บทที่ 10

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

10.1 บทนำ

จากงานการวิจัยดังกล่าว ซึ่งได้เสนอแนะแนวทางในการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีทางซิกซ์ ซิกมาทั้ง 5 ขั้นตอนนั่นคือ ขั้นตอนการนิยามปัญหา (Define phase), ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure phase), ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา (Analyze phase), ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve phase) และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ-ผลิต (Control phase) เพื่อใช้ในการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณของเสียอันเนื่องมาจากค่าความหนาทองแดงในรูของแผ่นวงจรพิมพ์ไม่ได้ตามข้อกำหนด ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมากพารามิเตอร์หนึ่งในแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมประกอบแผ่นวงจรอิเล็คทรอนิคส์ ที่เป็นหัวใจสำคัญที่จะทำให้ประสิทธิภาพและการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นไปตามที่ได้รับการออกแบบไว้

ผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต สามารถที่จะลดปริมาณของงานที่มีค่าความหนาทองแดงในรู ที่ไม่ได้ตามข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์จากลูกค้าให้เหลือประมาณ 77 PPM และสามารถประมาณการค่าความสูญเสียที่ลดลงได้เท่ากับ 839,837 บาทต่อปี โดยคิดจากยอดการสั่งซื้อแผ่นวงจรพิมพ์รุ่น 2712M04026 ที่พยากรณ์ไว้ในปี 2547 (เดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม) เทียบกับก่อนการปรับปรุงกระบวนการในเดือนกรกฎาคม 2546 ซึ่งมีรายละเอียดดังบทสรุปผลการวิจัยในแต่ละขั้นตอนตามแนวทางซิกซ์ ซิกมาดังนี้คือ

10.2 บทสรุปขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหานี้ จะเป็นขั้นตอนแรกที่จะวิเคราะห์เพื่อกลั่นกรองถึงแหล่งที่มาของความผันแปรในกระบวนการผลิตแขนจับหัวอ่านที่มีผลต่อค่าความแปรปรวนและค่าเฉลี่ยของค่าความหนาทองแดงในรูตลอดทั้งสายการผลิตนับนับตั้งแต่กระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า โดยเครื่องมือที่นำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ปัญหา และหลักการทางสถิติที่นำมาใช้มีดังนี้คือ

- แผนภาพกระบวนการผลิต
- การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด
- การทดลองเพื่อจัดลำดับค่าความผันแปรของกระบวนการ
- ฮีสโตแกรม
- การทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวน
- การทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ย
- การวิเคราะห์ปัญหาด้วย Cause and Effect Matrix
- การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA)
- แผนภูมิพาเรโต

เมื่อได้ศึกษากระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์แล้ว เพื่อประกันว่าข้อมูลจากการทดลองที่นำมาทำการวิเคราะห์มีความถูกต้อง จึงจำเป็นต้องศึกษาความแม่นยำของระบบการวัดที่เกี่ยวข้องในการวัดค่าความหนาทองแดงในรูของชิ้นงาน ซึ่งเครื่องมือวัดที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์ความค่าความหนาทองแดงในรูตลอดทั้งสายการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ ประกอบไปด้วย

- เครื่อง Copper Scope ซึ่งใช้วัดค่าความหนาทองแดงในรูที่ไม่มีโลหะอื่นที่ไม่ใช่ทองแดงปกคลุมผิวทองแดงไว้ ได้แก่ แผ่นวงจรพิมพ์ที่ผ่านการนำดีบุกปกคลุมผิวทองแดงในรูออกไปแล้วหลังจากผ่านกระบวนการ Tin Strip ไปจนถึงการตรวจสอบขั้นสุดท้ายและบรรจุ
- เครื่อง Micro Scope ซึ่งใช้วัดค่าความหนาทองแดงในรูได้ทั้งที่มีและไม่มีโลหะอื่นที่ไม่ใช่ทองแดงปกคลุมผิวทองแดงไว้ ได้แก่ แผ่นวงจรพิมพ์ที่ผ่านกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าไปจนถึงการตรวจสอบขั้นสุดท้ายและบรรจุ

