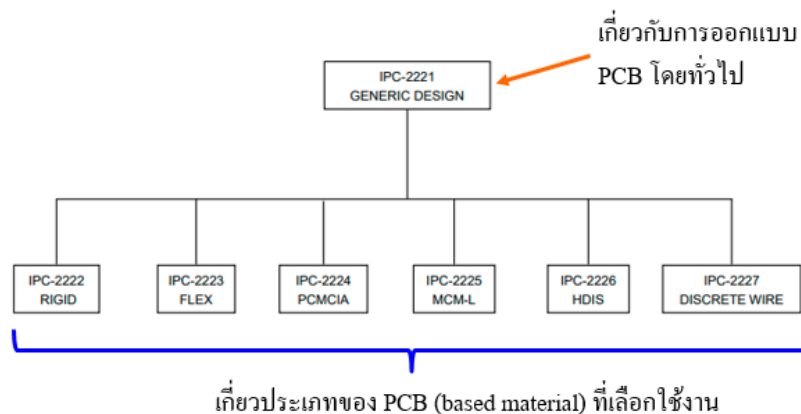
ความหมายของการควบคุม คือ การดูแลอย่างใกล้ชิด

ความหมายของคุณภาพ คือ สิ่งที่ถูกต้องการ

ดังนั้นความหมายของการควบคุมคุณภาพ คือ การดูแลกระบวนการทำงานอย่างใกล้ชิดเพื่อให้ได้คุณลักษณะตามที่ถูกต้องการ

1.1 มาตรฐานการผลิตที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้การออกแบบได้มาตรฐานเข้าใจตรงกันระหว่างผู้ออกแบบ ผู้ผลิต และผู้ใช้งาน ก็จะมีมาตรฐานเกิดขึ้นเพื่อใช้งานร่วมกัน ที่นิยมกันก็คือ มาตรฐาน IPC (IPC ย่อมาจาก Institute of Printed Circuits (ก่อนหน้านี้ย่อมาจาก Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits))



รูปที่ 1.1 มาตรฐาน IPC

มาตรฐานของ IPC 2220 ซึ่งประกอบด้วย

IPC-2221 Generic Standard on Printed Board Design และจะถือว่าเป็น IPC ต่อไปนี้เป็น Subset

IPC-2222 Rigid organic printed board structure design

IPC-2223 Flexible printed board structure design

IPC-2224 Organic, PC card format, printed board structure design

IPC-2225 Organic, MCM-L, printed board structure design

IPC-2226 High Density Interconnect (HDI) structure design

IPC-2227 Organic board design using discrete wiring

IPC-2221 Generic Standard on Printed Board Design

IPC-2221 คือ แนวทางมาตรฐาน (standard guideline) ที่ใช้สำหรับกระบวนการออกแบบ PCB โดย IPC – 2221 จะระบุเกี่ยวกับ การจัดวางการออกแบบ (design layout) การแสดงรายการชิ้นส่วน (part list) วัสดุที่นำมาใช้ คุณสมบัติทางกายภาพและกลไก (mechanical and physical properties) คุณสมบัติทางไฟฟ้า คุณสมบัติทางความร้อน และ อื่น ๆ

นอกจากนั้น ในกลุ่มนี้ (IPC – 2220) ยังแยกออกเป็นตามประเภทของ PCB ด้วย เช่น IPC-2222 เป็น PCB แบบแข็ง (Rigid PCB) IPC-2223 เป็น PCB แบบอ่อน (Flex PCB) IPC 2226 เป็น PCB ที่มีความหนาแน่นสูง (High Density Interconnect (HDI)) เป็นต้น

1.2 ความสำคัญของการควบคุมคุณภาพ

การควบคุมคุณภาพส่งผลต่อความเชื่อมั่นของสินค้าว่าจะมีคุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนดไว้เสมอ การควบคุมคุณภาพจะครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตที่มีคุณภาพ เพื่อให้ได้สินค้าที่มีคุณภาพ การกำหนดการตรวจสอบคุณภาพขึ้นอยู่กับประเภทสินค้าที่ต้องการควบคุม ซึ่งจะมีความถี่ในการตรวจสอบแตกต่างกันไป

การควบคุมคุณภาพยังทำให้ผู้บริโภคสามารถหาข้อมูลสินค้าและบริการได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ลูกค้ามีทางเลือกมากขึ้น เมื่อลูกค้าสามารถเลือกได้จะทำให้เกิดการแข่งขันด้านคุณภาพไปทั่วโลก การควบคุมคุณภาพที่ดีส่งผลถึงตราสินค้า ซึ่งเป็นสินทรัพย์ที่มีคุณค่า การรักษาคุณภาพสินค้าจึงเป็นการปกป้องตราสินค้าด้วยนั่นเอง

นอกจากนี้การควบคุมคุณภาพยังต้องพิจารณาให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างประเทศ ที่มีการผลักดันให้เกิดการควบคุมคุณภาพ และการสร้างมาตรฐานคุณภาพระหว่างประเทศ เช่น ISO ฯลฯ

ความหมายของปัญหา

ปัญหา คือ ช่องว่างระหว่างสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในปัจจุบัน เทียบกับสถานการณ์ในอุดมคติ หรือที่ตั้งเป้าหมายไว้ หากปัญหาหรือช่องว่างนั้น ไม่ถูกแก้ไขและควบคุม จะส่งผลให้สภาพปัจจุบันไม่สามารถบรรลุถึงเป้าหมายได้ ดังรูป

เป้าหมายหรืออุดมคติ



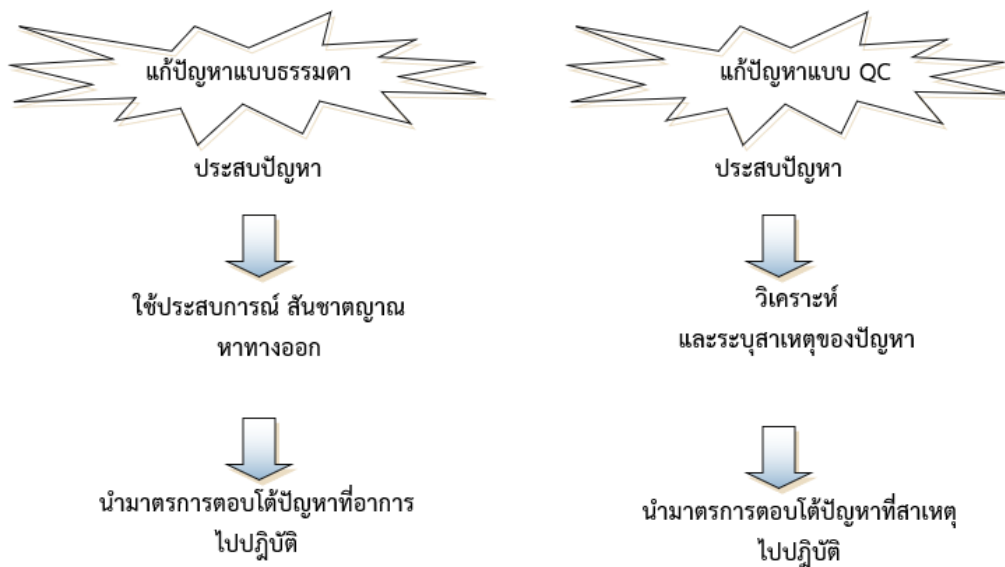
ปัญหา

สภาพปัจจุบัน (Actual)

รูปที่ 1.2 ความหมายของปัญหา

1.3 รูปแบบการแก้ไข้ปัญหา

การแก้ไข้ปัญหา พิจารณาได้ทั้งการแก้้ปัญหาแบบธรรมดา และการแก้้ปัญหาแบบการควบคุมคุณภาพ ซึ่งการแก้้ปัญหาแบบธรรมดา สามารถแก้้ปัญหาได้จากประสบการณ์ หรือสัญชาตญาณของผู้ปฏิบัติงาน โดยแก้ไข้ปัญหาจากอาการที่เกิดขึ้น แต่การแก้้ปัญหาแบบการควบคุมคุณภาพ ต้องเริ่มจากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา แล้วกำหนดมาตรการแก้้ปัญหาจากสาเหตุเหล่านั้น ดังรูป



รูปที่ 1.3 รูปแบบการแก้ไข้ปัญหา

แนวคิดการแก้ปัญหาและการปรับปรุงงาน

1. การแก้ปัญหา คือ การลดความไม่พอใจ หรือสิ่งไม่พึงประสงค์ของผู้ที่ได้รับผลกระทบ (ลูกค้า)
2. การแก้ปัญหา คือ การทำให้กลับสู่สภาพเดิม
3. การปรับปรุง คือ การยกระดับให้ผลงานสูงขึ้น หรือดีกว่าเดิม ซึ่งอาจเรียกได้ว่าการแก้ปัญหาเรื้อรัง และปรับปรุงงาน

1.4 ชนิดของปัญหา

1. ปัญหาครั้งคราว (ปัญหาหน้างาน) เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นแบบไม่สม่ำเสมอ ไม่แน่นอน คาดเดาไม่ได้
2. ปัญหาเรื้อรัง (ปัญหาที่ต้องปรับปรุง) เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ เกิดบ่อย หรือมีแนวโน้มการเกิดบ่อย

1.5 ชนิดของสาเหตุ

สาเหตุธรรมชาติ

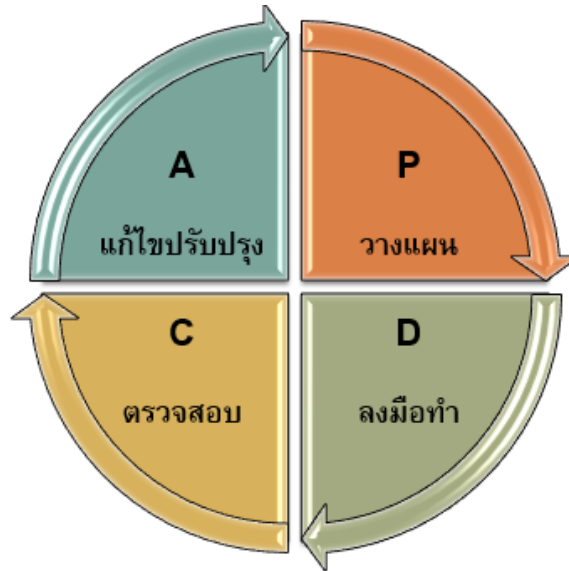
1. เป็นสาเหตุที่เกิดกับปัญหาเรื้อรัง
2. เป็นสาเหตุที่มีโอกาสเกิดขึ้นสูง เกิดอย่างสม่ำเสมอ คาดเดาได้
3. เป็นสาเหตุที่ไม่สามารถกำจัดได้หมด

สาเหตุผิดธรรมชาติ

1. เป็นสาเหตุที่เกิดกับปัญหาหน้างาน
2. เป็นสาเหตุที่มีโอกาสเกิดน้อย คาดเดาไม่ได้
3. เป็นสาเหตุที่สามารถกำจัดหมดได้ ป้องกันได้ และปรับปรุงได้

1.6 การแก้ปัญหาด้วย QC story

กระบวนการทางการแก้ปัญหา หรือทางการคิดอย่างมีระบบ และมีเหตุมีผล โดยการเรียนรู้กระบวนการบริหารโครงการหรือ Plan-Do-Check-Action (P-D-C-A) โดยเริ่มจากการวางแผนระบุปัญหา เก็บข้อมูล กำหนดเป้าหมายที่แน่นอน เลือกรูปแบบการแก้ไขปรับปรุง จากนั้นลงมือปฏิบัติตามแผน ติดตามตรวจสอบผลการปฏิบัติ และปรับปรุงแก้ไขให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น หากยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ หรือผลที่ได้ยังไม่เป็นที่พอใจ ก็จะมาทำการวางแผนและเริ่มวงล้อใหม่อีกครั้ง ดังรูป



รูปที่ 1.4 รูปแบบ PDCA

ขั้นตอนการแก้ปัญหาแบบ QC Story

1. การกำหนดหัวข้อปัญหา
2. การสำรวจสภาพปัจจุบัน และตั้งเป้าหมาย
3. การวางแผนแก้ไข
4. การวิเคราะห์สาเหตุ
5. การกำหนดมาตรการตอบโต้ และการปฏิบัติ
6. การติดตามผล
7. การทำให้เป็นมาตรฐาน

ตัวอย่างการแก้ปัญหาแบบ QC Story ในการซื้อของ

Plan คิดว่ามีอะไรต้องใช้ สำหรับกี่คน ตรวจสอบว่าของในบ้านมีอะไรเหลืออยู่เป็นจำนวนเท่าไร ขาดเหลืออะไร (**check**) จดรายการและจำนวนสิ่งของที่ต้องซื้อ กำหนดสถานที่ เตรียมเงินให้เพียงพอ

Do ไปที่ร้านค้า ลำดับในการซื้อ ถ้าต้องไปหลายร้าน เลือกเส้นทางที่ไม่ต้องอ้อมไปอ้อมมา ถ้าต้องยกของเอง เลือกซื้อของที่น้ำหนักเบา ก่อน เพื่อจะได้ไม่ต้องยกของหนัก เป็นเวลานาน (**plan**) แล้ว เดินเลือกซื้อของ

ตามที่จดมา (do) หากพบสิ่งที่ไม่เป็นไปตามแผน เช่น ไม่มีของ หรือมีราคาสูงเกินกว่าที่ตั้งใจไว้ (check) ให้พิจารณาปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสม (act) ก่อนออกจากร้านตรวจสอบว่าของที่ซื้อได้รับครบตามจำนวน และถูกต้องตามที่ต้องการหรือไม่ สินค้าอยู่ในสภาพสมบูรณ์หรือมีตำหนิ คนขายคิดราคาและทอนเงินถูกต้องหรือไม่ (check) ถ้าสินค้ามีตำหนิให้เปลี่ยนของหรือถ้าทอนผิดก็ทักท้วงให้เกิดความถูกต้อง (act)

Check ตรวจสอบ กลับมาที่บ้าน ตรวจสอบจำนวนเงินที่ใช้ไป ตรวจสอบว่าอะไรบ้างที่ซื้อไม่ได้ตามแผน เช่น ของราคาสูงกว่าที่คิดไว้ ของเปลี่ยนรุ่น เป็นต้น ของอะไรที่ซื้อมาแล้วใช้ไม่ได้ เช่น ซื้อแบตเตอรี่ผิดขนาด

Act ดำเนินการให้เหมาะสม ความผิดพลาดจากการซื้อของครั้งนี้คืออะไร เช่น ไม่เช็คขนาดของแบตเตอรี่ ก่อนออกจากร้าน ต่อไปต้องตรวจสอบรายละเอียดให้รอบคอบขึ้น แทนที่จะดูแต่รายการกับจำนวน เช่น เบอร์ของสินค้า ว่าเป็นแบตเตอรี่ ขนาด AA หรือ AAA รวมทั้งขยายผลไปยังของอื่นที่ต้องตรวจสอบสเปคด้วย เช่น เบอร์ รหัส รุ่น หน่วยวัด เป็นต้น จดราคาสินค้าที่ซื้อมาเก็บไว้เป็นมาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบในการซื้อครั้งต่อไป เพื่อจะได้เตรียมงบประมาณให้เหมาะสม

1.7 เครื่องมือที่ใช้ในการปรับปรุง



	ขั้นตอนการปรับปรุง	เครื่องมือคุณภาพที่ใช้
D	-การวิเคราะห์สาเหตุและ แนวทางการแก้ไข	GRAPH, PARETO, HISTOGRAM CAUSE AND EFFECT DIAGRAM, SCATTER DIAGRAM
C	-การติดตามผลการแก้ไข -การสรุปผลการแก้ไข	CHECK SHEET, GRAPH, HISTOGRAM CONTROL CHART, PARETO
A	-การกำหนดมาตรฐาน	CHECK SHEET, CONTROL CHART

บทที่ 2 การควบคุมคุณภาพด้วยเครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด

2.1 ใบตรวจสอบ (Check Sheet)

ความหมายของใบตรวจสอบ

ใบตรวจสอบ คือ แบบฟอร์มสำหรับบันทึกข้อมูลที่ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษ เพื่อใช้ในการบันทึกข้อมูลได้ง่าย และสะดวก ถูกต้อง ไม่ยุ่งยาก ในการออกแบบฟอร์มทุกครั้งต้องมีวัตถุประสงค์ที่ชัดเจน และต้องสามารถตีความหมายผลการบันทึกได้ทันทีที่กรอกแบบฟอร์มเสร็จ สามารถแบ่งใบตรวจสอบออกเป็น 3 ประเภทตามลักษณะของข้อมูล คือ ใบตรวจสอบสำหรับบันทึกของเสีย ใบตรวจสอบแสดงสาเหตุของความบกพร่อง และใบตรวจสอบสำหรับหาตำแหน่งจุดบกพร่อง

ตัวอย่าง ใบตรวจสอบสำหรับบันทึกของเสีย

สินค้า.....

