บทที่ 4

การวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา

4.1 การกำหนดปัญหา

ผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบด้วยเทคโนโลยีใหม่มีความบอบบางต่อกระแสไฟฟ้าสถิตย์สูงมาก จากข้อมูลในอดีตพบว่าของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้มีปริมาณข้อบกพร่องอันเนื่องมาจากคุณภาพไม่ได้ตามข้อกำหนดของพังก์ชั่นทางไฟฟ้า หรือมีชื่อเรียกในวงการผลิตว่าข้อบกพร่องจากสาเหตุกระแสไฟฟ้าสถิตย์ (ESD) จากข้อมูลช่วงระหว่างเดือนสิงหาคมถึงตุลาคม 2542 ค่าเฉลี่ยของเสียมีปริมาณ 31600 DPPM

เมื่อสามารถระบุปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาปรับปรุง หลังจากนั้นจะต้องทำการก่อตั้งทีมงานเพื่อทำงานร่วมกันสำหรับการทำการควบคุมคุณภาพแบบซิกซ์ซิกมา ทีมงานจะประกอบไปด้วยกลุ่มคนซึ่งทำหน้าที่รับผิดชอบในแต่ละส่วนของกระบวนการผลิต เช่น หัวหน้าพนักงานฝ่ายการผลิตและควบคุมคุณภาพ วิศวกรฝ่ายกระบวนการผลิต วิศวกรฝ่ายเครื่องกล วิศวกรฝ่ายเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า วิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพ ซึ่งแต่ละคนจะมีหน้าที่ที่แตกต่างกันในการศึกษาและปรับปรุงการควบคุมคุณภาพแบบซิกซ์ซิกมา แต่หน้าที่จะมีความสัมพันธ์และสอดคล้องกับหน่วยงานที่แต่ละคนปฏิบัติงานอยู่ นอกจากนั้นยังมีหลายส่วนของการศึกษาต้องอาศัยการระดมสมองของผู้ที่มีความชำนาญและประสบการณ์ในกระบวนการนั้น ๆ ซึ่งผู้ที่มีหน้าที่ตามที่ระบุจะมาจากหน่วยงานทั้งหมดจะครอบคลุมความรับผิดชอบในกระบวนการผลิตและมีประสบการณ์ที่มีประโยชน์ต่อการดำเนินโครงการ ซึ่งผู้วิจัยทำหน้าที่ในส่วนวิศวกรฝ่ายควบคุมคุณภาพและเป็นผู้รับผิดชอบในการประสานงานเพื่อดำเนินการควบคุมคุณภาพแบบซิกซ์มาในหัวการลดข้อบกพร่องจากสาเหตุกระแสไฟฟ้าสถิตย์ ทีมงานจะต้องทำการประชุมเพื่อรับทราบถึงความก้าวหน้าและร่วมแสดงความคิดเห็นเพื่อให้เกิดการดำเนินการควบคุมคุณภาพมีประสิทธิภาพมากที่สุดอย่างน้อยที่สุดอาทิตย์ละครั้งหรือตามความเหมาะสมของผู้รับผิดชอบโครงการจนกระทั่งโครงการบรรลุจุดมุ่งหมาย

4.2 วัตถุประสงค์

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต จากข้อมูลข้อบกพร่องในอดีต ณ เดือนสิงหาคมถึงตุลาคม 2534 จาก 31600 DPPM เป็น 5000

รูปที่ 4.1 จำนวนข้อบกพร่องที่ตรวจวัดในกระบวนการผลิตและเป้าหมายของการลดของเสีย

4.3 การวิเคราะห์ทางด้านการเงิน

การวิเคราะห์ทางการเงินเป็นวิธีการวัดและประเมินผลการปรับปรุงคุณภาพในรูปตัวเงิน โดยปกติการปรับปรุงคุณภาพจะวัดได้จากจำนวนของเสียและข้อบกพร่องที่ลดลงเปรียบเทียบกับจำนวนของเสียที่พบก่อนทำการปรับปรุงแก้ไข และคิดเทียบเป็นผลกำไรที่ได้รับในรูปของตัวเงินจากการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการดำเนินคุณภาพแบบซิกซ์ซิกมา

การวิเคราะห์ทางด้านการเงินจะพิจารณาในส่วนของปริมาณการผลิตในแต่ละเดือน จำนวนของเสียที่คาดว่าจะทำการปรับปรุงได้เมื่อดำเนินการด้วยวิธีการแก้ไขปัญหาแบบซิกซ์ซิกมา และนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์สัดส่วนของเสียปัจจุบันก่อนทำการปรับปรุง เมื่อได้สัดส่วนของเสียที่สามารถปรับปรุงได้ก็จะนำมาคำนวณในรูปผลกำไรที่ได้รับจากค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและของเสียที่ต้องทิ้งไป และคำนวณเป็นหน่วยจำนวนเงินที่คาดว่าจะได้รับเนื่องจากการปรับปรุงกระบวนการและลดของเสีย

ตารางที่ 4.1 แสดงการวิเคราะห์ทางด้านการเงิน

	Oct	Nov	Dec	ไตรมาสที่ 2	Jan	Feb	Mar	ไตรมาสที่ 3	Apr	May
ปริมาณการผลิต (K)	72.7	57.2	7.6	179.9	59.3	51.0	69.6	179.9	48.7	37.6
ขนาดที่ของเสียปัจจุบัน (Baseline (%))	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16	3.16
ค่าประมาณของการปรับปรุงร้อยกพร่อง (Forecast Yield (%))	3.16	3.16	2.90	2.40	1.26	1.26	1.26	1.26	0.50	0.50
ผลที่ได้รับ Gain (%)	0.00	0.00	0.26	0.76	1.90	1.90	1.90	1.90	2.66	2.66
ผลที่ได้รับในเชิงผลผลิต (K)	0.0	0.0	0.02	1.4	1.1	1.0	1.3	3.4	1.3	1.0
ค่าใช้จ่ายลดในการซ่อมแซม @ $31.57 / HSA			624	42,923	35,570	30,591	41,748	107,909	40,896	31,575
ค่าใช้จ่ายของของเสีย @ $2.14 / HGA (2 HGA/HSA)			85	5,819	4,822	4,147	5,660	14,629	5,544	4,281
จำนวนเงินที่ประหยัดได้ ($)			708	48,742	40,392	34,739	47,408	122,539	46,441	35,856

4.4 การวิเคราะห์การไหลของกระบวนการผลิต

การตรวจพิเคราะห์กระบวนการผลิตเป็นงานขั้นตอนแรกของการพัฒนาคุณภาพของการผลิต เพราะผลจากการตรวจพิเคราะห์จะทำให้สามารถทราบสาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องที่มีผลจริง ๆ ต่อคุณภาพของสินค้าที่ผลิตได้ เพราะการสรุปที่มองข้ามสาเหตุที่ถูกซ่อนเร้นและสาเหตุที่ไม่ใช่สาเหตุที่แท้จริงของปัญหาแล้วทำการแก้ไขไปทันที อาจได้ผลเพียงระยะสั้น แต่ในที่สุดก็จะเกิดปัญหาขึ้นมาอีกซึ่งอาจมีผลกระทบรุนแรงกว่าก็เป็นไปได้

การค้นหาหรือตรวจพิเคราะห์เพื่อหาจุดบกพร่องของกระบวนการผลิตอันเป็นสาเหตุของความบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมานั้น กระทำได้หลายวิธี เช่น การระดมความคิดจากผู้มีประสบการณ์ หรือจากพนักงานที่ปฏิบัติหน้าที่นั้น โดยการทดลอง โดยการตั้งสมมติฐาน หรือโดยการใช้ข้อมูลทางสถิติที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธีและมีปริมาณข้อมูลที่เพียงพอ

การวิเคราะห์กระบวนการผลิตอย่างละเอียดสามารถทำให้เข้าใจกระบวนการและพิเคราะห์หาสาเหตุอย่างแท้จริงได้ เนื่องจากบางครั้งกระบวนการที่ซ่อนเร้นอยู่ (Hidden Factory) อาจจะเป็นสาเหตุสำคัญก่อให้เกิดปัญหาซึ่งมิควรจะละเลย

4.4.1 การวิเคราะห์การไหลของกระบวนการผลิตโดยรวม

การวิเคราะห์การไหลของกระบวนการผลิตโดยภาพรวม ผู้ทำการวิเคราะห์จะต้องมีความเข้าใจในกระบวนการผลิตและสามารถระบุปัญหา ซึ่งจะก่อให้เกิดข้อบกพร่อง ได้อย่างชัดเจนว่าขั้นตอนใดมีโอกาสก่อให้ข้อบกพร่องได้ เพื่อทำการวิเคราะห์สาเหตุโดยใช้หลักทางสถิติวิศวกรรมต่อไป

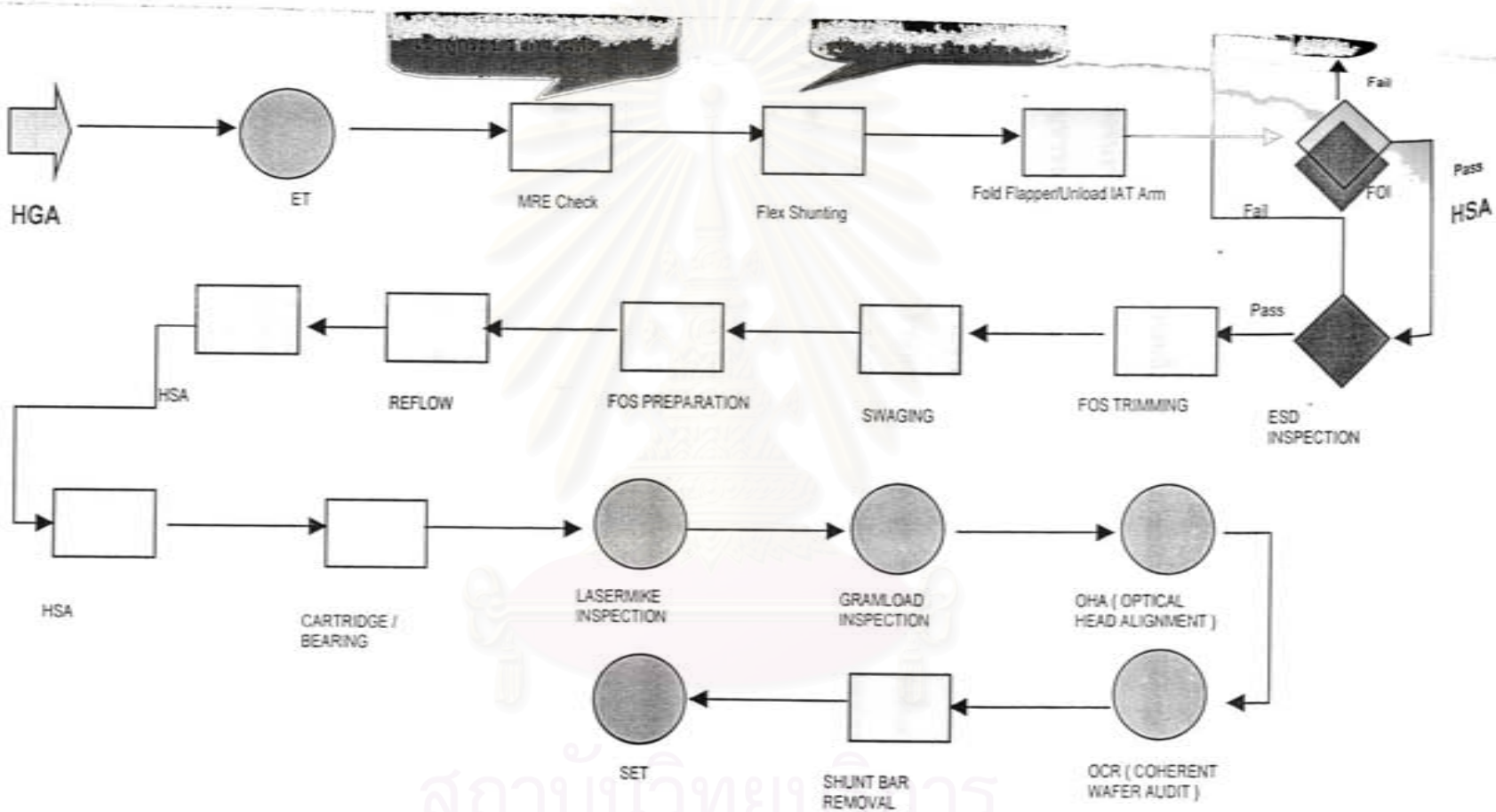
จากภาพแสดงการตรวจพิเคราะห์กระบวนการผลิตโดยเริ่มต้นจากขั้นตอนการผลิตส่วนต้นในการประกอบ HGA เข้าสู่ขั้นตอนการตรวจค่าฟังก์ชั่นทางไฟฟ้าในส่วนของค่าความต้านทาน ซึ่งจะเป็นข้อกำหนดที่สำคัญในการบ่งบอกถึงความบกพร่องของผลิตภัณฑ์อันเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าสถิตย์ กล่าวคือ เมื่อชิ้นงานผ่านการวัดค่าความต้านทาน ถ้าค่าความต้านทานไม่อยู่ในข้อกำหนด กล่าวได้ว่าชิ้นงานนั้นไม่ผ่านข้อกำหนดด้วยสาเหตุหลักคือ กระแสไฟฟ้าสถิตย์ สถานีนี้มีโอกาสก่อให้เกิดข้อบกพร่องจากกระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่ท้ายกระบวนการผลิตได้ เนื่องจากมีข้อมูลในอดีตที่สามารถระบุว่างานที่ไม่ผ่านข้อกำ าหนดที่ท้ายกระบวนผลิตของ HSA เกิดจากของเสียที่เกิดขึ้นจาก HGA ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดของเครื่องวัด MRE Tester แต่งานเหล่านี้ปะปนเข้าสู่กระบวนการผลิต ในการระบุสาเหตุของปัญหาของการปะปนงานเสียจะต้องทำการศึกษาและวิเคราะห์การไหลของกระบวนการผลิตอย่างละเอียดต่อไป

