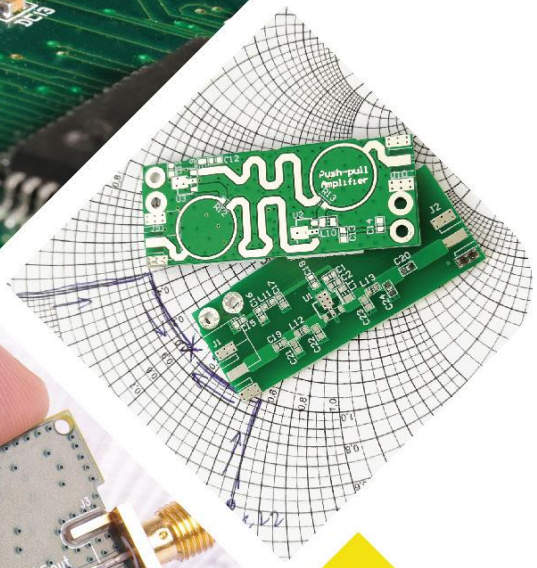
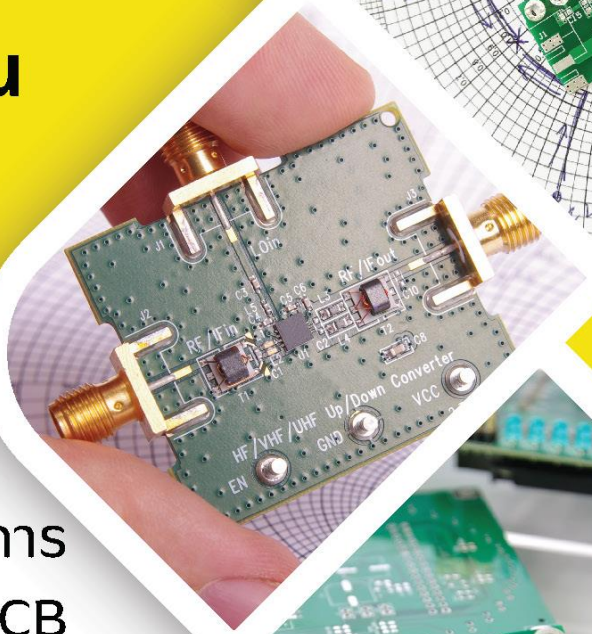
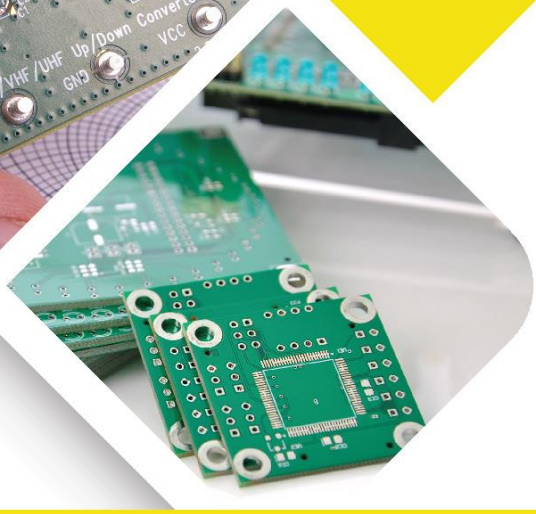
THAILAND AUTOMOTIVE INSTITUTE
สถาบันยานยนต์



หลักสูตร

การผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และการประกอบแผ่นวงจรพิมพ์





วิชากระบวนการผลิตและการประกอบแผ่น PCB

โครงการยกระดับผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ไทย
เพื่อเตรียมความพร้อมในการเข้าสู่ห่วงโซ่อุปทานของ
อุตสาหกรรมยานยนต์สมัยใหม่
(Parts Transformation)

02-712-2414 www.thaiauto.or.th @thaiauto

สารบัญ

บทที่ 1 การออกแบบฮาร์ดแวร์ด้านอิเล็กทรอนิคส์และทำต้นแบบ 1
1.1 การออกแบบเชิงแนวคิด (Conceptual Design) 1
1.2 การออกแบบผังวงจรอิเล็กทรอนิคส์ (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 กระบวนการผลิตพรีเพรก 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/แก้ไขบอร์ที่มีความบกพร่อง (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 การออกแบบฮาร์ดแวร์ด้านอิเล็กทรอนิคส์และทำต้นแบบ

เพื่อให้มองภาพรวมในการทำแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board, PCB) และ การประกอบแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB Assembly, PCBA) ออก ในเชิงของการออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ที่เกี่ยวข้องกับอิเล็กทรอนิคส์ เรามาคุยเรื่องนี้กันพอเป็นแนวคิด และการออกแบบที่กล่าวมานั้น พอเขียนออกมาเป็นขั้นตอนเพื่อให้ทำความเข้าใจได้ดังนี้

1.1 การออกแบบเชิงแนวคิด (Conceptual Design)

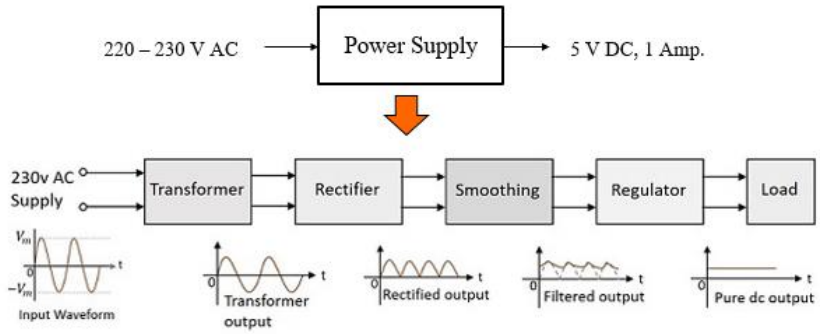
ขั้นตอนนี้ก็จะเป็นการวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้า (Customer Requirement Analysis) โดยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลอันเป็นความต้องการของลูกค้า (Customer Requirements) ขึ้นมาก่อน จากนั้นจึงนำข้อมูลเหล่านี้ ซึ่งอาจจะระบุเป็นคำพูดตรง ๆ หรือ ทำการเทียบเคียงให้เป็นภาพ เป็นต้น มาจัดกลุ่มความต้องการต่าง ๆ

รูปที่ 1.1 การเปลี่ยนข้อมูลเชิงบอกเล่าให้เป็นข้อกำหนดเฉพาะที่สามารถวัดได้

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

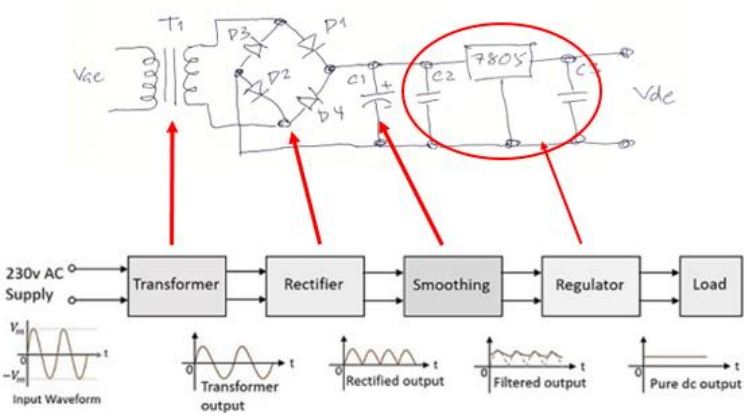
หลังจากได้ข้อกำหนดเชิงวิศวกรรมาออกมาแล้ว โดยทั่วไป เราก็จะเริ่มด้วยการออกแบบในเชิงบล็อกไดอะแกรม (Block Diagram) ขึ้นมาก่อน ... จากนั้นก็เปลี่ยนจากบล็อกแต่ละบล็อกมาเป็นวงจรที่สัมพันธ์กัน ตัวอย่างเช่น การ

เขียนบล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟตรง 5 โวลต์ 1 แอมป์ เป็นดังรูปด้านล่าง



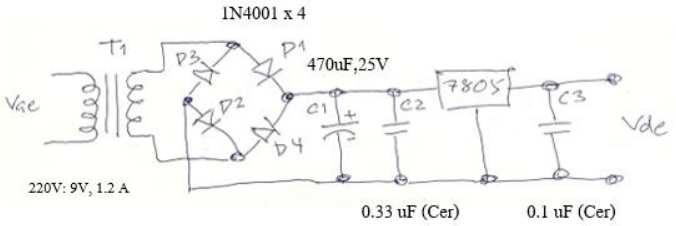
รูปที่ 1.2 การออกแบบเชิงบล็อกไดอะแกรม

หลังจากทำการออกแบบในเชิงบล็อกไดอะแกรมแล้ว ก็จะทำการเปลี่ยนแต่ละบล็อกให้เป็นวงจรที่สัมพันธ์กับแต่ละบล็อกเหล่านั้น



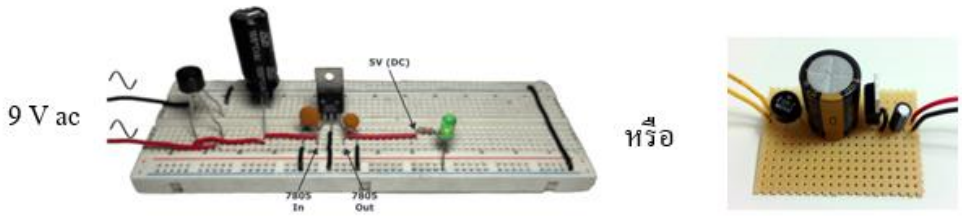
รูปที่ 1.3 เปลี่ยนบล็อกไดอะแกรมให้เป็นวงจรที่สอดคล้องกัน

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



รูปที่ 1.4 กำหนดรายละเอียดของอุปกรณ์ที่นำมาใช้งาน

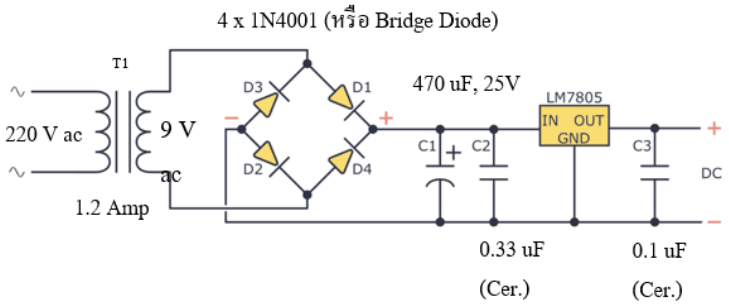
เพื่อเป็นการยืนยันว่า วงจรที่ออกแบบขึ้นมานั้นทำงานได้จริงหรือไม่ ก็ต้องลองต่อวงจรขึ้นมามาจริง ๆ แล้ว ทดลองวัดค่าแรงดัน (หรือ กระแส) และรูปร่างของสัญญาณตามจุดต่าง ๆ ว่า เป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ ... ถ้าไม่เป็นไปตามที่ต้องการ จะปรับแก้ตรงไหนเพื่อให้วงจรทำงานได้ตามต้องการก็ว่ากันไป แต่เมื่อมีปรับแก้ไขใด ๆ ก็อย่าลืมไปอัพเดต (update) วงจรที่เขียนเอาไว้ด้วย



รูปที่ 1.5 ต่อวงจรขึ้นมาดูว่าทำงานได้ตามต้องการหรือไม่

1.2 การออกแบบผังวงจรอิเล็กทรอนิคส์ (Electronics Schematic Design)

ขั้นตอนนี้ก็จะเป็นการเขียน (หรือ Update) ผังวงจร (Schematic) ให้ถูกต้องตามวงจรที่ได้สร้างขึ้น การออกแบบแผนผังอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Schematic Design) เป็นกระบวนการสร้างการแสดงภาพกราฟิกของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นการแสดงการเชื่อมต่อระหว่างส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ด้วยภาพ โดยแผนผังนี้จะช่วยให้วิศวกรผู้ออกแบบและนักออกแบบคนอื่น ๆ เข้าใจการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่าง ๆ และวิธีการทำงานร่วมกัน ตัวอย่างเป็นดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 1.6 ผังวงจรอิเล็กทรอนิคส์ (Electronics Schematic Diagram)

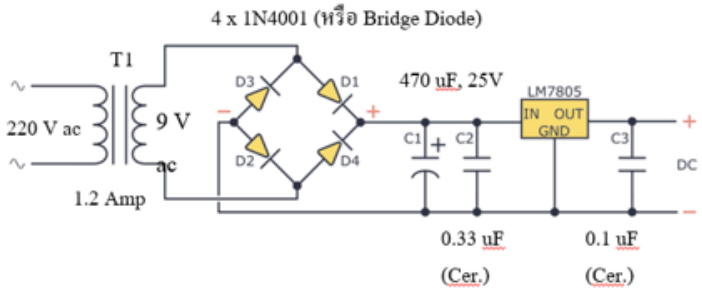
เมื่อได้ Schematic Diagram ที่ถูกต้องแล้ว ... โดยทั่วไป ก็จะนำไปใช้ในการออกแบบ PCB และ สร้าง BOM (Bill of Material)

1.3 Bill of Materials (BOM)

BOM ย่อมาจาก Bill of Materials หรือจะเรียกว่า สูตรวัตถุดิบ (ที่ใช้ในการผลิตสินค้า) ก็ได้ ... BOM จึงเป็นเอกสารที่อธิบายว่า สินค้าที่ต้องทำการผลิตขึ้นมา 1 ชิ้นนั้น ต้องใช้ชิ้นส่วน วัตถุดิบ หรือ วัสดุอะไรบ้าง มีจำนวนเท่าไหร่ พร้อมระบุรายละเอียดต่าง ๆ ซึ่งจำเป็นต่อการจัดซื้อและการผลิต

รูปที่ 1.7 BOM แสดงให้ทราบว่า ชิ้นงาน 1 ชิ้นประกอบไปด้วยอะไรบ้าง จำนวนเท่าใด

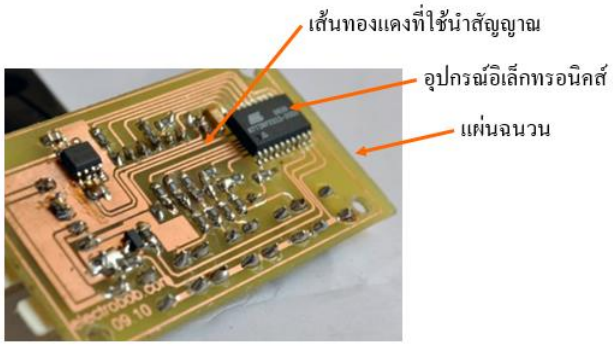
โดยทั่วไป ... BOM จะดึงข้อมูลมาจาก Schematic Drawing (และต้นแบบที่เราจะสร้างขึ้นต่อไป) ตัวอย่างง่าย ๆ เป็นดังนี้



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)

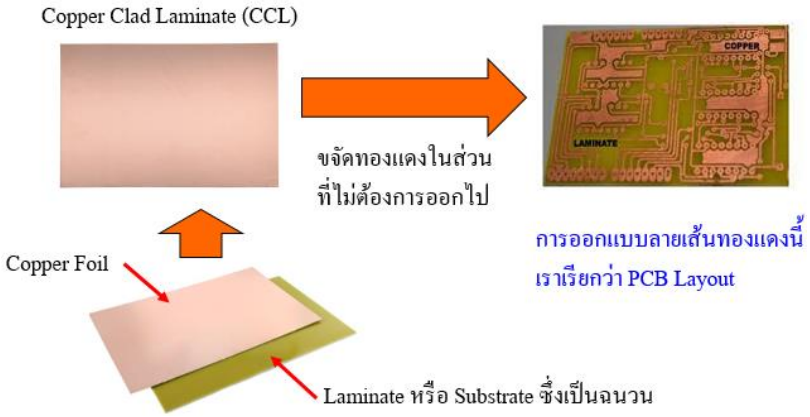
แผงวงจรพิมพ์ (หรือ แผ่นวงจรพิมพ์ หรือ Printed Circuit Board, PCB) ก็คือ แถบเส้นตัวนำ (เส้นทองแดง) ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ เพื่อให้สัญญาณไฟฟ้าวิ่งถึงกันได้นั่นเอง ... และเพื่อให้เส้นทองแดงมันคงตัว (ไม่ขยับ ไม่เลื่อนมาแตะกัน) เราก็จับมันไปติดเอาไว้บนแผ่นฉนวน



รูปที่ 1.8 แผ่นวงจรพิมพ์ (PCB)