ขั้นตอนการผลิต : ตรวจสอบขั้นสุดท้าย

ชนิดของความบกพร่อง ตำแหน่งที่ผิวชิ้นงาน รอยแตก

ผิวดำไม่เต็มชิ้น รูปร่างบิดเบี้ยว

จำนวนชิ้นงานที่ตรวจสอบ : 1525

หมายเหตุ ตรวจสอบทุกชิ้น

วันที่.....

แผนก.....

ชื่อผู้ตรวจสอบ.....

สถานที่.....

ใบสั่งเลขที่.....

ชนิดของความบกพร่อง		ผลรวมแต่ละ ชนิดของความบกพร่อง
ตำแหน่งที่ผิวชิ้นงาน	///	17
รอยแตก	///	11
ผิวดำไม่เต็มชิ้น	///	26
รูปร่างบิดเบี้ยว	///	3
อื่นๆ	///	5
	รวมจำนวนความบกพร่อง	62 จุดบกพร่อง
จำนวนชิ้นงานที่เป็น ของเสีย	///	42 ชิ้น

รูปที่ 2.1 ใบตรวจสอบ (Check Sheet)

ตัวอย่าง ใบตรวจสอบแสดงสาเหตุของความบกพร่อง

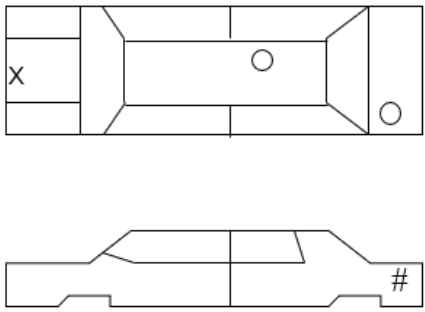
เครื่องจักร	ชื่อพนักงาน	จันทร์		อังคาร		พุธ		พฤหัสบดี		ศุกร์		เสาร์	
		เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย	เช้า	บ่าย
เครื่องจักรที่ 1	นาย ก	○○	○	○○○	○	○○○	○○○	○○○	○	○○○	○○	○	
		×	×		×	×	×	×	×				×
		●				●		●					●
	นาย ข	○	○○○	○○○	○○○	○○○	○○○	○○○	○○○	○○	○○○	○○	○○○
		×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×
		●	●			●	●		●●	●			●

○ รอยขีดข่วนผิวงาน

× ฟองอากาศ

● งานผิดปกติ

ตัวอย่าง ใบตรวจสอบสำหรับหาตำแหน่งจุดบกพร่อง

ชนิดของรถ	สถานที่ตรวจสอบ	เวลาการตรวจสอบ	จำนวนที่ตรวจสอบ	สัญลักษณ์
กระบวนการ	วิธีการตรวจสอบ	วิธีการสุ่ม	ผู้ตรวจสอบ	○ ตำแหน่งที่สี X มีสิ่งเจือปน # อื่นๆ
				หมายเหตุ
				

ขั้นตอนการออกแบบแผ่นตรวจสอบ

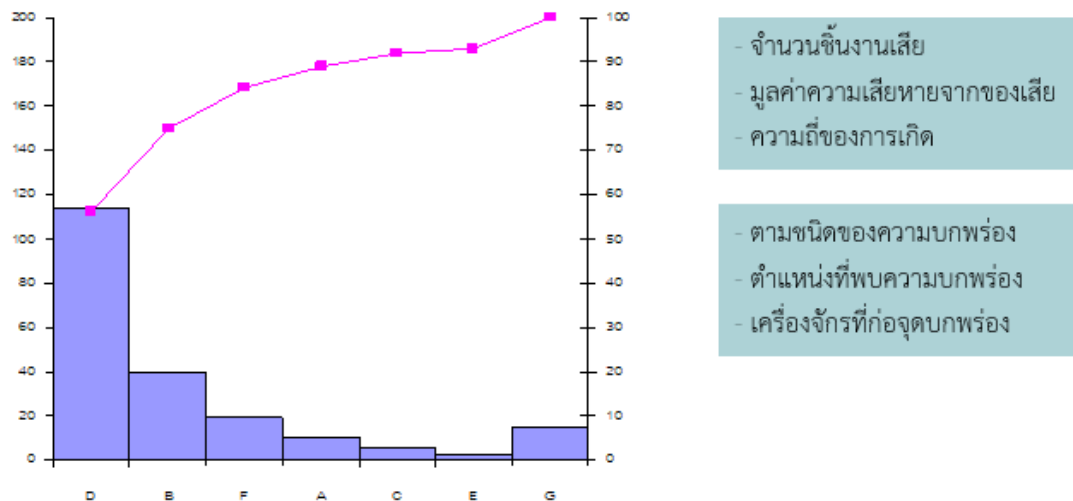
1. ต้องกำหนดวัตถุประสงค์ ตั้งชื่อ ของแผ่นตรวจสอบ
2. กำหนดปัจจัย (4M)
3. ทดลองออกแบบ กำหนดสัญลักษณ์
4. ทดลองนำไปใช้เก็บข้อมูล
5. ปรับปรุงแก้ไข ทดลองเก็บ
6. กำหนดการใช้แผ่นตรวจสอบ (5W 1H)
7. นำข้อมูลมาวิเคราะห์และสรุป
8. แบบฟอร์มข้อมูลดิบ และแบบฟอร์มสรุป

ข้อควรจำในการออกแบบแผ่นตรวจสอบ

1. ต้องมีวัตถุประสงค์ในการใช้แผ่นตรวจสอบ
2. กรอกข้อมูลสะดวก ง่ายต่อการบันทึก
3. ยังมีการเขียนหรือคัดลอกมากเท่าใด โอกาสผิดมากเท่านั้น
4. สะดวกต่อการอ่านค่าหรือใช้ในการวิเคราะห์
5. ต้องพอสรุปผลได้ทันทีที่กรอกข้อมูลเสร็จ
6. ก่อนใช้แผ่นตรวจสอบจริงผู้ออกควรทดลองเก็บข้อมูลก่อนใช้จริง
7. มีการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

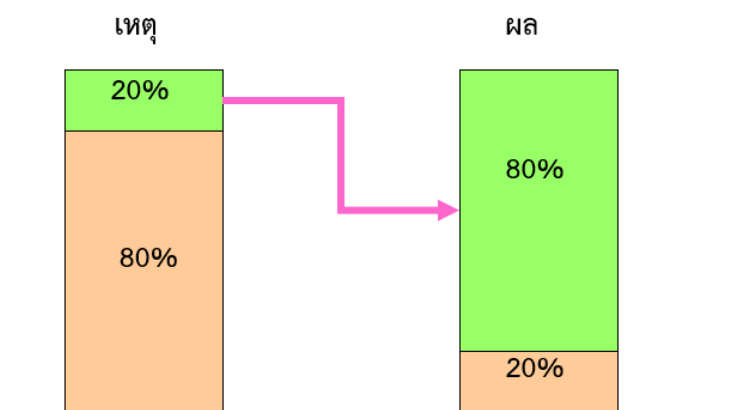
2.2 แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram)

แผนภาพพาเรโต เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุของความบกพร่อง กับ ปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น มักใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของปัญหา



รูปที่ 2.2 แผนภาพพาเรโต

การวิเคราะห์แบบ พาเรโต มีแนวคิดที่ว่า จำนวนสาเหตุน้อยแต่มีมูลค่าความสูญเสียมาก จำนวนสาเหตุมากแต่มีมูลค่าความสูญเสียน้อย



รูปที่ 2.3 การวิเคราะห์แบบพาเรโต

ประโยชน์ของผังพาเรโต

1. สามารถบ่งชี้ให้เห็นว่าหัวข้อใดเป็นปัญหามากที่สุด
2. สามารถเข้าใจลำดับความสำคัญมากน้อยของปัญหาได้ทันที
3. สามารถเข้าใจว่าแต่ละหัวข้อมีอัตราส่วนเป็นเท่าใดในส่วนทั้งหมด
4. เนื่องจากใช้กราฟแท่งบ่งชี้ขนาดของปัญหา ทำให้โน้มน้าวจิตใจได้ดี
5. ไม่ต้องใช้การคำนวณที่ยุ่งยาก ก็สามารถจัดทำได้
6. สามารถใช้ในเปรียบเทียบผลได้
7. ใช้สำหรับการตั้งเป้าหมาย ทั้งตัวเลขและปัญหา

ขั้นตอนการสร้างผังพาเรโต

1. ตัดสินใจว่าจะศึกษาปัญหาอะไร และต้องการเก็บข้อมูลชนิดไหน
2. กำหนดวิธีการเก็บข้อมูลและช่วงเวลาที่ จะทำการเก็บ
3. ออกแบบแผ่นบันทึก
4. นำไปเก็บข้อมูล
5. นำข้อมูลมาสรุปจัดเรียงลำดับ

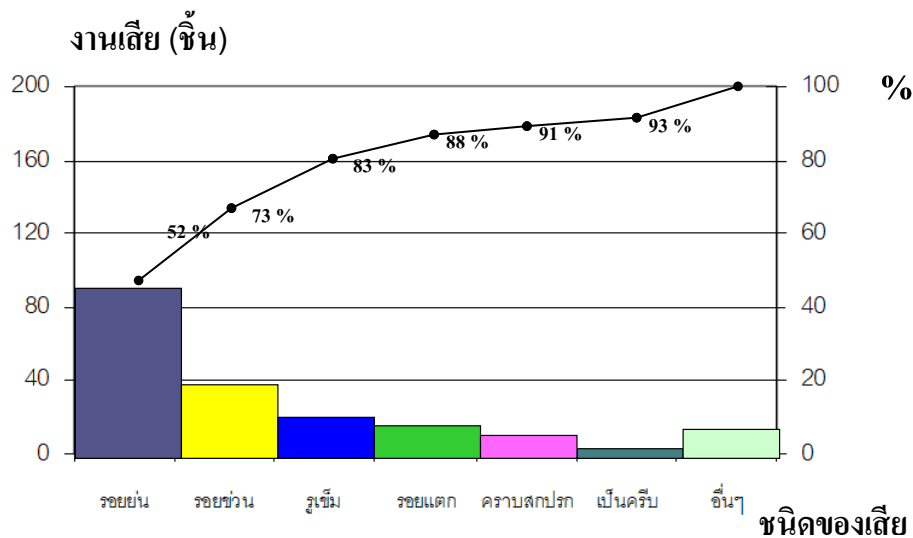
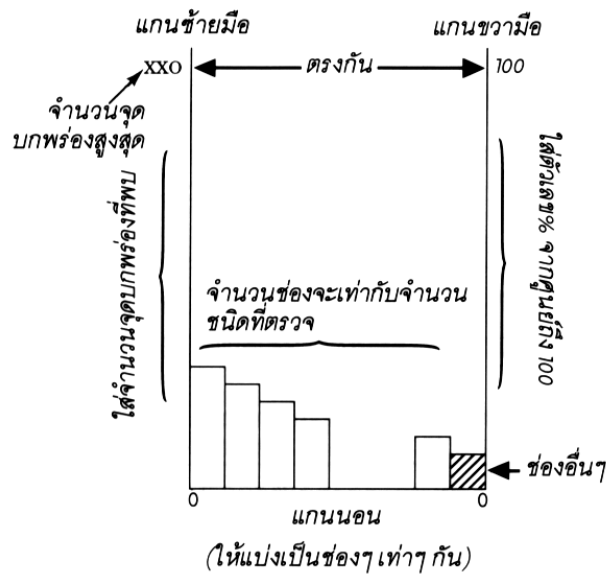
ลำดับจำนวนของเสีย		จำนวน(ชิ้น)	สะสม	% สะสม
1.	รอยย่น	104	104	52%
2.	รอยข่วน	42	146	73%
3.	รูเข็ม	20	166	83%
4.	รอยแตก	10	176	88%
5.	คราบสกปรก	6	182	91%
6.	เป็นครีป	4	186	93%
7.	อื่นๆ	14	200	100%
รวมของเสีย		200		

104 + 42

166/200

6. เขียนผังพาเรโต เขียนกรอบของแผ่นกราฟให้มีแกนตั้งสองแกน แกนนอนหนึ่งแกน

- แกนตั้งซ้ายมือให้แบ่งสเกลเท่า ๆ กัน โดยให้สเกลสูงสุดเท่ากับจุดบกพร่องที่ตรวจพบ
- แกนตั้งขวามือแบ่งสเกลเป็น 0 – 100% โดยให้จำนวน 100% ตรงกับค่าสูงสุดของแกนตั้งซ้ายมือ
- แกนนอน ให้แบ่งสเกลเท่า ๆ กัน ตามชนิดของข้อบกพร่องที่ทำการตรวจ และช่องสุดท้ายต้องเป็นช่องสำหรับอื่น ๆ เสมอ

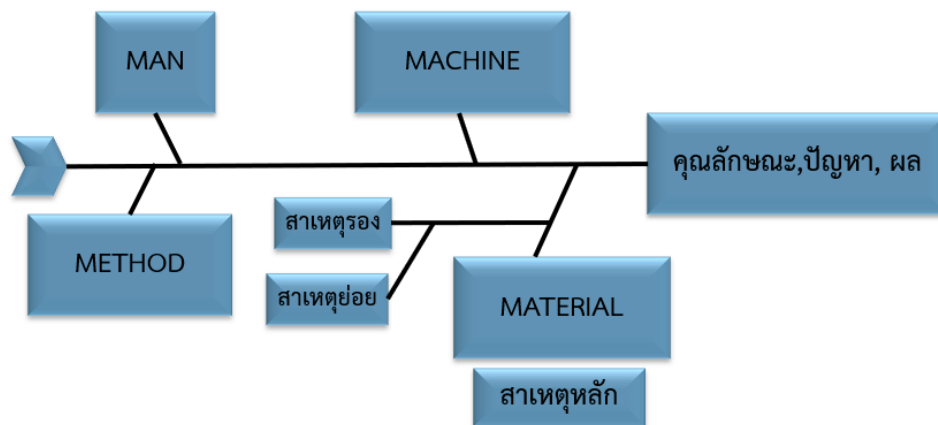


รูปที่ 2.4 เขียนผังพาเรโต

จากการตรวจสอบ Model : ABC แผนกผลิต ประจำเดือน ตุลาคม จำนวน 5,000 ชิ้น พบชิ้นงานเสีย 200 ชิ้น คิดเป็น 4%

1. ผังแสดงเหตุและผล (CAUSE AND EFFECT DIAGRAM)

ผังแสดงเหตุและผล (CAUSE AND EFFECT DIAGRAM) คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของปัญหา (ผล) กับปัจจัยต่าง ๆ (สาเหตุ) ที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ 2.5 ผังแสดงเหตุและผล

