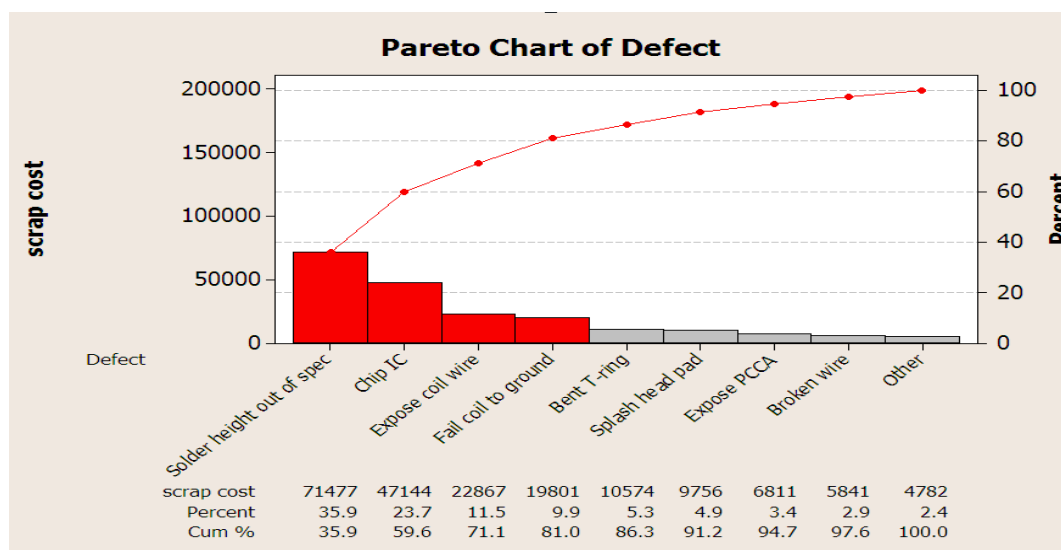


บทที่ 4

ผลของการวิจัย

4.1 ขั้นตอนการคัดเลือกปัญหา (Define Phase)

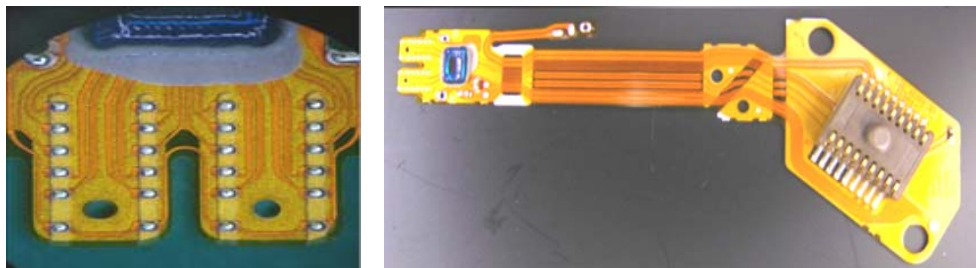
จากที่กล่าวไว้ในตอนท้ายของบทที่ 3 ซึ่งพบของเสียหลักในกระบวนการผลิตวงจรไฟฟ้า (PCCA) ได้แก่ Solder Pad Height out of spec , Chip IC , Exposed Coil wire และ Fail Coil to ground แต่เนื่องจากปัญหา Chip IC , Exposed Coil wire และ Fail Coil to ground ได้มีการดำเนินการแก้ไขไปแล้ว ดังนั้นในที่นี้จึงทำการแก้ไขปัญหาลงในส่วนของปัญหาคือ Solder Pad Height out of spec



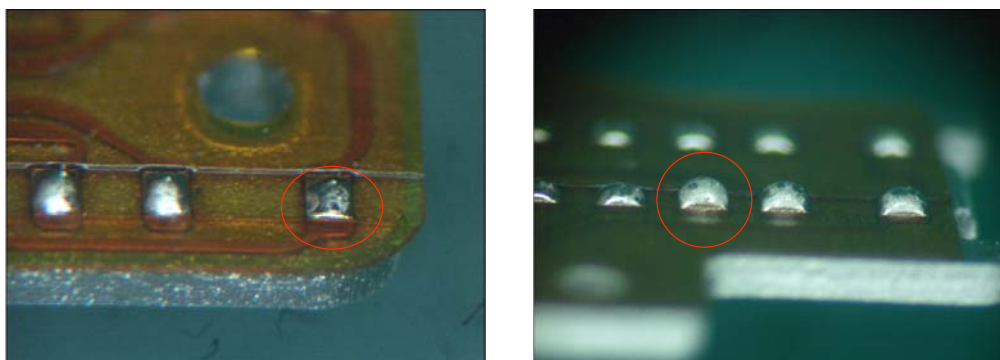
ภาพที่ 4.1

แผนผังพาเรโตแสดงข้อบกพร่องที่พบในกระบวนการผลิตวงจรไฟฟ้า

วงจรไฟฟ้า PCCA มีลักษณะทั่วไปดังแสดงในภาพ 4.2

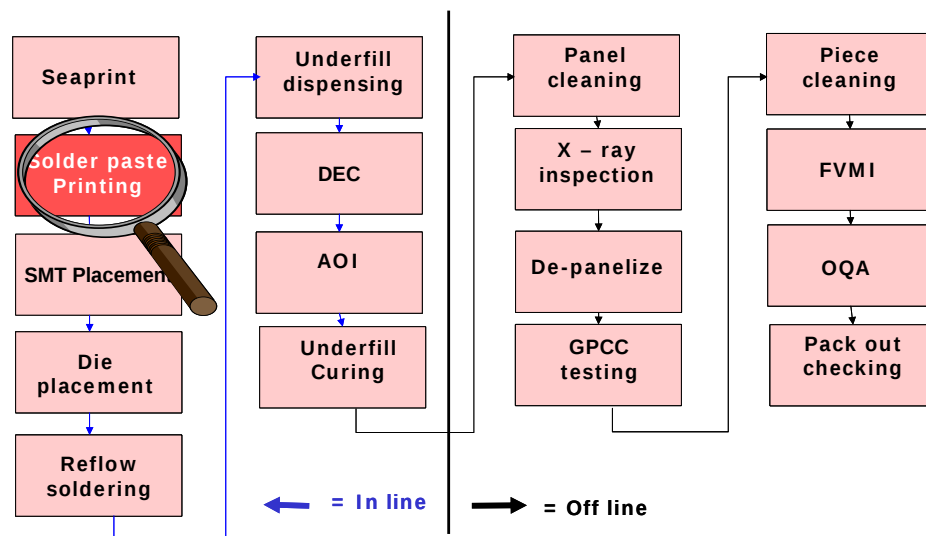


ภาพที่ 4.2
วงจรไฟฟ้า (PCCA)



ภาพที่ 4.3
ลักษณะของ Solder Pad Height out of spec.

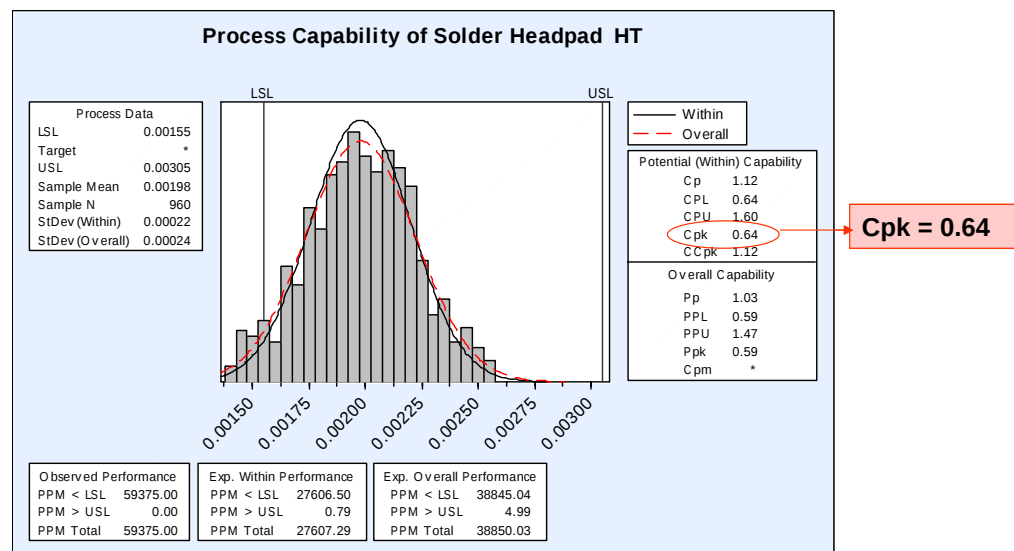
การเกิด Solder pad height out of spec. จะเกิดใน 2 ลักษณะ คือ ความสูงของ solder pad ต่ำกว่าข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Specification) และความสูงของ solder pad มากกว่าข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ดังแสดงในภาพที่ 4.3 จากการศึกษาแผนภาพการไหลของกระบวนการผลิตวงจรไฟฟ้าดังภาพที่ 4.4 พบว่า ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเกิด Solder pad height out of spec. เป็นขั้นตอนที่เรียกว่า Solder paste printing ซึ่งเป็นขั้นตอนการปาดตะกั่วลงบนตรงทองแดงของชิ้นงาน



