บทที่ 9

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ได้จากการวิเคราะห์ผล และได้ทดสอบเพื่อยืนยันผลการสรุปเรียบร้อยแล้ว ได้แก่ ค่าอัตราการแกว่งของสเปรย์ $CuCl_2$ Solution ค่ามุมในการแกว่งของสเปรย์ $CuCl_2$ Solution ค่าแรงดันของสเปรย์ $CuCl_2$ Solution และค่าความเร็วของสายพานใน $CuCl_2$ Chamber ของกระบวนการสร้างเส้นลายวงจร และได้นำปัจจัยดังกล่าวข้างต้นมาปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้น ทำให้ต้นทุนในการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ลดลง

จากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงของผลิตภัณฑ์ที่มีเป้าหมายของความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์เท่ากับ 0.055 มิลลิเมตรมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและมีค่ามากกว่า 1.33 เป็นไปตามข้อกำหนดของลูกค้าต้องการ และค่าความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ลดลงจากเดิม 75% และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าเพียง 594 PPM

9.1 บทสรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

9.1.1 ผลจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

ในขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของของปัญหานี้ จะเป็นขั้นตอนแรกที่จะวิเคราะห์เพื่อกลั่นกรองถึงแหล่งที่มาของความผันแปรในกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรที่มีผลต่อค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ โดยเครื่องมือที่ใช้เพื่อการวิเคราะห์ปัญหาและหลักการทางสถิติที่นำมาใช้มีดังนี้คือ

- แผนภาพกระบวนการผลิต
- การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด
- การทดลองเพื่อจัดลำดับค่าความผันแปรของกระบวนการ
- ฮีสโตรแกรม
- การทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวน
- การทดสอบความมีนัยสำคัญค่าเฉลี่ย
- การวิเคราะห์ปัญหาด้วย Cause and Effect Matrix
- การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)
- แผนภูมิพาเรโต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตแผ่นวงจรแล้ว เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นว่าข้อมูลจากการทดลองที่นำมาทำการวิเคราะห์มีความถูกต้อง จึงจำเป็นต้องศึกษาความแม่นยำของระบบการวัดที่เกี่ยวข้องในการวัดค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ของชิ้นงาน ซึ่งเครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ตลอดทั้งสายการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ คือ

- Smart Vision เป็นเครื่องที่ใช้วัดค่าความกว้างของขนาดของเส้นลายวงจรพิมพ์ของผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนสุดท้าย ขั้นตอนการส่งมอบให้กับลูกค้า และใช้ในงานโครงการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดขนาดชิ้นส่วนต่าง ๆของแผ่นวงจรพิมพ์ได้

- Micro Vision เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความกว้างของขนาดของเส้นลายวงจรพิมพ์หลังกระบวนการสร้างลายวงจร แต่เครื่องมือวัดนี้สามารถวัดชิ้นงานที่อยู่ในแนวราบเท่านั้น ไม่สามารถวัดชิ้นส่วนประกอบเล็ก ๆ ได้

หลังจากได้ทำการศึกษาความแม่นยำของระบบการวัดดังกล่าวแล้ว พบว่าเครื่องมือวัดเหล่านี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี โดยสังเกตจากค่า P/TV มีค่าน้อยกว่า 10% ในทุกเครื่องมือวัดที่ทำการตรวจสอบหลังจากนั้นจึงทำการทดลองเพื่อประเมินความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ตลอดสายการผลิตตั้งแต่กระบวนการทำความสะอาดทองแดงจนถึงกระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย ซึ่งผลการศึกษาพบว่าหลังจากที่ผ่านกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรไปแล้ว พบว่ากระบวนการต่าง ๆ ที่เหลือต่อจากนั้นไม่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์เปลี่ยนไป ดังนั้นความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในปัจจุบันจึงเกิดจากสาเหตุที่เป็นไปได้ตั้งแต่ก่อนกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรและจากกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรเอง จึงได้เลือกกระบวนการดังกล่าวเพื่อนำไปศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ต่อไป จากนั้นได้ระดมความคิดเพื่อแจกแจงปัจจัยที่สำคัญที่กระบวนการตั้งแต่เริ่มรับวัตถุดิบเข้ามาจนกระทั่งกระบวนการตั้งแต่กระบวนการสร้างเส้นลายวงจรพิมพ์ โดยใช้ Cause and Effect Matrix