ขั้นตอนต่อไปของการวิเคราะห์กระบวนการผลิตคือสถานีการต่อเชื่อมของตะกั่วเพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าสถิตย์ทำลายชิ้นงาน ขั้นตอนนี้เครื่องจักรจะสัมผัสกับเส้นไฟโดยตรง ซึ่งกระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสกันของส่วนของเครื่องจักรและเส้นไฟของชิ้นงาน ซึ่งก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์จะไหลผ่านทางเดินของเส้นไฟและทำ าลายความสามารถในการอ่านของชิ้นงานได้ และสาเหตุที่สำคัญต่อไปคือ การต่อกราวด์ของเครื่องจักรซึ่งจะต้องทำ าการวิเคราะห์ด้วยหลักสถิติวิศวกรรมต่อไป

ขั้นตอนต่อไปคือการพับบริเวณ Flapper ซึ่งจะมีเฉพาะ HGA ประเภท DN เช่นเดียวกันขั้นตอนนี้มีการสัมผัสกับ FOS และก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่ทำ าลายความสามารถในการอ่านของชิ้นงานได้ ขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิตต้นคือ การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยกล้องกำลังขยาย พนักงานจะต้องมีการจับชิ้นงานในการตรวจสอบซึ่งมีโอกาสและก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่ทำลายความสามารถในการอ่านของชิ้นงานได้

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการประกอบ HGA แล้ว ก็จะเริ่มต้นกระบวนการของการผลิต HSA ซึ่งรายละเอียดของกระบวนการผลิตสามารถดูได้จากบทที่ 3 กระบวนการผลิต HSA มีซึ่งสถานีที่มีโอกาสก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่ทำลายความสามารถในการอ่านของชิ้นงานได้เช่นเดียวกันซึ่งจะทำการวิเคราะห์ด้วยหลักทางสถิติต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์กระบวนการไหลของการวางผังงานโดยรวม

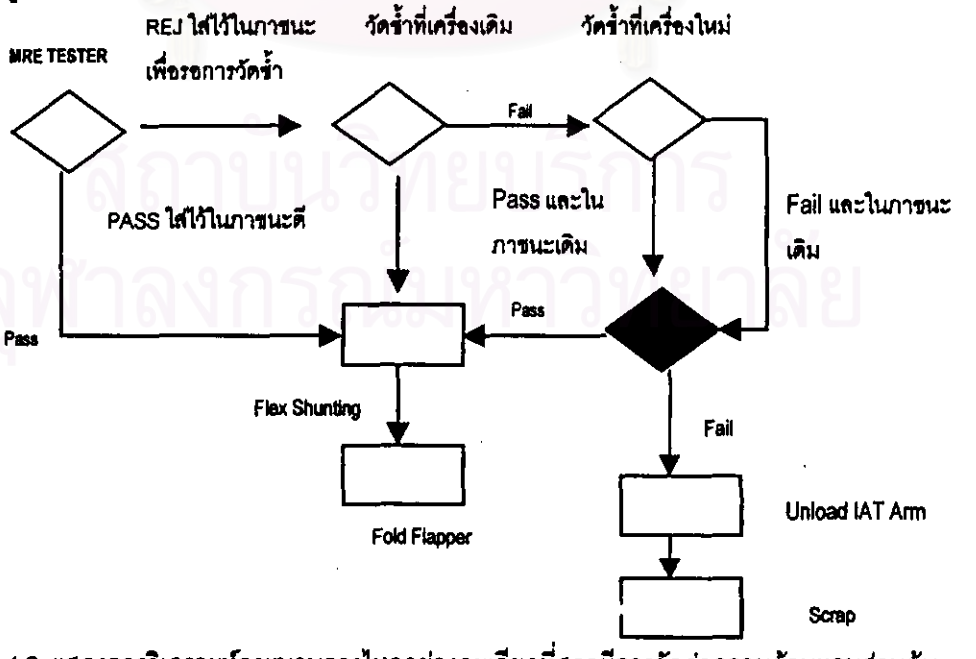
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.2 การวิเคราะห์การไหลของกระบวนการผลิตโดยละเอียด

การวิเคราะห์กระบวนการไหลของกระบวนการผลิตโดยละเอียดจะทำการตรวจวิเคราะห์ทุกขั้นตอนของการประกอบชิ้นงานเพื่อสามารถเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่มีโอกาสจะก่อให้เกิดปัญหา เนื่องจากปัญหาเหล่านั้นอาจถูกมองข้ามหรือซ่อนเร้นได้ โดยปัญหาเหล่านั้นอาจจะเป็นสิ่งที่แอบซ่อนโดยที่ไม่ได้นำมาแก้ไขเพราะอาจจะเป็นสิ่งที่ปฏิบัติกันอย่างต่อเนื่องและมองข้ามปัญหาเหล่านั้นไป

จากการวิเคราะห์กระบวนการผลิตโดยภาพรวม สามารถระบุปัญหา ณ สถานีการตรวจวัดค่าความต้านทานของชิ้นงาน หรือ MRE tester ดังนั้นการวิเคราะห์โดยละเอียดของสถานีการผลิตนี้ และสามารถตรวจพบปัญหาของการปะปนชิ้นงานได้สองประการ คือ วิธีการทำงาน และการวางผังงาน

วิธีการทำงานปัจจุบันมีความซับซ้อนและมีความเสี่ยงต่อการปะปนงานเสียเข้าสู่กระบวนการผลิตสูงเนื่องจากการตรวจวัดค่าความต้านทานของชิ้นงาน ณ ปัจจุบัน พบว่าชิ้นงานที่ผ่านการตรวจสอบครั้งแรก ต้องทำการตรวจวัดซ้ำได้เพื่อให้มั่นใจว่างานชิ้นนั้นไม่ผ่านข้อกำหนดอย่างแท้จริง การวัดซ้ำเป็นการป้องกันการความผิดพลาดเนื่องจากการใส่ชิ้นงานเข้าเครื่อง ถ้ากรณีที่วัดซ้ำที่เครื่องเดิมแล้วยังไม่ผ่านข้อกำหนด พนักงานจะแยกงานเพื่อที่จะส่งไปวัดเครื่องอื่น เมื่อตรวจวัดเครื่องอื่น และผ่านข้อกำหนดก็จะทำสัญลักษณ์และใส่กลับภาชนะเดิมที่ทำการตรวจวัดซ้ำ และเช่นเดียวกันถ้ากรณีชิ้นงานไม่ผ่านข้อกำหนดก็จะทำสัญลักษณ์และใส่ในภาชนะเดิม ขั้นตอนการตรวจวัดซ้ำหลายครั้งทำให้เกิดการปะปนงาน เนื่องจากเกิดความผิดพลาดจากการทำสัญลักษณ์และการตรวจแยกชิ้นงานที่ไม่ผ่านข้อกำหนดออกทำให้ชิ้นงานเสียปะปนเข้าสู่กระบวนการผลิต

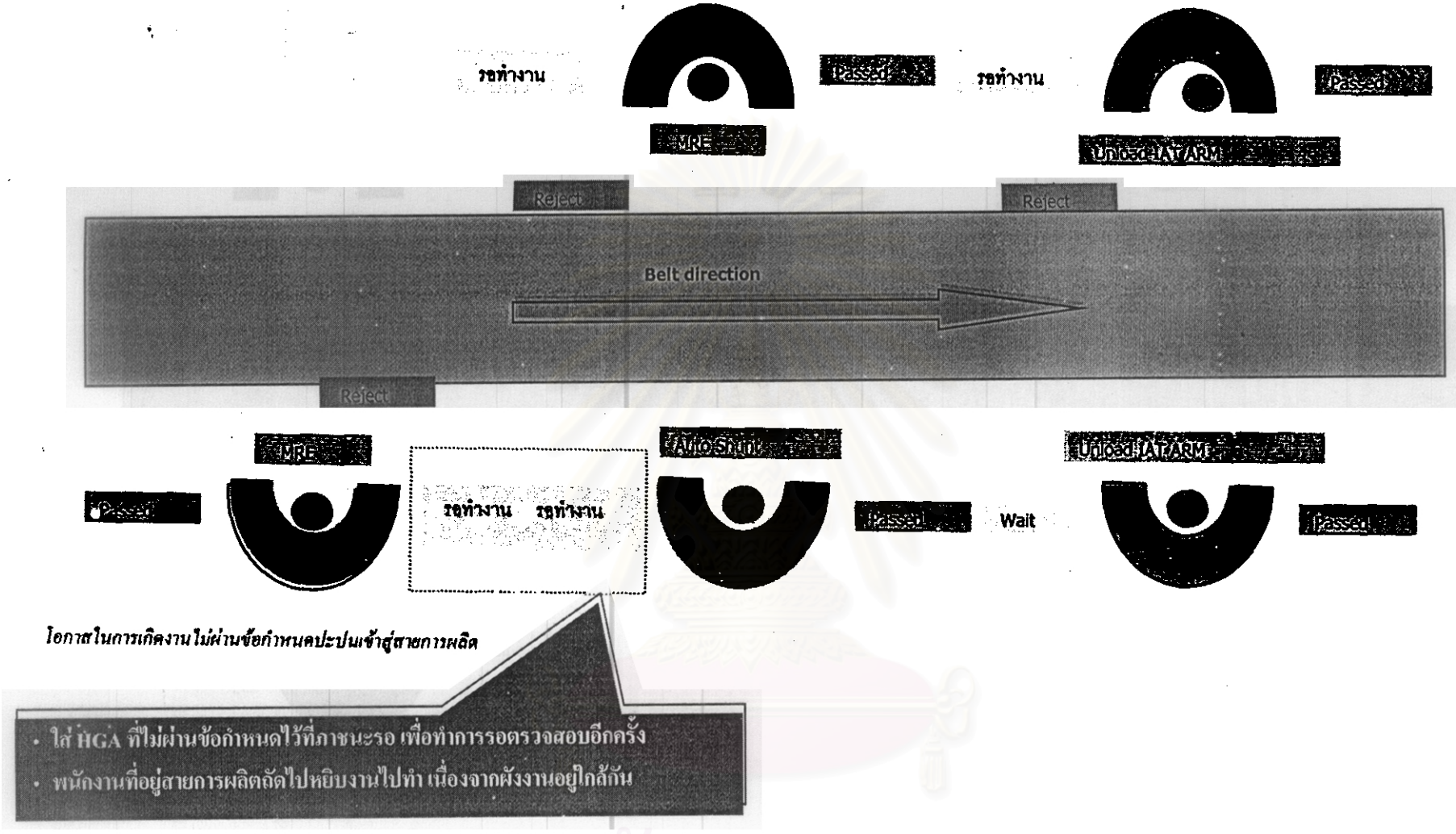


รูปที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์กระบวนการไหลอย่างละเอียดที่สถานีการวัดค่าความต้านทานส่วนต้น

สาเหตุของการเกิดงานไม่ผ่านตามข้อกำหนดปะปนเข้ามาในสายการผลิตอีกประการคือ การออกแบบการวางผังสายการผลิตไม่ถูกต้อง ดังแสดงในภาพตำแหน่งของภาชนะที่ใส่ในเพื่อรอการตรวจสอบค่าความต้านทานทางไฟฟ้าวางอยู่ทางด้านขวามือ ซึ่งวางอยู่ใกล้กับภาชนะที่รอเพื่อจะผ่านสายการผลิตต่อไป มีความเป็นไปได้พนักงานใส่งานเพื่อที่จะทำการตรวจสอบอีกครั้ง (Retest) ไว้ที่ภาชนะรอวัด ซึ่งใกล้กับตำแหน่งรอของสายการผลิตถัดไป และชิ้นงานนั้นผ่านเข้าสู่ขั้นตอนการผลิตถัดมาโดยไม่ผ่านการวัดซ้ำ เนื่องจากสถานที่ทำงานใกล้กันดังนั้นงานที่ไม่ผ่านข้อกำหนดจึงปะปนเข้ามาสายการผลิต

