

บทที่ 5

การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

หลังจากขั้นตอนการนิยามปัญหาเพื่อกำหนดแนวทางต่าง ๆ ในการแก้ไขปัญหาลแล้ว ในขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหานี้ จะเป็นขั้นตอนเพื่อศึกษาถึงแหล่งที่มาที่เป็นสาเหตุของปัญหาด้วยการใช้เครื่องมือทางสถิติต่าง ๆ ช่วยในการศึกษา โดยจะเริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดของกระบวนการผลิตในทุก ๆ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา และทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อที่จะประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหา

จากนั้นจะทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อที่จะลดขอบเขตของแหล่งที่มาของปัญหาที่ทำการพิจารณา และนำผลลัพธ์จากการทดลองดังกล่าวมาศึกษาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องด้วยการระดมความคิดเห็นจากกลุ่มสมาชิกที่ได้คัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ความชำนาญ และปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตที่พิจารณา และทำการคัดเลือกปัจจัยต่าง ๆ ที่คาดว่าจะมีผลกระทบในลำดับต้น ๆ ต่อกระบวนการผลิตดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีดังนี้คือ

5.1 การศึกษากระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่าน

5.1.1 ส่วนประกอบแขนจับหัวอ่าน

แขนจับหัวอ่านโมเดล QS Long Tail ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนสำคัญทั้งหมด 4 ชิ้นส่วนด้วยกันคือ Arm, Hinge, Base plate และ TG แสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงชิ้นส่วนประกอบแขนจับหัวอ่านโมเดล QS Long Tail

ก) Arm ข) Base Plate ค) Hinge และ ง) TG

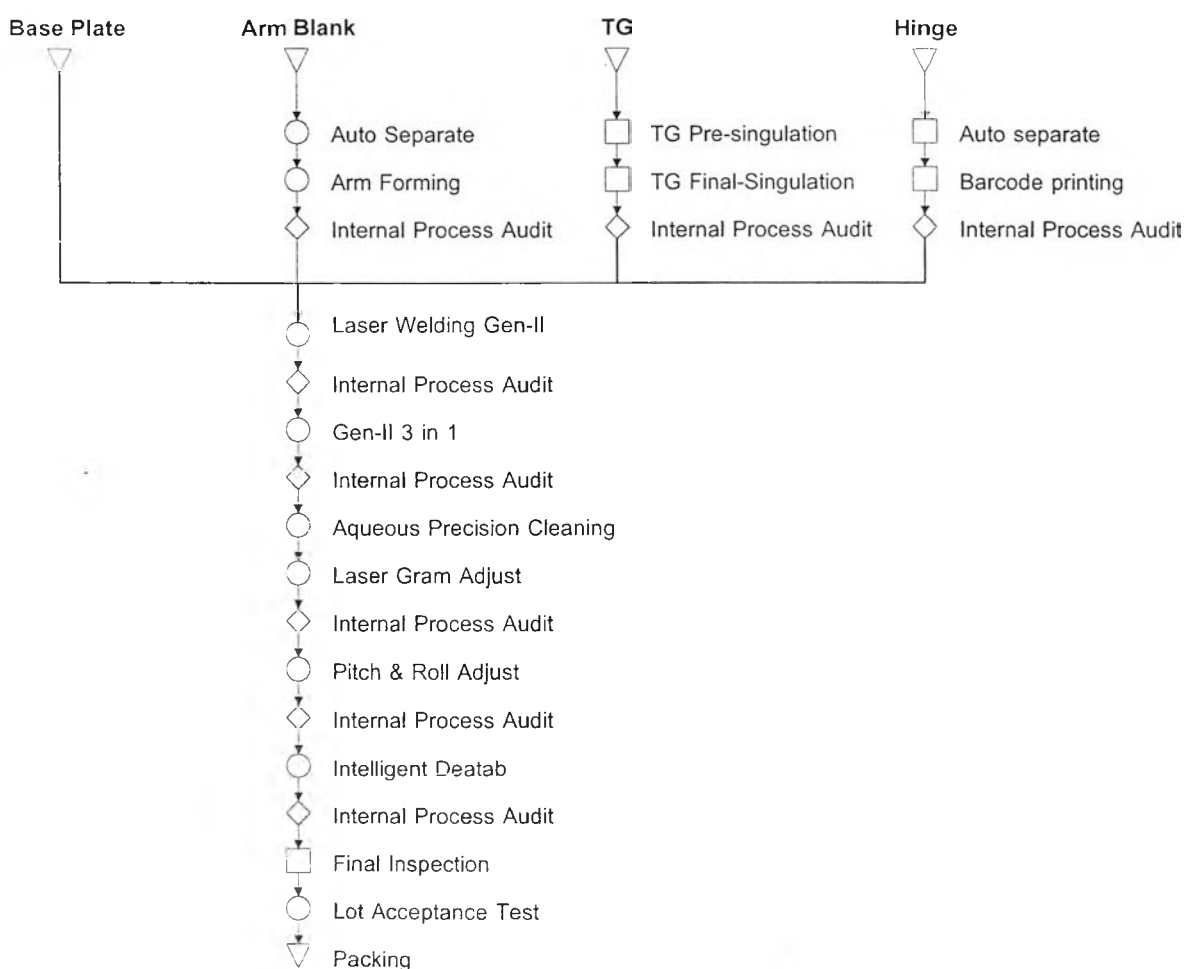
5.1.2 กระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่าน

ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ

- การขึ้นรูปตัวงาน (Forming process)
- การพิมพ์บาร์โค้ด (Barcode printing process)
- การตัดแยก Trace laminated gimbal : TG ขั้นที่ 1 (Pre-singulation process)
- การตัดแยก Trace laminated gimbal : TG ขั้นที่ 2 (Final-singulation process)
- การเชื่อมประกอบชิ้นส่วน (Laser welding process)
- การขึ้นรูปค่าสปริง (3 in 1 process)
- การล้างชิ้นงาน (Aqueous precision cleaning process)
- การตัดค่าสปริงและตัดค่ามุมตัวงาน (Cpk enhancement process) และ
- การตัดแยกตัวงาน (Intelligent detab process)
- การตรวจสอบด้วยตา (Final inspection)
- การตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Lot acceptance test)

ซึ่งกระบวนการผลิตตามลำดับขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 5.2 และแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด

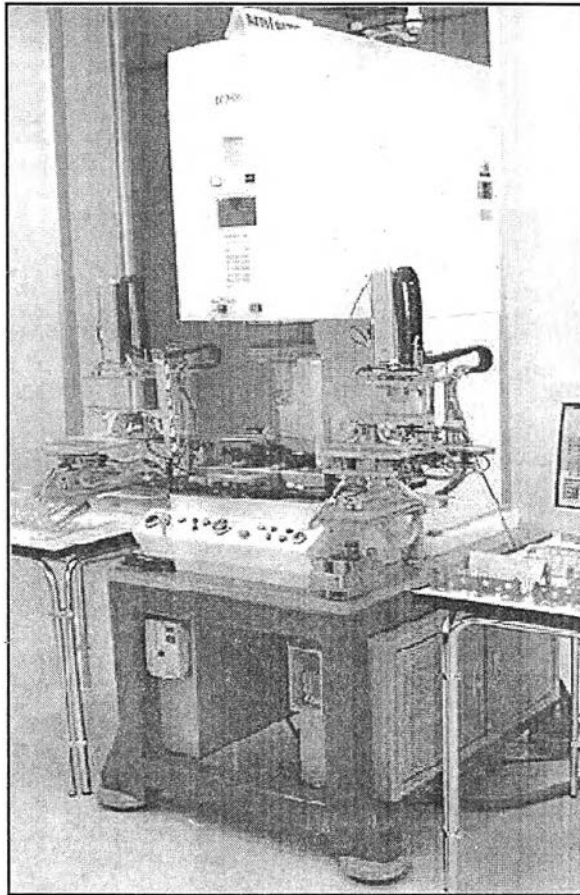
ดังนี้คือ



รูปที่ 5.2 แสดงแผนภาพกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่าน

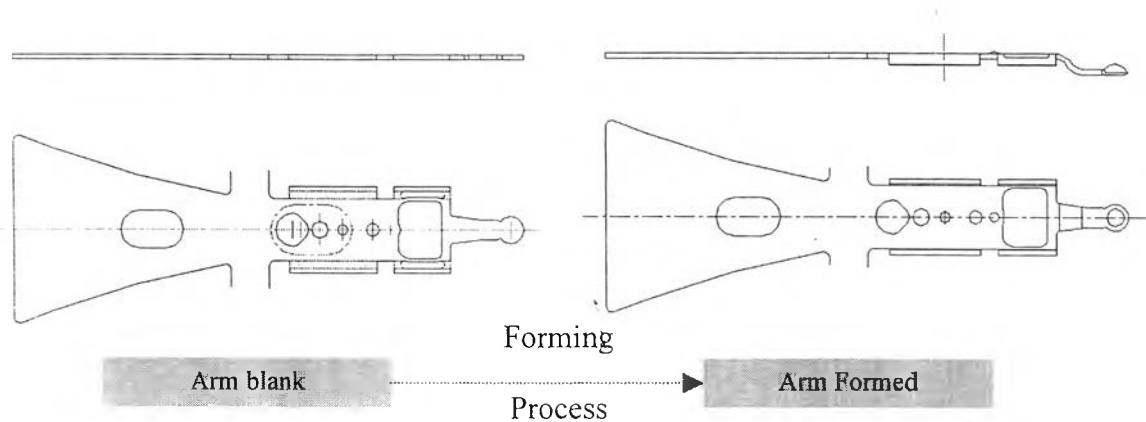
5.1.2.1 การขึ้นรูปตัวงาน (Forming process)

ขั้นตอนนี้จะเป็นกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานสแตนเลสที่เรียกว่า “ Arm blank sheet “ ซึ่งผ่านกระบวนการกัดด้วยน้ำยาเคมีจากกระบวนการกัด (ดูรายละเอียดของกระบวนการกัดด้วยน้ำยาเคมีในภาคผนวก ค) เรียบร้อยแล้ว โดยจะขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อให้ได้รูปร่างและมิติตามแบบที่ลูกค้ากำหนดมาในข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ ด้วยเครื่องจักรขึ้นรูปที่เรียกว่า “Janome machine” ซึ่งเป็นเครื่องที่ให้แรงอัดด้วยระบบไฮดรอลิก ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 เครื่อง Janome Machine

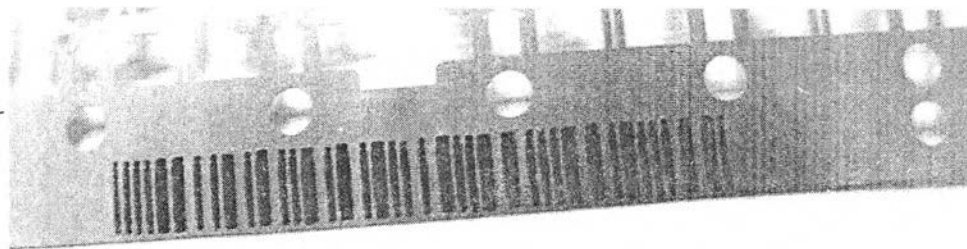
หลังจาก Arm blank sheet ผ่านการขึ้นรูปแล้ว จะได้ชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 5.4 เรียกว่า “ Formed arm sheet ” ซึ่งพร้อมที่จะส่งไปยังขบวนการเชื่อมต่อไป



รูปที่ 5.4 ลักษณะ Formed Arm

5.1.2.2 การพิมพ์บาร์โค้ด (Barcode printing process)

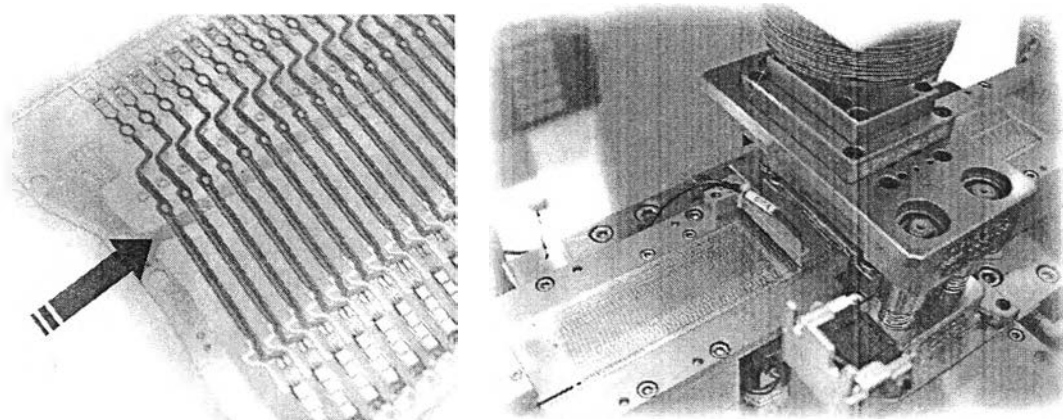
เป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับพิมพ์รหัสบาร์โค้ดลงบนบริเวณกึ่งกลางของแผ่นงานที่เรียกว่า “Hinge” เพื่อใช้เป็นรหัสในการตรวจสอบข้อมูลต่างๆ ของงานที่ผ่านกระบวนการ โดยการพิมพ์จะเป็นลักษณะจุดสี (Dot matrix) ซึ่งการพิมพ์แต่ละครั้งประกอบด้วยเม็ดหมึกตามจำนวนที่ควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ หลังจากพิมพ์บาร์โค้ดลงบนแผ่นงานแล้ว เครื่องจะทำการอบหมึกด้วยความร้อนให้แห้งสนิท เพื่อป้องกันการลบเลือนของหมึก ในขณะที่ชิ้นงานผ่านกระบวนการต่างๆ ถัดไป ลักษณะของแถบสีบาร์โค้ดแสดงดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ลักษณะแถบสีบาร์โค้ดที่ถูกต้องและชัดเจน

5.1.2.3 การตัดแยก TG ชั้นที่ 1 (Pre-singulation process)

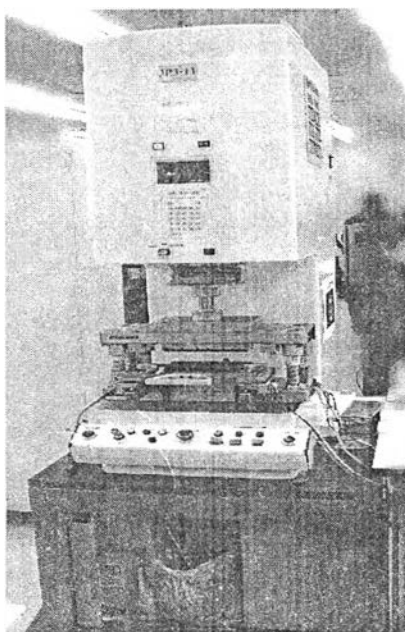
เป็นกระบวนการที่ใช้ในการตัดแยก TG แต่ละตัวออกจากกัน โดยตัดที่บริเวณที่เรียกว่า “กระดุกงู” ที่เชื่อมอยู่ระหว่างตัวงานภายในเฟรม ดังรูปที่ 5.6



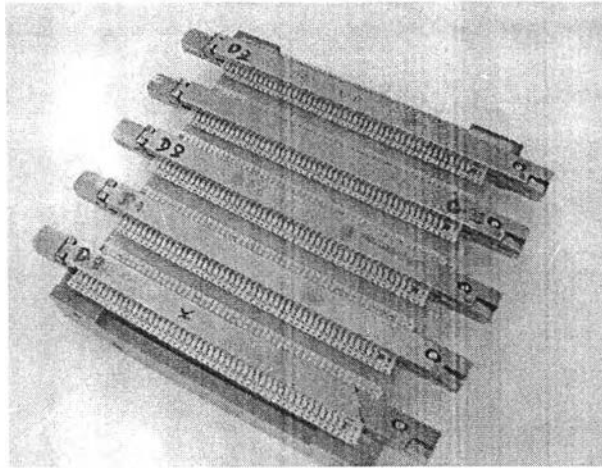
รูปที่ 5.6 กระบวนการ Pre-singulation

5.1.2.4 การตัดแยก TG ชั้นที่ 2 (Final-singulation process)

เป็นกระบวนการในการตัดแยก TG แต่ละตัวให้หลุดออกจากโครงเฟรม หลังจากที่ได้ผ่านกระบวนการในการตัดแยกบริเวณกระดุกงูแล้ว โดยตัดบริเวณหัว-ท้ายของตัวงาน TG ที่ติดอยู่กับเฟรม พร้อมทั้งจะนำไปประกอบในกระบวนการเชื่อมถัดไป เครื่องจักรที่ใช้ในการตัดแยก TG ในขั้นตอนนี้แสดงดังรูปที่ 5.7 และงานหลังจากผ่านกระบวนการดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.7 เครื่องจักร Final-singulation



