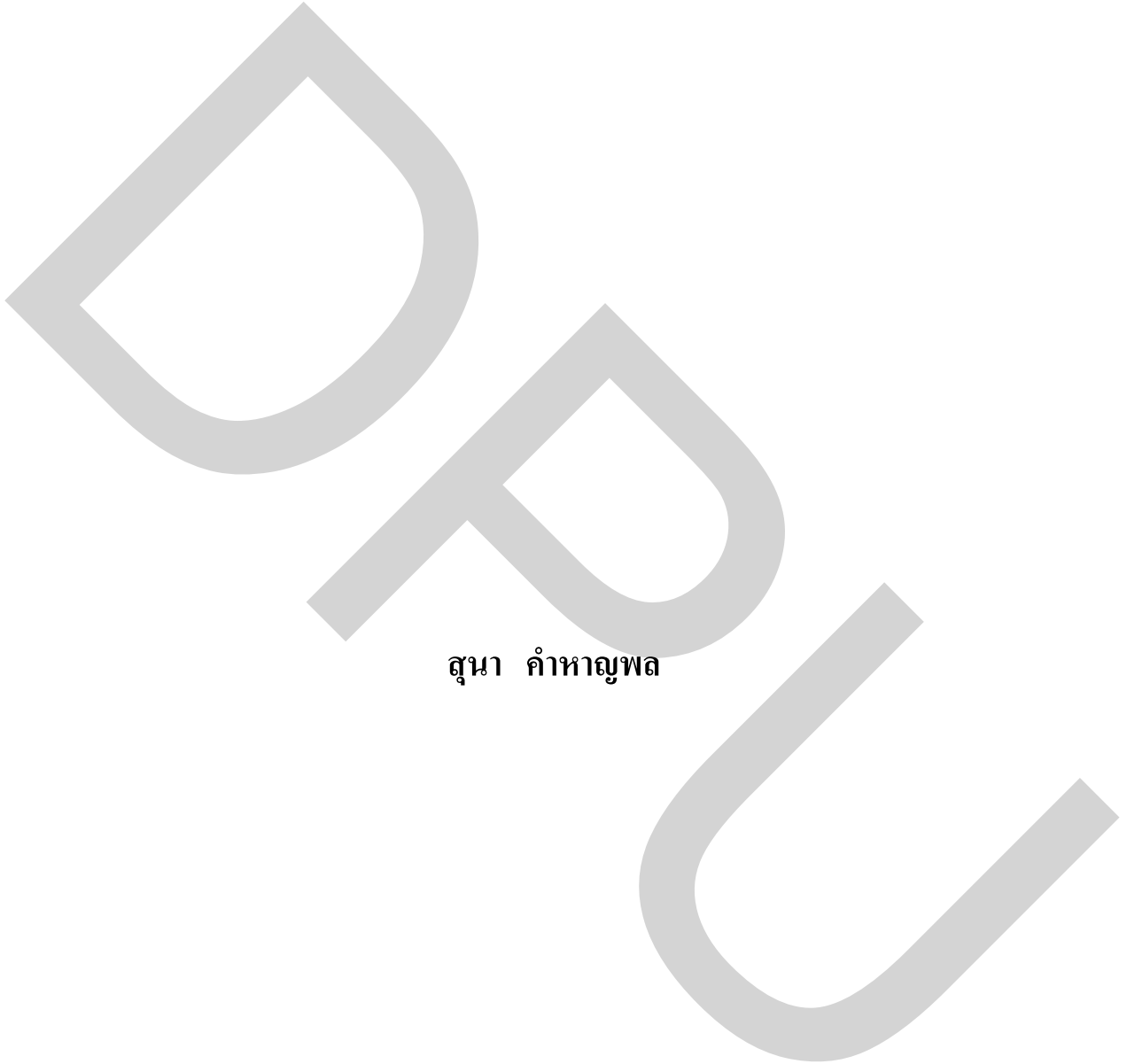


การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการเคลื่อนย้ายอะคริลิกป้องกันความชื้น  
สำหรับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวม



สุนา คำหาญพล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2555

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	๗
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	๘
กิตติกรรมประกาศ.....	๑
สารบัญตาราง.....	๗
สารบัญรูป.....	๘
<b>บทที่</b>	
1. บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....	5
1.7 ขั้นตอนและตารางการดำเนินงาน.....	7
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 บทนำ.....	8
2.2 หน้าที่และความสำคัญของการเคลือบสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.....	8
2.3 การวัดและควบคุมความหนืด.....	9
2.4 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด.....	13
2.5 การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวของ ชิก ชิกม่า.....	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
3. สํารวจและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	38
3.1 บทนำ.....	38
3.2 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน.....	38
3.3 การศึกษาภาพรวมขององค์กร.....	39
3.4 การศึกษากระบวนการผลิต.....	39

**YIELD IMPROVEMENT OF THE ACRYLIC CONFORMAL COATING  
PROCESS FOR PRINTED CIRCUIT BOARD ASSEMBLY**



**SUNA KHUMHANPHOL**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Engineering Management  
Faculty of Engineering, Dhurakij Pundit University**

**2012**

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความรู้และความกรุณาและเอาใจใส่อย่างยิ่งจากท่าน อาจารย์ ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการให้ความรู้ ข้อเสนอแนะตลอดจนตรวจสอบรายละเอียดต่างๆ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่ด้วยความดี มาตลอด ซึ่งผู้วิจัยยังได้รับคำแนะนำและการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จากท่านอาจารย์ ดร. ประศาสน์ จันทราทิพย์ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภรัชชัย วรรัตน์ กรรมการ และ ท่านอาจารย์ ดร.ธราธร กุลภัทรนิรันดร์ กรรมการ ที่ได้ให้คำแนะนำสำหรับการแก้ไขต่างๆ เพื่อให้ งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ผู้เขียนมีความรู้สึกซาบซึ้งและประทับใจในความกรุณาจากท่าน อาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณท่านผู้บริหารบริษัท Sanmina-SCI Systems (Thailand) จำกัด ที่มี นโยบายส่งเสริมและสนับสนุนให้ทุนการศึกษา ขอขอบคุณพนักงานที่สนับสนุนข้อมูลและให้ความร่วมมือในการปฏิบัติงานจนงานวิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ นายพิม คำหาญพล ผู้เป็นบิดา นางทองสา คำหาญพล ผู้เป็นมารดา และขอขอบคุณ นางบุญตา คำหาญพล ผู้เป็นภรรยา ที่เป็นกำลังใจสำคัญที่ทำให้ผู้วิจัยมีความตั้งใจและความพยายามจนกลายเป็นความสำเร็จ ขอขอบคุณญาติพี่น้องทุกคนที่เป็นกำลังใจให้ มาโดยตลอด รวมทั้งทุกท่านที่ผู้วิจัยไม่สามารถเอ่ยนามได้ครบ คุณงามความดีที่เป็นประโยชน์อัน เกิดจากผลการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยขออุทิศให้แก่คุณบิดามารดาและท่านอาจารย์ทุกท่านที่ประสาท วิชาความรู้อันเป็นสิ่งที่มั่งคั่งแก่ผู้วิจัย ส่วนความผิดพลาดและข้อบกพร่องใดๆ ที่อาจจะมีใน งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

สุณา คำหาญพล

## สารบัญ (ต่อ)

3.5 สภาพปัญหาในปัจจุบัน.....	49
3.6 กำหนดเป้าหมาย .....	52
3.7 สรุป.....	53
4. ผลการดำเนินการศึกษาวิจัย .....	54
4.1 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) .....	54
4.2 วิเคราะห์สาเหตุและปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหา (Analysis Phase) .....	68
4.3 ปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase).....	79
4.4 การควบคุมกระบวนการและตัวแปรต่างๆ (Control Phase).....	110
4.5 สรุปผลการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการเคลื่อน.....	118
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	120
5.1 บทนำ.....	120
5.2 บทสรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase).....	120
5.3 บทสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase).....	121
5.4 บทสรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase).....	122
5.5 บทสรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase).....	122
5.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย .....	122
5.7 ข้อเสนอแนะ .....	123
บรรณานุกรม .....	124
ภาคผนวก .....	127
ประวัติผู้เขียน .....	137

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงแผนการขึ้นตอนดำเนินงาน .....	7
2.1 แสดงมาตรฐานของถ้วยวัดความหนืดของพอร์ด.....	11
4.1 แสดงเกณฑ์การยอมรับในระบบการวัด .....	58
4.2 แสดงผลการประเมินกระบวนการตรวจสอบด้วยตาเปล่าและผ่านกล้องขยาย 3 เท่า.....	59
4.3 แสดงผลการประเมินกระบวนการตรวจสอบด้วยตาเปล่าได้แสงอัลตราไวโอเล็ต แบคไลต์.....	61
4.4 แสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) ของกระบวนการเคลือบผงวงจร อิเล็กทรอนิกส์ด้วยน้ำยาอะคริลิกเพื่อป้องกันความชื้นและกระบวนการที่เกี่ยวข้อง .....	66
4.5 แสดงเหตุและผลกระทบของกระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแล้วพักบอร์ด .....	72
4.6 แสดง FMEA กระบวนการเคลือบด้วยการใช้เครื่องจักรเคลือบ .....	74
4.7 แสดงการทดลองผลกระทบของแรงดันลมที่จ่ายเข้าถังน้ำยาเคลือบต่อปริมาณ น้ำยาเคลือบ.....	81
4.8 แสดงผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมแรงดันลมแบบอัตโนมัติ.....	84
4.9 แสดงผลการชั่งน้ำหนักน้ำยาเคลือบและวัดความหนาจากการปรับวาล์วของช่าง เทคนิคทั้ง 3 กะ .....	87
4.10 ผลการวัดค่าความหนืด (Viscosity) ที่อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดในโรงงานกรณี ศึกษา .....	96
4.11 แสดงผลการทดลองพ่นด้วยมือเพื่อหาค่าความหนืดที่ไม่เกิดเส้นใยขณะพ่น เคลือบ.....	98
4.12 แสดงระดับตัวแปรนำเข้าที่จะใช้ในการทดลอง.....	99
4.13 แสดงตัวแปรนำเข้าของแบบการทดลองและผลการทดลอง.....	101
4.14 แสดงการเปรียบเทียบระดับตัวแปรนำเข้าก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง .....	107

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงประสิทธิภาพโดยรวมของการเคลือบน้ำยาอะคริลิกของผลิตภัณฑ์ทุกรุ่น ....	2
1.2 แสดงประสิทธิภาพการเคลือบน้ำยาเคมีอะคริลิกของผลิตภัณฑ์ รุ่น XXE17XXXACC .....	3
2.1 แสดงการเกิด Velocity gradient เมื่อมีแรงมาทำในแนวนานกับพื้นผิวของ ของไหล .....	10
2.2 แสดงด้วยวัดค่าความหนืด (Viscosity Cup).....	13
2.3 แสดงลักษณะแผนภูมิพาร โด .....	14
2.4 แสดงลักษณะแผนภูมิกำลังปลา .....	16
2.5 แสดงเส้นโค้งตามปกติ (Normal Curve).....	18
2.6 แสดงการกระจายตัวที่มีผลจากปัจจัยรบกวน .....	19
2.7 แสดงตัวอย่าง SIPOC Diagram ของกระบวนการผลิต .....	20
2.8 แสดงตัวอย่างตารางเหตุและผลกระทบ Cause and Effect Matrix.....	24
2.9 แสดงรูปแผนภูมิควบคุม Control Chart.....	32
3.1 แสดงภาพรวมว่าปัญหาอยู่ในส่วนของกระบวนการผลิต .....	39
3.2 แสดงแผนภูมิแสดงกระบวนการผลิตประกอบแผงวงจร โดยรวมสำหรับผลิต ผลิตภัณฑ์รุ่น “XXE17XXXACC” .....	40
3.3 แสดงแผนภูมิแสดงกระบวนการผลิตประกอบแผงวงจรในขั้นตอนการเคลือบ อะคริลิกและขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกันของผลิตภัณฑ์รุ่น “XXE17XXXACC” .....	43
3.4 แสดงเครื่องล้างด้วยน้ำยาเคมีชื่อ Vigon A200และเป่าให้แห้งด้วย Ionizer air gun.	44
3.5 แสดงการหยอดกาว Ruggedize .....	45
3.6 แสดงลักษณะเครื่องเคลือบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Auto Coating Machine) .....	46
3.7 แสดงลักษณะการเคลือบด้วยเครื่องเคลือบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Auto Coating Machine).....	46
3.8 แสดงการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในตู้ปิดป้องกันฝุ่น .....	47
3.9 แสดงการอบผลิตภัณฑ์ในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่เวลา 2 ชั่วโมง .....	47
3.10 แสดงการกดอุปกรณ์เชื่อมต่อประเภทอัดแน่น (Press fit connector).....	48
3.11 แสดงการทดสอบการทำงานของผลิตภัณฑ์ (Functional Circuit Test).....	48

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 แสดงสุ่มตรวจเช็คก่อนขึ้นตอนสุ่มตรวจขั้นสุดท้าย (Pre-Final quality Audit) ....	49
3.13 แสดงตัวอย่างบอร์ดก่อนเคลือบและหลังเคลือบน้ำยาเคมีอะคริลิก .....	49
3.14 แสดงตัวอย่างข้อบกพร่อง (Defect) ที่เกิดในขั้นตอนการเคลือบน้ำยาเคมีอะคริลิก	50
3.15 แผนภาพแสดงประสิทธิภาพโดยรวมในกระบวนการเคลือบน้ำยาอะคริลิก.....	51
3.16 แสดงสัดส่วนปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่น .....	51
3.17 แสดงสัดส่วนของข้อบกพร่องที่เกิดในกระบวนการผลิตรุ่น XXE17XXXACC..	52
3.18 แสดงเปอร์เซ็นต์เป้าหมายที่ทางทีมกำหนด .....	53
4.1 แสดงการเคลือบที่ยอมรับได้ (Coating acceptable).....	55
4.2 แสดงข้อบกพร่อง (Defect) การเคลือบที่ยอมรับไม่ได้ .....	56
4.3 แสดงแผนภูมิแก๊งปลา (Fishbone Diagrams) แสดงถึงปัจจัยอินพุตของแต่ละ กระบวนการย่อย .....	63
4.4 แสดงแผนภูมิพาเรโตแสดงอาการข้อบกพร่องที่ถูกตรวจพบในกระบวนการ ตรวจสอบก่อนขึ้นตอนสุดท้าย .....	66
4.5 แสดงความสามารถของกระบวนการเคลือบปัจจุบัน (Process Capability).....	70
4.6 แสดงการไหลของขั้นตอนการเปลี่ยนรุ่นในกระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแล้ว พักบอร์ด .....	71
4.7 แสดงการไหลของกระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแล้วพักบอร์ด.....	71
4.8 แสดงแผนภูมิพาเรโตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ ด้วย FMEA ในขั้นตอนการใช้เครื่องจักรเคลือบ .....	77
4.9 แสดงถึงระบบการป้องกันหัวสเปรย์อุดตันของเครื่องพ่นเคลือบ .....	80
4.10 แสดงระบบการจ่ายแรงดันลมหลักและแรงดันลมของถังน้ำยาเคลือบ.....	80
4.11 แสดงแรงดันลมหลักต่ำลง ทำให้แรงดันลมที่จ่ายเข้าถังน้ำยาน้อยกว่า 10 psi (น้ำยาเคลือบออกน้อยเกิน).....	82
4.12 แสดงแรงดันลมหลักสูงขึ้น ทำให้แรงดันลมที่จ่ายเข้าถังน้ำยามากกว่า 10 psi (น้ำยาเคลือบออกมากเกินไป).....	82
4.13 แสดงอุปกรณ์ควบคุมแรงดันลมก่อนจ่ายเข้าถังน้ำยาเคลือบ เพื่อควบคุมแรงดัน ลมให้คงที่ .....	83



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 แสดงการทดสอบอุปกรณ์ควบคุมแรงดันลมแบบอัตโนมัติ (ควบคุมที่ 10 psi) ....	83
4.15 แสดงลักษณะของหัวสเปรย์และวาล์วปรับปริมาณน้ำยาเคลือบ .....	84
4.16 แสดงตัวอย่างข้อบกพร่อง (Defects) ที่เกิดขึ้นกับบอร์ดในโรงงานกรณีศึกษา .....	85
4.17 แสดงขั้นตอนการวัดปริมาณน้ำยาเคลือบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก .....	86
4.18 แสดงการสเปรย์ลงบนแผ่นอะลูมิเนียมและวัดความหนาของช่างเทคนิคทั้ง 3 กะ	86
4.19 แสดงผลการพล็อตข้อมูลการชั่งน้ำหนักน้ำยาเคลือบและวัดความหนาของช่างเทคนิค คนที่ 1 .....	88
4.20 แสดงผลการพล็อตข้อมูลการชั่งน้ำหนักน้ำยาเคลือบและวัดความหนาของช่างเทคนิค คนที่ 2 .....	89
4.21 แสดงผลการพล็อตข้อมูลการชั่งน้ำหนักน้ำยาเคลือบและวัดความหนาของช่างเทคนิค คนที่ 3 .....	90
4.22 แสดงวิธีการผสมน้ำยาเคลือบอะคริลิกโดยการทดสอบกลับไปมา 20 ครั้ง .....	92
4.23 แสดงเครื่องผสมกึ่งอัตโนมัติแบบมีฝาปิดเพื่อลดการระเหยของน้ำยาเคลือบ อะคริลิก .....	93
4.24 แสดงขั้นตอนวิธีการวัดค่าความหนืดของน้ำยาเคลือบอะคริลิกที่ผสมแล้ว .....	93
4.25 ขั้นตอนการทดลองพ่นเคลือบด้วยมือเพื่อหาความหนืดที่ไม่เกิดเส้นใย ขณะพ่นเคลือบ .....	98
4.26 แสดงแผ่นอะลูมิเนียมสำหรับใช้รันแทนบอร์ดเพื่อวัดความหนา .....	100
4.27 แสดงการวัดยืนยันความหนาและการนำพารามิเตอร์จากผลการทดลอง มารันบอร์ดจริง .....	104
4.28 แสดงผลการพ่นเคลือบด้วยพารามิเตอร์ใหม่ที่ได้จากผลการทดลอง .....	105
4.29 แสดงการเปรียบเทียบข้อบกพร่อง (Defects) ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง .....	106
4.30 แสดงตัวอย่างใบบันทึกการฝึกอบรมพนักงานระดับปฏิบัติการ .....	108
4.31 แสดงลักษณะโปรแกรมตั้งเวลาอบบอร์ดแบบอัตโนมัติ .....	110
4.32 แสดงการจับบอร์ดก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงทั้งก่อนเคลือบและหลังเคลือบ	111
4.33 แสดงการเก็บบอร์ดไว้ในตู้ปิดป้องกันฝุ่นสำหรับบอร์ดรอเคลือบ และการเคลื่อนย้าย .....	112

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.34 แสดงการติดฉลากบอกชนิดของน้ำยาเคลือบและอัตราส่วนผสม .....	112
4.35 แสดงขั้นตอนการวัดและยืนยันความหนาทุกครั้งก่อนรันบอร์ดจริง .....	113
4.36 แสดงบัตรพนักงานที่ผ่านการฝึกอบรมกระบวนการเคลือบแล้ว .....	114
4.37 แสดงตัวอย่างแบบฟอร์มสำหรับลงบันทึกค่าความหนาและพารามิเตอร์ .....	114
4.38 แสดงตัวอย่างการลงบันทึกค่าความหนาและพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องพ่น เคลือบ (Coating Machine) .....	115
4.39 แสดงความสามารถของกระบวนการเคลือบอะคริลิกหลังการปรับปรุง .....	116
4.40 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง .....	117
4.41 แสดงประสิทธิภาพของกระบวนการเคลือบอะคริลิกหลังปรับปรุง .....	118

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการเคลื่อนย้ายอะคริลิกป้องกัน ความชื้น สำหรับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวม
ชื่อผู้เขียน	สุนา คำหาญพล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ณัฐพัชร์ อารีรัชกุลกานต์
สาขาวิชา	การจัดการทางวิศวกรรม
ปีการศึกษา	2554

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหรือลดข้อบกพร่องของกระบวนการผลิตในปัจจุบันที่ 87.20% หรือ 135,000 DPMO (2.64 sigma) เป็น 90% หรือ 96,800 DPMO (2.78 sigma) โดยทำการเลือกผลิตภัณฑ์รุ่นที่มีมูลค่าสูงสุดแต่มีประสิทธิภาพต่ำสุดมาทำการวิจัยเพื่อขยายผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆต่อไป จากการสำรวจหาสาเหตุของข้อบกพร่องเบื้องต้นพบว่า สาเหตุหลักๆได้แก่ เคลื่อนย้ายไม่เต็มตามพื้นที่กำหนด เคลื่อนย้ายในพื้นที่ห้ามเคลื่อน น้ำยาเคมีไหลเข้าอุปกรณ์เชื่อมต่อ เคลือบหนาเกินไปหรือบางเกินไป และการเกิดฟองอากาศ โดยประยุกต์ใช้เทคนิค 5 ขั้นตอนของซิกซิกมา (Six sigma) ได้แก่ 1) Define ขั้นตอนในการกำหนดปัญหา 2) Measure ขั้นตอนการวัดระดับความรุนแรงของปัญหา 3) Analyze ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา 4) Improve ขั้นตอนการปรับปรุง และ 5) Control ขั้นตอนการควบคุมและติดตามผล โดยเครื่องมืออื่นๆที่ใช้ประกอบในการทำวิจัยได้แก่ แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต แผนภูมิแก๊งปลา แผนภูมิพาเรโต ตารางแสดงสาเหตุและผลกระทบ การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ(FMEA) การออกแบบการทดลอง (DOE) มาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาในแต่ละขั้นตอน นอกจากนี้ในการประเมินความแม่นยำของระบบตรวจวัดผู้วิจัยได้ใช้ Gauge R&R และประเมินความสามารถของกระบวนการด้วยการวัด  $C_{pk}$

หลังจากทำการปรับปรุงแล้วพบว่าประสิทธิภาพในกระบวนการเคลื่อนย้ายอะคริลิกสำหรับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพิ่มจาก 87.20% เป็น 97.74% หรือ 22,700 DPMO (3.5 Sigma) และสามารถประหยัดต้นทุนในการซ่อมผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องได้ถึง 321,152 บาท ในระยะเวลา 4 เดือน

Thesis Title	Yield Improvement of the Acrylic Conformal Coating Process for Printed Circuit Board Assembly
Author	Suna Khumhanphol
Thesis Advisor	Natapat Areerakulkan, Ph.D.
Department	Engineering Management
Academic	2011

### ABSTRACT

The objective of this research is to increase yield or reduce defective products presently from 87.20% or 135,000 DPMO (2.64 Sigma) to be 90% or 96,800 DPMO (2.78 Sigma). First by selecting the most valuable products to be subject of the study, the obtained results will be implemented for more product models. From the preliminary investigation of the cause of defective products, we found out that these are for example not fully coating on required area, coating on unwanted area, and chemical flowing into the connectors, coating too thick or too thin, and bubbles. By implementing 5 phases of Six Sigma, these are 1) Define: problem definition, 2) Measure: measuring key aspects of the current process and collect relevant data, 3) Analyze: analyzing the data to investigate and verify cause-and-effect relationships, 4) Improve: improving or optimizing the current process based upon data analysis using techniques, and 5) Control: controlling the future state process to ensure that any deviations from target are corrected before they result in defects. The other tools used in this research are Process Flow chart, Fishbone diagram, Pareto chart, Cause and Effect diagram, Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), and Design of Experiment (DOE) to aid in Analyze phase. Moreover, the evaluation of the accuracy of the measurement process and assessment of process capability was conducted by using Gauge R&R and measuring  $C_{pk}$  respectively.

After implementing DMAIC steps of Six Sigma, the yield of the Acrylic conformal coating process is increased from 87.2% to 97.74% or 22,700 DPMO (3.5 Sigma) and the repair cost for defective products can be saved at 321, 152 baht for four-months duration.

# บทที่ 1

## บทนำ

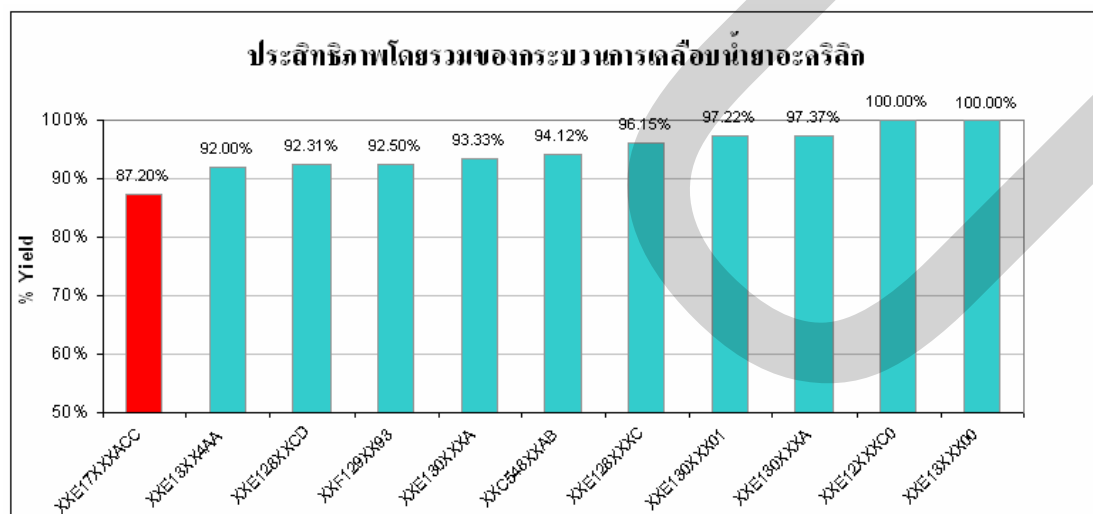
### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการผลิตประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพสูงๆ เช่นแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมเครื่องบิน เป็นต้น ซึ่งมีการแข่งขันกันสูงเนื่องจากลูกค้าต้องการผลิตภัณฑ์ที่ราคาถูกลงและยังคงคุณภาพเท่าเดิมหรือดีกว่า ในอดีตผู้ผลิตประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เหล่านี้ส่วนใหญ่จะเป็นผู้ผลิตทางประเทศอเมริกาและทางยุโรป แต่ปัจจุบันผู้ผลิตจำนวนมากได้ย้ายฐานการผลิตจากทางอเมริกาและยุโรปมายังเอเชีย เพราะต้องการลดต้นทุนการผลิตเนื่องจากค่าแรงงานถูกกว่าทางอเมริกาและยุโรป อีกทั้งปัจจุบันนี้ประเทศทางแถบเอเชียหลายประเทศได้มีการพัฒนาและปรับปรุงด้านคุณภาพได้ทัดเทียมกับทางอเมริกาและยุโรปแล้ว ประเทศไทยก็เป็นอีกประเทศหนึ่งที่มีผู้ผลิตจากทางอเมริกาและยุโรปมีความไว้วางใจในทางด้านคุณภาพของสินค้าที่ผลิตออกมาและต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่ามากเมื่อเทียบกับอเมริกาและยุโรป จึงได้ย้ายฐานการผลิตบางส่วนมาที่ประเทศไทย นั่นคือการผลิตประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวม (PCBA: Printed Circuit Board Assembly) ที่ใช้เป็นส่วนประกอบในการควบคุมเครื่องบิน ซึ่งมีทั้งเครื่องบินที่ใช้ทางด้านพาณิชย์และโดยสาร เช่น แอร์บัสรุ่น A380 และรุ่น A320 เป็นต้น เนื่องจากเครื่องบินนั้นต้องการความปลอดภัยขั้นสูงสุด เพราะหากเกิดความผิดพลาดแล้วจะสร้างความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินอย่างมากมาย ดังนั้นลูกค้าจึงไม่สามารถยอมรับความบกพร่องของผลิตภัณฑ์ประเภทนี้ได้ ดังนั้นแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เป็นส่วนหนึ่งในการควบคุมเครื่องบินนั้นต้องได้รับป้องกันและควบคุมความชื้นที่จะเกิดขึ้นกับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเพื่อยืดอายุการใช้งาน ดังนั้นกระบวนการที่ใช้ป้องกันและควบคุมความชื้นกับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์คือ การเคลือบด้วยน้ำยาอะคริลิก (Acrylic Conformal Coating)

การเคลือบด้วยน้ำยาอะคริลิก (Acrylic Conformal Coating) นั้น จะมีการควบคุมความหนาในการเคลือบเสมอ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้นนำไปใช้ควบคุมส่วนไหนของเครื่องบิน ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าอุณหภูมิและความชื้นของส่วนที่ถูกนำไปใช้งานมีการเปลี่ยนแปลงมากน้อยเพียงใด เช่นในห้องผู้โดยสาร หรือที่ห้องบังคับเครื่อง หรือส่วนอื่นๆ ดังนั้นความหนาของ

น้ำยาอะคริลิกที่เคลือบเพื่อป้องกันความชื้นบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้น ลูกค้าจะเป็นผู้กำหนดมาให้ ซึ่งปัจจุบันลูกค้ารายนี้ได้กำหนดมาให้มี 2 ระดับ คือ ClassA 20 – 35 ไมครอน และ ClassB 40 – 55 ไมครอน นอกจากการควบคุมในเรื่องของความหนา (Coating Thickness) แล้ว ข้อบกพร่อง (Defect) ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเคลือบก็ต้องได้รับการควบคุมทุกขั้นตอนอย่างเป็นระบบ ด้วย ตัวอย่างของข้อบกพร่องได้แก่ ฟองอากาศ (Bubble) เคลือบบางเกิน (Insufficient Coating) เคลือบบนจุดที่ไม่ต้องการเคลือบ (Not Required Coating Area) เคลือบไม่ครบพื้นที่ (Incomplete Required Coating Area) เป็นต้น

แต่ปัจจุบันบริษัททริคิศึกษาที่ผลิตประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวมนี้ ได้มีการร้องเรียนมาจากฝ่ายการผลิตว่าผลิตภัณฑ์มีข้อบกพร่อง (Defect) เกิดขึ้นในกระบวนการเคลือบน้ำยาอะคริลิกนี้ ซึ่งถูกพบโดยแผนกตรวจสอบคุณภาพ และข้อบกพร่องที่พบส่วนมากคือ เคลือบไม่เต็มตามพื้นที่กำหนด เคลือบในพื้นที่ห้ามเคลือบ น้ำยาเคมีไหลเข้าอุปกรณ์เชื่อมต่อ (Connector) และมีฟองอากาศ (Bubbles) จากข้อร้องเรียนดังกล่าวได้ตรวจสอบข้อมูลปัจจุบันและย้อนหลัง 6 เดือน (กุมภาพันธ์ – กรกฎาคม 2553) พบว่าผลิตภัณฑ์รุ่น “XXE17XXXACC” คุณภาพโดยรวมค่อนข้างต่ำ โดยเฉลี่ย 87.20% อยู่ที่ระดับ 2.64 Sigma ซึ่งผลิตภัณฑ์รุ่นนี้มีคำสั่งซื้อมากกว่ารุ่นอื่นและเป็นรุ่นที่พบปัญหามากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงประสิทธิภาพโดยรวมของการเคลือบน้ำยาอะคริลิกของผลิตภัณฑ์ทุกรุ่น



รูปที่ 1.2 แสดงประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายอะคริลิกของผลิตภัณฑ์รุ่น XXE17XXXACC

จากปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องได้รับการแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการเคลื่อนย้ายอะคริลิกนี้ เพื่อลดปริมาณข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการผลิต โดยงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิคขั้นตอนการดำเนินงานตามวิธีของซิกซิกมา (Six Sigma) 5 ขั้นตอน ซึ่งประกอบไปด้วย

1. ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define phase)
2. ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure phase)
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (Analysis phase)
4. ขั้นตอนการปรับปรุง (Improve phase)
5. ขั้นตอนการควบคุมหลังการปรับปรุง (Control phase)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อลดปริมาณข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเคลื่อนย้ายอะคริลิกและปรับปรุงกระบวนการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวม (PCBA) โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือตามแนวทางของซิกซิกมา (Six Sigma)

2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมในกระบวนการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวม ในกระบวนการเคลื่อนย้ายอะคริลิก จากเดิม 87.20% เป็น 90% หรือมากกว่า

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ดำเนินกิจกรรมภายในส่วนการผลิตประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของโรงงานกรณีศึกษา
2. ดำเนินกิจกรรมในลักษณะเป็นโครงการพัฒนาเพื่อการปรับปรุงและแก้ไขปัญหา ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำร่วมกับกลุ่มบุคคล (พนักงานบริษัท) ที่ถูกตั้งขึ้นเพื่อจัดทำโครงการพัฒนาโดยเฉพาะ
3. ดำเนินกิจกรรมเพื่อการแก้ไขและปรับปรุงกับผลิตภัณฑ์รุ่น “XXE17XXXACC” และจะนำไปประยุกต์ไปสู่รุ่นอื่นๆ ที่มีลักษณะคล้ายและใช้น้ำยาอะคริลิกชนิดเดียวกัน

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. จัดสร้างมาตรฐานของกระบวนการเคลือบน้ำยาเคมีอะคริลิกสำหรับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวม เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้
2. เพื่อให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดข้อบกพร่อง (Defect) ของกระบวนการเคลือบน้ำยาอะคริลิกสำหรับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวม (PCBA)
3. เพื่อให้ทราบถึงสาเหตุหลักที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพโดยรวมของการกระบวนการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ รุ่น “XXE17XXXACC”
4. ช่วยลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้สูงขึ้น
5. เพื่อสร้างความเชื่อมั่นและความพึงพอใจให้กับลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษานี้
6. ประหยัดต้นทุนในการแก้ไขผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องประมาณ \$15,000 หรือ 450,000บาท

### 1.5 เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย

1. ข้อมูลทางเทคนิคของเครื่องจักร
2. เครื่องวัดความหนา
3. ตราชั่งชนิดความละเอียดสูง
4. กล้องถ่ายรูป
5. นาฬิกาจับเวลา
6. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Excel,
7. โปรแกรม MINITAB
8. เครื่องมือวัดความหนืด
9. กาวพ่นน้ำยาเคมีเคลือบ
10. แผ่น Dummy อะลูมิเนียม



11. แผ่นความหนามาตรฐานสำหรับสอบเทียบเครื่องวัดความหนา
12. เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น
13. เอกสารและน้ำยาเคมีอะคริลิกสำหรับเคลือบ

## 1.6 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 8 ขั้นตอน โดยดำเนินการตามแนวทาง DMAIC ของซิกซ์ซิกม่า คือ

1. ขั้นตอนสำรวจสภาพการดำเนินงานทางการผลิตและปัญหาที่มีผลกระทบต่อด้านของบภพร้อม
2. ขั้นตอนกำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น (Define Phase)
  - 1) เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาหาปัญหาที่เกิดขึ้นในสายการผลิต
  - 2) พิจารณาความสามารถของกระบวนการผลิตและปริมาณของบภพร้อมในปัจจุบัน
  - 3) ศึกษากระบวนการผลิตทั้งกระบวนการ
  - 4) กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
3. ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดหาสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)
  - 1) ข้อกำหนดจำเพาะของผลิตภัณฑ์และมาตรฐานการตรวจวัด
  - 2) วิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (Gauge R&R)
  - 3) ศึกษาหาปัจจัยอินพุตของแต่ละกระบวนการย่อยแผนภูมิก้างปลา (Fishbone diagram)
  - 4) ระดมความคิดเพื่อแจกแจงสาเหตุและผลกระทบของข้อบกพร่อง (Cause and Effect Matrix)
- 5) สรุปผลและวางแผนขั้นตอนวิเคราะห์ต่อไป
4. ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุและปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหา (Analyze Phase)
  - 1) หาความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการปัจจุบัน (Process Capability)
  - 2) แจกแจงสาเหตุและผลกระทบของข้อบกพร่องในกระบวนการย่อยของกระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแล้วพักบอร์ด
  - 3) ระดมความคิดเพื่อวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)
  - 4) วิเคราะห์ผลการทดสอบเพื่อเลือกปัจจัยที่สำคัญที่ต้องการนำไปทำการทดลองขั้นตอนต่อไป
- 5) สรุปผลการวิเคราะห์สาเหตุและปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาและวางแผนขั้นตอนปรับปรุงต่อไป

5. ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)
  - 1) ปัจจัยและตัวแปรที่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ทันที (ไม่ต้องมีการทดลอง)
  - 2) กำหนดประเภทของตัวแปร
  - 3) การออกแบบการทดลองกับปัจจัยที่มีนัยสำคัญ (DOE: Design of Experiment)
  - 4) ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง
  - 5) วิเคราะห์ผลการทดลอง
  - 6) ปรับปรุงกระบวนการตามสรุปผลการทดลอง
  - 7) กำหนดวิธีการทำงานของพนักงานระดับปฏิบัติการ
  - 8) ฝึกอบรมพนักงานระดับปฏิบัติการ
  - 9) สรุปขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ
6. ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการและตัวแปรต่างๆ (Control Phase)
  - 1) ออกแบบวิธีการป้องกันความผิดพลาด (POKA-YOKE)
  - 2) ออกแผนการควบคุม (Control Plan)
  - 3) เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง
  - 4) สรุปผลการปรับปรุงที่ได้
7. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ
8. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

## 7. ขั้นตอนและตารางการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการขั้นตอนดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน									
	พ.ย. 53	ธ.ค. 53	ม.ค. 54	ก.พ. 54	มี.ค. 54	เม.ย. 54	พ.ค. 54	มิ.ย. 54	ก.ค. 54	
ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง										
ขั้นการกำหนด (Define Phase)										
ขั้นการวัด (Measure Phase)										
ขั้นการวิเคราะห์ (Analyze Phase)										
ขั้นการปรับปรุง (Improve Phase)										
ขั้นการควบคุม (Control Phase)										
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ										
จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์										

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ในบทนี้อธิบายถึงหน้าที่และความสำคัญของการเคลือบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวมคุณสมบัติของน้ำยาเคลือบที่ใช้กับงานวิจัยนี้ หลักการและวิธีการเคลือบ การวัดความหนืดและการควบคุมความหนืดของน้ำยาเคลือบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวของซิกซิกม่า และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ

#### 2.2 หน้าที่และความสำคัญของการเคลือบสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

การเคลือบ (Conformal Coating) ที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้น เพื่อการป้องกันสภาพแวดล้อมที่มีผลกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะทำให้เกิดการลัดวงจรไฟฟ้า นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มเกราะป้องกันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จากความชื้น สารเคมีและสารปนเปื้อนที่ทำให้เกิดสนิมกัดกร่อนและไฟฟ้าลัดวงจร การป้องกันจากสภาพแวดล้อมจะรวมถึงการถูกกระทำจากวัตถุ เช่น การจับถือและการถูกขูดหรือรอยถลอก อุณหภูมิสูงและรังสี หน้าที่พิเศษส่วนหนึ่งจะรวมถึงการเป็นฉนวนแต่ละชั้นในการบรรจุภัณฑ์ การยึดเกาะของสารเคมี ป้องกันสนามแม่เหล็กไฟฟ้า คลื่นความถี่ทางเสียงและ ไฟฟ้าสถิต (ESD) การเคลือบนั้นขึ้นอยู่กับข้อกำหนดที่นำไปใช้งานและหน้าที่การทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้นๆ อย่างไรก็ตามความต้องการพื้นฐานอย่างหนึ่งในการเคลือบก็คือ ยึดเกาะที่ดี ทั้งในขั้นตอนการเคลือบและระหว่างการนำไปใช้งาน ดังนั้นกระบวนการเคลือบจึงเป็นสิ่งที่ต้องถูกควบคุมเป็นพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นการเคลือบด้วยวิธีการพ่นแล้ว ต้องมีการควบคุมในเรื่องของความหนืด (Viscosity) ฉะนั้นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ทฤษฎีที่เกี่ยวกับความหนืด เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวของซิกซิกม่า และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.3 การวัดและควบคุมความหนืด

2.3.1 ความหนืด (สายัณฑ์ สุขพงษ์พันธ์, วิรัตน์ ปฐมชัยอัมพร, 2549) คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหลเมื่อมีแรงมากระทำ (ของไหล หมายถึง สารที่สามารถไหลได้ เช่น ก๊าซ และของเหลว) ของไหลที่มีความหนืดสูง จะมีค่าความต้านทานต่อการไหลสูง ของไหลที่มีความหนืดต่ำ จะมีค่าความต้านทานต่อการไหลต่ำ ของไหลธรรมดาสามารถที่จะแสดงค่าความหนืดสัมบูรณ์ได้ แต่ในขณะที่ของไหลที่มีส่วนผสมของสารหลายตัวจะมีลักษณะการไหลที่ซับซ้อนและไม่สามารถแสดงค่าความหนืดค่าเดียวได้

2.3.2 การวัดความหนืด (สายัณฑ์ สุขพงษ์พันธ์, วิรัตน์ ปฐมชัยอัมพร, 2549) ทำได้โดยการวัดแรงต้านทานการไหลภายในของของไหล เมื่อมีแรงมากระทำ (F) ในแนวขนานกับพื้นผิว เรียกแรงต้านที่เกิดขึ้นนี้ว่า แรงเฉือน (Shear force) เมื่อพิจารณาถึงก้อนของไหลซึ่งประกอบด้วยแผ่นโมเลกุลที่ขนานกัน (ดังรูปที่ 2.1) ชั้นที่อยู่ล่างสุดของของไหลจะถูกยึดไว้ ถ้าแผ่นด้านบนของของไหลได้รับแรงกระทำให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ แผ่นด้านล่างถดถอยไปจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะทางจากแผ่นของไหลชั้นล่างสุดที่ไม่เคลื่อนที่ ความแตกต่างของความเร็ว (dv) ระหว่างของไหลสองแผ่นกับระยะทางที่เปลี่ยนไป (dx) ก็คือ อัตราเฉือน (Shear rate) ที่อยู่ในเทอมของ Velocity gradient (dv/dx, S) ค่าแรงต่อหน่วยพื้นที่ (F/A) ที่ทำให้เกิดการไหลเรียกว่า แรงเฉือนต่อหน่วยพื้นที่ (Shear stress, F) ถ้าของไหลมีความหนืดสูงขึ้น ก็ต้องใช้แรงเฉือนที่สูงขึ้น เพื่อให้ได้อัตราเฉือนเท่าเดิม ดังนั้นอัตราเฉือนจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงเฉือน ดังสมการที่ 1

$$F/A = \eta (dv/dx) \text{----- สมการที่ 1}$$

$\eta$  คือ สัมประสิทธิ์ของความหนืด (Coefficient of Viscosity) หรือเรียกง่ายๆ ว่า "ความหนืด" ตามหลักของ เซอร์ ไอแซก นิวตัน (I saac Newton) คำจำกัดความของความหนืดสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ ดังสมการที่ 2

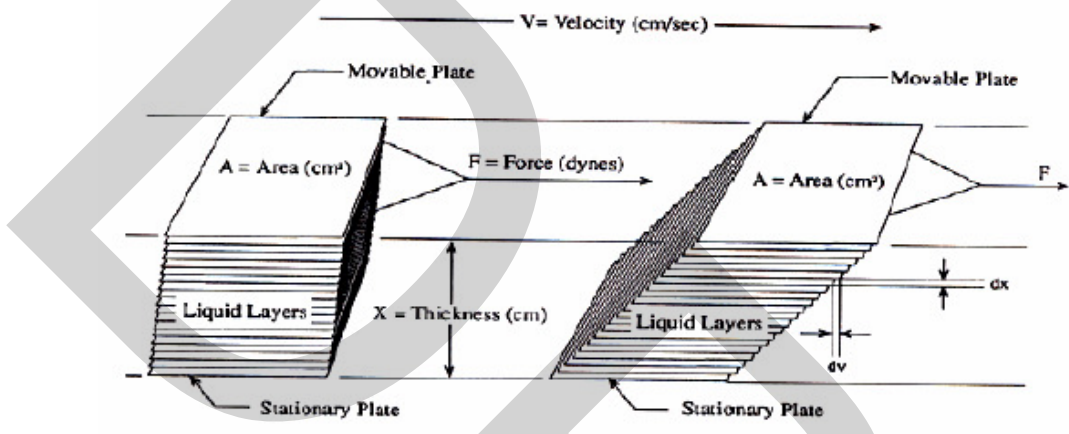
$$\eta = F'/S \text{----- สมการที่ 2}$$

เมื่อ  $F'$  คือ แรงเฉือนต่อหน่วยพื้นที่มีหน่วยเป็น dynes/cm<sup>2</sup> s หรือ Pascal (Pa)

S คือ อัตราเฉือน มีหน่วยเป็น Sec-1

หน่วยของความหนืด คือ Dyne.sec.cm-2 หรือ gram.cm-1.sec-1 เรียกเป็น Poise

**1 Poise** คือ แรงที่ใช้ทำให้ของเหลวที่มีพื้นที่หน้าตัด 1 cm<sup>2</sup> หนา 1 cm เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 cm/sec (1 poise = 100 centipoises)



รูปที่ 2.1 แสดงการเกิด Velocity gradient เมื่อมีแรงมาทำในแนวนานกับพื้นผิวของของไหล

โดยปกติความหนืดของสารหาได้ในหน่วย ปัวส์ (Poise) หรือ กรัม ต่อเซนติเมตร – วินาที (g/cm – s) (วิศิษฎ์ จาตุรฆานและขวัญชัย สันทิพย์สมบุรณ์, 2521 : 31) แต่มาตรฐานความหนืดบางประเภทจะวัดการไหล ภายใต้แรงโน้มถ่วง กล่าวคือ อัตราการไหลหาได้จาก อัตราส่วนของความหนืด ต่อความหนาแน่น ความหนืดที่ได้จากการวัดโดยวิธีการแบบนี้เรียกว่า ความหนืดคินมาติก (Kinematic Viscosity) มีหน่วยเป็นสโตก (Stoke) หรือตารางเซนติเมตรต่อวินาที (cm<sup>2</sup>/s) ซึ่งความหนืดของแก๊สจะแปรตามความดัน เนื่องจากความหนาแน่นของแก๊สจะเปลี่ยนแปลงเมื่อความดันเปลี่ยน ทั้งนี้เพราะ ความหนาแน่นคินมาติกได้มาจาก

$$\text{ความหนืดคินมาติก (Stoke ; cm}^2\text{/s)} = \frac{\text{ความหนืดไดนามิก (Poise ; g/cm-s)}}{\text{ความหนาแน่น (g/cm}^3\text{)}}$$

2.3.3 มาตรฐานความหนืด หรือ เครื่องมือที่ใช้วัดความหนืด (อรอุษา สรวารี, 2537 :169-171) มีหลายชนิด ดังนี้ คือ

2.3.3.1 บับเบิลวิสกอมิเตอร์ (Bubble Viscometers) มาตรฐานความหนืดชนิดนี้นิยมใช้วัดความหนืดของน้ำมันและสารยึดเกาะ เครื่องจะประกอบด้วยหลอดมาตรฐาน ที่ฝาหลอดถูกผนึก (Sealed) จำนวน 41 หลอด บรรจุของเหลวที่เรียงลำดับความหนืดต่ำที่สุด ถึงของเหลวที่มีความหนืดสูงที่สุด แสดงค่าเป็นความหนืดคินมาติก วิธีการวัดความหนืดจะเปรียบเทียบอัตราความเร็ว

ของฟองอากาศ ระหว่างสารในหลอดทดสอบและของเหลวในหลอดมาตรฐาน การบรรจุสารในหลอดทดสอบ จึงต้องระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ เพื่อให้สารในหลอดทดสอบมีขนาดฟองอากาศใกล้เคียงกับของเหลวในหลอดมาตรฐานมากที่สุด นอกจากนี้จะต้องควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการวัดอีกด้วย

2.3.3.2 ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด (Ford Viscosity Cups) เป็นวิธีการทดสอบที่สถานประกอบการอุตสาหกรรมนิยมใช้กันมาก เนื่องจากสะดวกและรวดเร็ว ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด ทำด้วยวัสดุที่ทนการกัดกร่อน และตัวทำละลาย เช่น ทองเหลือง หรือ อลูมิเนียม ที่กั้นถ้วยมีทางออกเหมือนกรวย ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ดที่ใช้ในงานทดสอบทางเซรามิก มี 3 ขนาด คือ ถ้วยหมายเลข 2 หมายเลข 3 และหมายเลข 4 ถ้วยแต่ละขนาดมีเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทางออกต่างกัน และเหมาะสำหรับการหา ความหนืดของสารได้ในช่วงต่างกัน ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 2.1 แสดงมาตรฐานของถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด

หมายเลขถ้วย	เส้นผ่าศูนย์กลางของทางออกท่อ		ช่วงความหนืดที่ใช้วัด (เซนติสโตก หรือตารางมิลลิเมตร ต่อวินาที)
	นิ้ว	เซนติเมตร	
2	0.1	0.25	25 - 120
3	0.13	0.325	37 - 231
4	0.15	0.375	70 - 370

ก่อนทำการทดสอบ ให้เลือกถ้วยที่เหมาะสม โดยใช้ถ้วยหมายเลข 3 และหมายเลข 4 สำหรับทดสอบสารที่มีเวลาการไหลออกจากถ้วยอยู่ระหว่าง 20 - 100 วินาที ส่วนถ้วยหมายเลข 2 สำหรับเวลาการไหลออกจากถ้วย 40 - 100 วินาที หากไม่เคยทดสอบมาก่อน ควรทดสอบการใช้งาน ว่าสารที่ต้องการทดสอบใช้เวลาในการไหลเท่าใด อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ เพื่อเลือกใช้ขนาดของถ้วยให้เหมาะสม หลังจากนั้นปรับระดับการวางของเครื่องมือให้ได้ระดับ เพื่อช่วยให้สารที่บรรจุในถ้วยจนเต็มนั้นไม่มีรอยโค้ง หรือ สันออกจากถ้วยด้านใด ด้านหนึ่ง ทดสอบหาเวลาในการไหลของสารออกจากถ้วย โดยเอานิ้วปิดท่อทางออกด้านล่างของถ้วย เติมสารลงไปจนล้นแล้วใช้กระจก หรือ พายุปาดส่วนที่ล้นออก เปิดปลายท่อที่เอานิ้วปิดไว้ จับเวลาจนกระทั่งสารไหลออกจนหมด (t) นำมาคำนวณหาความหนืดคิเนมาติก (หน่วยเป็นเซนติสโตก) จากเวลาการไหล (วินาที) ได้ดังต่อไปนี้

ถ้วยหมายเลข 2 =  $2.388t - 0.007t^2 - 57.008$

ถ้วยหมายเลข 3 =  $2.314t - 15.200$

ถ้วยหมายเลข 4 =  $3.846t - 17.300$

เมื่อ  $t$  หมายถึง เวลาการไหลของสาร มีหน่วยเป็นวินาที

**ตัวอย่าง** การทดสอบหาค่าความหนืดด้วยถ้วยวัดความหนืดของ ฟอร์ด เช่น หลังจากการวัดค่าความหนืดของน้ำดินด้วย ถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด หมายเลข 4 พบว่า น้ำดินใช้เวลาในการไหลออกจากถ้วย 23.2 วินาที คำนวณโดยใช้สูตร  $3.846t - 17.3$  เพื่อเปลี่ยนเวลาการไหลเป็นวินาทีจากที่วัดได้เป็นความหนืดคินเนมาติก ที่มีหน่วยเป็นตารางมิลลิเมตร ต่อวินาที หรือ เซนติสโตก นั่นคือ น้ำดินนี้มีความหนืดเท่ากับ  $3.846(23.2) - 17.3$  หรือ 71.9272 เซนติสโตก ซึ่งค่าที่ได้นี้ให้นำไปเปรียบเทียบกับ ค่ามาตรฐานเดิมที่เคยกำหนดไว้ก่อนแล้ว การทดสอบความหนืดด้วยถ้วยวัดความหนืดของฟอร์ด นอกจากจะต้องเลือกถ้วยที่เหมาะสมแล้ว ต้องควบคุมอุณหภูมิขณะทดสอบ รวมทั้งควบคุมสภาพของแรงที่กระทำต่อน้ำดินในขณะการทดสอบ ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง ค่าความหนืดได้ นอกจากการคำนวณเพื่อหาค่าความหนืดคินเนมาติกส์แล้ว ในการวัดความหนืดของน้ำดิน น้ำเคลือบ หรือวัสดุเซรามิก สามารถวัดโดยให้ตัวอย่างไหลผ่านรูท่อเหล็ก (Orifice Viscometer) โดยกำหนดปริมาตรของตัวอย่าง และเปรียบเทียบความหนืดที่การใช้เวลาในการปล่อยให้ตัวอย่างไหลจนขาดสาย ซึ่งขนาดของรูท่อที่ใช้จะเป็น 4 มิลลิเมตร หรือ 6 มิลลิเมตร จับเวลาและบันทึกค่าเป็นเวลาที่ใช้ (วินาที) ต่อ ปริมาตรน้ำดิน (100 ซีซี) (s/100 cc) การวัดด้วยวิธีนี้ไม่สามารถวัดของเหลวที่มีความหนืดมากๆ ได้ เพราะจะไม่ไหลผ่านรูท่อด้านล่าง



รูปที่ 2.2 แสดงถ้วยวัดค่าความหนืด (Viscosity Cup)



## 2.4 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด

เครื่องมือควบคุมคุณภาพทั้ง 7 ชนิดนี้ ตั้งชื่อตามนักรบในตำนานของชาวญี่ปุ่นที่ชื่อ "เบงเค" (Ben-ke) ผู้ซึ่งมีอาวุธอันร้ายกาจแตกต่างกัน 7 ชนิด พกอยู่ที่หลัง และสามารถเลือกดึงมาใช้ สยบคู่ต่อสู้ที่มีฝีมือร้ายกาจคนแล้วคนเล่า สำหรับเครื่องมือทั้ง 7 ชนิด สามารถแจกแจงได้ดังนี้