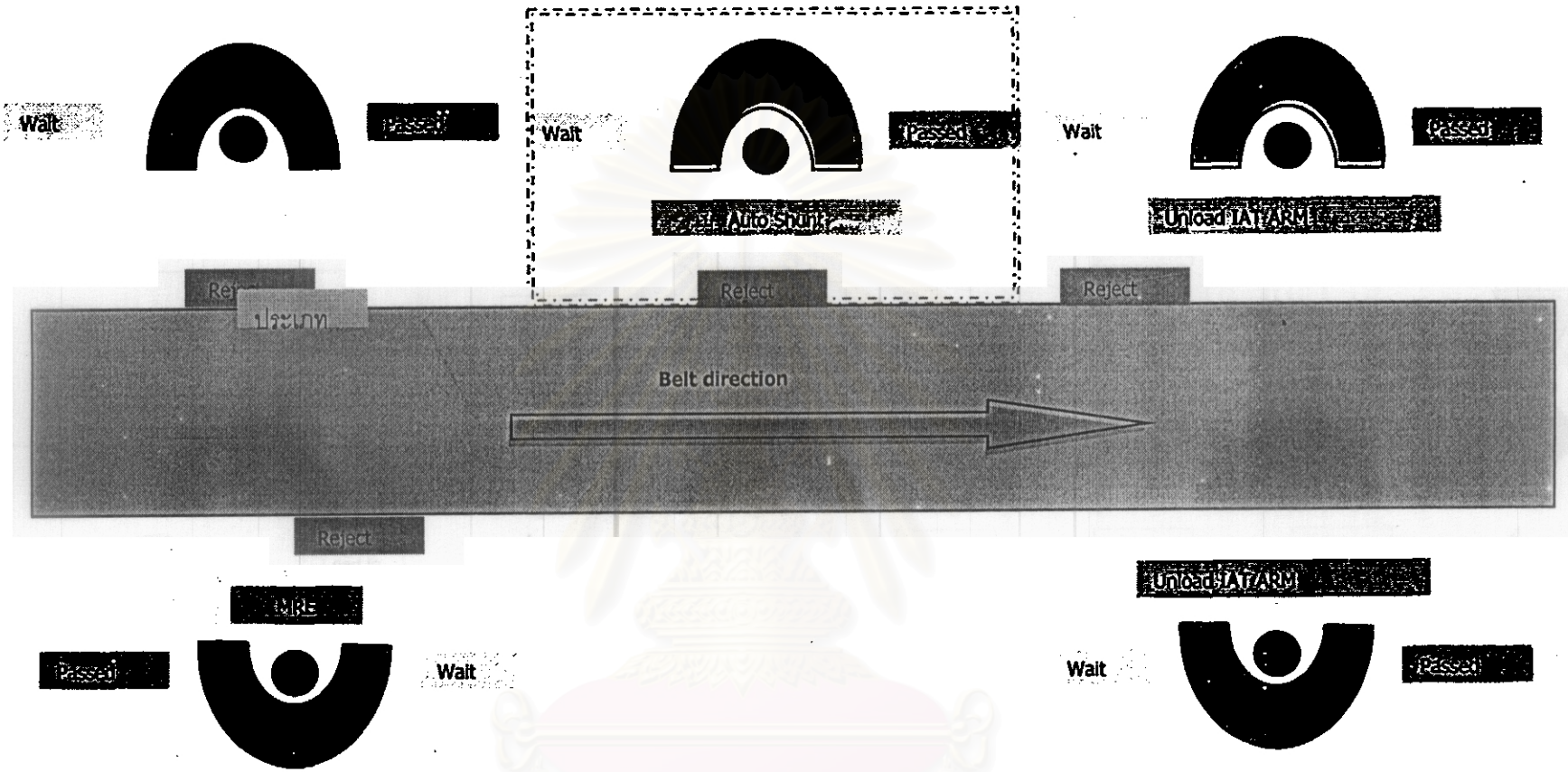
เพื่อป้องกันการผิดพลาดของงานที่ไม่ผ่านข้อกำหนดปะปนเข้าสู่กระบวนการผลิต การปรับเปลี่ยนผังของสายการผลิตได้ทำการเปลี่ยนแปลงโดยภาชนะรอตรวจสอบยังคงอยู่ทางด้านขวามือเพื่อความถนัดของพนักงานในการจับชิ้นงานใส่เครื่องวัดค่าความต้านทาน แต่ตำแหน่งของเครื่อง Auto Shunt ซึ่งเป็นสถานีถัดไป จะถูกย้ายไปฝั่งตรงกันข้ามและวางต่อจากเครื่องวัดค่าความต้านทาน ดังนั้นตำแหน่งของภาชนะที่ผ่านข้อกำหนดของสายการผลิตเครื่องมือวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้าจะอยู่ทางด้านซ้ายมือซึ่งวางใกล้กับภาชนะรอของสายการผลิต Auto shunt ซึ่งถ้าเกิดการหยิบผิดพลาดก็จะมีแต่งานที่ผ่านการยอมรับจากเครื่องวัดทางไฟฟ้าเท่านั้น การวางผังแบบนี้จะช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการปะปนงานไม่ผ่านข้อกำหนดได้ การแก้ไขด้วยการปรับเปลี่ยนผังนี้สามารถลดปัญหาระยะยาวอันเนื่องมาจากความผิดพลาดของพนักงานได้ ลักษณะการวางผังงานอาจจะไม่มีความผิดปกติเมื่อมองดูผิวเผิน แต่ถ้าพิเคราะห์แล้วผังเหล่านั้นมีข้อผิดพลาดที่จะต้องทำการแก้ไขปรับปรุง อย่างไรก็ดีถ้าการแก้ไขผังงานถ้ากระทำอย่างไม่รอบคอบอาจจะส่งผลให้เกิดปัญหาอื่นตามมา ยกตัวอย่างเช่น ถ้าคำนึงถึงแต่ภาชนะใส่งานที่ผ่านข้อกำหนดจะต้องอยู่ใกล้กับภาชนะรอของสายการผลิตต่อไป และทำการเปลี่ยนแปลงเฉพาะป้ายบอกตำแหน่งเท่านั้น กล่าวคือ เปลี่ยนตำแหน่งป้ายผ่านข้อกำหนดจากซ้ายไปขวาตามภาพ จะส่งผลให้พนักงานทำงานด้วยความลำบากและก่อให้เกิดความล้าได้ ส่งผลให้มีปัญหาทางด้านการเคลื่อนย้ายชิ้นงานตามมา เนื่องจากพนักงานต้องชิ้นงานต้องหยิบชิ้นงานจากทางด้านซ้ายมือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



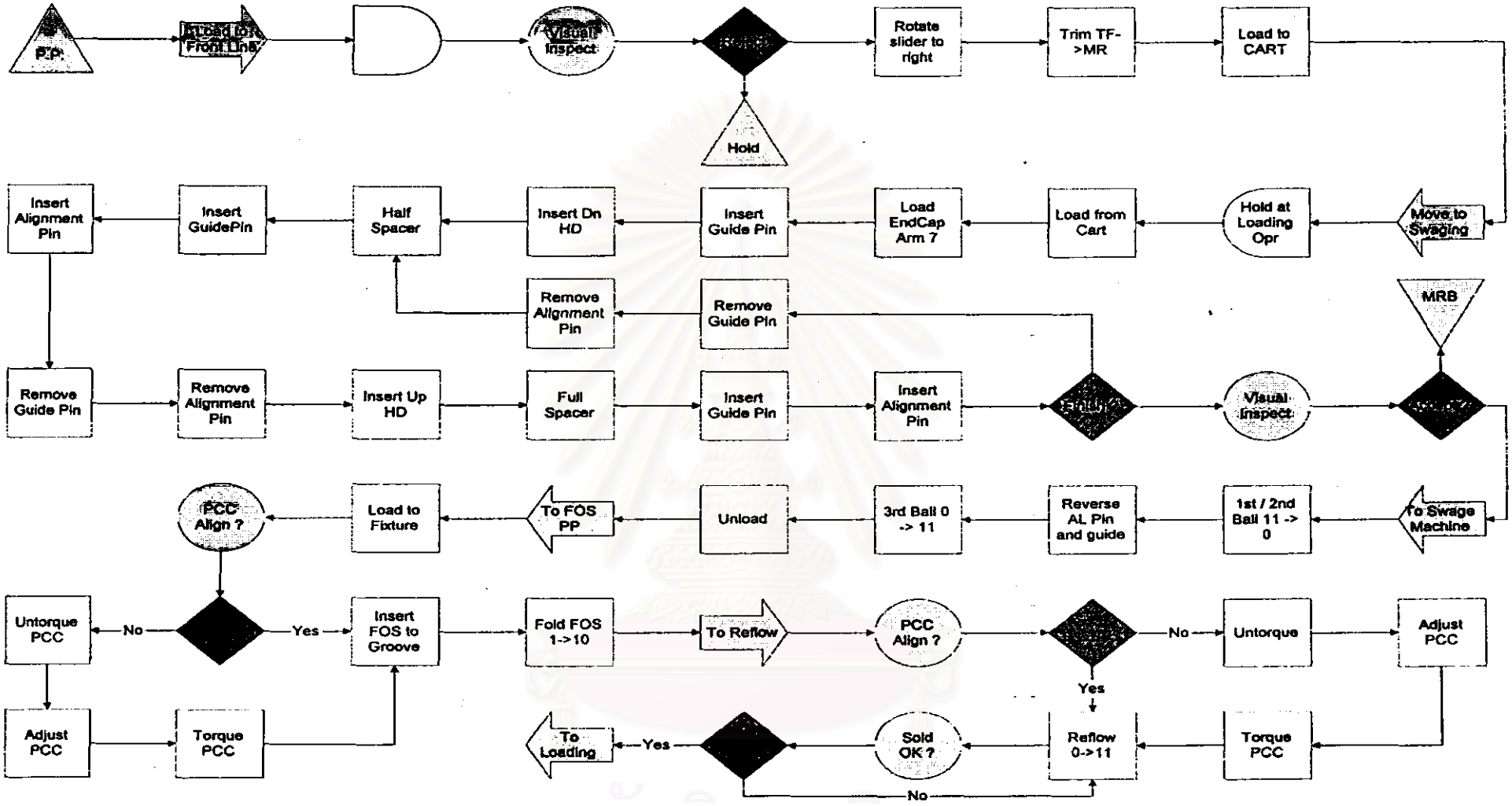
รูปที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์กระบวนการไหลของการวางผังงานก่อนการเปลี่ยนแปลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 แสดงการวิเคราะห์กระบวนการไหลของการวางผังงานภายหลังการเปลี่ยนแปลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 แสดงการวิเคราะห์กระบวนการไหลอย่างละเอียดทั้งกระบวนการผลิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยผังแสดงเหตุและผล

ผังแสดงเหตุและผลเป็นผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่าง ๆ ในการระบุสาเหตุของปัญหาต้องกระทำโดยวิธีการระดมสมองจากกลุ่มคนซึ่งมีความเชี่ยวชาญหรือคุ้นเคยในกระบวนการผลิตนั้น ๆ เพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างอาจจะทำให้ก่อให้การแก้ไขปัญหาผิดจุดได้ สาเหตุที่ระบุได้จากผังแสดงเหตุและผลจะเป็นการกำหนดปัจจัยเพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยหลักทางสถิติต่อไป

เมื่อพิจารณาปัจจัยการผลิตของกระบวนการผลิต HGSA จะพบว่ามีหลายปัจจัยที่เข้ามามีผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งรายละเอียดของผังแสดงเหตุและผลมีดังต่อไปนี้

4.5.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลด้านการวัด

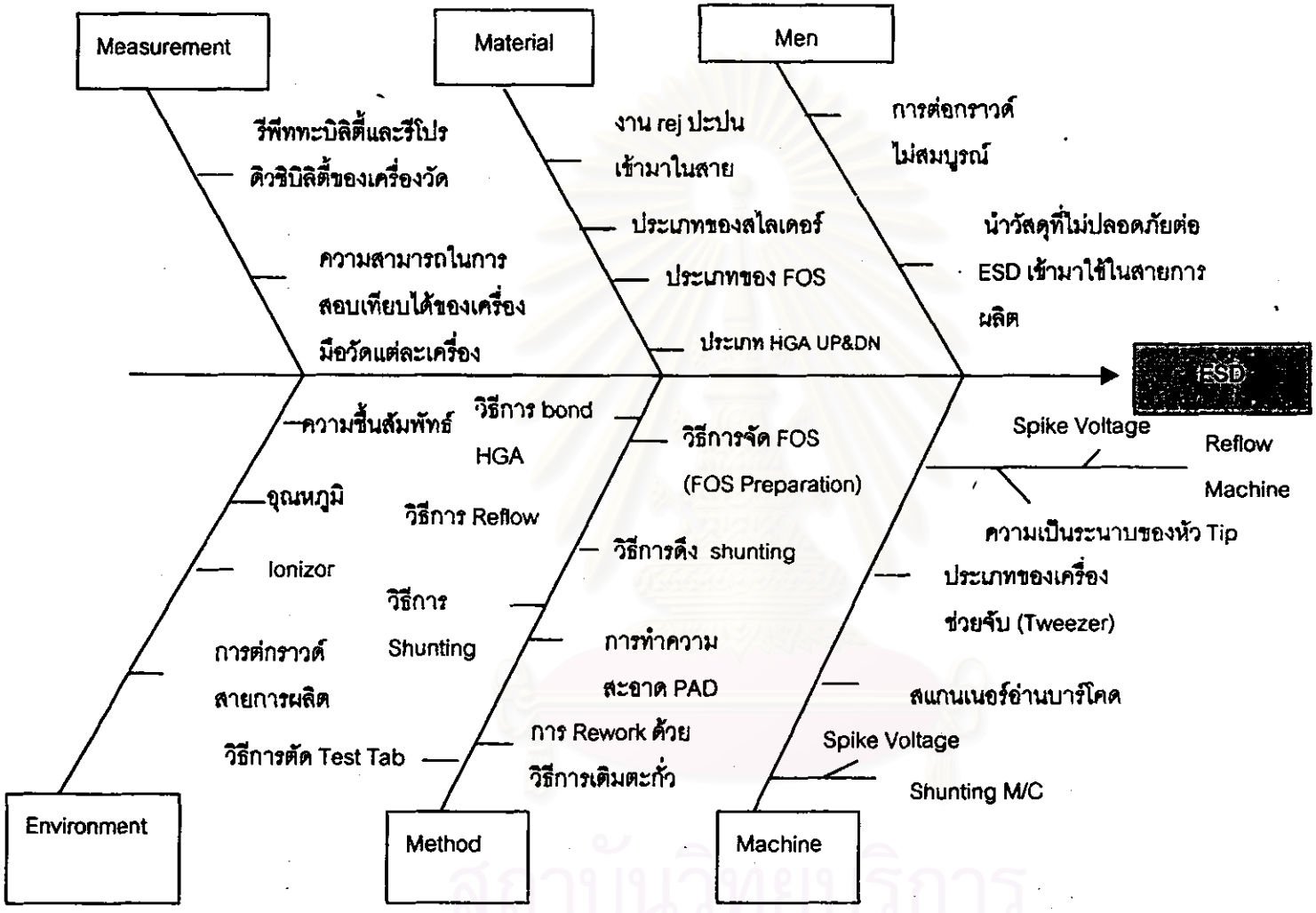
ในระบบการวัดมีความสำคัญมาก การวัดเปรียบเสมือนเป็นกลไกในการควบคุมผลิตภัณฑ์และเป็นการควบคุมกระบวนการเพื่อเป็นการประกันคุณภาพสู่ลูกค้า กระบวนการวัดมีองค์ประกอบหลัก ๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด วิธีการวัด ชิ้นงานที่วัด และสุดท้ายสิ่งแวดล้อมในการวัด เนื่องจากแต่ละองค์ประกอบมีความไม่เท่ากัน จึงเกิดความผันแปรในระบบการวัด ซึ่งความผันแปรนี้อาจมีสาเหตุที่มาหลายประการ ยกตัวอย่างเช่น ความคลาดเคลื่อนจากการวัด มีสาเหตุมาจากโครงสร้างของ

เครื่องมือวัด ความคลาดเคลื่อนจากพนักงานวัด มีสาเหตุมาจากทักษะ ความชำนาญ และระดับการฝึกฝน ความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยภายนอก มีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ ความชื้น และความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุธรรมชาติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์ในการวิเคราะห์ถึงแหล่งความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด ในการวิเคราะห์ระบบการวัดจะต้องเริ่มต้นศึกษาว่าระบบการวัดปัจจุบันเป็นมาตรฐานหรือไม่ และทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด ในการวิเคราะห์ความผันแปรของระบบการวัดมีประเด็นหลัก ที่ต้องทำการพิจารณาคือ ระบบการวัดมีความสามารถในการแยกความแตกต่างที่เพียงพอหรือไม่ ระบบการวัดมีคุณสมบัติด้านเสถียรภาพ (Stable) ระบบการวัดมีคุณสมบัติเชิงสถิติมีความสม่ำเสมอตลอดเวลาหรือไม่ คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดมีความไวต่อพนักงานหรือชิ้นงานหรือไม่ และสุดท้ายสิ่งที่สำคัญที่สุดคือระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับ*ความผันแปร*ของผลิตภัณฑ์ที่บอกความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 การวิเคราะห์ผังแสดงเหตุและผลของข้อบกพร่องทางกระแสไฟฟ้าสถิตย์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ระบบความแม่นยำของเครื่องมือวัดมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากการแก้ไขปัญหาทางด้านคุณภาพหรือการป้องกันปัญหาจะกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อมั่นใจว่าเครื่องมือวัดอยู่ในสภาวะเสถียร ดังนั้นการวัดจึงเป็นส่วนหนึ่งที่ต้องทำการวิเคราะห์เพื่อความถูกต้องของการควบคุมกระบวนการผลิต รวมทั้งการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา

การวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนแรกในการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อที่จะขจัดความแปรปรวนอันเนื่องมาจากการวัด

ในการวิเคราะห์ระบบการวัดนั้นจะทำการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัด เพื่อทำการแยกแหล่งความผันแปรออกเป็นชิ้นงาน (Part-to- Part Variation: PV) พนักงานวัด (Appraiser Variation: AV) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation: IV)

การวิเคราะห์ความแม่นยำและความถูกต้องของระบบการวัดในกระบวนการผลิตหัวอ่านและบันทึกจะการวิเคราะห์เครื่องมือในกระบวนการผลิตของ HGSA จะประกอบไปด้วยเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าของสายการผลิตทั้ง HGA และ HSA โดยฟังก์ชั่นของการวัดที่เกี่ยวข้องกับข้อบกพร่องจากไฟฟ้ากระแสสถิตย์ (ESD) คือค่าความต้านทานของหัวอ่าน ซึ่งจะเป็นตัวชี้บ่งว่าชิ้นงานผ่านข้อกำหนดของ ESD หรือไม่ โดยการวิเคราห์ระบบการวัดจะทำการศึกษาทั้งความถูกต้องของระบบการวัดและความแม่นยำของระบบการวัด

4.5.1.1 การศึกษาความถูกต้องของระบบการวัด

จากทฤษฎีเราพบว่า ค่าที่ได้จากการวัดจะต้องมีค่าเอนเอียงไปจากค่าจริงของงาน (μ) เสมอ ดังนั้นเราจึงต้องทำการตรวจสอบว่าระบบการวัดอ่านค่าได้ถูกต้องและค่าที่วัดได้มีคุณสมบัติเชิงเส้นตรงเมื่อทำการเปรียบเทียบเครื่องมือวัด ในการพิจารณาคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัดจะได้มาจากการเลือกชิ้นงานตลอดช่วงย่านวัดเพื่อศึกษาถึงค่าไบอัสที่แต่ละค่ามาตรฐาน (ค่าอ้างอิง) แล้วพิจารณาถึงค่าเปลี่ยนแปลงของไบอัส (ค่าความชัน) และถ้าพบว่าระบบการวัดขาดคุณสมบัติเชิงเส้นตรงจะต้องทำการแก้ไข

ก) ขั้นตอนการดำเนินการประเมินผลคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของระบบการวัด

1. เลือกงานในสายการผลิตแล้วกำหนดเป็นชิ้นงานมาตรฐาน (Master Units) ทำการวัดค่าทางไฟฟ้าและจดค่าไว้เป็นค่ามาสเตอร์และให้ครอบคลุมตลอดย่านของการวัด ทำการทดลองนี้โดยใช้ชิ้นงาน 15 ชิ้น

2. ทำการวัดค่างานมาตรฐานนี้ 10 ครั้ง ภายใต้สภาวะการณ์ควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยออก สาเหตุความผันแปรในการวัดแต่ละชิ้น เพื่อกำหนดให้ค่าเฉลี่ยเป็นค่าอ้างอิงหรือค่ามาสเตอร์
3. เลือกพนักงานที่มีความชำนาญในระบบการวัด 1 คน และทำการวัดชิ้นงานมาสเตอร์ดังกล่าว 10 ครั้งที่แต่ละเครื่องวัด โดยการเลือกชิ้นงานมาสเตอร์ต้องเป็นแบบการสุ่มแบบสมบูรณ์
4. ทำการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

ถ้าหาก R^2 มีค่าสูงพอ ให้ทำการวิเคราะห์ทดสอบว่าค่าไบอัส และค่ามาสเตอร์ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่าง มีนัยสำคัญหรือไม่ ด้วยการทดสอบความแปรปรวน (ANOVA)

ตารางที่ 4.2 แสดงตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสัมพันธ์เชิงเส้น

แหล่งความผันแปร	ผลรวมกำลังสอง	องศาอิสระ	ความแปรปรวน	F
เส้นถดถอย	SS_R	1	MS_R	MS_R / MS_E
ความคลาดเคลื่อน	SS_E	n-2	MS_E	
ผลรวม	SS_Y	n-1		

เมื่อค่าไบอัสและค่าอ้างอิงมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงอย่างมีนัยสำคัญแล้วให้ทำการคำนวณสมการถดถอยเชิงเส้นตรง แต่ในการวิเคราะห์นี้จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการคำนวณและวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง

ข) ผลลัพธ์ของการคำนวณ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นของเครื่องมือวัด จะทำการวิเคราะห์ค่าความต้านทานของหัวต่านสองประเภท คือ MR_x และ MR_y ที่ได้จากเครื่องมือวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้า

ผลการคำนวณความสัมพันธ์เชิงเส้นของค่า MR_x

MR_x Regression

```
The regression equation is
y = 6.73 + 0.894 x

Predictor       Coef      StDev          T        P
Constant       6.727      4.863       1.38    0.190
x            0.89444    0.08080      11.07    0.000

S = 2.565      R-Sq = 90.4%     R-Sq(adj) = 89.7%

Analysis of Variance

Source           DF         SS          MS         F        P
Regression        1     806.01      806.01    122.54    0.000
Residual Error   13      85.51        6.58
Total            14     891.52
```

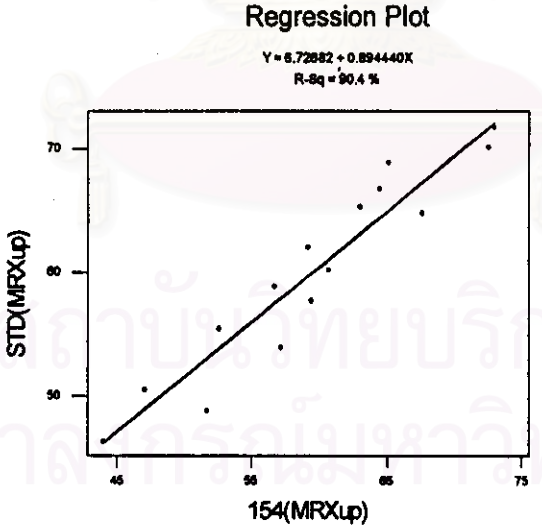
ค่า R^2 (adj) มีค่าเท่ากับ 89.7% ซึ่งหมายความว่าความผันแปรในค่าไบอัส 100% เป็นความผันแปรที่สามารถอธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิง 89.7% และอีกประมาณ 10% ไม่สามารถอธิบายได้ว่ามีสาเหตุจากอะไร แสดงว่าข้อมูลจากการทดลองมีคุณภาพเพียงพอต่อการอธิบายความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าอ้างอิงกับไบอัสได้ จึงมีความจำเป็นต้องทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอยด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

H_0 : $\beta_1 = 0$ (ค่าไบอัสมิได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง)

H_1 : $\beta_1 \neq 0$ (ค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง)

จากตาราง $F_{0.05\ ;\ 1,14} = 4.6$ ซึ่งมีความหมายว่า ถ้า F (สัดส่วนของความแปรปรวน) มีค่าไม่เกิน 4.6 แสดงว่าความผันแปรรอบเส้นถดถอยมิได้มีขนาดมากพอ แต่ในที่นี้ F มีค่ามากกว่า 4.6 ซึ่งมีค่ามากถึง 122.54 แสดงว่า ความผันแปรรอบเส้นถดถอยของไบอัสที่อธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิงมีนัยสำคัญด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือจะกล่าวได้ว่าสมมุติฐานหลักถูกปฏิเสธ และค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิงที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสมการที่ได้แสดงว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าอ้างอิงกับค่าเฉลี่ยของไบอัส คือ $y = 6.73 + 0.894\ x$



รูปที่ 4.8 กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของ MR_x

ผลการคำนวณความสัมพันธ์เชิงเส้นของค่า MR_y

Mry Regression

```
The regression equation is
y = 7.68 + 0.890 x

Predictor       Coef      StDev         T       P
Constant       7.685      4.440      1.73   0.107
x            0.88972    0.07441     11.96   0.000

S = 2.469      R-Sq = 91.7%     R-Sq(adj) = 91.0%

Analysis of Variance

Source           DF         SS         MS        F       P
Regression        1     871.44     871.44   142.97   0.000
Residual Error   13      79.24       6.10
Total            14     950.68
```

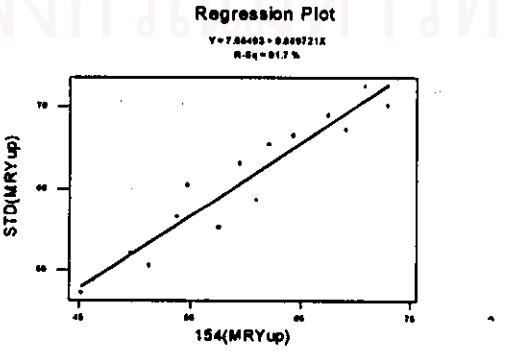
ค่า R^2 (adj) มีค่าเท่ากับ 91.0% ซึ่งหมายความว่าความผันแปรในค่าไบอัส 100% เป็นความผันแปรที่สามารถอธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิง 91.0% และอีกประมาณ 9% ไม่สามารถอธิบายได้ว่ามีสาเหตุจากอะไร แสดงว่าข้อมูลจากการทดลองมีคุณภาพเพียงพอต่อการอธิบายความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าอ้างอิงกับไบอัสได้ จึงมีความจำเป็นต้องทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอยด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

H_0 : $\beta_1 = 0$ (ค่าไบอัสมิได้มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง)

H_1 : $\beta_1 \neq 0$ (ค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิง)

จากตาราง $F_{0.05\,;\,1,14} = 4.6$ ซึ่งมีความหมายว่า ถ้า F (สัดส่วนของความแปรปรวน) มีค่าไม่เกิน 4.6 แสดงว่าความผันแปรรอบเส้นถดถอยมิได้มีขนาดมากพอ แต่ในที่นี้ F มีค่ามากกว่า 4.6 ซึ่งมีค่ามากถึง 142.97 แสดงว่า ความผันแปรรอบเส้นถดถอยของไบอัสที่อธิบายได้ด้วยค่าอ้างอิงมีนัยสำคัญด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือจะกล่าวได้ว่าสมมุติฐานหลักถูกปฏิเสธ และค่าไบอัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าอ้างอิงที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และสมการที่ได้แสดงว่าความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างค่าอ้างอิงกับค่าเฉลี่ยของไบอัส คือ y = 7.68 + 0.890 x



รูปที่ 4.9 กราฟเส้นถดถอยแสดงคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของ MR_y

เพราะฉนั้นสรุปได้ว่าเครื่องมือวัดแต่ละเครื่องให้ค่าการวัดที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่ามาสเตอร์ ดังนั้นเครื่องมือวัดแต่ละเครื่องสามารถวัดค่าได้มาตรฐานและยอมรับได้

4.5.1.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (GR&R)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าการวิเคราะห์ความแม่นยำมีความสำคัญมากในระบบการวัด ถ้ากล่าวถึงความแม่นยำของระบบการวัด จะสามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) และความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) โดยที่ความหมายของรีพีททะบิลิตี้ คือ ค่าความแตกต่างเนื่องจากการวัดโดยใช้ชิ้นงานเดียวกัน เครื่องมือวัดเดียวกัน และพนักงานเดียวกัน ส่วนรีโปรดิวซิบิลิตี้ คือ ค่าความแต่ต่างของการวัดโดยใช้พนักงานแตกต่างกันแต่ชิ้นงานและเครื่องมือวัดเดียวกันเนื่องจากการวิเคราะห์หรือแก้ไขปัญหาทางด้านคุณภาพมีความจำเป็นที่ต้องอาศัยข้อมูลที่สามารถตีความกระบวนการที่ศึกษาได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นเครื่องมือวัดต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตต้องมีความแม่นยำ เพื่อที่จะให้ผลลัพธ์ที่มีความน่าเชื่อถือและยอมรับได้ ทั้งนี้การศึกษาค่าความแม่นยำและความถูกต้องของการวัดจะประกอบไปด้วยสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นข้อมูลตามลักษณะ (Attribute Data) และข้อมูลนับที่ได้จากการวัด (Variable Data)

เครื่องมือวัดที่จะทำการศึกษาคือเครื่องมือวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้าซึ่งเป็นคุณสมบัติในการบ่งบอกข้อบกพร่องจากกระแสไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งจะให้วัดค่าออกมาเป็นตัวเลขของค่าความต้านทานมีหน่วยเป็นโอห์ม และจะแสดงผลลัพธ์ผ่านทางหน้าจอมอนิเตอร์เป็นข้อมูลตามลักษณะคือผ่านและไม่ผ่าน เพื่อเป็นการง่ายสำหรับพนักงานในการตัดสินใจว่าชิ้นงานผ่านคุณสมบัติตามข้อกำหนดหรือไม่ ดังนั้นการศึกษาความแม่นยำและความถูกต้องจะทำการศึกษาทั้งการวิเคราะห์ความแม่นยำทั้งสองประเภท คือ แบบข้อมูลลักษณะ และข้อมูลนับ

ก) การวิเคราะห์ความแม่นยำทางการวัดแบบข้อมูลนับ (Measurement System Analysis of Variable Data)

ซึ่งการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดจะใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การออกแบบการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เลือกพนักงานที่มีทักษะ และผ่านการฝึกอบรมเป็นอย่างดี จำนวนทั้งสิ้น 3 คน
2. เลือกชิ้นงานในกระบวนการผลิตแบบสุ่มจำนวนทั้งสิ้น 10 ตัว

3. ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดให้มั่นใจว่าเครื่องมือมีความถูกต้องโดยอ้างอิงจากการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องวัด ที่ได้ทำการศึกษาข้างต้น
4. ทำการทดลองสุ่มภายในชิ้นงาน จนวัดครบทุกชิ้นและวัดซ้ำอีก 2 ครั้งด้วยวิธีการเดียวกัน
5. บันทึกค่าลงใน Minitab และหาค่าผลลัพธ์ของ GR& R

ผลลัพธ์จากการคำนวณ Gage R&R

Gage R&R of Static Electrical Tester

Source	VarComp	StdDev	5.15 * Sigma
Total Gage R&R	0.005	0.07175	0.3695
Repeatability	0.001	0.03651	0.1881
Reproducibility	0.004	0.06176	0.3181
Opr	0.000	0.01988	0.1024
Opr * Partnum	0.003	0.05848	0.3012
Part-To-Part	32.569	5.70695	29.3908
Total Variation	32.574	5.70740	29.3931

Source	%Contribution	%Study Var
Total Gage R&R	0.02	1.26
Repeatability	0.00	0.64
Reproducibility	0.01	1.08
Opr	0.00	0.35
Opr * Partnum	0.01	1.02
Part-To-Part	99.98	99.99
Total Variation	100.00	100.00

Number of Distinct Categories = 112

สรุปผลการวิเคราะห์เชิงสถิติ

เมื่อมีการประเมินค่าความผันแปรด้านรีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้สำหรับระบบการวัดที่ใช้เพื่อทำการตรวจจับความผันแปรในกระบวนการผลิต (เรียกว่า Precision – to – Total Variation หรือ P/TV)

$$\%\ R\&R = \frac{\sigma^2_{meas}}{\sigma^2_{Total}} \times 100 = 0.02$$

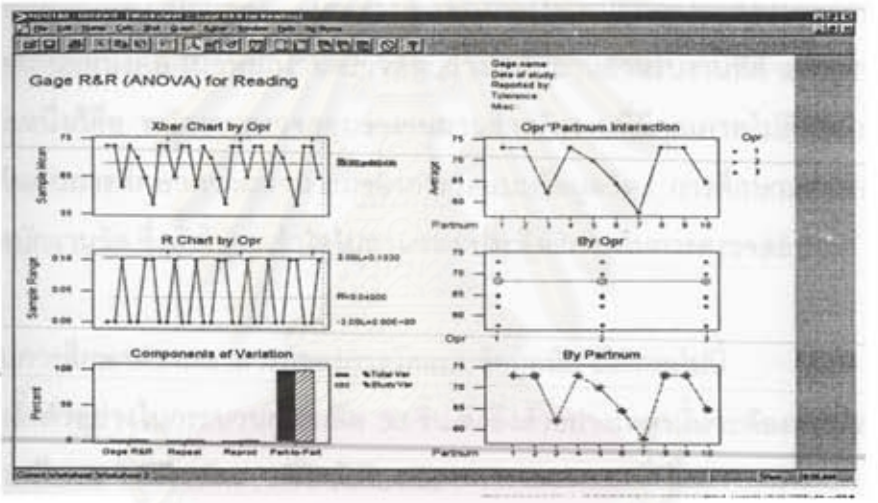
$$P/TV = \frac{GR\ \&\ R \times 100}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} = 1.26$$

โดยทั่วไปแล้ว มักจะมีการกำหนดเกณฑ์การยอมรับค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้ไว้ดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงการกำหนดเกณฑ์การยอมรับค่ารีพีททะบิลิตี้และรีโปรดิวซิบิลิตี้

% R & R	P/TV	เกณฑ์การยอมรับ
> 7.7 %	> 30%	ไม่สามารถความสามารถของระบบการวัดได้ มีความจำเป็นต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปรแล้วทำการแก้ไข
2 – 7.7 %	10 - 30 %	ยอมรับได้ แต่จะต้องทำการปรับปรุงกระบวนการวัด
0 – 2%	0 –10%	สามารถยอมรับความสามารถของกระบวนการได้

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเครื่องมือวัดค่าทางไฟฟ้ามีความสามารถในการตรวจวัดด้วยความแม่นยำ 0.02% และสามารถใช้เป็นเครื่องมือวัดเพื่อทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของข้อบกพร่องอันเนื่องมาจาก ESD ได้



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟผลลัพธ์ของ GAGE R&R

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข) การศึกษาความสามารถของกระบวนการวัดแบบข้อมูลนับ (Measurement System Analysis of Attribute data)

ในการศึกษาความสามารถของระบบการวัดแบบข้อมูลนับของพนักงานปฏิบัติงานและเครื่องมือวัด โดยที่นำค่าของผลลัพธ์ของการวัดที่มีลักษณะเป็นแบบข้อมูลลักษณะ กล่าวคือผลลัพธ์ของเครื่องมือวัดหลักจากวัดค่าฟังก์ชั่นทางไฟฟ้า นอกจากจะมีผลลัพธ์เป็นคุณลักษณะเชิงผันแปร ซึ่งสามารถวัดเป็นค่าที่สามารถระบุค่าได้แล้ว ขั้นสุดท้ายของผลลัพธ์จะแสดงออกเป็น ผ่านและไม่ผ่าน หรือ ยอมรับและปฏิเสธ

แนวทางในการศึกษาจะทำการกำหนดชิ้นงานที่มีลักษณะทั้งดี และไม่ดี แล้วเลือกพนักงานที่ได้รับการฝึกอบรมมาอย่างดีทำหน้าที่ตรวจวัด เพื่อจำแนกผลของการตรวจสอบเป็นผ่านและไม่ผ่าน หลังจากนั้นก็ทำการพิจารณาผลการตรวจสอบซ้ำมีคุณภาพตรงกับคุณภาพที่แท้จริงของสิ่งตัวอย่างงานหรือไม่ ซึ่งจะให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นความถูกต้อง โดยจะมีลักษณะของความถูกต้องอยู่สองประการ ความลำเอียงของลูกค้า หรืออีกนัยหนึ่งคือ เมื่อพนักงานตรวจสอบว่างานไม่ผ่านสำหรับงานที่ดี และความลำเอียงของผู้ผลิต หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ พนักงานตรวจสอบว่างานผ่านสำหรับงานที่มีคุณภาพไม่ดีหรือไม่ผ่านข้อกำหนด และเช่นเดียวกันกับการศึกษาความสามารถของการวัดแบบข้อมูลวัด การศึกษาแบบข้อมูลนับสนใจในการวัดซ้ำของพนักงานวัด ซึ่งทั่วไปจะเข้าใจในส่วนของ ประสิทธิภาพในการตรวจสอบ

วิธีการในการศึกษาความสามารถของการวัดแบบข้อมูลนับ มีดังต่อไปนี้

1. เลือกสิ่งตัวอย่างในกระบวนการผลิต 30 ชิ้น ซึ่งสิ่งตัวอย่างเหล่านั้นจะต้องประกอบไปด้วย สิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพดี และ ไม่ดีในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน

2. เลือกพนักงานที่มีทักษะ และผ่านการฝึกอบรมเป็นอย่างดี จำนวนทั้งสิ้น 3 คน

3. เลือกชิ้นงานในกระบวนการผลิตแบบสุ่มจำนวนทั้งสิ้น 30 ตัว โดยที่ชิ้นงานเหล่านั้นต้องผ่านการตรวจวัดและได้ผลลัพธ์แล้ว

4. ทำการศึกษาพนักงานทีละคน โดยที่ให้ทำการตรวจวัดชิ้นงานที่ได้เตรียมไว้ และที่สำคัญการวัดสิ่งตัวอย่างจะต้องเป็นแบบสุ่ม และให้พนักงานประเมินผลสิ่งตัวอย่างนั้น ๆ ว่า ผ่าน หรือ ไม่ผ่าน ทำการบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจวัดลงในแบบฟอร์ม ในการตรวจวัดของพนักงานแต่ละคน จะต้องทำซ้ำ 2 ซ้ำ พร้อมทั้งบันทึกผลลัพธ์ลงในแบบฟอร์ม ทำเช่นเดียวกันนี้กับพนักงานทุกคน

5. บันทึกค่าลงในแบบฟอร์มเพื่อทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด ซึ่งการวิเคราะห์จะประกอบไปด้วยดัชนีต่าง ๆ ต่อไปนี้

$$\%\ \text{รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่การตรวจสอบเหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\%\ \text{ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่การตรวจสอบได้เหมือนและถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\%\ \text{ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานตรวจสอบได้เหมือนกัน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\%\ \text{ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจได้ถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

การตัดสินใจว่าประสิทธิภาพของแต่ละดัชนีสามารถยอมรับได้หรือไม่ จะต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดโดยปกติค่าที่วัดได้จะต้องมีค่า 100% ไม่ว่าจะเป็นเปอร์เซนต์รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ (%Appraiser score), เปอร์เซนต์ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ (% attribute score),%ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ(% screen effective score) และ% ประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบ(% attribute screen effective score)

ผลลัพธ์ของการตรวจวัด

ตารางที่ 4.4 แสดงผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ความแม่นยำของข้อมูลลักษณะ

Attribute Gage R & R Effectiveness

[redacted]

SCORING REPORT

DATE: [redacted]
NAME: [redacted]
PRODUCT: [redacted]
SITE: [redacted]

Attribute Legend [redacted]

1 [redacted]
2 [redacted]

Known Population		Operator #1		Operator #2		Operator #3		All operators agree within and between each (Y/N)	All Operators agree with standard (Y/N)
Sample #	Attribute	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2	Try #1	Try #2	Agree	Agree
1	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
2	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Y	Y
3	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
4	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Y	Y
5	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
6	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Y	Y
7	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Y	Y
8	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
9	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
10	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
11	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
12	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Y	Y
13	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
14	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
15	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Y	Y
16	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
17	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Y	Y
18	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Y	Y
19	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
20	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
21	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
22	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Y	Y
23	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
24	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
25	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Y	Y
26	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Y	Y
27	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Fail	Y	Y
28	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
29	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
30	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Pass	Y	Y
% APPRAISER SCORE[1] ->		100.00%		100.00%		100.00%			
% SCORE VS. ATTRIBUTE[2] ->		100.00%		100.00%		100.00%			

SCREEN % EFFECTIVE SCORE[3] ->	100.00%
SCREEN % EFFECTIVE SCORE vs. ATTRIBUTE[4] ->	100.00%

Note:
(1) Operator agrees with him/herself on both trials
(2) Operator agrees on both trials with the known standard
(3) All operators agreed within and between themselves
(4) All operators agreed within and between themselves AND agreed with the known standard
(5) Enter Pass/Fail, Good/Bad, Accept/Reject or other labels which indicate status of inspection

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

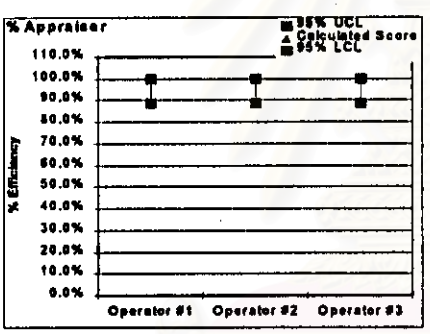
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติความแม่นยำของข้อมูลลักษณะ

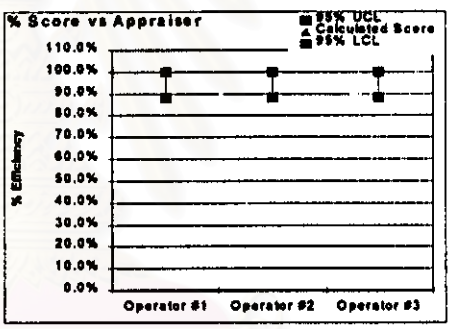
Statistical Report - Attribute Gage R&R Study

DATE: NOV 8,99
NAME: Nualpun
PRODUCT: A
BUSINESS: HGSA

Source	% Appraiser[1]			%Score vs Attribute[2]		
	Operator #1	Operator #2	Operator #3	Operator #1	Operator #2	Operator #3
Total Inspected	30	30	30	30	30	30
# Matched	30	30	30	30	30	30
False Negative (operator biased low ard rejection)				0	0	0
False Positive (operator biased low ard acceptance)				0	0	0
Mixed				0	0	0
95% UCL	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Calculated Score	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
95% LCL	88.4%	88.4%	88.4%	88.4%	88.4%	88.4%

	Screen % Effective Score[3]	Screen % Effective Score vs Attribute[4]
Total Inspected	30	30
# in Agreement	30	30
95% UCL	100.0%	100.0%
Calculated Score	100.0%	100.0%
95% LCL	88.4%	88.4%





Notes

(1) Operator agrees with him/herself on both trials
(2) Operator agrees on both trials with the known standard
(3) All operators agreed within and between themselves
(4) All operators agreed within & between themselves AND agreed with the known standard

พนักงานทุกคนมีความสามารถในการตรวจสอบ โดยมีเปอร์เซนต์รีพีททะบิลิตี้ของพนักงานตรวจสอบ(%appraiser score) เปอร์เซนต์ความไม่ไบอัสของพนักงานตรวจสอบ(% attribute score) เปอร์เซนต์ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ(% attribute screen effective score) และประสิทธิผลด้านไบอัสของการตรวจสอบมีค่าเท่ากับ 100% ดังนั้นสรุปว่าความสามารถของกระบวนการวัดแบบข้อมูลนับอยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้

4.5.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลด้านวัตถุดิบ

4.5.2.1 การออกแบบของ HGA ประเภท DN

เนื่องจากการออกแบบของ HGA ประเภท Up และ Dn มีความแตกต่างกันตรงที่ Head Dn มีส่วนปีกยื่นออกมาเรียกว่า Flapper การออกแบบที่แตกต่างกันนี้ส่งผลให้ขั้นตอนการทำงานแตกต่างกันด้วย กล่าวคือ เมื่อ HGA ผ่านการตรวจสอบค่าฟังก์ชั่นทางไฟฟ้าแล้ว ก็จะส่งต่อยังไปสถานีเพื่อมีการจัดตรงบริเวณ Flapper การจัดหรือการสัมผัสนี้ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์และมีโอกาสในการทำอันตรายต่อความสามารถในการอ่านของหัวอ่าน ดังนั้นการวิจัยจะทำการศึกษาว่าการออกแบบที่แตกต่างกันระหว่าง HGA ประเภท UP และ DN มีสัดส่วนของการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตแตกต่างกันหรือไม่ด้วยหลักการวิเคราะห์ทางสถิติวิศวกรรมต่อไป

