บทที่ 9

การควบคุมกระบวนการผลิต

9.1 บทนำ

การควบคุมกระบวนการผลิตที่จะกล่าวในบทนี้ ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายในวิธีการ ซิกซ์ ซิกมา เพื่อจุดประสงค์ในการตรวจสอบและควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่ได้จาก การวิเคราะห์ ผล และได้ทดสอบเพื่อยืนยันผลการสรุปเรียบร้อยแล้ว ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการจุ่ม (ชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า), กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบ, อุณหภูมิของสารละลาย, ความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน และความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก โดยการนำความรู้และเครื่องมือเกี่ยวกับการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (Statistical Process Control) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้คือ

9.2 แผนการควบคุม

9.2.1 ปัจจัยควบคุม

กระบวนการที่เกี่ยวข้องในการกำหนดแผนการควบคุมคือ กระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า และปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่พิจารณาในการกำหนดแผนการควบคุม ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการจุ่ม (ชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า), กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบ, อุณหภูมิของสารละลาย, ความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน และความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก เพื่อเป็นการประกันว่าปัจจัยทั้ง 5 ที่ต้องการควบคุมจะอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติและมีค่าตามที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งในการกำหนดแผนการควบคุมปัจจัยดังกล่าวจะได้จากกลุ่มสมาชิกที่ประกอบไปด้วย วิศวกรควบคุมคุณภาพ, วิศวกรผู้ชำนาญในกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า วิศวกรซ่อมบำรุง นักเคมีประจำห้องปฏิบัติการเคมี และผู้ทำการวิจัย ดังมีรายละเอียดในแต่ละปัจจัยดังนี้คือ

9.2.1.1 เวลาที่ใช้ในการจุ่ม (ชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า)

เนื่องจากค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มสามารถที่จะปรับตั้งได้ที่ตัวเครื่องชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าโดยช่างที่ดูแลกระบวนการ และจะมีค่าคงที่หากไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ดังนั้นค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มนี้จึง ไม่จำเป็นต้องประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมใดๆ ในการควบคุมค่าให้เป็นไปตามที่กำหนด ซึ่งในปัจจุบันแผนการตรวจสอบค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่ม จะ

กระทำโดยให้ช่างที่ดูแลกระบวนการทำการตรวจสอบค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มที่ตู้ควบคุมเครื่องชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า โดยมีความถี่ 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ซึ่งเป็นไปตามแผนการซ่อมบำรุง

แผนการควบคุมปัจจัยเวลาที่ใช้ในการจุ่มหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต จะกำหนดค่าของเวลาที่ใช้ในการจุ่มที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองจาก 58 นาที เป็น 59 นาที 39 วินาที ไว้ในเอกสารที่ใช้อ้างอิงเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับข้อแนะนำในการปฏิบัติงาน ว่าด้วยการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า (Electro Copper Plating) และใช้ระยะเวลาหรือความถี่ในการตรวจสอบค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มเป็น 1 ครั้งต่อสัปดาห์ เช่นเดิมเนื่องจากข้อมูลในอดีตแสดงให้เห็นว่าค่าเวลามีความแปรปรวนน้อย (ดังแสดงในภาคผนวก ซ) โดยการบันทึกผลการตรวจสอบจะบันทึกในใบตรวจสอบดังรูปที่ 9.1

Pattern Plating Check Sheet

Process Step: Copper Acid Plating

WW# ..... **(Quarter ..... / Year .....)**

Machine no. ..... **Bath no. .....**

Parameter	Frquency	Unit	Control Range	Optimum Value	Adjustment	Weekly (.....)																				
						Mon (.....)			Tue (.....)			Wed (.....)			Thu (.....)			Fri (.....)			Sat (.....)			Sun (.....)		
						N	D	S	N	D	S	N	D	S	N	D	S	N	D	S	N	D	S	N	D	S
Copper Sulfate	Daily	g/l	58-78	68	Before																					
					After																					
Brightener BL	Weekly	ml/l	0.3-0.8	0.6	Before																					
					After																					
Leveller BL-CT	Weekly	ml/l	12-18	15	Before																					
					After																					
Iron	Weekly	ppm	>100		Before																					
					After																					
Temp.	Shiftly	Celsius	23-27	25	Before																					
					After																					
Current	Shiftly	Ampare	548-558	553	Before																					
					After																					
Dipping Time	Weekly	Min, Sec	59,29 - 59,49	59, 39	Before																					
					After																					