หลังจากได้ศึกษาความแม่นยำของระบบการวัดดังกล่าวแล้ว พบว่าเครื่องมือวัดเหล่านี้มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี โดยสังเกตจากค่า P/TV ที่น้อยกว่า 10% ในทุกเครื่องมือวัดที่ทำการตรวจสอบ หลังจากนั้นจึงทำการการทดลองเพื่อประเมินความแปรปรวนของความหนาทองแดงในรูตลอดสายการผลิตตั้งแต่กระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าจนถึงการตวจสอบขั้นสุดท้าย ซึ่งผลการศึกษาพบว่า หลังจากที่ผ่านการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าแล้วพบว่ากระบวนการต่างๆ ที่เหลือต่อจากนั้นไม่มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในรูเปลี่ยนไป ดังนั้นความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในปัจจุบันจึงเกิดจากสาเหตุที่เป็นไปได้ตั้งแต่ก่อนกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า และจากตัวกระบวนการชุบด้วยกระแสไฟฟ้าเอง จึงได้เลือกกระบวนการดังกล่าวเพื่อนำไปศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนาทองแดงในรูต่อไป จากนั้นได้ทำการระดมความคิดจากสมาชิกเพื่อแจกแจงปัจจัยที่สำคัญที่กระบวนการตั้งแต่เริ่มรับวัตถุดิบเข้ามาจนกระทั่งกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งจากการระดมความคิดโดยใช้ Cause and Effect

Matrix ช่วยในการพิจารณา ได้จำนวนปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้น 145 ปัจจัย และเมื่อวิเคราะห์ปัจจัยเหล่านี้ด้วยพาเรโต ทำให้สามารถที่จะกลั่นกรองปัจจัยจาก 145 ปัจจัย ให้เหลือ 27 ปัจจัย และสุดท้ายวิเคราะห์ด้วย FMEA สามารถที่จะเลือกปัจจัยนำเข้าที่สำคัญได้ทั้งสิ้น 7 ปัจจัย ซึ่งปัจจัยที่มีแนวโน้มของผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในรูนี้ ได้แก่ อุณหภูมิของสารละลายในถัง Electroless Copper 85, เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Electroless Copper 85, เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Acid Copper Plating, กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating, อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating, ความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง Acid Copper Plating และความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกในถัง Acid Copper Plating ซึ่งปัจจัยที่ได้เลือกทั้งหมดนี้ จะนำไปวิเคราะห์ความมีนัยสำคัญในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาต่อไป

10.3 บทสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหานี้จะวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 7 ปัจจัย ที่ได้จากการคัดเลือกในขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ซึ่งหลักการทางสถิติที่นำมาใช้เพื่อทำการตัดสินใจว่าปัจจัยเหล่านั้นเป็นสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาหรือไม่ คือ การทดสอบความมีนัยสำคัญของความแปรปรวนและค่าเฉลี่ย

จากผลการทดลองเพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 7 ปัจจัย ไม่พบว่ามีปัจจัยใดที่มีผลต่อความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในรู แต่พบว่ามีอยู่เพียง 5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ

- เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง Acid Copper Plating
- กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating
- อุณหภูมิของสารละลายในถัง Acid Copper Plating
- ความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง Acid Copper Plating
- ความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก ในถัง Acid Copper Plating

ดังนั้นขั้นตอนต่อไปคือการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ จึงพิจารณานำปัจจัยทั้งห้าปัจจัยดังกล่าวที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรู ไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์เชิงผันแปรระหว่างปัจจัยนำเข้าที่สำคัญนี้และค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรู และกำหนดสภาวะของปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อทำให้ค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูมีค่าเข้าสู่ค่าเป้าหมายตามข้อกำหนดของลูกค้า

