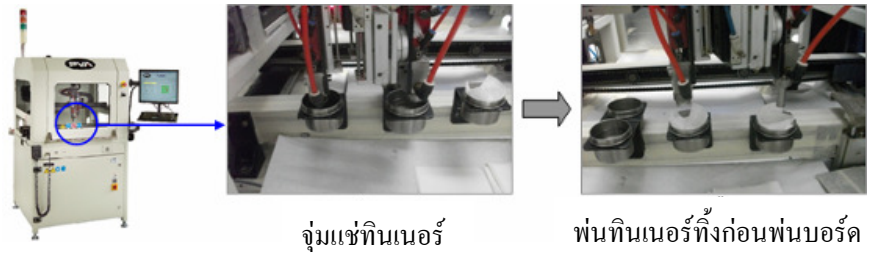
4.3 ปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase)

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

4.3.1 พารามิเตอร์ของโปรแกรมกำหนดไว้ไม่เหมาะสม สำหรับตัวแปรในพารามิเตอร์ของโปรแกรมนี้ ไม่มีตัวแปรหรือพารามิเตอร์ใดเลยที่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้เลยทันที ตัวแปรทั้งหมดจำเป็นต้องมีการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดก่อน และยังมีสองตัวแปรที่มีอิทธิพลร่วมคือ ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume) และความหนืดของน้ำยาเคลือบ (Material Viscosity) ซึ่งจะได้ทำการทำลองหาค่าที่เหมาะสมต่อไป

4.3.2 ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume) ไม่สม่ำเสมอ มีตัวแปรที่สามารถปรับปรุงแก้ไขได้โดยทันทีประกอบด้วย

1. หัวสเปรย์อุดตันหรือหัวพ่นน้ำยาเคลือบอุดตัน จากการศึกษาระบบการทำงานของเครื่องพ่นเคลือบและเก็บข้อมูลจากพนักงานประจำเครื่อง 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 กำหนดแนวทางการทำงานของพนักงานประจำเครื่องให้มีหน้าที่ตรวจเช็คและเติมทินเนอร์ให้พร้อมตลอดเวลา และจัดทำเป็นเอกสารการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Self Maintenance หรือ SM) ให้กับพนักงานประจำเครื่องเพื่อตรวจเช็คและลงบันทึกทุกครั้งก่อนเริ่มปฏิบัติงาน อีกทั้งกำหนดให้มีการเดินตรวจสอบ (Roving Audit) จากพนักงานที่ทำหน้าที่เดินตรวจสอบ (Roving Auditor) ตามระบบควบคุมคุณภาพของบริษัทกรณีศึกษานี้

2. แรงดันลมในถังน้ำยาเคลือบไม่สม่ำเสมอ จากการศึกษาการทำงานของเครื่องพ่นเคลือบพบว่าระบบการจ่ายน้ำยาเคลือบจะจ่ายด้วยการอัดแรงดันลมเข้าในถังน้ำยาเพื่อดันให้น้ำยาออกมา ซึ่งแรงดันลมดังกล่าวมีการควบคุมด้วยระบบวาล์วลม (Pneumatic Valve) ซึ่งจะไม่สามารถความคุมความเสถียรของแรงดันลมได้ หากแรงดันลมหลักไม่มีความเสถียร ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้จะส่งผลทำให้ปริมาณน้ำยาเคลือบที่ไหลส่งผ่านไปยังหัวสเปรย์ไม่สม่ำเสมอ

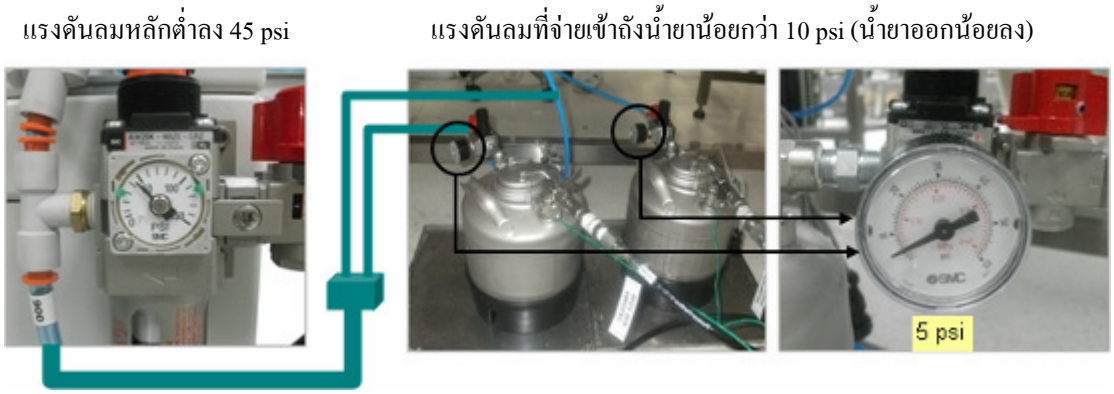
รูปที่ 4.10 แสดงระบบการจ่ายแรงดันลมหลักและแรงดันลมของถังน้ำยาเคลือบ

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

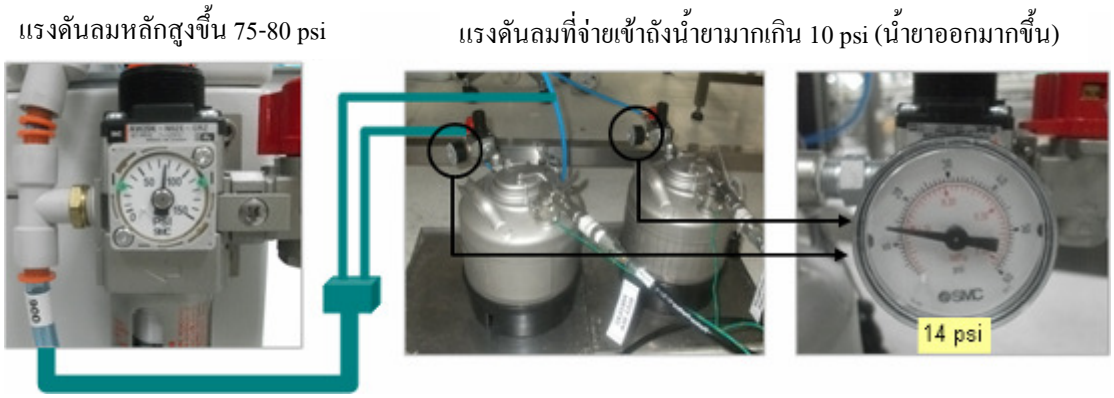
ตารางที่ 4.7 การทดลองผลกระทบของแรงดันลมที่จ่ายเข้าถังน้ำยาเคลือบต่อปริมาณน้ำยาเคลือบ

แรงดันลมจ่ายเข้าถังน้ำยาเคลือบ (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 (ลมเข้าถังน้ำยาเคลือบ) กับตัวแปรออกหรือตัวแปรตอบสนอง (ปริมาณน้ำยาออก) เท่านั้น

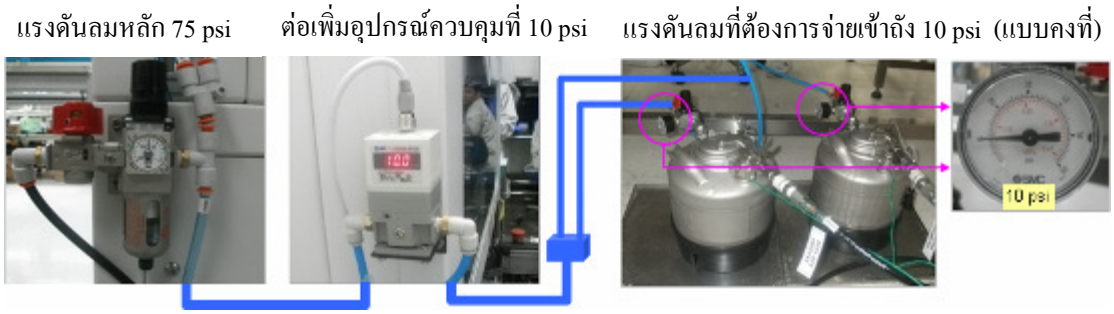


รูปที่ 4.11 แสดงแรงดันลมหลักต่ำลง ทำให้แรงดันลมที่จ่ายเข้าถังน้ำยาน้อยกว่า 10 psi (น้ำยาน้อย)



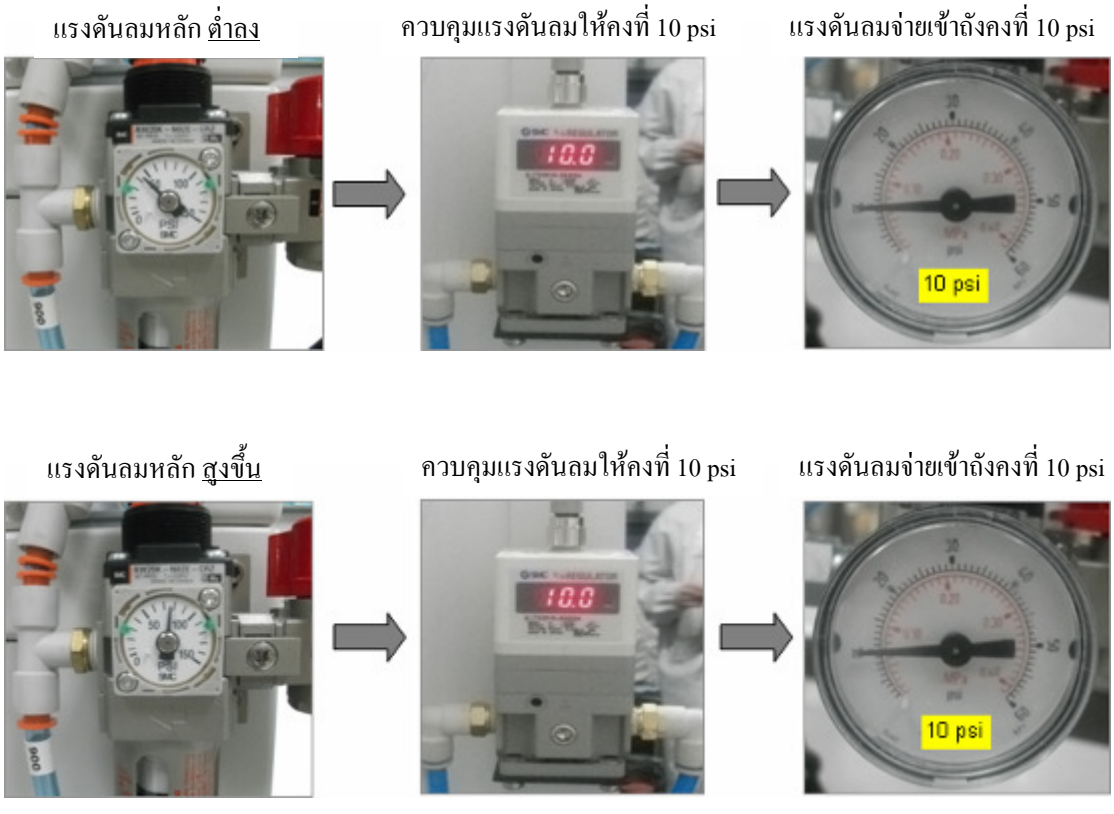
รูปที่ 4.12 แสดงแรงดันลมหลักสูงขึ้น ทำให้แรงดันลมที่จ่ายเข้าถังน้ำยามากกว่า 10 psi (น้ำยามาก)

แนวทางแก้ไขและป้องกัน คือ เนื่องจากแรงดันลมที่จ่ายเข้าถังน้ำยาเคลือบเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลง ตามแรงดันลมหลักที่จ่ายเข้ามา จึงทำให้ปริมาณน้ำยาเคลือบที่พ่นลงบนบอร์ดไม่สม่ำเสมอตามแรงดันลมที่เปลี่ยนแปลง และมีข้อสังเกตว่าแรงดันลมที่จ่ายเข้าถังน้ำยาเคลือบนั้นมีแรงดันที่ต้องการค่อนข้างต่ำเพียง 10 psi เท่านั้น ซึ่งต่ำกว่าแรงดันลมหลักมาก (แรงดันลมหลักที่จ่ายมาจากระบบ Facility ของโรงงานกรณีศึกษานี้อยู่ระหว่าง 70 - 80 psi) ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหาแรงดันลมที่จ่ายเข้าถังน้ำยาเคลือบไม่สม่ำเสมอ แก้ไขได้โดยการหาอุปกรณ์ควบคุมแรงดันลมอัตโนมัติต่อเพิ่มเข้าก่อนจ่ายแรงดันลมเข้าถังน้ำยาเคลือบเพื่อควบคุมแรงดันลมให้คงที่ตลอดเวลา ถึงแม้แรงดันลมหลักจะไม่สม่ำเสมอก็ตาม (สูงขึ้นหรือต่ำลง) ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงอุปกรณ์ควบคุมแรงดันลมก่อนจ่ายเข้าถังน้ำยา เพื่อควบคุมแรงดันลมให้คงที่