4.5.2.2 งานไม่ผ่านข้อกำหนดปะปนเข้ามาในกระบวนการผลิต

เนื่องจากข้อมูลในอดีตระบุว่างานที่ไม่ผ่านข้อกำหนดที่ท้ายกระบวนผลิตของ HSA เกิดจากของเสียที่เกิดขึ้นจาก HGA ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดของเครื่องวัด MRE Tester แต่งานเหล่านี้ปะปนเข้าสู่กระบวนการผลิต จากการวิเคราะห์กระบวนการไหลอย่างละเอียดดังที่ได้กล่าวมาแล้วพบว่าสถานี MRE Test มีโอกาสก่อให้เกิดข้อบกพร่องจากกระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่ท้ายกระบวนการผลิต เนื่องจากการวางผังงานที่ไม่ถูกต้องและวิธีการปฏิบัติงานที่ซับซ้อน ส่งผลให้มีโอกาสการปะปนของงานไม่ผ่านข้อกำหนด สาเหตุหลัก ๆ ของงานไม่ผ่านข้อกำหนดปะปนเข้ามาในสายการผลิตของวิธีการทำงานที่ซับซ้อนที่ต้องทำการตรวจวัดซ้ำหลายครั้งและความไม่สามารถแยกแยะงานที่ผ่านและไม่ผ่านข้อกำหนด ถ้ากรณีพบงานไม่ผ่านข้อกำหนดต้องทำลายชิ้นงานทันที เพื่อป้องกันการปะปนเข้าไปในสายการผลิต และถ้าทำลายชิ้นงานแล้ว พนักงานสามารถจะแยกความแตกต่างได้อย่างชัดเจนและสามารถคัดออกได้ทันที สาเหตุประการที่สอง คือ ผังการวางงานไม่เหมาะสม ตำแหน่งของงานที่ผ่านการวัดและผ่านตามข้อกำหนดจะต้องอยู่ใกล้กับสถานีที่อยู่ถัดไปเพื่อป้องกันการผิดพลาดของการหยิบงาน

4.5.2.3 ประเภทของ FOS

FOS คือส่วนของเส้นไฟเพื่อเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้า ซึ่งปัจจุบันแหล่งผู้ผลิตประกอบจาก 2 แหล่งซึ่งมีกรรมวิธีและสัดส่วนในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างแต่โดยรวมอยู่ภายใต้ข้อกำหนด ดังนั้นจะต้องทำการศึกษาความแตกต่างระหว่างสองผู้ผลิตว่ามีโอกาสก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์หรือไม่

4.5.2.4 ประเภทของ Slider

Slider เป็นส่วนประกอบย่อยของ HGA มีหน้าที่สำคัญในการอ่านและบันทึกข้อมูล ซึ่งปัจจุบันมีบริษัทผู้ผลิตอยู่ 2 แห่งซึ่งมีกรรมวิธีที่แตกต่างกัน ดังนั้นจะต้องทำการศึกษาหาว่ามีโอกาสก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์แตกต่างกันระหว่าง 2 ผู้ผลิตหรือไม่

4.5.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลด้านคน

4.5.3.1 การต่อกราวด์ไม่สมบูรณ์

พนักงานที่ปฏิบัติหน้าที่มีความสำคัญอย่างมากที่จะต้องปฏิบัติตามข้อบังคับอย่างเคร่งครัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำให้สภาพร่างกายมีสภาพเป็นกลาง ซึ่งจะประกอบไปด้วยการแต่งกายจะต้องถูกต้องตามกฎระเบียบ ตรงบริเวณข้อมือจะต้องมีสายรัดข้อมือ (Wrist trap) เพื่อให้ประจุต่อลงกราวด์ โดยสายรัดข้อมือจะต่อเข้ากับเครื่องวัดความเป็นกลาง (Real time Monitor) และจะทำหน้าที่ส่งเสียงเตือนถ้าสภาพร่างกายของพนักงานไม่มีความเป็นกลาง เพื่อเป็นสัญญาณในการเตือนให้ตัวพนักงานมีสภาพเป็นกลางตลอดเวลาขณะทำงาน เมื่อมีเสียงร้องของเครื่องวัดความเป็นกลางพนักงานจะต้องทำการแก้ไขสายรัดข้อมือให้สัมผัสกับผิวหนัง หรือทำการเปลี่ยนสายรัดข้อมือหากเกิดการชำรุด และเช่นเดียวกันกับข้อมือ ข้อเท้าของพนักงานทั้งสองข้างจะต้องมีสายรัดข้อเท้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำให้มีสภาพเป็นกลาง การสวมสายรัดข้อเท้า (Heel Strap) จะต้องให้สายรัดข้อเท้ามีส่วนที่สัมผัสกับผิวหนัง พนักงานจะต้องทำการทดสอบสายรัดข้อเท้าก่อนเริ่มทำงาน ถ้าทดสอบไม่ผ่านให้ตรวจความเรียบร้อยหรือเปลี่ยนสายใหม่ทันทีถ้าเกิดการชำรุด ขณะนั่งปฏิบัติหน้าที่เท้าทั้งสองข้างต้องสัมผัสกับพื้นเพื่อเป็นการต่อดินทั้งสองข้าง

4.5.3.2 การไม่ปฏิบัติตามกฎระเบียบข้อบังคับ

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าสถิตย์มีโอกาสเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา พนักงานที่ปฏิบัติหน้าที่การงานจะต้องมีความรู้ความเข้าใจในกฎระเบียบข้อบังคับ เพื่อเป็นการลดโอกาสในการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์และให้พนักงานที่ปฏิบัติงานในสายการผลิต จะต้องผ่านการฝึกอบรมเพื่อปฏิบัติงานให้ถูกต้องในสายการผลิต ตัวอย่างของการข้อบังคับในสายการผลิตมีดังต่อไปนี้

ข้อควรปฏิบัติสำหรับพนักงานในสายการผลิต

- พนักงานจะต้องผ่านการเรียนรู้และรับรองความรู้ทางด้านความปลอดภัยต่อ ESD
- สวมใส่ชุด Grid line bunny suit, สายรัดข้อมือ, สายรัดข้อเท้า และถุงมือให้ถูกต้อง
- เก็บบัตรพนักงานซึ่งหุ้มด้วยพลาสติกให้เรียบร้อย

- สวม Wrist strap ที่ข้อมือให้สาย Wrist strap สัมผัสกับผิวหนังที่ข้อมือ และเสียบปลายให้เข้ากับกล่องมอนิเตอร์ตลอดเวลา และเป็นอันดับแรกก่อนนั่งทำงาน ถ้าเครื่องมอนิเตอร์ส่งเสียงร้องแสดงว่าสาย wrist strap มีปัญหาใช้ไม่ได้ให้ทำการแก้ไขและเปลี่ยนใหม่ทันที
- ขณะทำงานอย่าเอามือไปถูวัสดุหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในสายการผลิตโดยไม่จำเป็น
- ห้ามแตะต้องหรือปรับแต่งตำแหน่งหรือเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้ตามโต๊ะทำงาน เพื่อป้องกัน ESD หากไม่สะดวกในการทำงานหรือต้องการปรับเคลื่อนย้าย ต้องแจ้งต่อหัวหน้างาน
- ให้ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำงานที่กำหนดไว้เท่านั้น ห้ามนำเอาวัสดุอุปกรณ์มาใช้ทดแทนโดยยังไม่ผ่านการตรวจสอบ โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่ทำด้วยพลาสติกจะเป็นแหล่งกำเนิด ESD ได้สูง
- ไม่แตะต้อง FOS โดยไม่จำเป็นยกเว้นกรณีประกอบชิ้นงาน
- ถอดสาย Wrist strap เป็นลำดับสุดท้าย เมื่อเดินออกจากบริเวณที่ทำงาน
- ตรวจสอบว่าสายกราวด์ที่ต่อไว้ตาม Fixture ต่าง ๆ ว่าหลุดหลวมหรือไม่

4.5.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลด้านสิ่งแวดล้อม

4.5.4.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

ในสายการผลิตของการประกอบอิเลคโทรนิคส์ การควบคุมสิ่งแวดล้อมในสายการผลิตมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมให้อยู่ภายใต้ข้อกำหนด ปัจจัยหลัก ๆ ที่สำคัญในการควบคุมคือ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สายการผลิตที่อยู่ภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสม ก็สามารถที่จะลดโอกาสในการเกิด ESD เนื่องเพราะสภาพอากาศที่แห้งมาก กระแสไฟฟ้าสถิตย์จะมีโอกาสเกิดขึ้นสูง ตัวอย่างของการเกิดไฟฟ้าสถิตย์ที่เกี่ยวข้องกับความชื้นของอากาศและอุณหภูมิ คือ มือโดนไฟฟ้าสถิตย์ดูดขณะเปิดประตูในฤดูหนาว เป็นต้น นอกจากนี้มีการทดลองเพื่อสนับสนุนว่า การเกิด ESD แปรผันโดยตรงกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศดังแสดงในตารางที่ 4.6

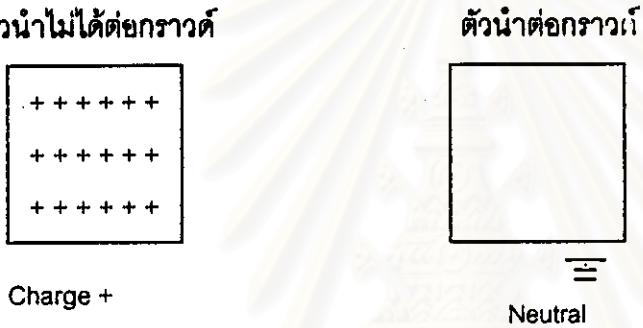
ตารางที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์กับการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์

กระบวนการ	ความชื้นสัมพัทธ์		
	RH10%	RH40%	RH55%
การเดินบนพรม หรือพื้นไวนิล	35000 V 12000 V	15000 V 5000V	75000 V 3000 V
การเคลื่อนไหวขณะทำงาน	6000 V	800 V	400 V
การหยิบถุงพลาสติก	15000 V	5000 V	3500 V

อุณหภูมิในสายการผลิตจะต้องทำการควบคุมตามข้อกำหนดของการประกอบผลิตภัณฑ์อิเลคโทรนิคส์ เนื่องจากค่าความต้านทานมีความผันแปรตามอุณหภูมิ อุณหภูมิตามข้อกำหนดของสายการผลิตคือ 23 ± 2 องศาเซลเซียส

4.5.4.2 การต่อกราวด์ในสายการผลิต

ในสายการผลิต อุปกรณ์และพื้นที่การทำงาน ต้องมีการต่อกราวด์เพื่อทำให้ประจุไฟฟ้าที่อยู่บนพื้นผิววัสดุต่าง ๆ ลงดินและให้พื้นที่การทำงานมีสภาพความเป็นกลาง ไม่ว่าจะเป็นพื้น โต๊ะทำงาน เก้าอี้ การเลือกวัสดุที่ประกอบกันเป็นสถานที่ทำงานต้องเลือกที่มีความต้านทานต่ำ ซึ่งหมายถึงประจุไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่ผ่านสู่พื้นดินได้ง่ายกว่า ดังภาพต่อไปนี้



รูปที่ 4.11 การต่อกราวด์ของตัวนำ

ตัวนำ เมื่อตัวนำต่อลงกราวด์ ประจุไฟฟ้าจะถูกทำให้เป็นกลางและมีความต่างศักย์เท่ากับกราวด์

รูปที่ 4.12 การต่อกราวด์ของฉนวน

ฉนวน เมื่อฉนวนต่อลงกราวด์ ก็ไม่สามารถที่จะทำให้ประจุไฟฟ้าไหลลงกราวด์ได้ เพราะประจุไฟฟ้าไม่สามารถเคลื่อนที่ได้บนฉนวน

4.5.4.3 พัดลมสลายประจุไฟฟ้า (Ionizor)

พัดลมสลายประจุไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สลายประจุไฟฟ้าบริเวณพื้นที่การทำงานให้มีค่าเป็นกลางภายในระยะเวลาที่กำหนด และมีปริมาณความหนาแน่นของประจุเป็นกลางมากกว่าสภาพแวดล้อมปกติ ปัญหาที่เกิดขึ้นจากพัดลมสลายประจุไฟฟ้า (Ionizor) คือ ความสามารถในการปล่อยประจุไฟฟ้าและสลายประจุไฟฟ้าในพื้นที่การทำงานอยู่ในเวลาที่กำหนดหรือไม่ โดยที่ตำแหน่งและระยะห่างของพัดลดสลายประจุไฟฟ้าจากตัวงานจะต้องอยู่ภายใต้ข้อกำหนด ตามปกติพัดลมสลายประจุไฟฟ้าที่ติดตั้งตามแต่ละสถานีของสายการผลิต สามารถสลายประจุไฟฟ้าสถิตย์ได้ในเวลาน้อยกว่า 5 วินาที โดยที่ชิ้นงานต้องห่างจากพัดลมอย่างน้อย 6 นิ้วแต่ไม่เกิน 18 นิ้ว

ดังนั้นพัดลมสลายประจุไฟฟ้า จึงเป็นอุปกรณ์ที่มีทำหน้าที่ปล่อยประจุที่มีค่าความเป็นกลาง เพื่อสลายประจุในพื้นที่การทำงาน ทิศทางในการเป่าจะเป็นไปในทิศทางเข้าหาชิ้นงานขณะที่ทำงานอยู่ หรือที่กำหนดเท่านั้นโดยปรับแรงลมให้เหมาะสม พัดลมสลายประจุไฟฟ้ามีหลายประเภท เช่นประเภทที่แขวนเพดาน และประเภทตั้งโต๊ะ

การเลือกประเภทของพัดลมสลายประจุไฟฟ้า ต้องเลือกให้เหมาะสมกับแต่ละสถานีและวิธีการทำงาน เนื่องเพราะพัดลมสลายประจุต้องมีทิศทางการปล่อยประจุเพื่อสลายประจุที่เกิดขึ้นบริเวณการทำงาน