ภาพที่ 4.4

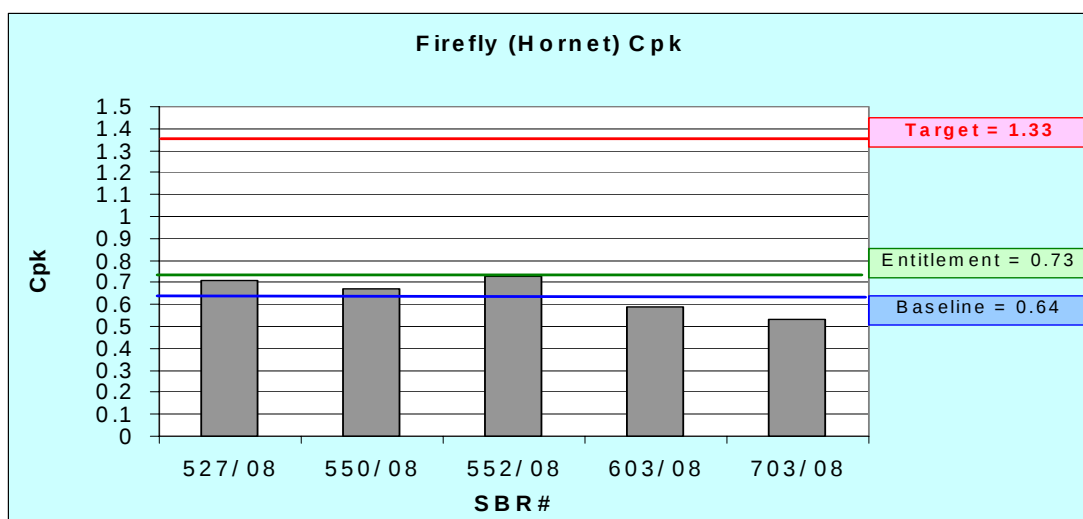
แผนภาพการไหลของกระบวนการผลิตวงจรไฟฟ้า (PCCA Process flow)

เมื่อพิจารณาถึงข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) ของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดโดยลูกค้า ณ จุดที่เป็น Solder pad height เป็นข้อกำหนดหนึ่งที่ลูกค้าให้ความสำคัญมากโดยระบุให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.0023 ± 0.00075 นิ้ว และดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการผลิต (Cpk) ต้องไม่น้อยกว่า 1.33 แต่ในปัจจุบันความสามารถของกระบวนการผลิต มีค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.64 ดังแสดงในภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5

ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการผลิต (Cpk)



ภาพที่ 4.6

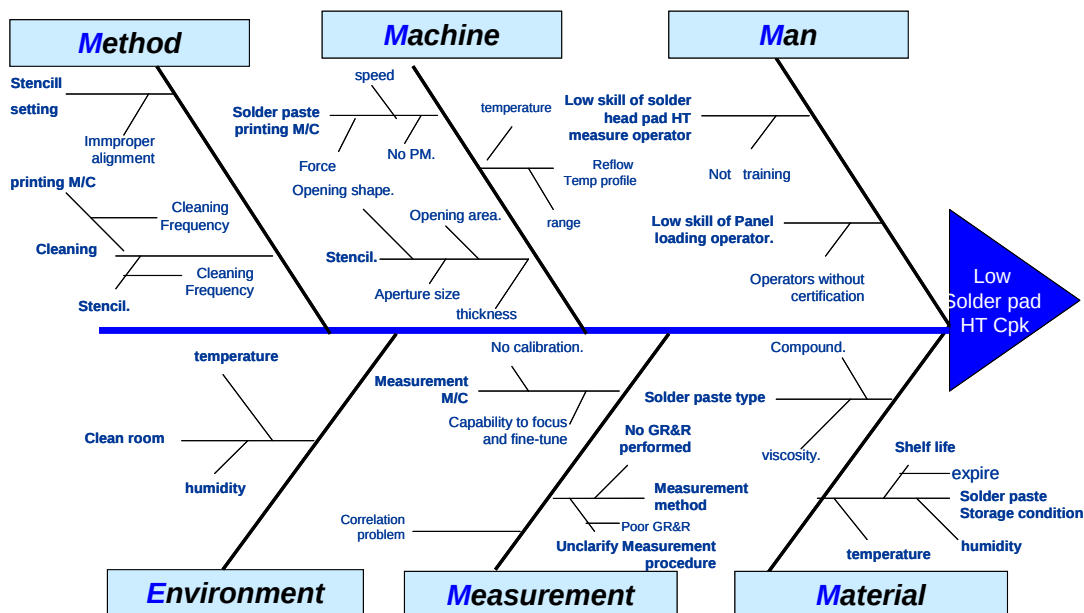
แผนภาพแสดงเป้าหมายของการดำเนินงาน

จากภาพที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการผลิตย้อนหลัง 6 ล็อต พบว่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการเฉลี่ยอยู่ที่ 0.64 (Baseline) และดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการที่มากที่สุดที่เคยทำได้อยู่ที่ 0.73 (Entitlement) ดังนั้นจึงกำหนดเป้าหมาย (Target) ของการดำเนินงานไว้ที่ 1.33 ซึ่งเป็นค่าที่ตรงกับความต้องการของลูกค้า และเป็นการทำให้เกิดการปรับปรุงกระบวนการแบบก้าวกระโดดตามหลักการของ Six sigma

เมื่อพิจารณาแผนภาพการไหลของกระบวนการผลิตวงจรไฟฟ้าโดยละเอียด และนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุและผลที่จะทำให้เกิด Solder pad height out of spec. ที่ละปัจจัยจากปัจจัยนำเข้า (Input) ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดในแต่ละขั้นตอนการผลิต ดังแสดงในภาพที่ 4.7 จากนั้นนำไปวิเคราะห์ตามหลักการ FMEA ร่วมกับทีมงานหาปัจจัยที่มีค่าตัวเลขแสดงลำดับของความเสี่ยง (RPN : Risk Priority Number) เพื่อที่จะทำให้มั่นใจว่าแนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง (Potential Failure Mode) ตลอดจนสาเหตุ และกลไกที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ได้รับการระบุและถูกกำหนดขึ้น อันจะนำไปสู่กิจกรรมที่จะสามารถแก้ไขสิ่งเหล่านี้ออกไปจากการผลิต หรือทำให้สิ่งเหล่านี้ลดลงอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในภาพที่ 4.8 และ 4.9 พบว่าสาเหตุที่เป็นตัวแปรสำคัญที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการแล้วส่งผลกระทบต่อ การเกิดข้อบกพร่อง (KPIVs : Key Process Input Variables) ที่มีค่า RPN สูงสุด 4 อันดับแรก ประกอบด้วย

- (1) Solder paste type มีค่า RPN เท่ากับ 280
- (2) Stencil aperture มีค่า RPN เท่ากับ 245
- (3,4) Printing force และ Printing speed ซึ่งมีค่า RPN เท่ากันที่ 196