หลังจากต่ออุปกรณ์ควบคุมแรงดันลมแบบอัตโนมัติเพิ่มเข้าไปและทำการทดสอบการทำงาน เราพบว่าสามารถควบคุมแรงดันลมที่จ่ายเข้าในถังน้ำยาเคลือบให้คงที่ตลอดเวลาได้ถึงแม้แรงดันลมหลักจะไม่สม่ำเสมอก็ตาม (สูงขึ้นหรือต่ำลง) ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.8

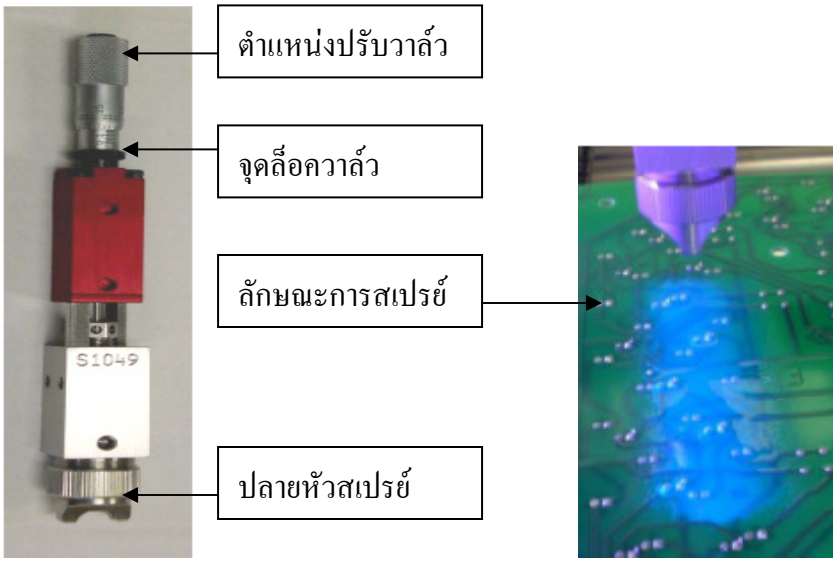


รูปที่ 4.14 แสดงการทดสอบอุปกรณ์ควบคุมแรงดันลมแบบอัตโนมัติ (ควบคุมที่ 10 psi)

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมแรงดันลมแบบอัตโนมัติ

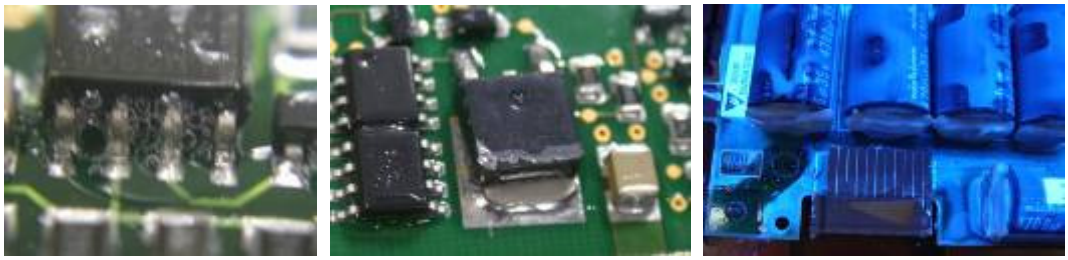
แรงดันลมหลัก (psi)	อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ (psi)	แรงดันลมเข้าถังน้ำยาเคลือบ (psi)
80	10.0	10
70	10.0	10
60	10.0	10
50	10.0	10
40	10.0	10
30	10.0	10
20	10.0	10
10	10.0	10

3. วาล์วปรับปริมาณน้ำยาเคลือบปรับไม่สม่ำเสมอ จากการศึกษาการทำงานของเครื่องพ่นเคลือบทราบว่าปริมาณน้ำยาเคลือบที่ไหลออกมายังหัวพ่น (Nozzle) นั้น นอกจากจะกำหนดที่แรงดันลมที่อัดเข้าในถังน้ำยาเคลือบแล้ว ยังสามารถปรับวาล์วเพื่อเปิดช่องให้น้ำยาเคลือบไหลผ่านหัวสเปรย์ การปรับวาล์วจะปรับด้วยมือแล้วล็อคไม่ให้คลายตัวได้ 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



ฟองอากาศ (Bubbles) ล่อนหลุด (Peel off) ไหลเข้าจุดห้ามเคลือบ

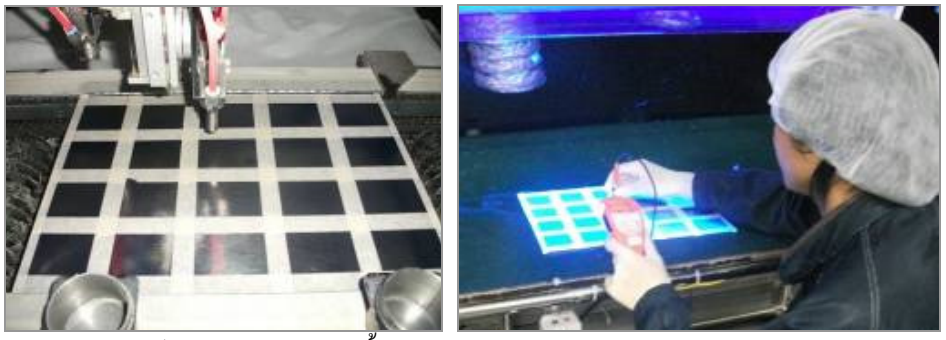
รูปที่ 4.16 แสดงตัวอย่างข้อบกพร่อง (Defects) ที่เกิดขึ้นกับบอร์ดในโรงงานกรณีศึกษา

แนวทางแก้ไขและป้องกัน คือ เนื่องจากการปรับวาล์วของช่างเทคนิคแต่ละคนได้ปริมาณน้ำยาเคลือบไม่เท่ากัน จึงเป็นผลทำให้เกิดข้อบกพร่อง (Defects) ต่างๆ ดังรูปที่ 4.16 เมื่อศึกษาถึงรายละเอียดของการทำงานของช่างเทคนิคพบว่า ช่างเทคนิคจะปรับตั้งวาล์วทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่นผลิต ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนชนิดของน้ำยาเคลือบ ทุกครั้งที่ผสมและเติมน้ำยาใหม่ (น้ำยาเก่าหมด) ในการปรับวาล์วแต่ละครั้งช่างเทคนิคจะสั่งให้เครื่องฉีดน้ำยาเคลือบ 20 วินาที จากนั้นสังเกตที่ปลายหัวสเปรย์หรือหัวฉีดว่ามีปริมาณน้ำยาออกมามากน้อยอย่างไร (โดยการประมาณ) แล้วล็อควาล์วไม่ให้วาล์วเคลื่อน จากนั้นใช้แผ่นอะลูมิเนียม (Aluminum Plate) แทนบอร์ดจริง นำมาพ่นน้ำยาด้วยโปรแกรมที่ใช้รันบอร์ดจริงเพื่อตรวจเช็คยืนยันความหนาก่อนรันบอร์ดจริงเสมอ แต่ถ้าความหนา (Thickness) ไม่ได้ตามสเปคที่กำหนด (สเปคความหนาอยู่ระหว่าง 40 – 55 ไมครอน) ช่างเทคนิคก็จะทำการปรับวาล์วใหม่อีกครั้งและรันบนแผ่นอะลูมิเนียมใหม่อีกครั้งจนกว่าจะได้ความหนาตามสเปคที่กำหนด ปัญหาที่ทำให้การปรับวาล์วได้ปริมาณน้ำยาเคลือบไม่สม่ำเสมอของช่างเทคนิคก็ คือ ไม่มีอุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดปริมาณน้ำยาเคลือบหลังจากปรับวาล์วแล้ว ใช้เพียงการสังเกตและประสบการณ์ของแต่ละคนเท่านั้น ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงและกำหนดวิธีการทำงานให้กับช่างเทคนิคโดยการวัดปริมาณน้ำยาเคลือบด้วยการชั่งน้ำหนักแทนการสังเกตด้วยสายตาเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 4.17

รีเซทตราชั่งให้เป็นศูนย์ พ่นด้วยโปรแกรม 20 วินาที ชั่งน้ำหนักหลังพ่น

รูปที่ 4.17 แสดงขั้นตอนการวัดปริมาณน้ำยาเคลือบด้วยวิธีการชั่งน้ำหนัก

หลังจากปรับปรุงและกำหนดวิธีการทำงานให้กับช่างเทคนิคโดยใช้วิธีการชั่งน้ำหนักแล้ว ได้มีการทดสอบเพื่อประเมินความเสถียรของการบวนการและประสิทธิภาพการทำงานของช่างเทคนิคกับวิธีการทำงานแบบใหม่ ด้วยการให้ช่างเทคนิคทั้ง 3 กะ ทดลองปรับวาล์วและชั่งน้ำหนักของน้ำยาเคลือบ กำหนดน้ำหนักที่ 1.1 +/-0.1 กรัม จากนั้นสเปรย์เคลือบลงบนแผ่นอะลูมิเนียม (Aluminum Plate) เพื่อวัดความหนา โดยกำหนดให้ทำซ้ำคนละ 20 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.18



