

การลดต้นทุนวัตถุดิบในกระบวนการเชื่อมลวดโดยใช้ลวดทองแดง :
กรณีศึกษา โรงงานตัวอย่าง เซมิคอนดักเตอร์

**MATERIAL COST SAVING IN WIRE BOND PROCESS USING
COPPER WIRE: CASE STUDY OF SELECTED
SEMI-CONDUCTOR FACTORY**

กิตติศักดิ์ บัวคง

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต วิชาเอกการจัดการวิศวกรรมธุรกิจ

คณะบริหารธุรกิจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**การลดต้นทุนวัตถุดิบในกระบวนการเชื่อมลวดโดยใช้ลวดทองแดง :
กรณีศึกษา โรงงานตัวอย่าง เซมิคอนดักเตอร์**

กิตติศักดิ์ บัวคง

**การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต วิชาเอกการจัดการวิศวกรรมธุรกิจ**

คณะบริหารธุรกิจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อการค้นคว้าอิสระ การลดต้นทุนวัตถุดิบในกระบวนการเชื่อมลวดโดยใช้ลวดทองแดง :
กรณีศึกษา โรงงานตัวอย่าง เซมิคอนดักเตอร์
Material Cost Saving in Wire Bond Process Using Copper Wire:
Case Study of Selected Semi-Conductor Factory

ชื่อ - นามสกุล นายกิจดิศักดิ์ บัวคง
วิชาเอก การจัดการวิศวกรรมธุรกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดารณี พิมพ์ช่างทอง, D.B.A.
ปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์สุภกร พรหิรัญกุล, คอ.ค.)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์อภิรดา สุทธิสานนท์, บธ.ม.)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดารณี พิมพ์ช่างทอง, D.B.A.)

คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติการค้นคว้าอิสระฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีคณะบริหารธุรกิจ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นำถรพี ชัยมงคล, ปร.ค.)

วันที่ 15 เดือน กันยายน พ.ศ. 2558

หัวข้อการค้นคว้าอิสระ	การลดต้นทุนวัตถุดิบในกระบวนการเชื่อมลวด โดยใช้ลวดทองแดง :
	กรณีศึกษา โรงงานตัวอย่าง เซมิกอนดักเตอร์
ชื่อ - นามสกุล	นายกิจดิศักดิ์ บัวคง
วิชาเอก	การจัดการวิศวกรรมธุรกิจ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดารณี พิมพ์ช่างทอง, D.B.A.
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบของการผลิตในกระบวนการเชื่อมลวด โดยใช้ลวดทองแดงมาทดแทนลวดทองคำด้วยเทคนิคซิกซ์ ซิกม่าของการผลิตอุปกรณ์วงจรรวมโดยมีเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนของวัตถุดิบลดขนาด 20 ไมครอนในผลิตภัณฑ์ TSSOP56 และต้องปรับปรุงความสามารถของกระบวนการเชื่อมลวดให้เหมาะสมกับวัตถุดิบลวดทองแดงรวมทั้งต้องผ่านการทดสอบความน่าเชื่อถือได้ของผลิตภัณฑ์ตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ใน CTQ

ในการดำเนินการอาศัยขั้นตอนของซิกซ์ ซิกม่าซึ่งเริ่มจากการระบุปัญหา พบว่าในวงจรรวมมีลวดทองคำเป็นองค์ประกอบคิดเป็นต้นทุนวัตถุดิบ ร้อยละ 42.5 ของวัตถุดิบทั้งหมด จึงต้องนำวัตถุดิบลวดทองแดงมาทดแทน การเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นลวดทองแดงในกระบวนการเชื่อมลวดจะต้องหากรอบพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยการใช้พารามิเตอร์หลัก คือ เวลาในการบอนด์ (Bond Time) อุณหภูมิในการบอนด์ (Bond Temp) พลังงานที่ใช้ในการบอนด์ (USG) และแรงกดในการบอนด์ (Force) เพื่อลดระยะเวลาในการเชื่อมติดให้เร็วขึ้น โดยกำหนดอุณหภูมิของการบอนด์ไว้ที่ 260 ± 5 องศาเซลเซียส แล้วทำการปรับพารามิเตอร์ของ USG, Force และ Time โดยการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดแล้วนำไปปรับใช้

ผลจากการเปลี่ยนวัตถุดิบเป็นลวดทองแดงในกระบวนการเชื่อมลวดสามารถลดต้นทุนของวัตถุดิบได้ตามเป้าหมายคือ ร้อยละ 91.27 ต่อการผลิตงาน 1,000 หน่วย คิดเป็นมูลค่า 2,544,662 บาท ในเวลา 8 เดือน ผ่านการทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ และความสามารถของกระบวนการอยู่ในดัชนีควบคุม $Cpk > 1.67$

คำสำคัญ: เทคนิคซิกซ์ ซิกม่า กรอบพารามิเตอร์ที่ปลอดภัย ความเชื่อถือได้

Independent Study Title	Material Cost Saving in Wire Bond Process Using Copper Wire: Case Study of Selected Semi-Conductor Factory
Name - Surname	Mr. Kittisak Buakong
Major Subject	Business Engineering Management
Independent Study Advisor	Assistant Professor Daranee Pimchangthong, D.B.A.
Academic Year	2014

ABSTRACT

The purpose of this independent study was to reduce the raw material costs used in the production of wire bonding by using copper wire instead of gold wire with Six-Sigma's technique for manufacturing integrated circuits. The goal is to reduce the cost of raw materials, such as wire with a diameter of 20 microns in TSSOP56 products and to improve the bonding capabilities of the wire in order to be suitable for raw materials such as copper wire and which must pass a reliability test of the product according to terms set out in the CTQ.

The implementation process using Six Sigma began by identifying the problems, found in integrated circuits a gold wire elements representing 42.5% of total raw material costs, and should be replaced by copper wire. Changing the raw materials to copper during the wire bonding process requires finding a parameter window that is safe, by using the main parameters, which include bond time, bond temperature, USG, and bonding force.

The result of transforming raw materials into copper wire welding processes can reduce costs of raw material to meet the target of 91.27% per 1,000 units measured as a value of 2,544,662 THB in the past eight months. Pass the reliability test of these products and the ability of process control in the index $C_{pk} > 1.67$

Keywords: six sigma technique, safety parameters window, reliability

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จากการให้คำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณท่านประธานกรรมการสอบ ท่านอาจารย์ ดร.ศุภกร พรหิรัญกุล กรรมการ รองศาสตราจารย์อภิรดา สุทธิสานนท์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดารณี พิมพ์ช่างทอง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าในครั้งนี้ที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าคอยติดตามผลให้คำปรึกษาและคำแนะนำในระหว่างการดำเนินงาน ตลอดจนช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อผิดพลาดในระหว่างการจัดทำ เพื่อให้การค้นคว้าฉบับนี้มีความสมบูรณ์

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้ สำเร็จลุล่วง โดยการได้รับความร่วมมือจากเพื่อนร่วมงานของบริษัท ที่ช่วยหาข้อมูลให้คำปรึกษาและคำชี้แนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ในการค้นคว้าเป็นอย่างมากและขอขอบคุณบุคลากรบัณฑิตวิทยาลัยทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและการทำการค้นคว้าอิสระ

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา คนในครอบครัว ตลอดจนครูอาจารย์ผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้การสนับสนุนมาโดยตลอด รวมถึงคุณ จารวี ชูจินดา ที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีเยี่ยม มาตลอดทุกช่วงเวลา ส่งผลให้การค้นคว้าอิสระฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดีและเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจต่อไป

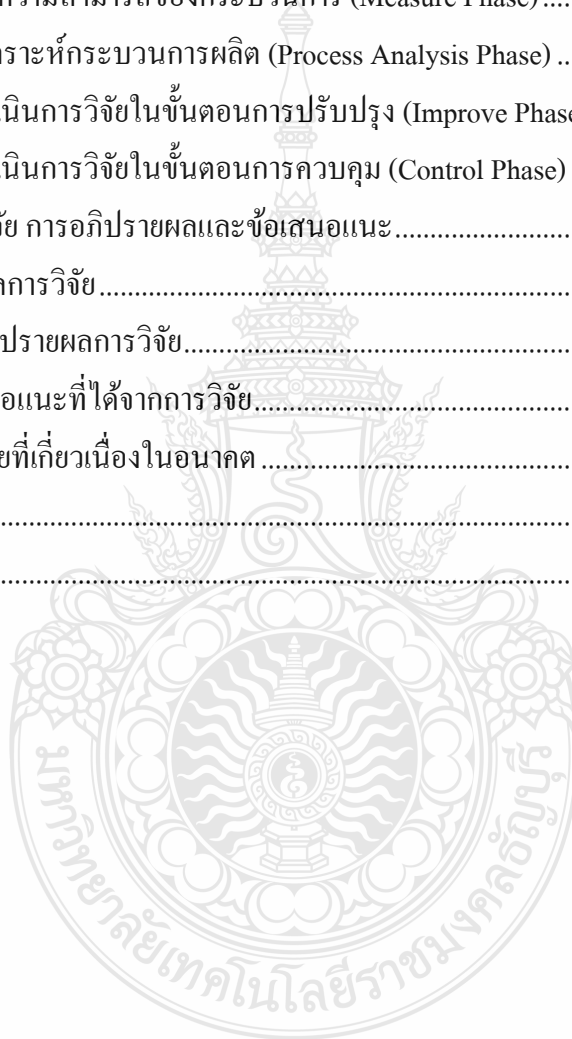
กิตติศักดิ์ บัวคง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญภาพ.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	14
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	15
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	15
1.4 แผนการดำเนินงาน.....	16
1.5 คำจำกัดความในการวิจัย.....	16
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	18
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.1 แนวคิดและหลักการบริหารระบบโดยวิธีซิกซ์ ซิกม่า.....	19
2.2 ขั้นตอนกระบวนการซิกซ์ ซิกม่า (ซิกซ์ ซิกม่า Step).....	21
2.3 คุณสมบัติของทองคำและทองแดงทางด้านการนำไฟฟ้าและความยืดหยุ่น.....	39
2.4 กระบวนการเชื่อมลวด.....	42
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	49
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	51
3.1 ขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัย.....	51
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	53
3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	54
3.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล.....	54
3.5 สำนวณสภาพปัจจุบัน.....	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์	60
4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลและระบุปัญหา (Define Phase).....	60
4.2 การวัดความสามารถของกระบวนการ (Measure Phase).....	65
4.3 การวิเคราะห์กระบวนการผลิต (Process Analysis Phase)	77
4.4 การดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase).....	99
4.5 การดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)	108
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	118
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	118
5.2 การอภิปรายผลการวิจัย.....	119
5.3 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย.....	120
5.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอนาคต	120
บรรณานุกรม	121
ประวัติผู้เขียน	123



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงค่าของ C_p ต่ำสุดที่แนะนำใช้งานอุตสาหกรรม	33
ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของวัสดุบดทองและทองแดง	40
ตารางที่ 3.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	53
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบราคาของวัสดุบดและสัดส่วนร้อยละของวัสดุบดมีหน่วยเป็น Kunits.....	61
ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบราคาระหว่างบดทองและทองแดง	64
ตารางที่ 4.3 Ball Pull Test Mode	68
ตารางที่ 4.4 Ball Shear Test Mode	68
ตารางที่ 4.5 แสดงลำดับการวัดที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ	71
ตารางที่ 4.6 แสดงตัวชี้วัดความสามารถและเป้าประสงค์ควบคุมที่ทำให้การบอนด์เหมาะสม และมีคุณภาพที่สุด.....	78
ตารางที่ 4.7 แสดงกลุ่มพารามิเตอร์ทำการทดสอบ	89
ตารางที่ 4.8 แสดง Yield ผลลัพธ์ของกระบวนการเชื่อมลวด	95
ตารางที่ 4.9 แสดง Yield ผลลัพธ์ของกระบวนการ Final Test.....	95
ตารางที่ 4.10 แสดง โปรแกรมและผลลัพธ์ในการทดสอบความเชื่อถือของผลิตภัณฑ์	96
ตารางที่ 4.11 แสดงผลลัพธ์ความสามารถของกระบวนการเชื่อมลวด	96
ตารางที่ 4.12 แสดง โปรแกรมและผลลัพธ์ในการทดสอบความเชื่อถือของผลิตภัณฑ์.....	97
ตารางที่ 4.13 แสดงพิกัดควบคุม (Spec).....	98
ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบความสามารถระหว่างลวดทองคำและทองแดง	107

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1.1 การดำเนินงานลวดทองแดงวัตถุดิบใหม่เพื่อลดต้นทุนในกระบวนการเชื่อมลวด	16
ภาพที่ 2.1 (a) การกระจายตัวแบบปกติค่าเฉลี่ยกลาง	21
ภาพที่ 2.1 (b) การกระจายตัวแบบปกติค่าเฉลี่ยเลื่อน $\pm 1.5\sigma$ จากค่ากลาง	21
ภาพที่ 2.2 แสดงขั้นตอนของซิกส์ ซิกมา	22
ภาพที่ 2.3 แสดงขั้นตอนและกระบวนการของการกำหนด Define	23
ภาพที่ 2.4 แสดงขั้นตอนและกระบวนการของการวัด Measurement	24
ภาพที่ 2.5 แสดงขั้นตอนและกระบวนการของการวิเคราะห์ Analysis	25
ภาพที่ 2.6 แสดงขั้นตอนและกระบวนการของการปรับปรุง Improvement	25
ภาพที่ 2.7 แสดงขั้นตอนและกระบวนการของการควบคุม Control	26
ภาพที่ 2.8 ข้อพิจารณาในการใช้ซิกส์ ซิกมา	27
ภาพที่ 2.9 ใบตรวจสอบ Check Sheet	35
ภาพที่ 2.10 แสดงแผนภูมิแท่งฮิสโทแกรม (Histogram)	35
ภาพที่ 2.11 แสดงแผนภาพพาร์โโต (Pareto Diagram)	36
ภาพที่ 2.12 แสดงแผนภูมิก้างปลา (Fish-bone Diagram)	36
ภาพที่ 2.13 แสดงแผนภูมิ \bar{X} Chart	37
ภาพที่ 2.14 แสดงแผนภูมิ R Chart	37
ภาพที่ 2.15 แสดงแผนภาพการกระจาย	38
ภาพที่ 2.16 แสดงกราฟแท่ง	38
ภาพที่ 2.17 แสดงกราฟเส้น	39
ภาพที่ 2.18 แสดงกราฟวงกลม	39
ภาพที่ 2.19 แสดงประโยชน์ที่ได้รับจากวัตถุดิบลวดทองแดง	42
ภาพที่ 2.20 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตไอซี	42
ภาพที่ 2.21 ส่วนประกอบของเครื่องจักร KnS รุ่น IConn	43
ภาพที่ 2.22 แสดงตัวอย่างการเกิดสนิม	45
ภาพที่ 2.23 แสดงตัวอย่างงานที่เสียหายจากการเกิดสนิม	45
ภาพที่ 2.24 แสดง Flow มิเตอร์ของแก๊ส	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 2.25 แสดงตำแหน่งของ Gas Tube และ NVT	46
ภาพที่ 2.26 แสดงตำแหน่งของ EFO	47
ภาพที่ 2.27 แสดงลำดับขั้นตอนการเชื่อมลวด.....	47
ภาพที่ 2.28 SIPOC Process Map กระบวนการเชื่อมลวดเพื่อคูการทำงาน ของกระบวนการเชื่อมลวด	48
ภาพที่ 3.1 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตไอซี	55
ภาพที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทำงานในกระบวนการเชื่อมลวด	56
ภาพที่ 3.3 แสดงลำดับขั้นตอนการเชื่อมลวด.....	57
ภาพที่ 3.4 แสดง Yield ของกระบวนการเชื่อมลวด.....	58
ภาพที่ 3.5 แสดงการตรวจเช็คคุณภาพ Ball Shear Test.....	59
ภาพที่ 3.6 แสดงการตรวจเช็คคุณภาพ Ball Pull Test.....	59
ภาพที่ 4.1 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตไอซี	60
ภาพที่ 4.2 กราฟวงกลมแสดงสัดส่วนของราคาวัตถุดิบต่อ Kunits	62
ภาพที่ 4.3 SIPOC Process Map กระบวนการเชื่อมลวดเพื่อคูการทำงาน ของกระบวนการเชื่อมลวด	63
ภาพที่ 4.4 แผนปฏิบัติงาน	64
ภาพที่ 4.5 แสดงปริมาณงานล่วงหน้าในแต่ละเดือนของปี 2015.....	65
ภาพที่ 4.6 แสดงกระบวนการวัดผลความสามารถของ X ด้วย Y1-Y6.....	65
ภาพที่ 4.7 การดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการวัด Bond Ability	66
ภาพที่ 4.8 เครื่อง Dage 3000	66
ภาพที่ 4.9 แสดงตำแหน่งของการดึง Ball Pull และ Stitch Pull	67
ภาพที่ 4.10 เครื่อง Dage 4000	67
ภาพที่ 4.11 แสดงตำแหน่งของการ Shear ball	68
ภาพที่ 4.12 เครื่อง Olympus STM6.....	69
ภาพที่ 4.13 แสดงตำแหน่งการวัด.....	69
ภาพที่ 4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ความเอนเอียงของเครื่องมือวัด.....	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของกระบวนการวัด (Gage R&R) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ	72
ภาพที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของกระบวนการวัด (Gage R&R) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ	74
ภาพที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของกระบวนการวัด (Gage R&R) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ	76
ภาพที่ 4.18 Flow การหากรอบพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของกระบวนการเชื่อมลวดทองแดง	78
ภาพที่ 4.19 แสดงตัว IC วงจรรวม.....	79
ภาพที่ 4.20 แสดงผลวัดความสามารถที่ออกมาในแต่ละกลุ่มพารามิเตอร์	81
ภาพที่ 4.21 การแสดงผลตอบสนองแบบ โครงสร้างพื้นผิว (Response Surface)	82
ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงจุดที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย	83
ภาพที่ 4.23 รูปร่างลักษณะของ Stitch และ Stitch ที่เหลือจากการดึง.....	83
ภาพที่ 4.24 รูปร่างลักษณะของ Stitch cross section.....	84
ภาพที่ 4.25 แสดงผลวัดความสามารถที่ออกมาในแต่ละกลุ่มพารามิเตอร์	85
ภาพที่ 4.26 การแสดงผลตอบสนองแบบ โครงสร้างพื้นผิว (Response Surface)	86
ภาพที่ 4.27 การแสดงผลตอบสนองแบบ โครงสร้างพื้นผิว (Response Surface)	87
ภาพที่ 4.28 กราฟแสดงจุดที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย	88
ภาพที่ 4.29 กราฟแสดงจุดที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย	89
ภาพที่ 4.30 แสดงการตรวจสอบ COUB	90
ภาพที่ 4.31 แสดงการตรวจสอบ %IMC	90
ภาพที่ 4.32 แสดงการตรวจสอบความหนาของ Aluminum	91
ภาพที่ 4.33 แสดงลักษณะรูปร่างของลูกบอล	91
ภาพที่ 4.34 แสดงผลการทำ SCOUB Test	92
ภาพที่ 4.35 แสดงผลวัดความสูงของ Loop แต่ละกลุ่มพารามิเตอร์	93
ภาพที่ 4.36 การแสดงผลตอบสนองแบบ โครงสร้างพื้นผิว (Response Surface)	93
ภาพที่ 4.37 กราฟแสดงจุดที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย	94

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.38 แสดง Yield ของกระบวนการเชื่อมลวดและ over all yield.....	100
ภาพที่ 4.39 แสดงเปอร์เซ็นต์ PPM ของเสียในกระบวนการเชื่อมลวดในรูปแบบ Pareto.....	100
ภาพที่ 4.40 แสดง Yield ของกระบวนการ Final Test.....	101
ภาพที่ 4.41 แสดงผลของ BPT	101
ภาพที่ 4.42 แสดงผลของ BST	102
ภาพที่ 4.43 แสดงผลของ Ball Size	102
ภาพที่ 4.44 แสดงผลของ Ball Size	103
ภาพที่ 4.45 แสดงผลของ Ball Thickness.....	103
ภาพที่ 4.46 แสดงผลของ Aluminum Smear	103
ภาพที่ 4.47 การทดสอบความปกติของข้อมูล.....	104
ภาพที่ 4.48 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ	104
ภาพที่ 4.49 การทดสอบความปกติของข้อมูล.....	105
ภาพที่ 4.50 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ	105
ภาพที่ 4.51 การทดสอบความปกติของข้อมูล.....	106
ภาพที่ 4.52 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ.....	106
ภาพที่ 4.53 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) หลังการเปลี่ยนเป็น ลวดทองแดง.....	109
ภาพที่ 4.54 ตารางควบคุมบอนด์พารามิเตอร์	110
ภาพที่ 4.55 ตาราง Check sheet พารามิเตอร์	111
ภาพที่ 4.56 OCAP Ball Size สำหรับ Operators.....	112
ภาพที่ 4.57 OCAP Al-Smear สำหรับ Operators.....	112
ภาพที่ 4.58 OCAP สำหรับ BST ของ CU Wire	113
ภาพที่ 4.59 OCAP WPTสำหรับ Operators.....	114
ภาพที่ 4.60 แผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$ ของ BPT	115
ภาพที่ 4.61 แผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$ ของ BST	115
ภาพที่ 4.62 แผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$ ของ Ball Size X	116

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.63 แผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$ ของ Ball Size Y	116
ภาพที่ 4.64 แผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$ ของ Ball Thickness	117
ภาพที่ 4.65 แผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$ ของ Aluminum Smear	117



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การดำเนินธุรกิจในยุคปัจจุบัน คือ การแสวงหาผลกำไร ในภาคส่วนอุตสาหกรรมก็เช่นกัน มีการแข่งขันกันสูง โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และอุตสาหกรรมยานยนต์ การนำกลยุทธ์การแข่งขันมาใช้เป็นสิ่งที่จะต้องทำให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากที่สุด ทั้งทางด้านคุณภาพ ราคา ต้นทุน เทคโนโลยี การวิจัยและพัฒนา แต่ละองค์กรต้องปรับเปลี่ยนการใช้กลยุทธ์เพื่อความเป็นผู้นำ เพิ่มส่วนแบ่งทางการตลาด โดยมุ่งตอบสนองสิ่งที่ลูกค้าต้องการเพื่อให้ได้ผลกำไรที่ดีที่สุด

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์โลกมีการเติบโตอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ซึ่งอัตราการเติบโตสูงชันอย่างมีนัยยะเป็นเส้นตรง รายงานสถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (2557) ได้แสดงดัชนีการเติบโตในปี พ.ศ. 2555 เท่ากับ 292 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ปี พ.ศ. 2556 เท่ากับ 306 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ และปี พ.ศ. 2557 เพิ่มขึ้นเป็น 317 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ส่วนในประเทศไทยอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีการส่งออกอยู่ในอันดับที่ 2 รองจากอุตสาหกรรมยานยนต์ ในปี พ.ศ. 2553 เท่ากับ 53.3 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ปี พ.ศ. 2554 เท่ากับ 53.1 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ปี พ.ศ. 2555 เท่ากับ 54.2 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ ปี พ.ศ. 2556 เท่ากับ 53.4 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ และปี พ.ศ. 2557 เท่ากับ 54.5 พันล้านดอลลาร์สหรัฐ กล่าวได้ว่าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ประเภท Semiconductor เป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ข้ามชาติเป็นการแข่งขันกันในตลาดระดับกว้าง (Broad Mass Market) มีการแข่งขันสูงการนำกลยุทธ์ความเป็นผู้นำด้านต้นทุน (Cost Leadership) มาใช้เป็นกลยุทธ์การแข่งขันที่จะลดและควบคุมต้นทุนเพื่อทำให้ต้นทุนต่อหน่วยต่ำที่สุดจะทำให้สามารถเป็นจุดแข็งและข้อได้เปรียบในการแข่งขันซึ่งจะสามารถนำไปสู่ผลกำไรที่มากขึ้นด้วย

กรณีศึกษาใช้บริษัทที่อยู่ในอุตสาหกรรมวงจรรวม หรือ IC (Integrated Circuit) ผลิตและประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์วงจรรวม Integrated Circuit โดยการนำเอา ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และองค์ประกอบวงจรต่าง ๆ มาประกอบรวมกันบนแผ่นวงจรรวมขนาดเล็กซึ่งแผงวงจรรวมนี้เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญที่จะประกอบเป็นอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมหลายชนิดเช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ การบังคับลักษณะตัวคน โครงสร้างพื้นฐานแบบไร้สาย และอุปกรณ์เคลื่อนที่ เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีตลาดที่กว้างมาก

ในตัวอุปกรณ์วงจรรวมมีส่วนประกอบที่ใช้วัสดุที่เป็นเส้นลวดทองคำเป็นส่วนประกอบทำให้ต้นทุนของวัตถุดิบต่อหน่วยมีราคาสูง และในปัจจุบันราคาทองคำมีการเปลี่ยนแปลงตามกลไก

ตลาดโลก ซึ่งเป็นปัจจัยแวดล้อมภายนอก (External Factor) ที่ยากต่อการควบคุมได้ จึงเกิดแนวคิดในการหาวัตถุดิบอื่นมาทดแทนซึ่งได้พิจารณาวัตถุดิบทองแดงเพราะมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับทองแต่มีราคาถูกกว่ามาก เปรียบเทียบราคาดทองคำและทองแดง ณ ปัจจุบันสามารถลดลง 94.11% ต่อหน่วยการซื้อ (ลวดขนาด 20 um) ลวดทองที่ใช้ไปตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 ถึง เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2557 (29 เดือน) ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2,306KM ต่อเดือน อ้างอิงราคาเฉลี่ย 27.18USD/100M คิดเป็นเงิน 626,846USD เปรียบเทียบกับราคาทองแดงอ้างอิง ณ ปัจจุบัน 1.6USD/100M คิดเป็นเงิน 36,900USD ลดลง 589,945USD หรือเท่ากับ 94.11%

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จะมุ่งเน้นการเปลี่ยนวัตถุดิบเส้นลวดจากทองคำเป็นทองแดงในกระบวนการเชื่อมลวดโดยใช้เทคนิคซิกส์ ซิกม่า เพื่อนำข้อมูลที่ได้รับจากการวิจัยมาเป็นแนวทางชี้แนะในการปฏิบัติงานและปรับปรุงเพื่อให้บริษัทได้รับผลประโยชน์สูงสุด และต้องไม่มีผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อคุณภาพและความเชื่อถือในตัวผลิตภัณฑ์อีกทั้งลูกค้าจะต้องได้รับความพึงพอใจสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของลวดทองแดงในการเป็นตัวนำไฟฟ้าและคุณสมบัติความยืดหยุ่นเพื่อนำลวดทองแดงไปทดแทนลวดทองคำ

1.2.2 ลดต้นทุนวัตถุดิบของการผลิตในกระบวนการเชื่อมลวดในอุตสาหกรรมเซมิคอนดักเตอร์โดยใช้ลวดทองแดง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการค้นคว้าและทดลองการเปลี่ยนวัตถุดิบจากลวดทองเป็นลวดทองแดงเพื่อลดต้นทุนด้านราคาต่อหน่วยของวัตถุดิบกับผลิตภัณฑ์ TSSOP56 การเปลี่ยนวัตถุดิบนี้จะอยู่ในกระบวนการเชื่อมลวดซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งของการะบวนการทั้งหมดในการผลิตอุปกรณ์วงจรรวมโดยจะใช้เครื่องจักร KnS รุ่น IConn ในการทดลองและใช้ระยะเวลาในการค้นคว้าทดลองภายในระยะเวลา 7 เดือนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2557 - พฤษภาคม 2558

1.4 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานแบ่งเป็น 5 ขั้นตอนตามหลักการของซิกส์ ซิกม่า คือ DMAIC โดยมีระยะเวลาดำเนินงานระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2557 ถึง เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2558 ดังแสดงในภาพที่ 1.1

แผนดำเนินงาน	ระยะการดำเนินงาน													
	พ.ย. 2557		ธ.ค. 2557		ก.ค. 2558		ก.พ. 2558		มี.ค. 2558		เม.ย. 2558		พ.ค. 2558	
	สัปดาห์ที่ 45	สัปดาห์ที่ 46	สัปดาห์ที่ 47	สัปดาห์ที่ 48	สัปดาห์ที่ 49	สัปดาห์ที่ 50	สัปดาห์ที่ 1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4	สัปดาห์ที่ 5	สัปดาห์ที่ 6	สัปดาห์ที่ 7	สัปดาห์ที่ 8
1. Define Phase : กำหนดปัญหา														
2. Measure Phase : วัดปริมาณสาเหตุของปัญหา														
3. Analysis Phase : วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา														
4. Improve Phase : แก้ไขและปรับปรุง														
5. Control Phase : ภาวดีรักษาสถานะและควบคุม														

ภาพที่ 1.1 การดำเนินงานลดทองแดงวัสดุบัดใหม่เพื่อลดต้นทุนในกระบวนการเชื่อมลวด

1.5 คำจำกัดความในการวิจัย

Wire Bond Process : กระบวนการเชื่อมลวด เพื่อเชื่อมวงจรจาก bond pad ไปที่ขา lead frame เพื่อให้ครบวงจร

Au wire : ลวดทองคำวัสดุบัดที่ใช้ในการเชื่อมลวด

Cu wire : ลวดทองแดงวัสดุบัดที่ใช้ในการเชื่อมลวด

FMEA : Failure mode and effect analysis คือ การวิเคราะห์หาสาเหตุและผลกระทบของข้อบกพร่อง โดยจะพิจารณาจาก ความรุนแรงของข้อบกพร่อง โอกาสในการเกิด และการตรวจจับข้อบกพร่อง

PPM : Part per million คือ หน่วยการวัด ที่คิดจาก 1 ส่วน ใน 1,000,000 ส่วน

DPPM : Defect Part per million คือ หน่วยการวัดจำนวนของเสีย 1 ใน 1,000,000 ส่วน

Process capacity : ความสามารถของกระบวนการในการผลิต

Cpk : ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการในระยะสั้น

Ppk : ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการในระยะยาว

Yield : ผลผลิตสุทธิที่ได้จากกระบวนการผลิตซึ่งหักของเสียออก คำนวณในรูปร้อยละ

RPN : Risk Priority Number ตัวเลขแสดงน้ำหนักของความเสี่ยงที่เกิดขึ้น

OCAP	: Out of Control Action Plan การแก้ไขสิ่งที่ไม่อยู่ในการควบคุม อย่างมีขั้นตอน
NSOP	: Non-stick on Pad คือ ลูกบอล bond ลงไปบน bond Pad แล้วไม่ติด
NSOL	: Non-stick on Lead คือ ลูกบอล bond ลงไปบน bond Lead แล้วไม่ติด
BPT, WPT	: Ball Pull Test, Wire Pull Test คือ การทดสอบแรงดึงด้านลูกบอล จนลวดขาดเพื่อดูความสามารถที่รองรับได้
SPT	: Stitch Pull Test คือ การทดสอบแรงดึงด้าน Stitch จนลวดขาด เพื่อดูความสามารถที่รองรับได้
BST	: Ball Shear Test คือ การทดสอบแรงเฉือนจนลูกบอลหลุดออกจาก Pad
Ball Size	: ขนาดของลูกบอล
Al remain	: ความหนาของ Aluminum ใต้ลูกบอลหลังจาก Bond แล้ว
Al smear	: คือ ลูกบอล bond ลงไปบน bond Pad จะเกิดลักษณะ Aluminum กระจายออก
COUB	: Chip-out Under Ball คือลักษณะลูกบอล bond ลงที่ Pad เกิดการแตก
SCOUB	: Silicon Chip-out Under Ball คือลักษณะลูกบอล bond ลงที่ Pad เกิดการแตกจนเห็น Silicon
IMC	: Intermetallic compound เป็นสารประกอบ Alloy หรือ โลหะผสม ระหว่างอลูมิเนียมกับลวดทองแดงที่เกิดขึ้นใต้ลูกบอลหลังจาก การเชื่อมลวด
USG	: Ultrasonic คือ การสั่นในความถี่สูง
Reliability	: ความน่าเชื่อถือ
HAST	: Highly Accelerated Stress Test หมายถึง การทดสอบความเครียด เร่งสูงเป็นการกระทำการบีบคั้นโดยการเร่งอุณหภูมิและความชื้น
HTSL	: High Temperature Storage Life หมายถึง การกระทำการบีบคั้น โดยการเร่งที่อุณหภูมิสูง
TMCL	: Temperature Cycle หมายถึง การกระทำการบีบคั้นโดยการเร่ง ที่อุณหภูมิต่ำติดลบและด้านสูงในรอบเวลา
THB/H3TRB	: Temperature Humidity Bias / High Humidity High Temperature Bias การกระทำการบีบคั้นโดยการเร่งที่อุณหภูมิและความชื้น

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ลดต้นทุนการผลิตในกระบวนการเชื่อมลวดโดยใช้ลวดทองแดงทดแทนลวดทอง
- 1.6.2 สามารถนำแนวทางไปอ้างอิงและประยุกต์ใช้กับกระบวนการอื่นเพื่อลดต้นทุนได้
- 1.6.3 ฝึกฝนและสร้างสติปัญญาให้กับผู้คิดและบริหารคุณภาพตามแบบฉบับ ชิกส์ ชิกม่า
- 1.6.4 ทำให้บริษัทได้ผลกำไรที่สูงขึ้น



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการลดต้นทุนการผลิตผ่านกระบวนการเชื่อมลวดโดยเปลี่ยนวัตถุดิบเส้นลวดจากทองเป็นทองแดง ใช้หลักการซิกส์ ซิกม่า กรณีศึกษาอุตสาหกรรมไอซี มีแนวคิดและทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยจัดแบ่งกลุ่มเนื้อหาได้ดังนี้

- 2.1 แนวคิดและหลักการบริหารระบบโดยวิธีซิกส์ ซิกม่า
- 2.2 ขั้นตอนกระบวนการซิกส์ ซิกม่า
 - 2.2.1 การจัดองค์การบริหารตามแนวทางซิกส์ ซิกม่า
 - 2.2.2 การวัดความสามารถของกระบวนการในวิธีซิกส์ ซิกม่า
 - 2.2.3 เครื่องมือคุณภาพ 7 ประการ
- 2.3 คุณสมบัติของทองคำและทองแดงทางด้านการนำไฟฟ้าและความยืดหยุ่น
- 2.4 กระบวนการเชื่อมลวด
- 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและหลักการบริหารระบบโดยวิธีซิกส์ ซิกม่า

ประวัติความเป็นมาของซิกส์ ซิกม่า

ซิกส์ ซิกม่า ถูกพัฒนาขึ้นมาในช่วงทศวรรษที่ 1980 โดย Bill Smith ผู้ซึ่งเป็นวิศวกรอาวุโสของบริษัทโมโตโรล่า (Motorola) ประยุกต์สูตรและวิธีการทางสถิติเพื่อกลั่นกรองเป็นวิธีการของซิกส์ ซิกม่า โดยนำอักษรกรีกมาเป็นสัญลักษณ์ (Sigma: σ) ใช้แทนความหมายของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Division) กำหนดมาตรฐานวัดความผันแปรของกระบวนการตามหลักสถิติมาคำนวณ

ต่อมาบริษัท GE โดย Jack Welch ได้ปรับเปลี่ยนรูปแบบดั้งเดิมของ ซิกส์ ซิกม่า ให้เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้มากขึ้น โดยปรับแก้รูปแบบ ซิกส์ ซิกม่า ของ Motorola ให้เป็นลักษณะของ Project Based Approach คือเน้นทำเป็นเรื่อง ในระยะเวลาควบคุมที่กำหนดไว้ (โดยประมาณ 6 เดือน) และได้มีการเสริมเพิ่มเติมในส่วนของงานบริหารโครงการ และสร้างแนวทางในการจูงใจให้ผู้บริหารทุกระดับเล็งเห็นถึงความสำคัญของการดำเนินงาน (ไม่ใช่คิดเพียงแต่ว่าเป็นหน้าที่ของวิศวกรในการปรับปรุงกระบวนการเท่านั้น) และยังเพิ่มในส่วนของวิธีการประเมินผลสำเร็จที่สามารถวัดผลออกมาได้ในรูปแบบของการเงิน แนวคิดนี้ได้ถูกเผยแพร่และเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย

ซิกส์ ซิกม่า เป็นเครื่องมือและวิธีการปรับปรุงคุณภาพหรือประสิทธิภาพขององค์กร โดยมุ่งเน้นการลดความไม่แน่นอนหรือเรียกว่า Variation เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานและปรับปรุงขีดความสามารถในการทำงานให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนด โดยใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าที่สุด เพื่อนำมาซึ่งความพึงพอใจของลูกค้าโดยอาศัยการวิเคราะห์และตัดสินใจด้วยข้อมูล กลวิธีทางสถิติ ให้ผลที่ได้รับสามารถวัดได้อย่างเป็นรูปธรรมทั้งการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการเป็นค่าทางสถิติ หรือเป็นตัวเงิน ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มรายได้หรือลดรายจ่ายก็ตาม

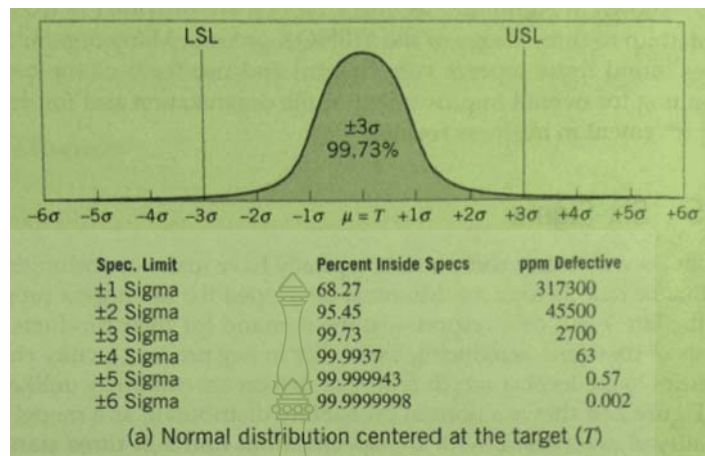
ซิกส์ ซิกม่า ในทางสถิติหมายถึงโอกาสของการเกิดข้อผิดพลาดเพียง 3.4 ครั้งต่อล้านครั้ง ข้อผิดพลาดในที่นี้คือสิ่งใดก็ตามที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือเป้าหมายของการผลิตและการบริการ ซึ่งมุ่งเน้นให้เกิดความพึงพอใจของลูกค้าเป็นหลัก

แนวคิดและหลักการของซิกส์ ซิกม่า

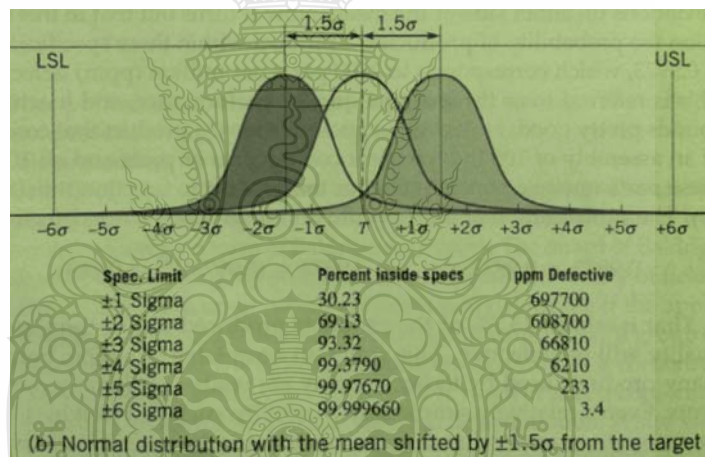
Montgomery, Jennings, และ Pfund (2011, pp. 45-47) แนวคิด ซิกส์ ซิกม่า ของโมโตโรล่า เพื่อลดความแปรปรวนในกระบวนการเพื่อที่จะระบุขีดจำกัดอยู่ที่ 6 ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ยดังรูปที่ 2.1(a) เมื่อแนวคิด ซิกส์ ซิกม่า ได้รับการพัฒนาในขั้นต้นเป็นสมมติฐานคือเมื่อกระบวนการถึงระดับที่มีคุณภาพ ซิกส์ ซิกม่า หมายถึงกระบวนการยอมให้มีสิ่งรบกวนที่อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ± 1.5 ของส่วนเบี่ยงเบนออกจากเป้าหมายดังรูปที่ 2.1(b) มาตรฐานโดยทั่วไปสามารถคาดการณ์ประสิทธิภาพของกระบวนการเมื่อกระบวนการนั้นมีเสถียรภาพ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นค่าคงที่ ถ้าค่าเฉลี่ยเลื่อนไปรอบ ๆ อยู่ที่ ± 1.5 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานออกจากเป้าหมายของเสียจะเป็น 3.4 พีพีเอ็ม (ของเสีย 3.4 ชิ้นจาก 1 ล้านชิ้น) ถ้าค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงมากกว่าที่ได้กำหนด ± 1.5 แสดงว่าประสิทธิภาพของกระบวนการไม่สามารถคาดเดาได้

อย่างไรก็ตามกระบวนการหรือระบบที่เคยมีเสถียรภาพอย่างแท้จริงและแม้จะอยู่ตรงตำแหน่งที่ดีที่สุดของกระบวนการ การรบกวนจะส่งผลให้กระบวนการขยับออกจากเป้าหมาย การเพิ่มขึ้นของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกระบวนการ แนวคิดของซิกส์ ซิกม่า เป็นวิธีหนึ่งที่จะสร้างแบบจำลองพฤติกรรมนี้ เช่นเดียวกับทุก model ถึงจะไม่ถูกต้องทั้งหมด แต่ได้พิสูจน์แล้วว่าเป็นวิธีที่มีประโยชน์ต่อประสิทธิภาพของกระบวนการ

ระดับของชิกรมาเปรียบเทียบกับข้อบกพร่องต่อโอกาสที่เกิดขึ้นในหนึ่งล้านครั้ง



ภาพที่ 2.1(a) การกระจายตัวแบบปกติค่าเฉลี่ยกลาง



ภาพที่ 2.1(b) การกระจายตัวแบบปกติค่าเฉลี่ยเลื่อน $\pm 1.5\sigma$ จากค่ากลาง

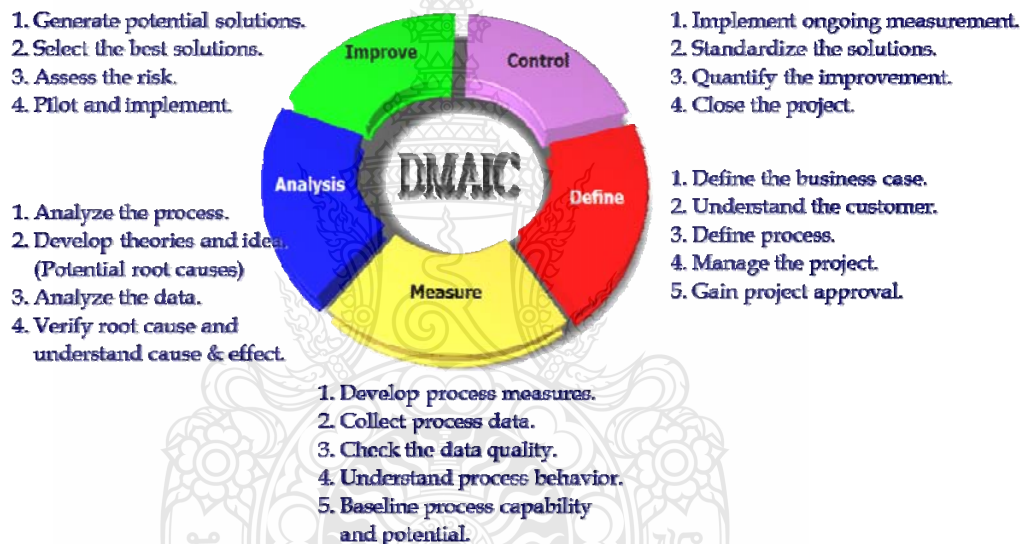
2.2 ขั้นตอนกระบวนการชิกรมา (ชิกรมา (ชิกรมา Step))

สิทธิศักดิ์ พฤษย์ปิติกุล (2548, น. 22-23) อธิบายว่าการที่นำกระบวนการชิกรมา ชิกรมา ไปประยุกต์ใช้กับองค์กรใดองค์กรหนึ่งนั้น จะต้องเกิดจากวิสัยทัศน์ของฝ่ายบริหารประกอบการ กำหนดแนวทางการใช้กระบวนการ ชิกรมา ชิกรมา และโครงสร้างพื้นฐานขององค์กร ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะ ส่งผลให้การนำกระบวนการชิกรมา ชิกรมา มาใช้ในองค์กรจะประสบความสำเร็จหรือล้มเหลวได้ โดยเฉพาะการสร้างโครงสร้างพื้นฐานขององค์กรให้ทุก ๆ กระบวนการหรือวิธีใดก็ตามที่ทำให้ทุกคน

ในองค์กรตระหนักถึงการพัฒนาคุณภาพอย่างต่อเนื่อง ขั้นตอนของกระบวนการซิกส์ ซิกมาประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนดังนี้

- 1) การกำหนดปัญหา (Define) หรือ ระยะการเตรียมการ (Deployment Phase)
- 2) การวัด (Measurement)
- 3) การวิเคราะห์ (Analysis)
- 4) การปรับปรุง (Improvement)
- 5) การควบคุมกระบวนการ (Controlling Process)

...Six Sigma Step...