KPIVs ทั้ง 4 ตัวนี้จะนำไปทำการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis testing) ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ (Analyze phase) ต่อไป



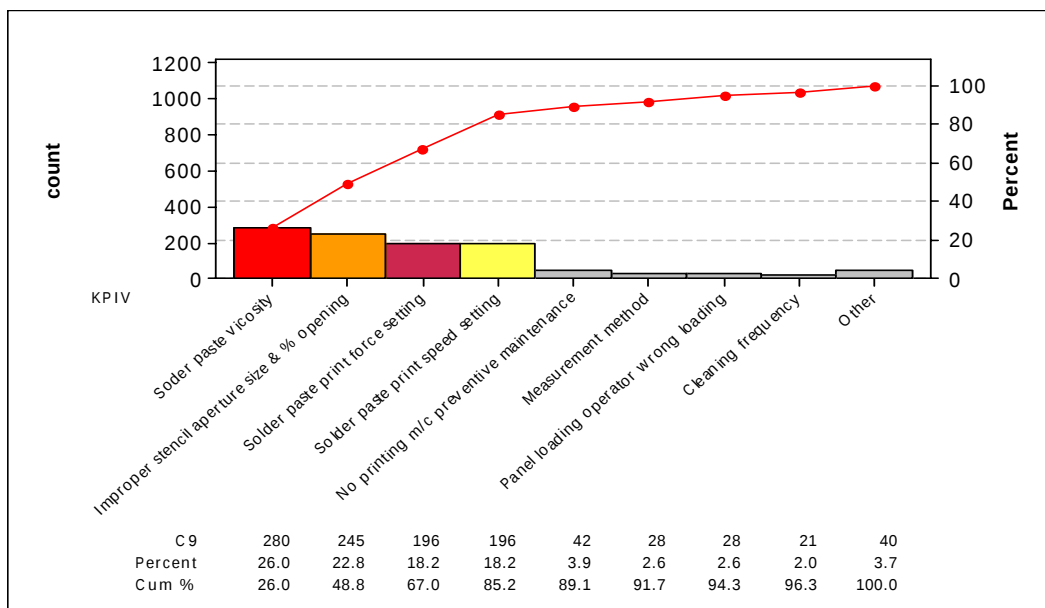
ภาพที่ 4.7

แผนภาพสาเหตุและผลของการเกิด Solder pad height out of spec.

Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Effect (s) of Failure	SEV	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	Occur	Current Process Controls Prevention	Detect	RPN
Man	Low skill of measurement operator.	Inaccurate solder headpad HT result.	5	No training	2	Training center train and certify operators before start working. GR&R evaluating every 6 months.	2	20
Man	Wrong panel loading direction.	Exposed from Solder headpad misprint.	7	No training	2	Training center train and certify operators before start working.	2	28
Solder Paste Printing M/C	No Preventive Maintenance.	Solder headpad HT out of specification.	7	Not follow PM schedule.	3	Shopfloor operator cross check PM sticker on M/C.	2	42
Stencil	Improper aperture size and % Opening.	Insufficient solder headpad.	7	Stencil design to control low solder to support customer requirement	5	Review and Buy off stencil before start running.	7	245
Stencil	Improper stencil cleaning frequency.	Solder headpad HT out of specification.	7	Improper stencil cleaning frequency.	3	Control printing parameter and checking every 12 hrs	1	21
Measurement M/C	No calibration on timely basis.	Inaccurate solder headpad HT result.	5	Not follow calibration schedule.	2	Shopfloor operator cross check calibration sticker on M/C.	2	20
Measurement procedure	Unclearify procedure	Inaccurate solder headpad HT result.	5	No training	2	Training center train and certify operators before start working. GR&R evaluating every 6 months.	2	20
Printing Speed	Improper Solder paste print force setting.	Solder headpad HT out of specification.	7	Improper Solder paste print force parameter optimizing.	4	Leverage from prior products.	7	196
Printing Force	Improper Solder paste print speed setting.	Solder headpad HT out of specification.	7	Improper Solder paste print speed parameter optimizing.	4	Leverage from prior products.	7	196
Measurement Method	Measurement method mismatch with Measurement M/C capability	Inaccurate solder headpad HT result.	7	Limited capability of M/C to focus thru layers.	2	Reference from prior method.	2	28
Solder paste type	Solder paste collapse and spread over pad area.	High variation of solder headpad HT	5	Material properties (Viscosity)	8	Follow customer recommendation.	7	280

ภาพที่ 4.8

ผลการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบจากกระบวนการ (FMEA)



ภาพที่ 4.9

แผนผังพาเรโตแสดงปัจจัยที่มีแนวโน้มทำให้เกิดข้อบกพร่องตามลำดับเลข RPN

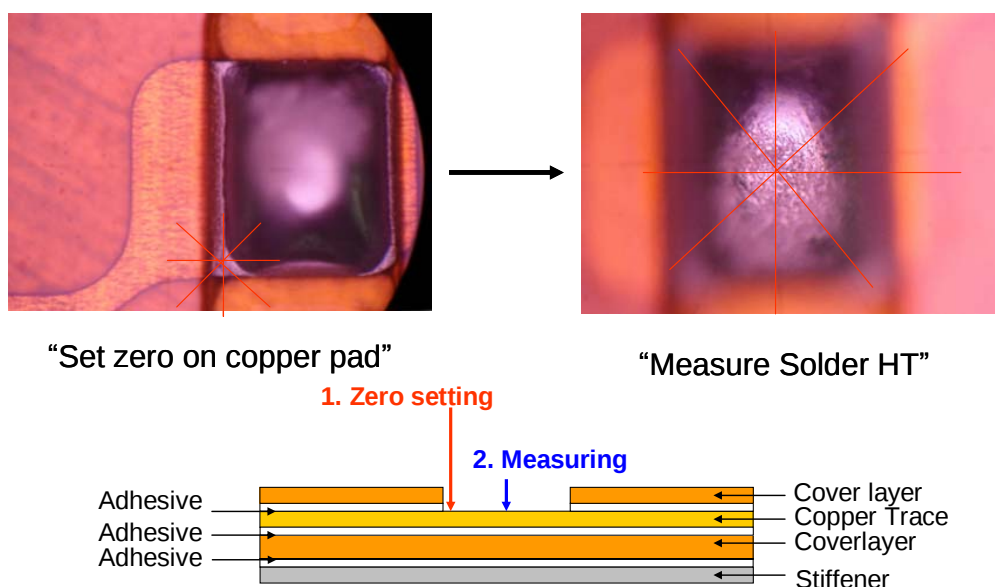
4.2 ขั้นตอนการวัด (Measure Phase)