สเปรย์บนอะลูมิเนียม 20 ครั้ง วัดความหนาหลังอบให้แห้ง 30 นาที

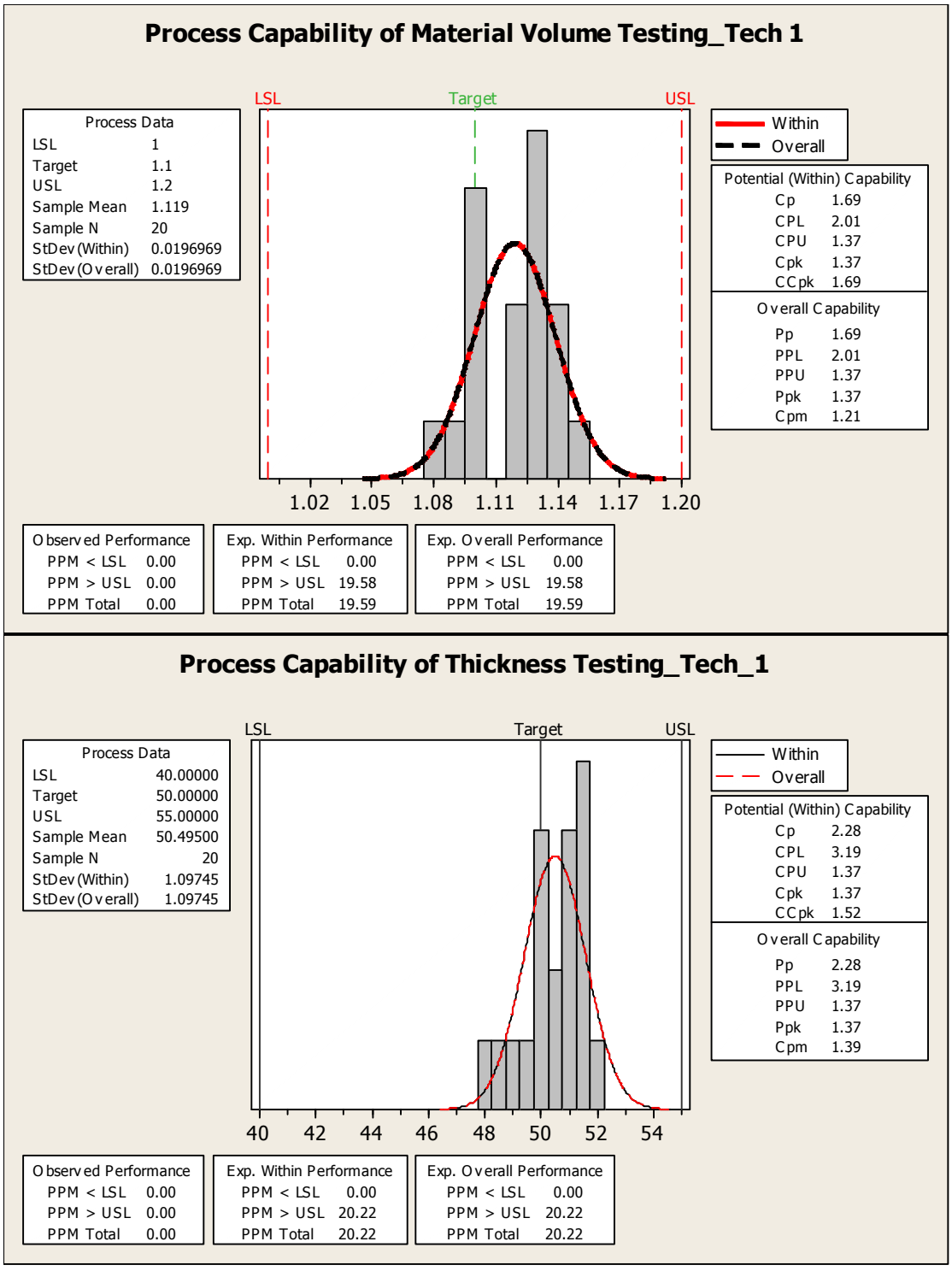
ตัวอย่างผลการวัดความหนาของช่างเทคนิค

รูปที่ 4.18 แสดงการสเปรย์ลงบนแผ่นอะลูมิเนียมและวัดความหนาของช่างเทคนิคทั้ง 3 กะ

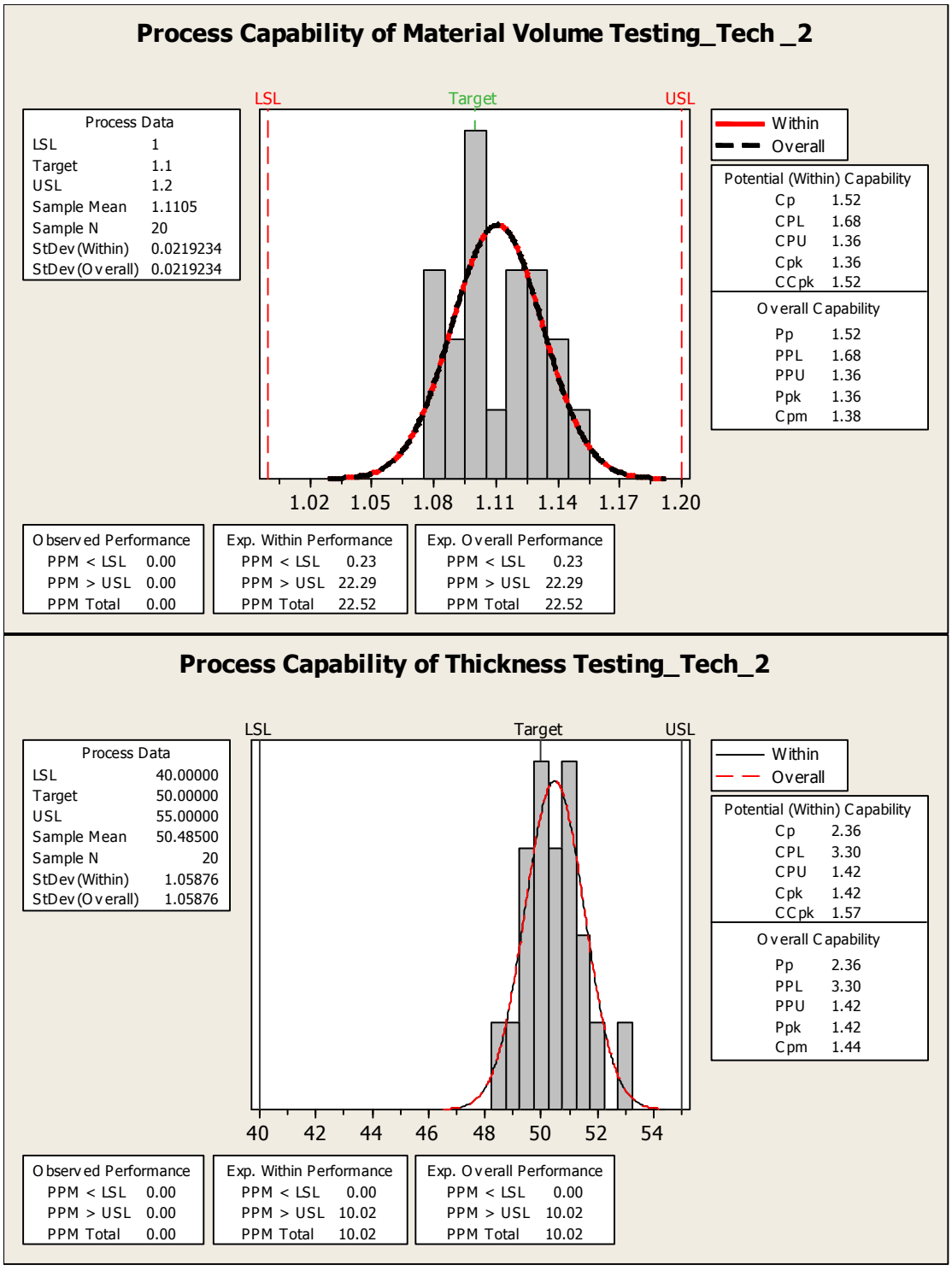
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการชั่งน้ำหนักน้ำยาเคลือบและวัดความหนาจากการปรับวาล์วของช่างเทคนิคทั้ง 3 กะ

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

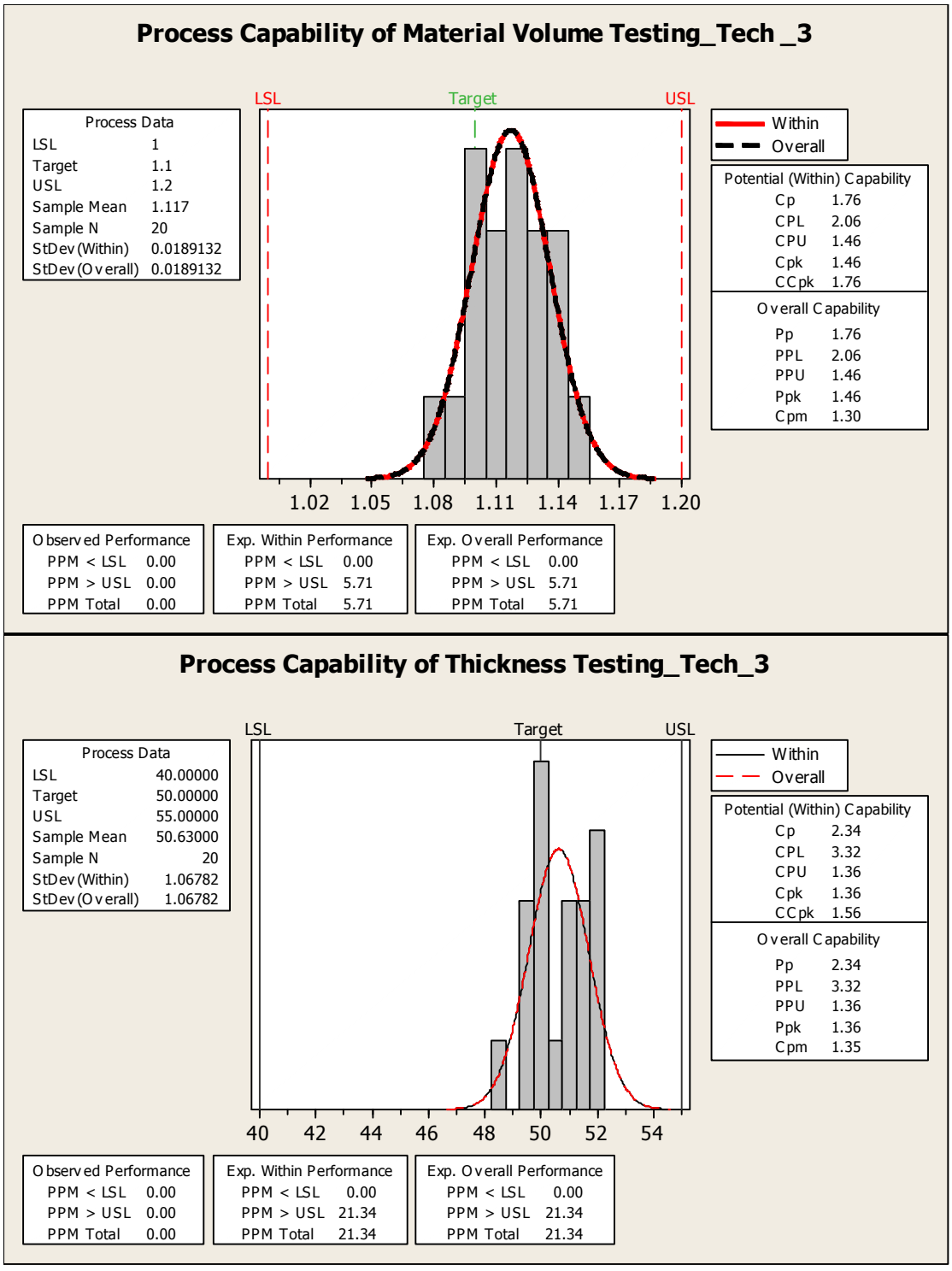
จากผลการทดสอบให้ช่างเทคนิคทั้ง 3 กะ ปรับวาล์วและชั่งน้ำหนักของน้ำยาเคลือบ 20 ครั้งต่อคน และเพื่อวัดความหนา (Coating Thickness) ของแต่ละครั้ง พบว่าช่างเทคนิคทั้ง 3 กะ สามารถปรับวาล์วและชั่งน้ำหนักได้ตามสเปคที่กำหนดให้ คือ 1.1 +/- 0.1 กรัม และผลการวัดความหนาหลังจากอบให้แห้งแล้วก็อยู่ย่านที่ลูกค้ากำหนดมาให้เช่นกัน 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 พบว่าช่างเทคนิคทั้ง 3 กะ มีความสามารถในการปรับวาล์วให้ได้ปริมาณน้ำหนักของน้ำยาเคลือบในแต่ละครั้งได้อย่างสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพ โดยที่ช่างเทคนิคทั้ง 3 กะ มีค่า CpK มากกว่า 1.33 ซึ่งเป็นข้อกำหนดของทางบริษัทกรณีศึกษานี้ และความหนาของน้ำยาเคลือบ (Coating Thickness) หลังอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ในเวลา 30 นาทีแล้ว พบว่าค่า CpK ของความหนามีค่ามากกว่า 1.33 ทั้ง 3 กะ เช่นกัน จึงเป็นการแสดงให้เห็นว่าเมื่อเราสามารถควบคุมปริมาณน้ำยาเคลือบได้แล้วจะสามารถควบคุมความหนาของน้ำยาเคลือบให้สม่ำเสมอเช่นกัน ดังนั้นจึงจะกำหนดให้ช่างเทคนิคทำการวัดปริมาณน้ำยาเคลือบด้วยการชั่งน้ำหนักทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่นผลิต ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนชนิดของน้ำยาเคลือบ ทุกครั้งที่ผสมและเติมน้ำยาใหม่ (น้ำยาเก่าหมด) เพื่อเป็นการรับประกันว่าน้ำยาเคลือบจะไหลอย่างสม่ำเสมอและได้ความหนาตามที่ลูกค้าต้องการ

4. ความหนืดไม่สม่ำเสมอ ตัวแปรที่ทำให้ปริมาณน้ำยาเคลือบไม่สม่ำเสมอนั้นนอกจากแรงดันลมที่อัดเข้าในถังน้ำยาและการปรับตั้งวาล์วแล้วยังมีอีกตัวแปรหนึ่งก็คือความหนืด (Viscosity) จากการวิเคราะห์เมื่อแรงดันลมในถังน้ำยาคงที่และปรับวาล์วให้คงที่แล้ว 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 ในการผสมแต่ละครั้งมีปริมาณที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปริมาณจำนวนบอร์ดที่จะนำมาเคลือบ ถ้าจำนวนบอร์ดมากก็ผสมไว้มากถ้าจำนวนบอร์ดน้อยก็ผสมไว้น้อยให้พอดีกับบอร์ดที่จะนำมาเคลือบ จึงทำให้เกิดการผสมหลายครั้งโดยน้ำยาถังเดียวกันที่เวลาต่างกัน วิธีการผสมน้ำยาเคลือบอะคริลิกของพนักงานประจำเครื่องจะใช้การแบ่งเทถ่ายจากถังน้ำยา 18 ลิตร ลงในภาชนะที่มีสเกลบอกปริมาณ จากนั้นผสมโดยการเทสลับกันไปมา 20 ครั้ง ระหว่างภาชนะ 2 ใบ แล้วตั้งพักไว้ประมาณ 5 นาที เพื่อให้ฟองอากาศที่เกิดจากการผสมลอยตัวหายไปจนหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.22

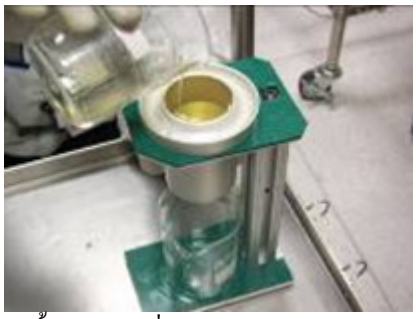
รูปที่ 4.22 แสดงวิธีการผสมน้ำยาเคลือบอะคริลิกโดยการเทสลับกันไปมา 20 ครั้ง