Page 1 of 2

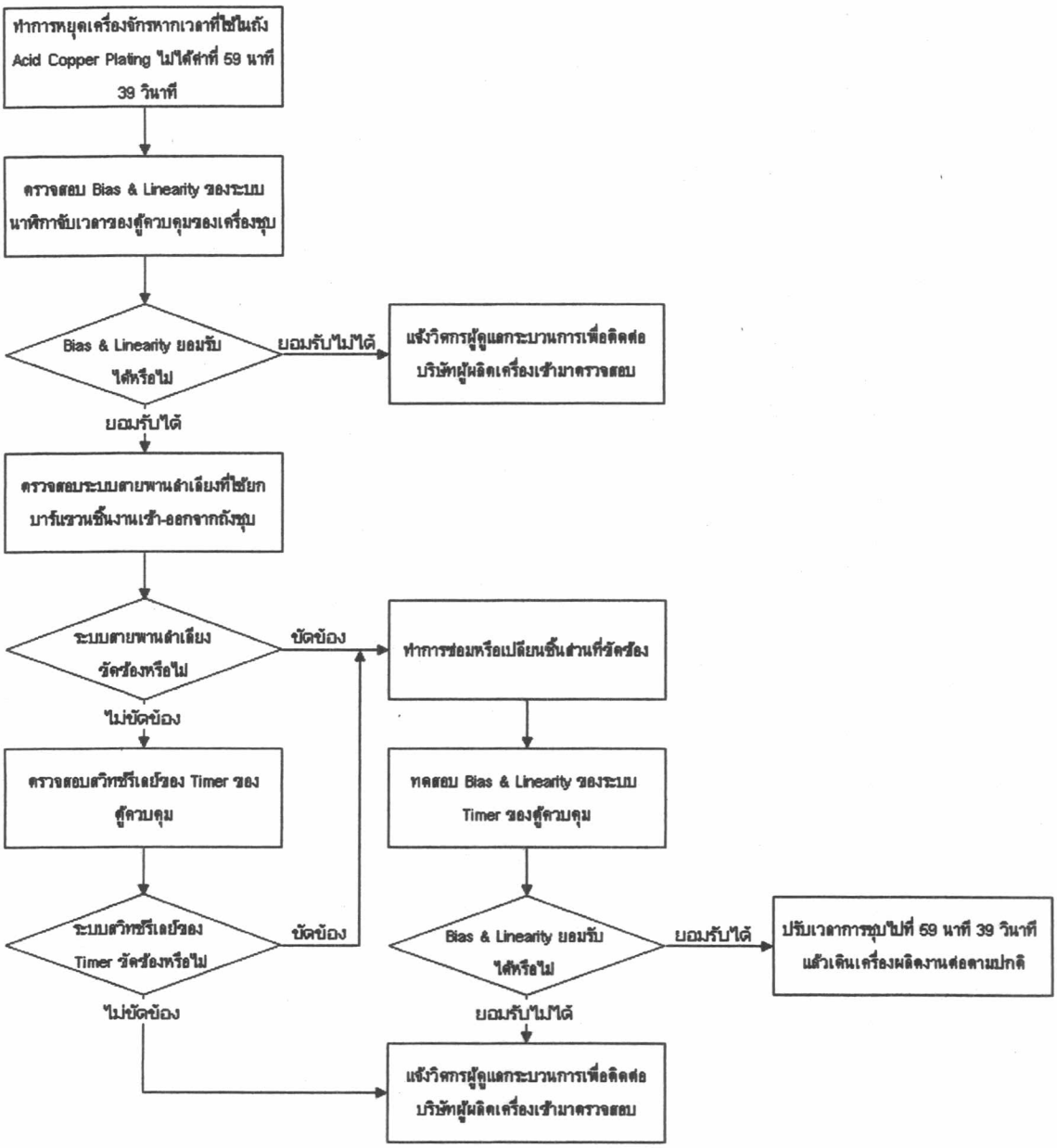
รูปที่ 9.1 ใบตรวจสอบ Parameter สำหรับเครื่อง Acid Copper Plating