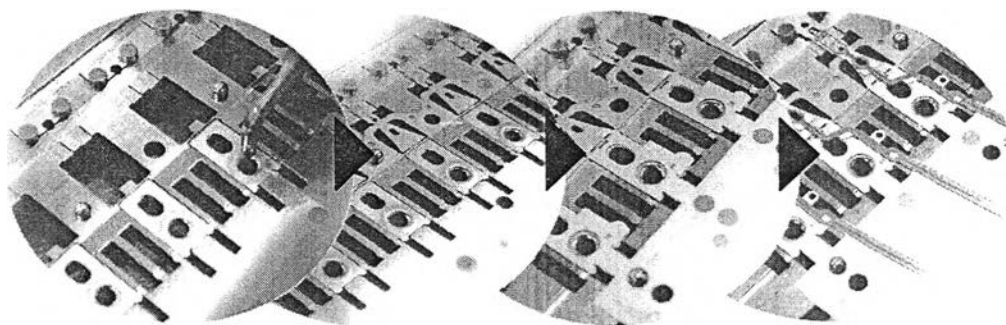
รูปที่ 5.8 งาน Trace laminated gimbal ที่พร้อมจะนำไปเชื่อม

5.1.2.5 การเชื่อมประกอบชิ้นส่วน (Laser welding process)

เป็นกระบวนการในการเชื่อมประกอบชิ้นส่วนทั้งสิ้นคือ Formed arm sheet, TG, Hinge sheet และ Base plate ด้วยแสงเลเซอร์ที่เครื่องเชื่อมดังรูปที่ 5.9 โดยขั้นตอนการทำงานจะเริ่มจากพนักงานประจำเครื่องใช้ปากกาลม (Air pen) ดูดจับชิ้นงาน Base plate ใส่งในตำแหน่งสำหรับรองรับ Base plate บน Carrier จำนวนทั้งหมด 20 ตัวต่อหนึ่ง Carrier จากนั้นจึงนำ Formed arm sheet ใส่งในตำแหน่งที่กำหนด แล้วนำ Hinge sheet ใส่งในตำแหน่งต่อไป ขั้นตอนสุดท้ายนำ Trace laminated gimbal ใส่งในตำแหน่งสำหรับรองรับ Trace laminated gimbal บน Carrier จำนวน 20 ตัวเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 5.10 แล้วนำ Carrier ใส่งเข้าที่จักรรองรับ Carrier ในเครื่องเชื่อมเพื่อทำการเชื่อมงานทั้งสิ้นชิ้นนี้ให้ติดกัน ผลผลิตที่ได้หลังจากการเชื่อมในขั้นตอนนี้จะเรียกว่า “Suspension sheet”



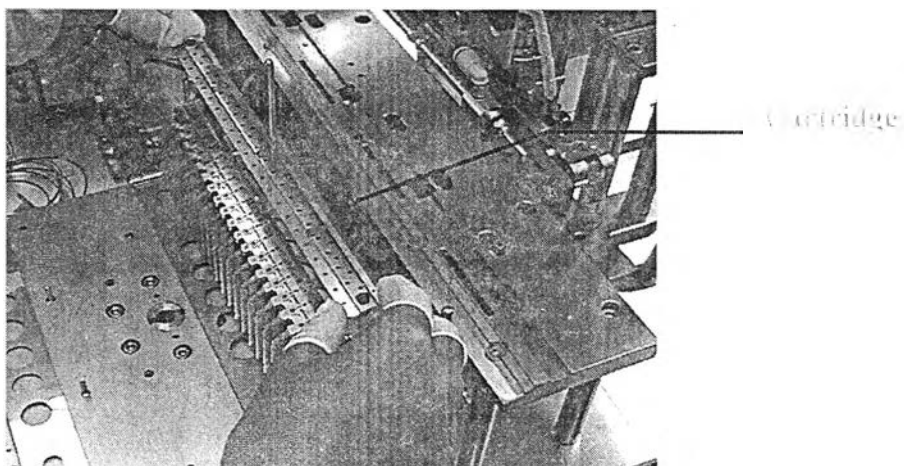
รูปที่ 5.9 เครื่อง Laser welding machine



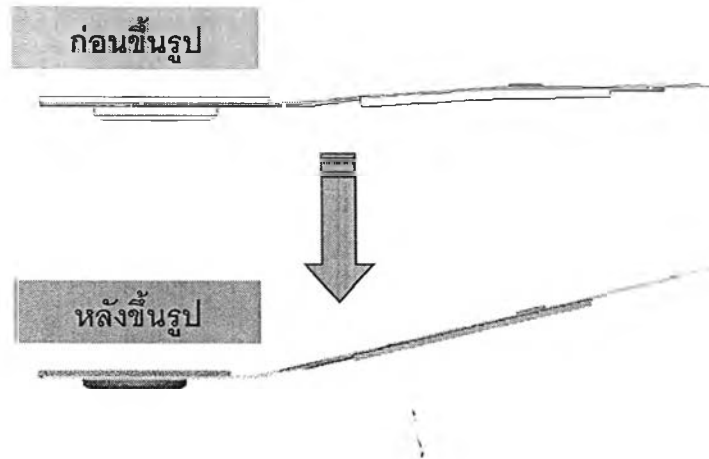
รูปที่ 5.10 ลำดับการใส่ชิ้นงานใน carrier

5.1.2.6 การขึ้นรูปค่าสปริง (3 in 1 process)

เป็นกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงาน Suspension sheet เพื่อให้ได้รูปร่าง, ค่าสปริง และค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ตามข้อกำหนดที่ลูกค้าต้องการ โดยพนักงานจะนำงานที่ผ่านการเชื่อมแล้ว มาใส่ลงใน Cartridge แสดงดังรูปที่ 5.11 ให้ครบตามจำนวนคือ 10 sheets ต่อหนึ่ง Cartridge จากนั้นพนักงานจะนำ Cartridge พร้อมชิ้นงานไปติดตั้งที่เครื่องขึ้นรูป "3 in 1 machine" ในตำแหน่ง " Load position " เพื่อเข้ากระบวนการขึ้นรูปโดยอัตโนมัติของเครื่องจักรต่อไป เมื่อชิ้นงานผ่านการขึ้นรูปแล้วจะได้ลักษณะชิ้นงานดังรูปที่ 5.12



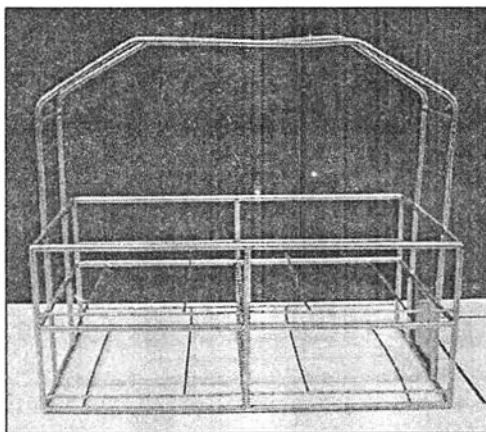
รูปที่ 5.11 ลักษณะของ Cartridge



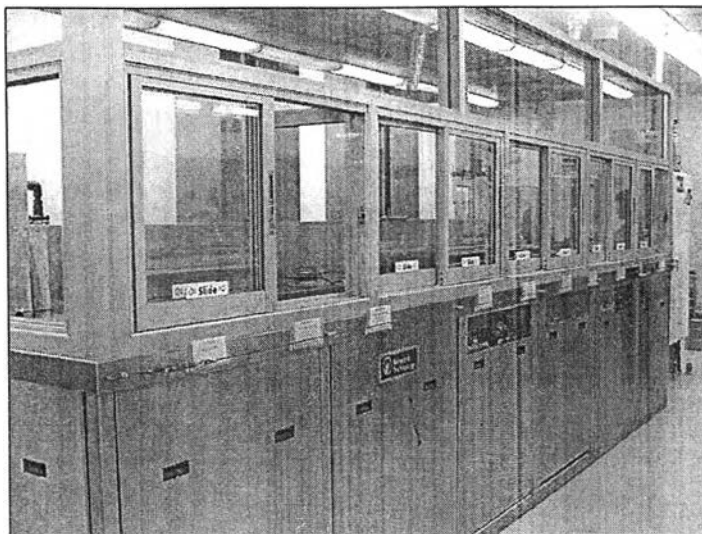
รูปที่ 5.12 ชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการ 3 in 1

5.1.2.7 การล้างชิ้นงาน (Aqueous precision cleaning process)

เป็นกระบวนการในการล้างทำความสะอาดชิ้นงาน เพื่อล้างคราบน้ำมันและสิ่งสกปรกต่างๆ ออกจากตัวงานหลังจากผ่านกระบวนการขึ้นรูป โดยพนักงานจะนำ Cartridge ที่บรรจุชิ้นงานใส่ลงในตะกร้าล้างงาน แสดงดังรูปที่ 5.13 จากนั้นจะนำตะกร้าล้างงานเข้ากระบวนการล้างในแต่ละถังล้างที่เครื่องล้าง เรียกว่า " Aqueous precision cleaning machine : APC " ดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.13 ตะกร้าล้างงาน

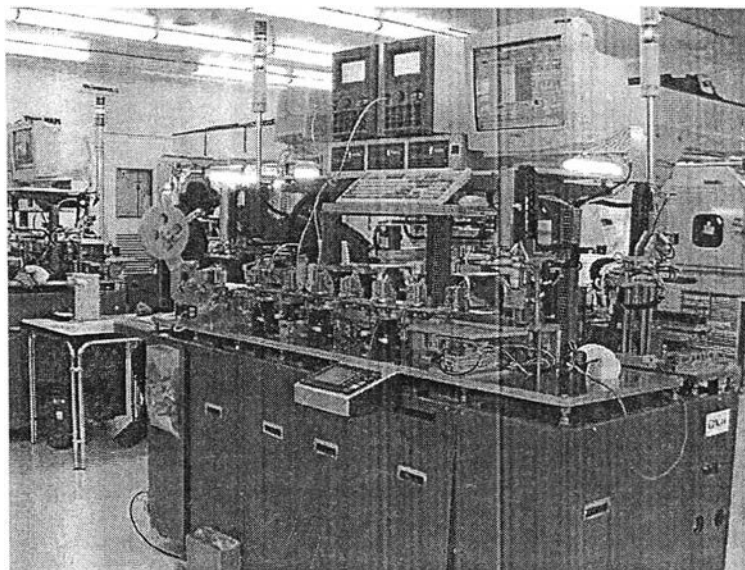


รูปที่ 5.14 เครื่องล้างงาน APC (Aqueous precision cleaning machine)

5.1.2.8 การตัดค่าสปริงและตัดค่ามุมตัวงาน (Cpk enhancement process)

กระบวนการนี้จะกระทำที่เครื่องจักร “ Cpk enhancement machine” แสดงดังรูปที่ 5.15 โดยจะแยกเป็นสองกระบวนการตามลำดับคือ

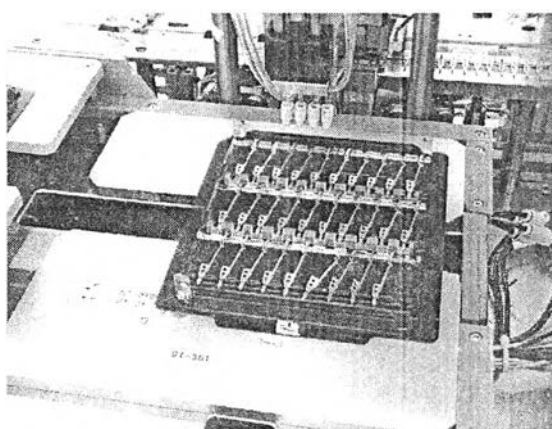
- การตัดค่าสปริงตัวงาน : เป็นกระบวนการที่ทำการปรับค่าสปริงของตัวงานให้มีค่าตามข้อกำหนดของลูกค้าในสถานะของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป โดยพนักงานจะนำ Cartridge ที่บรรจุชิ้นงานติดตั้งที่เครื่อง Cpk enhancement ในจุดของ “Load position” ซึ่งเครื่องจะผ่านชิ้นงานเข้ากระบวนการของการตัดค่าสปริงด้วยแสงเลเซอร์โดยอัตโนมัติตามลำดับ
- การตัดค่ามุมตัวงาน : หลังจากชิ้นงานผ่านการตัดค่าสปริงแล้ว เครื่องจะจับชิ้นงานส่งมายัง cartridge ในส่วนของการตัดค่ามุมตัวงานทันที ซึ่งจะผ่านเข้ากระบวนการแบบการต่อเนื่อง ในกระบวนการนี้เครื่องจักรจะทำการตัดค่ามุมของตัวงาน หรือเรียกว่าค่า “ Pitch static attitude : PSA ” เพื่อให้ค่ามุมของตัวงานมีค่าที่ตรงกับความต้องการของลูกค้าในข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 5.15 Cpk enhancement machine

5.1.2.9 การตัดแยกชิ้นงาน (Intelligent detab process)

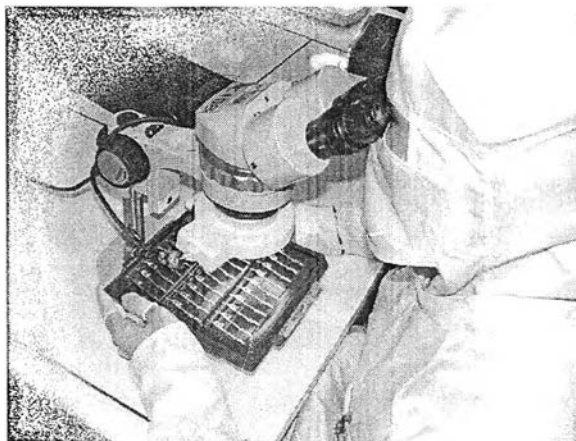
เป็นกระบวนการตัดแยกชิ้นงานจากสถานะของ Suspension sheet ให้เป็นตัวงานเดี่ยวๆ ในลักษณะของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป (Piece part) โดยเครื่องจักรจะตัดแยกชิ้นงานและจัดเก็บชิ้นงานที่ได้ตัดแยกแล้วใส่ลงในบรรจุภัณฑ์โดยอัตโนมัติ ซึ่งจะบรรจุชิ้นงาน 30 ตัวต่อหนึ่งบรรจุภัณฑ์ แสดงดังรูปที่ 5.16 หลังจากนั้นบรรจุภัณฑ์พร้อมกับตัวงานจะถูกนำไปรวบรวมให้ได้จำนวนตามที่ต้องการ (น้อยกว่าหรือเท่ากับ 3,000 ตัวต่อหนึ่ง LAT : Lot Acceptance Test) เพื่อรอการตรวจสอบคุณภาพและพร้อมที่จะส่งให้ลูกค้าต่อไป



รูปที่ 5.16 ลักษณะของบรรจุภัณฑ์

5.1.2.10 การตรวจสอบด้วยสายตา (Final inspection)

เป็นกระบวนการในการตรวจสอบชิ้นงานทีละตัว โดยแยกตัวงานที่ไม่ดีออก ซึ่งจะใช้วิธีตรวจสอบโดยใช้สายตาตรวจสอบชิ้นงานภายใต้กล้องจุลทรรศน์ แสดงดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 การตรวจสอบด้วยสายตา

5.1.2.11 การตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Lot acceptance test)

ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดเตรียมวิธีการตรวจสอบสินค้าสำเร็จรูป (Finish good) เพื่อรับประกันคุณภาพของสินค้าก่อนส่งมอบให้ลูกค้าต่อไป

5.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)

เครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ความแม่นยำตลอดทั้งสายการผลิตแขนจับหัวอ่าน ประกอบไปด้วย

- เครื่อง Voyager หมายเลข 4 ซึ่งใช้วัดค่ามุมของ TG ทั้งในรูปหลังเข้ากระบวนการ Pre-singulation และในรูปหลังเข้ากระบวนการ Final-singulation
- เครื่อง Voyager หมายเลข 5 ซึ่งใช้วัดค่าตัวแปรต่างๆ ของชิ้นส่วน Arm หลังการขึ้นรูปแล้ว ค่ามุมของงานหลังการเชื่อม และค่ามุมของงานหลังการขึ้นค่าสปริง
- เครื่อง SK2000 หมายเลข 3 ซึ่งใช้วัดค่ามุมของงานสำเร็จรูป

รายละเอียดในการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดดังกล่าวนี้ จะกล่าวตามแต่ละโปรแกรมข้างต้น ดังนี้คือ

5.2.1 เครื่อง Voyager หมายเลข 4, โปรแกรม MR_GMDM.VOY (TG หลังกระบวนการ Pre-singulation)

5.2.1.1 พารามิเตอร์ที่พิจารณาคือค่ามุมของ TG หลังกระบวนการ Pre-singulation (Pre-Angle)

5.2.1.2 จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา GR&R : จะใช้จำนวนพนักงานในแต่ละกระบวนการปฏิบัติงาน 1 คนต่ออะ รวมพนักงานทั้งสิ้น 3 คน โดยเป็นพนักงานที่ได้ผ่านการฝึกอบรมและมีใบรับรองในการใช้เครื่องมือวัดดังกล่าวมาแล้วเป็นอย่างดี และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดที่ทำการศึกษาสำหรับงานประจำ