จากกระบวนการและขั้นตอนวิธีการผสมน้ำยาเคลือบอะคริลิกดังกล่าว พบว่าน้ำยาอะคริลิกถังใหม่ๆ และถังที่ผ่านการใช้งานไปแล้ว จะมีความหนืดแตกต่างกัน กล่าวคือถังใหม่จะมีความหนืดน้อยกว่าถังที่ผ่านการใช้แล้ว เนื่องจากมีการแบ่งเทผสมทำให้น้ำยาระเหยไปกับอากาศและเมื่อบ่อยครั้งจะทำให้ตัวน้ำยาอะคริลิกหนืดขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นการผสมที่อัตราส่วนเท่าเดิม คือ หนึ่งต่อหนึ่ง จึงได้ความหนืดที่แตกต่างกันตามวันเวลาที่น้ำยาอะคริลิกถังนั้นๆ ผ่านการใช้มา อีกทั้งวิธีการผสมแบบเทสลับกันไปมานั้น มีความเป็นไปได้ว่าพนักงานอาจจะเทสลับกันไปมาไม่ครบตามที่กำหนดให้ 20 ครั้ง ซึ่งจะทำให้น้ำยาอะคริลิก 1B73 กับ Thinner73 ผสมไม่เข้ากันดีพอและจะทำให้ค่าความหนืดไม่สม่ำเสมอได้

แนวทางแก้ไขและป้องกัน คือ เปลี่ยนวิธีการผสมใหม่เพื่อแก้ปัญหาความไม่สม่ำเสมอจากวิธีการผสมแบบเทสลับกันไปมา โดยสร้างเครื่องผสมกึ่งอัตโนมัติขึ้นมาเพื่อความสะดวกกับการใช้งานของพนักผู้ปฏิบัติงานและความสม่ำเสมอในการผสม โดยที่เครื่องผสมนี้สามารถตั้งเวลาได้ และเมื่อครบตามเวลาที่ตั้งไว้เครื่องก็จะหยุดการทำงานทันที และในระหว่างผสมก็มีฝาปิดลดการระเหยของน้ำยาอะคริลิกได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.23 สำหรับปัญหาอัตราส่วนผสมที่เท่ากันแต่ได้ความหนืดแตกต่างกันตามวันเวลาและความถี่ที่เปิดใช้งานของถังน้ำยาเคลือบอะคริลิกถังนั้นๆ เราจะเปลี่ยนจากการกำหนดอัตราส่วนผสมเพียงอย่างเดียวมาเป็นการควบคุมที่ค่าความหนืดแทน (Viscosity) กล่าวคือทุกครั้งที่มีการผสมน้ำยาเคลือบอะคริลิกใหม่ให้มีการวัดค่าความหนืดก่อนเสมอดังแสดงในรูปที่ 4.24 ถ้าค่าความหนืดไม่ได้ตามสเปคที่กำหนด ให้ปรับปริมาณการผสมจนให้ได้ค่าความหนืดตามสเปคกำหนด เช่น ถ้าค่าความหนืดสูงกว่าสเปคก็ให้เติม Thinner73 แต่ถ้าความหนืดต่ำกว่าสเปคก็ให้เติมน้ำยาอะคริลิก 1B73 แล้วทำการผสมและวัดค่าความหนืดใหม่ จนได้ค่าตามที่สเปคกำหนดมา ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้สามารถแก้ปัญหาน้ำยาเคลือบถังใหม่-ถังเก่าได้

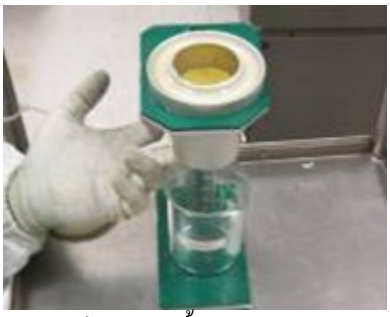
รูปที่ 4.23 แสดงเครื่องผสมกึ่งอัตโนมัติแบบมีฝาปิดเพื่อลดการระเหยของน้ำยาเคลือบอะคริลิก

ขั้นตอนที่ 1



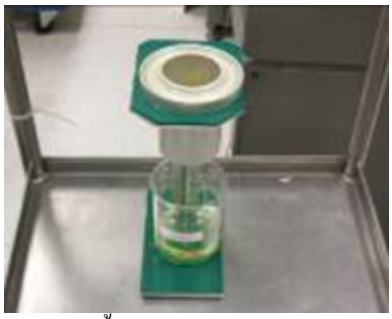
เทน้ำยาเคลือบที่ผสมแล้วลงในถ้วยวัดความหนืด

ขั้นตอนที่ 2



เติมให้เต็มและใช้นิ้วอุดรูถ้วยไว้

ขั้นตอนที่ 3



ปล่อยให้น้ำยาไหลจนหมดถ้วย

ขั้นตอนที่ 4

จับเวลาและนำเวลาไปเทียบกับตาราง

รูปที่ 4.24 แสดงขั้นตอนวิธีการวัดค่าความหนืดของน้ำยาเคลือบอะคริลิกที่ผสมแล้ว

4.3.3 ความหนืด (Viscosity) ของน้ำยาเคลือบไม่เหมาะสมและไม่สม่ำเสมอ

สำหรับค่าความหนืดที่ไม่สม่ำเสมอนั้น เราสามารถแก้ไขปัญหานี้ได้ด้วยการเปลี่ยนวิธีการควบคุมจากการกำหนดอัตราส่วนผสมเพียงอย่างเดียวมาเป็นการควบคุมที่ค่าความหนืดแทน โดยกำหนดให้มีการวัดค่าความหนืดของน้ำยาอะคริลิกที่ผสมแล้วทุกครั้งที่มีการผสมใหม่และควบคุมค่าความหนืดให้ได้ตามที่กำหนดก่อนเติมเข้าในถังน้ำยาเคลือบเสมอ ดังรายละเอียดที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ ความหนืดไม่สม่ำเสมอ สำหรับความหนืดที่ยังไม่เหมาะสมนั้น ทีมงานจะได้ทดลองปรับจูนเพื่อหาค่าความหนืดที่เหมาะสมที่สุดกับลักษณะบอร์ดและสภาพแวดล้อมภายในโรงงานกรณีศึกษาแห่งนี้ต่อไป

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 เนื่องจากน้ำยาที่เคลือบไว้ยังไม่แห้งและเมื่อพักบอร์ดแห้งแล้วจึงนำเข้าตู้อบเป็นเวลา 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 แต่ต้องไม่เคลือบในจุดที่ลูกค้ากำหนดห้ามเคลือบและไม่มีจุดพกพร่อง (Defect) เกิดขึ้น ทั้งในขณะเคลือบและหลังเคลือบเสร็จแล้ว เช่น ห้ามมีฟองอากาศลอกหลุด แตกร้าว หนาและบางเกินเป็นบางจุด เป็นเส้นใยขณะเคลือบ เป็นต้น

4.3.4.2 การคัดเลือกตัวแปรนำเข้าและระดับของตัวแปรนำเข้า

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

1. การวิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นภายในสถานที่ทำงาน เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้นในโรงงานกรณีศึกษานี้ได้มีการควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 20 ถึง 25 องศาเซลเซียส และความชื้นถูกควบคุมอยู่ระหว่าง 40–60 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการติดตั้งเครื่องวัดและบันทึกทุกระยะห่าง 25 เมตร (โดยประมาณ) หากอุณหภูมิหรือความชื้นที่วัดได้มีค่าต่ำหรือสูงเกินที่กำหนดจะส่งสัญญาณและบันทึกข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง เพื่อให้หน่วยงานผู้รับผิดชอบดูแลแก้ไขต่อไป จากข้อมูลที่ได้มาจากหน่วยงานที่ดูแลทราบว่าอุณหภูมิและความชื้นจริงที่ตรวจวัดได้ในสภาวะการทำงานปกติอยู่ระหว่าง 22–24 องศาเซลเซียส และความชื้นอยู่ระหว่าง 49–51 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในการย่านที่ควบคุมอยู่แล้วและมีความแปรปรวนน้อยมาก อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการยืนยันว่าอุณหภูมิและความชื้นที่ย่านการควบคุมในโรงงานกรณีศึกษานี้ไม่ได้ส่งผลกระทบถึงผลลัพธ์หรือตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ 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 จากการตรวจสอบข้อมูลการนำเข้ามาของน้ำยาอะคริลิกทราบว่าแหล่งที่มามีเพียงแห่งเดียว ดังนั้นจึงถือว่าตัวแปรนี้ไม่มีนัยสำคัญกับผลลัพธ์หรือตัวแปรตอบสนอง

4.3.5 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง จากตัวแปรนำเข้าที่สามรถควบคุมได้มีด้วยกันทั้งหมด 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 ซึ่งถ้านำมาออกแบบการทดลองทั้งหมดจะทำให้การทำลองมีมากถึง 96 การทดลอง ดังนั้นเราจะตัดตัวแปรที่สามารถนำมาทดลองแยกเพื่อหาค่าที่ดีที่สุดแล้วกำหนดเป็นค่าคงที่ค่าเดียว ตัวแปรที่จะตัดออกเพื่อแยกการทดลองคือ ค่าความหนืดของน้ำยาเคลือบ (Material Viscosity) จากข้อมูลการทำงานปัจจุบันทราบว่าได้มีกำหนดให้ผสมน้ำยาเคลือบที่อัตราส่วน 1 ต่อ 1 โดยปริมาณ (1B73 ต่อ Thinner 73) ซึ่งการผสมในอัตราส่วนผสมดังกล่าวมีข้อแนะนำมาจากเอกสารของน้ำยาเคลือบอะคริลิก1B73 (1B73 Acrylic Coating Technical Data Sheet) แต่ปัญหาที่พบจากอัตราส่วนผสมดังกล่าวคือ พบว่าเป็นเส้นใย (Cobwebs) ขณะพ่นเคลือบและเส้นใยดังกล่าวจะแข็งเมื่อแห้งแล้ว ดังนั้นเป้าหมายของการแยกการทดลองเพื่อหาค่าความหนืดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเคลือบด้วยวิธีการพ่นคือ การหาอัตราส่วนผสมและค่าความหนืดที่ไม่ทำให้เกิดเส้นใยขณะพ่นเคลือบ

4.3.5.1 การทดลองหาค่าความหนืด (Viscosity) ที่ไม่ให้เป็นเส้นใยขณะพ่นเคลือบ จากพิจารณาดูขณะเครื่องกำลังพ่นเคลือบมีข้อสังเกตว่า 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. ปรับลมให้เป็นสเปรย์ 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. ทดลองซ้ำตามข้อ1-11 จนพบว่าไม่มีเส้นใยเกิดขึ้นในขณะพ่นแล้ว

13. ทำการวัดค่าความหนืด เพื่อนำมากำหนดเป็นคงที่ใช้ในการทดลองหาพารามิเตอร์ของเครื่อง จากตัวแปรนำเข้าที่เหลืออีก 5 ตัวแปรต่อไป

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดลองพ่นด้วยมือเพื่อหาค่าความหนืดที่ไม่เกิดเส้นใยขณะพ่นเคลือบ

การทดลองสเปรย์ด้วยมือลงบนแผ่นอะลูมิเนียม

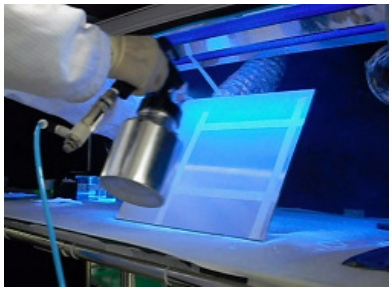
PROJECT : XXE17XXXACC

การทดลองที่	รายละเอียดและพารามิเตอร์การทดลอง				ผลการทดลอง		ข้อสังเกต
	อัตราส่วนผสม	ความหนืด	ระยะพ่น	จำนวนรอบพ่น	ความหนา	ฟองอากาศ	
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 1B73 : Thinner73

ระยะพ่นเป็นการวัดระยะโดยประมาณ เนื่องจากไม่สามารถระยะได้ในขณะพ่นด้วยมือ

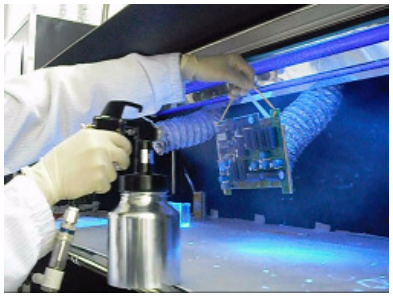
พ่นลงบนแผ่นอะลูมิเนียมที่เตรียมไว้



อบ 5 นาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

วัดความหนาบนอะลูมิเนียม

พ่นบนบอร์ดทดลอง



รูปที่ 4.25 ขั้นตอนการทดลองพ่นเคลือบด้วยมือเพื่อหาความหนืดที่ไม่เกิดเส้นใยขณะพ่นเคลือบ