Corrective Action Histories

Item	Time		Date	Cause	Action	Response By	Engineering Comment
	From	To					

Page 2 of 2

รูปที่ 9.1 ใบตรวจสอบ Parameter สำหรับเครื่อง Acid Copper Plating (ต่อ)



รูปที่ 9.2 ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อเวลาที่ใช้ในการจุ่มออกนอกค่าที่กำหนด

นอกจากนี้ยังได้จัดทำขั้นตอนในการปฏิบัติการแก้ไขหากพบว่าค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด โดยให้ช่างผู้ดูแลกระบวนการหยุดเครื่องจักรนั้นทันที และทำการแก้ไขค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มให้กลับมาที่ค่าที่กำหนดไว้ตามขั้นตอนที่แสดงดังรูปที่ 9.2 ซึ่งแผนการควบคุมที่กำหนดขึ้นมาใหม่นี้จะบันทึกไว้ในเอกสารที่ใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับข้อแนะนำในการปฏิบัติงานว่าการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า (Electro Copper Plating) เพื่อให้พนักงานประจำกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าปฏิบัติงานเป็นไปในแนวทางเดียวกัน

9.2.1.2 กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบ

เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบสามารถที่จะปรับตั้งได้ที่ตัวเครื่องชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าโดยช่างที่ดูแลกระบวนการ และจะมีค่าคงที่หากไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ดังนั้นค่าเวลาที่ใช้ในการจุ่มนี้จึง ไม่จำเป็นต้องประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมใดๆ ในการควบคุมค่าให้เป็นไปตามที่กำหนด ซึ่งในปัจจุบันไม่มีแผนการตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบ

แผนการควบคุมปัจจัยกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต จะกำหนดค่าของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองจาก 28 แอมแปร์ต่อตารางฟุต เป็น 29 แอมแปร์ต่อตารางฟุตซึ่งคิดเป็นค่ากระแสไฟฟ้าได้เท่ากับ 553 แอมแปร์ต่อการชุบครั้งละ 6 พาเนล ซึ่งเป็นจำนวนพาเนลที่สามารถชุบได้มากที่สุดของแต่ละรอบการชุบ (การคำนวณแสดงดังตารางที่ 9.1) ไว้ในเอกสารที่ใช้อ้างอิงเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับข้อแนะนำในการปฏิบัติงาน ว่าด้วยการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า (Electro Copper Plating) และได้เพิ่มแผนการตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบโดยมีความถี่ในการตรวจสอบเป็น 8 ชั่วโมงต่อครั้ง เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่น (จากข้อมูลความแปรปรวนของค่ากระแสไฟฟ้า ดังแสดงในภาคผนวก ซ) กระทำโดยให้ช่างที่ดูแลกระบวนการจะทำการตรวจสอบค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบที่จุดต่อสายไฟฟ้าเข้าถังชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า และทำการบันทึกผลลงในใบตรวจสอบ แสดงดังรูปที่ 9.1 และคำนวณจากสูตร