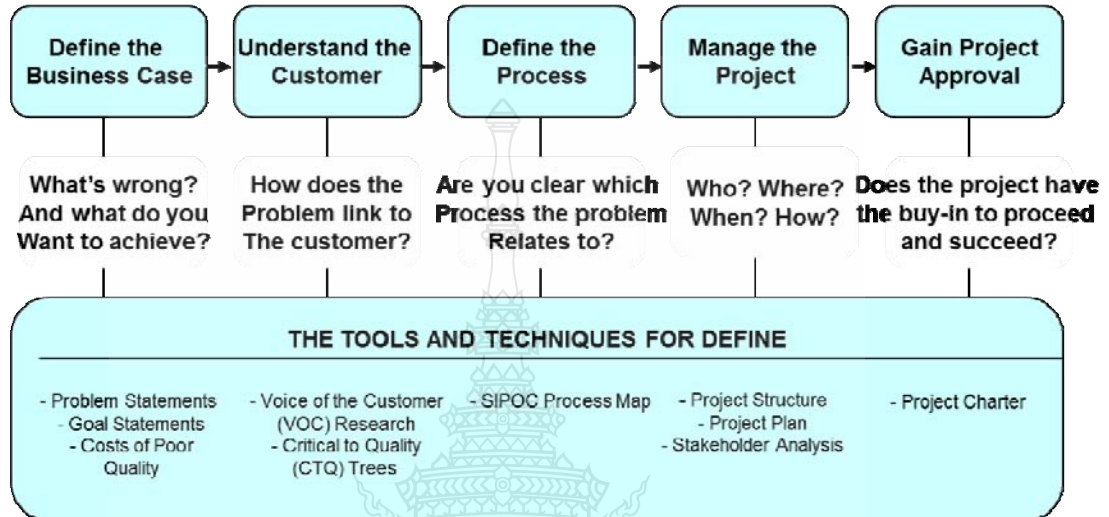


ภาพที่ 2.2 แสดงขั้นตอนของซิกส์ ซิกมา

ขั้นตอนที่ 1 : การกำหนด (Define: D) กำหนดปัญหาขอบเขตของโครงการที่จำเป็นต้องปรับปรุงและจะปรับปรุงให้ถึงระดับไหน ระบุระยะเวลาของโครงการ วางเป้าหมายของความสำเร็จอย่างชัดเจน โดยเขียนในรูปของ Process Map เพื่อให้เกิดความเข้าใจไปในทิศทางเดียวกัน และใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 2.3



The DMAIC process starts when you have identified a problem. The Define phase helps to clarify your understanding of *why* it is a problem, before investing time and money in the project.

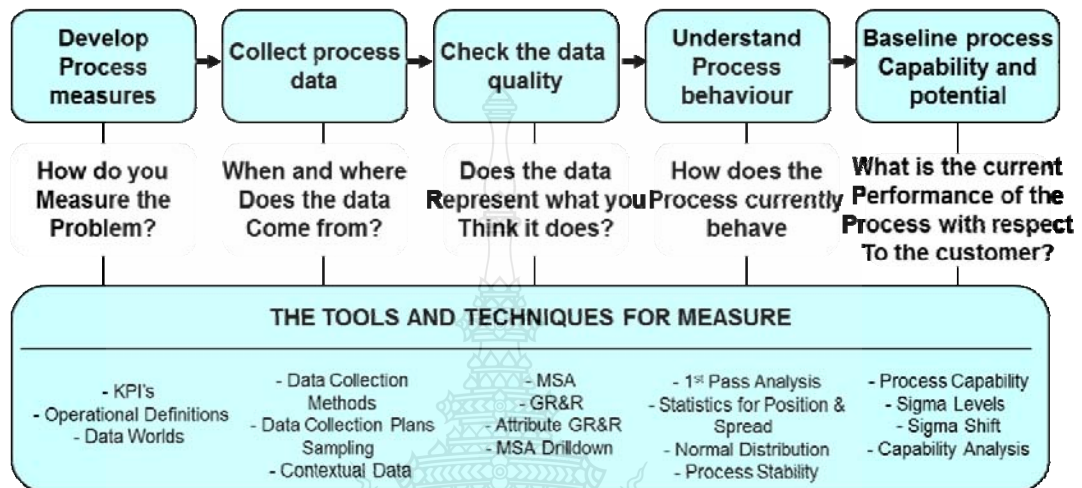


ภาพที่ 2.3 แสดงขั้นตอนและกระบวนการของการกำหนด Define

ขั้นตอนที่ 2 : การวัด (Measurement: M) เป็นการวัดและประเมินสภาพปัจจุบันของกระบวนการ โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมหรือกระบวนการนั้น ๆ และต้องเข้าใจด้วยว่าจะวัดอะไร วัดอย่างไร วัดที่ไหน วัดเมื่อไหร่ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์และหาประสิทธิภาพของกระบวนการ โดยเปรียบเทียบกับเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ หรือความเห็นของลูกค้าที่รับสินค้าหรือบริการและใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 2.4



The measure phase aims to set a stake in the ground in terms of process performance (a baseline) through the development of clear and meaningful measurement systems.



ภาพที่ 2.4 แสดงขั้นตอนและกระบวนการของการวัด Measurement

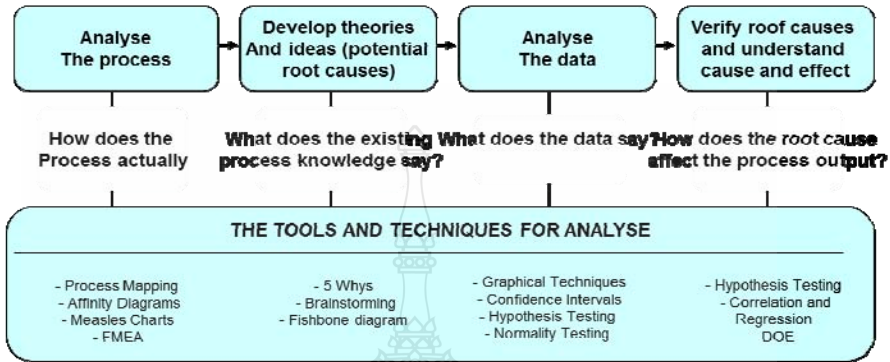
ขั้นตอนที่ 3 : การวิเคราะห์ (Analysis: A) เป็นการเอาข้อมูลทางตัวเลขที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์ เพื่อหาสาเหตุในการที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนและการเปลี่ยนแปลงแบบหลากหลาย (Variability) ในกระบวนการและการทดสอบสมมติฐานเพื่อหาทางขจัดปัญหา ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$y = f(x_i)$$

และใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 2.5



The Analyze phase aims to identify critical factors of a 'good' or service, and the root causes of 'defects' It has less of a logical flow, but functions more as a toolbox of tools and techniques.



ภาพที่ 2.5 แสดงขั้นตอนและกระบวนการของการวิเคราะห์ Analysis

ขั้นตอนที่ 4 : การปรับปรุง (Improvement: I) การพัฒนาหรือปรับปรุงสมรรถนะและประสิทธิภาพของกระบวนการ เป็นการแสวงหาและพัฒนาวิธีที่จะนำมาขจัดปัญหา รวมไปถึงการสร้างระเบียบและแผนผังของการจัดการเพื่อลดปัญหา และใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 2.6



The Improve phase aims to develop, select and implement the best solutions, with controlled risks. The effects of the solutions are then measured with the KPI's developed during the Measure phase.

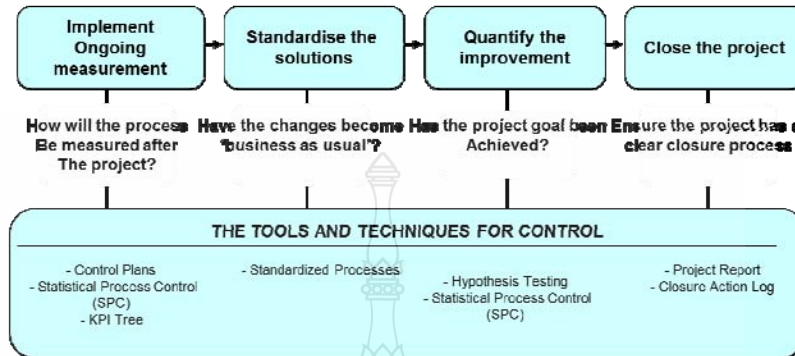


ภาพที่ 2.6 แสดงขั้นตอนและกระบวนการของการปรับปรุง Improvement

ขั้นตอนที่ 5 : การควบคุม (Control: C) กำหนดแผนควบคุม ปรับปรุงแผนควบคุม ติดตามฝ้าดูกระบวนการให้อยู่ในขอบเขตที่ควบคุม นอกจากนี้ยังมีการประเมินความเสี่ยงเป็นระยะและใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 2.7

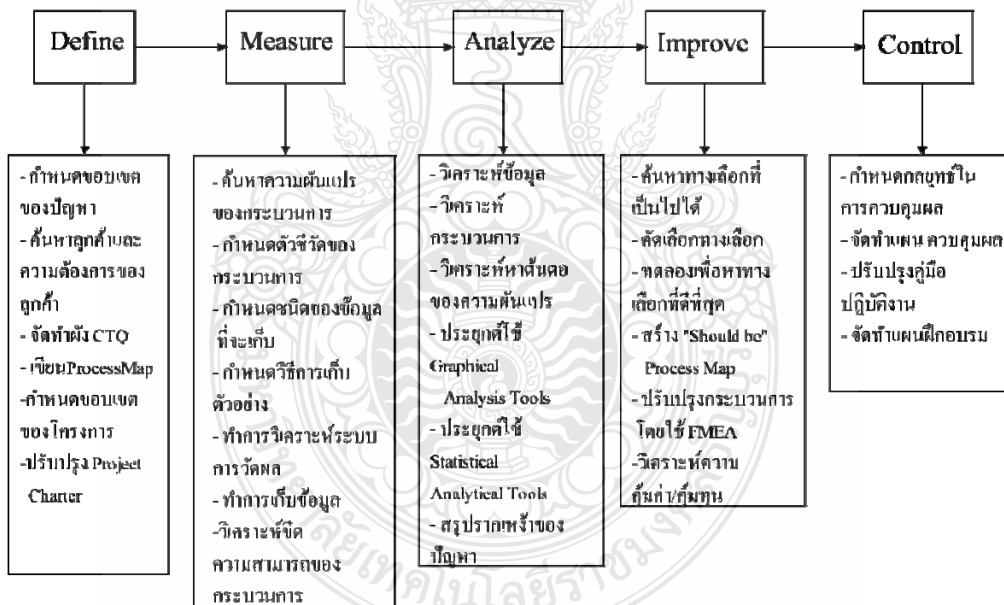


The Control phase aims to ensure that the solutions that have been implemented become 'embedded' into the process, so that the improvements will be sustained after the project has been closed.



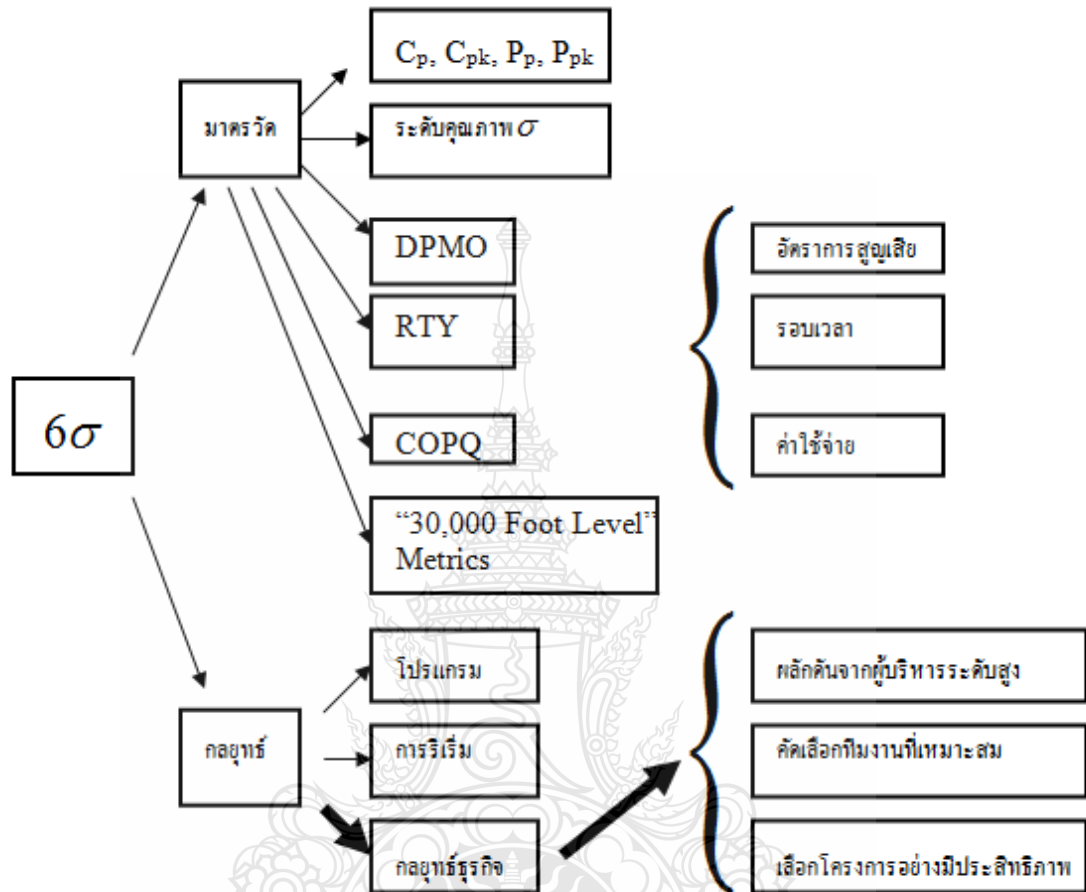
ภาพที่ 2.7 แสดงขั้นตอนและกระบวนการของการควบคุม Control

ขั้นตอนการดำเนินการโครงการเพื่อปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ DMAIC



ณัฐพันธ์ เจริญนันท์และคณะ (2548, น. 14-15, 32-33) ได้อธิบายไว้ว่าการแปลงข้อมูลที่มีอยู่ให้เป็นฐานความรู้ที่จะนำไปสู่โอกาสใหม่ ๆ ในการพัฒนาองค์กรเพื่อความเป็นเลิศในซิกส์ ซิกม่า ประกอบไปด้วย ส่วนหลัก 2 ส่วนคือ “องค์ประกอบเชิงปริมาณ” ซึ่งเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลดิบและการพัฒนาเชิงสถิติต่าง ๆ และ “องค์ประกอบเชิงกลยุทธ์” ซึ่งจะเกี่ยวกับการกำหนดแผนองค์กรต่าง ๆ ข้อพิจารณาในการใช้ซิกส์ ซิกม่าดังแสดงในภาพที่ 2.8 ในทางปฏิบัตินั้น ไม่จำเป็นจะต้องทำทุกอย่าง

ตามที่อธิบายในภาพแต่ให้เลือกในสิ่งที่สำคัญ หรือในสิ่งที่คิดว่าเป็นจุดอ่อนที่หากได้รับการแก้ไขแล้ว จะเห็นผลได้เป็นอย่างดีที่สุด



ภาพที่ 2.8 ข้อพิจารณาในการใช้ ชิกส์ ซิกม่า

ความสำเร็จและอรรถประโยชน์ของชิกส์ ซิกม่า ณัฐพันธุ์ เจริญนนท์ และคณะ (2548, น. 30-32) การบริหารงานตามแบบฉบับของชิกส์ ซิกม่า Ronald Snee ได้อธิบายว่า ชิกส์ ซิกม่า เป็นการพัฒนาเป้าหมายกลยุทธ์ของกิจการ หยิบยกคุณสมบัติพิเศษ 8 ประการในการเพิ่มความสำเร็จสำหรับการบริหารงาน จากระดับล่างขององค์กรขึ้นมา ดังนี้

- เกิดผลลัพธ์สุดท้ายได้ตามที่คาดหวัง
- เป็นการแสดงภาวะผู้นำของระดับบริหาร
- มีขั้นตอนที่ลงตัว (การวัด การวิเคราะห์ การปรับปรุง และการควบคุม)
- เห็นผลประโยชน์ของโครงการได้ทันใจ (3-6 เดือน)
- สามารถกำหนดมาตรการสำหรับการวัดผลได้ชัดเจน
- ปัจจัยพื้นฐานของชิกส์ ซิกม่า คือ ภาวะผู้นำและปฏิบัติงาน

- เน้นที่ลูกค้าและกระบวนการ
- ใช้กลวิธีทางสถิติในการพัฒนา

Mikel Harry (อ้างอิงใน ฌ็องซูพันธ์ เจริญนันท์ และคณะ, 2548) อธิบายว่า ซิกส์ ซิกม่า คือ วิธีแห่งระบบคุณภาพแบบหลายมิติ อันประกอบด้วย รูปแบบที่เป็นมาตรฐาน การจัดการที่ลงตัว และการตอบสนองในหน้าที่ขององค์กร ซึ่งทั้งลูกค้าและผู้ผลิตจะได้ผลตอบแทนร่วมกันทั้งสองฝ่าย ดังนี้

1) อรรถประโยชน์

- มาตรฐาน : สร้างมาตรฐานทางกายภาพที่มีประสิทธิภาพ
- ความเหมาะสม : มีความลงตัวในด้านการจัดการที่ดี
- ความคล่องตัว : ตอบสนองต่อการจัดการตามหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายภายในองค์กร

2) ทฤษฎีการ

- ปริมาณ : ทั้งปริมาณในการผลิตที่เพิ่มมากขึ้น การสต็อกสินค้า รวมไปถึงช่องทางการจัดจำหน่ายทั้งปลีกและส่งอย่างมีประสิทธิภาพ
- เวลา : การใช้เวลาในการผลิตที่ลดลง ทำให้เหลือเวลาผลิตสินค้าได้เพิ่มขึ้น

3) คุณค่าในตัวผลิตภัณฑ์

- สติปัญญา : เป็นการฝึกฝนและสร้างสติปัญญาให้กับผู้คิดและบริหารคุณภาพตามแบบฉบับ ซิกส์ ซิกม่า
- อารมณ์ : สร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าและพนักงานในองค์กร
- เศรษฐกิจ : สร้างมูลค่าเพิ่มให้กับองค์กร

2.2.1 การจัดการองค์กรบริหารตามแนวทางซิกส์ ซิกม่า

คาวานาซ นิแมน และ เพนเด (2548, น. 19-26) อธิบายว่า ซิกส์ ซิกม่า ไม่ใช่เป็นเพียงแค่เครื่องมือทางข้อมูลในเชิงสถิติหรือการคำนวณข้อบกพร่อง แต่ยังคงประกอบด้วยการทำงานร่วมกันเป็นทีม ถ้าพึ่งแต่ทีมงานคงไม่สามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างขององค์กรได้ เพราะเป็นเพียงส่วนหนึ่งของโครงสร้างพื้นฐานที่ถูกออกแบบเพื่อช่วยทบทวนการออกแบบใหม่ขององค์กร แนวทางหนึ่งที่จะทำให้เข้าใจการปรับปรุงโครงสร้างก็คือ การทบทวนบทบาทหน้าที่ของผู้ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาองค์กร ซิกส์ ซิกม่า มีส่วนประกอบของบทบาทและหน้าที่ที่ควรพัฒนาอยู่ 7 อย่างคือ

1. กลุ่มผู้นำหรือคณะกรรมการ (Leadership Group or Council)
2. แคมป์เปียนและสปอนเซอร์ของโครงการ (Project Sponsor and Champion)

3. ผู้นำการปฏิบัติการ (Implementation Leader)
4. โค้ช ชิกส์ ชิกม่า หรือมาสเตอร์แบล็คเบลท์ (Master Black Belt)
5. ผู้นำทีมหรือโครงการที่เรียกว่า แบล็คเบลท์ (Black Belt)
6. สมาชิกทีมงาน (Team Member)
7. เจ้าของกระบวนการ (Process Owner)

บทบาทที่ 1 : กลุ่มผู้นำหรือคณะกรรมการ (Leadership Group or Council)

กลุ่มคณะกรรมการหรือผู้นำจะประกอบด้วยผู้จัดการอาวุโสในธุรกิจ ที่รวมกลุ่มกันเพื่อสนับสนุนในการเรียนรู้แนวทางใหม่ของการจัดการธุรกิจจากประสบการณ์โดยตรงกับทีมงาน ชิกส์ ชิกม่า ในบทบาทหน้าที่ของผู้นำจะมีการวางแผนและปฏิบัติตามแผนการดำเนินงานของชิกส์ ชิกม่า ในขั้นตอนแรกของบทบาทในชิกส์ ชิกม่า กลุ่มผู้นำหรือคณะกรรมการจะต้องปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. พัฒนาวัตถุประสงค์และเหตุผล
2. วางแผนและมีส่วนร่วมในการดำเนินงาน
3. การสร้างวิสัยทัศน์
4. การสนับสนุนอย่างเต็มกำลัง
5. ตั้งเป้าหมายที่ชัดเจน
6. การถือครองตัวเองละความรับผิดชอบอื่น ๆ
7. การสร้างตัววัดผลลัพธ์ที่ชัดเจน
8. ผลลัพธ์จากการสื่อสาร

บทบาทที่ 2 : แชมป์เปียนและสปอนเซอร์ของโครงการ (Project Sponsor and Champion)

สำหรับองค์กรใหญ่ สปอนเซอร์หรือแชมป์เปียนจะเป็นผู้จัดการอาวุโสที่คอยดูแลโครงการ ชิกส์ ชิกม่า และต้องรายงานผลความสำเร็จของโครงการต่อกลุ่มผู้นำ หน้าที่ของแชมป์เปียนเป็นงานที่ค่อนข้างให้ความละเอียด ที่มีบทบาทในการให้แนวทางที่ชัดเจนต่อทีมงานปรับปรุงโครงการและยังช่วยทีมงานเมื่อพบอุปสรรคระหว่างการดำเนินการ ดังนั้นความรับผิดชอบของแชมป์เปียนมีรายละเอียดทั้งหมด 8 รายการดังต่อไปนี้

1. การสร้างเป้าหมายที่เป็นไปได้
2. เปิดรับต่อความเปลี่ยนแปลง
3. เป็นผู้ฝึกสอนและอนุมัติต่อความเปลี่ยนแปลง
4. จัดหาทรัพยากร
5. การสนับสนุนความพยายามของทีม

6. ดำเนินการแทรกแซงให้กับทีมงานเมื่อประสบปัญหา
7. ทำงานร่วมกับผู้จัดการที่เกี่ยวข้อง
8. การเรียงความสำคัญของการจัดการที่ใช้ข้อมูลเป็นตัวผลักดัน (Data-Driven Management)

บทบาทที่ 3 : ผู้นำการปฏิบัติการ (Implementation Leader)

บางคนพยายามจัดการซิกส์ ซิกม่า แบบวันต่อวัน ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของการดำเนินการโดยผู้นำการปฏิบัติการหรือผู้อำนวยการ ซิกส์ ซิกม่า หนึ่งคนก็อาจจะพอเพียง หรือบางครั้งคุณอาจจะต้องการพนักงานเพื่อจัดการกับกลุ่มงาน ที่มีขอบข่ายงานครอบคลุมถึง 7 รายการดังต่อไปนี้

1. สนับสนุนกลุ่มผู้นำ
2. การสรรหาบุคลากรที่มีบทบาทสำคัญ (Key Player)
3. ช่วยในการเลือกและพัฒนาสิ่งที่ใช้ในการฝึกอบรม
4. วางแผนและดำเนินการฝึกอบรม
5. สนับสนุนทีมสปอนเซอร์หรือแชมป์เปี้ยน
6. จัดทำเอกสารความก้าวหน้า
7. การดำเนินการตลาดภายใน วางแผนสำหรับการฝึกอบรมและติดตามทีมงาน

บทบาทที่ 4 : โค้ช ซิกส์ ซิกม่า หรือมาสเตอร์แบล็คเบลท์ (Master Black Belt)

โค้ช ซิกส์ ซิกม่า เป็นผู้เชี่ยวชาญในการให้คำแนะนำแก่เจ้าของกระบวนการและทีมงานปรับปรุงซิกส์ ซิกม่า ในขอบเขตตั้งแต่เครื่องมือวัดทางสถิติ จนถึงการบริหารการเปลี่ยนแปลง (Change Management) และกลยุทธ์การออกแบบกระบวนการ โค้ชมักจะเป็นผู้ที่อยู่ระหว่างผู้ให้คำแนะนำปรึกษากับผู้ปฏิบัติงาน โดยเฉพาะในทีมงานปรับปรุง โค้ชจะมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับผู้นำทีม ที่มีความสัมพันธ์ต่อทีมและสิ่งที่จะให้ความช่วยเหลือต่อการดำเนินงาน โค้ชควรแนะนำด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. การติดต่อสื่อสาร กับแชมป์เปี้ยนโครงการและกลุ่มผู้นำ
2. การจัดกำหนดการที่แน่นอนสำหรับโครงการ
3. จัดการกับการต่อต้าน
4. การประมาณการวัดและตรวจสอบมูลค่าเชิงปริมาณที่สามารถประหยัดได้
5. ช่วยแก้ไขปัญหาและความขัดแย้งของทีม
6. เก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับกิจกรรมของทีม
7. ช่วยในการส่งเสริมทีมงานและยินดีกับความสำเร็จของเขา

บทบาทที่ 5 : ผู้นำทีมหรือโครงการที่เรียกว่า แบล็คเบลท์ (Black Belt)

ผู้นำทีมหรือแบล็คเบลท์ คือบุคคลซึ่งยอมรับความรับผิดชอบเบื้องต้นสำหรับงานประจำวัน และผลลัพธ์ของโครงการ ชิกส์ ชิกม่า มีหน้าที่คล้ายโค้ช แต่จะรับผิดชอบเฉพาะทีมงานเดียวเท่านั้นซึ่งผู้นำทีมมักจะเป็นผู้ที่คุ้นเคยกับประเด็นและปัญหาที่ทำการวิเคราะห์ และโดยปกติจะเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการที่พยายามจะปรับปรุง ดังนั้นความรับผิดชอบจะครอบคลุมทั้งหมด 9 รายการดังต่อไปนี้

1. การทบทวนแก้ไขและทำให้วัตถุประสงค์ของโครงการชัดเจน
2. ทำงานร่วมกับสมาชิกและทีมงาน
3. ช่วยในการคัดเลือกสมาชิกทีมงาน
4. การระบุและค้นหาทรัพยากร รวมทั้งข้อมูลสำหรับทีม
5. สนับสนุนสมาชิกของทีม
6. ทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่าทีมงานได้ใช้เวลาไปอย่างมีประสิทธิภาพ
7. การรักษากำหนดการเวลาของทีมงานโครงการ
8. การสนับสนุนการถ่ายทอดวิธีการแก้ปัญหาหรือกระบวนการใหม่
9. จัดทำเอกสารสรุปผลของโครงการ

บทบาทที่ 6 : สมาชิกทีมงาน (Team Member)

สมาชิกที่มักถูกเลือกเนื่องจากกระบวนการในงานอยู่ภายใต้การทบทวน สมาชิกในทีมจะนำร่างกายและสมอง สำหรับการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นสำหรับการปรับปรุงกระบวนการ เนื่องจากบางครั้งสมาชิกของทีมต้องทำงานเต็มเวลาในโครงการ จึงต้องประสานกับผู้ควบคุมงาน (Supervisor) ถึงแนวทางการประสานงานระหว่างทีมงานกับงานประจำที่ทำอยู่ ดังนั้น สมาชิกของทีมควรจะเต็มใจในการปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. การถามคำถามที่เก็บไว้ มีส่วนร่วมอย่างแข็งขัน
2. การให้คำแนะนำการจับเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล
3. การรับฟังผู้อื่น
4. การดำเนินงานตามหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายให้ลุล่วง
5. การทบทวนความพยายามของทีมงานด้วยตนเอง

บทบาทที่ 7 : เจ้าของกระบวนการ (Process Owner)

เมื่อโครงการ ชิกส์ ชิกม่า ได้เริ่มต้น เจ้าของกระบวนการคือผู้จัดการทั่วไปของส่วนงานเฉพาะที่จะรับแนวทางแก้ไขปัญหาจากทีมการปรับปรุงและได้กลายเป็นเจ้าของ (Owner) ที่รับผิดชอบต่อการจัดการกระบวนการปรับปรุง

ในที่สุดการพัฒนาซิกส์ ซิกมา ที่เดินไปพร้อมกับองค์กร ที่มุ่งกระบวนการหลัก (Core Processes) แทนที่จะมุ่งเฉพาะฝ่ายงาน (Function) เจ้าของกระบวนการควรจะเป็นบุคคลที่เกี่ยวข้องกับการจัดการกระบวนการตั้งแต่ต้นจนปลาย (end-to-end) รวมทั้งการจัดการข้ามฝ่ายงานในองค์กร เจ้าของกระบวนการเป็นเพียงผู้ทำให้เกิดความสมบูรณ์ในองค์กรเท่านั้น ซึ่งเป็นผู้ดำเนินการจัดการกระบวนการโดยเลือกแนวทางในการดำเนินธุรกิจ ซึ่งการดำเนินการอาจจะต้องใช้ระยะเวลาหลายปี

2.2.2 การวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis)

ศุภชัย นาทะพันธ์ (2551, น. 197-214) การวิเคราะห์สมรรถภาพของกระบวนการ (Process Capability Analysis) เป็นการเปรียบเทียบความแปรผัน (Variability) ในกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติกับข้อกำหนด (Specifications) หรือความต้องการ (Requirements) ของผลิตภัณฑ์เพื่อหาค่าสมรรถนะ (Performance) ของระบบจากข้อมูลที่ได้จากการวัดเพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการผลิตมีความสามารถที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ให้ลูกค้าได้ดีเพียงใด การวิเคราะห์สมรรถภาพกระบวนการเป็นหัวข้อหนึ่งที่สำคัญในโปรแกรมการปรับปรุงคุณภาพ เพราะสามารถทำนายว่ากระบวนการผลิตที่มีอยู่มีความคลาดเคลื่อนโดยธรรมชาติที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ ช่วยนำออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เลือกหรือปรับปรุงกระบวนการให้เหมาะสม ระบุถึงสมรรถนะที่เกิดขึ้นจากการใช้เครื่องมือใหม่

โดยปกติใช้ขีดจำกัดช่วงกว้าง 6σ ในการวัดความสามารถของกระบวนการ ซึ่งถ้าหากข้อมูลจากการผลิตมีการแจกแจงแบบปกติด้วยค่าเฉลี่ย \bar{X} และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ แล้วกระบวนการผลิตจะมีขีดจำกัดความคลาดเคลื่อนธรรมชาติ (Natural tolerance limits) ด้านบน (UNTL) และด้านล่าง (LNTL) อยู่ที่ $\bar{X} + 3\sigma$ และ $\bar{X} - 3\sigma$ ตามลำดับ ขีดจำกัดความคลาดเคลื่อนธรรมชาตินี้จะใช้การประเมินความสามารถของกระบวนการผลิต ซึ่งค่านี้จะได้จากการสุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตมาแล้วคำนวณค่าทางสถิติ เพื่อใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของคุณสมบัติที่ต้องการควบคุมแบบช่วง ภายใต้ระดับความเชื่อมั่นที่กำหนดโดยทั่วไปคือ 99.73% ซึ่งหมายถึงว่ามี 0.27% ของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตที่จะอยู่นอกขีดจำกัดความคลาดเคลื่อนธรรมชาติ นอกจากนี้ขีดจำกัดความคลาดเคลื่อนธรรมชาติ ยังใช้ในการประมาณค่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์เสียในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย

อัตราส่วนความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Ratio: PCR หรือ Cp)

$$Cp = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

เมื่อ USL (Upper Specification Limit) คือ ขีดจำกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านบน
 LSL (Lower Specification Limit) คือ ขีดจำกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านล่าง
 σ (Standard deviation) คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่แท้จริงของการผลิต
 ซึ่งถ้าไม่ทราบจะแทนด้วยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างที่ได้จากแผนภูมิควบคุมเชิง
 ปริมาณ ดังนี้

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6S}$$

ในกรณีที่กระบวนการผลิตมีขีดจำกัดข้อกำหนดเฉพาะเพียงด้านเดียวเราจะกำหนดดังนี้

สำหรับขีดจำกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านบน $C_{pu} = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}$

สำหรับขีดจำกัดข้อกำหนดเฉพาะด้านล่าง $C_{pl} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}$

ในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของกระบวนการผลิตไม่ได้อยู่ที่กึ่งกลางระหว่างข้อกำหนด การวิเคราะห์
 สมรรถภาพกระบวนการสามารถคำนวณได้จากการเปรียบเทียบช่วงกว้างของข้อกำหนดผลิตภัณฑ์
 เทียบกับช่วงกว้างของกระบวนการผลิตโดยใช้อัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการใหม่ได้ดังสมการนี้

$$C_{pk} = \min(C_{pu}, C_{pl})$$

$$C_{pk} = \min\left(\frac{USL - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma}\right)$$

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าของ C_p ต่ำสุดที่แนะนำใช้ในงานอุตสาหกรรม

ลักษณะกระบวนการผลิต	ข้อกำหนดสองด้าน	ข้อกำหนดด้านเดียว
กระบวนการปัจจุบัน	1.33	1.25
กระบวนการที่จะเริ่ม	1.5	1.45
งานปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับ	1.5	1.45
1. ความปลอดภัย		
2. ความแข็งแรง		
งานใหม่ที่เกี่ยวข้องกับ	1.67	1.6
1. ความปลอดภัย		
2. ความแข็งแรง		

ที่มา : กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2551)

การวัดประสิทธิภาพของกระบวนการและสายการผลิต

เป้าหมายของการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุนและสร้างกำไรให้กับธุรกิจที่มุ่งเน้นการลดของเสียและวิธีการทำงาน ลดต้นทุนแฝงและการสูญเสียต่าง ๆ เพื่อสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า

โดยทั่วไปมักใช้อัตราการเกิดของเสียเป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของกระบวนการเพื่อประเมินต้นทุนและเป้าหมายการผลิต ซึ่งจะแสดงด้วยอัตราผลผลิต (Yield) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ดังนี้

$$\text{อัตราผลผลิต (yield)} = \frac{\text{ปริมาณผลิตภัณฑ์}}{\text{ปริมาณผลิตภัณฑ์ผลิตทั้งหมด}} \times 100$$

ส่วนการวัดของเสียหรือประสิทธิภาพกระบวนการด้วย ซิกส์ ซิกมา จะใช้ค่าโอกาสการเกิดของเสียต่อล้านหน่วย (Defect Per Million Opportunities, DPPM) คำนวณดังสมการ

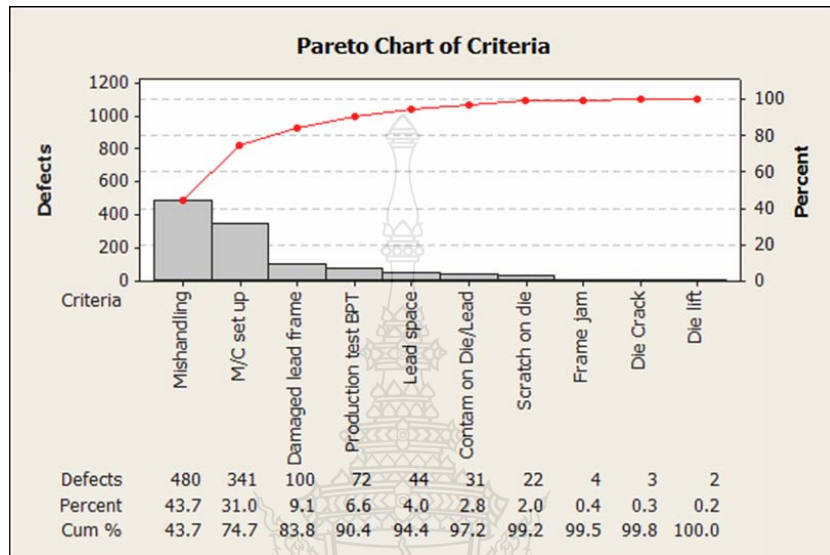
$$\text{โอกาสเกิดของเสียต่อล้านหน่วย} = \frac{\text{ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น} \times 1,000,000}{\text{ปริมาณผลิตภัณฑ์ผลิตทั้งหมด} \times \text{ค่าโอกาสของของเสียต่อชิ้น}}$$

2.2.3 เครื่องมือคุณภาพ 7 ประการ

ศุภชัย นาทะพันธ์ (2551, น. 70-107) อธิบายว่า การควบคุมคุณภาพ ต้องอาศัยการควบคุมกระบวนการผลิตโดยใช้กลวิธีทางสถิติ (Statistical Process Control: SPC) เป็นเครื่องมือที่ใช้แก้ปัญหาอย่างต่อเนื่องให้กระบวนการผลิตไม่เปลี่ยนแปลงและสมรรถภาพสูงขึ้น ประกอบด้วยเครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง (7 QC Tools) ดังต่อไปนี้ ใบตรวจเช็ค (Check sheet) ฮิสโทแกรม (Histogram) แผนภาพพาเรโต (Pareto Chart) แผนผังก้างปลา (Fish bone Diagram) แผนภูมิควบคุม (Control Chart) แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) และกราฟ (Graph) คาโอริ อชิคาวา ได้เป็นผู้ให้นิยามเครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง โดยมีหน้าที่คือ

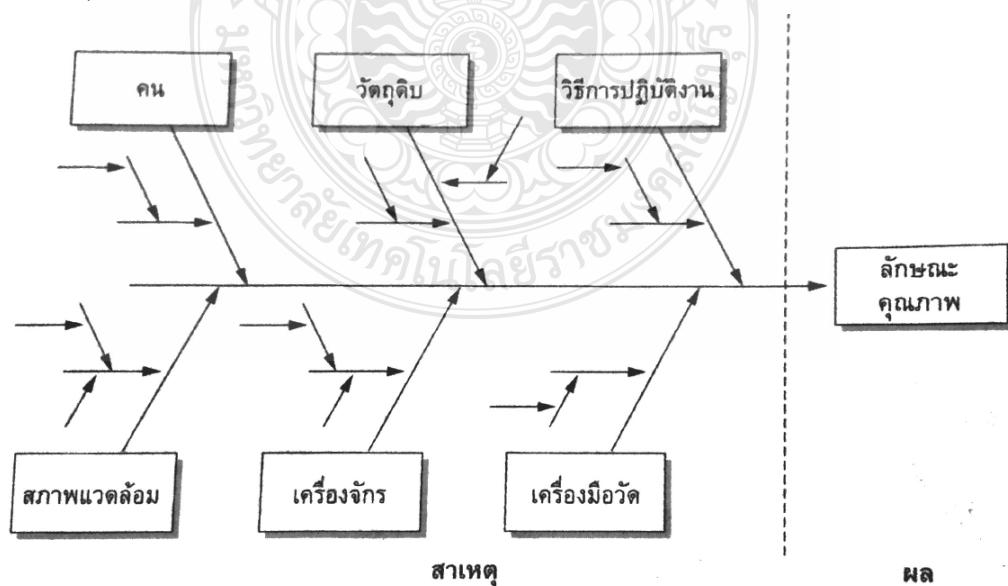
1. ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล คือ ใบตรวจสอบ
 2. ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ฮิสโทแกรม แผนภาพพาเรโต แผนผังก้างปลา แผนภาพการกระจาย และแผนภูมิควบคุม
 3. ใช้ในการแสดงผลของข้อมูล คือ ฮิสโทแกรม และกราฟ
- ทั้งนี้เครื่องมือทั้ง 7 อย่างจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับกับลักษณะหรือชนิดของข้อมูลและความเหมาะสมในสถานการณ์ที่เกิดขึ้นจริง

3. แผนภาพพารेटโต (Pareto Diagram) เป็นเครื่องมือสำคัญในการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งเหมาะสมที่จะใช้ในการชี้เฉพาะสาเหตุแห่งปัญหา แยกสาเหตุของปัญหา ออกแบบให้บันทึกข้อมูล กำหนดช่วงเวลา ระยะเวลา และวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล แบ่งช่วงเปอร์เซ็นต์สะสม 80 คือ ปัญหา และ 20 คือ ส่วนประกอบย่อย ต้องแก้ไข 80% ก่อน



ภาพที่ 2.11 แสดงแผนภาพพารेटโต (Pareto Diagram)

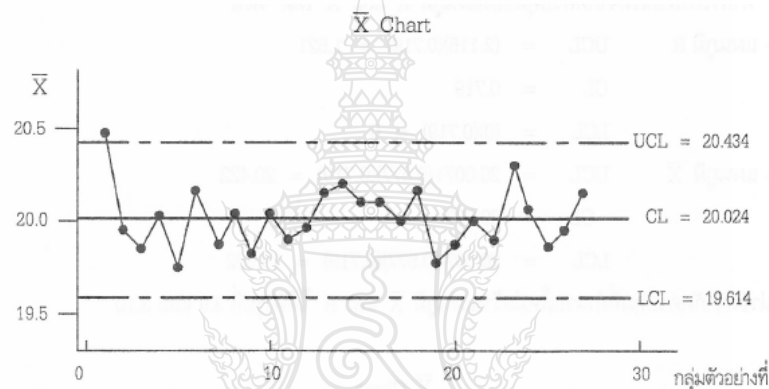
4. แผนภูมิก้างปลา (Fish-bone Diagram) หรือ แผนผังอิชิกาวา (Ishikawa Diagram) หรือ แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause-and Effect Diagram) เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลจากการพิจารณาสาเหตุ (Causes) ที่มีผล (Effect) โดยตรงกับลักษณะคุณภาพ (Quality Characteristic)