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 จะพ่นไม่เป็นสเปรถ้าต่ำเกิน เป็นต้น จึงสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงระดับตัวแปรนำเข้าที่จะใช้ในการทดลอง

ลำดับ	ตัวแปรนำเข้า	ระดับตัวแปร	ค่าของตัวแปร			หน่วย
			1	2	3	
1	ความเร็วพ่นเคลือบ	2	100	150	-	mm/sec.
2	ระยะต่ำแหน่งแกน 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 โดยใช้การทดลองแบบฟูลแฟคทอเรียล (Full Factorial Design) และการจัดลำดับ (Run) การทดลองนี้ไม่ได้จัดลำดับการทดลองเป็นแบบสุ่ม (Random) ทั้งนี้เนื่องจากมีข้อจำกัดของเครื่องจักรซึ่งไม่อื้ออำนวยกับการปรับไปปรับกลับมาได้โดยง่าย ดังนั้นผู้วิจัยจึงจัดลำดับโดยปรับตัวแปรที่มีความยุ่งยากก่อนทีละระดับจนครบ

เริ่มปฏิบัติการทดลองโดยกำหนดตัวแปรตอบสนองก่อน ซึ่งประกอบด้วย ความหนาการเคลือบ (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)

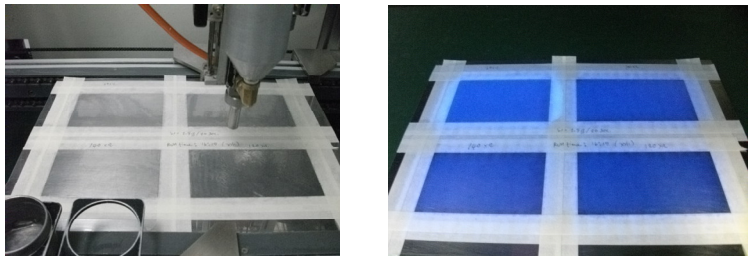
1) ไม่มีเส้นใยเลย เท่ากับ 0
2) มีเส้นใยเพียงเล็กน้อย 1
3) มีเส้นใยจำนวนมาก 2

น้ำยาเคลือบไม่ไหล (Material Flow)

1) น้ำยาอะคริลิกไม่ไหลฟอร์มตัวดีและใกล้แห้ง 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 น้ำยาเคลือบไม่ไหลฟอร์มตัวดีและใกล้แห้ง (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	ความเร็วพ่นเคลือบ	ต่ำแหน่งแกน Z	แรงดันลมสเปรย์	ปริมาณน้ำยา	จำนวนรอบที่พ่น	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	ความเร็วพ่นเคลือบ	ตำแหน่งแกน Z	แรงดันลมสเปรย์	ปริมาณน้ำยา	จำนวนรอบที่พ่น	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	ความเร็วพ่นเคลือบ	ตำแหน่งแกน Z	แรงดันลมสเปรย์	ปริมาณน้ำยา	จำนวนรอบที่พ่น	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

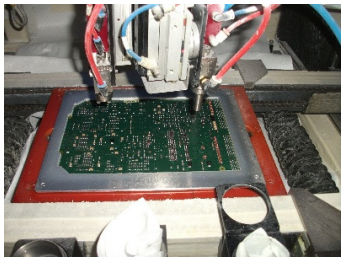
จากตารางที่ 4.13 การทดลองและผลการทดลอง ซึ่งมีตัวแปรตอบสนอง 4 ตัวแปรหลัก คือ ไม่มีฟองอากาศ (No Bubble) ไม่มีเส้นใย (No Cobweb) ไม่ไหล (Not Flow) และได้ความหนา 40 – 55 ไมครอน (Thickness) จากผลการทดลองจะเห็นว่าตัวแปรนำเข้า (Input Variable) ที่ส่งผลถึงตัวแปรตอบสนองทั้ง 4 มากที่สุด คือ ปริมาณน้ำยาอะคริลิก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

ปริมาณน้ำยาอะคริลิกที่ 0.9 กรัม จะได้ความหนาต่ำกว่าสเปคทุกการทดลอง ไม่ว่าความเร็วจะต่ำสุด และจำนวนรอบรันจะสูงสุดแล้วก็ตาม อีกทั้งลักษณะของผิวน้ำยาเคลือบที่แห้ง ขณะเคลือบมีลักษณะไม่เรียบแต่ถ้าปรับ Atomize air เพิ่มขึ้นจะทำให้ผิวอะคริลิกเรียบมากขึ้น แต่จะทำให้ความหนาลดลงเล็กน้อย

ปริมาณน้ำยาอะคริลิกที่ 1.1 กรัม ความเร็ว 100 mm/sec. จำนวนรอบรันอยู่ที่ 6 รอบ จะได้ความหนาอยู่ในสเปคทางด้านสูงและบางการทดลองความหนาเกินสเปค แต่ถ้ารัน 4 รอบ จะได้ความหนาต่ำกว่าสเปคกำหนด 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 ขึ้นอยู่กับความสูงตัวอุปกรณ์บนบอร์ด ทั้งนี้ก็มีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเราจะใช้ระดับของตัวแปรนำเข้าเหล่านี้รันกับบอร์ดจริงต่อไป



รูปที่ 4.27 แสดงการนำพารามิเตอร์จากผลการทดลองมารันบอร์ดจริง

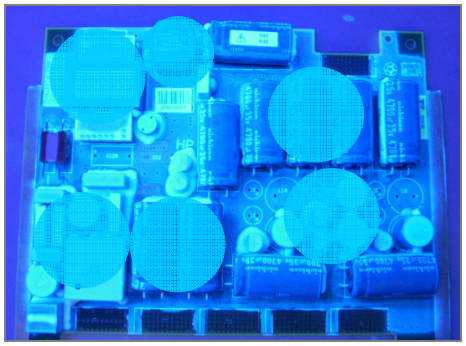
4.3.7 ปรับปรุงกระบวนการตามผลการทดลอง

หลังจากได้ทำการทดลองตามที่ออกแบบไว้ พบว่าผลของค่าตัวแปรนำเข้าซึ่งในที่นี้ก็คือ พารามิเตอร์ของเครื่องเคลือบที่เหมาะสมที่สุดเป็นดังนี้

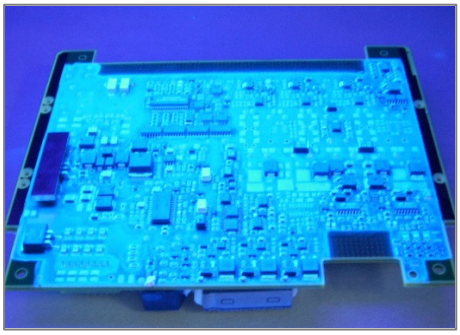
1. ความเร็วการพ่นเคลือบ (Coating Speed) = 150 mm. /sec.
2. ตำแหน่งแกน Z (Z-Axis Position) = 0 mm. (0 หมายถึงปรับแกน Z-Axis ขึ้นสูงสุด)
3. แรงดันลมปรับสเปรย์ (Atomize Air Pressure) = 5 psi.
4. จำนวนรอบที่พ่นเคลือบ (Coating cycle) = 6 รอบ
5. ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume) = 1.0 – 1.2 g.
6. ความหนืดของน้ำยาเคลือบ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

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

Top Side



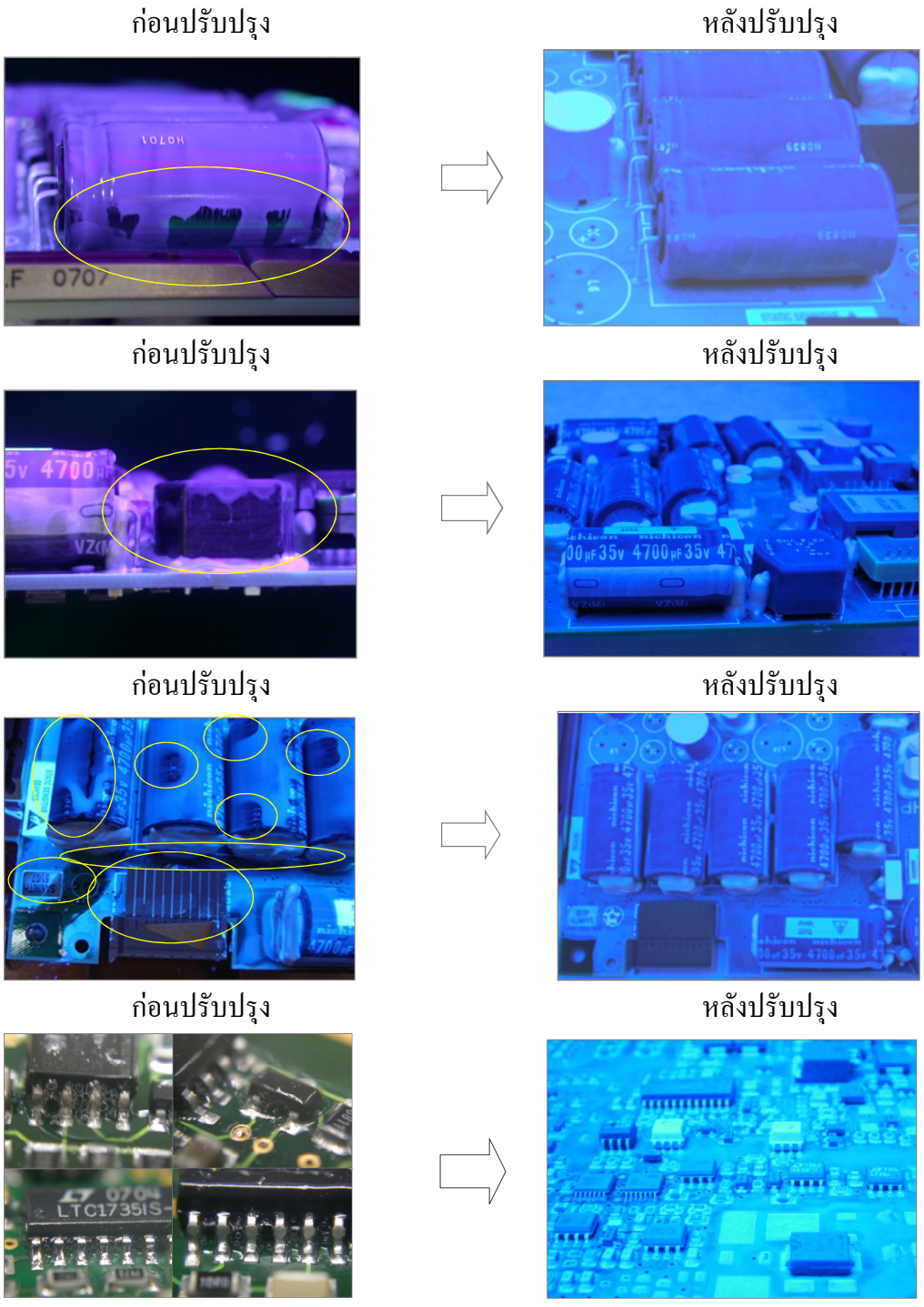
Bottom Side



รูปที่ 4.28 แสดงผลการพ่นเคลือบด้วยพารามิเตอร์ใหม่ที่ได้จากผลการทดลอง

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

ก่อนอบและหลังอบไม่แห้ง ซึ่งปัญหาทั้งหลายเหล่านี้สามารถแก้ไขได้ด้วยพารามิเตอร์ใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4.29 การเปรียบเทียบข้อบกพร่อง (Defects) ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง



รูปที่ 4.29 แสดงการเปรียบเทียบข้อบกพร่อง (Defects) ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