ผังแสดงเหตุและผลทำเพื่ออะไร

- ผังแสดงเหตุและผล ใช้จัดกลุ่มสาเหตุของปัญหา ไม่ได้ทำเพื่อหาสาเหตุ เครื่องมือที่ทำเพื่อหาสาเหตุ คือ การระดมสมอง (Brainstorm)
- ผังแสดงเหตุและผล ใช้สำหรับสร้างความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล
- ผังแสดงเหตุและผล ใช้กับปัญหาชนิดใดก็ได้

ทำไมต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ

- เป็นการแก้ปัญหาระยะยาว
- การหาสาเหตุต้องใช้การวิเคราะห์
- เพื่อให้ได้สาเหตุที่ถูกต้อง(คนส่วนใหญ่ชอบคาดเดาสาเหตุ)

- เพื่อการปรับปรุงงาน
- เพื่อการแก้ปัญหาเป็นไปอย่างมีหลักการและการป้องกันการเกิดซ้ำ

การวิเคราะห์คืออะไร

- การแบ่ง การจำแนกแยกแยะ
- การแบ่งเป็นแนวคิดทางวิทยาศาสตร์
- เป็นการแก้ปัญหาแบบวิทยาศาสตร์
- การแบ่งที่ดีต้องเริ่มจากใหญ่ไปหาเล็ก

แล้วจะวิเคราะห์อะไรเพื่อหาสาเหตุ

- อาการของปัญหาเป็นผลที่แน่นอนของสาเหตุ
- อาการยิ่งมากยิ่งหาสาเหตุง่าย
- เปรียบเหมือนกับการวินิจฉัยอาการของแพทย์

อาการหาได้จากที่ไหน

1. หากจาก 3 จริง สังเกตด้วยตา หรือประสาทสัมผัสทั้ง 5

ของจริง	Genbutsu
สถานที่จริง	Genba
เงื่อนไขหรือเหตุการณ์จริง	Genjitsu

2. หาจากข้อมูล ตัวเลข สารสนเทศ มาจาก ใบตรวจสอบ ตาราง กราฟ

โครงสร้างผังแสดงเหตุและผล

- ปัญหาจะเป็นส่วนของหัวปลา
- ส่วนก้างคือสิ่งที่ก่อให้เกิดปัญหา
- ก้างย่อยจะเกิดก่อนก้างหลัก
- ตัวก้างต้องวิ่งชี้เข้าหากระดูกสันหลังเพราะเป็นแกนกลางของปัญหา

ใส่อะไรบ้างลงในผังแสดงเหตุและผล

- Cause สมมติฐานสาเหตุ
- Factor ปัจจัยที่มีผลต่อปัญหา
- Condition เงื่อนไขสิ่งที่จำเป็นต้องมี, หลีกเลี่ยงไม่ได้
- Controllable ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้
- Noise สาเหตุเล็ก ๆ น้อย ๆ ที่มีผลต่อปัญหาน้อยและมีมากมายหลายตัว

ขั้นตอนการสร้างผังแสดงเหตุและผล

1. ชี้ลักษณะคุณภาพที่เป็นปัญหาออกมาให้ชัดเจน
กำหนดปัญหา หรือ อาการที่จะต้องหาสาเหตุ อย่างชัดเจน



ฝ่ายบริการลูกค้าได้รับข้อร้องเรียนมากมาย



จำนวนลูกค้าที่ร้องเรียนเกี่ยวกับการจองตั๋วเครื่องบินแล้วที่นั่งซ้ำกันเพิ่มเป็น 3 เท่า เมื่อปีที่แล้ว

แหล่งที่มาของหัวข้อปัญหา / ปรับปรุง

การควบคุมคุณภาพ : ผู้ขาย, การวัดผล, การร้องเรียน

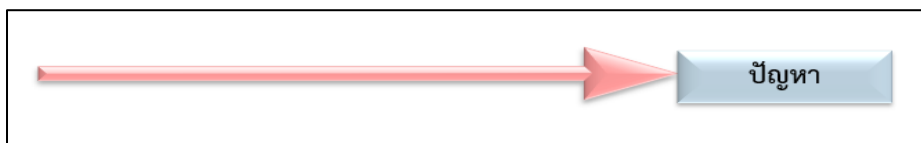
ต้นทุน : ต้นทุนในกระบวนการ แรงงาน ผลกำไร ค่าล่วงเวลา การตลาด

การส่งมอบ : จำนวนสินค้าที่ส่งมอบ, จำนวนสต็อก, ส่งช้า

ความปลอดภัย : จำนวนอุบัติเหตุ, อุบัติเหตุที่เกิดขึ้น

ขวัญ / กำลังใจ : อัตราการเข้าออก, ลาหยุด หรือข้อเสนอแนะ

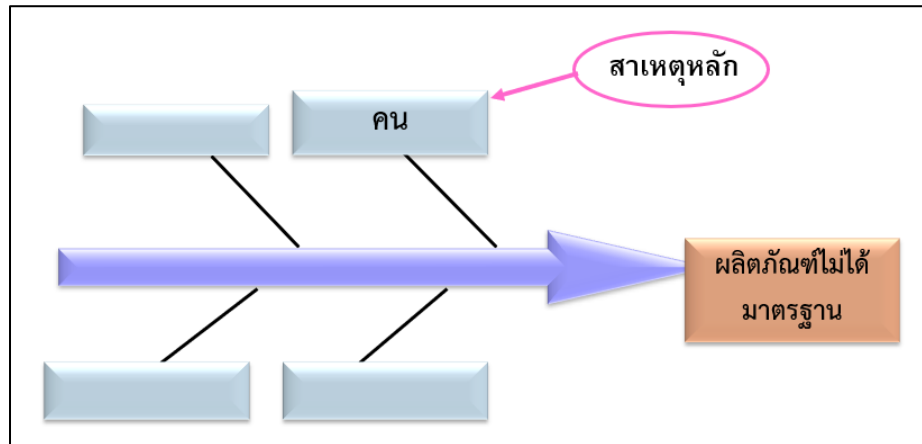
2. ด้านขวาสุดเขียนปัญหาหรือความผิดพลาด ลากเส้นจากซ้ายไปขวามาที่กรอบหรือตัวปัญหา
เขียนปัญหาให้อยู่ในช่องสี่เหลี่ยมด้านขวามือแล้ว ลากลูกศรชี้มาที่ผล ดังรูป



3. ระดมสมองหาสาเหตุที่น่าจะเป็นไปได้ (ถ้านึกไม่ออกให้ใช้ 5 M's (คน, เครื่องจักร, วัตถุดิบ, วิธีการ, การวัด) และ 4 W's (What , Why , When , Where) แล้วถามเสมอว่า “ทำไมจึงเกิดขึ้น”, “ทำไมจึงเกิดขึ้น” จนกว่าจะหมดความคิดแล้ว

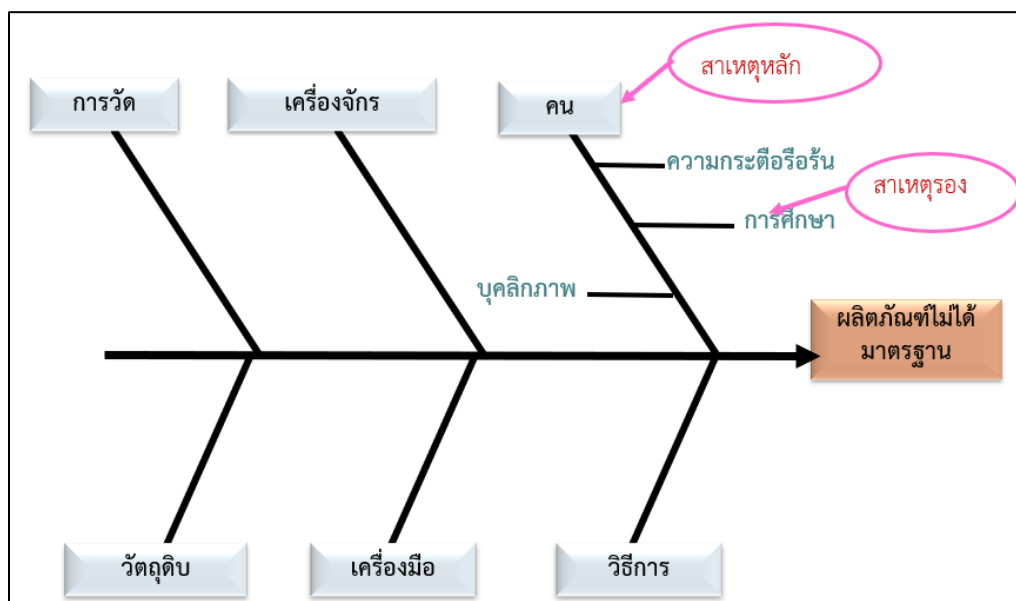
4. เขียนสาเหตุหลักของปัญหาที่เกิดขึ้น

เขียนสาเหตุหลักที่น่าจะเป็นไปได้ (3 ถึง 6 สาเหตุ) ลงในช่องสี่เหลี่ยมแล้วลากเส้นมายังเส้นกลาง ดังรูป

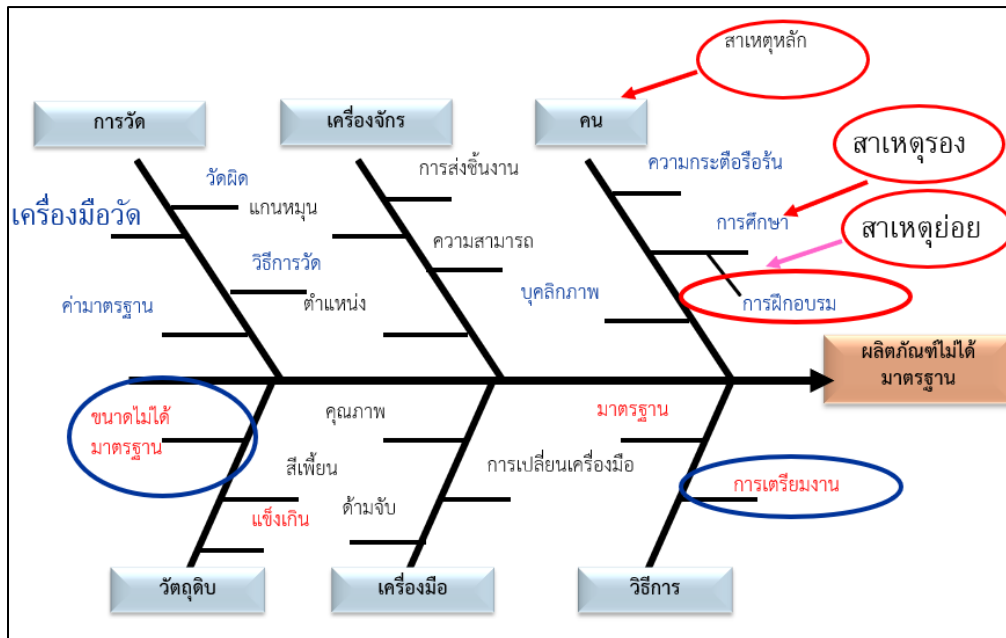


5. เขียนสาเหตุรองและสาเหตุย่อย ๆ ลงไป ที่ส่งผลต่อ ๆ กันไป

เขียนสาเหตุรองโดยลากเส้นต่อจากเส้นสาเหตุ หลักแล้วเขียนสาเหตุที่ปลายเส้น ดังรูป



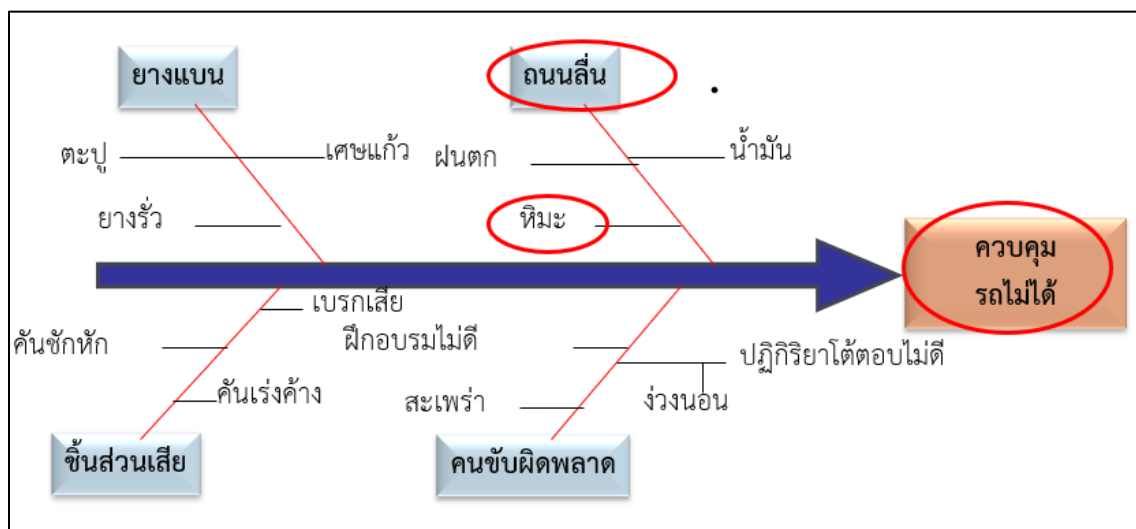
6. เขียนสาเหตุย่อยโดยลากเส้นต่อจากเส้นสาเหตุตรง



7. เติมหัวข้อที่เกี่ยวข้องลงไป เช่น ชื่อผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนการผลิต วัน เดือน ปี ชื่อผู้ระดมสมอง

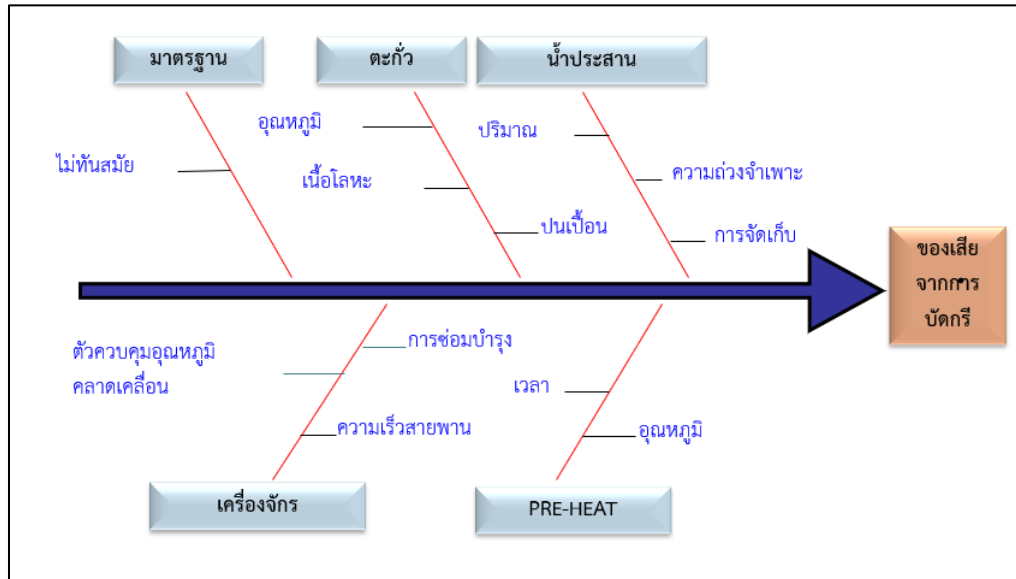
การอ่านผังแสดงเหตุและผล

1. “หิมะตกทำให้ถนนลื่น ถนนลื่นทำให้ควบคุมรถไม่ได้”
2. “ควบคุมรถไม่ได้เนื่องจากถนนลื่น ถนนลื่นเนื่องจากหิมะตก”



ตัวอย่าง

การลดของเสียจากกระบวนการบัดกรีแผ่น Printed Circuit Board (PCB)