9.1.2 ผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

ได้นำปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 64 ปัจจัยมาทำการหาความสัมพันธ์มาระหว่างผลของกระบวนการ (KPOV) และปัจจัยนำเข้า (KPIV) ด้วยตารางสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) แล้วจัดเรียวลำดับคะแนนตามความสำคัญด้วยผังพาเรโต จึงเหลือปัจจัยนำเข้าที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองเพียง 19 ปัจจัย จากนั้นนำไปวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

9.1.3 ผลจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)

จากลำดับความสำคัญของผังพาเรโต ในขั้นตอนการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) พบว่าปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลกระทบต่อค่าความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ ทั้งสิ้น 5 ปัจจัยได้แก่

- อัตราการแกว่งของสเปรย์$CuCl_2$ Solution
- มุมในการแกว่งของสเปรย์ $CuCl_2$ Solution
- แรงดันสเปรย์ของ $CuCl_2$ Solution
- ความเร็วสายพานใน $CuCl_2$ Chamber
- อุณหภูมิของ $CuCl_2$ Solution

9.2 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน

จากผลการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 5 ปัจจัยพบวาส ถ้าค่า P-Value ของปัจจัยนั้นมีค่าน้อยกว่า 0.05 หมายความว่า ค่าเฉลี่ยของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ของแต่ละปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในที่นี้พบว่าเหลือปัจจัย 4 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญและสรุประดับของปัจจัยที่สำคัญดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 9.1

ตารางที่ 9.1 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยที่มีความแตกต่างกันจากการทดสอบสมมติฐาน

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	1	2	
อัตราการแกว่งของสเปรย์ $CuCl_2$ Solution	25	35	รอบ/นาที
มุมในการแกว่งของสเปรย์ $CuCl_2$ Solution	56	64	องศา
แรงดันสเปรย์ของ $CuCl_2$ Solution	0.08	0.012	M Pa
ความเร็วสายพานใน $CuCl_2$ Chamber	2.20	2.60	เมตร / นาที

ผลลัพธ์ของขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาทั้ง 4 ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นนั้น จะนำไปพิจารณาและวิเคราะห์ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิต ซึ่งเกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์

9.3 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้ได้นำปัจจัยสำคัญทั้ง 4 ปัจจัยมาทำการวิเคราะห์ที่มีอิทธิพลต่อค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ และระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยทำการออกแบบการทดลองเป็น 2^4 Full Factorial Design ที่การทำซ้ำ 2 ครั้งและมีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง (Center of Point) เข้าไป 3 จุด แต่ไม่สามารถวิเคราะห์ผลที่ถูกต้องจากรูปแบบการทดลองนี้ เนื่องจากรูปแบบของการทดลองมีลักษณะเป็นส่วนโค้งเกิดขึ้น จึงได้ใช้การทดลองด้วยวิธีการแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางเข้าไป 7 จุด ซึ่งสามารถสรุปผลของขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการได้เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญส่งผลต่อค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ จากนั้นนำปัจจัยเหล่านั้นไปหาระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย เพื่อให้ได้ค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ที่ดีที่สุด และต้องทำการยืนยันผลการทดลองดังกล่าวก่อนนำไปใช้งานในกระบวนการผลิตจริง ซึ่งจะดำเนินงานในขั้นตอนต่อไป

ค่าของปัจจัยสำคัญที่ได้หลังจากการปรับปรุงคือ ค่าอัตราการแกว่งของสเปรย์ $CuCl_2$ Solution เท่ากับ 30.00รอบ/นาที ค่ามุมในการแกว่งของสเปรย์ $CuCl_2$ Solution เท่ากับ 60.00 องศา ค่าแรงดันของสเปรย์ $CuCl_2$ Solution เท่ากับ 0.140 เมกกะปาสคาล และ ค่าความเร็วของสายพานใน $CuCl_2$ Chamber เท่ากับ 2.133 เมตร/นาที มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริงในกระบวนการผลิต

แต่อย่างไรก็ตาม ผลการทดสอบนี้จะใช้เพียงเพื่อยืนยันถึงสภาวะการใช้งานของปัจจัยทั้ง 4 หลังการปรับปรุงว่าเหมาะสมหรือไม่ ในการศึกษาค่าดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะและการพิจารณาปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่กำหนดนั้นซึ่งต้องทำการศึกษาหลังเก็บข้อมูล 60 วัน ซึ่งจะเก็บข้อมูลหลังจากกำหนดแผนการควบคุมปัจจัยทั้ง 4 และนำไปใช้งานจริง