5.2.1.3 จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา : จะใช้สิ่งตัวอย่างคือ TG ที่มีลักษณะเป็น Frame หลังผ่านกระบวนการ Pre-singulation จำนวนทั้งสิ้น 10 สิ่งตัวอย่าง โดยเขียนหมายเลขไว้ด้านหลังในแต่ละสิ่งตัวอย่าง 1 ถึง 10

5.2.1.4 จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น : ให้พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างจำนวน 2 ครั้งต่อหนึ่งสิ่งตัวอย่าง

5.2.1.5 ขั้นตอนในการทดลอง

- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการสุ่มสิ่งตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้มาทำการวัด
- ทำการบันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลอง (ภาคผนวก ง.1)
- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการวัดชิ้นงานจนครบทุกสิ่งตัวอย่างทั้ง 10 ชิ้น
- ให้พนักงานคนที่ 2 และ 3 ปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ ตามพนักงานคนที่ 1 จนครบทุกคน ทุกชิ้น และทุกซ้ำ

5.2.1.6 ผลลัพธ์ในการศึกษา

- ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 5.1 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดมุม TG หลัง Pre-singulation

| Two-Way ANOVA Table With Interaction | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| part | 9 | 0.666606 | 0.0740673 | 1416.83 | 0.00000 |
| operator | 2 | 0.000372 | 0.0001859 | 3.56 | 0.04998 |
| operator*part | 18 | 0.000941 | 0.0000523 | 0.77 | 0.71869 |
| Repeatability | 30 | 0.002044 | 0.0000681 | | |
| Total | 59 | 0.669963 | | | |

ตารางที่ 5.2 ตาราง ANOVA แบบลดรูปของการศึกษา GR&R ของการวัดมุม TG หลัง Pre-singulation

| Two-Way ANOVA Table Without Interaction | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| part | 9 | 0.666606 | 0.0740673 | 1190.95 | 0.00000 |
| operator | 2 | 0.000372 | 0.0001859 | 2.99 | 0.05982 |
| Repeatability | 48 | 0.002985 | 0.0000622 | | |
| Total | 59 | 0.669963 | | | |

- ผลการประเมินความผันแปร

ตารางที่ 5.3 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดมุม TG หลัง Pre-singulation

| Source | %Contribution | |
|-----------------|----------------------|---------------------|
| | VarComp | (of VarComp) |
| Total Gage R&R | 0.000068 | 0.55 |
| Repeatability | 0.000062 | 0.50 |
| Reproducibility | 0.000006 | 0.05 |
| operator | 0.000006 | 0.05 |
| Part-To-Part | 0.012334 | 99.45 |
| Total Variation | 0.012403 | 100.00 |

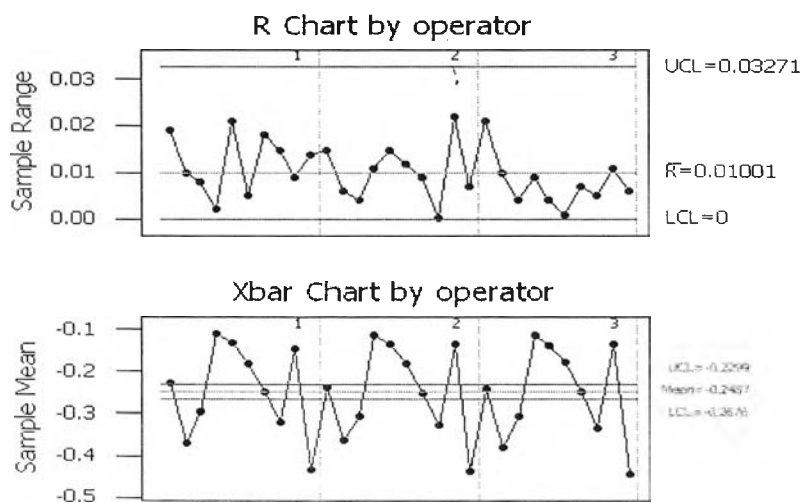
ตารางที่ 5.3 (ต่อ) ผลการประเมินความผันแปรของการวัดมุม TG หลัง Pre-singulation

| Source | StdDev (SD) | Study Var (5.15*SD) | %Study Var (%SV) | %Process (SV/Proc) |
|------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Total Gage R&R | 0.008269 | 0.042585 | 7.42 | 9.73 |
| Repeatability | 0.007886 | 0.040614 | 7.08 | 9.28 |
| Reproducibility | 0.002487 | 0.012806 | 2.23 | 2.93 |
| operator | 0.002487 | 0.012806 | 2.23 | 2.93 |
| Part-To-Part | 0.111059 | 0.571956 | 99.72 | 130.66 |
| Total Variation | 0.111367 | 0.573539 | 100.00 | 131.02 |
| Number of Distinct Categories = 19 | | | | |

5.2.1.7 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นแรกตามตารางที่ 5.1 จะพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและสิ่งตัวอย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงทำการรวมความผันแปรของอิทธิพลร่วมดังกล่าวเข้ากับความผันแปรจากรีพีทเทบิลิตีในรูปแบบของความแปรปรวนร่วม ดังแสดงด้วยตัวแบบลดรูปของ ANOVA ในตารางที่ 5.2 ซึ่งพบว่าสิ่งตัวอย่างที่ได้รับการวัดทั้ง 10 ชั้น มีความแตกต่างกัน ในขณะที่พนักงานทั้งสามคนไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากแผนภูมิควบคุม R แสดงดังรูปที่ 5.18 หรือจากค่า Number of Distinct Categories ซึ่งมีค่าเท่ากับ 19 สรุปได้ว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ดี และผลจากการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ %P/TV ตามตารางที่ 5.3 พบว่ามีค่าเท่ากับ 9.73% แสดงว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี จึงสามารถใช้เครื่องมือวัดนี้ในการวัดค่าเพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองได้



รูปที่ 5.18 แผนภูมิควบคุม Xbar-R ของพารามิเตอร์ Pre-Angle

5.2.2 เครื่อง Voyager หมายเลข 4, โปรแกรม MR_GMDM.VOY (TG หลังกระบวนการ Final-singulation)

5.2.2.1 พารามิเตอร์ที่พิจารณาคือค่ามุมของ TG หลังกระบวนการ Final-singulation (Final-Angle)

5.2.2.2 จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา GR&R : จะใช้จำนวนพนักงานในแต่ละการปฏิบัติงาน 1 คนต่อกะ รวมพนักงานทั้งสิ้น 3 คน โดยเป็นพนักงานที่ได้ผ่านการฝึกอบรมและมีใบรับรองในการใช้เครื่องมือวัดดังกล่าวมาแล้วเป็นอย่างดี และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดที่ทำการศึกษสำหรับงานประจำ

5.2.2.3 จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา : จะใช้สิ่งตัวอย่างคือ TG ที่มีลักษณะเป็นตัว หลังผ่านกระบวนการ Final-singulation จำนวนทั้งสิ้น 10 สิ่งตัวอย่าง โดยเขียนหมายเลขไว้ด้านหลังในแต่ละสิ่งตัวอย่าง 1 ถึง 10

5.2.2.4 จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น : ให้พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างจำนวน 2 ครั้งต่อหนึ่งสิ่งตัวอย่าง

5.2.2.5 ขั้นตอนในการทดลอง

- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการสุ่มสิ่งตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้มาทำการวัด
- ทำการบันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลอง (ภาคผนวก ง.2)
- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการวัดชิ้นงานจนครบทุกสิ่งตัวอย่างทั้ง 10 ชิ้น
- ให้พนักงานคนที่ 2 และ 3 ปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ ตามพนักงานคนที่ 1 จนครบทุกคน ทุกชิ้น และทุกซ้ำ

5.2.2.6 ผลลัพธ์ในการศึกษา

- ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 5.4 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดมุม TG หลัง Final-singulation

| Two-Way ANOVA Table With Interaction | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| part | 9 | 0.691815 | 0.0768683 | 2127.20 | 0.00000 |
| operator | 2 | 0.000153 | 0.0000763 | 2.11 | 0.15012 |
| operator*part | 18 | 0.000650 | 0.0000361 | 1.27 | 0.27591 |
| Repeatability | 30 | 0.000856 | 0.0000285 | | |
| Total | 59 | 0.693473 | | | |

ตารางที่ 5.5 ตาราง ANOVA แบบลดรูปของการศึกษา GR&R ของการวัดมุม TG หลัง Final-singulation

| Two-Way ANOVA Table Without Interaction | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| part | 9 | 0.691815 | 0.0768683 | 2449.58 | 0.00000 |
| operator | 2 | 0.000153 | 0.0000763 | 2.43 | 0.09873 |
| Repeatability | 48 | 0.001506 | 0.0000314 | | |
| Total | 59 | 0.693473 | | | |

- ผลการประเมินความผันแปร

ตารางที่ 5.6 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดมุม TG หลัง Final-singulation

| Source | %Contribution | |
|-----------------|----------------------|---------------------|
| | VarComp | (of VarComp) |
| Total Gage R&R | 0.000034 | 0.26 |
| Repeatability | 0.000031 | 0.24 |
| Reproducibility | 0.000002 | 0.02 |
| operator | 0.000002 | 0.02 |
| Part-To-Part | 0.012806 | 99.74 |
| Total Variation | 0.012840 | 100.00 |

ตารางที่ 5.6(ต่อ) ผลการประเมินความผันแปรของการวัดมุม TG หลัง Final-singulation

| Source | StdDev (SD) | Study Var (5.15*SD) | %Study Var (%SV) | %Process (SV/Proc) |
|-----------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Total Gage R&R | 0.005799 | 0.029863 | 5.12 | 8.28 |
| Repeatability | 0.005602 | 0.028849 | 4.94 | 8.00 |
| Reproducibility | 0.001498 | 0.007716 | 1.32 | 2.14 |
| operator | 0.001498 | 0.007716 | 1.32 | 2.14 |
| Part-To-Part | 0.113164 | 0.582796 | 99.87 | 161.66 |
| Total Variation | 0.113313 | .583561 | 100.00 | 161.88 |

Number of Distinct Categories = 28

5.2.2.7 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นแรกตามตารางที่ 5.4 จะพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและสิ่งตัวอย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงทำการรวมความผันแปรของอิทธิพลร่วมดังกล่าวเข้ากับความผันแปรจากรีพีทเทเบิลิตี้ในรูปของความแปรปรวนร่วม ดังแสดงด้วยตัวแบบลดรูปของ ANOVA ในตารางที่ 5.5 ซึ่งพบว่าสิ่งตัวอย่างที่ได้รับการวัดทั้ง 10 ชิ้น มีความแตกต่างกัน ในขณะที่พนักงานทั้งสามคนไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.2.3.4 จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น : ให้พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างจำนวน 2 ครั้งต่อหนึ่งสิ่งตัวอย่าง

5.2.3.5 ขั้นตอนในการทดลอง

- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการสุ่มสิ่งตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้มาทำการวัด
- ทำการบันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลอง (ภาคผนวก ง.3)
- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการวัดชิ้นงานจนครบทุกสิ่งตัวอย่างทั้ง 10 ชิ้น
- ให้พนักงานคนที่ 2 และ 3 ปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ ตามพนักงานคนที่ 1 จนครบทุกคน ทุกชิ้น และทุกซ้ำ

5.2.3.6 ผลลัพธ์ในการศึกษา

- ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 5.7 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดมุม Arm หลังการขึ้นรูป

| Two-Way ANOVA Table With Interaction | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| <i>Source</i> | <i>DF</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
| part | 9 | 0.308414 | 0.0342682 | 3583.78 | 0.00000 |
| operator | 2 | 0.000027 | 0.0000136 | 1.42 | 0.26676 |
| operator*part | 18 | 0.000172 | 0.0000096 | 1.30 | 0.25473 |
| Repeatability | 30 | 0.000220 | 0.0000073 | | |
| Total | 59 | 0.308833 | | | |

ตารางที่ 5.8 ตาราง ANOVA แบบลดรูป ของการศึกษา GR&R ของการวัดมุม Arm หลังการขึ้นรูป

| Two-Way ANOVA Table Without Interaction | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| <i>Source</i> | <i>DF</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
| part | 9 | 0.308414 | 0.0342682 | 4190.53 | 0.00000 |
| operator | 2 | 0.000027 | 0.0000136 | 1.66 | 0.20005 |
| Repeatability | 48 | 0.000393 | 0.0000082 | | |
| Total | 59 | 0.308833 | | | |

- ผลการประเมินความผันแปร

ตารางที่ 5.9 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดมุม Arm หลังการขึ้นรูป

| Source | %Contribution | |
|-----------------|----------------------|---------------------|
| | VarComp | (of VarComp) |
| Total Gage R&R | 8.45E-06 | 0.15 |
| Repeatability | 8.18E-06 | 0.14 |
| Reproducibility | 2.72E-07 | 0.00 |
| operator | 2.72E-07 | 0.00 |
| Part-To-Part | 5.71E-03 | 99.85 |
| Total Variation | 5.72E-03 | 100.00 |

ตารางที่ 5.9 (ต่อ) ผลการประเมินความผันแปรของการวัดมุม Arm หลังการขึ้นรูป

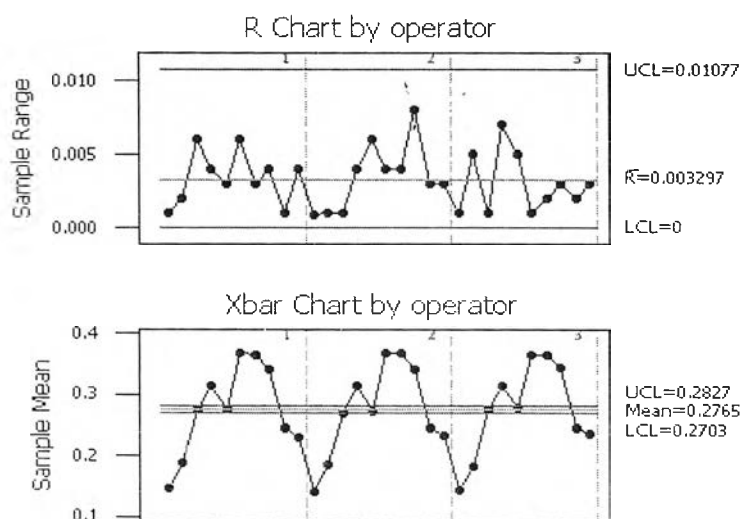
| Source | StdDev (SD) | Study Var (5.15*SD) | %Study Var (%SV) | %Process (SV/Proc) |
|-----------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Total Gage R&R | 2.91E-03 | 0.014970 | 3.84 | 3.23 |
| Repeatability | 2.86E-03 | 0.014727 | 3.78 | 3.18 |
| Reproducibility | 5.21E-04 | 0.002684 | 0.69 | 0.58 |
| operator | 5.21E-04 | 0.002684 | 0.69 | 0.58 |
| Part-To-Part | 7.56E-02 | 0.389157 | 99.93 | 83.96 |
| Total Variation | 7.56E-02 | 0.389445 | 100.00 | 84.02 |

Number of Distinct Categories = 37

5.2.3.7 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นแรกตามตารางที่ 5.7 จะพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและสิ่งตัวอย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงทำการรวมความผันแปรของอิทธิพลร่วมดังกล่าวเข้ากับความผันแปรจากรีพีทเทเบิลิตี้ในรูปของความแปรปรวนร่วม ดังแสดงด้วยตัวแบบลดรูปของ ANOVA ในตารางที่ 5.8 ซึ่งพบว่าสิ่งตัวอย่างที่ได้รับการวัดทั้ง 10 ชิ้น มีความแตกต่างกัน ในขณะที่พนักงานทั้งสามคนไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากแผนภูมิควบคุม R แสดงดังรูปที่ 5.20 หรือจากค่า Number of Distinct Categories ซึ่งมีค่าเท่ากับ 37 สรุปได้ว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ดี และผลจากการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ %P/TV ตามตารางที่ 5.9 พบว่ามีค่าเท่ากับ 3.23 % แสดงว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี จึงสามารถใช้เครื่องมือวัดนี้ในการวัดค่าเพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองได้



รูปที่ 5.20 แผนภูมิควบคุม Xbar-R ของพารามิเตอร์ Arm-Angle

5.2.4 เครื่อง Voyager หมายเลข 5, โปรแกรม MR_LWAT.VOY (ชิ้นงานหลังกระบวนการเชื่อม)

5.2.4.1 พารามิเตอร์ที่พิจารณาคือค่ามุมของชิ้นงานหลังกระบวนการเชื่อม

5.2.4.2 จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา GR&R : จะใช้จำนวนพนักงานในแต่ละกะการปฏิบัติงาน 1 คนต่อกะ รวมพนักงานทั้งสิ้น 3 คน โดยเป็นพนักงานที่ได้ผ่านการฝึกอบรมและมีใบรับรองในการใช้เครื่องมือวัดดังกล่าวมาแล้วเป็นอย่างดี และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดที่ทำการศึกษสำหรับงานประจำ