กระบวนการเปลี่ยนปัญหาไปหาสาเหตุ

- สังเกตการณ์รายละเอียดของปัญหาอาการที่เกิดขึ้นโดยการใช้
 - หลักการ 3 จริง (สถานที่จริง)
 - 4 W+1H
 - ข้อมูลจากรายงานการทำงานในสถานที่ทำงาน
- ทำการวิเคราะห์แยกแยะอาการปัญหาเพื่อหาสาเหตุโดยการใช้
 - การระดมสมองหาสาเหตุ
- ทำการพิจารณาหาความแตกต่างของสาเหตุหรือปัจจัยโดยพิจารณา
 - อะไรคือความแตกต่าง
 - ความแตกต่างเป็นความแตกต่างที่ปกติหรือไม่
 - ทำไมจึงเกิดความแตกต่าง
- ทำการพิสูจน์สาเหตุเพื่อกำหนดให้เป็นสาเหตุที่แท้จริงหรือไม่โดยการทดลอง
 - เหตุเปลี่ยนแล้ว ผล (อาการปัญหา) เปลี่ยนหรือไม่

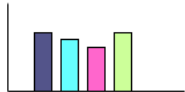
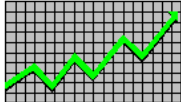
การกรองสาเหตุหรือคัดเลือกสาเหตุเพื่อนำไปแก้ไข

- อ่านทวนความสอดคล้องของเหตุและผล
- สอบถามความคิดเห็นจากสมาชิก
- พิสูจน์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Scatter Diagram, Graph, Histogram)
- พิสูจน์โดยใช้สถิติเชิงอนุมาน (Test Hypothesis, ANOVA)

2.4 กราฟ (Graphs)

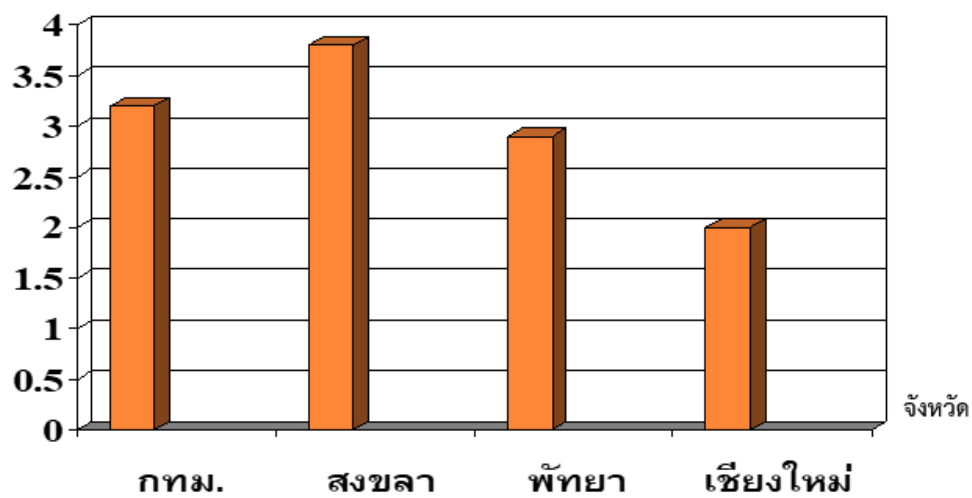
กราฟ คือ แผนภาพที่แสดงถึงตัวเลข หรือข้อมูลทางสถิติ ที่ใช้เมื่อต้องการนำเสนอข้อมูล และวิเคราะห์ผลของข้อมูลดังกล่าว เพื่อให้ง่ายและรวดเร็วต่อการทำความเข้าใจ ใช้เพื่อ

1. อธิบาย เช่น จำนวนของเสีย ผลการผลิต ยอดขาย เป็นต้น
2. วิเคราะห์ เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลในอดีต เทียบกับปัจจุบัน
3. ควบคุม เช่น ระดับการผลิต ยอดขาย อัตราของเสีย น้ำหนัก อุณหภูมิ เป็นต้น
4. วางแผน เช่น แผนการผลิต
5. ประกอบเครื่องมืออื่น เช่น ผังควบคุม ฮีสโตแกรม

	วัตถุประสงค์	ลักษณะ
 กราฟแท่ง	เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางปริมาณ	1. ทุกแท่งมีความกว้างเท่ากัน 2. ความยาวของแต่ละแท่งขึ้นกับจำนวนที่เปรียบเทียบ
 กราฟเส้น	ดูการเปลี่ยนแปลงเมื่อ เวลา หรือ สถานการณ์เปลี่ยน	ความสูง/ต่ำ ของเส้นกราฟ ขึ้นกับปริมาณจำนวนที่เก็บข้อมูลได้
 กราฟเรดาร์	แสดงภาพรวมทั้งหมดของสิ่งที่สนใจ ศึกษา กับปริมาณที่เกิดขึ้นจริง	กำหนดหัวข้อที่วัดค่าได้ แล้วแสดงค่าในแต่ละเรื่อง จะช่วยให้มองเห็นภาพรวมและเข้าใจได้ง่ายขึ้น
 กราฟวงกลม	แสดงสัดส่วนของสิ่งที่ต่างกัน	เป็นภาพวงกลมแยกเป็นสัดส่วนตามปริมาณที่เกิดขึ้นในแต่ละเรื่อง ช่วยให้เข้าใจความสัมพันธ์ของสัดส่วนได้ง่ายขึ้น
 กราฟเข็มขัด	แสดงสัดส่วนของสิ่งที่ต่างกัน	เป็นเส้นเข็มขัด หรือคล้ายกราฟแท่งแนวนอน แต่แยกเป็นสัดส่วนตามปริมาณที่เกิดขึ้นในแต่ละเรื่อง ช่วยให้เข้าใจความสัมพันธ์ของสัดส่วนได้ง่ายขึ้น

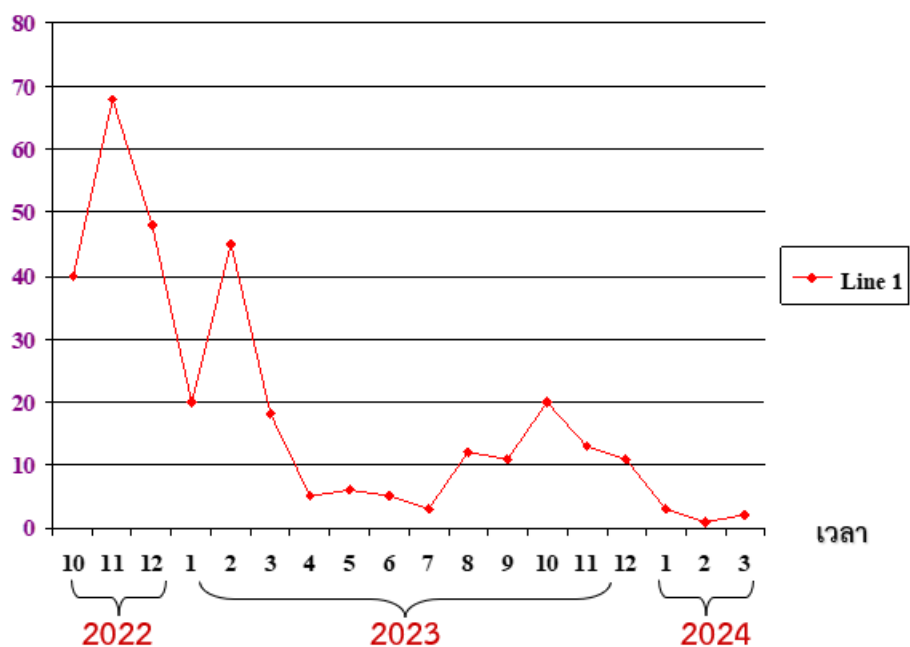
ตัวอย่าง กราฟแท่งแสดงความพึงพอใจของลูกค้า

จำนวนลูกค้าที่ไม่พึงพอใจ

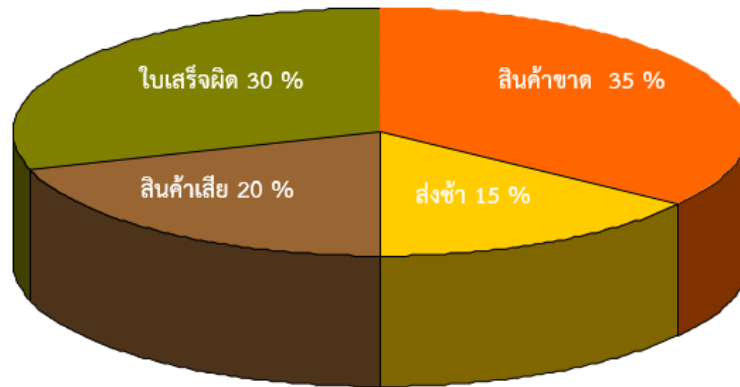


ตัวอย่าง กราฟเส้นแสดงปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน

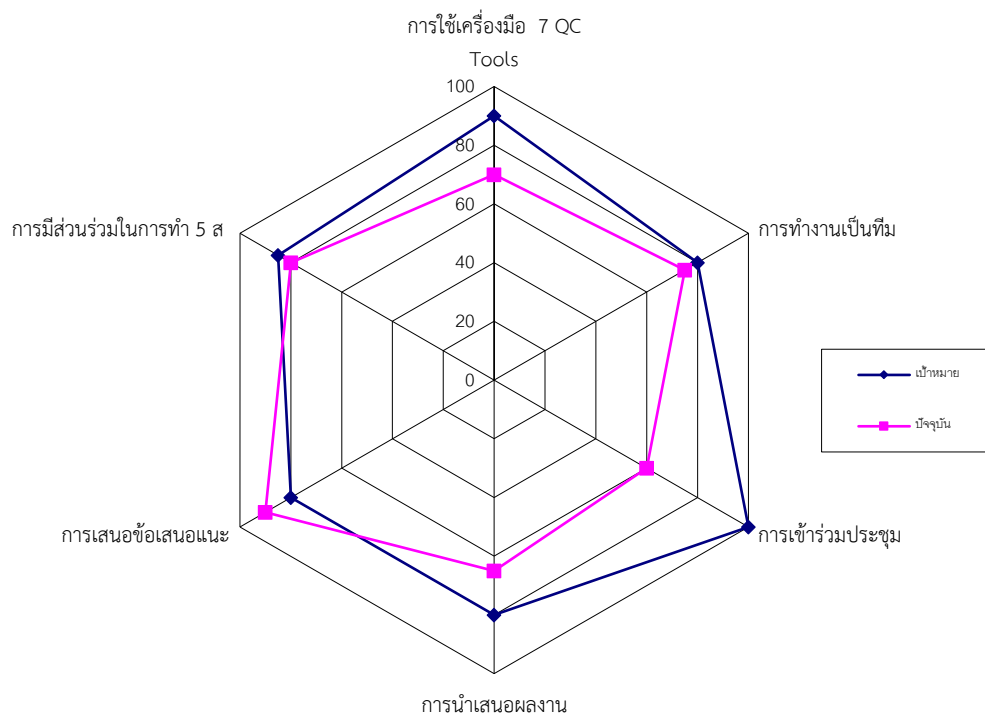
จำนวน (ชิ้น)



ตัวอย่าง กราฟวงกลมแสดงสัดส่วนของเรื่องที่ลูกค้าร้องเรียน



ตัวอย่าง กราฟเรดาร์แสดงการประเมินผลงานกิจกรรมคุณภาพ



2.5 ผังการกระจาย (SCATTER DIAGRAM)

ผังการกระจาย คือ ผังที่ใช้แสดงค่าของข้อมูลที่เกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรสองตัว ว่ามีแนวโน้มไปในทางใด เพื่อที่จะใช้หาความสัมพันธ์ที่แท้จริง

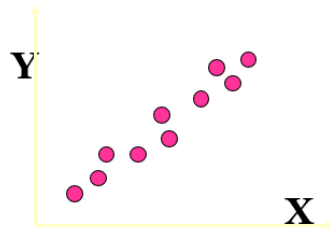
ควรเลือกใช้ผังการกระจายเมื่อไร

1. เมื่อต้องการจะบ่งชี้ สาเหตุที่แท้จริงของปัญหา
 - ค่าความเหนียวของเหล็กจะมากหรือน้อย มีสาเหตุมาจากปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็ก หรือจากรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นบนผิวเนื้อเหล็ก
2. เมื่อต้องการจะตัดสินใจว่า ผลกระทบ 2 ตัว ซึ่งมีความสัมพันธ์กันอยู่ มีปัญหาที่เกิดจากสาเหตุเดียวกัน
 - ค่าความเหนียวของเหล็กจะมากหรือน้อย เกิดจากสาเหตุปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็ก
 - ค่าความแข็งของเหล็กจะมากหรือน้อย เกิดจากสาเหตุปริมาณคาร์บอนในเนื้อเหล็ก
3. เมื่อต้องการใช้เป็นแนวทางตัดสินใจว่า ในผังก้างปลาที่ได้จากการระดมสมองนั้น มีสาเหตุใด (ก้างปลาใด) ที่มีความสัมพันธ์ต่อผลกระทบ (หัวปลา)
 - อัตราการขาดงานของคนงาน เป็นสาเหตุทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่บกพร่องมีจำนวนมากขึ้น
4. เมื่อต้องการใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลหรือตัวแปร 2 ตัว ที่เราสนใจศึกษาว่า จะมีความสัมพันธ์กันหรือไม่อย่างไร
 - ส่วนสูงมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักหรือไม่

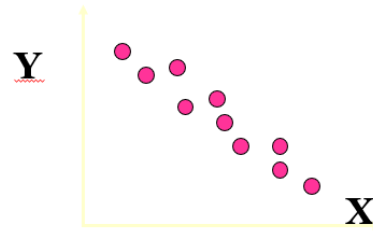
การตีความหมายแผนภาพการกระจาย

การตีความหมายแผนภาพการกระจายตามตัวแบบของข้อมูล ตัวอย่างของตัวแบบต่าง ๆ มีดังนี้

- ถ้า X ถูกควบคุม Y จะถูกควบคุมโดยธรรมชาติ ทำให้ค่า X และ Y มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเป็นไปได้ทั้งความสัมพันธ์ในทิศทางเดียว คือ ค่า X เพิ่มขึ้น ค่า Y จะเพิ่มตาม และความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม คือ ค่า X เพิ่มขึ้น ค่า Y จะลดลง ดังรูป

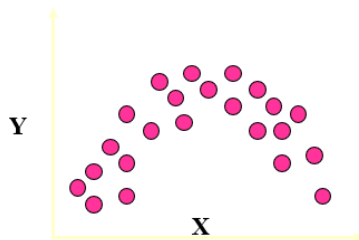


สัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน

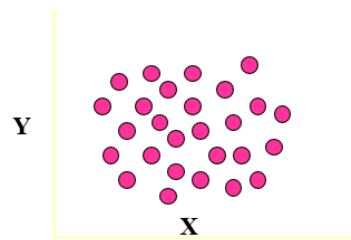


สัมพันธ์ในทิศทางตรงข้าม

- ทุกหน่วย X ที่เปลี่ยนจะทำให้ Y เปลี่ยนแปลงไม่เท่ากัน จะส่งผลให้ เมื่อค่า X เพิ่ม ค่า Y จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ทำให้เกิดความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง หรือ ค่า X และ ค่า Y ไม่เปลี่ยนแปลงตามกัน ซึ่งเรียกว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน ดังรูป