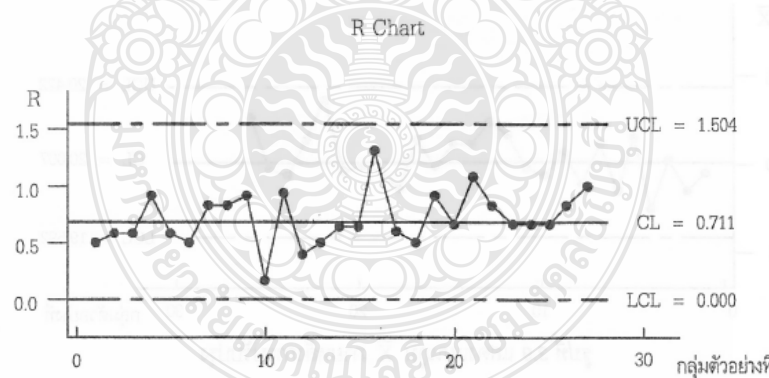
ภาพที่ 2.12 แสดงแผนภูมิก้างปลา (Fish-bone Diagram)

ขวาคคือ ลักษณะคุณภาพที่ต้องการปรับปรุงและสาเหตุที่ทำให้เกิดลักษณะคุณภาพที่ต้องปรับปรุง สาเหตุหลัก (Major Case) ที่นำมาวิเคราะห์ คือ 5M1E ประกอบด้วยดังนี้ คน Man or People / เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ Machine or Equipment / วิธีการปฏิบัติงาน Work Methods / วัตถุดิบ Material / สภาพแวดล้อม Environment

5. แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นแผนภูมิควบคุมคุณภาพจากการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ โดยใช้หลักของสถิติเป็นเครื่องมือในการสร้างแผนภูมิควบคุม ช่วยดูกระบวนการทำงาน กระบวนการเหล่านั้นมีข้อบกพร่องอะไรบ้างหรือดูผลการทำงาน โดยจะมีขอบเขตควบคุมที่ยอมรับได้ ขอบเขตบน (UCL) ขอบเขตล่าง (LCL) ยิ่งใกล้เส้นเฉลี่ยค่ากลางยิ่งดี โดยข้อมูลนั้นแบ่งออกได้เป็น Attribute & Variable report

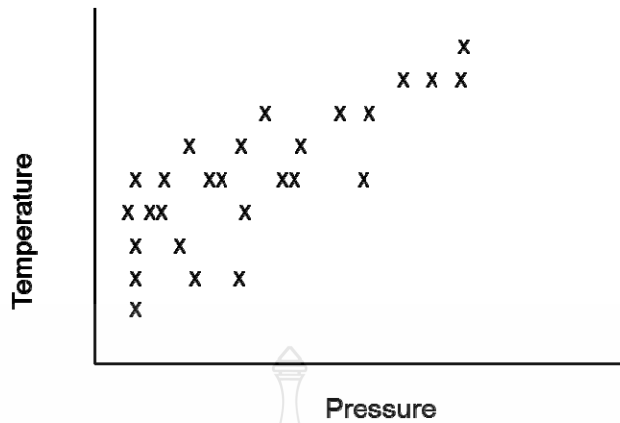


ภาพที่ 2.13 แสดงแผนภูมิ \bar{X} Chart



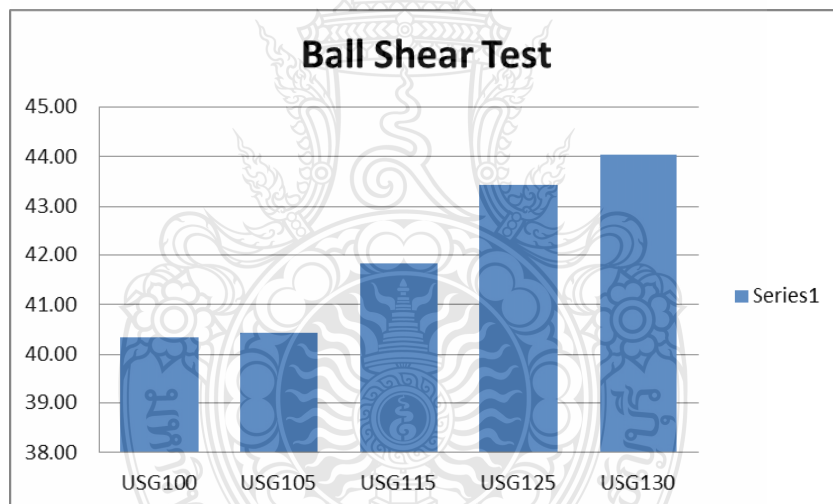
ภาพที่ 2.14 แสดงแผนภูมิ R Chart

6. แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว โดยแสดงบนแผนภาพการกระจาย แสดงทิศทางแนวโน้ม เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ที่แท้จริง

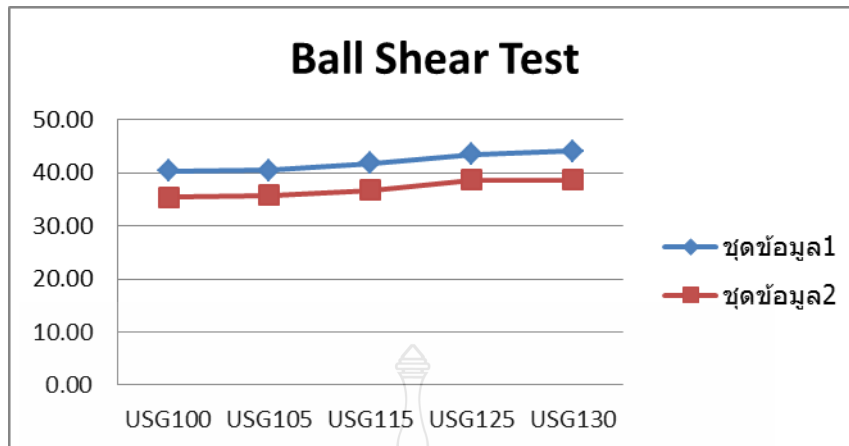


ภาพที่ 2.15 แสดงแผนภาพการกระจาย

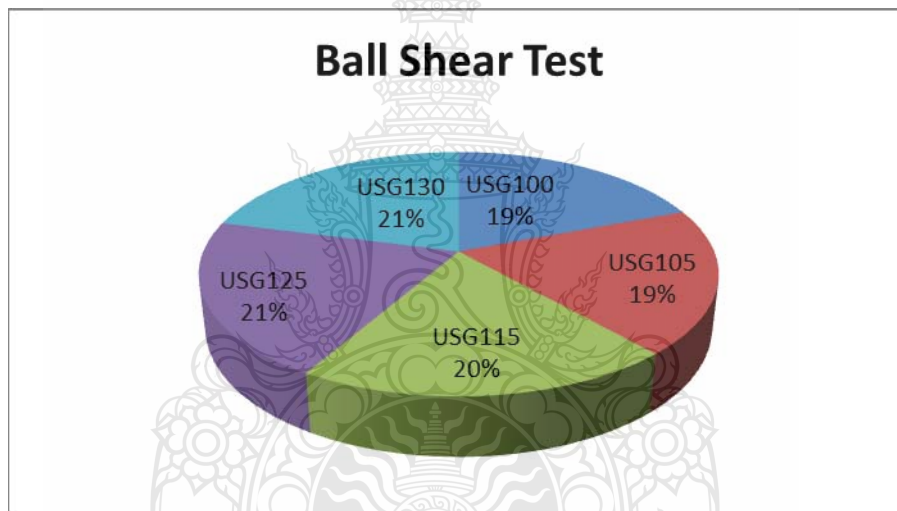
7. กราฟ (Graph) เป็นเครื่องมือที่ง่ายที่สุด กราฟที่นิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมี 3 ประเภทคือ กราฟ เส้น กราฟแท่ง และกราฟวงกลม ต้องทำการเลือกกราฟให้เหมาะสมกับประเภทของข้อมูล ประโยชน์หลัก ๆ คือ ใช้วิเคราะห์ข้อมูล ใช้อธิบาย ใช้ควบคุม ใช้บันทึก



ภาพที่ 2.16 แสดงกราฟแท่ง



ภาพที่ 2.17 แสดงกราฟเส้น



ภาพที่ 2.18 แสดงกราฟวงกลม

2.3 คุณสมบัติของทองคำและทองแดงทางด้านการนำไฟฟ้าและความยืดหยุ่น

การหาวัสดุคืบมาทดแทนจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันกับวัสดุคืบที่โดนทดแทนและลวดทองแดงก็เช่นกันจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกันในทุก ๆ ด้าน รวมถึงประโยชน์ที่จะได้รับจากการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของวัสดุคืบหลอดทองและทองแดง (Thomas, 2009)

	Units	Au	Cu
Thermal Conductance	kW/m ² K	31.1	39.4
Electrical Resistivity (20°C)	10 ⁻⁸ Ωm	2.2	1.7
Electrical Con-ductivity (20°C)	10 ⁻⁷ Ωm	4.55	5.88
Young's Modulus	Gpa	78	130
Tensile strength	Mpa	120-220	210-370
FAB hardness	HV	60	85
Bonded ball hardness	HV	70-85	100-130

1. ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) หรือสัมประสิทธิ์การนำความร้อน เป็นสมบัติเชิงความร้อน (thermal properties) ของวัสดุ ที่บ่งบอกถึงอัตราเร็วของการส่งผ่านพลังงานความร้อนโดยการนำความร้อน (conduction) ของสารต่าง ๆ ซึ่งเป็นการส่งผ่านความร้อนภายในโมเลกุลของสาร จากโมเลกุลที่มีระดับพลังงานสูงกว่าไปยังระดับที่ต่ำกว่า สัมประสิทธิ์การนำความร้อนได้มาจากค่าปริมาณความร้อน Q ที่ถ่ายเทภายในเวลา t ผ่านที่หนา x และมีพื้นที่หน้าตัด A วัสดุแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการนำความร้อน ได้แตกต่างกัน สสารในสถานะของแข็งมีโมเลกุลจัดเรียงเป็นระเบียบมากกว่า และนำความร้อนได้ดีกว่าสารเดียวกันในสถานะ ของเหลวและก๊าซ น้ำในสถานะของแข็ง มีค่าการนำความร้อนสูงกว่า น้ำในสถานะของเหลว และไอน้ำ วัสดุ ของแข็ง ประเภท โลหะ เช่น เหล็ก ทองแดง อะลูมิเนียม ซึ่งมีโมเลกุลจัดเรียงเป็นระเบียบ สามารถ นำความร้อนได้ดี มีค่าการนำความร้อนสูง วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ เรียกว่า ฉนวน ตัวอย่างของวัสดุที่เป็นฉนวน เช่น กระจก

ค่าการนำความร้อนของโลหะที่ใช้สำหรับสร้างเครื่องจักรและอุปกรณ์แปรรูปอาหารเพื่อการถ่ายเทความร้อนต้องการวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง เพื่อให้อัตราการถ่ายเทความร้อนรวดเร็ว ส่วนกรณีของวัสดุที่ใช้เป็นฉนวนความร้อน เพื่อเก็บรักษาอุณหภูมิ เช่น ห้องเย็น (cold storage) จะเลือกใช้วัสดุที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ ซึ่งได้แก่ พวกที่มีเนื้อเป็นรูพรุน เพราะอากาศเป็นตัวนำความร้อนที่เลวจากการทดสอบดังตารางที่ 2.1 วัสดุคืบหลอดทองแดงจะสามารถนำความร้อนได้ดีกว่าวัสดุคืบหลอด

2. สภาพต้านทานไฟฟ้า (electrical resistivity) คือ ปริมาณการวัดของการต่อต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าในวัสดุ ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำบ่งชี้ว่าวัสดุนั้นยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้ง่าย หน่วยในระบบหน่วยวัดระหว่างประเทศของสภาพต้านทานไฟฟ้าคือ โอห์ม เมตร (Ωm) ซึ่งจะแสดง

ในรูปแบบอักษรกรีกตัว ρ (โร) จากการทดสอบดังตารางที่ 2.1 วัสดุคืบทองแดงจะยินยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้ง่ายกว่าวัสดุคืบทอง

3. สภาพการนำไฟฟ้า (electrical conductivity) เป็นสมบัติทางไฟฟ้า (electrical properties) หมายถึง ภาวะที่วัสดุยอมให้ประจุไฟฟ้าไหลผ่าน หรือถ่ายโอนประจุไฟฟ้าได้

$$\sigma = L/(AR)$$

เมื่อ

A เป็น พื้นที่หน้าตัดของวัสดุ

L เป็น ความยาวของวัสดุ

R เป็น ค่าความต้านทาน

จากการทดสอบดังตารางที่ 2.1 วัสดุคืบทองแดงจะสามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่าวัสดุคืบทอง

4. ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) นั้นมีประโยชน์ใช้ในการคำนวณพฤติกรรมในการรับแรงของวัสดุ ตัวอย่างเช่น สามารถใช้ในการคาดคะเน ความยืดของลวดในขณะที่รับแรงดึง หรือคำนวณระดับแรงดันที่ตกลงบนแท่งวัสดุ แล้วทำให้แท่งวัสดุยุบหักลง ในการคำนวณจริงอาจมีค่าอื่น ๆ เกี่ยวข้องด้วย เช่น มอดูลัสของแรงเฉือน (shear modulus) อัตราส่วนของปัวซอง (en: Poisson's ratio) และความหนาแน่น จากการทดสอบดังตารางที่ 2.1 วัสดุคืบทองแดงจะสามารถในการรับแรงได้ดีกว่าวัสดุคืบทอง

5. ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกันจากการทดสอบดังตารางที่ 2.1 วัสดุคืบทองแดงจะสามารถรับความเค้นดึงได้ดีกว่าวัสดุคืบทอง

7. ความแข็งของลูกบอล (FAB hardness) จากการทดสอบดังตารางที่ 2.1 วัสดุคืบทองแดงจะมีความแข็งมากกว่าวัสดุคืบทอง

8. ความแข็งของลูกบอลหลังจากการบอนด์ (Bonded ball hardness) จากการทดสอบดังตารางที่ 2.1 วัสดุคืบทองแดงจะมีความแข็งมากกว่าวัสดุคืบทอง

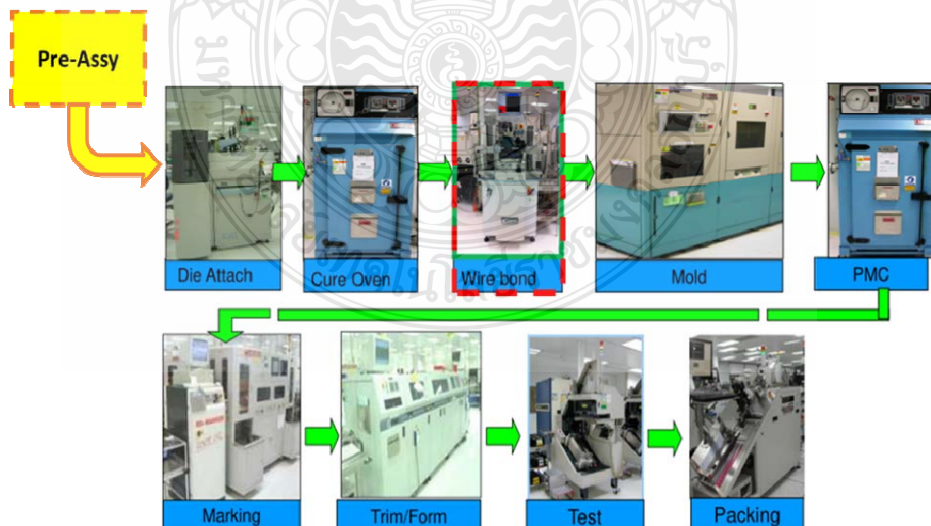
แสดงประโยชน์ที่ได้รับจากวัสดุบิลวดทองแดงดังในภาพที่ 2.19

Features	Benefits
Lower cost	<ul style="list-style-type: none"> • Package savings • Competitive advantage
Electrical conductivity Gold $4.55 \times 10^7 \Omega\text{-m}$ Copper $5.88 \times 10^7 \Omega\text{-m}$	<ul style="list-style-type: none"> • Thinner wires for fine pitch packages • Higher current capacity for power packages
Thermal conductivity Gold $31.1 \text{kW/m}^2\text{K}^0$ Copper $39.5 \text{kW/m}^2\text{K}^0$	<ul style="list-style-type: none"> • Improved heat transfer efficiency
Mechanical Properties	<ul style="list-style-type: none"> • Higher tensile strength • Increased ductility • Stronger Heat Affected Zone (HAZ) • Stiffer, improved looping • Reduced molding sway
Slow Intermetallic Growth	<ul style="list-style-type: none"> • High mechanical stability • Long-term reliability • Less resistance drift/time

ภาพที่ 2.19 แสดงประโยชน์ที่ได้รับจากวัสดุบิลวดทองแดง (Delay, 2004)

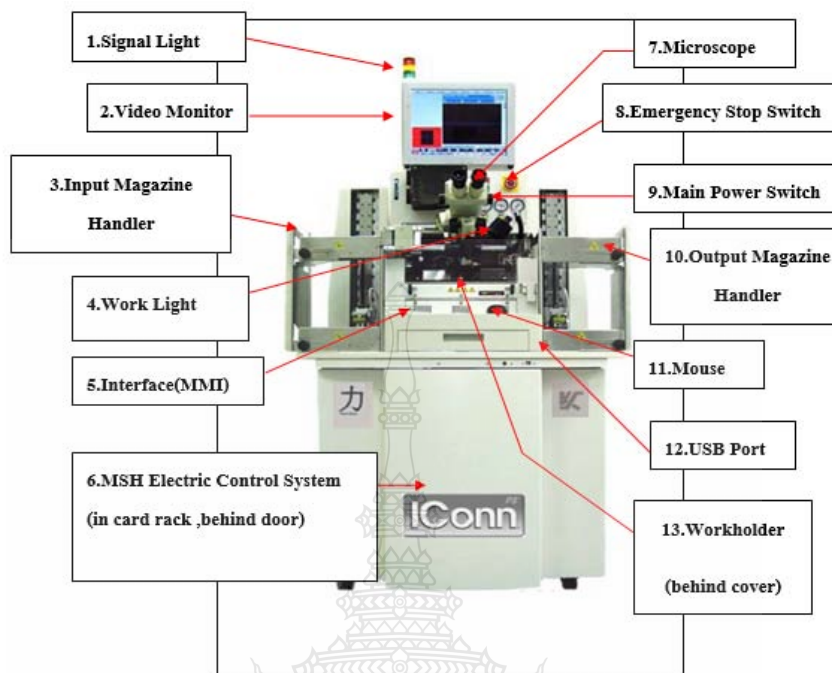
2.4 กระบวนการเชื่อมลวด

กระบวนการเชื่อมลวดคือกระบวนการย่อยกระบวนการหนึ่งในกระบวนการทั้งหมดของการผลิตตัววงจรรวมหรือ IC ทำหน้าที่เชื่อมลวดจากลายวงจร (Die) ไปยัง ขา lead frame เพื่อให้ครบวงจร



ภาพที่ 2.20 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตไอซี

2.4.1 เครื่องจักรที่ใช้ในการเชื่อมลวด KnS รุ่น IConn



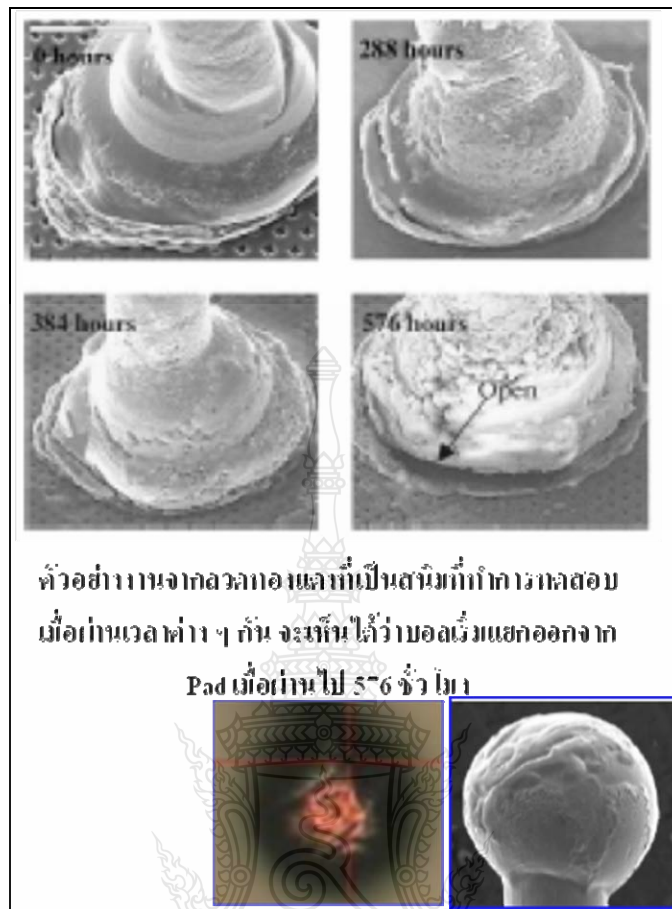
ภาพที่ 2.21 ส่วนประกอบของเครื่องจักร KnS รุ่น IConn

รายละเอียดของเครื่อง	ความหมาย
1. Signal Light (ซิกแนล-ไลท์)	ไฟแสดงสถานะการทำงานของเครื่องมี 3 สีคือ 1. สีเขียว หมายถึง เครื่องกำลังทำงาน 2. สีเหลือง หมายถึง เครื่องหยุดรองาน 3. สีแดง หมายถึง เกิดข้อบกพร่องรอการแก้ไขและสามารถส่งเสียงเตือนเมื่อเกิดข้อขัดข้องระหว่างการทำงานโดยเปิดสวิทช์
2. Video Monitor (วิดีโอ-มอนิเตอร์)	ใช้แสดงภาพจริงของงาน แสดงตำแหน่ง X-Y Table และแสดงคำสั่ง ในการทำงานและแก้ไขเปลี่ยนแปลง
3. Input Magazine Handler (อินพุท-แมกกาซีน-แฮนด์เลอร์)	ชุดควบคุมระบบการทำงานสำหรับรอรับเฟรมด้านเข้าก่อนส่งเฟรมเข้า Work Holder
4. Work Light (เว็คไลท์)	หลอดไฟสำหรับส่องดูงานที่เครื่อง
5. Interface(MMI) (อินเตอร์เฟซ)	ใช้คีย์คำสั่ง

รายละเอียดของเครื่อง	ความหมาย
6. MSH Electric Control System (เอ็มเอสเอช-อิเล็กทรอนิกส์-คอนโทรล-ซิสเต็ม)	Board ควบคุมหน้าที่ต่าง ๆ ของเครื่อง ประกอบด้วย Electronic Boards Control ตู้คอมพิวเตอร์ควบคุมระบบ PR จะประกอบไปด้วย CPU และ Power Supply
7. Microscope (ไมโครสโคป)	กล้อง Low Power scope ใช้สำหรับดูงานที่เครื่อง
8. Emergency Stop Switch (อีเมอเจนซี-สตอป-สวิชช์)	ปุ่มกดปิดเครื่องใช้ในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉิน
9. Main Power Switch (เมน-พาวเวอร์-สวิชช์)	Main สวิทช์เปิด-ปิดเครื่อง
10. Output Magazine Handler (เอาท์พุท-แมกกาซีน แฮนด์เลอร์)	ชุดควบคุมระบบการทำงานสำหรับรอรับเฟรมงานจาก Work Holder
11. Mouse (เมาส์)	ใช้เลื่อน Crosshair บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เพื่อไปนตำแหน่งที่ต้องการ (เลื่อน Bonding Head)
12. USB Port (ยู-เอส-บี-พอร์ต)	ช่องสำหรับใส่ USB เพื่อส่งต่อข้อมูล
13. Workholder (เวิร์คโฮลเดอร์)	ประกอบด้วยชุดควบคุมรางเลื่อนของเฟรม และ H/B ที่มีความร้อน

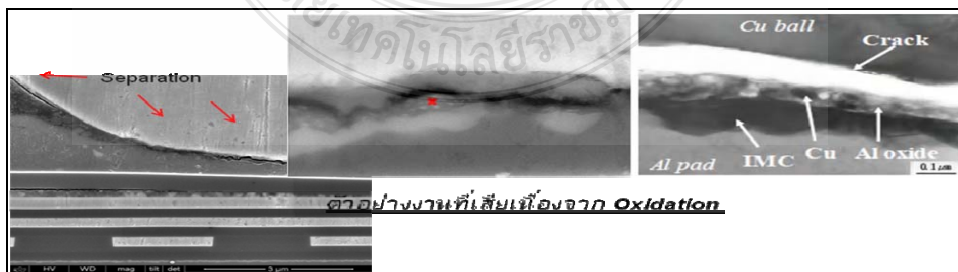
2.4.2 ความสำคัญเกี่ยวกับ Copper Wire

เนื่องจาก Copper เป็นสนิมได้ง่ายเมื่อทำปฏิกิริยากับ Oxygen และได้รับความร้อนสูง ๆ ดังนั้นระหว่างการทำ Free Air Ball ที่เกิดจากการ Spark และมีความร้อนสูงเกิดขึ้นร่วมกับมี Oxygen ปะปนจะทำให้ลูกบอลนั้นเป็นสนิม ตัวสนิมที่เกิดขึ้นนี้จะแทรกอยู่ระหว่างชั้นของลวด Copper กับ Aluminum Bond Pad หลังจากที่บอลถูก Bond บน Pad แล้ว สนิมที่เกิดขึ้นนั้นจะขยายตัวมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาผ่านไปจนเต็มพื้นที่ของลูกบอล ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้งานเสียเนื่องลูกบอลหลุดออกจาก Bond Pad หลังจากที่ผ่านการใช้ไปนาน ๆ และด้วยคุณสมบัติของทองแดงที่มีความแข็งกว่าลวดทอง โอกาสที่จะเกิดการเสียหายต่อ Pad จึงมีมากกว่าลวดทอง



ภาพที่ 2.22 แสดงตัวอย่างการเกิดสนิม

เนื่องจากสนิมเป็นสาเหตุที่ทำให้ตัวงานเสียหายหลังจากที่ตัวงานใช้งานไปได้สักระยะดังนั้นจึงต้องมีตัวป้องกันสนิมเกิดขึ้นในระหว่างการทำลูกบอลและการ Bond ดังนั้นจึงมี Copper Kit เข้ามาติดตั้งเพื่อป้องกันสนิมที่เกิดขึ้นจากออกซิเจนในระหว่างการทำลูกบอลและการ bond โดยการใช้ Forming Gas เข้ามาเพื่อไล่ออกซิเจนและผสมด้วยก๊าซไฮโดรเจนเพื่อช่วยให้การทำลูกบอลสมบูรณ์และนุ่มเพื่อลดความเสียหายบน Pad



ภาพที่ 2.23 แสดงตัวอย่างงานที่เสียหายจากการเกิดสนิม

2.4.3 ส่วนที่เพิ่มเติมของเครื่องจักรสำหรับ Run Cu wire

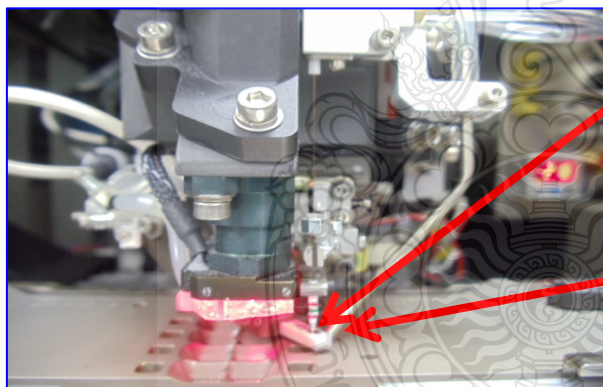
2.4.3.1 มีการใช้ Mix Gas เข้ามาช่วยในการทำ FAB (free-air-ball) เพื่อป้องกันสนิมที่เกิดขึ้นจาก Oxygen ในอากาศ โดย Gas ที่ใช้เป็น N_2 90%, H_2 10 % และ Gas นี้จะถูกควบคุมด้วย Digital Flow meter เพื่อให้ Gas ไหลได้ตามที่กำหนด



Flow meter บอกรate ของ Gas และทำหน้าที่ควบคุมการไหลตัว Flow Rate นี้จะต้องทำการควบคุม เนื่องจากมีผลต่อ Shape ของ Free Air Ball

ภาพที่ 2.24 แสดง Flow มิเตอร์ของแก๊ส

2.4.3.2 อุปกรณ์ติดตั้งเพิ่มเติมที่ Bond head สำหรับงาน Cu Wire Gas Tube และ NVT จะเป็นตัวเป่า Mixed Gas ออกมาเพื่อป้องกันงานเกิดสนิม



1. Gas tub

จะต่ออยู่กับท่อ Mixed Gas เพื่อทำหน้าที่ป้องกัน Oxygen ไม่ให้เข้าไปปนในระหว่างที่กำลังทำ Free Air Ball (FAB)

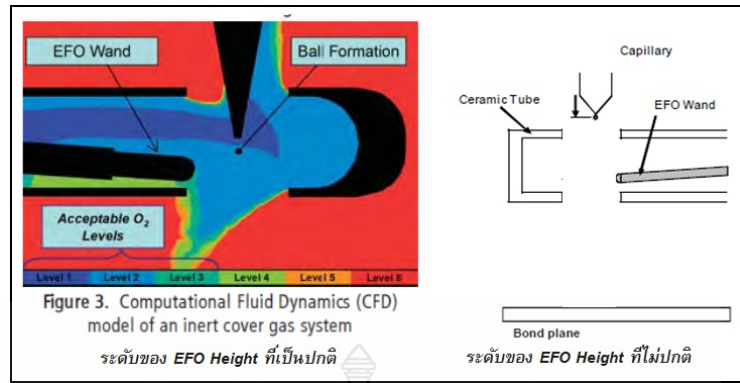
2. Near vertical tube (NVT)

จะต่ออยู่กับท่อ Mixed Gas เพื่อทำหน้าที่ในการป้องกัน Oxygen ในระหว่างที่ลูกบอลหลังจากการทำ FAB ไปที่หน้า Die

ภาพที่ 2.25 แสดงตำแหน่งของ Gas Tube และ NVT

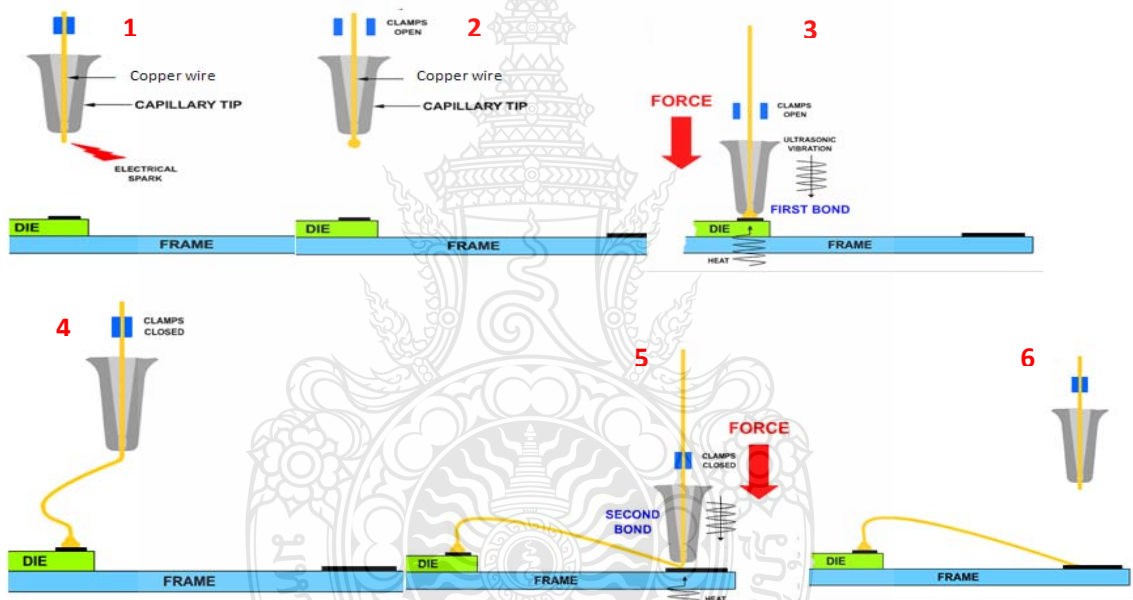
2.4.4 Oxidation หรือสนิมจะเกิดที่ลูกบอลได้อย่างไร

ปกติแล้ว EFO Height จะอยู่ที่ความสูง 220 +/- 10 Mils ตามที่ KNS ได้แนะนำไว้และเมื่อไรก็ตาม เมื่อ EFO Height ที่ถูก Calibrate ไว้ สูงกว่า 230 หรือต่ำกว่า 210 จะทำให้ปลายลวดที่จะทำ Free Air Ball จะออกนอกบริเวณ Gas Tube ซึ่งจะทำให้ลูกบอลที่จะถูกทำนั้นมี Oxygen เข้ามาปนจึงทำให้ลูกบอลเป็นสนิม



ภาพที่ 2.26 แสดงตำแหน่งของ EFO

2.4.5 ลำดับการเชื่อมต่อลวดกับสายวงจร



ภาพที่ 2.27 แสดงลำดับขั้นตอนการเชื่อมลวด

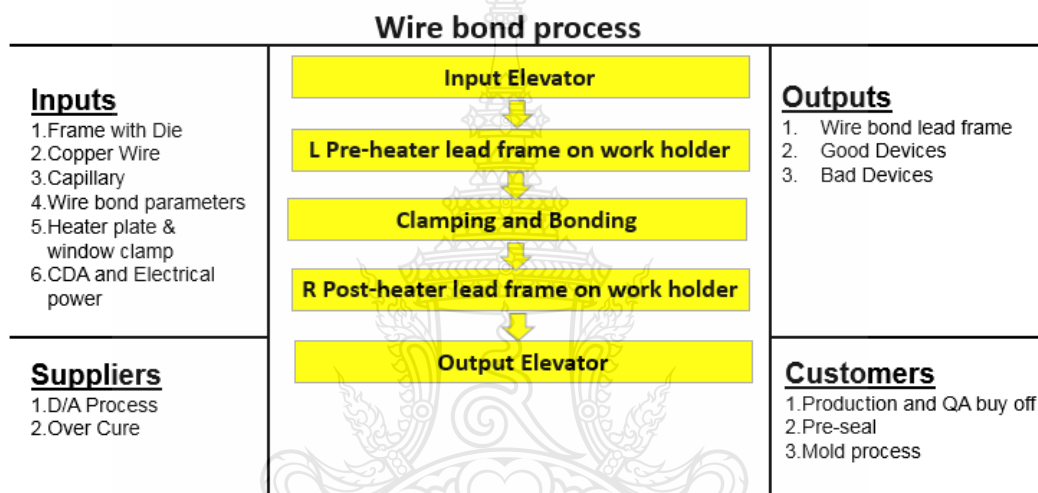
1. มีการสร้างกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อไปหลอมที่ปลายเส้นลวด
2. เส้นลวดเกิดการหลอมขึ้นเป็นลูกบอล
3. เข็มบอนด์งานเคลื่อนที่ไปบนงานเพื่อเชื่อมเส้นลวด โดยมีการกระทำจากพลังงาน แรงกดและความร้อนเป็นตัวเชื่อมเส้นลวดกับตัววงจร ตำแหน่งนี้เรียกว่า ตำแหน่ง 1st bond
4. เมื่อเชื่อมเส้นลวดติดแล้ว ลำดับต่อไปก็เป็นการสร้างรูปของเส้นลวด ตำแหน่งนี้เรียกว่า ตำแหน่ง Loop shape

5. เชื่อมบอนด์เคลื่อนที่มายังจุดที่สองของงานที่จะทำการเชื่อมต่อดำแหน่งนี้เรียกว่าตำแหน่ง 2nd bond โดยมีการกระทำจากพลังงาน แรงกด และความร้อนเป็นตัวเชื่อมเส้นลวดกับขา lead frame และดึงลวดให้ขาด

6. เชื่อมบอนด์เคลื่อนที่มายังจุดเริ่มต้นใหม่ตามข้อ 1 เตรียมพร้อมที่จะทำการเชื่อมเส้นลวด ตำแหน่งถัดไป

2.4.6 แผนผังกระบวนการ Process Map

กระบวนการเชื่อมลวดด้วย SIPOC Model และสร้าง Process Map เพื่อให้ทราบถึงกระบวนการเชื่อมลวด แสดงในภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 SIPOC Process Map กระบวนการเชื่อมลวดเพื่อดูการทำงานของกระบวนการเชื่อมลวด

Supplier คือ วัตถุดิบและสิ่งอำนวยความสะดวกของกระบวนการเชื่อมลวด, Chip ที่ติดตั้งบน Lead Frame ด้วยกาวเรียบร้อยแล้ว (Die Attached)

Input คือ วัตถุดิบ Capillary, Copper wire, Cassette, ระบบไฟฟ้า CDA, Electricity และ Chip ที่ทำการ Die Attached แล้วเพื่อป้อนเข้าไปในกระบวนการเชื่อมลวดพร้อมกับพารามิเตอร์

Process คือ กระบวนการเชื่อมลวดจากวงจร bond pad ไปที่ขา lead frame เพื่อให้ครบวงจรด้วยเครื่อง KnS IConn โดยเริ่มจาก In Elevator โหลด Cassette และ Lead Frame แล้ว indexing ไปยังตำแหน่งการ Bonding โดยผ่าน Pre-Heat ที่อุณหภูมิ 260±5 องศาเซลเซียส แล้วทำการ Clamping กดยึดด้วย window clamp แล้วทำการเชื่อมลวดในอุณหภูมิ 260±5 องศาเซลเซียส เมื่อเชื่อมลวดเสร็จแล้วก็ทำการ Indexing ไปยังตำแหน่ง Out Elevator ผ่าน Post-Heat ที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส

Output คือ ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมลวดแล้ว ตัวงานดี (good unit) และตัวงานเสีย (reject unit) ที่เกิดจากกระบวนการเชื่อมลวด

Customer คือ กระบวนการถัดไปที่รับงานมาจากกระบวนการเชื่อมลวด

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปารเมศ ชูติมาและภาณุ ชูดเจ้อจิ้น (2550) ได้ทำการวิจัยเรื่องการประยุกต์ซิกส์ ซิกม่าเพื่อลดของเสียจากการพันสีรองพื้นในกระบวนการผลิตกล่องนาฬิการาคาแพง จุดประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามแนวคิดของซิกส์ ซิกม่า ใช้หลักการเชิงสถิติมาวิเคราะห์และควบคุม จากการวิจัยพบว่า การควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบสามารถลดความผันแปรของกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ธีรพงษ์ บุญสมปอง (2553) ได้ทำการวิจัยเรื่องการลดปัญหาทวมสโตนคอมโพเน้นท์โดยใช้แนวทางซิกส์ ซิกม่า กรณีศึกษา: กระบวนการประกอบแผ่นวงจะชนิดอ่อน มีจุดประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาทวมสโตนคาปาซิเตอร์ ของกระบวนการประกอบแผ่นวงจะชนิดอ่อน จากการวิจัยพบว่าสามารถลดปัญหาทวมสโตนคาปาซิเตอร์ในโมเดลเดนาลีของกระบวนการประกอบแผ่นวงจะชนิดอ่อน ได้ถึง 73 เปอร์เซ็นต์ คือจาก 1,154 DPPM ลดลงเหลือ 314 DPPM ทำให้ผลผลิตที่ยอมรับได้ถึง 99.66 เปอร์เซ็นต์

พโยม เหลือแก้ว (2555) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการเชื่อมลวด โดยใช้เทคนิคซิกส์ ซิกม่า มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการเชื่อมลวดของการผลิตออสซิลเลเตอร์ โดยมีเป้าหมายเพื่อลดของเสียที่เกิดจากปัญหาลวดไม่ได้ขนาดจาก 2,640 PPM ให้เหลือต่ำกว่า 528 PPM หรือสามารถลดได้อย่างน้อย ร้อยละ 80 และต้องการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการเชื่อมลวดในส่วนของ การควบคุมขนาดบอนด์ โดยมีเป้าหมายที่สามารถปรับค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ (Cpk, Ppk) ให้สูงขึ้นอย่างน้อยร้อยละ 50 จากการวิเคราะห์ผลหลังการปรับปรุงพบว่าในระยะเวลาสามารถลดของเสียจากเดิม 2,640 PPM ให้เหลือเพียง 23.10 PPM ลดได้ร้อยละ 99.21 และความสามารถของกระบวนการ Cpk เพิ่มจากเดิม 0.89 ขึ้นเป็น 1.38 เพิ่มขึ้นได้ร้อยละ 74.68

จักริน ยิ้มย่อง (2555) ได้ทำการวิจัยเรื่องการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียโดยใช้หลักการซิกส์ ซิกม่า : กรณีศึกษา บริษัท เส้นดัส เทคโนโลยีส์ (ไทย) จำกัด มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์กระบวนการทำงานและระบบการผลิตของการชุบโลหะ คั้นหาสาเหตุที่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตและทำให้เกิดของเสียจากการวิเคราะห์พบว่าปัญหาประเภทงานยับส่งผลให้อัตราผลผลิตตกต่ำสืบเนื่องมาจากความไม่ชัดเจนของเอกสาร (Check sheet) ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตสามารถลดปริมาณของเสียประเภทงานยับจาก 193 PPM ลดลงเหลือ 40 PPM หรือร้อยละ 79.3 เปอร์เซ็นต์

อภิชาติ สถิตยธรรม (2555) ได้ทำการวิจัยเรื่องการปรับปรุงคุณภาพในการผลิตตามแนวความคิดของซิกส์ ซิกม่า : กรณีศึกษา บริษัทชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์โดยหลักการ DMAIC มีจุดประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาตำแหน่งของแม่เหล็กหลังจากการประกอบไม่ตรงตำแหน่งที่กำหนดในกระบวนการ

ประกอบชิ้นส่วนแม่เหล็กในฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ ผลจากการวิจัย DMAIC สามารถลดปัญหาแม่เหล็กไม่ตรงตำแหน่งที่กำหนดจากร้อยละ 0.043 เหลือ ร้อยละ 0.00 ของจำนวนการผลิตทั้งหมด



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อมุ่งเน้นการลดต้นทุนการผลิตโดยการเปลี่ยนวัตถุดิบเส้นลวดจากทองเป็นทองแดงในกระบวนการเชื่อมลวด การเปลี่ยนวัตถุดิบเส้นลวดเป็นทองแดงจะยังคงรักษาคุณภาพเดิมของผลิตภัณฑ์และความน่าเชื่อถือจากลูกค้ารวมถึงความพึงพอใจที่จะได้รับสูงสุด โดยอาศัยหลักการของซิกส์ ซิกมา แบ่งออกได้ 5 ขั้นตอนดังนี้

- 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย
- 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
- 3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล
- 3.5 สำนวนสภาพปัจจุบัน

3.1 ขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัย

การศึกษากการเปลี่ยนวัตถุดิบเส้นลวดจากทองเป็นทองแดงเพื่อลดต้นทุนในกระบวนการเชื่อมลวดโดยใช้หลักการซิกส์ ซิกมา ได้กำหนดแผนดำเนินงาน โดยมี 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การระบุปัญหา ศึกษาและรวบรวมข้อมูล ราคาของวัตถุดิบเส้นลวดทองในปัจจุบันและย้อนหลัง กำหนดเป้าหมายของการลดต้นทุนโดยการเปลี่ยนวัตถุดิบเส้นลวดจากทองเป็นทองแดงและพิสูจน์คุณสมบัติข้อจำกัดของลวดทองแดงวัตถุดิบทดแทน ความสามารถของกระบวนการเชื่อมลวด ความเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ ตามข้อกำหนดและความต้องการของลูกค้า การระบุปัญหา 5 ขั้นตอนดังนี้