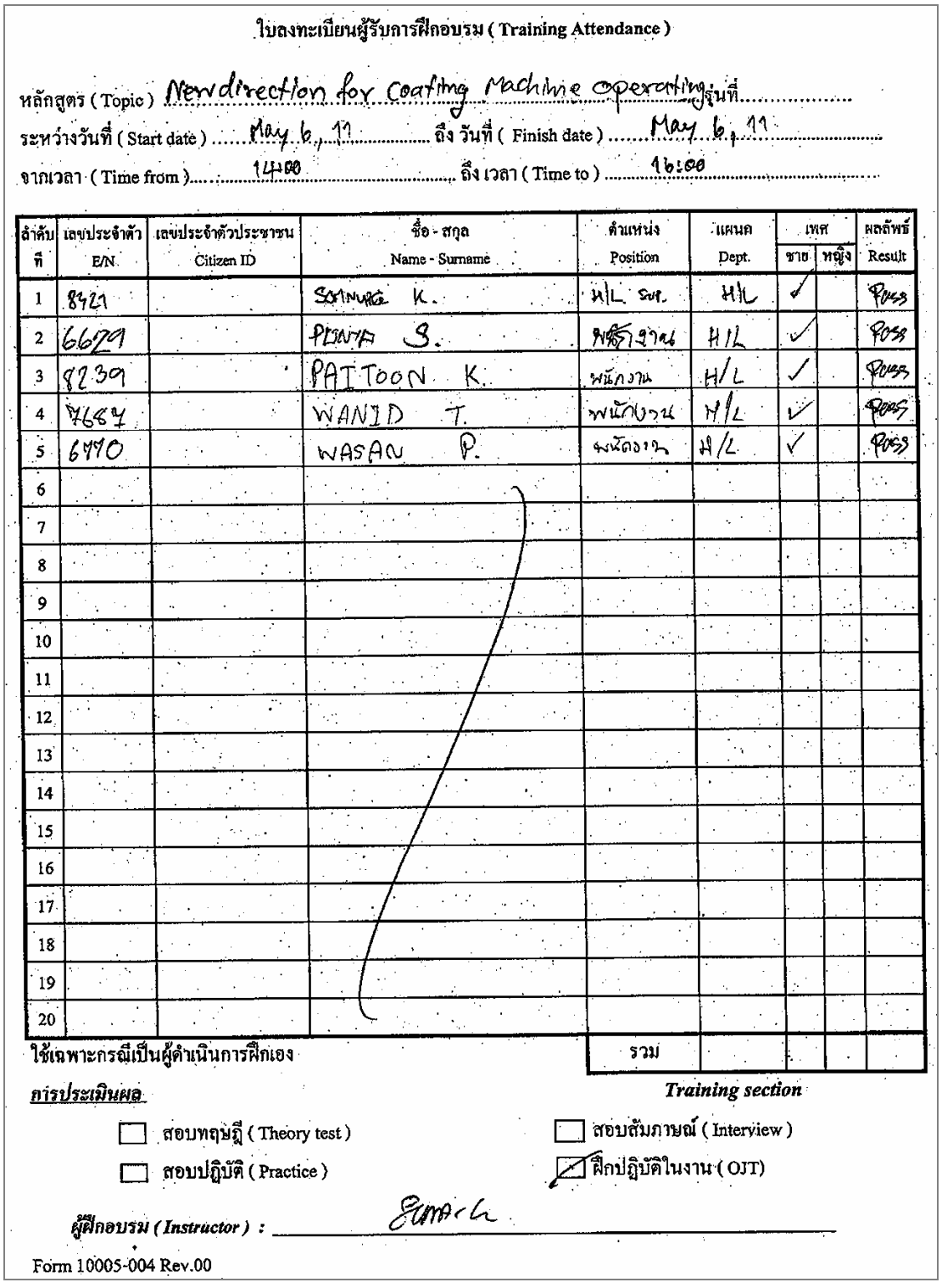
เพื่อให้เห็นชัดเจนจึงได้แสดงการเปรียบเทียบระดับตัวแปรนำเข้าหรือพารามิเตอร์ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงในตารางที่ 4.14 และเราจะอ้างอิงพารามิเตอร์ใหม่นี้เพื่อปรับใช้กับบอร์ดรุ่นอื่นๆ ต่อไป

ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบระดับตัวแปรนำเข้าก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

ลำดับ	ตัวแปรนำเข้า	ระดับตัวแปรนำเข้า		หน่วย
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	
1	ความเร็วพ่นเคลือบ	100	150	mm/sec.
2	ระยะต่ำแหน่งแกน Z	0	0	mm.
3	แรงดันลมสเปรย์	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 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นไปตามเกณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษานี้ ส่วนภาคปฏิบัติกำหนดให้พนักงานที่ผ่านการทดสอบภาคทฤษฎีแล้วให้ทดลองฝึกปฏิบัติจริง เช่น ทดลองผสมน้ำยาเคลือบและวัดความหนืด (Viscosity) ทดลองการวัดความหนาของน้ำยาเคลือบบนแผ่น Dummy Plate ทดสอบการแปลงค่าหน่วยเวลาจากการวัดความหนืดมาเป็นค่าความหนืด ทดลองให้เห็นว่าถ้าค่าความหนืดเกินสเปคจะส่งผลอย่างไรกับชิ้นงาน ทดลองให้เห็นว่าถ้าบอร์ดที่ยังไม่แห้งแล้วนำเข้าตู้อบจะส่งผลอย่างไร ทดลองว่าถ้าเคลือบหนาหรือบางเกินไปจะส่งผลอย่างไรกับชิ้นงาน เป็นต้น ดังแสดงใบบันทึกการฝึกอบรมดังรูปที่ 4.30



ใบลงทะเบียนผู้รับการฝึกอบรม (Training Attendance)

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

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

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

ลำดับที่	เลขประจำตัว E/N	เลขประจำตัวประชาชน Citizen ID	ชื่อ - สกุล Name - Surname	ตำแหน่ง Position	แผนก Dept.	เพศ ชาย	เพศ หญิง	ผลลัพธ์ Result
1	8421		SOMNUEK K.	H/L Sup.	H/L	✓		Pass
2	6629		PLOYA S.	พนักงาน	H/L	✓		Pass
3	8239		PAITOON K.	พนักงาน	H/L	✓		Pass
4	7684		WANID T.	พนักงาน	H/L	✓		Pass
5	6990		WASAN P.	พนักงาน	H/L	✓		Pass
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
				รวม				

ใช้เฉพาะกรณีเป็นผู้ดำเนินการฝึกเอง

การประเมินผล

Training section

☐ สอบทฤษฎี (Theory test) ☐ สอบสัมภาษณ์ (Interview)

☐ สอบปฏิบัติ (Practice) ☑ ฝึกปฏิบัติในงาน (OJT)

ผู้ฝึกอบรม (Instructor) : _____

Form 10005-004 Rev.00

รูปที่ 4.30 แสดงตัวอย่างใบบันทึกการฝึกอบรมพนักงานระดับปฏิบัติการ

4.3.9 สรุปผลขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ ในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) นี้ แบ่งการปรับปรุงออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่สามารถปรับปรุงได้ทัน และส่วนที่ต้องทำการทดลองหาความพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดก่อน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

4.3.9.1 ส่วนที่สามารถปรับปรุงได้ทันที ได้มีการปรับปรุงดังนี้

1. ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume) ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากหัวสเปรย์อุดตัน หรือหัวพ่นน้ำยาเคลือบอุดตัน แก้ไขปรับปรุงโดยกำหนดให้พนักงานตรวจเช็คและเติมทินเนอร์ในถ้วยทินเนอร์สำหรับป้องกันหัวสเปรย์ตัน และจัดทำเอกสารการบำรุงรักษาด้วยตัวเอง SM (Self Maintenance) อีกทั้งให้มีสุ่มตรวจทินเนอร์โดยพนักงาน Roving Audit

2. ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume) ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากแรงดันลมในถังน้ำยาเคลือบไม่สม่ำเสมอ แก้ไขปรับปรุงด้วยการติดตั้งชุดควบคุมแรงดันลมแบบอัติโนมัติเพื่อให้แรงดันลมคงที่ตลอดเวลา

3. ปริมาณน้ำยาเคลือบ (Material Volume) ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากวาล์วปรับปริมาณน้ำยาเคลือบปรับไม่สม่ำเสมอ แก้ไขปรับปรุงโดยกำหนดให้มีการวัดปริมาณการไหลของน้ำยาเคลือบทุกครั้งที่มีการปรับวาล์ว

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

4.3.9.2 ส่วนที่ทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดก่อน

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

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

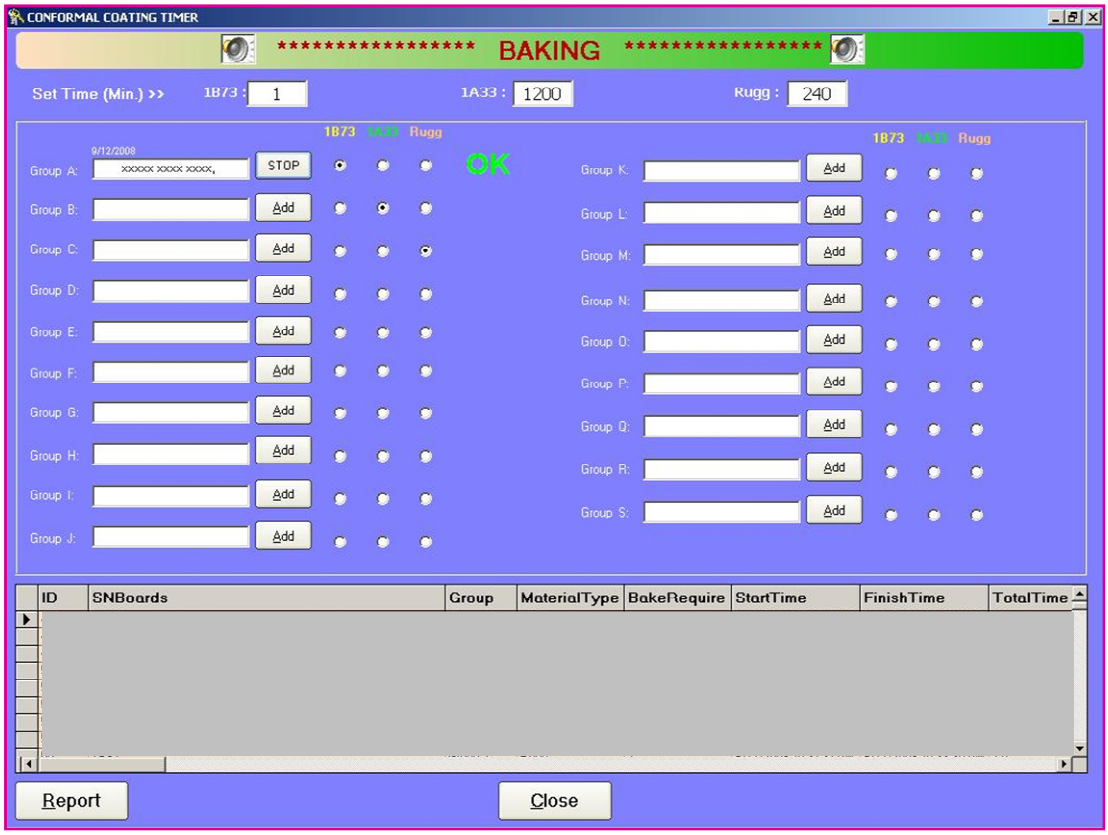
4.4 การควบคุมกระบวนการและตัวแปรต่างๆ (Control Phase)

จากผลการทดลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดดังแสดงในตารางที่ 4.14 และได้นำค่าจากผลการทดลองนี้ไปปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ในโปรแกรมเครื่องเคลือบ จากนั้นทำการทดลองรันกับบอร์ดสำรองและบอร์ดจริง พบว่าไม่มีบอร์ดพกพร่อง (Defect) ดังนั้นในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการหาวิธีควบคุมให้พารามิเตอร์ต่างๆ ให้คงที่หรืออยู่ในย่านที่ยอมรับได้โดยไม่ก่อให้เกิดบอร์ดบกพร่อง โดยมีขั้นตอนดังนี้

4.4.1 ออกแบบวิธีการป้องกันความผิดพลาด (POKA-YOKE)

1. ออกแบบฟิกเจอร์ (Fixture) ของบอร์ดทุกรุ่นให้สามารถวางได้เพียงด้านเดียว เพื่อป้องกันการวางผิด ซึ่งทำให้เครื่องเคลือบผิดตำแหน่งไปด้วย

2. เขียนโปรแกรมตั้งเวลาการอบบอร์ด เพื่อป้องกันการอบบอร์ดผิดเวลา เช่น อบไม่ถึงเวลาที่กำหนด หรืออบเกินเวลาที่กำหนด ซึ่งจะส่งผลถึงคุณสมบัติของอะคริลิกเปลี่ยนไปไม่ได้ตามมาตรฐานตามคุณสมบัติเดิม หรืออบไม่แห้ง