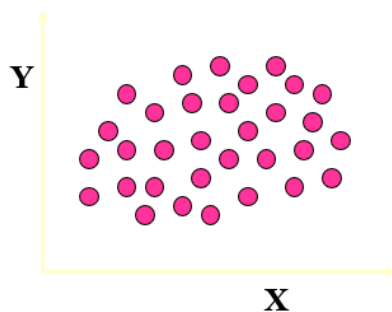
สัมพันธ์แบบไม่ใช่เส้นตรง



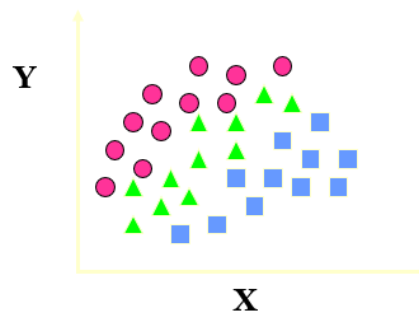
ไม่สัมพันธ์กัน

ข้อควรระวังในการประยุกต์ใช้แผนภาพการกระจาย

การจำแนกประเภทของข้อมูล ผู้วิเคราะห์มีความจำเป็นต้อง พิจารณาว่าข้อมูลมาจากคนละแหล่งที่มีความแตกต่างกันหรือไม่ หรือข้อมูลถูกแยกประเภทแล้วหรือไม่ ถ้าแตกต่างกันหรือไม่ถูกแยกประเภทอย่างถูกต้อง อาจตีความผิดพลาดได้ ดังรูป



ข้อมูลไม่จำแนกประเภท



ข้อมูลจำแนกประเภท

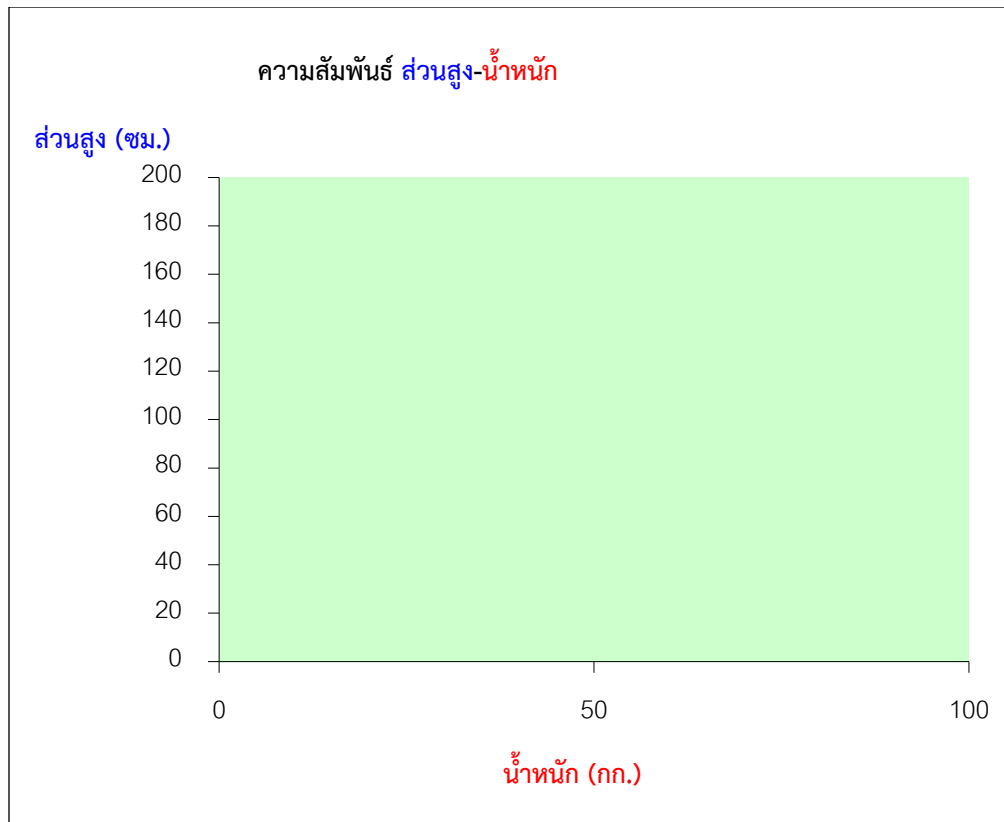
การสร้างผังการกระจาย

ในการเก็บข้อมูล หรือตัวแปร (x ,y) เพื่อให้สามารถนำมาวิเคราะห์ค่าได้ควรจัดเก็บข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อย 30 คู่ โดยสามารถออกแบบการจัดเก็บข้อมูลเป็นรูปแบบตารางก่อนแล้วนำไปเขียนกราฟ หรือนำเป็นรูปแบบกราฟที่พล็อตข้อมูลได้เลย (ถ้าทราบค่าสูงสุด/ต่ำสุดของตัวแปร)

ตัวอย่าง แผ่นบันทึกรูปแบบตาราง

ลำดับ ที่	ส่วนสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ลำดับ ที่	ส่วนสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	ลำดับ ที่	ส่วนสูง (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)
1			11			21		
2			12			22		
3			13			23		
4			14			24		
5			15			25		
6			16			26		
7			17			27		
8			18			28		
9			19			29		
10			20			30		

ตัวอย่าง แผ่นบันทึกรูปแบบกราฟ



การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และ Y

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ค่า r) คือ ค่าที่ใช้บ่งบอกดัชนีของความสัมพันธ์ของตัวแปร X และ Y ว่ามีความสัมพันธ์กันในทิศทางใด ซึ่งค่า r จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 โดยที่

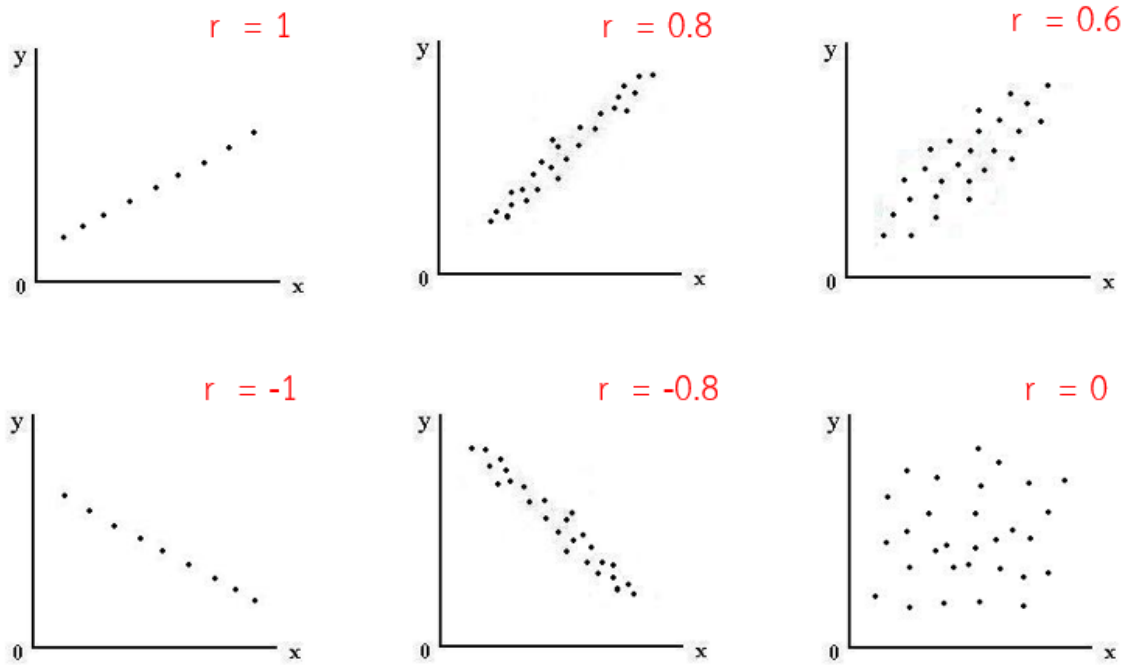
ค่า $r = 1$ ค่าสหสัมพันธ์เป็น +

ค่า $r = -1$ ค่าสหสัมพันธ์เป็น -

ค่า r เข้าใกล้ 0 ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมีน้อย

อาจมีคำถามว่า r ควรมีค่าเท่าไร จึงจะเป็นที่ยอมรับว่าตัวแปรที่วิเคราะห์อยู่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งเรื่องนี้ไม่มีข้อกำหนดแน่นอน จะขึ้นอยู่กับความสำคัญและดุลยพินิจของผู้ที่กำลังศึกษาเรื่องนั้น

ตัวอย่างผังการกระจายของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ตัวแปร X และ Y



ตัวอย่าง การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร X และ Y

เมื่อกำหนดข้อมูลดังตาราง

x	y	xy	x ²	y ²	x	y	xy	x ²	y ²	x	y	xy	x ²	y ²
7.3	22	160.6	53.3	484.0	10.3	33	339.9	106.1	1089.0	4.5	6	27.0	20.3	36.0
6.4	17	108.8	41.0	289.0	7.2	18	129.6	51.8	324.0	6.1	10	61.0	37.2	100.0
6.2	9	55.8	38.4	81.0	4.9	6	29.4	24.0	36.0	9.3	27	251.1	86.5	729.0
5.5	8	44.0	30.3	64.0	6.5	16	104.0	42.3	256.0	5.9	12	70.8	34.8	144.0
6.4	12	76.8	41.0	144.0	7.1	20	142.0	50.4	400.0	6.9	15	103.5	47.6	225.0
4.7	5	23.5	22.1	25.0	9.5	30	285.0	90.3	900.0	10.2	35	357.0	104.0	1225.0
5.8	7	40.6	33.6	49.0	5.7	10	57.0	32.5	100.0	7.5	24	180.0	56.3	576.0
7.9	19	150.1	62.4	361.0	7.5	20	150.0	56.3	400.0	7.9	23	181.7	62.4	529.0
6.7	13	87.1	44.9	169.0	9.8	32	313.6	96.0	1024.0	9.4	29	272.6	88.4	841.0
9.6	29	278.4	92.2	841.0	10.1	30	303.0	102.0	900.0	5.2	8	41.6	27.0	64.0
ผลรวม										218.0	545.0	4425.5	1675.2	12405.0

$$r = \frac{\sum xy - n\bar{X}\bar{Y}}{\sqrt{(\sum x^2 - n\bar{X}^2)(\sum y^2 - n\bar{Y}^2)}}$$

$$\bar{X} = \sum x / n = 218 / 30 = 7.3$$

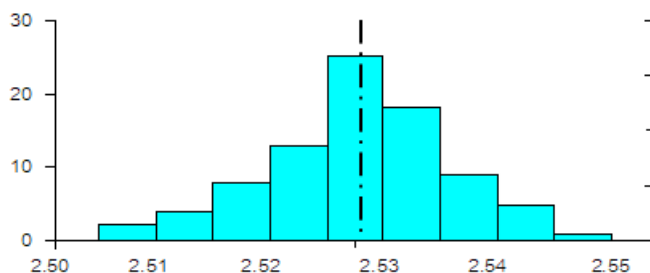
$$\bar{Y} = \sum y / n = 545 / 30 = 18.2$$

$$r = \frac{4425.5 - (30)(7.3)(18.2)}{\sqrt{[1675.2 - (30)(7.3)^2][12405.0 - (30)(18.2)^2]}}$$

$$r = 0.81 \text{ หมายถึงค่าตัวแปร } X \text{ และ } Y \text{ มีความสัมพันธ์กัน ในทางบวก}$$

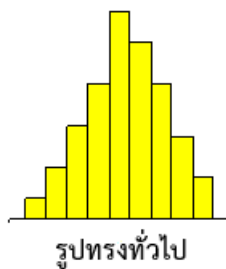
2.6 ฮิสโตแกรม (Histogram)

ฮิสโตแกรม เป็นกราฟแท่ง ที่ใช้พิจารณาความแปรปรวนของกระบวนการ โดยการสังเกตรูปร่างของฮิสโตแกรมที่สร้างขึ้นจากข้อมูลที่ได้มาโดยการสุ่มตัวอย่าง

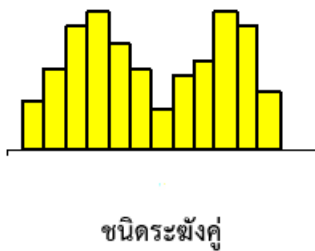


ลักษณะต่างๆ ของฮิสโตแกรม

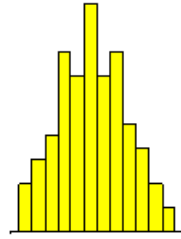
1. **แบบปกติ (Normal Distribution)** การกระจายของการผลิตเป็นไปตามปกติ ค่าเฉลี่ยส่วนใหญ่จะอยู่ตรงกลาง เหมือนระฆังคว่ำ สมมาตรทั้งซ้ายและขวา ค่าเฉลี่ยจะอยู่กึ่งกลาง เป็นรูปทรงที่มีการแจกแจงแบบปกติ



2. **แบบระฆังคู่ (Double Hump Type)** พบเมื่อนำผลิตภัณฑ์ของเครื่องจักร 2 เครื่อง/2 แบบมารวมกัน ความถี่สูง 2 ยอดห่างกัน โดยตรงกลางเป็นค่าความถี่ต่ำ เกิดจากข้อมูลที่มาจากการแจกแจง 2 ชุด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยไม่เท่ากัน อาจมาจากแหล่งข้อมูลแตกต่างกัน เช่น เครื่องจักร 2 เครื่อง วัตถุดิบ 2 รุ่น เป็นต้น

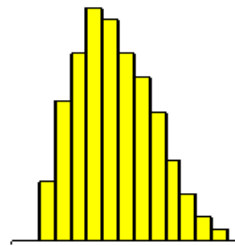


3. แบบฟันปลา (Serrated Type) พบเมื่อเครื่องมือวัดมีคุณภาพต่ำ หรือการอ่านค่ามีความแตกต่างกันไป ช่วงชั้นของข้อมูล มีความถี่มากน้อยสลับกันไป เกิดได้เมื่อจำนวนข้อมูลมีค่าไม่เท่ากันและแตกต่างกันมากระหว่างชั้นข้อมูลที่อยู่ติดกัน หรืออาจเกิดจากการปัดเศษค่าของแต่ละข้อมูล



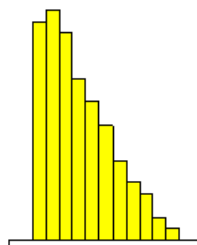
รูปทรงฟันปลา

4. แบบเบ้ขวา ค่าเฉลี่ยจะอยู่ทางซ้ายมือของรูป ค่าทางซ้ายมือจะลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนค่าทางขวาจะค่อย ๆ ลดลง เกิดจากข้อมูลที่ถูกรวบค้อมด้วยค่าขอบเขตด้านต่ำ ทำให้ข้อมูลที่ต่ำกว่าค่าขอบเขตไม่ได้รับการบันทึก ทำให้ค่าเฉลี่ยมีแนวโน้มอยู่ทางด้านค่าต่ำ (ชนิดเบ้ซ้าย จะมีคุณสมบัติคล้ายกัน แต่สัมพันธ์กับขอบเขตด้านสูง)



รูปทรงเบ้ขวา

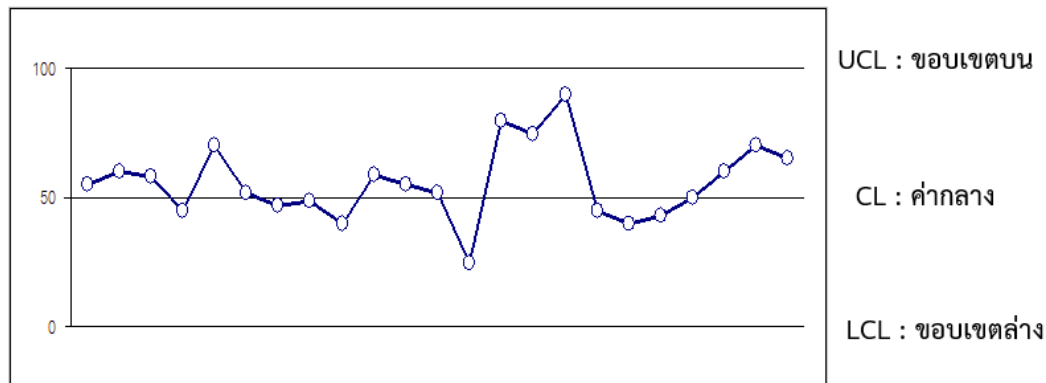
5. แบบหน้าผา (Cliff Type) พบเมื่อมีการตรวจสอบแบบ TOTAL INSPECTION เพื่อคัดของเสียออกไป คล้ายกับชนิดเบ้ขวา แต่ความถี่ของข้อมูลด้านขอบเขตต่ำจะลดลงมากกว่า ทำให้ค่าเฉลี่ยอยู่ใกล้กับค่าขอบเขตต่ำมาก จะพบได้จากข้อมูลประเภทตรวจสอบ 100% แล้วค่าส่วนใหญ่อยู่ใกล้กับค่าขอบเขตต่ำ (ชนิดหน้าผาขวามีคุณสมบัติลักษณะเดียวกัน แต่ข้อมูลส่วนใหญ่อยู่ใกล้กับขอบเขตสูง)