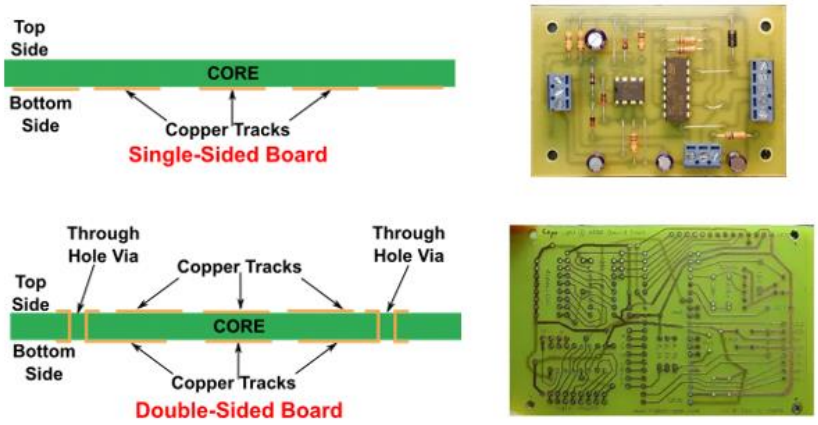
แทนที่จะเอาเส้นทองแดงมาแปะบนแผ่นฉนวนไปทีละเส้น ... เราจะนำแผ่นทองแดงบาง ๆ (Copper foil) มายึดติดเข้ากับแผ่นฉนวนที่ใช้เป็นฐาน (Substrate) (เพื่อความเข้าใจง่าย ๆ สมมติว่าใช้กาว (Glue) ก็แล้วกัน) เมื่อยึดติดเข้าด้วยกันเรียบร้อยแล้ว จะเรียกว่า Copper Clad Laminate หรือ เรียกย่อ ๆ ว่า CCL ... จากนั้น จะทำการขจัดทองแดงส่วนที่ไม่ต้องการทิ้งไป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

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



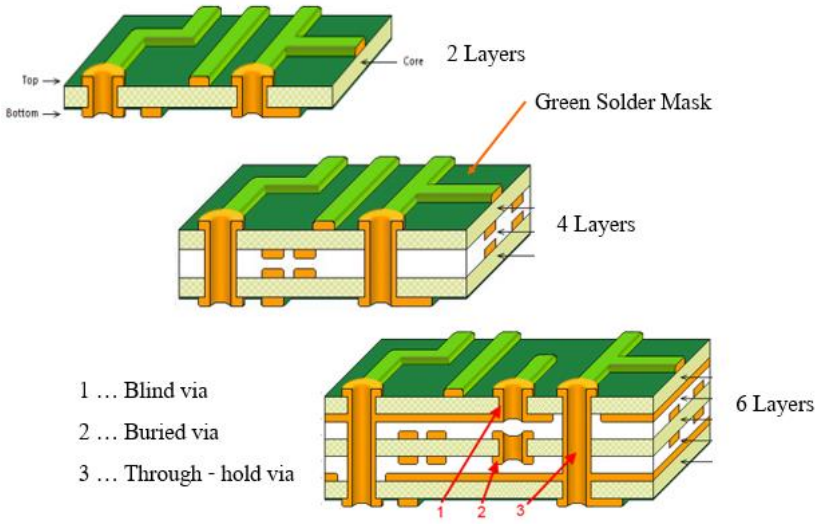
รูปที่ 1.9 แนวทางการสร้างแผ่นวงจรพิมพ์

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 ก็จะถือว่า มีสองชั้น หรือ 2 Layers) ก็เพื่อลดขนาด (ความกว้างยาว) ของ PCB ลง ... ถ้าสองชั้น หรือ 2 Layers ยังมีขนาดเล็กไม่พอ ... ก็สามารถเพิ่มซ้อนเข้าไปด้วยกันอีกก็ได้ เช่น เป็น 4, 6, ... ชั้น เป็นต้น โดยจะต้องมีแผ่นฉนวนกั้นอยู่ระหว่าง ๆ ชั้น เพื่อไม่ให้ลายทองแดงสัมผัสกัน



รูปที่ 1.11 แผ่นวงจรพิมพ์แบบมีลายทองแดง 2, 4, 6 ชั้น

จากที่กล่าวมาแล้วว่า จะต้องมีแผ่นฉนวนกั้นอยู่ระหว่างแผ่น (หรือ ลายทองแดง) แต่ละชั้น เพื่อไม่ให้เกิดการลัดวงจร (Short circuit) เกิดขึ้น ... คำถามก็คือ แล้วจะเชื่อมลายวงจรระหว่างชั้นเข้าหากันได้อย่างไร ... คำตอบก็คืออาศัย “เวีย (Via)” เข้าช่วย

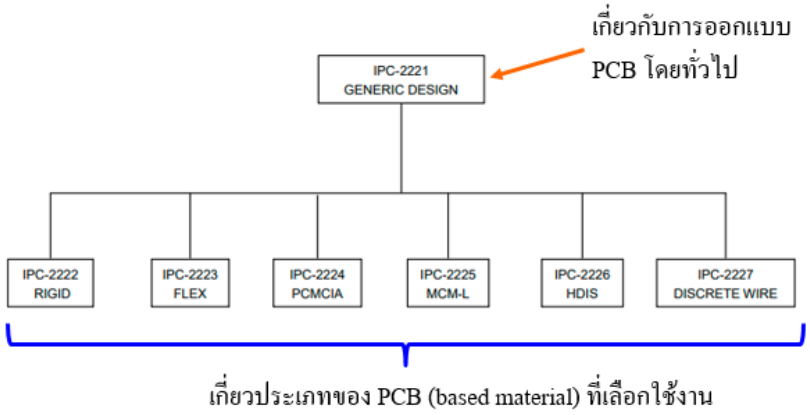
เวีย ก็คือ การเจาะรูระหว่างลายวงจร (ลายทองแดง) ที่ต้องการให้เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน แล้วสร้างทองแดงขึ้นมาในรูที่เจาะเอาไว้นั้นให้เชื่อมลายวงจรเข้าด้วยกัน

กล่าวโดยทั่วไป เวีย จะมีอยู่สามประเภท คือ ประเภทแรกเรียกว่า ทรูโฮลเวีย (Through – hole via) หมายถึง เวีย ที่เจาะทะลุจากลายทองแดงด้านบนไปโผล่ที่ลายทองแดงด้านล่างของ PCB ส่วนจะลายทองแดงชั้นใดจะเชื่อมต่อเข้ากับเวียบ้างก็ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ ประเภทสองคือ บลายด์เวีย (Blind via) เวียประเภทนี้จะเจาะจากลายทองแดงด้านหนึ่ง (ด้านบนหรือด้านล่างด้านใดด้านหนึ่งเท่านั้น) ไปสู่ชั้นในของ PCB (หรือ สังเกตุง่าย ๆ ก็คือปลายอีกด้านจะไม่โผล่ออกมายังด้านตรงข้าม แต่จะหยุดอยู่ด้านในของ PCB) ประเภทที่สามคือ เบอรีเวีย (Buried via) เวียประเภทนี้จะอยู่ระหว่างชั้นของ PCB โดยจะไม่มีด้านใดด้านหนึ่งโผล่ออกมาที่ลายทองแดงด้านบน หรือด้านล่างของ PCB เลย

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

1.5 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

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



รูปที่ 1.12 มาตรฐาน IPC

มาดูอนุกรมของ 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

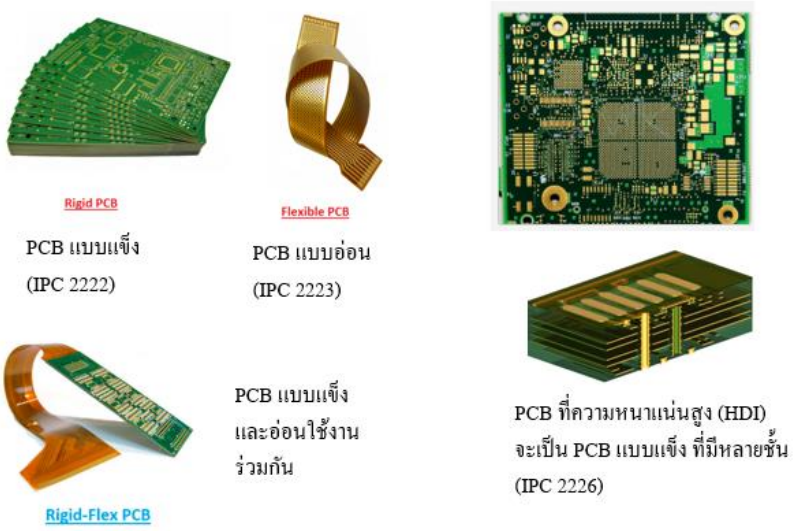
IPC-2226 High Density Interconnect (HDI) structure design

IPC-2227 Organic board design using discrete wiring

IPC-2221 Generic Standard on Printed Board Design

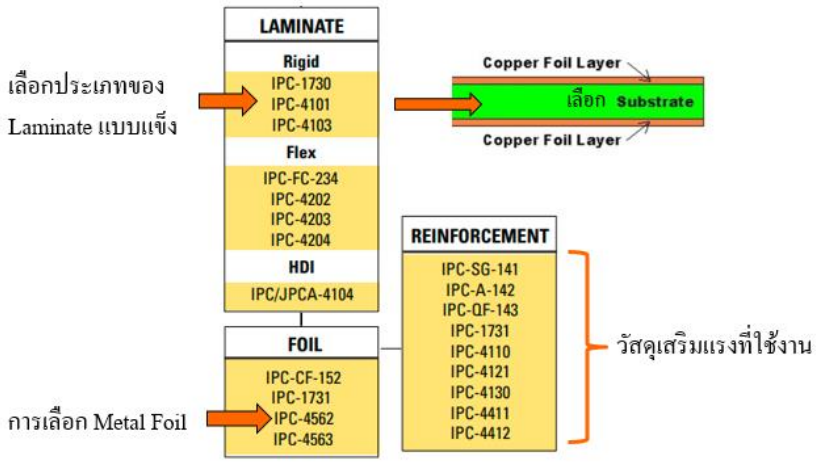
IPC-2221 คือ แนวทางมาตรฐาน (standard guideline) ที่ใช้สำหรับกระบวนการออกแบบ PCB โดย IPC – 2221 จะระบุเกี่ยวกับ การจัดวางการออกแบบ (design layout) การแสดงรายการชิ้นส่วน (part list) วัสดุที่นำมาใช้ คุณสมบัติทางกายภาพและกลไก (mechanical and physical properties) คุณสมบัติทางไฟฟ้า คุณสมบัติทางความร้อน และ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



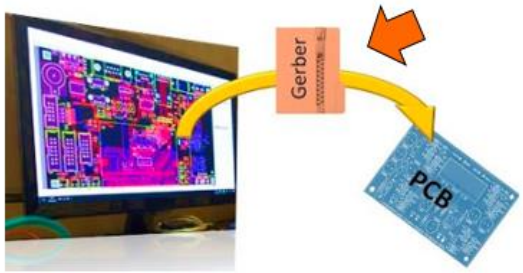
รูปที่ 1.13 PCB ประเภทต่าง ๆ

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 และส่วนมากก็จะสอดรับกับมาตรฐาน IPC ตามที่กล่าวมาอยู่แล้ว จึงทำให้มีความสะดวกต่อผู้ออกแบบมากขึ้น และเมื่อออกแบบ PCB เสร็จแล้ว ... ผู้ออกแบบก็ทำการส่ง Gerber File ไปให้ผู้รับจ้างผลิต PCB ทำแผ่น PCB ออกมา

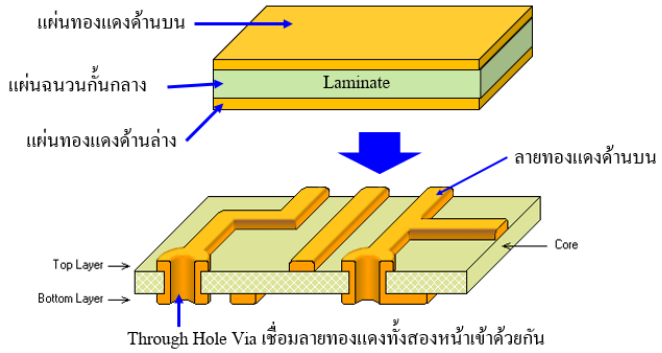


รูปที่ 1.15 เมื่อออกแบบ PCB เสร็จแล้ว ก็ส่งไฟล์เกอร์เบอร์ (Gerber File) ไปให้ผู้ผลิต PCB

1.6 การสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB Fabrication)

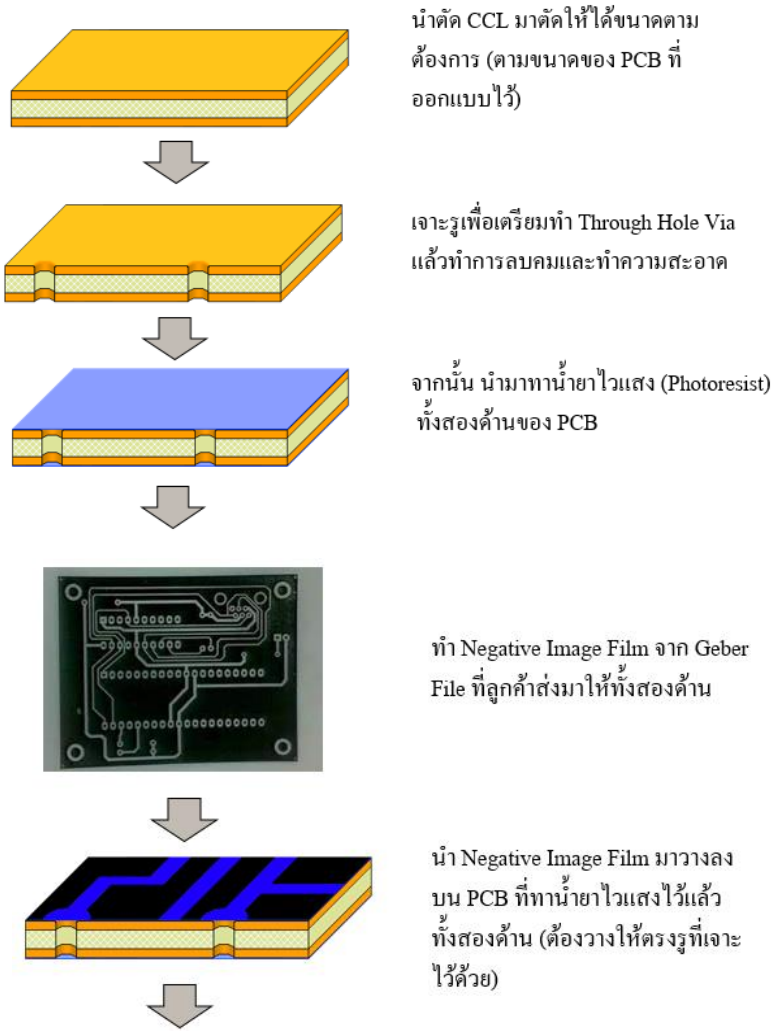
เมื่อผู้ผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ได้รับ Gerber File แล้ว ก็จะตรวจสอบความถูกต้องของไฟล์เพื่อเป็นการตรวจสองซ้ำ (Recheck) จากนั้นก็จะทำแผ่นวงจรพิมพ์ (PCB) ตามที่เราออกแบบเอาไว้

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



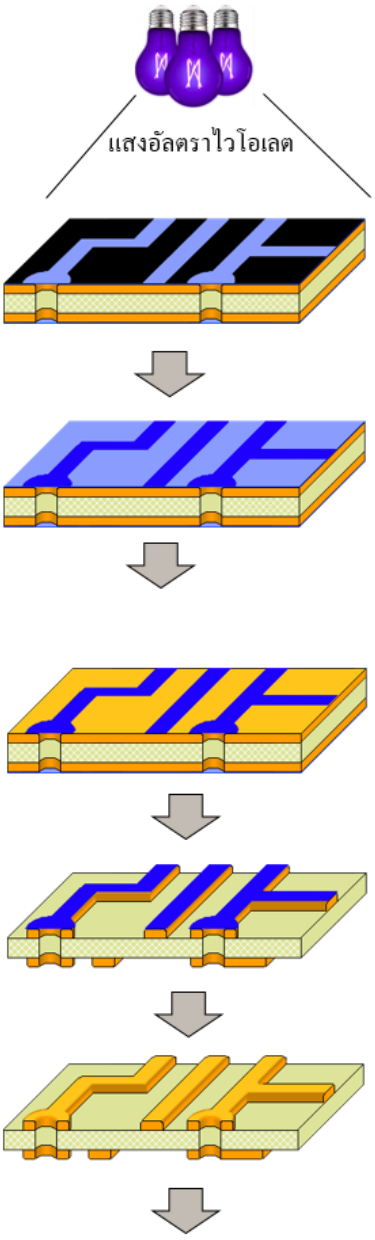
นำตัด CCL มาตัดให้ได้ขนาดตามต้องการ (ตามขนาดของ PCB ที่ออกแบบไว้)

เจาะรูเพื่อเตรียมทำ Through Hole Via แล้วทำการลบคมและทำความสะอาด

จากนั้น นำมาทาน้ำยาไวแสง (Photoresist) ทั้งสองด้านของ PCB

ทำ Negative Image Film จาก Geber File ที่ลูกค้าส่งมาให้ทั้งสองด้าน

นำ Negative Image Film มาวางลงบน PCB ที่ทาน้ำยาไวแสงไว้แล้วทั้งสองด้าน (ต้องวางให้ตรงรูที่เจาะไว้ด้วย)