10.4 บทสรุปขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูหลังกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า ในสภาวะค่าต่างๆ ของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 5 ปัจจัย และจะพิจารณาสภาวะของปัจจัยทั้งห้าของถังชุบ Acid Copper Plating คือ เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง, กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง, อุณหภูมิของสารละลายในถัง, ความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง และความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกในถัง ที่จะทำให้ค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูมีความเข้าสู่ค่าเป้าหมายตามข้อกำหนดของลูกค้า ด้วยหลักการทางสถิติที่นำมาใช้คือ การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยการออกแบบการทดลองเป็นแบบ 2^k และเพิ่มจุดศูนย์กลาง

ผลจากการทดลองเพื่อการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 5 ปัจจัย พบว่าผลกระทบของปัจจัยมีลักษณะของความโค้งเกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูหลังกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า จึงไม่สามารถอธิบายอิทธิพลที่เกิดขึ้นด้วยตัวแบบเชิงเส้นที่ได้จากการทดลองนี้ได้ (Non-Linear Model) จึงทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อให้เป็นการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางซึ่งผลวิเคราะห์ที่ได้จากการออกแบบการทดลองแบบนี้จะสามารถอธิบายอิทธิพลของปัจจัยสำคัญที่มีลักษณะความโค้งเกิดขึ้นได้ด้วยพื้นผิวผลตอบขั้นที่สองหรือตัวแบบควอดราติก (Quadratic Model) โดยระดับที่เหมาะสมในการใช้งานของปัจจัยนำเข้าพร้อมกับพิจารณากับข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์แล้วคือ

- เวลาที่ใช้ในการจุ่มบอร์ดในถัง	ที่ค่า	59	นาที 39 วินาที
- กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง	ที่ค่า	29	แอมแปร์ต่อตารางฟุต
(คิดเป็น 553 แอมแปร์ต่อการชุบบอร์ด 6 พาเนล)			
- อุณหภูมิของสารละลายในถัง	ที่ค่า	25	องศาเซลเซียส
- ความเข้มข้นของ Chloride ion ในถัง	ที่ค่า	52	ppm
- ความเข้มข้นของกรด Sulfuric ในถัง	ที่ค่า	255	กรัมต่อลิตร

และผลจากการทดลองแสดงว่าค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูหลังชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า จะมีค่าประมาณ 1.50 mils เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองดังกล่าวก่อนนำไปใช้จริงในกระบวนการผลิต จึงได้ทำการทดสอบโดยการปรับค่าของปัจจัยนำเข้าทั้งห้าตามที่กำหนดไว้ และผลิตงานตามขั้นตอนปกติ จากผลการทดสอบพบว่า ค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูหลังชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า จะมีค่าประมาณ 1.52 mils ซึ่งเป็นค่าที่เพิ่มขึ้นและใกล้เคียงค่าเป้าหมายกว่าเดิม (ก่อนปรับปรุงกระบวนการ) และมีปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นเพียง 38 DPPM เพราะฉะนั้นสภาวะของปัจจัยทั้งห้าคือ เวลาที่ใช้ในการจุ่ม (ชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า) 59 นาที 39 วินาที, กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบ 29 แอมแปร์ต่อตารางฟุต,

อุณหภูมิของสารละลาย 25 องศาเซลเซียส, ความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน 52 PPM และความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก 255 กรัมต่อลิตร จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิตเพื่อทำให้ค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมายตามข้อกำหนด

10.5 บทสรุปขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต

จากการพิจารณาลักษณะของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งห้าปัจจัย เพื่อเลือกระบบการควบคุมที่จะนำมาใช้ในการตรวจสอบและกำหนดแผนการแก้ไขและป้องกันเมื่อปัจจัยเหล่านี้เกิดสภาวะออกนอกการควบคุม ซึ่งแนวความคิดในการกำหนดระบบการควบคุมสำหรับแต่ละปัจจัยเป็นดังนี้คือ

ระบบการควบคุมที่นำมาใช้เพื่อตรวจจับและควบคุมให้ปัจจัยอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ โดยพิจารณาจากลักษณะของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญแต่ละปัจจัย ผลสรุปเป็นดังนี้คือ