ชนิดหน้าผาซ้าย

2.7 แผนภูมิควบคุม (CONTROL CHART)

แผนภูมิควบคุม คือ แผนภูมิที่มีการเขียนขอบเขตที่ยอมรับได้ เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการควบคุมกระบวนการ โดยการติดตามและตรวจจับข้อมูลที่อยู่นอกขอบเขต



Control Chart แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะข้อมูล

1. ลักษณะข้อมูลต่อเนื่อง

$\bar{X}$ -R Chart ข้อมูลต่อเนื่องที่มีการจัดกลุ่ม หาพิสัยในกลุ่มได้

I-MR Chart ข้อมูลต่อเนื่องที่ไม่มีการจัดกลุ่ม หาพิสัยกลุ่มไม่ได้

2. ลักษณะข้อมูลของเสีย สัดส่วนของเสีย หรือจำนวนตำหนิ

NP Chart ข้อมูลจำนวนของเสีย เมื่อขนาดแต่ละกลุ่มเท่ากัน

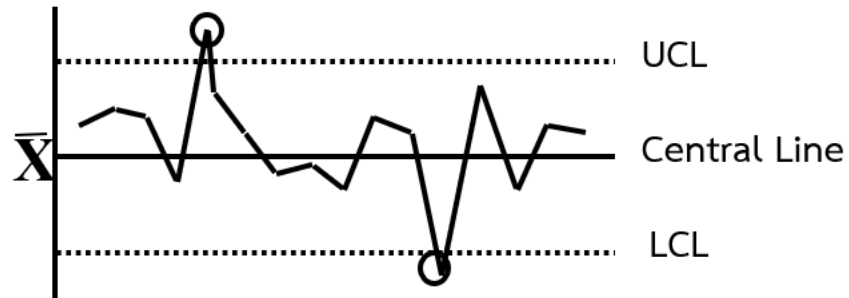
P Chart ข้อมูลสัดส่วนของเสีย เมื่อขนาดแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน

C Chart ข้อมูลจำนวนตำหนิบนผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเท่ากัน

U Chart ข้อมูลจำนวนตำหนิบนผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดไม่เท่ากัน

ลักษณะของแผนภูมิควบคุม

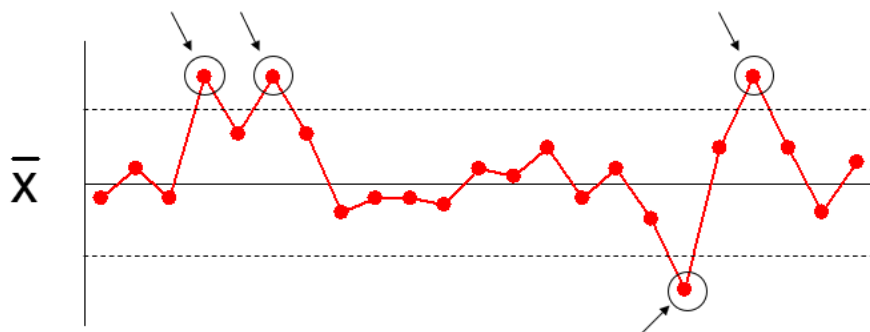
ลักษณะข้อมูลถูกกำหนดให้เป็นจุด จะเกิดปรากฏการณ์ 2 แบบ คือ จุดทุกจุดอยู่ระหว่างพิกัดควบคุม เรียกว่า “กระบวนการอยู่ใต้การควบคุม” (Under Control) หรือจุดบางจุดอยู่นอกเส้นพิกัดควบคุม เรียกว่า “กระบวนการอยู่นอกการควบคุม” (Out of Control) ดังรูป



การอ่านแผนภูมิควบคุม

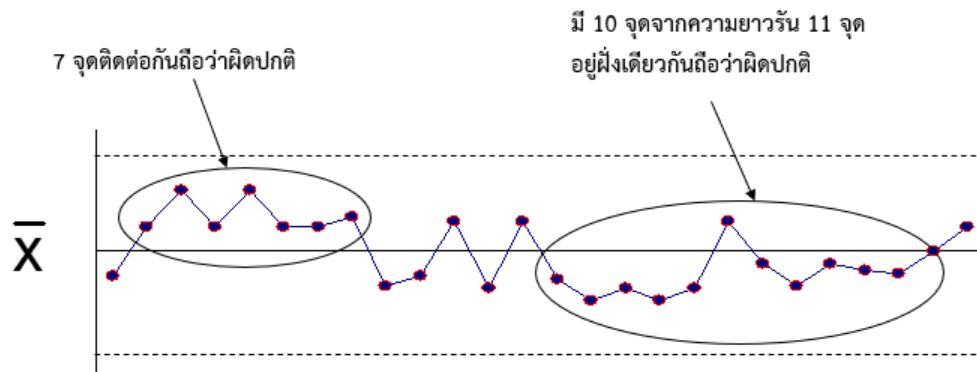
1. ข้อมูลอยู่นอกจุดควบคุม

แสดงว่า มีข้อมูลบางตัวหลุดออกนอกขอบเขตควบคุมไปแล้วอย่างชัดเจน



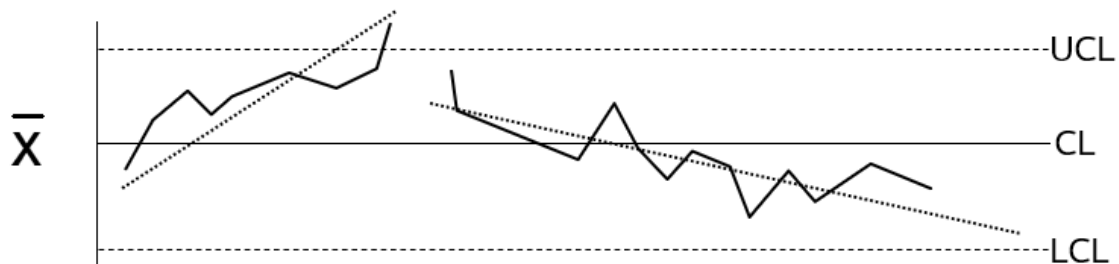
2. เกิดการรัน (RUN)

แสดงว่า ในช่วงการรันความผิดปกติเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต



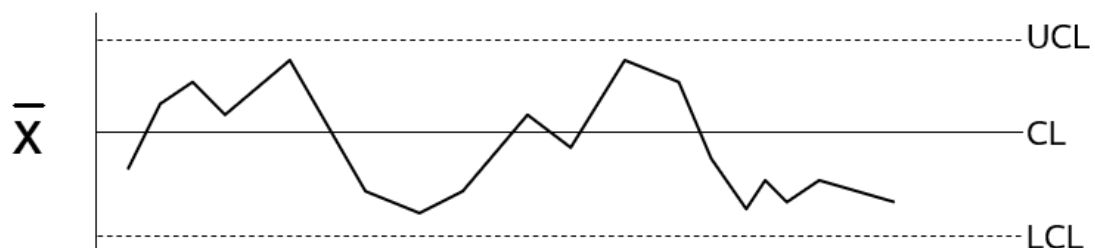
3. เกิดแนวโน้ม (TREND)

แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดที่ผลิตได้ จากกระบวนการนี้กำลังมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ออกจากที่ตั้งไว้ครั้งแรก



4. การเกิดวัฏจักร (PERIODICITY)

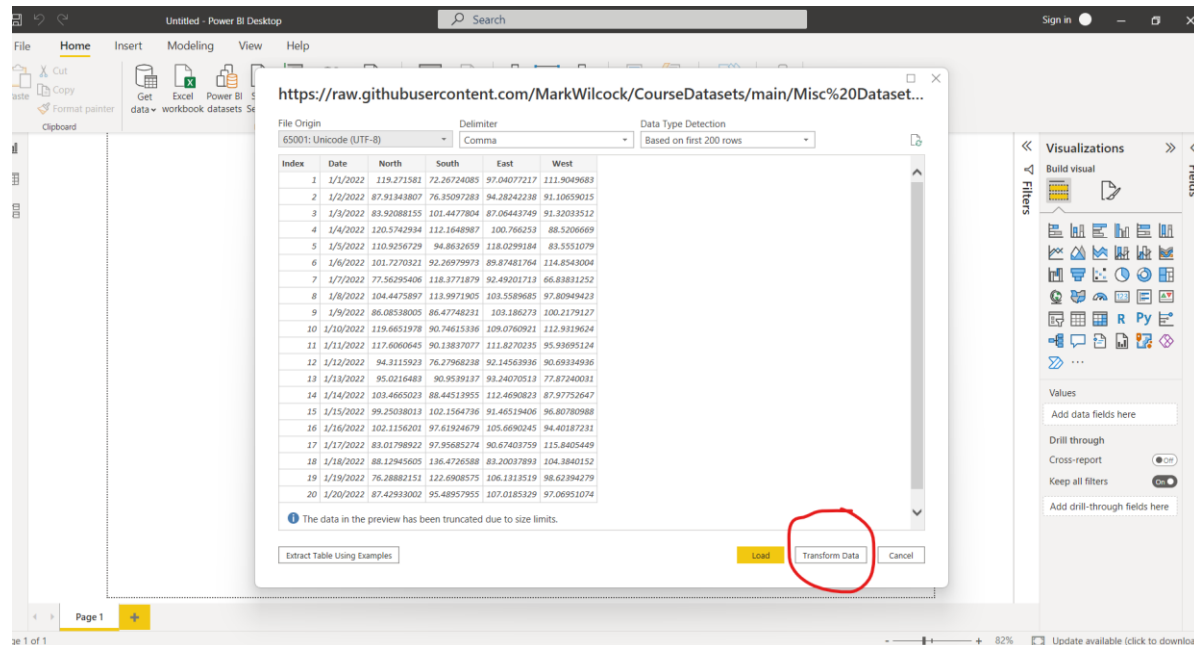
แสดงว่า เกิดการหมุนเวียนของเหตุการณ์ต่าง ๆ ในกระบวนการ โดยเมื่อครบ 1 รอบจะกลับมาอีกครั้ง จึงอาจใช้ทำนายผลในอนาคต หรืออดีตที่ผ่านมาได้



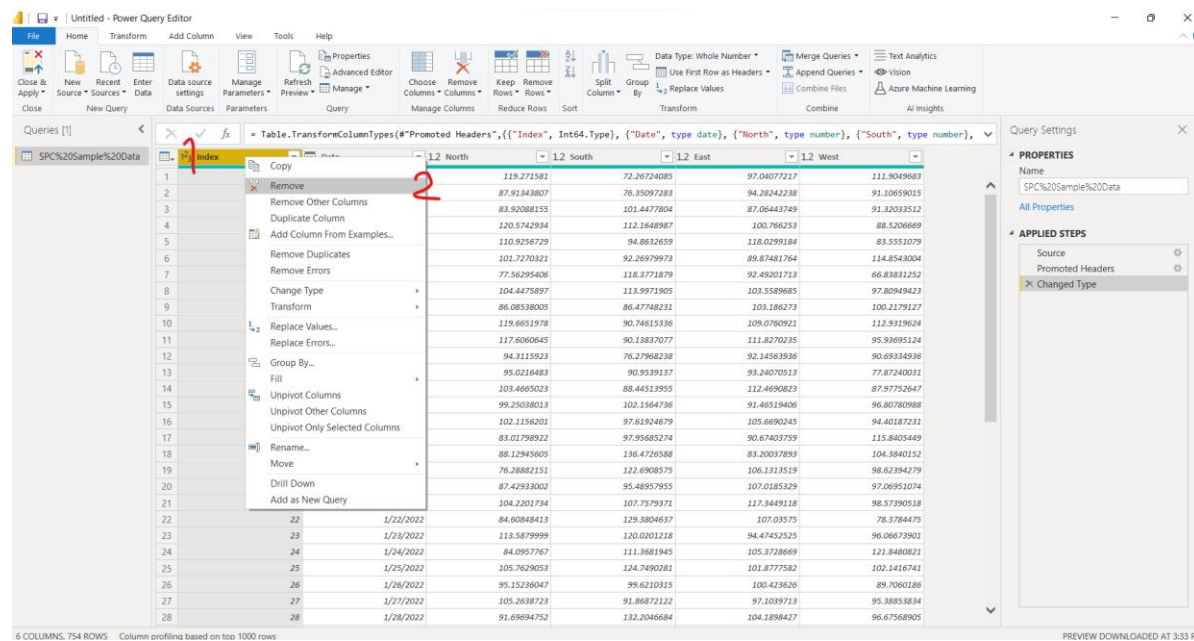
บทที่ 3 Power Bi for QC Dashboard

Using this data

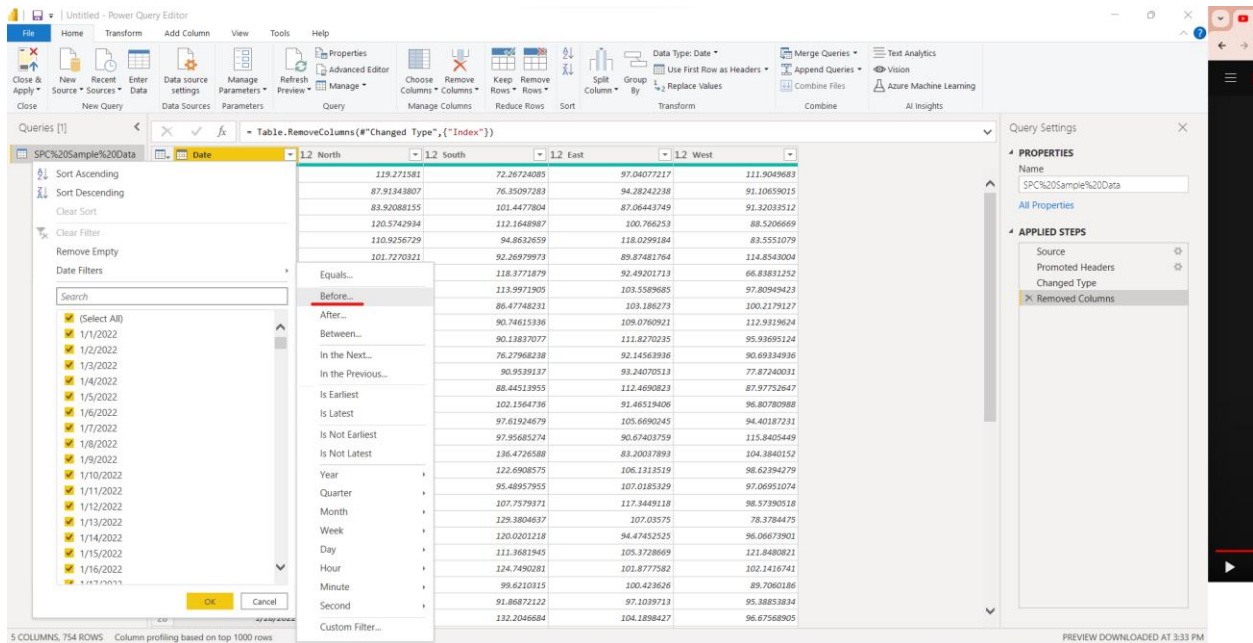
<https://raw.githubusercontent.com/MarkWilcock/CourseDatasets/main/Misc%20Datasets/SPC%20Sample%20Data.csv>