4.5.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลด้านวิธีการทำงาน

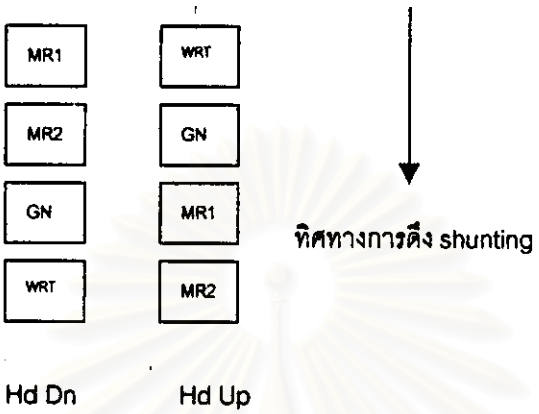
4.5.5.1 การจัดตำแหน่งของ FOS

กระบวนการจัดตำแหน่งของ FOS ต้องใช้อุปกรณ์ที่มีชื่อเรียกว่า tweezer ในการจับและจัดแต่งให้ได้ตำแหน่งที่เหมาะสม แต่จากการทดลองและศึกษาพบว่า Tweezer ชนิดเป็นอลูมิเนียมจะมีการชาร์จประจุเมื่อสัมผัสกับ FOS ก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์และทำลายชิ้นงานได้ โดยอ้างอิงจากการทดลองพบว่า การถูหรือสัมผัส FOS สามารถเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์ได้ถึง 5-1,000 โวล์ท

4.5.5.2 การดึงตำแหน่งการเชื่อมตะกั่ว

การดึงตำแหน่งส่วนของการเชื่อมตะกั่วออกเพื่อเป็นการเปิดวงจรในการตรวจวัดค่าทางฟังก์ชั่นทางไฟฟ้าซึ่งอยู่ในสถานีถัดไป ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการออกแบบของ HGA ประเภท Dn จะมีส่วนปีก (Flapper) ยื่นออกตรงบริเวณเส้นไฟ ซึ่งเมื่อมีการสัมผัสทำให้อาจเกิดการสะสมของกระแสไฟฟ้าสถิตย์

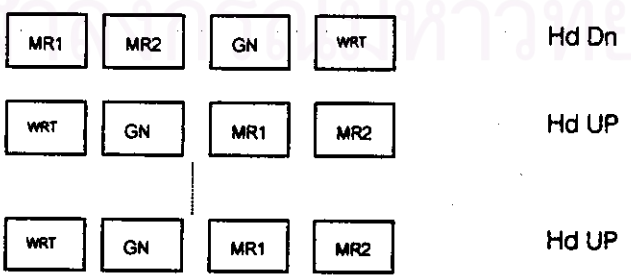
มากกว่าประเภท UP ประกอบการกับทิศทางการดึงส่วนของการเชื่อมตะกั่วออกของ HGA ประเภท Dn จะสัมผัสกับส่วนของ MR เป็นอันดับแรก ซึ่งอาจทำให้กระแสไฟฟ้าสถิตย์ที่สะสมทำลาย MR Element ได้มากกว่า HGA ประเภท UP เพราะจะสัมผัสกับ Writer ซึ่งมีส่วนประกอบของขดลวดมีความทนทานต่อการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์มากกว่า



รูปที่ 4.13 แสดงวิธีการทำงานของสถานีการดึงส่วนเชื่อมตะกั่วออก

4.5.5.3 วิธีการ Reflow Soldering

Reflow opn. เป็นการเชื่อมต่อเส้นไฟของ HGA เข้ากับตะกั่วของ pcc เพื่อเป็นการต่อเส้นทางเดินของวงจรไฟฟ้า หลักการทำงานของเครื่อง Reflow จะทำการเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าสลับเป็นความร้อนเพื่อหลอมละลายตะกั่ว ขั้นตอนการทำงานของ Reflow คือ เมื่อเริ่มต้นการทำงาน เครื่องจักร Reflow จะทำการปรับตำแหน่งที่เหมาะของตำแหน่งที่จะทำการเชื่อม ตำแหน่งแรกและตำแหน่งสุดท้าย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรอาจจะเกิดสะสมของกระแสไฟฟ้าสถิตย์บางส่วนหรือ กระแสไฟฟ้าสลับที่ไม่สม่ำเสมอเกิดขึ้นขณะที่เครื่องจักรทำงาน และตำแหน่งที่แท่นความร้อนลงเป็น ตำแหน่งแรกคือ Head Dn และจากข้อมูลในอดีตพบว่า ปริมาณของเสียเกิดขึ้นที่ Head DN เป็นปริมาณที่สูงกว่า Head UP

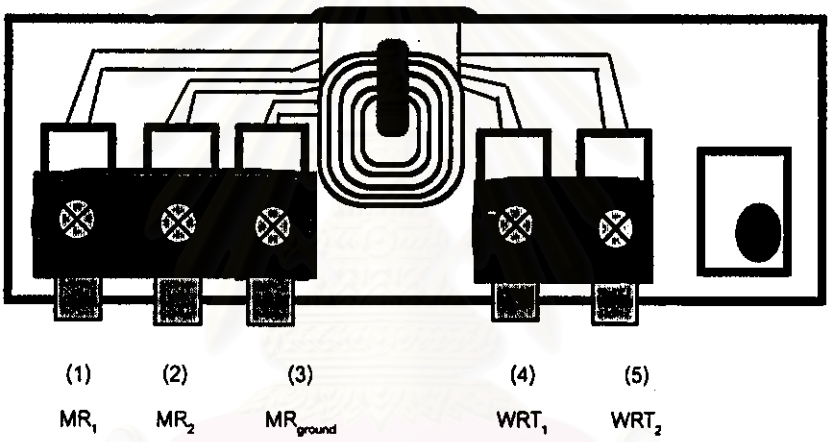


รูปที่ 4.14 แสดงวิธีการทำงานของสถานีการเชื่อมตะกั่วระหว่าง HGA และ PCC

4.5.5.4 วิธีการเชื่อมบริเวณ Gold bond pad

สถานีนี้เป็นการเชื่อมตะกั่วของเส้นไฟจาก FOS ตรงบริเวณ Gold bond pad ซึ่งเป็นอยู่บริเวณด้านบนของสไลเดอร์ เพื่อเป็นการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าของ FOS และ สไลเดอร์ และหลังจากนั้นก็จะใช้กาวทับตรงบริเวณที่ถูกเชื่อมเพื่อให้มีความแข็งแรงและป้องกันไม่ให้บริเวณเชื่อมสัมผัสกับอากาศ เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชั่น

ลำดับขั้นตอนของการเชื่อมปัจจุบันมีโอกาสในการเกิด ESD เนื่องจากตำแหน่งในการเชื่อมเริ่มต้นที่ตำแหน่งของการอ่าน (Reader) ซึ่งมีความบอบบางต่อกระแสไฟฟ้าสถิตย์มากกว่าตำแหน่งของการเขียน



รูปที่ 4.15 แสดงลำดับขั้นตอนการเชื่อมตะกั่วระหว่าง HGA และ FOS

4.5.5.5 การทำความสะอาดด้วย Foam swab

ขั้นตอนการทำงานเมื่อมีการตรวจสอบคราบสกปรกตรงบริเวณตะกั่วของ PCC สถานีนี้ก็จะทำความสะอาดโดยใช้ก้านพลาสติก ซึ่งปลายด้ามมีลักษณะเป็นฟองน้ำ และใช้แอลกอฮอล์เป็นน้ำยาทำความสะอาด Foam swab จะมีสภาพไม่ปลอดภัยต่อ ESD เมื่ออยู่ในสภาพแห้ง การควบคุมหรือลดปริมาณการทำความสะอาดจึงเป็นปัจจัยที่ต้องแก้ไข เพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิด ESD

4.5.5.6 กระบวนการซ่อมแซมงาน

งานที่ไม่ได้ตามข้อกำหนด เช่น งานที่ไม่ผ่านข้อกำหนดเมื่อผ่านการตรวจสอบด้วยกล้องกำลังขยาย เช่นข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเชื่อมของตะกั่วตรงไม่สมบูรณ์ หรือ เส้นไฟหลุดออกจากตะกั่ว งานเหล่านี้ต้องผ่านการแก้ไข โดยกระบวนการแก้ไขงาน จะต้องทำการเอาเส้นไฟที่เชื่อมตะกั่วออกด้วยความร้อน ช่วงเวลาขณะที่เส้นไฟหลุดจาก pad จะมีความเสี่ยงต่อ ESD สูงมากเนื่องจาก shunting ได้ถูกดึงออกไปแล้ว เส้นไฟจึงอยู่ในสภาพเปลือยซึ่งจะแตกต่างจากงานปกติที่ยังไม่ได้ทำการต่อเชื่อม

4.5.5.7 วิธีการตัด Test Tab

การตัดส่วนของ Test Tab ซึ่งเป็นส่วนปลายของ FOS ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนสัมผัสที่ใช้ในการตรวจวัดค่าฟังก์ชั่นทางไฟฟ้า หลังจากการตรวจวัดเสร็จสิ้น ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ไม่ต้องการในกระบวนการผลิตซึ่งจะต้องทำการตัดทิ้ง โดยการตัดทิ้งจะทำที่ต้นสถานีของการผลิต HSA การตัดทิ้งจะต้องศึกษาความแตกต่างของลำดับการตัดเส้นไฟตำแหน่งของ MR หรือ Writer มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่องจากกระแสไฟฟ้าสถิตย์หรือไม่

4.5.5.8 วิธีการเชื่อมตะกั่ว (Shunting)

การเชื่อมตะกั่วเป็นการเพิ่มความต้านทานให้กับเส้นไฟของ FOS เพื่อป้องกันการทำลายหัวอ่านและบันทึกของกระแสไฟฟ้าสถิตย์ เนื่องจากตะกั่วเป็นตัวนำที่ดี และเป็นเส้นทางเดินของกระแสไฟฟ้าสถิตย์สามารถลดโอกาสการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์เข้าทำลายหัวอ่านและบันทึกโดยตรง แต่อย่างไรก็ดีการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์อาจเกิดขึ้น ขณะทำการเชื่อมตะกั่วเพราะมีการสัมผัสของเครื่องจับยึดและ FOS

4.5.6 ปัจจัยที่มีอิทธิพลด้านเครื่องจักร

4.5.6.1 เครื่อง Reflow

เครื่องต่อเชื่อมตะกั่ว (Reflow) เป็นเครื่องที่ทำหน้าที่ต่อเชื่อมเส้นไฟ โดยหลักการคือ เครื่องจักรกำเนิดความร้อน จะมีจุดต่อเชื่อมความร้อนจากเครื่องจักรไปสู่ชิ้นงานเป็นแท่งเหล็ก แท่งเหล็กจะปล่อยความร้อนเพื่อให้ตะกั่วหลอมละลายและกดเส้นไฟจาก HGA ให้เชื่อมต่อกับเส้นไฟของ HSAs เมื่อตะกั่วเย็นตัวลงก็จะยึดเส้นไฟเข้าด้วยกัน ช่วงขณะเครื่องจักรกดลงสู่ชิ้นงานจะต้องมีน้ำหนักกดที่เหมาะสม

- น้ำหนักกด น้ำหนักที่กดต้องอยู่ในข้อกำหนดเนื่องจากถ้าน้ำหนักมากไป ก็จะเกิดผลเสียคือแรงที่กดมาก ทำให้โครงสร้างภายในอาจเชื่อมต่อกัน ทำให้วงจรไฟฟ้าเปิดได้ แต่ถ้าน้ำหนักน้อยไปการต่อเชื่อมไม่ได้ตามข้อกำหนด ทำให้ต้องผ่านกระบวนการซ่อมแซมซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดกระแสไฟฟ้าสถิตย์สูง
- ความลาดเอียงของแท่งเหล็กไม่เท่ากัน เนื่องจากความลาดเอียงของแท่งเหล็กไม่เท่ากัน ทำให้ระยะสัมผัสของแต่ละตำแหน่งของเส้นไฟไม่เท่ากัน อาจจะมีผลต่อการเกิด ESD ได้

4.5.6.2 เครื่องเชื่อมต่อตะกั่วของ HGA (Shunting Machine)

เครื่องเชื่อมต่อตะกั่วเป็นเครื่องจักรทำหน้าที่ทำการเชื่อมตะกั่วตรงบริเวณเส้นทางเดินของไฟเพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ HGA ได้ง่าย การเชื่อมต่อมีจุดประสงค์เพื่อไม่ให้เกิดการทำลายของกระแสไฟฟ้าสถิตย์ได้ง่าย ชิ้นงานที่ผ่านข้อกำหนดจะต้องมีการต่อเชื่อมสมบูรณ์ทุกเส้นไฟ มิฉะนั้นจะมีความเสี่ยงต่อกระแสไฟฟ้าสถิตย์สูง ขณะเชื่อมตะกั่วเครื่องจักรจะมีการสัมผัสกับ FOS และทำให้กระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นและมีโอกาสในการทำลายหัวอ่านซึ่งมีความทนทานต่อกระแสไฟฟ้าต่ำ นอกจากนั้นขณะที่เครื่องจักรทำงานจะทำการแปลงไฟฟ้าเพื่อหลอมละลายตะกั่ว ถ้าวิธีการต่อกราวด์ไม่เหมาะสมอาจมีการเกิดรั่วไหลของกระแสไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอ (Spike Voltage) ทำอันตรายต่อหัวอ่านและบันทึกได้เช่นเดียวกัน ปกติค่า Spike Voltgae ขณะทำงานจะต้องมีค่าไม่เกิน 300 มิลลิโวลท์ จากข้อมูลที่ทำการวัดพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าขณะทำงานมีค่ามากกว่าข้อกำหนด ซึ่งต้องทำการวิเคราะห์ระบบการต่อกราวด์ต่อไป

ตารางที่ 4.7 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอของเครื่อง Auto Shunting

สายการผลิต	เครื่องจักร	Spike Voltage (mV.)	
		ไม่ทำงาน	ขณะทำงาน
2103	GKM347 - A13	52	324
2103	GKM347 - A14	76	480
2103	GKM347 - A15	64	1210
2106	MW00 - 230	32	348
2106	MW00 - 460	96	340
2106	GKM347 - A12	36	316
2206	MW00 - 331	60	412
2206	MW00 - 329	36	204
2206	MW00 - 481	36	308
2302	MW00 - 588	36	328
2302	MW00 - 425	52	304
2302	MW00 - 672	48	364
2305	MW00 - 328	72	436
2305	MW00 - 181	56	324
2305	MW00 - 682	32	392
1102	3L1	56	312
1102	2R1	48	248
1102	3R1	64	440
1105	3L1	48	316
1105	2L1	52	304
1105	3R1	64	200