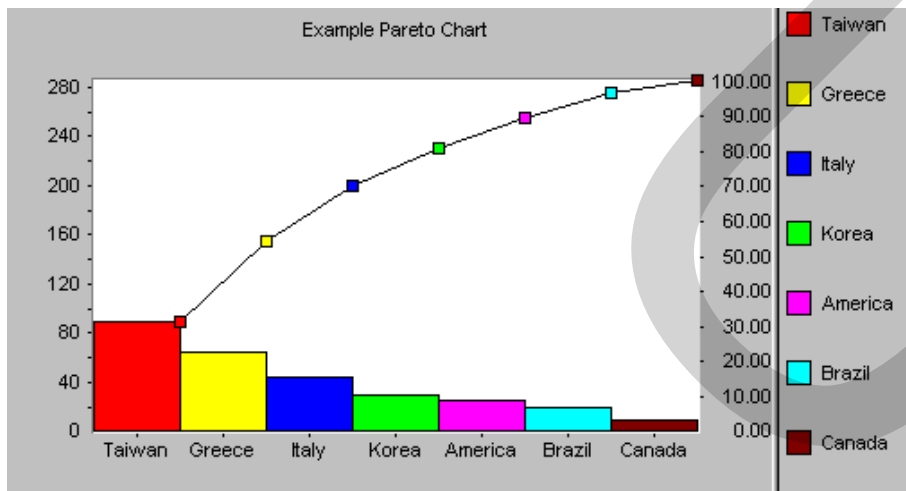
2.4.1 ใบตรวจสอบ (Check Sheet) คือ แผ่นที่มีแบบฟอร์มซึ่งได้รับการออกแบบช่องว่างต่างๆ และพิมพ์มาเรียบร้อยแล้วให้ผู้บันทึกสามารถลงบันทึกข้อมูลต่างๆ ลงในช่องว่างได้โดยสะดวกไม่ยุ่งยาก และมีการเขียนน้อยที่สุดสะดวกต่อผู้อ่านหรือผู้นำไปใช้ ดังนั้นในการออกแบบแบบฟอร์มจึงมีวัตถุประสงค์อยู่สองประการคือ เพื่อช่วยให้การกรอกข้อมูลให้สะดวกและให้ข้อมูลที่จดบันทึกสามารถที่จะนำไปใช้ได้้ง่ายที่สุด ซึ่งลักษณะของใบตรวจสอบทั่วไป บนหัวกระดาษใบตรวจสอบ จะมีรายละเอียดของผู้ตรวจสอบ ว่าตรวจสอบสินค้าชนิดอะไร จากกล่องไหน ที่ไหน หมายเลขอะไร วันไหนเป็นวันที่ตรวจสอบ จำนวนที่ตรวจสอบเท่าไร ใครเป็นผู้ตรวจสอบ และลักษณะที่วัดเป็นอย่างไร ลักษณะที่เป็นตารางที่มีรายละเอียดต่างๆ ที่ต้องการตรวจสอบไว้พร้อมแล้ว สามารถใช้ปฏิบัติได้โดยไม่ต้องกรอกรายละเอียดใหม่ เพียงแต่กรอกรายละเอียดลงในช่องที่ตรงกับรายละเอียดนั้น หรือ กรอกผลการตรวจสอบในรายละเอียดนั้น ใบตรวจสอบที่แสดงภาพ เช่น แสดงรอยตำหนิบนสินค้า

2.4.2 ฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นแผนภูมิที่แสดงความถี่ของสิ่งที่เกิดขึ้น โดยแสดงเป็นกราฟแท่งสี่เหลี่ยมที่มีความกว้างที่เท่ากันและมีด้านข้างที่ติดกัน วิธีสร้างฮิสโตแกรมทำได้ดังนี้คือ เก็บรวบรวมข้อมูลของสิ่งที่ต้องการวิเคราะห์ กำหนดจำนวนช่วงหรือแท่งของกราฟที่ต้องการแสดง โดยปรกติจะให้มีแท่งช่วงระหว่าง 8-12 แท่ง กำหนดค่าของแต่ละช่วงโดยค่าที่กำหนดจะต้องครอบคลุมทุกค่าของข้อมูลที่เก็บได้ และจะไม่มีค่าใดตกอยู่ในช่วงข้อมูลมากกว่า 1 ช่วง นับจำนวนข้อมูลแต่ละช่วงแล้วเขียนเป็นกราฟ

2.4.3 แผนภูมิพารโต (Pareto Diagram) เป็นแผนภูมิที่แสดงว่า เหตุใดเป็นมูลเหตุที่สำคัญที่สุด วิธีการเขียนแผนภูมิพารโต เริ่มต้นจากการใช้ใบตรวจสอบเก็บข้อมูลก่อน แล้วจำแนกแจกแจงข้อมูลตามหมวดหมู่ตามสาเหตุต่างๆ หลังจากนั้นก็จัดอันดับ โดยนำสาเหตุที่มีความถี่สูงสุดไปแสดงไว้ซ้ายสุดของแผนภูมิ และสาเหตุรองลงมาก็แสดงชิดมาทางขวามือ นอกจากจะแสดงข้อมูลที่สำคัญที่สุดจะเรียงข้อมูลเหตุอื่นๆ ตามลำดับความสำคัญแล้ว จะแสดงเป็นเส้นกราฟสะสมไว้ด้วย ดร.จูร์น เป็นคนแรกที่น่าแผนภูมิของโลเอนส์ มาแสดงว่าปัญหาในเรื่องคุณภาพขึ้นอยู่กับสาเหตุสำคัญไม่กี่ประการ และไม่ขึ้นอยู่กับปลีกย่อยซึ่งมีมากมาย ดังนั้นจึงมีการเก็บข้อมูลว่าปัญหาคุณภาพเกิดจากสาเหตุอะไรบ้าง นำข้อมูลมาแจกแจงความถี่จะพบสาเหตุปัญหา ถ้าวางมือแก้ไขสาเหตุสำคัญเหล่านี้เพียงไม่กี่อย่าง ก็จะลดปัญหาคุณภาพลงได้มาก โดยสรุปผังพารโตมีอยู่สองประเภทคือ

2.4.3.1 ผังพาเรโตที่เกิดจากประสบการณ์หรือผลของปัญหา ผังชนิดนี้เขียนขึ้นจากการตรวจสอบหาประเภทต่างๆ ของประสบการณ์ความบกพร่องแต่ละชนิด ซึ่งเป็นสิ่งที่ไม่พึงปรารถนาในการผลิตเพื่อการค้นหาสาเหตุต่อไปอาทิเช่น ด้านคุณภาพ ด้านต้นทุน ด้านการจัดส่ง และ ด้านความปลอดภัย เป็นต้น

2.4.3.2 ผังพาเรโตที่เกิดจากสาเหตุแห่งปัญหา ผังชนิดนี้จะพบมากในการผลิตที่ใช้บอกรที่มา สถานที่เกิด หรือ จุดที่เป็นต้นตอของสาเหตุของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นและตรวจพบ อาทิเช่น พนักงานควบคุมเครื่อง เครื่องจักร วัตถุดิบ หรือ วิธีการทำงาน เป็นต้น หลักเกณฑ์การเขียนแผนภูมิพาเรโตนั้นจะต้องจำแนกลักษณะประเภทสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น แล้วทำการเก็บรวบรวมข้อมูลนับจำนวนลักษณะประเภทของปัญหาที่เกิดขึ้น แล้วคำนวณร้อยละของลักษณะประเภทของปัญหาที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นจึงทำการเรียงข้อมูลที่นับจำนวนได้มากไปหาน้อย จัดทำร้อยละสะสม แล้วนำมาแสดงผลที่ได้เป็นแผนภูมิเขียนแผนร้อยละสะสม โดยให้แกนนอนเป็นลักษณะประเภทของปัญหา และแกนตั้งเป็นร้อยละลักษณะของปัญหาแล้วเขียนกราฟแท่งเรียงปัญหาจากมากไปหาน้อย พร้อมทั้งกำหนดจุดและลากเส้นร้อยละสะสมของลักษณะประเภทของปัญหา ซึ่งผลที่ได้ดังแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะแผนภูมิพาเรโต

2.4.4 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) อาจจะเรียกย่อๆ ว่า ผังก้างปลา หรือ ถ้าเรียกเป็นภาษาอังกฤษอาจจะใช้ตัวย่อว่า CE Diagram ซึ่งมีนิยามปรากฏในมาตรฐานของญี่ปุ่น หรือ JIS Standards (Japanese Industrial Standards) ในมาตรฐาน JIS ได้ระบุนิยามของ CE Diagram ไว้คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพ กับปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง คือผลที่

เกิดขึ้นจากเหตุ ซึ่งก็คือปัจจัยต่างๆ ที่เป็นต้นเหตุของคุณลักษณะอันนั้น หรืออาจจะกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า เป็นแผนผังที่ใช้ในการวิเคราะห์ค้นหาสาเหตุต่างๆ ว่ามีอะไรบ้างที่มาเกี่ยวข้องกัน สัมพันธ์ต่อเนื่องกันอย่างไรจึงทำให้ผลปรากฏตามมาในขั้นสุดท้าย โดยวิธีการระดมความคิดอย่างเป็นอิสระของทุกคนในกลุ่มกิจกรรมด้านการควบคุมคุณภาพ ประโยชน์ของการใช้ผังก้างปลา

2.4.4.1 ใช้เป็นเครื่องมือในการระดมความคิดจากสมองของทุกคนที่เป็นสมาชิกกลุ่มคุณภาพอย่างเป็นหมวดหมู่ ยิงได้ผลมากที่สุด

2.4.4.2 แสดงให้เห็นสาเหตุต่างๆ ของปัญหา ของผลที่เกิดขึ้นที่มีมาอย่างต่อเนื่อง จนถึงปมสำคัญที่จำเป็นไปปรับปรุงแก้ไข

2.4.4.3 แผนผังนี้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ได้มากมาย ทั้งในหน้าที่การงาน สังคม แม้กระทั่งชีวิตประจำวัน

โครงสร้างของผังก้างปลาหรือผังแสดงเหตุและผล ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนโครงกระดูกที่เป็นตัวปลา ซึ่งได้รวบรวมปัจจัยอันเป็นสาเหตุของปัญหา และส่วนหัวปลาที่เป็นข้อสรุปของสาเหตุที่กลายเป็นตัวปัญหา โดยตามความนิยมจะเขียนหัวปลาอยู่ทางขวามือและตัวปลา (หางปลา) อยู่ทางซ้ายมือเสมอ

#### ขั้นตอนการสร้างผังก้างปลา

ขั้นที่ 1. กำหนดลักษณะคุณภาพที่เป็นปัญหา (อาจจะมากกว่า 1 ลักษณะก็ได้)

ขั้นที่ 2. เลือกเอาคุณลักษณะที่เป็นปัญหามา 1 อัน แล้วเขียนลงทางขวามือของกระดาษพร้อมตีกรอบสี่เหลี่ยม

ขั้นที่ 3. เขียนก้างปลาจากซ้ายไปขวาโดยเริ่มจากกระดูกสันหลังก่อน

ขั้นที่ 4. เขียนสาเหตุหลักๆ เดิมลงบนเส้นกระดูกสันหลังทั้งบนและล่าง พร้อมกับตีกรอบสี่เหลี่ยมเพื่อระบุสาเหตุหลัก

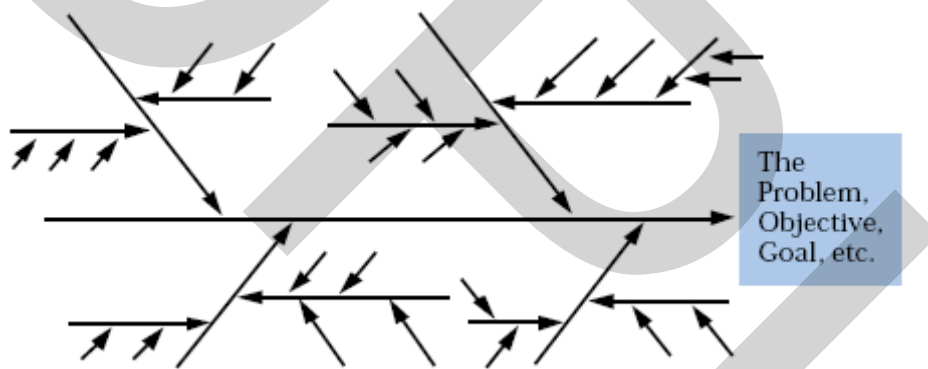
ขั้นที่ 5. ในก้างใหญ่ที่เป็นสาเหตุหลักของปัญหาให้ใส่ก้างรองลงไป ที่แต่ละปลายก้างรองให้ใส่ข้อความที่เป็นสาเหตุรองของแต่ละสาเหตุหลัก

ขั้นที่ 6. ในแต่ละก้างรองที่เป็นสาเหตุรองให้เขียนก้างย่อย ที่เข้าใจว่าจะเป็นสาเหตุย่อยๆ ของสาเหตุรองอันนั้น

ขั้นที่ 7. พิจารณาทบทวนว่าการใส่สาเหตุต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์กันตามระดับชั้นถูกต้องหรือไม่ แล้วใส่ข้อมูลเพิ่มเติมให้ครบถ้วน

### ข้อสังเกตในการนำผังก้างปลาไปใช้

ก่อนสรุปปัญหาควรใส่น้ำหนักหรือคะแนนให้กับปัจจัยสาเหตุแต่ละตัว เพื่อจะได้ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของปัญหา (Setting Priority) ก่อนนำไปปฏิบัติต่อไป ควรอาศัยข้อมูลสถิติหรือตัวเลขในการพิจารณาใส่น้ำหนักหรือให้คะแนนความสำคัญของปัจจัยสาเหตุ พยายามเลี่ยงการใช้ความรู้สึกของตนเอง (ยกเว้นกรณีไม่มีข้อมูลสนับสนุนก็อาจจะอาศัยประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญในเรื่องนั้นๆ) ขณะใช้ผังก้างปลาก็ให้ทำการปรับปรุงแต่งเติมแก้ไขอย่างต่อเนื่องด้วย เพราะว่าผังก้างปลาที่เขียนครั้งแรกอาจจะไม่สมบูรณ์ แต่เมื่อนำไปใช้แก้ปัญหาแล้วอาจจะได้ข้อมูลและข้อเท็จจริงมากขึ้นมามากและอาจจะไปหักล้างความเข้าใจแต่เดิมก็ได้ การปรับปรุงไปเรื่อยๆ จึงเป็นการบันทึกผลการศึกษาค้นคว้าประกอบการแก้ไขปัญหาในการผลิตที่ดี



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะแผนภูมิก้างปลา

2.4.5 กราฟ (Graph) เป็นส่วนหนึ่งของรายงานที่ใช้สำหรับนำเสนอข้อมูลที่สามารถทำให้ผู้อ่านเข้าใจข้อมูลต่างๆ ได้สะดวกและง่ายต่อการแปลความหมาย สามารถให้รายละเอียดของการเปรียบเทียบได้ดีกว่าการนำเสนอข้อมูลด้วยวิธีอื่น ทั้งนี้ข้อมูลกราฟสามารถมองเห็นข้อมูลต่างๆ ได้ทันที จากข้อมูล จากเส้น รูปภาพ แท่งสี่เหลี่ยม และวงกลม ซึ่งนำเสนอข้อมูลด้วยกราฟนี้ กราฟที่นิยมกันมากได้แก่ กราฟเส้น กราฟรูปภาพ กราฟแท่ง กราฟวงกลม และแผนภูมิรูปภาพ ซึ่งกราฟแต่ละชนิดจะมีประโยชน์ในการใช้แตกต่างกันไป

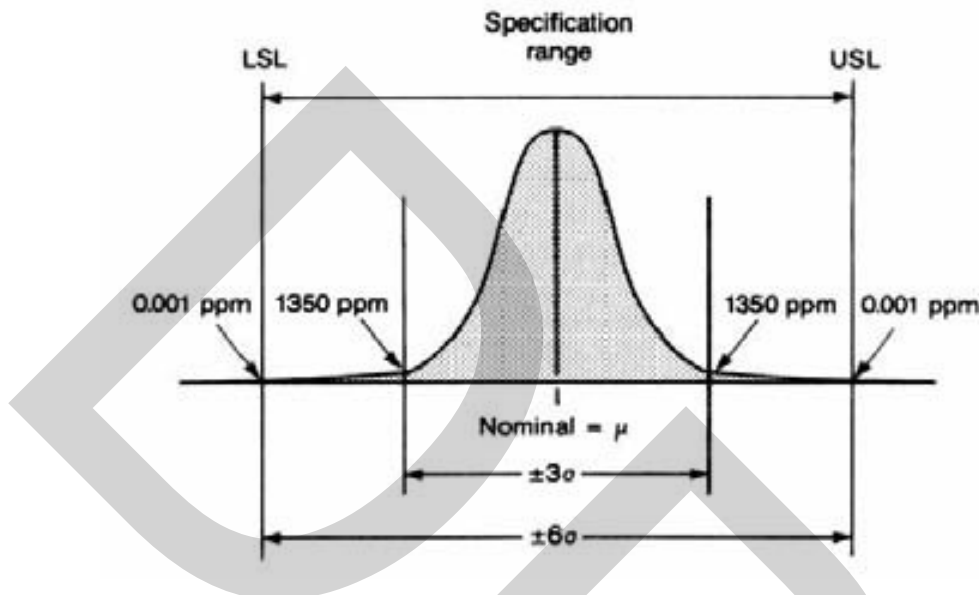
2.4.6 แผนภูมิควบคุม (Control Chart) คือ แผนภูมิหรือแผนกราฟที่เขียนขึ้นล่วงหน้าโดยอาศัยข้อมูลจากข้อกำหนดทางเทคนิค (Specification) ที่ระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงานที่ทำการผลิตและต้องการจะควบคุมนั้น เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขึ้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง โดยการตรวจวัดค่าซึ่งวัดได้ (Variable) ที่เรียกว่าค่าวัด

หรือการนับจำนวนของค่าที่เป็นหน่วยนับ (Attribute) แล้วเขียนบันทึกลงในแผนภูมินั้น ซึ่งจะมีสามเส้น ได้แก่ เส้นควบคุมบน เส้นควบคุมล่าง และเส้นค่ากลาง จะเป็นขนาดหรือเป้าหมายการผลิต

## 2.5 การปรับปรุงกระบวนการผลิตตามแนวของ ชิก ชิกม่า

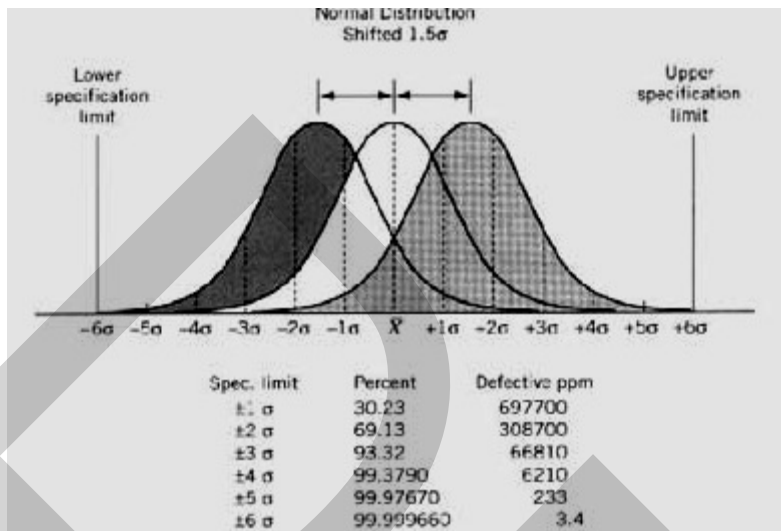
ชิก ชิกม่า คือ ระบบที่จะทำให้องค์กรสามารถที่จะนำความรู้และประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ ได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สำเร็จมีคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ ชิก ชิกม่าได้ถูกเริ่มใช้ครั้งแรกในปี พ.ศ. 2523 โดยบริษัทโมโตโรล่าผู้บุกเบิกแนวความคิดทางชิก ชิกม่า คือ Robert W. Galvin เพื่อที่จะใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตโทรทัศน์เคลื่อนที่และเพจเจอร์ ซึ่งหลังจากประสบผลสำเร็จเขาจึงได้รับการแต่งตั้งให้เป็น CEO (Chief Executive Officer) ของบริษัทโมโตโรล่าในเวลาต่อมาและในปี พ.ศ.2529 วิธีการทางชิก ชิกม่าก็ได้ถูกพัฒนาโดย Dr. Mikel J. Harry ซึ่งเป็นพนักงานของบริษัทโมโตโรล่าเช่นเดียวกัน จนในปี พ.ศ. 2531 หลังจากที่บริษัทโมโตโรล่าได้ใช้ปรัชญาทางชิก ชิกม่า เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในองค์กร ทำให้บริษัทโมโตโรล่าได้รับรางวัลชนะเลิศทางด้านคุณภาพ Malcolm Baldrige National Quality Award กลยุทธ์ในการปรับปรุงคุณภาพของโมโตโรล่าได้กลายเป็นจุดสนใจขององค์กรต่างๆ ทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมเกี่ยวกับยานยนต์ ซึ่งวิธีการทางชิก ชิกม่านั้น ได้จุดประกายความสนใจขององค์กรต่างๆ ที่จะใช้วิธีการนี้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อที่จะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ตรงตามเป้าหมาย หนึ่งในนั้นคือบริษัทไอบีเอ็ม ซึ่งเป็นบริษัทแรกที่นำวิธีการนี้มาใช้ในองค์กรโดยประยุกต์ใช้กับหน่วยงาน Application Business Systems Division ซึ่งหลังจากประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้วิธีการทางชิก ชิกม่าเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้บริษัทไอบีเอ็มได้รับรางวัลชนะเลิศทางด้านคุณภาพ Malcolm Baldrige National Quality Award ในปี พ.ศ. 2533

ชิก ชิกม่า นั้นแท้จริงแล้วเป็นภาษาในวิชาสถิติ ซึ่งสัญลักษณ์ Sigma ( $\sigma$ ) เป็นตัวอักษรในภาษากรีกที่ใช้แทนความหมายของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ซึ่งค่าชิกม่ายิ่งสูงแสดงว่ามีความแปรปรวนของกระบวนการยิ่งสูง ทำให้มีพื้นที่ที่อยู่นอกเหนือพื้นที่ในการยอมรับหรือในสเปคน้อยลง นั่นคือมีของเสียที่อยู่นอกเหนือขอบเขตที่ยอมรับได้น้อยลงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงเส้นโค้งตามปกติ (Normal Curve)

โดยที่ในระดับ 6 Sigma นั้น จะยอมรับให้เกิดของเสียได้ที่มีปริมาณ 3.4 ชิ้น ในการผลิต 1 ล้านชิ้น หรือที่เรียกว่า 3.4 ppm (Parts Per Million) ซึ่งหากเป็นไปตามเส้นโค้งการกระจายตัวตามปกติ (Normal Distribution Curve) จริงๆ ทางสถิติที่ระดับ 6 Sigma จะมีของเสียที่อยู่นอกขอบเขตของการยอมรับเท่ากับ 0.002 ชิ้น ต่อ 1 ล้านชิ้นเท่านั้น แต่เหตุผลที่หลักการ ซิก ซิกม่า ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีการยอมรับของเสียที่ 3.4 ppm ก็เพราะว่าในขณะที่ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ความแปรปรวนในบริษัทโมโตโรล่านั้น ได้พบว่าไม่มีระบบการผลิตใดเลยที่จะไม่ถูกรบกวนจากสภาพแวดล้อมภายนอก นั่นก็คือเราไม่สามารถควบคุมปัจจัยภายนอกเพื่อไม่ให้ส่งผลถึงความเบี่ยงเบนของข้อมูลได้ ซึ่งระบบที่ไม่มีมีความแปรปรวนเลยจึงเป็นเพียงระบบในอุดมคติ (Ideal System) ดังนั้นโมโตโรล่าจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลใหม่ในกระบวนการผลิต เพื่อหาความแปรปรวนที่เกิดจากปัจจัยภายนอกอันส่งผลถึงการคลาดเคลื่อนของค่ากึ่งกลาง ซึ่งได้ข้อสรุปจากการวิเคราะห์คือ ค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลอันเนื่องจากปัจจัยภายนอกมีค่าอยู่ในช่วง 1.4 - 1.6 เท่าของซิกม่า จึงนำค่าเฉลี่ยคือ 1.5 เท่าของซิกม่า เป็นค่าความเบี่ยงเบนของค่ากึ่งกลางข้อมูลที่ยอมรับได้นำมาใช้ในทฤษฎี ซิก ซิกม่า ซึ่งค่า 3.4 ppm จึงเป็นค่าความผิดพลาดที่ 4.5 เท่าของซิกม่าตามหลักสถิตินั่นเอง แสดงภาพประกอบคำอธิบายดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการกระจายตัวที่มีผลจากปัจจัยรบกวน

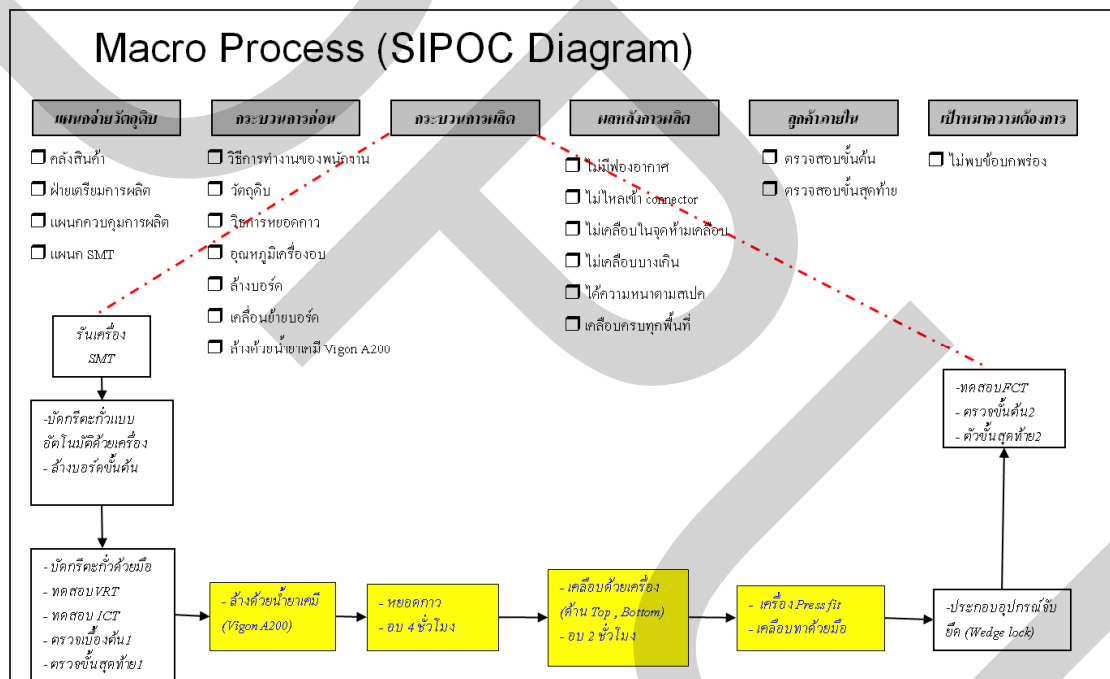
ในการที่จะบรรลุวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้เกิดความสำเร็จตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ตามวิธีการทางซิก ซิกม่า จะต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องในทุกๆ จุดของการปฏิบัติงาน ซึ่งจะต้องอาศัยกลยุทธ์ในการประยุกต์ใช้วิธีการต่างๆ ในวิชาสถิติ ซึ่งในวิธีการทางซิก ซิกมานี้ จะประยุกต์ใช้กลยุทธ์ ทั้ง 5 ขั้นตอนที่สำคัญในการปรับปรุงกระบวนการผลิต คือ DMAIC ซึ่งเป็นตัวย่อมาจากขั้นตอนที่เป็นลำดับของการกำหนด (D: Define) การวัด (M: Measure) การวิเคราะห์ (A: Analyze) การปรับปรุง (I: Improve) และการควบคุม (C: Control) โดยรายละเอียดและเครื่องมือทางสถิติที่นำมาประยุกต์ใช้ในแต่ละกิจกรรมทั้ง 5 ขั้นตอนมีดังนี้

#### 2.5.1 ขั้นตอนการกำหนดแผนงานในการแก้ไขปัญหา (Define Phase)

เป็นการกำหนดปัญหา (Problem Statement) ระบุปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาและแก้ไข ซึ่งปัญหานั้นๆ จะต้องสัมพันธ์ในส่วนที่มีผลกระทบต่อลูกค้า หรือทางด้านคุณภาพ เป็นขั้นตอนกำหนดกระบวนการ กำหนดปัจจัยสำคัญในการวัด การวิเคราะห์ การปรับปรุงและการควบคุม โดยมีเทคนิคหลักๆ คือ

2.5.1.1 แผนผังกระบวนการแบบ มหภาค (Marco Process Map) มีจุดประสงค์เพื่อให้เข้าใจภาพรวมกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อปัญหาที่จะทำการแก้ไข และขอบเขตของกระบวนการ แสดงกิจกรรมที่มาจากสายงานต่างๆ ที่ประสานรวมกันเป็นแผนผังเดียวกันในรูปแบบที่เข้าใจง่าย และเครื่องมือที่พิจารณาและสามารถใช้ได้คือ SIPOC + R diagrams ซึ่งเป็น Top down Flow Chart แบบหนึ่ง ประกอบไปด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

- Supplier** คือ บุคคลหรือกลุ่มบุคคล ที่จัดหาข้อมูล วัตถุดิบหรือทรัพยากรอื่นให้
- Input** คือ วัตถุดิบหรือปัจจัยนำเข้าของกระบวนการ
- Process** คือ รายละเอียดของกระบวนการ
- Output** คือ ผลลัพธ์ หรือ ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายของกระบวนการ
- Customer** คือ ลูกค้า หน่วยงาน หรือกระบวนการที่รับเอาพื้ไปใช้ประโยชน์
- Requirement** คือ ความต้องการของลูกค้า หน่วยงาน อาจแบ่งได้เป็นสองส่วนคือ ความต้องการเชิงเทคนิค และความต้องการเชิงคุณภาพบริการ



รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่าง SIPOC Diagram ของกระบวนการผลิต

จากกระบวนการข้างจะทำให้ทีมทราบว่าใครคือลูกค้าของกระบวนการ ขึ้นต่อไปคือการช่วยกันค้นหาว่าอะไรคือความต้องการและความคาดหวังจากลูกค้า ความสำคัญของกระบวนการ Six Sigma คือ ยึดลูกค้าเป็นจุดศูนย์กลาง โดยพยายามตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้มาก และข้อบกพร่องที่สร้างความไม่พึงพอใจแก่ลูกค้าให้เหลือน้อยที่สุด ดังนั้นการค้นหาว่าลูกค้าภายนอกของกระบวนการคือใคร และอะไรคือความต้องการจึงเป็นความจำเป็นอย่างยิ่ง

2.5.1.2 แผนภาพกระบวนการผลิต (Process Map) ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาสาเหตุของปัญหาซึ่งการสร้างแผนภาพของกระบวนการผลิต เพื่อที่จะสามารถระบุตัวแปร



สำคัญในกระบวนการผลิต (Process Input) และผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต (Process output) ขั้นตอนนี้จึง เปรียบเสมือนเป็นการตรวจวิเคราะห์ของกระบวนการผลิต ซึ่งอาจจะทำให้เราทราบถึง สิ่งผิดปกติ หรือทราบสาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องในการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนนี้อาจเป็นขั้นตอนที่นำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหา โดยการทดลองโดยการตั้งสมมติฐาน หรือโดยการใช้ข้อมูลทางด้านสถิติที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธีการสร้างแผนการไหลของ ผลิตภัณฑ์ต้องใช้การระดมสมอง และทีมงานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะได้รายละเอียดที่สำคัญและครบถ้วนของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภาพการไหลนั้นจะต้องสามารถบอกถึงสาเหตุ แห่งความบกพร่องของผลิตภัณฑ์ การสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องทำเป็นอย่างยิ่งในการระบุที่ มีมาของข้อบกพร่อง และสิ่งที่ซ่อนในกระบวนการผลิต ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้สูญเสียเวลา เงิน ทรัพยากร และพื้นที่ในการจัดเก็บ

#### 2.5.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

เป็นขั้นตอนในการคัดเลือกลักษณะจุดวิกฤตต่อคุณภาพในการผลิตผลิตภัณฑ์ หรือ ดำเนินกระบวนการกำหนดมาตรฐานสมรรถภาพสำหรับผลลัพธ์ที่ทำการศึกษา ทบทวนตรวจสอบ ระบบการวัดสำหรับผลลัพธ์นั้นๆ โดยวัดความสามารถของกระบวนการในการก่อเกิดผลลัพธ์ ซึ่งมี เทคนิคหลักๆ คือ

2.5.2.1 การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัด ในระบบการวัดมีความสำคัญมากการวัดเป็นเสมือนกลไกในการควบคุมผลิตภัณฑ์ และเป็นการควบคุมกระบวนการ เพื่อเป็นการประกันคุณภาพสู่ลูกค้ากระบวนการวัดมีองค์ประกอบหลัก ๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานตรวจวัดซึ่งมีสาเหตุมาจาก ทักษะ ความชำนาญ และระดับการฝึกฝน วิธีการวัด ชิ้นงานที่ วัด สิ่งแวดล้อมในการวัดซึ่งมีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ ความชื้น และธรรมชาติ เนื่องจากแต่ละ องค์ประกอบมีความไม่เท่ากันจึงเกิดความผันแปรในระบบการวัดการวิเคราะห์ระบบความแม่นยำ ของเครื่องมือวัดมีความสำคัญมาก เนื่องจากการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพหรือการป้องกันปัญหา อย่างมีประสิทธิภาพนั้นต้องมีความมั่นใจในความเสถียรของเครื่องมือวัด ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการ วัดมีจุดประสงค์ เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิตว่าอยู่ใน เกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดเพื่อทำการ แยกแหล่งความผันแปรออกเป็นชิ้นงาน (Part to Part Variation) พนักงานตรวจวัด (Appraiser Variation) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation)

**ความแม่นยำ (Precision)** คือ ความสามารถในการวัดให้ผลค่าที่ใกล้เคียงกันมากค่าไม่ กระจัดกระจาย และจะให้ความแม่นยำไม่เปลี่ยนค่ามากไม่มีการปรับวิธีการหรือปรับ เครื่องมือวัด

**ความเที่ยงตรง (Accuracy)** คือ ความสามารถในการวัดที่ให้ค่าใกล้เคียงความจริงมาก ผลต่างของค่าจริงและค่าวัด โดยเฉลี่ยน้อยมาก

การวิเคราะห์ความแม่นยำ มุ่งพิจารณา 2 ประเด็นหลัก คือ คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัด มีความไวต่อเทคนิคของพนักงานตรวจวัด หรืออุปกรณ์การวัด หรือ ไม่ และระบบการวัดที่พิจารณา มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ที่แสดงความผันแปรของกระบวนการผลิตหรือไม่ คุณสมบัติด้านความแม่นยำนี้ ถ้าหากมีการจำแนกตามช่วงเวลาที่เกิดขึ้นแล้วจะได้รับการแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ความสามารถในการทำซ้ำ หรือ รีพีทเทบิลิตี (Repeatability) และความสามารถในการทำเหมือน หรือ รีโพรดูซิบิลิตี (Reproducibility)

**รีพีทเทบิลิตีของระบบการวัด** หมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องกับชิ้นงานเดียวกัน ด้วยเครื่องมือเดียวกันและด้วยพนักงานคนเดียวกัน ซึ่งโดยปกติจะใช้ค่ารีพีทเทบิลิตีในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะสั้น (Short-term measurement)

**รีโพรดูซิบิลิตีของระบบการวัด** หมายถึง ค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของการวัดงานชิ้นเดียว กันด้วยเครื่องมือเดียวกัน แต่ต่างพนักงานกัน และโดยปกติจะใช้ค่ารีโพรดูซิบิลิตีในการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะยาว (Long-term measurement)

นอกจากนี้อาจจะกล่าวอย่างสั้นๆ ได้ว่า รีพีทเทบิลิตี คือ ความผันแปรภายในเงื่อนไขการวัดด้วยกัน ในขณะที่รีโพรดูซิบิลิตี คือ ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของการวัดโดยเงื่อนไขที่กล่าวนี้อาจจะหมายถึงพนักงานตรวจวัดแต่ละกะ อุปกรณ์จับยึด (จิ๊กและฟิกซ์เจอร์) และเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม เป็นต้น ในการประเมินผลค่ารีพีทเทบิลิตี และรีโพรดูซิบิลิตีของระบบการวัด (GR&R Gage Repeatability and Reproducibility) จะหมายถึงการประเมินผลค่าผันแปร อันเนื่องมาจากการวัดค่าจริงของงานหนึ่งแบบซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันแล้วมีการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขเดียวกัน การวางแผนศึกษา รีพีทเทบิลิตี และรีโพรดูซิบิลิตีของระบบการวัดวิธีการ และเวลาที่จะมีการสอบเทียบเครื่องวัด การสอบเทียบเครื่องมือวัดถือเป็นการดำเนินการที่มีความสำคัญมากต่อการพิจารณาถึงความคลาดเคลื่อนด้านความถูกต้องในระบบการวัด โดยปกติแล้วจะต้องมีการสอบเทียบก่อนการศึกษา รีพีทเทบิลิตี และ รีโพรดูซิบิลิตี จะเริ่มต้นขึ้น และไม่ควรจะมีการสอบเทียบใหม่ ถ้าหากการศึกษายังไม่สิ้นสุด เพราะถ้าหากมีการสอบเทียบใหม่ในระหว่างการศึกษา จะทำให้เกิดความผันแปรจากการสอบเทียบรวมอยู่กับค่ารีพีทเทบิลิตีของระบบการวัดด้วย

จำนวนพนักงานตรวจวัดที่ใช้สำหรับการศึกษา GR&R ในการกำหนดจำนวนพนักงานตรวจวัดที่เหมาะสมสำหรับการศึกษานั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาก่อนว่าในระบบการผลิตมีพนักงานตรวจวัด (คือผู้ใช้เครื่องมือในการกำหนดค่าตัวเลขกับชิ้นงานเพื่อการตัดสินใจ) ในกรณีที่มีระบบการวัดมีพนักงานตรวจวัดจำนวนหลายคน ให้ทำการสุ่มพนักงานตรวจวัดมา

ทำการศึกษาน้อย 2 คน โดยพนักงานตรวจวัดทุกคนต้องผ่านการฝึกอบรม และปฏิบัติงานเกี่ยวกับงานวัดในอุปกรณ์วัดที่ทำการศึกษสำหรับงานประจำ จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา GR & R จำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการศึกษานั้น โดยปกติจะแนะนำไว้ที่ 10 สิ่งตัวอย่าง ซึ่งถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้จะต้องพยายามให้ (จำนวนของสิ่งตัวอย่าง)  $\times$  (จำนวนของพนักงานตรวจวัด) มากกว่า 15 และถ้าหากไม่สามารถดำเนินการได้ให้เพิ่มจำนวนซ้ำของการวัดในแต่ละสิ่งตัวอย่าง และสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการวัดนี้ต้องเป็นสิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างมีนัยสำคัญ และในกรณีที่จะทำให้ระบบการวัดมีคุณภาพด้านความผันแปรเพียงพอต่อการตรวจจับความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการแล้ว จะต้องทำให้ข้อมูลแบ่งแยกได้ไม่ต่ำกว่า 5 กลุ่ม (ขึ้น)

2.5.2.2 ตารางแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) คือ ตารางที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่างๆ (ที่เกี่ยวข้อง) กล่าวคือ คุณลักษณะทางคุณภาพคือผลที่เกิดขึ้นจากสาเหตุคือปัจจัยต่างๆ ที่เป็นต้นตอของคุณลักษณะอันนั้น การสร้างตารางแสดงเหตุและผลที่จะเอื้อประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาได้จริงๆ ไม่ใช่เรื่องง่ายผู้ที่สามารถสร้างตารางอาจจำเป็นต้องวางผังก้างปลาก่อน แล้วจึงดูความน่าจะเป็นและโอกาสทำให้เกิดปัญหา โดยการระดมความคิดกับทางทีมงาน ข้อสังเกตเกี่ยวกับตารางแสดงเหตุและผล จะต้องทำการแยกแยะและเลือกสรรเพื่อหาปัจจัยอันเป็นสาเหตุแห่งปัญหานั้น ควรใช้การปรึกษาหารือในกลุ่มหลายๆ ความคิด หรือจากผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิคมาร่วมกัน เพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างไปจะก่อผลเสียภาพหลังได้ (อาจทำให้การแก้ปัญหาผิดจุดได้) เลือกคุณลักษณะของปัญหาและปัจจัยสาเหตุในรูปขนาด หรือ ปริมาณที่สามารถใส่หน่วยวัดลงไปได้เพราะในที่สุดแล้วผลสรุปจากตารางจะต้องนำไปแก้ไขปรับปรุงตัวแปรต่างๆ ในการผลิต ก่อนสรุปปัญหาควรใส่หน้าหนักหรือคะแนน ให้กับปัจจัยสาเหตุแต่ละตัวเพื่อได้ใช้การจัดลำดับความสำคัญของปัญหาซึ่งแนวทางเสนอแนะนี้จะนำไปเชื่อมโยงกับ FMEA ต่อไป

		Customer Priority					
		40	34	10	5		
		Defect #1	Defect #2	Defect #3	Defect #4		
Process Step	Process Input					Total	Sum. Score
1	Process Step # 1	Process Input # 1	2	5	2	1	275
		Process Input # 2	2	4	2	1	241
		Process Input # 3	2	3	2	1	207
		Process Input # 4	3	3	2	1	247
2	Process Step # 2	Process Input # 1	3	3	2	1	247
		Process Input # 2	2	3	2	1	207
		Process Input # 3	1	1	1	1	89
		Process Input # 4	1	1	1	1	89
		Process Input # 5	1	3	1	1	157
		Process Input # 6	1	1	1	1	89
3	Process Step # 3	Process Input # 1	1	3	2	3	177
		Process Input # 2	1	2	1	5	143
		Process Input # 3	1	3	2	2	172
		Process Input # 4	1	3	1	5	177
		Process Input # 5	1	3	1	5	177
4	Process Step # 4	Process Input # 1	2	4	2	5	261
		Process Input # 2	10	8	2	5	717
		Process Input # 3	10	10	2	6	790
		Process Input # 4	3	5	5	6	370
		Process Input # 5	10	8	2	5	717
		Process Input # 6	8	10	2	4	700
		Process Input # 7	5	6	5	5	479
		Process Input # 8	5	5	5	3	435
		Process Input # 9	2	6	5	6	364
		Process Input # 10	1	4	5	5	251
		Process Input # 11	3	5	1	1	305
		Process Input # 12	5	5	5	5	445
		Process Input # 13	5	5	5	5	445
		Process Input # 14	5	8	1	3	497
5	Process Step # 5	Process Input # 1	2	1	1	1	129
		Process Input # 2	5	1	2	1	259
		Process Input # 3	3	2	2	1	213
		Process Input # 4	8	1	2	1	379
		Process Input # 5	1	3	2	1	167
		Process Input # 6	1	2	3	1	143
		Process Input # 7	3	1	3	1	189
		Process Input # 8	3	2	3	1	223
		Process Input # 9	3	2	3	1	223
<b>Total</b>			5,040	4,930	910	515	

รูปที่ 2.8 แสดงตัวอย่างตารางเหตุและผลกระทบ Cause and Effect Matrix

2.5.2.3 เทคนิคการระดมสมอง (Brainstorming) เป็นวิธีการที่ให้สมาชิกในกลุ่มได้ช่วยกันแสดงความคิดเห็นร่วมกัน เพื่อหาแนวทางที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหาโดยเพื่อนๆ ทุกคนในกลุ่ม จะได้แสดงความคิดเห็นกันอย่างเต็มที่ก่อให้เกิดแนวทางการแก้ปัญหาที่หลากหลาย วิธีการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่มากมายได้แก่จัดความคิดเห็นหลายแนวทางเป็นวิธีการทำงานเป็นทีม จึงได้ผลงานที่มีคุณภาพหลากหลายความคิดเห็น เทคนิค KJ เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลเชิง

คุณภาพใช้วิธีการระดมสมอง ระดมความคิดเห็นของสมาชิกในกลุ่มทุกคนได้ช่วยกัน โดยจะให้สมาชิกทุกคนเขียนแสดงความคิดเห็นของตนเองลงไปกระดาษแล้วจึงนำความคิดเห็นต่างๆ มารวมกันก่อนจำแนกเป็นกลุ่ม ซึ่งข้อดีที่ได้จากวิธีการนี้ถือว่ามีประโยชน์และเป็นวิธีการที่ดีมากทีเดียว เพราะทุกคนจะมีอิสระทางความคิดไม่มีการปิดกั้นจึงทำให้ได้ความคิดเห็นออกมาในจำนวนมากมีความคิดเห็นที่หลากหลาย อีกทั้งยังไม่เกิดการโต้แย้งภายในกลุ่มให้เกิดความวุ่นวายอีกด้วย หลีกเลี่ยงปัญหามากมายได้อย่างดีไม่มีการวิพากษ์วิจารณ์ความคิดเห็นของคนอื่น ให้เกิดการโต้เถียงกันขึ้น จึงถือได้ว่าเทคนิค KJ เป็นเทคนิคที่เอื้อประโยชน์ให้กับการทำงานเป็นกลุ่ม เป็นทีมที่มีจำนวนสมาชิกหลายคนทำให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความหมายหลายแนวทาง และไม่เกิดการวิพากษ์วิจารณ์ความคิดเห็นของกันและกันอันเป็นสาเหตุของการโต้เถียงทะเลาะเบาะแว้งอันก่อให้เกิดผลเสียต่อกลุ่มได้อีกด้วย เทคนิคแผนภูมิกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Chart) จะเป็นวิธีการจัดเรียงความคิดเห็นที่ได้ระดมความคิดเห็นมาจัดเป็นหมวดเป็นหมู่ต่าง แล้วจึงเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของแต่ละกลุ่มความคิดเห็นเข้าด้วยกัน จึงทำให้การวิเคราะห์นั้นง่ายสะดวกเห็นภาพรวมและความเกี่ยวข้องกันของความคิดเห็นต่างๆ ได้ชัดเจน เพราะความคิดเห็นที่ได้มานั้นอาจมีทั้งที่เหมือนกัน คล้ายคลึงกัน หรือ ต่างกันออกไป เราจึงใช้วิธีการนี้มาจัดเป็นหมวดหมู่ให้กับความคิดเห็นที่เหมือนกันได้อยู่ด้วยกัน ทำให้เห็นได้ว่ามีความคิดเห็นที่ได้ออกมาเป็นกี่ประเภท แต่ละกลุ่มความคิดเห็นนั้นจะสามารถเชื่อมโยงกันได้อย่างไร ทำให้สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ของความคิดเห็นของคนในกลุ่มได้สะดวกง่ายดาย ได้ผลสรุปหลักผลสรุปย่อยของออกมาได้อย่างเข้าใจได้ง่าย เทคนิคแผนภูมิกลุ่มเชื่อมโยงเป็นการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาอีกวิธีการหนึ่งซึ่งจะเห็นภาพรวมที่ชัดเจนและเป็นระเบียบอันเนื่องมาจากการแบ่งกลุ่มแยกย่อยที่ชัดเจน โดยวิเคราะห์หาสาเหตุหลักออกมาก่อนแล้วจึงเรียงลำดับความสำคัญของสาเหตุต่างๆ จากนั้นจึงค่อยใช้ความคิดสร้างสรรค์และความคิดเชิงวิเคราะห์มาประยุกต์ใช้หาสาเหตุแยกย่อยออกจากสาเหตุหลักในกลุ่มต่างๆ อีกที ถือว่าเป็นวิธีการระดมความคิดที่เป็นระเบียบเป็นขั้นเป็นตอน เห็นภาพที่ชัดเจนเข้าใจง่าย

### 2.5.3 ขั้นการวิเคราะห์ (Analyze Phase)

เป็นการระบุแหล่งของความแปรปรวน ตรวจสอบสาเหตุของศักยภาพ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผลลัพธ์และระบุปัจจัยที่สำคัญ โดยมีเทคนิคหลักๆ คือ

2.5.3.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวในการผลิต (FMEA) คือ เทคนิคทางวิศวกรรมที่ใช้ในการกำหนดการบ่งชี้และการจัดปัญหาความล้มเหลวและความผิดพลาดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นมาแล้วในระบบงานของการออกแบบของกระบวนการและการบริหารก่อนที่จะถึงลูกค้า

2.5.3.2 ลักษณะสำคัญ 3 ประการของ FMEA จะต้องมีการแสดงให้เห็นรูปแบบของความล้มเหลวปัญหาและความผิดพลาดต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นแล้วจากระบบงาน การออกแบบ

การผลิตและการบริการอย่างชัดเจนและมีการประเมินผลจะต้องมีการบ่งชี้การกระทำ สำหรับการลด หรือขจัด โอกาสของความล้มเหลวปัญหาและความผิดพลาดนั้นๆ ที่จะเกิดขึ้นมาอีก จะต้องมีการบันทึกลงแบบฟอร์มมาตรฐาน โดยปกตินิยมใช้ FMEA 2 ชนิด คือ Design FMEA สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีการนำเอาปัญหาสำคัญ และข้อบกพร่องต่างๆ จากผู้ใช้หรือลูกค้ามาศึกษา และหาวิธีการปรับปรุงแก้ไข และอีกชนิดหนึ่ง คือ Process FMEA สำหรับการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการผลิตซึ่งมีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันไม่ให้มีของเสียและขจัด หรือลดปัญหาจากการผลิตที่จะส่งไปยังกระบวนการผลิตถัดไปและลูกค้า

2.5.3.3 ประโยชน์ของ FMEA ช่วยพิจารณาทางเลือกตั้งแต่ขั้นตอนแรกของการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ซึ่งเพิ่มศักยภาพของการผลิตและความเชื่อถือ สร้างความมั่นใจว่ารูปแบบของความล้มเหลวความผิดพลาดและปัญหาต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ รวมถึงผลกระทบที่อาจตามมาได้รับการพิจารณาอย่างละเอียดถี่ถ้วนมาก่อนแสดงรายการของปัญหาหลักต่างๆ และระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นขึ้นมาช่วยแสดงบันทึกผลของการปรับปรุง หลังจากมีมาตรฐานการแก้ไขให้ถูกต้องอย่างใดอย่างหนึ่งได้ทันที เป็นพื้นฐานสำหรับการกำหนดรายการทดสอบเพิ่มเติมระหว่างการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการผลิต ช่วยรวบรวมข้อมูลในอดีตสำหรับเป็นเอกสารอ้างอิงในอนาคต โดยนำมาใช้วิเคราะห์รูปแบบของปัญหาหรือความล้มเหลวต่างๆ สำหรับการพิจารณาเรื่องความเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิตทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่า การปรับปรุงและพัฒนาต่างๆ มีผู้รับผิดชอบหรือให้วิศวกรประจำกระบวนการผลิตสร้างระบบการป้องกันปัญหาที่สามารถประเมินผลได้ เมื่อมีการประชุมทบทวนขั้นสุดท้ายของการพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการผลิต

2.5.3.4 ชนิดของ FMEA และการนำไปใช้งาน Failure Mode and Effect Analysis หรือ FMEA เป็นวิธีการวิเคราะห์ปัญหาหรือความล้มเหลวอย่างเป็นระบบ มีขั้นตอนสำหรับการค้นหาสาเหตุของความผิดพลาด ก่อนที่จะเกิดขึ้นจริงเพื่อเป็นการป้องกันก่อนที่จะเกิดปัญหาร้ายแรงขึ้นมาภายหลัง และเป็น การลดความเสี่ยงของการเกิดปัญหา FMEA สามารถแบ่งตามวิธีการนำไปใช้งานได้หลายอย่างคือ

System FMEA สำหรับการออกแบบหรือปรับปรุงระบบการทำงานการใช้งานมักจะรวมอยู่ในขั้นตอนของ FMEA ชนิดอื่น ได้แก่ การสร้างแนวความคิดในการออกแบบและกำหนดรายละเอียดของระบบงาน การออกแบบ การพัฒนา การทดสอบ และการประเมินผลระบบ

Design FMEA นิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์ผลและการแก้ไขงานที่มีการทดลอง หรือปฏิบัติเป็นครั้งแรก มักจะพิจารณาเกี่ยวข้องกับกลุ่มของการรวมส่วนประกอบต่างๆ หรือส่วนย่อยๆ

เข้าด้วยกัน และส่วนของผลิตภัณฑ์ว่ามีหน้าที่การใช้งานตามที่ออกแบบเหมาะสมแล้วหรือไม่ และส่วนใดจะมีปัญหาจะป้องกันหรือลดระดับความเสี่ยงได้มากน้อยแค่ไหน

Process FMEA สำหรับกระบวนการผลิตซึ่งก็มีลักษณะเหมือนกับ Design FMEA มักจะพิจารณาเกี่ยวกับปัจจัยการผลิตที่สำคัญคือ พนักงาน เครื่องจักร วัสดุ วิธีการการวัดและสภาพแวดล้อมของการผลิต โดยทั่วไปแล้วเครื่องจักรจะเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเมื่อจัดทำ Process FMEA

Service FMEA จะเกี่ยวข้องกับกาให้บริการเป็นหลักโดยนิยามให้คนเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดเมื่อจัดทำ Service FMEA

Machinery FMEA สำหรับการวิเคราะห์เครื่องจักรอุปกรณ์ หรือเครื่องมือที่ใช้โดยแบ่งเป็นส่วนประกอบต่างๆ เช่น โครงสร้างเครื่องจักร เครื่องมือ ส่วนทำความสะอาดชิ้นส่วนส่งกำลัง ส่วนหล่อลื่น ชุดเกียร์ ตลับลูกปืน เป็นต้น

งานเอกสารของ FMEA การวิเคราะห์ปัญหาเรื่องความล้มเหลวที่เกิดขึ้นโดยวิธีการ FMEA ถือว่าเป็นการวางระบบเตือนภัยล่วงหน้าและเป็นเทคนิคการป้องกันปัญหาชนิดหนึ่ง ซึ่งมีส่วนช่วยวิศวกรกระบวนการในการศึกษาสาเหตุและผลกระทบต่างๆ ก่อนที่การออกแบบหรือวิธีการกระบวนการผลิตจะสรุปผลขั้นสุดท้ายทุกเรื่อง ทุกด้านที่มีการวิเคราะห์ร่วมกันจะถูกบันทึกลงแบบฟอร์มมาตรฐานของ FMEA เริ่มต้นจากหน้าที่อย่างใดอย่างหนึ่งของกระบวนการผลิตจะถูกนำมาพิจารณาอย่างละเอียดว่ามีชนิด หรือรูปแบบของปัญหาและความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นหรือเคยเกิดขึ้นมาแล้วมีอะไรบ้างมีสาเหตุมาจากเรื่องใด และจะมีผลกระทบอย่างไร หลังจากนั้นจะมีการปริมาณตัวเลขระดับความเสี่ยงหรือที่เรียกกันว่าค่า RPN ซึ่งมาจากคำว่า Risk Priority Number ให้กับแต่ละปัญหาการคำนวณค่า RPN ได้มาจากผลคูณพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ  $O \times S \times D$  เมื่อ

O = Occurrence คือ ระดับความเสี่ยงของการเกิดปัญหา ความล้มเหลวหรือความผิดพลาด

S = Severity คือ ระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานั้นขึ้น

D = Detection คือ ระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนที่จะส่งมอบงานหรือผลิตภัณฑ์ไปให้ลูกค้า

ค่า O, S และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็ม มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นค่าระดับความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหา คือ ค่า  $RPN = 1$  ซึ่งมาจาก  $1 \times 1 \times 1$  หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยมาก และความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกัน และสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์ ส่วนค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของปัญหา คือ ค่า  $RPN = 1000$  ซึ่งมาจาก  $10 \times 10 \times 10$  หมายความว่า ความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมาก เช่น พบทุกวัน และระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้ก็มีมาก เช่น กระบวนการผลิตต้อง

หยุดทั้งหมด หรือลูกค้าต้องยกเลิกสัญญาสั่งซื้อ เป็นต้น และยังไม่มีการตรวจจับปัญหานี้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าเลย

#### 2.5.3.5 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis)

การวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ เป็นเทคนิคและเครื่องมือทางสถิติอันหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมและปรับปรุงกระบวนการในการผลิต รวมทั้งใช้เป็นเครื่องมือในการตรวจสอบระดับคุณภาพของกระบวนการผลิตเพื่อความเชื่อถือได้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิต ความสามารถของกระบวนการเป็นตัวบ่งบอกว่ากระบวนการการผลิตว่ามีความสามารถที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ได้ตามข้อกำหนดของลูกค้าหรือไม่ ดังนั้นการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการประกอบด้วย การวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพของกระบวนการ (Stability) การวิเคราะห์ความสามารถด้านศักยภาพ (Potential Capability, Cp) การวิเคราะห์ความสามารถด้านสมรรถนะด้วยค่ากลางและค่าเป้าหมาย (Performance Capability, Cpk, Cpm) เป็นเครื่องมือสามารถนำมาประเมินระดับคุณภาพในการผลิต และเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่องได้

#### 2.5.4 ขั้นการปรับปรุง (Improve Phase)

เป็นการค้นหาความสัมพันธ์ของความแปรปรวนระหว่างตัวแปรหรือปัจจัยต่างๆ สร้างลักษณะการดำเนินงานต่อตัวแปร และทบทวนตรวจสอบระบบการวัดสำหรับแต่ละตัวแปร ที่มีนัยสำคัญ

2.5.4.1 การออกแบบการทดลอง (Design of experiments) การออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบว่าตัวแปร (Input Variable) ไต ที่มีผลต่อสิ่งที่ไม่สำคัญ (หรือความสนใจ) ในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา (Output Response) ตัวแปรในการผลิตสามารถแบ่งได้เป็น ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable) หมายถึง ตัวแปรที่สามารถกำหนดค่าของตัวแปรนั้นได้ในการผลิต การออกแบบการทดลองนั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อวิเคราะห์ให้ได้ว่าตัวแปรใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ ซึ่งต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของตัวแปรเหล่านั้นอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วไปทำการทดลองเก็บผลลัพธ์ จากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลองได้

2.5.4.2 วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง เพื่อยืนยันข้อเท็จจริงคือ การพิสูจน์ถึงข้อเท็จจริง หรือ ความเชื่อจากประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต เพื่อค้นหาข้อเท็จจริงคือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ



### คำจำกัดความ (Definition)

- 1) อิทธิพลหรือผล (Effect) หมายถึง ผลของตัวแปรนำเข้า (Input) ที่มีต่อตัวแปรตอบ สอนง (Output)
- 2) ตัวแปร (Variable) หมายถึง สิ่ง que คิดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณสมบัติในตัวผลิตภัณฑ์
- 3) ระดับของตัวแปร (Level) หมายถึง ความแตกต่างของแต่ละตัวแปรที่ก่อให้เกิดผล กระทบได้

#### 2.5.4.3 หลักในการออกแบบการทดลอง

- 1) การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การให้โอกาสในการเก็บข้อมูลของข้อมูลแต่ละตัวเท่าๆ กัน เพื่อกระจายผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ให้กับทุกระดับที่ศึกษาให้เท่าๆ กัน
- 2) การทำซ้ำ (Replication) คือ การทำการทดลองซ้ำในแต่ละข้อมูล เพื่อกำจัดเอาผลของปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ออก
- 3) การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มทำการเก็บข้อมูลเป็นช่วง เพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ แต่ไม่จำเป็นที่จะต้องมีการทำเสมอไป

#### 2.5.4.4 ลำดับขั้นการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง

- 1) การนิยามปัญหาเป็นการระบุว่าความต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิต ซึ่งการนิยามปัญหานี้จะเกี่ยวข้องไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองการเลือกตัวแปรที่มีผล และระดับตัวแปรโดยใช้หลักการทางทฤษฎี และประสบการณ์ที่เคยปฏิบัติมาในการผลิต เพื่อระบุว่าตัวแปรใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง ในแต่ละตัวแปรนั้นควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร เพื่อระบุระดับของตัวแปรในการทดลอง
- 2) การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables) ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตัวแปรที่สามารถให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการศึกษา และการวัดค่านั้นจะต้องแม่นยำ รวมทั้งความถูกต้องของเครื่องด้วย
- 3) การเลือกแบบทดลองจะต้องพิจารณาถึงจำนวนข้อมูลที่ทำซ้ำในการทดลอง ความเหมาะสม ข้อจำกัดในการสุ่ม (Randomization) และการบล็อก (Blocking) ที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ต้องนำมาเกี่ยวข้องกันในด้านความเสี่ยง และต้นทุนที่ใช้ในการทดลองสำหรับการเลือกตัวแปรในการทำการทดลอง
- 4) ในขณะที่ทำการทดลองจะต้องปฏิบัติตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้นั้น คือ ต้องมีการสุ่ม การทำซ้ำ ข้อควรระวังในขณะที่ทำการทดลอง คือ ความถูกต้องของเครื่องมือวัด และความสม่ำเสมอในการทดลอง เพื่อให้ความผิดพลาด (Error) ที่ออกมา มีน้อยที่สุด การวิเคราะห์ข้อมูลจะ

ใช้ความรู้ทางสถิติมาวิเคราะห์และสรุปผลรวม ทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้นก่อนที่จะตีความข้อมูล วิธีทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าตัวแปรใดมีผล (Effect) เท่าใดได้แน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ข้อมูล แล้วจะต้องสรุปผลของการวิเคราะห์ซึ่งอาจแสดงในรูปกราฟ ตารางแผนภูมิอื่นๆ

(1) แผนการทดลองแบบแฟคโทเรียล (Factorial Design) ใช้กับการทดลองที่มีตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป ซึ่งเป็นการทดลองที่มีหลายตัวแปร และเนื่องจากมีตัวแปรมากกว่า 1 ตัวแปร ดังนั้นนอกจากจะเกิดอิทธิพลของตัวแปรหลัก (Main Effect) ที่สนใจแล้ว ยังอาจเกิดอิทธิพลของตัวแปรร่วม (Interaction Effect) ได้ด้วย

(2) อิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ อิทธิพลของตัวแปรร่วมอันเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการที่ตัวแปรหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปแล้ว มีผลทำให้อิทธิพล (Effect) ของอีกตัวแปรหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปด้วย

(3) การทดลองแบบแฟร็กชันนอลแฟคโทเรียล (Fractional Factorial Design) ในการทดลองที่มีจำนวนตัวแปรที่ต้องการศึกษาเป็นจำนวนมาก ทำให้บางครั้งไม่สามารถทำการทดลองได้ เนื่องจากมีทรัพยากรไม่เพียงพอต่อการทำการทดลอง เช่น การศึกษาเรื่องปัจจัยที่มีผลต่อการอบชุบความแข็งของเหล็กหล่อ โดยมีตัวแปรที่ต้องการศึกษา คือ อุณหภูมิของเตาอบ ระยะเวลาในการอบ จำนวนของชิ้นงานที่เข้าเตาอบ และอุณหภูมิของของเหลวที่ใช้อบชุบ กำหนดให้ศึกษาเพียง 2 ระดับ ในแต่ละตัวแปร ซึ่งเราจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ  $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$  ครั้ง หรือถ้าเราต้องการศึกษาอีกตัวแปรหนึ่งเพิ่มเติม เช่น ต้องการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องระยะเวลาที่ชิ้นงานใช้ในการชุบอยู่ในของเหลว เราจะต้องทำการทดลองทั้งหมดเท่ากับ 32 ครั้ง จะเห็นได้ว่าทุกครั้งที่เราเพิ่มจำนวนตัวแปร จำนวนการทดลองก็จะเพิ่มขึ้นในลักษณะเอ็กโปเนนเชียล การทดลองแบบแฟร็กชันนอลแฟคโทเรียลนี้มีข้อดีคือ ลดจำนวนครั้งในการทดลองได้มาก แต่อย่างไรก็ตามก็มีข้อเสียคือข้อมูลที่ได้อาจจะลดลงด้วยเช่นกัน แผนการทดลองแบบแฟร็กชันนอลแฟคโทเรียล (Fractional Factorial Design) เป็นการประยุกต์จากการออกแบบการทดลองแบบแฟคโทเรียล (Factorial design) โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟคโทเรียลจะใช้กับการทดลองหลายตัวแปร ที่มีตัวแปรเป็นจำนวนมากจึงต้องทำการตัดตัวแปรบางตัวออก โดยอาศัยหลักการคอนฟาวด์ (Confound)

(4) การคอนฟาวด์ (Confound) เป็นเทคนิคที่ใช้ช่วยในการออกแบบทำให้ขนาดของบล็อกเล็กลงจากเดิม ซึ่งในการออกแบบนี้จะเกิดผลทำให้สารสนเทศเกี่ยวกับอิทธิพลของทรีตเมนต์ (Treatment effect) รวมปะปนอยู่กับอิทธิพลของบล็อก (Block effect) เสมอ การเลือกอิทธิพลของทรีตเมนต์ที่จะทำการคอนฟาวด์ (Confound Effect) จะเลือกจากความรู้ในกระบวนการผลิตเป็นตัวกำหนด โดยจะทำการเลือกทรีตเมนต์ที่คาดว่าจะมีผลน้อยต่อตัวผลิตภัณฑ์

ดังนั้นในการทำคอนฟาวด์นี้จะทำให้เกิดตัวแปรแฝงกันอยู่ แต่เรายังสามารถแยกได้ว่าตัวแปรใดกันแน่ที่มีผล โดยดูที่ Physical Phenomena หรือ ความรู้เชิงเทคนิคในกระบวนการช่วยพิจารณาเราอาจเรียกตัวแปรที่คอนฟาวด์กันอยู่นั้นว่าเป็น Alias structure ก็ได้

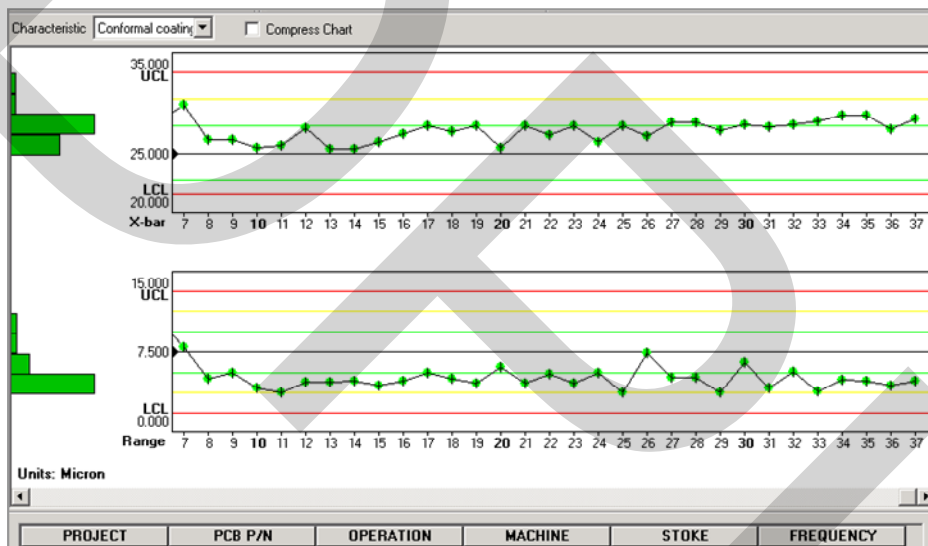
### 2.5.5 ขั้นการควบคุม (Control)

กำหนดความสามารถในการควบคุมปัจจัย และนำเสนอระบบการควบคุมกระบวนการแต่ละปัจจัย แล้วติดตามผลลัพธ์

2.5.5.1 แผนภูมิควบคุม (Control Chart) คือ แผนภูมิหรือกราฟที่จัดทำขึ้นล่วงหน้าโดยอาศัยข้อมูลจากขอบเขตที่กำหนด (Specification) ที่ระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงานที่ดำเนินการผลิตและจะต้องควบคุม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขึ้นตอนใดขึ้นตอนหนึ่ง โดยการตรวจวัดคุณภาพของชิ้นงาน ซึ่งในการวัดข้อมูลอาจจะอยู่ในลักษณะ 2 แบบ คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัด (Variable Data) และข้อมูลที่ได้จากการนับ (Attribute Data) จากนั้นเขียนบันทึกลงในแผนภูมินั้นๆ ซึ่งโดยปกติจะมีเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นขอบเขตกลาง คือ เส้นที่แสดงขนาดหรือจำนวนที่เป็นข้อกำหนดหรือเป้าหมายในการผลิต เส้นขอบเขตควบคุมบน และเส้นขอบเขตควบคุมล่าง เป็นค่าที่อนุญาตให้มีความคลาดเคลื่อนในการผลิตเกิดขึ้นได้ และหากอยู่ในขอบเขตนี้ก็ถือว่าผลการผลิตยอมรับได้ แต่หากว่าค่าที่ได้อยู่นอกเหนือขอบเขตควบคุม (ไม่ว่าในทางมากกว่าหรือต่ำกว่า) ถือว่าการผลิตในขณะนั้นยอมรับไม่ได้ จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องโดยทันที โดยธรรมชาติของกระบวนการผลิตทั้งหลายย่อมมีความผันแปร (Variation) เกิดขึ้นกับชิ้นงานหรือผลผลิตได้โดยความผันแปรบางชนิดเป็นเรื่องปกติและอนุญาต หรือยอมให้เกิดขึ้นได้ในการผลิต โดยไม่ก่อความเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่ความผันแปรบางชนิดมีผลกระทบมากและมีผลเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพราะทำให้ขนาดของชิ้นงาน หรือ คุณสมบัติบางประการผิดไปจากมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นการเข้าใจในสาเหตุแห่งความผันแปรจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยสาเหตุความผันแปรต่างๆ มีผลมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ชนิด คือ สาเหตุที่เป็นปกติวิสัย หรือเป็นธรรมชาติของการผลิต (Chance Cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่ไม่มีความรุนแรงและไม่มีผลต่อคุณภาพของสินค้า ที่ผลิตได้เกิดจากความผันแปรหรือความแตกต่างเล็กๆ น้อยๆ ของวัตถุดิบและปัจจัยการผลิตต่างๆ ซึ่งแน่นอนว่าไม่มีของสองสิ่งๆ ที่เหมือนกันทุกประการวัตถุดิบ 100 ชิ้น ที่มีขนาดตรงกันตามข้อกำหนดทั้ง 100 ชิ้น ก็จะมีขนาดแต่ละชิ้นที่แตกต่างกันออกไป เพียงแต่ว่าความแตกต่างเหล่านั้นอยู่ในพิสัยที่ขอบเขตข้อกำหนดได้อนุญาตเอาไว้แล้วในค่าพิสัยความเผื่อ (Tolerance) ของชิ้นงาน

ฉะนั้นความผันแปรในคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสาเหตุที่เป็นปกติวิสัยของการผลิตจึงเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ในการควบคุมคุณภาพด้วยแผนภูมินี้ นั่นคือ กระบวนการผลิตที่เขียนแสดง

ด้วยแผนภูมิควบคุมแล้ว ไม่มีจุดใดจุดหนึ่งอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม (The Process is In Control) สาเหตุที่ระบุได้หรือสาเหตุที่กำจัดได้ (Assignable Cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่เกิดจากความผิดพลาด ความผิดปกติ ความชำรุด ความไม่ได้เกณฑ์ ฯลฯ ของปัจจัยการผลิตต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และไม่ใช่เป็นปกติวิสัยหรือธรรมชาติของการผลิตนั้นๆ จำเป็นจะต้องได้รับการกำจัดหรือแก้ไขจึงจะทำให้คุณภาพของงานผลิตกลับเข้าสู่สภาวะปกติอีกครั้งได้



รูปที่ 2.9 แสดงรูปแผนภูมิควบคุม Control Chart

ในแผนภูมิควบคุมเมื่อมีจุด (ซึ่งเขียนจากการเก็บข้อมูลและวัดค่าชิ้นงานตัวอย่างจากการผลิต) ปรากฏว่าอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุมย่อย แสดงได้ว่าเกิดมีสาเหตุที่ระบุได้เกิดขึ้นมาในกระบวนการผลิตนั้นแล้ว และเรียกสภาวะผลิตนั้นว่ากระบวนการผลิตอยู่นอกควบคุม (The process is out of control)

- 1) จุดมุ่งหมายที่ใช้เทคนิคของแผนภูมิควบคุม มีดังนี้
  1. เพื่อหาเป้าหมาย หรือมาตรฐานของการผลิต
  2. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบว่าการผลิตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่
  3. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือเพื่อให้ได้เป้าหมายที่วางแผนล่วงหน้าไว้แล้ว

การนำแผนภูมิควบคุมมาใช้ในงาน ก่อนอื่นจำเป็นต้องเข้าใจลักษณะของเส้นควบคุมเสียก่อนคือเส้นควบคุมข้อกำหนด (Specification Limit) หมายถึง ค่าขอบเขตข้อกำหนดของสินค้าหรือชิ้นงานที่โรงงาน เป็นผู้กำหนดขึ้น ทั้งนี้เส้นควบคุมข้อกำหนดขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ออกแบบ

ว่าต้องการเสี่ยงหรือความปลอดภัย (Safety Factor) ไว้ที่ระดับเท่าใด เส้นควบคุมขีดความสามารถ (Process Capability limit) หมายถึง ค่าขอบเขตความสามารถจริงของกระบวนการ โดยทั่วไปคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของประชากร หรือคำนวณจากกลุ่มตัวอย่างที่จำนวนมาก เส้นควบคุมขีดความสามารถมีขนาดความกว้างเท่ากับค่าห่างจากค่าเฉลี่ยของประชากร  $\pm 3\sigma$  และกำหนดเส้นขอบเขตควบคุมสำหรับเป็นสัญญาณเตือนว่าการผลิตเริ่มออกจากการควบคุมหรือยัง กำหนดในช่วงค่าเฉลี่ย  $\pm 2\sigma$

การใช้แผนภูมิควบคุมในกระบวนการผลิตควรมีเทคนิคต่อไปนี้ เลือกบริเวณที่จะควบคุมก่อน คือปัญหาอะไรที่จะต้องทำและเรามีจุดมุ่งหมายอะไร จากการตัดสินใจในปัญหาทำให้ทราบทันทีอย่างชัดเจนว่า ต้องการข้อมูลอะไรพิจารณาการใช้ แผนภูมิควบคุมแบบไหน อาจจะเป็นแผนภูมิแบบ  $\bar{X}$  - R,  $\bar{X}$ , pn, p, c หรือ u chart ก็ได้ขึ้นอยู่กับโรงงานและผลิตภัณฑ์แต่ละแห่ง ทำแผนภูมิควบคุม สำหรับการวิเคราะห์เก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่เหมาะสมแล้วใช้ข้อมูลที่ผ่านมาทำแผนภูมิ ถ้ามีจุดใดๆ ผิดปกติต้องทำการค้นหาเหตุผลที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนไปทันที แล้วทำการแก้ไขสร้างแผนภูมิควบคุมสำหรับการควบคุมในโรงงาน หากว่าต้นเหตุที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยน ขจัดหมดสิ้นแล้ว และกระบวนการผลิตก็คงที่ ให้พิจารณาอีกครั้งว่าผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้หรือไม่ หลังจากนั้นถ้าทุกอย่างเรียบร้อยก็ให้สรุปผลทั้งหมด เพื่อทำมาตรฐานวิธีการทำงาน (Standardize Working Procedure) หรือ อาจจะมีการปรับปรุงให้ดีขึ้น ถ้าจำเป็นต่อเส้นควบคุมของแผนภูมิ จากนั้นพล็อตข้อมูลที่ถูกรวบรวมได้ในแต่ละวัน ก่อนไปควบคุมกระบวนการผลิต ถ้าการทำงานของคนงานและวิธีการผลิตเป็นแบบมาตรฐานแล้ว แผนภูมิควบคุมจะชี้แสดงออกให้เห็นว่าสถานะที่โรงงานอยู่ภายใต้การควบคุมที่ดีหรือไม่ แต่ถ้าปรากฏว่าสิ่งที่ผิดปกติเกิดขึ้น ต้องการค้นหาสาเหตุทันที แล้วแก้ไขให้ถูกต้องเสีย คำนวณเส้นควบคุมใหม่ ถ้าเครื่องจักรหรือมาตรฐานการทำงานเปลี่ยนแปลง เส้นควบคุมต้องนำมาคำนวณใหม่ ถ้าการควบคุมของกระบวนการผลิตในโรงงานยังดีตลอด ระดับคุณภาพที่แสดงบนแผนภูมิจะปรับดีขึ้นด้วย ในกรณีเช่นนี้ให้สังเกตแผนภูมิควบคุมเป็นระยะ ในการคำนวณเส้นควบคุมให้สังเกตถัดไปนี้ ข้อมูลที่จุดผิดปกติซึ่งค้นพบสาเหตุหรือไม่มีการแก้ไข ควรจะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่ ข้อมูลที่จุดผิดปกติแต่ไม่พบสาเหตุหรือไม่มีการแก้ไข ควรจะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่

2) วิธีการอ่านแผนภูมิควบคุม สิ่งที่สำคัญที่สุดของการควบคุมคุณภาพโดยใช้แผนภูมิ คือ การอ่านหรือตีความหมายจากภาพที่ปรากฏบนแผนภูมิ เพื่อโยงเหตุผลไปที่สถานะของกระบวนการผลิตซึ่งได้ผลิตข้อมูลที่เราได้นำมาเขียนเป็นแผนภูมิควบคุมเพราะอาการผิดปกติต่างๆ ในกระบวนการผลิตที่จะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ จะแสดงออกให้ป็นรูปธรรมที่แผนภูมิควบคุมนี้เอง และเมื่อเราตรวจพบความผิดปกติของกระบวนการผลิตโดยอ่านจากแผนภูมิควบคุมนี้

แล้ว เราได้ไปทำการแก้ไขที่สาเหตุของความผันแปรใดๆ ในกระบวนการผลิตนั้น เพื่อปรับสภาพ  
 ะการผลิดให้กลับสู่สภาวะที่อยู่ในควบคุม (In controlled) ได้ต่อไป

3) ข้อแนะนำเกี่ยวกับ 6 ลักษณะอาการสำคัญ เพื่อการอ่านแผนภูมิควบคุมอยู่นอก  
 การควบคุมพบได้ชัดเจน

1. การออกนอกการควบคุม คือ มีจุดในแผนภูมิปรากฏอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุม  
 เรียกว่า จุดอยู่นอกควบคุม (Out of control) อาจอยู่นอกค่าสูงหรือค่าต่ำก็ได้

2. การรัน (Run) เมื่อปรากฏติดต่อกันบนนซีกใดซีกหนึ่งของเส้นค่ากลาง เราเรียกว่า  
 เกิดรัน ความยาวของรันแต่ละชุดนับจากจำนวนจุดในชุดนั้น และรันที่มีความยาวตั้งแต่ 7 จุดขึ้นไป  
 เราตีความได้ว่า ได้เกิดความผิดปกติขึ้นแล้วในการผลิตช่วงที่เกิดรันนั้น

3. การเกิดแนวโน้ม การมีจุดต่อเนื่องกันไปในทิศทางเดียวกันอย่างต่อเนื่องโดยไม่  
 มีการสลับฟันปลาเลยมีผลทำให้เส้นต่อจุดเหล่านั้นคล้ายๆ เส้นตรงพาดขึ้นหรือพาดลงเช่นนี้เรา  
 เรียกว่า มีการเกิดแนวโน้ม (Trend) ในแผนภูมิควบคุม แนวโน้มที่ว่านี้คือแนวโน้มที่กำลังบอกเรา  
 ว่าค่าเฉลี่ยของขนาดควบคุมที่ผลิตได้จากกระบวนการผลิตนั้น กำลังมีปัญหาหรือมีแนวโน้มจะ  
 เคลื่อนไปจากขนาดกำหนดที่ได้ตั้งเอาไว้แต่แรก

4. การเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขตควบคุม หากเราแบ่งระยะ 3 ซิกมา ( $3\sigma$ ) จาก  
 เส้นค่ากลางออกเป็นเส้น  $2\sigma$  แล้ว พบว่ามีจุด 2 จุดใน 3 จุด ที่ต่อเนื่องกันในแต่ละช่วงได้ตกไปอยู่  
 ในพื้นที่ระหว่างเส้น  $2\sigma$  กับเส้นขอบเขตควบคุม ( $3\sigma$ ) ถือได้ว่าเกิดการเข้าใกล้เส้นขอบเขต  
 ควบคุม (Approach to the control limits) และเป็นการบอกถึงความผิดปกติขึ้นในกระบวนการ  
 ผลิตแล้ว

5. การเกิดการเข้าใกล้ค่ากลาง หากพบว่าเส้นกราฟทั้งหมดตกอยู่ในระหว่างเส้น  
 $1.5\sigma$  นับจากเส้นค่ากลางขึ้นไปและลงมาแล้ว ไม่ได้หมายความว่ากระบวนการผลิตนั้นอยู่ใน  
 ควบคุม แต่กลับแสดงว่าคงจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ในการกำหนดขนาดของกลุ่มย่อย ข้อมูลอาจ  
 มีการปะปนกันของข้อมูลที่นำมาจากต่างประชากรกัน และเกิดการปะปนกัน

6. การเกิดวัฏจักร มีลักษณะคือ ค่าในเส้นกราฟจะเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ มีลักษณะ  
 เป็นวงจรรวรอบ หรือ วัฏจักรที่เกือบจะทำนายลักษณะเส้นกราฟในช่วงต่อๆ ไปได้ ลักษณะเช่นนี้  
 เรียกว่า เกิดวัฏจักร (Periodicity)

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐเจตน์ เกษกมล (2550) ได้ประยุกต์ใช้ซิกซิกม่าเพื่อลดจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์และยางเครื่องบิน โดยได้ดำเนินการตามหลัก DMAIC ทั้ง 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากจัดตั้งทีมงานและศึกษากระบวนการผลิตในปัจจุบันด้วยการเขียนแผนภาพกระบวนการและได้ประเมินสภาพปัญหาพร้อมจัดลำดับความสำคัญของปัญหาด้วยการใช้พารेटโต และมีการประเมินระบบการตรวจวัดด้วย Gauge R&R (Repeatability and Reproducibility) กับพนักงานตรวจวัด โดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยสนับสนุน จากนั้นได้ใช้ FMEA ในการวิเคราะห์ถึงความเสี่ยงและผลกระทบ และใช้พารेटโตจัดลำดับค่า RPN และได้ใช้โปรแกรม Minitab หาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ และวิเคราะห์ความแปรปรวนของกระบวนการผลิต จากนั้นได้ออกแบบการทดลอง (DOE) โดยใช้แฟกทอเรียลแบบ  $2^k$  ( $2^k$  Factorial Design of Experiment) และใช้ Minitab วิเคราะห์ผลการทดลอง แล้วทำการปรับปรุงตามผลการทดลอง จนสามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องจาก 0.122% เป็น 0.047% หรือคิดเป็นอัตราความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการปรับปรุงเป็น 61.50% และจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่องต่อหนึ่งล้านลดลงจาก 1,220 DPMO เป็น 470 DPMO

วรรณมา ทองสุข (2551) ได้ศึกษาและปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตชุดประกอบสายไฟ ในบริษัทประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้หลักตามแนวทางของซิกซิกม่า โดยเริ่มตั้งแต่ศึกษาโครงสร้างแผนผังการบริหารงานของบริษัทและหน้าที่รับผิดชอบของแต่ละสายงาน และได้ใช้ผังการไหลของกระบวนการผลิต (Process Flow) ในการอธิบายขั้นตอนการผลิต จากนั้นสำรวจสภาพปัญหาปัจจุบันและได้ใช้แผนภูมิพารेटโตในการจัดเรียงลำดับความสำคัญของปัญหา และมีการประเมินและวิเคราะห์ระบบการวัดด้วยระบบ MSA (Measurement System Analysis) เพื่อให้มีความน่าเชื่อถือในกระบวนการตรวจวัด จากนั้นออกแบบการทดลองโดยใช้แฟกทอเรียลสองระดับ ( $2^k$  Factorial Design of Experiment) และได้วิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ จากนั้นนำผลการทดลองไปทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดปัญหาโดยใช้เทคนิค Why Why Analysis แล้วดำเนินการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตามผลการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการทำงานในกระบวนการผลิตชุดประกอบสายไฟให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

วุฒิกูมิ เลิศปรีชากรม (2551) ได้ศึกษาเพื่อหาวิธีการควบคุมคุณภาพและลดปริมาณของเสียโดยวิธีซิกซิกม่า โดยมีการจัดตั้งเป็นทีมงานและใช้แนวทางการวิเคราะห์ DMAIC โดยเริ่มจากเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต และศึกษาขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียดเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลให้เกิดของเสีย โดยใช้แผนภูมิแก๊งปลา (Cause & Effect

Diagram) ด้วยการระดมสมอง (Brain Storming) ของสมาชิกในกลุ่ม จากนั้นนำปัจจัยนำเข้าทั้งหมดเรียงคะแนนโดยใช้แผนภูมิพารेट แล้วทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อความล้มเหลว (Failure Mode and Effect Analysis: FMEA) และมีการวิเคราะห์ด้วยการตรวจสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) โดยได้เลือกปัจจัยป้อนเข้าที่เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดของเสียที่มีอัตราความรุนแรงมากที่สุดจากการวิเคราะห์ด้วย FMEA จากนั้นทำการปรับปรุงตามผลการวิเคราะห์ และมีการควบคุมโดยใช้วิธีการตรวจสอบ (Audit) เป็นประจำทุกวัน และจัดทำเอกสารเพื่อระบุรายละเอียดของของเสีย หลังการปรับปรุงสัดส่วนของของเสียลดลงจาก 1.45 เปอร์เซ็นต์ เหลือ 0.6 เปอร์เซ็นต์

ศุภกฤต หวังสิทธิเดช (2552) ได้ศึกษาเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตแผงวงจรสำหรับปรับเพิ่มลดไฟแสดงผลบนหน้าปัดของรถยนต์ในโรงงานประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โดยดำเนินตามแนวทางซิกซิกม่า โดยเริ่มจากการจัดตั้งเป็นทีมงานและได้ศึกษากระบวนการทำงานโดยใช้แผนผังการไหลของกระบวนการผลิต (Process Flow) จากนั้นได้สำรวจสภาพปัญหาปัจจุบันและประเมินวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการตรวจวัดด้วยการทำ GR&R กับพนักงานตรวจวัด จากนั้นได้จัดเรียงลำดับความสำคัญของข้อบกพร่องด้วยพารेटแล้ววิเคราะห์ด้วยตารางแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) และได้ประเมินวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Analysis) ซึ่งได้ค่า Cpm เท่ากับ 1.08 ถือว่าต่ำกว่ามาตรฐานคือ มากกว่า 1.33 ขึ้นไป จากนั้นทำการวิเคราะห์ต่อด้วยการวิเคราะห์ข้อขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) โดยเรียงลำดับความสำคัญด้วยค่า RPN จากนั้นนำผลจากการวิเคราะห์ด้วย FMEA ไปออกแบบการทดลองโดยเริ่มจากการหาตัวแปรนำเข้าและกำหนดตัวแปรตอบสนอง แล้วใช้โปรแกรม Minitab ช่วยออกแบบการทดลองและทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ จากนั้นใช้โปรแกรม Minitab ช่วยวิเคราะห์ผลการทดลองอีกทีหนึ่งจนได้ค่าพารามิเตอร์ใหม่ที่ที่ดีที่สุด และนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปใช้ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงแทนพารามิเตอร์เดิมและประเมินความสามารถของกระบวนการอีกครั้ง หลังปรับปรุงพบว่าค่า Cpm เพิ่มขึ้นมากกว่ามาตรฐานอยู่ที่ 1.94 และปริมาณข้อบกพร่องก็ลดลง จากนั้นได้มีแผนการควบคุมโดยใช้แผนภูมิ X-bar Chart ในการติดตามควบคุมกระบวนการผลิตต่อไป

สมอุษา วรรณฤม (2547) ได้ศึกษาถึงวิธีการลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องในอุตสาหกรรมผลิตฮาร์ดดิสก์โดยใช้แนวทาง DMAIC ของซิกซิกม่า โดยเริ่มศึกษาถึงสภาพปัญหาปัจจุบันซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์บกพร่องอยู่ที่ 2.83% จากนั้นได้ค้นหาตัวแปรที่อาจเกิดผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์โดยระดมสมองจากทีมงานและใช้เครื่องมือพื้นฐานทางสถิติมาช่วยวิเคราะห์อันประกอบด้วย แผนผังกระบวนการ (Process Mapping) แผนผังเหตุและผล Cause and Effect Diagram) ตารางเมตริกซ์เหตุและผล (Cause and Effect Matrix) แผนภูมิพารेट (Pareto Chart)



ตารางวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบของกระบวนการ (FMAE) และแผนภูมิแสดงค่า RPN แล้วนำมาวิเคราะห์โดยทำการทดลองสมมติฐาน (Hypothesis Testing) เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติของสัดส่วนของเสียของแต่ละตัวแปรหลักและทำการปรับปรุง หลังการปรับปรุงค่า Cpk ของกระบวนการอยู่ที่ 2.32 และได้ติดตามผลหลังจากการปรับปรุงพบว่าสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องลดลงจาก 2.20% เป็น 0.66% และสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายจาก 29,874 ดอลลาร์ต่อเดือน

อรรถพล เถลิมพลประภา (2547) ได้ศึกษาถึงการปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์เพื่อเพิ่มผลผลิตให้ได้ตามความต้องการของลูกค้า โดยจัดตั้งเป็นทีมงานแล้วใช้เทคนิค DMAIC และใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ มาทำการวิเคราะห์ โดยมีศึกษาสภาพการทำงานปัจจุบันก่อน ศึกษาถึงขั้นตอนการไหลของกระบวนการและใช้เครื่องมือแผนภูมิแกงปลา และพาเรโตมาจัดลำดับของปัญหา ซึ่งพบการเกิดปัญหาคอขวดขึ้นที่กระบวนการอบชิ้นงาน เนื่องจากต้องอบชิ้นงานนานถึง 2 ชั่วโมง ทำให้การไหลของชิ้นงานของไม่สมดุล ส่งผลทำให้ผลผลิตไม่ได้ตามแผนที่วางไว้ และยังพบว่ายังมีบางกระบวนการที่มีต้นทุนสูงเนื่องจากใช้พนักงานจำนวนมากและไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม อีกทั้งเครื่องจักรในบางกระบวนการไม่ประสิทธิภาพ จึงได้ปรับปรุงและใช้เครื่องมือป้องกันการผิดพลาด (Poka Yoke / Mistake Proofing) และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เมื่อปรับปรุงแล้วสามารถลดเวลาการอบจาก 2 ชั่วโมง เป็น 30 นาที ทำให้ผลผลิตต่อชั่วโมงเพิ่มขึ้น 300% (จากเดิม 6,400 เป็น 25,600 ชิ้นต่อชั่วโมง) ทันตามความต้องการของลูกค้า จากนั้นได้มีการควบคุม (Control) โดยใช้ตารางควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการอบชิ้นงาน และใช้แผนภูมิควบคุมเพื่อให้ทราบปัญหาและสามารถแก้ไขได้ทันที่

อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว (2545) ได้ศึกษาถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกระป๋องเพื่อหาวิธีลดของเสียจากกระบวนการผลิตโดยใช้วิธีการซิกซิกม่า ทั้ง 5 ขั้นตอน คือ Define, Measure, Analysis, Improve and Control Phase และได้วัดความสามารถของกระบวนการผลิต Process Capability (Cpk) ไว้ก่อน ซึ่งพบว่าค่า Cpk อยู่ที่ 1.26 ถือว่ามีความแปรปรวนในกระบวนการผลิตอยู่ และได้ใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ ในการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ เช่น วิเคราะห์การไหลของกระบวนการผลิต วิเคราะห์หาสาเหตุด้วยผังเหตุและผล หรือแผนภูมิแกงปลา (Fishbone Diagrams) วิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode & Effect Analysis: FMEA) จนสามารถรู้ถึงต้นเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตกระป๋อง อันได้แก่ ผงกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอ การขีดข่วนระหว่างกระบวนการผลิต การสะดุดของเครื่องตัดแผ่นเหล็ก และการขีดข่วนระหว่างตัดแผ่นเหล็ก และได้นำปัญหาดังกล่าวไปปรับปรุงแก้ไขจนสามารถลดปริมาณของเสียลงได้ตามเป้าหมายและวัดอัตราส่วนของของเสียอยู่ที่ปริมาณ 2,849 DPM

## บทที่ 3

### สำรวจและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

#### 3.1 บทนำ

ขั้นตอนการสำรวจและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำไปวิเคราะห์และกำหนดปัญหาที่จะกล่าวถึงในบทนี้ ถือเป็นขั้นตอนแรกที่จะนำไปสู่การกำหนดจุดเริ่มต้นและทิศทางของการวิจัยตามวิธีการทางซิกซิกม่า (Six Sigma) เพื่อใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดจำนวนข้อบกพร่อง (Defect) ของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตสำหรับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวม (Print Circuit Board Assemblies) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมเครื่องบิน โดยมีรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังนี้

#### 3.2 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน

ในการกำหนดทีมงานดำเนินงานได้คัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญในส่วน of กระบวนการที่เลือกทำการปรับปรุงเพื่อช่วยในการสนับสนุนการทดลองและระดมความคิดด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการดำเนินงาน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายซึ่งทีมงานดำเนินงานประกอบไปด้วยบุคคลที่มาจากส่วนต่างๆ ดังนี้

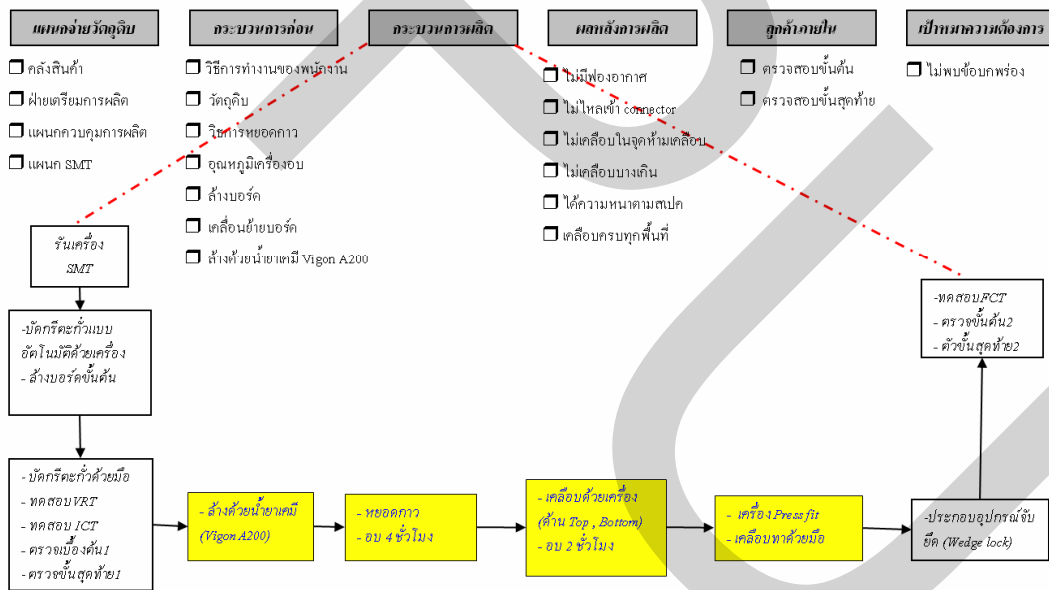
##### 3.2.1 ทีมงานในการดำเนินงาน

1. ผู้จัดการฝ่ายวิศวกร (Manufacturing Engineering Manager)
2. วิศวกรฝ่ายควบคุมการผลิต (Process Engineer): ผู้ดำเนินการวิจัย
3. วิศวกรฝ่ายทดสอบผลิตภัณฑ์ (Test Engineer)
4. วิศวกรฝ่ายประกันคุณภาพ (Quality Engineer)
5. หัวหน้าฝ่ายผลิต (Production Supervisor)
6. หัวหน้าพนักงานฝ่ายผลิต (Production Lead Operator)
7. ผู้ดูแลทางด้านเวลามาตรฐานให้ลูกค้า ฝ่ายวิศวกร (Engineer Administrator)
8. ช่างเทคนิคฝ่ายดูแลเครื่องจักร (Technicians)

### 3.3 การศึกษาภาพรวมขององค์กร

เพื่อเป็นการกำหนดปัญหา (Problem Statement) ที่ต้องการทำการศึกษาและปรับปรุงแก้ไข ทีมได้ทำการศึกษาในส่วนที่มีผลกระทบต่อลูกค้าและทางด้านคุณภาพ ซึ่งเป็นขั้นตอนกำหนดกระบวนการ กำหนดปัจจัยสำคัญในการวัด การวิเคราะห์ การปรับปรุง และการควบคุม โดยมีเทคนิคหลักๆ คือ การใช้แผนผังกระบวนการแบบมหภาค (Marco Process Map) จุดประสงค์เพื่อให้เข้าใจภาพรวมกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อปัญหาที่จะทำการแก้ไข และขอบเขตของกระบวนการ แสดงกิจกรรมจากสายงานต่างๆ ที่ประสานรวมกันเป็นแผนผังเดียวกัน ในรูปที่เข้าใจง่าย และเครื่องมือที่พิจารณาและสามารถใช้ได้คือ SIPOC + R diagrams ซึ่งเป็น Top Down Flow Chart แบบหนึ่ง ดังแสดงตามรูปที่ 3.1

#### Macro Process (SIPOC Diagram)

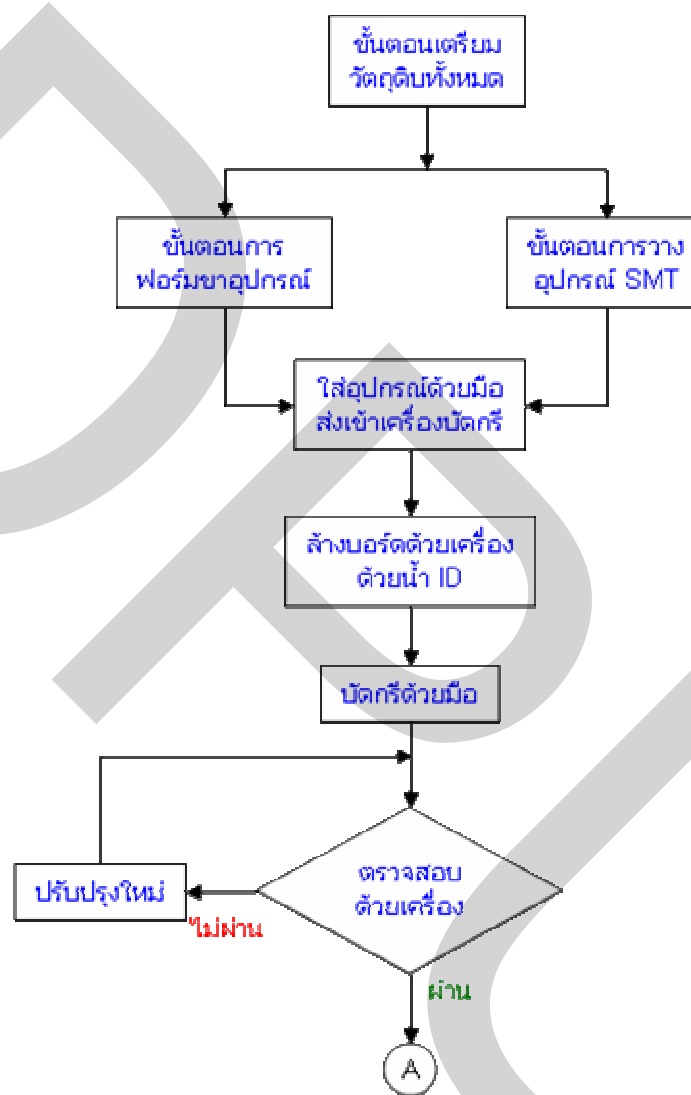


รูปที่ 3.1 แสดงภาพรวมว่าปัญหาอยู่ในส่วนของกระบวนการผลิต

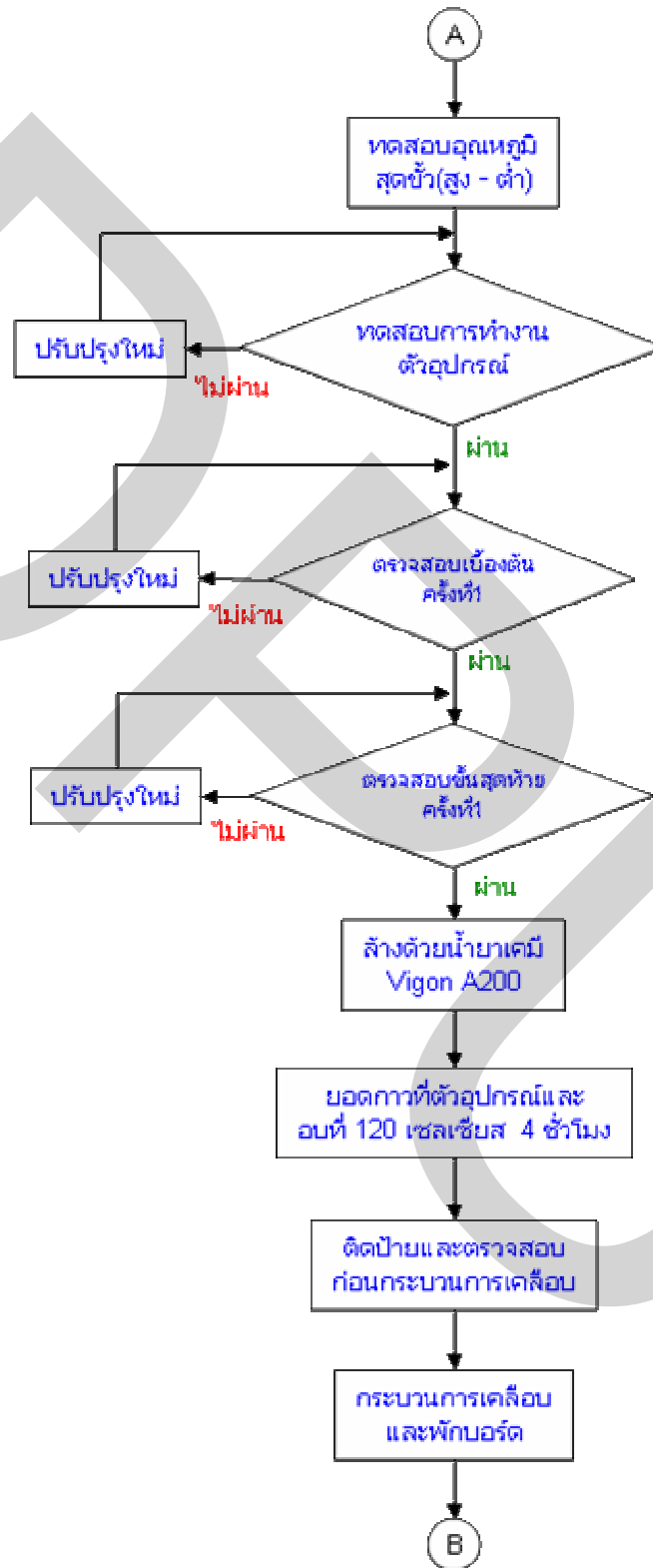
### 3.4 การศึกษากระบวนการผลิต

3.4.1 กระบวนการผลิตประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวม (PCBA) ของผลิตภัณฑ์รุ่น “XX E17XXXACC” การทดสอบแผงวงจร การสุ่มตรวจสอบในขั้นตอนสุดท้ายและการบรรจุ สามารถอธิบายด้วยแผนภูมิแสดงกระบวนการ (Process Flow Diagram) ดังในรูปที่ 3.2

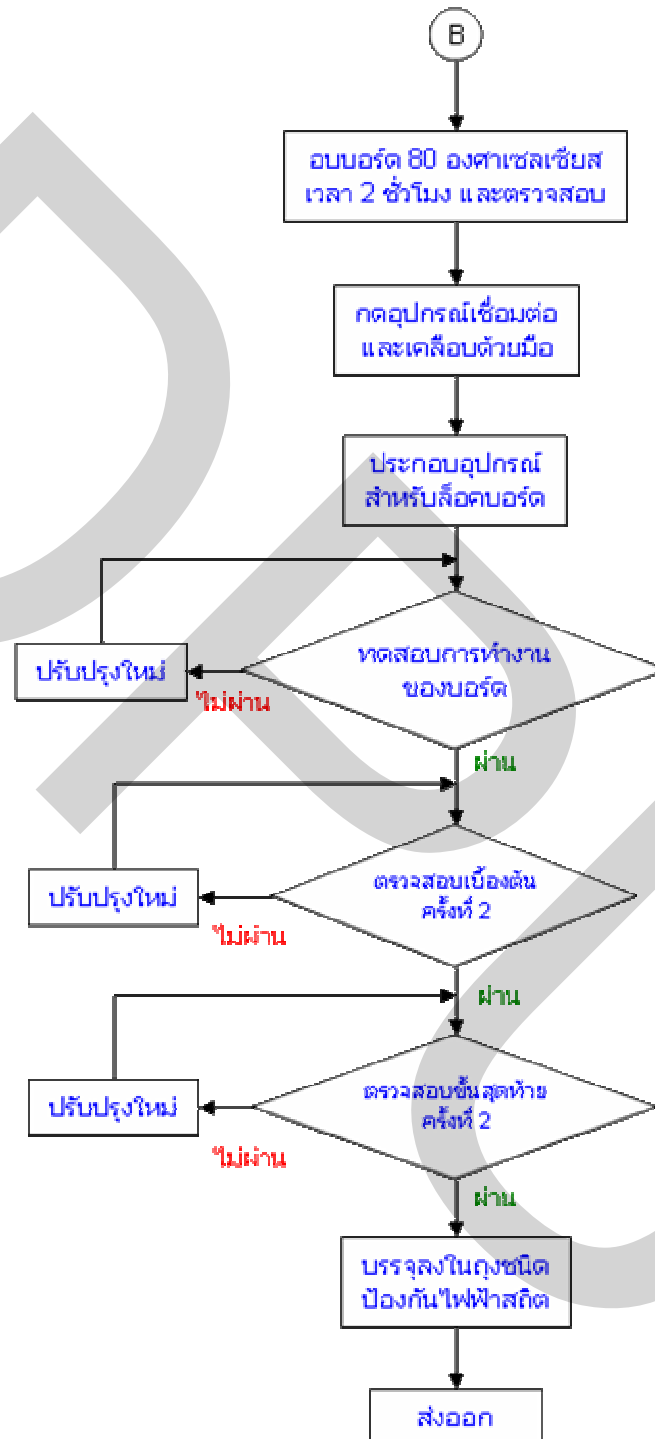
กระบวนการไหลของการผลิตรุ่น XXE17XXXACC



รูปที่ 3.2 แสดงแผนภูมิแสดงกระบวนการผลิตประกอบแผงวงจรโดยรวมสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น “XXE17XXXACC”

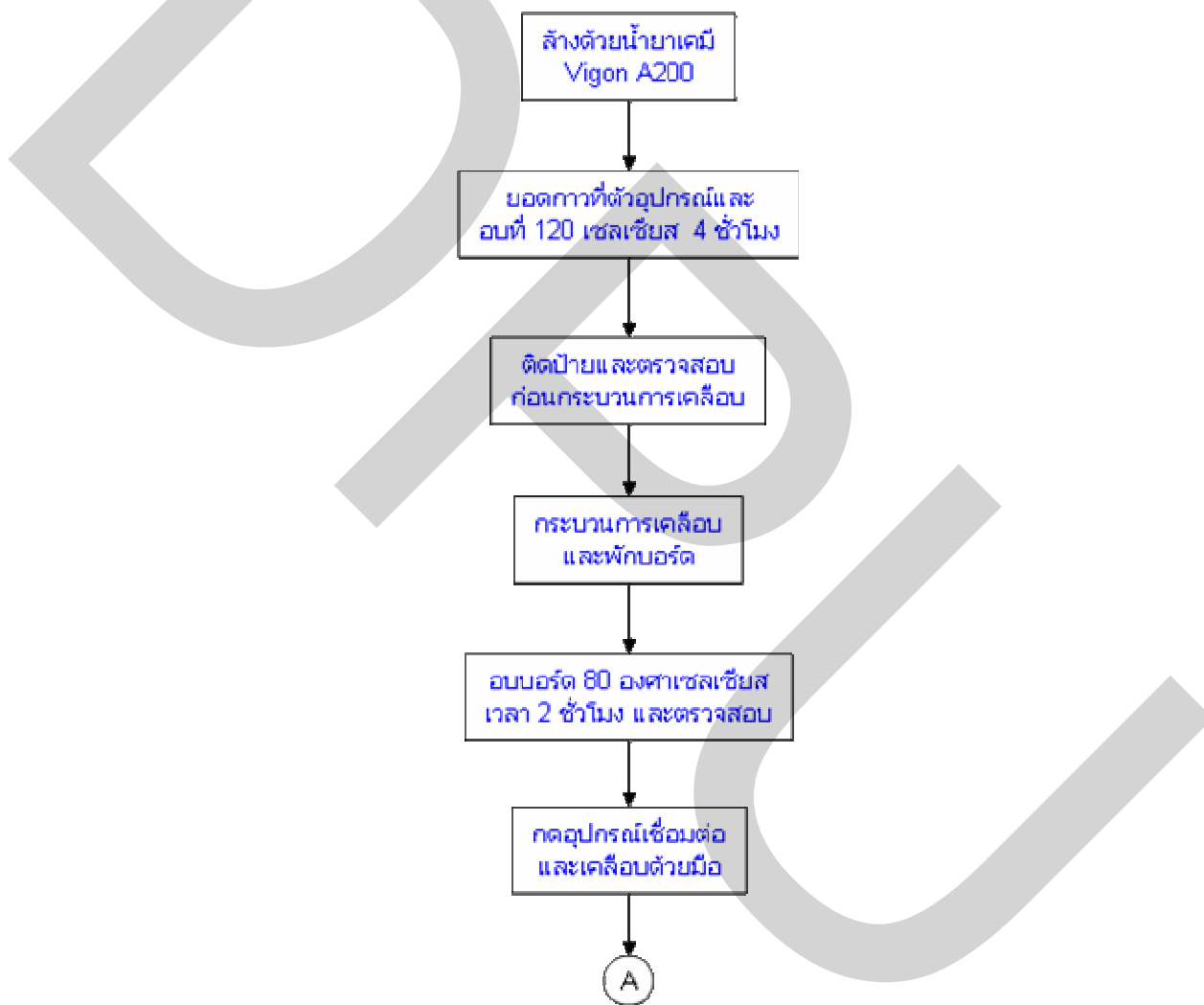


รูปที่ 3.2 (ต่อ)

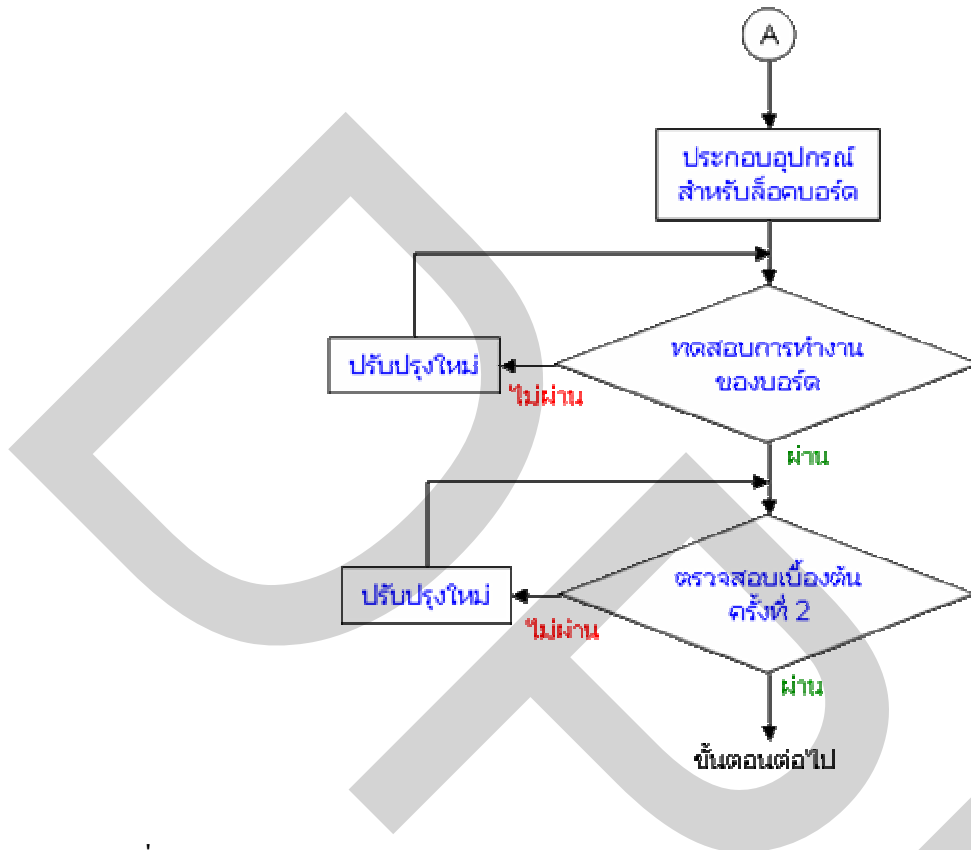


รูปที่ 3.2 (ต่อ)

3.4.2 กระบวนการผลิตประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวม (PCBA) ในขั้นตอนการเคลือบน้ำยาเคมีอะคริลิก (Acrylic Coating) และขั้นตอนที่เกี่ยวข้องเนื่องกันสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่น “XXE17XXXACC” สามารถอธิบายด้วยแผนภูมิแสดงกระบวนการ (Process Flow) ดังในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงแผนภูมิแสดงกระบวนการผลิตประกอบแผงวงจรในขั้นตอนการเคลือบอะคริลิกและขั้นตอนที่เกี่ยวข้องเนื่องกันของผลิตภัณฑ์รุ่น “XXE17XXXACC”



รูปที่ 3.3 (ต่อ)

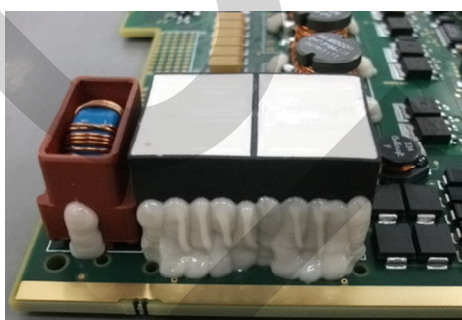
3.4.2.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดด้วยเครื่องล้าง (Cleaning Machine) ซึ่งมีน้ำยาเคมีชื่อ Vigon A200 เป็นส่วนผสมในเครื่องล้างสำหรับล้างผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3.4 แสดงเครื่องล้างด้วยน้ำยาเคมีชื่อ Vigon A200 และเป่าให้แห้งด้วย Ionizer air gun



3.4.2.2 ขั้นตอนการหยอดกาวและอบ (Applied Ruggedize and Baking) หลังจากผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดด้วยเครื่องล้างที่ใช้ น้ำยาเคมีชื่อ VigonA200 แล้ว จากนั้นจะนำผลิตภัณฑ์ไปหยอดกาวชื่อ Ruggedize ตามที่ลูกค้ากำหนดมาให้และอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่เวลา 4 ชั่วโมง ตามเอกสารระบุ



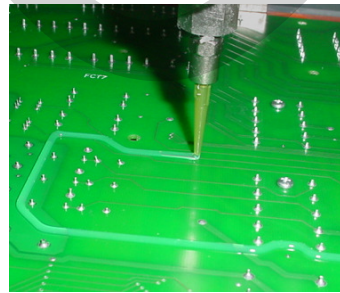
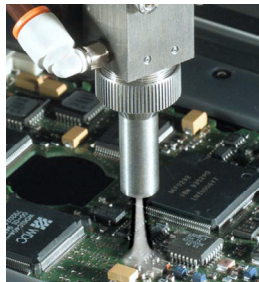
รูปที่ 3.5 แสดงการหยอดกาว Ruggedize

3.4.2.3 ขั้นตอนติดป้ายฉลากบนผลิตภัณฑ์และตรวจเช็คก่อนนำเข้ากระบวนการเคลือบอะคริลิก (Acrylic Coating)

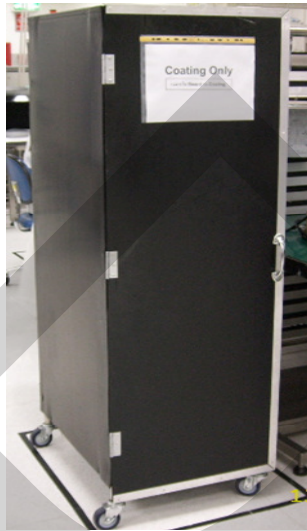
3.4.2.4 ขั้นตอนการเคลือบด้วยเครื่อง ตัวเครื่องจะทำการเคลือบแบบพ่น ตามโปรแกรมที่สร้างและป้อนให้ เช่น ใช้หัวพ่นไหน ความเร็วพ่น ระยะห่างพ่น จำนวนรอบพ่น เป็นต้น จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่เคลือบแล้วมาวางไว้ในตู้ที่ปิดเพื่อป้องกันฝุ่นเกาะขณะยังเปียกและให้น้ำยาเคมีแห้งก่อนส่งไปยังขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะเครื่องเคลือบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Auto Coating Machine)



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะการเคลือบด้วยเครื่องเคลือบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Auto Coating Machine)



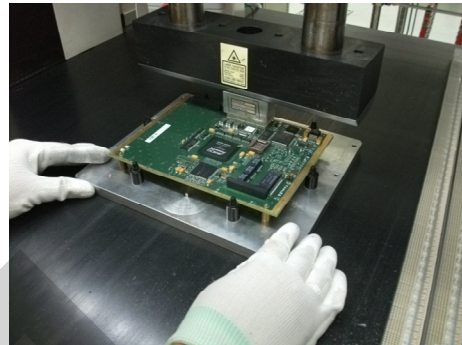
รูปที่ 3.8 แสดงการเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ในตู้ปิดป้องกันฝุ่น

3.4.2.5 ขั้นตอนการอบหลังผ่านการเคลือบแล้ว โดยใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และใช้เวลาอบ 2 ชั่วโมง แล้วตรวจเช็คก่อนส่งไปยังขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.9 แสดงการอบผลิตภัณฑ์ในตู้อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่เวลา 2 ชั่วโมง

3.4.2.6 ขั้นตอนการกดอุปกรณ์เชื่อมต่อประเภทอัดแน่น (Press fit connector) ลงบนผลิตภัณฑ์ ด้วยเครื่องรุ่น MEP-12T และตรวจเช็คก่อนส่งต่อขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 3.10 แสดงการกดอุปกรณ์เชื่อมต่อประเภทอัดแน่น (Press fit connector)

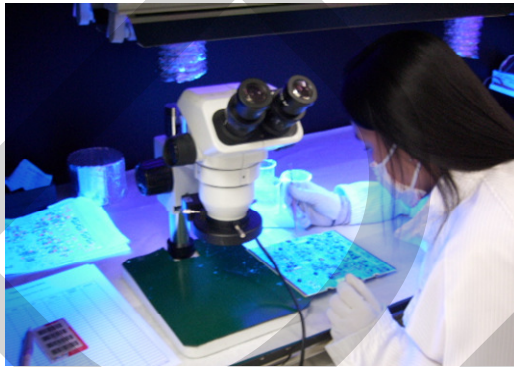
3.4.2.7 ขั้นตอนการประกอบหมุดและอุปกรณ์จับยึด หรือชื่อเรียกในกระบวนการผลิตว่า “Rivet and wedge lock”

3.4.2.8 ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของผลิตภัณฑ์ (Functional Circuit Test)



รูปที่ 3.11 แสดงการทดสอบการทำงานของผลิตภัณฑ์ (Functional Circuit Test)

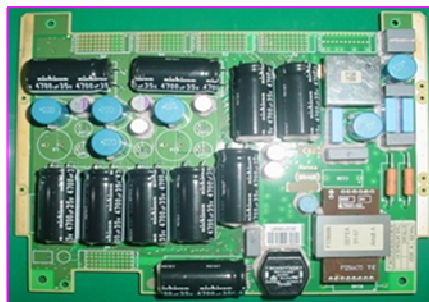
### 3.4.2.9 ขั้นตอนการตรวจเช็คเบื้องต้น ก่อนตรวจขั้นสุดท้าย (Pre-FQA)



รูปที่ 3.12 แสดงผู้ตรวจสอบเช็คก่อนขั้นตอนผู้ตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Pre-Final quality Audit)

### 3.5 สภาพปัญหาในปัจจุบัน

เนื่องจากมีข้อร้องเรียนจากแผนกตรวจสอบคุณภาพขั้นสุดท้าย (Final inspection) ว่าพบระดับของเสียที่เกิดจากขั้นตอนการเคลือบน้ำยาเคมี (Conformal Coating Process) เป็นจำนวนมาก อีกทั้งมีลูกค้าร้องเรียนกลับมาว่าพบของเสียที่เกิดจากขั้นตอนการเคลือบน้ำยาเคมีที่ไม่สมบูรณ์หรือเคลือบไม่เต็มพื้นที่ของบอร์ดตามที่กำหนดให้ และมีน้ำยาเคมีไหลเข้าในส่วนที่ไม่ต้องการให้เคลือบ ดังตัวอย่างรูปภาพของเสียที่พบในขั้นตอนการเคลือบน้ำยาเคมีต่อไปนี้



Before coating



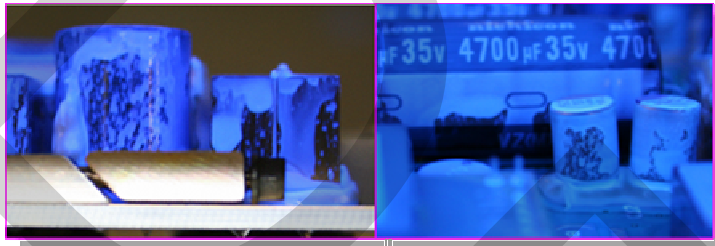
After coating

รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างบอร์ดก่อนเคลือบและหลังเคลือบน้ำยาเคมีอะคริลิก

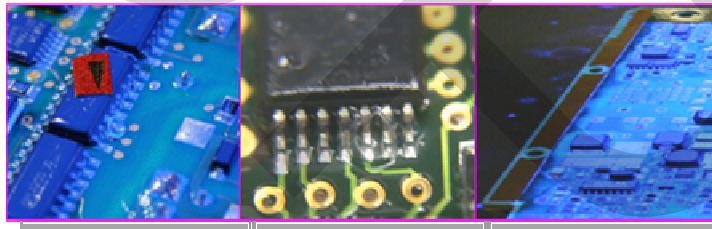
น้ำยาเคมีเข้าคอนเนคเตอร์



เคลือบไม่เต็มพื้นที่

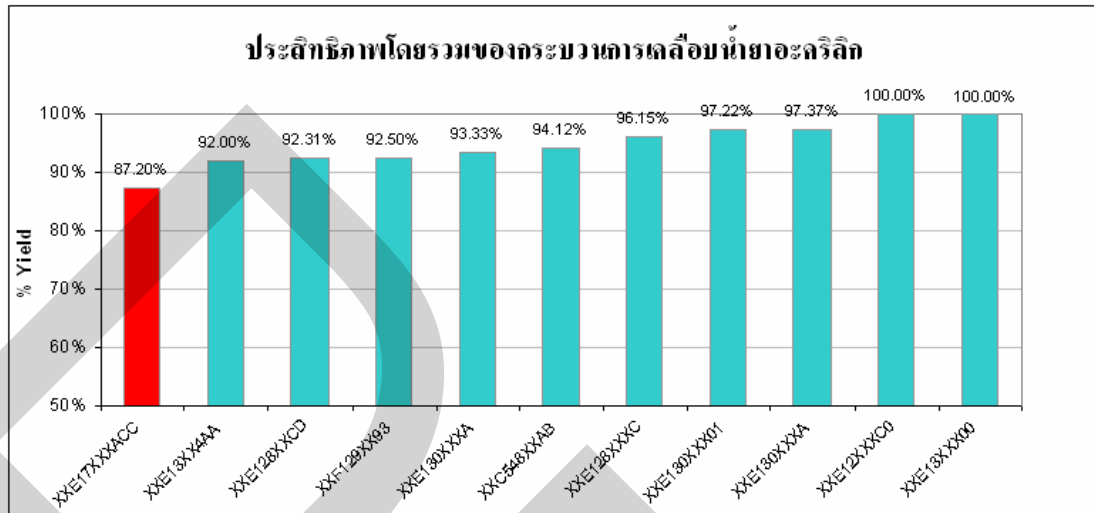


มีฟองอากาศ



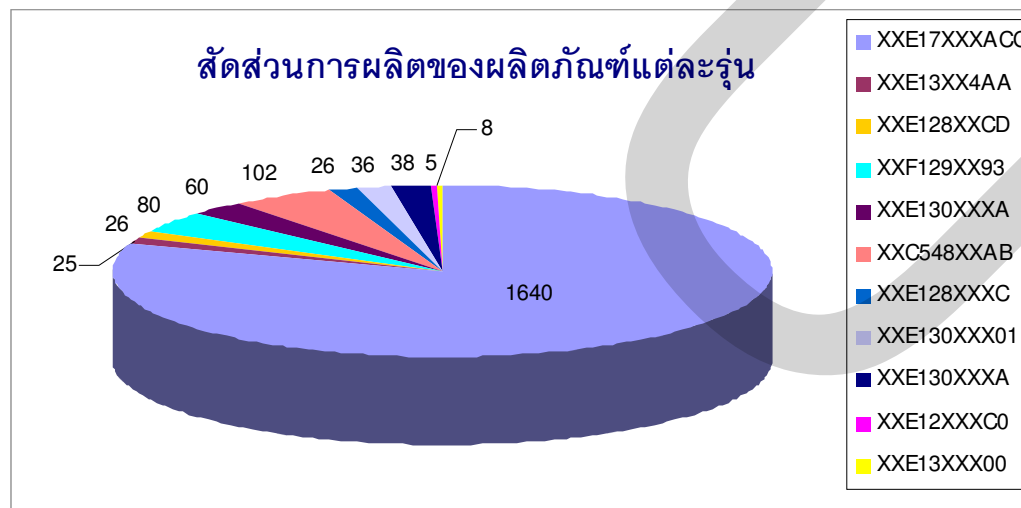
รูปที่ 3.14 แสดงตัวอย่างข้อบกพร่อง (Defect) ที่เกิดในขั้นตอนการเคลือบน้ำยาเคมีอะคริลิก

จากประวัติประสิทธิภาพโดยรวมจากทางแผนกตรวจสอบคุณภาพสุดท้ายจากฝ่ายประกันคุณภาพย้อนหลัง 6 เดือน (กุมภาพันธ์ – กรกฎาคม 2553) แสดงให้เห็นว่ากระบวนการเคลือบน้ำยาเคมีอะคริลิกสำหรับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวม ของผลิตภัณฑ์รุ่น XXE17XXXACC มีประสิทธิภาพโดยรวมค่อนข้างต่ำ ซึ่งผลิตภัณฑ์รุ่น XXE17XXXACC เป็นรุ่นที่มียอดการผลิตต่อเนื่องและสูงมากกว่ารุ่นอื่นๆ



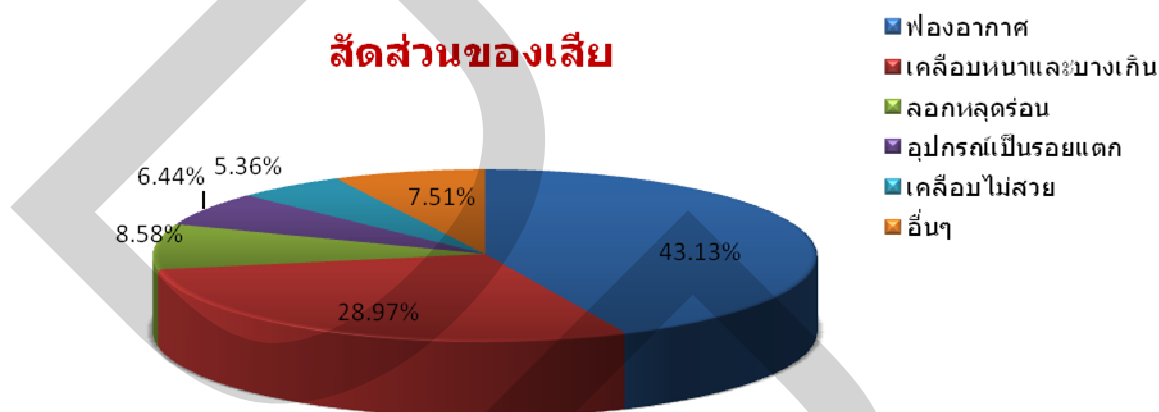
รูปที่ 3.15 แผนภาพแสดงประสิทธิภาพโดยรวม ในกระบวนการเคลื่อนย้ายอะคริลิก

ดังนั้นทางทีมได้เลือกผลิตภัณฑ์รุ่น XXE17XXXACC เพราะเป็นรุ่นที่มีการผลิตมากที่สุดและถูกค้ำตั้งมาตรฐานในด้านคุณภาพที่เข้มงวด เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการควบคุมระบบจ่ายไฟ (Power Supply) ที่เป็นส่วนหนึ่งของเครื่องบิน.



รูปที่ 3.16 แสดงสัดส่วนปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่น

จากข้อบกพร่องที่เกิดกับผลิตภัณฑ์รุ่น XXE17XXXACC พบว่าลักษณะข้อบกพร่องมีหลายแบบ เช่น มีฟองอากาศ (Bubble) หนาเกินไป (Too Thick) เคลือบไม่ติดหรือหลุด (Peel off) เป็นต้น



รูปที่ 3.17 แสดงสัดส่วนของข้อบกพร่องที่เกิดในกระบวนการผลิตรุ่น XXE17XXXACC

จากข้อมูลได้มีการเพิ่มพนักงานตรวจสอบด้วยสายตาของทางฝ่ายผลิตเอง เพื่อคัดกรองผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหา ก่อนจะส่งไปที่แผนกตรวจสอบคุณภาพทำการสุ่มตรวจในขั้นตอนสุดท้าย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหาหลุดถึงมือลูกค้า แต่ต้องเพิ่มพนักงานจากเดิมใช้พนักงานตรวจสอบด้วยสายตาของฝ่ายผลิต ตามผังการผลิตแค่ 2 คน เป็น 4 คน ซึ่งเป็นการสูญเสียพนักงานไปกับการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่บกพร่อง การดำเนินการเช่นนี้บริษัทถือเป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุ โดยบริษัทจะขอมดำเนินการเพียงระยะสั้นระหว่างที่โครงการพัฒนาซิกซิกม่า (Six Sigma) เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา แล้วทำการปรับปรุงแก้ไขให้แล้วเสร็จ เพื่อที่จะทำให้กระบวนการผลิตแมงวงจรมุ่งหวังที่จะเป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมเครื่องบินนี้ ให้มีประสิทธิภาพจึงจะได้ดำเนินการปรับปรุงด้วยวิธีการของซิกซิกม่า เพื่อลดผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องรวมทั้งปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตต่อไป

### 3.6 กำหนดเป้าหมาย

จากประวัติของประสิทธิภาพโดยรวมที่บันทึกเมื่อ 6 เดือนย้อนหลัง (กุมภาพันธ์ – กรกฎาคม 2553) ของผลิตภัณฑ์รุ่น XXE17XXXACC ที่ผ่านกระบวนการเคลือบน้ำยาอะคริลิกปรากฏค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ที่ 87.20% เทียบเท่ากับระดับ 2.64Sigma และค่า



ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่เคยทำได้เพียง 89.50% เทียบเท่ากับระดับ 2.76Sigma เท่านั้น ซึ่งถือว่ายังต่ำมาก ดังนั้นทางทีมจึงได้กำหนดเป้าหมายของประสิทธิภาพที่จะปรับปรุงให้อยู่ที่ 90.0% เพื่อให้ได้คุณภาพและสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า ภายในระยะเวลา 4 เดือน



รูปที่ 3.18 แสดงเปอร์เซ็นต์เป้าหมายที่ทางทีมกำหนด

### 3.7 สรุป

ผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นตอนการนิยามปัญหาคือ จากการพิจารณาข้อมูลในอดีต 6 เดือน ของผลิตภัณฑ์แผงวงจรแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวมที่เป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมเครื่องบินผลิตภัณฑ์รุ่น XXE17XXXACC ซึ่งมียอดการผลิตมากที่สุด และทีมงานได้กำหนดเป้าหมายของประสิทธิภาพโดยรวมจากค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 87.20% เทียบเท่ากับระดับ 2.64Sigma กำหนดจะปรับปรุงให้อยู่ที่ 90% ภายในระยะเวลา 4 เดือน

ทีมงานมีความเห็นเดียวกันว่าจะเริ่มขั้นตอนการวัด (Measure Phase) โดยเน้นที่ลักษณะของอาการที่พบจากกระบวนการตรวจสอบ (Inspection) แล้วขยับไปหากระบวนการก่อนหน้าว่ากระบวนการใดเป็นสาเหตุ แล้วจะทำการวิเคราะห์ ปรับปรุงแก้ไข และทำการควบคุมต่อไป

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการศึกษาวิจัย

#### 4.1 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

ในขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหานี้ จะเป็นขั้นตอนเพื่อศึกษาถึงแหล่งที่มาที่เป็นสาเหตุของปัญหาด้วยการใช้เครื่องมือทางสถิติต่างๆ เข้ามาช่วยในการศึกษา โดยจะเริ่มศึกษาเกี่ยวกับข้อกำหนดจำเพาะของผลิตภัณฑ์และมาตรฐานการตรวจวัด ศึกษารายละเอียดของกระบวนการผลิตในทุกขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์รุ่นที่ทำการศึกษา จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่ใช้ในกระบวนการผลิต เพื่อจะเป็นการประกันความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดก่อนทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหา จากนั้นศึกษาถึงปัจจัยอินพุตของแต่ละกระบวนการย่อยด้วยแผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagrams) ด้วยการระดมความคิดจากกลุ่มสมาชิกที่ได้คัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญ และปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต และแจกแจงสาเหตุและผลกระทบของข้อบกพร่อง (Cause and Effect Matrix) ด้วยการให้คะแนนจากสมาชิกในกลุ่ม โดยไม่มีการต่อต้านความคิดเห็นของคนอื่น และคัดเลือกปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะมีผลกระทบเบื้องต้นกับการบวนการผลิตดังกล่าว และทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

##### 4.1.1 ข้อกำหนดจำเพาะของผลิตภัณฑ์และมาตรฐานการตรวจวัด

4.1.1.1 ข้อกำหนดจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (Product specification) ข้อกำหนดจำเพาะของผลิตภัณฑ์รุ่นกรณีศึกษา นี้ ลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้กำหนดมาให้ทั้งหมด บริษัทกรณีศึกษาเป็นเพียงผู้ผลิตให้ได้ตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ที่กำหนดมาเท่านั้น ซึ่งลูกค้าได้กำหนดไว้คือ

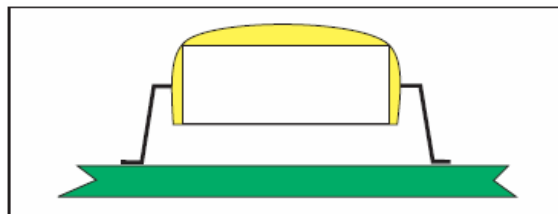
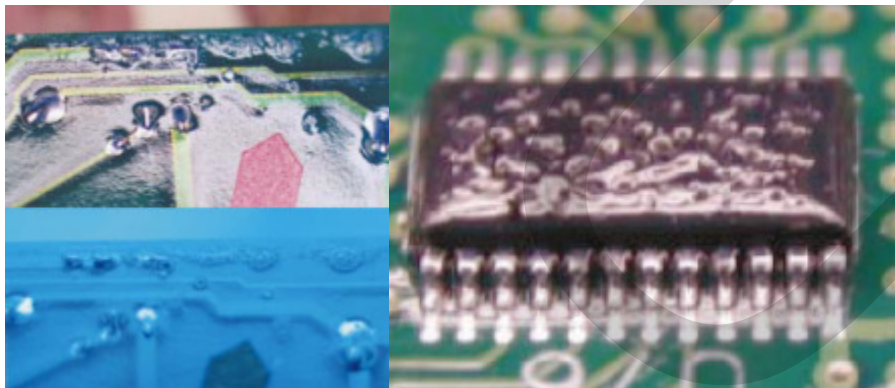
1. ชนิดของน้ำยาที่ใช้เคลือบ คือ อะคริลิก (Acrylic) ยี่ห้อ Humiseal เบอร์ 1B73 และให้ใช้คู่กับทินเนอร์ ยี่ห้อ Humiseal เบอร์ Thinner73 นำมาผสมให้ความหนืด (Viscosity) ลดลงเพื่อให้เหมาะสมกับวิธีการเคลือบแต่ละประเภท เช่น เคลือบโดยการพ่นด้วยมือ (Manual spray) เคลือบโดยการพ่นด้วยเครื่อง (Machine Spray) เคลือบด้วยการใช้แปรงทา (Brush Painting) เป็นต้น
2. ความหนาของการเคลือบ (Coating thickness) คือ 40 ถึง 55 ไมครอน
3. การอบ (Baking) ในหีบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. เคลือบครอบคลุมทุกพื้นที่ที่กำหนดให้บนบอร์ด และไม่เคลือบในพื้นที่ห้ามเคลือบ เช่น คอนเนคเตอร์ (Connector) สวิตช์ (Switch) เป็นต้น

4.1.1.2 มาตรฐานทั่วไปของการเคลือบและการตรวจวัด (มาตรฐานคุณภาพ IPC-A-610D) การเคลือบควรจะเป็นสีโปร่งใส สม่ำเสมอและติดอย่างเหนียวแน่น และครอบคลุมบอร์ดและส่วนประกอบอย่างสม่ำเสมอ ความสม่ำเสมอของการเคลือบขึ้นอยู่กับวิธีการเคลือบและอาจมีผลต่อลักษณะที่มองเห็นและมุมที่ครอบคลุม การเคลือบด้วยการจุ่มอาจมีการหยดหรือไหลมารวมกันที่ขอบบอร์ด ซึ่งอาจเกิดจำนวนฟองอากาศเล็กๆ ได้ แต่จะไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานหรือความน่าเชื่อถือของสารเคลือบผิว

1. เป้าหมายของการเคลือบ (Coating target)

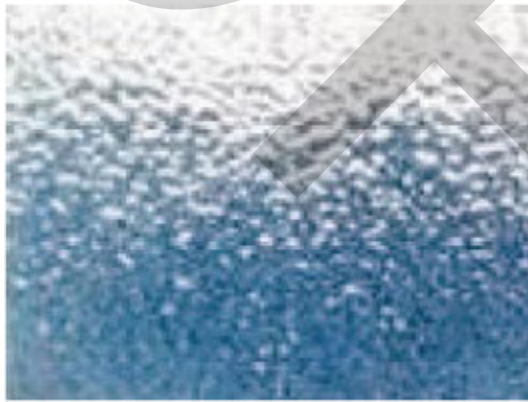
- 1) ไม่มีฟองอากาศ
- 2) ไม่หลุดร่อน
- 3) ไม่เปียกชื้น ไม่มีรอยย่น ไม่ลอกร่อน ไม่แตกร้าว ไม่เป็นผิวเปลือกส้ม
- 4) ได้ความหนา (Coating Thickness) ตามข้อกำหนด 40 ถึง 55 ไมครอน
- 5) ผ่านการอบอย่างสมบูรณ์ด้วยอุณหภูมิและเวลาที่กำหนด
- 6) ไม่มีวัตถุภายนอกเกาะติด
- 7) สีไม่ซีดจางหรือโปร่งใส

2. การยอมรับได้ของการเคลือบ (Coating acceptable)



รูปที่ 4.1 แสดงการเคลือบที่ยอมรับได้ (Coating acceptable)

- 1) แห้งเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous)
  - 2) เคลือบให้ครบทุกพื้นที่ ที่ต้องการให้เคลือบ
  - 3) ไม่เคลือบในพื้นที่ห้ามเคลือบ
  - 4) ไม่มีเชื่อมกันของพื้นที่ใกล้กันที่เกิดจากฟองอากาศ (Bubbles) ร้าว (Cracks) เป็นรอยคลื่น (Ripples) การร่อนหลุด (Loss of adhesion) เป็นตาปลา (Fisheyes) และผิวเปลือกส้ม (Orange peel).
  - 5) เคลือบบางแต่ครอบคลุมอุปกรณ์ทั้งหมด
  - 6) มีวัตถุภายนอกที่ไม่ขัดต่อข้อกำหนดชั้นต่ำทางไฟฟ้าของช่องห่างระหว่างอุปกรณ์ พื้นที่ตัวนำ ผิวตัวนำ
3. ข้อบกพร่อง (Defect)



รูปที่ 4.2 แสดงข้อบกพร่อง (Defect) การเคลือบที่ยอมรับไม่ได้

- 1) การเคลือบไม่แห้ง
- 2) เคลือบในพื้นที่ที่ไม่ต้องการ
- 3) ไม่เคลือบ ในพื้นที่ให้เคลือบ
- 4) มีเชื่อมกันของพื้นที่ใกล้กันที่เกิดจาก ฟองอากาศ (Bubbles) ร้าว (Cracks) เป็นรอยคลื่น (Ripples) การร่อนหลุด (Loss of adhesion) เป็นตาปลา (Fisheyes) และผิวเปลือกส้ม (Orange peel).
- 5) มีวัตถุภายนอกเชื่อมต่อพื้นที่ตัวนำหรือผิวตัวนำ วงจรไฟฟ้าเปิดหรือลัดเมิดข้อกำหนดขั้นต่ำทางไฟฟ้าของช่องว่างระหว่าง อุปกรณ์ พื้นที่ตัวนำ ผิวตัวนำ
- 6) สีซีดจางหรือไม่โปร่งใส
- 7) เคลือบเป็นเส้นด้ายเข้าในคอนเนคเตอร์

4.1.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการตรวจวัด ระบบการวัดเป็นเสมือนกลไกในการควบคุมผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต เพื่อเป็นการประกันคุณภาพสู่ลูกค้า กระบวนการวัดมีองค์ประกอบหลักๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงาน วิธีการวัด ซึ่งสาเหตุมาจากทักษะความชำนาญและระดับการฝึกฝน ชี้นงานที่วัด สิ่งแวดล้อมในการวัด ที่มีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ ความชื้น และธรรมชาติ เนื่องจากแต่ละองค์ประกอบมีความไม่เท่ากัน จึงเกิดความผันแปรในระบบการวัด การวิเคราะห์ระบบความแม่นยำของเครื่องมือวัดมีความสำคัญมากเนื่องจากการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพ หรือการป้องกันอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ต้องมีความมั่นใจในความเสถียรของเครื่องมือวัด ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดเพื่อทำการแยกแหล่งของความผันแปรออกเป็นชิ้นงาน (Part – to Part Variation) พนักงาน (Appraiser Variation) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation)

ในกระบวนการเคลือบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยน้ำยาอะคริลิกเพื่อป้องกันความชื้นนี้ เครื่องมือวัดสำหรับหาจุดบกพร่องบนแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วย วิธีการตรวจสอบด้วยตาเปล่าและผ่านกล้องขยาย 3 เท่า และวิธีการตรวจสอบด้วยตาเปล่าได้แสงอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งอ้างอิงจากเกณฑ์ที่ใช้ในบริษัทกรณีศึกษา ดังนั้นจึงได้มีการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดเหล่านี้

4.1.2.1 ออกแบบการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดแบบข้อมูลนับมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เลือกสิ่งตัวอย่างในกระบวนการผลิต 30 ชิ้น ซึ่งสิ่งตัวอย่างเหล่านี้จะต้องประกอบไปด้วยสิ่งตัวอย่างที่มีคุณภาพดี และไม่ดีในสัดส่วนที่เท่ากัน

2. ตรวจสอบสิ่งตัวอย่างที่ถูกเลือกในกระบวนการผลิตทั้ง 30 ชิ้น โดยวิศวกรฝ่ายพัฒนากระบวนการผลิต วิศวกรฝ่ายตรวจสอบคุณภาพ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายฝึกอบรม

3. เลือกพนักงานที่มีทักษะและผ่านการฝึกอบรมเป็นอย่างดี จำนวน 3 คน

4. ทำการศึกษาพนักงานทีละคน โดยให้ทำการตรวจวัดชิ้นงานที่ได้เตรียมไว้ และที่สำคัญการวัดสิ่งตัวอย่างจะต้องเป็นแบบสุ่ม และให้พนักงานประเมินผลสิ่งตัวอย่างนั้นๆ ว่าผ่านหรือไม่ผ่าน แล้วทำการบันทึกผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจวัดลงในฟอร์ม ในการตรวจวัดของพนักงานแต่ละคน จะต้องทำซ้ำ 2 ซ้ำ พร้อมทั้งบันทึกผลลัพธ์ลงในแบบฟอร์ม ทำเช่นเดียวกันนี้กับพนักงานทั้ง 3 คน

5. จากนั้นนำผลการตรวจวัดไปทำการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด ซึ่งการวิเคราะห์จะประกอบไปด้วยดัชนีต่างๆ ต่อไปนี้

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

$$\% \text{ ประสิทธิผลการตรวจสอบของพนักงานทั้งหมด} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่การตรวจสอบได้เหมือนถูกต้อง}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

$$\% \text{ ประสิทธิผลการตรวจสอบของพนักงานทั้งหมดเมื่อเทียบกับมาตรฐาน} = \frac{\text{จำนวนครั้งที่พนักงานทุกคนตรวจได้ถูกต้องเทียบมาตรฐาน}}{\text{จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ}}$$

ตารางที่ 4.1 แสดงเกณฑ์การยอมรับในระบบการวัด

ดัชนี	เกณฑ์ในการยอมรับ
% รัฟทิทหะบิลิตีของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน	90%
% ประสิทธิผลการตรวจสอบของพนักงานทั้งหมด	90%
% ประสิทธิผลการตรวจสอบของพนักงานทั้งหมดเมื่อเทียบกับมาตรฐาน	90%

4.1.2.2 ผลลัพธ์การตรวจสอบด้วยตาเปล่าและผ่านกล้องขยาย 3 เท่า ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการประเมินกระบวนการตรวจสอบด้วยตาเปล่าและผ่านกล้องขยาย 3 เท่า

Gage Repeatability & Reproducibility Capability Study for Attribute Data												
สถานีตรวจวัด:	PFQA Process Inspection		ผลิตภัณฑ์รุ่น:	XXE17XXXACC		วันที่:	April 4, 2011					
วิธีการตรวจ:	3X Visual Inspection		ผู้จัดเตรียม:	Suna K.		Attribute Legend:		P (Pass) = 1 F (Fail) = 0				
จำนวนพนักงาน:	3		จำนวนครั้งตรวจวัด:	2		ตัวอย่างชิ้นงาน:	30					
Attribute G R&R Check list												
ตัวอย่าง ชิ้นงาน	อ้างอิง มาตรฐาน	พนักงาน A			พนักงาน B			พนักงาน C			ผลตรวจ ตรงกันของ พนักงาน	ผลตรวจตรง กับมาตรฐาน
		ตรวจ ครั้งที่1	ตรวจ ครั้งที่2	ตรวจ ครั้งที่3	ตรวจ ครั้งที่1	ตรวจ ครั้งที่2	ตรวจ ครั้งที่3	ตรวจ ครั้งที่1	ตรวจ ครั้งที่2	ตรวจ ครั้งที่3		
1	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
2	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
3	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
4	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
5	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
6	F	F	F		P	P		F	F		N	N
7	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
8	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
9	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
10	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
11	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
12	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
13	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
14	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
15	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
16	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
17	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
18	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
19	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
20	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
21	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
22	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
23	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
24	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
25	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
26	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
27	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
28	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
29	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
30	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
% รัศมีหะบิลตี้ของพนักงานตรวจสอบ :		100%			100%			100%				
% ประสิทธิภาพการตรวจสอบเทียบกับมาตรฐาน		100%			97%			100%				
% ประสิทธิภาพการตรวจสอบของพนักงานทั้งหมด (90% หรือมากกว่า):		97%										
% ประสิทธิภาพการตรวจสอบของพนักงานทั้งหมดเทียบกับมาตรฐาน (90% หรือมากกว่า):		97%										

การตรวจสอบด้วยตาผ่านกล้องขยาย 3 เท่า มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจว่ามีจุดบกพร่องบนบอร์ดหรือไม่ เช่น ฟองอากาศ (Bubbles) ร้าว (Cracks) เป็นรอยคลื่น (Ripples) การร่อนหลุด (Loss of adhesion) เป็นตาปลา (Fisheyes) ผิวเปลือกส้ม (Orange peel) และเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogenous) เป็นต้น จากผลการศึกษาการประเมินกระบวนการตรวจสอบด้วยตาเปล่าและผ่านกล้องขยาย 3 เท่า ของพนักงานทุกคน ตรวจสอบได้ผลเป็นที่ยอมรับได้ โดยมีค่าดัชนีของผลการวัดประเมินทุกคนผ่านตามเกณฑ์ ซึ่งเกินเกณฑ์ที่โรงงานกำหนดอย่างน้อยที่ 90%

1. เปอร์เซ็นตรีพิทหะบิลิตีของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน ได้เท่ากับ 100%
2. เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลการตรวจสอบของพนักงานทั้งหมด ได้เท่ากับ 97%
3. เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลการตรวจสอบของพนักงานทั้งหมดเมื่อเทียบกับมาตรฐาน ได้เท่ากับ 97%

ดังนั้นปัญหาจากการตรวจพบของเสียในการตรวจสอบด้วยตาผ่านกล้องขยาย 3 เท่า จึงไม่ได้เกิดจากการตรวจสอบที่ผิดพลาด แต่เป็นปัญหาที่แท้จริงที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตในกระบวนการเคลือบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยน้ำยาอะคริลิกเพื่อป้องกันความชื้น ทีมงานจะได้วิเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตต่อไป

4.1.2.3 ผลลัพธ์การตรวจสอบด้วยตาเปล่าได้แสงอัลตราไวโอเล็ตแบคไลต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบด้วยตาเปล่าได้แสงอัลตราไวโอเล็ตแบคไลต์นี้ ก็เพื่อตรวจดูว่าบอร์ดที่ผ่านการเคลือบเรียบร้อยแล้วนั้น ได้เคลือบอย่างสมบูรณ์ครบถ้วนทุกพื้นที่หรือทุกจุดตามที่กำหนดไว้หรือไม่ ซึ่งจากผลการศึกษาการประเมินกระบวนการตรวจสอบด้วยตาเปล่าได้แสงอัลตราไวโอเล็ตแบคไลต์ของพนักงาน 3 คน ตรวจสอบ ได้ผลเป็นที่ยอมรับได้ โดยมีค่าดัชนีของผลการวัดประเมินทุกคนผ่านตามเกณฑ์ ซึ่งเกณฑ์ที่โรงงานกำหนดอย่างน้อยที่ 90%

1. เปอร์เซ็นตรีพิทหะบิลิตีของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน ได้เท่ากับ 100%
2. เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลการตรวจสอบของพนักงานทั้งหมด ได้เท่ากับ 100%
3. เปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลการตรวจสอบของพนักงานทั้งหมดเมื่อเทียบกับมาตรฐาน ได้เท่ากับ 97%

ดังนั้นจากการตรวจพบของเสียในการตรวจสอบด้วยตาเปล่าได้แสงอัลตราไวโอเล็ตแบคไลต์ จึงไม่ได้เกิดจากการตรวจสอบที่ผิดพลาด แต่เป็นปัญหาที่แท้จริงที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตในกระบวนการเคลือบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยน้ำยาอะคริลิกเพื่อป้องกันความชื้น ทีมงานจะได้วิเคราะห์ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตต่อไป



ตารางที่ 4.3 แสดงผลการประเมินกระบวนการตรวจสอบด้วยตาเปล่าได้แสงอัลตราไวโอเล็ต  
แบคไลต์

Gage Repeatability & Reproducibility Capability Study for Attribute Data												
สถานีตรวจวัด:	PFGA Process Inspection		ผลิตภัณฑ์รุ่น:	XXE17XXXACC		วันที่:	April 4, 2011					
วิธีการตรวจ:	UV Backlight Inspection		ผู้จัดเตรียม:	Suna K.		Attribute Legend:		P (Pass) = 1 F (Fail) = 0				
จำนวนพนักงาน:	3		จำนวนครั้งตรวจ:	2		ตัวอย่างชิ้นงาน:	30					
Attribute G R&R Check list												
ตัวอย่าง ชิ้นงาน	อ้างอิง มาตรฐาน	พนักงาน A			พนักงาน B			พนักงาน C			ผลตรวจ ตรงกันของ พนักงาน	ผลตรวจตรง กับมาตรฐาน
		ตรวจ ครั้งที่1	ตรวจ ครั้งที่2	ตรวจ ครั้งที่3	ตรวจ ครั้งที่1	ตรวจ ครั้งที่2	ตรวจ ครั้งที่3	ตรวจ ครั้งที่1	ตรวจ ครั้งที่2	ตรวจ ครั้งที่3		
1	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
2	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
3	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
4	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
5	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
6	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
7	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
8	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
9	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
10	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
11	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
12	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
13	F	P	P		P	P		P	P		Y	N
14	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
15	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
16	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
17	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
18	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
19	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
20	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
21	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
22	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
23	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
24	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
25	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
26	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
27	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
28	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
29	F	F	F		F	F		F	F		Y	Y
30	P	P	P		P	P		P	P		Y	Y
% รัศมีหะบิลิต์ของพนักงานตรวจสอบ :		100%			100%			100%				
% ประสิทธิภาพการตรวจสอบเทียบกับ มาตรฐาน		97%			97%			97%				
% ประสิทธิภาพการตรวจสอบของพนักงานทั้งหมด (90% หรือมากกว่า):		100%										
% ประสิทธิภาพการตรวจสอบของพนักงานทั้งหมดเทียบกับมาตรฐาน (90% หรือมากกว่า):		97%										

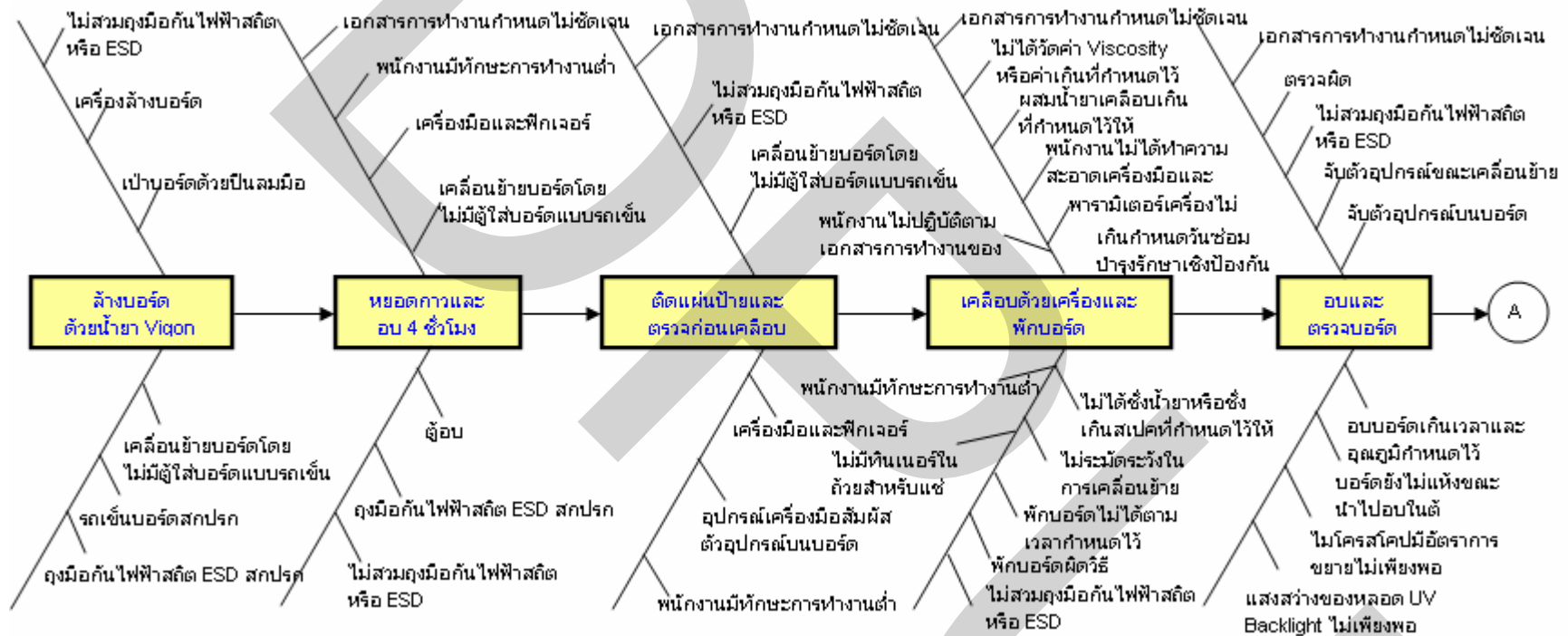
4.1.3 หาปัจจัยอินพุตของแต่ละกระบวนการย่อยด้วยแผนภูมิแก๊งปลา ในขั้นตอนนี้จะเป็นการระดมความคิดจากสมาชิกในทีม เพื่อค้นหาปัจจัยอินพุตของกระบวนการเคลือบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยน้ำยาอะคริลิกเพื่อป้องกันความชื้น และกระบวนการที่เกี่ยวข้อง ด้วยการใช่แผนภูมิแก๊งปลา (Fishbone Diagrams) โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้คือ

4.1.3.1 ทำการศึกษาขั้นตอนของกระบวนการเคลือบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยน้ำยาอะคริลิกเพื่อป้องกันความชื้นและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกัน

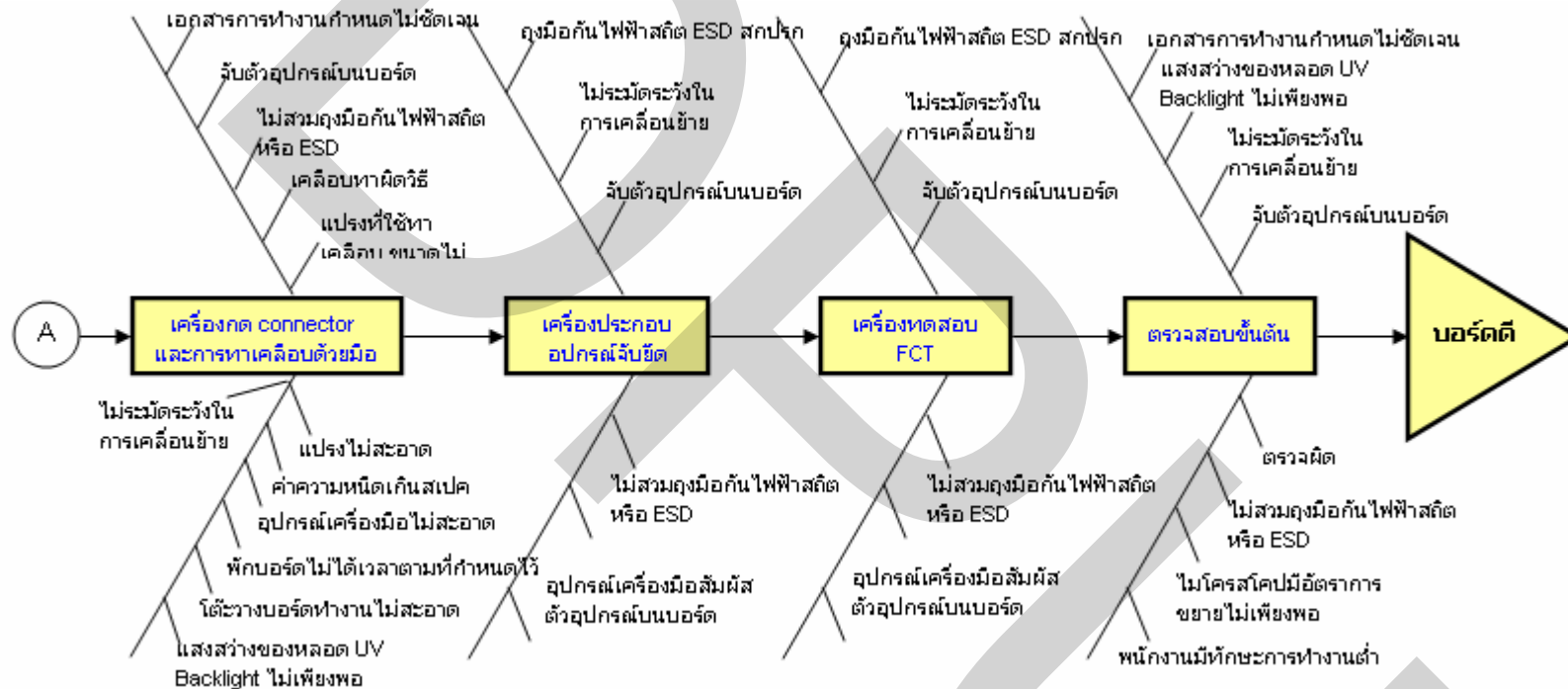
4.1.3.2 ให้สมาชิกในทีมช่วยกันแสดงความคิดเห็นและเสนอแนะปัจจัยอินพุตของแต่ละกระบวนการย่อย โดยใช้หลักการ 4M คือ Man, Machine, Material and Method

4.1.3.3 ในการแสดงความคิดเห็นและเสนอแนะของสมาชิกในทีมนั้นมีข้อตกลงกันว่าเปิดโอกาสให้สมาชิกทุกคนแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะอย่างเต็มที่ โดยจะไม่มีการวิจารณ์แนวความคิดของสมาชิกในทีม

4.1.3.4 สรุปผลการแสดงความคิดเห็นและเสนอแนะปัจจัยอินพุตของกระบวนการเคลือบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยน้ำยาอะคริลิกเพื่อป้องกันความชื้นและกระบวนการที่เกี่ยวข้องกัน ของสมาชิกในทีมแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagrams) แสดงถึงปัจจัยอินพุตของแต่ละกระบวนการย่อย (1 of 2)



รูปที่ 4.3 (ต่อ)

4.1.4 แจกแจงสาเหตุและผลกระทบของข้อบกพร่อง (Cause and Effect Matrix) เมื่อได้ปัจจัยอินพุตของกระบวนการเคลื่อนแปงวงจรถืออิเล็กทรอนิกส์ด้วยน้ำยาอะคริลิกเพื่อป้องกันความชื้นและกระบวนการที่เกี่ยวข้อง จากการแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของสมาชิกในทีม ด้วยการใส่แผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagrams) แล้ว ในขั้นตอนต่อไปนี้จะเป็นการระดมความคิดจากสมาชิกในทีมเพื่อค้นหาสาเหตุที่มีโอกาสเป็นไปได้มากที่สุด ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้คือ

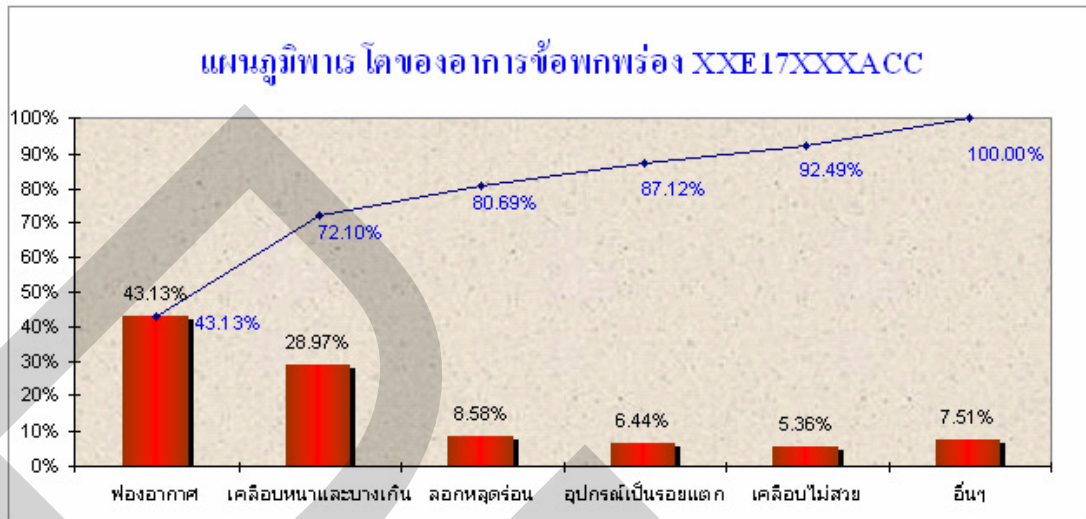
4.1.4.1 รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะอาการที่ถูกตรวจพบในกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้ายของทางฝ่ายประกันคุณภาพ เพื่อดูแนวโน้มของเสียจะมาจากกระบวนการใดเป็นหลัก ดังรูปที่ 4.4

4.1.4.2 สรุปขั้นตอนทั้งหมดทั้งกระบวนการหลักและกระบวนการที่เกี่ยวข้อง เพื่อระบุความเกี่ยวข้องและความเป็นไปได้ที่ทำให้ผลกระทบในแต่ละประเภทของปัญหาทั้งหมดที่พบจากรูปที่ 4.4

4.1.4.3 นำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาใส่ลงในตารางสาเหตุและผลกระทบ ในที่นี้กำหนดให้อัตราความสำคัญเท่ากับ 10 และให้กลุ่มสมาชิกทำการลงคะแนนความสำคัญให้กับทุกสาเหตุ ในแต่ละกระบวนการว่ามีความสัมพันธ์กันระดับใด โดยให้คะแนนในช่วง 1 ถึง 10 คะแนน โดยพิจารณาความสัมพันธ์ว่าหากมีมากให้คะแนนสูง หากมีน้อยให้คะแนนต่ำ สมาชิกในทีมจะช่วยให้คะแนนจนครบทุกสาเหตุ