10.5.1 เวลาที่ใช้ในการจุ่ม (ชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า) แผนการควบคุมที่กำหนดขึ้นคือ ทำการเปลี่ยนแปลงค่าที่เหมาะสมของปัจจัยจาก 58 นาที เป็น 59 นาที 39 วินาที ให้ช่างผู้รับผิดชอบทำการตรวจสอบค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มหรือชุบในถัง Acid Copper Plating ให้อยู่ในค่าที่กำหนดสัปดาห์ละ 1 ครั้ง และใช้ใบตรวจสอบเพื่อบันทึกข้อมูลของเวลาที่ใช้ในการจุ่มที่ได้ และได้กำหนดขั้นตอนในการปฏิบัติการแก้ไขหากเวลาที่ใช้จุ่มที่ได้ไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด โดยแผนการควบคุมทั้งหมดนี้จะถูกกำหนดไว้ในเอกสารการปฏิบัติงานเกี่ยวกับเครื่องชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

10.5.2 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบ แผนการควบคุมที่กำหนดใช้หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตคือ ทำการเปลี่ยนแปลงค่าที่เหมาะสมของปัจจัยจาก 28 แอมแปร์ต่อตารางฟุต (534 แอมแปร์ต่อ 6 พาเนล) เป็น 29 แอมแปร์ต่อตารางฟุต (553 แอมแปร์ต่อ 6 พาเนล) ให้ช่างผู้รับผิดชอบทำการตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ให้อยู่ในค่าที่กำหนดทุกๆ 8 ชั่วโมง และใช้ใบตรวจสอบเพื่อบันทึกข้อมูลของเวลาที่ใช้ในการจุ่มที่ได้ และได้กำหนดขั้นตอนในการปฏิบัติการแก้ไขหากกระแสไฟฟ้าที่ใช้ชุบที่ได้ไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด โดยแผนการควบคุมทั้งหมดนี้จะถูกกำหนดไว้ในเอกสารการปฏิบัติงานเกี่ยวกับเครื่องชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

10.5.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า แผนการควบคุมที่กำหนดใช้หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตคือ ทำการเปลี่ยนแปลงค่าที่เหมาะสมของปัจจัยจาก 24 องศาเซลเซียส เป็น 25 องศาเซลเซียส ให้ช่างผู้รับผิดชอบทำการตรวจสอบค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มหรือชุบในถัง Acid Copper Plating ให้อยู่ในค่าที่กำหนดทุกๆ 8 ชั่วโมง และใช้ใบตรวจสอบเพื่อบันทึกข้อมูลอุณหภูมิที่ได้ และได้กำหนดขั้นตอนในการปฏิบัติการแก้ไขหากอุณหภูมิที่ได้ไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด โดยแผนการควบคุมทั้งหมดนี้จะถูกกำหนดไว้ในเอกสารการปฏิบัติงานเกี่ยวกับเครื่องชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

10.5.4 ความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน ในน้ำยาชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า แผนการควบคุมที่กำหนดใช้หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตคือ ทำการเปลี่ยนแปลงค่าที่เหมาะสมของปัจจัยจาก 50 PPM เป็น 52 PPM ให้ช่างผู้รับผิดชอบทำการตรวจสอบค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน ที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ให้อยู่ในค่าที่กำหนดทุกๆ 8 ชั่วโมง และใช้ใบตรวจสอบเพื่อบันทึกข้อมูลของความเข้มข้นที่ได้ และได้กำหนดขั้นตอนในการปฏิบัติการแก้ไขหากความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน ที่ใช้ชุบที่ได้ไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด โดยแผนการควบคุมทั้งหมดนี้จะถูกกำหนดไว้ในเอกสารการปฏิบัติงานเกี่ยวกับเครื่องชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

10.5.5 ความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกในน้ำยาชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า แผนการควบคุมที่กำหนดใช้หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตคือ ทำการเปลี่ยนแปลงค่าที่เหมาะสมของปัจจัยจาก 230 กรัมต่อลิตร เป็น 255 กรัมต่อลิตร ให้ช่างผู้รับผิดชอบทำการตรวจสอบค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ให้อยู่ในค่าที่กำหนดทุกๆ 8 ชั่วโมง และใช้ใบตรวจสอบเพื่อบันทึกข้อมูลความเข้มข้นที่ได้ และได้กำหนดขั้นตอนในการปฏิบัติการแก้ไขหากความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกที่ใช้ชุบที่ได้ไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด โดยแผนการควบคุมทั้งหมดนี้จะถูกกำหนดไว้ในเอกสารการปฏิบัติงานเกี่ยวกับเครื่องชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