- 1.1 กำหนดขอบเขตของปัญหา (Define the business case)
- 1.2 เข้าใจในความต้องการของลูกค้า (Understand the customer)
- 1.3 เขียนแผนผังกระบวนการ Process Map (Define process)
- 1.4 จัดการและกำหนดขอบเขตของโครงการ (Manage the project)
- 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ (Gain project approval)

2. การวัดเพื่อกำหนดขอบเขตความสามารถ เก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อมลวด ทำการวัดเชิงสถิติเพื่อนำข้อมูลมาประเมินความสามารถของกระบวนการและมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพ ใช้ทดสอบความเอนเอียงของเครื่องมือวัด (Gage Bias Study) ระบบการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge GR&R) โดยวิเคราะห์จากดัชนีความสามารถของกระบวนการ

Cpk, P-Value และเปอร์เซ็นต์ Contribution รวมถึงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อวัดขีดความสามารถ การวัดมี 3 ขั้นตอนดังนี้

2.1 เลือกตัวชี้วัดที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ

(Select internal CTQ = “Y” for product & Process)

2.2 ตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพข้อมูลและกระบวนการวัด

(Check data quality and process measure)

2.3 วิเคราะห์ขีดความสามารถของกระบวนการพื้นฐานและศักยภาพ

(Baseline process capability and potential)

3. การวิเคราะห์ขีดความสามารถ โดยการใช้หลักการวิเคราะห์ขีดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) จะวิเคราะห์ขีดความสามารถของกระบวนการจากดัชนีวัดค่าความสามารถ Cpk และ CTQ จากนั้นจึงวิเคราะห์ขีดความสามารถของกระบวนการเชื่อมลวดจากการออกแบบการทดลอง DOE (Design of Experiment) เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการเชื่อมลวด การวิเคราะห์มี 6 ขั้นตอนดังนี้

3.1 กำหนดขีดความสามารถของกระบวนการ (Define current capability for “Y”)

3.2 แจกแจงและกำหนดวัตถุประสงค์ (Clarify and define objectives for “Y”)

3.3 กำหนดปัจจัยเข้าที่มีผลต่อการบอนด์ (Identify “X-s” which might affect “Y”)

3.4 ประสิทธิภาพของกระบวนการเชื่อมลวด (Wire bond performance)

3.5 ความเชื่อถือได้ของผลิตภัณฑ์ (Reliability test result)

3.6 สรุปผลการทดลอง

4. การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ กำหนดแผนงานเพื่อปรับปรุงกระบวนการรวมถึงการสร้างระเบียบแบบแผนการดำเนินงานใหม่ และใช้หลักการทางสถิติในการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองเพื่อยืนยันผลก่อนนำไปปฏิบัติจริง การปรับปรุงมี 2 ขั้นตอนดังนี้

4.1 คัดเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด (Select the best solutions)

4.2 ทดลองดำเนินการ (Pilot and implement)

5. การควบคุมการผลิตและติดตามผล ขั้นตอนสุดท้ายเพื่อกำหนดแนวทางในการควบคุมกระบวนการเพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (Standardized Process) โดยอาศัยเครื่องมือทางคุณภาพที่เหมาะสม (Control Plans, SPC) กำหนดแผนการสุ่มตรวจสอบ ระบุการแก้ไขเมื่อออกนอกกระบวนการ (OCAP) และมีการประเมินเป็นระยะในแต่ละจุดของการควบคุมจะถูกส่งมอบให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นทางการเป็นขั้นตอนและมีระบบอย่างชัดเจน การควบคุมกระบวนการมี 4 ขั้นตอนดังนี้

- 5.1 กำหนดแผนควบคุมการปรับปรุง (Quantify the improvement)
- 5.2 สร้างมาตรฐานการแก้ปัญหา (Standardize the solutions)
- 5.3 ดำเนินการตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง (Implement ongoing measurement)
- 5.4 ปิดโครงการ (Close the project)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 3.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยโดยใช้หลักการซิกส์ ซิกม่า	เครื่องมือที่ใช้
1 ระบุปัญหาและเป้าหมายในปรับปรุงกระบวนการผลิต (Define Phase)	- Graph - SIPOC map - Goal Statement
2 ศึกษาและวิเคราะห์ระบบการวัดและความสามารถของกระบวนการ (Measurement Phase)	- Process capability - Gage R&R - Gage Bias Study
3 วิเคราะห์ค้นหาสาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)	- CTQ - DOE - Regression Test - Contour plots - Response optimizer
4 ดำเนินการแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการ (Improvement Phase)	- Normality Test - Process capability - Basic Statistics Program

ตารางที่ 3.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย (ต่อ)

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยโดยใช้หลักการ ชิกส์ ชิกม่า	เครื่องมือที่ใช้
5	- SPC
1-2	- Control plan
	- FMEA
	- Standardize process
	- OCAP
	- Check sheet
	- $\bar{X} - R$

3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานค้นคว้าอิสระนี้เป็นการลดต้นทุน โดยการเปลี่ยนวัตถุดิบเส้นลวดในกระบวนการเชื่อมลวด ข้อมูลที่จำเป็นปรับปรุงกระบวนการได้แก่

1. C of C ของลวดทองแดง
2. ข้อมูลการวัด Bond Ability ของกระบวนการเชื่อมลวด
3. ข้อมูลการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์
4. ข้อมูลการทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์

3.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ใช้วิธีการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) จะวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการจากดัชนีความสามารถของกระบวนการ Cpk และ Ppk รวมถึงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อจุดความสามารถว่าเป็นไปตามเป้าหมายที่วางไว้หรือไม่

3.5 ตำราสภาพปัจจุบัน

1. ศึกษาขั้นตอนการทำงานของกระบวนการผลิต (IPO)

ปัจจัยการผลิต (Input) คือ วัตถุดิบหรือวัสดุต่าง ๆ ที่นำมาประกอบหรือผสมกัน โดยผ่านการผลิตตามขั้นตอนแล้วออกมาเป็นสินค้า

กระบวนการผลิต (Process) เป็นขั้นตอนการเคลื่อนย้ายหรือแปรสภาพวัตถุดิบเพื่อให้เกิดเป็นสินค้า

ผลผลิต (Output) คือ ผลลัพธ์ขั้นสุดท้ายของการผลิต หลังจากออกมาเป็นรูปผลิตภัณฑ์แล้ว ผ่านขั้นตอนการตรวจสอบครั้งสุดท้าย

แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตไอซี จะประกอบไปด้วย 10 กระบวนการย่อย ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.1 สามารถอธิบายหลักการทำงานดังนี้

Pre-Assy คือ กระบวนการนำแผ่น Wafer มาตัดออกเป็นตัว Chip

Die Attach คือ กระบวนการที่นำตัว Chip ไปติดลงบน Lead Frame ด้วยกาว

Cure Oven คือ กระบวนการอบเพื่อให้กาวแข็งตัว

Mold คือ กระบวนการหล่อหุ้มตัว Chip ด้วย Resin หลังจากที่ได้ผ่านการเชื่อมลวดทองคำเรียบร้อยแล้ว

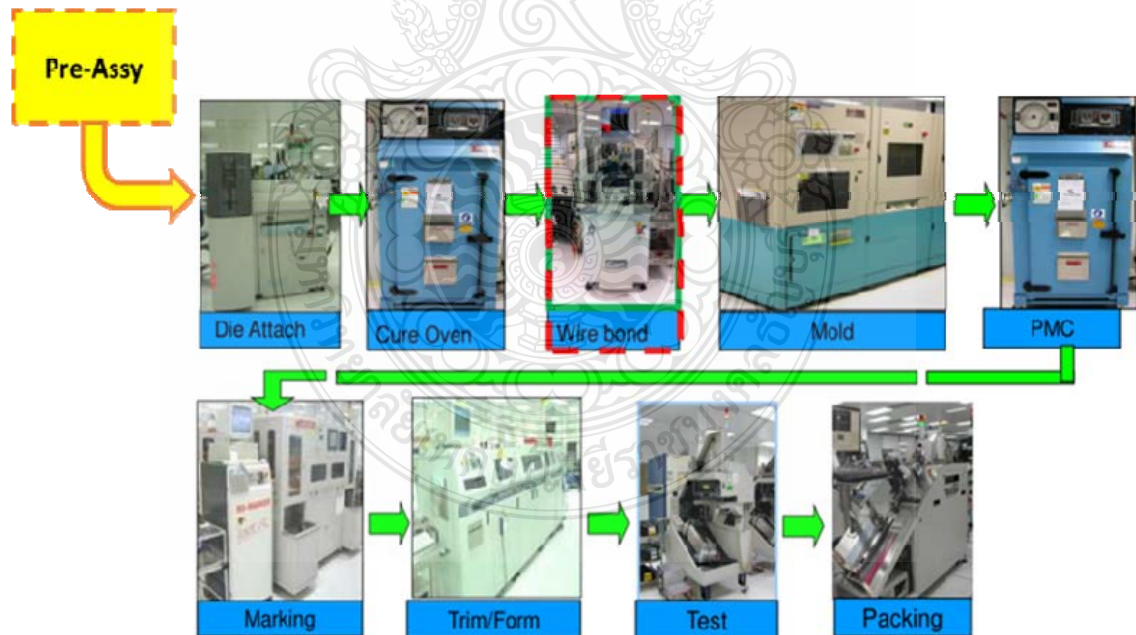
Post Mold Cure คือ กระบวนการอบเพื่อให้ Resin แข็งตัว

Marking คือ กระบวนการการใช้แสงเลเซอร์ยิงไปบน IC เพื่อสลักเป็นชื่อรุ่น หรือ Lot ของ IC

Trim/Form คือ กระบวนการการตัดตัว IC ออกจากเฟรม และขึ้นรูปขางานตามแบบที่กำหนด

Test คือ กระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า

Packing คือ กระบวนการบรรจุหีบห่อ



ภาพที่ 3.1 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตไอซี

2. ศึกษาขั้นตอนการทำงานของกระบวนการเชื่อมลวด

กระบวนการเชื่อมลวดเป็นกระบวนการที่ทำหน้าที่ในการเชื่อมวงจรจากตัวชิ้นงาน bond pad ไปที่ขา lead ด้วยวัสดุลวดทองแดงโดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้กำหนดไว้โดยมีขั้นตอนการทำงานในกระบวนการเชื่อมลวดดังแสดงในภาพที่ 3.2 สามารถอธิบายหลักการทำงานดังนี้

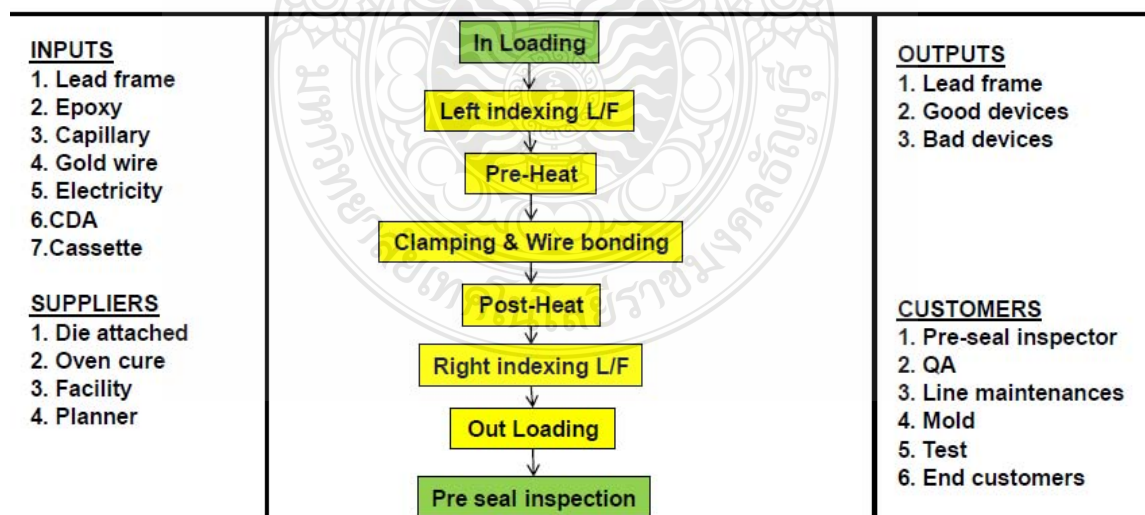
Supplier คือ วัสดุดิบและสิ่งอำนวยความสะดวกของกระบวนการเชื่อมลวด, Chip ที่ติดตั้งบน Lead Frame ด้วยกาวเรียบร้อยแล้ว (Die Attached)

Input คือ วัสดุดิบ Epoxy, Capillary, Gold wire, Cassette, CDA, ระบบไฟฟ้า Electricity และ Chip ที่ทำการ Die Attached แล้วเพื่อป้อนเข้าไปในกระบวนการเชื่อมลวด

Process คือ กระบวนการเชื่อมลวดจากวงจร bond pad ไปที่ขา lead frame เพื่อให้ครบวงจรด้วยเครื่อง KnS IConn โดยเริ่มจาก In loading โหลด Cassette และ Lead Frame แล้ว indexing ไปยังตำแหน่งการ Bonding โดยผ่าน Pre-Heat ที่อุณหภูมิ 260 ± 5 องศาเซลเซียส แล้วทำการ Clamping กดยึดด้วย window clamp แล้วทำการเชื่อมลวดในอุณหภูมิ 260 ± 5 องศาเซลเซียส เมื่อเชื่อมลวดเสร็จแล้วก็ทำการ Indexing ไปยังตำแหน่ง Out loading ผ่าน Post-Heat ที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส แล้วนำงานไปตรวจสอบในขั้นตอนต่อไป

Output คือ ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมลวดแล้ว ตัวงานดี (good unit) และตัวงานเสีย (reject unit) ที่เกิดจากกระบวนการเชื่อมลวด

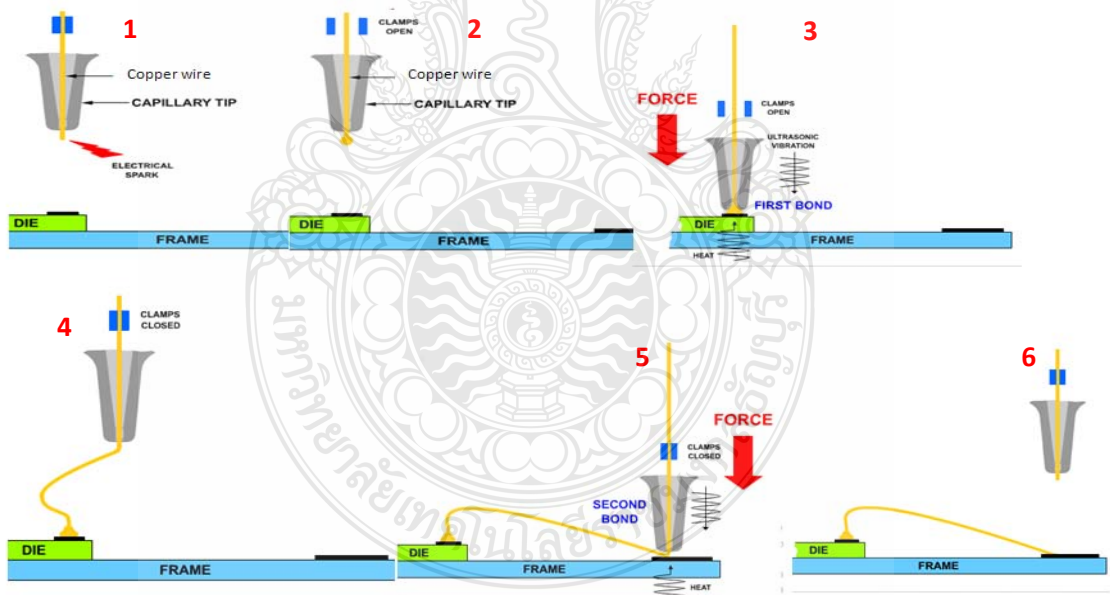
Customer คือ กระบวนการถัดไปที่รับงานมาจากกระบวนการเชื่อมลวด



ภาพที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการทำงานในกระบวนการเชื่อมลวด

ลำดับขั้นตอนการเชื่อมลวด ของกระบวนการเชื่อมลวดดังแสดงในภาพที่ 3.3 สามารถอธิบายหลักการทำงานดังนี้

1. มีการสร้างกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อไปหลอมที่ปลายเส้นลวด
2. เส้นลวดเกิดการหลอมขึ้นเป็นลูกบอล
3. เข็มบอนด์เคลื่อนที่ไปบนงานเพื่อเชื่อมเส้นลวด โดยมีการกระทำจากพลังงาน แรงกดและความร้อนเป็นตัวเชื่อมเส้นลวดกับตัววงจร ตำแหน่งนี้เรียกว่าตำแหน่ง 1st bond
4. เมื่อเชื่อมเส้นลวดติดแล้ว ลำดับต่อไปก็เป็นการสร้างรูปของเส้นลวด ตำแหน่งนี้เรียกว่าตำแหน่ง Loop shape
5. เข็มบอนด์เคลื่อนที่มายังจุดที่สองของงานที่จะทำการเชื่อมต่อตำแหน่งนี้เรียกว่าตำแหน่ง 2nd bond โดยมีการกระทำจากพลังงาน แรงกด และความร้อนเป็นตัวเชื่อมเส้นลวดกับขา lead frame และดึงลวดให้ขาด
6. เข็มบอนด์เคลื่อนที่มายังจุดเริ่มต้นใหม่ตามข้อ 1 เตรียมพร้อมที่จะทำการเชื่อมเส้นลวดตำแหน่งถัดไป



ภาพที่ 3.3 แสดงลำดับขั้นตอนการเชื่อมลวด

กำลังการผลิต Productivity

Process	Loading	EM	OU	Production	Ideal	%	Net	Cap
Time	Time	%	%	Effy %	UPH	Allowance	UPH	Kpcs/day
11.9664	0.0320	93	93	97	300	83%	250	6.0
11.9664	0.0320	93	93	97	300	83%	250	6.0

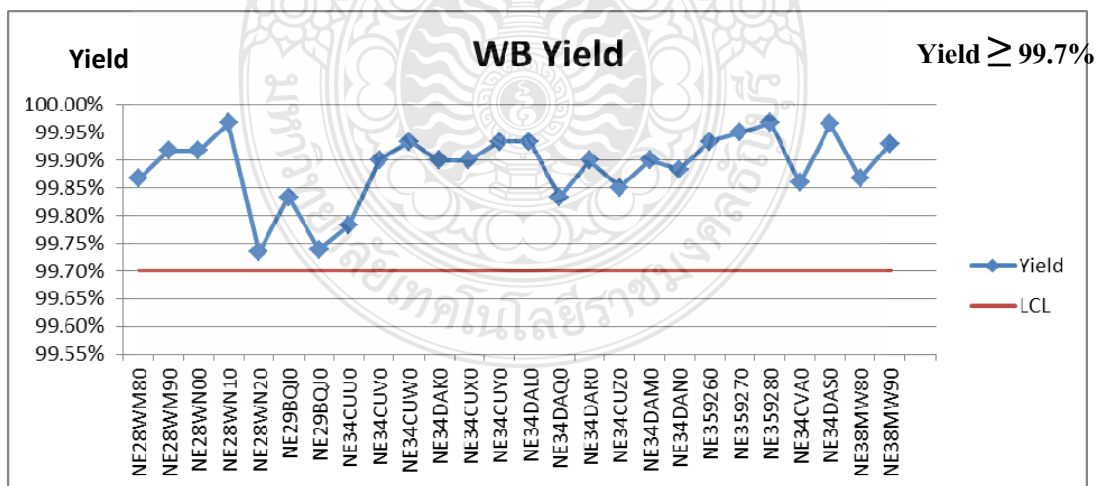
Assembly cost ของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากลวดทอง

	ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากลวดทอง	6Kunits
	Kunits	Day
ต้นทุนการผลิต (usd/kunits)	108.44	650.64

กำลังการผลิต (Productivity) ของผลิตภัณฑ์ TSSOP56 สามารถผลิตได้ 6 พันหน่วยต่อวันต่อเครื่อง ซึ่งค่าใช้จ่ายในการผลิตถ้าเป็นลวดทองคำจะเป็นมูลค่า 108.44 ดอลลาร์สหรัฐ ต่อ 1 พันหน่วย ถ้าคิดเป็นต่อ 1 วันค่าใช้จ่ายเท่ากับ 650.64 ดอลลาร์สหรัฐ

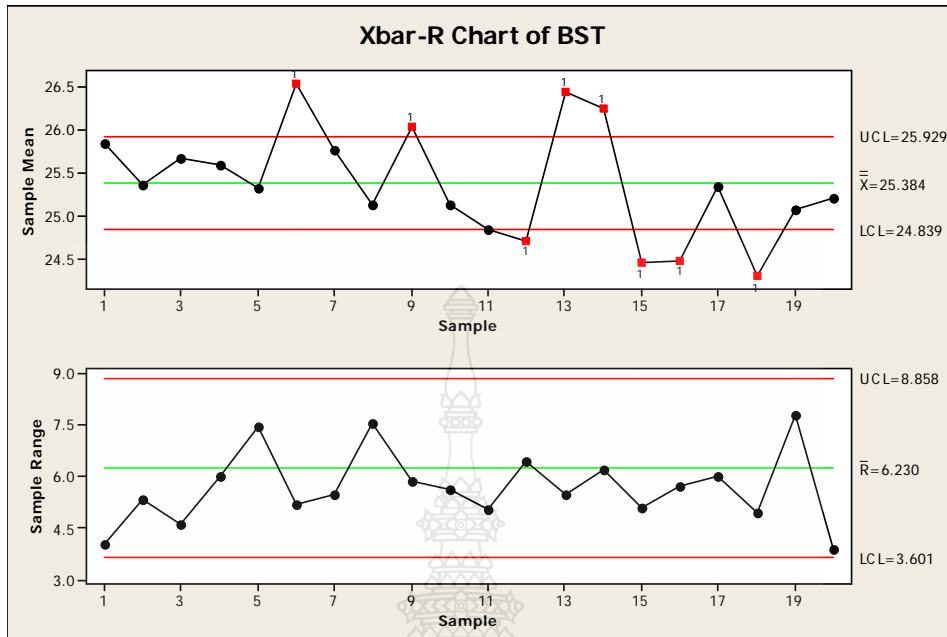
ในกระบวนการเชื่อมลวดจะต้องควบคุมคุณภาพการผลิตให้อยู่ในการควบคุมและสามารถผลิตงานได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้โดยให้มีของเสียน้อยที่สุด ซึ่งจะควบคุมกระบวนการและผลผลิตโดยการติดตาม Yield และ ตรวจสอบความผันแปรที่ผิดปกติของข้อมูล ดังแสดงตามภาพที่ 3.4, 3.5 และ 3.6

Quality (Yield Performance)

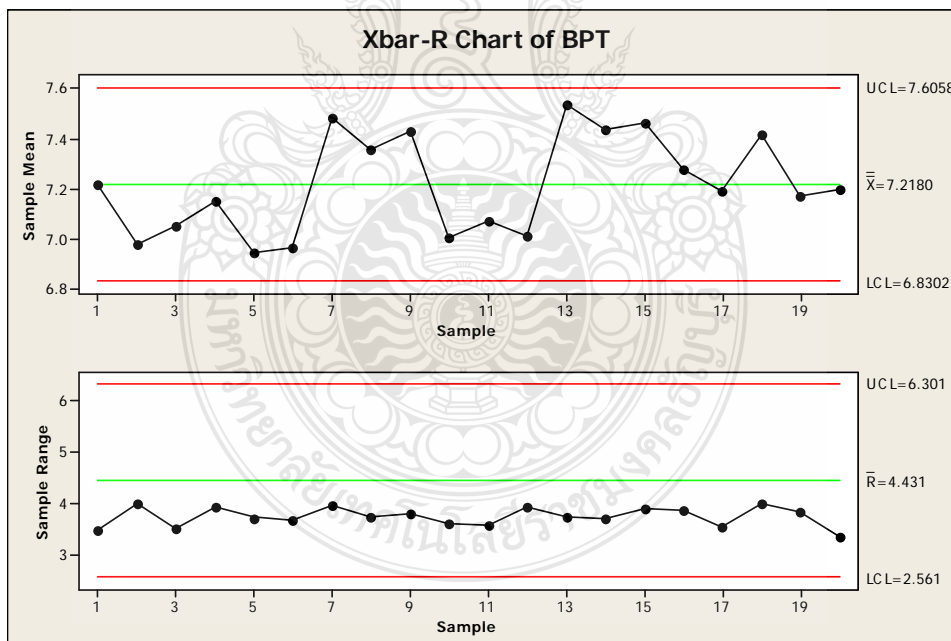


ภาพที่ 3.4 แสดง Yield ของกระบวนการเชื่อมลวด

Quality (Bond Ability Performance)



ภาพที่ 3.5 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}-R$ ของ BST



ภาพที่ 3.6 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}-R$ ของ BPT

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์

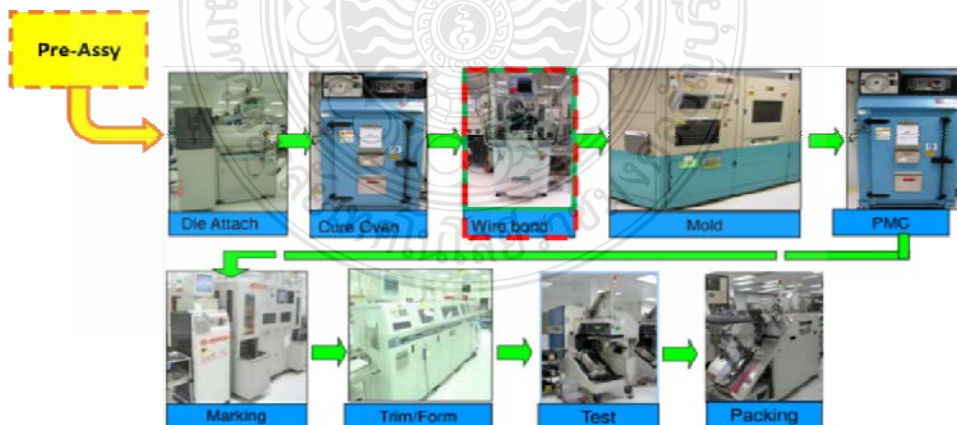
การศึกษาเชิงอุตสาหกรรมนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบในกระบวนการเชื่อมลวด โดยเปลี่ยนวัตถุดิบจากลวดทองเป็นลวดทองแดง โดยใช้หลักการของซิกส์ ซิกม่า มาเป็นเครื่องมือแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลและระบุปัญหา (Define Phase)
2. การวัดความสามารถของกระบวนการ (Measure Phase)
3. การวิเคราะห์กระบวนการผลิต (Process Analysis Phase)
4. การดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)
5. การดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลและระบุปัญหา (Define Phase)

4.1.1 กำหนดขอบเขตของปัญหา (Define the business case)

กรณีศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาเฉพาะต้นทุนด้านวัสดุของผลิตภัณฑ์ไอซี (Integrated Circuit) ซึ่งส่วนประกอบของวัตถุดิบจะประกอบไปด้วย 5 ชนิดคือ Die, Lead frame, Adhesive (Epoxy), Wire และ Compound โดยผ่านกระบวนการย่อย ๆ หลายกระบวนการของการผลิตซึ่งสามารถดูการไหลของกระบวนการตามแผนภูมิการไหลของกระบวนการดังนี้ แสดงในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตไอซี

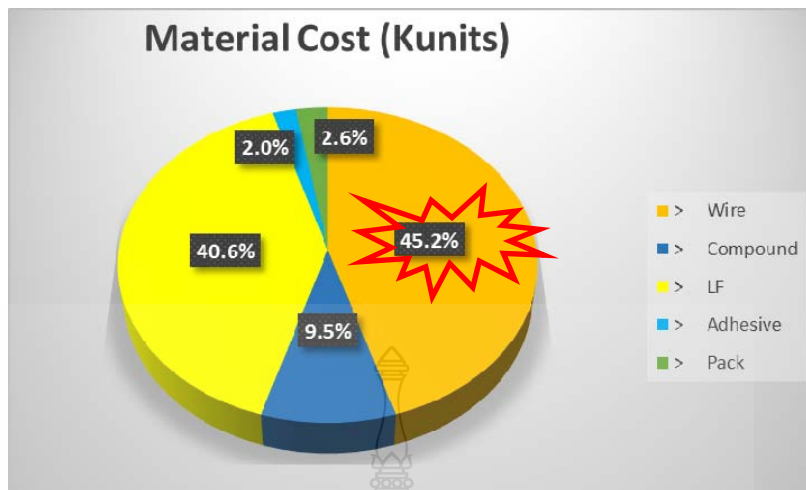
แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตไอซีจะประกอบไปด้วย 10 กระบวนการย่อย ๆ สามารถอธิบายหลักการทำงานดังนี้

- Pre-Assy คือ กระบวนการนำแผ่น Wafer มาตัดออกเป็นตัว Chip
- Die Attach คือ กระบวนการที่นำตัว Chip ไปติดลงบน Lead Frame ด้วยกาว
- Cure Oven คือ กระบวนการอบเพื่อให้กาวแข็งตัว
- Mold คือ กระบวนการหล่อหุ้มตัว Chip ด้วย Resin หลังจากผ่านการเชื่อมลวดเรียบร้อยแล้ว
- Post Mold Cure คือ กระบวนการอบเพื่อให้ Resin แข็งตัว
- Marking คือ กระบวนการการใช้แสงเลเซอร์ยิงไปบน IC เพื่อสลักเป็นชื่อ, รุ่น หรือ Lot ของ IC
- Trim/Form คือ กระบวนการตัดขา IC ออกจากเฟรม และขึ้นรูปขาตามแบบที่กำหนด
- Test คือ กระบวนการทดสอบทางไฟฟ้า
- Packing คือ กระบวนการบรรจุหีบห่อ

จากการวิเคราะห์ต้นทุนของวัตถุดิบนอกเหนือจาก Die ได้พบว่าวัตถุดิบลวดทองจะมีราคาต้นทุนต่อหนึ่งพันหน่วย (Cost/Kunits) ที่สูงที่สุด ดังตารางเปรียบเทียบที่ 4.1 และภาพที่ 4.2 จึงนำมาพิจารณาเพื่อหาวัตถุดิบทดแทน

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบราคาของวัตถุดิบและสัดส่วนร้อยละของวัตถุดิบมีหน่วยเป็น Kunits

ชนิดของวัตถุดิบ	ราคาวัตถุดิบ/Kunits	สัดส่วนของราคาวัตถุดิบ
1. Wire	21.85	45.2%
2. Compound	4.59	9.5%
3. LF	19.64	40.6%
4. Adhesive	0.97	2.0%
5. Pack	1.28	2.6%
รวม	48.32	



ภาพที่ 4.2 กราฟวงกลมแสดงสัดส่วนของราคาวัตถุดิบต่อ Kunits (อ้างอิงเดือน พ.ย. 2557)

สัดส่วนของราคาวัตถุดิบที่ราคาสูงที่สุดคือลวด (Wire) 45.2% เมื่อเทียบกับราคาของวัตถุดิบอื่น ๆ ในเดือน มีนาคม 2558

4.1.2 เข้าใจในความต้องการของลูกค้า (Understand the customer)

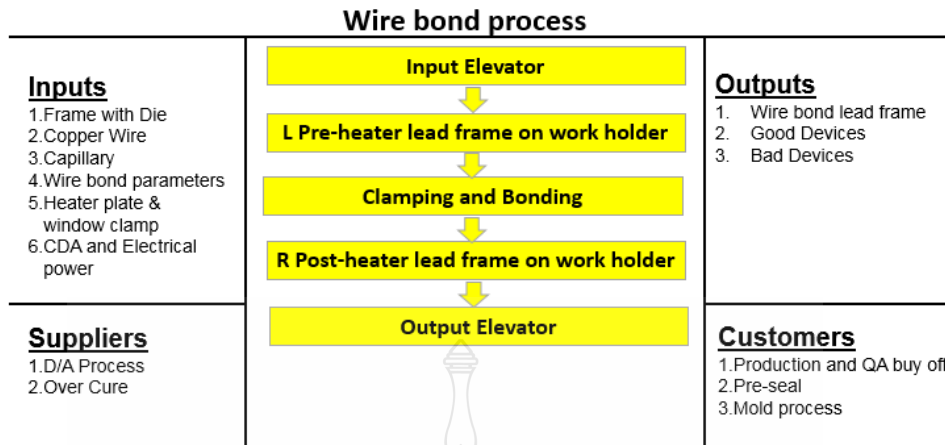
การเข้าใจความต้องการของลูกค้าเป็นเรื่องสำคัญเพราะลูกค้าเป็นผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ ซึ่งลูกค้าแบ่งเป็น 2 ประเภทคือลูกค้าภายนอกและลูกค้าภายใน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ลูกค้าภายนอก (External Customer) คือ ผู้ที่ซื้อสินค้า ในการเปลี่ยนวัตถุดิบจากลวดทองเป็นลวดทองแดง จะต้องไม่มีผลกระทบหรือมีความแตกต่างที่เป็นนัยสำคัญตามความต้องการของลูกค้าไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ ประสิทธิภาพ คุณภาพ และอายุการใช้งาน

2. ลูกค้าภายใน (Internal Customer) คือ หน่วยงานถัดไปในกระบวนการผลิต การเปลี่ยนวัตถุดิบจากลวดทองเป็นลวดทองแดง จะต้องไม่มีผลกระทบต่อการทำงานหรือวิธีการทำงานของหน่วยงานถัดไป

4.1.3 เขียนแผนผังกระบวนการ Process Map (Define Process)

วัตถุดิบลวดจะอยู่ในกระบวนการเชื่อมลวดซึ่งเป็นกระบวนการย่อยกระบวนการหนึ่งในกระบวนการทั้งหมดของการผลิตตัวไอซีโดยจะวิเคราะห์กระบวนการด้วย SIPOC Model และสร้าง Process Map เพื่อให้ทราบถึงกระบวนการเชื่อมลวด แสดงในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 SIPOC Process Map กระบวนการเชื่อมลวดเพื่อดูการทำงานของกระบวนการเชื่อมลวด

Supplier คือ วัตถุดิบและสิ่งอำนวยความสะดวกของกระบวนการเชื่อมลวด, Chip ที่ติดตั้งบน Lead Frame ด้วยกาวเรียบร้อยแล้ว (Die Attached)

Input คือ วัตถุดิบ Capillary, Copper wire, Cassette, ระบบไฟฟ้า CDA, Electricity และ Chip ที่ทำการ Die Attached แล้วเพื่อนำเข้าไปในกระบวนการเชื่อมลวดพร้อมกับพารามิเตอร์

Process คือ กระบวนการเชื่อมลวดจากวงจร bond pad ไปที่ขา lead frame เพื่อให้ครบวงจรด้วยเครื่อง KnS IConn โดยเริ่มจาก In Elevator โหลด Cassette และ Lead Frame แล้ว indexing ไปยังตำแหน่งการ Bonding โดยผ่าน Pre-Heat ที่อุณหภูมิ 260 ± 5 องศาเซลเซียส แล้วทำการ Clamping กดยึดด้วย window clamp แล้วทำการเชื่อมลวดในอุณหภูมิ 260 ± 5 องศาเซลเซียส เมื่อเชื่อมลวดเสร็จแล้วก็ทำการ Indexing ไปยังตำแหน่ง Out Elevator ผ่าน Post-Heat ที่อุณหภูมิ 100 ± 5 องศาเซลเซียส

Output คือ ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมลวดแล้ว ตัวงานดี (good unit) และตัวงานเสีย (reject unit) ที่เกิดจากกระบวนการเชื่อมลวด

Customer คือ กระบวนการถัดไปที่รับงานมาจากกระบวนการเชื่อมลวด การเปลี่ยนวัตถุดิบจากลวดทองเป็นทองแดงสามารถวิเคราะห์โดยใช้หลักการของ 3W2H

- What ราคาของวัตถุดิบลวดทองที่มีราคาสูง
- Where กระบวนการเชื่อมลวด
- When มกราคม-ธันวาคม 2557
- How ใบรายงานการสั่งซื้อวัตถุดิบลวดทอง
- How much ราคาของวัตถุดิบลวดทอง 45.2% / Kunits เป็นสัดส่วนที่สูงที่สุดของวัตถุดิบ

ทั้งหมด

4.1.4 จัดการและกำหนดขอบเขตของโครงการ (Manage the project)

การเปลี่ยนวัสดุจากลวดทองเป็นลวดทองแดงจะต้องกำหนดขอบเขตการทำงานและมีขั้นตอนทำงานอย่างชัดเจนเพื่อการจัดการที่มีศักยภาพ

ขอบเขตของโครงการ

ทำการค้นคว้าและทดลองการเปลี่ยนวัสดุจากลวดทองเป็นลวดทองแดงเพื่อลดต้นทุนด้านราคาต่อหน่วยของวัสดุกับผลิตภัณฑ์ TSSOP56 การเปลี่ยนวัสดุนี้จะอยู่ในกระบวนการเชื่อมลวดซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งของการะบวนการทั้งหมดในการผลิตอุปกรณ์วงจรรวม โดยจะใช้เครื่องจักร KnS รุ่น IConn ในการทดลองและใช้ระยะเวลาในการค้นคว้าทดลองภายในระยะเวลา 7 เดือนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2557-พฤษภาคม 2558

การจัดการแผนปฏิบัติงาน

แผนดำเนินงาน	ระยะการดำเนินงาน																												
	พ.ย. 2557				ธ.ค. 2557				ม.ค. 2558				ก.พ. 2558		มี.ค. 2558		เม.ย. 2558		พ.ค. 2558										
	สัปดาห์45	สัปดาห์46	สัปดาห์47	สัปดาห์48	สัปดาห์49	สัปดาห์50	สัปดาห์51	สัปดาห์52	สัปดาห์1	สัปดาห์2	สัปดาห์3	สัปดาห์4	สัปดาห์5	สัปดาห์6	สัปดาห์7	สัปดาห์8	สัปดาห์9	สัปดาห์10	สัปดาห์11	สัปดาห์12	สัปดาห์13	สัปดาห์14	สัปดาห์15	สัปดาห์16	สัปดาห์17	สัปดาห์18	สัปดาห์19	สัปดาห์20	สัปดาห์21
1. Define Phase : กำหนดปัญหา																													
2. Measure Phase : วัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา																													
3. Analysis Phase : วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา																													
4. Improve Phase : แก้ไขและปรับปรุง																													
5. Control Phase : การติดตามผลและควบคุม																													

ภาพที่ 4.4 แผนปฏิบัติงาน

4.1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ (Gain Project Approval)

สามารถลดต้นทุนของวัสดุลวดขนาด 20 ไมครอนในผลิตภัณฑ์ TSSOP56 ได้ถึง 91.27% ต่อการผลิตงาน 1,000 ตัว ดังตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบราคาวัสดุระหว่างลวดทองและทองแดง

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบราคาระหว่างลวดทองและทองแดง

	ลวดทองคำ วัสดุ	ลวดทองแดง Cu Wire	ราคาวัสดุ ที่ลดลง
Cost USD/Kunits	> Wire 27.37	2.39	91.27%

ตั้งเป้าหมายในการทดแทนวัสดุเป็นลวดทองแดงตั้งแต่วันที่เดือนพฤษภาคม 2015 โดยอ้างอิงปริมาณงานล่วงหน้าดังตารางที่ 4.4 จากการคำนวณค่าใช้จ่ายต่องาน 1000 ตัว ลวดทองจะมีต้นทุนอยู่ที่ 27.37 USD ลวดทองแดงจะมีต้นทุนอยู่ที่ 2.39 USD คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 91.27% ถ้าวางรวมยอดจาก

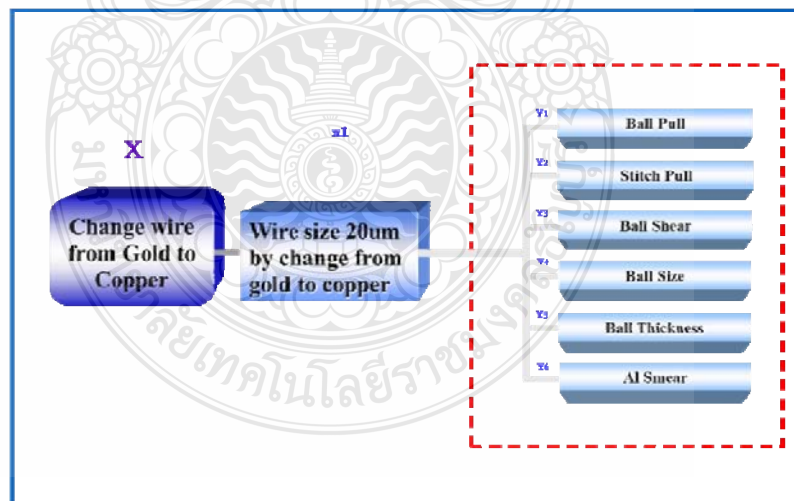
เดือนพฤษภาคม-ธันวาคมก็สามารถลดต้นทุนไปได้ถึง 74,843 USD เท่ากับ 2,544,662 บาท (อัตราแลกเปลี่ยน 34.2 ณ วันที่ 10 ก.ค. 2558)

	พ.ค. 2558	มิ.ย. 2558	ก.ค. 2558	ต.ค. 2558	ก.ย. 2558	ต.ค. 2558	พ.ย. 2558	ธ.ค. 2558	รวม
จำนวน (Kunits)	403	245	185	491	364	490	416	403	2996
ต้นทุนที่ผลิตด้วยลวดทองคำ	11017	6717	5058	13432	9976	13403	11380	11021	82004
ต้นทุนที่ผลิตด้วยลวดทองแดง	962	587	442	1173	871	1170	994	962	7161
ต้นทุนที่แตกต่าง	10055	6131	4617	12259	9105	12232	10386	10058	74843
ลดลงร้อยละ	91.27%	91.27%	91.27%	91.27%	91.27%	91.27%	91.27%	91.27%	91.27%

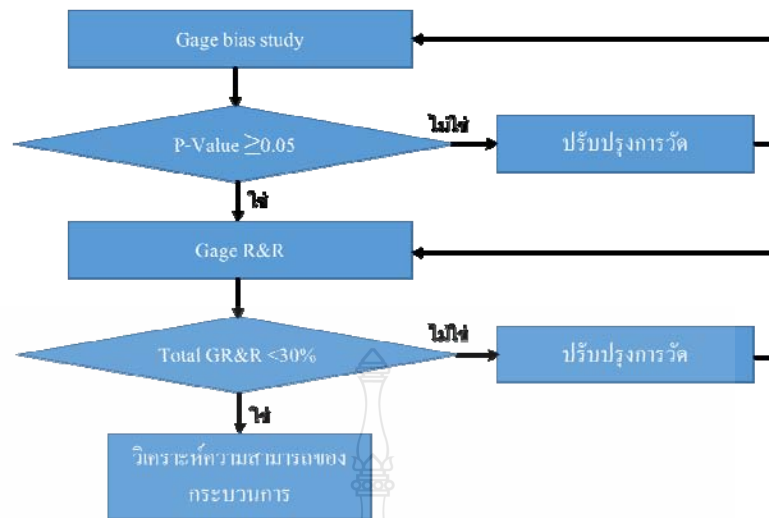
ภาพที่ 4.5 แสดงปริมาณงานล่องหน้าในแต่ละเดือนของปี 2015

4.2 การวัดความสามารถของกระบวนการ (Measure Phase)

4.2.1 เลือกตัวชี้วัดที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ (Select internal CTQ (= "Y") for product & Process) เพื่อศึกษาความแปรปรวนของระบบการวัดและวิเคราะห์ถึงความสามารถ Y1-Y6 ของกระบวนการบอนด์ (Bond Ability) ในปัจจุบัน โดยแสดงขั้นตอนดังภาพที่ 4.6 และ 4.7



ภาพที่ 4.6 แสดงกระบวนการวัดผลความสามารถของ X ด้วย Y1-Y6



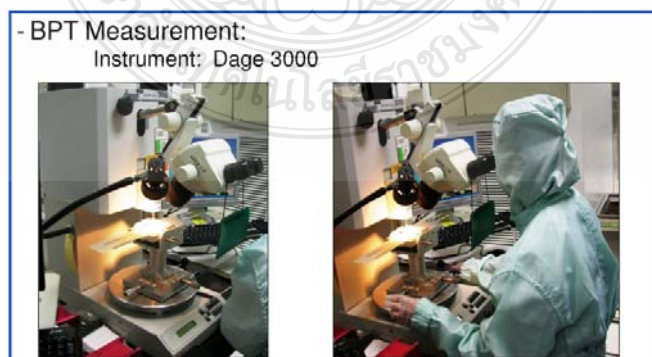
ภาพที่ 4.7 การดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการวัด Bond Ability

จากภาพที่ 4.7 แสดงขั้นตอนการวัดเพื่อศึกษาความแปรปรวนของระบบการวัดในปัจจุบัน และวิเคราะห์ถึงความสามารถของกระบวนการ

4.2.2 ตรวจสอบวิเคราะห์คุณภาพข้อมูลและกระบวนการวัด (Check data quality and process measure) ประเมินการวัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเพื่อให้มั่นใจว่าระบบการวัดนี้มีความแม่นยำและเที่ยงตรง สามารถที่จะนำไปใช้ในการวัดความสามารถในการเปลี่ยนวัสดุดิบจากลวดทองเป็นทองแดงได้หรือไม่ ซึ่งในที่นี้เครื่องมือที่ใช้ในการวัดมีดังนี้

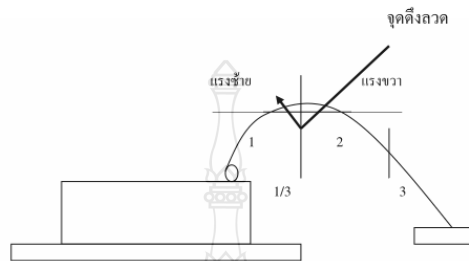
- Ball Pull และ Stitch Pull Test คือ เครื่อง Dage 3000
- Ball shear test คือ เครื่อง Dage 4000
- Ball size / Ball Thickness / Aluminum remain คือ เครื่อง Olympus STM6

การทำ Ball Pull Test และ Stitch Pull Test ด้วยเครื่อง Dage 3000



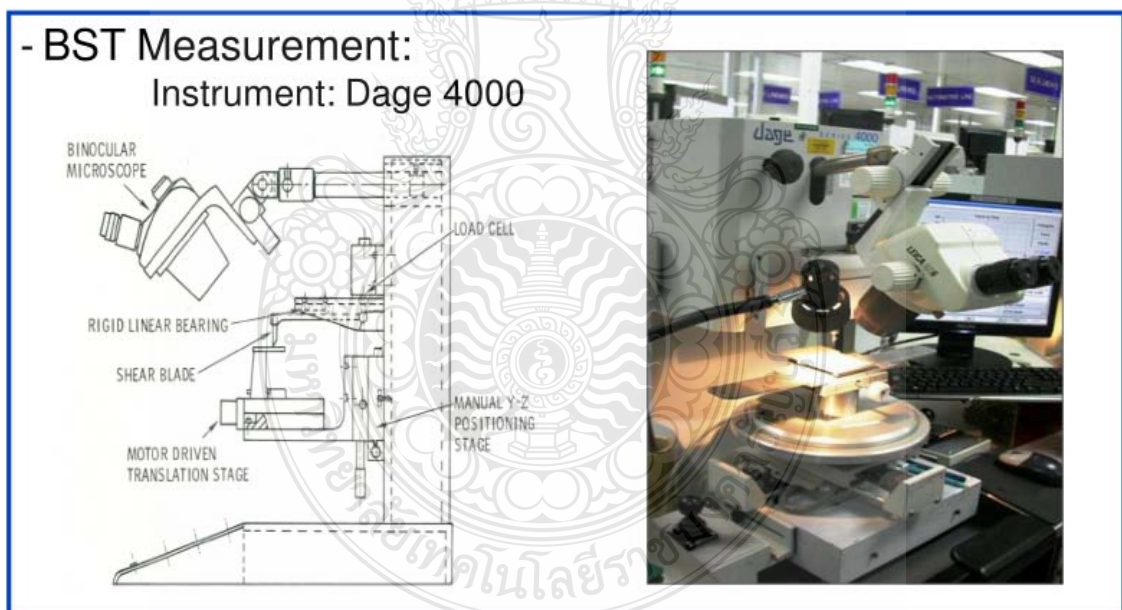
ภาพที่ 4.8 เครื่อง Dage 3000

การทดสอบเพื่อตรวจสอบคุณภาพงานของ Ball pull test โดยเลือกตัวแทน 5 ลูกบอลมาทำการทดสอบ สิ่งที่สำคัญในการทำ Ball pull test คือการเลือกตำแหน่งดิ่งลวด 1/3 ของความยาวลวดจากคอก Ball และ Stitch pull test เลือกตำแหน่งดิ่งลวด 2/3 ของความยาวลวดจากคอก Ball ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวจะทำให้แรงสมดุลกันทั้งด้านซ้ายและด้านขวาดังภาพที่ 4.9



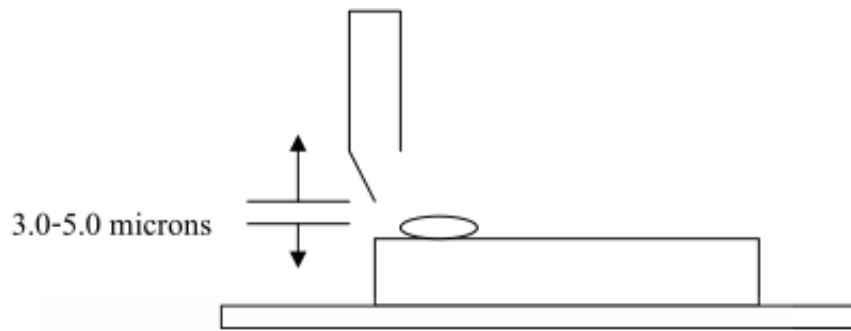
ภาพที่ 4.9 แสดงตำแหน่งของการดิ่ง Ball Pull และ Stitch Pull

การทำ Ball shear test ด้วยเครื่อง Dage 4000



ภาพที่ 4.10 เครื่อง Dage 4000

การทดสอบเพื่อตรวจสอบคุณภาพงานของ Ball shear test โดยเลือกตัวแทน 5 ลูกมาทำการทดสอบ สิ่งที่สำคัญในการทำ Ball shear test คือการตั้งเข็มให้เหนือ Die ความสูงประมาณ 3um สำหรับลวด 18-20um และตั้งสูงประมาณ 5um สำหรับลวดที่มีขนาดมากกว่า 20um ทั้งนี้ตำแหน่งเข็มจะต้องอยู่หน้าลูก Ball ที่จะ shear เสมอดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 แสดงตำแหน่งของการ Shear ball

การตัดสินการยอมรับโดยพิจารณาความเสียหายดังนี้

ตารางที่ 4.3 Ball Pull Test Mode

ลักษณะความเสียหาย	Grade	การตัดสินการยอมรับ
Lift Pad	1	Reject
Ball Neck Broken	2	Accept
Lift Lead	3	Reject
Stitch Neck Broken	4	Accept
Middle Wire Broken	5	Accept
Lift Pad Void	6	Reject
Metal peel off	7	Reject

ตารางที่ 4.4 Ball Shear Test Mode

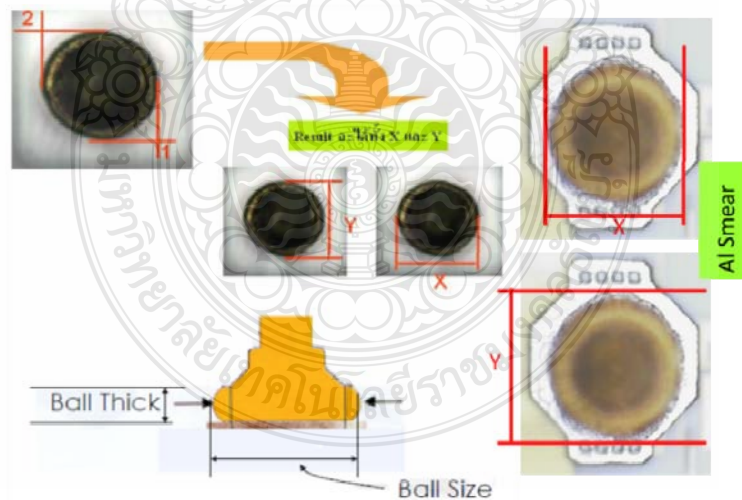
ลักษณะความเสียหาย	Grade	การตัดสินการยอมรับ
All Shear	1	Accept
Ball Share	2	Accept
Bonding Pad Lift	3	Reject
Cratering	4	Reject
Wire Shear	5	นำตัวงานมาทดสอบใหม่

การวัด Ball size / Ball Thickness / Aluminum remain ด้วยเครื่อง Olympus STM6



ภาพที่ 4.12 เครื่อง Olympus STM6

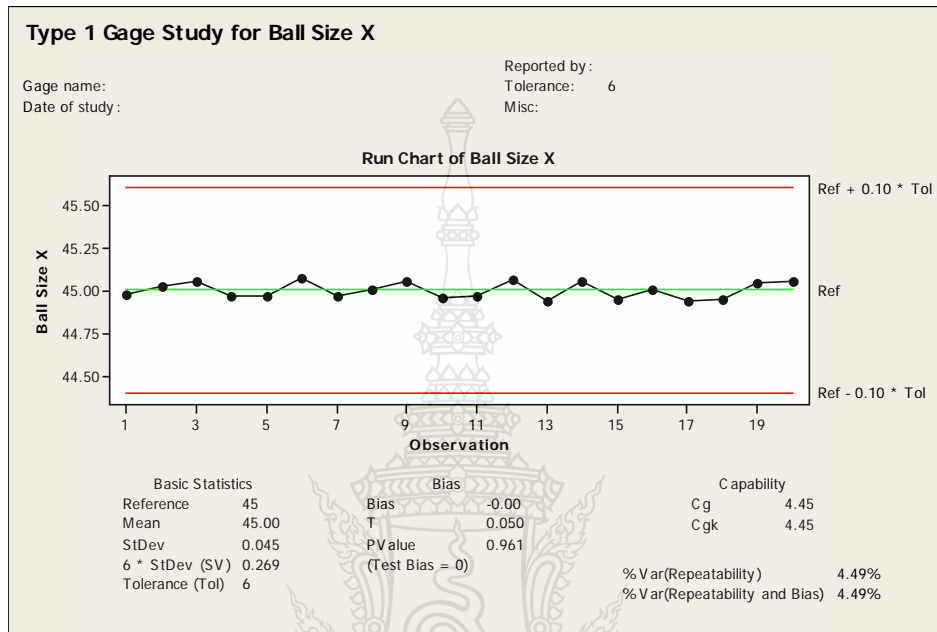
การวัดเพื่อตรวจสอบคุณภาพงานของ Ball Size / Ball Thickness and Aluminum Smear โดยเลือกตัวแทน 5 ลูกมาทำการวัด สิ่งที่สำคัญในการวัด คือ การปรับความคมชัดของสิ่งที่ต้องการวัดเพราะหน่วยวัดมีความละเอียดมากถ้าปรับความคมชัดไม่ได้ อาจเกิดความคลาดเคลื่อน ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.13 แสดงตำแหน่งการวัด

4.2.3 วิเคราะห์ขีดความสามารถของกระบวนการพื้นฐานและศักยภาพ (Baseline process capability and potential)

1. ทดสอบความเอนเอียงของเครื่องมือวัด (Gage Bias Study) กับเครื่อง Olympus STM6 โดยการสร้างชิ้นงานมา 1 ชิ้นแล้วให้พนักงานหนึ่งคนวัดชิ้นงานนั้นด้วยเครื่องมือซ้ำ ๆ กันหลาย ๆ ครั้ง ซึ่งในที่นี้จะให้พนักงานทำการวัดขนาดของลูกบอล 20 ครั้งแล้วนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติซึ่งได้แสดงผลในภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ความเอนเอียงของเครื่องมือวัด

จากภาพที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมสำเร็จรูปค่า P-Value ของ Bias เท่ากับ 0.961 ซึ่งมากกว่า 0.05 ถือว่าเครื่องมือไม่มีความเอนเอียงของเครื่องมือวัด ส่วนค่าความสามารถของเครื่องมือวัด (Cgk) อยู่ที่ 4.45 ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดีมาก

2. การวิเคราะห์ระบบความแม่นยำของระบบการวัด (Gate R&R) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

2.1 คัดเลือกตัว IC TSSOP56 1 ตัว กำหนดลูกบอลที่จะทำการวัด 10 บอล ที่มีขนาดลูกบอลทั้ง 3 แบบ คือ งานดี งานเสีย และงานก้ำกึ่ง

2.2 คัดเลือกพนักงานที่อยู่ประจำเครื่องวัดที่มีความชำนาญในการวัดจำนวน 2 คน

2.3 ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติในการกำหนดวิธีการวัดโดยกำหนดจำนวนงานที่จะใช้วัดจำนวน 10 บอล พนักงาน 2 คน และวัดซ้ำ 2 ครั้ง ซึ่งโปรแกรมจะแสดงผลเป็นลำดับของการวัดทั้งตัวงานและพนักงานแบบสุ่มดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงลำดับการวัดที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ

ลำดับการวัด	ตัวชิ้นงานที่	พนักงานวัด	ลำดับการวัด	ตัวชิ้นงานที่	พนักงานวัด
1	5	Operator1	21	8	Operator1
2	7	Operator1	22	3	Operator1
3	2	Operator1	23	5	Operator1
4	6	Operator1	24	7	Operator1
5	8	Operator1	25	9	Operator1
6	1	Operator1	26	10	Operator1
7	4	Operator1	27	2	Operator1
8	3	Operator1	28	4	Operator1
9	9	Operator1	29	6	Operator1
10	10	Operator1	30	1	Operator1
11	6	Operator2	31	2	Operator2
12	8	Operator2	32	5	Operator2
13	4	Operator2	33	8	Operator2
14	1	Operator2	34	10	Operator2
15	10	Operator2	35	3	Operator2
16	7	Operator2	36	6	Operator2
17	2	Operator2	37	9	Operator2
18	9	Operator2	38	7	Operator2
19	3	Operator2	39	1	Operator2
20	5	Operator2	40	4	Operator2

2.4 ทำการวัดโดยลำดับพนักงานและตัวงานที่ใช้วัดตามโปรแกรมกำหนดมาแล้ว นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าความแม่นยำของระบบการวัด (Gage R&R) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ซึ่งได้ผลดังแสดงในภาพที่ 4.15, 4.16 และ 4.17

Gage R&R Ball Pull Test เครื่อง Dage 3000

Gage R&R for Data_2

Gage name: Dage 3000
 Date of study: 26 May 2015
 Reported by: Kittisak B.
 Tolerance: Min 5grams
 Misc: BPT

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts_2	9	26.5185	2.94650	8778.06	0.000
Operators_2	1	0.0003	0.00025	0.74	0.411
Parts_2 * Operators_2	9	0.0030	0.00034	1.14	0.383
Repeatability	20	0.0059	0.00030		
Total	39	26.5277			

Alpha to remove interaction term = 0.25

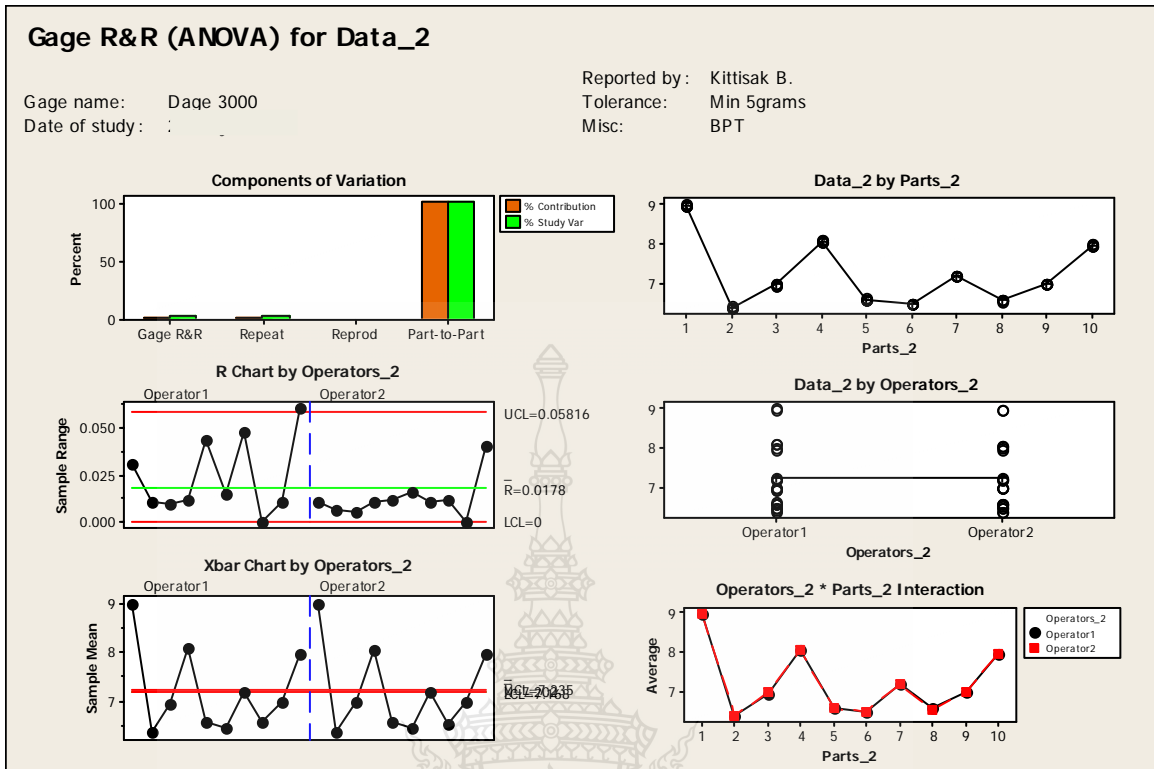
Gage R&R

Source	VarComp	% Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.000308	0.04
Repeatability	0.000308	0.04
Reproducibility	0.000000	0.00
Operators_2	0.000000	0.00
Part-To-Part	0.736549	99.96
Total Variation	0.736856	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.017539	0.10523	2.04
Repeatability	0.017539	0.10523	2.04
Reproducibility	0.000000	0.00000	0.00
Operators_2	0.000000	0.00000	0.00
Part-To-Part	0.858224	5.14934	99.98
Total Variation	0.858403	5.15042	100.00

Number of Distinct Categories = 68

ภาพที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของกระบวนการวัด (Gage R&R) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ



ภาพที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของกระบวนการวัด (Gage R&R) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (ต่อ)

จากภาพที่ 4.15 จะพบว่าค่า Contribution เท่ากับ 0.04% ซึ่งน้อยกว่า 30% และความผันแปรของผลการวัดส่วนใหญ่เกิดจากชิ้นงานตัวอย่างเองถึง 99.96% และความแปรปรวนของกระบวนการวัดจากสาเหตุ Repeatability 0.04 หน่วย รวมไปถึงค่า P-Value ของพนักงานวัดมีค่า 0.411 แสดงว่าผลจากพนักงานวัด ไม่มีนัยสำคัญ นั่นแสดงถึงกระบวนการวัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นกระบวนการวัดที่ดีเยี่ยมเชื่อถือได้สามารถใช้ในการทดลองได้เป็นอย่างดี

Gage R&R Ball Shear Test เครื่อง Dage 4000

Gage R&R for Data_1

Gage name: Dage 4000
 Date of study: 26 May 2015
 Reported by: Kittisak B.
 Tolerance: Min 20grams
 Misc: BST

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts_1	9	26.2033	2.91148	326.765	0.000
Operators_1	1	0.0194	0.01936	2.173	0.175
Parts_1 * Operators_1	9	0.0802	0.00891	2.305	0.058
Repeatability	20	0.0773	0.00386		
Total	39	26.3802			

Alpha to remove interaction term = 0.25

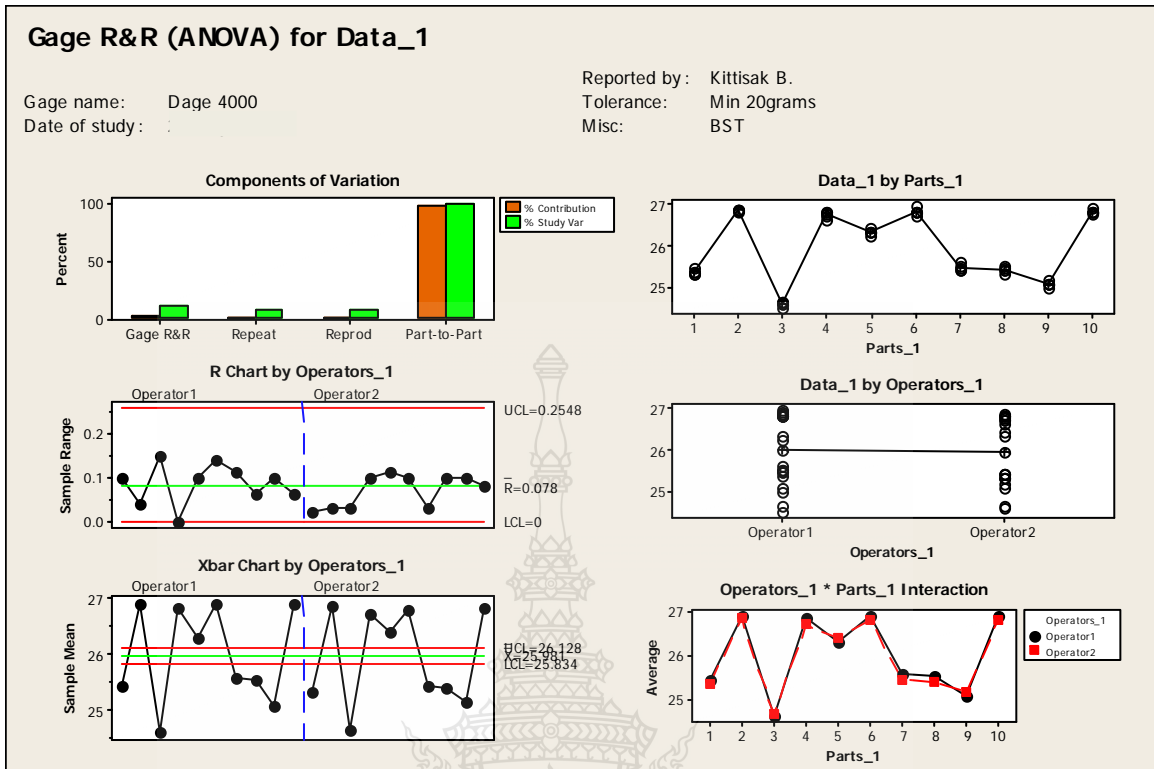
Gage R&R

Source	VarComp	Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.006910	0.94
Repeatability	0.003865	0.53
Reproducibility	0.003045	0.42
Operators_1	0.000522	0.07
Operators_1*Parts_1	0.002523	0.34
Part-To-Part	0.725642	99.06
Total Variation	0.732552	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.083126	0.49876	9.71
Repeatability	0.062169	0.37301	7.26
Reproducibility	0.055182	0.33109	6.45
Operators_1	0.022858	0.13715	2.67
Operators_1*Parts_1	0.050224	0.30135	5.87
Part-To-Part	0.851846	5.11108	99.53
Total Variation	0.855893	5.13536	100.00

Number of Distinct Categories = 14

ภาพที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของกระบวนการวัด (Gage R&R) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ



ภาพที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของกระบวนการวัด (Gage R&R) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (ต่อ)

จากภาพที่ 4.16 จะพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ Contribution เท่ากับ 0.94% ซึ่งน้อยกว่า 30% และความผันแปรของผลการวัดส่วนใหญ่เกิดจากชิ้นงานตัวอย่างเองถึง 99.06% และความแปรปรวนของกระบวนการวัดจากสาเหตุ Repeatability 0.053 หน่วย รวมไปถึงค่า P-Value ของพนักงานวัดมีค่า 0.175 แสดงว่าผลจากพนักงานวัด ไม่มีนัยสำคัญ นั่นแสดงถึงกระบวนการวัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นกระบวนการวัดที่ดีเยี่ยมเชื่อถือได้สามารถใช้ในการทดลองได้เป็นอย่างดี

Gage R&R Ball Size เครื่อง Olympus STM6

Gage R&R for Data

Gage name: Olympus STM6
 Date of study: 26 May 2015
 Reported by: Kittisak B.
 Tolerance: Min 42um
 Misc: Ball Size

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	1.03657	0.115175	1541.37	0.000
Operators	1	0.00030	0.000302	4.05	0.075
Parts * Operators	9	0.00067	0.000075	1.99	0.096
Repeatability	20	0.00075	0.000038		
Total	39	1.03830			

Alpha to remove interaction term = 0.25

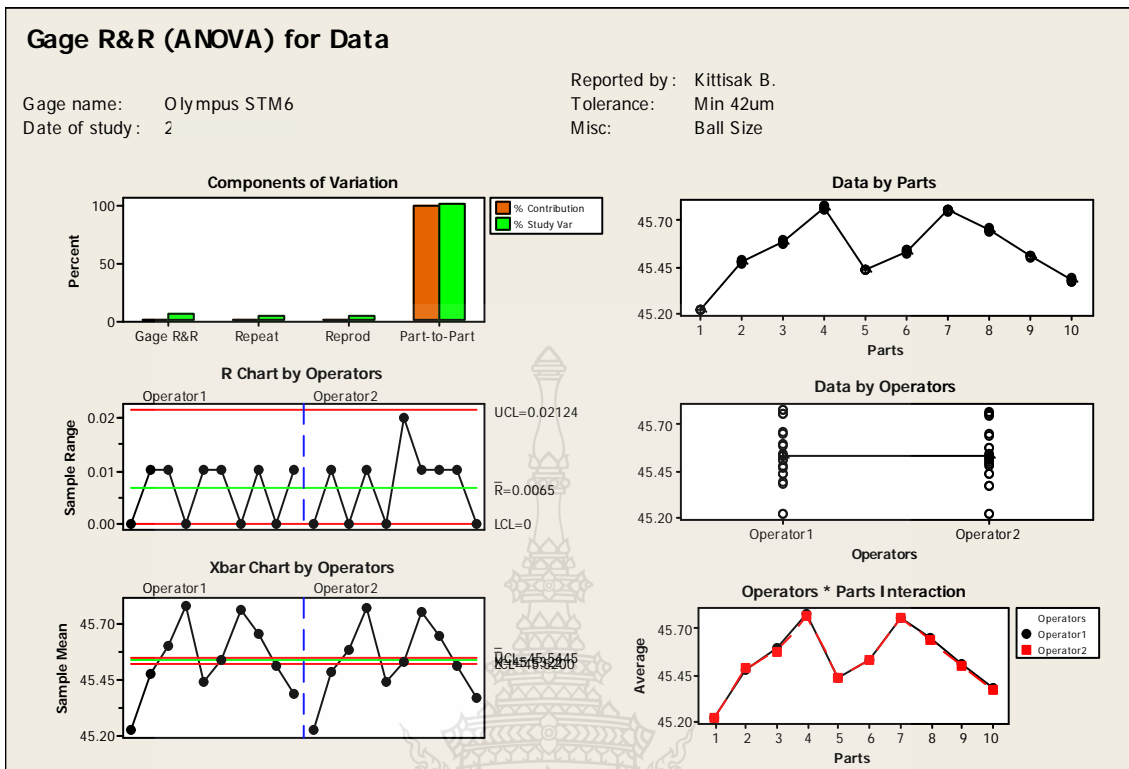
Gage R&R

Source	VarComp	% Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0000675	0.23
Repeatability	0.0000375	0.13
Reproducibility	0.0000300	0.10
Operators	0.0000114	0.04
Operators*Parts	0.0000186	0.06
Part-To-Part	0.0287750	99.77
Total Variation	0.0288425	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.008216	0.04930	4.84
Repeatability	0.006124	0.03674	3.61
Reproducibility	0.005477	0.03286	3.23
Operators	0.003375	0.02025	1.99
Operators*Parts	0.004314	0.02588	2.54
Part-To-Part	0.169632	1.01779	99.88
Total Variation	0.169831	1.01898	100.00

Number of Distinct Categories = 29

ภาพที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของกระบวนการวัด (Gage R&R) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ



ภาพที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของกระบวนการวัด (Gage R&R) ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ (ต่อ)

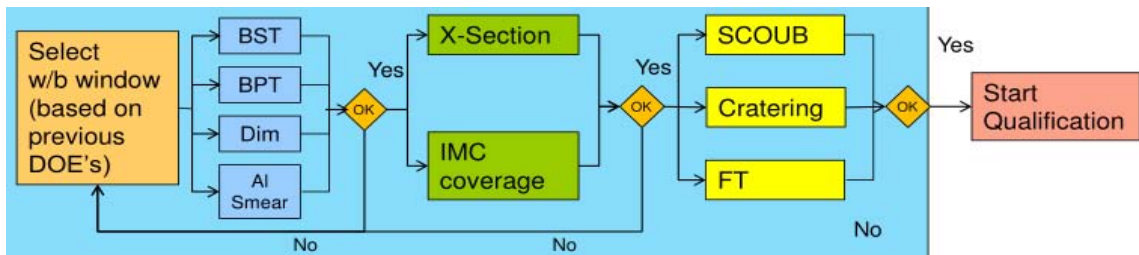
จากภาพที่ 4.17 จะพบว่าค่า Contribution เท่ากับ 0.23% ซึ่งน้อยกว่า 30% และความผันแปรของผลการวัดส่วนใหญ่เกิดจากชิ้นงานตัวอย่างเองถึง 99.77% และความแปรปรวนของกระบวนการวัดจากสาเหตุ Repeatability 0.13 หน่วย รวมไปถึงค่า P-Value ของพนักงานวัดมีค่า 0.075 แสดงว่าผลจากพนักงานวัด ไม่มีนัยสำคัญ นั่นแสดงถึงกระบวนการวัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นกระบวนการวัดที่ดีเยี่ยมเชื่อถือได้สามารถใช้ในการทดลองได้เป็นอย่างดี

4.3 การวิเคราะห์กระบวนการผลิต (Process Analysis Phase)

การเปลี่ยนวัตถุประสงค์จากลดทอนเป็นลดทอนแดงจะต้องมีการทดลองและให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อสอดคล้องกับคุณภาพและความเชื่อมั่นที่ทำให้ลูกค้าเชื่อถือได้

4.3.1 กำหนดขีดความสามารถของกระบวนการ (Define current capability for “Y”)

การเปลี่ยนวัตถุประสงค์จากลดทอนเป็นลดทอนแดงจะต้องสร้าง spec control ใหม่โดยต้องคำนึงถึงความสามารถของกระบวนการเชื่อมลวดคัง Flow ภาพที่ 4.18 ต่อไปนี้



ภาพที่ 4.18 Flow การหากรอบพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของกระบวนการเชื่อมลวดทองแดง

4.3.2 แจกแจงและกำหนดวัตถุประสงค์ (Clarify and define objectives for “Y”)

ตารางที่ 4.6 แสดงตัวชี้วัดความสามารถและเป้าประสงค์ควบคุมที่ทำให้การบอนด์เหมาะสม และมีคุณภาพที่สุด

CTQ	ตัวชี้วัดความสามารถ (Yi)	เป้าประสงค์ควบคุม (Spec)
ความสามารถของ กระบวนการเชื่อมลวด (Bond Ability)	Ball Shear (gf)	20-30
	Ball Pull or Wire Pull (gf)	≥ 5.0
	Ball Size(um)	42-48
	Ball Thickness(um)	8-12
	Al Smear(um)	≤ 9.0
	Loop Height(um)	100-150
	Stitch Pull(gf)	≥ 4
	IMC (%)	$\geq 60\%$
	Damage/cracks in the bond pad (COUB)	Zero
	SCOUB	$< 10\%$
Al Thickness	Min 250nm or $\geq 20\%$ Alu thickness	

ตารางที่ 4.6 แสดงตัวชี้วัดความสามารถและเป้าประสงค์ควบคุมที่ทำให้การบอนด์เหมาะสม และมีคุณภาพที่สุด (ต่อ)

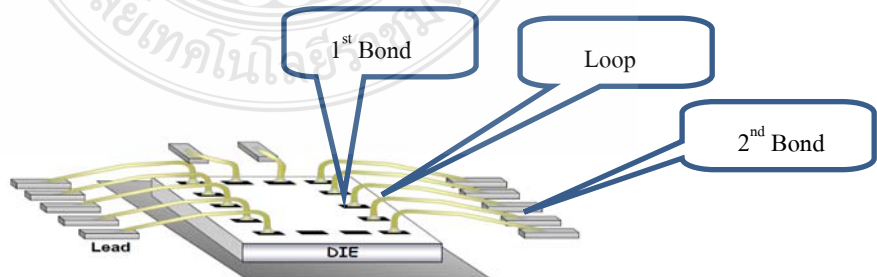
CTQ	ตัวชี้วัดความสามารถ (Yi)	เป้าประสงค์ควบคุม (Spec)
ความเชื่อถือได้ (Reliability)	HTSL 150°C	500hr
	HTSL 175°C	100hr
	TMCL /TC -65/150°C	200C
	TMCL /TC -55/125°C	500C
	HAST 130°C/85%RH	96hr
	HAST 110°C/85%RH	264hr
	THB/H3TRB 85°C/85%RH	1680hr

กำหนดวัตถุประสงค์ตัวชี้วัดความสามารถและเป้าประสงค์ควบคุมที่ทำให้การบอนด์เหมาะสม และมีคุณภาพที่สุดโดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ความสามารถของกระบวนการเชื่อมลวดและการทดสอบความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์

4.3.3 กำหนดปัจจัยเข้าที่มีผลต่อการบอนด์ (Identify “X-s” which might affect “Y”)

การเปลี่ยนวัสดุบอนด์จากลวดทองเป็นลวดทองแดงนั้น จะต้องทำการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ใหม่ในการเชื่อมลวดจากลายวงจร (Die) ไปยังขา lead frame เพื่อให้ครบวงจร ซึ่งไม่สามารถอ้างอิงพารามิเตอร์เก่าของลวดทองได้เนื่องจากวัสดุบอนด์มีคุณสมบัติในด้านความอ่อนตัวและความยืดหยุ่นของเนื้อวัสดุบอนด์ที่แตกต่างกัน ขั้นตอนของการทดลอง คือ หาพารามิเตอร์โดยการทำ DOE ในกระบวนการเชื่อมลวดแบ่งเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ

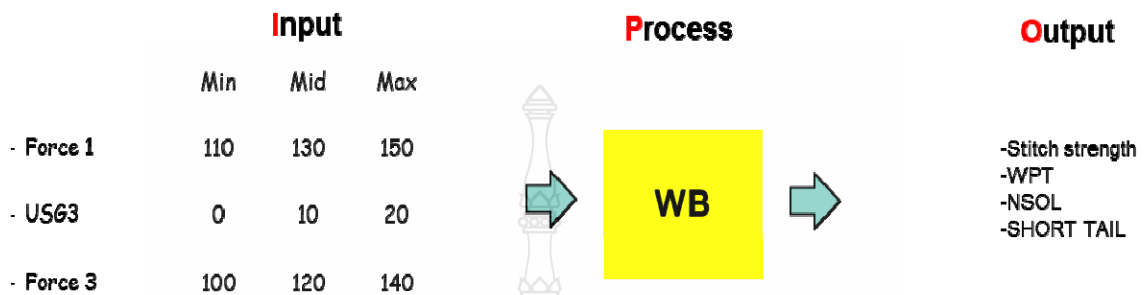
- 1) DOE of 2nd Bond
- 2) DOE of 1st Bond
- 3) DOE of Loop



ภาพที่ 4.19 แสดงตัว IC วงจรรวม

1) หลักการเชื่อมลวดบนขา lead frame (2nd Bond DOE Full factorial)

ออกแบบ DOE แบบครอบคลุมทุกตัวแปรโดยแสดงในรูปแบบ IPO คือ ปัจจัยป้อนเข้า (Input) กระบวนการเชื่อมลวด (Process) และการวัดผลความสามารถที่ออกมา (Output) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการเชื่อมลวดไปยังขา lead frame



1.1 ทำการเชื่อมลวดโดยใช้พารามิเตอร์ คือ พลังงานที่ใช้ในการบอนด์ (USG) แรงกดในการบอนด์ (Force) โดยจะกำหนดอุณหภูมิของการบอนด์ไว้ที่ 260±5 องศาเซลเซียส และเวลาในการบอนด์ไว้ที่ 2msec (Bond Time) แล้วทำการปรับพารามิเตอร์ Force1, Force3 และ USG3 เพื่อให้ Stitch ยึดติดกับพื้นผิวของขา Lead frame โดยใช้ค่าพิคคควมคุมที่ค่าด้านต่ำ ค่ากลาง และค่าด้านสูงตามลำดับ แล้วทำการวัดค่าโดยอ้างอิง Spec ควมคุมดังนี้

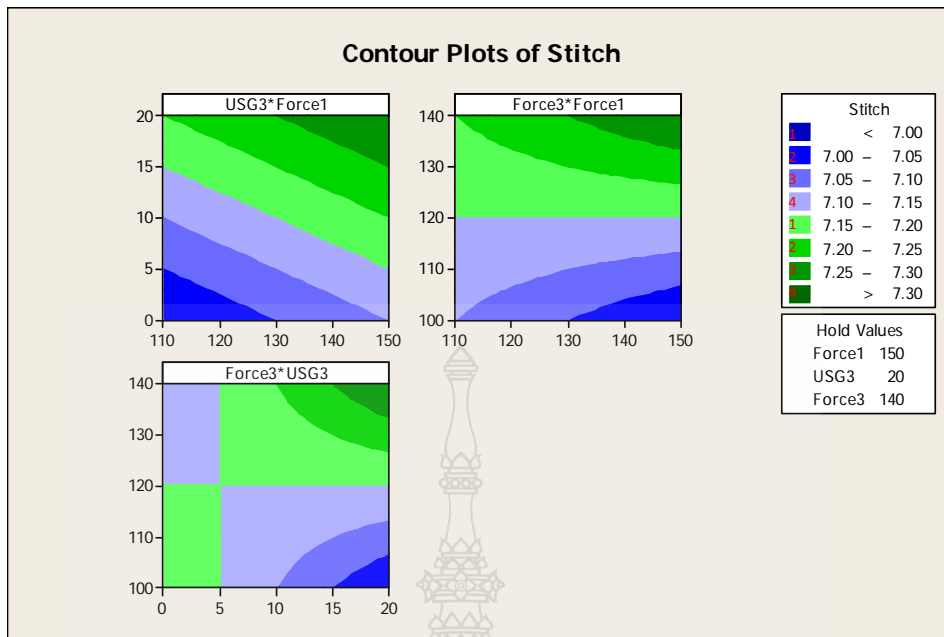
- Stitch pull min ≥ 4 กรัม ; Wire pull min ≥ 5 กรัม
- Stitch remain = 100% ; Short tail = Zero
- NSOL = Zero

จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ทำการทดสอบ 56 ค่าหรือเท่ากับ 1 unit (56 sample size) ต่อกลุ่มพารามิเตอร์จากนั้นนำค่าที่วัดได้ของ Stitch pull, Wire pull, Stitch remain, Short tail และ NSOL ไปใส่ในภาพที่ 4.20 เพื่อดูข้อมูลเปรียบเทียบกันในแต่ละกลุ่มพารามิเตอร์ว่าผลที่ออกมาอยู่ในระดับของขอบเขตหรือไม่

Force1	USG3	Force3	Stitch Min	Stitch Max	Stitch Avg	Stitch Std	Stitch Remain	WPT Min	WPT Max	WPT Avg	WPT Std	SHORT TAIL	NSQL
110	0	100	5.9	8.5	7.3	0.54	100.00%	4.8	8.4	6.9	1.0	0	0
110	0	120	6.0	8.6	7.2	0.57	100.00%	4.7	9.2	7.0	1.1	0	0
110	0	140	6.1	8.4	7.0	0.48	100.00%	5.2	8.9	7.1	1.1	0	0
110	10	100	6.3	8.8	7.1	0.47	100.00%	4.6	9.2	7.1	1.1	0	0
110	10	120	5.9	7.8	6.9	0.39	100.00%	5.3	9.3	7.3	1.0	0	0
110	10	140	6.4	8.3	7.2	0.48	100.00%	4.9	9.2	7.0	1.2	0	0
110	20	100	5.4	8.7	7.1	0.54	100.00%	4.7	9.2	7.2	1.1	0	0
110	20	120	6.2	8.1	7.2	0.41	100.00%	5.1	8.9	7.2	0.9	0	0
110	20	140	6.2	8.2	7.2	0.45	100.00%	5.1	9.5	7.4	1.0	0	0
130	0	100	5.5	8.0	7.1	0.48	100.00%	4.8	9.3	7.1	0.9	0	0
130	0	120	5.6	8.5	7.0	0.47	100.00%	4.6	9.1	7.1	1.0	0	0
130	0	140	5.8	8.5	7.2	0.51	100.00%	4.5	9.0	7.0	0.9	0	0
130	10	100	5.9	8.5	7.0	0.60	100.00%	4.9	8.3	7.0	0.9	0	0
130	10	120	6.0	8.6	7.2	0.50	100.00%	5.4	8.7	7.1	0.9	0	0
130	10	140	6.0	7.9	7.0	0.46	100.00%	5.5	9.1	7.1	0.9	0	0
130	20	100	6.4	8.1	7.3	0.39	100.00%	4.7	9.4	7.1	1.0	0	0
130	20	120	6.1	8.0	7.2	0.44	100.00%	4.9	9.5	7.1	1.0	0	0
130	20	140	5.7	8.5	7.1	0.51	100.00%	5.5	8.9	7.2	0.9	0	0
150	0	100	6.4	8.2	7.2	0.42	100.00%	5.2	9.1	7.3	1.0	0	0
150	0	120	6.2	8.2	7.2	0.47	100.00%	4.9	9.0	7.2	1.0	0	0
150	0	140	6.0	8.4	7.1	0.50	100.00%	4.7	9.2	7.0	1.1	0	0
150	10	100	5.9	8.8	7.1	0.54	100.00%	5.2	9.3	7.1	0.9	0	0
150	10	120	6.3	8.5	7.3	0.43	100.00%	5.3	9.4	7.2	1.0	0	0
150	10	140	6.2	8.1	7.1	0.43	100.00%	5.1	9.3	7.0	0.9	0	0
150	20	100	5.8	8.3	7.0	0.57	100.00%	4.9	8.7	7.1	0.8	0	0
150	20	120	6.4	7.9	7.1	0.36	100.00%	4.8	9.1	7.1	1.1	0	0
150	20	140	6.2	8.2	7.3	0.46	100.00%	5.0	9.5	7.3	1.2	0	0