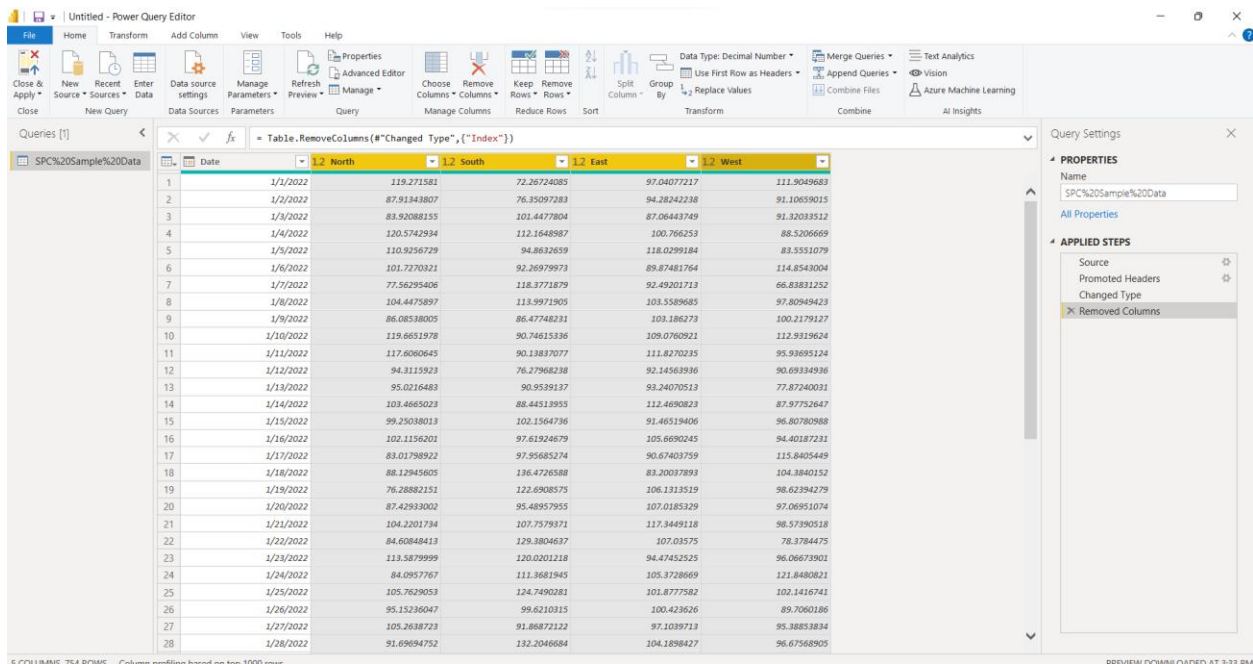
Cleaning ข้อมูลที่ไม่ต้องการออกก่อน



เลือก Before ในกรณีที่เรากำลังต้องการแสดงข้อมูล เรียงตาม timeline



ปรับโครงสร้างตารางให้สามารถจัดการข้อมูลได้ง่าย



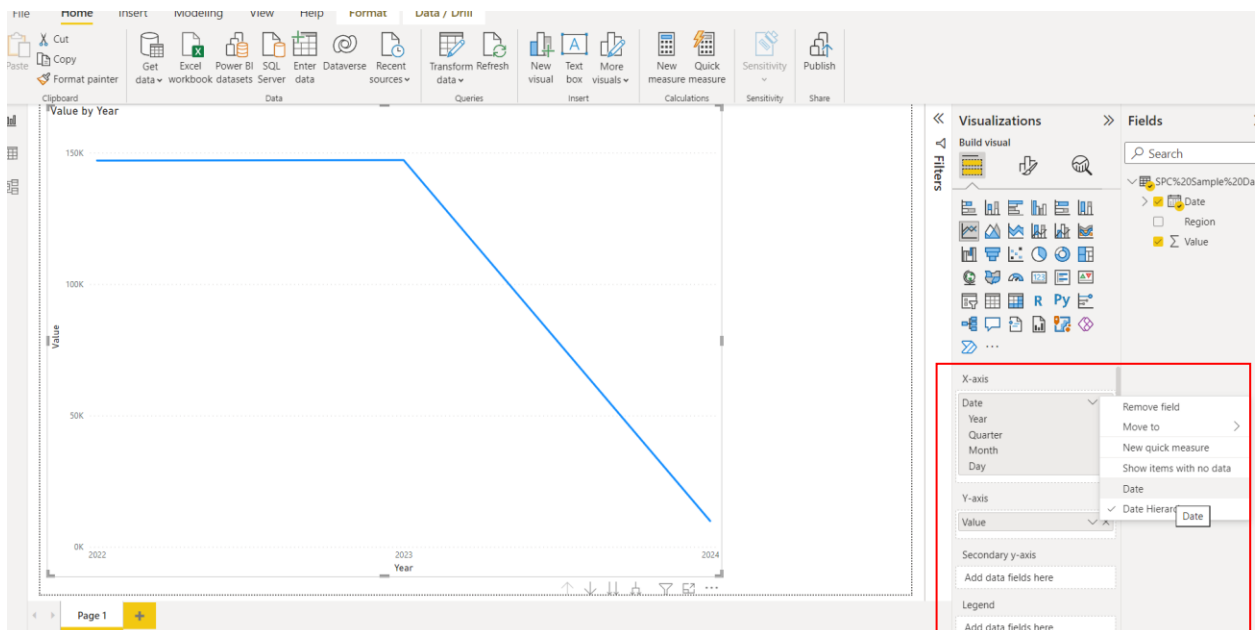
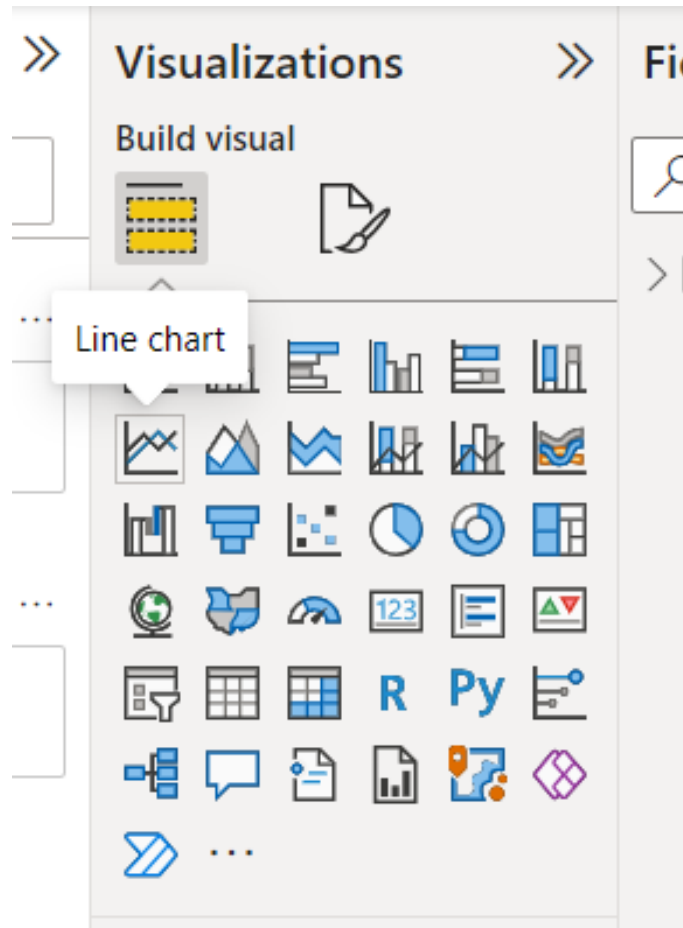
เลือก Transform จากนั้น Unpivot Columns

The screenshot shows the Power Query Editor interface. The 'Transform' tab is active, and the 'Unpivot Columns' button is highlighted. A tooltip for 'Unpivot Columns' states: 'Translate all but the currently selected columns into attribute-value pairs.' The data table has columns: Date, North, East, and West. The 'Applied Steps' pane on the right shows 'Removed Columns' as the current step.

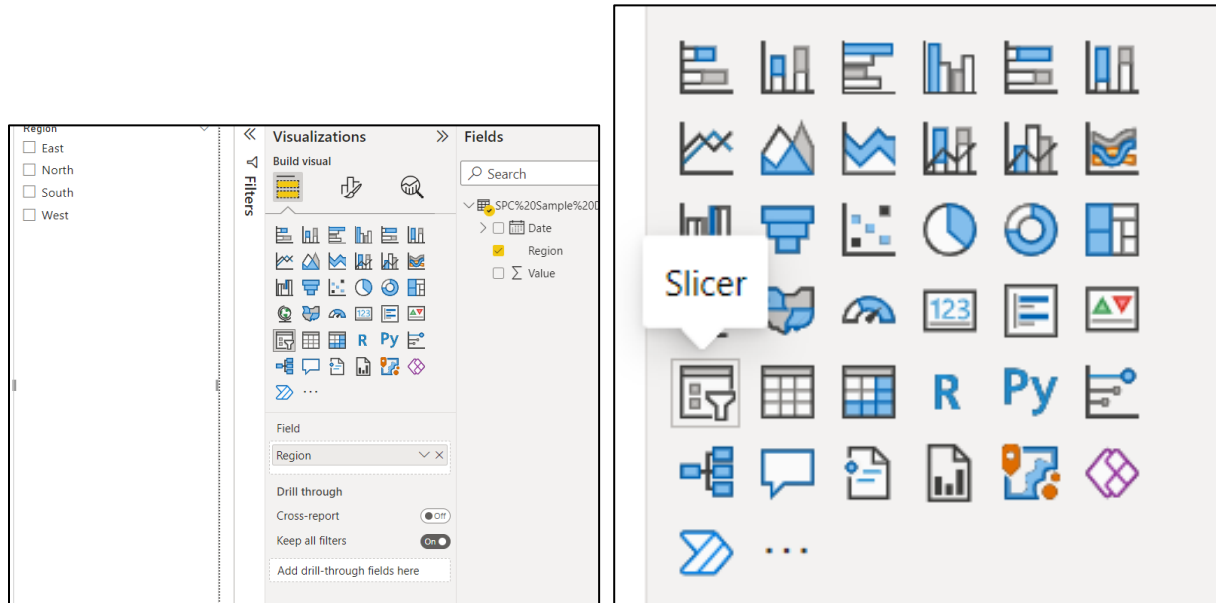
เปลี่ยนชื่อ Attribute ให้อยู่ในชื่อที่เข้าใจได้ถูกต้อง(กรณีนี้ใช้ Region) จากนั้น Home → Close & Apply

The screenshot shows the Power Query Editor after the 'Unpivot Other Columns' transformation. The column headers are now Date, Attribute, and Value. The 'Applied Steps' pane on the right shows 'Unpivoted Columns' as the current step. The status bar at the bottom indicates '3 COLUMNS, 999+ ROWS' and 'Column profiling based on top 1000 rows'.