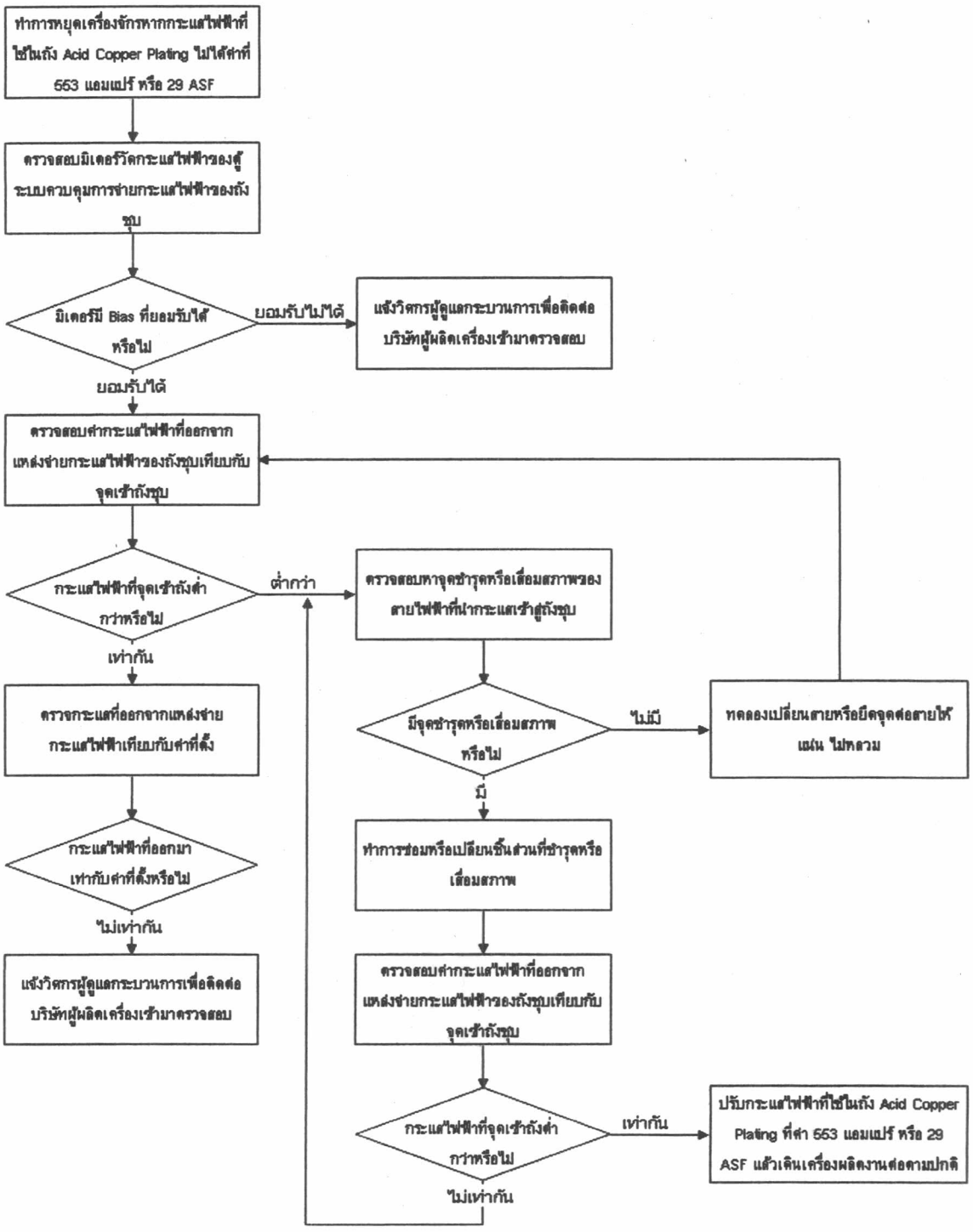
กระแสไฟฟ้าที่ใช้ = (พื้นที่ผิวที่ต้องการชุบ) x (ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า)

ตารางที่ 9.1 การคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบ

พื้นที่ผิวทองแดงต่อพาเนล (ตารางฟุต)			กระแสที่ใช้ต่อพาเนล (แอมแปร์)		กระแสที่ใช้ต่อ 6 พาเนล (แอมแปร์)	
ด้านอุปกรณ์	ด้านบัดกรี	พื้นที่ผิวรวม	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 28 แอมแปร์ต่อตารางฟุต	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 29 แอมแปร์ต่อตารางฟุต	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 28 แอมแปร์ต่อตารางฟุต	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 29 แอมแปร์ต่อตารางฟุต
1.314	1.866	3.180	89	92	534	553

นอกจากนี้ยังได้จัดทำขั้นตอนในการปฏิบัติการแก้ไขหากพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด โดยให้ช่างผู้ดูแลกระบวนการหยุดเครื่องจักรนั้นทันทีและทำการแก้ไขค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบให้กลับมาที่ค่าที่กำหนดไว้ตามขั้นตอนที่แสดงดังรูปที่ 9.3 ซึ่งแผนการควบคุมที่กำหนดขึ้นมาใหม่นี้จะบันทึกไว้ในเอกสารที่ใช้เป็นแนวทางในการ