รูปที่ 4.31 แสดงลักษณะโปรแกรมตั้งเวลาอบบอร์ดแบบอัตโนมัติ

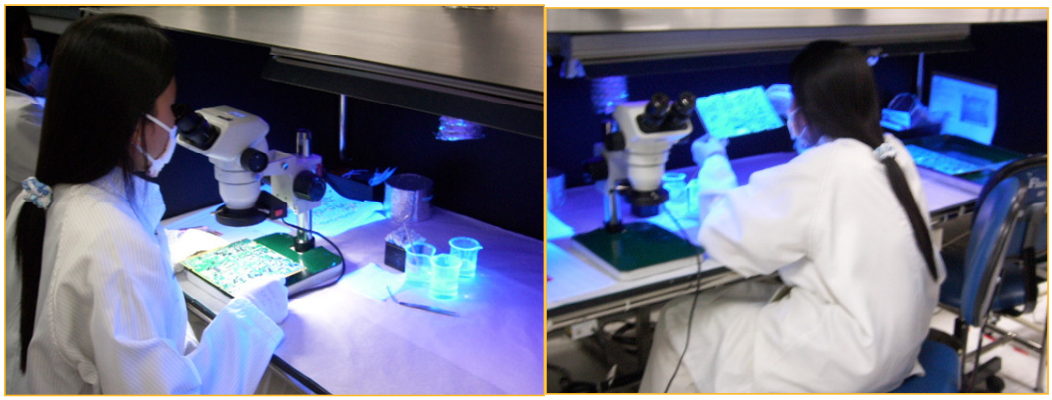
4.4.2 ออกแผนการควบคุม (Control Plan) นอกจากการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของเครื่องพ่นเคลือบใหม่แล้ว ยังมีแผนการควบคุมเพิ่มเติมคือมีการกำหนดวิธีการทำงานใหม่ที่ถูกต้องให้กับพนักงานระดับปฏิบัติการเพื่อป้องกันปัจจัยที่จะส่งผลถึงประสิทธิภาพของการเคลือบลดลง มีดังนี้

1. กำหนดให้พนักงานสวมถุงมือ ESD ทุกครั้งที่จับบอร์ด เพื่อป้องกันคราบรอยนิ้วมือ (Finger Print) ติดบนบอร์ด ซึ่งจะทำให้เกิดความชื้นตรงรอยนิ้วมือและเมื่อเคลือบทับไว้จะสร้างความเสียหายให้กับบอร์ดในภายหลังได้ ดังรูปที่ 4.32

2. การจับบอร์ดให้จับที่ขอบเท่านั้น ห้ามจับที่ตัวอุปกรณ์ เพื่อป้องกันคราบติดหรือรอยนิ้วจับติดบนบอร์ดและตัวอุปกรณ์ ซึ่งจะทำให้เคลือบไม่ติดได้ ดังรูปที่ 4.32

ก่อนปรับปรุง (ไม่สวมถุงมือ)

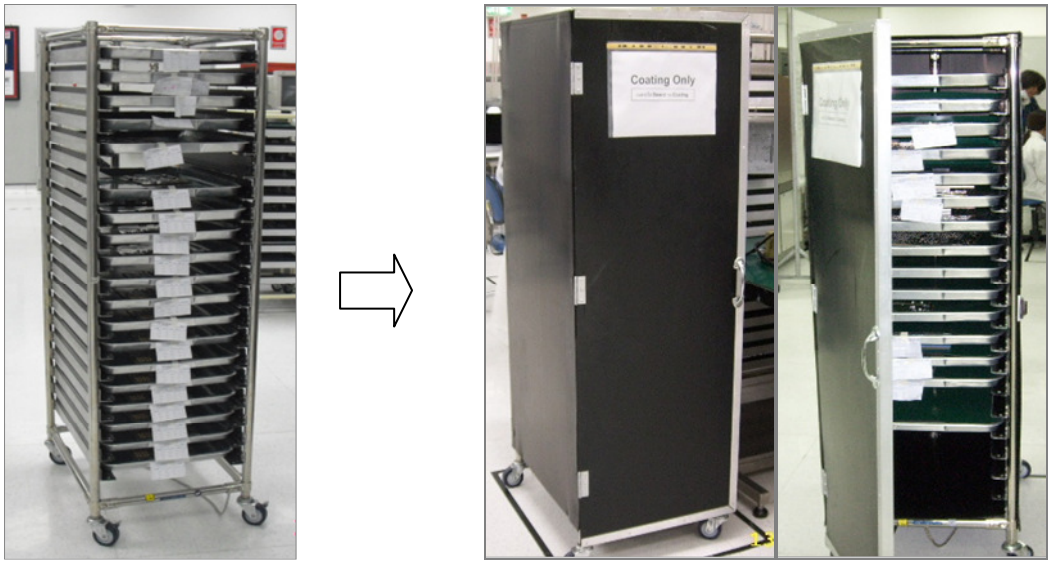
หลังปรับปรุง (สวมถุงมือ ESD เสมอ)



รูปที่ 4. 32 แสดงการจับบอร์ดก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง ทั้งก่อนเคลือบและหลังเคลือบ

3. การเคลื่อนย้ายบอร์ดให้วางบนถาด ESD และบอร์ดที่รอการเคลือบให้เก็บไว้ในตู้ปิดเสมอ เพื่อเป็นการป้องกันฝุ่นเกาะบนบอร์ดและตัวอุปกรณ์ ซึ่งจะทำให้เคลือบไม่ติดหรือเคลือบฝุ่นติดไปกับบอร์ดด้วย ดังรูปที่ 4.33

ก่อนปรับปรุง (ตู้เปิด) หลังปรับปรุง (ตู้ปิด)



รูปที่ 4.33 แสดงการเก็บบอร์ดไว้ในตู้ปิดป้องกันฝุ่นสำหรับบอร์ดรอเคลือบและการเคลื่อนย้าย

4. ภาชนะสำหรับใส่น้ำยาอะคริลิกต้องเขียนป้ายติดบอกชนิดและอัตราส่วนผสม เพื่อป้องกันการใช้น้ำยาเคลือบผิดชนิดและผิดอัตราส่วนผสม ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดบอร์ดบกพร่อง (Defect) ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.34

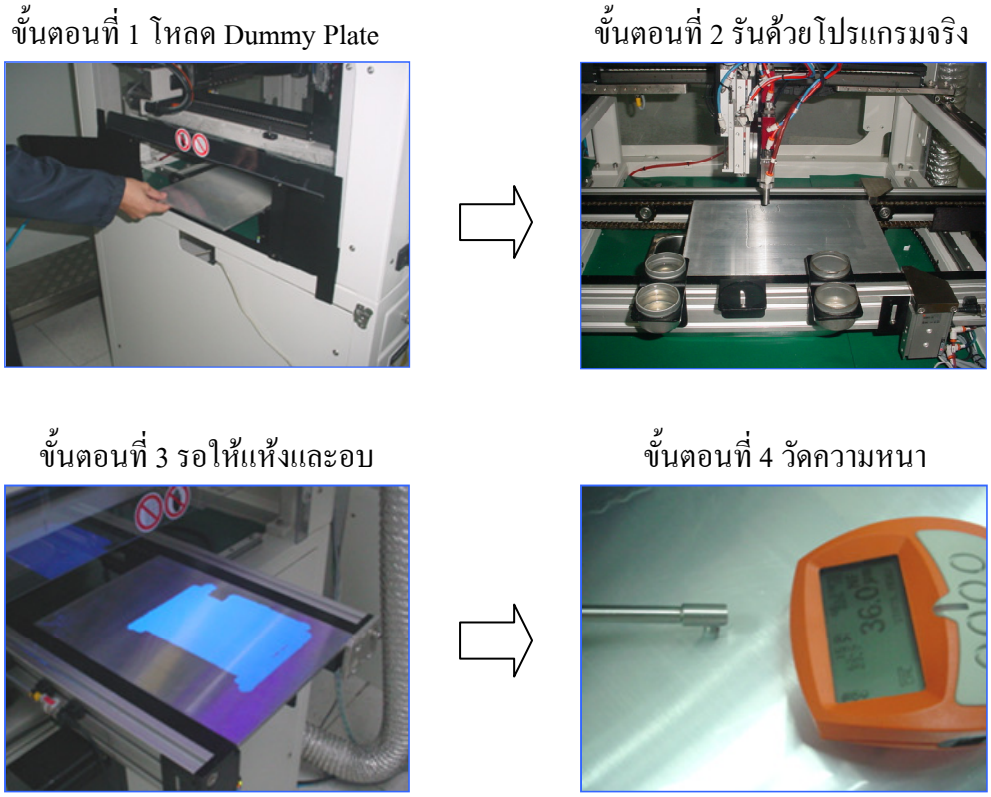
หลังปรับปรุง (มีฉลากบอกชนิดของน้ำยาเคลือบ)

รูปที่ 4.34 แสดงการติดฉลากบอกชนิดของน้ำยาเคลือบและอัตราส่วนผสม

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

6. กำหนดให้ตรวจวัดปริมาณการไหลของน้ำยาเคลือบทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่น เพื่อเป็นการควบคุมให้น้ำยาเคลือบไหลอย่างสม่ำเสมอ ปริมาณน้ำยาเคลือบที่ไหลออกมาจะส่งผลโดยตรงกับความหนาของการเคลือบและถ้าไม่ได้ตามสเปคก็จะส่งผลถึงข้อบกพร่องต่างๆ ที่จะตามมา แสดงวิธีการตรวจวัดปริมาณการไหลของน้ำยาเคลือบในรูปที่ 4.16

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



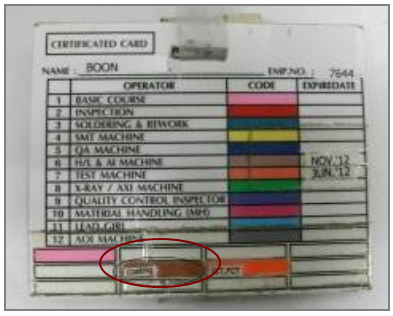
รูปที่ 4.35 แสดงขั้นตอนการวัดและยืนยันความหนาทุกครั้งก่อนรันบอร์ดจริง

8. กำหนดให้เฉพาะพนักงานที่ผ่านการอบรมและมี Certificate เท่านั้น จึงสามารถทำงานได้ โดยกำหนดให้มีการสุ่ม Audit ทุกเดือน ด้วยการกำหนดหัวข้อสอบถามตามที่ได้ฝึกอบรม

เพื่อเป็นการควบคุมและติดตามทักษะความรู้ความเข้าใจของพนักงานระดับปฏิบัติงานทุกคน ต่อกระบวนการเคลือบบอร์ด สำหรับพนักงานที่สุ่ม Audit แล้วไม่ผ่านต้องได้รับการฝึกอบรมใหม่

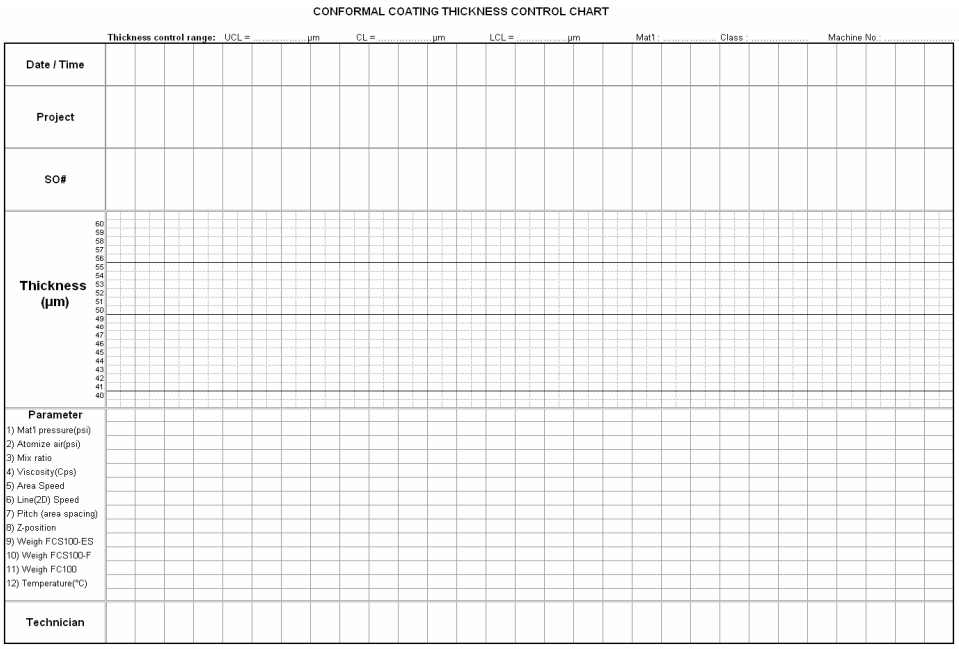
ด้านหน้าบัตรพนักงาน

ด้านหลังบัตร (ผ่านฝึกอบรม Coating)