ภาพที่ 4.20 แสดงผลวัดความสามารถที่ออกมาในแต่ละกลุ่มพารามิเตอร์

จากตารางที่ 4.20 ผลลัพธ์ที่ออกมาค่า Stitch pull min, Stitch remain, Short tail และ NSQL อยู่ใน Spec ควบคุมทั้งหมด ส่วน Wire pull test min มีค่าต่ำกว่า spec ควบคุมในบางกลุ่มพารามิเตอร์แต่ก็ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ จากนั้นนำค่ากลางของ Stitch pull ไปวิเคราะห์หาความแข็งแรงของแรงดึงด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติโดยใช้ Contour plots แสดงคุณภาพทางกายภาพจากสมการรีเกรสชัน (Regression) แสดงเป็นค่า stitch pull ออกมาเป็นกลุ่มเขตสีต่าง ๆ โดยพิจารณาจากค่ากลางของ stitch pull ที่มากกว่า 7.20 กรัมเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.21



ภาพที่ 4.21 การแสดงผลตอบสนองแบบโครงสร้างพื้นผิว (Response Surface)

จากภาพที่ 4.21 พิจารณาจากปัจจัยร่วมที่ส่งผลระหว่างกันแสดงเป็นโครงสร้างพื้นผิว 3 กลุ่ม โดยมีเป้าประสงค์ค่ากลางของ stitch pull ที่มากกว่า 7.20 กรัม

1. USG 3*Force 1 ผลการวิเคราะห์เจดสีเขียวหมายเลข 2 คือค่าที่ทำให้ Stitch pull มีค่ามากกว่า 7.2g. คือ USG 3 อยู่ที่ 10-20mA และ Force 1 อยู่ที่ 110-150g
2. Force3*Force1 ผลการวิเคราะห์เจดสีเขียวหมายเลข 2 คือค่าที่ทำให้ Stitch pull มีค่ามากกว่า 7.2g. คือ Force 3 อยู่ที่ 128-140g และ Force 1 อยู่ที่ 110-150g
3. Force3*USG3 ผลการวิเคราะห์เจดสีเขียวหมายเลข 2 คือค่าที่ทำให้ Stitch pull มีค่ามากกว่า 7.2g. คือ Force 3 อยู่ที่ 128-140g และ USG 3 อยู่ที่ 10-20mA

สมการของ Regression Coefficients

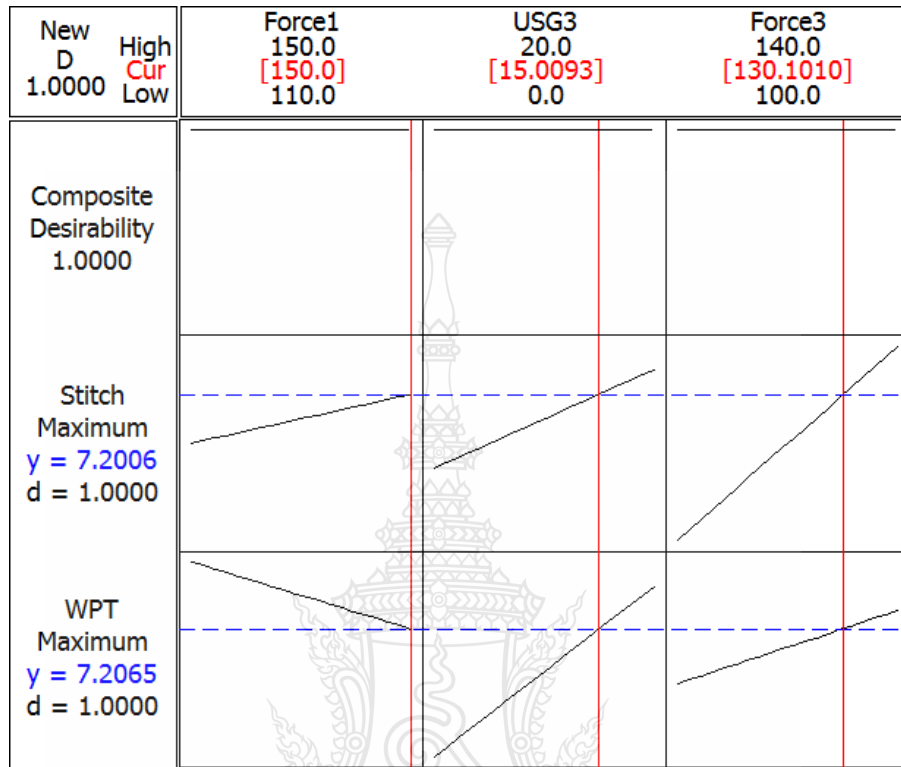
Variables relationship “Y = Stitch Pull Data”

$$Y = 6.01 + 0.056 * A + 0.050 * B + 0.061 * C + 0.211 * AA - 0.106 * BB - 0.072 * CC - 0.067 * AC - 0.033 * BC$$

เมื่อ Y : Stitch Pull Data, A : Force1 (g), B : USG (mA), C : Force3 (g)

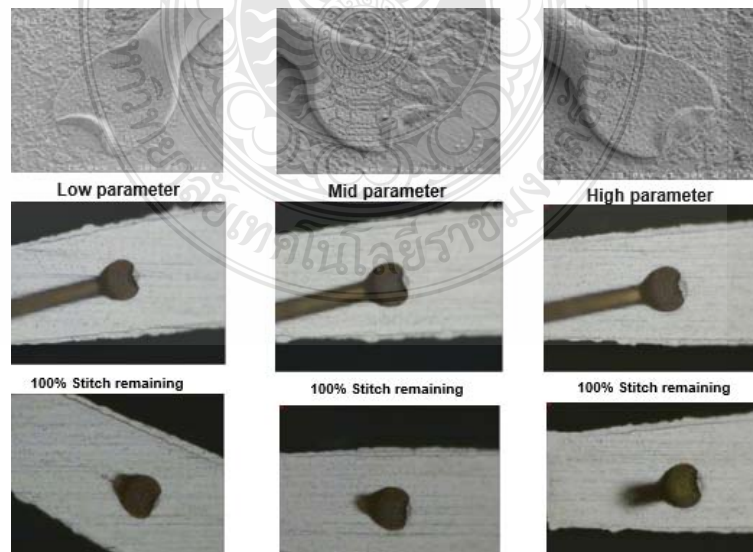
จากนั้นใช้ Response optimizer ในการคำนวณหาว่าที่ระดับปัจจัยใดที่ให้ผลลัพธ์ที่เอาต์พุตที่ดีที่สุด โดยเลือกป้อนค่าเป้าหมาย (Target) ของผลตอบกลับยิ่งสูงยิ่งดี (Maximums) ค่าระดับเป้าหมายที่สามารถทำได้คือ 7.2 กรัม ซึ่งค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการคำนวณของโปรแกรมสำหรับค่าแรงดึง stitch pull และค่า wire pull คือ Force1 แรงที่ใช้ในการบอนด์ เท่ากับ 150 กรัม USG3 กำลัง

ที่ใช้ในการบอนด์ เท่ากับ 15mA และ Force 3 แรงที่ใช้ในการบอนด์ เท่ากับ 130 กรัม ที่ความพึงพอใจ โดยรวม (Composite Desirability) เท่ากับ 1.00 ดังแสดงในภาพที่ 4.22



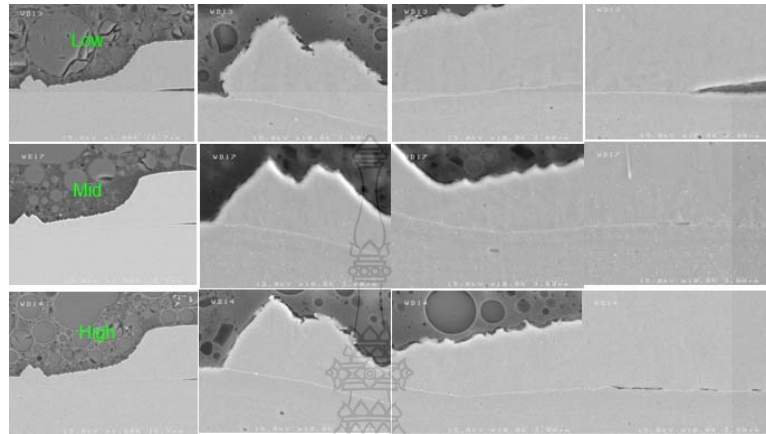
ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงจุดที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

1.2 พิจารณารูปร่างลักษณะของ Stitch



ภาพที่ 4.23 รูปร่างลักษณะของ Stitch และ Stitch ที่เหลือจากการดึง

รูปร่างลักษณะของ Stitch ทั้ง low parameter, Mid parameter และ High parameter มีความสมบูรณ์ในการยึดติดกับพื้นผิวของขา Lead Frame และไม่เกิดการแตก เมื่อทำการดึง Stitch pull เพื่อทดสอบความแข็งแรง Stitch remain ก็ยังเหลือ 100% แล้วทำ Stitch cross section ดังภาพที่ 4.24



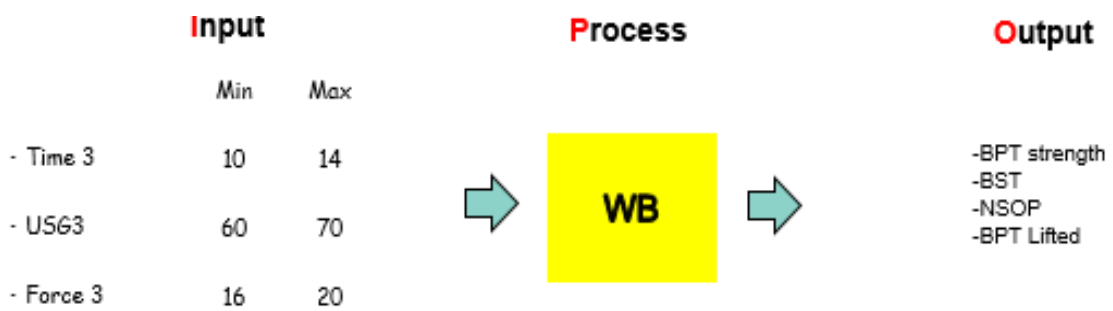
ภาพที่ 4.24 รูปร่างลักษณะของ Stitch cross section

รูปร่างลักษณะของ Stitch cross section ทั้ง low parameter, Mid parameter และ High parameter แสดงการยึดติดกับพื้นผิวของขา Lead Frame เป็นอย่างดี โดยไม่มีการแตกหรือแยกออกจากกัน จากผลการทดลอง DOE ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติโดยพิจารณาจากเป้าประสงค์ความแข็งแรงของ Stitch pull และ Wire pull ที่มากกว่า 7.2 กรัมและรูปร่างลักษณะของ Stitch พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดคือ

- Force 1 = 150 gm.
- Force 3 = 120-140 gm.
- USG 3 = 10-20 mA.

2) หลักการเชื่อมลวดบนลายวงจร (Die) (1ST Bond DOE Full factorial)

ออกแบบ DOE แบบครอบคลุมทุกตัวแปร โดยแสดงในรูปแบบ IPO คือ ปัจจัยป้อนเข้า (Input) กระบวนการเชื่อมลวด (Process) และการวัดผลความสามารถที่ออกมา (Output) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการเชื่อมลวดไปยัง Pad ของ Die



2.1 ทำการเชื่อมลวดโดยใช้พารามิเตอร์หลัก คือ เวลาในการบอนด์ (Bond Time) อุณหภูมิในการบอนด์ (Bond Temp) และมีพลังงานที่ใช้ในการบอนด์ (USG) แรงกดในการบอนด์ (Force) เพื่อลดระยะเวลาในการเชื่อมติดให้เร็วขึ้น โดยจะกำหนดอุณหภูมิของการบอนด์ไว้ที่ 260 ± 5 องศาเซลเซียส แล้วทำการปรับพารามิเตอร์ของ USG, Force และ Time เพื่อสร้าง shape ให้ได้ขนาดลูกบอลเชื่อมติดบนลายวงจรและสร้าง IMC ที่สมบูรณ์โดยใช้ค่าพิสัยควบคุมที่ค่าด้านต่ำ และค่าด้านสูงตามลำดับ แล้วทำการวัดค่าโดยอ้างอิง Spec ควบคุมดังนี้

- Ball pull min ≥ 5 กรัม ; Ball Shear min ≥ 20 กรัม
- NSOP = Zero ; Ball pull test lift = Zero

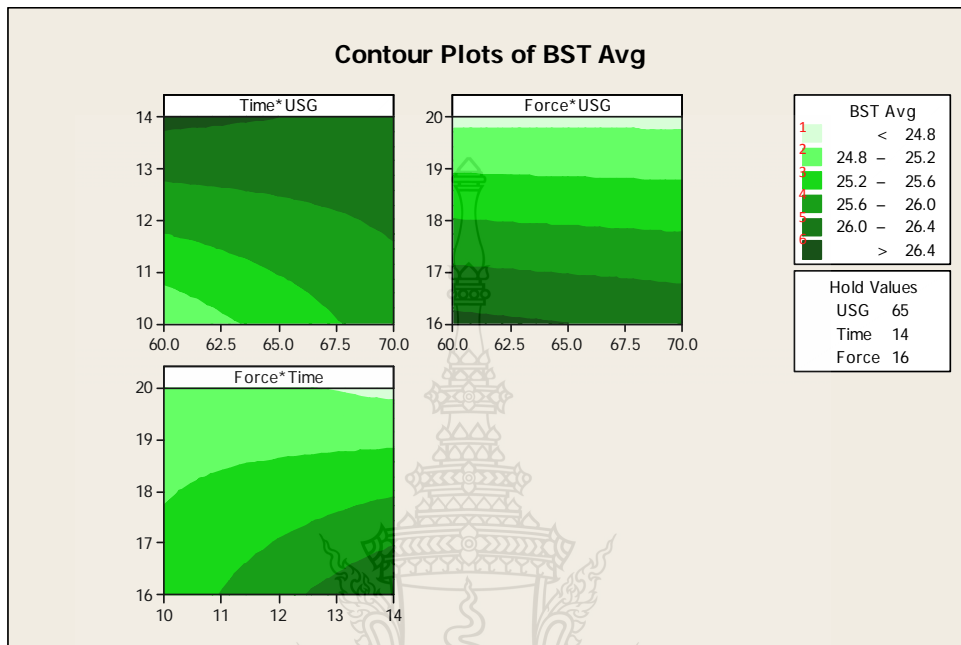
จำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ทำการทดสอบ 560 ค่าหรือเท่ากับ 10units (560 sample size) ต่อกลุ่มพารามิเตอร์จากนั้นนำค่าที่วัดได้ของ Ball pull test, Ball shear test, NSOP และ Ball pull test lift มาดูข้อมูลเปรียบเทียบกันในแต่ละกลุ่มพารามิเตอร์ว่าผลที่ออกมาอยู่ในระดับของขอบเขตหรือไม่ ดังภาพที่ 4.25

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	USG	Time	Force	BPTmin	BPTAg	BSTmin	BSTAg	NSOP	BPTlifted
1	1	1	1	60	10	16	54	7.6	20.1	24.9	0	0
2	2	1	1	70	10	16	59	7.6	19.3	25.8	0	0
3	3	1	1	60	14	16	52	7.8	21.8	26.5	0	0
4	4	1	1	70	14	16	62	7.8	23	26.3	0	0
5	5	1	1	60	10	20	63	7.8	20.4	24.4	0	0
6	6	1	1	70	10	20	55	7.6	22.2	25.6	0	0
7	7	1	1	60	14	20	59	7.5	20.9	24.7	0	0
8	8	1	1	70	14	20	55	7.7	20	24.7	0	0

ภาพที่ 4.25 แสดงผลวัดความสามารถที่ออกมาในแต่ละกลุ่มพารามิเตอร์

จากภาพที่ 4.25 ผลลัพธ์ที่ออกมาค่า Ball pull test, NSOP และ Ball pull test lift อยู่ใน Spec ควบคุมทั้งหมด ส่วน Ball shear test min มีค่าต่ำกว่า spec ควบคุมในกลุ่มพารามิเตอร์ order 2 แต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ จากนั้นนำค่ากลางของ Ball shear test และ Ball pull test ไปวิเคราะห์หาความแข็งแรงของการยึดติดและแรงดึงด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติโดยใช้ Contour plots แสดง

คุณภาพทางกายภาพจากสมการรีเกรสชั่น (Regression) แสดงเป็นค่า Ball shear test และ Ball pull test ออกมาเป็นกลุ่มแคตอรีต่างๆ โดยพิจารณาจากค่ากลางของ Ball shear test ที่มากกว่า 25 กรัม และ Ball pull test ที่มากกว่า 7.5 กรัม เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.26 และ 4.27



ภาพที่ 4.26 การแสดงผลตอบสนองแบบ โครงสร้างพื้นผิว (Response Surface)

จากภาพที่ 4.26 พิจารณาจากปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบกันแสดงเป็น โครงสร้างพื้นผิว 3 กลุ่ม โดยมีเป้าประสงค์ค่ากลางของ Ball shear ที่มากกว่า 25 กรัม

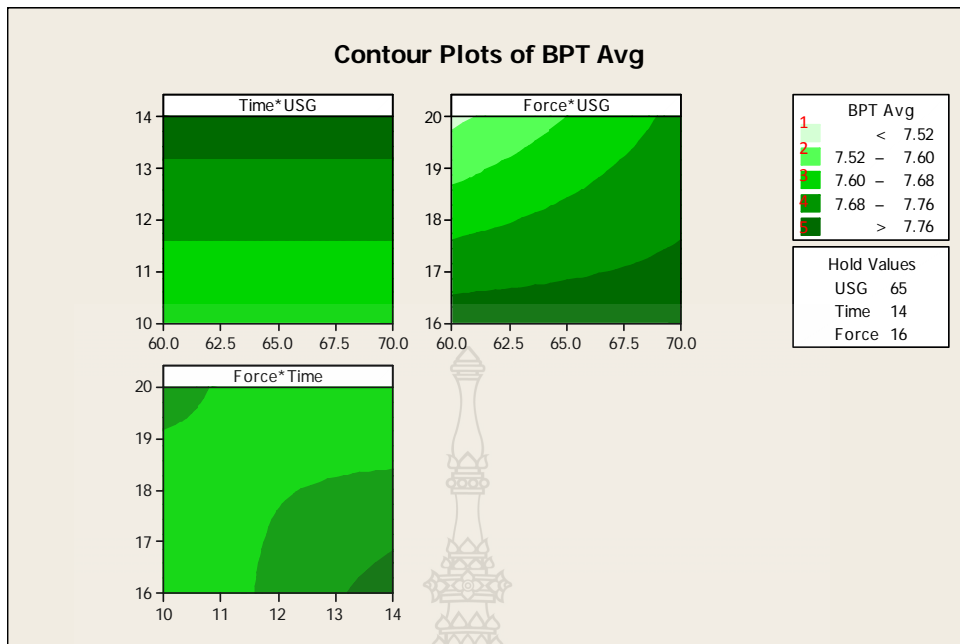
1. Time 3*USG 3 ผลการวิเคราะห์แคตอรีเขียวหมายเลข 3 คือ ค่าที่ทำให้ Ball shear มีค่ามากกว่า 25g. คือ Time3 อยู่ที่ 11-14 msec และ USG 3 อยู่ที่ 64-70mA
2. Force 3*USG 3 ผลการวิเคราะห์แคตอรีเขียวหมายเลข 3 คือ ค่าที่ทำให้ Ball shear มีค่ามากกว่า 25g. คือ Force 3 อยู่ที่ 16-19g. และ USG 3 อยู่ที่ 60-70mA
3. Force 3*Time 3 ผลการวิเคราะห์แคตอรีเขียวหมายเลข 3 คือ ค่าที่ทำให้ Ball shear มีค่ามากกว่า 25g. คือ Force 3 อยู่ที่ 16-18g. และ Time 3 อยู่ที่ 10-14 msec

สมการของ Regression Coefficients

Variables relationship “Y = BST AVG”

$$Y = 25.363 + 0.238 * A + 0.188 * B - 0.513 * C - 0.288 * AB + 0.063 * AC - 0.338 * BC$$

เมื่อ Y : Ball Shear Data, A : USG (mA), B : Time (mS), C : Force (g)



ภาพที่ 4.27 การแสดงผลตอบสนองแบบ โครงสร้างพื้นผิว (Response Surface)

จากภาพที่ 4.27 พิจารณาจากปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบร่วมกันแสดงเป็น โครงสร้างพื้นผิว 3 กลุ่ม โดยมีเป้าประสงค์ค่ากลางของ Ball pull ที่มากกว่า 7.5 กรัม

1. Time 3*USG 3 ผลการวิเคราะห์เน็ตสี่เหลี่ยมหมายเลข 3 คือ ค่าที่ทำให้ Ball pull มีค่ามากกว่า 7.5g. คือ Time 3 อยู่ที่ 10-14msec และ USG 3 อยู่ที่ 60-70mA
2. Force 3*USG 3 ผลการวิเคราะห์เน็ตสี่เหลี่ยมหมายเลข 3 คือ ค่าที่ทำให้ Ball pull มีค่ามากกว่า 7.5g. คือ Force3 อยู่ที่ 16-20g. และ USG 3 อยู่ที่ 60-70mA
3. Force3*Time3 ผลการวิเคราะห์เน็ตสี่เหลี่ยมหมายเลข 3 คือ ค่าที่ทำให้ Ball pull มีค่ามากกว่า 7.5g. คือ Force3อยู่ที่ 16-20g. และ Time 3 อยู่ที่ 10-14 msec

สมการของ Regression Coefficients

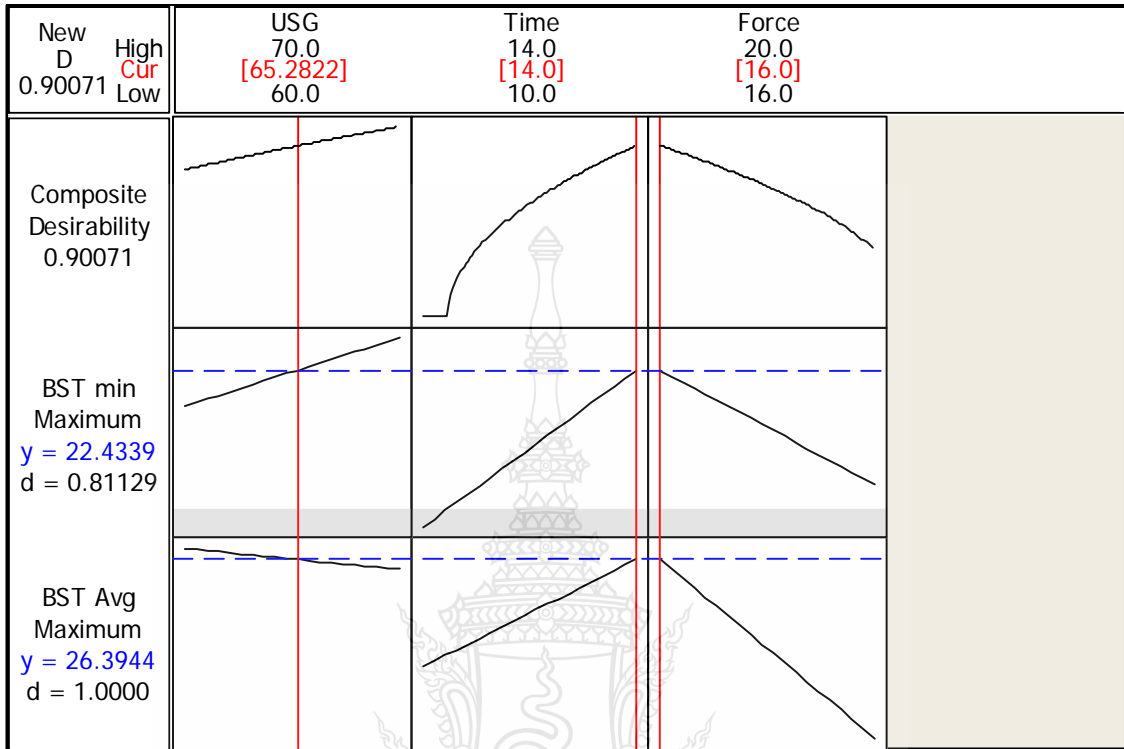
Variables relationship “Y = BPT AVG”

$$Y = 7.675 + 0.025 * B - 0.025 * C + 0.050 * AB - 0.075 * BC$$

เมื่อ Y : Ball Pull Data, A : USG (mA), B : Time (mS), C : Force (g)

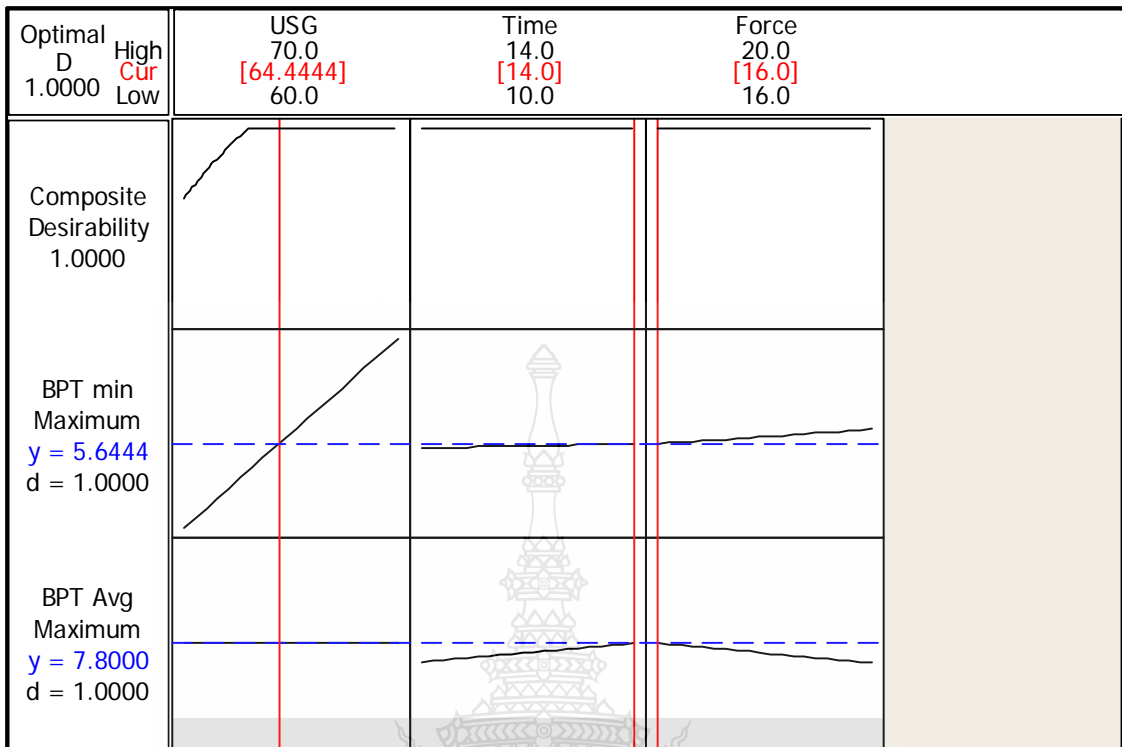
จากนั้นใช้ Response optimizer ในการคำนวณหาว่าที่ระดับปัจจัยใดที่ให้ผลลัพธ์ที่เอาท์พุท ดีที่สุด โดยเลือกป้อนค่าเป้าหมาย (Target) ของผลตอบกลับยิ่งสูงยิ่งดี (Maximums) ค่าระดับเป้าหมายที่สามารถทำได้ BST MIN 20กรัม และ BST AVG 25 กรัม ซึ่งค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการคำนวณของโปรแกรมสำหรับค่า Ball shear คือ USG3 กำลังที่ใช้ในการบอนด์ เท่ากับ 65mA Time3 เวลาที่ใช้ใน

การบอนด์เท่ากับ 14 msec และ Force 3 แรงที่ใช้ในการบอนด์ เท่ากับ 16 กรัม ที่ความพึงพอใจโดยรวม (Composite Desirability) เท่ากับ 0.90 ดังภาพที่ 4.28



ภาพที่ 4.28 กราฟแสดงจุดที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

จากนั้นใช้ Response optimizer ในการคำนวณหาว่าที่ระดับปัจจัยใดที่ให้ผลลัพท์ที่เอาต์พุตที่สุด โดยเลือกป้อนค่าเป้าหมาย (Target) ของผลตอบกลับยิ่งสูงยิ่งดี (Maximums) ค่าระดับเป้าหมายที่สามารถทำได้ BPT MIN 5 กรัม และ BST AVG 7.5 กรัม ซึ่งค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการคำนวณของโปรแกรมสำหรับค่า Ball pull คือ USG 3 กำลังที่ใช้ในการบอนด์ เท่ากับ 64.4mA Time 3 เวลาที่ใช้ในการบอนด์เท่ากับ 14msec และ Force 3 แรงที่ใช้ในการบอนด์ เท่ากับ 16 กรัมที่ความพึงพอใจโดยรวม (Composite Desirability) เท่ากับ 1.00 ดังภาพที่ 4.29



ภาพที่ 4.29 กราฟแสดงจุดที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

2.2 ทดสอบความแข็งแรงของพารามิเตอร์ (Process parameter robustness testing) นำ 1st bond พารามิเตอร์ Force, USG ช่วง Low, Mid, High ด้านต่ำจะปรับลง 10% และด้านสูงจะปรับขึ้น 10% ส่วนเวลาในการบอนด์จะกำหนดไว้ที่ 14msec ดังตารางที่ 4.7 จากนั้นทำการเชื่อมลวดเพื่อนำไปทดสอบคุณภาพในด้านต่าง ๆ ดังนี้

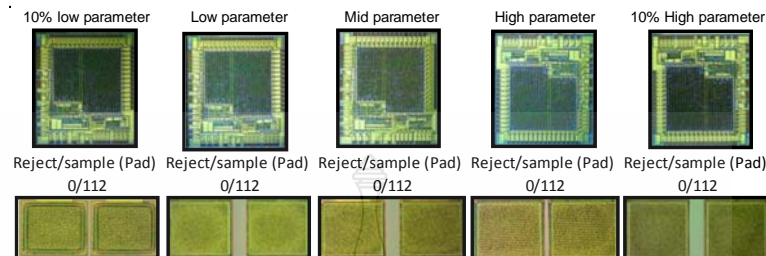
1. ตรวจสอบความแข็งแรงของลายวงจร PAD Die (COUB)
2. ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ของ IMC (% IMC)
3. ตรวจสอบความหนาของ Aluminum (Al remaining)
4. ตรวจสอบลักษณะรูปร่างของลูกบอล (Bond ball shape)
5. ตรวจสอบความแข็งแรงของชั้นซิลิกอน (SCOUB)

ตารางที่ 4.7 แสดงกลุ่มพารามิเตอร์ทำการทดสอบ

1 st bond Parameters	10% Lower low	Low	Mid	High	10% Over High
Force 3	14	16	18	20	22
USG 3	55	60	65	70	75
Time 3	14	14	14	14	14

2.2.1 ตรวจสอบความแข็งแรงของลายวงจร PAD Die (COUB)

เป็นการตรวจสอบและยืนยันพารามิเตอร์ว่าจะมีผลทำให้เกิดความเสียหายต่อลายวงจร PAD die หรือไม่ แสดงผลการตรวจสอบตามภาพที่ 4.30

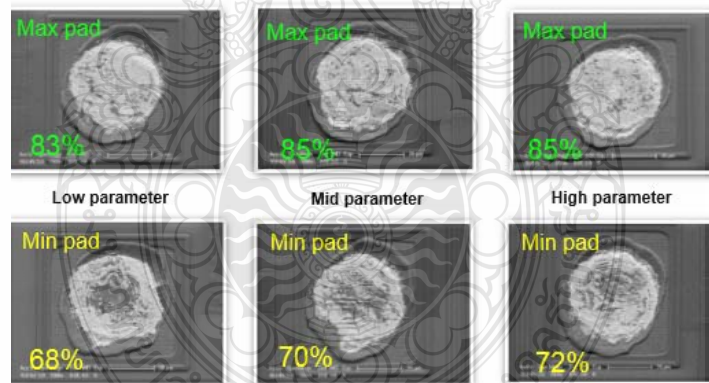


ภาพที่ 4.30 แสดงการตรวจสอบ COUB

ผลการตรวจสอบแสดงให้เห็นว่าไม่เจอ COUB เกิดขึ้นเลยในพารามิเตอร์ Low, Mid, High และ 10% ปรับจากด้านต่ำและด้านสูง จากจำนวน Sample Size 112 บอล ต่อกลุ่มพารามิเตอร์

2.2.2 ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ของ IMC (% IMC)

เป็นการตรวจสอบและยืนยันพารามิเตอร์ว่าจะทำให้เกิดการผสมเชื่อมติดระหว่างผิวโลหะที่ต่างชนิดกันตรงบริเวณรอยต่อเป็นการจัดเรียงตัวใหม่เกิดเป็นชั้นสารประกอบเชิงโลหะ (Intermetallic Compound IMC) เป้าประสงค์ต้องได้มากกว่า 60%

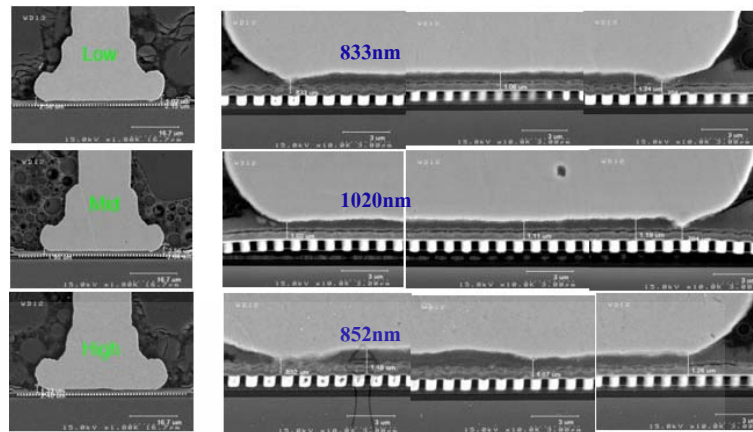


ภาพที่ 4.31 แสดงการตรวจสอบ %IMC

ผลลัพธ์การตรวจสอบ %IMC ของพารามิเตอร์ Low, Mid และ Max มีค่า % IMC $\geq 60\%$

2.2.3 ตรวจสอบความหนาของ Aluminum (Al remaining)

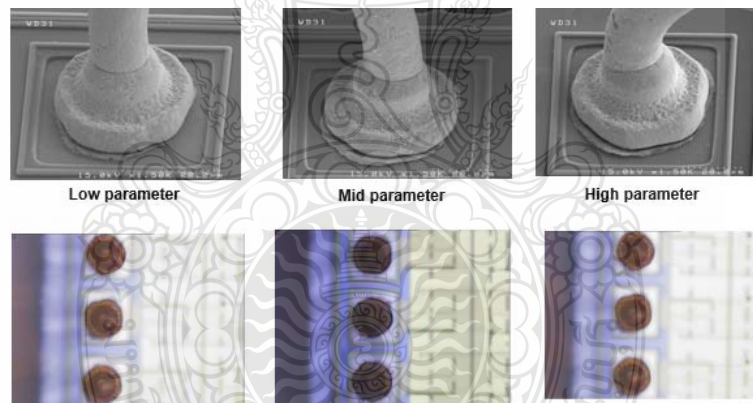
เป็นการตรวจสอบและยืนยันพารามิเตอร์ว่าชั้นของ Aluminum ยังคงเหลือพอตามเป้าประสงค์ที่ตั้งไว้คือ Min 250nm or $\geq 20\%$ Aluminum thickness



ภาพที่ 4.32 แสดงการตรวจสอบความหนาของ Aluminum

ผลลัพธ์การตรวจสอบความหนาของ Aluminum ของพารามิเตอร์ Low, Mid และ High มีค่า $\geq 280\text{nm}$

2.2.4 ตรวจสอบลักษณะรูปร่างของลูกบอล (Bond ball shape) เป็นการตรวจสอบและยืนยันพารามิเตอร์ว่าลักษณะรูปร่างของลูกบอลกลมเป็นปกติหรือไม่



ภาพที่ 4.33 แสดงลักษณะรูปร่างของลูกบอล

ผลจากการตรวจสอบจากการ SEM (หน่วยเป็น μm) และกล้องขยาย 50X ลักษณะรูปร่างของลูกบอลกลมและไม่มีความผิดปกติ

2.2.5 ตรวจสอบความแข็งแรงของชั้นซิลิกอน (SCOUB)

เป็นการตรวจสอบและยืนยันพารามิเตอร์โดยการนำงานไปอบที่ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วนำงานมาทำการดึง Ball Pull Test เพื่อดูความแข็งแรงของชั้นซิลิกอน

At Zero Hours

	Lower Low	Low	Mid	High	Over high
Reject (Wire)	0	0	0	0	0
Sample (Wire)	168	168	168	168	168
Result	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

At 64 Hours/250 C

	Lower Low	Low	Mid	High	Over high
Reject (Wire)	0	0	0	0	0
Sample (Wire)	168	168	168	168	168
Result	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass

ภาพที่ 4.34 แสดงผลการทำ SCOUR Test

ผลการตรวจสอบไม่เจอ SCOUR เกิดขึ้นเลยในพารามิเตอร์ Low, Mid, High และ 10% ปรับจากด้านต่ำและด้านสูง จากจำนวน Sample Size 168 บอด ต่อกลุ่มพารามิเตอร์

จากผลการทดลอง DOE ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติโดยพิจารณาจากเป้าประสงค์ความแข็งแรงของการยึดติด BST MIN 20กรัม และ BST AVG 25 กรัม ความแข็งแรงของการดึง BPT MIN 5 กรัม และ BPT AVG 7.5 กรัมและผลการตรวจสอบคุณภาพ พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดคือ

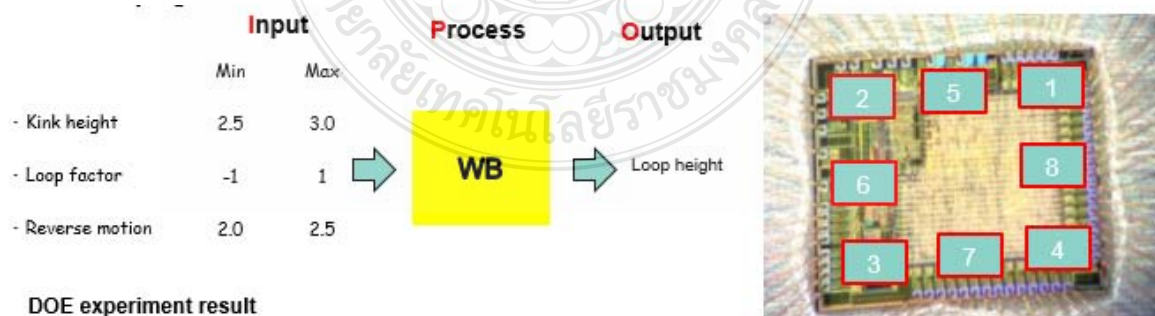
- Time 3 = 14 msec

- Force 3 = 16 gm.

- USG 3 = 60-70 mA.

3. การสร้าง Loop (Looping DOE Full factorial)

ออกแบบ DOE แบบครอบคลุมทุกตัวแปรโดยแสดงในรูปแบบ IPO คือ ปัจจัยป้อนเข้า (Input) กระบวนการเชื่อมลวด (Process) และการวัดผลความสามารถที่ออกมา (Output) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในสร้าง loop การเชื่อมลวดจาก 1st bond ไปยัง 2nd bond

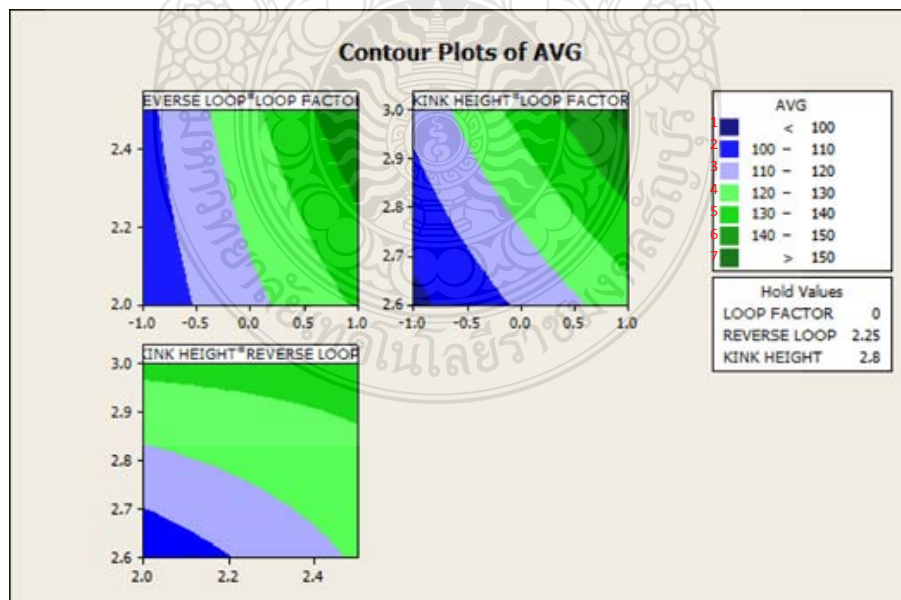


1. ทำการเชื่อมลวดเพื่อสร้าง Loop โดยใช้พารามิเตอร์หลัก คือ Kink height, Loop factor และ Reverse motion เพื่อสร้าง loop ให้ได้รูปร่างลักษณะตามที่ต้องการ โดยใช้ค่าพิคัดควบคุมที่ค่าด้านต่ำ และค่าด้านสูงตามลำดับ แล้วทำการวัดค่าโดยใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่าง 56 ค่าหรือเท่ากับ 1 units (56 sample size) ต่อกลุ่มพารามิเตอร์ อ้างอิง Spec ควบคุมความสูงของ loop height 100-150 um จากนั้นนำค่าที่วัดได้ของ loop height มาดูข้อมูลเปรียบเทียบกันในแต่ละกลุ่มพารามิเตอร์ว่าผลที่ออกมาอยู่ในระดับของขอบเขตหรือไม่ ดังภาพที่ 4.35

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	LOOP FACTOR	REVERSE MOTION	KINK HEIGHT	MIN	MAX	AVG
1	1	1	1	-1	2	2.6	84	102	95
2	2	1	1	1	2	2.6	123	149	109
3	3	1	1	-1	2.5	2.6	91	109	100
4	4	1	1	1	2.5	2.6	130	153	142
5	5	1	1	-1	2	3	101	120	112
6	6	1	1	1	2	3	140	162	153
7	7	1	1	-1	2.5	3	107	119	114
8	8	1	1	1	2.5	3	141	162	154

ภาพที่ 4.35 แสดงผลวัดความสูงของ Loop แต่ละกลุ่มพารามิเตอร์

จากภาพที่ 4.35 ผลลัพธ์ที่ออกมาค่า Loop height มีค่าที่ออกนอกเขตควบคุมในบางกลุ่มพารามิเตอร์แต่ก็ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ จากนั้นนำค่ากลางของ Loop height ไปวิเคราะห์หาความสูงด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติโดยใช้ Contour plots แสดงคุณภาพทางกายภาพจากสมการรีเกรสชัน (Regression) แสดงเป็นค่า Loop height ออกมาเป็นกลุ่มเขตสีต่าง ๆ โดยพิจารณาจากค่าของ Loop height ที่ 100-150um เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.36



ภาพที่ 4.36 การแสดงผลตอบสนองแบบโครงสร้างพื้นผิว (Response Surface)

จากภาพที่ 4.36 พิจารณาจากปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบซึ่งกันและกันแสดงเป็น โครงสร้างพื้นผิว 3 กลุ่ม โดยมีเป้าประสงค์ค่ากลางของ Loop height ที่ 100-150um

1. Reverse loop*loop factor ผลการวิเคราะห์เจดสีน้ำเงินหมายเลข 2 คือ ค่าที่ทำให้ loop height มีค่ามากกว่า 100-150um คือ Reverse loop อยู่ที่ 2.0-2.4 mils และ loop factor อยู่ที่ -0.1-1.0 mils

2. Kink height*loop factor ผลการวิเคราะห์เจดสีน้ำเงินหมายเลข 2 คือ ค่าที่ทำให้ loop height มีค่ามากกว่า 100-150um คือ Kink height อยู่ที่ 2.7-3.0 mils และ loop factor อยู่ที่ -0.5-1.0 mils

3. Kink height* Reverse loop ผลการวิเคราะห์เจดสีน้ำเงินหมายเลข 2 คือ ค่าที่ทำให้ loop height มีค่ามากกว่า 100-150um คือ Kink height อยู่ที่ 2.6-3.0 mils และ Reverse loop อยู่ที่ 2.0-2.4 mils

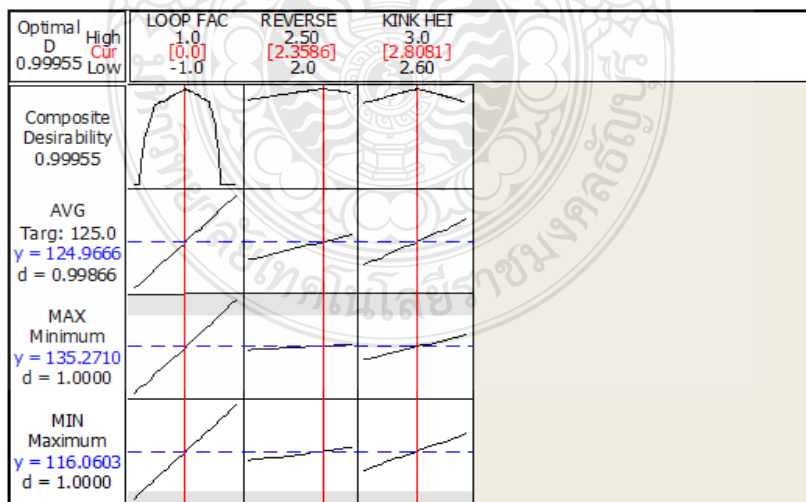
สมการของ Regression Coefficients

Variables relationship “Y = Loop Height”

$$Y = 122.375 + 17.125 * A + 5.125 * B + 10.875 * C + 3.375 * AB + 3.125 * AC - 4.375 * BC$$

เมื่อ Y : Loop Height, A : Loop Factor (mils), B : Reverse Loop (mils), C : Kink Height (mils)

จากนั้นใช้ Response optimizer ในการคำนวณหาว่าที่ระดับปัจจัยใดที่ให้ผลลัพธ์ที่เอาท์พุทที่ดีที่สุด โดยเลือกป้อนค่าเป้าหมาย (Target) ที่ต้องการคือ loop height ความสูงระหว่าง 100-150um ซึ่งค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการคำนวณของโปรแกรมสำหรับค่า loop height คือ loop factor เท่ากับ 0mils Reverse loop เท่ากับ 2.35 และ Kink high เท่ากับ 2.80 mils ที่ความพึงพอใจโดยรวม (Composite Desirability) เท่ากับ 0.99 ดังภาพที่ 4.37



ภาพที่ 4.37 กราฟแสดงจุดที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย

จากการทดลอง DOE ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติโดยพิจารณาจากเป้าประสงค์ความสูงของ loop พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดคือ

- Kink height fix : 2.8 mils
- Loop factor : -0.5 to 0.5 mils
- Reverse motion loop : 2.3 mils

4.3.4 ประสิทธิภาพของกระบวนการเชื่อมลวด (Wire bond performance)

นำ 1st bond พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดโดยกำหนดเป็น 3 ช่วงพิกัดคือ ช่วงด้านต่ำ ช่วงกลาง และช่วงด้านสูงเพื่อดูประสิทธิภาพและ Yield ของกระบวนการเชื่อมลวด และกระบวนการ Final Test โดยผลิตงานล็อตละ 150units ป้อนไปยังกระบวนการเชื่อมลวดและ Final test ดังตารางที่ 4.8 และ 4.9

ตารางที่ 4.8 แสดง Yield ผลลัพธ์ของกระบวนการเชื่อมลวด

Lot	In	Out	W/B Yield %	Reject
ND27FJ50 (Low)	150	150	100	Zero defect
ND27FJ40 (Mid)	150	148	98.6	particle on pad 2 units
ND27FJ60 (High)	150	150	100	Zero defect

ผลของกระบวนการเชื่อมลวดด้วยพารามิเตอร์ช่วงต่ำ Yield เท่ากับ 100% จำนวนงานป้อนเข้าและออกมา 150units ไม่มีงานเสียเลย พารามิเตอร์ช่วงกลาง Yield เท่ากับ 98.6% จำนวนงานป้อนเข้า 150units มียอดที่ออกมา 148units มีงานเสีย 2units เป็นงานที่มีเศษสกปรกติดอยู่บนตัวชิ้นงาน ของเสียในลักษณะนี้จะไม่เกี่ยวข้องกับความสามารถของกระบวนการเชื่อมลวด พารามิเตอร์ช่วงสูง Yield เท่ากับ 100% จำนวนงานป้อนเข้าและออกมา 150units ไม่มีงานเสียเลย

ตารางที่ 4.9 แสดง Yield ผลลัพธ์ของกระบวนการ Final Test

Lot	In	Out	Test Yield %	Reject
ND27FJ50	150	150	100	Zero defect
ND27FJ40	148	148	100	Zero defect
ND27FJ60	150	150	100	Zero defect

พารามิเตอร์ทั้ง 3 กลุ่ม รับงานมาทำการทดสอบจากกระบวนการก่อนหน้า โดยพารามิเตอร์ช่วงต่ำรับงานมา 150units ผ่านกระบวนการ Test 150units ไม่มีงานเสียเลย พารามิเตอร์ช่วงกลาง รับงานมา 148units ผ่านกระบวนการ Test 148units ไม่มีงานเสียเลย พารามิเตอร์ช่วงสูงรับงานมา 150units ผ่านกระบวนการ Test 150units ไม่มีงานเสียเลย

4.3.5 ความเชื่อถือได้ของผลิตภัณฑ์ (Reliability test result)

หลังจากได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมและผ่านกระบวนการพิสูจน์ความสามารถในกระบวนการเชื่อมลวดรวมถึงผ่าน Yield Performance ของกระบวนการเชื่อมลวดและ Final Test สิ่งที่จะต้องทำเพื่อสร้างความมั่นใจให้กับลูกค้าและตัวผลิตภัณฑ์เองในการเปลี่ยนวัตถุดิบ คือ การทดสอบความเชื่อถือของผลิตภัณฑ์โดยมีตัวชี้วัดความสามารถและเป้าประสงค์ตาม Reliability Test Program

นำผลิตภัณฑ์ทั้งช่วงพารามิเตอร์ Low, Mid และ High ไปเข้าโปรแกรมเพื่อทำการทดสอบความน่าเชื่อถือ ซึ่งผลลัพธ์จากการทดสอบ ผ่านการทดสอบทั้งหมดของโปรแกรมแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดง โปรแกรมและผลลัพธ์ในการทดสอบความเชื่อถือของผลิตภัณฑ์

CTQ	ตัวชี้วัดความสามารถ (Yi)	เป้าประสงค์ควบคุม (Spec)	ผลลัพธ์
ความเชื่อถือได้ Reliability	HTSL 150°C	500hr	Pass
	HTSL 175°C	100hr	Pass
	TMCL /TC -65/150°C	200C	Pass
	TMCL /TC -55/125°C	500C	Pass
	HAST 130°C/85%RH	96hr	Pass
	HAST 110°C/85%RH	264hr	Pass
	THB/H3TRB 85°C/85%RH	1680hr	Pass

4.3.6 สรุปผลการทดลอง

ความสามารถของกระบวนการเชื่อมลวด (Bond Ability and Control)

จากผลการทดลอง DOE ผลลัพธ์ผ่านทุกรายการของพิกัดควบคุมดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงผลลัพธ์ความสามารถของกระบวนการเชื่อมลวด

CTQ	ตัวชี้วัดความสามารถ (Yi)	เป้าประสงค์ควบคุม (Spec)	Mean	SD	ผลลัพธ์
Bond Ability	Ball Shear (gf)	20-30	25.35	1.61	Pass
	Ball Pull (gf)	≥ 5.0	7.58	0.93	Pass
	Ball Size(um)	42-48	45.41	1.39	Pass
	Ball Thickness(um)	8-12	10.22	1.04	Pass
	Al Smear(um)	≤ 9.0	4.29	1.88	Pass

ตารางที่ 4.11 แสดงผลลัพธ์ความสามารถของกระบวนการเชื่อมลวด (ต่อ)

CTQ	ตัวชี้วัดความสามารถ (Yi)	เป้าหมายข้อกำหนด (Spec)	Mean	SD	ผลลัพธ์
	Loop Height(um)	100-150	130	NA	Pass
	Stitch Pull(gf)	≥ 4	7.53	0.65	Pass
	IMC (%)	$\geq 60\%$	77	NA	Pass
Bond Ability	Damage/cracks in the bond pad (COUB)	Zero	0	0	Pass
	SCOUB	<10%	0	0	Pass
	Al Thickness	Min 250nm or $\geq 20\%$ Alu thickness	900	NA	Pass
	Wire bond Yield	$\geq 99.7\%$	99.85	NA	Pass
	Final Test Yield	$\geq 99.00\%$	99.90	NA	Pass

ค่าความน่าเชื่อถือได้ (Reliability Result)

ผลลัพธ์จากการทดสอบผ่านทุกรายการของพิกัดควบคุมดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงโปรแกรมและผลลัพธ์ในการทดสอบความเชื่อถือของผลิตภัณฑ์

CTQ	Yi	Objective (Spec)	Result
	HTSL 150°C	500hr	Pass
	HTSL 175°C	100hr	Pass
	TMCL /TC -65/150°C	200C	Pass
Reliability	TMCL /TC -55/125°C	500C	Pass
	HAST 130°C/85%RH	96hr	Pass
	HAST 110°C/85%RH	264hr	Pass
	THB/H3TRB 85°C/85%RH	1680hr	Pass

พิกัดควบคุม (Spec) ที่ใช้ใน Production

ตารางที่ 4.13 แสดงพิกัดควบคุม (Spec)

ตัวชี้วัดความสามารถ	พิกัดควบคุม (Spec)
Ball Shear (gf)	19-31
Ball Pull (gf)	≥ 3.5
Ball Size(um)	41-49
Ball Thickness(um)	7-13
Al Smear(um)	≤ 10.0
Loop Height(um)	100-150
Stitch Pull(gf)	≥ 4

พารามิเตอร์การเชื่อมลวดของเครื่องจักร (Machine Parameters)

1st Bond Parameters	Force	16 grams(Fix)
	Time	14 msec (Fix)
	USG	60 - 70 mAmp
Loop	Kink Height	2.8 mils (Fix)
	Loop factor	-0.5-0.5 mils
	Reverse Motion Loop	2.3 mils (Fix)
2nd Bond Parameters	Force1	150 grams (Fix)
	Force3	120 - 140 grams
	USG3	10-20 mAmp
FAB Gas Flow Rate	Gas Flow rate	0.5 - 0.1 l/Min
เครื่องจักร	KnS	IConn

* เป็นค่ามาตรฐานที่ใช้อยู่

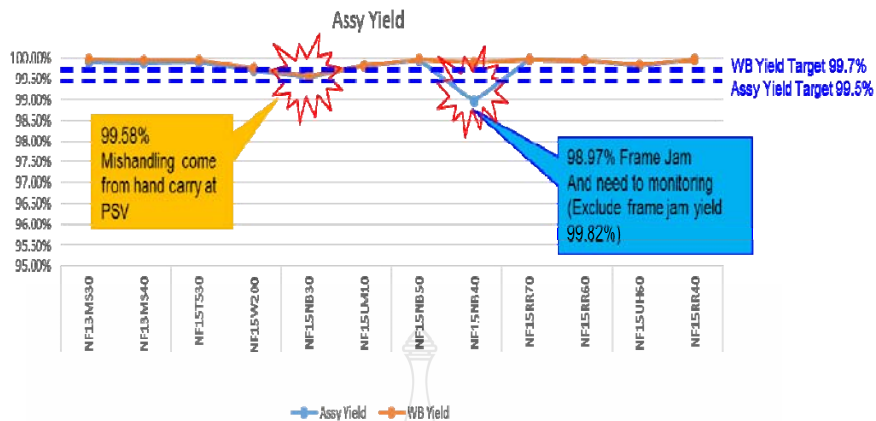
4.4 การดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase)

4.4.1 คัดเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด (Select the best solutions) ในขั้นตอนการปรับปรุงนี้เป็นการนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์แล้วมาทำการทดลอง (Pilot run) เพื่อดูความสามารถของกระบวนการเชื่อมลวดในปริมาณงานที่มากขึ้น พารามิเตอร์การเชื่อมลวดที่เหมาะสมที่สุด

FAB Gas Flow Rate	Gas Flow rate	0.5 - 0.1 l/Min
1st Bond Parameters	Force	16 grams(Fix)
	Time	14 msec (Fix)
	USG	60 - 70 mAmp
Loop	Kink Height	2.8 mils (Fix)
	Loop factor	-0.5-0.5 mils
	Reverse Motion Loop	2.3 mils (Fix)
2nd Bond Parameters	Force1	150 grams (Fix)
	Force3	120 - 140 grams
	USG3	10-20 mAmp

4.4.2 ทดลองดำเนินการ (Pilot and implement)

ป้อนงานทั้งหมด 12 lots (6Kunits/lot) จำนวน 72Kunits ผ่านกระบวนการผลิต IC ตาม flow แผนภูมิการไหลตั้งแต่ Input จนถึง Output เพื่อดูความสามารถและ Performance ของกระบวนการโดยให้สภาพการผลิตที่เหมือนกับงานที่ผลิตในกระบวนการแบบปกติ แล้วทำการติดตาม Yield ของกระบวนการเชื่อมลวดและ yield ผลรวมทั้งหมดรวมถึงผลจากการทดสอบ (Final test yield) ดังภาพที่ 4.38

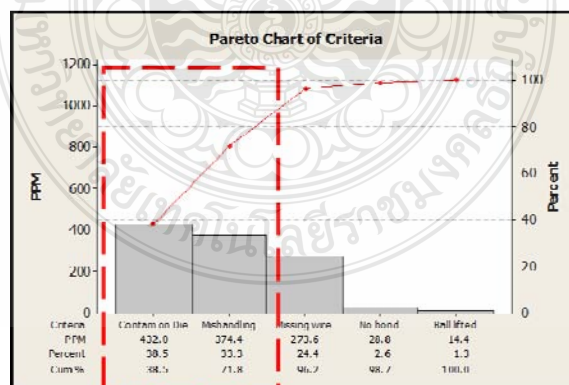


ภาพที่ 4.38 แสดง Yield ของกระบวนการเชื่อมลวดและผลรวมทั้งหมด

งานทั้งหมด 12 lots พิจารณากระบวนการเชื่อมลวดและกระบวนการผลิตดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. พิจารณากระบวนการเชื่อมลวดจะพบว่ามิงาน 1 lot Yield 99.58% น้อยกว่าเป้าหมาย 99.7% สาเหตุมาจากความผิดพลาดของพนักงานตรวจสอบที่ไปโดนตัวงานทำให้เกิดเส้นลวดลัมจึงเป็นงานเสีย

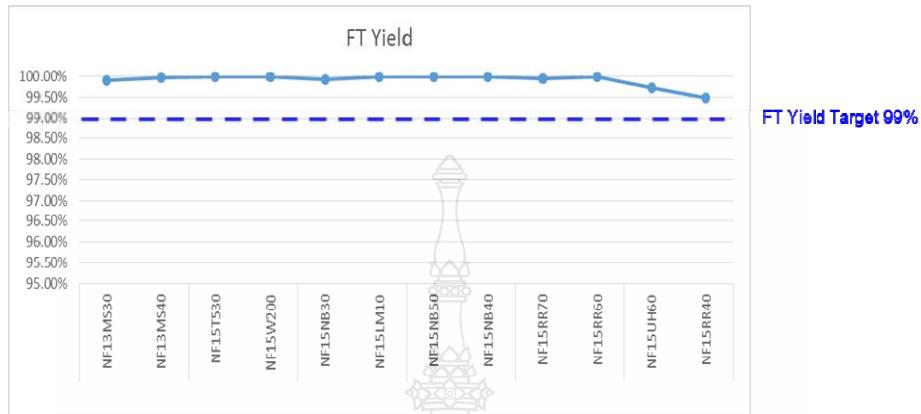
2. พิจารณากระบวนการผลิตรวมจะพบว่ามิงาน 1 lot Yield 98.97% น้อยกว่าเป้าหมาย 99.5% ซึ่งสาเหตุมาจาก Lead frame ไปเบียดติดขัดกับระบบ Work holder เครื่องจักรทำให้เกิดงานเสีย ซึ่งทั้งสองสาเหตุไม่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ในการเชื่อมลวดแต่อย่างใด จากนั้นต้องวิเคราะห์งานที่เสียในกระบวนการเชื่อมลวดโดยการนำของเสียที่เกิดขึ้นมาวิเคราะห์ผ่าน โปรแกรมสถิติโดยใช้ Pareto Chart 80: 20 มาแสดงเพื่อค้นหาหลักว่าเกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อมลวดอย่างไร ดังแสดงในภาพที่ 4.39



ภาพที่ 4.39 แสดงเปอร์เซ็นต์ PPM ของเสียในกระบวนการเชื่อมลวดในรูปแบบ Pareto

จากภาพที่ 4.39 พบว่าลักษณะของเสียที่เกิดขึ้นมีทั้งหมด 5 แบบลักษณะ เมื่อนำมาคำนวณคิดเป็น PPM จะเจอ 80% คือ สิ่งสกปรกบนตัวงาน (Contamination) และ เส้นลวดลัม (Mishandling)

แต่ของเสียที่เกิดขึ้นใน 80% ไม่ได้เกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อมลวดโดยตรง และได้ทำการแจ้งกับ ส่วนที่ทำให้เกิดปัญหาไปทำการปรับปรุงแก้ไข ต่อไปก็มาพิจารณา Final test yield ทั้ง 12 lots ดัง แสดงในภาพที่ 4.40

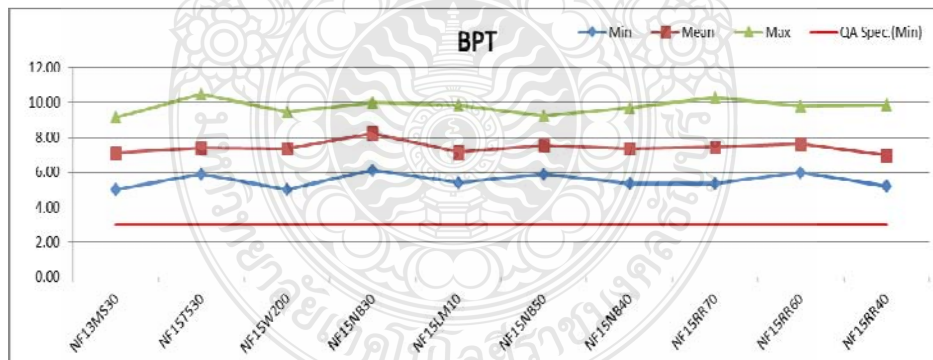


ภาพที่ 4.40 แสดง Yield ของกระบวนการ Final Test

Final Test yield ของงานทั้ง 12 lots สูงกว่าเป้าหมาย 99% และไม่เจอของเสียที่บ่งบอกถึง กระบวนการเชื่อมลวดแต่อย่างใด

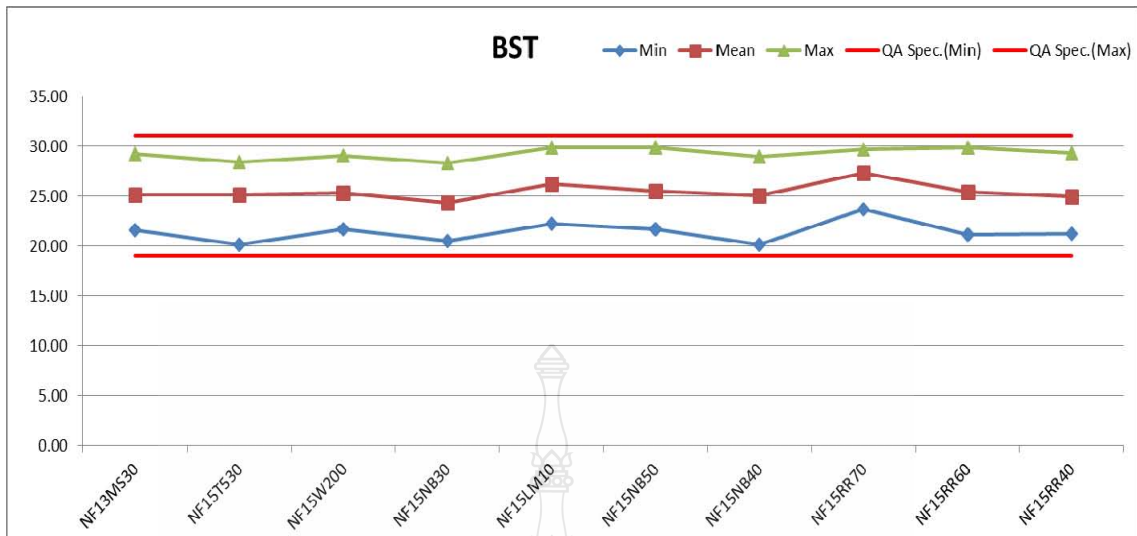
การวัดความสามารถในกระบวนการเชื่อมลวด

ประกอบด้วย Ball pull test, Ball share test, Ball size, Ball thickness และ Al smear ดังแสดง ในภาพที่ 4.41-4.46 ผลของการตรวจสอบผ่านอยู่ในขอบเขตของ spec ทั้งหมด



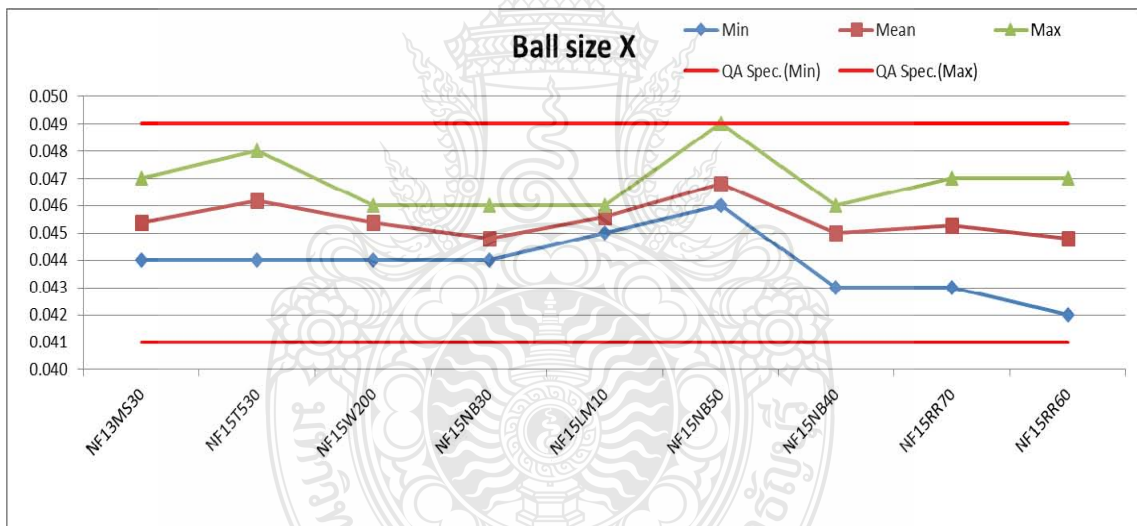
ภาพที่ 4.41 แสดงผลของ BPT

Ball Pull Test ผ่านมากกว่าค่าพิคัดควบคุม ≥ 3.5 ทุก lot



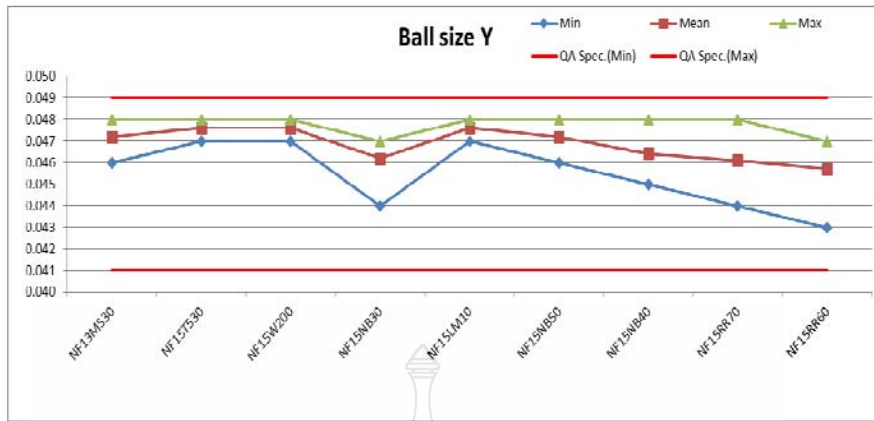
ภาพที่ 4.42 แสดงผลของ BST

Ball Shear Test ผ่านอยู่ในค่าพิสัยควบคุม 19-31 กรัม ทุก lot



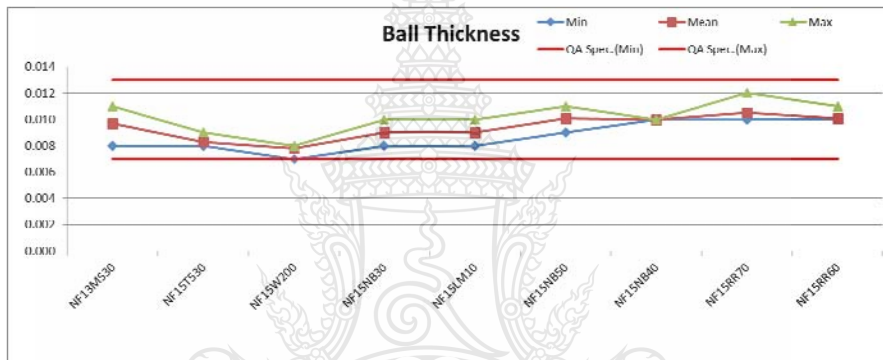
ภาพที่ 4.43 แสดงผลของ Ball Size

Ball Size X ผ่านอยู่ในค่าพิสัยควบคุม 41-49 um ทุก lot



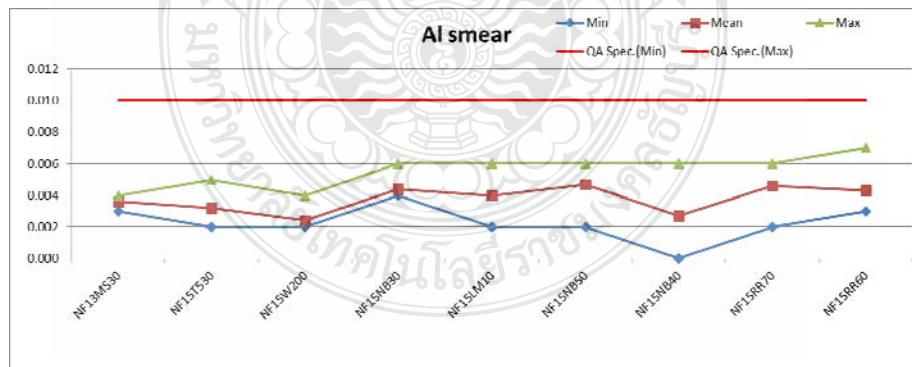
ภาพที่ 4.44 แสดงผลของ Ball Size

Ball Size Y ผ่านอยู่ในค่าพิสัยควบคุม 41-49 um ทุก lot



ภาพที่ 4.45 แสดงผลของ Ball Thickness

Ball Thickness ผ่านอยู่ในค่าพิสัยควบคุม 7 - 13 um ทุก lot

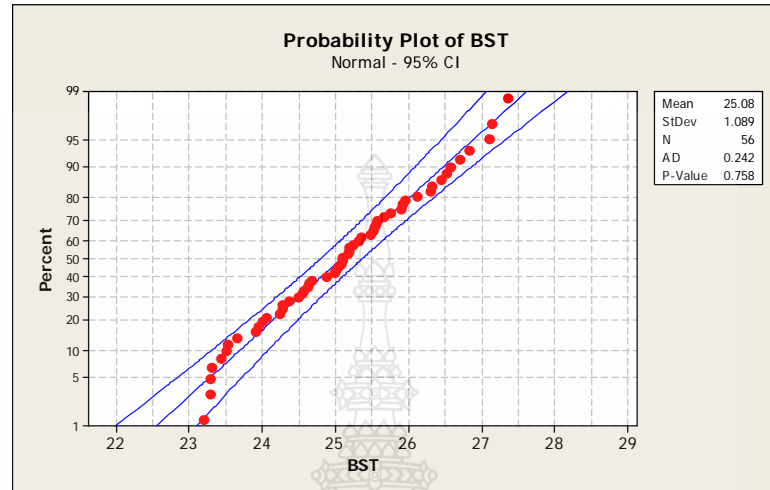


ภาพที่ 4.46 แสดงผลของ Aluminum Smear

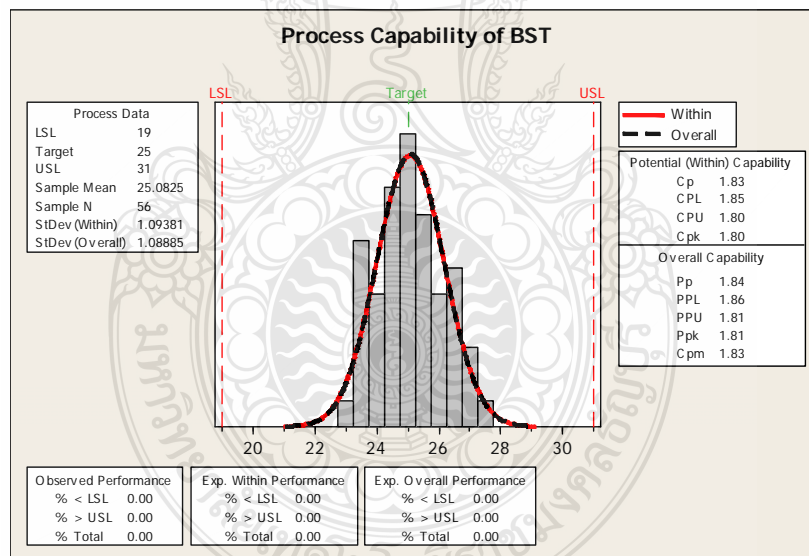
Aluminum Smear ผ่านอยู่ในค่าพิสัยควบคุม ≤ 10.0 um ทุก lot

สุ่มข้อมูลบาง lot มาทดสอบเพื่อดูความปกติของข้อมูลและเปรียบเทียบค่า P-Value ค่า Mean และค่า Cpk จากภาพที่ 4.41 Ball Shear Test จำนวน 1unit 56 ค่า แสดงค่า P-Value เท่ากับ 0.758 หมายถึง

ข้อมูลมีความปกติ ค่ากลางอยู่ที่ 25.08 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่วางไว้ และจากภาพที่ 4.42 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ แสดงค่า Cpk เท่ากับ 1.80 มากกว่าค่าที่กำหนดไว้คือ >1.67 จึงสรุปได้ว่า พารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในกระบวนการเชื่อมลวดเป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและใช้ได้จริง

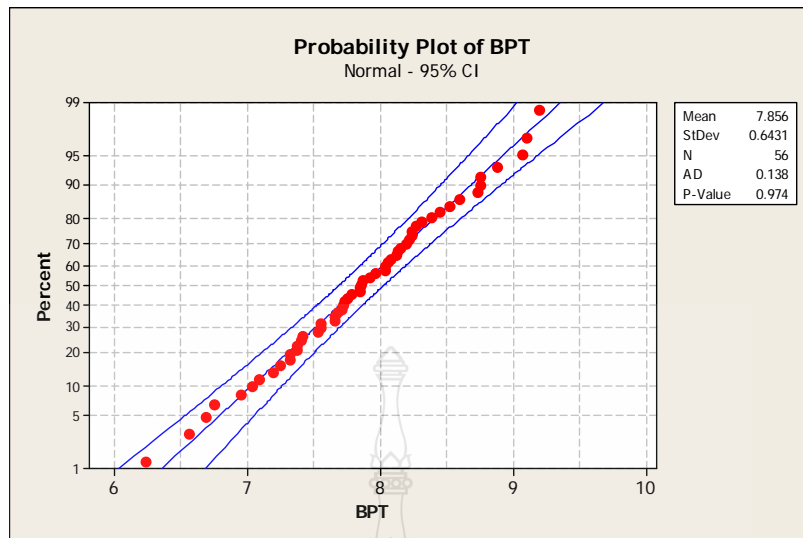


ภาพที่ 4.47 การทดสอบความปกติของข้อมูล

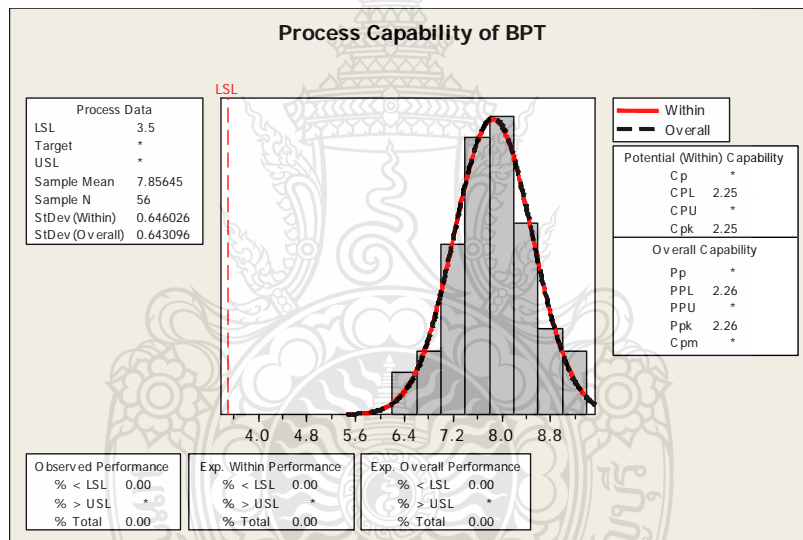


ภาพที่ 4.48 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

กลุ่มข้อมูลบาง lot มาทดสอบเพื่อดูความปกติของข้อมูลและเปรียบเทียบค่า P-Value ค่า Mean และค่า Cpk จากรูปที่ 4.43 Ball Pull Test จำนวน 1unit 56 ค่า แสดงค่า P-Value เท่ากับ 0.974 หมายถึง ข้อมูลมีความปกติ ค่ากลางอยู่ที่ 7.856 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่วางไว้ และจากภาพที่ 4.44 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ แสดงค่า Cpk เท่ากับ 2.25 มากกว่าค่าที่กำหนดไว้คือ >1.67 จึงสรุปได้ว่า พารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในกระบวนการเชื่อมลวดเป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและใช้ได้จริง

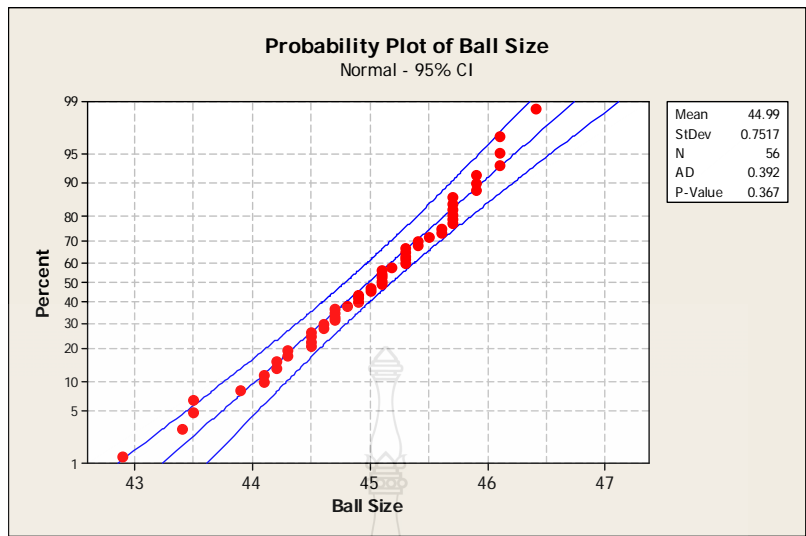


ภาพที่ 4.49 การทดสอบความปกติของข้อมูล

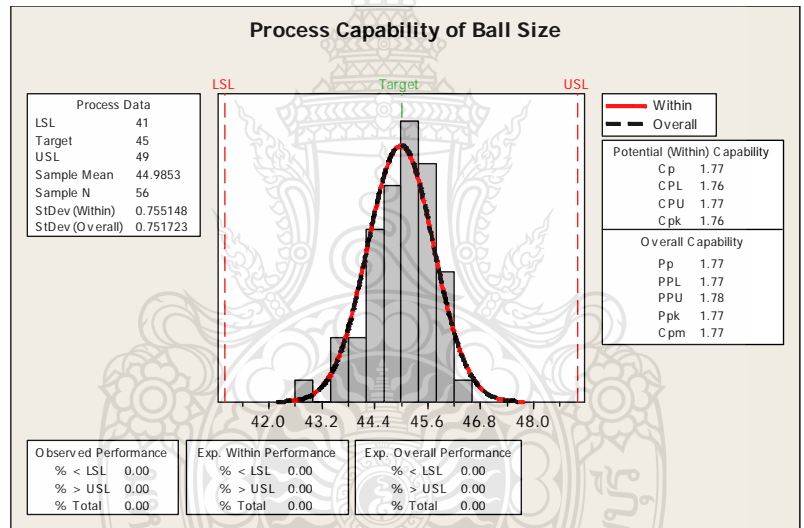


ภาพที่ 4.50 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

สุ่มข้อมูลบาง lot มาทดสอบเพื่อดูความปกติของข้อมูลและเปรียบเทียบค่า P-Value ค่า Mean และค่า Cpk จากภาพที่ 4.45 Ball Size จำนวน 1unit 56 ค่า แสดงค่า P-Value เท่ากับ 0.367 หมายถึง ข้อมูลมีความปกติ ค่ากลางอยู่ที่ 44.99 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่วางไว้ และจากภาพที่ 4.46 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ แสดงค่า Cpk เท่ากับ 1.78 มากกว่าค่าที่กำหนดไว้คือ >1.67 จึงสรุปได้ว่า พารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในกระบวนการเชื่อมลวดเป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและใช้ได้จริง



ภาพที่ 4.51 การทดสอบความปกติของข้อมูล



ภาพที่ 4.52 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ

เปรียบเทียบความสามารถระหว่างลวดทองคำและทองแดง

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบความสามารถระหว่างลวดทองคำและทองแดง

CTQ	ตัวชี้วัดความสามารถ (Yi)	ลวดทองคำ		ลวดทองแดง		ผลลัพธ์
		Mean	SD	Mean	SD	
Bond Ability	Ball Shear (gf)	26.93	5.52	25.35	1.61	
	Ball Pull (gf)	4.75	0.76	7.58	0.73	
	Ball Size(um)	53.00	2.79	45.41	1.39	
	Ball Thickness(um)	8.50	1.10	10.22	1.04	
	Al Smear(um)	4.20	1.82	4.29	1.81	
	Loop Height(um)	125	5.90	130	5.6	
	Stitch Pull(gf)	6.78	0.69	7.53	0.65	
	IMC (%)	79	NA	77	NA	
	Damage/cracks (COUB)	0	0	0	0	
	SCOUB	0	0	0	0	
	Al Thickness(nm)	900	NA	900	NA	
	Wire bond Yield		99.45		99.83	
	Final Test Yield		99.40		99.74	
	Reliability Test	Reliability Test	Pass		Pass	
Cost USD/Kunits	Cost of wire	27.37		2.39		

เปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการเชื่อมลวดและต้นทุนวัตถุดิบระหว่างลวดทองคำและทองแดง

ความสามารถของกระบวนการเชื่อมลวดพิจารณาค่ากลางและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจะเห็นว่าผลลัพธ์มีความแปรผันที่น้อยกว่า

Wire bond yield และ Final test yield ลวดทองแดงจะมีผลผลิตสุทธิต่ำที่สูงกว่าอย่างมีนัยนัยนั้นหมายถึงสามารถลดของเสียจากกระบวนการและเพิ่มผลผลิต

ต้นทุนวัตถุดิบสามารถลดต้นทุนได้ถึง 91.27% ต่อการผลิตงาน 1000 หน่วย

4.5 การดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการควบคุม (Control Phase)

4.5.1 กำหนดแผนควบคุมการปรับปรุง (Quality the improvement)

ขั้นตอนนี้เป็นการควบคุมปัจจัยป้อนเข้าของกระบวนการเชื่อมลวดทองแดง คือ พารามิเตอร์ของ 1st bond, 2nd bond และ loop เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงและรักษาคุณภาพที่ได้ทำการเลือกไว้แล้ว โดยโปรแกรมจะถูกทำการล็อกช่วงพารามิเตอร์และบรรจุเข้าไปในส่วนกลางของระบบ จากนั้นได้ทำการออกตารางการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) แผนการควบคุมกระบวนการ (Control Plan) ดังภาพที่ 4.53 ตารางควบคุมบอนด์พารามิเตอร์ (Bonding Parameters) ดังภาพที่ 4.54 ตาราง Check sheet พารามิเตอร์ (Product check sheet) ดังภาพที่ 4.55 เพื่อให้พนักงานสามารถทำการตรวจสอบความถูกต้องตามที่กำหนดไว้ในเอกสาร โดยช่างจะทำการตรวจสอบค่าต่าง ๆ ให้อยู่ภายใต้ข้อกำหนดในแต่ละครั้งของการติดตั้งเครื่องจักร และให้พนักงานหน้าเครื่องบันทึกผลลงในตาราง Check sheet เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้



STATION INSTRUCTION DOCUMENT	
TECN : Txxxxx	
KnS : ICONN / Wire bonder Cu WIRE BONDING PARAMETER for PCF85176 & PCF85162 Package : TSSOP48/56 , Wafer process : VIS_T2A_C175SC	
Parameter	Condition
Capillary 12 NC	7900 10102256
Capillary part	C8-FD-1520-G37
Min bond pad pitch (um)	72
Min BPO (umxum)	51
Capillary color coding	Red /Green/Black
Package / Part	TSSOP48/56_PCF85162 & PCF85176
Cu wire / 12 NC	0322 268 00025 (500 M) / 0322 268 00026 (1000 m)
Bonding parameter	
Impact parameter	1st 2nd
- Tip	6.0 6.0
- C/V	0.9 1.0
- Contact detect mode	F Mode V mode
- Contact threshold (%)	70 70
- FS threshold (grams)	12 -
- USG frequency	Low High
Bonding parameter	1st 2nd
Bonding Style	Pro bond Pro Stitch
Segment	Seg 1 Seg 2 Seg 3 Seg 1 Seg 2 Seg 3
- Mode	Force Force Force Scrub Z-XY Force
- USG current (mAmps)	10 20 60-70 0 0 10-20
- USG Bond Time (msec)	2 4 14 - - 2
- Initial Force (grams)	- - - - - -
- Initial Force time 30%	- - - - - -
- USG ramp (%)	0 20 40 25 20 10
- Force	60 60 16 150 - 120-140
- Force ramp time (%)	- - - - - -
- Force ramp	75 35 25 10 40 40
- Z distance (um)	- - - 25 - -
- XY distance (um)	- - - -2.0 -4.0 2.0
- Scrub cycle (Cycle)	0 2 0 1 - 1
- Scrub X Amplitude (um)	0 1.5 0 - - -
- Scrub Y Amplitude (um)	0 1 0 - - -
- Scrub Amplitude (um)	- - - 1 1 1
- Amplitude (um)	- - - - - -
- Frequency (Hz)	100 350 100 450 600 600
- Scrub phase	- - - Circular In-Line Circular
Ball parameter	
- Wire size (um)	20
- Wire type	Bare Cu wire 99.99%
- EFO fire time	210-230
- EFO current (MAmp)	59
- EFO gap (um)	20
- Tail extension (um)	15
- EFO box type	Fine Wire
- First EFO time (%)	105
Bond Temperature	
- Pre-heat (°C)	260 ± 5
- Bond Temperature (°C)	260 ± 5
- Post Heat (°C)	100 ± 5
Mix gas flow	
- Gas flow nozzle (l/min)	0.45 - 0.55
- Gas flow tube (l/min)	0.45 - 0.55
Pressure	
- Diffuser (psi)	25 - 30
- Air guide (psi)	25 - 30
- Tensioner (psi)	20 - 25
Loop	Work Loop
- Kink Height	2.80
- Rev Motion	2.3
- Loop Factor	0 +/- 1
- Capillary life time (kbond)	800
Specification control : Buy off / QA roving WPT : Buy off ≥ 5.0g. / QA spec ≥ 3.5g. Al Smear 2 sides : Buy off ≤ 0.009 / QA spec ≤ 0.010 mm BST : Buy off 20g - 30g. / QA spec 19g - 31g. FAB : Buy of Spec 0.034 +/- 0.003 mm Ball size : Buy off 0.042 - 0.048 mm / QA Spec. 0.041 - 0.049 mm Loop Height Target : 0.125 ± 0.025 mm Ball thickness : Buy off 0.008 - 0.012 mm / QA Spec 0.007 - 0.013 mm Temperature : Pre Heat : 260 ± 5 C / Heater 260 ± 5 C / Post Heat 100 ± 5 C	