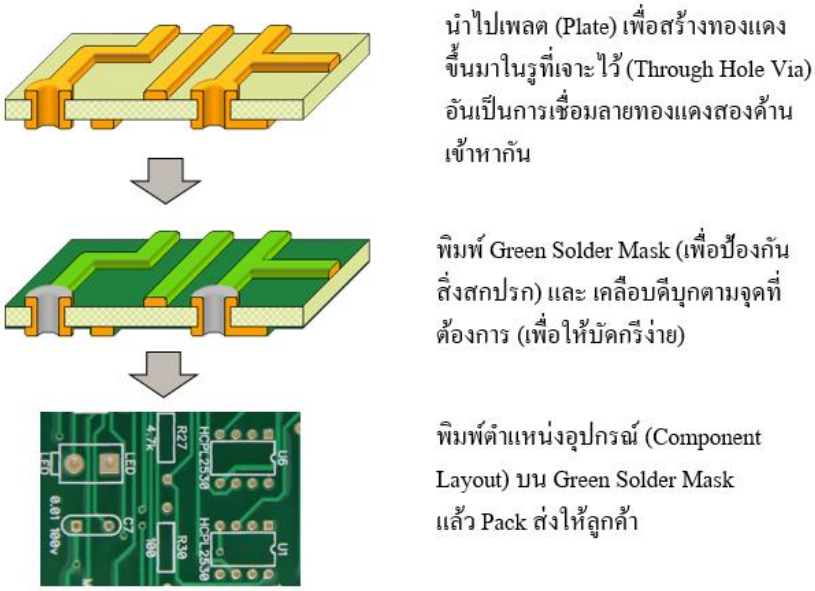
ฉายแสงอัลตราไวโอเลตผ่านฟิล์มไปยังน้ำยาไวแสงระยะเวลาหนึ่ง น้ำยาไวแสงที่ถูกแสงอัลตราไวโอเลตจะแข็งตัว

นำแผ่นฟิล์มออกไป น้ำยาไวแสงที่ถูกแสงอัลตราไวโอเลตจะแข็งตัว

นำไปล้างด้วยสารเคมี น้ำยาไวแสงส่วนที่ไม่ถูกแสงอัลตราไวโอเลตจะถูกล้างออกไป เหลือเฉพาะส่วนที่แข็งตัว (เพราะโดนแสงอัลตราไวโอเลต) ติดอยู่บน PCB

นำไปกัด (Etching) ด้วยสารเคมี เนื้อทองแดงส่วนที่ไม่มี Photoresist ที่แข็งตัวปิดทับเอาไว้ จะโดนสารเคมีกัดออก

นำไปล้าง Photoresist ที่เคลือบผิวทองแดงออกไปและทำความสะอาด PCB ไปด้วยในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 1.17 กระบวนการทำ Bare PCB อย่างง่าย

1.7 ลงอุปกรณ์ (Board Assembly) และทำการทดสอบการทำงานของบอร์ด (Board Testing)
หลังจากได้ PCB มาจากผู้ผลิตและประกอบชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการทดสอบการทำงานของชิ้นงานที่สร้างขึ้นว่า ทำงานถูกต้องตามที่เราออกแบบไว้หรือไม่

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) ผู้สร้างชิ้นงานอาจจะไม่ได้วัดสัญาณต่าง ๆ ด้วยเอง เพราะไปจ้างให้โรงงานผลิตชิ้นงานให้ ... จึงต้องกำหนดเอาไว้ว่า ต้องใช้เครื่องมือวัดอะไรบ้าง วัดที่จุดไหนก่อนหลัง ค่าที่วัดได้ที่ถูกต้องมันเป็นอย่างไร 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 ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ที่ไม่สามารถหาได้ทั่วไป

4) ลายแผ่นพิมพ์ (PCB Layout) และตำแหน่งการวางอุปกรณ์ (Component Layout)

5) วิธีการทดสอบชิ้นงาน (Testing) และค่าสัญญาณที่วัดได้ตามจุดต่าง ๆ

6) แนวทางการแก้ไขปัญหา (Debug Symptom Guideline)

7) (ถ้าต้องการ) แผงวงจรพิมพ์เปล่า / แผงวงจรที่เป็นชิ้นงานต้นแบบ

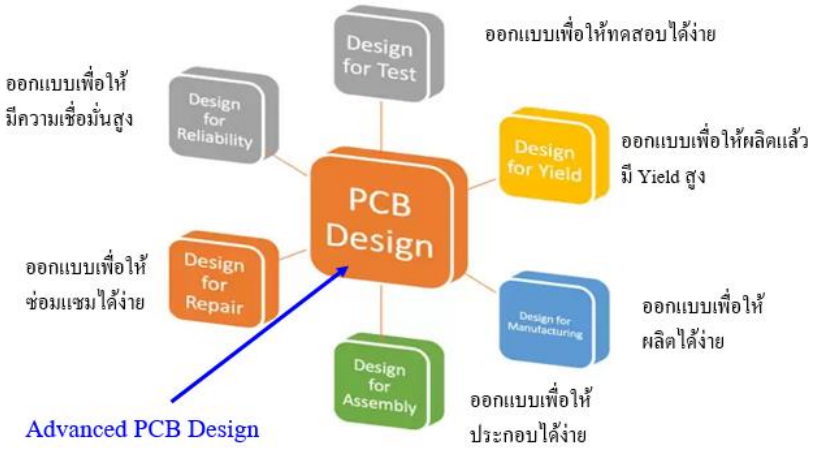
8) เอกสารอื่น ๆ ตามความจำเป็น

9) การออกแบบครั้งที่สอง (Second Design)

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

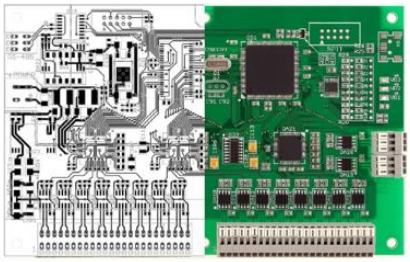
ถ้าลูกค้าเน้นเรื่องการการผลิตได้เร็ว การประกอบได้ง่าย ทำแล้วได้ Yield ((output/Input) x 100%) เราจะออกแบบอย่างไร ? หรือ ลูกค้าต้องการให้ต้นทุน (Cost) ต่ำ เราจะออกแบบอย่างไร ? หรือ เราต้องการให้เกิดความประหยัดในการผลิต (ผลิตง่าย ประกอบง่าย ทดสอบง่าย) เราจะออกแบบอย่างไร ?

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



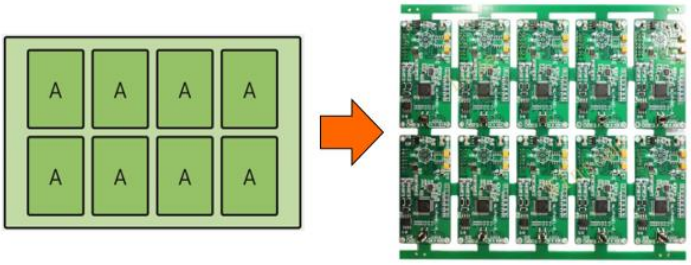
รูปที่ 1.19 เรื่องที่เกี่ยวกับ Second Design

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



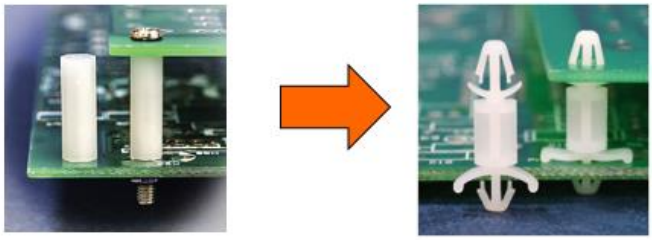
รูปที่ 1.20 ออกแบบใหม่โดยใช้อุปกรณ์ประเภท SMD (Surface Mount Devices)

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 ... ประหยัดได้ชิ้นละ 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 โรงงานที่มีกระบวนการบัดกรีอุปกรณ์ลงไปบนแผ่นวงจรพิมพ์เปล่า

รูปที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่าง PCB กับ PCBA

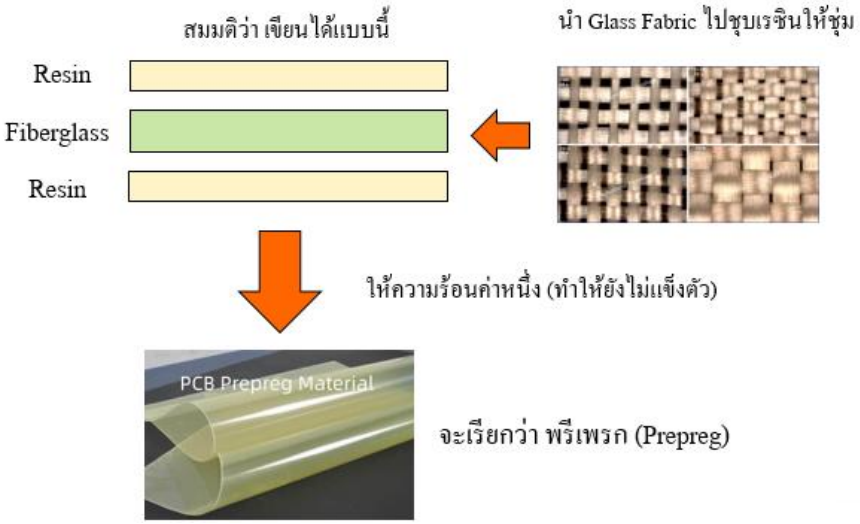
ปัจจุบันนี้ โรงงาน PCBA จะเป็นแบบ Turn Key โดยทำการจัดหาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์และBare PCB (ตาม BOM) เพื่อนำมาประกอบเข้าด้วยกัน

2.2 กระบวนการผลิต CCL

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

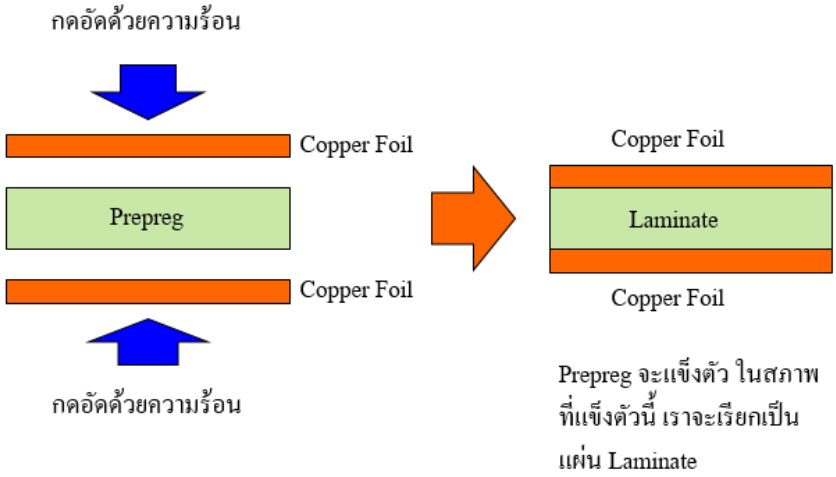
รูปที่ 2.2 จากพรีเพรก (Prepreg) มาเป็นแผ่นวงจรเปล่าที่ยังไม่ได้ลงอุปกรณ์ (Bare PCB)

การสร้าง Prepreg ขออธิบายภาพรวมง่าย ๆ ได้ดังนี้ นำแผ่นใยสังเคราะห์ (เช่น Glass Fabric) ไปชุบเรซิ่น (Resin) ให้ชุ่ม (ตามภาพเขียนให้เข้าใจได้ง่าย ๆ ว่า เสมือนมี Resin ประกบอยู่ทั้งสองด้านของใยสังเคราะห์) จากนั้นนำใยสังเคราะห์ที่ชุ่มด้วยเรซิ่นไปอบความร้อนเอาไว้ช่วงเวลาหนึ่ง จนทำให้ใยสังเคราะห์ที่ชุบเรซิ่นมีลักษณะหยุ่นคล้ายขนมชั้น 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))



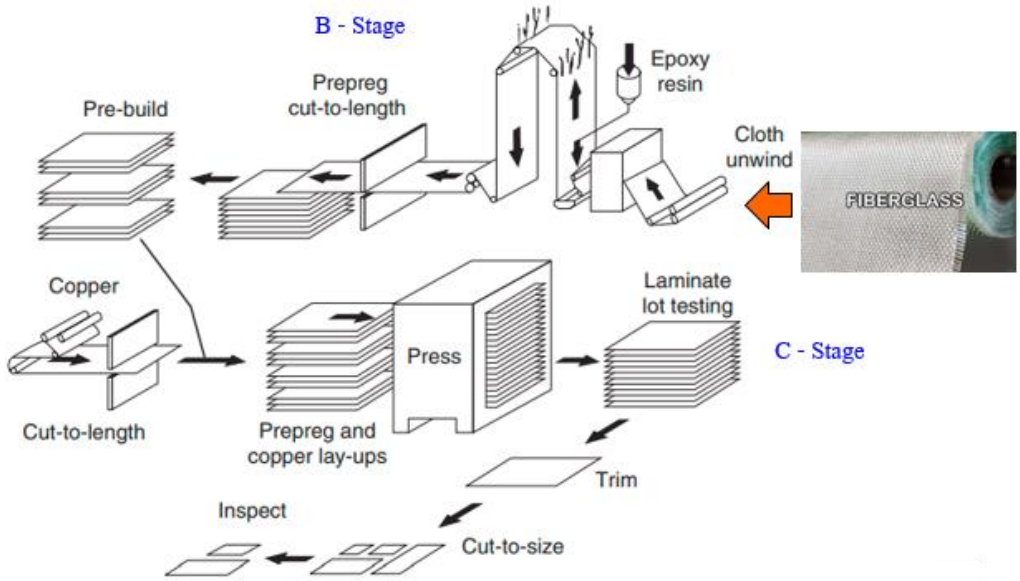
รูปที่ 2.4 จาก Prepreg มาเป็น Laminate

มีคำศัพท์สองคำที่ควรทำความเข้าใจก่อนในเบื้อต้น 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 สภาพของระดับที่ระบบเรซิ่นแข็งตัว (Cure) มากน้อยเพียงใด ... ให้นึกภาพง่าย ๆ ก็คือ ถ้าเรซิ่นที่เริ่มต้นจากสถานะของเหลว (สมมติว่าเป็น A – Stage) แล้วให้ความร้อนไปเรื่อย ๆ จนถึง

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

ต่อไป มาดูกระบวนการผลิตแผ่น Prepreg และ Laminate ต่อเนื่องกันไป กระบวนการจะเป็นดังรูป ...

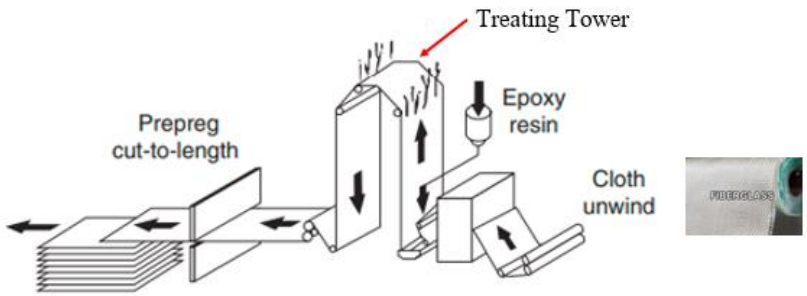


รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิต CCL

เพื่อให้ทำความเข้าใจได้ง่ายขึ้น เรามาค่อย ๆ ดูไปทีละส่วน

2.3 กระบวนการผลิตพรีเพรก

กระบวนการผลิคพรีเพรกจะเป็นดังรูปด้านล่าง

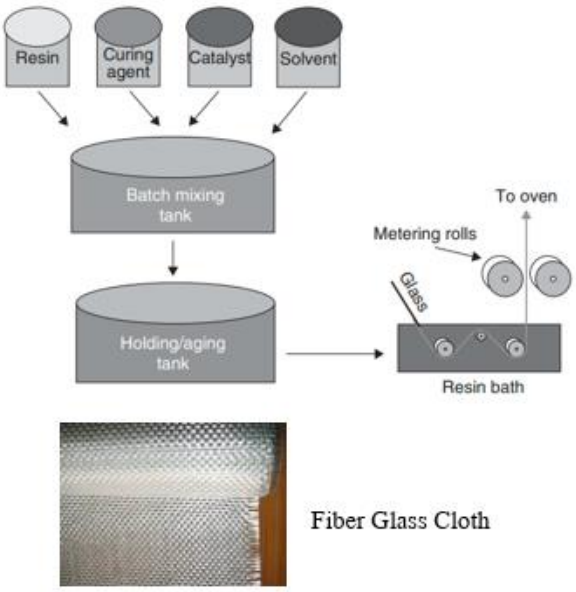


รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตพรีเพรก

ม้วนแผ่นผ้าที่เป็นใยสังเคราะห์ จะถูกนำมาคลี่ออกจากม้วน (Cloth unwind) และทำให้ตึง แล้วเคลื่อนผ่านเรซิ่น (Epoxy resin) ซึ่งเป็นของเหลวจนชุ่ม (Impregnate) (เสมือนกับเอาผ้ามาชุบน้ำ (เรซิ่น) นั่นเอง) แล้วเคลื่อนผ่านหอคอยให้ความร้อน (Treating Tower) ซึ่งจะค่อย ๆ ให้ความร้อนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วลดลงความร้อนลง