5.2.4.3 จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา : จะใช้สิ่งตัวอย่างคือ งานเชื่อมที่มีลักษณะเป็น sheet หลังผ่านกระบวนการเชื่อมแล้วจำนวนทั้งสิ้น 10 สิ่งตัวอย่าง โดยเขียนหมายเลขไว้ด้านหลังในแต่ละสิ่งตัวอย่าง 1 ถึง 10

5.2.4.4 จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น : ให้พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างจำนวน 2 ครั้งต่อหนึ่งสิ่งตัวอย่าง

5.2.4.5 ขั้นตอนในการทดลอง

- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการสุ่มสิ่งตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้มาทำการวัด
- ทำการบันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลอง (ภาคผนวก ง.4)
- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการวัดชิ้นงานจนครบทุกสิ่งตัวอย่างทั้ง 10 ชิ้น
- ให้พนักงานคนที่ 2 และ 3 ปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ ตามพนักงานคนที่ 1 จนครบทุกคน ทุกชิ้น และทุกซ้ำ

5.2.4.6 ผลลัพธ์ในการศึกษา

- ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 5.10 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดมุมงานหลังเชื่อม

| Two-Way ANOVA Table With Interaction | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| part | 9 | 4.82191 | 0.535768 | 9948.64 | 0.00000 |
| operator | 2 | 0.00013 | 0.000063 | 1.16 | 0.33451 |
| operator*part | 18 | 0.00097 | 0.000054 | 0.85 | 0.63414 |
| Repeatability | 30 | 0.00190 | 0.000063 | | |
| Total | 59 | 4.82491 | | | |

ตารางที่ 5.11 ตาราง ANOVA แบบลดรูปของการศึกษา GR&R ของการวัดมุมงานหลังเชื่อม

| Two-Way ANOVA Table Without Interaction | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| part | 9 | 4.82191 | 0.535768 | 8961.39 | 0.00000 |
| operator | 2 | 0.00013 | 0.000063 | 1.05 | 0.35820 |
| Repeatability | 48 | 0.00287 | 0.000060 | | |
| Total | 59 | 4.82491 | | | |

- ผลการประเมินความผันแปร

ตารางที่ 5.12 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดมุงงานหลังเชื่อม

| Source | %Contribution | |
|-----------------|---------------|--------------|
| | VarComp | (of VarComp) |
| Total Gage R&R | 0.000060 | 0.07 |
| Repeatability | 0.000060 | 0.07 |
| Reproducibility | 0.000000 | 0.00 |
| operator | 0.000000 | 0.00 |
| Part-To-Part | 0.089285 | 99.93 |
| Total Variation | 0.089345 | 100.00 |

ตารางที่ 5.12 (ต่อ) ผลการประเมินความผันแปรของการวัดมุงงานหลังเชื่อม

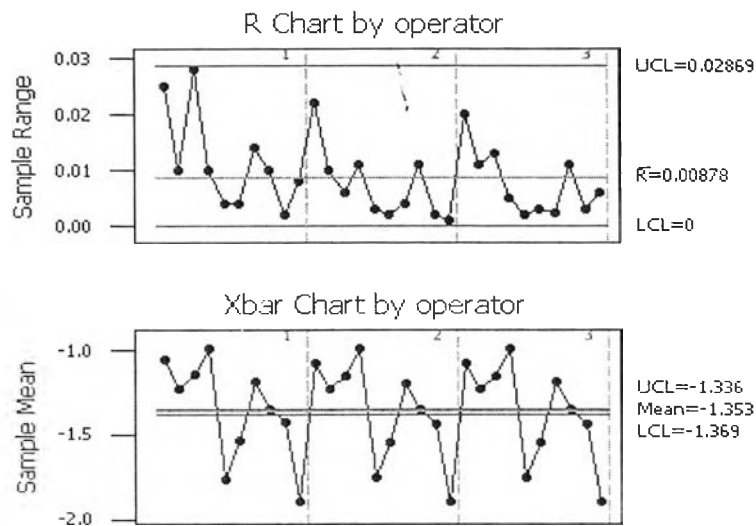
| Source | StdDev (SD) | Study Var (5.15*SD) | %Study Var (%SV) | %Process (SV/Proc) |
|-----------------|----------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
| Total Gage R&R | 0.007742 | 0.03987 | 2.59 | 2.76 |
| Repeatability | 0.007732 | 0.03982 | 2.59 | 2.76 |
| Reproducibility | 0.000383 | 0.00197 | 0.13 | 0.14 |
| operator | 0.000383 | 0.00197 | 0.13 | 0.14 |
| Part-To-Part | 0.298806 | 1.53885 | 99.97 | 106.72 |
| Total Variation | 0.298906 | 1.53936 | 100.00 | 106.75 |

Number of Distinct Categories = 54

5.2.4.7 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นแรกตามตารางที่ 5.10 จะพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและสิ่งตัวอย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงทำการรวมความผันแปรของอิทธิพลร่วมดังกล่าวเข้ากับความผันแปรจากรีพีทหะบิลิตี้ในรูปของความแปรปรวนร่วม ดังแสดงด้วยตัวแบบลดรูปของ ANOVA ในตารางที่ 5.11 ซึ่งพบว่าสิ่งตัวอย่างที่ได้รับการวัดทั้ง 10 ชิ้น มีความแตกต่างกัน ในขณะที่พนักงานทั้งสามคนไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากแผนภูมิควบคุม R แสดงดังรูปที่ 5.21 หรือจากค่า Number of Distinct Categories ซึ่งมีค่าเท่ากับ 54 สรุปได้ว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ดี และผลจากการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ %P/TV ตามตารางที่ 5.12 พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.76 % แสดงว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี จึงสามารถใช้เครื่องมือวัดนี้ในการวัดค่าเพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองได้



รูปที่ 5.21 แผนภูมิควบคุม Xbar-R ของพารามิเตอร์ LW-pitch

5.2.5 เครื่อง Voyager หมายเลข 5, โปรแกรม MR_RFAT.VOY (ชิ้นงานหลังกระบวนการขึ้นรูปค่าสปริง 3 in 1)

5.2.5.1 พารามิเตอร์ที่พิจารณาคือค่ามุมของชิ้นงานหลังกระบวนการ 3 in 1

5.2.5.2 จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา GR&R : จะใช้จำนวนพนักงานในแต่ละการปฏิบัติงาน 1 คนต่อกะ รวมพนักงานทั้งสิ้น 3 คน โดยเป็นพนักงานที่ได้ผ่านการฝึกอบรมและมีใบรับรองในการใช้เครื่องมือวัดดังกล่าวมาแล้วเป็นอย่างดี และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดที่ทำการศึกษสำหรับงานประจำ

5.2.5.3 จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา : จะใช้สิ่งตัวอย่างคือ งานหลังขึ้นรูปค่าสปริงที่มีลักษณะเป็น sheet หลังผ่านกระบวนการ 3 in 1 แล้วจำนวนทั้งสิ้น 10 สิ่งตัวอย่าง โดยเขียนหมายเลขไว้ด้านหลังในแต่ละสิ่งตัวอย่าง 1 ถึง 10

5.2.5.4 จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น : ให้พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างจำนวน 2 ครั้งต่อหนึ่งสิ่งตัวอย่าง

5.2.5.5 ขั้นตอนในการทดลอง

- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการสุ่มสิ่งตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้มาทำการวัด
- ทำการบันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลอง (ภาคผนวก ง.5)
- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการวัดชิ้นงานจนครบทุกสิ่งตัวอย่างทั้ง 10 ชิ้น
- ให้พนักงานคนที่ 2 และ 3 ปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ ตามพนักงานคนที่ 1 จนครบทุกคน ทุกชิ้น และทุกซ้ำ

5.2.5.6 ผลลัพธ์ในการศึกษา

- ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 5.13 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดมุมงานหลังขึ้นค่าสปริง

| Two-Way ANOVA Table With Interaction | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| <i>Source</i> | <i>DF</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
| part | 9 | 4.26585 | 0.473983 | 7504.39 | 0.00000 |
| operator | 2 | 0.00022 | 0.000110 | 1.74 | 0.20431 |
| operator*part | 18 | 0.00114 | 0.000063 | 1.28 | 0.26619 |
| Repeatability | 30 | 0.00148 | 0.000049 | | |
| Total | 59 | 4.26868 | | | |

ตารางที่ 5.14 ตาราง ANOVA แบบลดรูปของการศึกษา GR&R ของการวัดมุมงานหลังขึ้นค่าสปริง

| Two-Way ANOVA Table Without Interaction | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| <i>Source</i> | <i>DF</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
| part | 9 | 4.26585 | 0.473983 | 8702.13 | 0.00000 |
| operator | 2 | 0.00022 | 0.000110 | 2.01 | 0.14457 |
| Repeatability | 48 | 0.00261 | 0.000054 | | |
| Total | 59 | 4.26868 | | | |

- ผลการประเมินความผันแปร

ตารางที่ 5.15 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดมุงงานหลังขึ้นค่าสปริง

| Source | %Contribution | |
|-----------------|---------------|--------------|
| | VarComp | (of VarComp) |
| Total Gage R&R | 0.000057 | 0.07 |
| Repeatability | 0.000054 | 0.07 |
| Reproducibility | 0.000003 | 0.00 |
| operator | 0.000003 | 0.00 |
| Part-To-Part | 0.078988 | 99.93 |
| Total Variation | 0.079045 | 100.00 |

ตารางที่ 5.15 (ต่อ) ผลการประเมินความผันแปรของการวัดมุงงานหลังขึ้นค่าสปริง

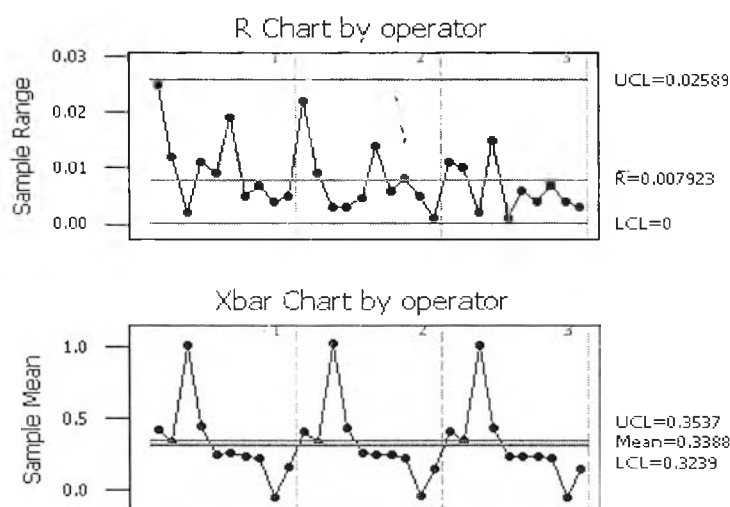
| Source | StdDev (SD) | Study Var (5.15*SD) | %Study Var (%SV) | %Process (SV/Proc) |
|-----------------|----------------|------------------------|---------------------|-----------------------|
| Total Gage R&R | 0.007565 | 0.03896 | 2.69 | 2.80 |
| Repeatability | 0.007380 | 0.03801 | 2.63 | 2.73 |
| Reproducibility | 0.001662 | 0.00856 | 0.59 | 0.62 |
| operator | 0.001662 | 0.00856 | 0.59 | 0.62 |
| Part-To-Part | 0.281048 | 1.44740 | 99.96 | 104.09 |
| Total Variation | 0.281150 | 1.44792 | 100.00 | 104.13 |

Number of Distinct Categories = 52

5.2.5.7 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นแรกตามตารางที่ 5.13 จะพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและสิ่งตัวอย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงทำการรวมความผันแปรของอิทธิพลร่วมดังกล่าวเข้ากับความผันแปรจากรีพีทเทบิลิตีในรูปแบบของความแปรปรวนร่วม ดังแสดงด้วยตัวแบบลดรูปของ ANOVA ในตารางที่ 5.14 ซึ่งพบว่าสิ่งตัวอย่างที่ได้รับการวัดทั้ง 10 ชั้น มีความแตกต่างกัน ในขณะที่พนักงานทั้งสามคนไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากแผนภูมิควบคุม R แสดงดังรูปที่ 5.22 หรือจากค่า Number of Distinct Categories ซึ่งมีค่าเท่ากับ 52 สรุปได้ว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ดี และผลจากการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ %P/TV ตามตารางที่ 5.15 พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.80 % แสดงว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี จึงสามารถใช้เครื่องมือวัดนี้ในการวัดค่าเพื่อวิเคราะห์ผลการทดลองได้



รูปที่ 5.22 แผนภูมิควบคุม Xbar-R ของพารามิเตอร์ RF-pitch

5.2.6 เครื่อง SK2000 หมายเลข 3, โปรแกรม MR_Z402 (ชิ้นงานสำเร็จรูป)

5.2.6.1 พารามิเตอร์ที่พิจารณาคือค่ามุมของชิ้นงานสำเร็จรูป

5.2.6.2 จำนวนพนักงานที่ใช้ในการศึกษา GR&R : จะใช้จำนวนพนักงานในแต่ละกะการปฏิบัติงาน 1 คนต่อกะ รวมพนักงานทั้งสิ้น 3 คน โดยเป็นพนักงานที่ได้ผ่านการฝึกอบรมและมีใบรับรองในการใช้เครื่องมือวัดดังกล่าวมาแล้วเป็นอย่างดี และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดที่ทำการศึกษาสำหรับงานประจำ

5.2.6.3 จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา : จะใช้สิ่งตัวอย่างคือ งานสำเร็จรูปที่มีลักษณะเป็นตัว จำนวนทั้งสิ้น 10 สิ่งตัวอย่าง โดยเขียนหมายเลขไว้ด้านหลังในแต่ละสิ่งตัวอย่าง 1 ถึง 10

5.2.6.4 จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับสิ่งตัวอย่างแต่ละชิ้น : ให้พนักงานแต่ละคนทำการวัดซ้ำในแต่ละสิ่งตัวอย่างจำนวน 2 ครั้งต่อหนึ่งสิ่งตัวอย่าง

5.2.6.5 ขั้นตอนในการทดลอง

- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการสุ่มสิ่งตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้มาทำการวัด
- ทำการบันทึกผลการวัดลงในตารางการทดลอง (ภาคผนวก ง.6)
- ให้พนักงานคนที่ 1 ทำการวัดชิ้นงานจนครบทุกสิ่งตัวอย่างทั้ง 10 ชิ้น
- ให้พนักงานคนที่ 2 และ 3 ปฏิบัติตามขั้นตอนต่างๆ ตามพนักงานคนที่ 1 จนครบทุกคน ทุกชิ้น และทุกซ้ำ

5.2.6.6 ผลลัพธ์ในการศึกษา

- ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 5.16 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการวัดมุม PSA

| Two-Way ANOVA Table With Interaction | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| part | 9 | 1.78620 | 0.198466 | 2001.83 | 0.00000 |
| operator | 2 | 0.00241 | 0.001203 | 12.13 | 0.00046 |
| operator*part | 18 | 0.00178 | 0.000099 | 0.62 | 0.85630 |
| Repeatability | 30 | 0.00481 | 0.000160 | | |
| Total | 59 | 1.79519 | | | |

ตารางที่ 5.17 ตาราง ANOVA แบบลดรูปของการศึกษา GR&R ของการวัดมุม PSA

| Two-Way ANOVA Table Without Interaction | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| part | 9 | 1.78620 | 0.198466 | 1445.57 | 0.00000 |
| operator | 2 | 0.00241 | 0.001203 | 8.76 | 0.00057 |
| Repeatability | 48 | 0.00659 | 0.000137 | | |
| Total | 59 | 1.79519 | | | |

- ผลการประเมินความผันแปร

ตารางที่ 5.18 ผลการประเมินความผันแปรของการวัดมุม PSA

| Source | %Contribution | |
|-----------------|----------------------|---------------------|
| | VarComp | (of VarComp) |
| Total Gage R&R | 0.000191 | 0.57 |
| Repeatability | 0.000137 | 0.41 |
| Reproducibility | 0.000053 | 0.16 |
| operator | 0.000053 | 0.16 |
| Part-To-Part | 0.033055 | 99.43 |
| Total Variation | 0.033245 | 100.00 |

ตารางที่ 5.18 (ต่อ) ผลการประเมินความผันแปรของการวัดมุม PSA

| Source | StdDev (SD) | Study Var (5.15*SD) | %Study Var (%SV) | %Process (SV/Proc) |
|-----------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Total Gage R&R | 0.013805 | 0.071093 | 7.57 | 7.84 |
| Repeatability | 0.011717 | 0.060344 | 6.43 | 6.66 |
| Reproducibility | 0.007299 | 0.037588 | 4.00 | 4.15 |
| operator | 0.007299 | 0.037588 | 4.00 | 4.15 |
| Part-To-Part | 0.181810 | 0.936321 | 99.71 | 103.30 |
| Total Variation | 0.182333 | 0.939016 | 100.00 | 103.60 |