ปฏิบัติงานเกี่ยวกับข้อแนะนำในการปฏิบัติงานว่าการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า (Electro Copper Plating) เพื่อให้พนักงานประจำกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าปฏิบัติงานเป็นไปในแนวทางเดียวกัน



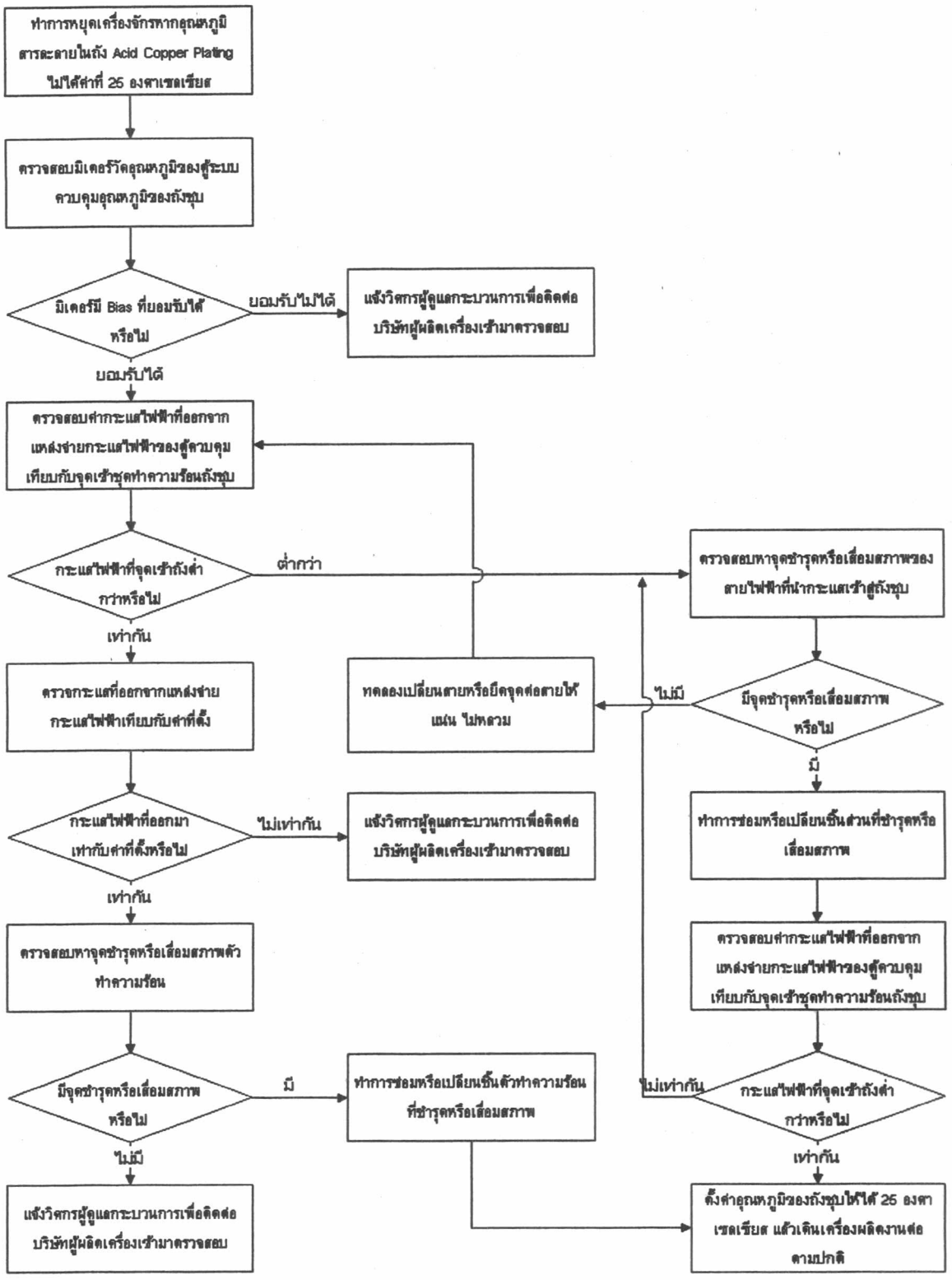
รูปที่ 9.3 ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการจุ่มออกนอกค่าที่กำหนดต่อการชุบครั้งละ 6 พาเนล