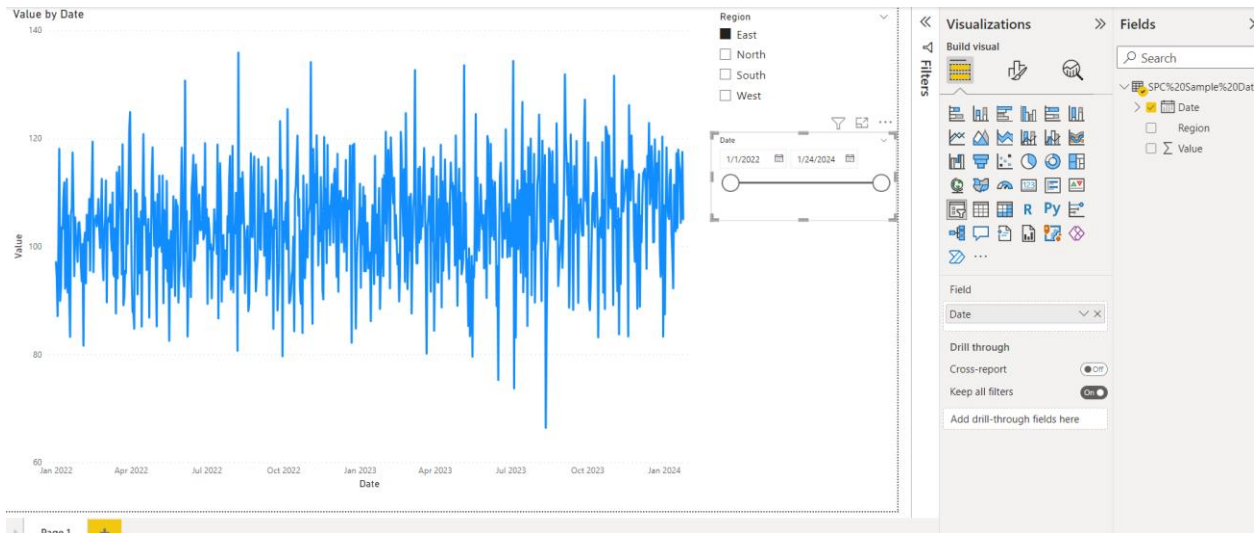
เลือก Line Chart



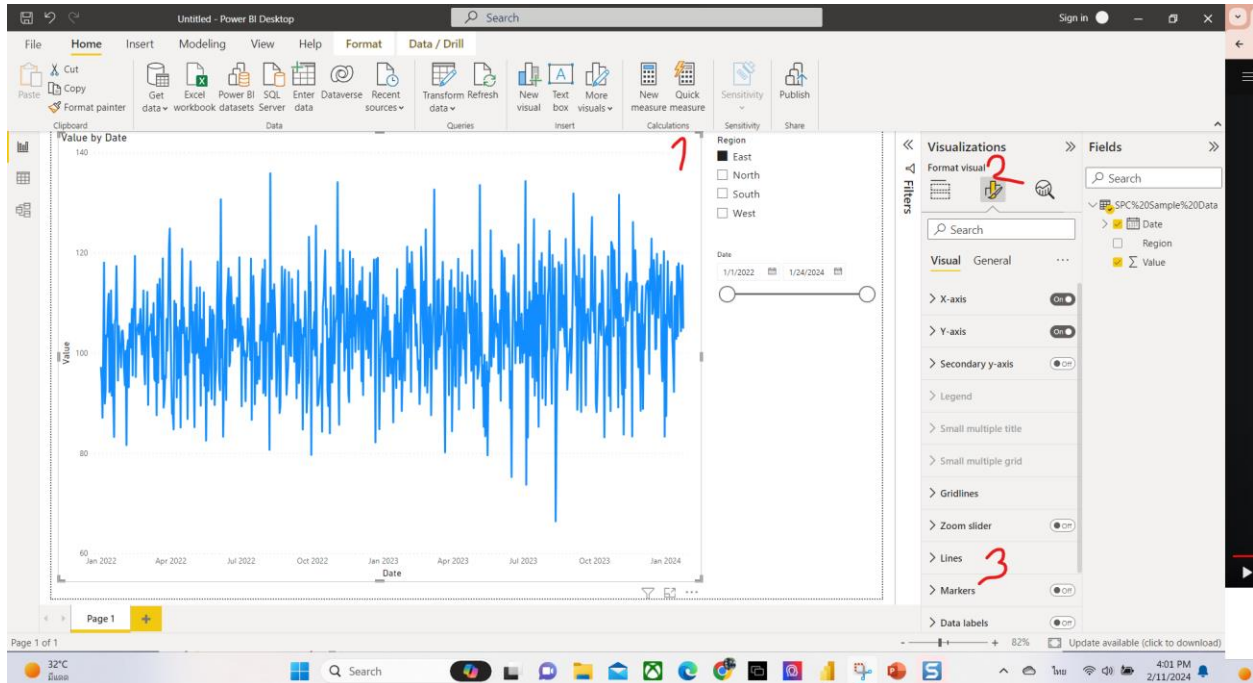
สร้าง filter เลือก Slicer



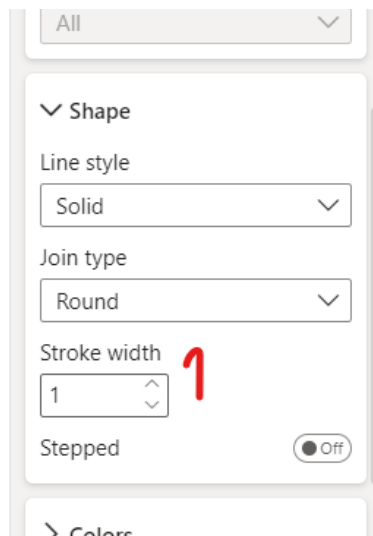
ใช้ Slicer กับข้อมูล Date ได้เช่นกัน



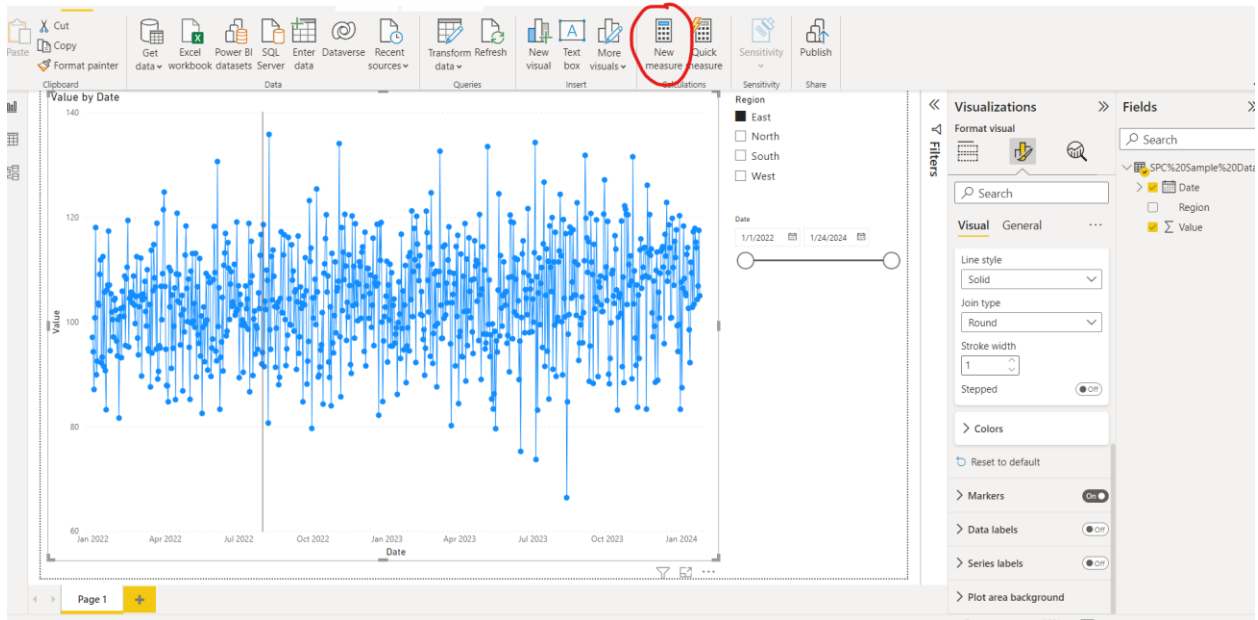
เตรียมความพร้อมก่อนสร้าง Control Chart



ปรับ Stroke Width ให้เส้นบางลง เพื่อจะได้เห็นชัดขึ้น



สร้าง Center Line (CL)



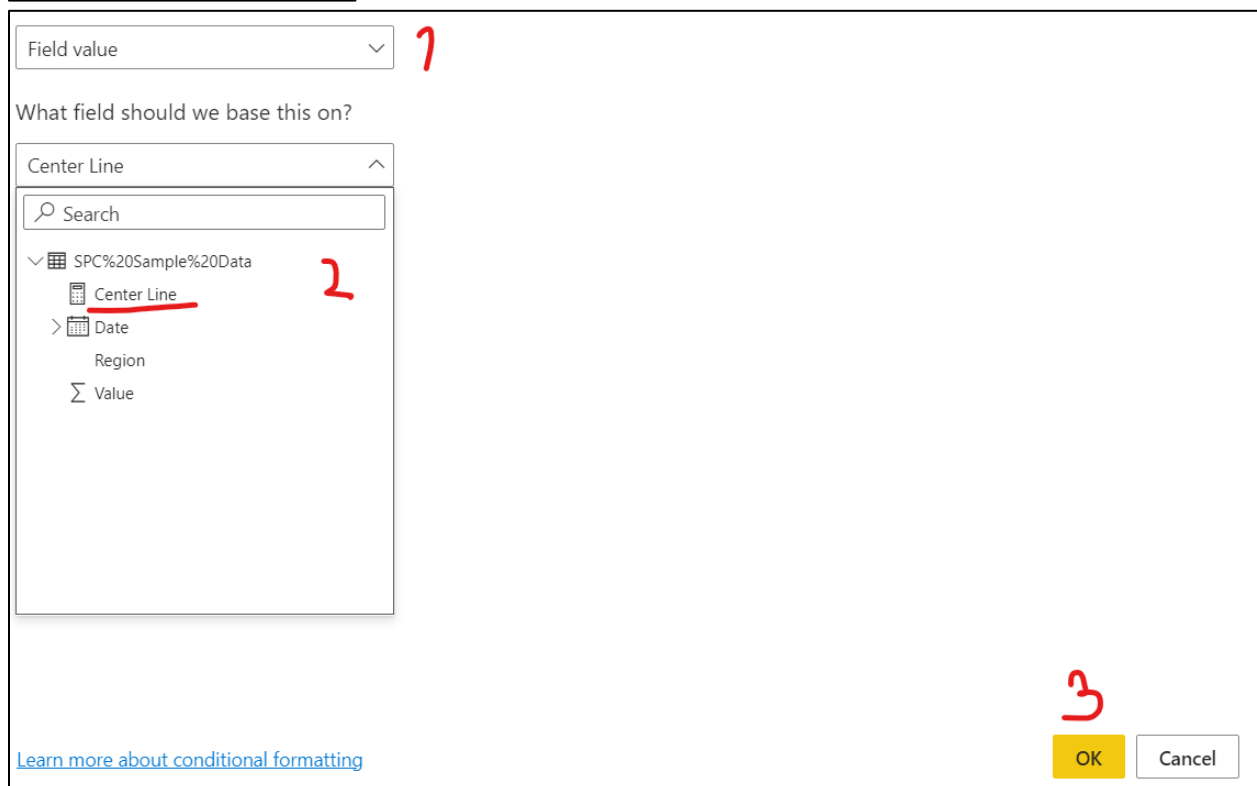
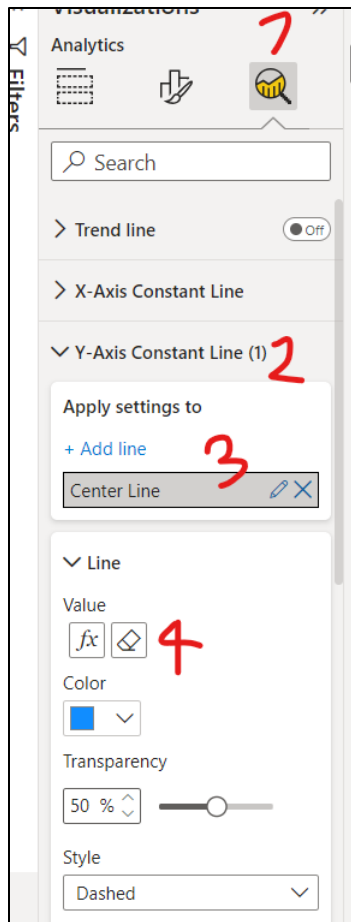
File Home Insert Modeling View Help **Format** Data / Drill Table tools **Measure tools**

Name Center Line Format General Data category Uncategorized

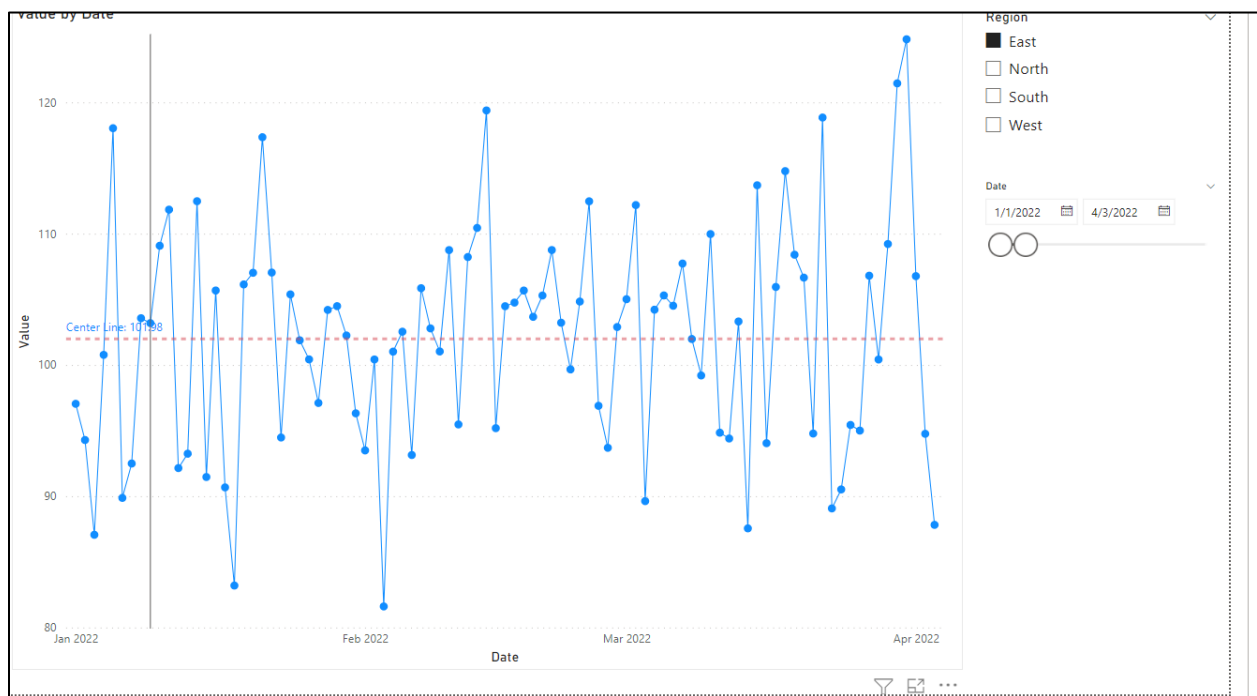
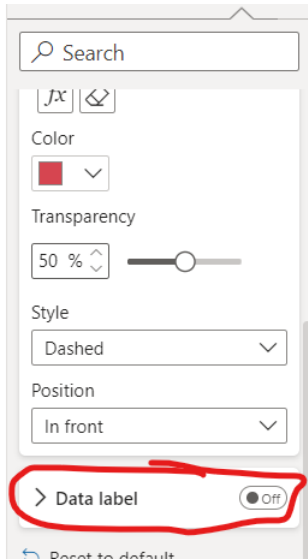
Home table SPC%20Sample%20Data \$ % Auto

Structure Formatting Properties Calculations

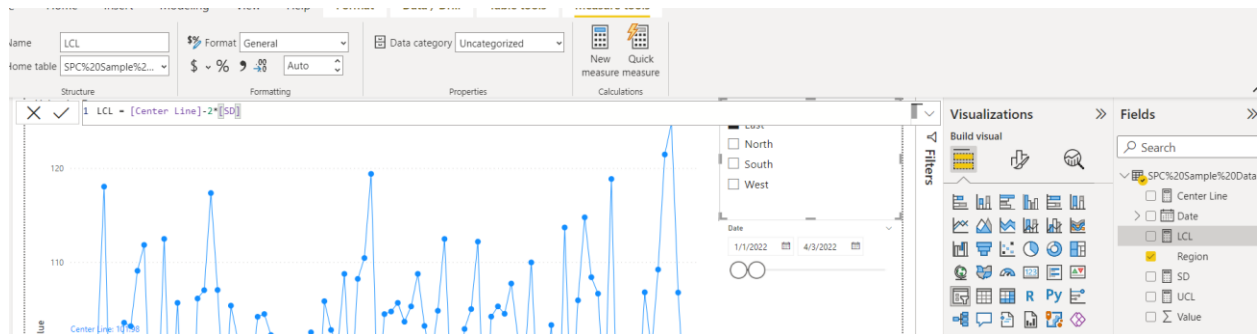
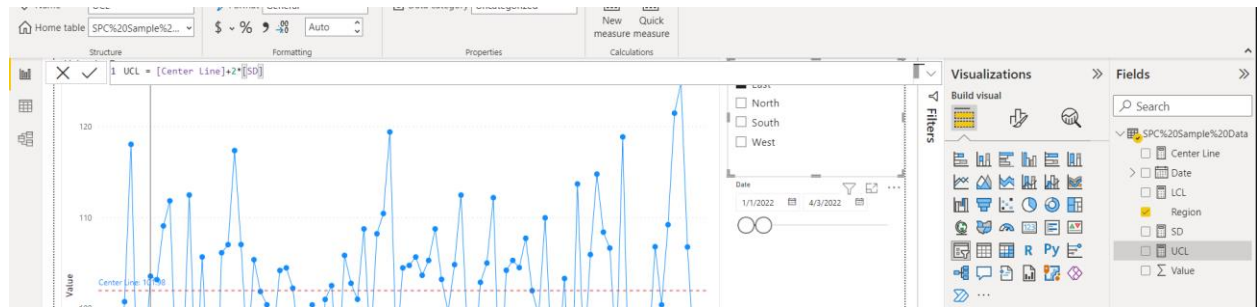
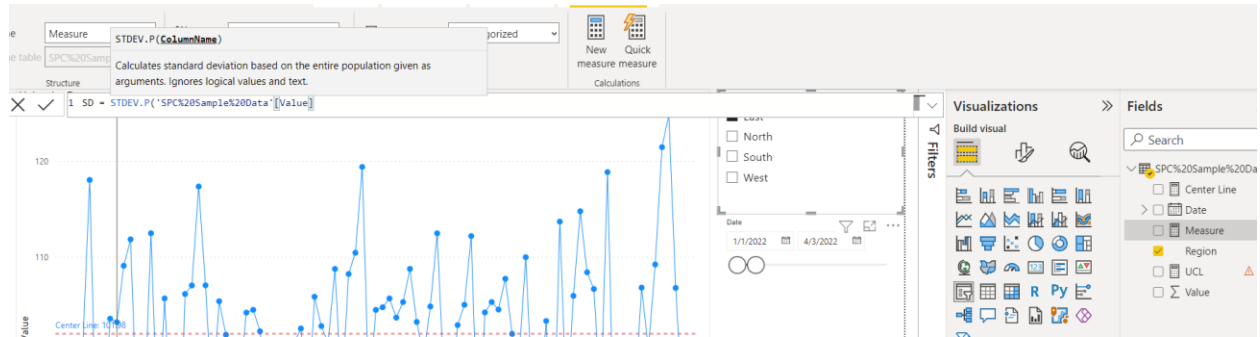
1 Center Line = AVERAGE('SPC%20Sample%20Data'[Value])



ในกรณีอยากแสดงข้อมูล บนเส้น



สร้าง Upper & Lower Control Limit (UCL, LCL)



สร้าง UCL, LCL ตามกระบวนการตั้งเช่น CL