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

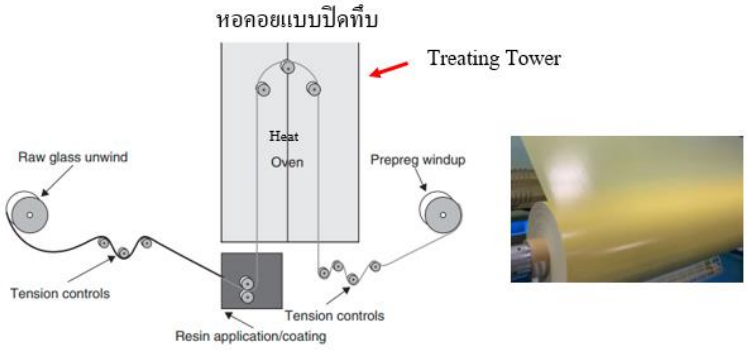
การผสมเรซิ่นและการชุบผ้าใยแก้ว (Fiberglass cloth) จะเป็นดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.7 การผสมเรซิ่นและการชุบเรซิ่น

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

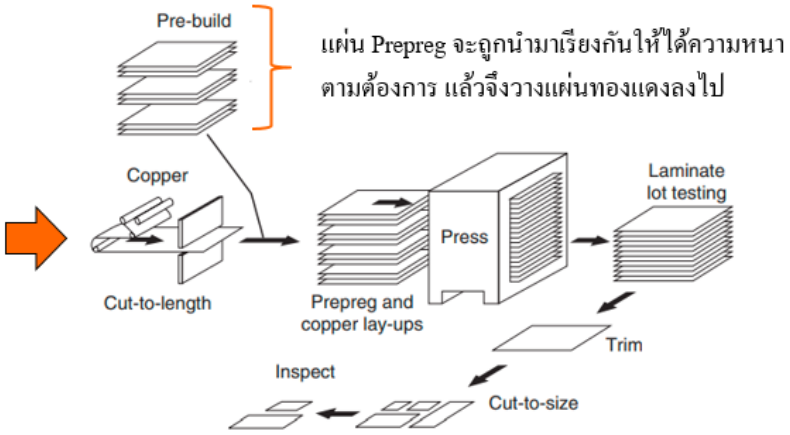
ถัดไปผ้าใยแก้วจะถูกดึงไปผ่านหอคอยแบบปิดทึบที่มีโซนความร้อน (Heat zone) หลายโซนด้วยกัน ... โซนแรกจะทำให้ตัวทำละลายในส่วนประกอบเรซินระเหยออกไป โซนต่อมาจะมีไว้เพื่อสำหรับการ cure เรซิ่นให้เข้าสู่ B-stage จนได้พรีเพรกออกมา แล้วม้วนเป็นม้วนหรือนำไปตัดเป็นแผ่นต่อไป



รูปที่ 2.8 การให้ความร้อนเพื่อให้ได้พรีเพรกออกมา

2.4 กระบวนการผลิตแผ่นลามิเนต

เมื่อได้ Prepreg ออกมาแล้ว ต่อไปก็เข้าสู่กระบวนการผลิต Laminate



รูปที่ 2.9 กระบวนการผลิตแผ่นลามิเนต

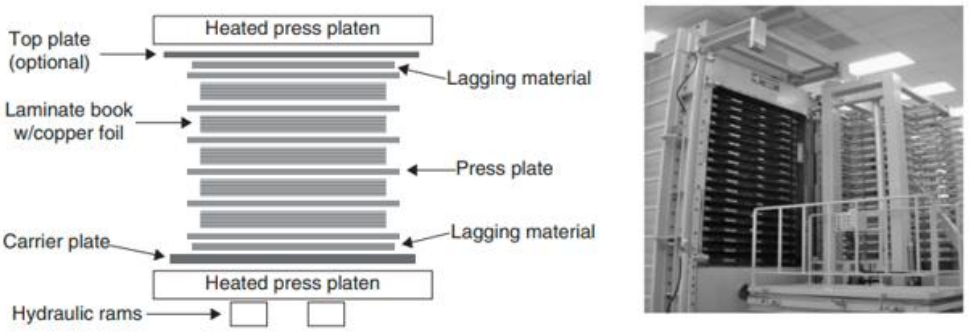
จากรูปที่ผ่านมา ม้วน Copper foil จะถูกคลี่ออกแล้วนำมาตัดให้ได้ขนาด (เท่ากับแผ่น Prepreg) แล้วก็นำมาซ้อนด้านบนของแผ่น Prepreg (หรือ ชุด Prepreg ที่มีหลายแผ่น)

ตัดแผ่น Copper foil ให้เท่ากับ
แผ่น 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 (ให้นึกภาพว่า เราใช้แผ่นโลหะแสตนเลสเป็นตัวกั้นระหว่างชุด) โดยมีแผ่นให้ความร้อน (Heated press plate) อยู่ด้านบนและล่าสุดและมีแกนไฮโดรลิค (Hydraulic rams) ดันแผ่นให้ความร้อนเข้าหากัน ... คราวนี้เราจะให้ความร้อนสูงขึ้นเพื่อเปลี่ยนจาก B – Stage ไปสู่ C – Stage



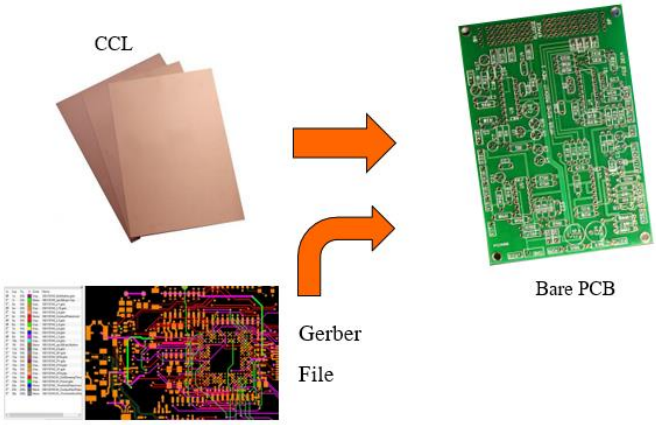
รูปที่ 2.11 การกดอัดและให้ความร้อน

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

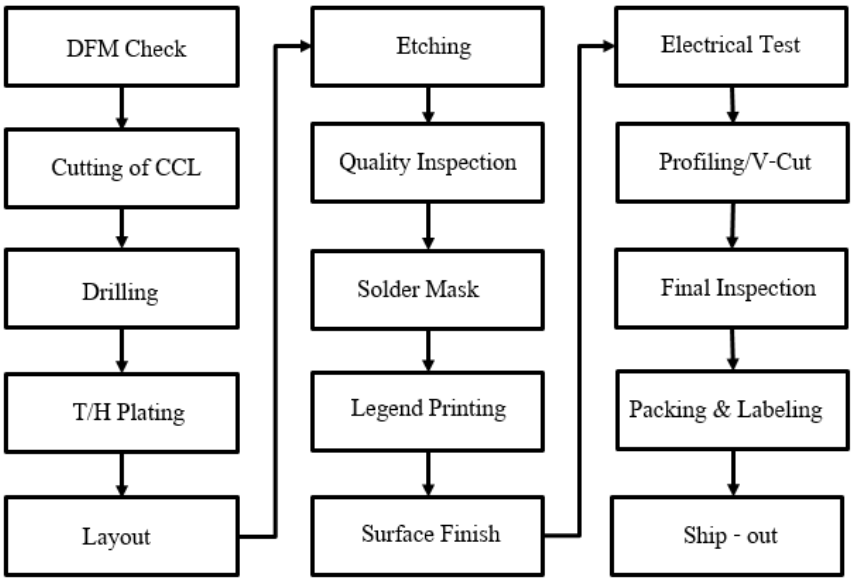
บทที่ 3 **การผลิตแผ่นวงจรพิมพ์เปล่า** (Bare PCB)

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

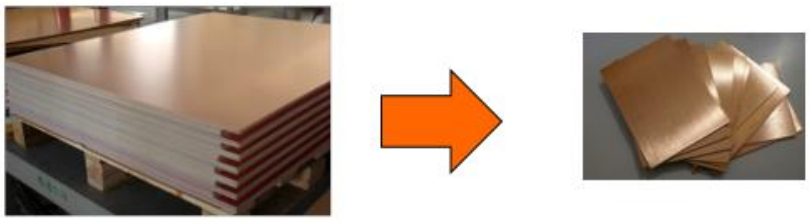
3.1 DFM Check

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

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

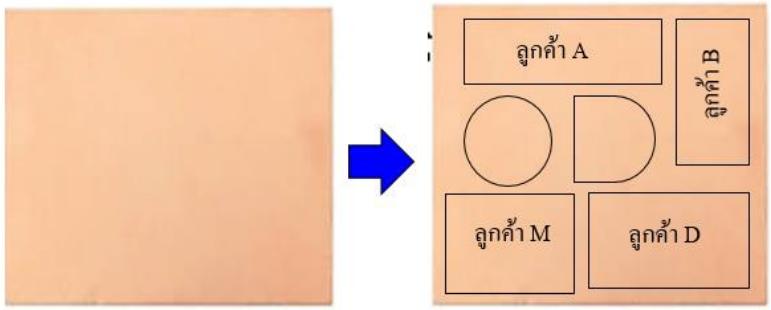
3.2 Cutting of CCL

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



รูปที่ 3.3 นำ CCL มาตัดให้ได้ขนาดและทำความสะอาดพื้นผิว

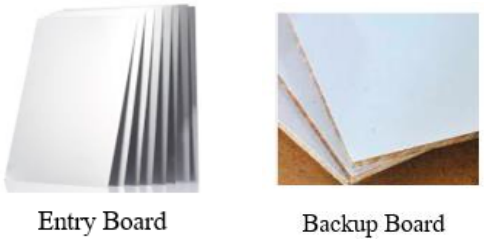
มีเรื่องหนึ่งที่ควรทราบก็คือ ทางโรงงานอาจจะทำ Panel Design เพื่อให้ผลิตงานของลูกค้าหลายรายได้พร้อม ๆ กัน ทั้งนี้เพื่อประหยัดเวลาในการผลิต จากนั้นจึงนำมาตัดแบ่งออกเป็นลูกค้าแต่ละรายในภายหลัง ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.4 ทางโรงงานอาจจะทำ Panel Design เพื่อให้ผลิตงานได้พร้อมกัน

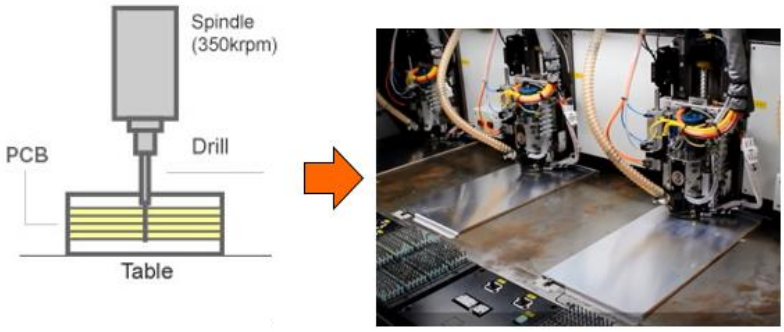
3.3 Drilling

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



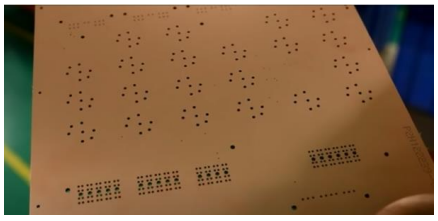
รูปที่ 3.5 แผ่น Entry Board และ Backup Board

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



รูปที่ 3.6 การเจาะรูบน PCB ที่วางซ้อน ๆ กัน

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

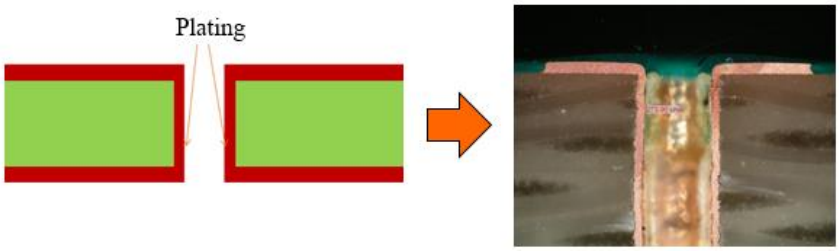


รูปที่ 3.7 ตัวอย่างของรูที่เจาะบน PCB

คราวนี้เราจะได้ PCB ที่เจาะรูเรียบร้อยแล้ว ... จากนี้เราจะนำไปทำ Through hold plating หรือ พูดง่าย ๆ ก็คือ สร้างทองแดงขึ้นมาในรูที่เจาะเอาไว้ เพื่อให้เชื่อมต่อระหว่างทองแดงทั้งสองด้านเข้าด้วยกัน ... แล้วก็ล้างทำความสะอาดอีกครั้ง

3.4 Through Hole Plating

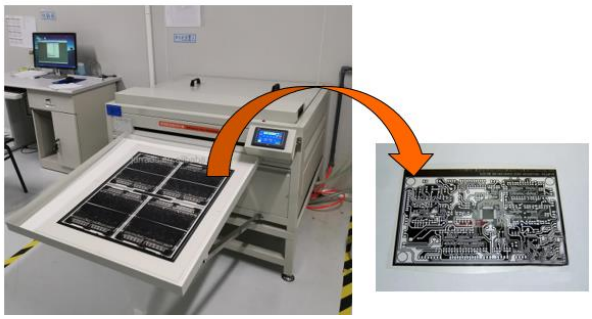
ก่อน Plating นั้น ในรูที่เจาะเอาไว้จะไม่มีการเชื่อมต่อระหว่างทองแดงด้านบนและด้านล่าง หลัง Plating แล้ว ในรูที่เจาะเอาไว้จะเกิดชั้นทองแดงบาง ๆ ขึ้นมา โดยมันจะเชื่อมต่อระหว่าทองแดงด้านบนและด้านล่าง ... ในบางกรณี ในภายหลังเราจะชุบทองแดงให้หนาขึ้น (Copper Plating) เพื่อให้ลายทองแดงหนาได้ตามข้อกำหนด ทองแดงในรูก็จะหนาขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 3.8 Through Hole Plating

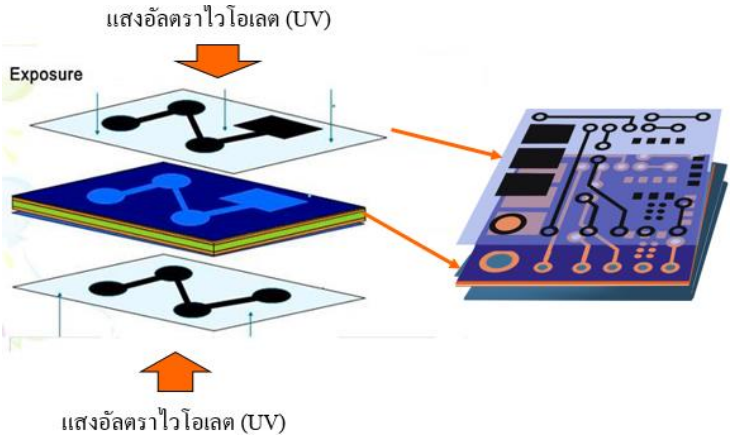
3.5 Layout

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



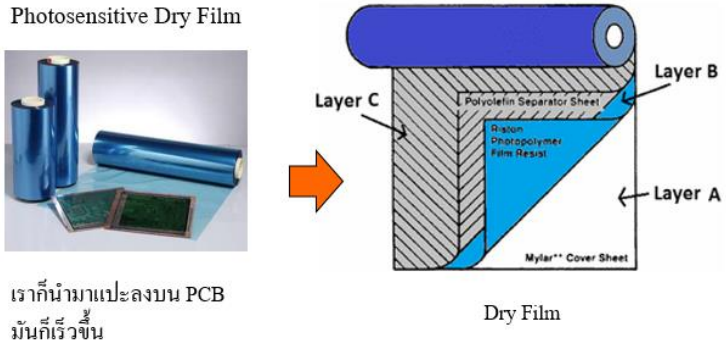
รูปที่ 3.9 การทำอาร์ตเวิร์กรูปลายเส้นบน PCB

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



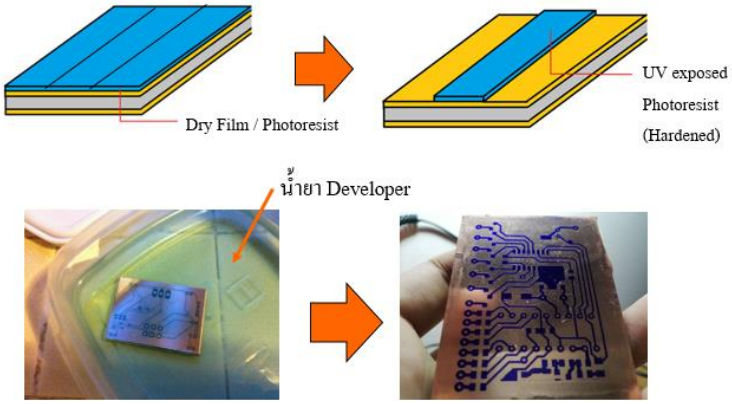
รูปที่ 3.10 ทำการถ่ายแบบลงบน CCL ที่เคลือบน้ำยาไวแสงไว้แล้ว

น้ำยาไวแสงแบบน้ำนั้นต้องรอให้แห้งก่อนที่จะนำไปถ่ายแบบ 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