9.4 สรุปผลขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต

ทดสอบยืนยันผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าสามารถกำหนดค่าของปัจจัยที่ได้จากการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมและรวมถึงการควบคุมผลลัพธ์ของกระบวนการจึงได้ทำการควบคุมกระบวนการ โดยใช้เทคนิคทางการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ เมื่อทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและมีค่ามากกว่า 1.33 เป็นไปตาม

ข้อกำหนดของลูกค้าค่าความแปรปรวนของค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ลดลงจากเดิม และ ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าเพียง 594 PPM

9.5 ข้อจำกัดในการวิจัย

9.5.1 เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

การใช้วัตถุดิบคุณภาพเดียวกันกับการผลิตงานจริง ดังนั้นจำเป็นต้องควบคุมจำนวนงานที่นำมาใช้ในการทดลองเพื่อควบคุมค่าใช้จ่ายในการทดลองให้มีค่าต่ำที่สุด เพราะฉะนั้นการทดลองเพื่อปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตจึงกำหนดการทำซ้ำเพียง 2 ซ้ำเท่านั้น รวมทั้งการใช้ชิ้นงานตัวแทน (Dummy) แทนที่ชิ้นงานบางตัวเพื่อมีสภาพใกล้เคียงการผลิตจริงที่สุด

9.5.2 การวัดข้อมูลของงานทดลอง

ในการวัดข้อมูลของงานทดลอง จะไม่สามารถวัดอย่างต่อเนื่องให้ครบจำนวนที่ทำการทดลองในครั้งเดียวเนื่องจากงานการผลิตมีความสำคัญมากกว่า และข้อกำหนดด้านกำลังการผลิตของเครื่องมือวัด การวัดงานทดลองให้ครบจำนวนจึงใช้ระยะเวลาในการวัดที่ค่อนข้างนาน ซึ่งอาจจะมีความผันแปรอื่น ๆ จากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

9.5.3 เทคโนโลยีของเครื่องจักร

เนื่องจากการทดลองนี้เดิมทีได้มุ่งเน้นที่จะลดขนาดของค่าความแปรปรวนของความค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ เพื่อที่จะบรรลุเป้าหมายในการลดปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านความแม่นยำและเทคโนโลยีของเครื่องจักรที่ใช้ในการสร้างเส้นลายวงจรที่มีอยู่ไม่สามารถจะทำการแก้ไขเปลี่ยนแปลงการออกแบบเครื่องจักรให้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้ ดังนั้นการลดความแปรปรวนของค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ จึงทำได้เพียงเฉพาะการลดความแปรปรวนระหว่างรุ่นแต่ละรุ่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.6 ข้อเสนอแนะ

9.6.1 ผลของการปรับปรุงกระบวนการผลิตในงานวิจัยนี้ สามารถที่จะนำผลของค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้ง 4 ปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากงานวิจัยนี้และประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์รุ่นอื่น ๆ ได้แต่ควรที่จะต้องมีการทดสอบเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์

9.6.2 เครื่องมือทางสถิติต่าง ๆ ที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนในงานวิจัยนี้เป็นเพียงแนวทางหนึ่งเท่านั้น โดยการนำระเบียบของเครื่องมือทางสถิตมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอื่น ๆ และควรเลือกเครื่องมือต่าง ๆ ตามความเหมาะสมกับลักษณะของกระบวนการผลิตที่ทำการปรับปรุงและข้อกำหนดอื่น ๆ ในการประยุกต์ใช้เครื่องมือในองค์กร

9.6.3 การหาจุดที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยนำเข้าสำคัญทั้ง 4 ปัจจัยนำเข้าสำคัญ ในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ (Improve phase) ควรพิจารณาอย่างรอบคอบในกาปัดเศษค่าให้เป็นสเกลจริงของเครื่องมือวัดที่ใช้ควบคุมปัจจัยเหล่านั้นโดยเฉพาะปัจจัยที่มีจุดเหมาะสมที่สุดที่ถูกเลือกในบริเวณที่มีความชันของพื้นผิวผลตอบสูง ได้แก่ ค่ามุมในการแกว่งของสเปรย์ $CuCl_2$ และค่าความเร็วของสายพานใน $CuCl_2$ Chamber เนื่องจากตำแหน่งที่มีความชันสูงจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัยนำเข้า กล่าวคือเมื่อค่าของปัจจัยดังข้างต้นเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์เปลี่ยนตามไปด้วย

9.6.4 ในการกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัย ควรที่จะกำหนดหลังจากการศึกษาความสามารถของกระบวนการผลิต จะอยู่ในขั้นตอนการนิยามปัญหาซึ่งควรที่จะ พิจารณาทั้งความสามารถของกระบวนการผลิตในระยะสั้นและความสามารถของกระบวนการผลิตในระยะยาวเพื่อพิจารณาถึงโอกาสหรือระดับในการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการที่สามารถจะเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.7 ประโยชน์ในทางประยุกต์ผลวิจัยที่ได้

9.7.1 ผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่มีเป้าหมายค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์เท่ากับ 0.055 มิลลิเมตรสามารถที่จะลดปริมาณของชิ้นงานที่ไม่ได้ตามข้อกำหนดจากลูกค้าเหลือประมาณ 594 PPM ในเดือนธันวาคม 2547

9.7.2 สามารถประยุกต์ใช้ระดับค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าสำคัญทั้ง 4 ปัจจัยคือ ค่าอัตราการแกว่งของสเปรย์ $CuCl_2$ Solution ค่ามุมในการแกว่งของสเปรย์ $CuCl_2$ Solution ค่าแรงดันของสเปรย์ $CuCl_2$ Solution และค่าความเร็วของสายพานใน $CuCl_2$ Chamber ของกระบวนการสร้างเส้นลายวงจรกับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นได้ที่มีค่าความกว้างของขนาดเส้นลายวงจรพิมพ์ที่ลูกค้ากำหนดไว้ใกล้เคียงกับ 0.055 มิลลิเมตร และสามารถประยุกต์ใช้สมการถดถอยของปัจจัยนำเข้าสำคัญทั้ง 4 ปัจจัยที่ได้จากการวิจัยนี้ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวสำหรับใช้ในการสร้างเส้นลายวงจรได้ตามข้อกำหนดที่ต้องการ

9.8 บทเรียนและอุปสรรคจากการทำวิจัย

9.8.1 เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยใช้เครื่องมือทางสถิติต่าง ๆ มาในองค์กรที่บุคลากรและทีมงานดำเนินการปรับปรุง ยังไม่ได้รับการอบรมเกี่ยวกับกลยุทธ์ การดำเนินการและเครื่องมือทางสถิติต่าง ๆ ของในแต่ละขั้นตอนมาก่อนจึงจำเป็นต้องใช้เวลาในแต่ละขั้นตอนมาก เพราะต้องให้การอบรมเทคนิคเครื่องมือต่าง ๆ กับทีมงานที่ระดมความคิดในการทำขั้นตอนต่าง ๆ

9.8.2 ในขั้นตอนการพิจารณาออกเสียงให้คะแนน เพื่อระบุความสำคัญของสาเหตุต่อปัญหาที่ทำการศึกษาของขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ซึ่งได้แก่ การวิเคราะห์ปัญหาด้วย Cause and Effect Matrix นั้นพบว่ากรณีที่บางครั้งสมาชิกบางคนที่คะแนนให้คะแนนต่างจากเสียงส่วนมาก ในจุดนี้จะต้องไม่ตัดสินใจด้วยการเลือกคะแนนเสียงส่วนมากทันที ควรที่จะให้แต่ละฝ่ายให้เหตุผลถึงการให้คะแนนของตนจนอีฝ่ายยอมรับก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้สมาชิกที่เป็นเสียงส่วนน้อยเกิดความรู้สึกไม่อยากให้ความร่วมมือในครั้งต่อไป

9.8.3 เนื่องจากงานวิจัยนี้ จะทำการทดลองในกระบวนการผลิตจริง ในบางครั้งเครื่องจักรอาจมีปัญหา เช่น น้ำยารั่ว ปั๊มไม่ทำงานเป็นต้น ทำให้ในบางครั้งไม่สามารถทำการทดลองอย่างต่อเนื่อง ทำให้สูญเสียเวลาค่อนข้างมาก