4.1.4.4 ผู้วิจัยรวบรวมคะแนนพร้อมทั้งทำการคูณค่าน้ำหนักของแต่ละสาเหตุกับผลการลงคะแนนความสัมพันธ์ เพื่อหากระบวนการใดที่มีแนวโน้มก่อให้เกิดปัญหา และควรพิจารณาปัจจัยภายในกระบวนการนั้นๆ ว่าควรปรับปรุงแก้ไขมากที่สุด

4.1.4.5 ทำการสรุปผลคะแนนในตารางสาเหตุและผลกระทบ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 เพื่อจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการที่เป็นแนวโน้มให้เกิดปัญหาอาการเสียต่างๆ มากที่สุด



รูปที่ 4.4 แสดงแผนภูมิพาริตอแสดงอาการข้อบกพร่องที่ถูกตรวจพบในกระบวนการตรวจสอบก่อนขึ้นตอนสุดท้าย

ตารางที่ 4.4 แสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) ของกระบวนการเคลือบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยน้ำยาอะคริลิกเพื่อป้องกันความชื้นและกระบวนการที่เกี่ยวข้อง

			1	2	3	4	5		
			ฟองอากาศ	เคลือบหนาและบางเกิน	ลอกหลุดร่อน	อุปกรณ์เป็นรอยแตก	เคลือบไม่สวย		
ลำดับของน้ำมันึก			43.13	28.97	8.58	6.44	5.36	รวม	คะแนนรวม
ขั้นตอนกระบวนการ	กระบวนการอื่นๆ							รวม	คะแนนรวม
1	ล้างบอร์ดด้วยน้ำยา Vigon	เครื่องล้างบอร์ด	0	0	4	0	2	45	160
		เป่าบอร์ดด้วยปืนลมมือ	0	0	2	0	2	28	
		ไม่สวมถุงมือกันไฟฟ้าสถิตหรือ ESD	0	0	4	0	3	50	
		เคลื่อนย้ายบอร์ดโดยไม่มีผู้ใส่บอร์ดแบบรถเข็น	0	0	3	0	2	36	
2	หยอดกาวและอบ 4 ชั่วโมง	เคลื่อนย้ายบอร์ดโดยไม่มีผู้ใส่บอร์ดแบบรถเข็น	0	0	2	2	2	41	144
		ไม่สวมถุงมือกันไฟฟ้าสถิต	0	0	4	0	3	50	
		ผู้อบ	0	0	2	0	0	17	
		เครื่องมือและฟิกเจอร์	0	0	0	2	2	24	
		เอกสารการทำงานกำหนดไม่ชัดเจน	0	0	0	0	0	0	
		พนักงานมีทักษะการทำงานต่ำ	0	0	0	1	1	12	
3	ติดแผ่นป้ายและตรวจก่อนเคลือบ	ไม่สวมถุงมือกันไฟฟ้าสถิต	0	0	4	0	2	45	133
		เครื่องมือและฟิกเจอร์	0	0	0	2	2	24	
		เคลื่อนย้ายบอร์ดโดยไม่มีผู้ใส่บอร์ดแบบรถเข็น	0	0	2	2	2	41	
		เอกสารการทำงานกำหนดไม่ชัดเจน	0	0	0	0	0	0	
		พนักงานมีทักษะการทำงานต่ำ	0	0	0	2	2	24	

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

	ขั้นตอนกระบวนการ	กระบวนการผิดพลาด						รวม	คะแนนรวม
4	เคลื่อนด้วยเครื่องและฟิกบอร์ด	เอกสารการทำงานกำหนดไม่ชัดเจน	2	4	2	0	0	219	6,118
		ผสมน้ำยาเคลือบเกินที่กำหนดไว้ให้	10	8	2	0	2	691	
		ไม่ได้วัดค่า Viscosity หรือได้ค่าเกินที่กำหนดไว้	10	10	5	0	2	775	
		พนักงานไม่ได้ทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์	3	5	5	2	2	341	
		พารามิเตอร์เครื่องไม่เหมาะสม	10	8	2	2	2	704	
		ไม่ได้ใช้น้ำยาหรือซึ่งเกินสเปคที่กำหนดไว้ให้	8	10	3	0	0	660	
		ไม่ระมัดระวังในการเคลื่อนย้ายบอร์ด	5	6	5	3	2	462	
		ฟิกบอร์ดไม่ได้ตามเวลาที่กำหนดไว้	5	5	5	0	0	403	
		ฟิกบอร์ดผิดวิธี	2	6	5	3	2	333	
		ไม่สวมถุงมือกันไฟฟ้าสถิต	0	4	5	0	2	170	
		เกินกำหนดวันซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM)	3	5	0	0	0	274	
		พนักงานมีทักษะการทำงานต่ำ	2	2	2	2	2	185	
		พนักงานไม่ปฏิบัติตามเอกสารการทำงานของเครื่อง	5	5	5	2	2	427	
ไม่มีหินเนอริในถ้วยสำหรับแช่หัวฉีด	5	8	3	0	0	473			
5	อบและตรวจบอร์ด	เอกสารการทำงานกำหนดไม่ชัดเจน	2	1	1	0	0	124	878
		อบบอร์ดเกินเวลาและอุณหภูมิกำหนดไว้	2	0	1	0	0	95	
		ไม่โครสโคปมีอัตราขยายไม่เพียงพอ	3	0	1	0	0	138	
		บอร์ดยังไม่แห้งขณะนำไปอบในตู้	3	0	1	0	2	149	
		จับตัวอุปกรณ์ขณะเคลื่อนย้ายบอร์ด	0	1	2	1	2	63	
		ไม่สวมถุงมือกันไฟฟ้าสถิต	0	1	2	0	2	57	
		แสงสว่างของหลอด UV Backlight ไม่เพียงพอ	2	0	2	0	0	103	
		ตรวจผิด	1	0	1	0	1	57	
พนักงานมีทักษะการทำงานต่ำ	1	1	1	1	1	92			
6	เครื่องกด connector และ การหาเคลื่อนด้วยมือ	เอกสารการทำงานกำหนดไม่ชัดเจน	1	1	1	0	2	91	973
		จับตัวอุปกรณ์ขณะเคลื่อนย้ายบอร์ด	0	1	2	1	2	63	
		ไม่สวมถุงมือกันไฟฟ้าสถิต	0	2	2	0	3	91	
		เคลื่อนหาผิดวิธี	2	2	1	1	2	170	
		แปรงที่ใช้ทาเคลือบ ขนาดไม่เหมาะสม	1	1	1	0	2	91	
		แปรงไม่สะอาด	1	1	1	0	2	91	
		ค่าความหนืดเกินสเปค	2	1	1	0	2	135	
		อุปกรณ์เครื่องมือไม่สะอาด	1	1	1	0	2	91	
		ฟิกบอร์ดไม่ได้เวลาที่กำหนดไว้	1	0	1	1	0	58	
		โต๊ะวางบอร์ดทำงานไม่สะอาด	0	0	2	0	2	28	
แสงสว่างของหลอด UV Backlight ไม่เพียงพอ	0	0	2	1	1	29			
ไม่ระมัดระวังในการเคลื่อนย้ายบอร์ด	0	0	1	3	1	33			
7	เครื่องประกอบอุปกรณ์จับยึด	จับตัวอุปกรณ์ขณะเคลื่อนย้ายบอร์ด	0	0	3	1	2	43	151
		ไม่สวมถุงมือกันไฟฟ้าสถิต	0	0	2	0	2	28	
		อุปกรณ์เครื่องมือลิมมีส	0	0	2	4	1	48	
		ตัวอุปกรณ์บนบอร์ด	0	0	1	2	2	32	
8	เครื่องทดสอบ FCT	จับตัวอุปกรณ์ขณะเคลื่อนย้ายบอร์ด	0	0	2	0	2	28	136
		ไม่สวมถุงมือกันไฟฟ้าสถิต	0	0	2	0	2	28	
		อุปกรณ์เครื่องมือลิมมีส	0	0	2	4	1	48	
		ตัวอุปกรณ์บนบอร์ด	0	0	1	2	2	32	
9	ตรวจสอบขั้นต้น Pre-FQA	เอกสารการทำงานกำหนดไม่ชัดเจน	1	1	2	0	1	95	785
		ไม่สวมถุงมือกันไฟฟ้าสถิต	0	0	2	0	2	28	
		จับตัวอุปกรณ์ขณะเคลื่อนย้ายบอร์ด	0	0	2	2	2	41	
		ตรวจผิด	2	1	2	1	2	150	
		แสงสว่างของหลอด UV Backlight ไม่เพียงพอ	2	2	0	0	1	150	
ไม่โครสโคปมีอัตราขยายไม่เพียงพอ	3	2	0	0	1	193			
พนักงานมีทักษะการทำงานต่ำ	1	2	2	1	1	130			

จากตารางแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) ผู้วิจัยพิจารณากระบวนการที่มีผลกระทบมากที่สุด ถือว่าเป็นกระบวนการที่มีนัยสำคัญที่มีแนวโน้มที่ก่อให้เกิดของเสีย ซึ่งจากตารางแสดงเหตุและผล พบว่ากระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแล้วพักบอร์ด (Coating Machine Top, Bottom and Stacking) เป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดปัญหาของเสียที่ถูกตรวจพบในขั้นตอนตรวจสอบก่อนขึ้นสุดท้ายมากที่สุด

4.1.5 สรุปผลการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ในขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหานี้ ได้เริ่มจากการอธิบายถึงข้อกำหนดเฉพาะของผลิตภัณฑ์ โดยที่ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์นั้นถูกกำหนดมาจากลูกค้าของบริษัททฤษฎีศึกษา และข้อกำหนดมาตรฐานคุณภาพ IPC-A-610D จากนั้นได้ทำการประเมินประสิทธิภาพความแม่นยำของกระบวนการตรวจสอบคุณภาพในขั้นตอนสุดท้าย ที่ระบุว่าปัญหาเกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ซึ่งได้ประเมินด้วยกัน 2 วิธี คือ การตรวจสอบด้วยตาเปล่าและผ่านกล้อง 3 เท่า และการตรวจสอบด้วยตาเปล่าได้แสงอัลตราไวโอเล็ตแบบไลด์ ผลการประเมินพบว่าประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้เป็นไปตามเกณฑ์ที่บริษัทตั้งไว้ และทีมงานได้ระดมความคิดหากระบวนการใดในกระบวนการผลิตทั้งหมดที่น่าจะเป็นสาเหตุก่อให้เกิดปัญหาหรือทำให้เกิดของเสียขึ้น โดยใช้เครื่องมือแผนภูมิแก๊งปลา (Fishbone Diagram) และตารางแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Matrix) และสามารถสรุปเห็นพร้อมกันว่ากระบวนการที่ก่อให้เกิดปัญหาคือ กระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแล้วพักบอร์ด ซึ่งจะทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีนัยสำคัญภายในกระบวนการและทำการปรับปรุงแก้ไขและควบคุมต่อไป

#### 4.2 วิเคราะห์สาเหตุและปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหา (Analysis Phase)

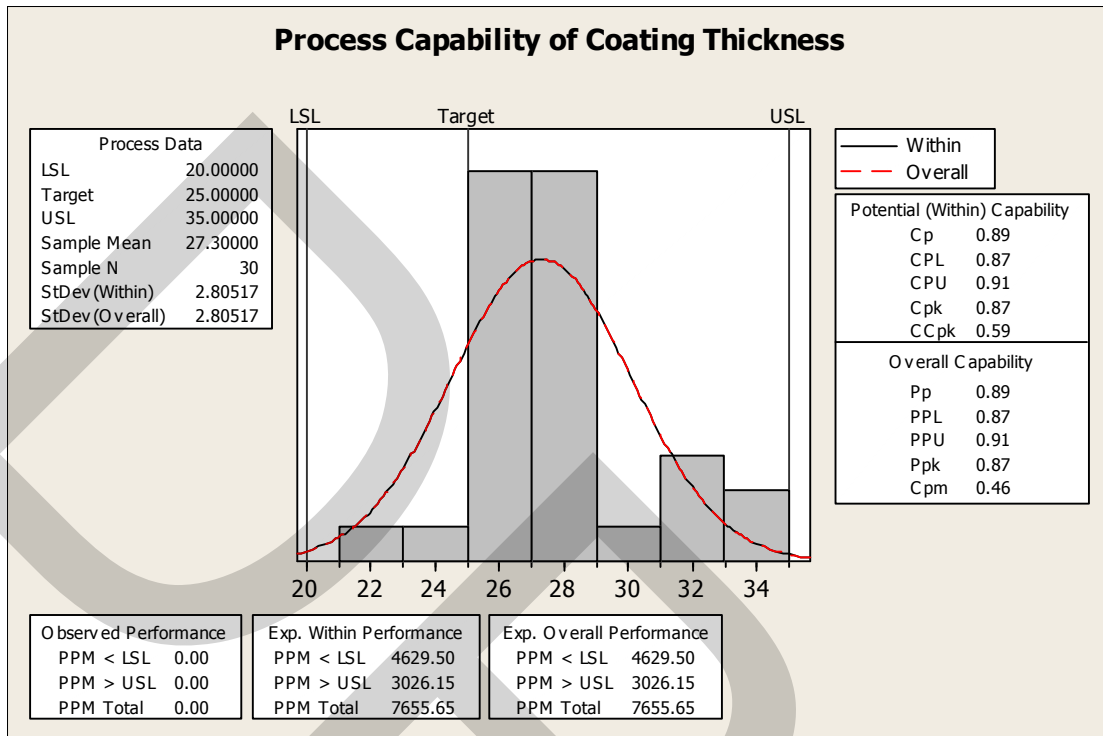
ขั้นตอนการวิเคราะห์ (Analysis Phase) นี้ มีความสำคัญอย่างมากเพื่อกันให้พบสาเหตุและปัจจัยภายในกระบวนการที่แท้จริงที่ก่อให้เกิดของเสีย จากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) นั้น สามารถสรุปได้เบื้องต้นถึงแนวโน้มของกระบวนการที่ก่อให้เกิดปัญหาคือ กระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแล้วพักบอร์ด ดังนั้นเพื่อให้สามารถระบุสาเหตุของปัญหาชัดเจนมากขึ้น ในขั้นตอนการวิเคราะห์นั้นจึงจะเริ่มจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการปัจจุบัน (Process Capability) จากนั้นนำกระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแล้วพักบอร์ดที่ได้จากขั้นตอนการวัด (Measure Phase) มาแจกแจงในตารางสาเหตุและผลกระทบในกระบวนการย่อยอีกที แล้วนำตารางแสดงเหตุและผลที่ได้ทำการประเมินกระบวนการย่อยทั้งหมดจากทีมงานและผู้เชี่ยวชาญ อีกทั้งอ้างอิงข้อมูลลักษณะที่ก่อให้เกิดปัญหาจากในอดีตจนสามารถทำการระบุได้ว่าสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหามาจากกระบวนการย่อยใด มาทำการวิเคราะห์ต่อด้วยการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (Failure Mode Effect Analysis - FMEA) แล้วเลือกปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหา



โดยเรียงลำดับจากเหตุที่มีความเป็นไปได้สูงกว่าหรือมีความร้ายแรงมากกว่า เพื่อทำการแก้ไขปรับปรุงแต่ละปัญหาก่อนหลังตามลำดับต่อไป แต่ทั้งนี้เหตุที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดอาจจะไม่จำเป็นต้องเป็นปัจจัยที่แท้จริงของปัญหาก็ได้ ดังนั้นการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาโดยอาศัยการทดลองจะลดโอกาสผิดพลาดได้ การตัดสินใจที่อาศัยหลักการของสถิติวิศวกรรมหรือหลักการอนุมานทางสถิติ โดยดำเนินการทดลองเพื่อหาข้อมูลสนับสนุนสมมุติฐานที่ตั้งไว้ การตั้งสมมุติฐานและการทดสอบสมมุติฐาน จะเป็นการยืนยันว่าปัจจัยที่ส่งผลหรือปัจจัยที่เป็นสาเหตุที่สงสัยนั้นคือสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือความบกพร่องด้านคุณภาพได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้เมื่อมีการยืนยันว่าปัจจัยภายในกระบวนการเหล่านั้นมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์แล้ว ก็ยังสามารถสรุปได้ต่อไปว่าแต่ละปัจจัยดังกล่าวมีผลกระทบมากน้อยเพียงใด

ดังนั้นในขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุและปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาจึงเป็นเครื่องมือหลักในการวิเคราะห์ปัญหา เมื่อไม่แน่ใจว่าปัจจัยใดบ้างในกระบวนการที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพจึงสมควรทำการเก็บรวบรวมข้อมูลมาให้ได้มากที่สุด เพื่อทดสอบสมมุติฐาน เพื่อยืนยันได้อย่างแน่ชัดว่าปัจจัยเหล่านั้นเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัญหาคุณภาพหรือไม่ และเมื่อแน่ใจแล้วว่าปัจจัยใดที่ก่อให้เกิดปัญหาและจำเป็นต้องทำการปรับปรุง ก็สามารถไปทำการออกแบบการทดลองได้ต่อไป

4.2.1 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการปัจจุบัน (Process Capability) จะใช้ความหนาของการเคลือบในการประเมินความสามารถของกระบวนการเคลือบ เนื่องจากความหนาจะส่งผลถึงข้อบกพร่อง (Defect) ต่างๆ เช่น ถ้าหนาเกินไปจะเป็นฟองอากาศ (Bubble) แห้งช้า ไหลเข้าในพื้นที่ห้ามเคลือบ ถ้าบางเกินไป (หนาน้อยเกินไป) จะทำให้ลอกหลุดร่อน (Peeling) เคลือบไม่เต็ม เป็นต้น ดังนั้นเราจึงให้พนักงานประจำเครื่องเก็บข้อมูลความหนาของการเคลือบเท่าที่มีลงบันทึกไว้มาทำการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.5

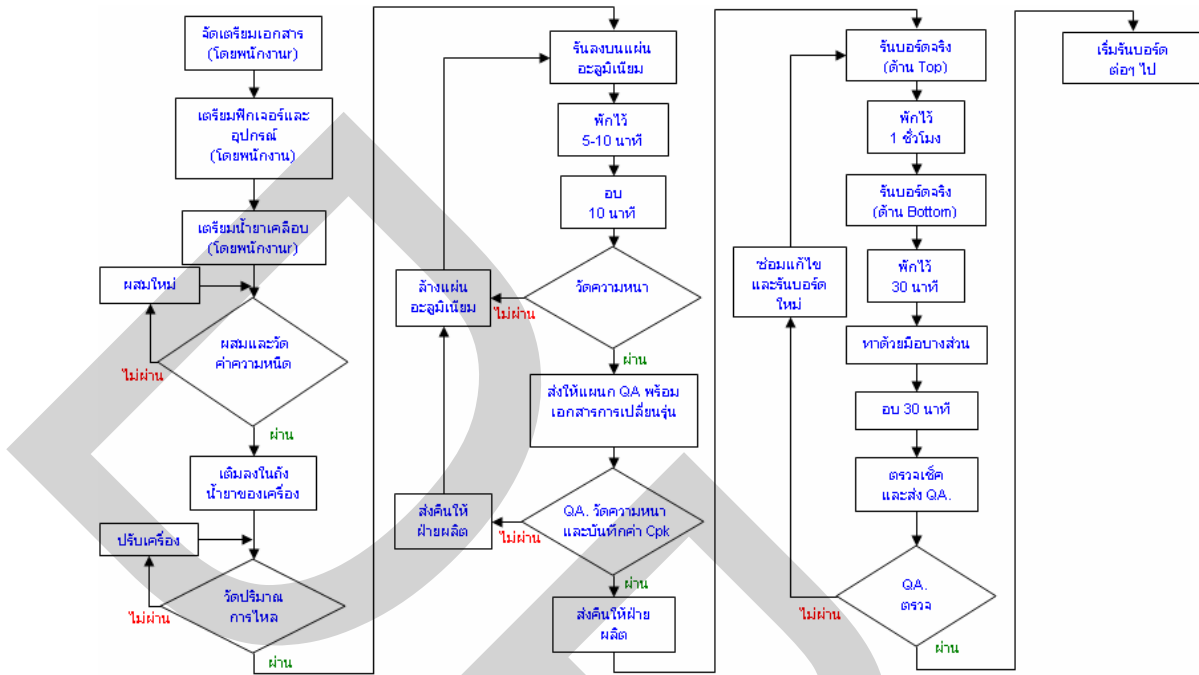


รูปที่ 4.5 แสดงความสามารถของกระบวนการเคลือบปัจจุบัน (Process Capability)

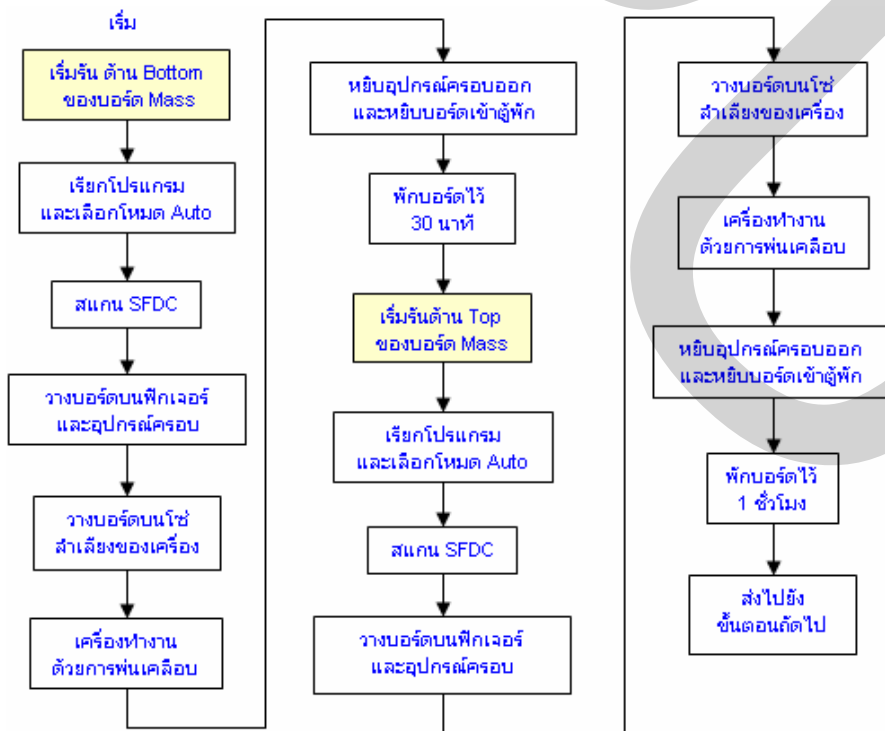
พบว่าความสามารถของกระบวนการเคลือบด้วยเครื่องในปัจจุบันมีค่า Cpk เท่ากับ 0.87 ซึ่งถือว่าต่ำกว่าเกณฑ์ของทางบริษัทกรณีศึกษากำหนด คือมากกว่าหรือเท่ากับ 1.33 จากรูปที่ 4.5 ยังพบว่าค่าความหนามีความแปรปรวนสูง มีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 2.8 ดังนั้นเราจะได้หาวิธีการปรับปรุงในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) ต่อไป

4.2.2 แจกแจงสาเหตุและผลกระทบของข้อบกพร่อง ในกระบวนการย่อยของกระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแล้วพักบอร์ด ทำการศึกษาถึงรายละเอียดโดยเริ่มจากการเขียนการไหลของขั้นตอนการทำงาน (Process Flow) ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 เพื่อหาปัจจัยอินพุตของแต่ละกระบวนการย่อย จากนั้นรวบรวมข้อมูลทั้งหมดมาใส่ลงในตารางสาเหตุและผลกระทบ และให้กลุ่มสมาชิกทำการลงคะแนนให้กับทุกสาเหตุในแต่ละกระบวนการย่อย ว่ามีความสัมพันธ์กันระดับใด แล้วทำการสรุปผลคะแนนในตารางสาเหตุและผลกระทบดังแสดงในตารางที่ 4.5 เพื่อจัดลำดับความสำคัญของกระบวนการย่อยที่เป็นแนวโน้มให้เกิดปัญหาของอาการเสียต่างๆ

4.2.2.1 การไหลของขั้นตอนการทำงาน (Process Flow) ในกระบวนการย่อยของการเคลือบด้วยเครื่องแล้วพักบอร์ด



รูปที่ 4.6 แสดงการไหลของขั้นตอนการเปลี่ยนรุ่นในกระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแล้วพักบอร์ด



รูปที่ 4.7 แสดงการไหลของกระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแล้วพักบอร์ด

## 4.2.2.2 ตารางแสดงเหตุและผลกระทบของกระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแก้วพิกบอร์ด

ตารางที่ 4.5 แสดงเหตุและผลกระทบของกระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแก้วพิกบอร์ด

ขั้นตอน กระบวนการ	สาเหตุของปัญหา	ลำดับของน้ำหนัก					รวม	คะแนนรวม
		1	2	3	4	5		
		พองอากาศ	เคลือบหนา และบางเกิน	ลอกหลุดร่อน	อุปกรณ์เป็นรอยแตก	เคลือบไม่สวย		
		43.13	28.97	8.58	6.44	5.36		
1	เรียกโปรแกรม และเลือกโหมด Auto	เอกสารการทำงานไม่ชัดเจน	1	2	0	0	0	101
		เลือกโปรแกรมผิด	3	3	2	3	1	258
2	สแกน SFDC	หนีบบอร์ด	0	2	2	1	1	87
		สแกนบอร์ด	0	0	0	2	1	18
3	วางบอร์ดบนฟีก เจอร์และอุปกรณ์ ครอบ	เอกสารการทำงานไม่ชัดเจน	0	0	0	2	0	13
		ฟีกเจอร์และอุปกรณ์	0	0	0	3	2	30
		หนีบบอร์ด	0	2	2	1	1	87
4	วางบอร์ดบนโซ่ สำหรับล้างของเครื่อง	เอกสารการทำงานไม่ชัดเจน	0	0	0	2	1	18
		ฟีกเจอร์และอุปกรณ์	0	0	0	3	2	30
		เซนเซอร์ตรวจจับบอร์ด	0	0	0	2	0	13
5	เครื่องพ่นเคลือบ โดยอัตโนมัติ	เอกสารการทำงานไม่ชัดเจน	1	1	1	1	0	87
		ความสะอาดของบอร์ด	2	2	8	0	3	15
		พารามิเตอร์ของโปรแกรม	8	8	3	3	3	638
		อัตราการใช้ของน้ำยาเคลือบ	8	10	2	0	2	663
		ความหนืดของน้ำยาเคลือบ	10	5	2	0	2	604
		หัวสเปรย์	3	3	0	3	2	246
		แรงดันลมในถังน้ำยา	3	8	0	0	1	367
		แรงดันลมสเปรย์	3	3	2	0	2	244
		ทันเนอร์ในถ้วยหัวสเปรย์	0	4	0	0	0	116
		ฟีกเจอร์และอุปกรณ์	1	2	2	4	2	155
		อัตราส่วนผสมของน้ำยาเคลือบ	5	3	2	0	2	330
6	หนีบอุปกรณ์ ครอบออก และ หนีบบอร์ดเข้าสู่ฟีก	เอกสารการทำงานไม่ชัดเจน	0	0	2	1	1	29
		วิธีหนีบบอร์ด	2	3	3	1	2	216
		วิธีหนีบบอร์ดออกจากฟีกเจอร์	0	0	3	1	2	43
7	พิกบอร์ดไว้	เอกสารการทำงานไม่ชัดเจน	2	2	0	1	1	156
		วิธีพิกบอร์ดไว้	3	3	2	2	2	12
		เวลาที่พิกบอร์ดไว้	3	2	0	0	0	187

จากตารางแสดงเหตุและผลกระทบ (Cause and Effect Matrix) กระบวนการย่อยของกระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแก้วพิกบอร์ด ผู้วิจัยพิจารณากระบวนการย่อยที่มีผลคะแนนมากที่สุด ถือว่าเป็นกระบวนการที่มีนัยสำคัญที่มีแนวโน้มที่ก่อให้เกิดของเสีย ซึ่งจากตารางแสดงเหตุและผลกระทบ พบว่าขั้นตอนการใช้เครื่องจักรเคลือบเป็นขั้นตอนที่ก่อให้เกิดปัญหาของเสียที่ถูกตรวจพบในขั้นตอนตรวจสอบขั้นสุดท้ายมากที่สุด

4.2.3 วิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA: Failure Mode & Effect Analysis) หลังจากที่ได้พิจารณาแล้วว่าขั้นตอนใดก่อให้เกิดปัญหาด้วยตารางแสดงเหตุและผลกระทบ (Cause & Effect Matrix) ในขั้นตอนต่อไปคือ การวิเคราะห์หลังลึกไปในขั้นตอนนั้นว่า ปัจจัยที่สำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหาคืออะไร โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะของอาการขัดข้องและผลกระทบด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่เรียกว่า FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) ดังแสดงในตารางที่ 4.6 เพื่อที่จะศึกษาถึงลักษณะของอาการขัดข้องและข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ พร้อมกับพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นด้วย เพื่อที่จะถ่วงดุลให้เหลือแต่ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปัญหาที่ทำการศึกษา จากนั้นทำการใช้แผนภูมิพารेटโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญดังรูปที่ 4.8 ก่อนที่จะนำไปออกแบบทดลองในขั้นตอนถัดไป

การคำนวณค่า RPN ได้มาจากผลคูณค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวคือ  $S \times O \times D$  เมื่อ

$S = \text{Severity}$  คือ ระดับความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้นเกณฑ์การให้คะแนนคือ 1 – 10 โดย 1 คือความรุนแรงน้อยที่สุดของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น และ 10 คือความรุนแรงมากที่สุดของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาเกิดขึ้น

$O = \text{Occurrence}$  คือ ระดับความถี่ของการเกิดปัญหาความล้มเหลวหรือความผิดพลาดเกณฑ์การให้คะแนนคือ 1–10 โดย 1 คือความถี่น้อยที่สุดของการเกิดความล้มเหลวหรือความผิดพลาด และ 10 คือความถี่มากที่สุดของการเกิดปัญหาความล้มเหลวหรือความผิดพลาด

$D = \text{Detecting}$  คือ ระดับความสามารถในการตรวจจับปัญหานั้นก่อนที่จะส่งมอบงานไปให้ลูกค้าหรือกระบวนการถัดไป เกณฑ์การให้คะแนนคือ 1–10 โดย 1 คือความสามารถในการตรวจจับปัญหาที่ดีที่สุด และ 10 คือความสามารถในการตรวจจับปัญหาที่แย่ที่สุด

ค่า  $S$ ,  $O$  และ  $D$  นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นค่าระดับความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหาคือค่า RPN เท่ากับ 1 ซึ่งมาจาก  $1 \times 1 \times 1$  หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยมากและความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกัน ซึ่งสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์ ในขณะที่ค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของการเกิดปัญหาคือค่า RPN เท่ากับ 1,000 ซึ่งมาจาก  $10 \times 10 \times 10$  หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมากและความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีมาก รวมถึงความสามารถในการตรวจจับปัญหามีต่ำ

ตารางที่ 4.6 แสดง FMEA กระบวนการเคลือบด้วยการใช้เครื่องจักรเคลือบ

Process Name : Conformal Coating Process

Product : XXE17XXXACC

FMEA Committee : Suna\_K.(Eq.), Somboon\_A.(PE), Smarn\_P.(QE), Kittipong\_S.(PD), Wana\_K.(Sr.Tech), Surapong\_B.(Tech), Arun\_B.(Tech)

FMEA No.# : XXE17XXXACC

Process Function	Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	Occur	Current Process Controls	Detect	RPN	Recommended Action(s)	Action Results			
											Sev	Occ	Det	RPN
กระบวนการเคลือบด้วยการใช้เครื่องจักรเคลือบอัตโนมัติ	เอกสารประกอบการทำงาน	เอกสารประกอบการทำงานระบุข้อมูลไม่ชัดเจน	เคลือบในพื้นที่ต้องห้าม, เคลือบหนาเกิน, มีฟองอากาศ, เคลือบบางเกิน	3	- เอกสารประกอบการทำงานไม่ได้ปรับปรุงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เคลือบใหม่ - เอกสารประกอบการทำงานไม่ได้ระบุค่าความหนืด (Viscosity) - เอกสารประกอบการทำงานไม่ได้ระบุวิธีการไหลและทิศทางทางไหลบอร์ดเข้าเครื่อง	3	- ระบุลูกศรทิศทางทางไหลบอร์ดเข้าเครื่องลงในเอกสารประกอบการทำงานและระบุลงบน Fixture. - กำหนดให้มีการตรวจเช็คก่อนไหลบอร์ดเข้าเครื่องเสมอ	3	27					
	พารามิเตอร์ของโปรแกรม	พารามิเตอร์ของโปรแกรมกำหนดไว้ไม่เหมาะสม	เคลือบในพื้นที่ต้องห้าม, เคลือบหนาเกิน, มีฟองอากาศ, เคลือบบางเกิน	8	- ความเร็วของการเคลือบไม่เหมาะสม - ระยะห่างของหัวพ่นเคลือบไม่เหมาะสม - รอบการพ่นเคลือบซ้ำไม่เหมาะสม - แรงดันลมสเปร์ไม่เหมาะสม - ปริมาณน้ำยาเคลือบไม่เหมาะสม - ความหนืดไม่เหมาะสม	5	- ปรับจนพารามิเตอร์ของโปรแกรมและทดสอบพ่นเคลือบกับบอร์ดสำเร็จ - ล็อคพารามิเตอร์ไว้ไม่ให้มีการปรับตั้งเปลี่ยนแปลงด้วยการดึงรหัสผ่านไว้	5	200	ควรมีการปรับปรุงพารามิเตอร์ของโปรแกรมใหม่อีกครั้ง และกำหนดให้เป็นพารามิเตอร์สำหรับให้ช่างเทคนิคอ้างอิงในการปรับตั้งค่า				

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

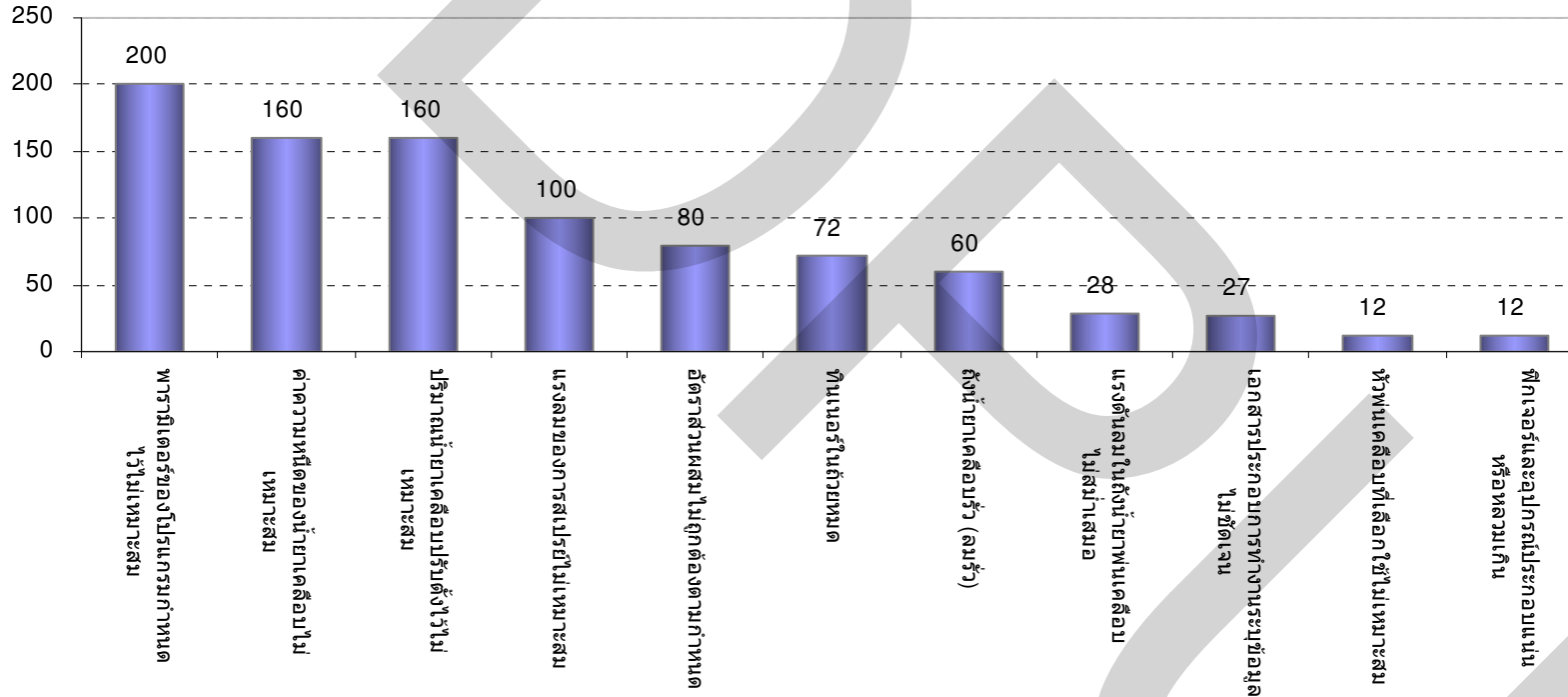
Process Function	Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	Occur	Current Process Controls	Detect	RPN	Recommended Action(s)	Action Results			
											Sev	Occ	Detect	RPN
กระบวนการเคลือบ ด้วยการใช้เครื่องจักร เคลือบอัตโนมัติ	ปริมาณน้ำยาเคลือบ (ตรวจเช็คด้วยการ ชั่งน้ำหนัก)	ปริมาณน้ำยาเคลือบ ปรับตั้งไว้ไม่เหมาะสม	ทำให้เกิดฟองอากาศ, เคลือบหนา เกิน, เคลือบบางเกิน หรือปริมาณ น้ำยาเคลือบมากเกินไป, ปริมาณน้ำยา เคลือบน้อยเกินไป	8	- หัวสเปร์ยอุดตัน ขณะพ่นเคลือบ - การปรับวาล์วเปิด-ปิดน้ำยา เคลือบไม่สม่ำเสมอ - แรงดันในถังน้ำยาเคลือบไม่ สม่ำเสมอ - ความหนืดไม่สม่ำเสมอ	5	- กำหนดให้พนักงานตรวจเช็คและ เติมทินเนอร์ในถังทินเนอร์เพื่อ ป้องกันหัวพ่นอุดตัน - กำหนดให้ช่างเทคนิคตรวจเช็ค ปริมาณน้ำยาเคลือบด้วยการชั่ง น้ำหนัก ทุกครั้งที่เปลี่ยน รุ่น	4	160					
	ความหนืดของน้ำยา เคลือบ (Viscosity)	ค่าความหนืดของน้ำยา เคลือบไม่เหมาะสม	เคลือบในพื้นที่ต้องห้าม, เกิดเป็น เส้นใยแมงมุม (Cobweb defect), เกิดฟองอากาศ (Bubble defect), เคลือบหนาเกินหรือบางเกิน, ปริมาณน้ำยาเคลือบมากเกินไปหรือ น้อยเกินไป	8	- ลักษณะรูปร่างออร์คที่ใช้เคลือบ - อุณหภูมิและความชื้นภายใน สถานที่ทำงาน - อัตราส่วนผสมไม่เหมาะสม	4	- กำหนดให้พนักงานตรวจเช็คค่า ความหนืด (Viscosity) ทุกครั้งที่มีการ เปลี่ยน รุ่นผลิต - กำหนดให้พนักงานตรวจเช็คถัง น้ำยาเคลือบ ด้วยวิธีการบำรุงรักษา ด้วยตัวเอง (Self Maintenance)	5	160	ปรับจนหาค่าความหนืด (Viscosity) ใหม่ให้ เหมาะสม				
	ชนิดของหัวพ่น เคลือบ (Nozzle type)	หัวพ่นเคลือบที่เลือกใช้ ไม่เหมาะสม	ทำให้เกิดฟองอากาศ, เคลือบหนา เกิน, เคลือบบางเกิน หรือปริมาณ น้ำยาเคลือบมากเกินไป, ปริมาณน้ำยา เคลือบน้อยเกินไป	3	ไม่มีกำหนดหรือควบคุมการ เลือกใช้ชนิดของหัวพ่นเคลือบ	2	กำหนดชนิดของหัวพ่นเคลือบไว้ ในโปรแกรม	2	12					
	แรงดันลมในถัง น้ำยาพ่นเคลือบ (Material tank)	แรงดันลมในถังน้ำยาพ่น เคลือบไม่สม่ำเสมอ	ทำให้เกิดฟองอากาศ, เคลือบหนา เกิน, เคลือบบางเกิน หรือปริมาณ น้ำยาเคลือบมากเกินไป, ปริมาณน้ำยา เคลือบน้อยเกินไป	7	- แรงดันลมตกขณะใช้งาน - ไม่ได้ระบุแรงดันลมในเอกสาร ประกอบการทำงาน	2	กำหนดให้ตั้งค่าแรงดันลมไว้ที่ 10 psi.	2	28					

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

Process Function	Requirements	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Sev	Potential Cause(s) / Mechanism(s) of Failure	Occur	Current Process Controls	Detect	RPN	Recommended Action(s)	Action Results			
											Sev	Occ	Detect	RPN
กระบวนการเคลือบ ด้วยการใช้เครื่องจักร เคลือบอัตโนมัติ	ถึงน้ำยาเคลือบ	ถึงน้ำยาเคลือบเร็ว (ลมรั่ว)	น้ำยาเคลือบออกไม่สม่ำเสมอ ปริมาณน้ำยาเคลือบน้อยเกินไป	5	- ถึงน้ำยาเคลือบปิดไม่สนิท - สายแรงดันลมเข้าท่อไม่แน่น	4	กำหนดให้พนักงานตรวจเช็คถึงน้ำยาเคลือบทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่นผลิต	3	60					
	แรงดันลมของการสเปรย์	แรงลมของการสเปรย์ไม่เหมาะสม	ทำให้เกิดฟองอากาศ, เคลือบหนาเกินไป, เคลือบบางเกินไป, ปริมาณน้ำยาเคลือบมากเกินไป, ปริมาณน้ำยาเคลือบน้อยเกินไป	5	แรงดันลมสูงเกินไป หรือต่ำเกินไป	4	กำหนดให้ตั้งค่าแรงดันลมไว้ที่ 10 psi.	5	100	ปรับจนหาค่าแรงดันลมให้เหมาะสม				
	ทินเนอร์ในถ้วยทำความสะอาดหัวสเปรย์อัตโนมัติ	ทินเนอร์ในถ้วยหมด	เคลือบหนาเกินไปหรือบางเกินไป, ปริมาณน้ำยาเคลือบมากหรือน้อยเกินไป	4	พนักงานไม่ได้เติมทินเนอร์ก่อนปฏิบัติงาน	3	กำหนดให้พนักงานตรวจเช็คและเติมทินเนอร์	6	72	แก้ไขเอกสาร self Maintaintance โดยเพิ่มหัวข้อตรวจเช็คทินเนอร์ก่อนปฏิบัติงาน				
	ฟิกเจอร์และอุปกรณ์ประกอบ (Fixture and tooling)	ฟิกเจอร์และอุปกรณ์ประกอบแน่นหรือหลวมเกินไป	เคลือบในพื้นที่ต้องห้าม, เคลือบไม่ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องห้าม	3	- ขณะออกแบบ มีรายละเอียดและข้อมูลของบอร์ดน้อย - อ้างอิงข้อมูลจากไฟล์ Gerber เพียงอย่างเดียว	2	ออกแบบตามบอร์ดตัวอย่างของลูกค้า	2	12					
	อัตราส่วนผสมของน้ำยาเคลือบ	อัตราส่วนผสมไม่ถูกต้องตามกำหนด	เคลือบในพื้นที่ต้องห้าม, เกิดเป็นเส้นใยแมงมุม (Cobweb defect), เกิดฟองอากาศ (Bubble defect), เคลือบหนาเกินไปหรือบางเกินไป, ปริมาณน้ำยาเคลือบมากเกินไปหรือน้อยเกินไป	5	พนักงานไม่เข้าใจชัดเจนหรือจำอัตราส่วนผสมผิด	4	ทำการทดลองหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมและกำหนดค่าอัตราส่วนผสมลงในเอกสารประกอบการปฏิบัติงาน	4	80					



### RPN (Risk Priority Number) ปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาในขั้นตอนการใช้เครื่องจักรเคลื่อน



รูปที่ 4.8 แสดงแผนภูมิพารโตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ จากการวิเคราะห์ด้วย FMEA ในขั้นตอนการใช้เครื่องจักรเคลื่อน

4.2.4 สรุปการวิเคราะห์สาเหตุและปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหา จากการพิจารณากระบวนการขั้นตอนการใช้เครื่องจักรเคลือบ มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีแนวโน้มกับผลกระทบต่ออาการเกิดของเสียที่พบในกระบวนการตรวจสอบขั้นตอนสุดท้าย โดยเริ่มต้นการวิเคราะห์ด้วยการใช้ตารางสาเหตุและผลกระทบ (Cause and Effect Matrix) พบว่าขั้นตอนการใช้เครื่องจักรเคลือบเป็นขั้นตอนที่มีนัยสำคัญที่มีแนวโน้มก่อให้เกิดปัญหาของเสียที่ถูกตรวจพบในขั้นตอนตรวจสอบขั้นสุดท้ายมากที่สุด จากนั้นนำขั้นตอนดังกล่าวนี้มาวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (Failure Mode Effect Analysis - FMEA) โดยการนำค่า RPN (Risk Priority Number) มาจัดลำดับความสำคัญจากเหตุที่มีความร้ายแรงมากกว่าหรือมีความเป็นไปได้สูงกว่าด้วยแผนภูมิแท่ง ซึ่งทีมงานได้พิจารณาจากค่า RPN ที่มากกว่า 100 ขึ้นไป พบว่าปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาของเสียที่พบในกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย คือ

1. พารามิเตอร์ของโปรแกรมกำหนดไว้ไม่เหมาะสมประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญคือ
  - 1) ความเร็วของการเคลือบ (Coating Speed)
  - 2) ระยะระหว่างหัวพ่นกับบอร์ด (Z-Position)
  - 3) แรงดันลมปรับสเปรย์ (Atomize Air Pressure)
  - 4) จำนวนรอบที่พ่นเคลือบ (Coating Layer)
  - 5) ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume)
  - 6) ความหนืดของน้ำยาเคลือบ (Material Viscosity)
2. ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Volume) ไม่สม่ำเสมอประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญคือ
  - 1) หัวสเปรย์อุดตัน
  - 2) แรงดันลมในถังน้ำยาเคลือบไม่สม่ำเสมอ
  - 3) วาล์วปรับปริมาณน้ำยาเคลือบปรับไม่สม่ำเสมอ
  - 4) ความหนืดไม่สม่ำเสมอ
3. ความหนืด (Viscosity) ของน้ำยาเคลือบไม่เหมาะสมประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญคือ
  - 1) อัตราส่วนผสมของน้ำยาเคลือบอะคริลิกกับทินเนอร์
  - 2) อุณหภูมิและความชื้นภายในสถานที่ทำงาน
  - 3) รูปร่างลักษณะบอร์ดที่ใช้เคลือบ

ดังนั้นทีมงานจะได้นำปัจจัยทั้งหมดเหล่านี้ไปวิเคราะห์ระดับความมีนัยสำคัญ ความมีอิทธิพลร่วมซึ่งกันและกัน เพื่อหาวิธีการปรับปรุงในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) โดยวิธีการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดและปรับปรุงแก้ไขต่อไป

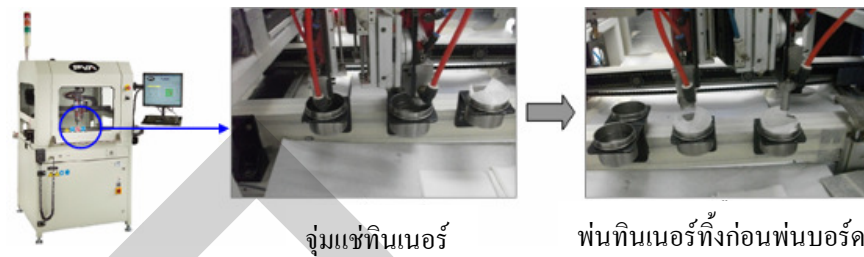
### 4.3 ปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase)

หลังจากทำการวิเคราะห์สาเหตุและปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาในบทที่ผ่านมาและได้ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อลักษณะของเสียแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะได้นำปัจจัยดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์และปรับปรุง โดยการจำแนกก่อนว่าตัวแปรใดที่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ทันทีและตัวแปรใดที่จำเป็นต้องออกแบบการทดลอง จากนั้นดำเนินการออกแบบการทดลองด้วยการกำหนดประเภทของตัวแปรว่าเป็นตัวแปรนำเข้า (Input Variable) หรือตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง แล้วทำการทดลองตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้และวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์หรือตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด และเมื่อได้พารามิเตอร์ที่ดีที่สุดแล้วนำพารามิเตอร์ดังกล่าวไปใช้และติดตามผลต่อไป

4.3.1 พารามิเตอร์ของโปรแกรมกำหนดไว้ไม่เหมาะสม สำหรับตัวแปรในพารามิเตอร์ของโปรแกรมนี้ ไม่มีตัวแปรหรือพารามิเตอร์ใดเลยที่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้เลยทันที ตัวแปรทั้งหมดจำเป็นต้องมีการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดก่อน และยังมีสองตัวแปรที่มีอิทธิพลรวมคือ ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume) และความหนืดของน้ำยาเคลือบ (Material Viscosity) ซึ่งจะได้ทำการทดลองหาค่าที่เหมาะสมต่อไป

4.3.2 ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume) ไม่สม่ำเสมอ มีตัวแปรที่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้โดยทันทีประกอบด้วย

1. หัวสเปรย์อุดตันหรือหัวพ่นน้ำยาเคลือบอุดตัน จากการศึกษากระบวนการทำงานของเครื่องพ่นเคลือบและเก็บข้อมูลจากพนักงานประจำเครื่อง ทำให้ทราบว่าที่ถังน้ำยาเคลือบจะมีอุปกรณ์กรอง (Filter) ติดที่ตัวถังอยู่แล้วเพื่อกรองเศษตะกอนก่อนส่งผ่านมายังหัวสเปรย์เพื่อป้องกันหัวสเปรย์อุดตันและยังทราบถึงระบบการทำงานของเครื่องอีกว่า หลังจากที่พ่นเคลือบบอร์ดเสร็จเรียบร้อยในแต่ละบอร์ดแล้วหัวสเปรย์จะเคลื่อนที่ปลายหัวสเปรย์ (Nozzles) มาจุ่มแช่ในถ้วยทินเนอร์โดยอัตโนมัติทุกครั้ง และเมื่อมีการปล่อยบอร์ดใหม่เข้ามาโดยระบบโซ่ลำเลียง (Chain Conveyor) หัวสเปรย์จะยกตัวขึ้นและเคลื่อนที่ออกจากถ้วยทินเนอร์แล้วพ่นทินเนอร์ที่ติดมากับปลายหัวสเปรย์ทิ้ง (Purge) เพื่อป้องกันไม่ให้ทินเนอร์หยดลงบนบอร์ด ซึ่งหลักการทำงานดังกล่าวนี้เป็นระบบป้องกันหัวสเปรย์อุดตันของเครื่องพ่นเคลือบนี้



รูปที่ 4.9 แสดงถึงระบบการป้องกันหัวสเปรย์อุดตันของเครื่องพ่นเคลือบ

ปัญหา คือ พบว่าทินเนอร์ในถ้วยไม่มีจึงทำให้หัวสเปรย์อุดตันเมื่อมีการเว้นช่วงการปล่อยบอร์ดเข้าเครื่องเป็นเวลานาน หมายความว่าหลังจากที่สเปรย์บอร์ดสุดท้ายแล้วหัวสเปรย์ไม่ได้จุ่มแช่ในทินเนอร์จึงทำให้น้ำยาเคลือบแห้งติดและอุดตันที่ปลายหัวสเปรย์ (Nozzles) จากปัญหาดังกล่าวนี้สาเหตุมาจากไม่มีการตรวจเช็คและเติมทินเนอร์ในถ้วยทินเนอร์ให้พร้อมตลอดเวลา

แนวทางแก้ไขและป้องกัน คือ กำหนดแนวทางการทำงานของพนักงานประจำเครื่อง ให้มีหน้าที่ตรวจเช็คและเติมทินเนอร์ให้พร้อมตลอดเวลา และจัดทำเป็นเอกสารการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Self Maintenance หรือ SM) ให้กับพนักงานประจำเครื่องเพื่อตรวจเช็คและลงบันทึกทุกครั้งก่อนเริ่มปฏิบัติงาน อีกทั้งกำหนดให้มีการเดินตรวจสอบ (Roving Audit) จากพนักงานที่ทำหน้าที่เดินตรวจสอบ (Roving Auditor) ตามระบบควบคุมคุณภาพของบริษัทกรณีศึกษา

2. แรงดันลมในถังน้ำยาเคลือบไม่สม่ำเสมอ จากการศึกษาการทำงาน of เครื่องพ่นเคลือบพบว่าระบบการจ่ายน้ำยาเคลือบจะจ่ายด้วยการอัดแรงดันลมเข้าในถังน้ำยาเพื่อดันให้น้ำยาออกมา ซึ่งแรงดันลมดังกล่าวมีการควบคุมด้วยระบบวาล์วลม (Pneumatic Valve) ซึ่งจะไม่สามารถควบคุมความเสถียรของแรงดันลมได้ หากแรงดันลมหลักไม่มีความเสถียร ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้ จะส่งผลทำให้ปริมาณน้ำยาเคลือบที่ไหลส่งผ่านไปยังหัวสเปรย์ไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 4.10 แสดงระบบการจ่ายแรงดันลมหลักและแรงดันลมของถังน้ำยาเคลือบ

ปัญหาคือ แรงดันลมหลัก (Main Air Pressure) ไม่เสถียร สูงขึ้น-ต่ำลง ไม่สม่ำเสมอ ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากขณะเครื่องทำงานมีระบบนิเวศของเครื่องจะทำงานตลอดเวลาซึ่งใช้แรงดันลมหลักชุดเดียวกัน อีกทั้งเครื่องจักรเครื่องอื่นๆ ภายในบริษัทกรณีศึกษานี้ก็มีการใช้แรงดันลมหลักจากที่เดียวกันซึ่งทำให้แรงดันต่ำลงเมื่อมีการใช้งานพร้อมกัน เมื่อแรงดันลมหลักไม่สม่ำเสมอจึงส่งผลโดยตรงไปยังแรงดันลมที่จ่ายเข้าในถังน้ำยาเคลือบไม่สม่ำเสมอด้วยและปริมาณน้ำยาจึงไหลไม่สม่ำเสมอเช่นกัน ดังนั้นก่อนที่จะปรับปรุงแก้ไขปัญหาลมไม่สม่ำเสมอนี้ ทีมงานได้มีการศึกษาถึงผลกระทบของแรงดันลมที่เข้าถังก้ำน้ำยาเคลือบต่อปริมาณน้ำยาเคลือบที่ไหลส่งผ่านหัวสเปรย์ ซึ่งทดสอบโดยวิธีชั่งน้ำหนักน้ำยาเคลือบที่ไหลผ่านหัวสเปรย์เป็นเวลา 20 วินาที เท่าๆ กัน พบว่าแรงดันลมที่ 1 psi มีผลทำให้ปริมาณน้ำยาเคลือบเปลี่ยนแปลงไป 0.1 กรัม ดังแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การทดลองผลกระทบของแรงดันลมที่จ่ายเข้าถังก้ำน้ำยาเคลือบต่อปริมาณน้ำยาเคลือบ

แรงดันลมจ่ายเข้าถังก้ำน้ำยาเคลือบ ( psi )	ได้ปริมาณน้ำยาเคลือบจากการพ่น 20 วินาที ( g )
14	1.6
13	1.4
12	1.3
11	1.2
10	1.1
9	1.0
8	0.8
7	0.7
6	0.6

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.7 ค่าปริมาณน้ำยาเคลือบจากการพ่น 20 วินาทีนั้น ทางทีมงานใช้วิธีการชั่งน้ำหนักแทนการวัดปริมาตร เนื่องจากปริมาณที่พ่นออกมานั้นมีจำนวนที่น้อยมากและในโรงงานกรณีศึกษานี้ไม่มีเครื่องวัดปริมาตรที่จำนวนน้อยเท่านี้ อีกทั้งการทดลองนี้เป็นเพียงการหาความแปรผันของตัวแปรเข้า (ลมเข้าถังก้ำน้ำยาเคลือบ) กับตัวแปรออกหรือตัวแปรตอบสนอง (ปริมาณน้ำยาออก) เท่านั้น

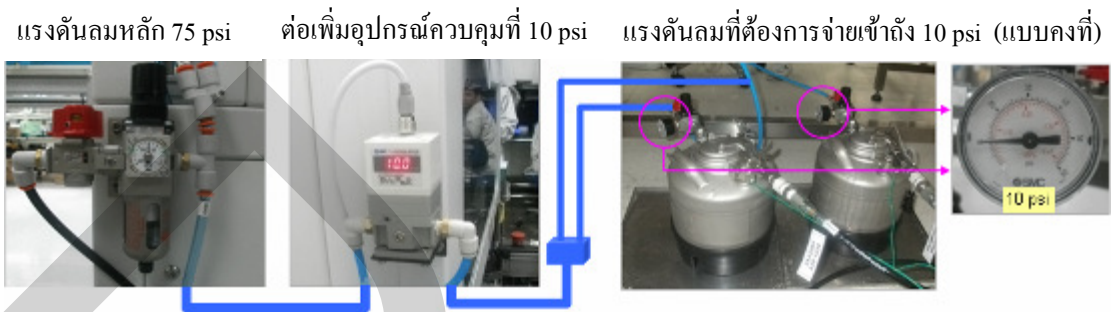


รูปที่ 4.11 แสดงแรงดันลมหลักต่ำลง ทำให้แรงดันลมที่จ่ายเข้าถึงน้ำยาน้อยกว่า 10 psi (น้ำยาน้อย)



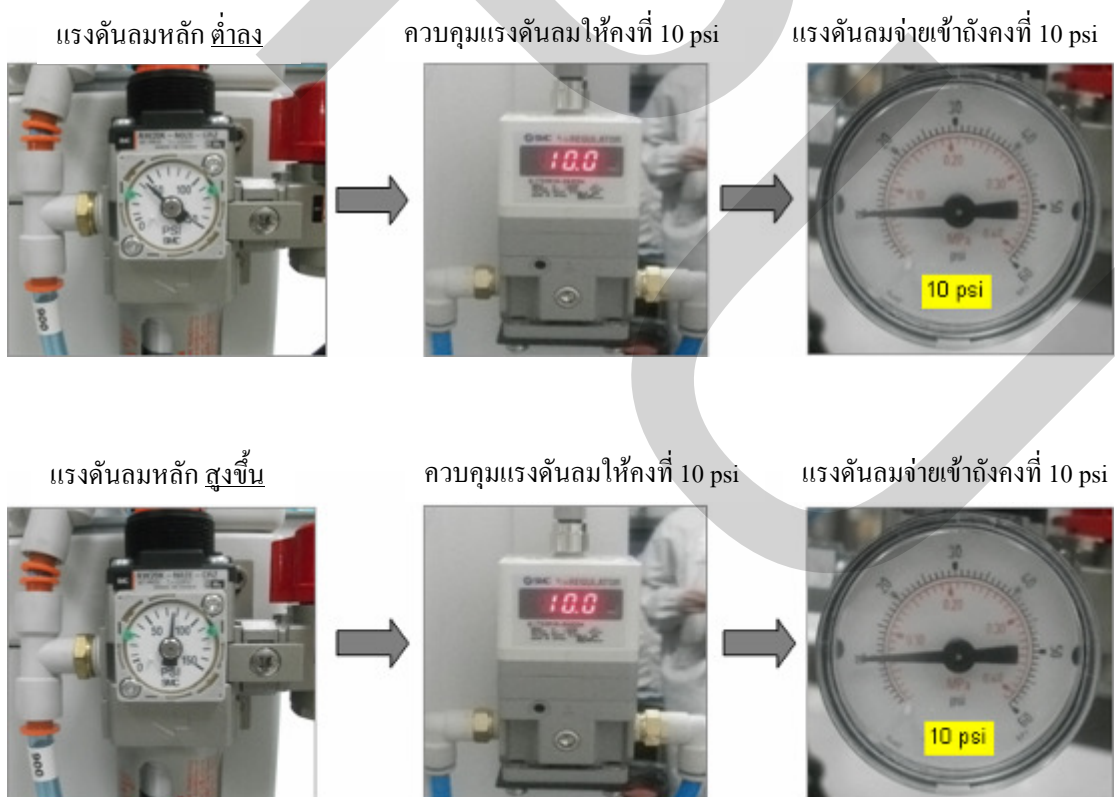
รูปที่ 4.12 แสดงแรงดันลมหลักสูงขึ้น ทำให้แรงดันลมที่จ่ายเข้าถึงน้ำยามากกว่า 10 psi (น้ำยามาก)

แนวทางแก้ไขและป้องกัน คือ เนื่องจากแรงดันลมที่จ่ายเข้าถึงน้ำยาเคลือบเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลง ตามแรงดันลมหลักที่จ่ายเข้ามา จึงทำให้ปริมาณน้ำยาเคลือบที่พ่นลงบนบอร์ดไม่สม่ำเสมอตามแรงดันลมที่เปลี่ยนแปลง และมีข้อสังเกตว่าแรงดันลมที่จ่ายเข้าถึงน้ำยาเคลือบนั้นมีแรงดันที่ต้องการค่อนข้างต่ำเพียง 10 psi เท่านั้น ซึ่งต่ำกว่าแรงดันลมหลักมาก (แรงดันลมหลักที่จ่ายมาจากระบบ Facility ของโรงงานกรณีศึกษาอยู่ระหว่าง 70 - 80 psi) ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงแก้ไข ปัญหาแรงดันลมที่จ่ายเข้าถึงน้ำยาเคลือบไม่สม่ำเสมอ แก้ไขได้โดยการหาอุปกรณ์ควบคุมแรงดันลมอัตโนมัติต่อเพิ่มเข้าก่อนจ่ายแรงดันลมเข้าถึงน้ำยาเคลือบเพื่อควบคุมแรงดันลมให้คงที่ตลอดเวลา ถึงแม้แรงดันลมหลักจะไม่สม่ำเสมอก็ตาม (สูงขึ้นหรือต่ำลง) ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงอุปกรณ์ควบคุมแรงดันลมก่อนจ่ายเข้าถึงน้ำยา เพื่อควบคุมแรงดันลมให้คงที่

หลังจากต่ออุปกรณ์ควบคุมแรงดันลมแบบอัตโนมัติเพิ่มเข้าไปและทำการทดสอบการทำงาน เราพบว่าสามารถควบคุมแรงดันลมที่จ่ายเข้าในถึงน้ำยาเคลือบให้คงที่ตลอดเวลาได้ถึงแม้แรงดันหลักจะไม่สม่ำเสมอก็ตาม (สูงขึ้นหรือต่ำลง) ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.8

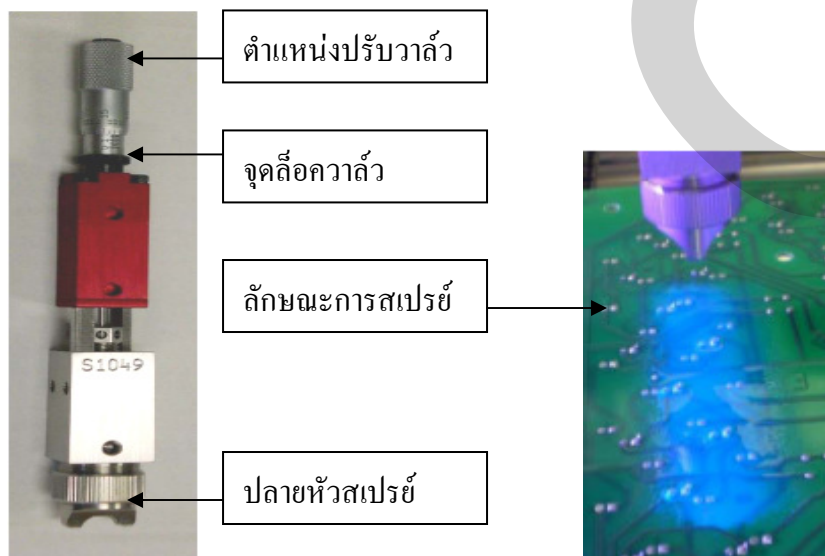


รูปที่ 4.14 แสดงการทดสอบอุปกรณ์ควบคุมแรงดันลมแบบอัตโนมัติ (ควบคุมที่ 10 psi)

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมแรงดันลมแบบอัตโนมัติ

แรงดันลมหลัก (psi)	อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ (psi)	แรงดันลมเข้าถึงน้ำยาเคลือบ (psi)
80	10.0	10
70	10.0	10
60	10.0	10
50	10.0	10
40	10.0	10
30	10.0	10
20	10.0	10
10	10.0	10

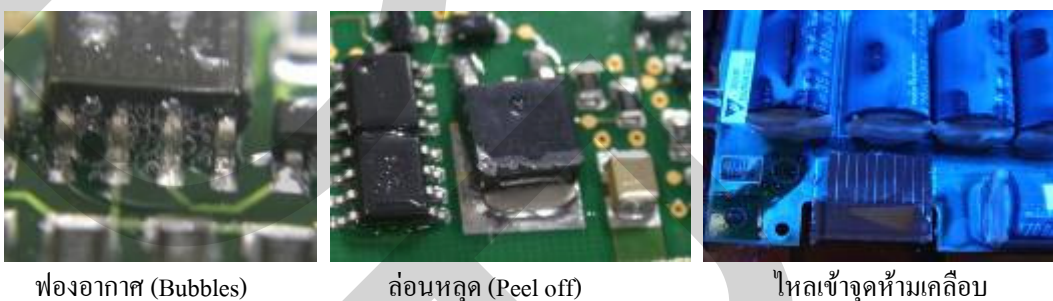
3. วาล์วปรับปริมาณน้ำยาเคลือบปรับไม่สม่ำเสมอ จากการศึกษาการทำงานของเครื่องพ่นเคลือบทราบว่าปริมาณน้ำยาเคลือบที่ไหลออกมายังหัวพ่น (Nozzle) นั้น นอกจากจะกำหนดที่แรงดันลมที่อัดเข้าในถังน้ำยาเคลือบแล้ว ยังสามารถปรับวาล์วเพื่อเปิดช่องให้น้ำยาเคลือบไหลผ่านหัวสเปรย์ การปรับวาล์วจะปรับด้วยมือแล้วถือคมิไม่ให้คลายตัวได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะของหัวสเปรย์และวาล์วปรับปริมาณน้ำยาเคลือบ



ปัญหา คือ การปรับวาล์วของช่างเทคนิค (Technician) แต่ละคน ปรับแล้วได้ปริมาณน้ำยาเคลือบไม่เท่ากัน จึงทำให้ปริมาณน้ำยาเคลือบหนาและบางเกินไม่เท่ากัน (Too Thick and Thin) เป็นผลทำให้เกิดข้อบกพร่อง (Defects) ขึ้นกับบอร์ด เช่น เมื่อนำไปอบที่อุณหภูมิเท่ากันและเวลาเท่ากันแล้วพบว่า บางบอร์ดแห้งและบางบอร์ดไม่แห้ง เกิดฟองอากาศ (Bubbles) ทั้งก่อนและหลังอบ น้ำยาเคลือบไหลเข้าอุปกรณ์เชื่อมต่อบนบอร์ด (Connectors) น้ำยาเคลือบไหลเข้าจุดห้ามเคลือบ น้ำยาเคลือบล่อนหลุด เป็นต้น



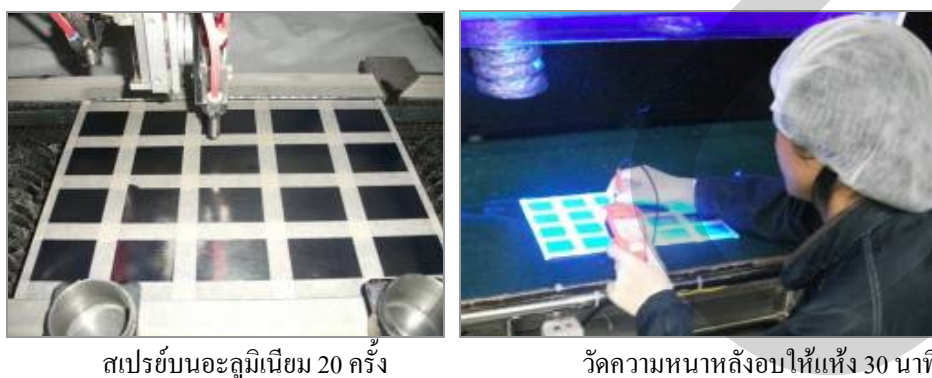
รูปที่ 4.16 แสดงตัวอย่างข้อบกพร่อง (Defects) ที่เกิดขึ้นกับบอร์ดในโรงงานกรณีศึกษา

แนวทางแก้ไขและป้องกัน คือ เนื่องจากการปรับวาล์วของช่างเทคนิคแต่ละคนได้ปริมาณน้ำยาเคลือบไม่เท่ากัน จึงเป็นผลทำให้เกิดข้อบกพร่อง (Defects) ต่างๆ ดังรูปที่ 4.16 เมื่อศึกษาถึงรายละเอียดของการทำงานของช่างเทคนิคพบว่า ช่างเทคนิคจะปรับตั้งวาล์วทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่นผลิต ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนชนิดของน้ำยาเคลือบ ทุกครั้งที่ผสมและเติมน้ำยาใหม่ (น้ำยาเก่าหมด) ในการปรับวาล์วแต่ละครั้งช่างเทคนิคจะสั่งให้เครื่องฉีดน้ำยาเคลือบ 20 วินาที จากนั้นสังเกตที่ปลายหัวสเปรย์หรือหัวฉีดว่ามีปริมาณน้ำยาออกมาอย่างน้อยอย่างไร (โดยการประมาณ) แล้วถือวาล์วไม่ให้วาล์วเคลื่อน จากนั้นใช้แผ่นอะลูมิเนียม (Aluminum Plate) แทนบอร์ดจริง นำมาพ่นน้ำยาด้วยโปรแกรมที่ใช้รันบอร์ดจริงเพื่อตรวจเช็คยืนยันความหนาที่ก่อนรันบอร์ดจริงเสมอ แต่ถ้าความหนา (Thickness) ไม่ได้ตามสเปคที่กำหนด (สเปคความหนาอยู่ระหว่าง 40 – 55 ไมครอน) ช่างเทคนิคก็จะทำการปรับวาล์วใหม่อีกครั้งและรันบนแผ่นอะลูมิเนียมใหม่อีกครั้ง จนกว่าจะได้ความหนาตามสเปคที่กำหนด ปัญหาที่ทำให้การปรับวาล์วได้ปริมาณน้ำยาเคลือบไม่สม่ำเสมอของช่างเทคนิคก็คือ ไม่มีอุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดปริมาณน้ำยาเคลือบหลังจากปรับวาล์วแล้ว ใช้เพียงการสังเกตและประสบการณ์ของแต่ละคนเท่านั้น ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงและกำหนดวิธีการทำงานให้กับช่างเทคนิคโดยการวัดปริมาณน้ำยาเคลือบด้วยการชั่งน้ำหนักแทนการสังเกตด้วยสายตาเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 4.17



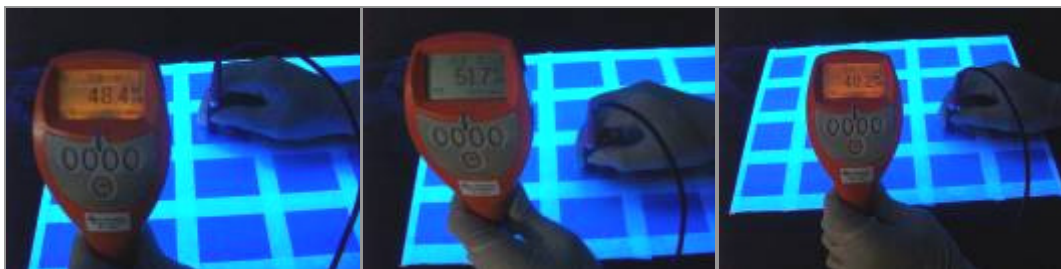
รูปที่ 4.17 แสดงขั้นตอนการวัดปริมาณน้ำยาเคลือบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก

หลังจากปรับปรุงและกำหนดวิธีการทำงานให้กับช่างเทคนิคโดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักแล้ว ได้มีการทดสอบเพื่อประเมินความเสถียรของการบวนการและประสิทธิภาพการทำงานของช่างเทคนิคกับวิธีการทำงานแบบใหม่ ด้วยการให้ช่างเทคนิคทั้ง 3 กะ ทดลองปรับวาล์วและชั่งน้ำหนักของน้ำยาเคลือบ กำหนดน้ำหนักที่  $1.1 \pm 0.1$  กรัม จากนั้นสเปรย์เคลือบลงบนแผ่นอะลูมิเนียม (Aluminum Plate) เพื่อวัดความหนา โดยกำหนดให้ทำซ้ำคนละ 20 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.18



สเปรย์บนอะลูมิเนียม 20 ครั้ง

วัดความหนาหลังอบให้แห้ง 30 นาที



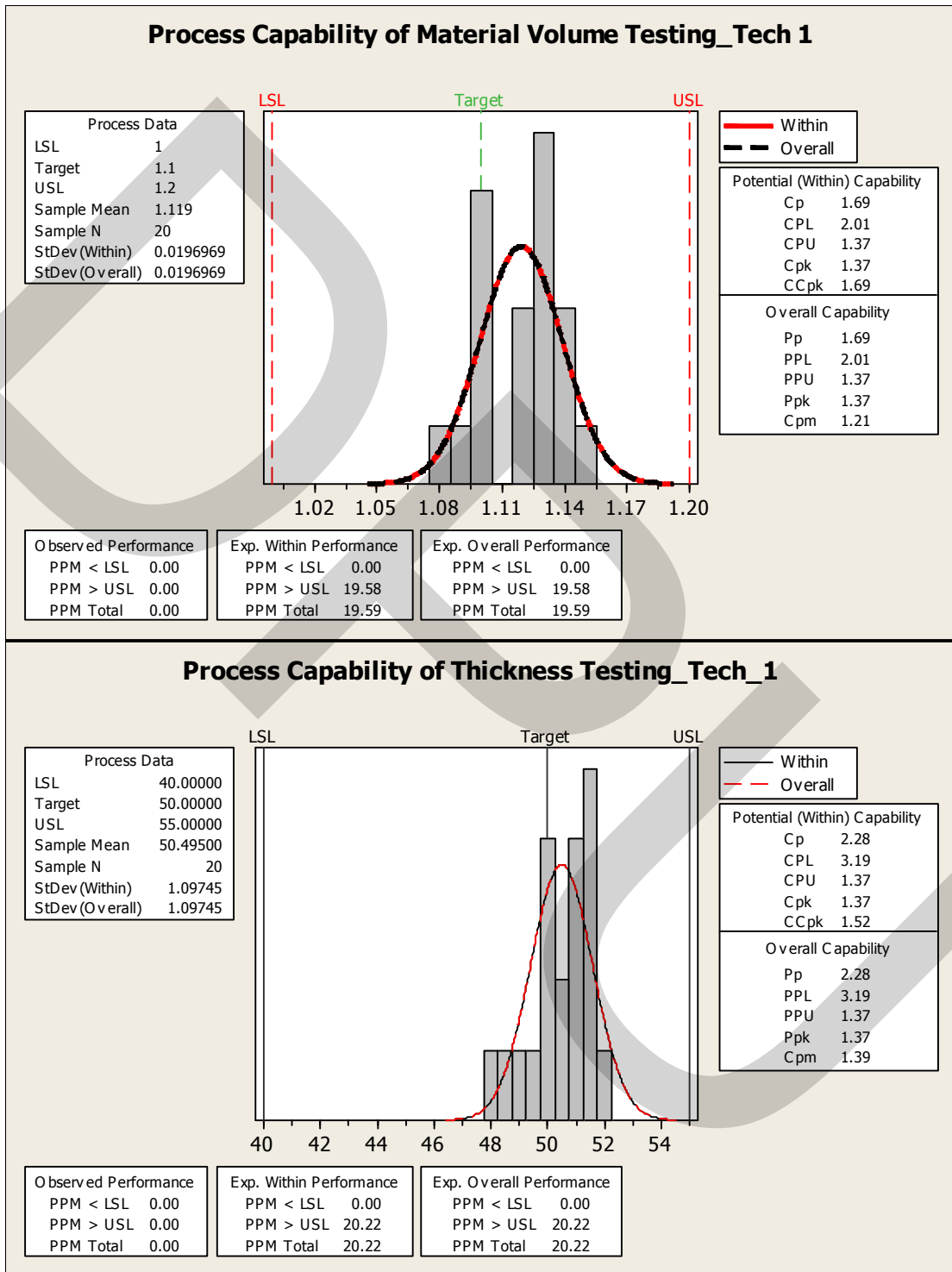
ตัวอย่างผลการวัดความหนาของช่างเทคนิค

รูปที่ 4.18 แสดงการสเปรย์ลงบนแผ่นอะลูมิเนียมและวัดความหนาของช่างเทคนิคทั้ง 3 กะ

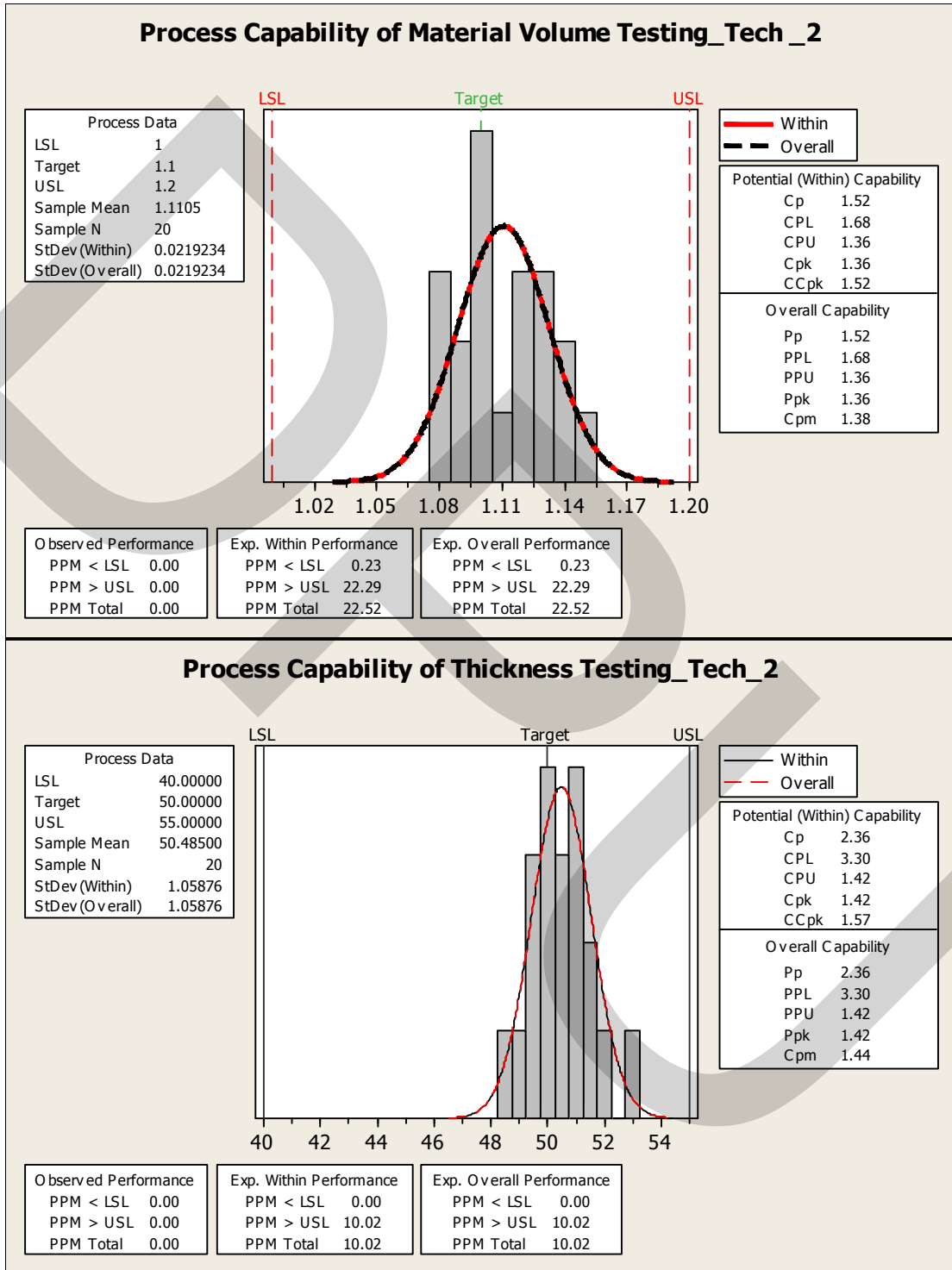
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการชั่งน้ำหนักน้ำยาเคลือบและวัดความหนาจากการปรับวาล์วของช่างเทคนิค ทั้ง 3 กะ

ลำดับ	ช่างเทคนิค 1		ช่างเทคนิค 2		ช่างเทคนิค 3	
	น้ำหนัก (g.)	ความหนา (um)	น้ำหนัก (g.)	ความหนา (um)	น้ำหนัก (g.)	ความหนา (um)
1	1.1	50.1	1.1	49.6	1.12	51.4
2	1.12	50.2	1.1	50.2	1.1	51.0
3	1.13	51.6	1.15	52.8	1.11	49.6
4	1.08	48.2	1.08	50.4	1.12	49.8
5	1.1	49.4	1.12	51.2	1.14	52.1
6	1.13	50.5	1.08	51.0	1.08	48.2
7	1.14	51.2	1.09	50.0	1.09	49.5
8	1.12	51.0	1.13	51.7	1.1	50.0
9	1.12	50.6	1.12	50.6	1.13	51.6
10	1.1	50.0	1.11	49.8	1.11	50.0
11	1.13	51.2	1.08	48.4	1.12	51.4
12	1.13	51.4	1.14	51.2	1.14	51.9
13	1.14	51.4	1.13	51.2	1.11	50.5
14	1.15	52.0	1.14	51.8	1.1	49.6
15	1.13	50.8	1.13	51.3	1.13	49.8
16	1.1	48.4	1.09	49.0	1.15	52.0
17	1.09	49.1	1.1	49.6	1.12	50.8
18	1.13	51.4	1.1	50.0	1.1	50.0
19	1.1	49.8	1.12	50.4	1.14	51.2
20	1.14	51.6	1.1	49.6	1.13	52.0

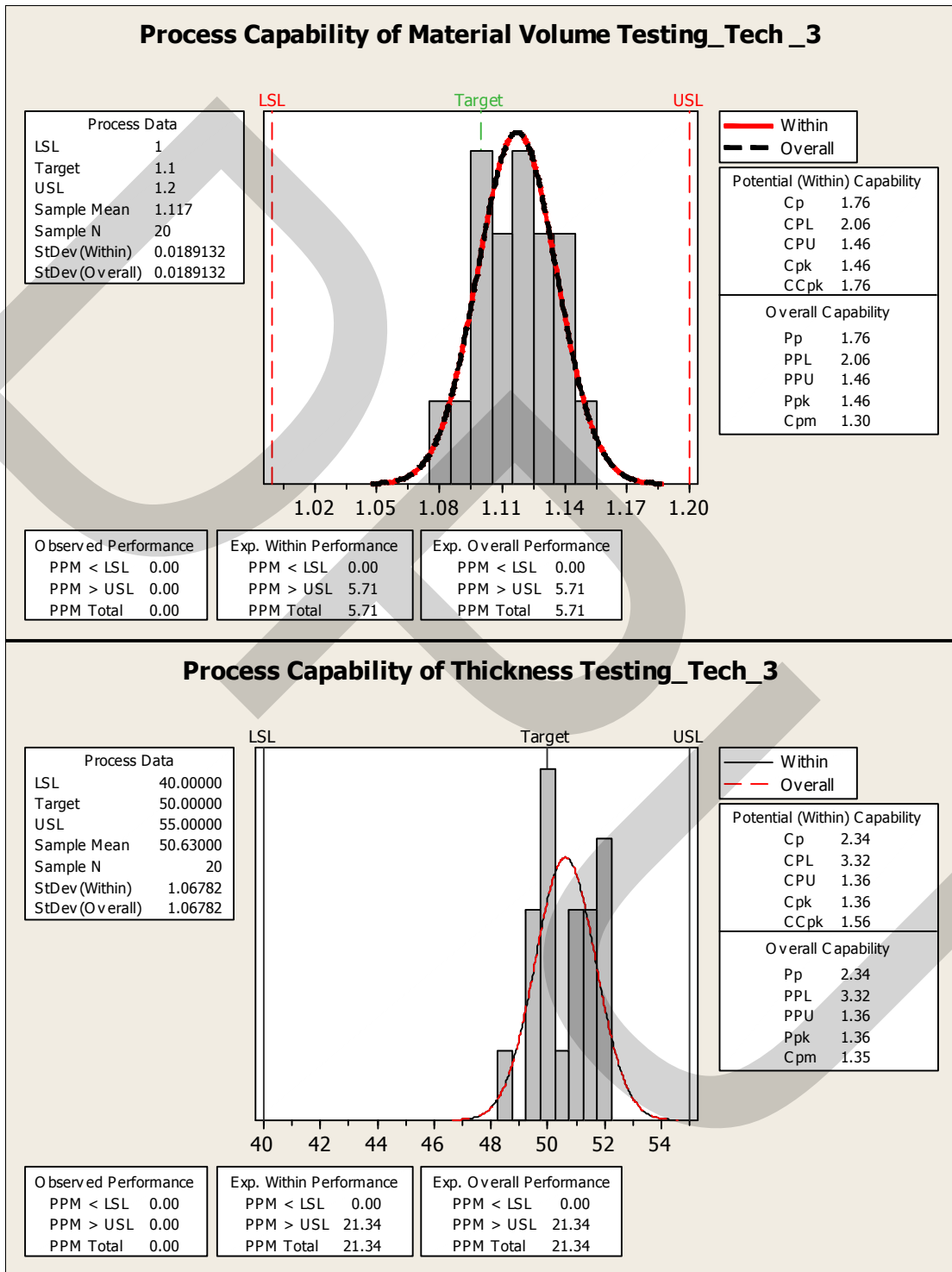
จากผลการทดสอบให้ช่างเทคนิคทั้ง 3 กะ ปรับวาล์วและชั่งน้ำหนักของน้ำยาเคลือบ 20 ครั้งต่อคน และเพื่อวัดความหนา (Coating Thickness) ของแต่ละครั้ง พบว่าช่างเทคนิคทั้ง 3 กะ สามารถปรับวาล์วและชั่งน้ำหนักได้ตามสเปคที่กำหนดให้ คือ 1.1 +/- 0.1 กรัม และผลการวัดความหนาหลังจากอบให้แห้งแล้วก็อยู่ย่านที่ลูกค้ากำหนดมาให้เช่นกัน คือ 40 – 55 ไมครอน จากนั้นจึงนำข้อมูลผลการทดสอบนี้พล็อตลงในโปรแกรม Minitab เพื่อวิเคราะห์และประเมินความเสถียรและประสิทธิภาพการทำงานของช่างเทคนิคทั้ง 3 กะ ดังแสดงในรูปที่ 4.19 – 4.21



รูปที่ 4.19 แสดงผลการพล็อตข้อมูลการชั่งน้ำหนักน้ำยาเคลือบและวัดความของช่างเทคนิคคนที่ 1



รูปที่ 4.20 แสดงผลการพล็อตข้อมูลการชั่งน้ำหนักน้ำยาเคลือบและวัดความของช่างเทคนิคคนที่ 2



รูปที่ 4.21 แสดงผลการพล็อตข้อมูลการชั่งน้ำหนักน้ำยาเคลือบและวัดความของช่างเทคนิคคนที่ 3

จากผลการนำข้อมูลมาพล็อตลงในโปรแกรม Minitab พบว่าช่วงเทคนิคทั้ง 3 กะ มีความสามารถในการปรับวาล์วให้ได้ปริมาณน้ำหนักรักษาเคลือบในแต่ละครั้งได้อย่างสม่ำเสมอ และมีประสิทธิภาพ โดยที่ช่วงเทคนิคทั้ง 3 กะ มีค่า CpK มากกว่า 1.33 ซึ่งเป็นข้อกำหนดของทาง บริษัทกรณีศึกษา และความหนาของน้ำยาเคลือบ (Coating Thickness) หลังอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในเวลา 30 นาทีแล้ว พบว่าค่า CpK ของความหนามีค่ามากกว่า 1.33 ทั้ง 3 กะ เช่นกัน จึงเป็นการแสดงให้เห็นว่าเมื่อเราสามารถควบคุมปริมาณน้ำยาเคลือบได้แล้วจะสามารถควบคุมความหนาของน้ำยาเคลือบให้สม่ำเสมอเช่นกัน ดังนั้นจึงจะกำหนดให้ช่วงเทคนิคทำการวัดปริมาณน้ำยาเคลือบด้วยการชั่งน้ำหนักทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่นผลิต ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนชนิดของน้ำยาเคลือบ ทุกครั้งที่ผสมและเติมน้ำยาใหม่ (น้ำยาเก่าหมด) เพื่อเป็นการรับประกันว่าน้ำยาเคลือบจะไหลอย่างสม่ำเสมอและได้ความหนาตามที่ลูกค้าต้องการ

4. ความหนืดไม่สม่ำเสมอ ตัวแปรที่ทำให้ปริมาณน้ำยาเคลือบไม่สม่ำเสมอ นอกจากแรงดันลมที่อัดเข้าไปในถังน้ำยาและการปรับตั้งวาล์วแล้วยังมีอีกตัวแปรหนึ่งก็คือความหนืด (Viscosity) จากการวิเคราะห์เมื่อแรงดันลมในถังน้ำยาอยู่ที่และปรับวาล์วให้คงที่แล้ว น้ำยาเคลือบที่มีความหนืดสูง (High Viscosity) จะให้ปริมาณน้ำยาเคลือบออกมาน้อยกว่าน้ำยาเคลือบที่มีความหนืดต่ำหรือเหลวกว่า ดังนั้นค่าความหนืดที่ไม่สม่ำเสมอจึงเป็นตัวแปรหนึ่งที่ทำให้ปริมาณน้ำยาเคลือบไหลไม่สม่ำเสมอ

ปัญหา คือ เนื่องจากน้ำยาเคลือบเป็นอะคริลิกเบอร์ HumiSeal 1B73 (HumiSeal 1B73 Acrylic Conformal Coating) และมีความหนืดสูงมากจนไม่สามารถนำไปเคลือบด้วยวิธีการพ่น จากข้อมูลแนะนำการใช้ของน้ำยาเคลือบอะคริลิกเบอร์นี้ระบุว่าให้ผสมกับ HumiSeal Thinner73 ที่อัตราส่วนผสมหนึ่งต่อหนึ่งโดยปริมาณ (1B73 = 1 ส่วน ต่อ Thinner73 = 1 ส่วน) ก่อนนำไปใช้พ่นเคลือบลงบนบอร์ดแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จากการเข้าไปศึกษาถึงกระบวนการและขั้นตอนวิธีการผสมน้ำยาเคลือบก่อนนำไปใช้งานทำให้ทราบว่า ถังน้ำยา 1B73 และ Thinner73 มีขนาดปริมาตร 18 ลิตรต่อถัง และมีอายุการใช้งานได้ถึง 12 เดือน ในการผสมแต่ละครั้งมีปริมาณที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับปริมาณจำนวนบอร์ดที่จะนำมาเคลือบ ถ้าจำนวนบอร์ดมากก็ผสมไว้มากถ้าจำนวนบอร์ดน้อยก็ผสมไว้น้อยให้พอดีกับบอร์ดที่จะนำมาเคลือบ จึงทำให้เกิดการผสมหลายครั้งโดยน้ำยาถังเดียวกันที่เวลาต่างกัน วิธีการผสมน้ำยาเคลือบอะคริลิกของพนักงานประจำเครื่องจะใช้การแบ่งเทถ่ายจากถังน้ำยา 18 ลิตร ลงในภาชนะที่มีสเกลบอกปริมาณ จากนั้นผสมโดยการทดสอบกันไปมา 20 ครั้ง ระหว่างภาชนะ 2 ใบ แล้วตั้งพักไว้ประมาณ 5 นาที เพื่อให้ฟองอากาศที่เกิดจากการผสมลอยตัวหายไปจนหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.22

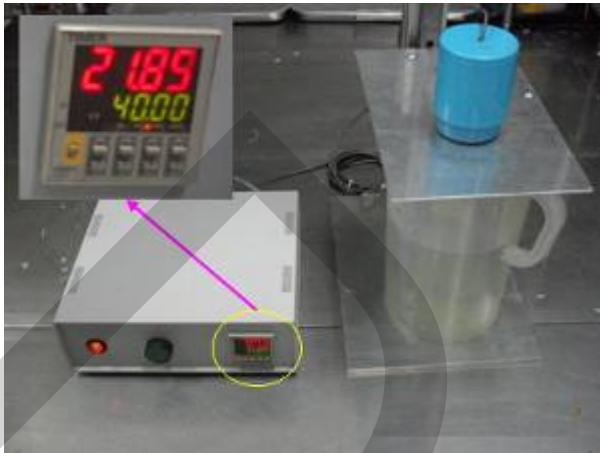


รูปที่ 4.22 แสดงวิธีการผสมน้ำยาเคลือบอะคริลิกโดยการเทสลับกันไปมา 20 ครั้ง

จากกระบวนการและขั้นตอนวิธีการผสมน้ำยาเคลือบอะคริลิกดังกล่าว พบว่าน้ำยาอะคริลิกถึงใหม่ๆ และถึงที่ผ่านการใช้งานไปแล้ว จะมีความหนืดแตกต่างกัน กล่าวคือถึงใหม่จะมีความหนืดน้อยกว่าถึงที่ผ่านการใช้แล้ว เนื่องจากมีการแบ่งผสมทำให้น้ำยาระเหยไปกับอากาศ และเมื่อบ่อยครั้งจะทำให้ตัวน้ำยาอะคริลิกหนืดขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นการผสมที่อัตราส่วนเท่าเดิม คือหนึ่งต่อหนึ่ง จึงได้ความหนืดที่แตกต่างกันตามวันเวลาที่น้ำยาอะคริลิกถึงนั้นๆ ผ่านการนำมา อีกทั้งวิธีการผสมแบบเทสลับกันไปมานั้น มีความเป็นไปได้ว่าพนักงานอาจจะเทสลับกันไปมาไม่ครบตามที่กำหนดให้ 20 ครั้ง ซึ่งจะทำให้ น้ำยาอะคริลิก 1B73 กับ Thinner73 ผสมไม่เข้ากันดีพอและจะทำให้ค่าความหนืดไม่สม่ำเสมอได้

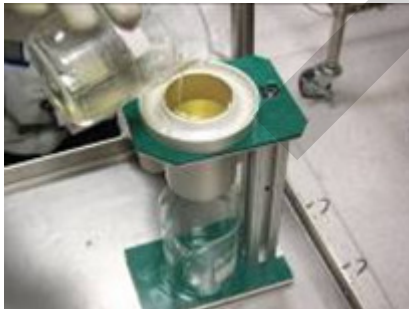
แนวทางแก้ไขและป้องกัน คือ เปลี่ยนวิธีการผสมใหม่เพื่อแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอ จากวิธีการผสมแบบเทสลับกันไปมา โดยสร้างเครื่องผสมกึ่งอัตโนมัติขึ้นมาเพื่อความสะดวกกับการใช้งานของนักผู้ปฏิบัติงานและความสม่ำเสมอในการผสม โดยที่เครื่องผสมนี้สามารถตั้งเวลาได้ และเมื่อครบตามเวลาที่ตั้งไว้เครื่องก็จะหยุดการทำงานทันที และในระหว่างผสมก็มีฝาปิดลดการระเหยของน้ำยาอะคริลิกได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.23 สำหรับปัญหาอัตราส่วนผสมที่เท่ากันแต่ได้ความหนืดแตกต่างกันตามวันเวลาและความถี่ที่เปิดใช้งานของถังน้ำยาเคลือบอะคริลิกถึงนั้นๆ เราจะเปลี่ยนจากการกำหนดอัตราส่วนผสมเพียงอย่างเดียวมาเป็นการควบคุมที่ค่าความหนืดแทน (Viscosity) กล่าวคือทุกครั้งที่มีการผสมน้ำยาเคลือบอะคริลิกใหม่ให้มีการวัดค่าความหนืดก่อนเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ถ้าค่าความหนืดไม่ได้ตามสเปคที่กำหนด ให้ปรับปริมาณการผสมจนให้ได้ค่าความหนืดตามสเปคกำหนด เช่น ถ้าค่าความหนืดสูงกว่าสเปคก็ให้เติม Thinner73 แต่ถ้าความหนืดต่ำกว่าสเปคก็ให้เติมน้ำยาอะคริลิก 1B73 แล้วทำการผสมและวัดค่าความหนืดใหม่ จนได้ค่าตามที่สเปคกำหนดมา ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้สามารถแก้ปัญหาหน้ายาเคลือบถึงใหม่-ถึงเก่าได้





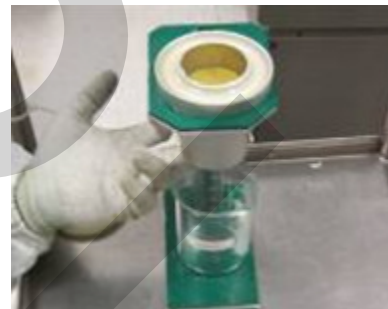
รูปที่ 4.23 แสดงเครื่องผสมกึ่งอัตโนมัติแบบมีฝาปิดเพื่อลดการระเหยของน้ำยาเคลือบอะคริลิก

ขั้นตอนที่ 1



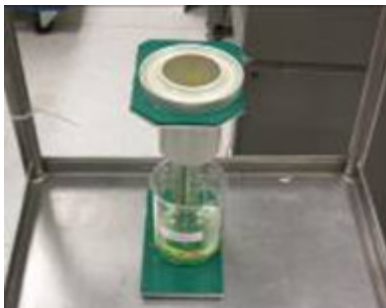
เทน้ำยาเคลือบที่ผสมแล้วลงในถ้วยวัดความหนืด

ขั้นตอนที่ 2



เติมให้เต็มและใช้นิ้วอุดรูถ้วยไว้

ขั้นตอนที่ 3



ปล่อยให้ น้ำยาไหลจนหมดถ้วย

ขั้นตอนที่ 4



จับเวลาและนำเวลาไปเทียบกับตาราง

รูปที่ 4.24 แสดงขั้นตอนวิธีการวัดค่าความหนืดของน้ำยาเคลือบอะคริลิกที่ผสมแล้ว

#### 4.3.3 ความหนืด (Viscosity) ของน้ำยาเคลือบไม่เหมาะสมและไม่สม่ำเสมอ

สำหรับค่าความหนืดที่ไม่สม่ำเสมอ นั้น เราสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ด้วยการเปลี่ยนวิธีการควบคุมจากการกำหนดอัตราส่วนผสมเพียงอย่างเดียวมาเป็นการควบคุมที่ค่าความหนืดแทน โดยกำหนดให้มีการวัดค่าความหนืดของน้ำยาอะคริลิกที่ผสมแล้วทุกครั้งที่มีการผสมใหม่และควบคุมค่าความหนืดให้ได้ตามที่กำหนดก่อนเดิมเข้าไปในถังน้ำยาเคลือบเสมอ ดังรายละเอียดที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ ความหนืดไม่สม่ำเสมอ สำหรับความหนืดที่ยังไม่เหมาะสมนั้น ทีมงานจะได้ทดลองปรับจนเพื่อหาค่าความหนืดที่เหมาะสมที่สุดกับลักษณะบอร์ดและสภาพแวดล้อมภายในโรงงานกรณีศึกษาแห่งนี้ต่อไป

4.3.4 การออกแบบการทดลอง จากข้อมูลการปฏิบัติงานจริงในโรงงานกรณีศึกษาแห่งนี้ของกระบวนการเคลือบด้วยเครื่องพ่นเคลือบ ทราบว่าน้ำยาเคลือบอะคริลิกที่ใช้มีอัตราส่วนผสมเชิงปริมาณในอัตราส่วน หนึ่ง ต่อ หนึ่ง (1B73 ต่อ Thinner73) เพื่อเจือจางหรือลดความหนืดให้สามารถสเปรย์ได้ ซึ่งอ้างอิงอัตราส่วนผสมดังกล่าวตามเอกสารแนะนำวิธีการใช้งานของน้ำยาอะคริลิก Humi Seal 1B73 และมีการควบคุมความหนาของน้ำยาเคลือบขณะแห้งแล้วอยู่ระหว่าง 40 – 55 ไมครอน โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียม (Dummy Plate) เคลือบด้วยโปรแกรมและพารามิเตอร์เดียวกันกับที่ใช้เคลือบบอร์ดจริง แล้วนำมาวัดความหนาของน้ำยาที่เคลือบไว้ ซึ่งเป็นการยืนยันความหนาก่อนเคลือบบอร์ดจริง สำหรับการเคลือบบอร์ดจริงทราบว่าหลังจากบอร์ดผ่านการพ่นเคลือบด้วยเครื่องแล้ว ต้องนำบอร์ดไปพักไว้ในตู้ปิด เนื่องจากน้ำยาที่เคลือบไว้ยังไม่แห้งและเมื่อพักบอร์ดแห้งแล้วจึงนำเข้าสู่อบเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

##### 4.3.4.1 กำหนดประเภทตัวแปร

1. ตัวแปรนำเข้า (Input Variable) เป็นตัวแปรที่มีผลต่อปัจจัยการปรับตั้งค่าในพารามิเตอร์ของโปรแกรมเครื่องเคลือบ ซึ่งมีทั้งตัวแปรที่ควบคุมได้และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ ดังนี้

1) ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable Variable) คือตัวแปรทั้งหมดของเครื่องเคลือบที่สามารถกำหนดหรือมีให้ผู้ใช้เลือกใช้งานได้ เป็นตัวแปรที่ผู้วิจัยและทีมงานสามารถปรับทดลองตั้งค่าได้ตามความต้องการ เพื่อให้ได้ค่าที่ดีและเหมาะสมที่สุด มีดังนี้

1. ความเร็วของการพ่นเคลือบ (Coating Speed)
2. ระยะห่างของการพ่น (Z-axis Position)
3. แรงดันลมสเปรย์ (Atomize Air Pressure)
4. จำนวนรอบที่พ่นเคลือบ (Coating Layer)
5. ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume)
6. ความหนืดของน้ำยาเคลือบ (Material Viscosity)

2) ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Un-Controllable Variable) คือ ตัวแปรที่นอกเหนือการควบคุมของผู้วิจัยและทีมงาน แต่อาจถูกควบคุมโดยผู้อื่นหรือสภาวะแวดล้อมในการทำงานที่มีอยู่จริง ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้

1. อุณหภูมิและความชื้นภายในสถานที่ทำงาน
2. รูปร่างลักษณะบอร์ดที่ใช้เคลือบ
3. ผู้ผลิตและแหล่งที่มาของน้ำยาอะคริลิกที่ใช้เคลือบ

2. ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ผลของการเคลือบที่ได้ความหนา (Coating Thickness) ตามสเปคที่ลูกค้ากำหนด 40–55 ไมครอน โดยเคลือบครอบคลุมทุกจุดบนบอร์ดอย่างสม่ำเสมอตามที่ลูกค้ากำหนด แต่ต้องไม่เคลือบในจุดที่ลูกค้ากำหนดห้ามเคลือบและไม่มีจุดพกร่อง (Defect) เกิดขึ้น ทั้งในขณะที่เคลือบและหลังเคลือบเสร็จแล้ว เช่น ห้ามมีฟองอากาศ ลอกหลุด แตกร้าว หนาและบางเกินเป็นบางจุด เป็นเส้นใยขณะเคลือบ เป็นต้น

#### 4.3.4.2 การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าและระดับของตัวแปรนำเข้า

ได้มีการคัดเลือกตัวแปรนำเข้า (Input Variable) สำหรับใช้ในการดำเนินการทดลอง โดยเลือกตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Variable) ทั้ง 6 ตัวแปร เนื่องจากเป็นตัวแปรที่สามารถปรับและเปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาดีที่สุด ส่วนตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้นั้น มีการศึกษาและวิเคราะห์หว่าตัวแปรตัวใดที่อาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อผลลัพธ์หรือตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อจะได้หลีกเลี่ยงหรือหาวิธีการแก้ไขไม่ให้ส่งผลกระทบต่อระหว่างดำเนินการทดลอง ซึ่งประกอบด้วยกัน 3 ตัวแปร ดังนี้

1. การวิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นภายในสถานที่ทำงาน เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นในโรงงานกรณีศึกษานี้ได้มีการควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 20 ถึง 25 องศาเซลเซียส และความชื้นถูกควบคุมอยู่ระหว่าง 40–60 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการติดตั้งเครื่องวัดและบันทึกทุกกระยะห่าง 25 เมตร (โดยประมาณ) หากอุณหภูมิหรือความชื้นที่วัดได้มีค่าต่ำหรือสูงเกินที่กำหนดจะส่งสัญญาณและบันทึกข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง เพื่อให้หน่วยงานผู้รับผิดชอบดูแลแก้ไขต่อไป จากข้อมูลที่ได้มาจากหน่วยงานที่ดูแลทราบว่าอุณหภูมิและความชื้นจริงที่ตรวจวัดได้ในสภาวะการทำงานปกติอยู่ระหว่าง 22–24 องศาเซลเซียส และความชื้นอยู่ระหว่าง 49–51 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในการย่านที่ควบคุมอยู่แล้วและมีความแปรปรวนน้อยมาก อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการยืนยันว่าอุณหภูมิและความชื้นที่ผ่านการควบคุมในโรงงานกรณีศึกษานี้ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์หรือตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จึงได้มีการทดลองวัดค่าความหนืดของน้ำยาอะคริลิกที่อุณหภูมิที่ควบคุมต่ำสุดและสูงสุด

ตารางที่ 4.10 ผลการวัดค่าความหนืด (Viscosity) ที่อุณหภูมิต่ำสุดและสูงสุดในโรงงานกรณีศึกษา

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าความหนืด Viscosity (Cps)										เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
20	31	33	34	34	31	31	33	34	33	33	32.7
25	31	34	33	34	31	31	33	34	33	34	32.8

หมายเหตุ: อัตราส่วนผสมโดยปริมาณ 1 ต่อ 1 (น้ำยาอะคริลิก ต่อ ทินเนอร์)

จากผลการวัดค่าความหนืดในตารางที่ 4.10 ที่อุณหภูมิต่ำสุดคือ 20 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับอุณหภูมิสูงสุดคือ 25 องศาเซลเซียส ในโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งทำการวัดความหนืด 10 ครั้ง พบว่าค่าความหนืดมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงเป็นการยืนยันได้ว่าอุณหภูมิที่มีการควบคุมภายในโรงงานกรณีศึกษาแห่งนี้ไม่ส่งผลถึงค่าความหนืดของน้ำยาอะคริลิก

2. การวิเคราะห์รูปร่างลักษณะบอร์ดที่ใช้เคลือบ เนื่องจากบอร์ด (PCBA) ที่จะนำมาเคลือบนั้น ลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้กำหนดมาให้จึงไม่สามารถเลือกได้ จากรูปร่างลักษณะบอร์ดรุ่น XXE17XXXACC ที่เลือกมาเป็นกรณีศึกษานี้เป็นบอร์ดที่ลูกค้ากำหนดสเปคละเอียดที่สุดเมื่อเทียบกับรุ่นอื่น อีกทั้งเป็นบอร์ดรุ่นที่เคลือบยากที่สุดเนื่องจากตัวอุปกรณ์ที่อยู่บนบอร์ดมีรูปร่างสูงและติดกัน เมื่อพ่นเคลือบน้ำยาอะคริลิกจะไหลลงมารวมกันตรงบริเวณฐานรอบๆ ตัวอุปกรณ์เหล่านั้น ซึ่งทำให้บริเวณฐานรอบๆ ตัวอุปกรณ์เหล่านั้นจะมีน้ำยาอะคริลิกหนามากและทำให้แห้งช้าหรือไม่แห้งเมื่อพักบอร์ดไว้ตามกำหนดซึ่งทำให้เกิดข้อบกพร่อง (Defects) เช่น หนาเกิน มีฟองอากาศ เคลือบในจุดห้ามเคลือบ เป็นต้น ด้วยรูปร่างตัวอุปกรณ์บนบอร์ดมีลักษณะสูงดังกล่าวยากต่อการเคลือบให้สม่ำเสมอและครอบคลุมทั้งบอร์ดได้ อย่างไรก็ตามเราหาวิธีที่พ่นเคลือบแล้วไม่ให้น้ำยาอะคริลิกไหลลงมารวมกันตรงบริเวณฐานรอบๆ ตัวอุปกรณ์ในขั้นตอนการออกแบบการทดลองต่อไป

3. การวิเคราะห์ผู้ผลิตและแหล่งที่มาของน้ำยาอะคริลิกที่ใช้เคลือบ จากการตรวจสอบข้อมูลการนำเข้าของน้ำยาอะคริลิกทราบว่าแหล่งที่มาเพียงแห่งเดียว ดังนั้นจึงถือว่าตัวแปรนี้ไม่มีนัยสำคัญกับผลลัพธ์หรือตัวแปรตอบสนอง

4.3.5 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง จากตัวแปรนำเข้าที่สามารถควบคุมได้มีด้วยกันทั้งหมด 6 ตัวแปร คือ ความเร็วของการพ่นเคลือบ (Coating Speed) ระยะห่างของการพ่น (Z-axis Position) แรงดันลมสเปรย์ (Atomize Air Pressure) จำนวนรอบที่พ่นเคลือบ (Coating Layer) ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume) ความหนืดของน้ำยาเคลือบ (Material Viscosity) เนื่องจาก

ตัวแปรนำเข้ามีมากถึง 6 ตัวแปร ซึ่งถ้านำมาออกแบบการทดลองทั้งหมดจะทำให้การทำลงมีมากถึง 96 การทดลอง ดังนั้นเราจะตัดตัวแปรที่สามารถนำมาทดลองแยกเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดแล้วกำหนดเป็นค่าคงที่ค่าเดียว ตัวแปรที่จะตัดออกเพื่อแยกการทดลองคือ ค่าความหนืดของน้ำยาเคลือบ (Material Viscosity) จากข้อมูลการทำงานปัจจุบันทราบว่าได้มีกำหนดให้ผสมน้ำยาเคลือบที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาณ (1B73 ต่อ Thinner 73) ซึ่งการผสมในอัตราส่วนผสมดังกล่าวมีข้อแนะนำมาจากเอกสารของน้ำยาเคลือบอะคริลิก 1B73 (1B73 Acrylic Coating Technical Data Sheet) แต่ปัญหาที่พบจากอัตราส่วนผสมดังกล่าวคือ พบว่าเป็นเส้นใย (Cobwebs) ขณะพ่นเคลือบและเส้นใยดังกล่าวจะแข็งเมื่อแห้งแล้ว ดังนั้นเป้าหมายของการแยกการทดลองเพื่อหาค่าความหนืดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเคลือบด้วยวิธีการพ่นคือ การหาอัตราส่วนผสมและค่าความหนืดที่ไม่ทำให้เกิดเส้นใยขณะพ่นเคลือบ

4.3.5.1 การทดลองหาค่าความหนืด (Viscosity) ที่ไม่ให้เป็นเส้นใยขณะพ่นเคลือบ จากพิจารณาขณะเครื่องกำลังพ่นเคลือบมีข้อสังเกตว่า เส้นใยที่เกิดจากการพ่นนั้นจะพบมากที่ด้านบนของบอร์ด (Top Side) หรือด้านที่มีตัวอุปกรณ์สูงและมีจำนวนมาก ส่วนด้านใต้บอร์ด (Bottom Side) หรือด้านที่มีตัวอุปกรณ์ต่ำๆ จำพวก IC หรือ SMT part จะพบว่าเส้นใยเกิดน้อยกว่า จากการวิเคราะห์เบื้องต้นลมที่กระทบตัวอุปกรณ์ขณะพ่นเป็นตัวที่ทำให้เกิดเส้นใยขึ้น ลักษณะของเส้นใยที่เกิดขึ้นมาจากน้ำยาอะคริลิกที่แห้งด้วยลมพ่น (Atomize Air) ก่อนที่จะเกาะลงบนบอร์ด ดังนั้นเราจะหาค่าความหนืดที่ไม่ก่อให้เกิดเส้นใยทั้ง 2 ด้านของบอร์ด มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เปลี่ยนอัตราส่วนผสมใหม่โดยเพิ่มทินเนอร์
2. ผสมน้ำยาอะคริลิก 1B73 กับ Thinner 73 ให้เข้ากัน
3. เตรียมแผ่นอะลูมิเนียม (Aluminum Plate)
4. ใช้กาพ่นด้วยมือ เพื่อสะดวกและรวดเร็ว
5. ปรับลมให้เป็นสเปร์ย์ ประมาณ 10 PSI
6. พ่นลงบนแผ่นอะลูมิเนียมที่เตรียมไว้
7. นำแผ่นอะลูมิเนียมไปอบ 5 นาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
8. วัดความหนาที่เคลือบบนแผ่นอะลูมิเนียม
9. ถ้าไม่เป็นเส้นใยให้ทดลองพ่นลงบนบอร์ดด้านใต้ (Bottom Side)
10. ถ้าพ่นด้านใต้แล้วไม่มีเส้นใย ให้พ่นด้านบนบอร์ด (Top Side)
11. แต่หากพบว่าเป็นเส้นใยด้านใดด้านหนึ่งให้เพิ่มทินเนอร์
12. ทดลองซ้ำตามข้อ 1-11 จนพบว่าไม่มีเส้นใยเกิดขึ้นในขณะพ่นแล้ว

13. ทำการวัดค่าความหนืด เพื่อนำมากำหนดเป็นคงที่ใช้ในการทดลองหาพารามิเตอร์ของเครื่อง จากตัวแปรนำเข้าที่เหลืออีก 5 ตัวแปรต่อไป

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองพ่นด้วยมือเพื่อหาค่าความหนืดที่ไม่เกิดเส้นใยขณะพ่นเคลือบ

การทดลองสเปรย์ด้วยมือลงบนแผ่นอะลูมิเนียม

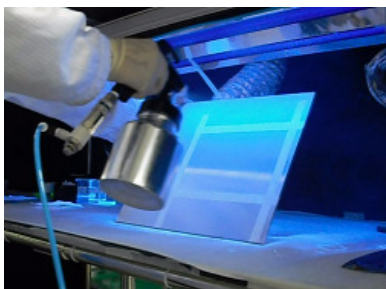
PROJECT : XXE17XXXACC

การทดลอง ที่	รายละเอียดและพารามิเตอร์การทดลอง				ผลการทดลอง		ข้อสังเกต
	อัตราส่วนผสม	ความหนืด	ระยะพ่น	จำนวนรอบพ่น	ความหนก	พองอากาศ	
1	1:1	31 Cps.	10 cm.	1	-	ไม่มี	มีเส้นใยจำนวนมาก, แห้ง
2	1:1.5	22 Cps.	10 cm.	1	-	ไม่มี	พบเส้นใยบ้าง, แห้ง
3	1:1.5	22 Cps.	15 cm.	1	-	ไม่มี	พบเส้นใยมากขึ้น, แห้ง
4	1:2	14 Cps.	10 cm.	1	8	ไม่มี	ไม่มีเส้นใยเกิดขึ้น, แห้ง, แต่บางเกิน
5	1:2	14 Cps.	15 cm.	1	6	ไม่มี	ไม่มีเส้นใยเกิดขึ้น, แห้ง, แต่บางเกิน
6	1:2	14 Cps.	10 cm.	2	14	ไม่มี	ไม่มีเส้นใยเกิดขึ้น, แห้ง, แต่บางเกิน
7	1:2	14 Cps.	10 cm.	3	23	ไม่มี	ไม่มีเส้นใยเกิดขึ้น, แห้ง, แต่ความหนายังต่ำกว่าสเปค
8	1:2	14 Cps.	10 cm.	4	32	ไม่มี	ไม่มีเส้นใยเกิดขึ้น, แห้ง, แต่ความหนายังต่ำกว่าสเปค
9	1:2	14 Cps.	10 cm.	5	41	ไม่มี	ไม่มีเส้นใยเกิดขึ้น, แห้ง, แต่ความหนาอยู่ในสเปคช่วงต่ำ
10	1:2	14 Cps.	10 cm.	6	48	ไม่มี	ไม่มีเส้นใยเกิดขึ้น, แห้ง, ความหนาอยู่ในสเปคพอดี
11	1:2	14 Cps.	10 cm.	7	55	ไม่มี	ไม่มีเส้นใยเกิดขึ้น, แต่มีบางจุดที่เริ่มไม่แห้ง, หนาเกิน

Remark: อัตราส่วนผสมของ IB73 : Thinner73

ระยะพ่นเป็นการวัดระยะโดยประมาณ เนื่องจากไม่สามารถระยะได้ในขณะพ่นด้วยมือ

พ่นลงบนแผ่นอะลูมิเนียมที่เตรียมไว้



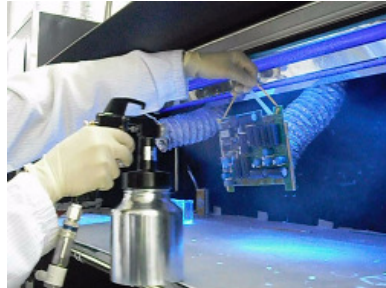
อบ 5 นาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



วัดความหนานบนอะลูมิเนียม



พ่นบนบอร์ดทดลอง



รูปที่ 4.25 ขั้นตอนการทดลองพ่นเคลือบด้วยมือเพื่อหาค่าความหนืดที่ไม่เกิดเส้นใยขณะพ่นเคลือบ

จากทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.25 และผลการทดลองพ่นเคลือบด้วยมือและเปลี่ยนอัตราส่วนผสมน้ำยาอะคริลิกและทินเนอร์ในตารางที่ 4.11 เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดที่ไม่ทำให้เกิดเส้นใย (Cobweb) ขณะพ่นเคลือบ พบว่าอัตราส่วนผสมที่ไม่ทำให้เกิดเส้นใยขณะพ่นเคลือบคือ อัตราส่วนผสม 1 ต่อ 2 โดยปริมาณน้ำยาอะคริลิกหนึ่งส่วนต่อทินเนอร์สองส่วน และจากผลการทดลองยังพบว่าระยะห่างของการพ่นมีผลทำให้เกิดเส้นใยด้วยเช่นกัน กล่าวคือที่ระยะห่างของหัวพ่นกับวัตถุหรือชิ้นงานถ้าระยะห่างมากจะทำให้เกิดเส้นใยมากกว่าที่ระยะห่างน้อย ซึ่งเราจะได้นำปัจจัยของระยะห่างระหว่างหัวพ่นกับวัตถุหรือชิ้นงานนี้ไปพิจารณาประยุกต์ใช้กับการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเคลือบต่อไป จากอัตราส่วนผสมหนึ่งต่อสองที่ไม่ทำให้เกิดเส้นใยนี้เมื่อนำไปตรวจวัดค่าความหนืด (Viscosity) ได้ความหนืดอยู่ระหว่าง 14 CPS. ซึ่งเราจะได้นำอัตราส่วนผสมและค่าความหนืดนี้ไปกำหนดใช้ในการออกแบบการทดลอง (DOE) ต่อไป

4.3.5.2 การกำหนดระดับของตัวแปรนำเข้า (Input Variables) จะพิจารณาจากสเปคและข้อแนะนำการใช้งานของเครื่องเคลือบที่สามารถทำได้และข้อจำกัดของบอร์ด เช่น มีตัวอุปกรณ์สูงบนบอร์ดจึงไม่สามารถลดแกน Z-Position ลงต่ำกว่านี้ได้ ระดับ Atomize Air Pressure จะพ่นไม่เป็นสเปรย์ถ้าต่ำเกินไป เป็นต้น จึงสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงระดับตัวแปรนำเข้าที่จะใช้ในการทดลอง

ลำดับ	ตัวแปรนำเข้า	ระดับตัวแปร	ค่าของตัวแปร			หน่วย
			1	2	3	
1	ความเร็วพ่นเคลือบ	2	100	150	-	mm/sec.
2	ระยะตำแหน่งแกน Z	2	0	30	-	mm.
3	แรงดันลมของสเปรย์	2	2	5	-	Psi.
4	ปริมาณน้ำยาเคลือบ	3	0.9	1.1	1.3	กรัม
5	จำนวนรอบที่พ่น	2	4	6	-	รอบ

จากนั้นใช้โปรแกรม Minitab ออกแบบการทดลอง โดยใช้การทดลองแบบฟูลแฟกทอเรียล (Full Factorial Design) และการจัดลำดับ (Run) การทดลองนี้ไม่ได้จัดลำดับการทดลองเป็นแบบสุ่ม (Random) ทั้งนี้เนื่องจากมีข้อจำกัดของเครื่องจักรซึ่งไม่ให้อำนวยความสะดวกในการปรับไปปรับกลับมาได้โดยง่าย ดังนั้นผู้วิจัยจึงจัดลำดับโดยปรับตัวแปรที่มีความยุ่งยากก่อนทีละระดับจนครบ

เริ่มปฏิบัติการทดลองโดยกำหนดตัวแปรตอบสนองก่อน ซึ่งประกอบด้วย ความหนาเคลือบ (Coating Thickness) ไม่มีฟองอากาศ (Bubble) ไม่มีเส้นใย (Cobweb) และน้ำยาเคลือบไม่ไหล เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์จึงกำหนดเกณฑ์ตัวแปรตอบสนองเป็นเชิงตัวเลข ดังนี้

#### ฟองอากาศ (Bubble)

- 1) ไม่มีฟองอากาศเลย เท่ากับ 0
- 2) มีฟองอากาศเล็กน้อย เท่ากับ 1
- 3) มีฟองอากาศมาก เท่ากับ 2

#### ไม่มีเส้นใย (Cobweb)

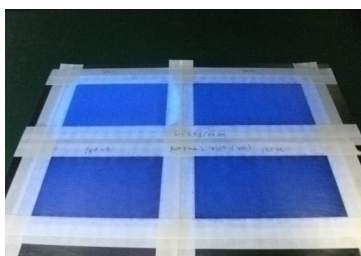
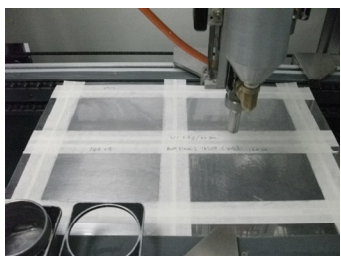
- 1) ไม่มีเส้นใยเลย เท่ากับ 0
- 2) มีเส้นใยเพียงเล็กน้อย 1
- 3) มีเส้นใยจำนวนมาก 2

#### น้ำยาเคลือบไม่ไหล (Material Flow)

- 1) น้ำยาอะคริลิกไม่ไหลฟอร์มตัวดีและใกล้เคียง เท่ากับ 0
- 2) น้ำยาอะคริลิกไหลและไม่แห้ง เท่ากับ 1

จากนั้นจัดเตรียมแผ่นอะลูมิเนียมจำนวน 5 แผ่น ดังรูปที่ 4.26 เพื่อใช้รันแทนบอร์ดและเพื่อใช้วัดความหนาของน้ำยาอะคริลิกหลังเคลือบแล้ว และจัดลำดับการทดลองเพื่อไม่ให้ปรับตัวแปรกลับไปกลับมาซึ่งใช้เวลานาน ตัวแปรที่ใช้เวลานานในการปรับคือ ปริมาณน้ำยา (Material Volume) ดังนั้นจะปรับระดับตัวแปรของปริมาณน้ำยาไว้ค่าๆ หนึ่ง แล้วปรับเปลี่ยนตัวแปรอื่นจนครบตามแบบการทดลอง จากนั้นจึงเปลี่ยนระดับปริมาณน้ำยาเป็นค่าใหม่ ทำเช่นนี้จนครบตามระดับของปริมาณน้ำยาตามแบบการทดลองทั้งหมด

ผลลัพธ์ของตัวแปรตอบสนองคือ ฟองอากาศ (Bubble) เท่ากับ 0 เส้นใย (Cobweb) เท่ากับ 0 น้ำยาเคลือบไม่ไหลฟอร์มตัวดีและใกล้เคียง (Material Flow) เท่ากับ 0 และความหนา (Coating Thickness) เท่ากับ 40 – 55 ไมครอน การทดลองและผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.13



รูปที่ 4.26 แสดงแผ่นอะลูมิเนียมสำหรับใช้รันแทนบอร์ดเพื่อวัดความหนา



ตารางที่ 4.13 แสดงตัวแปรนำเข้าของแบบการทดลองและผลการทดลอง

ลำดับการทดลอง		ตัวแปรนำเข้า (Input)					ตัวแปรตอบสนอง			
StdOrder	RunOrder	ความเร็ว พ่นเคลือบ	ตำแหน่ง แกน Z	แรงดันลม สเปรย์	ปริมาณน้ำยา	จำนวน รอบที่พ่น	ความหนา	ฟองอากาศ	เส้นใย	น้ำยาไหล
1	1	100	0	2	0.9	4	30	0	0	0
2	2	100	0	2	0.9	6	38	0	0	0
3	3	100	0	5	0.9	4	27	0	0	0
4	4	100	0	5	0.9	6	35	0	0	0
5	5	100	30	2	0.9	4	31	0	0	0
6	6	100	30	2	0.9	6	41	0	0	0
7	7	100	30	5	0.9	4	28	0	0	0
8	8	100	30	5	0.9	6	35	0	0	0
9	9	150	0	2	0.9	4	24	0	0	0
10	10	150	0	2	0.9	6	29	0	0	0
11	11	150	0	5	0.9	4	21	0	0	0
12	12	150	0	5	0.9	6	28	0	0	0
13	13	150	30	2	0.9	4	26	0	0	0
14	14	150	30	2	0.9	6	30	0	0	0
15	15	150	30	5	0.9	4	23	0	0	0

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

ลำดับการทดลอง		ตัวแปรนำเข้า (Input)					ตัวแปรตอบสนอง			
StdOrder	RunOrder	ความเร็ว พ่นเคลือบ	ตำแหน่ง แกน Z	แรงดันลม สเปรย์	ปริมาณน้ำยา	จำนวน รอบที่พ่น	ความหนา	ฟองอากาศ	เส้นใย	น้ำยาไหล
16	16	150	30	5	0.9	6	30	0	0	0
17	17	100	0	2	1.1	4	36	0	0	0
18	18	100	0	2	1.1	6	54	0	0	0
19	19	100	0	5	1.1	4	35	0	0	0
20	20	100	0	5	1.1	6	53	0	0	0
21	21	100	30	2	1.1	4	38	0	0	0
22	22	100	30	2	1.1	6	56	0	0	0
23	23	100	30	5	1.1	4	37	0	0	0
24	24	100	30	5	1.1	6	55	0	0	0
25	25	150	0	2	1.1	4	32	0	0	0
26	26	150	0	2	1.1	6	50	0	0	0
27	27	150	0	5	1.1	4	30	0	0	0
28	28	150	0	5	1.1	6	48	0	0	0
29	29	150	30	2	1.1	4	34	0	0	0
30	30	150	30	2	1.1	6	51	0	0	0
31	31	150	30	5	1.1	4	33	0	0	0
32	32	150	30	5	1.1	6	49	0	0	0

ตารางที่ 4.13 (ต่อ)

ลำดับการทดลอง		ตัวแปรนำเข้า (Input)					ตัวแปรตอบสนอง			
StdOrder	RunOrder	ความเร็ว พ่นเคลือบ	ตำแหน่ง แกน Z	แรงดันลม สเปรย์	ปริมาณน้ำยา	จำนวน รอบที่พ่น	ความหนา	ฟองอากาศ	เส้นใย	น้ำยาไหล
33	33	100	0	2	1.3	4	39	0	0	0
34	34	100	0	2	1.3	6	64	1	0	1
35	35	100	0	5	1.3	4	38	0	0	0
36	36	100	0	5	1.3	6	63	1	0	1
37	37	100	30	2	1.3	4	41	0	0	0
38	38	100	30	2	1.3	6	65	1	0	1
39	39	100	30	5	1.3	4	40	0	0	0
40	40	100	30	5	1.3	6	65	1	0	1
41	41	150	0	2	1.3	4	35	0	0	0
42	42	150	0	2	1.3	6	62	0	0	1
43	43	150	0	5	1.3	4	35	0	0	0
44	44	150	0	5	1.3	6	60	0	0	1
45	45	150	30	2	1.3	4	35	0	0	0
46	46	150	30	2	1.3	6	60	0	0	1
47	47	150	30	5	1.3	4	36	0	0	0
48	48	150	30	5	1.3	6	61	0	0	1

#### 4.3.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

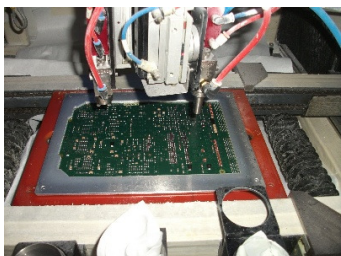
จากตารางที่ 4.13 การทดลองและผลการทดลอง ซึ่งมีตัวแปรตอบสนอง 4 ตัวแปรหลัก คือ ไม่มีฟองอากาศ (No Bubble) ไม่มีเส้นใย (No Cobweb) ไม่ไหล (Not Flow) และได้ความหนา 40 – 55 ไมครอน (Thickness) จากผลการทดลองจะเห็นว่าตัวแปรนำเข้า (Input Variable) ที่ส่งผลถึงตัวแปรตอบสนองทั้ง 4 มากที่สุด คือ ปริมาณน้ำยาอะคริลิก (Material Volume) และจำนวนรอบในการรัน ส่วนตัวแปรอื่นมีส่งผลเพียงเล็กน้อย

ปริมาณน้ำยาอะคริลิกที่ 0.9 กรัม จะได้ความหนาดำกว่าสเปคทุกการทดลอง ไม่ว่าจะความเร็วจะต่ำสุด และจำนวนรอบรันจะสูงสุดแล้วก็ตาม อีกทั้งลักษณะของฝิวน้ำยาเคลือบที่แห้งขณะเคลือบมีลักษณะไม่เรียบแต่ถ้าปรับ Atomize air เพิ่มขึ้นจะทำให้ฝิวอะคริลิกเรียบมากขึ้น แต่จะทำให้ความหนาลดลงเล็กน้อย

ปริมาณน้ำยาอะคริลิกที่ 1.1 กรัม ความเร็ว 100 mm/sec. จำนวนรอบรันอยู่ที่ 6 รอบ จะได้ความหนาอยู่ในสเปคทางด้านสูงและบางการทดลองความหนาเกินสเปค แต่ถ้ารัน 4 รอบ จะได้ความหนาดำกว่าสเปคกำหนด แต่ถ้าเปลี่ยนความเร็วอยู่ที่ 150 mm/sec. จำนวนรอบรัน 6 รอบ จะได้ความหนาอยู่ในสเปคพอดี แต่ถ้ารัน 4 รอบ ความหนาจะต่ำกว่าสเปคเช่นกัน ส่วน Defect อื่นๆ ไม่เกิดกับปริมาณอะคริลิกที่ 1.1 กรัม

ปริมาณน้ำยาอะคริลิกที่ 1.3 กรัม ความเร็ว 100 mm/sec. จำนวนรอบรัน 4 รอบ จะได้ความหนาอยู่ในย่านสเปคค่อนข้างต่ำและมีบางการทดลองต่ำกว่าสเปค แต่ถ้าเพิ่มจำนวนรอบรันเป็น 6 รอบ จะได้ความหนาเกินสเปค และมีฟองอากาศเกิดขึ้นเนื่องจากหนามากเกินไป ส่วนตัวแปรนำเข้า Atomize Air และ Z-position ส่งผลถึงตัวแปรตอบสนองเพียงเล็กน้อย

ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่าระดับของตัวแปรนำเข้าที่เหมาะสม ที่จะทำให้ตัวแปรตอบสนองได้ตามสเปค คือ ปริมาณน้ำยาอะคริลิก 1.1 +/-0.1 กรัม ความเร็ว 150 mm./sec. จำนวนรอบรัน 6 รอบ Atomize Air 5 psi ส่วน Z-Position ขึ้นอยู่กับความสูงหัวอุปกรณ์บนบอร์ด ทั้งนี้ก็มีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเราจะใช้ระดับของตัวแปรนำเข้าเหล่านี้รันกับบอร์ดจริงต่อไป



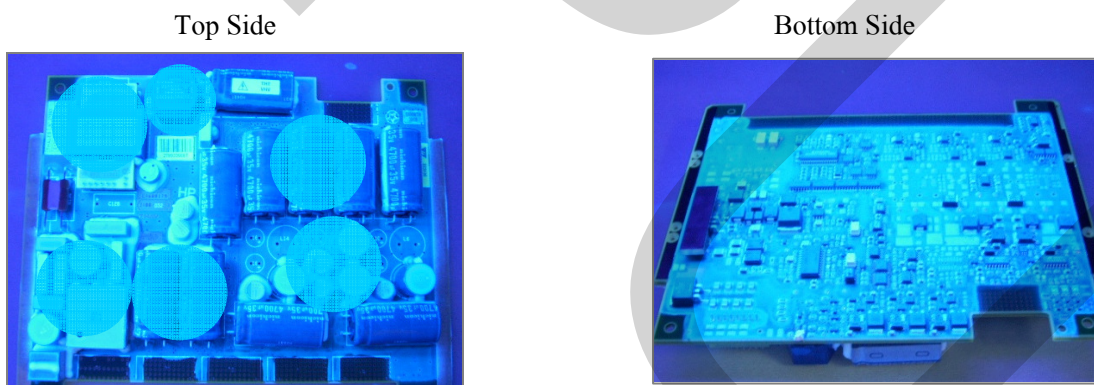
รูปที่ 4.27 แสดงการนำพารามิเตอร์จากผลการทดลองมารันบอร์ดจริง

#### 4.3.7 ปรับปรุงกระบวนการตามผลการทดลอง

หลังจากได้ทำการทดลองตามที่ออกแบบไว้ พบว่าผลของค่าตัวแปรนำเข้าซึ่งในที่นี้ก็คือ พารามิเตอร์ของเครื่องเคลือบที่เหมาะสมที่สุดเป็นดังนี้

1. ความเร็วการพ่นเคลือบ (Coating Speed) = 150 mm. /sec.
2. ตำแหน่งแกน Z (Z-Axis Position) = 0 mm. (0 หมายถึงปรับแกน Z-Axis ขึ้นสูงสุด)
3. แรงดันลมปรับสเปรย์ (Atomize Air Pressure) = 5 psi.
4. จำนวนรอบที่พ่นเคลือบ (Coating cycle) = 6 รอบ
5. ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume) = 1.0 – 1.2 g.
6. ความหนืดของน้ำยาเคลือบ (Material Viscosity) = 14 – 17 cps.

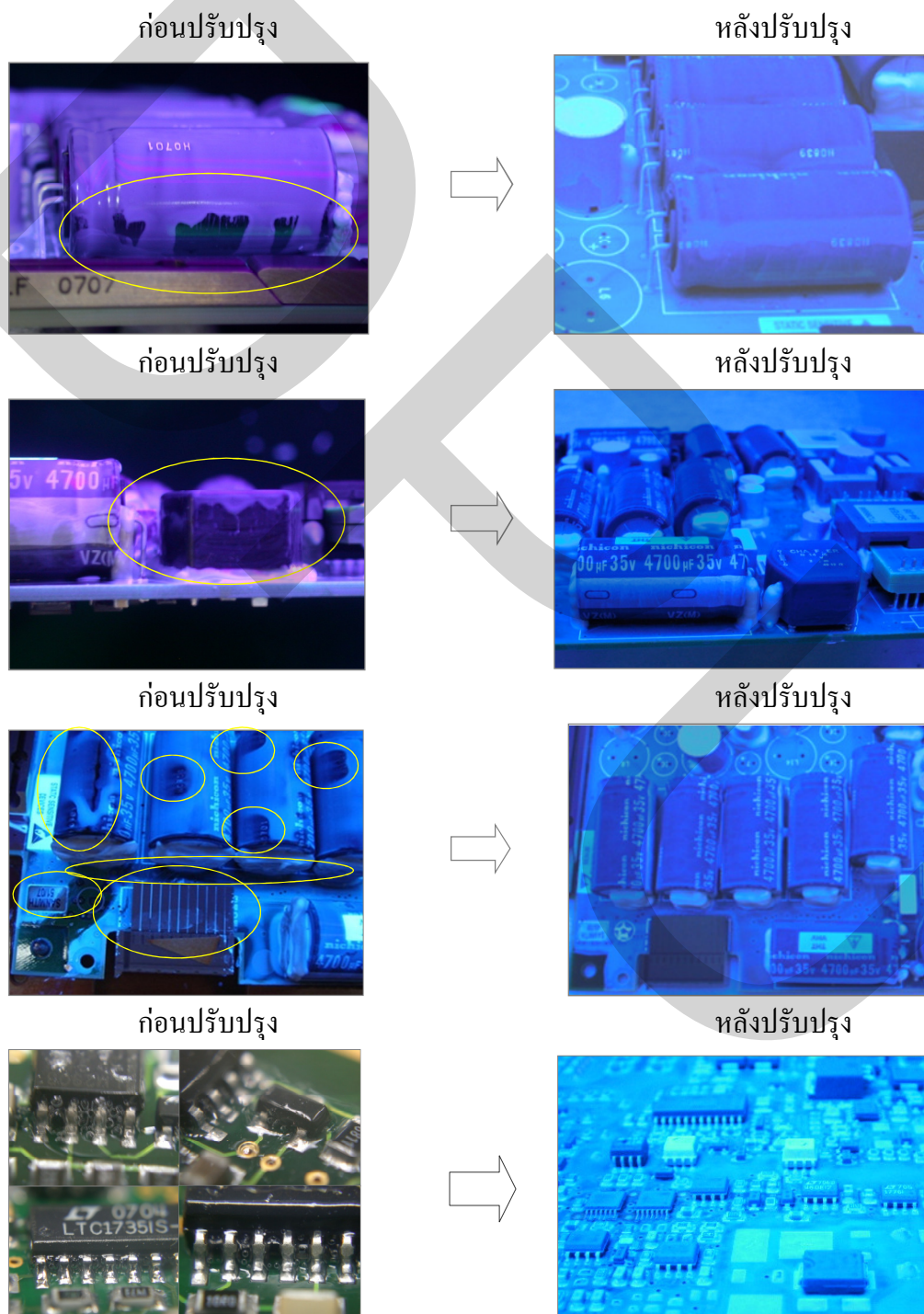
จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังกล่าวให้ได้ค่าตามข้อ1-ข้อ6 และมีการปรับเอียงมุมหัวสเปรย์ เพื่อให้สามารถเคลือบได้เต็มครบทุกจุดตามสเปคของลูกค้ำ จากนั้นทำการรันกับบอร์ดหรืองานจริง พบว่าผลการรันไม่มีจุดบกพร่อง (Defect) ทั้งด้านบนบอร์ด (Top Side) ที่มีตัวอุปกรณ์สูงๆ และด้านใต้บอร์ด (Bottom Side) ที่มีขา IC จำนวนมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 แสดงผลการพ่นเคลือบด้วยพารามิเตอร์ใหม่ที่ได้จากผลการทดลอง

จากพารามิเตอร์ก่อนการปรับปรุงของเครื่องพ่นเคลือบนั้น จะพบปัญหาที่ด้านบนบอร์ด (Top Side) คือ น้ำยาอะคริลิกจะไหลลงมารวมกันที่ใต้ตัวอุปกรณ์ที่มีรูปร่างสูงๆ เช่น คาปาซิเตอร์ (Capacitors) และหม้อแปลง (Transformer) เป็นต้น ส่วนด้านข้างของอุปกรณ์เหล่านี้จะเคลือบไม่ติดทำให้ไม่ได้ตามสเปคของลูกค้ำ และปัญหาที่พบกับด้านใต้ของบอร์ด (Bottom Side) คือ น้ำยาอะคริลิกจะไหลเข้าหาอุปกรณ์ประเภทขาจำนวนมากเช่น IC เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดฟองอากาศทั้ง

ก่อนอบและหลังอบไม่แห้ง ซึ่งปัญหาทั้งหลายเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ด้วยพารามิเตอร์ใหม่  
 ดังแสดงในรูปที่ 4.29 การเปรียบเทียบข้อบกพร่อง (Defects) ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง



รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบข้อบกพร่อง (Defects) ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

เพื่อให้เห็นชัดเจนจึงได้แสดงการเปรียบเทียบระดับตัวแปรนำเข้าหรือพารามิเตอร์ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงในตารางที่ 4.14 และเราจะอ้างอิงพารามิเตอร์ใหม่เพื่อปรับใช้กับบอร์ดรุ่นอื่นๆ ต่อไป

ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบระดับตัวแปรนำเข้าก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

ลำดับ	ตัวแปรนำเข้า	ระดับตัวแปรนำเข้า		หน่วย
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	
1	ความเร็วพ่นเคลือบ	100	150	mm/sec.
2	ระยะตำแหน่งแกน Z	0	0	mm.
3	แรงดันลมสเปร์ย์	2	5	Psi.
4	ปริมาณน้ำยาเคลือบ	2	1.1	กรัม
5	จำนวนรอบพ่น	1	6	รอบ
6	ค่าความหนืด	31	14	Cps.
7	อัตราส่วนผสม (1B73:Thinner73)	1:1	1:2	ปริมาณ

หมายเหตุ: ค่าความหนืด (Viscosity) > 17 cps จะทำให้เกิดเส้นใยขณะพ่นเคลือบ

4.3.8 ฝึกอบรมพนักงานระดับปฏิบัติการ หลังจากกำหนดวิธีการทำงานใหม่ให้กับพนักงานระดับปฏิบัติการแล้ว ก็มีการจัดฝึกอบรมถึงวิธีการทำงานใหม่ให้พนักงานทุกคนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเคลือบ ซึ่งพนักงานที่เข้ารับการฝึกอบรมจะต้องผ่านการทดสอบทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ โดยที่ภาคทฤษฎีต้องมีผลการประเมินตั้งแต่ 90 เปอร์เซนต์ ขึ้นไปตามเกณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษานี้ ส่วนภาคปฏิบัติกำหนดให้พนักงานที่ผ่านการทดสอบภาคทฤษฎีแล้วให้ทดลองฝึกปฏิบัติจริง เช่น ทดลองผสมน้ำยาเคลือบและวัดความหนืด (Viscosity) ทดลองการวัดความหนาของน้ำยาเคลือบบนแผ่น Dummy Plate ทดสอบการแปลงค่าหน่วยเวลาจากการวัดความหนืดมาเป็นค่าความหนืด ทดลองให้เห็นว่าถ้าค่าความหนืดเกินสเปคจะส่งผลอย่างไรกับชิ้นงาน ทดลองให้เห็นว่าถ้าบอร์ดที่ยังไม่แห้งแล้วนำเข้าสู่อบจะส่งผลอย่างไร ทดลองว่าถ้าเคลือบหนาหรือบางเกินไปจะส่งผลอย่างไรกับชิ้นงาน เป็นต้น ดังแสดงใบบันทึกการฝึกอบรมดังรูปที่ 4.30

**ใบลงทะเบียนผู้รับการฝึกอบรม ( Training Attendance )**

หลักสูตร ( Topic ) New direction for coating machine operating ฐานที่ .....

ระหว่างวันที่ ( Start date ) May 6, 11 ถึง วันที่ ( Finish date ) May 6, 11

จากเวลา ( Time from ) 14:00 ถึง เวลา ( Time to ) 16:00

ลำดับ ที่	เลขประจำตัว E/N.	เลขประจำตัวประชาชน Citizen ID	ชื่อ - สกุล Name - Surname	ตำแหน่ง Position	แผนก Dept.	เพศ		ผลสัมฤทธิ์ Result	
						ชาย	หญิง		
1	8921		SOMWAG K.	H/L sup.	H/L	✓		Pass	
2	6679		PLINFA S.	พนักงาน	H/L	✓		Pass	
3	8239		PAITON K.	พนักงาน	H/L	✓		Pass	
4	4684		WANID T.	พนักงาน	H/L	✓		Pass	
5	6410		WASAN P.	พนักงาน	H/L	✓		Pass	
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
					รวม				

ใช้เฉพาะกรณีเป็นผู้ดำเนินการฝึกเอง

**การประเมินผล**

สอบทฤษฎี ( Theory test )

สอบสัมภาษณ์ ( Interview )

สอบปฏิบัติ ( Practice )

ฝึกปฏิบัติในงาน ( OJT )

ผู้ฝึกอบรม ( Instructor ) : Somach

Form 10005-004 Rev.00

รูปที่ 4.30 แสดงตัวอย่างใบบันทึกการฝึกอบรมพนักงานระดับปฏิบัติการ



4.3.9 สรุปผลขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ ในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) นี้ แบ่งการปรับปรุงออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่สามารถปรับปรุงได้ทันที และส่วนที่ต้องทำการทดลองหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดก่อน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

#### 4.3.9.1 ส่วนที่สามารถปรับปรุงได้ทันที ที่ได้มีการปรับปรุงดังนี้

1. ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume) ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากหัวสเปรย์อุดตัน หรือหัวพ่นน้ำยาเคลือบอุดตัน แก้ไขปรับปรุงโดยกำหนดให้พนักงานตรวจเช็คและเติมทินเนอร์ ในถ้วยทินเนอร์สำหรับป้องกันหัวสเปรย์ตัน และจัดทำเอกสารการบำรุงรักษาด้วยตัวเอง SM (Self Maintenance) อีกทั้งให้มีผู้ตรวจทินเนอร์โดยพนักงาน Roving Audit

2. ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume) ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากแรงดันลมในถังน้ำยาเคลือบไม่สม่ำเสมอ แก้ไขปรับปรุงด้วยการติดตั้งชุดควบคุมแรงดันลมแบบอัตโนมัติเพื่อให้แรงดันลมคงที่ตลอดเวลา

3. ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume) ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากวาล์วปรับปริมาณน้ำยาเคลือบปรับไม่สม่ำเสมอ แก้ไขปรับปรุงโดยกำหนดให้มีการวัดปริมาณการไหลของน้ำยาเคลือบทุกครั้งที่มีการปรับวาล์ว

4. ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume) ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากความหนืดไม่สม่ำเสมอ แก้ไขปรับปรุงด้วยการเปลี่ยนวิธีการผสมน้ำยาเคลือบจากผสมด้วยมือมาเป็นการผสมด้วยเครื่อง ที่สามารถตั้งเวลาผสมได้และหยุดการทำงานอัตโนมัติเมื่อครบเวลาที่ตั้งไว้ อีกทั้งเปลี่ยนจากการควบคุมที่อัตราส่วนผสมเพียงอย่างเดียว มาควบคุมความหนืดแทนด้วยการให้วัดค่าความหนืดทุกครั้งที่มีการผสมน้ำยาเคลือบใหม่

#### 4.3.9.2 ส่วนที่ทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดก่อน

1. ความหนืดไม่เหมาะสม ทำการทดลองเพื่อหาค่าความหนืดที่เหมาะสม ที่ไม่ทำให้เกิดเส้นใยขณะสเปรย์ โดยทดลองปรับเปลี่ยนอัตราส่วนผสมและวัดค่าความหนืด จากนั้นทำการพ่นด้วยสเปรย์มือจนได้อัตราส่วนผสมและความหนืดที่เหมาะสมที่สุด คือ 14 Cps และพบว่าค่าความหนืดตั้งแต่ 17 Cps ขึ้นไปจะเป็นเส้นใยจนไม่สามารถยอมรับได้

2. พารามิเตอร์ของโปรแกรมกำหนดไว้ไม่เหมาะสม ได้ทำการออกแบบทดลอง DOE โดยใช้โปรแกรม Minitab และทำการปฏิบัติปรับเปลี่ยนตัวแปรนำเข้า (Input Variables) หรือพารามิเตอร์ของโปรแกรมเครื่องเคลือบตามที่ได้ออกแบบไว้ แล้วนำผลไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab จนได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดดังตารางที่ 4.14 จากนั้นได้นำพารามิเตอร์ดังกล่าวไปปรับใช้ร่วมกับบอร์ดจริง ซึ่งผลการรันกับบอร์ดจริงไม่พบข้อบกพร่อง (Defect) กับบอร์ด จึงได้ใช้พารามิเตอร์เหล่านี้รันบอร์ดและติดตามผลต่อไป

#### 4.4 การควบคุมกระบวนการและตัวแปรต่างๆ (Control Phase)

จากผลการทดลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดซึ่งแสดงในตารางที่ 4.14 และได้นำค่าจากผลการทดลองนี้ไปปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรมเครื่องเคลือบ จากนั้นทำการทดลองรันกับบอร์ดสำรองและบอร์ดจริง พบว่าไม่มีบอร์ดบกพร่อง (Defect) ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการหาวิธีควบคุมให้พารามิเตอร์ต่างๆ ให้คงที่หรืออยู่ในย่านที่ยอมรับได้โดยไม่ก่อให้เกิดบอร์ดบกพร่อง โดยมีขั้นตอนดังนี้

##### 4.4.1 ออกแบบวิธีการป้องกันความผิดพลาด (POKA-YOKE)

1. ออกแบบฟิกเจอร์ (Fixture) ของบอร์ดทุกรุ่นให้สามารถวางได้เพียงด้านเดียวเพื่อป้องกันการวางผิด ซึ่งทำให้เครื่องเคลือบผิดตำแหน่งไปด้วย
2. เขียนโปรแกรมตั้งเวลาการอบบอร์ด เพื่อป้องกันการอบบอร์ดผิดเวลา เช่น อบไม่ถึงเวลาที่กำหนด หรืออบเกินเวลาที่กำหนด ซึ่งจะส่งผลถึงคุณสมบัติของอะคริลิกเปลี่ยนไปไม่ได้ตามมาตรฐานตามคุณสมบัติเดิม หรืออบไหม้แห้ง



รูปที่ 4.31 แสดงลักษณะโปรแกรมตั้งเวลาอบบอร์ดแบบอัตโนมัติ

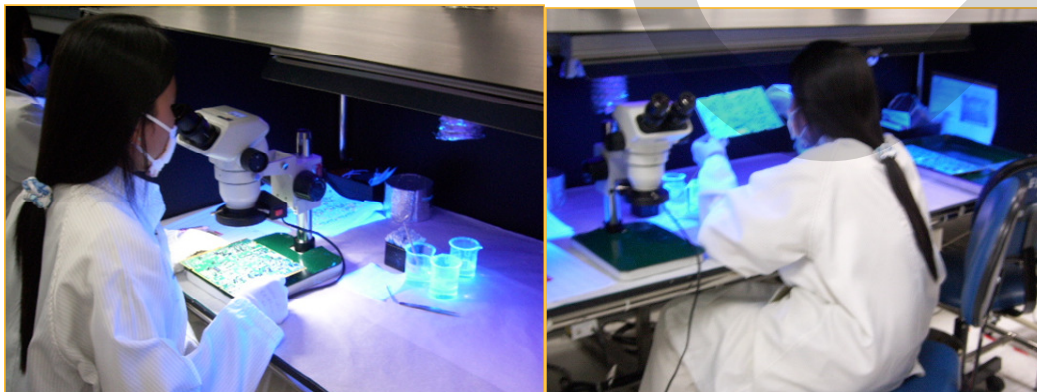
4.4.2 ออกแผนการควบคุม (Control Plan) นอกจากการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของเครื่องฟ่นเคลือบใหม่แล้ว ยังมีแผนการควบคุมเพิ่มเติมคือมีการกำหนดวิธีการทำงานใหม่ที่ต้องให้กับพนักงานระดับปฏิบัติการเพื่อป้องกันปัจจัยที่จะส่งผลถึงประสิทธิภาพของการเคลือบลดลง มีดังนี้

1. กำหนดให้พนักงานสวมถุงมือ ESD ทุกครั้งที่จับบอร์ด เพื่อป้องกันคราบรอยนิ้วมือ (Finger Print) ติดบนบอร์ด ซึ่งจะก่อให้เกิดความชื้นตรงรอยนิ้วมือและเมื่อเคลือบทับไว้จะสร้างความเสียหายให้กับบอร์ดในภายหลังได้ ดังรูปที่ 4.32
2. การจับบอร์ดให้จับที่ขอบเท่านั้น ห้ามจับที่ตัวอุปกรณ์ เพื่อป้องกันคราบติดหรือรอยนิ้วจับติดบนบอร์ดและตัวอุปกรณ์ ซึ่งจะทำการเคลือบไม่ได้ ดังรูปที่ 4.32

ก่อนปรับปรุง (ไม่สวมถุงมือ)

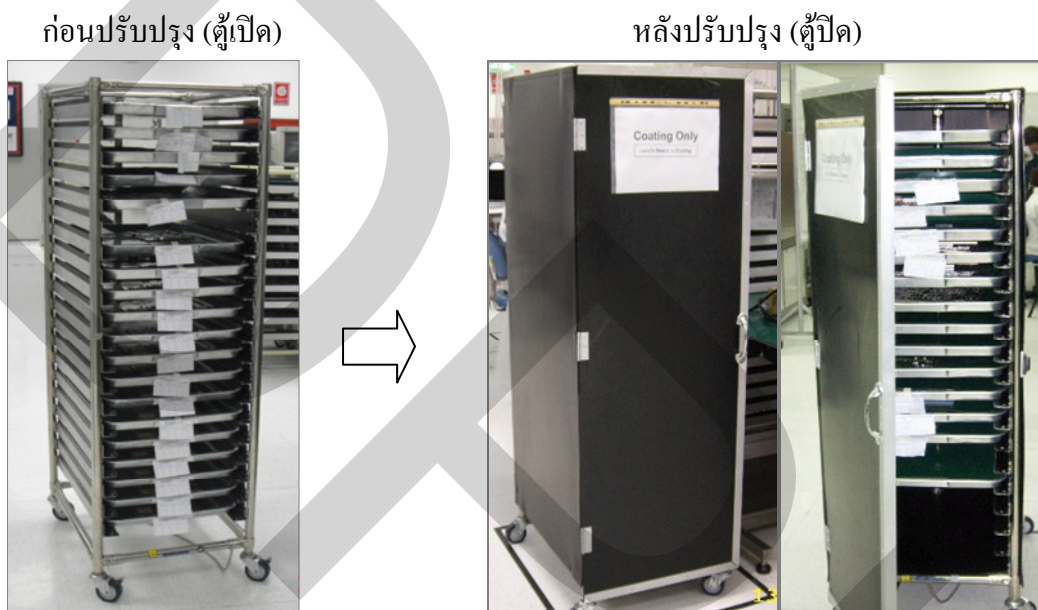


หลังปรับปรุง (สวมถุงมือ ESD เสมอ)



รูปที่ 4. 32 แสดงการจับบอร์ดก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง ทั้งก่อนเคลือบและหลังเคลือบ

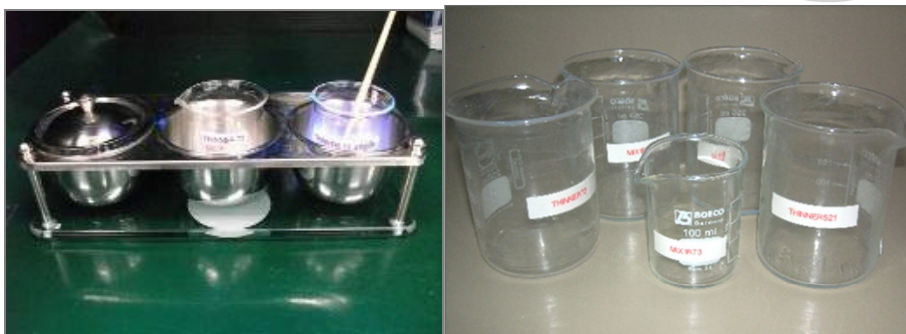
3. การเคลื่อนย้ายบอร์ดให้วางบนถาด ESD และบอร์ดที่รอการเคลือบให้เก็บไว้ในตู้ปิดเสมอ เพื่อเป็นการป้องกันฝุ่นเกาะบนบอร์ดและตัวอุปกรณ์ ซึ่งจะทำให้เคลือบไม่ติดหรือเคลือบฝุ่นติดไปกับบอร์ดด้วย ดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 แสดงการเก็บบอร์ดไว้ในตู้ปิดป้องกันฝุ่นสำหรับบอร์ดรอเคลือบและการเคลื่อนย้าย

4. ภาชนะสำหรับใส่น้ำยาอะคริลิกต้องเขียนป้ายติดบอกชนิดและอัตราส่วนผสม เพื่อป้องกันการใช้น้ำยาเคลือบผิดชนิดและผิดอัตราส่วนผสม ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดบอร์ดบกพร่อง (Defect) ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.34

หลังปรับปรุง (มีฉลากบอกชนิดของน้ำยาเคลือบ)



รูปที่ 4.34 แสดงการติดฉลากบอกชนิดของน้ำยาเคลือบและอัตราส่วนผสม

5. กำหนดให้วัดค่าความหนืด (Viscosity) และลงบันทึกผล ทุกครั้งที่มีการผสมน้ำยาอะคริลิกใหม่ เป็นการควบคุมความหนืดให้สม่ำเสมอเพื่อไม่ให้เกิดบอร์คบกพร่อง (Defect) ได้ เช่น ฟองอากาศ (Bubble) ดังแสดงวิธีการวัดค่าความหนืดในรูปที่ 4.23

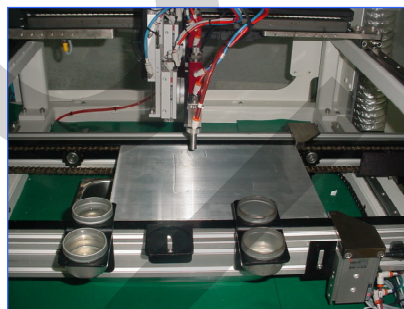
6. กำหนดให้ตรวจวัดปริมาณการไหลของน้ำยาเคลือบทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่น เพื่อเป็นการควบคุมให้น้ำยาเคลือบไหลอย่างสม่ำเสมอ ปริมาณน้ำยาเคลือบที่ไหลออกมาจะส่งผลโดยตรงกับความหนาของการเคลือบและถ้าไม่ได้ตามสเปคก็จะส่งผลถึงข้อบกพร่องต่างๆ ที่จะตามมา แสดงวิธีการตรวจวัดปริมาณการไหลของน้ำยาเคลือบในรูปที่ 4.16

7. กำหนดให้มีการวัดความหนา (Coating Thickness) และลงบันทึกผล ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่นและก่อนเริ่มรันงานจริงเสมอ เพื่อเป็นการควบคุมและประกันความหนาของน้ำยาเคลือบให้ได้ตามสเปคทุกครั้งที่เกิดเคลือบ ดังแสดงในรูปที่ 4.35

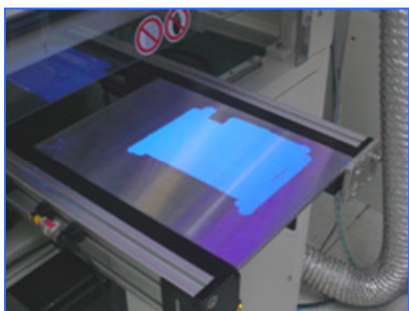
ขั้นตอนที่ 1 โหลด Dummy Plate



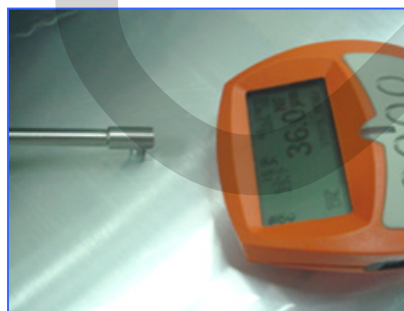
ขั้นตอนที่ 2 รันด้วยโปรแกรมจริง



ขั้นตอนที่ 3 รอให้แห้งและอบ



ขั้นตอนที่ 4 วัดความหนา



รูปที่ 4.35 แสดงขั้นตอนการวัดและยืนยันความหนาทุกครั้งก่อนรันบอร์ดจริง

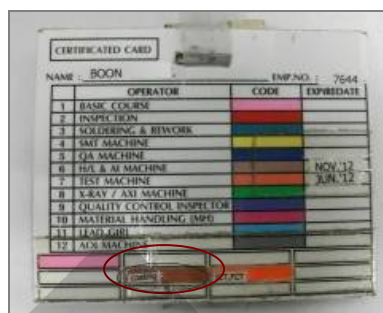
8. กำหนดให้เฉพาะพนักงานที่ผ่านการอบรมและมี Certificate เท่านั้น จึงสามารถทำงานได้ โดยกำหนดให้มีการสุ่ม Audit ทุกเดือน ด้วยการกำหนดหัวข้อสอบถามที่ได้ฝึกอบรม

เพื่อเป็นการควบคุมและติดตามทักษะความรู้ความเข้าใจของพนักงานระดับปฏิบัติงานทุกคน ต่อกระบวนการเคลือบบอร์ด สำหรับพนักงานที่สุ่ม Audit แล้วไม่ผ่านต้องได้รับการฝึกอบรมใหม่

ด้านหน้าบัตรพนักงาน



ด้านหลังบัตร (ผ่านฝึกอบรม Coating)



รูปที่ 4.36 แสดงบัตรพนักงานที่ผ่านการฝึกอบรมกระบวนการเคลือบแล้ว

4.4.3 แผนภูมิควบคุม กำหนดให้มีการวัดค่าและลงบันทึกความหนาของการเคลือบและพารามิเตอร์ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่นและเริ่มรัน เพื่อเป็นการติดตามควบคุมความหนาไม่ให้เกินค่าควบคุม อีกทั้งสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาได้เมื่อมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นในการเคลือบ ดังแบบฟอร์มในรูปที่ 4.37 และตัวอย่างการลงบันทึกจริงในรูปที่ 4.38

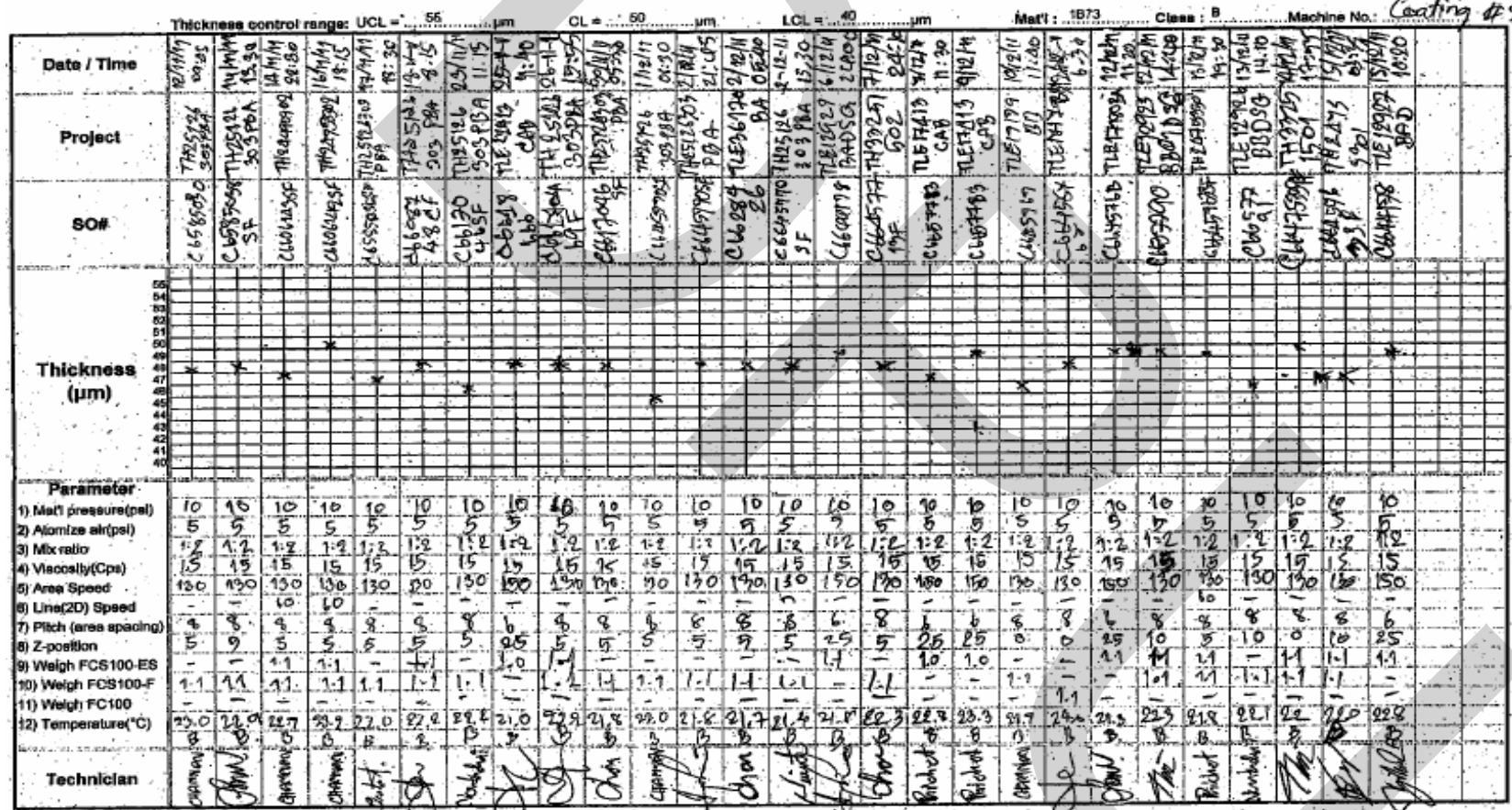
CONFORMAL COATING THICKNESS CONTROL CHART

Thickness control range: UCL = ..... µm CL = ..... µm LCL = ..... µm Matl: ..... Class: ..... Machine No: .....

Date / Time													
Project													
SO#													
Thickness (µm)	60												
	59												
	58												
	57												
	56												
	55												
	54												
	53												
	52												
	51												
	50												
	49												
48													
47													
46													
45													
44													
43													
42													
41													
40													
Parameter	1) Matl pressure(psi) 2) Atomize air(psi) 3) Mix ratio 4) Viscosity(Cps) 5) Area Speed 6) Line(D) Speed 7) Pitch (area spacing) 8) Z position 9) Weigh FCS100-ES 10) Weigh FCS100-F 11) Weigh FCS100 12) Temperature(°C)												
Technician													

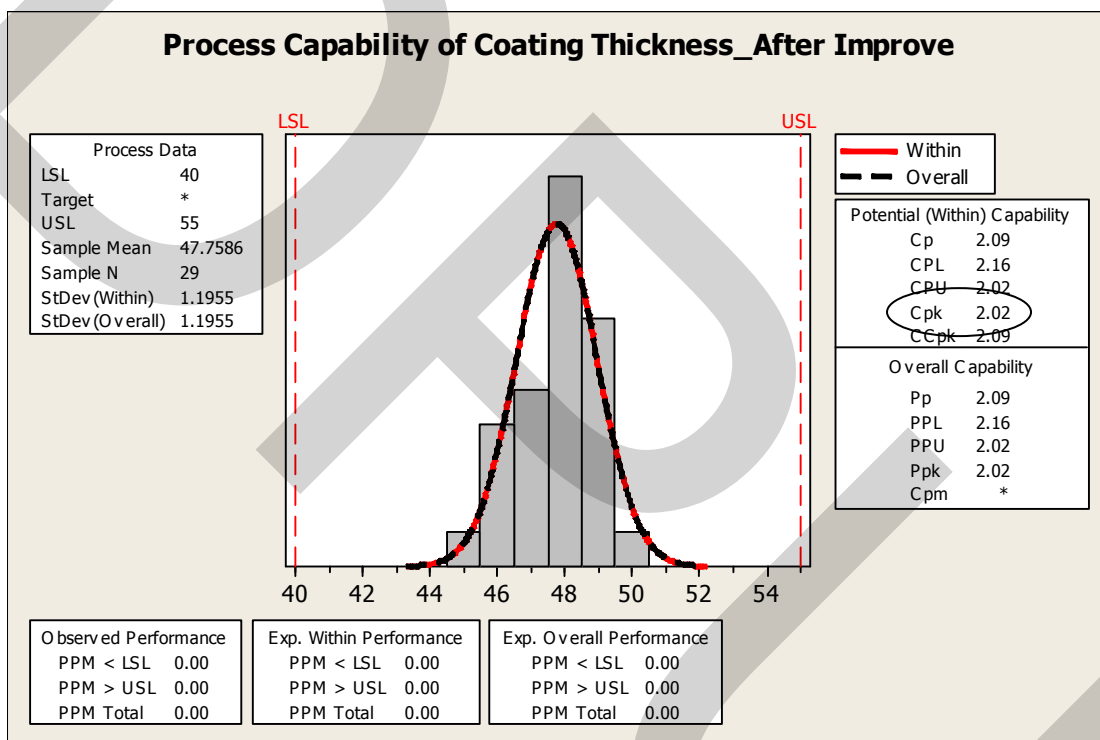
รูปที่ 4.37 แสดงตัวอย่างแบบฟอร์มสำหรับลงบันทึกค่าความหนาและพารามิเตอร์

CONFORMAL COATING THICKNESS CONTROL CHART



รูปที่ 4.38 แสดงตัวอย่างการลงบันทึกค่าความหนาและพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องพ่นเคลือบ (Coating Machine)

4.4.4 วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุง ได้นำค่าความหนาของการเคลือบที่พนักงานผู้ปฏิบัติงานได้ลงบันทึกไว้ในแบบฟอร์ม Conformal Coating Thickness Control Chart ที่กำหนดค่าให้เพื่อประเมินความสามารถของกระบวนการเคลือบหลังการปรับปรุง ผลปรากฏว่าความหนาของการเคลือบได้ค่า Cpk เท่ากับ 2.02 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ทางบริษัทกรณีศึกษากำหนดคือ Cpk มากกว่าหรือเท่ากับ 1.33 ดังแสดงในรูปที่ 4.39

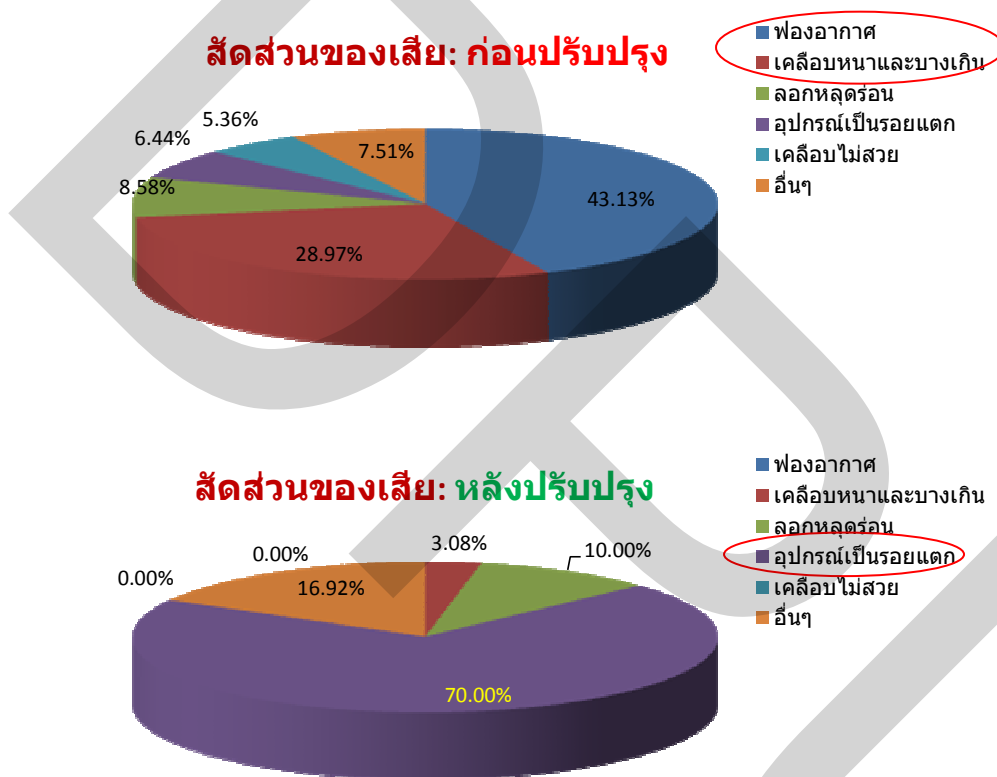


รูปที่ 4.39 แสดงความสามารถของกระบวนการเคลือบอะคริลิกหลังการปรับปรุง

อีกทั้งมีความแปรปรวนน้อยมากและค่าความหนาส่วนใหญ่อยู่ที่กึ่งกลางของช่วงสเปคควบคุม (LSL and USL) และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงอยู่ที่ 1.19 ซึ่งก่อนการปรับปรุงมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 2.8 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของเครื่องพ่นเคลือบใหม่และปรับปรุงควบคุมวิธีการทำงานของพนักงานระดับปฏิบัติการใหม่ อีกทั้งจัดหาวัสดุอุปกรณ์เครื่องช่วยให้พนักงานทำงานง่ายและแม่นยำมากขึ้น ทำให้ความสามารถของกระบวนการเคลือบด้วยเครื่องดีขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของกระบวนการเคลือบอะคริลิกให้ได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ และทำให้ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการเคลือบนี้ลดลง



4.4.5 กราฟปริมาณของเสีย หลังการปรับปรุงสัดส่วนของเสียประเภทฟองอากาศ (Void or Bubbles) ลดลงจากสูงสุด (Top Defect) 43.13% เป็น 0.00% และของเสียประเภทหนาเกินหรือบางเกิน (Too thick or Thin) ลดลงจาก 28.97% เป็น 3.08% ดังแสดงในรูปที่ 4.40



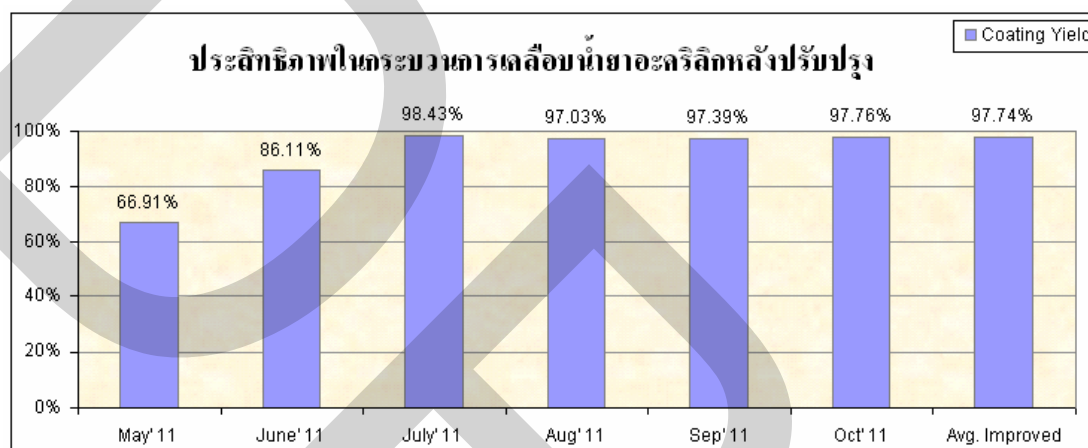
**Pre-FQA2**

Product	Units	Passed	Failed	Yield
	1948	1866	82	95.79%
<b>TOTAL:</b>	1948	1866	82	95.79%

Defect Code	Defect Description	QTY	%	Detailed (Nb*Component)	
GG01	Damaged (non component)	91	70%	91*PCB	SN
GH11	Loss of adhesion/ Peel off	13	10%	5*DS2, 1*MENU, 1*CR1001, 1*CR1201, 1*Q1004 (more)	SN
GH01	Applied to not required area	11	8.46%	5*P5, 2*P4, 2*P6, 1*P2, 1*P3	SN
GC01	Missing component	7	5.38%	2*L2, 1*MENU, 1*RUGGC47, 1*RUGGL2, 1*RUGGL3 (more)	SN
GH10	Too thick or thin (Excessive c	4	3.08%	1*P2, 1*P3, 1*P4, 1*P5	SN
GC05	Damaged component	3	2.31%	2*RIVET, 1*C15	SN
GS04	Excessive Solder/Solder on pin	1	0.77%	1*C139	SN

รูปที่ 4.40 กราฟแสดงการเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

จากการปรับปรุงแล้วทำให้ปริมาณอาการของของเสียที่เคยเป็น Top Defect สามารถลดลงและเป็นศูนย์เปอร์เซ็นต์ ทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการเคลือบอะคริลิกเพิ่มขึ้นจากเดิม 82.7% หรือเทียบเท่ากับระดับ 2.64Sigma เป็น 97.47% หรือเทียบเท่ากับระดับ 3.5Sigma ซึ่งได้ตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ที่ 90% ดังแสดงในรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.41 แสดงประสิทธิภาพของกระบวนการเคลือบอะคริลิกหลังปรับปรุง

#### 4.5 สรุปผลการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการเคลือบ ได้ดังนี้

##### 4.5.1 ออกแบบวิธีการป้องกันความผิดพลาด (POKA-YOKE) ประกอบด้วย

1. ออกแบบฟิกเจอร์ให้วางได้ทางเดียวเพื่อป้องกันไหลดบอร์ดผิด
2. เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมเวลาเข้า-ออก ของการอบบอร์ด

##### 4.5.2 ออกแผนการควบคุม (Control Plan) วิธีการทำงานใหม่ให้กับพนักงานระดับปฏิบัติการ ประกอบด้วย

1. สวมถุงมือ ESD ทุกครั้งที่จับบอร์ด เพื่อป้องกันคราบรอยนิ้วมือติดบนบอร์ด
2. การจับบอร์ดให้จับที่ขอบเท่านั้น ห้ามจับที่ตัวอุปกรณ์ เพื่อป้องกันคราบติดหรือรอยนิ้วจับติดบนบอร์ดและตัวอุปกรณ์
3. การเคลื่อนย้ายบอร์ดให้วางบนถาด ESD และบอร์ดที่รอการเคลือบให้เก็บไว้ในตู้ปิดเสมอ เพื่อเป็นการป้องกันฝุ่นเกาะบนบอร์ดและตัวอุปกรณ์
4. ภาชนะสำหรับใส่น้ำยาอะคริลิกต้องเขียนป้ายติดบอกชนิดและอัตราส่วนผสม เพื่อป้องกันการใช้น้ำยาเคลือบผิดชนิดและผิดอัตราส่วนผสม

5. กำหนดให้วัดค่าความหนืด (Viscosity) และลงบันทึกผล ทุกครั้งที่มีการผสมน้ำยาอะคริลิกใหม่

6. กำหนดให้ตรวจวัดปริมาณการไหลของน้ำยาเคลือบทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่น เพื่อเป็นการควบคุมให้น้ำยาเคลือบไหลอย่างสม่ำเสมอ

7. กำหนดให้มีการวัดความหนา (Coating Thickness) และลงบันทึกผล ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่นและก่อนเริ่มรันงานจริงเสมอ เพื่อเป็นการควบคุมและประกันความหนาของน้ำยาเคลือบให้ได้ตามสเปคทุกครั้งที่เคลือบ

8. กำหนดให้เฉพาะพนักงานที่ผ่านการอบรมและมี Certificate เท่านั้น จึงสามารถทำงานได้ โดยกำหนดให้มีการสุ่ม Audit ทุกเดือน

9. กำหนดให้มีการวัดค่าและลงบันทึกความหนาของการเคลือบและพารามิเตอร์ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่นและเริ่มรัน เพื่อเป็นการติดตามควบคุมความหนาไม่ให้เกินค่าควบคุม

จากการควบคุมทั้งหมดนี้ทำให้ความสามารถของกระบวนการเคลือบอะคริลิกด้วยเครื่องเคลือบดีขึ้น จากเดิมก่อนการปรับปรุง Cpk ของความหนาเท่ากับ 0.87 หลังปรับปรุงเพิ่มขึ้นเป็น 2.36 ซึ่งมากกว่ามาตรฐานของบริษัทกรณีศึกษาที่กำหนดไว้คือ มากกว่าหรือเท่ากับ 1.33 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจากก่อนปรับปรุงอยู่ที่ 2.8 และหลังปรับปรุงเป็น 1.05 ซึ่งทำให้ปริมาณของเสียลดลงและประสิทธิภาพ โดยเฉลี่ยหลังการปรับปรุงเพิ่มขึ้นเท่ากับ 97.74 เปอร์เซ็นต์ หรือเทียบเท่ากับระดับ 3.5Sigma

## บทที่ 5

### สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทนำ

จากการดำเนินงานวิจัยซึ่งได้นำเสนอโดยประยุกต์ใช้แนวทางตามขั้นตอนของซิกซิกม่า ทั้ง 5 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนการนิยามหรือกำหนดปัญหา (Define Phase) ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (Analyze Phase) ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase) และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase) เพื่อใช้ในการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการเคลือบน้ำยาอะคริลิก (Acrylic Conformal Coating) ป้องกันความชื้นสำหรับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์รวม จากผลการดำเนินงานปรับปรุงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพจากเดิมก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 87.20% หรือเทียบเท่ากับระดับ 2.64Sigma เป็น 97.74% หรือเทียบเท่ากับระดับ 3.5Sigma จากปริมาณการผลิตตั้งแต่เดือน กรกฎาคม ถึงเดือน ตุลาคม 2554 ซึ่งสูงกว่าวัตถุประสงค์ของงานวิจัยที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ที่ 90% ซึ่งสามารถคำนวณมาเป็นต้นทุนสำหรับการแก้ไขผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องตามหลักการคำนวณของบริษัทกรณีศึกษาโดยสามารถประหยัดต้นทุนได้ถึง \$10,705 หรือ 321,152 บาท (ที่อัตราแลกเปลี่ยน 30 บาท ต่อ 1 ดอลลาร์) โดยมีรายละเอียดบทสรุปผลการวิจัยในแต่ละขั้นตอนตามแนวทางของซิกซิกม่าดังนี้

#### 5.2 บทสรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase)

เนื่องจากเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของการวิเคราะห์หาแหล่งที่มาหรือปัจจัยของปัญหา จึงได้มีการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการตรวจวัดในกระบวนการทำงานก่อน โดยมีการประเมินวิธีการตรวจสอบด้วยตาเปล่าและผ่านกล้องขยาย 3 เท่า และการตรวจสอบด้วยตาเปล่าได้แสงอัลตราไวโอเล็ตแบคไลต์ ด้วยการเลือกพนักงานมา 3 คน ให้ตรวจบอร์ด 30 บอร์ด โดยมีทั้งบอร์ดดีและบอร์ดเสียในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน จากผลการประเมินพนักงานทั้ง 3 คน ผ่านการประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งเปอร์เซ็นต์ที่พบข้อบกพร่องของพนักงานตรวจสอบแต่ละคน เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการตรวจสอบของพนักงานทั้งหมด และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการตรวจสอบของพนักงานทั้งหมด เมื่อเทียบกับมาตรฐาน

จากนั้นรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะอาการของเสียที่ถูกตรวจพบ เพื่อจัดลำดับความสำคัญโดยใช้แผนภูมิพาเรโต และใช้แผนภูมิแกงปลาเพื่อค้นหาปัจจัยอินพุตของกระบวนการเคลือบน้ำยาอะคริลิกและกระบวนการที่เกี่ยวข้อง โดยระดมความคิดจากทีมงานที่ได้จัดตั้งขึ้นมาแล้วใช้ตารางแจกแจงสาเหตุและผลกระทบของข้อบกพร่อง (Cause and Effect Matrix) เพื่อร่วมให้คะแนนผลเบื้องต้น คือ กระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแล้วพักบอร์ด (Coating Machine and Stacking) เป็นกระบวนการที่ก่อให้เกิดปัญหาของเสียที่ถูกตรวจพบมากที่สุด

### 5.3 บทสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

เริ่มจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการปัจจุบัน (Process Capability) ในกระบวนการเคลือบด้วยเครื่องแล้วพักบอร์ด ที่ได้มาจากการวิเคราะห์เบื้องต้นจากขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) โดยใช้ความหนาของการเคลือบในการประเมินความสามารถของกระบวนการเคลือบ เนื่องจากความหนาจะส่งผลถึงข้อบกพร่อง (Defect) ต่างๆ ซึ่งผลการประเมินได้ค่า CpK เท่า 0.87 และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 2.8 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ของบริษัทกรณีศึกษาที่กำหนดคือ CpK มากกว่าหรือเท่ากับ 1.33

จากนั้นใช้ตารางแจกแจงสาเหตุและผลกระทบของข้อบกพร่อง (Cause and Effect Matrix) และวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA: Failure Mode & Effect Analysis) แล้วใช้แผนภูมิพาเรโตจัดเรียงลำดับความสำคัญ และได้ปัจจัยที่จะต้องปรับปรุงดังนี้

1. พารามิเตอร์ของโปรแกรมกำหนดไว้ไม่เหมาะสมประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญคือ
  - 1) ความเร็วของการเคลือบ (Coating Speed)
  - 2) ระยะระหว่างหัวพ่นกับบอร์ด (Z-Position)
  - 3) แรงดันลมปรับสเปรย์ (Atomize Air Pressure)
  - 4) จำนวนรอบที่พ่นเคลือบ (Coating Layer)
  - 5) ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume)
  - 6) ความหนืดของน้ำยาเคลือบ (Material Viscosity)
2. ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Volume) ไม่สม่ำเสมอประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญคือ
  - 1) หัวสเปรย์อุดตัน
  - 2) แรงดันลมในถังน้ำยาเคลือบไม่สม่ำเสมอ
  - 3) วาล์วปรับปริมาณน้ำยาเคลือบปรับไม่สม่ำเสมอ
  - 4) ความหนืดไม่สม่ำเสมอ

3. ความหนืด (Viscosity) น้ำยาเคลือบไม่เหมาะสมประกอบด้วยตัวแปรที่สำคัญคือ
  - 1) อัตราส่วนผสมของน้ำยาเคลือบอะคริลิกกับทินเนอร์
  - 2) อุณหภูมิและความชื้นภายในสถานที่ทำงาน
  - 3) รูปร่างลักษณะบอร์ดที่ใช้เคลือบ

#### 5.4 บทสรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

ได้นำผลจากขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุ (Analysis Phase) มาแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ตัวแปรที่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้ทันทีและตัวแปรที่ต้องออกแบบการทดลอง จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขและทดสอบผลการดำเนินงานทั้งหมดของตัวแปรที่สามารถปรับปรุงได้ทันที ส่วนตัวแปรที่ต้องทดลองนั้นคือ หาค่าความหนืดและอัตราส่วนผสมของน้ำยาอะคริลิกที่ไม่ทำให้เกิดเส้นใยขณะพ่นเคลือบ และหาค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรมเครื่องเคลือบ

ได้ทำการทดลองด้วยการปรับอัตราส่วนผสมและวัดค่าความหนืด แล้วทดลองพ่นจนได้ค่าความหนืดที่เหมาะสมที่ไม่เกิดเส้นใยขณะพ่นคือ ค่าความหนืดที่ 14 Cps และต้องไม่เกิน 17 Cps ถ้าเกินจะเกิดเส้นใยขณะพ่นเคลือบ

และได้หาค่าพารามิเตอร์ของโปรแกรมเครื่องเคลือบด้วยการออกแบบการทดลอง โดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยคำนวณ และนำผลการออกแบบไปทดลองปฏิบัติ และได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ร่วมกับบอร์ดจริง

#### 5.5 บทสรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

ได้มีออกแบบวิธีการป้องกันความผิดพลาด (POKA-YOKE) และแผนการควบคุมกระบวนการทำงานให้กับพนักงานระดับปฏิบัติการเพิ่มเติมใหม่ เช่น สวมถุงมือ ESD ทุกครั้งที่จับบอร์ด การจับบอร์ดให้จับที่ขอบเท่านั้น การเคลื่อนย้ายบอร์ดให้วางบนถาด ESD ภาชนะสำหรับใส่น้ำยาอะคริลิกต้องเขียนป้ายติดบอกชนิด กำหนดให้วัดค่าความหนืดและลงบันทึกผล ทุกครั้งที่มีการผสมน้ำยาอะคริลิกใหม่ กำหนดให้ตรวจวัดปริมาณการไหลของน้ำยาเคลือบทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่น กำหนดให้มีการวัดความหนาและลงบันทึกผลทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่น และกำหนดให้เฉพาะพนักงานที่ผ่านการอบรมและมี Certificate เท่านั้น จึงสามารถทำงานได้ เป็นต้น

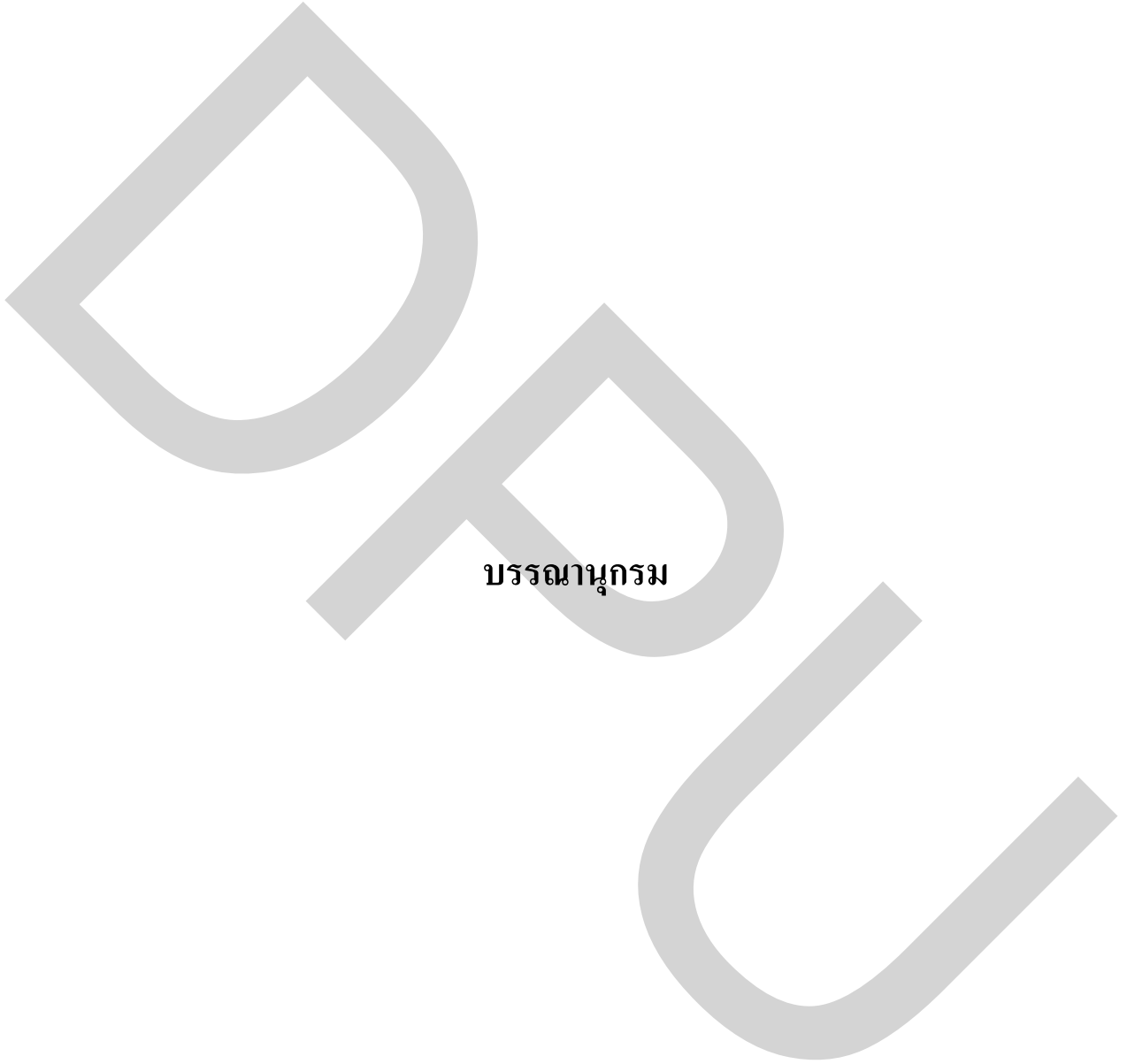
จากการควบคุมทั้งหมดนี้ทำให้ความสามารถของกระบวนการเคลือบอะคริลิกด้วยเครื่อง จากเดิม Cpk เท่ากับ 0.87 หลังปรับปรุงเพิ่มขึ้นเป็น 2.36 ซึ่งมากกว่ามาตรฐานของบริษัท กรณีศึกษากำหนดไว้คือ มากกว่าหรือเท่ากับ 1.33 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 2.8 และหลังปรับปรุงเป็น 1.05 ซึ่งทำให้ปริมาณของเสียลดลงและประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยหลังการปรับปรุงเพิ่มขึ้นเป็น 97.74 เปอร์เซ็นต์

## 5.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย

เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองเป็นชนิดเดียวกันกับวัตถุดิบที่ใช้กับการผลิตงานจริงและเป็นวัตถุดิบที่มีราคาก่อนข้างสูงจึงจำเป็นต้องควบคุมปริมาณที่นำมาใช้ในการทดลอง เพื่อเป็นการควบคุมค่าใช้จ่ายในการทดลองให้ต่ำที่สุด อีกทั้งเป็นวัตถุดิบเป็นสารระเหยและมีกลิ่นเหม็นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมพื้นที่ในการทดลองและมีอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคลเพื่อความปลอดภัย เครื่องจักรที่ใช้ในการทดลองเป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานจริง จึงจำเป็นต้องมีประสานงานและการวางแผนกับฝ่ายผลิตให้ดีเพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อขั้นตอนการผลิตลดลง

## 5.7 ข้อเสนอแนะ

1. ควรพิจารณาขยายผลการปรับปรุงประสิทธิภาพงานไปยังผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆ
2. เครื่องมือวัดความหนาควรมีการสอบเทียบอย่างง่ายก่อนการวัดทุกครั้ง
3. เครื่องมือวัดค่าความหนืด (Viscosity Cup) ควรมีการตรวจสอบและทำความสะอาดรูน้ำยาเคมีไหลผ่านก่อนการวัดเสมอ
4. ควรมีการทดสอบประเมินพนักงานระดับปฏิบัติการอย่างต่อเนื่อง
5. ควรมีการอบรมและทดสอบการใช้เครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้องกับการทำให้กับพนักงานผู้ปฏิบัติงานเป็นประจำทุกปี
6. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงอัตราส่วนผสมที่กำหนดไว้ในคู่มือแนะนำการใช้ ว่าด้วยเหตุใดจึงไม่สามารถใช้งานได้เมื่อปฏิบัติตามคู่มือ
7. การดำเนินการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหรือลดของเสียตามแนวทางของซิกซิกม่านั้น ควรมีการจัดตั้งเป็นคณะทำงาน โดยเป็นบุคคลที่มีหน้าที่ในงานนั้นๆ เพื่อให้เห็นปัญหาที่แท้จริง และเพื่อให้การปรับปรุงเห็นผลอย่างรวดเร็วคณะทำงานควรมีเวลาให้กับการปรับปรุงตามแนวทางซิกซิกม่าแบบเต็มเวลา



บรรณานุกรม



## บรรณานุกรม

ภาษาไทย

หนังสือ

วิศิษฐ์ จาตุรमानและขวัญชัย สันทิพย์สมบูรณ์. (2542). กลศาสตร์ของไหล. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น

วิทยานิพนธ์

ณัฐเจตน์ เกษกมล. (2550). การประยุกต์ใช้ซิกซ์ซิกม่าในการลดปัญหาจำนวนผลิตภัณฑ์บกพร่อง  
ในโรงงานอุตสาหกรรม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม  
อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วรรณาทองสุข. (2552). การลดของเสียในกระบวนการผลิตชุดประกอบสายไฟ: กรณีศึกษาบริษัท  
ประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

วุฒิภูมิ เลิศปรีชากรม. (2551). การควบคุมคุณภาพโดยวิธีซิกซ์ซิกม่าของบริษัทอินโนเวกซ์  
(ประเทศไทย) จำกัด . วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาบริหารธุรกิจ.  
เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ศุภกฤต หวังสิทธิเดช. (2552). การปรับปรุงกระบวนการผลิตด้วยวิธีทางซิกซ์ ซกม่า: กรณีศึกษา  
โรงงานประกอบแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชา  
วิศวกรรมอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สมอุษา วรรณถมล. (2547). การลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องโดยใช้เทคนิคซิกซ์ซิกม่า.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. เชียงใหม่:  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อรรถพล เฉลิมพลประภา. (2547). การปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยใช้เทคนิคลีนและซิกซ์ซิกม่า  
ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว. (2545). การลดของเสียจากกระบวนการผลิตกระป๋องโดยประยุกต์ใช้วิธีทาง  
ซิกซ์ซิกมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ:  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

#### สารานเทศจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์

สายัณห์ สุขพงษ์พันธ์ วิรัตน์ ปฐมชัยอัมพร. (2549). ความหนืดคุณลักษณะเฉพาะของของไหล.  
สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2554, จาก

[http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/pep\\_9\\_2549\\_viscosity.pdf](http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/pep_9_2549_viscosity.pdf)

อรอุษา สรวารี. (2537). มาตรการความหนืด. สืบค้นเมื่อ 20 กรกฎาคม 2554, จาก

[http://www.mne.eng.psu.ac.th/staff/lek\\_files/ceramic/u94-2.htm](http://www.mne.eng.psu.ac.th/staff/lek_files/ceramic/u94-2.htm)



ภาคผนวก



ตารางเปรียบเทียบหน่วย Defect per Million Opportunities (DPMO), Sigma Level, Yield

### Sigma Quality Level Conversion Table

Yield	DPMO	Sigma	Yield	DPMO	Sigma	Yield	DPMO	Sigma
6.6%	934,000	0	69.2%	308,000	2	99.4%	6,210	4
8.0%	920,000	0.1	72.6%	274,000	2.1	99.5%	4,660	4.1
10.0%	900,000	0.2	75.8%	242,000	2.2	99.7%	3,460	4.2
12.0%	880,000	0.3	78.8%	212,000	2.3	99.75%	2,550	4.3
14.0%	860,000	0.4	81.6%	184,000	2.4	99.81%	1,860	4.4
16.0%	840,000	0.5	84.2%	158,000	2.5	99.87%	1,350	4.5
19.0%	810,000	0.6	86.5%	135,000	2.6	99.90%	960	4.6
22.0%	780,000	0.7	88.5%	115,000	2.7	99.93%	680	4.7
25.0%	750,000	0.8	90.3%	96,800	2.8	99.95%	480	4.8
28.0%	720,000	0.9	91.9%	80,800	2.9	99.97%	330	4.9
<b>31.0%</b>	<b>690,000</b>	<b>1</b>	<b>93.3%</b>	<b>66,800</b>	<b>3</b>	<b>99.977%</b>	<b>230</b>	<b>5</b>
35.0%	650,000	1.1	94.5%	54,800	3.1	99.985%	150	5.1
39.0%	610,000	1.2	95.5%	44,600	3.2	99.990%	100	5.2
43.0%	570,000	1.3	96.4%	35,900	3.3	99.993%	70	5.3
46.0%	540,000	1.4	97.1%	28,700	3.4	99.996%	40	5.4
50.0%	500,000	1.5	97.7%	22,700	3.5	99.997%	30	5.5
54.0%	460,000	1.6	98.2%	17,800	3.6	99.9980%	20	5.6
58.0%	420,000	1.7	98.6%	13,900	3.7	99.9990%	10	5.7
61.8%	382,000	1.8	98.9%	10,700	3.8	99.9992%	8	5.8
65.6%	344,000	1.9	99.2%	8,190	3.9	99.9995%	5	5.9
						<b>99.99966%</b>	<b>3.4</b>	<b>6</b>

**MBG BUSINESS SERVICES**  
clarity momentum results

1









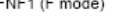
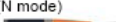

Lean Six Sigma

ข้อมูลจำเพาะเครื่องมือวัดความหนา ELCOMETER รุ่น 456 BASIC



ELCOMETER 456 SEPARATE PART NUMBERS			
	BASIC	STANDARD	TOP
Ferrous Separate	A456FBS	A456FSS	A456FTS
Non-Ferrous Separate	A456NBS	A456NSS	A456NTS
Dual FNF Separate	A456FNFB	A456FNFS	A456FNFTS

Probes for the Elcometer 456 Separate Gauges are supplied separately. Please remember to select the appropriate probe (s) from the Elcometer probes list on the following pages

Probe Type	Part Number	Measuring Range	Accuracy <sup>1</sup>	Resolution	Convex Surface Diameter	Concave Surface Radius	Headroom	Minimum Sample Diameter
 F3 S	T456F3S	0-13mm (0-500mils)	±1-3% or ±0.05mm (±1-3% or ±2.0mil)	1µm up to 2mm 10µm; 2-13mm (0.1mil up to 100mils; 1mil 100-500mils)	4mm (0.16")	40mm (1.57")	102mm (4.02")	14mm (0.55")
 F6 S	T456F6S	0-25mm (0-80mils)	±1-3% or ±0.1mm (±1-3% or ±2.0mil)	10µm up to 2mm; 100µm 2-25mm (1mil up to 100mils; 10mils 100-980mils)	15mm (0.59")	170mm (6.7")	150mm (5.9")	51mm (2")
 N1 S	T456N1S	0-1500µm (0-60mils)	±1-3% or ±2.5µm (±1-3% or ±0.1mil)	0.1µm up to 100µm; 1µm 100-1500µm (0.01mil up to 5mils; 0.1mil 5-60mils)	35mm (1.38")	25mm (0.98")	28mm (1.10")	6mm (0.24")
 N1 RA	T456N1R	0-1500µm (0-60mils)	±1-3% or ±2.5µm (±1-3% or ±0.1mil)	0.1µm up to 100µm; 1µm 100-1500µm (0.01mil up to 5mils; 0.1mil 5-60mils)	35mm (1.38")	25mm (0.98")	28mm (1.10")	6mm (0.24")
 N1A A Probe	T456N1AS	0-1500µm (0-60mils)	±1-3% or ±2.5µm (±1-3% or ±0.1mil)	0.1µm up to 100µm; 1µm 100-1500µm (0.01mil up to 5mils; 0.1mil 5-60mils)	35mm (1.38")	25mm (0.98")	85mm (3.35")	6mm (0.24")
 N2 S	T456N2S	0-5mm (0-200mils)	±1-3% or ±0.02mm (±1-3% or ±1.0mil)	1µm up to 1mm; 10µm 1-5mm (0.1mil up to 50mils; 1mil 50-200mils)	35mm (1.38")	150mm (5.90")	85mm (3.35")	14mm (0.55")
 N6 S	T456N6S	0-30mm (0-200mils)	±1-3% or ±0.5mm (±1-3% or ±1.0mil)	10µm up to 2mm; 100µm 2-30mm (1mil up to 100mils; 10mil 100-1200mils)	100mm (3.97")	400mm (15.8")	160mm (6.3")	58mm (2.3")
 FNF1 (N mode)	T456FNF1S	0-1500µm (0-60 mils)	±1-3% or ±2.5µm (±1-3% or ±0.1mil)	0.1µm up to 100µm; 1µm 100-1500µm (0.01mil up to 5mils; 0.1mil 5-60mils)	35mm (1.38")	25mm (0.98")	88mm (3.46")	8mm (0.32")
 FNF1 (F mode)					38mm (1.50")	25mm (0.98")	85mm (3.35")	4mm (0.16")
 FNF1 RA (N mode)					4mm (0.16")	25mm (0.98")	85mm (3.35")	4mm (0.16")
 FNF1 RA (F mode)					38mm (1.50")	25mm (0.98")	89mm (3.50")	8mm (0.32")

S = Standard Probe    RA = Right Angle Probe    T = Telescopic Probe    AA = Anodising Probe

## ข้อมูลจำเพาะ 1B73 Acrylic Coating

1B73  
Acrylic Coating**TECHNICAL DATA SHEET****System Description**

1B73 is a single component, fast air drying, acrylic coating for printed circuit assemblies. Characterized by a higher tack resistance at elevated temperatures not normally associated with thermoplastic materials. Has excellent electrical properties and flexibility. This coating is MIL-I-46058C and IPC-CC-830 qualified. U.L. recognized under the Component Program of Underwriters Laboratories, Inc., File Number E 105698. Fluoresces under ultraviolet light. 1B73 is also available in an aerosol can. HumiSeal 1B73 is in full compliance with the RoHS Directive (Directive 2002/95/EC).

**Properties of Liquid HumiSeal**

Specific weight, (lb. per gal.) per ASTM, Meth. D1475	7.7 ± .2
Solids Content, % by weight per Fed-Std-141, Meth.4044	28.5 ± 2
Viscosity, centipoise per Fed-Std-141, Meth. 4287	250 ± 20
Flashpoint, °C (°F) per ASTM, Meth. D56	-1 (30)
VOC (grams / liter)	654
Drying Time to Handle per Fed-Std-141, Meth.4061	30 minutes
Recommended Coating Thickness	1 – 3 mils
Recommended Curing Conditions	24 hrs @ rm. temp or 2 hrs. @ 170°F
Time Required to Reach Optimum Properties	7 days
Thinner, if needed (dipping, brushing, spraying)	Thinner 73
Recommended Stripper	Stripper 1080
Pot Life at Room Temperature	12 months
Shelf Life at Room Temperature	18 months from date of shipment.

**Properties of Cured HumiSeal**

<b>Thermal Properties</b>	
Continuous Use Operating Range °C(°F)	-65°C (-85°F) to +125°C (257°F)
Thermal Shock, per MIL-I-46058C	Passes
Solderability	Good
Coefficient of Thermal Expansion - DMA	67ppm / °C
Glass Transition Temperature - TMA	42°C
Young's Modulus - DMA	1606psi
<b>Physical Properties</b>	
Clarity	Transparent
Build per Dip, mils, per ASTM, Meth.D823	1
Flexibility, per MIL-I-46058C	Excellent
Adhesion, per ASTM, Meth. D2197	Excellent
Flammability, per ASTM, Meth. D635	Self-Extinguishing
Weather Resistance	Very Good
<b>Electrical Properties</b>	
Dielectric Withstand Voltage, volts per MIL-I-46058C	>1,500
Dielectric Breakdown Voltage, volts, per ASTM, Meth. D149	6300
Dielectric Constant, at 1MHz and 25°C, per ASTM-D150-65T	2.6
Dissipation Factor, at 1MHz and 25°C, per ASTM-D150-65T	0.010
Insulation Resistance, ohms, per MIL-I-46058C	550 x 10 <sup>12</sup> (550T)
Moisture Resistance, ohms, per MIL-I-46058C	70 x 10 <sup>9</sup> (70G)
<b>Chemical Properties</b>	
Main Constituent	Acrylic
Fungus Resistance, per ASTM-G21	Passes
Resistance to Chemicals	Fair

Values are not intended for use in preparation of specifications.

## ข้อมูลจำเพาะ 1B73 Acrylic Coating (ต่อ)



## 1B73 Acrylic Coating

### TECHNICAL DATA SHEET

#### APPLICATION

Cleanliness of the substrate is of extreme importance for the successful application of a conformal coating. Surfaces must be free of moisture, dirt, wax, grease and all other contaminants. Contamination under the coating will cause problems that may lead to assembly failures.

**HumiSeal coatings may be applied by brush, dip or spray.**

#### Dipping

Depending on the complexity, density and configuration of components on the assembly, it may be necessary to reduce the viscosity of HumiSeal 1B73 with HumiSeal Thinner 73 in order to obtain a uniform film. Once optimum viscosity is determined, a controlled rate of immersion and withdrawal (2 to 6" per minute) will further insure even deposition of the coating and ultimately a uniform film. During the application, evaporation of solvent causes an increase in viscosity that should be adjusted by adding small amounts of Thinner 73. Viscosity in the dip tank should be regularly checked by the use of a simple measuring device such as a Zahn or Ford viscosity cup.

#### Spraying

HumiSeal Type 1B73 can be sprayed using conventional spraying equipment. As a rule, the addition of Thinner 73 is necessary to assure a uniform spray pattern resulting in pinhole free film. The amount of thinner and spray pressure will depend on the specific type of spray equipment used. The spraying should be done under an exhaust hood so that the vapor and mist are carried away from the operator. The recommended ratio of HumiSeal Type 1B73 to HumiSeal Thinner 73 is 1 to 1 by volume, as a starting point. The quantities may be adjusted to obtain a uniform coating.

#### Brushing

HumiSeal Type 1B73 may be brushed with a small addition of HumiSeal Thinner 73. Uniformity of the film depends on component density and operator's technique.

#### Storage

HumiSeal Type 1B73 should be stored at room temperature, away from excessive heat, in tightly closed containers. HumiSeal products may be stored at temperatures of 0-100°F. Avoid direct sunlight. Prior to use, allow the product to equilibrate for 24 hours at 65-90°F.

#### Caution

The solvents in Type 1B73 are flammable. Do not use in presence of open flame or sparks. Avoid inhalation of vapors or spray. Use only in well-ventilated areas. Avoid contact with skin and eyes. If contact occurs, wash with soap and water. If swallowed, call physician immediately. Refer to MSDS before use.

All technical data in this bulletin is based on test results and is believed to be correct. However, since the end use of HumiSeal materials (and the manner of storing and handling them) is beyond our control, we make no warranty-expressed or implied as to the fitness of use, results to be obtained from or effects of use with respect to these materials. Their use shall be solely by the judgment of and at the risk of the user notwithstanding any statement in this bulletin. © Copyright 1992 CHASE CORPORATION.

**HumiSeal Division, Chase Specialty Coatings**  
**Pittsburgh, PA 15238**  
**Sales: 412-828-5470 or [Sales@HumiSeal.com](mailto:Sales@HumiSeal.com)**  
**Technical Assistance: 866-932-0800 or [TechSupport@HumiSeal.com](mailto:TechSupport@HumiSeal.com)**

ตารางแปลงหน่วยเวลาเป็นหน่วยความหนืด (Cps) สำหรับ Elcometer Viscosity ISO No.4

Time (sec.)	Viscosity (Cps)	Time (sec.)	Viscosity (Cps)
10	5	56	72
11	7	57	73
12	8	58	74
13	9	59	76
14	11	60	77
15	12	61	79
16	14	62	80
17	15	63	82
18	17	64	83
19	18	65	85
20	20	66	86
21	21	67	87
22	22	68	89
23	24	69	90
24	25	70	92
25	27	71	93
26	28	72	95
27	30	73	96
28	31	74	97
29	33	75	99
30	34	76	100
31	35	77	102
32	37	78	103
33	38	79	105
34	40	80	106
35	41	81	108
36	43	82	109
37	44	83	110
38	46	84	112
39	47	85	113
40	48	86	115
41	50	87	116
42	51	88	118
43	53	89	119
44	54	90	121
45	56	91	122
46	57	92	123
47	59	93	125
48	60	94	126
49	61	95	128
50	63	96	129
51	64	97	131
52	66	98	132
53	67	99	134
54	69	100	135
55	70	101	136



แบบฟอร์มแผนควบคุมความหนาสำหรับเคลือบน้ำยาอะคริลิกและพารามิเตอร์ของโปรแกรมเครื่อง Coating

CONFORMAL COATING THICKNESS CONTROL CHART

Thickness control range: UCL = ..... µm    CL = ..... µm    LCL = ..... µm    Mat1 : .....    Class : .....    Machine No.: .....

<b>Date / Time</b>																		
<b>Project</b>																		
<b>SO#</b>																		
<b>Thickness (µm)</b>	60																	
	59																	
	58																	
	57																	
	56																	
	55																	
	54																	
	53																	
	52																	
	51																	
	50																	
	49																	
	48																	
47																		
46																		
45																		
44																		
43																		
42																		
41																		
40																		
<b>Parameter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1) Mat1 pressure(psi)</li> <li>2) Atomize air(psi)</li> <li>3) Mix ratio</li> <li>4) Viscosity(Cps)</li> <li>5) Area Speed</li> <li>6) Line(2D) Speed</li> <li>7) Pitch (area spacing)</li> <li>8) Z-position</li> <li>9) Weigh FCS100-ES</li> <li>10) Weigh FCS100-F</li> <li>11) Weigh FC100</li> <li>12) Temperature(°C)</li> </ul>																	
<b>Technician</b>																		

## ตัวอย่างข้อสอบสำหรับพนักงานที่ผ่านฝึกอบรมในการกระบวนการเคลือบอะคริลิก

Conformal Coating Machine

1 of 2

OJT. CERTIFY &amp; RE-CERTIFY

NAME : ..... EN : ..... LINE : ..... DATE : .....

FREQUENCY : .....

AUDIT BY : ..... RESPONSE BY : .....

Rev.00

NO.	SUBJECT	PASS	FAIL	REMARK
1.	ก่อนเริ่ม Run Coating machine ต้องทำอะไรบ้าง (ตรวจเช็ค Parameter ต่างๆ ตาม PI, เตรียม Fixture ให้พร้อม, ตรวจเช็คที่ใช้ Material อะไร, อัตราส่วนผสมเท่าไร Viscosity เท่าไร, Run dummy plate ในกรณี Convert product)			
2.	กำหนดให้มีการวัดค่า Viscosity เมื่อไหร่ (ก่อนเริ่มปฏิบัติงาน, ทุกครั้งที่มีการผสม Material ใหม่, ทุกครั้งที่มีการ Convert product และเมื่อพบปัญหา)			
3.	การผสม Material ต้องใช้อัตราส่วนผสมเท่าไรนั้น ดูได้จากที่ไหนแต่ละ Product เหมือนกันหรือไม่ (ต้องดูตาม PI ของแต่ละ Product เท่านั้น เพราะบาง Product จะใช้อัตราส่วนผสมไม่เท่ากัน)			
4.	วิธีการผสม Material ทำอย่างไร (เท Material ใส่ถ้วยตวงที่มี scale ตามอัตราส่วนที่ PI กำหนด และเท Thinner ของ Material ชนิดนั้นๆ ลงในถ้วยตวงอีกถ้วยตามอัตราส่วนที่ PI กำหนดเช่นกัน จากนั้นนำเข้าเครื่องผสมอัตโนมัติ)			
5.	ความหนืด (Viscosity) ไม่ได้ตาม Spec. จะก่อให้เกิดปัญหาอะไร (Coating หนาหรือบางเกินไป, เกิดฟองอากาศ (Air bubble), โหลดเข้าพื้นที่ต้องห้าม)			
6.	ความหนืด (Viscosity) สูงเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหาอะไร (มีโอกาสเกิด air bubble และ Insufficient coating เพราะ Material จะไหลออกมาน้อย ทำให้ไม่ทั่วบอร์ด)			
7.	ความหนืด (Viscosity) ต่ำเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหาอะไร (มีโอกาสโหลดเข้า Connector และโหลดเข้าพื้นที่ต้องห้าม)			
8.	วิธีการวัดค่า Viscosity ทำอย่างไร (หลังจากผสม Material เรียบร้อยแล้ว ให้รอจนเห็นว่า Air bubble ลอยตัวขึ้นมาหมดแล้ว จากนั้นเท material ลงในถ้วยวัด หรือ Viscosity cup ให้ทะจนล้นถ้วย ขณะเทให้ใช้มืออุดรูไว้ จากนั้นให้ปล่อยมือที่จุด เพื่อให้ Material ไหลออก พร้อมกับเริ่มจับเวลา และให้หยุดเวลาเมื่อ Material หยอดแรกปรากฏขึ้น)			
9.	นำเวลาที่ได้จากการวัด Viscosity ไปทำอะไร (นำเวลาที่ได้ไปเทียบกับตาราง Viscosity เพื่อหาค่า Viscosity แล้วลงบันทึก)			
10.	ถ้าค่า Viscosity ไม่ได้ตาม Spec. (ค่า viscosity สูง) จะทำอย่างไร (เติม Thinner เข้าไปอีก แล้วผสมใหม่ จากนั้นวัด Viscosity จนกว่าจะได้ค่าตาม Spec.)			
11.	ถ้าค่า Viscosity ไม่ได้ตาม Spec. (ค่า viscosity ต่ำ) จะทำอย่างไร (เติม Material เข้าไปอีก แล้วผสมใหม่ จากนั้นวัด Viscosity จนกว่าจะได้ค่าตาม Spec.)			
12.	คู่มือทางการ Load fixture เข้าเครื่องจากที่ไหน (คู่มืออุปกรณ์ Fixture)			
13.	ทำอย่างไรถึงจะมั่นใจว่า Load cover ครอบจุดบนบอร์ด ก่อนปล่อยบอร์ดเข้าเครื่อง (ต้องตรวจเช็ค Cover ตามรูปที่ติดอยู่บน Fixture ต้องเตรียมมาให้ครบตามรูป)			

Conformal Coating Machine

2 of 2

## OJT. CERTIFY &amp; RE-CERTIFY

NAME : ..... EN : ..... LINE : ..... DATE : .....

FREQUENCY : .....

AUDIT BY : ..... RESPONSE BY : .....

Rev.00

NO.	SUBJECT	PASS	FAIL	REMARK
14.	บอร์ดยุค Coating แล้วแต่ยังไม่แห้งสามารถนำเข้าสู่ตู้อบได้หรือไม่ เพราะอะไร (ไม่ได้ เพราะจะทำให้เกิด Air bubble และ Material ไหลเข้าพื้นที่ต้องห้ามได้ ซึ่งเป็นผลทำให้ ความหนาที่บอร์ดยุคไม่เท่ากัน)			
15.	บอร์ดยุคที่เพิ่งผ่านการ Coating ใหม่ๆ ทำไม่ต้องการบอร์ดยุค (stacking) ไว้ที่อุณหภูมิห้อง (เพื่อให้ฟองอากาศ (air bubble) ลอยตัวออกให้หมด ก่อนที่มันจะแห้งตัวจนออกไม่ได้)			
16.	การยกบอร์ดยุคที่เพิ่ง Run Coating มา ไปที่ stacking ทำอย่างไร (ค่อยๆ ยก อย่างระมัดระวัง และต้องไม่ให้บอร์ดยุคเอียงขณะยก)			
17.	การจับบอร์ดยุค การเคลื่อนย้ายบอร์ดยุคต้องใช้อุปกรณ์ใดป้องกัน เพื่อไม่ให้บอร์ดยุคเสียหายและปฏิบัติอย่างไร (ให้ใส่ Wrist strap ป้องกัน ESD และบอร์ดยุคต้องใส่ถาดที่มี Table mat รองด้วยทุกครั้งที่มีการเคลื่อนย้ายบอร์ดยุค)			
18.	เอกสาร MSDS และ OST คืออะไรและเกี่ยวข้องกับพนักงานอย่างไร (MSDS เป็นเอกสารบอกเกี่ยวกับรายละเอียดของสารเคมี OST เป็นเอกสารเกี่ยวกับความปลอดภัย)			
19.	ระบบ AS9100 เป็นระบบที่ได้การรับรองเกี่ยวกับเรื่องอะไร			
20.	ปัญหาที่พบในการทำงานมีอะไรบ้างและแก้ไขอย่างไร			

ต้องได้ 18 ข้อหรือ 90% ขึ้นไป


## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	ศุภา คำหาญพล
ประวัติการศึกษา	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พ.ศ. 2542
ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน	วิศวกรอาวุโสฝ่ายควบคุมการผลิต (Senior Process Engineer) บริษัท Sanmina-SCI Systems (Thailand) Ltd. จังหวัดปทุมธานี
ประสบการณ์ทำงาน	- ผ่านการฝึกอบรมซิกซิกม่า (Six Sigma) ระดับ Green Belt ปี พ.ศ. 2545 และจัดทำโครงการพัฒนาซิกซิกม่า (Six Sigma Project) หลังผ่านฝึกอบรม เรื่องลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรรุ่น VCD (Reduce Setup time for VCD Machine) - ผ่านการฝึกอบรมซิกซิกม่า (Six Sigma) ระดับ Black Belt เมื่อปี พ.ศ. 2546 และจัดทำโครงการพัฒนาซิกซิกม่า (Six Sigma Project) หลังผ่านฝึกอบรม เรื่องลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรรุ่น Radial (Reduce Setup time for Radial Machine) - ได้รับมอบหมายกรณีพิเศษให้จัดทำโครงการพัฒนาซิกซิกม่า (Six Sigma Project) เรื่องลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรรุ่น Coating (Reduce Setup time for Coating Machine)