ภาพที่ 4.10

เครื่อง Measuring Microscope

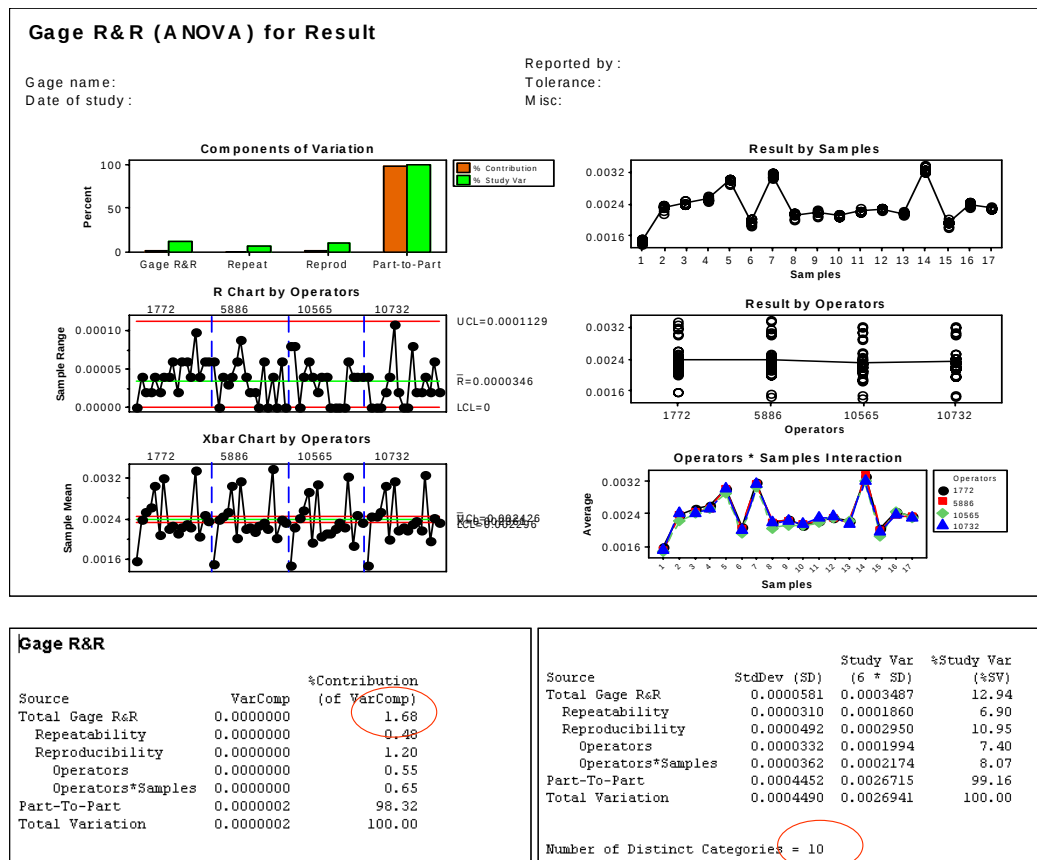
การวัดค่า Solder head pad height จะใช้เครื่องมือวัดที่เรียกว่า Measuring Microscope ดังแสดงในภาพที่ 4.10 พนักงานจะนำงานชิ้นงานที่ต้องการวัดไปวางบนฐานของเครื่อง และขยับแกนหมุนให้เครื่องหมายกากบาททาบพอดีกับขอบของแผ่นทองแดง เพื่อกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นของการวัด (set zero on copper pad) จากนั้นขยับแกนหมุนอีกครั้งเพื่อให้เครื่องหมายกากบาทเลื่อนไปอยู่ตรงกลางของจุดบัดกรี เพื่อให้เครื่องมือวัดอ่านค่าของ Solder pad height ดังแสดงในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11

การกำหนดจุดวัด Solder pad height

ในการประเมินความสามารถของระบบการวัด ได้คัดเลือกพนักงานที่ผ่านการอบรมวิธีการวัดแล้วจำนวน 4 คน มาทำการวัดค่า Solder pad height ของชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมไว้จำนวน 17 ชิ้น โดยทำการวัดซ้ำที่เครื่องมือวัดเดียวกันคนละ 4 ครั้ง จากนั้นนำค่าวัดที่ได้ไปประมวลผลด้วยโปรแกรม MINITAB ตามหลัก Variable Gage R&R ได้ผลดังภาพที่ 4.12



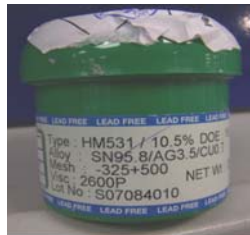
ภาพที่ 4.12

ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยวิธี Variable Gage R&R

จากผลการวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยวิธี Variable Gage R&R พบว่า ค่าความแปรปรวนขององค์ประกอบในการวัดระหว่างชิ้นงานแต่ละตัว (Component of variation : part-to-part) มีค่า 98.32 เปอร์เซ็นต์ ค่าความสามารถในการแยกความแตกต่างของแต่ละหมวดหมู่ (Number of Distinct Categories) อยู่ที่ 10 และค่าความสามารถของระบบการวัดโดยรวม (Total Gage R&R) อยู่ที่ระดับ 1.68 แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดที่จัดทำขึ้นนี้มีความสามารถเพียงพอต่อการตรวจจับค่าความผันแปรของกระบวนการได้ ซึ่งจะได้นำระบบการวัดนี้ไปใช้ในการดำเนินงานในขั้นต่อไป

4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

ในขั้นตอนการคัดเลือกปัญหา (Define phase) พบว่าปัจจัยที่มีโอกาสทำให้เกิดข้อบกพร่อง (KPIVs) ได้แก่ Solder paste type , Stencil aperture , Printing force และ Printing speed จึงนำปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ไปทำการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) และวิเคราะห์ด้วยวิธี Two Sample T-test ที่ละปัจจัย เพื่อหาว่า KPIVs ตัวใดมีผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง Solder pad height out of spec. อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Significant) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Item	Solder Paste Model	
Solder Paste Model	EM814	HM531
Solder Supplier	Kester	Kester
Formular Type	Water Soluble	Water Soluble
Technical information		
Alloy	Sn95.8/Ag3.5/Cu0.7	Sn95.8/Ag3.5/Cu0.7
Meilting Point (°C)	217 - 221	232 - 240
Powder Size (um)	Type 3 (25 - 45 um)	Type 3 (25 - 45 um)
Metal Content (%)	89.5	89.5
Residue Removal	DI water	DI water
Viscosity (Malcom)	2226 Poise	2600 Poise
Packaging		

ภาพที่ 4.13

ชนิดของ Solder paste ที่ใช้ในกระบวนการ Solder paste printing

KPIV#1 : Solder Paste Type

เปรียบเทียบผลของ Solder paste type 2 ชนิด ได้แก่ รุ่น EM814 และ HM531 ดังภาพที่ 4.13 นำไปทดสอบกับชิ้นงานจำนวน 192 ชิ้น จากนั้นพิจารณาความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของ Solder pad height

สมมติฐานสำหรับการทดสอบค่าเฉลี่ย (Mean)

H_0 : ชนิดของ Solder paste ทั้ง 2 รุ่น ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของ Solder pad height

H_1 : ชนิดของ Solder paste ทั้ง 2 รุ่น มีผลต่อค่าเฉลี่ยของ Solder pad height

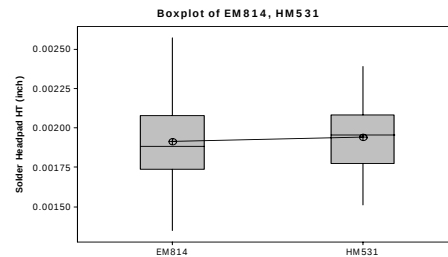
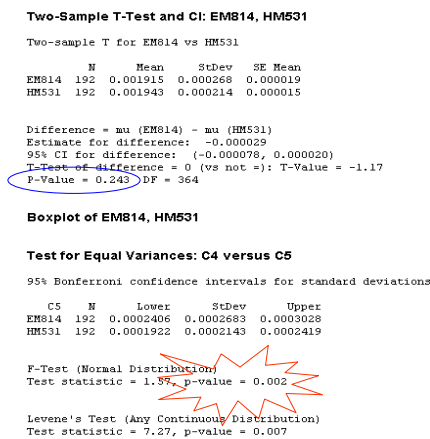
สมมติฐานสำหรับการทดสอบความแปรปรวน (Variance)

H_0 : ชนิดของ Solder paste ทั้ง 2 รุ่น ไม่มีผลต่อความแปรปรวนของ Solder pad height

H_1 : ชนิดของ Solder paste ทั้ง 2 รุ่น มีผลต่อความแปรปรวนของ Solder pad height

จากภาพที่ 4.14 ค่า P-value ของการทดสอบค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.243 ดังนั้นยังไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปว่าค่าเฉลี่ยของ Solder pad height จากการใช้ Solder paste ทั้ง 2 รุ่นมีความแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สำหรับการทดสอบความแปรปรวน P-value มีค่าเท่ากับ 0.002 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 นั่นคือชนิดของ Solder paste ทั้ง 2 รุ่นส่งผลต่อความแปรปรวนของ Solder pad height อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%



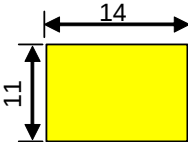
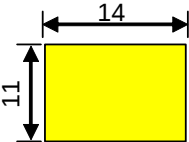
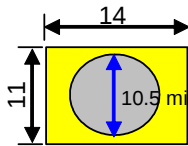
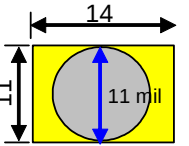
Solder paste type
 Mean: Insignificant
 Variance: Significant

ภาพที่ 4.14

ผลการทดสอบสมมติฐานของตัวแปร Solder paste type

KPIV#2 : Stencil aperture

เปรียบเทียบผลของ Stencil aperture 2 ระยะ ได้แก่ ระยะ 10.5 mm. และ 11.0 mm. ดังภาพที่ 4.15 นำไปทดสอบกับชิ้นงานจำนวน 192 ชิ้น จากนั้นพิจารณาความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของ Solder pad height

Stencil #	1 (Old Design)	2 (Old Design)
PCC Pad Size		
Stencil Aperture opening	Round 10.5	Round 11
Shape		



ภาพที่ 4.15

ระยะของ Stencil aperture

สมมติฐานสำหรับการทดสอบค่าเฉลี่ย (Mean)

 H_0 : Stencil aperture ทั้ง 2 ระยะ ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของ Solder pad height H_1 : Stencil aperture ทั้ง 2 ระยะ มีผลต่อค่าเฉลี่ยของ Solder pad height

สมมติฐานสำหรับการทดสอบความแปรปรวน (Variance)

 H_0 : Stencil aperture ทั้ง 2 ระยะ ไม่มีผลต่อความแปรปรวนของ Solder pad height H_1 : Stencil aperture ทั้ง 2 ระยะ มีผลต่อความแปรปรวนของ Solder pad height

จากภาพที่ 4.16 ค่า P-value ของการทดสอบค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.000 ดังนั้น จึงปฏิเสธสมมติฐาน H_0 นั่นคือ Stencil aperture ทั้ง 2 ระยะส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของ Solder pad height อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สำหรับการทดสอบความแปรปรวน P-value มีค่าเท่ากับ 0.765 ดังนั้นยังไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปว่าความแปรปรวนของ Solder pad height จาก Stencil aperture ทั้ง 2 ระยะมีความแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Two-Sample T-Test and CI: 10.5 mil Diameter, 11 mil Diameter

Two-sample T for 10.5 mil Diameter vs 11 mil Diameter

	N	Mean	StDev	SE Mean
10.5 mil Diameter	192	0.001943	0.000214	0.000015
11 mil Diameter	192	0.002207	0.000210	0.000015

Difference = μ (10.5 mil Diameter) - μ (11 mil Diameter)
 Estimate for difference: -0.000264
 95% CI for difference: (-0.000306, -0.000221)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -12.19
 P-Value = 0.000, DF = 381

Boxplot of 10.5 mil Diameter, 11 mil Diameter

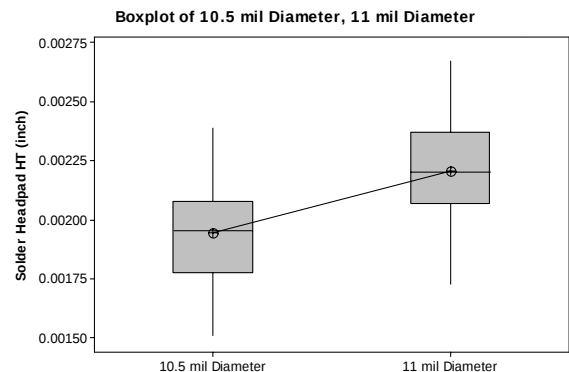
Test for Equal Variances: C4 versus C5

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

	C5	N	Lower	StDev	Upper
10.5 mil Diameter	192	0.0001922	0.0002143	0.0002419	
11 mil Diameter	192	0.0001881	0.0002097	0.0002367	

F-Test (Normal Distribution)
 Test statistic = 1.04, p-value = 0.765

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
 Test statistic = 0.13, p-value = 0.718



Stencil % Opening Area

Mean: Significant

Variance: Insignificant

ภาพที่ 4.16

ผลการทดสอบสมมติฐานของตัวแปร Stencil aperture

KPIV#3 : Printing Force

เปรียบเทียบผลของ Printing force 2 ระดับ ได้แก่ ระดับ 3 kg. และระดับ 8 kg. นำไปทดสอบกับชิ้นงานจำนวน 192 ชิ้น จากนั้นพิจารณาความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของ Solder pad height

สมมติฐานสำหรับการทดสอบค่าเฉลี่ย (Mean)

H_0 : Printing force ทั้ง 2 ระดับ ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของ Solder pad height

H_1 : Printing force ทั้ง 2 ระดับ มีผลต่อค่าเฉลี่ยของ Solder pad height

สมมติฐานสำหรับการทดสอบความแปรปรวน (Variance)

H_0 : Printing force ทั้ง 2 ระดับ ไม่มีผลต่อความแปรปรวนของ Solder pad height

H_1 : Printing force ทั้ง 2 ระดับ มีผลต่อความแปรปรวนของ Solder pad height

จากภาพที่ 4.17 ค่า P-value ของการทดสอบค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.245 ดังนั้นยังไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปว่าค่าเฉลี่ยของ Solder pad height จากการใช้ Printing force ทั้ง 2 ระดับมีความแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สำหรับการทดสอบความแปรปรวน P-value มีค่าเท่ากับ 0.237 ดังนั้น ยังไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปว่าความแปรปรวนของ Solder pad height จากการใช้ Printing force ทั้ง 2 ระดับมีความแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Two-Sample T-Test and CI: Print Force = 3, Print Force = 8

Two-sample T for Print Force = 3 vs Print Force = 8

	N	Mean	StDev	SE Mean
Print Force = 3	192	0.002207	0.000210	0.000015
Print Force = 8	192	0.002231	0.000192	0.000014

Difference = μ (Print Force = 3) - μ (Print Force = 8)
 Estimate for difference: -0.000024
 95% CI for difference: (-0.000064, 0.000016)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.16
 P-Value = 0.245 DF = 379

Boxplot of Print Force = 3, Print Force = 8

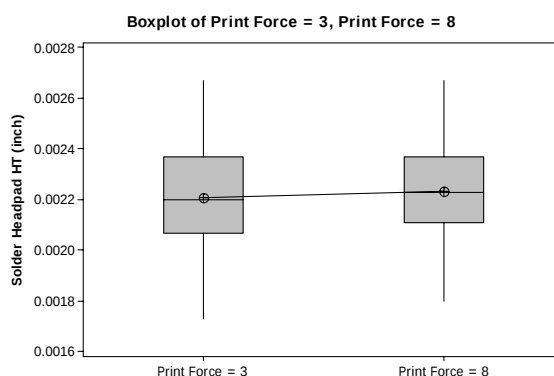
Test for Equal Variances: C4 versus C5

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

	C5	N	Lower	StDev	Upper
Print Force = 3	192	0.0001881	0.0002097	0.0002367	
Print Force = 8	192	0.0001726	0.0001925	0.0002173	

F-Test (Normal Distribution)
 Test statistic = 1.19, p-value = 0.237

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
 Test statistic = 1.93, p-value = 0.166



Print Force

Mean: Insignificant

Variance: Insignificant

ภาพที่ 4.17

ผลการทดสอบสมมติฐานของตัวแปร Printing force

KPIV#4 : Printing Speed

เปรียบเทียบผลของ Printing speed 2 ระดับ ได้แก่ ระดับ 20 mm./sec. และ ระดับ 40 mm./sec. นำไปทดสอบกับชิ้นงานจำนวน 192 ชิ้น จากนั้นพิจารณาความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของ Solder pad height

สมมติฐานสำหรับการทดสอบค่าเฉลี่ย (Mean)

H_0 : Printing speed ทั้ง 2 ระดับ ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของ Solder pad height

H_1 : Printing speed ทั้ง 2 ระดับ มีผลต่อค่าเฉลี่ยของ Solder pad height

สมมติฐานสำหรับการทดสอบความแปรปรวน (Variance)