4.5.6.3 เครื่องมือช่วยจับ

เนื่องจากการทำงานการประกอบชิ้นส่วนหัวอ่าน ชิ้นงานมีขนาดเล็กมากจึงมีความจำเป็นในการใช้เครื่องมือในการช่วยจับ (Tweezer) ปัจจุบันเครื่องมือในการช่วยจับเป็นประเภทโลหะ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวนำสูง เมื่อเกิดการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิตย์ขณะที่มีการสัมผัสกัน กระแสไฟฟ้าสถิตย์สามารถไหลผ่านชิ้นงานเพื่อลงสู่กราวด์อย่างรวดเร็วทำ าให้เกิดการเสียหายต่อหัวอ่านเนื่องจากมีความบอบบางต่อกระแสไฟฟ้าสถิตย์มาก ปัจจุบันได้มีการพยายามเพื่อเปลี่ยนแปลงประเภทของเครื่องมือช่วยจับเป็นประเภทเซรามิค ซึ่งมีสมบัติเป็นตัวนำเช่นเดียวกัน แต่การถ่ายเทประจุเป็นไปได้อย่างช้ากว่าประเภทโลหะมาก ซึ่งสามารถลดความรุนแรงของการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิตย์ได้

4.5.6.4 เครื่องมือในการอ่านบาร์โคด

ในการเก็บข้อมูลนับของชิ้นงานแต่ละชิ้น จะต้องอาศัยบาร์โคดเพื่อเป็นการอ่านตัวเลขที่เป็นการกำหนดความเป็นเจ้าของของแต่ละชิ้นงาน เครื่องมือในการอ่านบาร์โคดหรือสแกนเนอร์จะทำด้วยวัสดุที่ไม่ผ่านข้อกำหนดของ ESD แต่มีการป้องกันด้วยผ้าคลุมที่สามารถช่วยลดปัญหาได้ แต่อย่างไรก็ดีโอกาสในการเกิดการถ่ายเทกระแสไฟฟ้าสถิตย์เมื่อมีการนำ าสแกนเนอร์เข้าใกล้ชิ้นงานเมื่อทำ าการอ่านบาร์โคดยังคงมีอยู่ การนำสแกนเนอร์ที่ทำด้วยวัสดุที่ผ่านข้อกำหนดของ ESD จะช่วยลดปัญหาได้มาก

4.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธี FMEA (Failure Mode Effect Analysis)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 แสดงการวิเคราะห์ลำดับความร้ายแรงของปัญหาด้วยวิธีการ FMEA

Process or Product Name:	HGSA	FMEA Team :	Prepared by:	Page 1 of 3
Responsible:	PLM		FMEA Date (Orig) 01/28/2000	Rev. 04

Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	SEV	Potential Causes	OCC	Current Controls	DET	RPN	Actions Recommended	Resp.	Actions Taken	SEV
Auto Shunt	Auto shunt m/c	ESD	- Failed at static E/T	6	- Incomplete shunt	6	- VMI	4	144	0.17% at incoming of	Nualpun		
			- Failed at customer	6	- Spike voltage	3	- Weekly TPM - ESD audit 1 opn./line /day	5	90	HSA process.			
Unload IAT	HGA	ESD	- Failed at static E/T	6	- Metal tweezers used	5	- PI	1	30	- Use ceramic tweezers	Apichaya		
arm			- Failed at customer	6	- Fingers touching FOS	3	- None	10	180	- Revise PCA	Apichaya		
HGA	Tweezers	ESD	- Failed at static E/T	6	Metal tweezers	3	None	10	180				
Installation			- Failed at customer		rubbing on FOS								
Swage	Scanner	ESD	- Failed at static E/T	6	High tribo charge	10	Covered scanner with ESD sleeve	5	300	Verify actual situation	Prakan		
			- Failed at customer										
FOS	HGA	ESD	- Failed at static E/T	6	- Metal tweezers used	5	- PI	1	30	Use ceramic	Praicharn		
Preparation			- Failed at customer	6	- Metal tweezers rubbing on FOS	3	- None	10	180	tweezers			

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แสดงการวิเคราะห์ลำดับความร้ายแรงของปัญหาด้วยวิธีการ FMEA

Process or Product Name:	HGSA	FMEA Team : Team's Name	Prepared by:	Page 2 of 3
Responsible:	PLM		FMEA Date (Orig) 01/28/200	Rev. 04

Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	SEV	Potential Causes	OCC	Current Controls	DET	RPN	Actions Recommended	Resp.	Actions Taken	SEV
FOS Termination	Reflow m/c	ESD	- Failed at static E/T - Failed at customer	6	Spike voltage	3	- Weekly PM and ESD audit 1 opn/line/day	5	90				
	Tweezers	ESD	- Failed at static E/T - Failed at customer	6	Metal tweezers used	5	Process Instruction	1	30	Use ceramic tweezers	Praicharn		
Coherent Wafer Audit	Scanner	ESD	- Failed at static E/T - Failed at customer	6	High tribo charge	10	Covered scanner with ESD sleeve	5	300	Verify actual situation	Prakan		
Shunt Bar Removal	Tweezers	ESD	- Failed at static E/T - Failed at customer	6	Metal tweezers used	5	Process Instruction	1	30	Use ceramic tweezers	Praicharn		
	Shunt removal process	ESD	- Failed at static E/T - Failed at customer	6	Removed direction of down head	7	None	10	420	Evaluate impact	Praicharn		
	Foam swap	ESD	- Failed at static E/T - Failed at customer	6	Flux cleaning	6	PI, clean only flux contam found	1	36				

Process or Product Name:	HGSA	FMEA Team :	Prepared by:	Page 1 of 3
Responsible:	PLM		FMEA Date (Orig) 01/28/200	Rev. 04

Process Step	Key Process Input	Potential Failure Mode	Potential Failure Effects	SEV	Potential Causes	OCC	Current Controls	DET	RPN	Actions Recommended	Resp.	Actions Taken	SEV
Static E/T	HGA	ESD	- Failed at static E/T - Failed at customer	6	- Escaped from HGA	9	- Damage head but not stated in process instrunction	6	324	Add procedure and change layout	Apichaya		
	Scanner	ESD	- Failed at static E/T - Failed at customer	6	High tribo charge	10	Covered scanner with ESD sleeve	5	300	Verify actual situation	Prakan		
All processes	Ionizer	ESD	- Failed at static E/T - Failed at customer	6	Wrong position	3	- None	10	180	-Review with ESD group	Prakan & Nualpun		
	Wrist strap	ESD	- Failed at static E/T - Failed at customer	6	Loose connection	3	- PM	5	90	- Review with ESD group and Maintenance	Prakan		
	Ground wire	ESD	- Failed at static E/T - Failed at customer	6 6	- Loose connection - Technician not connect the wire after repair/ maintenance	8 8	- PM - None	5 10	240 480	- Review actual situation - Add in the PM procedure	Prakan Prakan		
	Non ESD save material	ESD	- Failed at static E/T - Failed at customer	6	Poor discipline	5	ESD audit	5	150				

Severity of Effect (S)		Ranking
Minor :		
	- Unreasonable to expect that the minor nature of this failure would cause any real effect on the overall performance of the disc drive , or on a subsequent process or operation. Customer will propably not notice the failure	1
Low :		
	- Very limited effect to local process, no effect on downstream process, no effect on customer	2
	- May require local work	3
Moderate :		
	- Failure causes customer dissatisfaction, the form of annoyance	4
	- Failure notices by customer requires correction	5
	- Customer notices slight performance deterioration	6
High :		
	- Disc drive inoperable or fails to meet performance criteria	7
	- May cause disruption to subsequent processing , assembly to test operations	8
Extreme :		
	- Potential safety or liability issue	9
	- Safety or liability issue, hazardous process	10

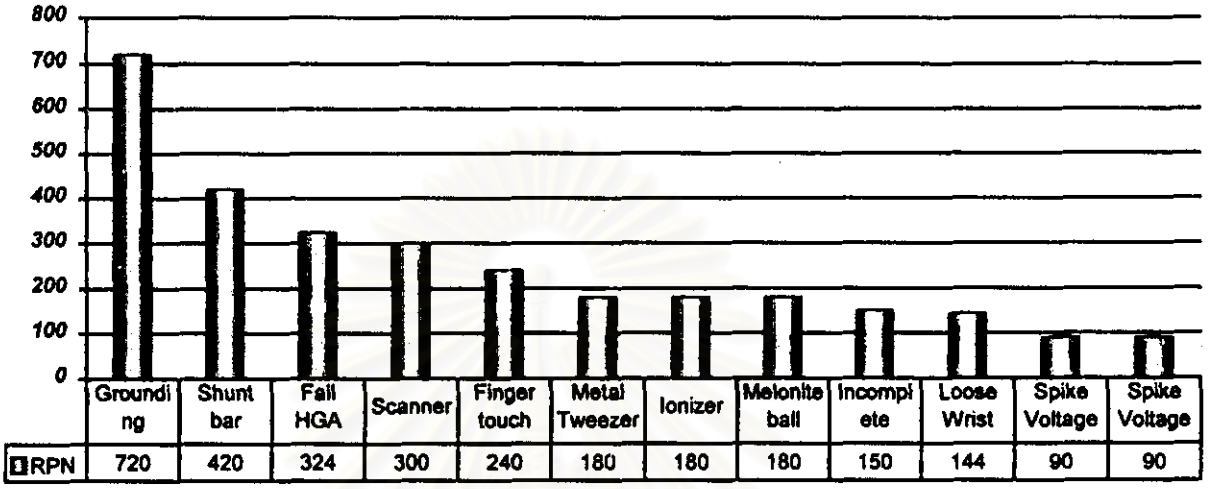
Detection , Likelihood that control will detect failure (D)		Prob. Of failure shipping	DPPM	Ranking
Very High				
	- The process automatically detects failure	1 in 10,000	100	1
	- Controls will almost certainly detect the existence of a failure	1 in 5,000	200	2
High :				
	- Controls have a good chance of detecting the existence of failure	1 in 2,000	500	3
		1 in 1,000	1,000	4
Moderate :				
	- Controls may detect the existance of a failure	1 in 500	2,000	5
		1 in 200	5,000	6
		1 in 100	10,000	7
Low :				
	- Controls have a poor chance of detecting the failure	1 in 50	20,000	8
		1 in 20	50,000	9
Very low :				
	- Controls can not or will not detct the failure	1 in 10	100,000	10

Occurrence , propability of failure (O)		Rate/DPPM	Cpk	Ranking
Remote :				
	- Failure unlikely. No known failures associated with almost identical process.	< 1 in 10s < 0.202	≥ 2.0	1
Very Low :				
	- Process is in statistical control. Only isolated failures associated with similar process.	< 1 in 10s < 1	≥ 1.67	2
Low :				
	- Process is in statistical control.	1 in 20,000 ≤ 50	≥ 1.33	3
Moderate :				
	- Process in statistical control but with isolated failures	1 in 3000	≥ 1.0	4
	- Previous processes have experienced occasional failures or out-of-control conditions	1 in 1000 1 in 400	≤ 1.0	5 6
High :				
	- Process not in statistical control. Similar processes have experienced problems	1 in 40 1 in 20		7 8
Very high :				
	- Failure is almost inevitable	1 in 8 1 in 2		9 10

RPN = OCCURRENCE X SEVERITY X DETECTION

PRIORITY	RPN RANGE
A	Over 200
B	100 - 199
C	26 - 99
D	1 - 25

จากการวิเคราะห์หาความรุนแรงของสาเหตุของปัญหาจาก FMEA ของข้อบกพร่องของ ESD สามารถสรุปเป็นแผนผังพาเรโตได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.16 แสดงการวิเคราะห์ด้วยสาเหตุด้วยผังพาเรโต

4.7 การศึกษาความสามารถของกระบวนการผลิต (Process Capability)

การประเมินผลความสามารถของกระบวนการผลิตในระยะยาว (Long term Process Capability Analysis)

- คำนวณข้อมูลของประสิทธิภาพของกระบวนผลิตจากอดีตของเดือนสิงหาคมและกันยายน (Baseline data of Rolled through put Yield) มีค่าเท่ากับ 96.84%
- โอกาสของการตรวจสอบในกระบวนการผลิต (Opportunity/Process) มีค่าเท่ากับ 1 กล่าวคือ สามารถตรวจวัดข้อบกพร่องได้ที่เครื่องมือวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้า
- คำนวณค่า Normalized Average Yield (YNA) = $(YRT)^{1/Opp}$ = 96.84%
- คำนวณค่า Defects per Opportunity (DPO) = 1 - YNA = 0.0316
- Defects per Million Opportunity (DPMO) = 31,600
- คำนวณค่า σ_{level} (Z - score) เพื่อเป็นเกณฑ์ในการวัดความสามารถของกระบวนการผลิตมีค่าเท่ากับ 1.86

4.8 บทสรุป

- เครื่องมือวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้าสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราห์และตรวจวัดข้อบกพร่องอันเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าสถิตย์ โดยค่าของความแม่นยำของระบบการวัด รีพีททะบิลิตี้และ รีโปรดิวซิบิลิตี้ของข้อมูลนับ เป็น 0.02% และความสามารถของกระบวนการวัดแบบข้อมูลนับเป็น 100% ของประสิทธิผลของการตรวจสอบ
- การประเมินผลความสามารถของกระบวนการผลิตในระยะสั้นและระยะยาว

	ปัจจุบัน	เป้าหมาย
DPMO (Defect Per Million Opportunities)	31,600	5000
σ_{level} (Z-score)	1.86*	2.58
σ_{level} (Z-score)	3.36*	4.07

- จากการวิเคราะห์แผนผังพาเรโตของค่าความเสี่ยง(Risk Priority Number) พบว่าปัจจัยที่มีโอกาสก่อให้เกิดข้อบกพร่องอันเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าสถิตย์ (KPIV) 60% มาจาก
  - ปัญหาเนื่องจากการต่อกราวด์ (25%)
  - ขั้นตอนการทำงานของการดึง Shunt bar ของ Dn head (14%)
  - คุณภาพของ HGA (11%)
  - สแกนเนอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่อ่านบาร์โคดในการเก็บข้อมูลข้อสิ่งตัวงานแต่ละตัวในกระบวนการผลิต (10%)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย