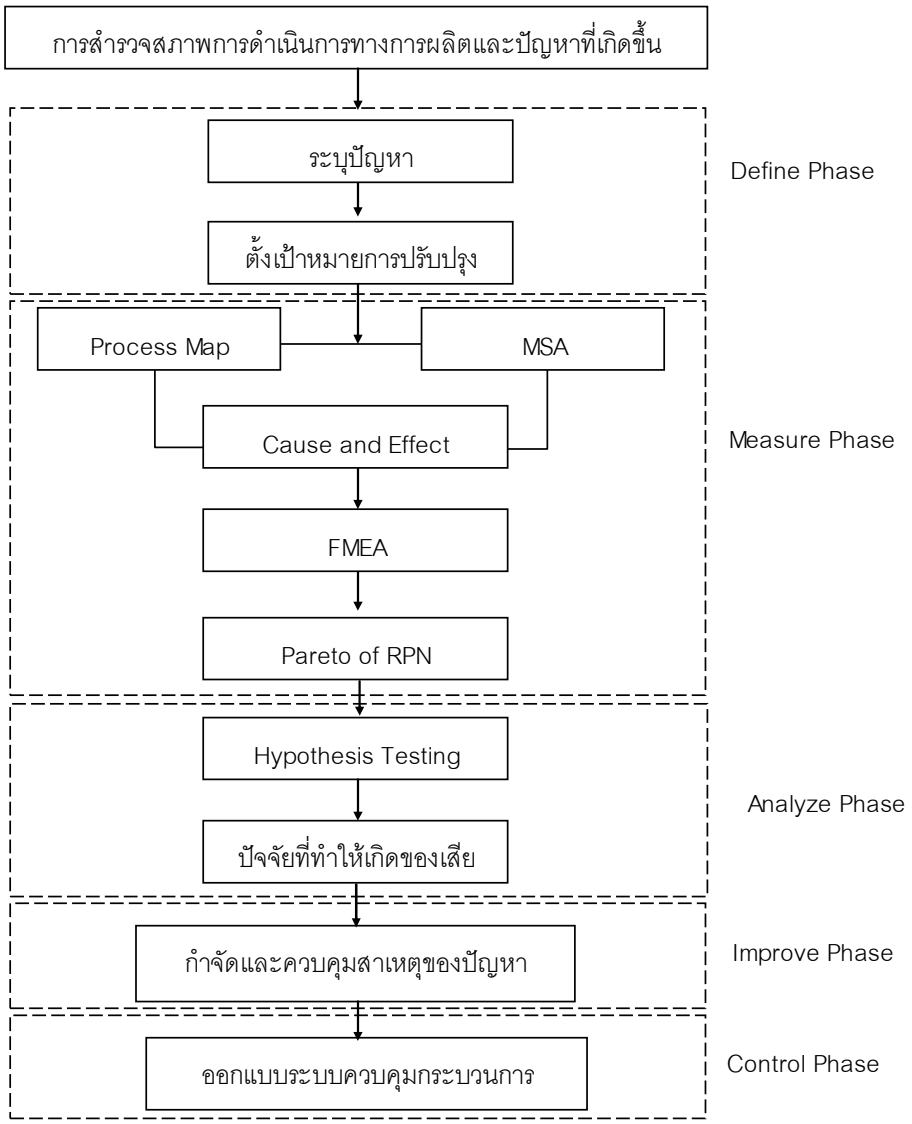
บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนในการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนแสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1

กระบวนการดำเนินงานวิจัย

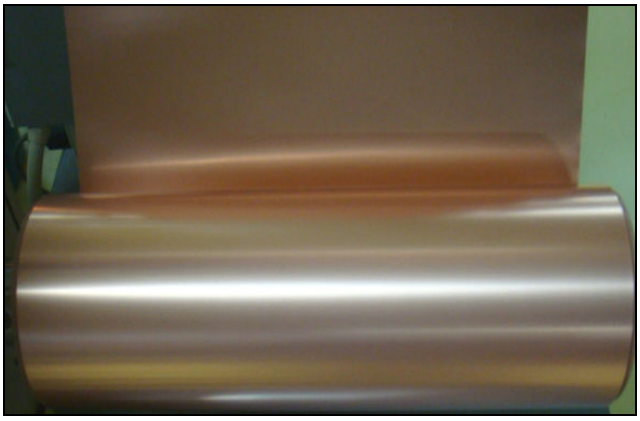
3.2 การสำรวจสภาพการดำเนินการทางการผลิตและปัญหาที่เกิดขึ้น

ข้อมูลเบื้องต้นกรณีศึกษา

บริษัทตัวอย่างกรณีศึกษาจัดตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1988 ทำการผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนสำหรับเป็นส่วนประกอบของเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ผลิตภัณฑ์หลักคือ แผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนที่มีเส้นลายวงจรด้านเดียว (Single Side FPC) แผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนที่มีเส้นลายวงจรสองด้าน (Double Side FPC) และแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนที่มีเส้นลายวงจรตั้งแต่สามชั้นขึ้นไป (Multilayer FPC) กระบวนการผลิตแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน มี 6 กระบวนการหลักดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1 โดยในกรณีศึกษานี้มุ่งศึกษาในส่วนของกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรประกอบด้วยวัตถุดิบหลัก 3 ชนิดคือ

1. แผ่นทองแดง (Copper Clad Laminates, CCL) เป็นวัตถุดิบพื้นฐานที่สำคัญในโครงสร้างของแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดอ่อน ตัวอย่างแผ่นทองแดงแสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2
แผ่นทองแดงที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการสร้างเส้นลายวงจร

2. แผ่นดรายฟิล์ม (Dry Film, DF) เป็นวัตถุดิบที่ช่วยในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรซึ่งจะไม่ปรากฏหรือติดอยู่กับแผนพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนหลังเสร็จสิ้นจากกระบวน การสร้างเส้นลายวงจร วัตถุดิบชนิดนี้มีคุณสมบัติที่ไวต่อแสงโดยเฉพาะแสง UV (Ultraviolet Light) หากแสงไปกระทบกับดรายฟิล์มสีของดรายฟิล์มจะเปลี่ยนเป็นสีเข้มและเนื้อจะแข็งตัว

3. สารเคมี เป็นวัตถุดิบที่ช่วยในการทำความสะอาดแผ่นทองแดง กัดแผ่นทองแดง และล้างดรายฟิล์มออกเพื่อให้เกิดเป็นเส้นลายวงจร

กระบวนการสร้างเส้นลายวงจรประกอบด้วยกระบวนการย่อยดังนี้

1. กระบวนการทำความสะอาดแผ่นทองแดง (Material Scrubbing Process, MSC) ทำหน้าที่ทำความสะอาดผิวหน้าทองแดงเพื่อล้างเศษฝุ่น คราบน้ำมันหรือคราบรอยนิ้วมือที่ติดบนผิวหน้าทองแดงออก

2. กระบวนการติดดรายฟิล์ม (Dry Film Laminate Process, DFL) ทำหน้าที่ติดดรายฟิล์มซึ่งไวแสงต่อแสงยูวี (Ultraviolet Light) ลงบนแผ่นทองแดงเพื่อนำไปถ่ายแบบลายวงจร

3. กระบวนการถ่ายแบบลายวงจรบนดรายฟิล์ม (Exposure Process, EXP) ทำหน้าที่ถ่ายภาพลายวงจรจากฟิล์มแม่แบบ (Master Film) ลงบนดรายฟิล์มโดยการฉายแสง UV

4. กระบวนการล้างดรายฟิล์มด้วยสารเคมี (Development Process, DEV) ทำหน้าที่ล้างดรายฟิล์มส่วนที่ไม่ถูกแสงกระทบออกเพื่อเปิดทองแดงส่วนที่ไม่ต้องการด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Sodium Carbonate, Na_2CO_3) สำหรับดรายฟิล์มส่วนที่ถูกแสงกระทบจะไม่ถูกล้างออก

5. กระบวนการกัดเส้นลายวงจร (Etching Process, ETC) ทำหน้ากัดทองแดงส่วนที่ไม่มีดรายฟิล์มคลุมอยู่ออก โดยใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid, HCl) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide, H_2O_2)

6. กระบวนการลอกดรายฟิล์มส่วนที่ปกคลุมเส้นลายวงจร (Stripping Process, STP) ทำหน้าที่ลอกดรายฟิล์มส่วนที่ปกคลุมเส้นลายวงจรออก โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide, NaOH) ทำให้มองเห็นทองแดงซึ่งทองแดงเหล่านี้คือเส้นลายวงจรนั่นเอง

7. กระบวนการทำความสะอาดเส้นลายวงจร (Circuit Scrubbing Process, CSC) ทำหน้าที่ทำความสะอาดเส้นลายวงจรเพื่อล้างสารเคมีที่ตกค้างบนผิวลายวงจรให้สะอาดและเคลือบผิวลายวงจรด้วยน้ำยา Anti-tarnish เพื่อป้องกันสนิม

3.3 การกำหนดปัญหา (Define Phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการระบุข้อกำหนดของลูกค้าและคัดเลือกปัญหาที่พบในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร

3.3.1 ข้อกำหนดของลูกค้า (Customer Specification)

ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรแบ่งเป็น 3 ระดับ ดังนี้

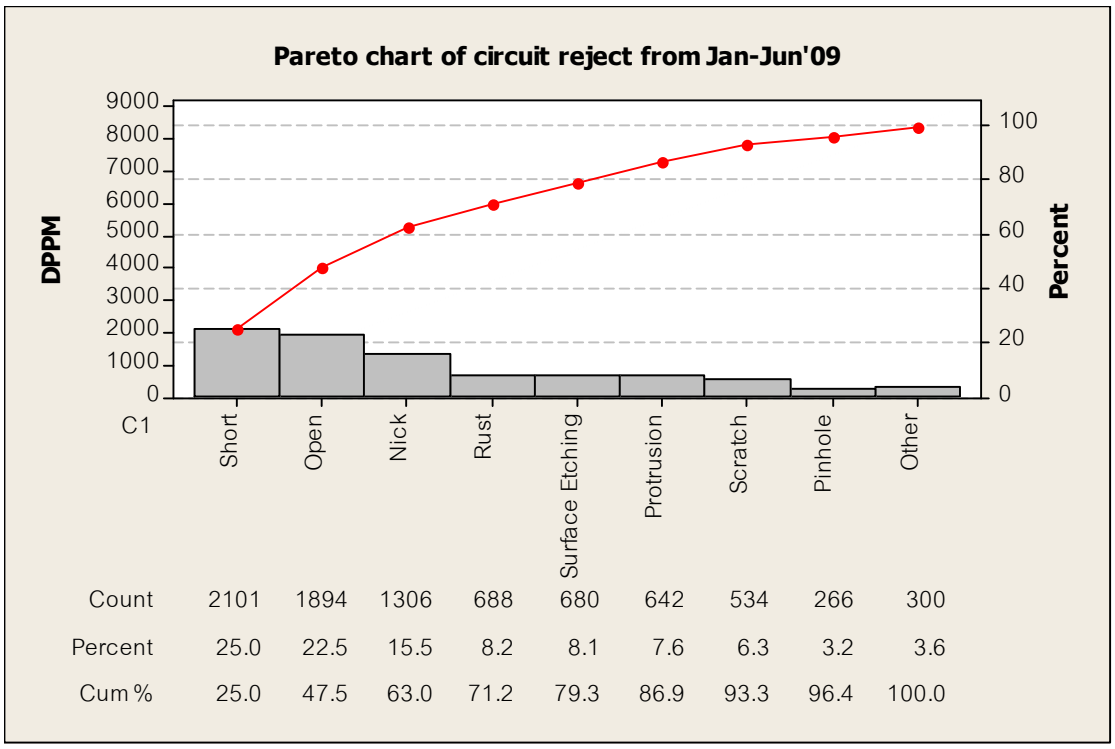
1. ระดับรุนแรงขั้นวิกฤต เป็นระดับที่ลูกค้าไม่ยินยอมให้เกิด เพราะถ้าหากนำไปใช้วงจรจะไม่ทำงานหรือบางครั้งอาจทำให้อุปกรณ์อื่นๆ ของลูกค้าเกิดความเสียหายได้มี 2 ชนิดคือ เส้นลายวงจรขาดจากกัน (Open circuit) และ บางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน (Short)

2. ระดับความสำคัญหลัก เป็นระดับที่ลูกค้ายินยอมให้เกิดได้แต่ต้องไม่มากกว่าในระดับที่ลูกค้ากำหนด มี 7 ชนิดคือ บางส่วนของเส้นลายวงจรเว้าแหว่ง (Nick) บางส่วนของเส้นลายวงจรเป็นรูโหว่ (Pin hole) บางส่วนของเส้นลายวงจรยื่นออกมา (Protrusion) เหลือเศษทองแดงอยู่ระหว่างเส้นลายวงจร (Residue) บางส่วนของเส้นลายวงจรถูกกัดด้วยน้ำยา (Surface Etching) รอยขีดข่วนบนเส้นลายวงจร (Scratch) และเส้นลายวงจรลอกหรือหลุดจากเบสฟิล์ม (Circuit delamination)

3. ระดับความสำคัญรอง เป็นระดับที่ลูกค้ายินยอมให้เกิดได้แต่ดูแล้วไม่สวยงามหรือหากเกิดในระดับที่มากเกินไปลูกค้าจะไม่ยอมรับผลิตภัณฑ์นั้นๆ มี 2 ชนิดคือ คราบสนิม (Rust) และคราบสกปรก (Dirt)

3.3.2 การระบุปัญหา

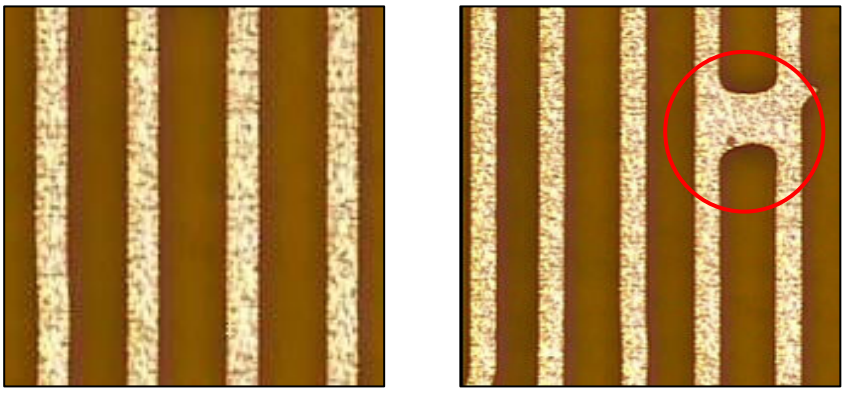
จากภาพที่ 3.3 เป็นอัตราส่วนข้อบกพร่องแบบต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรตั้งแต่เดือนมกราคมถึงมิถุนายน 2552 พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือ บางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน (Short) ซึ่งเป็นข้อบกพร่องระดับรุนแรงขั้นวิกฤตมีลักษณะดังภาพที่ 3.4 มีอัตราส่วนของเสียเฉลี่ย 2101 PPM หรือคิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ของปัญหาข้อบกพร่องทั้งหมดที่พบในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรก่อให้เกิดความสูญเสียคิดเป็นมูลค่าเฉลี่ย 2-4 ล้านบาทต่อเดือน ดังนั้นจึงได้ทำการคัดเลือกปัญหาดังกล่าวนี้มาทำการศึกษา



ภาพที่ 3.3

แผนภูมิพาเรโตแสดงอัตราส่วนข้อบกพร่องแบบต่างๆ

ที่พบในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรตั้งแต่เดือนมกราคม-มิถุนายน 2552



ภาพที่ 3.4

เปรียบเทียบเส้นลายวงจรที่ปกติ (ซ้าย) และเส้นลายวงจรที่มีข้อบกพร่องประเภท

บางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน (ขวา)

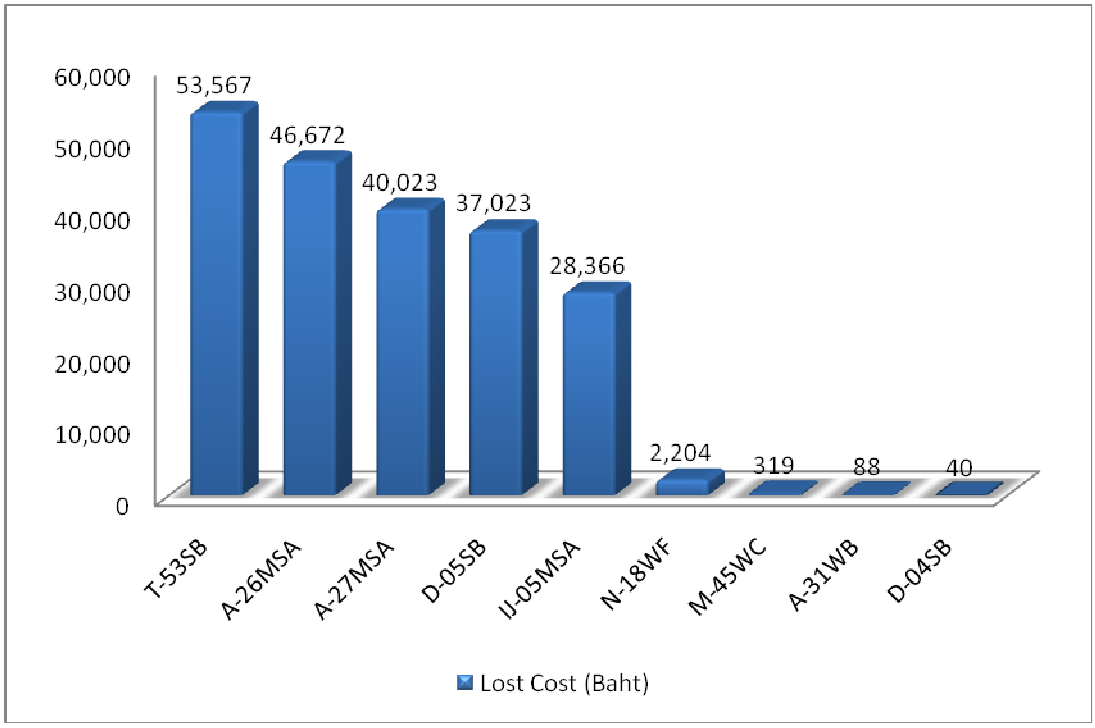
3.3.3 รุ่นของผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา

ในกรณีศึกษานี้ได้เลือกผลิตภัณฑ์รุ่น T-53SB ขึ้นมาใช้เป็นกรณีศึกษาโดยคัดเลือกจากผลิตภัณฑ์ที่มียอดพยากรณ์การสั่งซื้อสูงสุด 10 อันดับแรกและอัตราข้อบกพร่องประเภทที่บางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันแล้วนำไปคำนวณหาความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นหากไม่มีการแก้ไขปรับปรุง แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3.1 และภาพที่ 3.5

ตารางที่ 3.1

ผลิตภัณฑ์ที่มียอดพยากรณ์การสั่งซื้อสูงสุด 10 อันดับแรกและต้นทุนที่ต้องสูญเสียจากข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันหากไม่มีการปรับปรุงแก้ไข

Product Name	Forecast per month (Pieces)	Short (PPM)	Prize/Piece (Baht)	Lost Cost (Baht)
T-53SB	1,188,000	4,399	10.25	53,567
A-26MSA	857,000	3,063	17.78	46,672
A-27MSA	670,000	3,800	15.72	40,023
D-05SB	960,000	1,334	28.91	37,023
IJ-05MSA	674,400	3,414	12.32	28,366
N-18WF	998,400	336	6.57	2,204
M-45WC	1,172,200	245	1.11	319
A-31WB	1,055,000	42	1.98	88
D-04SB	1,152,000	18	1.91	40
A-39LA	1,454,000	0	33.09	0



ภาพที่ 3.5

กราฟแสดงข้อมูลต้นทุนที่ต้องสูญเสียจากการเกิดข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันของยอดพยากรณ์การสั่งซื้อสูงสุด 10 อันดับแรก ณ เดือน มิถุนายน 2552

ข้อมูลผลิตภัณฑ์

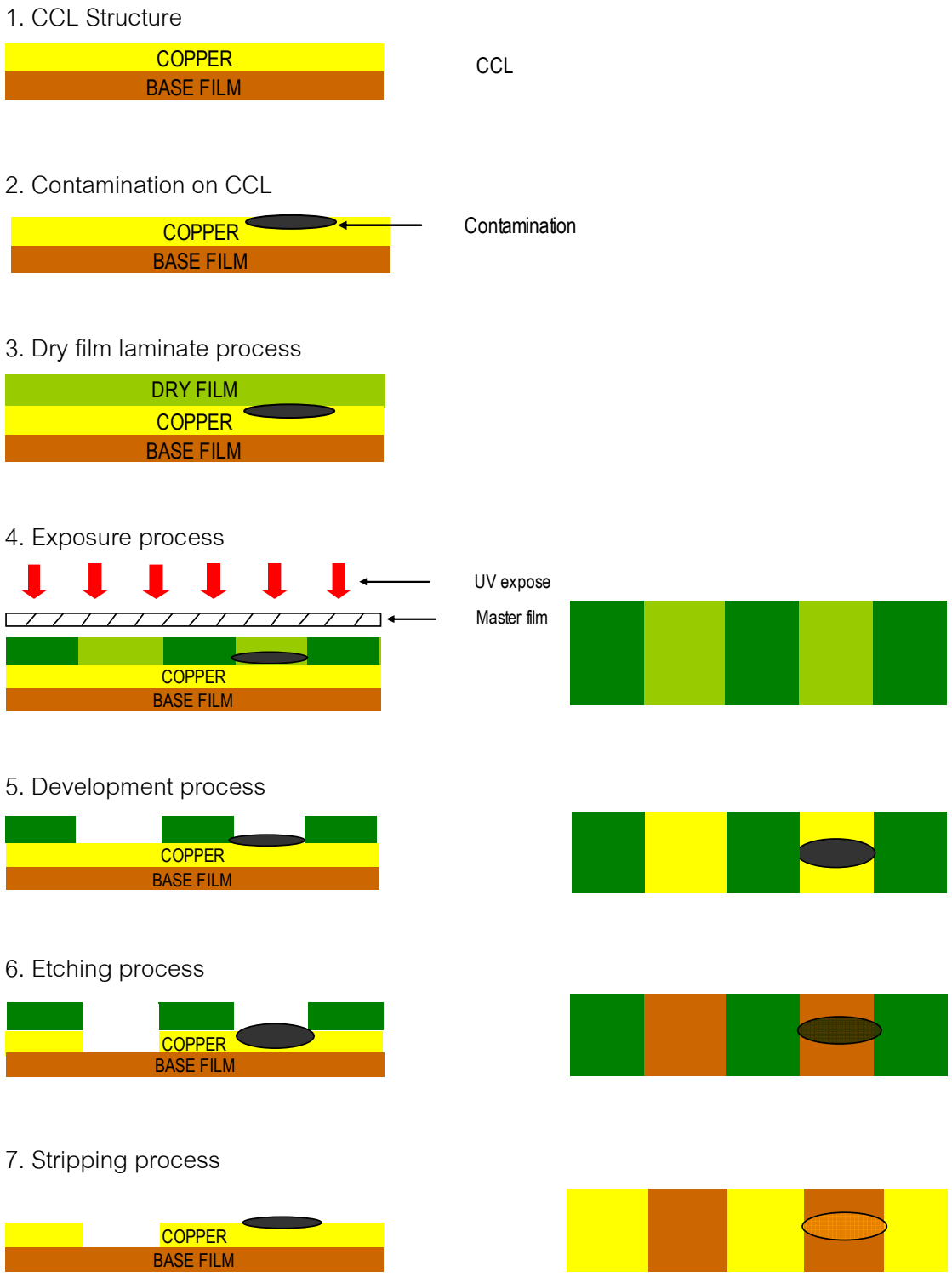
- เป็นผลิตภัณฑ์แผงวงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนประเภทมีเส้นลายวงจรไฟฟ้าชั้นเดียว (Single side FPC)
- การนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อนำไปเป็นส่วนประกอบหลักในอุปกรณ์เก็บข้อมูลของคอมพิวเตอร์ (Hard Disk Drive)
- ขนาดการผลิตต่อ Lot เท่ากับ 1440 ชิ้น โดยแบ่งเป็น 60 Sheets ใหญ่ (24 ชิ้น/Sheet) และจะถูกตัดแบ่งให้มีขนาดเป็นชิ้นที่กระบวนการขั้นสุดท้าย
- ปริมาณการผลิต 44 Lot/วัน (ข้อมูล ณ เดือน มิถุนายน 2552)

ภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์แสดงดังภาพที่ 3.6

ภาพที่ 3.6

ผลิตภัณฑ์รุ่น T-53SB ก่อน (ซ้าย) และหลัง (ขวา) กระบวนการสร้างเส้นลายวงจร

ผลิตภัณฑ์รุ่น T-53SB เป็นแผ่นพิมพ์วงจรไฟฟ้าชนิดอ่อนที่มีเส้นลายวงจรด้านเดียว กลไกการเกิดข้อบกพร่องชนิดบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันแสดงดังภาพที่ 3.7 โดยสาเหตุหลักของการเกิดข้อบกพร่องชนิดนี้ เกิดจากการมีสิ่งปนเปื้อนติดบนแผ่นทองแดงในระหว่างกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร โดยสิ่งปนเปื้อนดังกล่าวสามารถเกิดขึ้นได้ทุกกระบวนการหากการควบคุมกระบวนการไม่สามารถทำได้อย่างสมบูรณ์ และเป็นสาเหตุทำให้ทองแดงบริเวณดังกล่าวไม่สามารถถูกกัดออกได้ในกระบวนการกัดทองแดงส่วนที่ไม่ต้องการออก (Etching Process) เกิดเป็นทองเศษทองแดงที่หลงเหลืออยู่ระหว่างเส้นลายวงจร 2 เส้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวถือเป็นข้อบกพร่องระดับรุนแรงขั้นวิกฤต เพราะหากลูกค้านำผลิตภัณฑ์ดังกล่าวไปใช้จะทำให้วงจรไฟฟ้าไม่ทำงานหรือบางครั้งอาจทำให้อุปกรณ์บางอย่างของลูกค้าเสียหายได้

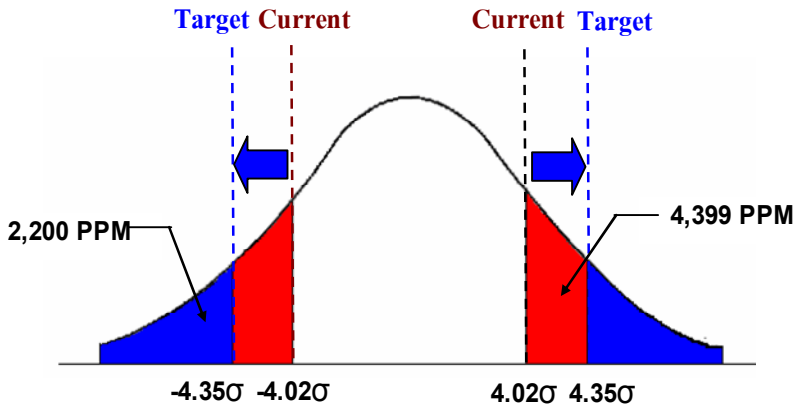


ภาพที่ 3.7

กลไกการเกิดข้อบกพร่องชนิดบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน

3.3.4 เป้าหมายการดำเนินงานวิจัย

เป้าหมายของโครงงานวิจัยนี้ คือ การลดอัตราของเสียประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันของผลิตภัณฑ์รุ่น T-53SB ลงจากเดิม 50 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนเดิมอยู่ที่ 4,399 PPM (ข้อมูล ณ เดือน มิถุนายน 2552) ลดลงให้เหลือเดือนละ 2,200 PPM แสดงดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8

เป้าหมายการดำเนินการวิจัย

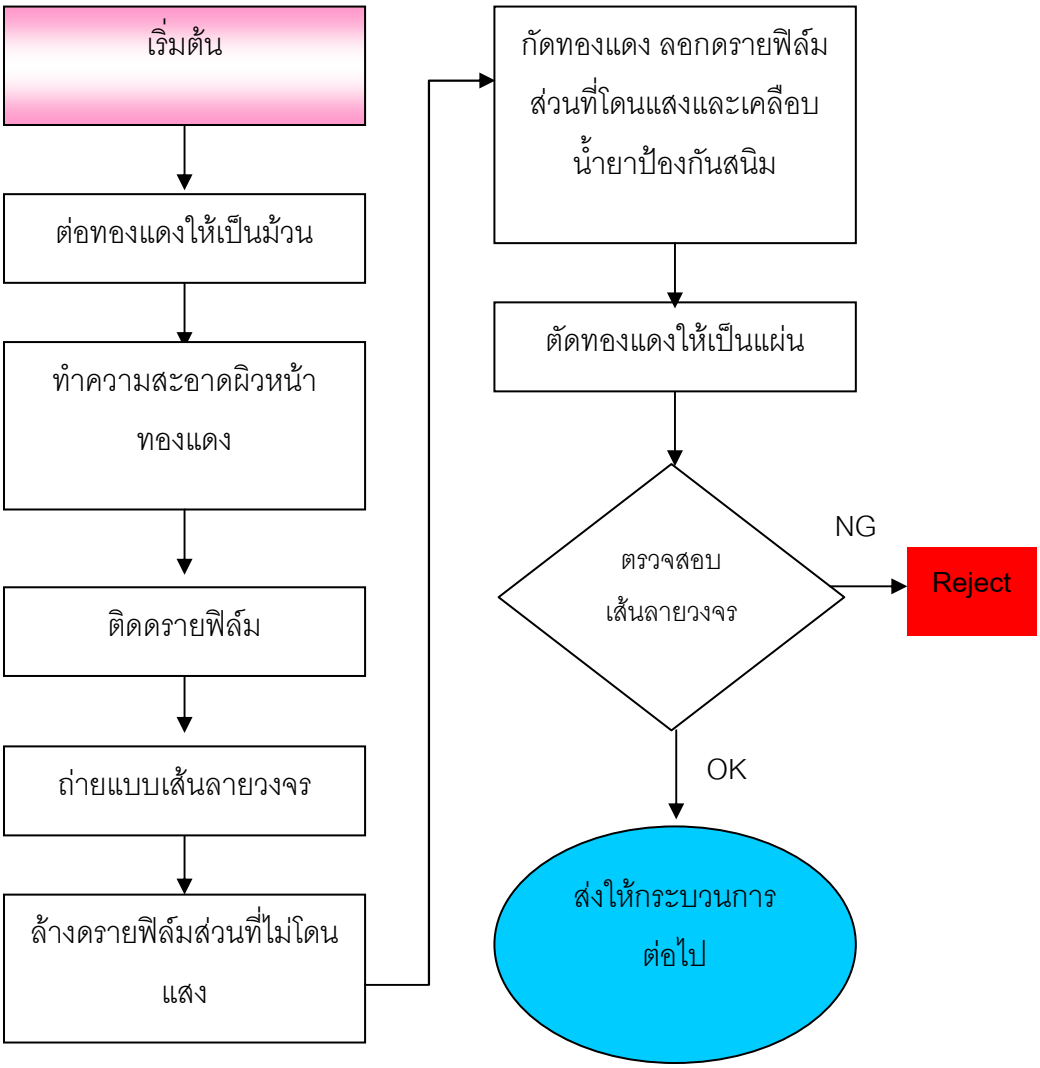
3.4 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงแหล่งที่มาที่เป็นสาเหตุของปัญหาโดยเริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดของกระบวนการผลิตในทุกๆ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา และวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อที่จะประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหา

1. สร้างแผนที่กระบวนการผลิต (Process Map) เพื่อศึกษาถึงแหล่งที่มาที่เป็นสาเหตุของปัญหาเริ่มจากการศึกษาเกี่ยวกับรายละเอียดของกระบวนการผลิตในทุกๆ ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาเพื่อค้นหาตัวแปรและปัจจัยนำเข้า (Key Process Input Variable, KPIVs) ที่ทำให้เกิดปัญหา (Key Process Output Variable, KPOVs) แสดงดังภาพที่ 3.9

จากภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการผลิตของรุ่น T-53SB จะเริ่มตั้งแต่การตัดต่อทองแดงให้เป็นม้วนเพื่อให้ได้ความยาวตามที่แผนกวางแผนกำหนด จากนั้นส่งไปยังกระบวนการทำความ

สะอาดผิวหน้าทองแดง กระบวนการติดดรายฟิล์มเพื่อติดดรายฟิล์มลงบนแผ่นทองแดงก่อนส่งไปสู่กระบวนการถ่ายแบบเส้นลายวงวงจร และส่งไปสู่กระบวนการล้างดรายฟิล์มส่วนที่ไม่โดนแสงออกเพื่อเปิดพื้นที่ทองแดงส่วนที่ไม่ต้องการก่อนจะเข้าสู่กระบวนการกัดทองแดงส่วนที่ไม่ต้องการออกแล้วเข้าสู่กระบวนการลอกดรายฟิล์มส่วนที่ปกคลุมเส้นลายวงจรและเคลือบน้ำยาป้องกันสนิม จากนั้นส่งไปแปรรูปทองแดงจากม้วนเป็นแผ่นโดยใช้เครื่องตัดและกระบวนการสุดท้ายทำการตรวจสอบคุณภาพเส้นลายวงจรโดยใช้เครื่องเอโอไอก่อนจะส่งเข้าสู่กระบวนการถัดไป



ภาพที่ 3.9

แผนภาพการผลิตของผลิตภัณฑ์รุ่น T-53SB

2. วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อเป็นการประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนนำไปทำการวัดผลการดำเนินงาน เครื่องมือวัดใช้ในการตรวจสอบคุณภาพเส้นลายวงจรคืออุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่องเอโอไอ (Automatic Optical Inspection, AOI) เครื่องเอโอไอมีหลักการทำงานคือ ตรวจสอบความผิดปกติของเส้นลายวงจรโดยเปรียบเทียบกับแม่แบบของเส้นลายวงจรที่ปกติที่ถูกใส่ข้อมูลไว้ในโปรแกรมของเครื่อง ในขณะที่ทำการการตรวจเครื่องจะมีการแสดงภาพให้เห็น โดยเมื่อเครื่องตรวจพบเส้นลายวงจรที่ผิดปกติจะมีการแสดงสัญญาณเสียง (Alarm) และพนักงานที่ทำหน้าที่ควบคุมเครื่องจะเป็นผู้ที่ทำสัญลักษณ์บนชิ้นงานที่พบข้อบกพร่องตามชนิดของข้อบกพร่องที่พบ เพื่อบ่งบอกให้กระบวนการถัดไปรับทราบปัญหา ในการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดนี้จึงใช้การวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับ (GR&R Attribute) ซึ่งมุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพการตรวจสอบและการทำซ้ำของอุปกรณ์ที่ใช้ มีขั้นตอนดังนี้

1) เตรียมชิ้นงานจำนวน 30 ชิ้นโดยเป็นชิ้นงานดี 10 ชิ้น และเป็นชิ้นงานเสีย 20 ชิ้น

2) เลือกเครื่อง Automatic Optical Inspection ที่จะทำการทดสอบจำนวน 2 เครื่อ

3) ทำการตรวจสอบชิ้นงานที่เตรียมไว้ทุกชิ้นและตรวจสอบซ้ำเครื่องละ 2 รอบ โดยทำการบันทึกผลการตรวจสอบลงในแบบฟอร์มที่เตรียมไว้ วิธีการบันทึกเป็นดังนี้ บันทึก “0” สำหรับชิ้นงานที่เครื่องตรวจจับว่าบกพร่อง บันทึก “1” สำหรับชิ้นงานที่เครื่องตรวจจับว่าดี ซึ่งผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2

การประเมินความสามารถของระบบการวัดของเครื่องเอโอไอก่อนการปรับปรุง

No,	Quality	Machine 1		Machine 2	
		1st Detect	2nd Detect	1st Detect	2nd Detect
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1
7	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0
11	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1
13	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0

No,	Quality	Machine 1		Machine 2	
		1st Detect	2nd Detect	1st Detect	2nd Detect
16	0	0	0	0	0
17	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1
21	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0
28	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1

เมื่อนำข้อมูลการประเมินความสามารถของระบบการวัดของเครื่องเอโอไอก่อนการปรับปรุงไปวิเคราะห์ทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้ผลการวิเคราะห์ดังภาพที่ 3.10

ผลการวิเคราะห์

- % รีพีททะบิลีตี้ของเครื่องที่ 1 และ 2 เท่า 100% และ 100% ตามลำดับ
- ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลีตี้เท่ากับ 100% แสดงว่าเครื่องจักรทั้งสองตรวจสอบได้ผลลัพธ์เหมือนกันทุกครั้ง

จากผลที่ได้พบว่าเครื่องเอโอไอทั้ง 2 เครื่องมีความสามารถในการตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีความเชื่อถือได้อยู่ในระดับสูงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือวัดสำหรับขั้นตอนต่อไปได้

```
Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser  # Inspected  # Matched  Percent      95 % CI
Machine1            30         30   100.00  (90.50, 100.00)
Machine2            30         30   100.00  (90.50, 100.00)

# Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Between Appraisers


Assessment Agreement

# Inspected  # Matched  Percent      95 % CI
         30         30   100.00  (90.50, 100.00)

# Matched: All appraisers' assessments agree with each other.
```

ภาพที่ 3.10

ผลการวิเคราะห์ระบบการวัดข้อมูลแบบนับก่อนปรับปรุง

3. วิเคราะห์หาสาเหตุและตัวแปรต่างๆ ที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) แสดงดังภาพที่ 3.11

4. ประเมินความสำคัญของสาเหตุที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา โดยใช้ตารางการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบต่อปัญหา (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) ซึ่งพิจารณา 3 หัวข้อ คือ ความรุนแรง (Severity) โอกาสในการเกิดปัญหา (Occurrence) และความสามารถในการป้องกัน (Detection) แล้วทำการให้คะแนนดังนี้

1) ความรุนแรงให้คะแนนดังนี้ ถ้ารุนแรงและส่งผลกระทบกับปัญหามากที่สุดให้คะแนน 9 รุนแรงปานกลางให้คะแนน 5 และถ้าส่งผลกระทบน้อยมากให้คะแนน 1

2) โอกาสในการเกิดปัญหาให้คะแนนดังนี้ ถ้าโอกาสในการเกิดปัญหามีบ่อยมากให้คะแนน 9 มีโอกาสปานกลางให้คะแนน 5 มีโอกาสน้อยน้อยมากให้คะแนน 1

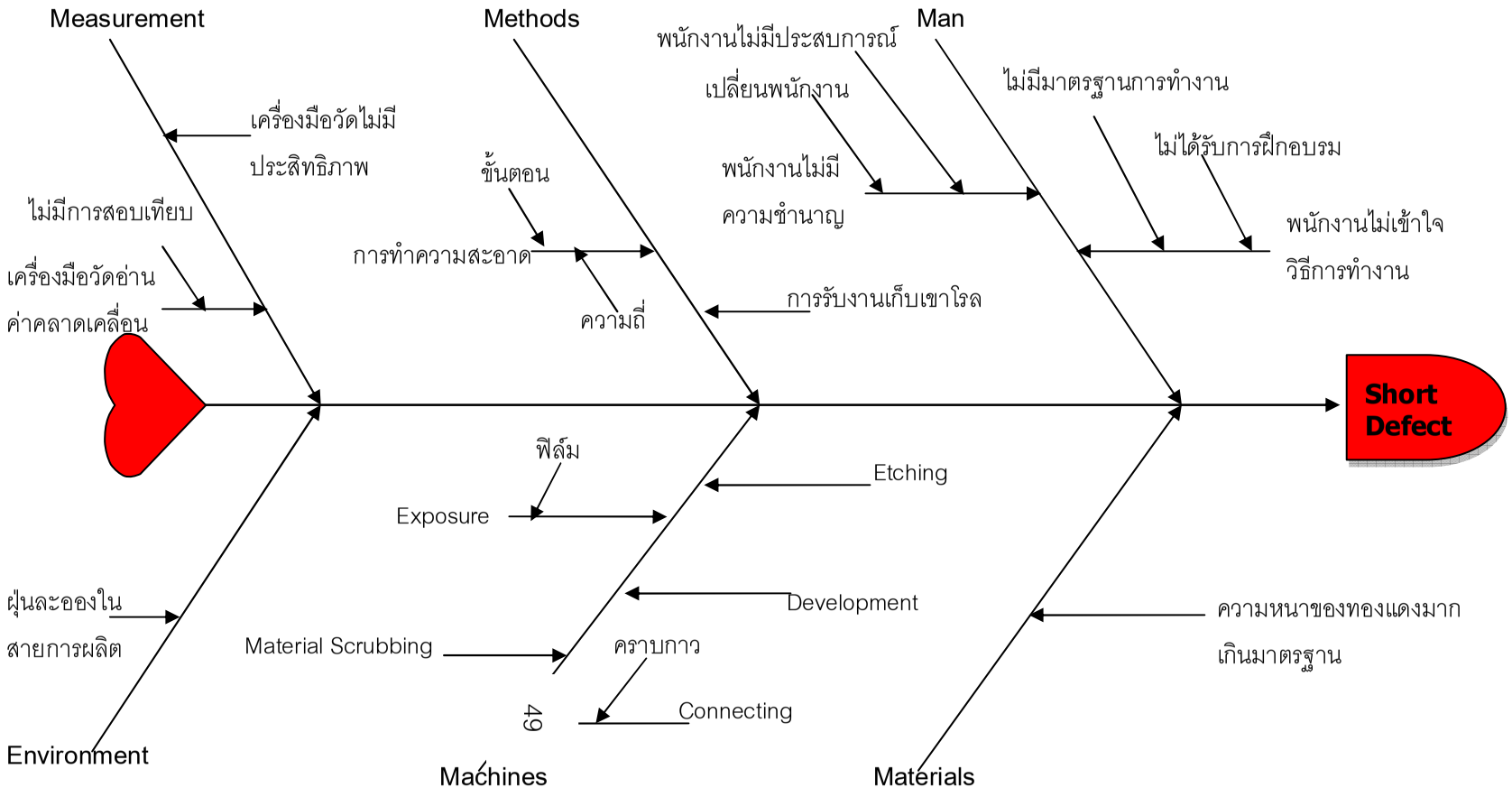
3) ความสามารถในการป้องกัน จะให้คะแนนในทางตรงข้ามกับความรุนแรงและโอกาสในการเกิดปัญหาดังนี้ ถ้าสามารถป้องกันปัญหาได้ดีมากให้คะแนน 1 ป้องกันได้ดีในระดับปานกลางให้คะแนน 5 และถ้าป้องกันปัญหาได้ยากหรือป้องกันได้ไม่ดีให้คะแนน 9