H_0 : Printing speed ทั้ง 2 ระดับ ไม่มีผลต่อความแปรปรวนของ Solder pad height

H_1 : Printing speed ทั้ง 2 ระดับ มีผลต่อความแปรปรวนของ Solder pad height

จากภาพที่ 4.18 ค่า P-value ของการทดสอบค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.092 ดังนั้นยังไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปว่าค่าเฉลี่ยของ Solder pad height จากการใช้ Printing speed ทั้ง 2 ระดับมีความแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

สำหรับการทดสอบความแปรปรวน P-value มีค่าเท่ากับ 0.264 ดังนั้น ยังไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะสรุปว่าความแปรปรวนของ Solder pad height จากการใช้ Printing speed ทั้ง 2 ระดับมีความแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Two-Sample T-Test and CI: Print Speed = 20, Print Speed = 40

Two-sample T for Print Speed = 20 vs Print Speed = 40

	N	Mean	StDev	SE Mean
Print Speed = 20	192	0.002231	0.000192	0.000014
Print Speed = 40	192	0.002266	0.000209	0.000015

Difference = μ (Print Speed = 20) - μ (Print Speed = 40)
 Estimate for difference: -0.000035
 95% CI for difference: (-0.000075, 0.000006)
 T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -1.69
 P-Value = 0.092 DF = 379

Boxplot of Print Speed = 20, Print Speed = 40

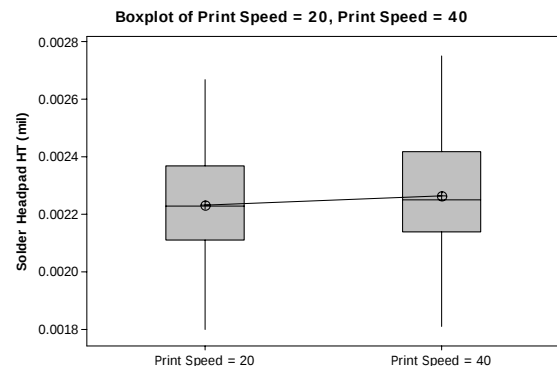
Test for Equal Variances: C4 versus C5

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

	C5	N	Lower	StDev	Upper
Print Speed = 20	192	0.0001726	0.0001925	0.0002173	
Print Speed = 40	192	0.0001872	0.0002087	0.0002356	

F-Test (Normal Distribution)
 Test statistic = 0.85, p-value = 0.264

Levene's Test (Any Continuous Distribution)
 Test statistic = 0.85, p-value = 0.358



Print Speed

Mean: Insignificant

Variance: Insignificant

ภาพที่ 4.18

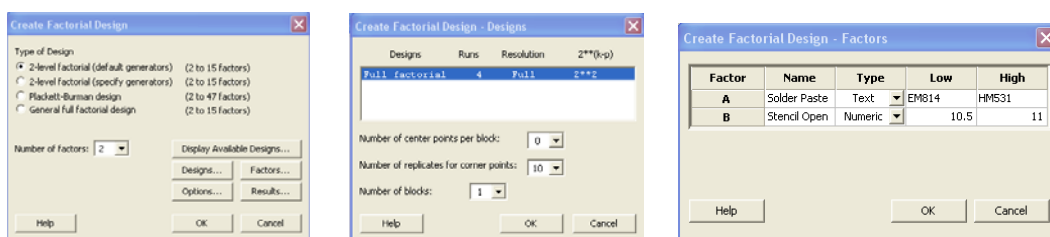
ผลการทดสอบสมมติฐานของตัวแปร Printing speed

จากการทดสอบสมมติฐานของ KPIVs ทั้ง 4 ตัวพบว่าตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อ Solder pad height อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ Solder paste type และ Stencil aperture จึงนำทั้งสองตัวแปรนี้ไปออกแบบการทดลองด้วยวิธี Full factorial design เพื่อหาระดับปัจจัย (Factor level) ที่เหมาะสมในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve phase)

4.4 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

ในขั้นตอนนี้ได้มีการออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial ดังภาพที่ 4.19 เพื่อหา ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น โดยกำหนดเงื่อนไขของการทดลอง ดังนี้

- (1) จำนวนปัจจัย (Factor) ที่สนใจศึกษามี 2 ปัจจัย คือ ชนิดของ Solder paste และ Stencil aperture
- (2) ในแต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ (Level) ได้แก่
 - ชนิดของ Solder paste แบ่งเป็น EM814 และ HM531
 - Stencil aperture แบ่งเป็นระยะ 10.5 mm. และ 11.0 mm.
- (3) ในแต่ละระดับปัจจัยทำการทดลองซ้ำ (Replicate) 10 ซ้ำ



Full Factorial Design			
Factors:	2	Base Design:	2, 4
Runs:	40	Replicates:	10
Blocks:	1	Center pts (total):	0
All terms are free from aliasing.			

ภาพที่ 4.19

การออกแบบการทดลอง Full Factorial

- (4) สมมติฐานของการทดลองสำหรับผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main effect) คือ
 - H_0 : ชนิดของ Solder paste และระยะ Stencil aperture ไม่มีผลกระทบต่อ ข้อบกพร่องของ Solder pad height
 - H_1 : ชนิดของ Solder paste และระยะ Stencil aperture มีผลกระทบต่อ ข้อบกพร่องของ Solder pad height

และสมมติฐานสำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยหลัก (Interaction) คือ

H_0 : ชนิดของ Solder paste และระยะ Stencil aperture ไม่ส่งผลกระทบต่อ
ร่วมกัน (Interaction effect) ต่อการเกิดข้อบกพร่องของ Solder height

H_1 : ชนิดของ Solder paste และระยะ Stencil aperture ส่งผลกระทบต่อ
(Interaction effect) ต่อการเกิดข้อบกพร่องของ Solder height

Factorial Fit: Solder HT versus Solder Paste Type, Stencil Open Area

Estimated Effects and Coefficients for Solder HT (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.002031	0.000045	45.14	0.000
Solder Paste Type	0.000089	0.000045	0.000045	0.95	0.328
Stencil Open Area	0.000428	0.000214	0.000045	4.73	0.000
Solder Paste Type*Stencil Open Area	0.000012	0.000006	0.000045	0.13	0.895

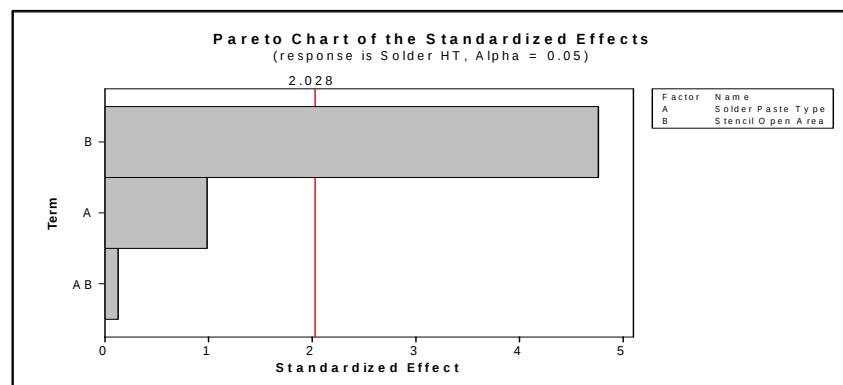
S = 0.000284665 PRESS = 3.601506E-06
R-Sq = 39.60% R-Sq(pred) = 25.43% R-Sq(adj) = 34.56%

Analysis of Variance for Solder HT (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0.00000191	0.00000191	0.00000096	11.79	0.000
2-Way Interactions	1	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.02	0.895
Residual Error	36	0.00000292	0.00000292	0.00000008		
Pure Error	36	0.00000292	0.00000292	0.00000008		
Total	39	0.00000483				

Estimated Coefficients for Solder HT using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	-0.00717050
Solder Paste Type	-0.00021350
Stencil Open Area	0.000856000
Solder Paste Type*Stencil Open Area	0.000024000



ภาพที่ 4.20

ผลการวิเคราะห์ Full model ของ 2 ปัจจัยหลักต่อค่าเฉลี่ย (mean) ของ Solder pad height

ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 4.20 เป็นการวิเคราะห์แบบ Full model ซึ่งประกอบด้วยผล
จาก 2 ปัจจัยหลัก (Main effect) ระหว่างชนิดของ Solder paste กับระยะ Stencil aperture และ
ผลร่วมของทั้งสองปัจจัย (Interaction effect) จากค่า P-value ในตาราง Estimated effects and

coefficients พบว่าปัจจัยเรื่องระยะของ Stencil aperture มีนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ต่อค่าเฉลี่ยของ Solder pad height ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในอีกทางหนึ่งหากวิเคราะห์จากแผนภาพพาเรโต ปัจจัยที่มีค่าเกินเส้นอ้างอิงแสดงว่าปัจจัยนั้นมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งก็คือ ระยะของ Stencil aperture เช่นกัน

Factorial Fit: SD_1 versus Solder Paste Type, Stencil Opening Area

Estimated Effects and Coefficients for SD_1 (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.000251	0.000001	329.58	0.000
Solder Paste Type	-0.000270	-0.000135	0.000001	-177.52	0.000
Stencil Opening Area	0.000000	0.000000	0.000001	0.20	0.874

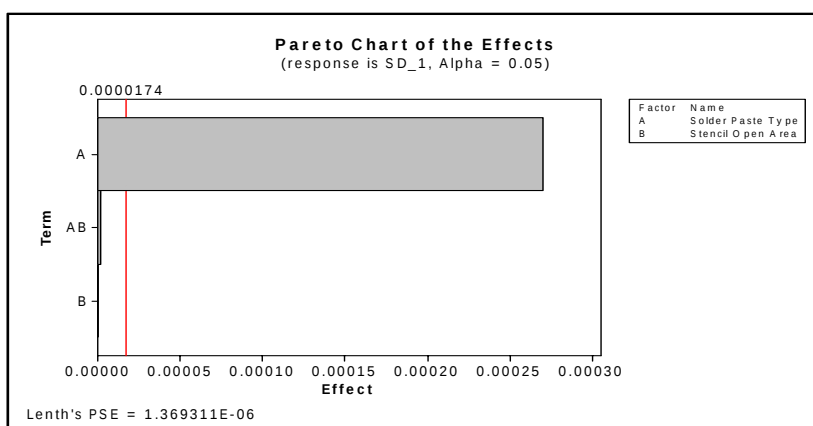
S = 1.520855E-06 PRESS = 3.700799E-11
R-Sq = 100.00% R-Sq(pred) = 99.95% R-Sq(adj) = 99.99%

Analysis of Variance for SD_1 (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	2	0.00000007	0.00000007	0.00000004	15756.64	0.006
Residual Error	1	0.00000000	0.00000000	0.00000000		
Total	3	0.00000007				

Estimated Coefficients for SD_1 using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	0.000244066
Solder Paste Type	-1.34991E-04
Stencil Opening Area	6.09787E-07



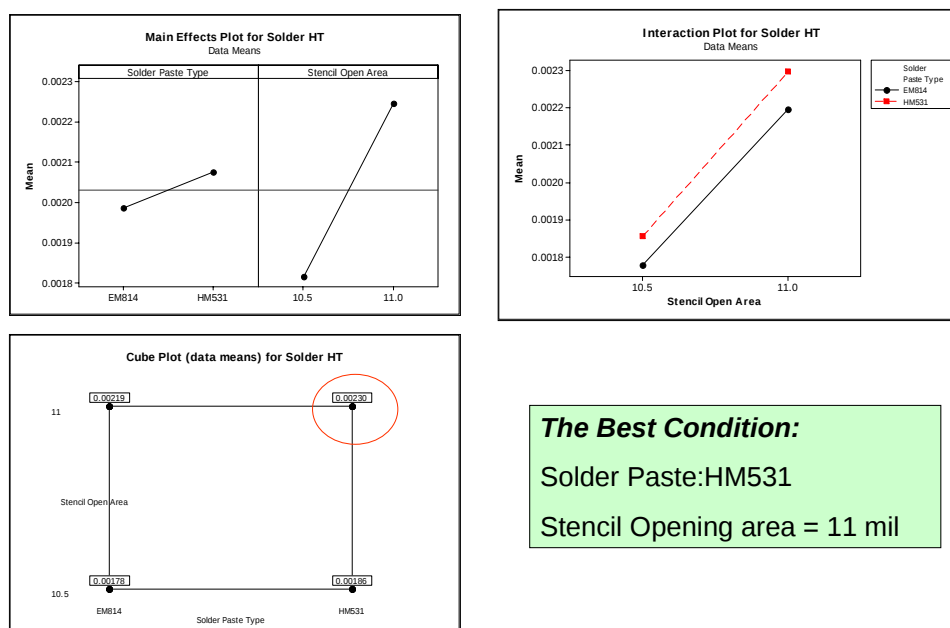
ภาพที่ 4.21

ผลการวิเคราะห์ Full model ของ 2 ปัจจัยหลักต่อความแปรปรวน (variance)
ของ Solder pad height

ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 4.21 เป็นการวิเคราะห์แบบ Full model ซึ่งประกอบด้วยผล
จาก 2 ปัจจัยหลัก (Main effect) ระหว่างชนิดของ Solder paste กับระยะ Stencil aperture และ

ผลรวมของทั้งสองปัจจัย (Interaction effect) จากค่า P-value ในตาราง Estimated effects and coefficients พบว่าปัจจัยเรื่องชนิดของ Solder paste มีนัยสำคัญทางสถิติ (significant) ต่อความแปรปรวนของ Solder pad height ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในอีกทางหนึ่งหากวิเคราะห์จากแผนภาพพาเรโต ปัจจัยที่มีค่าเกินเส้นอ้างอิงแสดงว่าปัจจัยนั้นมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งก็คือชนิดของ Solder paste เช่นกัน

Factorial Plots: Main Effects Plot, Interaction Plot and Cube Plot



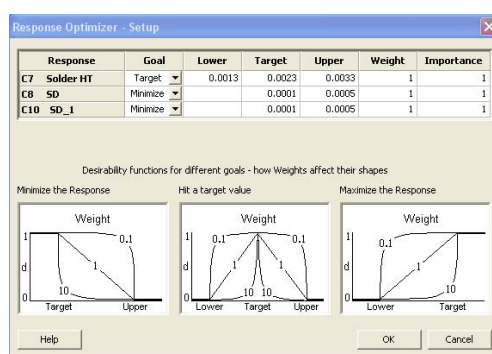
ภาพที่ 4.22

กราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยหลัก และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย

จากภาพที่ 4.22 กราฟแสดงผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main effect plot) แสดงให้เห็นว่าชนิดของ Solder paste และระยะของ Stencil aperture ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของ Solder pad height คล้ายกัน กล่าวคือ ชนิดของ Solder paste แบบใหม่ (HM531) และระยะของ Stencil aperture ที่ปรับใหม่ (11.0 mm) ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของ Solder pad height สูงขึ้น ในขณะที่กราฟแสดงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction plot) พบว่าเส้นที่เชื่อมระหว่างค่าเฉลี่ยของ Solder pad height จากปัจจัยเรื่องชนิดของ Solder paste และระยะ stencil aperture มีความชันคล้ายกัน แสดงให้เห็นว่าทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีนัยสำคัญต่อกัน และจากกราฟ Cube plot ระหว่าง 2 ปัจจัยดังกล่าว หรือจากฟังก์ชันการหาที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปรที่ใช้ใน

การทดลอง (Response Optimizer) ดังภาพที่ 2.3 พบว่าการใช้ชนิดของ Solder paste รุ่น HM531 และการตั้งระยะของ Stencil aperture ที่ระยะ 11.0 mm. เป็นจุดที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของ Solder pad height มีค่าเท่ากับ 0.0023 นิ้ว ซึ่งเป็นค่ากลางตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดเฉพาะของ ผลิตภัณฑ์ (Specification)