ภาพที่ 4.54 ตารางควบคุมบอนด์พารามิเตอร์

		Operation: Wire bond		Form :		
		Title: Product Buy Off for KHS - Cu Wire 20 um TSSOP48/56 (PCF85162/PCF85176)		Spec. :		
		Department: WIRE BOND ASSY		Date :		
MIC No.						
Operator (Shift Change) / Technician (Converse; Type change)	Product	Date / Shift				
		Product				
		Package				
		Lot ID No.				
		Volume				
		Remark				
	Product Details	Change new product		(Yes/No)		
		- Wire type/Size and Color (20um/BK)		(Write)		
		- Capillary type		(Write)		
	Check list	Bond 1 Parameter	Tip / CV / Contact Detect Mode (6.0/0.9F)		/	/
			Force S1 (60)			
			Force S3 (16)			
		Bond 2 Parameter	Tip / CV / Contact Detect Mode (6.0/1.0V)		/	/
			Force S1 (150)			
			Force S3 (120-140)			
Ball Parameter		USG S3 (65 - 70)				
		Wire Size (0.8) (mils)				
		EFO Current (59)				
EFO fire time (210 - 230)						
Mix Gas Flow Rate						
- At Nozzle (0.45 - 0.55 l/min)						
- At bonding area (0.45 - 0.55 l/min)						
Cu Wire Spool expire Date (dd/mm/Time)						
Fresh Ball Bond is not oxidized? (Accept/Reject)						
Change Capillary? (Yes/No)						
Change HB ? (Yes/No)						
Buy-off	Buy-off Product					
	- Ball size (0.042 - 0.048 mm) Min/Max BS		/	/		
	- Ball thickness (0.008 - 0.012 mm) Min/Max BT		/	/		
	- AI Smear (≤ 0.009 mm) Max AI Smear		/	/		
	- BPT (≥ 5.0 g) Min BPT		/	/		
	- BST (Individual 20 - 30 g) Min/Max BST		/	/		
	- BST Avg (Mean 23 - 27 g) Mean BST		/	/		
	Temperature Pre/Main/Post (200 ± 5 / 200 ± 5 / 100 ± 5 °C)		/	/		
	1st/mid/last index visual inspection buy-off (Acc/Rej)		/	/		
Technician	Check list	Capillary Change	impedance of Low Frequency USG (80 - 208 ohm) of high (write)			
Operator / Technician Badge No.						
QA Badge no./ QA Stamp (Flowing once per day)						
Note : *Sampling Size Sample size of BPT and BST : All pins x 1 Unit when change product, change capillary, change HB & WIC Sample size of BT BD AI Smear 5 balls (Pin 1 + Pin Corner) x 1 Unit every when change product, change capillary, change HB & WIC						

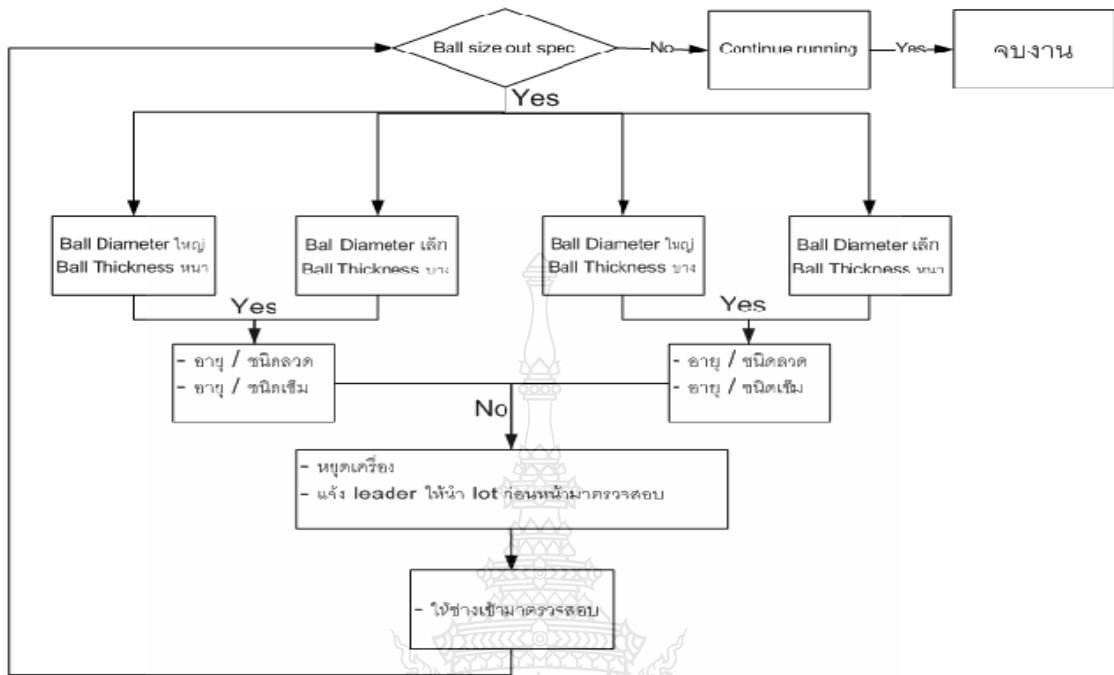
ภาพที่ 4.55 ตาราง Check sheet พารามิเตอร์

4.5.2 สร้างมาตรฐานการแก้ปัญหา (Standardize the solutions)

เพื่อสร้างมาตรฐานเดียวกันในการแก้ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมลวดด้วยการปฏิบัติตามขั้นตอนของการทำ OCAP (Out of Control Action Plan) เป็นแผนการรองรับเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม OCAP ที่ใช้ควบคุมมาตรฐานการแก้ปัญหาในกระบวนการเชื่อมลวดประกอบด้วย

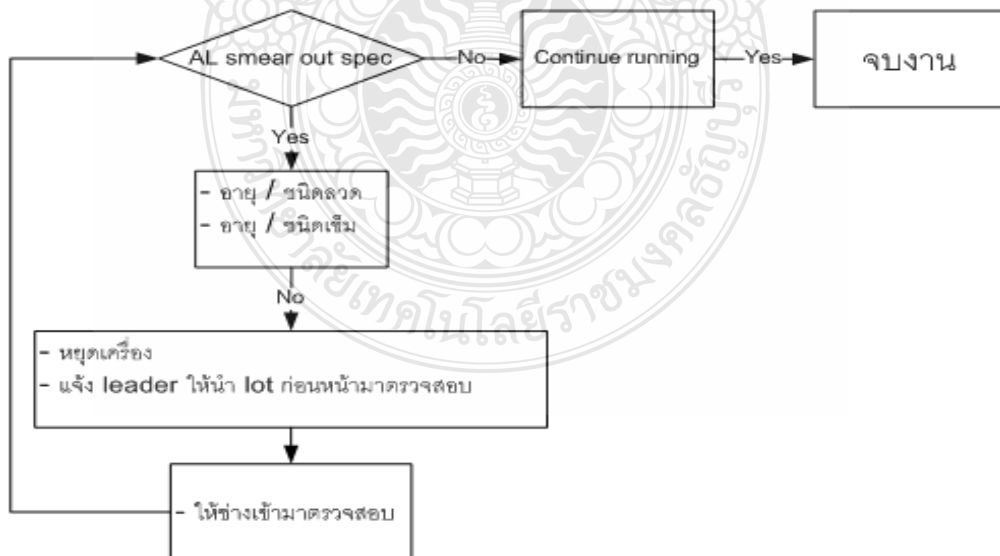
- OCAP สำหรับ Ball Size / AI Smear
- OCAP สำหรับ BST
- OCAP สำหรับ WPT

OCAP Ball size out spec

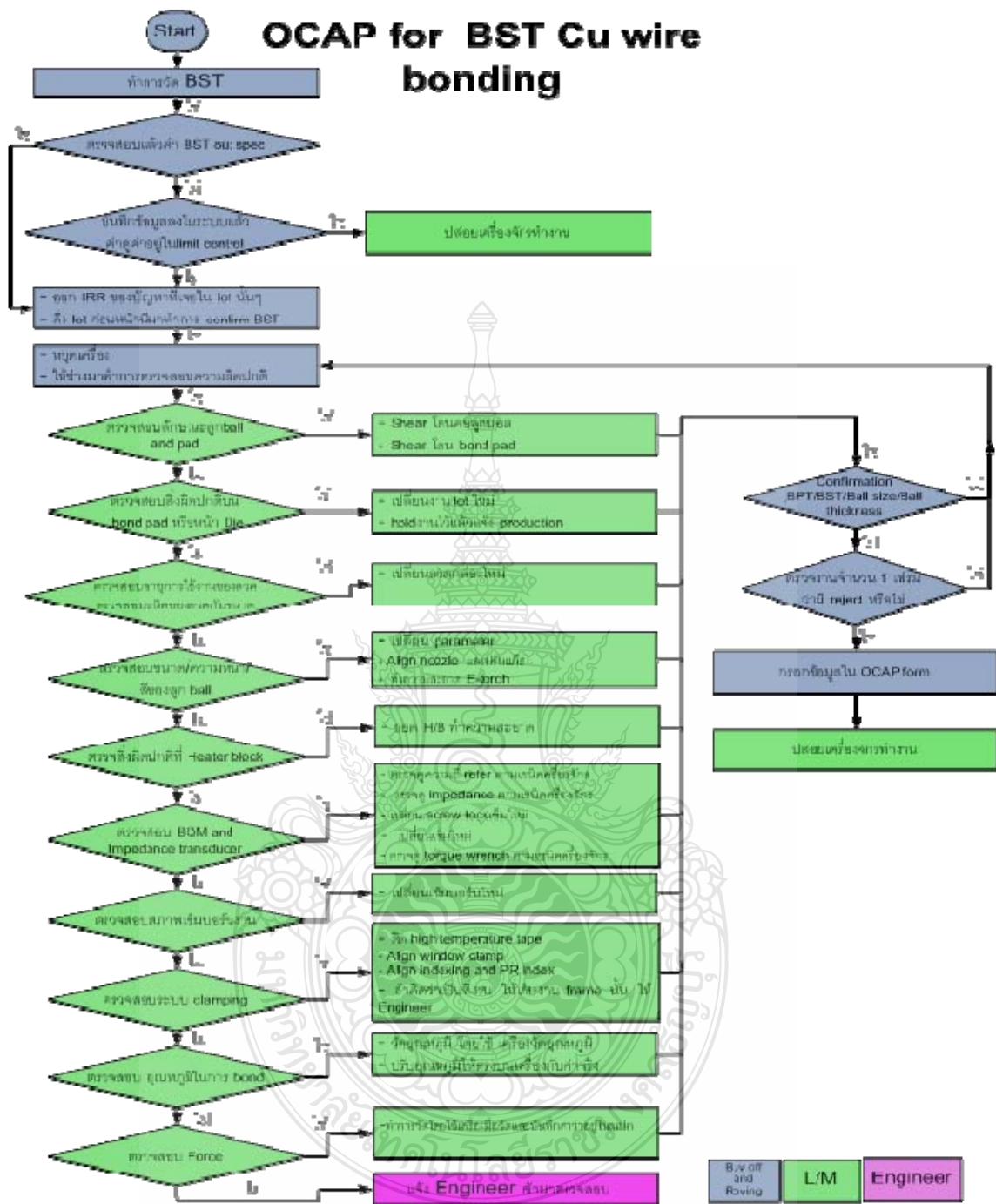


ภาพที่ 4.56 OCAP Ball Size สำหรับ Operators
การปฏิบัติงานเมื่อ Ball Size มีค่าอยู่นอกจากที่กำหนด

OCAP AI Smear out spec

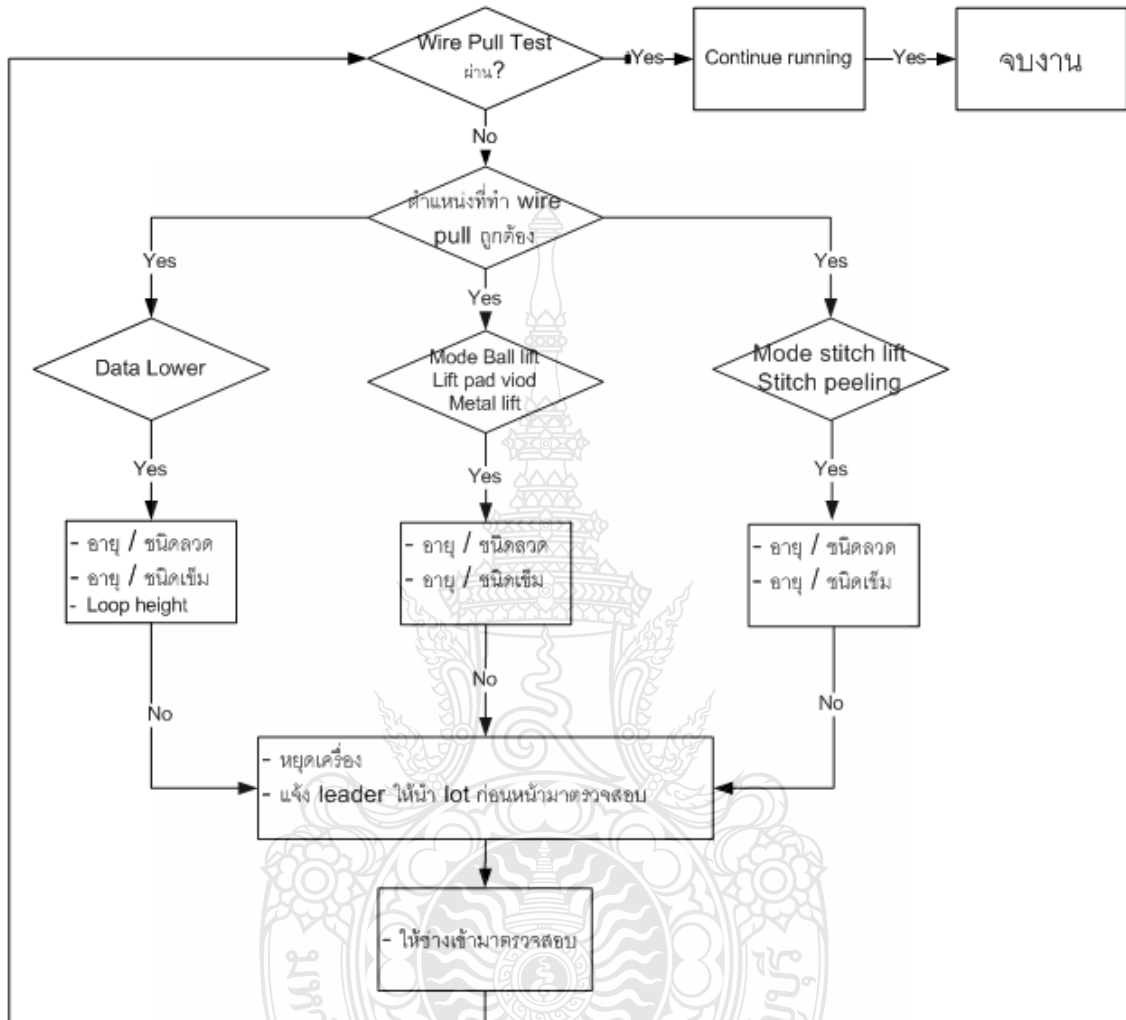


ภาพที่ 4.57 OCAP AI-Smear สำหรับ Operators
การปฏิบัติงานเมื่อ AI Smear มีค่าอยู่นอกจากที่กำหนด (Control limit)



ภาพที่ 4.58 OCAP สำหรับ BST ของ CU Wire
 การปฏิบัติงานเมื่อ BST มีค่าอยู่นอกจากมาตรฐานที่กำหนด

OCAP Wire Pull Test

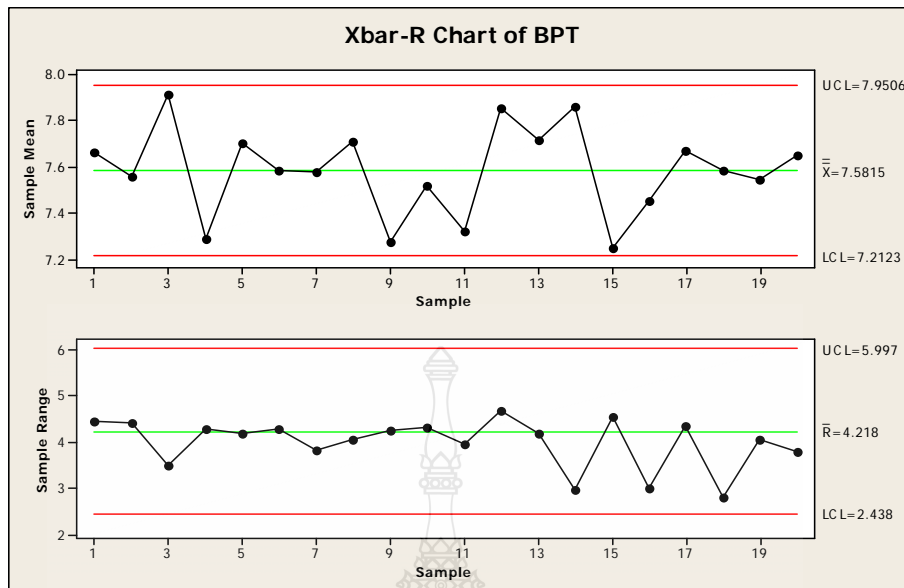


ภาพที่ 4.59 OCAP WPT สำหรับ Operators

การปฏิบัติงานเมื่อ WPT มีค่าอยู่นอกจกที่กำหนด (Control limit)

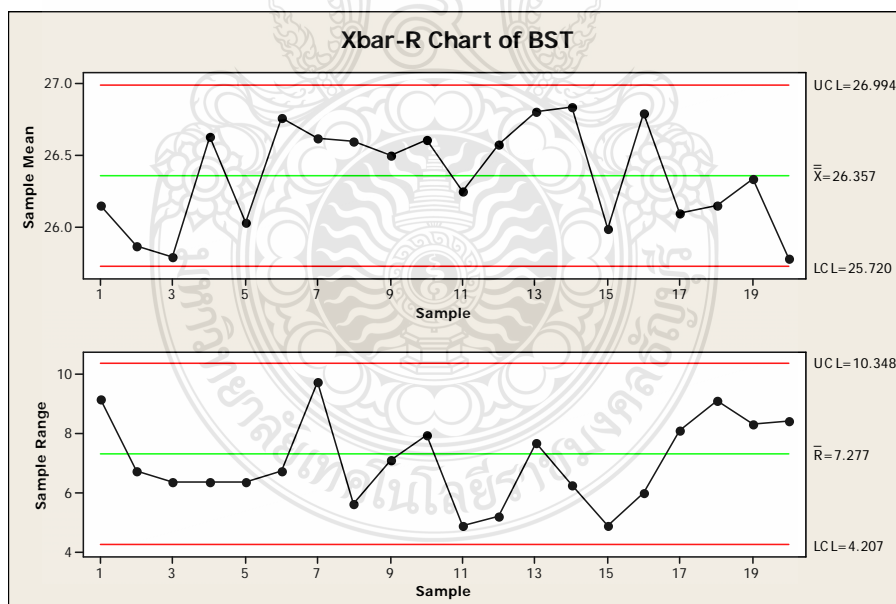
4.5.3 ดำเนินการตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง (Implement ongoing measurement)

การควบคุมกระบวนการ โดยการตรวจจับความผันแปรที่ผิดปกติของข้อมูลจากกระบวนการ โดยอาศัยแผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการเฝ้าระวังและป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพ ดังภาพที่ 4.60 - 4.65



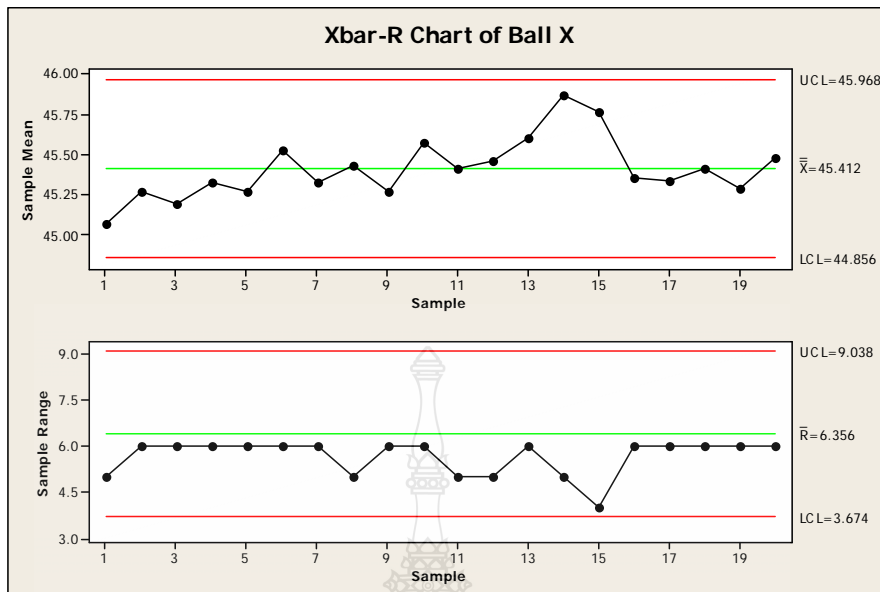
ภาพที่ 4.60 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}-R$ ของ BPT

Ball Pull Test Data นำข้อมูลแต่ละค่าพล็อตลงในกราฟเพื่อดูค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยไม่มีข้อมูลใดตกอยู่นอกขีดขอบเขตควบคุมของกระบวนการแสดงว่ากระบวนการไม่มีความผันแปรที่ผิดปกติและอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ



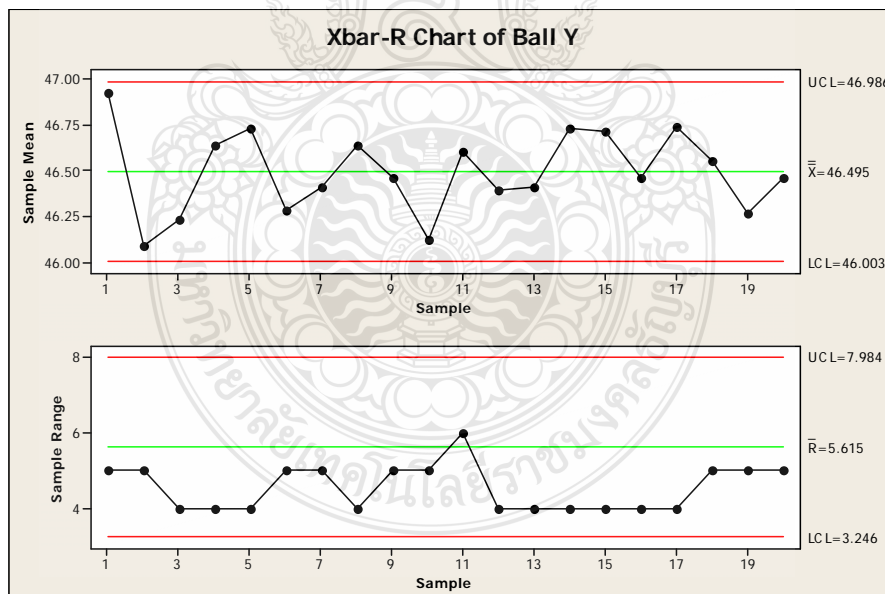
ภาพที่ 4.61 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}-R$ ของ BST

Ball Shear Test Data นำข้อมูลแต่ละค่าพล็อตลงในกราฟเพื่อดูค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยไม่มีข้อมูลใดตกอยู่นอกขีดขอบเขตควบคุมของกระบวนการแสดงว่ากระบวนการไม่มีความผันแปรที่ผิดปกติและอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ



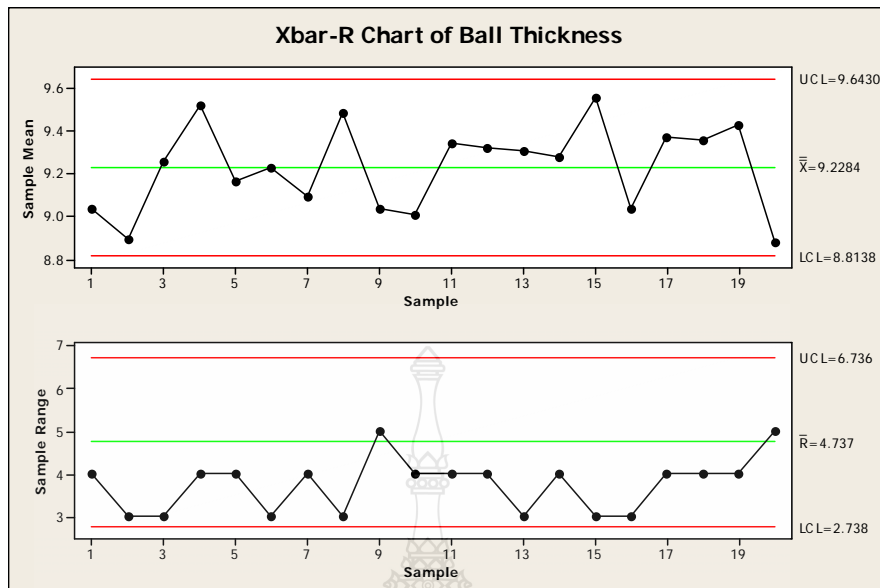
ภาพที่ 4.62 แผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$ ของ Ball Size X

Ball Size X Data นำข้อมูลแต่ละค่าพล็อตลงในกราฟเพื่อดูค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยไม่มีข้อมูลใดตกอยู่นอกขีดขอบเขตควบคุมของกระบวนการแสดงว่ากระบวนการไม่มีความผันแปรที่ผิดปกติและอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ



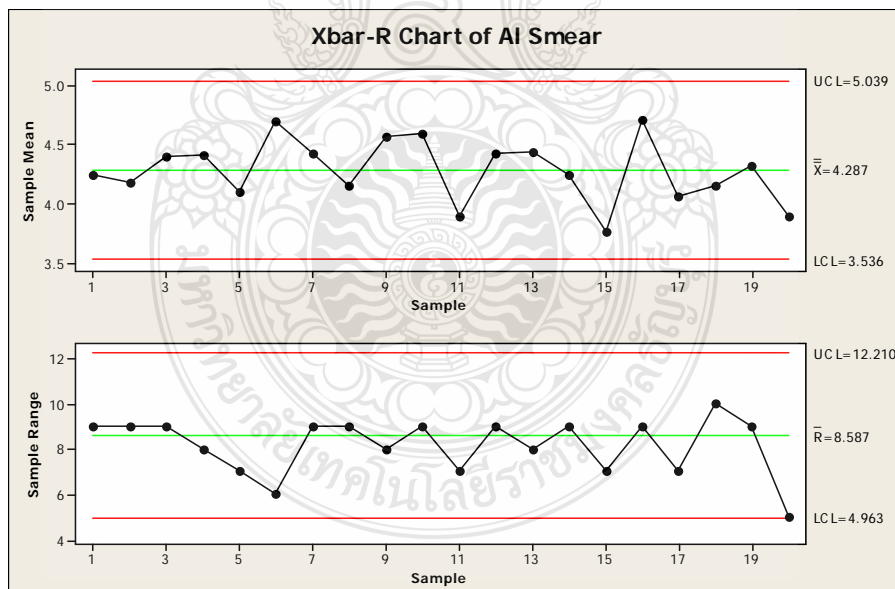
ภาพที่ 4.63 แผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$ ของ Ball Size Y

Ball Size Y Data นำข้อมูลแต่ละค่าพล็อตลงในกราฟเพื่อดูค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยไม่มีข้อมูลใดตกอยู่นอกขีดขอบเขตควบคุมของกระบวนการแสดงว่ากระบวนการไม่มีความผันแปรที่ผิดปกติและอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ



ภาพที่ 4.64 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}-R$ ของ Ball Thickness

Ball Thickness Data นำข้อมูลแต่ละค่าพล็อตลงในกราฟเพื่อดูค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยไม่มีข้อมูลใดตกอยู่นอกขีดขอบเขตควบคุมของกระบวนการแสดงว่ากระบวนการไม่มีความผันแปรที่ผิดปกติและอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ



ภาพที่ 4.65 แผนภูมิควบคุม $\bar{X}-R$ ของ Aluminum Smear

Aluminum Smear Data นำข้อมูลแต่ละค่าพล็อตลงในกราฟเพื่อดูค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยไม่มีข้อมูลใดตกอยู่นอกขีดขอบเขตควบคุมของกระบวนการแสดงว่ากระบวนการไม่มีความผันแปรที่ผิดปกติและอยู่ภายใต้การควบคุมเชิงสถิติ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการลดต้นทุนวัตถุดิบโดยการนำวัตถุดิบลวดทองแดงมาทดแทนลวดทองคำในกระบวนการเชื่อมลวดโดยใช้เทคนิคซิกส์ ซิกม่า พิจารณาถึงคุณสมบัติของลวดทองแดงจะมีความใกล้เคียงกับลวดทองคำแต่มีความโดดเด่นกว่าในด้านการนำความร้อน สภาพการนำไฟฟ้า ความเค้นแรงดึง และความแข็ง จากการทดลองและวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการเมื่อเปลี่ยนเป็นลวดทองแดงโดยวัดจาก CTQ ซึ่งเป็นตัวชี้วัดจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ (1) ความสามารถของกระบวนการเชื่อมลวด Cpk ที่ต้องมากกว่า 1.67 (2) ความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ การลดต้นทุนสามารถทำได้ตามที่ตั้งเป้าหมายไว้ โดยลดต้นทุนของวัตถุดิบลวดขนาด 20 ไมครอนในผลิตภัณฑ์ TSSOP56 ได้ถึง 91.27% ต่อการผลิตงาน 1000 ตัว สามารถสรุปการดำเนินงานได้ดังนี้

5.1.1 ขั้นตอนการระบุปัญหา (Define Phase) ตามแนวทางของซิกส์ ซิกม่า ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อองค์กร จากการวิเคราะห์ได้พบว่าค่าวัตถุดิบที่มีราคาแพงและมีความผันผวนเปลี่ยนแปลงตามกลไกตลาดโลก ส่งผลให้องค์กรมีผลกำไรที่ไม่แน่นอน

5.1.2 ขั้นตอนการวัด (Measure Phase) เป็นการวิเคราะห์กระบวนการวัดซึ่งพบว่ากระบวนการวัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันทั้งเครื่องมือที่ใช้วัดและพนักงานที่ทำการวัดมีความสามารถดีเยี่ยม และเชื่อถือได้สามารถนำไปใช้ในการทดลองได้เป็นอย่างดี โดยพิจารณาจาก ค่า P-Value > 0.05, ค่า Cpk > 1.67 และค่าเปอร์เซ็นต์ Contribution < 30%

5.1.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analysis Phase) ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดขีดความสามารถของกระบวนการ โดยการกำหนด CTQ วัตถุประสงค์และกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการบอนด์ซึ่งหลักการเชื่อมลวดคือการเชื่อมลวดจากลายวงจร (Die) ไปยังขา lead frame เพื่อให้ครบวงจรโดยใช้พารามิเตอร์หลัก คือ เวลาในการบอนด์ (Bond Time) อุณหภูมิในการบอนด์ (Bond Temp) และมีพลังงานที่ใช้ในการบอนด์ (USG) แรงกดในการบอนด์ (Force) เพื่อลดระยะเวลาในการเชื่อมติดให้เร็วขึ้นโดยจะกำหนดอุณหภูมิของการบอนด์ไว้ที่ 260 ± 5 องศาเซลเซียส แล้วทำการปรับพารามิเตอร์ของ USG, Force และ Time เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของ 2nd Bond, 1st Bond และ Loop โดยใช้โปรแกรมสำเร็จในการออกแบบ DOE (Design of Experiment) และวิเคราะห์ข้อมูลแสดงคุณภาพทางกายภาพจากสมการรีเกรสชัน (Regression) แสดงผลตอบสนองแบบโครงสร้างพื้นผิว (Response Surface) และ Response optimizer ในการคำนวณหาว่าที่ระดับปัจจัยใดที่ให้ผลลัพธ์ที่เอาท์พุทที่ดีที่สุด

5.1.4 ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) ขั้นตอนนี้จะนำพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ผ่านการทำ DOE และวิเคราะห์มาแล้วเป็นกรอบพารามิเตอร์ที่ปลอดภัยในช่วงด้านต่ำ ช่วงกลางและช่วงด้านสูง โดยจะเลือกพารามิเตอร์ช่วงกลางมาทำการรันในโปรดักชันเรียกว่า Pilot Run ในสภาพการทำงานที่เหมือนกับงานปกติที่มีอยู่ในโปรดักชัน โดยป้อนงานทั้งหมด 12 ล็อต (6Kunits/lot) รวมทั้งสิ้น 72Kpcs แล้วทำการ Bond เพื่อดู Bond Ability, Performance และ Quality จากการเก็บข้อมูล Buy off แสดงผลลัพธ์ที่อยู่ในขอบเขตการควบคุมทั้งหมดและไม่มีสัญญาณที่บ่งบอกถึงความผิดปกติใด ๆ เกิดขึ้น

5.1.5 ขั้นตอนการควบคุม (Control Phase) เป็นขั้นตอนการควบคุมปัจจัยป้อนเข้าของกระบวนการเชื่อมลวด ไปกำหนดในเอกสารแผนการควบคุมกระบวนการ (Control Plan) เอกสารควบคุมพารามิเตอร์ (Cu wire bonding parameters) เอกสารการ Buy off (Cu wire product buy off) รวมทั้งกำหนดให้ใช้แผนภูมิควบคุม $\bar{X} - R$ เพื่อใช้ตรวจจับความผันแปรของกระบวนการเพื่อไม่ให้เกิดปัญหา

5.2 การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษการเปลี่ยนวัตถุดิบจากลวดทองคำเป็นลวดทองแดงโดยใช้เทคนิคซิกส์ ซิกมา พโยม เหลือแก้ว (2555) การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการเชื่อมลวดโดยใช้เทคนิคซิกส์ ซิกมา สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบได้ร้อยละ 91.27 ต่องาน 1000 หน่วย ลวดทองคำจะมีต้นทุนอยู่ที่ 27.37USD ลวดทองแดงจะมีต้นทุนอยู่ที่ 2.39USD คิดเป็นเงินที่ลดได้ 24.98USD ซึ่งวัตถุดิบชนิดนี้อยู่ในกระบวนการเชื่อมลวด การเปลี่ยนวัตถุดิบไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในการดำเนินการเปลี่ยนลวดทองคำเป็นลวดทองแดงต้องกำหนดตัวชี้วัด CTQ เพื่อหาปัจจัยนำเข้าหรือพารามิเตอร์ในการบอนด์ของกระบวนการเชื่อมลวดโดยใช้พารามิเตอร์หลัก คือ เวลาในการบอนด์ (Bond Time) อุณหภูมิในการบอนด์ (Bond Temp) และมีพลังงานที่ใช้ในการบอนด์ (USG) แรงกดในการบอนด์ (Force) เพื่อลดระยะเวลาในการเชื่อมติดให้เร็วขึ้น โดยจะกำหนดอุณหภูมิของการบอนด์ไว้ที่ 260 ± 5 องศาเซลเซียส แล้วทำการปรับพารามิเตอร์ของ USG, Force และ Time เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด หลังจากนั้นก็นำกรอบพารามิเตอร์ที่ปลอดภัยมาทำการรัน โดยจะเลือกพารามิเตอร์ช่วงกลางมาทำการรันในโปรดักชันเรียกว่า Pilot Run ในสภาพการทำงานที่เหมือนกับงานปกติที่มีอยู่ในโปรดักชันเพื่อดู Bond Ability, Performance และ Quality ในขั้นตอนนี้จะมีความยุ่งยากตรงที่ต้องแจกแจงรายละเอียดให้ครบถ้วนรวมถึงสิ่งที่ต้องควบคุมเป็นพิเศษเพราะถือว่าเป็นเรื่องใหม่ที่คนปฏิบัติงานยังไม่มีประสบการณ์ หลังจากนั้นจะทำการรวบรวมข้อมูลเพื่อมาวิเคราะห์ จากการวิเคราะห์แสดง

ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในขอบเขตการควบคุมทั้งหมด รวมถึงไม่เจอของเสียที่มาจากกระบวนการเชื่อมลวดทองแดง จึงสามารถปล่อยงานให้ป็นงานปกติได้ (Release to Mass Production)

5.3 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

จากการดำเนินการศึกษา การเปลี่ยนวัตถุดิบจะมีผลต่อกระบวนการเป็นอย่างมากและต้องเปลี่ยน Specification Control ใหม่เพราะฉะนั้นการกำหนดวัตถุประสงค์และปัจจัยป้อนเข้าเป็นสิ่งที่สำคัญและต้องครอบคลุมทั้งหมด อีกทั้งต้องทำการทดสอบความเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ให้ผ่านตามมาตรฐานที่กำหนด (Reliability Program) การดำเนินการวิจัยจึงต้องใช้เวลาพอสมควรและสิ่งที่จะต้องคำนึงถึง คือ วงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Product life cycle) ที่ต้องคำนวณให้ชัดเจนเพื่อให้มั่นใจว่าผลิตภัณฑ์ยังคงเป็นที่ต้องการของตลาดอยู่

5.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอนาคต

5.4.1 ขยายขอบเขตของการศึกษา โดยการประยุกต์หลักการเปลี่ยนวัตถุดิบลวดทองแดงเป็นทองแดงกับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

5.4.2 สามารถประยุกต์หลักการ โดยการเปลี่ยนวัตถุดิบทดแทนชนิดอื่นนอกเหนือจากเส้นลวด

บรรณานุกรม

- จักริน ยิ้มย่อ. (2555). การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียโดยใช้หลักการซิกส์ ซิกม่า
กรณีศึกษา บริษัท เล็นตัส เทคโนโลยีส์ (ไทย) จำกัด. (การค้นคว้าอิสระ ปรินญูญามหาบัณฑิต,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).
- ณัฐพันธ์ เขจรนันท์ และคณะ. (2548). คู่มือปฏิบัติ ซิกส์ ซิกม่า เพื่อสร้างความเป็นเลิศในองค์กร
(พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพมหานคร : บริษัท เอ็กซ์เปอร์เนท จำกัด.
- ธีรพงษ์ บุญสมปอง. (2553). การลดปัญหาทูลสต็อกคอมโพเน้นท์โดยใช้แนวทางซิกส์ ซิกม่า
กรณีศึกษากระบวนการประกอบแผงวงจรรุ่นก่อน. (การค้นคว้าอิสระ ปรินญูญามหาบัณฑิต,
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).
- ปารเมศ ชูติมา และ ภาณุ ชูตเจ้อจัน. (2550). การประยุกต์ซิกส์ ซิกม่าเพื่อลดของเสียจากการพัน
ลือรอนพื้นในกระบวนการผลิตกล่องนาฬิการาคาแพง. (วิทยานิพนธ์ ปรินญูญามหาบัณฑิต,
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).
- พโยม เหลือแก้ว. (2555). การปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการเชื่อมลวดโดยใช้เทคนิคซิกส์ ซิกม่า.
(การค้นคว้าอิสระ ปรินญูญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).
- ศุภชัย นาทะพันธ์. (2551). การควบคุมคุณภาพ Quality Control. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น
จำกัด (มหาชน).
- สิทธิศักดิ์ พุกขปีติกุล. (2548). การพัฒนาคุณภาพแบบก้าวกระโดด ด้วยวิธี ซิกส์ ซิกม่า
(พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร : ส.ส.ท.
- อภิชาติ สติชัยธรรม. (2555). การปรับปรุงคุณภาพในการผลิตตามแนวความคิดของซิกส์ ซิกม่า
กรณีศึกษา บริษัทชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์โดยหลักการ DMAIC. (การค้นคว้าอิสระ
ปรินญูญามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).
- อาร์ คาวานาซ อาร์ นิแมน และ พี เพนเด. (2548). เส้นทางสู่ ซิกส์ ซิกม่า. กรุงเทพมหานคร :
พิมพ์ที่ออป จำกัด.
- Breyfogle, F.W. III. (1999). **Implementing six sigma smarter solutions using statistical methods.**
New York: John Wiley&Sons.
- Deley, M., et.al. (2004). **The Emergence of High Volume Copper Ball Bonding.** SemiconWEST
- Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Pfund, M. E. (2011). **Managing, Controlling, and
Improving Quality.**

บรรณานุกรม (ต่อ)

Norman, G., Kaczmarek, P. & Pexton. (2010). **Integrating Six Sigma with Lean & work out in healthcare.** [online]. Available: <http://www.isixsigma.com>.

Sung, H. P. (2003). **Six Sigma and other management initiatives**, in Six Sigma for Quality and Productivity Promotion, Tokyo: Asian Productivity Organization, pp.122-135.

Thomas, S. (2009). **Reliability of Cu Wire Bonding on Active Area for Automotive Applications** 11th EPTC, Singapore.



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายกิตติศักดิ์ บัวคง
การศึกษา	ปริญญาตรี สาขา วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ประสบการณ์ในการทำงาน	วิศวกรผลิตภัณฑ์ บริษัทไลอ้อนอิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด วิศวกรกระบวนการ บริษัทสแต๊ทส์ ซัพพลาย (ประเทศไทย) จำกัด วิศวกรอาวุโส บริษัทเอ็นเอ็กซ์พี แมนูแฟกเจอร์ริง (ไทยแลนด์) วิศวกรอาวุโส บริษัทเอ็นเอ็กซ์พี แมนูแฟกเจอร์ริง (ไทยแลนด์) 303 หมู่ 3 ถนนแจ้งวัฒนะ ตลาดบางเขน เขตหลักสี่ กรุงเทพ 10210
อาชีพปัจจุบัน	199/328 หมู่บ้านฟ้ากรีนพาร์ครังสิตคลอง 3 ม. 1 ต. บึงขัง อ. ธัญบุรี
สถานที่ทำงาน	จ. ปทุมธานี 12130
ที่อยู่ปัจจุบัน	