ตารางการให้คะแนนในหัวข้อความรุนแรง โอกาสในการเกิดปัญหา และความสามารถในการป้องกันแสดงดังตารางที่ 3.3 ผลการประเมินความสำคัญของสาเหตุที่อาจมีผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องชนิดบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3

เกณฑ์การให้คะแนนการประเมินความเสี่ยงการเกิดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์

ความรุนแรง	โอกาสในการเกิดปัญหา	ความสามารถในการป้องกัน	คะแนน
มากที่สุด	มีโอกาสมากที่สุด	ป้องกันปัญหาได้ยากที่สุด	9
มาก	มีโอกาสมาก	ป้องกันปัญหาได้ยาก	7
ปานกลาง	มีโอกาสปานกลาง	ป้องกันปัญหาได้ปานกลาง	5
น้อย	มีโอกาสน้อย	ป้องกันปัญหาได้ดี	3
น้อยที่สุด	มีโอกาสน้อยที่สุด	ป้องกันปัญหาได้ดีมาก	1



ภาพที่ 3.11

แผนภาพเหตุและผลของการเกิดการเชื่อมต่อกันของเส้นลายวงจร

49

ตารางที่ 3.4

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อ T-53SB

ลำดับ	ขั้นตอนของกระบวนการ	KPIVs	ลักษณะข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดของ KPIVs	ผลกระทบที่มีต่อ KPOVs	S	สาเหตุที่ทำให้ KPIV ผิดพลาด	O	ระบบการควบคุมในปัจจุบัน	D	RPN
1	Connecting	Pass line	คราบกาวติดตาม Pass line	Short	5	มีการใช้กาวในกระบวนการ	5	ใช้กาวชนิดทนต่อความร้อนและสารเคมี	1	25
2	Connecting	Pass line	ฝุ่นละอองติดตาม Pass line	Short	5	สถานที่ตั้งของเครื่องอยู่ในบริเวณที่ไม่มีการควบคุมฝุ่น	5	ทำความสะอาด 1 ครั้งต่อกะ	3	75
3	Material Scrubbing	Loader และ Unloader	มีคราบกาวติด	Short	5	พนักงานไม่ทำความสะอาด	5	ทำความสะอาดทุก 1 ม้วน	1	25
4	Material Scrubbing	บ่อน้ำยา (MSC)	มีสิ่งปนเปื้อนสะสม	Short	7	ทำความสะอาดไม่สมบูรณ์	3	ทำความสะอาด 1 ครั้งต่อเดือน	3	63
5	Material Scrubbing	น้ำล้าง (MSC)	มีสิ่งสกปรกปนเปื้อนในน้ำ	Short	7	ประสิทธิภาพของไส้กรองไม่ดี	7	ใช้ไส้กรองความถี่ 100 ไมโครเมตรเปลี่ยนเมื่อตัน	7	343
6	Material Scrubbing	Squeeze Roll (MSC)	ไม่ซับน้ำ	Short	7	พนักงานไม่ล้างตามความถี่ที่กำหนด	5	ล้างทุก 2 ชั่วโมง	3	105

ตารางที่ 3.4

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อ T-53SB (ต่อ)

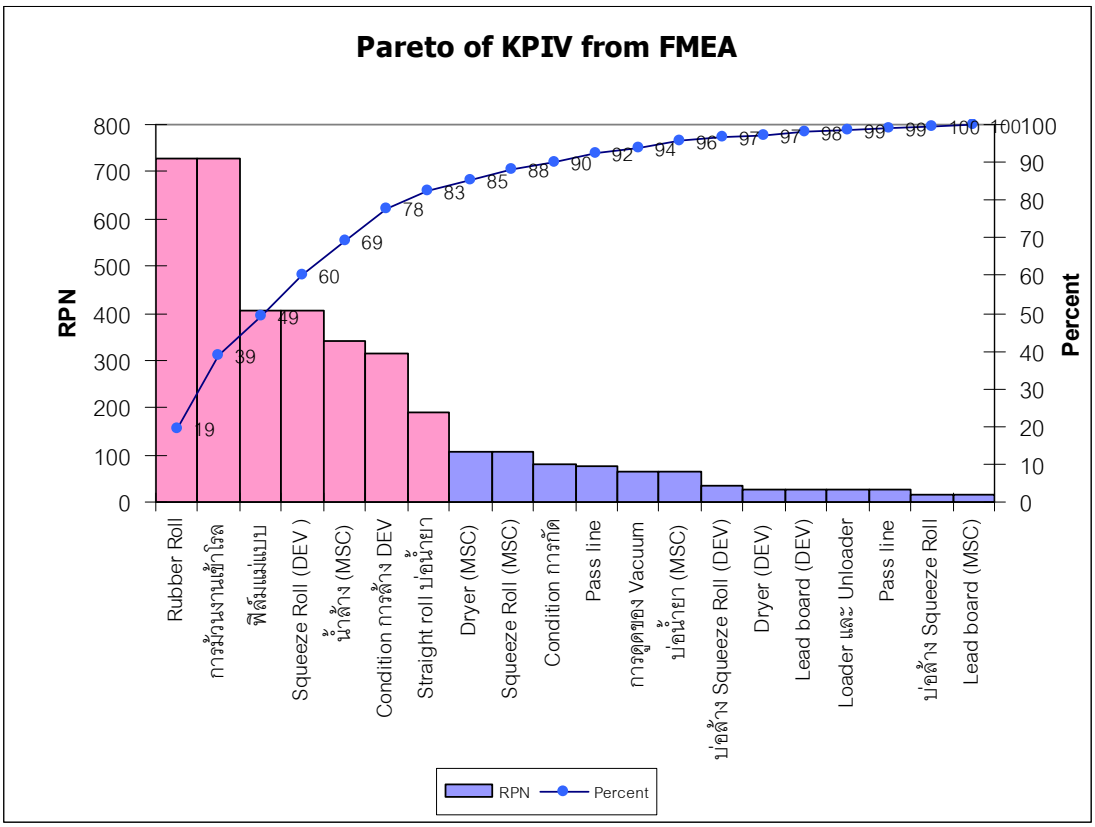
ลำดับ	ขั้นตอนของกระบวนการ	KPIVs	ลักษณะข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดของ KPIVs	ผลกระทบที่มีต่อ KPOVs	S	สาเหตุที่ทำให้ KPIV ผิดพลาด	O	ระบบการควบคุมในปัจจุบัน	D	RPN
7	Material Scrubbing	Lead board (MSC)	มีคราบกาวติด	Short	5	พนักงานไม่ทำความสะอาด	3	ทำความสะอาดก่อนใช้งานทุกครั้ง	1	15
8	Material Scrubbing	บ่อล้าง Squeeze Roll	มีตะไคร่น้ำเกาะ	Short	5	พนักงานไม่ทำความสะอาด	3	ทำความสะอาดหลังจากใช้งานทุกครั้ง	1	15
9	Material Scrubbing	Dryer (MSC)	มีสิ่งปนเปื้อนสะสม	Short	7	ความถี่การทำความสะอาดไม่เหมาะสม	5	ทำความสะอาด 1 ครั้งต่อสัปดาห์	3	105
10	Material Scrubbing	การม้วนงานเข้าโรลที่ท้ายเครื่อง	แผ่นทองแดงมีคราบสนิม	Short	9	ไม่มีแผ่นฟิล์มคั่นระหว่างม้วนเข้าแกน	9	ยังไม่มีการควบคุม	9	729
11	Material Scrubbing	Rubber Roll	มีคราบกาวหลุดลอก	Short	9	การเสื่อมสภาพจากการใช้งาน	9	เปลี่ยนเมื่อชำรุด	9	729
12	Exposure	การดูดของ Vacuum	สาย Vacuum หลวมในขณะถ่ายแบบเส้นลายวงจร	Short	9	วิธีการตรวจสอบทำได้ยาก	1	ตรวจสอบ 1 ครั้งต่อกะ	7	63
13	Exposure	ฟิล์มแม่แบบ	มีเศษดรายฟิล์มติดบนทองแดง	Short	9	การออกแบบไม่เหมาะสม	9	ตรวจสอบโดยแผนกออกแบบ	5	405

ตารางที่ 3.4

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบต่อ T-53SB (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอนของกระบวนการ	KPIVs	ลักษณะข้อบกพร่องหรือความผิดพลาดของ KPIVs	ผลกระทบที่มีต่อ KPOVs	S	สาเหตุที่ทำให้ KPIV ผิดพลาด	O	ระบบการควบคุมในปัจจุบัน	D	RPN
14	Development	Straight roll บ่อน้ำยา	มีตะกอนน้ำยาติด Roll	Short	9	ทำความสะอาดไม่สมบูรณ์	7	ทำความสะอาด 1 ครั้งต่อวัน	3	189
15	Development	Squeeze Roll (DEV)	ไม่ซับน้ำ	Short	9	การกำหนดอายุการใช้งานไม่เหมาะสม	9	เปลี่ยน 1 ครั้งต่อ 2 เดือน	5	405
16	Development	Dryer (DEV)	มีสิ่งปนเปื้อนสะสม	Short	9	โครงสร้างของเครื่อง	3	ทำความสะอาด 1 ครั้งต่อสัปดาห์	1	27
17	Development	Lead board (DEV)	มีคราบกาวติด	Short	5	พนักงานไม่ทำความสะอาด	5	ทำความสะอาดก่อนใช้งานทุกครั้ง	1	25
18	Development	บ่อล้าง Squeeze Roll (DEV)	มีตะไคร่น้ำเกาะ	Short	7	พนักงานไม่ทำความสะอาด	5	ทำความสะอาดหลังจากใช้งานทุกครั้ง	1	35
19	Development	Condition การล้าง	Condition ไม่เหมาะสม	Short	9	ความเร็วของสายพานเร็วเกินไป	7	ใช้ความเร็ว 4.40 เมตร/นาที	5	315
20	Etching	Condition การกัด	พนักงานเลือก Condition ไม่เหมาะสม	Short	9	Condition มีความซับซ้อนมาก	3	พนักงานตรวจสอบก่อนปล่อยงาน	3	81

5. สร้างแผนภูมิอาร์พีเอ็น (RPN Chart) จากผลประเมินความสำคัญของสาเหตุที่อาจมีผลกระทบต่อปัญหา เพื่อหาปัจจัยนำเข้า (KPIVs) ที่คาดว่าจะส่งผลกระทบกับปัญหา และนำไปวิเคราะห์ในขั้นต่อไป แสดงดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12
แผนภาพพาเรโตแสดงสาเหตุของผลิตภัณฑ์ที่เกิดข้อบกพร่อง
ประเภทบางส่วนของเส้นวงจรเชื่อมต่อกัน

3.5 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

ขั้นตอนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกับการเกิดข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์โดยนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวัด ในขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) และเลือกปัจจัยนำเข้า (KPIVs) ทีมีความถี่ของตัวเลขแสดงลำดับของความเสี่ยง (Risk Priority Number, RPN) สะสมรวมกันอยู่ในระดับ 83 เปอร์เซ็นต์

มาทำการทดสอบทางสถิติและวิเคราะห์ปัจจัยนั้นๆ เพื่อเป็นการยืนยันว่าสาเหตุที่สงสัยนั้นเป็นสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือความบกพร่องด้านคุณภาพหรือไม่ซึ่งปัจจัยนำเข้ามีทั้งหมด 20 ปัจจัย และปัจจัยที่มีแนวโน้มที่จะมีผลกระทบต่อการเกิดข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันมีทั้งหมด 7 ปัจจัย ได้แก่

1. รับเบอร์โรลเครื่อง Material Scrubbing มีค่า RPN เท่ากับ 729
2. การม้วนงานเข้าโรลที่ท้ายเครื่อง Material Scrubbing มีค่า RPN เท่ากับ 729
3. สควิซโรล (Squeeze Roll) เครื่อง Development มีค่า RPN เท่ากับ 405
4. ฟิล์มแม่แบบ กระบวนการถ่ายแบบเส้นลายวงจร มีค่า RPN เท่ากับ 405
5. น้ำล้างของเครื่อง Material Scrubbing มีค่า RPN เท่ากับ 343
6. สภาวะการล้างดรายฟิล์มส่วนที่ไม่โดนแสง มีค่า RPN เท่ากับ 315
7. สเตรทโรลบ่อน้ำยาของเครื่อง Development มีค่า RPN เท่ากับ 189

แนวทางการวิเคราะห์จะเริ่มทำการวิเคราะห์ทีละปัจจัย (One Factor At A Time) และดำเนินการทดลองเพื่อหาข้อมูลสนับสนุนสมมติฐานที่ตั้งไว้เพื่อเป็นการยืนยันว่าสาเหตุที่สงสัยนั้น คือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือความบกพร่องด้านคุณภาพ โดยใช้วิธีการทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 **การวิเคราะห์ผลกระทบของรับเบอร์โรลของเครื่อง** Material Scrubbing

รับเบอร์โรลเป็นส่วนประกอบของเครื่อง Material Scrubbing ทำหน้าที่ลำเลียงทองแดงที่อยู่ในม้วนให้เคลื่อนที่ผ่านเข้าและออกเครื่องในระหว่างกระบวนการความสะอาดผิวหน้าทองแดงก่อนเข้าสู่กระบวนการติดดรายฟิล์มและถ่ายแบบเส้นลายวงจร เนื่องจากรับเบอร์โรลในส่วนดรายเยอร์ (Dryer Unit) มีการใช้งานภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้มีการเยิ้มของยางที่ใช้เคลือบผิวของโรลและเมื่อยางดังกล่าวติดบนแผ่นทองแดงจะทำให้ทองแดงบริเวณดังกล่าวไม่สามารถถูกกัดออกได้และเกิดเป็นข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน จึงทำการทดลองโดยการกรีดยางของโรลออกแสดงดังภาพที่ 3.13 เพื่อไม่ให้ทองแดงสัมผัสกับยางของโรลในขณะผ่านเข้ามาในส่วนของดรายเยอร์ในขั้นตอนการอบแห้ง และเปรียบเทียบผลก่อนและหลังกรีดยางของรับเบอร์โรลออกโดยตั้งสมมติฐานของการทดสอบเป็นดังนี้

H_0 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างก่อนและหลังกรีดยางของรับเบอร์โรลออกไม่มีความแตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างก่อนและหลังกรีดยางของรับเบอร์โรลออกมีความแตกต่างกัน

ภาพที่ 3.13

รับเบอร์โรลก่อน (ซ้าย) และหลัง (ขวา) การกรีดยางออก

ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.5 และผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 3.14

ตารางที่ 3.5

ผลการเปรียบเทียบผลกระทบของผลกระทบของรับเบอร์โรล

Rubber Roll	Defect Short (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Have Rubber	0.28	0.69	0.49	0.63	0.21	0.28	0.14	0.11	0.10	0.21
Without Rubber	0.14	0.14	0.07	0.07	0.14	0.28	0.07	0.07	0.00	0.07

จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.009 ซึ่งต่ำกว่าระดับนัยสำคัญจึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างก่อนและหลังกรีดยางของรับเบอร์โรลในส่วนของดรายเยอร์ออกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

```
One-way ANOVA: Short versus Rubber Roll

Source       DF      SS      MS     F      P
Rubber Roll   1  0.2184  0.2184  8.45  0.009
Error        18  0.4653  0.0258
Total        19  0.6837

S = 0.1608   R-Sq = 31.94%   R-Sq(adj) = 28.16%


                                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                                    Pooled StDev
Level            N    Mean   StDev   +---------+---------+---------+-----
----
Have Rubber     10  0.3140  0.2144                    (--------*--------)
Without Rubber  10  0.1050  0.0756   (--------*--------)
                                     +---------+---------+---------+-----
----
                                    0.00      0.12      0.24      0.36

Pooled StDev = 0.160
```

ภาพที่ 3.14

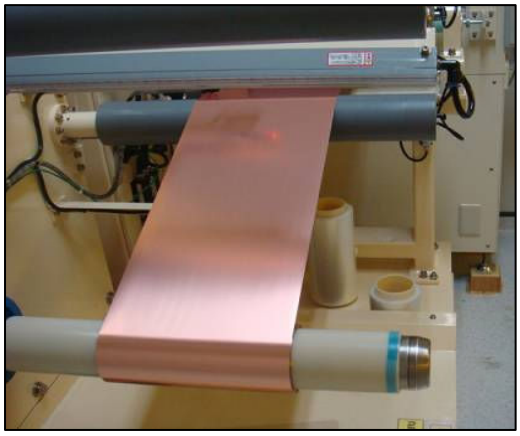
ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของผลกระทบของรับเบอร์โรล

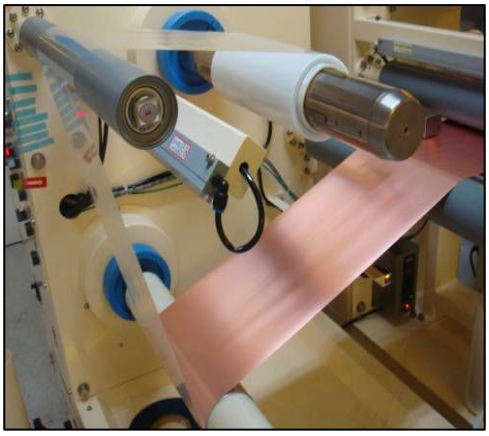
3.5.2 การวิเคราะห์ผลกระทบการม้วนงานโรลที่ท้ายเครื่อง Material Scrubbing

หลังจากทองแดงผ่านกระบวนการทำความสะอาดผิวหน้าทองแดงแล้วทองแดงจะผ่านกระบวนการอบด้วยลมร้อนที่บริเวณดรายเยอร์และถูกม้วนเก็บเข้าโรลที่บริเวณท้ายเครื่องซึ่งเมื่อผ่านไปในระยะหนึ่งทองแดงจะมีคราบสนิมเกาะเนื่องเกิดจากมีการควบแน่นของความชื้นในอากาศที่เกิดจากลมร้อนและความเย็นประทะกันและถูกม้วนเข้าโรลอย่างรวดเร็วซึ่งทำให้เกิดคราบสนิมบนแผ่นโดยคราบสนิมดังกล่าวไม่สามารถถูกกัดออกได้จึงเกิดเป็นข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน จึงทำการทดสอบโดยการใช้แผ่นฟิล์มโพลิเอททิลีน (Polyethylene, PE) ซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือใช้ที่ถูกลอกออกจากดรายฟิล์มมาใช้คั่นทองแดงในระหว่างการม้วนงานเข้าโรลที่ท้ายเครื่อง Material Scrubbing ตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3.15 ทำการเปรียบเทียบผลสัดส่วนข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์โดยตั้งสมมติฐานของการทดสอบเป็นดังนี้

H_0 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างการใช้แผ่นฟิล์มคั่นไม่มีความแตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างการใช้แผ่นฟิล์มคั่นมีความแตกต่างกัน





ภาพที่ 3.15

การม้วนงานเข้าโรลโดยไม่ใช้ (ซ้าย) และใช้ (ขวา) ฟิล์มชนิดโพลิเอททิลีนคั่นทองแดง

ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.6 และผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 3.16

ตารางที่ 3.6

ผลการเปรียบเทียบผลกระทบผลกระทบการม้วนงานโรลที่ท้ายเครื่อง Material Scrubbing

Protection Film	Defect Short (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Not Separate	0.28	0.69	0.49	0.63	0.21	0.28	0.49	0.63	0.35	0.21
Separate	0.14	0.14	0.07	0.07	0.14	0.28	0.07	0.07	0.00	0.07

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งต่ำกว่าระดับนัยสำคัญจึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างการใช้แผ่นฟิล์มคั่นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

```
One-way ANOVA: Short versus Protection Film

Source           DF      SS      MS      F      P
Protection Film   1  0.5152  0.5152  26.18  0.000
Error            18  0.3543  0.0197
Total            19  0.8695

S = 0.1403   R-Sq = 59.25%   R-Sq(adj) = 56.99%


                                  Individual 95% CIs For Mean Based on
                                  Pooled StDev
Level          N    Mean   StDev  ---------+---------+---------+---------+
Not Separate  10  0.4260  0.1834                      (-----*------)
Separate      10  0.1050  0.0756  (-----*-----)
                                  ---------+---------+---------+---------+
                                         0.15      0.30      0.45      0.60

Pooled StDev = 0.1403
```

ภาพที่ 3.16

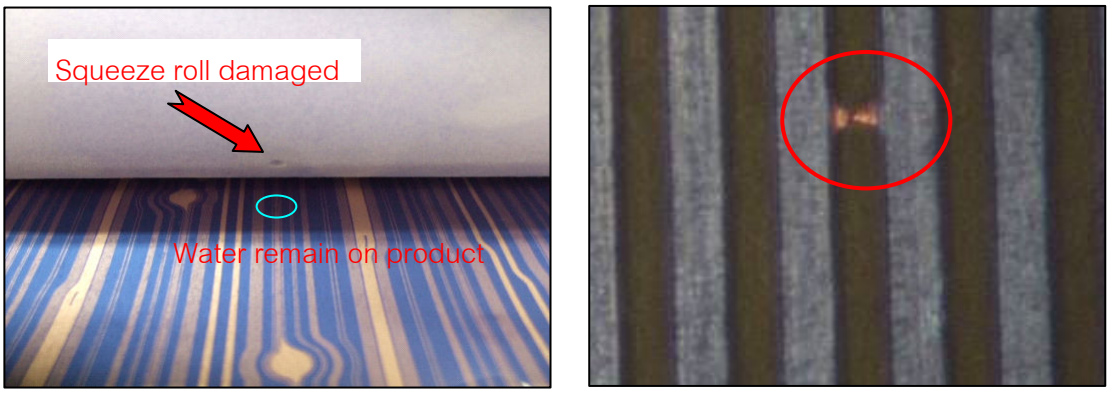
ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของงานการม้วนงานโรลที่ท้ายเครื่อง Material Scrubbing

3.5.3 **การวิเคราะห์ผลกระทบของสควิซโรลเครื่อง** Development

สควิซโรลทำหน้าที่ซับน้ำออกจากแผ่นทองแดงก่อนจะผ่านเข้าไปในส่วนของการอบด้วยลมร้อนที่บริเวณดรายเยอร์ โดยหากสควิซโรลไม่สามารถซับน้ำออกได้หมดจะทำให้มีคราบน้ำติดบนแผ่นทองแดงซึ่งคราบน้ำดังกล่าวจะทำให้ทองแดงบริเวณนั้นไม่สามารถถูกน้ำยากัดออกได้และเกิดเป็นข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกัน แสดงดังภาพที่ 3.17 ประสิทธิภาพของการซับน้ำของสควิซโรลจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีการชำรุดตามอายุการใช้งานดังนั้นจึงทำการทดสอบโดยเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการเปลี่ยนสควิซโรล โดยตั้งสมมติฐานของการทดสอบดังนี้

H_0 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างก่อนและหลังการเปลี่ยนสควิซโรลใหม่ไม่มีความแตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างก่อนและหลังการเปลี่ยนสควิซโรลใหม่มีความแตกต่างกัน



ภาพที่ 3.17

คราบน้ำที่เกิดจากการซับน้ำออกไม่หมด (ซ้าย) ทำให้เกิดข้อบกพร่อง (ขวา)

ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.7 และผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 3.18

ตารางที่ 3.7

ผลการเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างก่อนและหลังการเปลี่ยนสควิซโรล

Squeeze Roll DEV	Defect Short (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Before Change	0.49	0.69	0.83	0.84	0.28	0.83	0.69	0.14	0.49	0.21
After Change	0.14	0.07	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.08	0.07	0.00

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งต่ำกว่าระดับนัยสำคัญจึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างก่อนและหลังการเปลี่ยนสควิซโรลมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

```
One-way ANOVA: Short versus Squeeze Roll

Source        DF      SS      MS      F      P
Squeeze Roll   1  1.2450  1.2450  33.73  0.000
Error         18  0.6645  0.0369
Total         19  1.9095

S = 0.1921   R-Sq = 65.20%   R-Sq(adj) = 63.27%


                            Individual 95% CIs For Mean Based on
                            Pooled StDev
Level    N    Mean   StDev  ----+---------+---------+---------+-----
After   10  0.0500  0.0478  (------*-----)
Before  10  0.5490  0.2675                          (-----*------)
                            ----+---------+---------+---------+-----
                              0.00      0.20      0.40      0.60

Pooled StDev = 0.1921
```

ภาพที่ 3.18

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบของสควิซโรล

3.5.4 **การวิเคราะห์ผลกระทบของฟิล์มแม่แบบ** (Master Film)

กระบวนการถ่ายแบบเส้นลายวงจรทำหน้าที่ถ่ายภาพเส้นลายวงจรโดยใช้แสงยูวีฉายผ่านฟิล์มแม่แบบเพื่อให้เกิดเป็นเส้นลายวงจรตามแบบที่ลูกค้ากำหนด ซึ่งรายละเอียดที่มีอยู่ในฟิล์มแม่แบบนั้นนอกจากจะมีลักษะแบบของเส้นลายวงจรของลูกค้าแล้วยังมีส่วนประกอบย่อยอื่นได้แก่ ตัวอักษรและสัญลักษณ์ต่างๆ โดยบางตำแหน่งถูกออกแบบให้มีลักษณะซับซ้อนและมีขนาดเล็กเกินไปทำให้เป็นจุดที่สิ่งแปลกปลอมต่างๆ สามารถเข้าไปติดอยู่ตามบริเวณพื้นที่เล็กๆ เหล่านั้นและเมื่อสิ่งแปลกปลอมดังกล่าวหลุดไปปิดทับพื้นที่ทองแดงเปิดจะมีผลกระทบทำให้ทองแดงบริเวณนั้นไม่สามารถถูกกัดออกได้ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบโดยทำการออกแบบฟิล์มแม่แบบใหม่โดยทำการตัดสัญลักษณ์ต่างๆ ที่ไม่จำเป็นออกและเปลี่ยนรูปร่างมุมโค้งต่างๆ จากลักษณะเส้นหยักหรือเส้นโค้งเป็นแบบเส้นตรงลักษณะแสดงดังภาพที่ 3.19 แล้วเปรียบเทียบผลระหว่างการใช้ฟิล์มแม่แบบๆ เก่าและแบบใหม่ โดยตั้งสมมติฐานของการทดสอบดังนี้

H_0 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างการใช้ฟิล์มแม่แบบๆ เก่าและแบบใหม่ไม่มีความแตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างการใช้ฟิล์มแม่แบบๆ เก่าและแบบใหม่มีความแตกต่างกัน

ภาพที่ 3.19

เปรียบเทียบภาพของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ฟิล์มแม่แบบๆ เก่า(ซ้าย) และแบบใหม่ (ขวา)

ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.8 และผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 3.20

ตารางที่ 3.8

ผลการเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างการใช้ฟิล์มแม่แบบๆ เก่าและแบบใหม่

Master Film	Defect Short (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Old Film	0.42	0.56	0.14	0.07	0.30	0.49	0.14	0.07	0.35	0.14
New film	0.07	0.07	0.07	0.00	0.07	0.00	0.00	0.21	0.07	0.07

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.003 ซึ่งต่ำกว่าระดับนัยสำคัญจึงปฏิเสธ สมมติฐานหลัก ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างการใช้ฟิล์มแม่แบบๆ เก่าและแบบใหม่มีความแตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญ

```
One-way ANOVA: Short versus Master Film

Source  DF      SS      MS      F      P
Film     1  0.2101  0.2101  11.57  0.003
Error   18  0.3268  0.0182
Total   19  0.5369

S = 0.1347   R-Sq = 39.14%   R-Sq(adj) = 35.76%


Individual 95% CIs For Mean Based on
Pooled StDev
Level      N    Mean   StDev  ---+---------+---------+---------+------
new film  10  0.0630  0.0613  (--------*--------)
old Film  10  0.2680  0.1804                       (--------*--------)
---+---------+---------+---------+------
0.00      0.10      0.20      0.30

Pooled StDev = 0.1347
```

ภาพที่ 3.20

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างการใช้ใช้ฟิล์มแม่แบบๆ เก่าและแบบใหม่

3.5.5 **การวิเคราะห์ผลกระทบของน้ำล้างของเครื่อง** Material Scrubbing

เครื่อง Material Scrubbing ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ บ่อน้ำยา บ่อน้ำ และ ดรายเยอร์ โดยบ่อน้ำของเครื่อง Material Scrubbing จะมีน้ำเพื่อทำหน้าที่ล้างคราบน้ำยาออกจากแผ่นทองแดงหลังจากผ่านบ่อน้ำยา โดยหากน้ำล้างไม่สะอาดจะทำให้มีสิ่งสกปรกติดบนแผ่นทองแดง ซึ่งทองแดงบริเวณดังกล่าวไม่สามารถถูกกัดออกได้และเกิดเป็นข้อบกพร่องประเภทบาง ส่วนของเส้น ลายวงจรเชื่อมต่อกัน ก่อนที่น้ำจะถูกนำไปชำระล้างแผ่นทองแดงในระหว่างผ่านกระบวนการทำความสะอาดผิวหน้าทองแดงจะถูกกรองผ่านไส้กรองซึ่งมีความถี่ 100 ไมโครเมตร แต่เนื่องจากเส้นลายวงจรมีขนาดเล็กเพียง 50 ไมโครเมตรจึงอาจทำให้มีสิ่งแปลกปลอมหลุดลอดผ่านเข้ามาในน้ำและติดค้าอยู่บนแผ่นทองแดง ดังนั้นจึงทำการทดสอบโดยการเปลี่ยนไส้กรองน้ำจากความถี่ 100 ไมโครเมตร เป็น 10 ไมโครเมตร และเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการเปลี่ยนไส้กรองของน้ำ โดยตั้งสมมติฐานของการทดสอบเป็นดังนี้

H_0 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างการใช้ไส้กรองน้ำ 100 และ10 ไมโครเมตรไม่มีความแตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างการใช้ไส้กรองน้ำ 100 และ10 ไมโครเมตรมีความแตกต่างกัน

ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.9 และผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 3.21

ตารางที่ 3.9

ผลการเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างการใช้ไส้กรองน้ำขนาด 100 และ 10 ไมโครเมตร