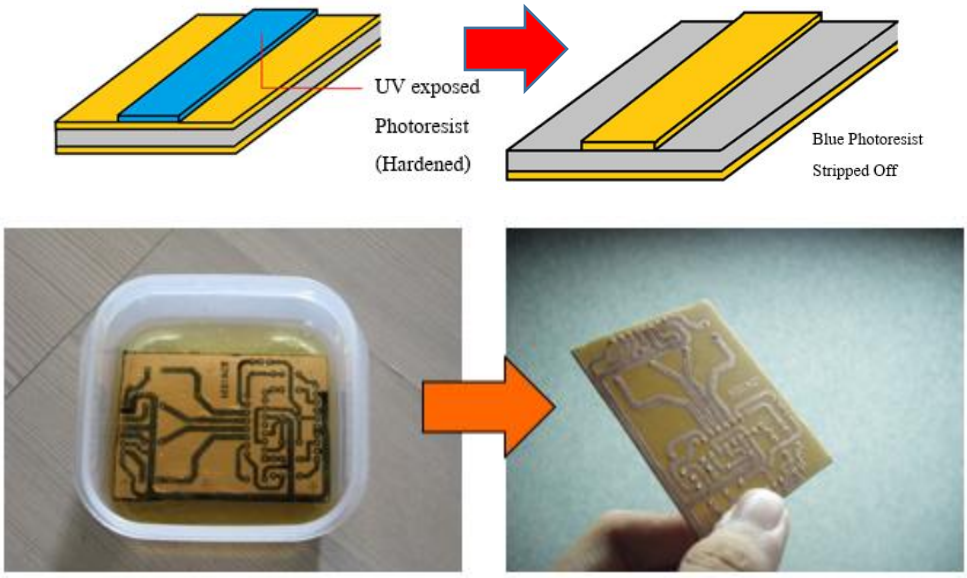
เมื่อถ่ายแบบเสร็จสิ้นแล้ว ก็นำ CCL ไปล้างด้วยน้ำยา (Developer) น้ำยาไวแสงส่วนใดที่โดนแสง UV จะแข็งตัวติดแน่นอยู่บน PCB ส่วนที่ไม่โดนแสงจะไม่แข็งตัวและถูกล้างออกไป ตามตัวอย่างดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 3.12 นำ CCL มาล้างด้วย Developer

3.6 Etching

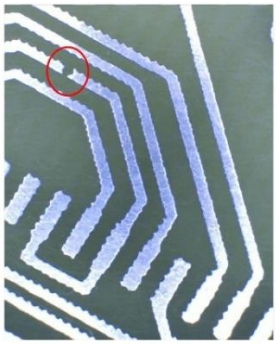
ต่อไปก็ใช้สารเคมีกัด (Etch) ทองแดงส่วนที่ไม่มีน้ำยาไวแสงปิดอยู่ (แสดงด้วยสีฟ้าในรูปบน) ออกไป ก็จะเหลือเฉพาะลายทองแดงที่ต้องการเอาไว้เท่านั้น จากนั้นก็ล้างน้ำยาไวแสงที่เคลือบอยู่ทิ้งไป



รูปที่ 3.13 ใช้สารเคมีกัดทองแดงส่วนที่ไม่มี Photoresist ทิ้งไป

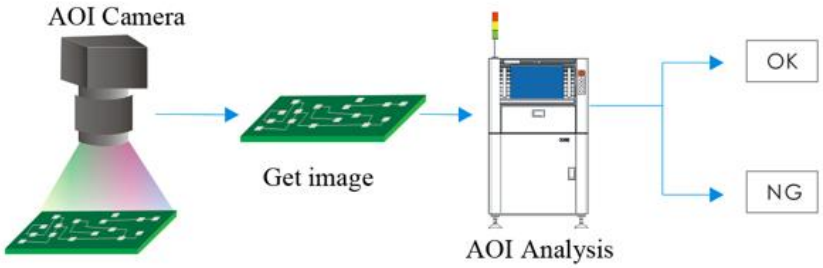
3.7 Quality Inspection

ขั้นตอนนี้ก็จะเป็นการตรวจสอบคุณภาพของ PCB ที่เราผลิตขึ้นมา เช่น ดูว่า ลายเส้นขาดหายไปหรือไม่ หรือ ดูว่า สิ่งต่าง ๆ เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่



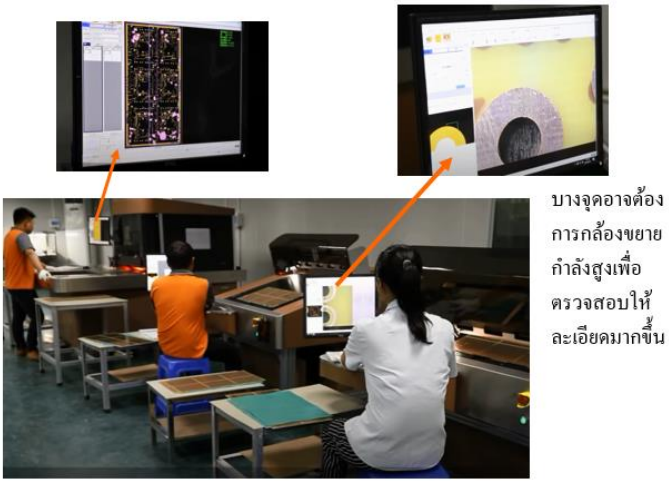
รูปที่ 3.14 ลายเส้นทองแดงขาด

การตรวจโดยทั่วไป มักจะใช้ Automated Optical Inspection (AOI) หรือ กล้องขยายเพื่อตรวจด้วยสายตา



รูปที่ 3.15 หลักการทำงานของเครื่อง AOI

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



รูปที่ 3.16 การตรวจด้วย AOI และ ดูด้วยสายตาผ่านกล้องขยาย

3.8 Solder Mask Printing

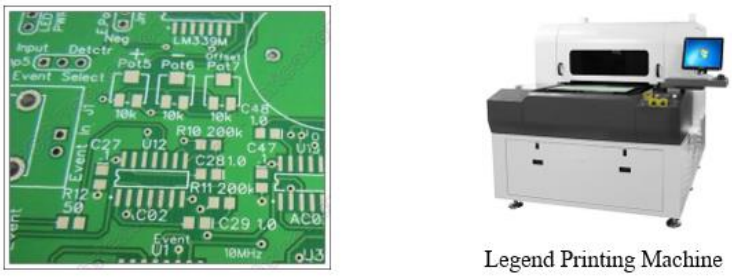
ต่อไปเราก็จะพิมพ์ Green Solder Mask ลงไปบน PCB ... แล้วนำไปอบให้ Solder Mask แห้ง

รูปที่ 3.17 พิมพ์ Green Solder Mask ลงบน PCB

Solder mask มักจะทำมาจากวัสดุเรซิ่นเพราะสามารถทำหน้าที่ได้ดีเป็นพิเศษในแง่ของการต้านทานความชื้น มีความเป็นฉนวนสูง ทนต่อการบัดกรีได้ดีและทนต่ออุณหภูมิได้สูง จุดประสงค์ของการใช้ Solder Mask ก็คือ เพื่อป้องกันการลัดวงจร (ที่เกิดจากการบัดกรี) ป้องกันการขูดขีดเป็นรอยบนลายทองแดงบนบอร์ด และยังป้องกันไม่ให้ทองแดงสัมผัสกับอากาศซึ่งสามารถทำให้เกิดการออกซิเดชันและการกัดกร่อนของลายทองแดง

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

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



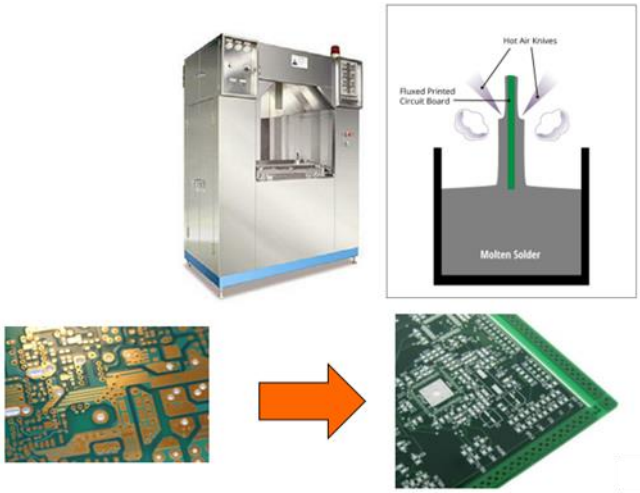
รูปที่ 3.18 การพิมพ์ Component Layout ลงบน PCB

3.10 Surface Finish

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

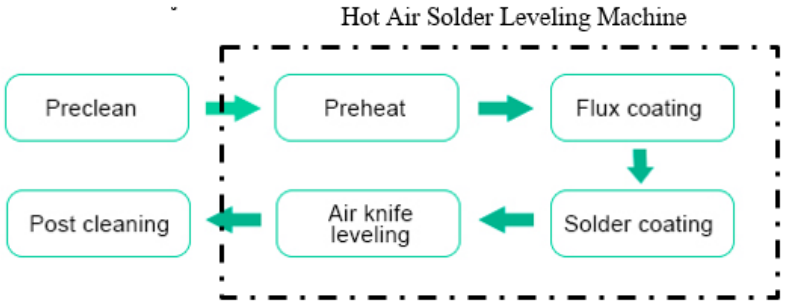
ในปัจจุบันจะทำ Surface finish หลายประเภทด้วยกัน ในที่นี้จะขอกล่าวถึงแค่ HASL

Hot Air Solder Leveling (HASL)



รูปที่ 3.19 Hot Air Solder Leveling Machine

HASL (การบัดกรี (เคลือบ) ด้วยลมร้อน) 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)

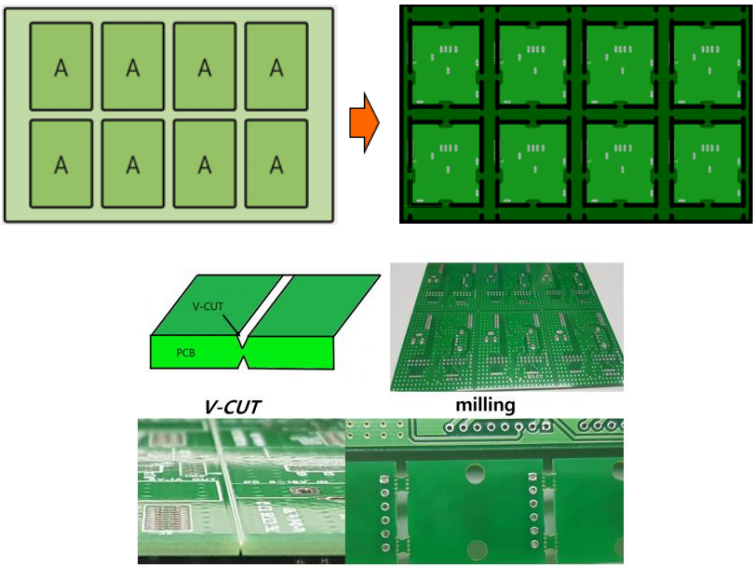
จากนั้นนำเข้าเครื่อง Hot Air Solder Leveling Machine เครื่องจะให้ความร้อนแก่ PCB จากนั้นจะมีกลไกจุ่ม PCB ลงในถังสารละลายดีบุก/ตะกั่วที่หลอมเหลว ทำให้พื้นที่ที่เป็นทองแดงทั้งหมดถูกคลุมไว้ด้วยสารละลายนี้

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

เมื่อ PCB ผ่านลมร้อนนี้ การบัดกรีส่วนเกินจะถูกลมไล่ออกไปจากบอร์ด ทำให้ชั้นบัดกรีมีความบางและสม่ำเสมอกัน 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



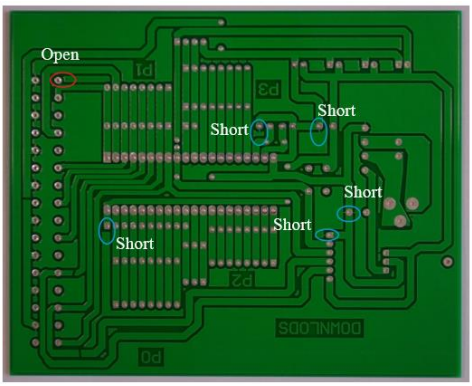
รูปที่ 3.21 การทำ Profiling (Milling) และ V -Cut

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

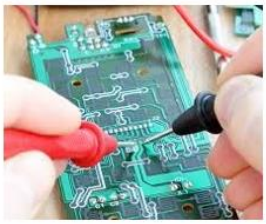
ทำการขัดผิวและทำความสะอาด PCB แล้ว ... ถ้าเป็นงานต้นแบบเรามักจะใช้ Flying Probe มาทดสอบ ... แต่ถ้าเป็นการผลิตจำนวนมาก (งานที่ผลิตไม่มีการแก้ไขอีกแล้ว) เรามักจะใช้เครื่องประเภท Bed of nails มาทดสอบ



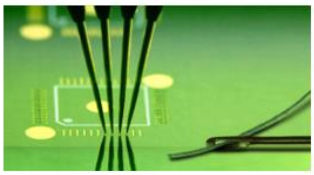
รูปที่ 3.22 การลัดวงจรบน PCB

1) Flying Probe

หลักการง่าย ๆ ก็คือ เอามิเตอร์มาวัดดูว่า เส้นทองแดงเส้นหนึ่งมีขาดออกจากกันไหม หรือ เส้นทองแดงสองเส้นหรือมากว่ามีการแตะกันไหม (ลัดวงจร)



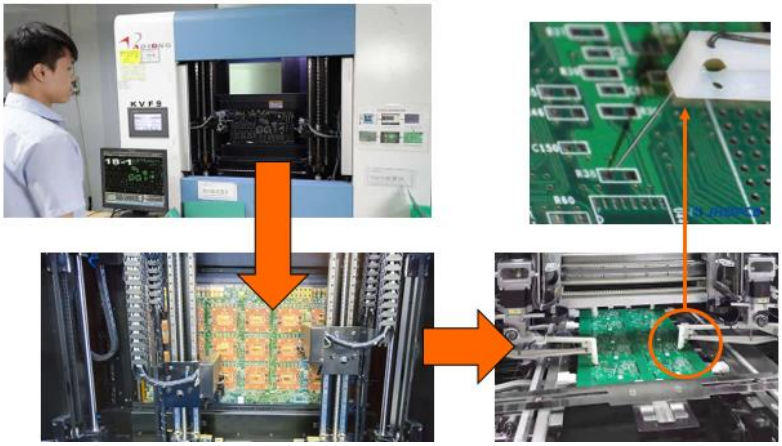
- ถ้าทำแบบนี้กับทุก ๆ เส้นทองแดงที่มีอยู่บน PCB ... ผมคงทำไม่ไหว ...
- หาเครื่องจักรมาทำแทนผมก็แล้วกัน ... เจ้าเครื่องนี้ก็คือ Flying Probe นั่นเอง



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 ๆจุดใด ๆ นั้นควรจะไม่เชื่อมถึงกัน ... จากนั้นมันก็จะทำการวัด (ตรวจสอบ PCB) ให้เราโดยอัตโนมัติ

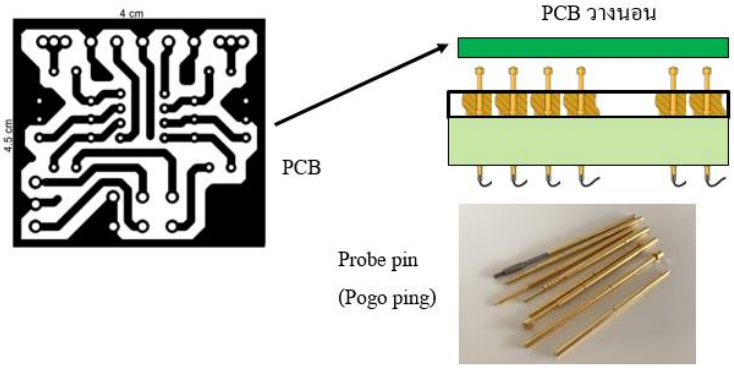
ในทางปฏิบัติแล้ว โหนดที่อยู่บนลายเส้นทองแดงที่เชื่อมต่อถึงกัน จะต้องวัดทั้งหมดเพื่อให้มั่นใจว่า ไม่มีการลายเส้นขาดจากกัน ... ส่วนการวัดลายเส้นทองแดงที่อาจเกิดการลดวงจรเข้าหากัน เราก็จะดูเส้นที่วิ่งอยู่ติดกัน หรือ ใกล้กันเท่านั้น ... เส้นที่อยู่ห่างกันมีโอกาสน้อยมากที่จะลัดวงจรเข้าหากัน (อย่าลืมว่า ก่อนหน้านี้เราทำการตรวจสอบโดย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