10.5.6 เมื่อพิจารณาสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นปริมาณของเสียลดลงจากเดิมในเดือนมกราคม 2547 โดยปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 77 PPM และหากเปรียบเทียบกับค่าของเสียก่อนการปรับปรุงที่ได้จากข้อมูลในเดือน กรกฎาคม 2546 (Baseline) ปริมาณของเสียลดลงจากเดิมประมาณ 14,795 PPM ซึ่งลดลงได้ 99.5% หากทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนหลังทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตในรูปของหน่วยวัดทางการเงินสามารถลดความสูญเสียเนื่องจากของเสียได้ทั้งสิ้น 135,517 บาท หรือคิดเป็น 96.1% ของความสูญเสียที่สามารถลดได้

10.6 ข้อจำกัดในงานวิจัย

10.6.1 เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง จะใช้วัตถุดิบคุณภาพเดียวกันกับการผลิตงานจริง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมจำนวนงานที่นำมาใช้ในการทดลองเพื่อควบคุมค่าใช้จ่ายในการทดลองให้มีค่าต่ำที่สุด เพราะฉะนั้นการทดลองเพื่อปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตจึงกำหนดการทำซ้ำเพียง 1 ซ้ำเท่านั้น รวมทั้งการใช้ชิ้นงานตัวแทน (Dummy) แทนที่ชิ้นงานจริงบางตัวเพื่อให้มีสภาพใกล้เคียงการผลิตจริงที่สุด

10.6.2 ในการวัดข้อมูลของงานทดลอง จะไม่สามารถวัดได้อย่างต่อเนื่องให้ครบจำนวนที่ทำการทดลองในครั้งเดียวเนื่องจากงานการผลิตมีความสำคัญมากกว่า และข้อจำกัดด้านกำลังการผลิตของเครื่องมือวัด การวัดงานทดลองให้ครบจำนวนจึงใช้ระยะเวลาในการวัดที่ค่อนข้างนาน ซึ่งอาจจะมีความผันแปรอื่นๆ จากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

10.6.3 เนื่องจากการทดลองนี้เดิมทีได้มุ่งเน้นที่จะลดขนาดของค่าความแปรปรวนของความหนาทองแดงในรู เพื่อที่จะบรรลุเป้าหมายในการลดปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านความแม่นยำและเทคโนโลยีของเครื่องจักรที่ใช้ในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีอยู่ไม่สามารถจะทำการแก้ไขเปลี่ยนแปลงการออกแบบเครื่องจักรให้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้ ดังนั้นการลดความแปรปรวนของค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรู จึงทำได้เพียงเฉพาะการลดความแปรปรวนระหว่างรุ่นการชุบแต่ละรุ่น

10.7 ข้อเสนอแนะ

10.7.1 ผลของการปรับปรุงกระบวนการผลิตในการวิจัยนี้ สามารถที่จะนำผลของค่าปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญทั้งห้าที่เหมาะสมที่ได้จากงานวิจัยนี้ ไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์แผ่นวงจรพิมพ์รุ่นอื่นๆได้ แต่ควรที่จะต้องมีการทดสอบเพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต

10.7.2 เครื่องมือทางสถิติต่างๆ ที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนตามแนวทางซิกซ์ ซิกมานี้เป็นเพียงแนวทางหนึ่งเท่านั้น ซึ่งการนำระเบียบวิธีการทางซิกซ์ ซิกมาไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอื่นๆ ควรเลือกประยุกต์ใช้เครื่องมือต่างๆ ตามความเหมาะสมกับลักษณะของกระบวนการผลิตที่ทำการปรับปรุงและข้อจำกัดอื่นๆ ในการประยุกต์ใช้เครื่องมือในองค์กร