Filter	Defect Short (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100 µm	0.28	0.69	0.49	0.63	0.21	0.28	0.14	0.11	0.10	0.21
10 µm	0.90	0.63	0.35	0.76	0.14	0.35	0.69	0.76	0.82	0.47

```
One-way ANOVA: Short versus Filter


Source  DF      SS      MS     F      P
Filter   1  0.1296  0.1296  2.73  0.116
Error   18  0.8533  0.0474
Total   19  0.9829

S = 0.2177   R-Sq = 13.19%   R-Sq(adj) = 8.36%


                             Individual 95% CIs For Mean Based on
                             Pooled StDev
Level    N    Mean   StDev  -------+---------+---------+---------+--
10 um   10  0.5870  0.2473               (-----------*-----------)
100 um  10  0.4260  0.1834  (-----------*------------)
                             -------+---------+---------+---------+--
                                  0.36      0.48      0.60      0.72

Pooled StDev = 0.2177
```

ภาพที่ 3.21

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบระหว่างการใช้ไส้กรองน้ำขนาด 100 และ 10 ไมโครเมตร

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.116 ซึ่งสูงกว่าระดับนัยสำคัญจึงยอมรับสมมติฐานหลัก ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างก่อนและหลังการเปลี่ยนสควิซโรลไม่มีความแตกต่างกัน

3.5.6 การวิเคราะห์สภาวะการล้างดรายฟิล์มส่วนที่ไม่โดนแสงเครื่อง Development

หลังจากกระบวนการถ่ายแบบเส้นลายวงจรแล้วทองแดงจะถูกส่งเข้าสู่กระบวน การล้างดรายฟิล์มส่วนที่ไม่โดนแสงด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตโดยใช้เครื่อง Development ซึ่งเครื่อง Development ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ บ่อน้ำยา บ่อน้ำล้าง และดรายเยอร์ซึ่งทำหน้าที่อบแห้ง ความเร็วของสายพานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้เท่ากับ 4.4 เมตรต่อนาทีซึ่งเป็นความเร็วที่ค่อนข้างสูงอาจมีผลทำให้ทองแดงไม่แห้งเมื่อผ่านกระบวนการอบด้วยลมร้อนที่บริเวณดรายเยอร์และเกิดเป็นคราบน้ำติดบนแผ่นทองแดง ซึ่งคราบน้ำดังกล่าวไม่สามารถถูกกัดออกได้ทำให้เกิดเป็นข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันดังนั้นจึงทำการทดสอบผลกระทบดังกล่าวโดยการเปรียบเทียบสัดส่วนข้อบกพร่องระหว่างการใช้ความเร็วสายพาน 4.4 และ 2.8 เมตรต่อนาที โดยตั้งสมมติฐานของการทดสอบเป็นดังนี้

H_0 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างการใช้ความเร็วของสายพาน 4.4 และ 2.8 เมตรต่อนาทีไม่มีความแตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างการใช้ความเร็วของสายพาน 4.4 และ 2.8 เมตรต่อนาทีมีความแตกต่างกัน

ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.10 และผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 3.22

ตารางที่ 3.10

ผลการเปรียบเทียบระหว่างการใช้ความเร็วของสายพาน 4.4 และ 2.8 เมตรต่อนาที

Speed	Defect Short (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.4 m/min	0.28	0.21	0.00	0.00	0.07	0.16	0.21	0.28	0.21	0.21
2.8 m/min	0.28	0.07	0.07	0.21	0.00	0.21	0.14	0.07	0.00	0.00

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.221 ซึ่งสูงกว่าระดับนัยสำคัญจึงยอมรับสมมติฐานหลัก ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วน

ของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างการใช้ความเร็วของสายพาน 4.4 และ 2.8 เมตรต่อนาทีไม่มีความแตกต่างกัน

```
One-way ANOVA: Short versus Speed DEV

Source     DF      SS      MS     F      P
Speed DEV   1  0.0168  0.0168  1.60  0.221
Error      18  0.1887  0.0105
Total      19  0.2055

S = 0.1024   R-Sq = 8.19%   R-Sq(adj) = 3.08%


                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level       N    Mean   StDev  ---+---------+---------+---------+------
2.8 m/min  10  0.1050  0.1004  (-------------*-------------)
4.4 m/min  10  0.1630  0.1044              (-------------*------------)
                                ---+---------+---------+---------+------
                                 0.050     0.100     0.150     0.200

Pooled StDev = 0.1024
```

ภาพที่ 3.22

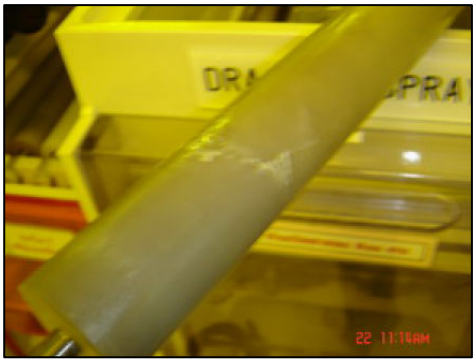
ผลการวิเคราะห์ผลกระทบระหว่างการใช้ความเร็วของสายพาน 4.4 และ 2.8 เมตร/นาที

3.5.7 **การวิเคราะห์ผลกระทบของบ่อน้ำยาของเครื่อง** Development

เครื่อง Development ทำหน้าที่ล้างดรายฟิล์มส่วนที่ไม่โดนแสงออกโดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตซึ่งมีคุณสมบัติเป็นด่าง เมื่อทำปฏิกิริยากับดรายฟิล์มแล้วส่วนหนึ่งจะเกิดเป็นตะกอนเหนียวติดบนสเตรทโรล (Straight Roll) แสดงดังภาพที่ 3.23 ซึ่งหากตะกอนดังกล่าวติดบนแผ่นทองแดงจะทำให้ทองแดงบริเวณดังกล่าวไม่สามารถถูกกัดออกได้และเกิดเป็นข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันจึงทำการทดสอบโดยเปรียบเทียบก่อนและหลังการการทำความสะอาดโรลในบ่อน้ำยา Development โดยตั้ง สมมติฐานของการทดสอบเป็นดังนี้

H_0 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างก่อนและหลังการการทำความสะอาดสเตรทโรลในบ่อน้ำยา Development ไม่มีความแตกต่างกัน

H_1 : สัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างก่อนและหลังการการทำความสะอาดสเตรทโรลในบ่อน้ำยา Development มีความแตกต่างกัน



ภาพที่ 3.23
ลักษณะของตะกอนเหนียวที่ติดบนสเตรทโรล

ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.11 และผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 3.24

ตารางที่ 3.11
ผลการเปรียบเทียบผลกระทบก่อนและหลังทำความสะอาดสเตรทโรล

Straight Roll	Defect Short (%)									
DEV	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Before Clean	0.07	0.00	0.07	0.14	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
After Clean	0.35	0.00	0.35	0.35	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

จากผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า P-Value เท่ากับ 0.182 ซึ่งสูงกว่าระดับนัยสำคัญจึงยอมรับสมมติฐานหลัก ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันระหว่างก่อนและหลังการการทำความสะอาดสเตรทโรลในบ่อน้ำยา Development ไม่มีความแตกต่างกัน

```
One-way ANOVA: Short versus Straight Roll

Source          DF      SS      MS     F      P
Straight roll    1  0.0296  0.0296  1.93  0.182
Error           18  0.2769  0.0154
Total           19  0.3065

S = 0.1240   R-Sq = 9.67%   R-Sq(adj) = 4.65%


                                    Individual 95% CIs For Mean Based on
                                    Pooled StDev
Level          N    Mean   StDev  ------+---------+---------+---------+---
After Clean   10  0.1190  0.1652            (-----------*-----------)
Before Clean  10  0.0420  0.0590  (-----------*-----------)
                                  ------+---------+---------+---------+---
                                      0.000     0.070     0.140     0.210

Pooled StDev = 0.1240
```

ภาพที่ 3.24

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบผลกระทบก่อนและหลังทำความสะอาดสเตรทโรล

จากการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าต่างๆ สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12

ผลการวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้า

ลำดับ	ปัจจัย	P-Value
1	รับเบอร์โรล	0.009
2	การม้วนงานเข้าโรล	0.000
3	สควิซโรล (Squeeze Roll)	0.000
4	ฟิล์มแม่แบบ	0.003
5	น้ำล้างของเครื่อง Material Scrubbing	0.116
6	สภาวะการล้างดรายฟิล์มส่วนที่ไม่โดนแสง	0.221
7	สเตรทโรลบ่อน้ำยา	0.182

3.6 การปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase)

หลังจากทราบปัจจัยนำเข้าทั้งหมดที่เป็นปัจจัยหลักในการก่อให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องของกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรแล้ว ในขั้นตอนนี้เป็นการหาวิธีควบคุมปัจจัยหลักนั้นๆ โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองมาใช้ในการปรับปรุง จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาพบว่าปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงเชื่อมต่อกันมีทั้งหมด 4 ปัจจัย ได้แก่ รับเบอร์โรล การม้วนงานเข้าโรลที่ท้ายเครื่อง Material Scrubbing ฟิล์มแม่แบบ และสควิซโรลเครื่อง Development ดังนั้นจึงทำการแก้ไขปรับปรุงปัญหาดังกล่าวซึ่งมีแนวทางดังนี้

3.6.1 กระบวนการทำความสะอาดผิวหน้าทองแดงและถ่ายแบบเส้นลายวงจรมีปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลักของปัญหา 3 ปัจจัยได้แก่ รับเบอร์โรล การม้วนงานเข้าโรลที่ท้ายเครื่อง Material Scrubbing และฟิล์มแม่แบบ ดังนั้นจึงทำการแก้ไขปรับปรุงปัจจัยทั้งสามนี้โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลองศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัยหลักทั้ง 3 ชนิดแต่ละปัจจัยศึกษา 2 ระดับ โดยวิธีการทดลองแบบสองกำลังสามแฟคทอเรียล (2^3 Factorial Design)

3.6.2 กระบวนการล้างดรายฟิล์มส่วนที่ไม่โดนแสงออก มี 1 ปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลักของปัญหา ได้แก่ อายุการใช้งานสควิซโรล ดังนั้นจึงหาวิธีการกำหนดอายุการใช้งานที่เหมาะสมของสควิซโรลโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองอย่างสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) โดยการติดตามผลของสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องประเภทบางส่วนของเส้นลายวงจรเชื่อมต่อกันทุก 15 วันหลังจากเปลี่ยนสควิซโรลและเปรียบเทียบสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องจนกระทั่งครบ 2 เดือนตามอายุการใช้งานเดิมที่กำหนดไว้ในปัจจัยบันเพื่อหาช่วงที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำการเปลี่ยนสควิซโรล