รูปที่ 3.24 ตัวอย่างของ Flying Probe

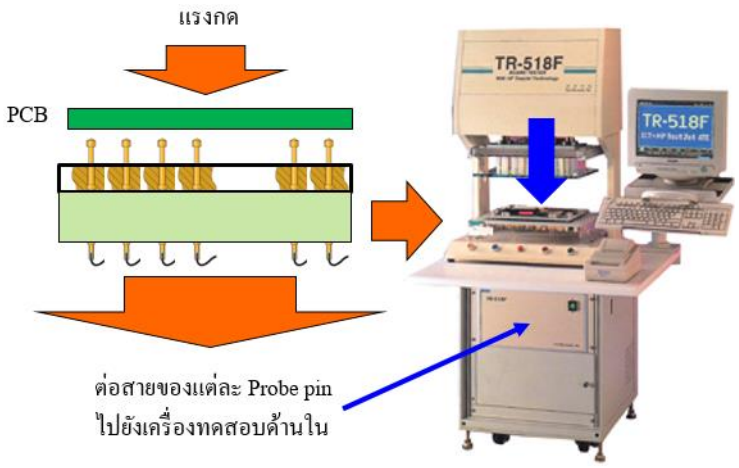
2) Bed of nail fixture test

ถ้าเราทำกล่องขึ้นมา แล้วติดตั้งProbe 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 มันจะทำการวัดแต่ละจุดตามที่เราตั้งโปรแกรมเอาไว้ ... 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) ก็จะทำการทดสอบทั้ง Panel ก่อน แล้วจึงนำมาแยกบอร์ดให้ลูกค้าแต่ละราย)

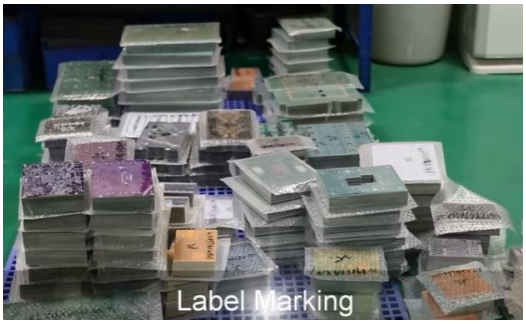
3.13 Final Inspection

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

รูปที่ 3.27 การตรวจสอบขั้นสุดท้ายตามมาตรฐาน IPC–A-610

3.14 – 3.15 Packing, Labeling & Ship out

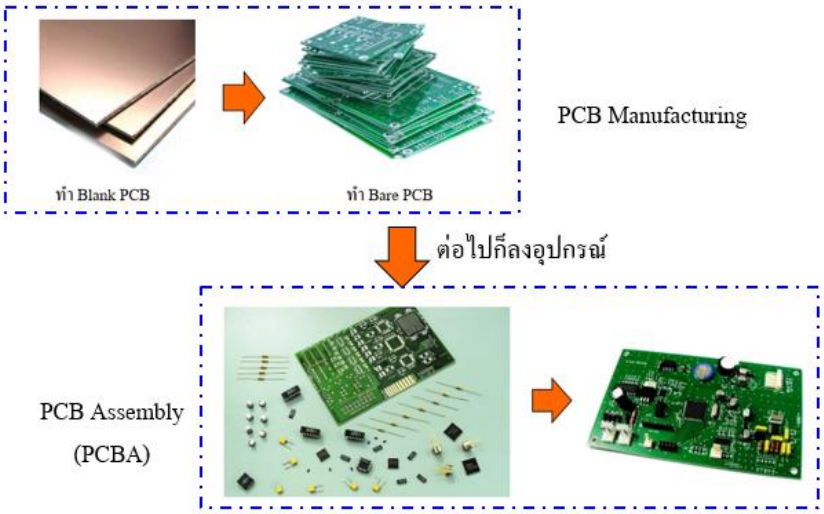
สองขั้นตอนสุดท้ายก็คือ นำ PCB ของแต่ละลูกค้ามาห่อบรรจุ (Packing) ตามข้อกำหนดที่ตกลงกัน พิมพ์ป้ายเพื่อจัดส่ง (Labeling) และ จัดส่งไปให้ลูกค้า (Ship out)



รูปที่ 3.28 ห่อบรรจุ ติดป้ายเพื่อจัดส่ง และส่งไปยังลูกค้า

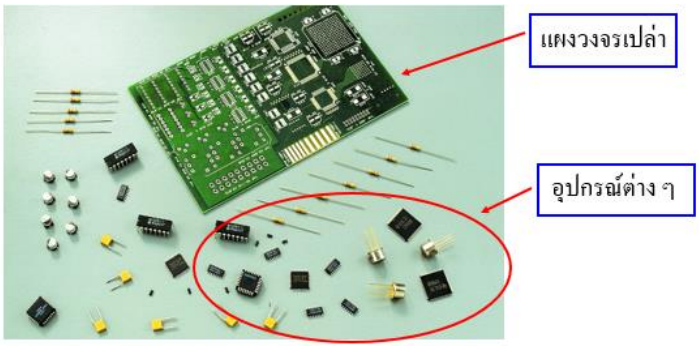
บทที่ 4 **การประกอบแผงวงจร** (PCBA)

ที่ผ่านมานั้น เรามาถึงไหนกันแล้ว ... สามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.1 ... เราได้เรียนรู้กระบวนการผลิต PCB มาแล้ว ต่อไปก็จะเป็นการนำแผ่นวงจรพิมพ์เปล่า (Bare PCB) มาลงอุปกรณ์อิเล็กทรนิคส์ ซึ่งเป็นกระบวนการของโรงงานทำ PCBA



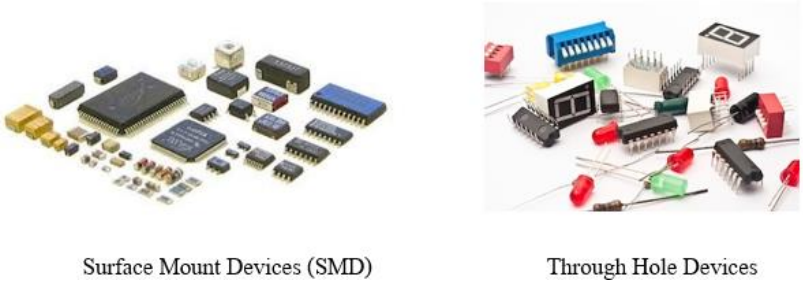
รูปที่ 4.1 จาก Blank PCB มาเป็น Bare PCB และตามด้วย PCBA

งานของ PCBA (PCB Assembly) ก็คือ การจับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ทั้งหลายบัดกรีลงไปบนแผงวงจร แล้วก็ทดสอบว่ามันทำงานถูกต้องตามต้องการหรือไม่



รูปที่ 4.2 งานของ PCBA คือการวางอุปกรณ์ลงบน PCB แล้วบัดกรี

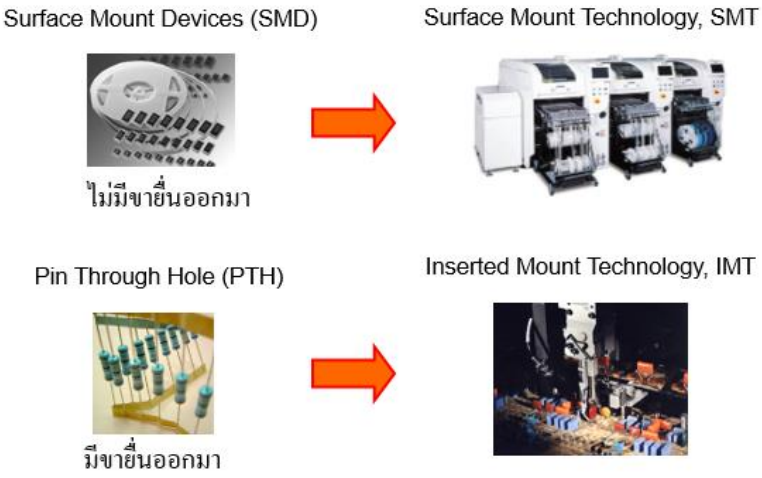
สิ่งที่ผู้ผลิตแผงวงจรไฟฟ้าสนใจไม่ใช่ตัววงจรที่ออกแบบขึ้นมา แต่เป็นรูปแบบทางกายภาพ หรือ Package ของตัวอุปกรณ์ เพราะมันจะเป็นตัวกำหนดเทคโนโลยี (เครื่องมือ เครื่องจักร วิธีการทำงาน เป็นต้น) ที่ต้องนำมาใช้งาน ... โดยทั่วไป จะแบ่งตัวอุปกรณ์ออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ Surface Mount Devices (SMD) กับ Through Hole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



Surface Mount Devices (SMD)　　Through Hole Devices

รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ประเภท SMD และ THD

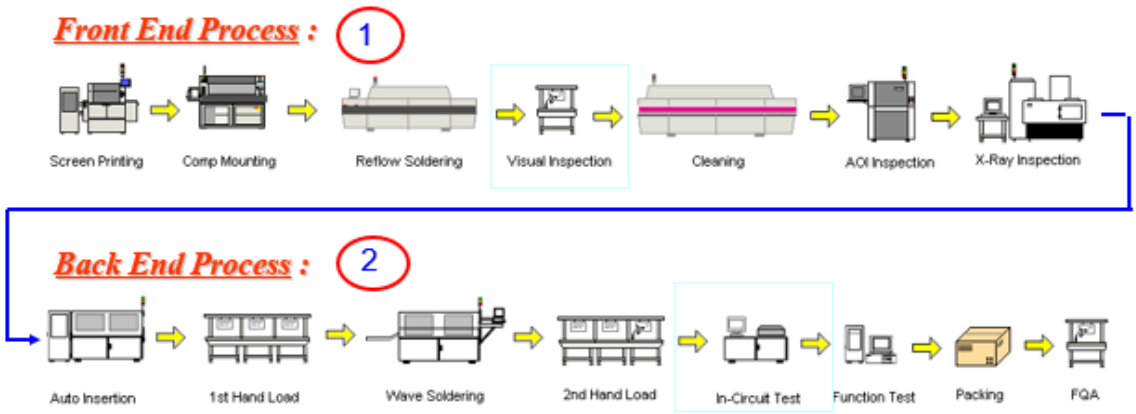
ดังนั้นเทคโนโลยีหลัก ๆ จึงแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ตามรูปร่างของอุปกรณ์ คือ Surface Mount Technology (SMT) และ Inserted Mount Technology (IMT) (หรือ Through Hole Technology (THT))



รูปที่ 4.4 เทคโนโลยีแบบ SMT และ IMT

บอร์ด ๆ หนึ่งอาจจะมีทั้งอุปกรณ์แบบ SMD และ THD อยู่บนบอร์ด จึงต้องต้องใช้เทคโนโลยีในการผลิตผสมกัน 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))

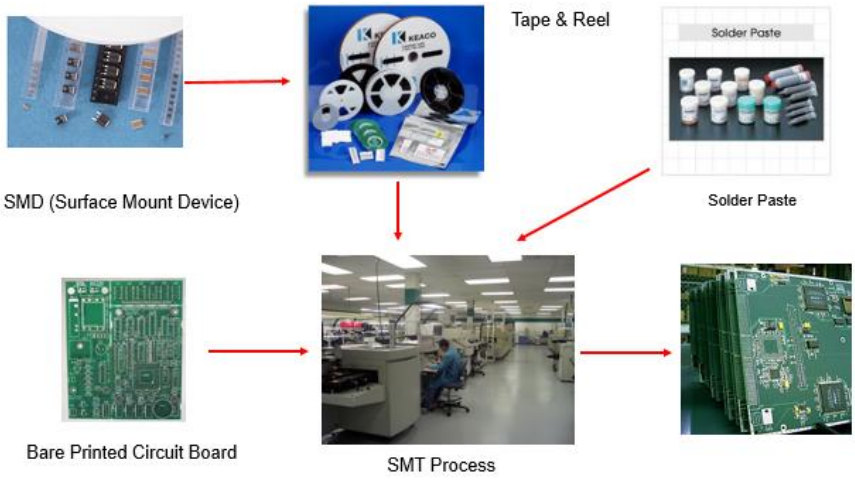
2) กระบวนการด้านหลัง หรือ Back End Process

กระบวนการด้านหลังจะพิจารณาจากการใสอุปกรณ์มีขา (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

เรามาดูกันไปทีละส่วน

4.1 SMT Process (Front End Process)



รูปที่ 4.6 SMT Process

4.1.1) ตะกั่วเหลว (Solder Paste)

ตะกั่วเหลว (Solder Paste) จะประกอบไปด้วยสองส่วนหลักด้วยกัน

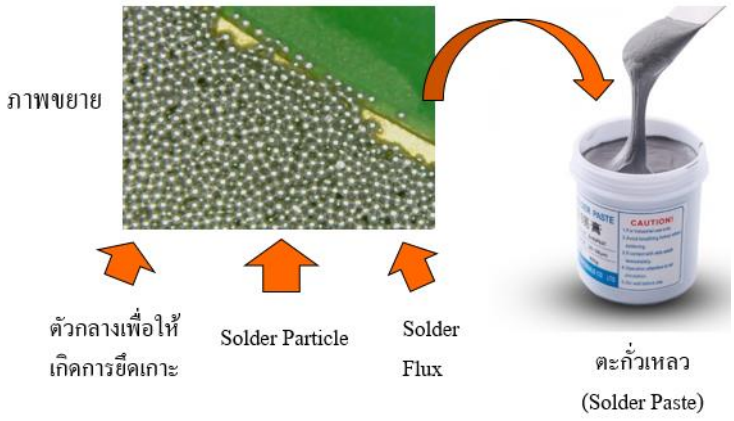
1) Alloy

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 อันเป็นการเตรียมพื้นผิวโดยป้องกันการเกิดออกซิเดชันของพื้นผิวโลหะและบนวัสดุที่เชื่อม และช่วยในการทำให้โลหะหลอมเหลวยึดเกาะได้ดี การยึดเกาะ (Wetting) เป็นสิ่งสำคัญสำหรับตะกั่วเหลว ฟลักซ์จะช่วยลดแรงตึงผิวของโลหะหลอมเหลวและช่วยให้ไหลได้ง่ายขึ้นในระหว่างกระบวนการบัดกรี

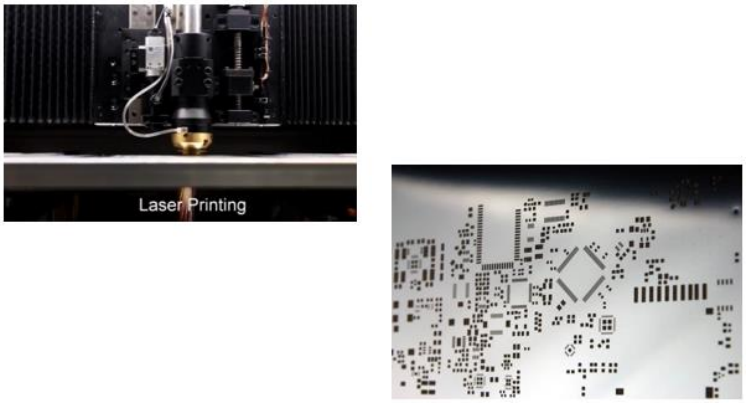
ฟลักซ์ที่ใช้กันจะมีสามแบบคือ Water Soluble Fluxes (ล้างออกด้วยน้ำ) No-Clean Flux (ใช้แล้วไม่ต้องล้าง) และ Rosin Flux (ต้องล้างด้วยน้ำยาพิเศษ)



รูปที่ 4.7 ตะกั่วเหลว หรือ Solder Paste

4.1.2) สเต็นซิล (Stencil)

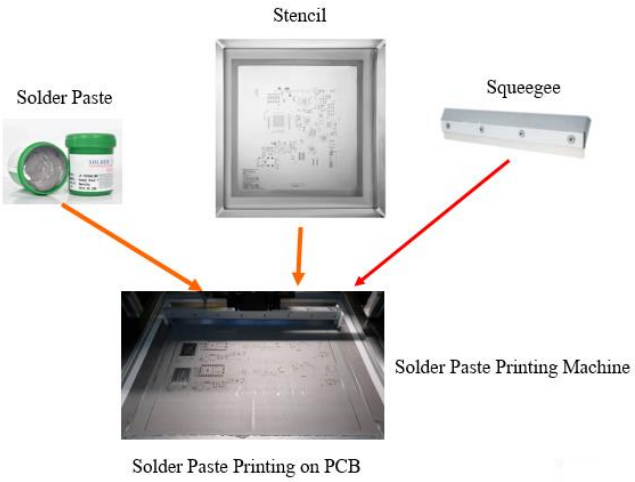
Stencil เป็นแผ่นโลหะบาง ๆ ที่มีการเจาะรู (apertures) แล้วนำมายึดเข้ากับกรอบอลูมิเนียมเพื่อขึงให้ตึง หน้าที่หลักของ Stencil ได้แก่ การส่งผ่านตะกั่วเหลวไปยังตำแหน่งที่กำหนดบน PCB ได้อย่างแม่นยำ ควบคุมปริมาณของตะกั่วเหลวให้เป็นไปตามขนาดและรูปร่างของรูที่เจาะไว้ และ ทำหน้าที่เป็นหน้ากาก (mask) เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกั่วเหลวลงไปยังพื้นที่ที่ไม่ต้องการ