Number of Distinct Categories = 19

5.2.6.7 วิเคราะห์และสรุปผลการศึกษา

เมื่อพิจารณาจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในขั้นแรกตามตารางที่ 5.16 จะพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างพนักงานและสิ่งตัวอย่างไม่มีนัยสำคัญ จึงทำการรวมความผันแปรของอิทธิพลร่วมดังกล่าวเข้ากับความผันแปรจากรีพีทเทเบิลิตีในรูปแบบของความแปรปรวนร่วม ดังแสดงด้วยตัวแบบลดรูปของ ANOVA ในตารางที่ 5.17 ซึ่งพบว่าสิ่งตัวอย่างที่ได้รับการวัดทั้ง 10 ชิ้น มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.3 การทดลองเบื้องต้นเพื่อจัดลำดับค่าความผันแปรของกระบวนการ

5.3.1 จุดประสงค์ของการทดลอง : เพื่อที่จะศึกษาถึงค่าความผันแปรที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการในสายการผลิตแขนงจับหัวอ่านที่มีต่อค่ามุมตัวงาน

5.3.2 การเตรียมการทดลอง

- ตัวแปรตามที่พิจารณาคือค่ามุมในแต่ละกระบวนการ โดยจะพิจารณาในส่วน
ของความแปรปรวนที่เกิดขึ้น

- จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือ 400 ตัว

- ตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ ได้แก่

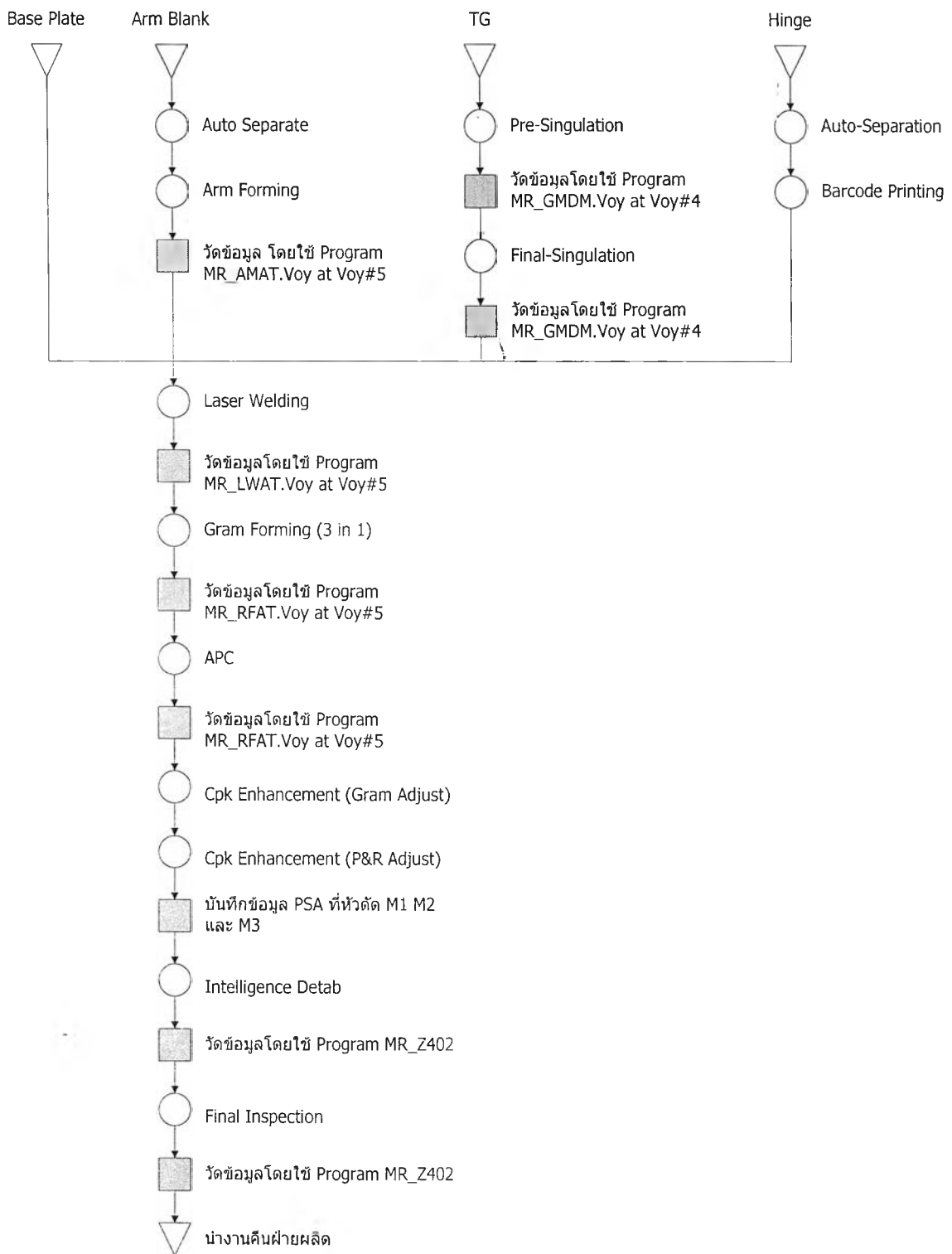
- ชั้นส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมาจากล็อตเดียวกัน
- ใช้เครื่องจักรเครื่องเดียวกันในการทดลอง
- ใช้เครื่องวัดเครื่องเดียวกัน
- ใช้พนักงานคนเดียวกันในการปฏิบัติงานในแต่ละกระบวนการ

- ตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

5.3.3 ขั้นตอนในการทดลอง : จะทำการทดลองอย่างต่อเนื่อง คือนำชิ้นส่วนเข้า
กระบวนการอย่างต่อเนื่องจนครบทุกชิ้นส่วนในแต่ละกระบวนการผลิต และนำสิ่งตัวอย่าง
ทดลองทั้งหมดนี้ไปวัดค่ามุมก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนการถัดไปตามลำดับ โดยรายละเอียด
ของขั้นตอนการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.24

5.3.4 ทำการทดลองและบันทึกผลตามแผนที่ย่างไว้ และนำข้อมูลการทดลอง (แสดงใน
ภาคผนวก จ) มาใส่ในโปรแกรม MINITAB เพื่อทำการคำนวณทางสถิติ

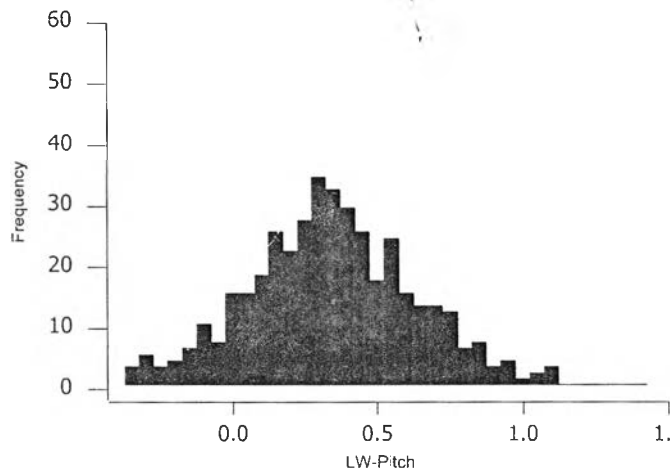
5.3.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 5.24 แผนภาพขั้นตอนการทดลอง

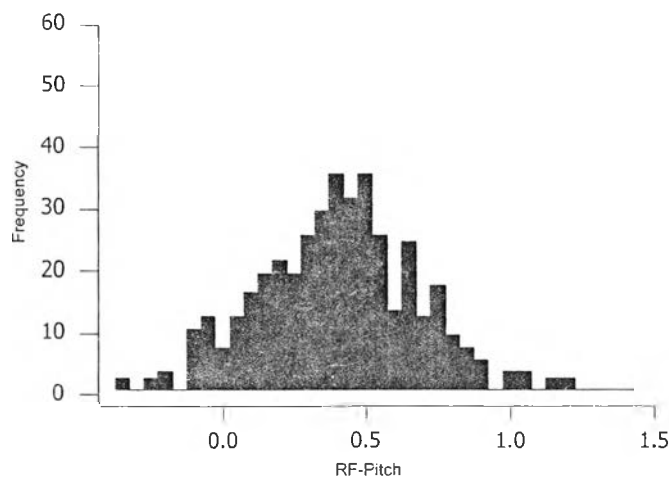
5.3.5.1 ค่าความผันแปรในแต่ละกระบวนการ : พิจารณาค่าความผันแปร โดยคำนวณในรูปของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดขึ้น และพิจารณาลักษณะการกระจายของข้อมูลโดยฮิสโตแกรมแยกตามแต่ละกระบวนการดังนี้คือ

- กระบวนการเชื่อม จากการคำนวณพบว่ามีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.284 และการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบปกติ แสดงดังฮิสโตแกรมในรูปที่ 5.25



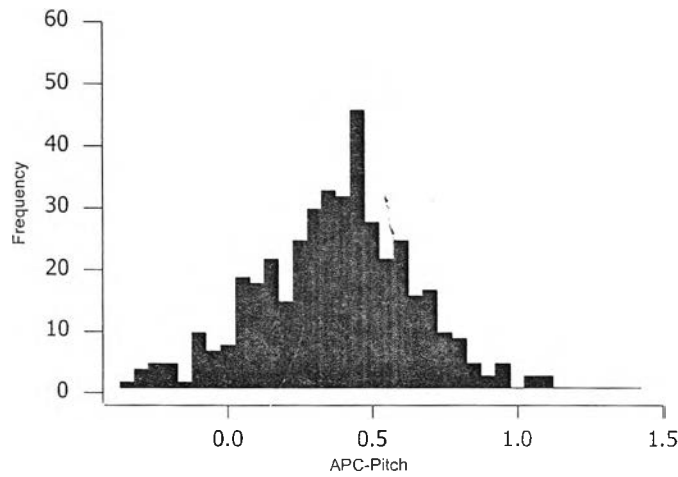
รูปที่ 5.25 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการเชื่อม

- กระบวนการขึ้นรูปค่าสปริง จากการคำนวณพบว่ามีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.272 และการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบปกติ แสดงดังฮิสโตแกรมในรูปที่ 5.26



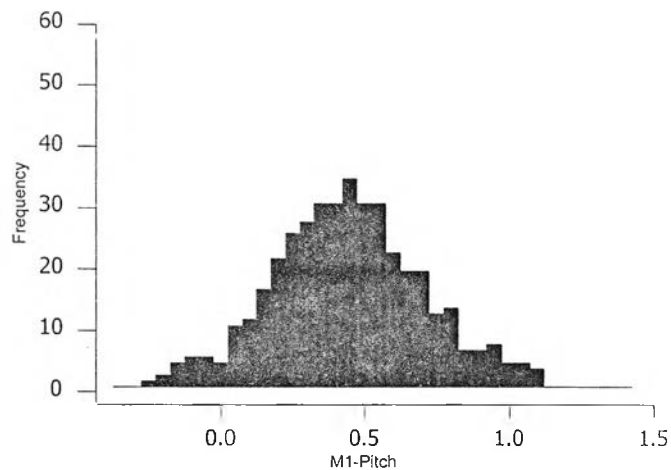
รูปที่ 5.26 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการขึ้นรูปค่าสปริง

- กระบวนการล้างชิ้นงาน จากการคำนวณพบว่ามีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.261 และการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบปกติ แสดงดังฮิสโตแกรมในรูปที่ 5.27

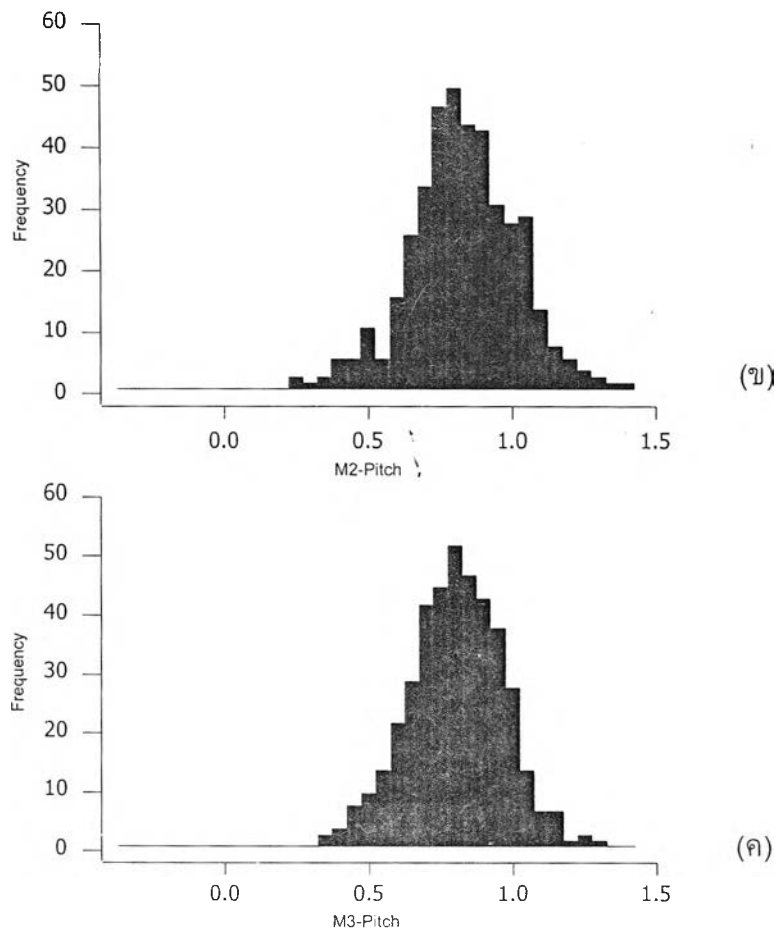


รูปที่ 5.27 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการล้างชิ้นงาน

- กระบวนการตัดค่าสปริงและตัดค่ามุมตัวงาน จากการคำนวณพบว่ามีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานดังนี้คือ ที่หัววัดที่ 1 (M1) มีค่าเท่ากับ 0.262, ที่หัววัดที่ 2 (M2) มีค่าเท่ากับ 0.184 และที่หัววัดที่ 3 (M3) มีค่าเท่ากับ 0.163 และการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบปกติ แสดงดังฮิสโตแกรมในรูปที่ 5.28 ก) ข) และ ค) ตามลำดับ

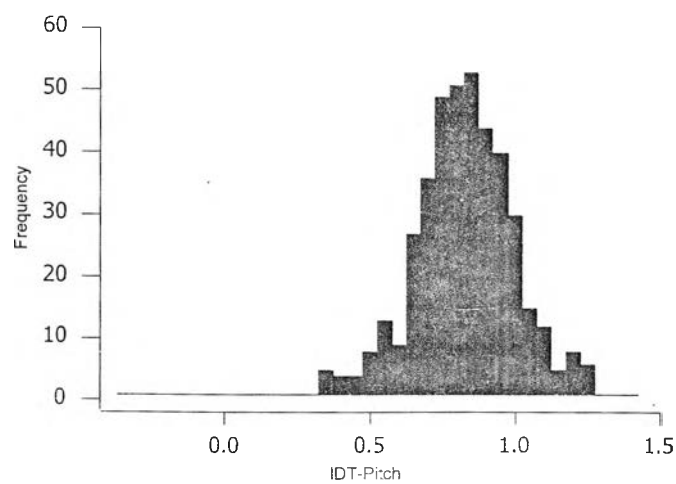


(ก)



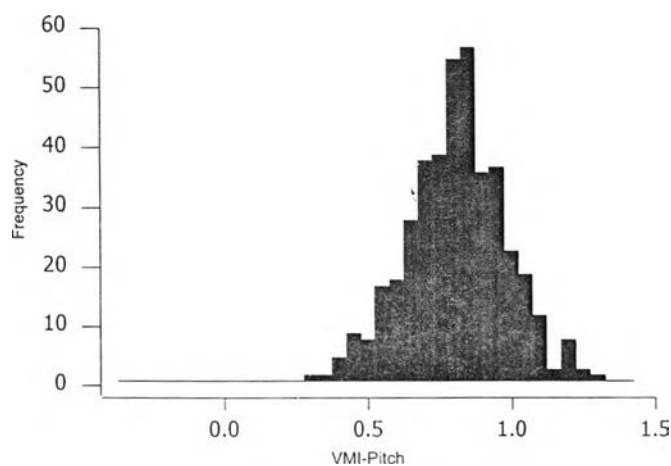
รูปที่ 5.28 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงาน
(ก) ที่ M1 (ข) ที่ M2 (ค) ที่ M3

- กระบวนการตัดแยกตัวงาน จากการคำนวณพบว่ามีความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.167 และการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบปกติ แสดงดังฮิสโตแกรมในรูปที่ 5.29



รูปที่ 5.29 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการตัดแยกตัวงาน

กระบวนการตรวจสอบด้วยตา จากการคำนวณพบว่ามีความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.171 และการกระจายของข้อมูลมีลักษณะเป็นแบบปกติ แสดงดังฮิสโตแกรมในรูปที่ 5.30



รูปที่ 5.30 แสดงฮิสโตแกรมของกระบวนการตรวจสอบด้วยตา

5.3.5.2 การทดสอบสมมติฐาน : หลังจากการคำนวณค่าความผันแปรในรูปของความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ามุมในแต่ละกระบวนการแล้ว เพื่อเป็นการยืนยันผลความแตกต่างของความแปรปรวนที่เกิดขึ้น จึงทำการทดสอบสมมติฐานและหาช่วงความเชื่อมั่นของความแตกต่างระหว่างความแปรปรวนของค่ามุมก่อนและหลังเข้ากระบวนการที่พิจารณา เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการได้มีผลกระทบต่อค่าความผันแปรอย่างมีนัยสำคัญ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.3.5.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ : ก่อนการทดสอบสมมติฐาน จะทำการตรวจสอบข้อมูลในแต่ละกระบวนการว่า ได้เป็นไปตามข้อกำหนดในการแจกแจงปกติหรือไม่ ซึ่งได้ผลตามตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.19 แสดงผลการทดสอบการแจกแจงปกติ

| ลำดับที่ | กระบวนการ | ค่า P-Value |
|----------|--------------------------------------|-------------|
| 1 | กระบวนการเชื่อม | 0.853 |
| 2 | กระบวนการขึ้นรูปค่าสปริง | 0.513 |
| 3 | กระบวนการล้างชิ้นงาน | 0.072 |
| 4 | กระบวนการตัดค่าสปริงและค้ำมุ่มตัวงาน | |
| | 4.1 M1 | 0.780 |
| | 4.2 M2 | 0.118 |
| | 4.3 M3 | 0.607 |
| 5 | กระบวนการตัดแยกตัวงาน | 0.086 |
| 6 | กระบวนการตรวจสอบด้วยตา | 0.350 |

จากตารางจะเห็นได้ว่า ข้อมูลในแต่ละกระบวนการนี้มีการแจกแจงเป็นแบบปกติ สังเกตได้จากค่า P-Value ที่มากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลชุดนี้ไปทำการทดสอบสมมติฐานต่อไป

5.3.5.2.2 ผลการทดสอบสมมติฐานและหาช่วงความเชื่อมั่นของความแปรปรวนของค้ำมุ่มในแต่ละกระบวนการ

- กระบวนการขึ้นรูปค่าสปริง

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma^2_{\text{ก่อนกระบวนการ}} = \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการ}}$$

$$H_a : \sigma^2_{\text{ก่อนกระบวนการ}} \neq \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการ}} \quad \text{ได้ผลดังตารางที่ 5.20}$$

ตารางที่ 5.20 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่ามุมก่อนและหลัง กระบวนการขึ้นรูปค่าสปริง

| Bonferroni confidence intervals for standard deviations | | | | |
|--|--------------|--------------|----------|----------------------|
| <i>Lower</i> | <i>Sigma</i> | <i>Upper</i> | <i>N</i> | <i>Factor Levels</i> |
| 0.263528 | 0.284484 | 0.308917 | 400 | LW-Pitch |
| 0.251691 | 0.271706 | 0.295041 | 400 | RF-Pitch |
| F-Test (normal distribution) | | | | |
| Test Statistic : 1.096 | | | | |
| P-Value : 0.359 | | | | |

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.359 นั้นหมายถึงความแปรปรวนของค่ามุมก่อนกระบวนการขึ้นรูปค่าสปริง (ความแปรปรวนค่ามุมที่ กระบวนการเชื่อม) และความแปรปรวนของค่ามุมหลังกระบวนการขึ้นรูปค่าสปริงไม่มีความ แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

- กระบวนการล้างชิ้นงาน

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma^2_{\text{ก่อนกระบวนการ}} = \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการ}}$$

$$H_a : \sigma^2_{\text{ก่อนกระบวนการ}} \neq \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการ}} \quad \text{ได้ผลดังตารางที่ 5.21}$$

ตารางที่ 5.21 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่ามุมก่อนและหลัง กระบวนการล้างชิ้นงาน

| Bonferroni confidence intervals for standard deviations | | | | |
|--|--------------|--------------|----------|----------------------|
| <i>Lower</i> | <i>Sigma</i> | <i>Upper</i> | <i>N</i> | <i>Factor Levels</i> |
| 0.251691 | 0.271706 | 0.295041 | 400 | RF-Pitch |
| 0.241524 | 0.260730 | 0.283122 | 400 | APC-Pitch |
| F-Test (normal distribution) | | | | |
| Test Statistic : 1.086 | | | | |
| P-Value : 0.410 | | | | |

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.410 นั้นหมายถึงความแปรปรวนของค่ามุมก่อนกระบวนการล้างชิ้นงาน (ความแปรปรวนค่ามุมที่กระบวนการขึ้นรูปค่าสปริง) และความแปรปรวนของค่ามุมหลังกระบวนการล้างชิ้นงานไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

- กระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M1

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma^2_{\text{ก่อนกระบวนการ}} = \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการ}}$$

$$H_a : \sigma^2_{\text{ก่อนกระบวนการ}} \neq \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการ}} \quad \text{ได้ผลดังตารางที่ 5.22}$$

ตารางที่ 5.22 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่ามุมก่อนและหลังกระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M1

| Bonferroni confidence intervals for standard deviations | | | | |
|--|--------------|--------------|----------|----------------------|
| <i>Lower</i> | <i>Sigma</i> | <i>Upper</i> | <i>N</i> | <i>Factor Levels</i> |
| 0.241524 | 0.260730 | 0.283122 | 400 | APC-Pitch |
| 0.242553 | 0.261841 | 0.284328 | 400 | M1-Pitch |
| F-Test (normal distribution) | | | | |
| Test Statistic | : 0.992 | | | |
| P-Value | : 0.932 | | | |

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.932 นั้นหมายถึงความแปรปรวนของค่ามุมก่อนกระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M1 (ความแปรปรวนค่ามุมที่กระบวนการล้างชิ้นงาน) และความแปรปรวนของค่ามุมหลังกระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M1 ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

- กระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M2

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma^2_{\text{ก่อนกระบวนการ}} = \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการ}}$$

$$H_a : \sigma^2_{\text{ก่อนกระบวนการ}} \neq \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการ}} \quad \text{ได้ผลดังตารางที่ 5.23}$$

ตารางที่ 5.23 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่ามุมก่อนและหลังกระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M2

| Bonferroni confidence intervals for standard deviations | | | | |
|--|--------------|--------------|----------|----------------------|
| <i>Lower</i> | <i>Sigma</i> | <i>Upper</i> | <i>N</i> | <i>Factor Levels</i> |
| 0.242553 | 0.261841 | 0.284328 | 400 | M1-Pitch |
| 0.170833 | 0.184418 | 0.200256 | 400 | M2-Pitch |
| F-Test (normal distribution) | | | | |
| Test Statistic : 2.016 | | | | |
| P-Value : 0.000 | | | | |

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 นั้นหมายถึงความแปรปรวนของค่ามุมก่อนกระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M2 (ความแปรปรวนค่ามุมที่กระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M1) และความแปรปรวนของค่ามุมหลังกระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M2 แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

- กระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M3

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma^2_{\text{ก่อนกระบวนการ}} = \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการ}}$$

$$H_a : \sigma^2_{\text{ก่อนกระบวนการ}} \neq \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการ}} \quad \text{ได้ผลดังตารางที่ 5.24}$$

ตารางที่ 5.24 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่ามุมก่อนและหลังกระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M3

| Bonferroni confidence intervals for standard deviations | | | | |
|--|--------------|--------------|----------|----------------------|
| <i>Lower</i> | <i>Sigma</i> | <i>Upper</i> | <i>N</i> | <i>Factor Levels</i> |
| 0.170833 | 0.184418 | 0.200256 | 400 | M2-Pitch |
| 0.151116 | 0.163133 | 0.177143 | 400 | M3-Pitch |
| F-Test (normal distribution) | | | | |
| Test Statistic : 1.278 | | | | |
| P-Value : 0.014 | | | | |

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.014 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 นั้นหมายถึงความแปรปรวนของค่ามุมก่อนกระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M3 (ความแปรปรวนค่ามุมที่กระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M2) และความแปรปรวนของค่ามุมหลังกระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M3 แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

- กระบวนการตัดแยกตัวงาน

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma^2_{\text{ก่อนกระบวนการ}} = \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการ}}$$

$$H_a : \sigma^2_{\text{ก่อนกระบวนการ}} \neq \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการ}} \quad \text{ได้ผลดังตารางที่ 5.25}$$

ตารางที่ 5.25 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่ามุมก่อนและหลังกระบวนการตัดแยกตัวงาน

| Bonferroni confidence intervals for standard deviations | | | | |
|--|--------------|--------------|----------|----------------------|
| <i>Lower</i> | <i>Sigma</i> | <i>Upper</i> | <i>N</i> | <i>Factor Levels</i> |
| 0.151116 | 0.163133 | 0.177143 | 400 | M3-Pitch |
| 0.154854 | 0.167169 | 0.181526 | 400 | IDT-Pitch |
| F-Test (normal distribution) | | | | |
| Test Statistic : 0.952 | | | | |
| P-Value : 0.626 | | | | |

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.626 นั้นหมายถึงความแปรปรวนของค่ามุมก่อนกระบวนการตัดแยกตัวงาน (ความแปรปรวนค่ามุมที่กระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M3) และความแปรปรวนของค่ามุมหลังกระบวนการตัดแยกตัวงาน ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

- กระบวนการตรวจสอบด้วยตา

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma^2_{\text{ก่อนกระบวนการ}} = \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการ}}$$

$$H_a : \sigma^2_{\text{ก่อนกระบวนการ}} \neq \sigma^2_{\text{หลังกระบวนการ}} \quad \text{ได้ผลดังตารางที่ 5.26}$$

ตารางที่ 5.26 ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าความแปรปรวนของค่ามุมก่อนและหลังกระบวนการตรวจสอบด้วยตา

| Bonferroni confidence intervals for standard deviations | | | | |
|--|--------------|--------------|----------|----------------------|
| Lower | Sigma | Upper | N | Factor Levels |
| 0.154854 | 0.167169 | 0.181526 | 400 | IDT-Pitch |
| 0.158342 | 0.170933 | 0.185613 | 400 | VMI-Pitch |
| <u>F-Test (normal distribution)</u> | | | | |
| Test Statistic : 0.956 | | | | |
| P-Value : 0.657 | | | | |

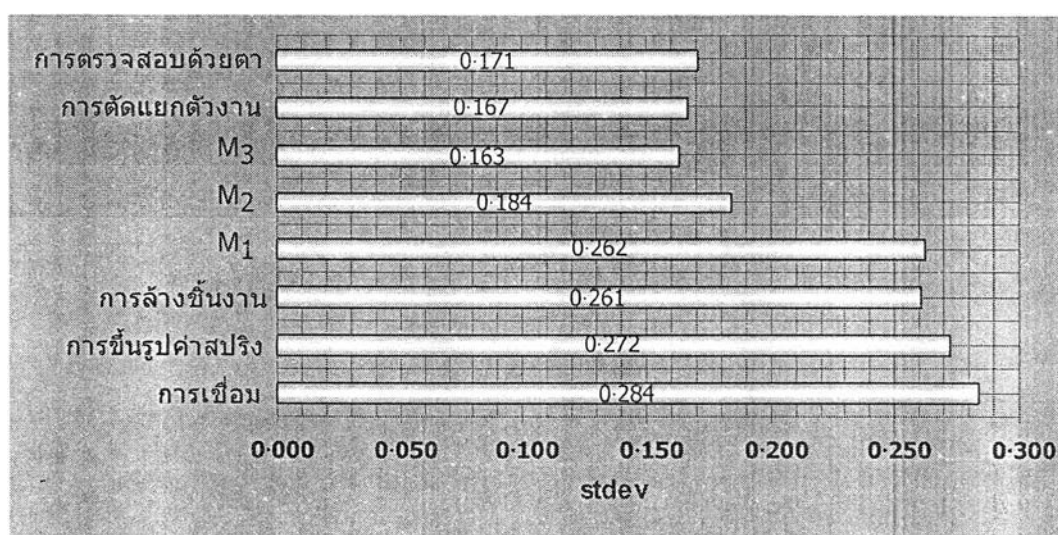
จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.657 นั้นหมายถึงความแปรปรวนของค่ามุมก่อนกระบวนการตรวจสอบด้วยตา (ความแปรปรวนค่ามุมที่กระบวนการตัดแยกตัวงาน) และความแปรปรวนของค่ามุมหลังกระบวนการตรวจสอบด้วยตา ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

5.3.6 สรุปผลการทดลอง

5.3.6.1 กระบวนการเชื่อมประกอบชิ้นส่วนมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของมุมตัวงานเกิดขึ้นสูงที่สุดคือ 0.284 โดยช่วงความเชื่อมแน่นอยู่ระหว่าง 0.264 ถึง 0.309 แสดงดังกราฟในรูปที่ 5.31

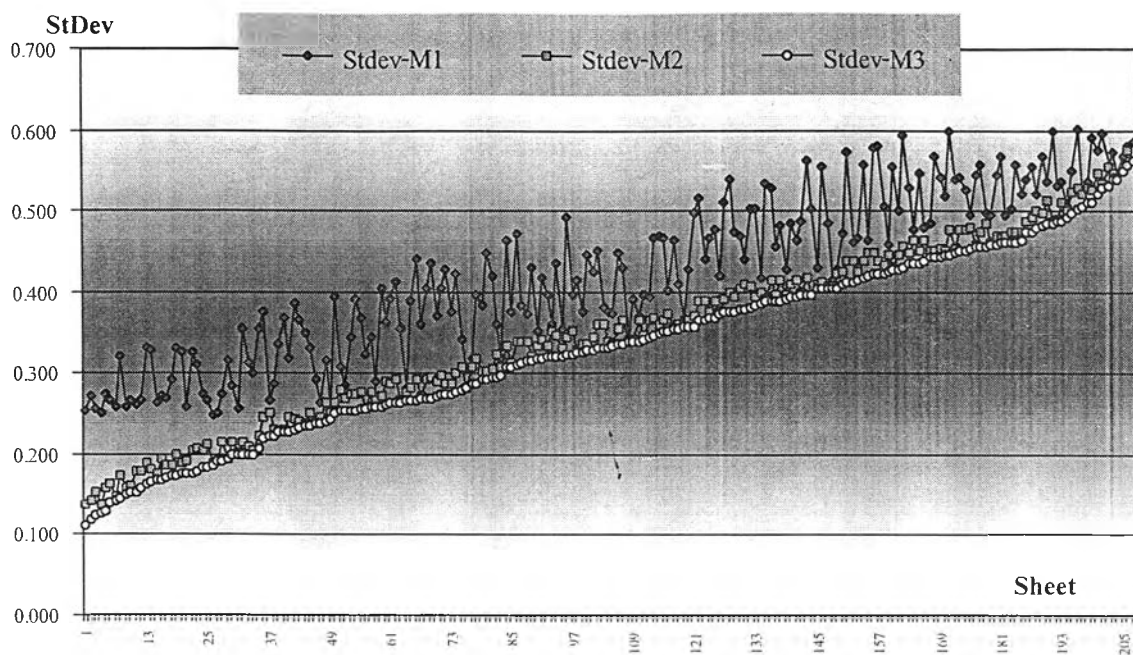
5.3.6.2 จากผลการทดสอบความแตกต่างของค่าความแปรปรวนพบว่า ที่กระบวนการขึ้นรูปค่าสปริง, กระบวนการล้างชิ้นงาน และที่กระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M1 ไม่มีอิทธิพลในการทำให้ค่าความแปรปรวนเพิ่มขึ้น เนื่องจากผลการทดสอบสมมติฐานไม่มีความแตกต่างกันระหว่างค่าความแปรปรวนก่อนเข้ากระบวนการและหลังผ่านกระบวนการดังกล่าวนี้

ในกระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M2 และที่ M3 จะมีอิทธิพลทำให้ค่าความแปรปรวนของมุมตัวงานมีค่าที่ลดลงจากเดิม และที่กระบวนการตัดแยกตัวงานและกระบวนการตรวจสอบด้วยสายตา ไม่มีอิทธิพลในการทำให้ค่าความแปรปรวนเพิ่มขึ้นจากเดิม



รูปที่ 5.31 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานแยกตามกระบวนการ

ดังนั้นจากการทดลองนี้ พบว่ากระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M2 และ M3 สามารถที่จะลดค่าความแปรปรวนของค่ามุมได้ นั่นคือหากความแปรปรวนของค่ามุมตัวงานมีค่าน้อยก่อนเข้ากระบวนการ ก็จะมีผลทำให้งานในรูปของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปนั้นมีความแปรปรวนที่ลดลงไปได้เมื่อผ่านกระบวนการที่ M2 และ M3 เพื่อเป็นการยืนยันข้อสรุปนี้ จึงได้ทำการเก็บข้อมูลในอดีตของกระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานที่ M1, M2 และ M3 พบว่าค่าความแปรปรวนมีแนวโน้มตามข้อสรุปดังกล่าว แสดงดังกราฟในรูปที่ 5.32



รูปที่ 5.32 กราฟแสดงค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่กระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงาน

ในขั้นตอนถัดไปจึงพิจารณาเลือกกระบวนการเชื่อมประกอบชิ้นส่วนมาทำการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตดังกล่าว เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดค่าความแปรปรวนของค่ามุมมากที่สุด ในขณะที่กระบวนการอื่นๆ ก่อนกระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อทำให้ความแปรปรวนของค่ามุมของงานก่อนเข้ากระบวนการตัดค่าสปริงและค่ามุมตัวงานดังกล่าวลดลง

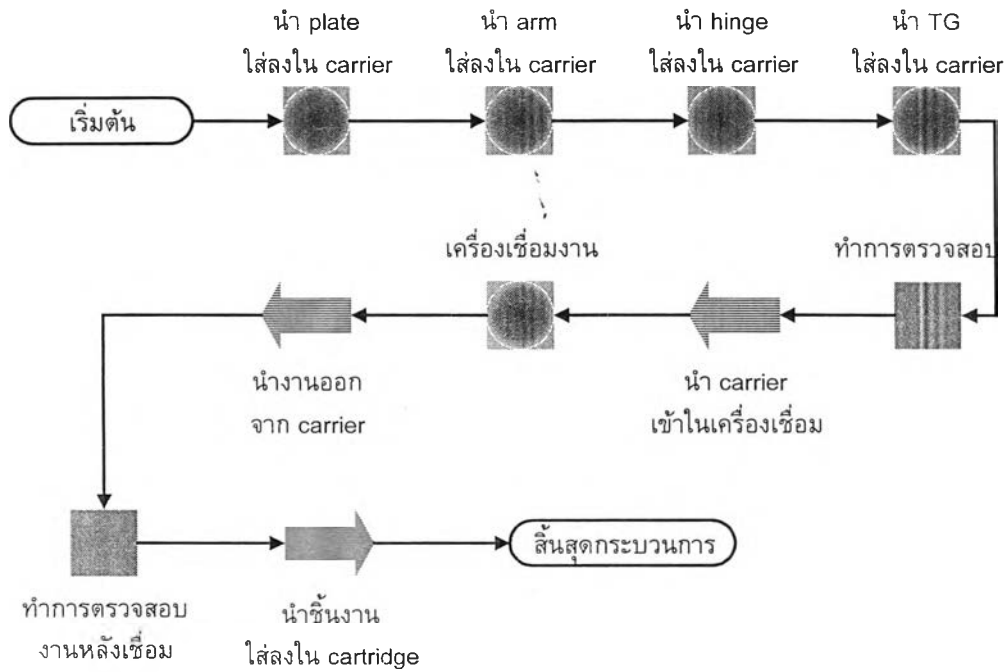
5.4 การวิเคราะห์ปัญหาด้วย Cause and Effect Matrix

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการระดมความคิดจากสมาชิกที่ทำการคัดเลือกจากผู้ที่มีความชำนาญและผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับกระบวนการเชื่อมประกอบชิ้นงาน นั่นคือ วิศวกรผู้ชำนาญด้านการเชื่อม (Laser Expert Engineer), วิศวกรควบคุมกระบวนการผลิต (Process Engineer) และฝ่ายช่างที่ดูแลกระบวนการเชื่อม (Technician) ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้คือ

5.4.1 ทำการศึกษาขั้นตอนของกระบวนการเชื่อมประกอบชิ้นส่วนโดยละเอียด โดยใช้แผนภาพกระบวนการผลิตช่วยในการศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 5.33

5.4.2 ระดมความคิดเพื่อระบุปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่ามุมตัวงานในกระบวนการเชื่อมประกอบชิ้นงาน ซึ่งเครื่องมือที่จะนำมาประยุกต์ใช้ช่วยในการพิจารณาคือแผนภาพอิชิกาวา ในการระดมความคิดนี้จะกระทำโดยกลุ่มสมาชิกที่ได้เลือกไว้

ทำการระดมความคิดโดยอิสระ เพราะในขั้นตอนนี้ผลลัพธ์ที่ต้องการคือจำนวนปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยผลของการระดมความคิดแยกตามแหล่งที่มาของสาเหตุทั้ง 6 ประเภท แสดงดังแผนภาพอิซิกาวาของความแปรปรวนของค่ามุดังรูปที่ 5.34

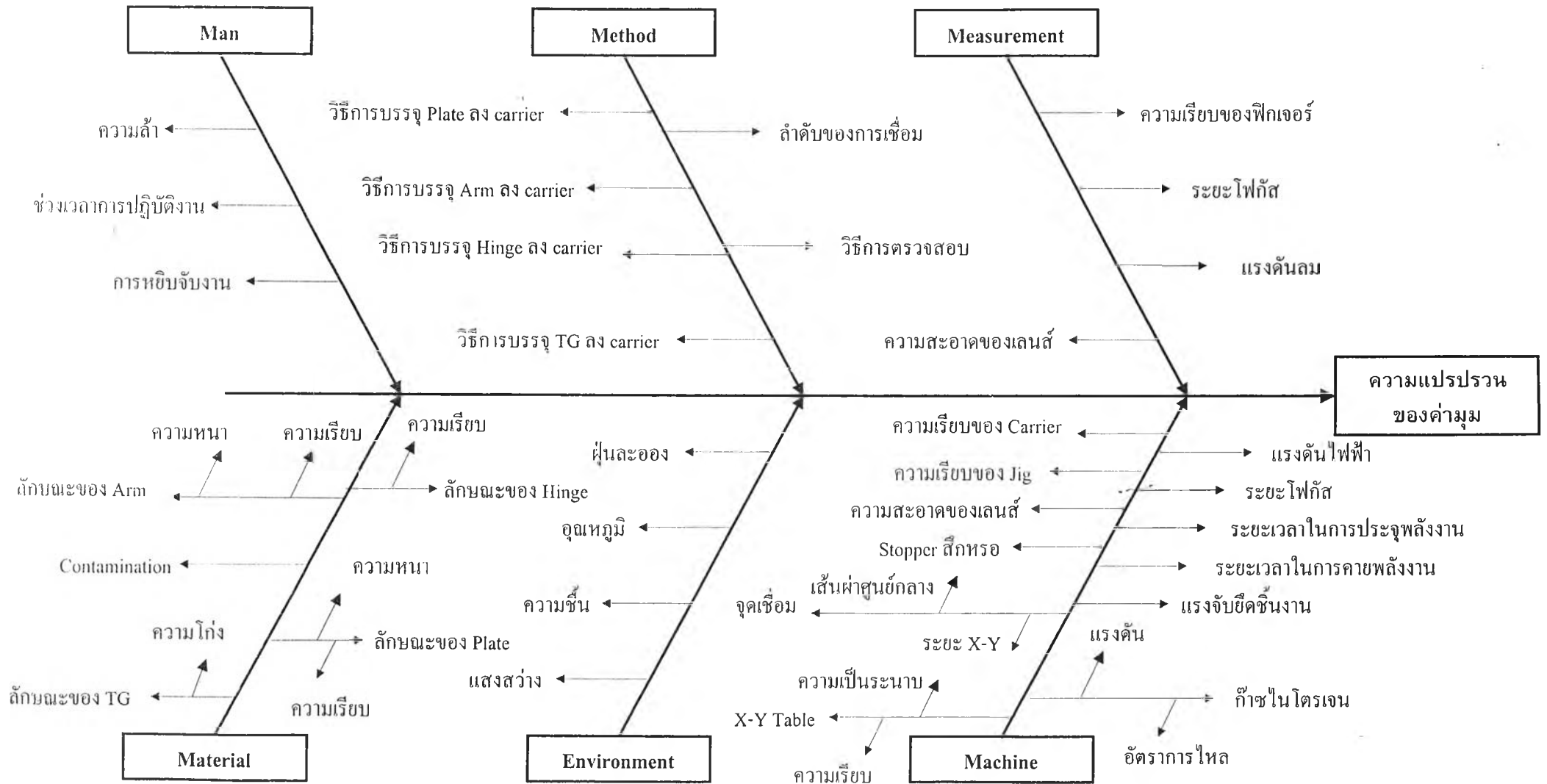


รูปที่ 5.33 แสดงแผนภาพกระบวนการเชื่อมประกอบชิ้นส่วน

5.4.3 นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาใส่ลงในตาราง Cause and Effect Matrix ในช่องปัจจัยนำเข้าทางซ้ายมือ ส่วนบนของตารางให้ใส่ค่าความสำคัญของความแปรปรวนของค่ามุดที่มีต่อลูกค้า ในที่นี้กำหนดให้อัตราความสำคัญเท่ากับ 10 เนื่องจากเป็นผลลัพธ์ที่ต้องการเพียงข้อเดียว

5.4.4 ให้กลุ่มสมาชิกทำการลงคะแนนความสำคัญให้กับทุกปัจจัยที่ได้ ซึ่งจะให้คะแนนในช่วง 1 ถึง 10 คะแนน โดยแต่ละคนจะให้คะแนนของตัวเองจนครบทุกปัจจัย

5.4.5 ผู้วิจัยรวบรวมคะแนน พร้อมทั้งทำการคุณค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยในแต่ละสมาชิกด้วยอัตราความสำคัญที่มีต่อลูกค้า (10) จากนั้นทำการรวมคะแนนที่ได้ทั้งหมดในแต่ละปัจจัย และทำการสรุปผลคะแนนในตาราง Cause and Effect Matrix ดังแสดงในตารางที่ 5.27 และจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยโดยเรียงตามลำดับคะแนนจากมากไปน้อยด้วยแผนภูมิพาเรโต ดังแสดงในรูป 5.35



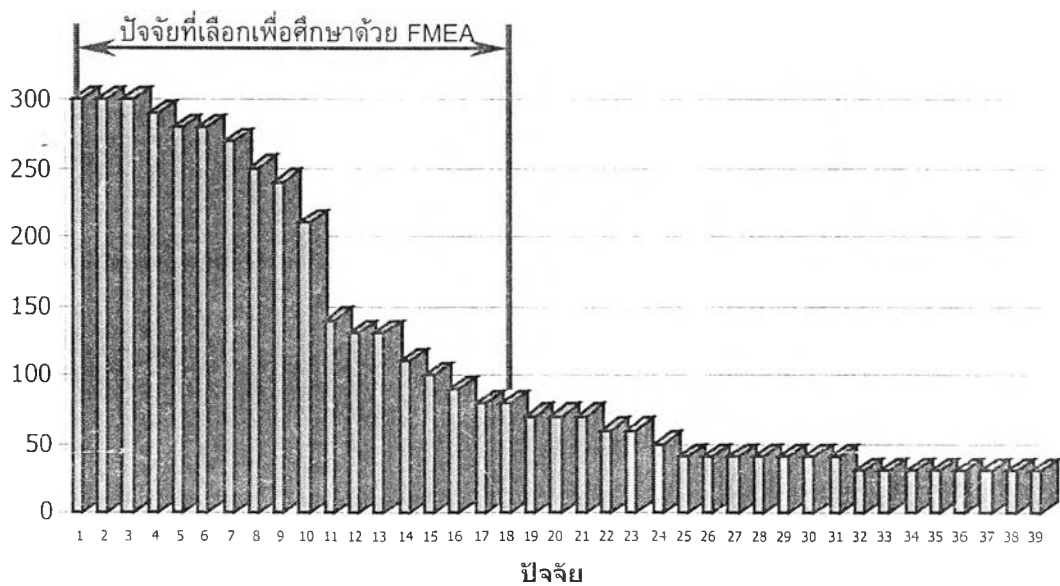
รูปที่ 5.34 แสดงแผนภาพอิชิกาวาของความแปรปรวนของค่ามุม

ตารางที่ 5.27 แสดงตาราง Cause and Effect Matrix

| RATING OF IMPORTANCE TO CUSTOMER | | | 10 |
|----------------------------------|------------------|-----------------------------------|-------|
| | | | Total |
| Item | Six Areas Causes | Process Input Variables | |
| 1 | Man | การหยิบจับชิ้นงาน | 250 |
| 2 | | ความเมื่อยล้า | 30 |
| 3 | | ช่วงเวลาการปฏิบัติงาน | 30 |
| 4 | Machine | ความเรียบของ carrier | 130 |
| 5 | | ความเรียบของ jig | 80 |
| 6 | | ความเป็นระนาบของ X-Y table | 130 |
| 7 | | ความเรียบของ X-Y table | 70 |
| 8 | | Stopper สึกหรือ | 40 |
| 9 | | แรงดันไฟฟ้า | 290 |
| 10 | | แรงดันของก๊าซไนโตรเจน | 30 |
| 11 | | อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน | 30 |
| 12 | | ระยะไฟก๊สของการเชื่อม | 270 |
| 13 | | ระยะเวลาในการประจุพลังงาน | 280 |
| 14 | | ระยะเวลาในการคายพลังงาน | 280 |
| 15 | | แรงจับยึดชิ้นงาน | 210 |
| 16 | | ความสะอาดของเลนส์เชื่อม | 140 |
| 17 | | ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม | 300 |
| 18 | | ระยะ X-Y ของจุดเชื่อม | 300 |
| 19 | Material | ความเรียบของ Hinge | 30 |
| 20 | | ความเรียบของ Plate | 90 |
| 21 | | ความหนาของ Plate | 40 |
| 22 | | ความเรียบของ Arm | 40 |
| 23 | | ความหนาของ Arm | 40 |
| 24 | | ความเรียบของ TG | 300 |
| 25 | | สิ่งสกปรกบนตัวงาน | 80 |

ตารางที่ 5.27 (ต่อ) แสดงตาราง Cause and Effect Matrix

| RATING OF IMPORTANCE TO CUSTOMER | | | 10 |
|----------------------------------|------------------|-------------------------------|-------|
| | | | Total |
| Item | Six Areas Causes | Process Input Variables | |
| 26 | Method | ลำดับของการเชื่อม | 50 |
| 27 | | วิธีการบรรจุ Plate ลง carrier | 40 |
| 28 | | วิธีการบรรจุ Arm ลง carrier | 40 |
| 29 | | วิธีการบรรจุ Hinge ลง carrier | 40 |
| 30 | | วิธีการบรรจุ TG ลง carrier | 240 |
| 31 | | วิธีการตรวจสอบงาน | 30 |
| 32 | Measurement | ความเรียบของฟิกเจอร์ | 70 |
| 33 | | แรงดันลม | 60 |
| 34 | | ความสะอาดของเลนส์วัด | 100 |
| 35 | | ระยะโฟกัสของการวัด | 110 |
| 36 | Environment | อุณหภูมิ | 30 |
| 37 | | ความชื้น | 30 |
| 38 | | ฝุ่นละออง | 70 |
| 39 | | ความสว่าง | 60 |
| Total | | | 4480 |



รูปที่ 5.35 แสดงแผนภูมิพาร์โตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ จากการวิเคราะห์ด้วย Cause and Effect Matrix

5.4.6 สรุปผลการศึกษา

จากผลการให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีต่อค่าความแปรปรวนของค่ามุมตัวงาน โดยสมาชิกในกลุ่ม พบว่าคะแนนรวมทั้งหมดของปัจจัยมีค่าเท่ากับ 4,480 และทำการเลือกปัจจัยตามลำดับคะแนนที่ได้จัดเรียงไว้ในแผนภูมิพารโต เพื่อนำไปศึกษาต่อด้วย FMEA ต่อไป โดยปัจจัยที่ได้เลือกไว้มีดังนี้ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม, ระยะ X-Y ของจุดเชื่อม, ความเรียบของ TG, แรงดันไฟฟ้า, ระยะเวลาในการประจุพลังงาน, ระยะเวลาในการคายพลังงาน, ระยะโฟกัสของการเชื่อม, การหยิบจับชิ้นงาน, วิธีการบรรจุ TG ลง carrier, แรงจับยึดชิ้นงาน, ความสะอาดของเลนส์เชื่อม, ความเรียบของ carrier, ความเป็นระนาบของ X-Y Table, ระยะโฟกัสของการวัด, ความสะอาดของเลนส์วัด, ความเรียบของ Plate, ความเรียบของ Jig และสิ่งสกปรกบนตัวงาน รวมทั้งสิ้น 18 ปัจจัย

ผลรวมของคะแนนความสำคัญของปัจจัยทั้งหมดที่ได้เลือกไว้ มีค่าเท่ากับ 3,580 ซึ่งเป็นสัดส่วนประมาณ 80% ของคะแนนรวมทั้งหมด

5.5 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

หลังจากที่ได้พิจารณาเลือกปัจจัยที่สำคัญจากการพิจารณาด้วย Cause and Effect Matrix แล้ว ในขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยเหล่านี้มาวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ ด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “ FMEA “ เพื่อที่จะศึกษาถึงลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของปัจจัยต่างๆ เหล่านี้พร้อมกับพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นด้วย เพื่อที่จะกลั่นกรองให้เหลือแต่ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปัญหาที่ทำการศึกษาอีกครั้งหนึ่ง ก่อนที่จะนำไปทดลองใน ขั้นตอนถัดไป ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้คือ

- - ระดับความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่องเหล่านี้ที่มีต่อค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อมของตัวงานที่เกิดขึ้น
- - ระดับถึงที่มาที่เป็นสาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องเหล่านี้ พร้อมกับพิจารณาความถี่ของสาเหตุที่เกิดขึ้นนี้
- - ระดับถึงมาตรการในการควบคุมเพื่อป้องกันไม่ให้ข้อบกพร่องต่างๆ เหล่านี้เกิดขึ้น และระบุความสามารถหรือประสิทธิภาพของระบบควบคุมดังกล่าวด้วย

ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วย FMEA ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

5.5.1 ทำการจัดตั้งกลุ่มสมาชิก ซึ่งจะเป็นกลุ่มสมาชิกกลุ่มเดียวกันกับ Cause and Effect Matrix ซึ่งประกอบไปด้วย วิศวกรผู้ชำนาญด้านการเชื่อม (Laser Expert Engineer), วิศวกรควบคุมกระบวนการผลิต (Process Engineer) และฝ่ายช่างที่ดูแลกระบวนการเชื่อม (Technician)

5.5.2 กำหนดขอบเขตของปัญหาที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่

- กระบวนการที่ทำการวิเคราะห์ ในการศึกษาครั้งนี้คือกระบวนการเชื่อมประกอบชิ้นงาน
- ตัวแปรตอบสนองที่เป็นผลลัพธ์ที่ต้องการศึกษา คือค่ามุมหลังเชื่อมของตัวงาน โดยจะศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อม

5.5.3 พิจารณปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยในขั้นตอนนี้จะยกเอาปัจจัยทั้ง 18 ปัจจัยที่ได้คัดเลือกไว้จากการวิเคราะห์ Cause and Effect Matrix มาใส่ไว้ในแบบฟอร์มมาตรฐานของการวิเคราะห์ FMEA

5.5.4 พิจารณาลักษณะข้อบกพร่องของแต่ละปัจจัยในหัวข้อ 5.5.3 จากนั้นบันทึกผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองที่ศึกษา ในการศึกษาครั้งนี้คือ ผลกระทบที่มีต่อค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อมของตัวงาน

5.5.5 ประเมินความร้ายแรงของลักษณะข้อบกพร่องที่ได้เรียบเรียงไว้ที่มีผลกระทบกับค่าความแปรปรวนของค่ามุม ซึ่งขึ้นกับความรู้และความชำนาญของสมาชิกภายในกลุ่ม

5.5.6 กลุ่มสมาชิกแจกแจงสาเหตุที่เป็นไปได้ ที่เป็นที่มาที่ทำให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องนั้นๆ จากนั้นประเมินความถี่ที่สาเหตุดังกล่าวจะมีโอกาสเกิดขึ้น ซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลในอดีตร่วมกับความรู้และความชำนาญของสมาชิกภายในกลุ่ม

5.5.7 พิจารณาระบบการควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน เพื่อที่จะป้องกันหรือตรวจสอบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นและทำการแก้ไขก่อนที่ผลิตภัณฑ์จะส่งไปถึงมือลูกค้า ในที่นี้คือกระบวนการถัดไปนั่นเอง จากนั้นประเมินคะแนนสำหรับประสิทธิภาพในการตรวจจับหรือป้องกันข้อบกพร่องของระบบดังกล่าวที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

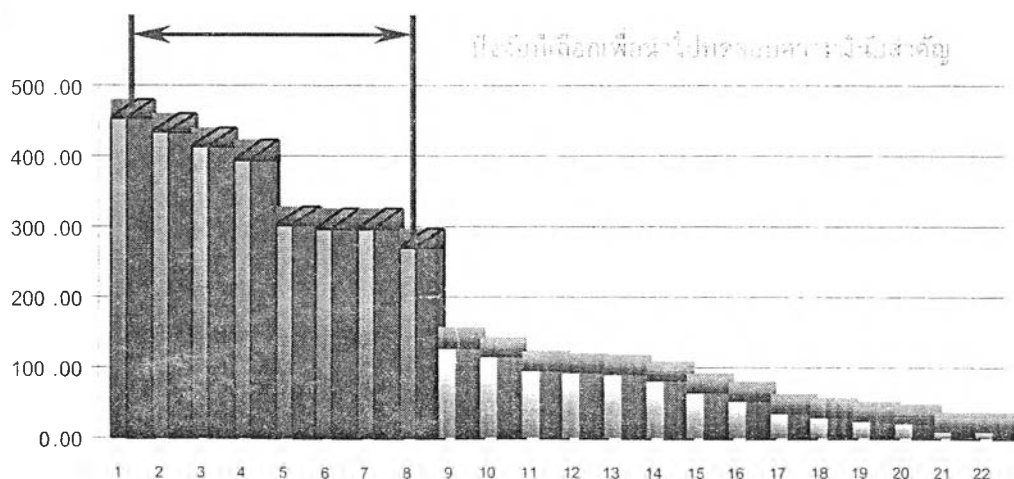
5.5.8 คำนวณค่า RPN ในแต่ละแถวซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณของค่าคะแนนทั้งสามประเภท คือ คะแนนความร้ายแรง * คะแนนความถี่ * คะแนนประสิทธิภาพของระบบควบคุมที่ได้ประเมินไว้ และบันทึกค่าไว้ในตารางมาตรฐาน FMEA โดยตารางการวิเคราะห์แสดงไว้ในตารางที่ 5.28

5.5.9 วิเคราะห์ผล

จากตารางการวิเคราะห์ FMEA คะแนนรวมของ RPN มีค่าเท่ากับ 3,741 คะแนน จากนั้นนำผลคะแนน RPN ที่ได้ มาจัดเรียงจากมากไปน้อยตามลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดและสาเหตุที่เป็นที่มาของลักษณะข้อบกพร่องนี้ และพล็อตในรูปของแผนภูมิพารेटโตเพื่อดูแนวโน้มลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ดังรูปที่ 5.36 และจากการพิจารณาแผนภูมิพารेटโตพบว่า ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะถูกเลือกเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อมีดังนี้

- ระยะ Y ของจุดเชื่อม
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม
- ความเรียบของ TG
- ระยะโฟกัสของการเชื่อม
- ระยะ X ของจุดเชื่อม
- ระยะเวลาในการประจุพลังงาน
- ระยะเวลาในการคายพลังงาน และ
- แรงดันไฟฟ้า

ปัจจัยที่ได้เลือกไว้มีจำนวนทั้งหมด 8 ปัจจัย และมีคะแนน RPN รวมกันทั้งสิ้น 2,872 คะแนน ซึ่งเป็นสัดส่วนเท่ากับ 77% ของคะแนน RPN ทั้งหมด โดยในขั้นตอนต่อไปจะทำการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยต่างๆ เหล่านี้เพื่อยืนยันความมีนัยสำคัญของผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนของค่ามุมหลังเชื่อมของตัวงานต่อไป



รูปที่ 5.36 แสดงแผนภูมิพารेटโตเรียงลำดับตามคะแนน RPN

ตารางที่ 5.28 ตารางการวิเคราะห์ FMEA ของกระบวนการเชื่อมประกอบชิ้นงาน

**Process / Product
Failure Modes and Effects Analysis
(FMEA)**

Responsibility : **Process Engineer**

Project Name / Description : **Reduction of PSA Variation**

Core Team : **Laser Expert Engineer, Process Engineer & Technician** Prepared By : **Chanchai B.**

| Item | Key Process Input | Potential Failure Mode | Potential Failure Effects | S E V | Potential Causes | O C C | control | D E T | R P N |
|------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------|-------------|-------------------|-------------|---------------------------------|-------------|-------------|
| 1 | ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจุดเชื่อม | มีขนาดเล็กหรือใหญ่เกินไป | ความแปรปรวนของค่ามุม | 10.00 | ปรับค่าไม่เหมาะสม | 7.67 | ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสาร (PCP) | 5.67 | 434.44 |
| 2 | ระยะ X ของจุดเชื่อม | ตำแหน่งจุดเชื่อมในแกน X ไม่ได้ตำแหน่ง | | 7.00 | ปรับค่าไม่เหมาะสม | 7.67 | ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสาร (PCP) | 5.67 | 304.11 |
| 3 | ระยะ Y ของจุดเชื่อม | ตำแหน่งจุดเชื่อมในแกน Y ไม่ได้ตำแหน่ง | | 10.00 | ปรับค่าไม่เหมาะสม | 8.00 | ควบคุมตามข้อกำหนดในเอกสาร (PCP) | 5.67 | 453.33 |

ตารางที่ 5.28 (ต่อ) ตารางการวิเคราะห์ FMEA ของกระบวนการเชื่อมประกอบชิ้นงาน

| Item | Key Process Input | Potential Failure Mode | Potential Failure Effects | S E V | Potential Causes | O C C | control | D E T | R. P N |
|------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|-------------|---------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|--------------|
| 4 | ความเรียบของ TG | TG โกง | ความแปรปรวน ของค่ามุม | 10.00 | มาจากผู้ผลิต (Vendor) | 7.33 | ตรวจสอบโดย IQA | 5.67 | 415.56 |
| | | | | 10.00 | ผ่านการตัดที่ Final Singulation | 3.00 | ตรวจสอบด้วยสายตา | 4.33 | 130.00 |
| 5 | แรงดันไฟฟ้า | แรงดันไฟฟ้าไม่คงที่ | | 6.00 | แหล่งจ่ายไฟไม่สม่ำเสมอ | 2.67 | เอกสารการปรับตั้งเครื่องจักร (MI) | 6.00 | 96.00 |
| | | แรงดันไฟฟ้าสูงหรือต่ำเกินไป | | 9.67 | ปรับค่าไม่เหมาะสม | 4.67 | เอกสารการปรับตั้งเครื่องจักร (MI) | 6.00 | 270.76 |
| 6 | ระยะเวลาในการประจุพลังงาน | ระยะเวลาสั้นหรือยาวเกินไป | | 9.33 | ปรับค่าไม่เหมาะสม | 5.33 | เอกสารการปรับตั้งเครื่องจักร (MI) | 6.00 | 298.56 |
| 7 | ระยะเวลาในการคายพลังงาน | ระยะเวลาสั้นหรือยาวเกินไป | | 9.33 | ปรับค่าไม่เหมาะสม | 5.33 | เอกสารการปรับตั้งเครื่องจักร (MI) | 6.00 | 298.56 |
| 8 | ระยะโฟกัสของการเชื่อม | ระยะโฟกัสน้อยหรือมากเกินไป | | 9.00 | ปรับค่าไม่เหมาะสม | 7.33 | เอกสารการปรับตั้งเครื่องจักร (MI) | 6.00 | 396.00 |
| 9 | การหยิบจับชิ้นงาน | หยิบจับผิดตำแหน่ง | | 8.33 | พนักงานไม่ปฏิบัติตามเอกสาร | 2.00 | เอกสารการปฏิบัติงาน (PI) | 5.00 | 83.30 |

ตารางที่ 5.28 (ต่อ) ตารางการวิเคราะห์ FMEA ของกระบวนการเชื่อมประกอบชิ้นงาน

| Item | Key Process Input | Potential Failure Mode | Potential Failure Effects | S E V | Potential Causes | O C C | control | D E T | R P N |
|------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------|----------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|-------------|
| 10 | วิธีการบรรจุ TG ลง carrier | TG ไม่ลงตรงตามตำแหน่ง | ความแปรปรวนของค่ามุม | 8.00 | พนักงานไม่ปฏิบัติตามเอกสาร | 2.33 | เอกสารการปฏิบัติงาน (PI) | 5.00 | 93.33 |
| 11 | แรงจับยึดชิ้นงาน | แรงจับยึดสูงหรือต่ำเกินไป | | 7.00 | การปรับตั้งไม่ดี | 1.67 | ไม่มีการควบคุม | 10.00 | 116.67 |
| 12 | ความสะอาดของเลนส์เชื่อม | เลนส์สกปรก | | 4.67 | ฝุ่นหรือเขม่าเกาะ | 3.33 | PI และบันทึกการบำรุงรักษา | 1.67 | 25.94 |
| 13 | ความเรียบของ carrier | ผิวไม่เรียบ | | 4.33 | มาจากผู้ผลิต (Vendor) | 3.67 | ตรวจสอบโดย IQA | 2.33 | 37.05 |
| 14 | ความเป็นระนาบของ X-Y table | ไม่ได้ระนาบเดียวกัน | | 4.33 | การปรับตั้งไม่ดี | 2.67 | เอกสารการปรับตั้งเครื่องจักร (MI) | 5.67 | 65.43 |
| | | | | 4.33 | สกปรกยึดหลวม | 1.67 | บันทึกการบำรุงรักษา | 1.67 | 12.03 |
| 15 | ระยะไฟกัสของการวัด | ระยะไฟกัสน้อยหรือมากเกินไป | | 3.67 | การปรับตั้งไม่ดี | 4.33 | เอกสารการปรับตั้งเครื่องจักร (MI) | 5.67 | 90.12 |
| 16 | ความสะอาดของเลนส์วัด | เลนส์สกปรก | | 3.33 | ฝุ่น | 2.00 | บันทึกการบำรุงรักษา | 1.67 | 11.10 |

ตารางที่ 5.28 (ต่อ) ตารางการวิเคราะห์ FMEA ของกระบวนการเชื่อมประกอบชิ้นงาน

| Item | Key Process Input | Potential Failure Mode | Potential Failure Effects | S E V | Potential Causes | O C C | control | D E T | R P N |
|------|--------------------|------------------------|---------------------------|-------------|-----------------------|-------------|---------------------------------------|-------------|-------------|
| 17 | ความเรียบของ Plate | มีผิวไม่เรียบ | ความแปรปรวน ของค่ามุม | 3.00 | มาจากผู้ผลิต (Vendor) | 3.33 | ตรวจสอบโดย IQA | 5.33 | 53.33 |
| 18 | ความเรียบของ jig | มีผิวไม่เรียบ | | 2.67 | มาจากผู้ผลิต (Vendor) | 3.67 | ตรวจสอบโดย IQA | 2.33 | 22.84 |
| 19 | สิ่งสกปรกบนตัวงาน | มีสิ่งสกปรกบนตัวงาน | | 2.67 | ฝุ่นจับที่ตัวงาน | 2.00 | ตรวจสอบด้วยสายตาได้ กล้องจุลทรรศน์ | 6.00 | 32.04 |

5.6 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุปัญหา

5.6.1 จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่มีการวัดค่ามุมตัวงานที่แต่ละกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่าน พบว่าเครื่องมือวัดเหล่านี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี โดยมีค่า P/TV น้อยกว่า 10% นั่นคือหากความผันแปรของกระบวนการมีค่า 100 หน่วย จะมีความผันแปรเนื่องจากกระบวนการวัดน้อยกว่า 10 หน่วย ซึ่งสามารถที่จะใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่ทำการศึกษา

5.6.2 ผลการทดลองเพื่อประเมินความแปรปรวนของค่ามุมตัวงานในสายการผลิตแขนจับหัวอ่าน พบว่ากระบวนการเชื่อมประกอบชิ้นงาน เป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดค่าความแปรปรวนในรูปของความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ามุมมากที่สุดคือ 0.284 และได้ถูกเลือกเป็นกระบวนการที่จะทำการปรับปรุงเพื่อลดค่าความแปรปรวนของค่ามุมตัวงานตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้

5.6.3 ผลจากการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่กระบวนการเชื่อมประกอบชิ้นงานด้วย Cause and Effect Matrix และ FMEA ตามลำดับ พบว่าปัจจัยที่มีแนวโน้มกับผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนของค่ามุมที่กระบวนการเชื่อมนี้มีทั้งสิ้น 8 ปัจจัย ได้แก่ ระยะเวลา Y ของจุดเชื่อม, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเชื่อม, ความเรียบของ TG, ระยะเวลาของการเชื่อม, ระยะเวลา X ของจุดเชื่อม, ระยะเวลาในการประจุพลังงาน, ระยะเวลาในการคายพลังงาน และแรงดันไฟฟ้า ซึ่งปัจจัยที่ได้เลือกทั้งหมดนี้ จะนำไปวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่อไป