10.7.3 การหาจุดที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยนำเข้าสำคัญทั้งห้าปัจจัย ในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ (Improve phase) ในบทที่ 7 โดยการพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดจากค่ากระแสไฟฟ้าที่ต่ำที่สุด โดยให้มีค่าความหนาทองแดงในรูหลังชุบได้ตามข้อกำหนดคือ 1.50 mils สามารถที่จะหาจุดเหมาะสมได้ด้วยวิธีการฮิวริสติก (Heuristic) เช่น วิธีการของเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms) ในการหาคำตอบที่ต้องการ ซึ่งถือว่าเป็นวิธีที่ไม่รับรองผลของคำตอบว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด (Global optima) แต่เนื่องจากเหตุผลของจำนวนทางเลือก (Alternatives) ที่ต้องการประเมิน (Evaluation) มีจำนวนมาก ในทางปฏิบัติจึงจึงนิยมใช้วิธีของฮิวริสติกมาช่วยในการหาคำตอบ และวิธีการฮิวริสติกอื่นที่ง่ายกว่าและเร็วกว่า แต่ก็ยังไม่รับรองผลของคำตอบว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดเช่นเดียวกัน ได้แก่ วิธีการสุ่มเลือกคำตอบ (Random Search)

10.7.4 การหาจุดที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยนำเข้าสำคัญทั้งห้าปัจจัย ในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ (Improve phase) ในบทที่ 7 ควรพิจารณาอย่างรอบคอบในการปัดเศษค่าระดับธรรมชาติ (Natural unit) ให้เป็นค่าสเกลจริงของเครื่องมือวัดที่ใช้ควบคุมปัจจัยเหล่านั้น โดยเฉพาะปัจจัยที่มีจุดเหมาะสมที่ถูกเลือกในบริเวณที่มีความชันของพื้นผิวผลตอบสูง ได้แก่ ค่าเวลาที่ใช้ในการชุบ และค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบ ดังแสดงในรูปที่ 7.7 เนื่องจากที่ตำแหน่งที่มีความชันของพื้นผิวผลตอบสูงจะมีความแข็งแกร่ง (Robust) ของค่าผลตอบที่ต่ำ หรือค่าผลตอบจะมีความไวสูงต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของปัจจัยนำเข้า นั่นคือเมื่อค่าเวลาที่ใช้ในการชุบหรือค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ค่าความหนาทองแดงในรูเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

10.7.5 แนวทางในการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องสามารถพิจารณาได้จากการศึกษาการออกแบบระบบการไหลของกระแสไฟฟ้า และลักษณะการไหลของสารละลายภายในถังชุบ เพื่อพิจารณาความสม่ำเสมอของอัตราการเพิ่มความหนาของผิวทองแดงที่เกิดขึ้นของแต่ละจุดภายในถังชุบเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงลดความแปรปรวนความหนาทองแดงในรูให้มีอัตราการชุบของทุกตำแหน่งในถังชุบที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งอาจศึกษาได้ด้วยการประยุกต์ใช้ความรู้ด้านกลศาสตร์ของไหลและไฟฟ้าเคมีผ่านทางวิธีการเชิงตัวเลข (Numerical method) เช่น วิธีการไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite Element method) เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถทำการศึกษาชนิดของน้ำยาชุบประเภทอื่นๆ ที่มีส่วนผสมที่ต่างไปจากที่ใช้ในงานวิจัยนี้ร่วมกับปัจจัยนำเข้าเดียวกันกับงานงานวิจัยนี้เพื่อหาจุดที่เหมาะสมและชนิดของน้ำยาชุบที่มีความแปรปรวนของความหนาทองแดงหลังชุบที่ต่ำ

10.8 ประโยชน์ในทางประยุกต์ผลวิจัยที่ได้

10.8.1 ผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์รุ่น 2712M04026 สามารถที่จะลดปริมาณของงานที่มีค่าความหนาทองแดงในรู ที่ไม่ได้ตามข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์จากลูกค้าให้เหลือประมาณ 77 PPM และสามารถประมาณการค่าความสูญเสียที่ลดลงได้เท่ากับ 839,837 บาทต่อปี โดยคิดจากยอดการสั่งซื้อแผ่นวงจรพิมพ์รุ่น 2712M04026 ที่พยากรณ์ไว้ในปี 2547 (เดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม) เทียบกับก่อนการปรับปรุงกระบวนการในเดือนกรกฎาคม 2546 เทียบกับก่อนการปรับปรุงกระบวนการในเดือนกรกฎาคม 2546