รูปที่ 4.8 การใช้เลเซอร์ทำการเจาะรู Stencil

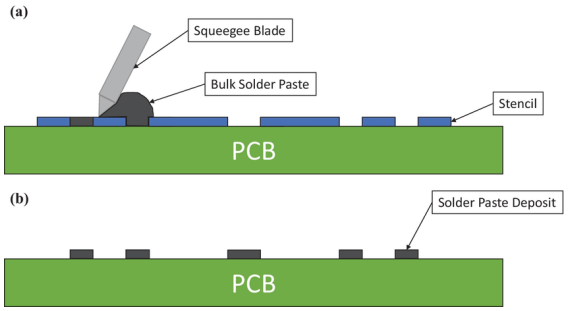
4.1.3) กระบวนการพิมพ์ตะกั่วเหลว (Solder Paste Printing Process)

องค์ประกอบของกระบวนการพิมพ์ตะกั่วเหลวจะเป็นดังรูป



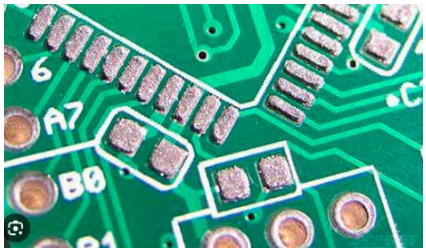
รูปที่ 4.9 องค์ประกอบของการพิมพ์ตะกั่วเหลว

กระบวนการพิมต์ตะกั่วเหลวก็คือการนำเอา PCB ไปวางไว้ด้านล่างของ Stencil ให้รูที่เจาะไว้บน Stencil ตรงกับตำแหน่ง Pad ที่ต้องการให้ตะกั่วเหลวลงไปบน PCB จากนั้นเทตะกั่วเหลวลงไปบน Stencil แล้วใช้ Squeegee (หรือ ไม้ปาดตะกั่ว) ปาดตะกั่วเหลวเพื่อกดให้ตะกั่วลอดช่องที่เจาะลงไปบน PCB (รูปที่ 4.10 a) จากนั้นก็ยก Stencil ออกไป ก็จะได้ตะกั่วเหลวติดอยู่บน PCB (รูปที่ 4.10 b)



รูปที่ 4.10 การพิมพ์ตะกั่วเหลวลงบน PCB

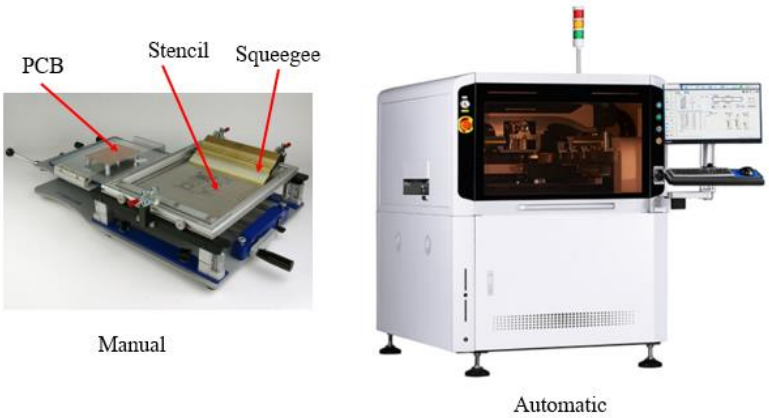
ตัวอย่างของตะกั่วเหลวที่ติดอยู่บน PCB จะเป็นดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ตะกั่วเหลวที่พิมพ์ลงไปบน PCB

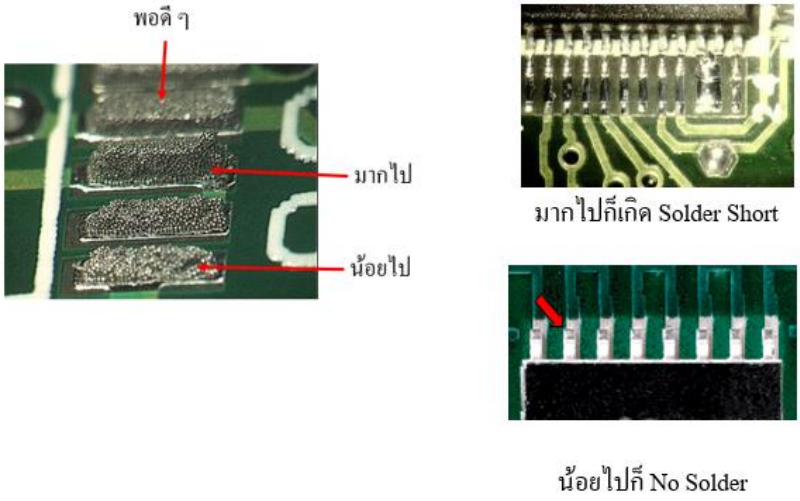
4.1.4) เครื่องพิมพ์ตะกั่วเหลว (Solder Paste Printing Machine)

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



รูปที่ 4.12 เครื่องพิมพ์ตะกั่วเหลว

หลังจากปาดตะกั่วเหลวลงไปบน PCB แล้ว ปริมาตรของตะกั่วบนจุดบัดกรีจะต้องมีความสูงและปริมาณที่เหมาะสมพอดี ๆ เท่า ๆ กันทุกจุด ... ถ้ามีมากเกินไปก็อาจทำให้เกิดการลัดวงจร (Solder Short) น้อยเกินไปก็อาจทำให้บัดรีติดไม่ดี (No Solder)



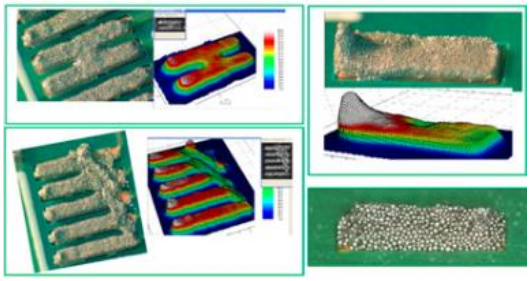
รูปที่ 4.13 ปัญหาของการปาดตะกั่วเหลว

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 ดูพื้นที่การพิมพ์ (Printing area) ของ Solder paste ดูความระนาบ (Flatness) ของการพิมพ์ Solder paste ... นอกจากนั้นยังช่วยตรวจจับลักษณะบกพร่องต่าง ๆ เช่น การพิมพ์ Solder paste เคลื่อน (Shift) ออกไปตำแหน่งที่กำหนด ความสูงของการพิมพ์ Solder paste เกิดผันแปรไปจากที่กำหนดไว้ Solder paste สองจุดเกิดเชื่อม (bridge) เข้าหากัน และรูปร่างของ Solder paste ที่พิมพ์ออกมา มีข้อบกพร่อง หรือ เสียหาย



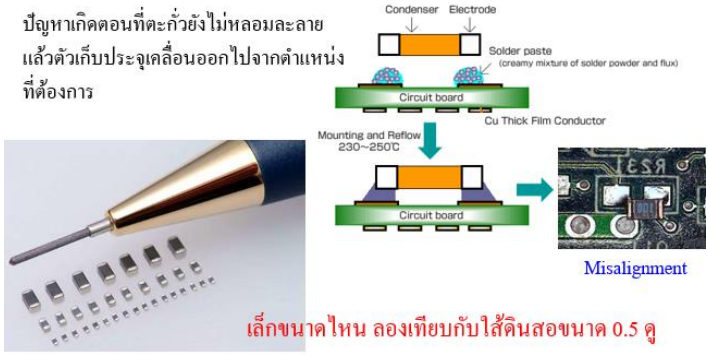
รูปที่ 4.15 ตัวอย่างข้อบกพร่องที่แสดงโดย SPI

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

รูปที่ 4.16 เครื่องล้าง PCB หรือ Stencil

4.1.6 กระบวนการหยอดกาว (Glue Process)

โดยทั่วไปแล้ว หลังจากทำการปาดตะกั่วแล้ว ก็จะทำการวางอุปกรณ์ลงบนตะกั่วที่ปากเอาไว้บน PCB แต่ก็มีเรื่องที่ต้องต้องพิจารณาเพิ่มเติม เช่น ถ้าอุปกรณ์ตัวเล็กน้ำหนักเบา เวลาเครื่องจักรมันทำงาน มันจะมีการสั่นไหวและขยับออกมาจากตำแหน่งที่กำหนดไว้ดังรูป

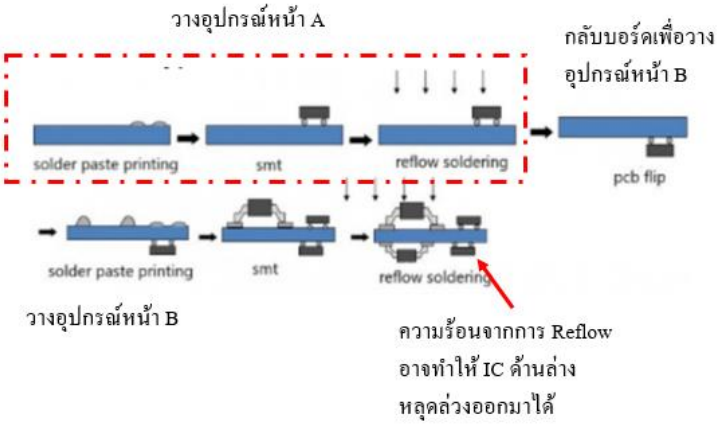


รูปที่ 4.17 อุปกรณ์ตัวเล็ก ๆ อาจมีการสั่นไหวจนขยับออกมาจากตำแหน่งที่กำหนด

ในกรณีนี้ ก็อาจต้องเพิ่มกระบวนการหยอดกาวเข้ามาเพื่อล็อกตัวมันไว้ไม่ให้ขยับดังรูป

รูปที่ 4.18 การหยอดกาวเพื่อยึดอุปกรณ์

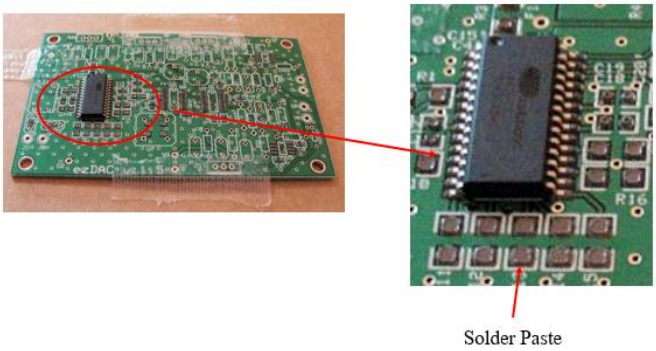
อีกกรณีหนึ่ง ถ้าทำการผลิต PCB ที่มีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ที่มีน้ำหนักมาก (เช่น IC ที่มี Package ขนาดใหญ่) อยู่ทั้งสองด้านของ PCB การพลิก PCB เพื่อวางอุปกรณ์อาจทำให้ IC ที่มีน้ำหนักมากซึ่งอยู่ด้านล่างของ PCB หลุดออกมาได้เมื่อผ่าน Reflow Oven ... ดังนั้นก็ควรจะติดกาว IC ที่อยู่ด้านล่าง (หลังจากกลับบอร์ด)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



รูปที่ 4.19 การหยอดกาวเพื่อยึด IC ที่มีน้ำหนักมาที่อยู่ด้านล่างของ 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

รูปที่ 4.21 Mounting Machine

4.1.8) การบัดกรีโดยการรีโฟล์ว (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 เราจะให้ความร้อนที่บอร์ดค้างเอาไว้ค่าหนึ่งโดยใช้เวลาประมาณ 60 ถึง 120 วินาที เพื่อกำจัดสารระเหยที่ผสมอยู่ในตะกั่วเหลวและเริ่มให้ฟลักซ์ทำงาน นอกจากนั้นยังช่วยให้แน่ใจว่าบอร์ดและตะกั่วเหลวมีความสมดุลทางความร้อน (thermal equilibrium) ก่อนที่จะเคลื่อนไปยังขั้นตอนการรีโฟลว์ ... หากความร้อนของบอร์ด (PCB และ อุปกรณ์) กับตะกั่วเหลว ยังร้อนไม่เท่ากัน อาจส่งผลต่อการทำงานของตะกั่วเหลวทำให้เกิดข้อบกพร่องในระหว่างการรีโฟลว์ได้

Ramp to Peak

ขั้นตอนนี้ จะเป็นการเพิ่มเพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปอย่างรวดเร็วเพื่อไปสู่จุดที่ตะกั่วหลอมละลาย (reflowing temperature) และค้างอยู่ที่จุดนี้ไม่กี่วินาที

Reflow

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

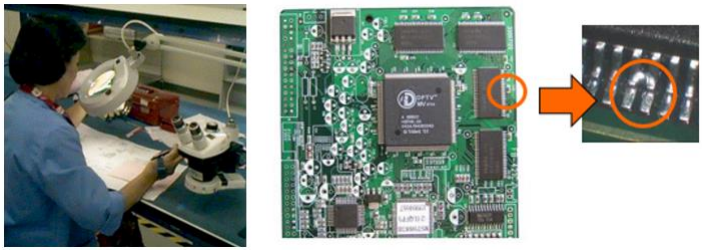
Cooling

ขั้นตอนสุดท้ายใน Reflow Oven จะทำให้บอร์ดค่อยๆ เย็นลงและช่วยให้รอยบัดกรี (Solder joint) ขึ้นรูปได้อย่างเหมาะสม หากขั้นตอนนี้เกิดขึ้นเร็วเกินไปอาจทำให้ชิ้นส่วนแตกหัก (breaking) และแตกร้าว (crack) ได้ ในทางกลับกัน ถ้าช้าเกินไปก็อาจทำให้การเชื่อมต่อระหว่างโลหะลดประสิทธิภาพลงได้ สิ่งสำคัญก็คือต้องตรวจสอบข้อกำหนดของผู้ผลิตสำหรับตะกั่วเหลวแต่ละยี่ห้อให้ดี

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

4.1.9) การตรวจสอบหลังโอเว่น (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 หรือ ไม่ นั่นเอง (ถ้าใช้ตะกั่วเหลวแบบ non clean flux (หรือ ไม่ต้องล้างทำความสะอาดคราบฟลักซ์ที่ผสมอยู่) เราก็ไม่ต้องใส่บอร์ดเข้าเครื่องล้าง)

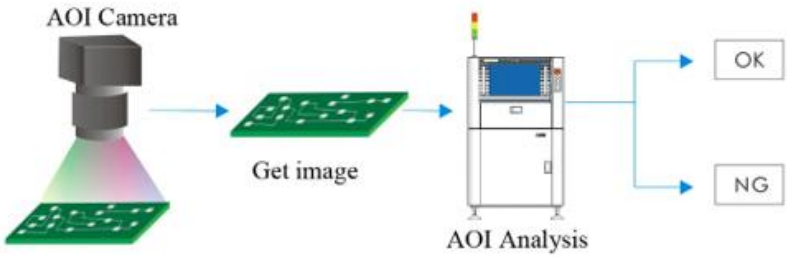
รูปที่ 4.26 เครื่องล้างบอร์ด

ในกรณีที่เราใช้ฟลักซ์ที่ต้องล้างในกระบวนการผลิตแล้ว ถ้าไม่ล้างบอร์ดที่ผลิตขึ้นมา นานไปฟลักซ์ที่ตกค้างอยู่บนบอร์ดก็จะก่อให้เกิดการกัดกร่อนจนทำให้เกิดความเสียหายแก่บอร์ดได้

ในกรณีที่อุปกรร์มีขนาดเล็ก 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



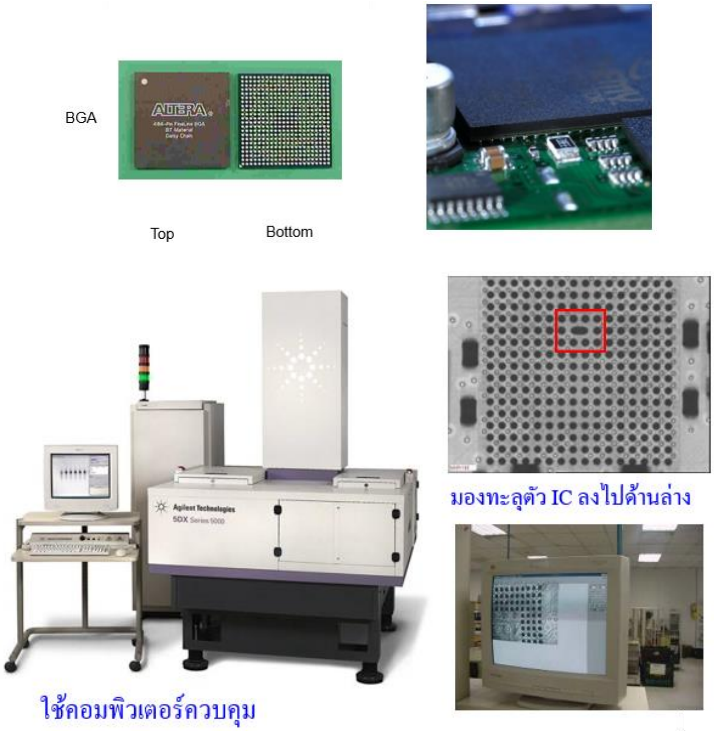
รูปที่ 4.27 หลักการทำงานง่าย ๆ ของ AOI

รูปร่างหน้าตาของเครื่อง AOI จะเป็นดังรูปด้านล่าง

รูปที่ 4.28 เครื่อง AOI

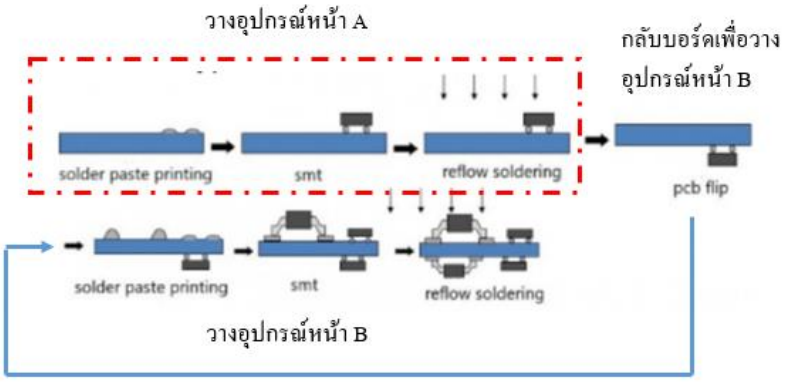
4.1.11) Automated X-Ray Inspection (AXI)