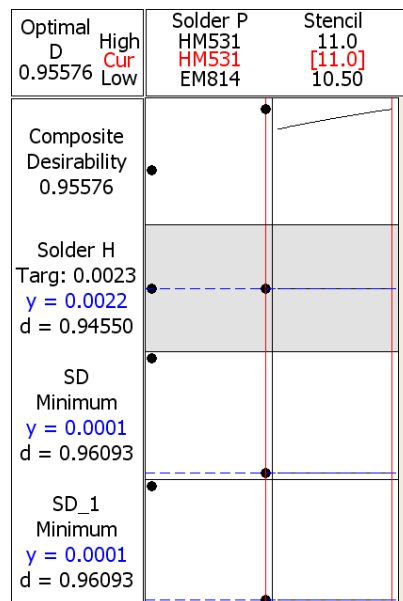
ResponseOptimizer:



The Best Condition:

Solder Paste: HM531

Stencil Opening area = 11 mil



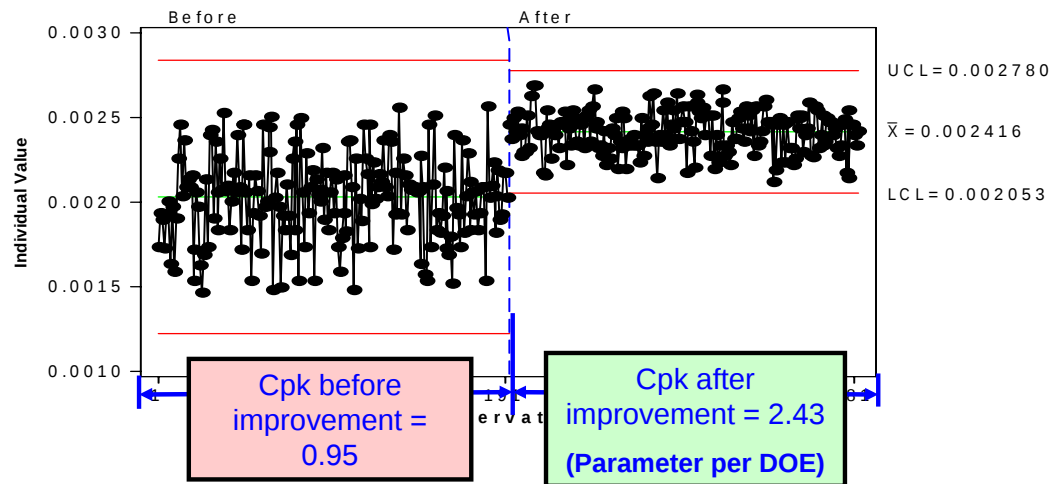
ภาพที่ 4.23

กราฟแสดงค่าที่เหมาะสมที่สุดของตัวแปร (Response Optimizer) ที่ใช้ในการทดลอง

4.5 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำระดับปัจจัยที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุง คือ ชนิดของ Solder paste รุ่น HM531 และระยะ Stencil aperture 11.0 mm มาประยุกต์ใช้กับกระบวนการผลิตจริง ในภาพที่ 4.24 เป็นการเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตวงจรไฟฟ้า จากแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย (Xbar chart) พบว่าค่าเฉลี่ยของ Solder pad height หลังการปรับปรุงมีค่า 0.00242 นิ้ว รวมทั้งข้อมูลมีกระจายตัวน้อยลง และดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการมีค่า 2.43 ซึ่งสูงกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ที่ 1.33 ดังภาพที่ 4.25

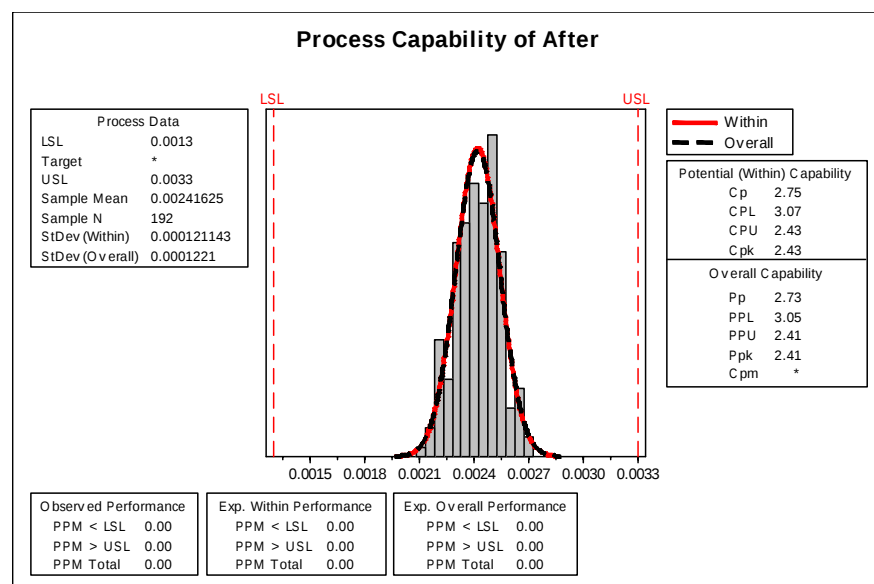
Before VS After Improvement



"After improvement shown mean shift up to nominal and variation reduced"

ภาพที่ 4.24

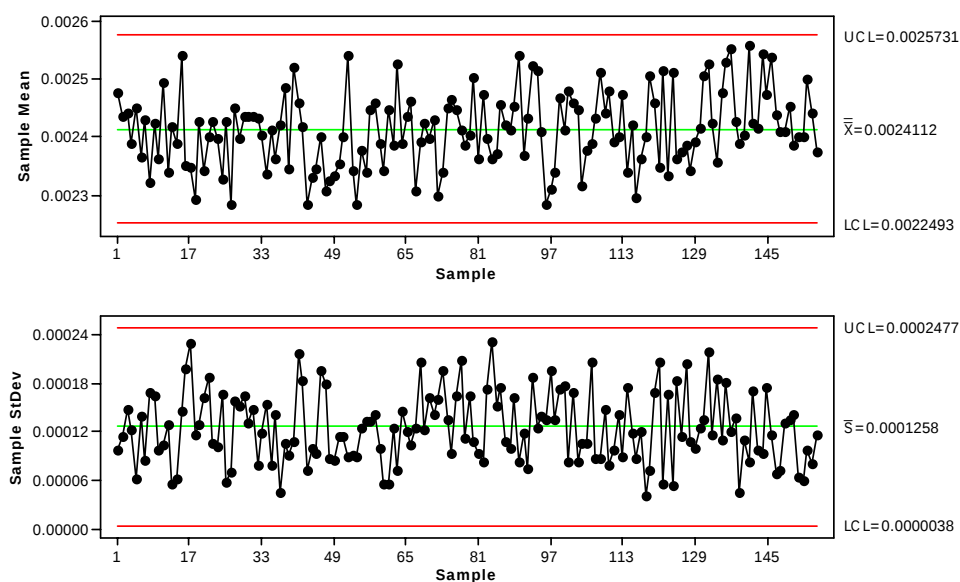
แผนภูมิควบคุม (Control chart) เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต วงจรไฟฟ้า



ภาพที่ 4.25

ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการผลิตวงจรไฟฟ้าหลังการปรับปรุง

เพื่อเป็นการเฝ้าควบคุมกระบวนการผลิตภายหลังการปรับปรุง จึงทำการเก็บข้อมูลอีกจำนวน 145 ชุด ไปสร้างแผนภูมิควบคุม Xbar-S ดังภาพที่ 4.26 จากแผนภูมิควบคุมนี้พบว่าค่าเฉลี่ย (Xbar) ของ Solder pad height อยู่ที่ 0.00241 นิ้วและค่าเฉลี่ยของการกระจายตัว (Sbar) อยู่ที่ 0.0001 รวมทั้งข้อมูลทุกตัวอยู่ในขอบเขตควบคุม ไม่มีการเรียงตัวในรูปแบบที่แสดงให้เห็นว่ากระบวนการมีความผิดปกติ ซึ่งเป็นการยืนยันว่าปัญหา Solder pad height out of spec. ได้รับการแก้ไขให้ลดลงหรือหมดไปจากกระบวนการผลิตวงจรไฟฟ้าตามเป้าหมายการดำเนินงาน



ภาพที่ 4.26

ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการผลิตวงจรไฟฟ้าหลังการปรับปรุง