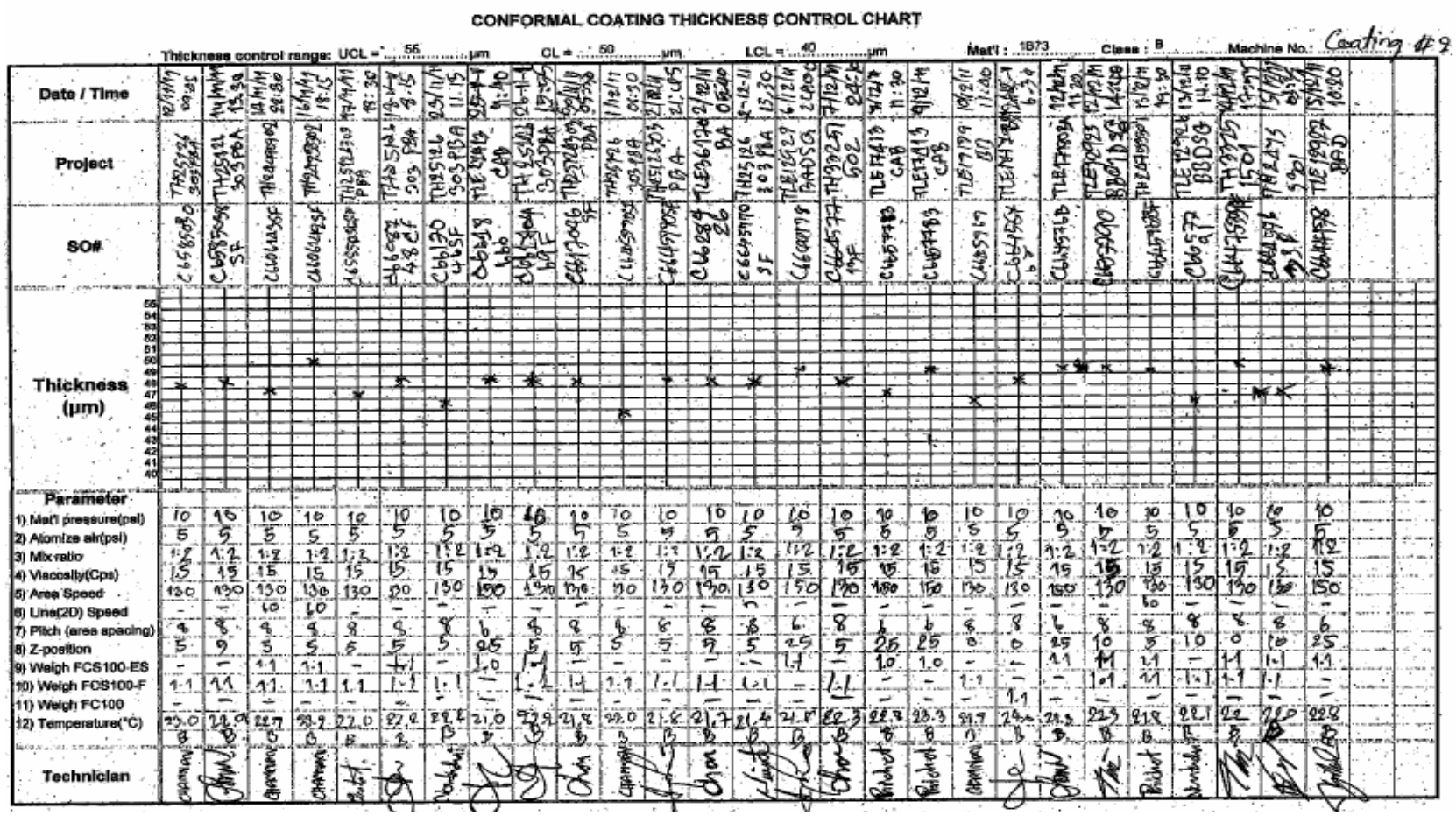


รูปที่ 4.36 แสดงบัตรพนักงานที่ผ่านการฝึกอบรมกระบวนการเคลือบแล้ว

4.4.3 แผนภูมิควบคุม กำหนดให้มีการวัดค่าและลงบันทึกความหนาของการเคลือบและพารามิเตอร์ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่นและเริ่มรัน เพื่อเป็นการติดตามควบคุมความหนาไม่ให้เกินค่าควบคุม อีกทั้งสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาได้เมื่อมีข้อบกพร่องเกิดขึ้นในการเคลือบ ดังแบบฟอร์มในรูปที่ 4.37 และตัวอย่างการลงบันทึกจริงในรูปที่ 4.38

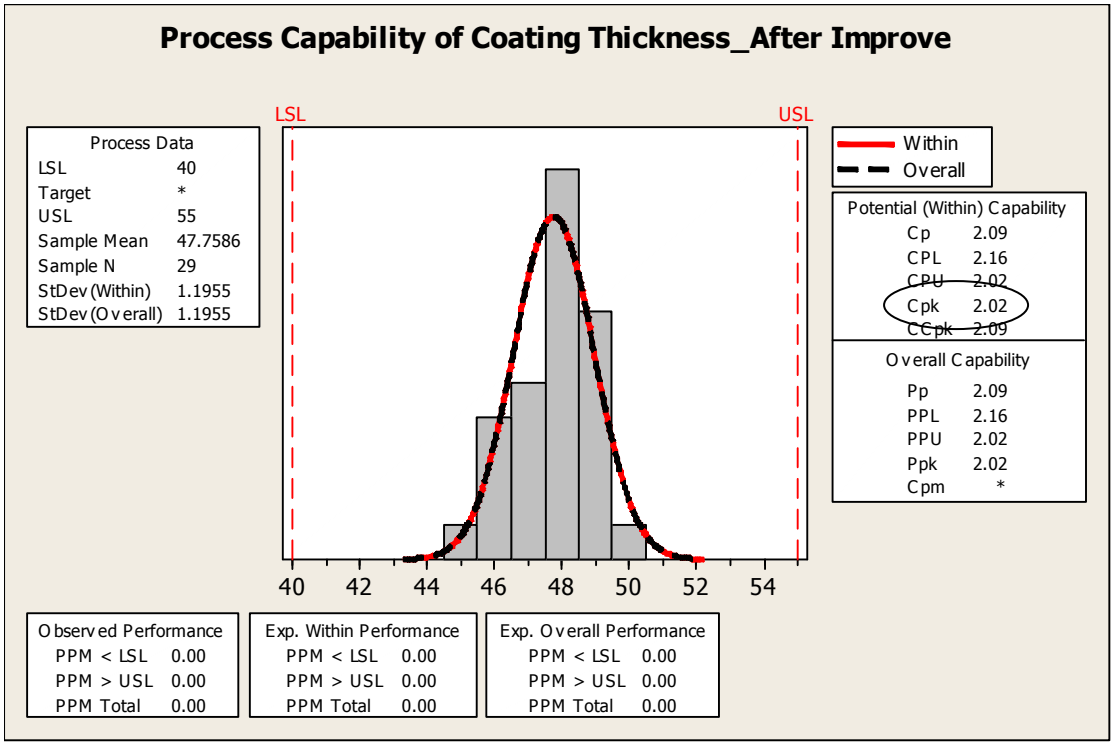


รูปที่ 4.37 แสดงตัวอย่างแบบฟอร์มสำหรับลงบันทึกค่าความหนาและพารามิเตอร์



รูปที่ 4.38 แสดงตัวอย่างการลงบันทึกค่าความหนาและพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่องพ่นเคลือบ (Coating Machine)

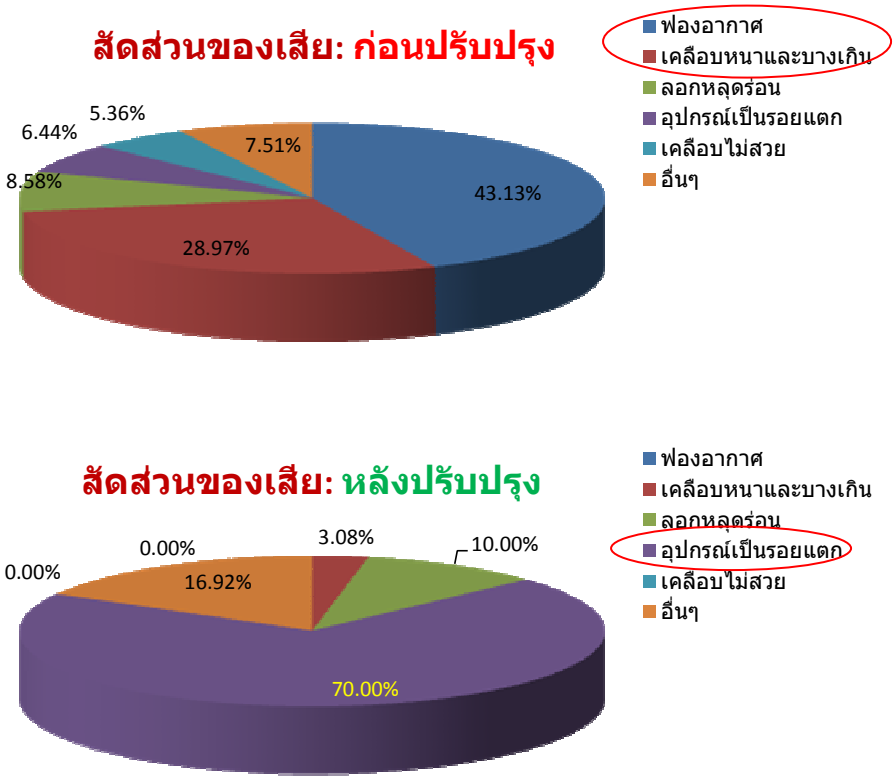
4.4.4 วิเคราะห์ความสามรถของกระบวนการหลังการปรับปรุง ได้นำค่าความหนาของการเคลือบที่พนักงานผู้ปฏิบัติงานได้ลงบันทึกไว้ในแบบฟอร์ม Conformal Coating Thickness Control Chart ที่กำหนดให้เพื่อประเมินความสามารถของกระบวนการเคลือบหลังการปรับปรุง ผลปรากฏว่าความหนาของการเคลือบได้ค่า Cpk เท่ากับ 2.02 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ทางบริษัทกรณีศึกษากำหนดคือ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



รูปที่4.39 แสดงความสามารถของกระบวนการเคลือบอะคริลิกหลังการปรับปรุง

อีกทั้งมีความแปรปรวนน้อยมากและค่าความหนาส่วนใหญ่อยู่กึ่งกลางของช่วงสเปคควบคุม (LSL and USL) และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงอยู่ที่ 1.19 ซึ่งก่อนการปรับปรุงมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 2.8 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจากการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ของเครื่องพ่นเคลือบใหม่และปรับปรุงควบคุมวิธีการทำงานของพนักงานระดับปฏิบัติการใหม่ 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



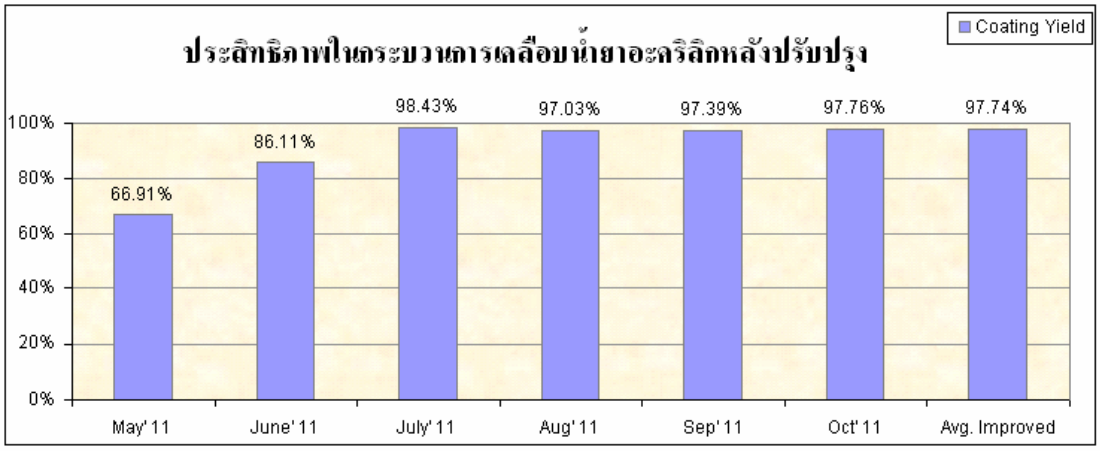
Pre-FQA2

Product	Units	Passed	Failed	Yield
	1948	1866	82	95.79%
TOTAL:	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. ออกแบบฟิกเจอร์ให้วางได้ทางเดียวเพื่อป้องกันโหลดบอร์ดผิด
2. เขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมเวลาเข้า-ออก ของการอบบอร์ด

4.5.2 ออกแผนการควบคุม (Control Plan) วิธีการทำงานใหม่ให้กับพนักงานระดับปฏิบัติการประกอบด้วย

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 ซึ่งมากกว่ามาตรฐานของบริษัทกรณีศึกษากำหนดไว้คือ มากกว่าหรือเท่ากับ 1.33 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจากก่อนปรับปรุงอยู่ที่ 2.8 และหลังปรับปรุงเป็น 1.05 ซึ่งทำให้ปริมาณของเสียลดลงและประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยหลังการปรับปรุงเพิ่มขึ้นเท่ากับ 97.74 เปอร์เซ็นต์ หรือเทียบเท่ากับระดับ 3.5Sigma