อุปกรณ์ใหม่ ๆ เช่น IC แบบ BGA (Ball Grad Arrays) จะไม่สามารถมองเห็นจุดบัดกรีด้วยตาเปล่าได้ ทั้งนี้เพราะตัวถังจะบังอยู่ด้านบน หรือ ขนาดเล็กเกินไป จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์พิเศษเข้าช่วยซึ่งได้แก่เครื่อง AXI ซึ่งจะทำงานคล้าย ๆ กับเครื่อง AOI แต่แทนที่จะใช้กล้องถ่ายรูป AXI จะให้การเอ็กซ์เรย์ทะลุผ่านตัวอุปกรณ์ 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

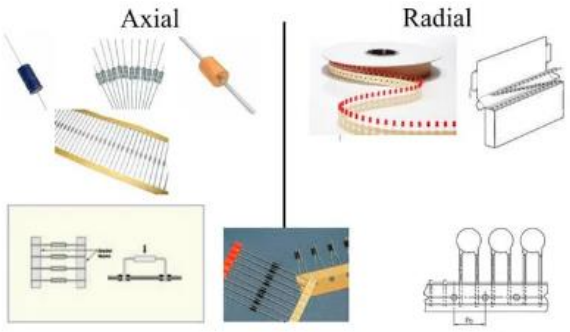
4.2 กระบวนการ IMT (IMT Process หรือ THT Process)

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) แล้วเสียบขาลงไปในรูบน PCB

รูปที่ 4.33 Axial Insertion Machine สำหรับใส่อุปกรณ์ประเภท Axial

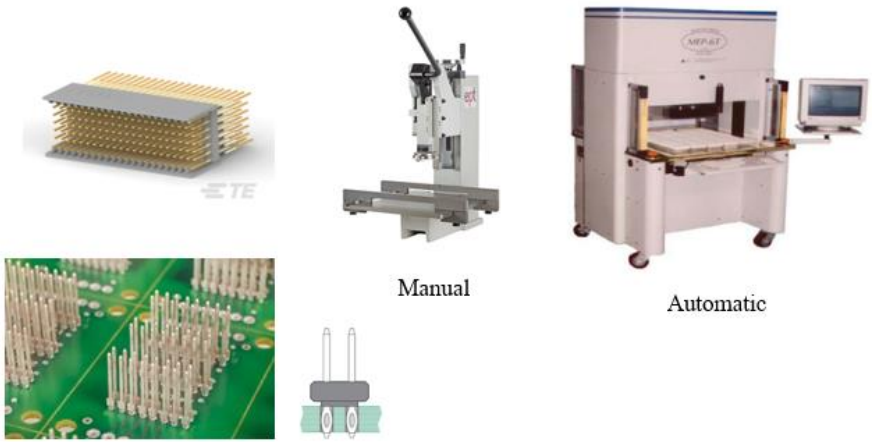
2) Radial Insertion Machine

รูปที่ 4.34 Radial Insertion Machine สำหรับใส่อุปกรณ์แบบ Radial

เครื่องจะมีกลไกสำหรับตัดอุปกรณ์ที่มีขาแบบ Radial ออกมาจากม้วน (รูปขวาของรูปที่ 4.32) แล้วเสียบขาลงไปในรูบน PCB

3) Press Fit Machine

อุปกรณ์ที่เป็น Connector ที่มีขามาก ๆ เราก็ต้องใช้เครื่อง 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

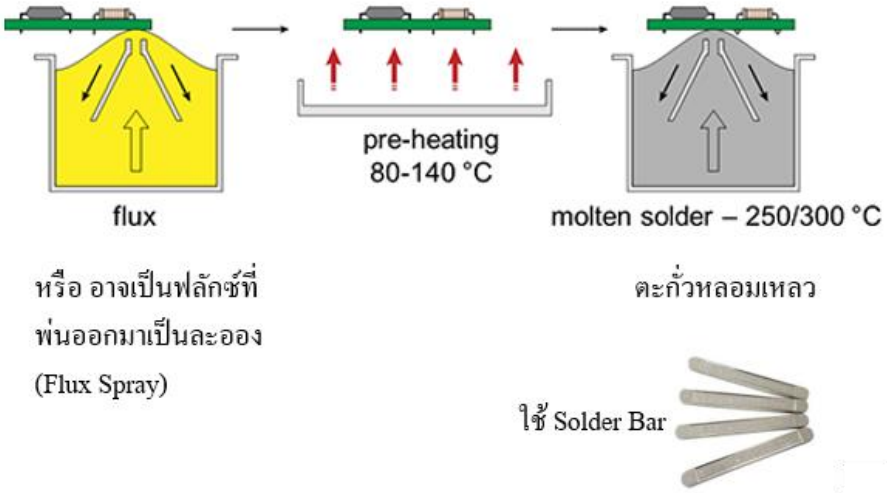
การบัดกรีอุปกรณ์ประเภท Through Hole จะต่างกับ อุปกรณ์ประเภท SMD โดยจะใช้ Wave Soldering Machine ดังรูป

ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม

แผ่นวงจรไฟฟ้าจะเคลื่อนผ่านน้ำตะกั่วเหลวที่ถูกดันให้นูนขึ้นมาเหมือนคลื่นน้ำทะเล

รูปที่ 4.37 Wave Soldering machine

การทำงานภายใน Wave Soldering Machine เป็นดังรูป



รูปที่ 4.38 หลักการทำงานของ Wave Soldering Machine

บอร์ดจะผ่านโซนการให้ฟลักซ์เพื่อให้บัดกรีได้ง่าย (การให้ฟลักซ์นี้ อาจจะเป็นรูปแบบที่เป็นน้ำที่ใช้ลมดันให้ผิวหน้านูนขึ้นมาสัมผัสกับบอร์ดที่เคลื่อนที่ผ่าน หรือ พ่นออกมาเป็นสเปร์ (Flux Spray) ก็ได้) จากนั้นบอร์ดจะ

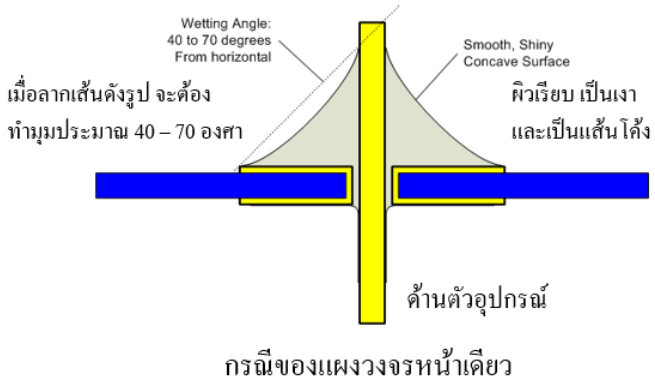
เคลื่อนผ่านโซน Pre-Heating เพื่อให้ฟลักซ์แห้งและทำให้อุปกรณ์บนบอร์ดและตัว PCB ร้อนขึ้น แล้วจึงเคลื่อผ่านบ่อตะกั่วเหลว (Molten Solder Pot) ที่มีตะกั่วหลอมเหลวเป็นน้ำ (เกิดจากการนำแท่งตะกัว (Solder Bar) ไปหลอมละลาย) ที่ถูกลมดันให้ผิวหน้านูนสูงขึ้น (คล้ายกับคลื่นในท้องทะเล ... จึงเรียกเครื่องจักรนี้ว่า Wave Soldering) ที่จุดยอดคลื่นนี้ ขาอุปกรณ์และจุดบัดกรีที่ PCB จะสัมผัสกับน้ำตะกั่ว จึงเสมือนกับเกิดการบัดกรีขึ้นที่จุดนี้ 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) ก็ต้องนำมาทดสอบดูว่า บอร์ดที่ผลิตขึ้นมานั้นเกิดข้อบกพร่องหรือไม่ (เช่น เปิดวงจร ลัดวงจร ใส่อุปกรณ์ผิดทิศ/ผิดตำแหน่ง หรือ

ฟังก์ชันการทำงานไม่เป็นไปตามข้อกำหนด) ก็ต้องนำบอร์ดมาทดสอบดู ... เครื่องมือที่ใช้ ทดสอบจะแบ่งออกเป็นสองกลุ่ม คือ

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

ข) ทดสอบฟังก์ชั่นการทำงานของบอร์ด (FCT, Functional Tester) โดยการจ่ายไฟให้กับบอร์ดแล้วดูฟังก์ชั่นการทำงานว่า ถูกต้องไหม

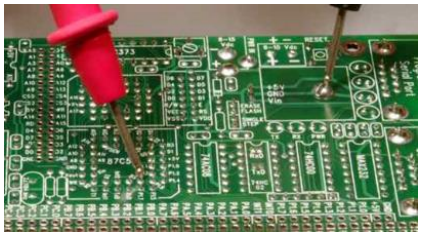
4.2.5.1) ICT (In-Circuit Testing)

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 ก็อาจเป็นได้ว่า อุปกรณ์ที่วัด (หรือ ใส่ลงบนบอร์ด) นั้นไม่ถูกต้อง จะต้องทำการตรวจสอบดู ... เครื่องจักรที่ทำการทดสอบแบบที่เล่ามา 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

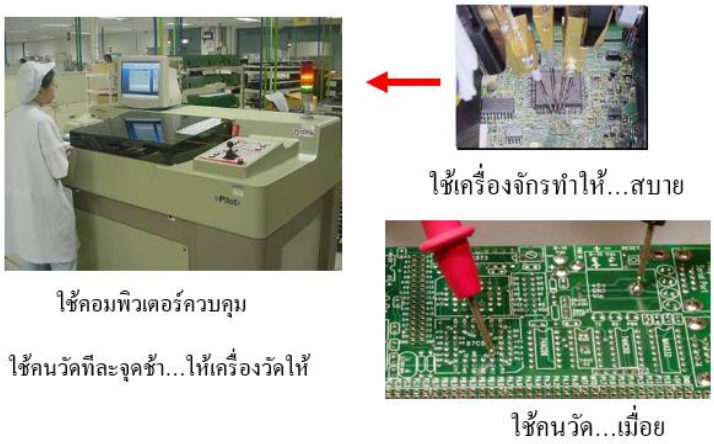
1) Flying Probe ... (อยู่ในกลุ่มของ ICT ที่ไม่ใช้ฟิกเจอร์ หรือ Fixtureless ICT)

โดยทั่วไป เมื่อเราต้องการวัดความต้านทางระหว่างจุด A กับ จุด B เราก็จะใช้โพรบของโอห์มมิเตอร์ไปแตะที่จุด A และ B แล้วก็อ่านผลจากจอแสดงผลของโอห์มมิเตอร์



รูปที่ 4.41 การวัดสัญญาณระหว่างสองจัดด้วยมือ

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

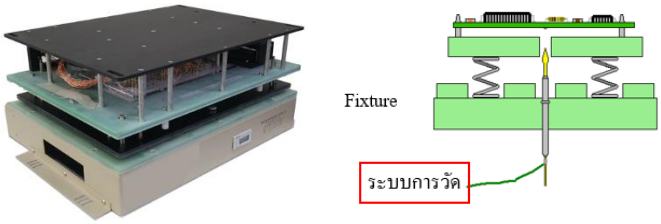


รูปที่ 4.42 Flying Probe

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

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

ใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม

วัดทีละจุดช้า…วัดมันพร้อม ๆ กันที่ละ 2000 จุด

รูปที่ 4.44 Manufacturing Defect Analyzer (MDA) และ Test Fixture

โดยทั่วไป MDA จะใช้วัดอุปกรณ์ประเภท Passive Component และ Transistor, Diode … และเป็นการวัดที่ไม่จ่ายไฟเลี้ยงเข้าบอร์ด (Unpowered Test) จึงทำให้สามารถวัดอุปกรณ์ในเชิง Passive เป็นหลัก … ตัวอย่างการวัดก็เช่น การลัดวงจร (Short circuits) เช่น Solder bridges การเปิดวงจร (Open circuits) การใส่อุปกรณ์ผิดค่า (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 (มีการจ่ายไฟให้อุปกรณ์แต่ละตัวเพื่อวัดฟังก์ชันการทำงานของมันด้วย … ซึ่ง MDA ไม่มีแบบนี้)

รูปที่ 4.45 เครื่อง ICT

ICT จะแบ่งการทดสอบออกเป็นสองส่วน คือ:

1) Power-Off tests … ส่วนนี้จะดำเนินการก่อน โดยทำการทดสอบ PCB เมื่อยังไม่มีการจ่ายไฟเข้าตัวบอร์ด (ลักษณะการทดสอบจะคล้ายกับ MDA ที่ผ่านมา)

2) Power-On tests ... (หลังจากผ่านข้อ 1) แล้ว) จะมีการจ่ายไฟเข้าตัวบอร์ด การทดสอบอุปกรณ์ประเภท Active จะเริ่มดำเนินการต่อไป ตัวอย่างของการทดสอบก็เช่น ฟังก์ชั้นของ IC (ทั้ง Analog และ Digital) ทำงานผิดพลาด ใส่ IC กลับทิศ วัดค่า RLC วัดอัตราการขยายสัญาณของทรานซิสเตอร์ 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 ก็มีตั้งแต่แบบคันโยกง่าย ๆ ดังรูป

รูปที่ 4.47 FCT Test Fixture อย่างง่าย

เมื่อใส่บอร์ด (ขนาดเล็ก มีจุดวัดไม่กี่จุด และการวัดไม่ซับซ้อน) ที่ต้องการทดสอบเข้าไปในฟิกเจอร์แล้วกดคันโยกลง โพรบก็จะสัมผัสกับจัดวัดบนบอร์ด สัญญาณจากจุดวัดก็จะถูกป้อนเข้าเครื่องมือวัดและประมวลผลต่อไป

เมื่อบอร์ดมีขนาดใหญ่ขึ้น มีจัดวัดมากขึ้น และมีการวัดที่ซับซ้อนมากขึ้น ขนาดของฟิกเจอร์จะใหญ่ขึ้นและมีจำนวนโพรบมากขึ้น ระบบการวัดก็จะถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์จนกลายเป็นระบบทดสอบอัตโนมัติไปในที่สุด

รูปที่ 4.48 ระบบทดสอบแบบอัตโนมัติ

ระบบทดสอบทางฟังก์ชัน มักจะเป็นระบบอัตโนมัติ ที่ใช้คอมพิวเตอร์เข้าควบ คุม ร่วมกับซอฟท์แวร์ต่าง ๆ เช่น HP Vee, LabView, C++,Visual Basic เป็นต้น และเมื่อทำออกมาเป็นระบบใส่ Rack ก็จะกลายเป็น ระบบทดสอบอัตโนมัติ หรือ Automatic Test System (ATS)

รูปที่ 4.49 ระบบทดสอบแบบอัตโนมัติที่มีความซับซ้อนมากขึ้นและติดตั้งบน Rack

4.3 การซ่อมแซม/แก้ไขบอร์ที่มีความบกพร่อง (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 การหาปัญหาที่ทำให้เกิดความกพร่องและแก้ไขให้กลับมาทำงานอย่างถูกต้อง

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

เมื่อบอร์ดที่ผลิตขึ้นมาผ่านการทดสอบ FCT แล้วก็จะนำมาใส่กล่อง (Packing) เพื่อเตรียมจัดส่งไปให้ลูกค้า ... ก่อนปิดกล่อง บอร์ดในกล่องจะถูกสุ่มตรวจเชิงฟังก์ชันอีกครั้งหนึ่งโดยฝ่าย FQA เพื่อเป็นการยืนยันว่า บอร์ดได้ผ่านการทดสอบแล้วจริง ๆ (ถ้าพบว่า มีบอร์ดที่สุ่มมาม่ผ่านการทดสอบ ก็จะขอให้ฝ่ายผลิตนำบอร์ดไปทดสอบใหม่ทั้งหมด) จากนั้นจะทำการปิดผนึกกล่องเพื่อส่งเข้าสโตร์หรือคลังสินค้า โดยทั่วไปสถานี FQA นี้จะถือเป็นสถานีสุดท้ายของกระบวนการผลิต

รูปที่ 4.51 บอร์ดจะถุกสุ่มตรวจโดยฝ่าย FQA

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

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

4.6) Ship out/Transportation

จากนั้นก็ขนส่งไปให้ลูกค้า

รูปที่ 4.52 ทำการขนส่งไปให้ลูกค้าตามที่ตกลงกัน