10.8.2 สามารถประยุกต์ใช้ระดับค่าที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าสำคัญทั้งห้าที่ได้ ของเวลาที่ใช้ในการชุบ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบ อุณหภูมิที่ใช้ในการชุบ ความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออนที่ใช้ในการชุบ และความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกที่ใช้ในการชุบ ในกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้ากับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นที่มีข้อกำหนดความหนาทองแดงในรูเท่ากันกับแผ่นวงจรพิมพ์รุ่น 2712M04026 ได้ นอกจากนี้กรณีที่เป็นผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นที่มีข้อกำหนดความหนาทองแดงในรูที่ต่างไปจากแผ่นวงจรพิมพ์รุ่น 2712M04026 ก็สามารถประยุกต์ใช้สมการถดถอยของปัจจัยนำเข้าสำคัญทั้งห้าที่ได้จากการวิจัยนี้ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวสำหรับใช้ในการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าได้ตามข้อกำหนดที่ต้องการ

10.9 บทเรียนและอุปสรรคจากการทำวิจัย

10.9.1 เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยใช้วิธีซิกซ์ ซิกมาในองค์กรที่บุคลากรและทีมงานดำเนินการปรับปรุง ยังไม่ได้รับการอบรมเกี่ยวกับกลยุทธ์ การดำเนินการ และเครื่องมือต่างๆ ของแต่ละขั้นตอนของวิธีซิกซ์ ซิกมา มาก่อน ทำให้เป็นจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาแต่ละขั้นตอนค่อนข้างนาน เนื่องจากผู้ทำวิจัยได้ดำเนินตามขั้นตอนการปรับปรุงตามวิธีซิกซ์ ซิกมาแต่ละขั้นด้วยการให้การอบรมเทคนิคของเครื่องมือต่างๆ ที่เลือกใช้ให้แก่ทีมงานไปพร้อมๆ กับการประชุมและระดมความคิดร่วมกันของทีมงานในการดำเนินงานแต่ละขั้นตอนของซิกซ์ ซิกมา ในลักษณะแบบ "การฝึกอบรมหน้างาน" (On the job training)

10.9.2 ในช่วงแรกๆ ของการดำเนินงาน ได้แก่ ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) สมาชิกหลายคนยังไม่เข้าใจในแนวคิดของเครื่องมือต่างๆ ทำให้บางขั้นตอนผู้ทำวิจัยยังต้องนำผลที่ได้จากการระดมความคิดที่ได้แต่ละครั้งมาพิจารณาร่วมกันใหม่อีกครั้ง เนื่องจากขั้นตอนนี้ต้องอาศัยความคิดต่างๆ ที่อาจเป็นสาเหตุของปัญหาที่ทำการศึกษาให้ได้มากที่สุด เพื่อให้ครอบคลุมสาเหตุที่แท้จริงที่ยังไม่ทราบ ซึ่งช่วงแรกพบว่าสาเหตุต่างๆ ที่ได้ค่อนข้างน้อยเนื่องจากสมาชิกในทีมมาจากต่างส่วนงานกันซึ่งแต่ละคนจะออกความคิดเห็นใน

จุดที่ไม่ใช่ส่วนงานของตนค่อนข้างน้อย ซึ่งแก้ไขด้วยการนำสมาชิกทุกคนร่วมกันทำการศึกษาแต่ละขั้นตอนการผลิตอย่างละเอียด โดยให้สมาชิกแต่ละคนนำเสนอในส่วนของตน ซึ่งต้องยอมเสียเวลาเพื่อไม่ให้เกิดผลที่ลำเอียง

10.9.3 ในขั้นตอนการพิจารณาออกเสียงให้คะแนน เพื่อระบุความสำคัญของสาเหตุต่อปัญหาที่ทำการศึกษา ของขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ซึ่งได้แก่ การการวิเคราะห์ปัญหาด้วย Cause and Effect Matrix นั้นพบว่ากรณีที่ค่าคะแนนแต่ละสาเหตุที่ได้จากสมาชิกแต่ละคนไม่เท่ากันมักจะเกิดขึ้น ผู้ทำวิจัยจึงได้แก้ไขด้วยการลดจำนวนระดับคะแนนจากเดิมมี 11 ระดับ (0 – 10) เหลือเพียง 8 ระดับ (0 – 7) เพื่อให้มีความแตกต่างกันในแต่ละระดับมากขึ้น แต่ก็ยังพบว่าบางครั้งที่สมาชิกบางคนที่คะแนนให้คะแนนต่างจากเสียงส่วนมาก ในจุดนี้จะต้องไม่ตัดสินด้วยการเลือกคะแนนเสียงส่วนมากทันที ควรที่จะให้แต่ละฝ่ายให้เหตุผลถึงการให้คะแนนของตนจนอีกฝ่ายยอมรับก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้สมาชิกที่เป็นเสียงส่วนน้อยเกิดความรู้สึกไม่อยากให้ความร่วมมือในครั้งต่อไป หรือในโครงการอื่น

10.10 ประโยชน์จากการนำวิธีซิกซ์ ซิกมา มาใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต

ปัญหาของผู้ผลิตโดยมากแล้ว เมื่อผู้ผลิตทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแล้ว คำถามที่มักจะถามกันเสมอก็คือ จะเริ่มทำอะไรเพื่อที่จะแก้ปัญหานั้นและถ้าทำแล้วจะไปสิ้นสุดตรงไหน เมื่อค้นพบปัญหาแล้วจะสามารถที่จะหาต้นเหตุของปัญหานั้นๆ ได้อย่างไร แล้วอะไรที่จำเป็นจะต้องรู้ แล้วจะรู้ได้อย่างไร เราจะใช้เครื่องมืออะไรในการค้นหา ข้อมูลอะไรบ้างที่จำเป็นต้องรู้

การนำวิธีซิกซ์ ซิกมา มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีข้อดี คือ เป็นวิธีการที่ใช้ในการค้นหาปัญหาที่ถูกซ่อนเร้นอยู่ภายในกระบวนการผลิตได้อย่างมีระบบและแบบแผนทางความคิดที่ชัดเจน และมีลำดับขั้นตอนในการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นเมื่อทราบปัญหาที่เกิดขึ้นจนกระทั่งค้นหาสาเหตุและทำการแก้ไขรวมทั้งการควบคุมไม่ให้ปัญหานั้นปรากฏขึ้นอีก จึงสามารถช่วยให้ทุกคนในองค์กรเดินทางตามที่กำหนดไว้เพื่อที่จะนำไปสู่เป้าหมายร่วมกันได้

ในแต่ละขั้นตอนต่างๆ ดังกล่าว จะมีเครื่องมือต่างๆ ที่สามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมโดยพิจารณาจากลักษณะของปัญหาและข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นการคัดเลือกปัจจัยต่างๆ จากเริ่มต้นที่มีหลายปัจจัยที่เป็นไปได้ ให้เหลือปัจจัยที่มีความสำคัญต่อปัญหาที่สุดเพื่อนำปัจจัยที่ได้ไปสู่ขั้นตอนถัดไป ซึ่งขั้นตอนถัดไปก็จะเป็นการประเมินหรือวิเคราะห์เพื่อเลือกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัญหาที่สุดเช่นเดียวกัน จนกระทั่งสุดท้ายจะเหลือเฉพาะปัจจัยที่มีนัยสำคัญ

ในแต่ละขั้นตอนของการดำเนินการวิธีซิกซ์ ซิกมา จะใช้สมาชิกในทีมที่เหมาะสมโดยมาจากหลายหน่วยงานและจำเป็นต่อขั้นตอนนั้นๆ อย่างแท้จริง ทำให้การดำเนินการของแต่ละขั้นตอนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และประสิทธิผล