9.2.1.3 อุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการชุบ

เนื่องจากค่าอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการชุบสามารถที่จะปรับตั้งได้ที่ได้ที่ตัวเครื่องชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าโดยช่างที่ดูแลกระบวนการ และจะมีค่าคงที่หากไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว ดังนั้นค่าอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการชุบนี้จึง ไม่จำเป็นต้องประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมใดๆ ในการควบคุมค่าให้เป็นไปตามที่กำหนด ซึ่งในปัจจุบันไม่มีแผนการตรวจสอบค่าอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการชุบ

แผนการควบคุมปัจจัยอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการชุบหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต จะกำหนดค่าของอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการชุบที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองจาก 24 องศาเซลเซียส เป็น 25 องศาเซลเซียส ไว้ในเอกสารที่ใช้อ้างอิงเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับข้อแนะนำในการปฏิบัติงาน ว่าด้วยการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า (Electro Copper Plating) และได้เพิ่มแผนการตรวจสอบค่าอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการชุบโดยมีความถี่ในการตรวจสอบค่าเป็น 8 ชั่วโมงต่อครั้ง เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่น (จากข้อมูลความแปรปรวนของค่าอุณหภูมิ ดังแสดงในภาคผนวก ซ) กระทำโดยให้ช่างที่ดูแลกระบวนการจะทำการตรวจสอบค่าอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการชุบที่ตู้ควบคุมเครื่องชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าและทำการบันทึกผลลงในใบตรวจสอบ แสดงดังรูปที่ 9.1

นอกจากนี้ยังได้จัดทำขั้นตอนในการปฏิบัติการแก้ไขหากพบว่าค่าอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการชุบไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด โดยให้ช่างผู้ดูแลกระบวนการหยุดเครื่องจักรนั้นทันที และทำการแก้ไขค่าอุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการชุบให้กลับมาที่ค่าที่กำหนดไว้ตามขั้นตอนที่แสดงดังรูปที่ 9.4 ซึ่งแผนการควบคุมที่กำหนดขึ้นมาใหม่นี้จะบันทึกไว้ในเอกสารที่ใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับข้อแนะนำในการปฏิบัติงานว่าการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า (Electro Copper Plating) เพื่อให้พนักงานประจำกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าปฏิบัติงานเป็นไปในแนวทางเดียวกัน



รูปที่ 9.4 ขั้นตอนการแก้ไขเมื่ออุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในการชุบออกนอกค่าที่กำหนด

9.2.1.4 ความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน

เนื่องจากค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออนที่ใช้ในการชุบสามารถที่จะปรับตั้งได้ด้วยการนำสารละลายไปตรวจสอบหาปริมาณความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความเข้มข้นสารละลายในห้องปฏิบัติการเคมี และสามารถปรับเพิ่มความเข้มข้นด้วยการเติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก หรือลดด้วยการเติมน้ำลงไปในถังชุบตามปริมาณที่เหมาะสมที่คำนวณได้ ซึ่งในปัจจุบันแผนการตรวจสอบค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออนในสารละลายที่ใช้ในการชุบจะกระทำโดยให้นักเคมีของห้องปฏิบัติการเคมี และทำการบันทึกผลลงในใบตรวจสอบ แสดงดังรูปที่ 9.1 โดยมีความถี่ 24 ชั่วโมงต่อครั้ง

แผนการควบคุมปัจจัยความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออนในสารละลายที่ใช้ในการชุบหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต จะกำหนดค่าของความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออนที่ใช้ในการชุบที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองจาก 50 PPM เป็น 52 PPM ไว้ในเอกสารที่ใช้อ้างอิงเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับข้อแนะนำในการปฏิบัติงาน ว่าด้วยการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า (Electro Copper Plating) และได้เปลี่ยนระยะเวลาหรือความถี่ในการตรวจสอบค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออนในสารละลายที่ใช้ในการชุบเป็น 8 ชั่วโมงต่อครั้ง เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่น (จากข้อมูลความแปรปรวนของค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน ดังแสดงในภาคผนวก ซ) โดยการบันทึกผลการตรวจสอบจะบันทึกในใบตรวจสอบดังรูปที่ 9.1

นอกจากนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมแบบ ImR มาใช้ในการตรวจจับและควบคุมปัจจัยดังกล่าวว่าอยู่ในสภาวะตามที่ต้องการหรือไม่ เนื่องจากข้อมูลของปัจจัยทั้งสองเป็นข้อมูลเชิงผันแปร (Variable data) และเป็นแผนควบคุมที่เหมาะกับกระบวนการทางเคมีที่มีการผลิตแบบ Batch หรือกระบวนการทางเคมีที่มีความต่อเนื่อง ซึ่งจะกำหนดแผนการควบคุมกระบวนการโดยอาศัยสถิติของปัจจัยทั้งสองนี้ในคู่มือการปฏิบัติงาน WI (Work Instruction) เพื่อให้พนักงานที่เกี่ยวข้องปฏิบัติงานในทิศทางเดียวกัน โดยรายละเอียดของแผนภูมิควบคุมที่ประยุกต์ใช้มีดังนี้คือ

- ขนาดสิ่งตัวอย่าง

การกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่างในการตรวจสอบ จะใช้จำนวนสิ่งตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง ต่อการสุ่มวัดต่อช่วงเวลาที่กำหนด

- ความถี่ในการชักสิ่งตัวอย่าง

จากข้อมูลของความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน พบว่ามีค่าความแปรปรวนที่ค่อนข้างต่ำ การควบคุมค่าปัจจัยให้เป็นไปตามต้องการค่อนข้างง่าย และด้วยข้อจำกัดด้าน

เครื่องมือวัด ดังนั้นจึงกำหนดความถี่ในการชักสิ่งตัวอย่างสำหรับปัจจัยทั้งสองเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมงต่อหนึ่งครั้ง

- วิธีการวัด

ให้พนักงานที่เกี่ยวข้องทำการสุ่มน้ำยาชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการชุบตามช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้ จากนั้นให้นำน้ำยาตัวอย่างดังกล่าวไปวัดค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน ที่เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer

- กฎการตัดสินใจ

กฎในการตัดสินใจเกี่ยวกับลักษณะรูปแบบของข้อมูลในแผนภูมิควบคุมที่บ่งบอกถึงสภาวะของกระบวนการที่ออกนอกการควบคุม จะอ้างอิงกฎในการตัดสินใจ 4 ข้อดังนี้

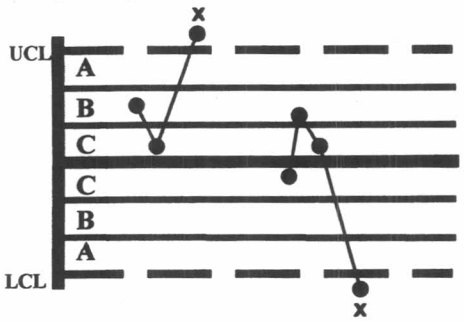
ก) ค่าเฉลี่ยเปลี่ยนไปอย่างกะทันหัน : มี 1 จุดของข้อมูลล่าสุดออกนอกเส้นควบคุมขีดจำกัดบนหรือขีดจำกัดล่าง โดยที่จุดของข้อมูลที่ผ่านมาจำนวน 4-5 จุดส่วนใหญ่จะกระจายตัวอยู่รอบเส้นกึ่งกลาง ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 9.5 ก)

ข) มีแนวโน้มเคลื่อนขึ้นหรือลง : ข้อมูลล่าสุดจำนวน 6 จุดมีแนวโน้มเคลื่อนตัวขึ้นหรือลงทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 9.5 ข)

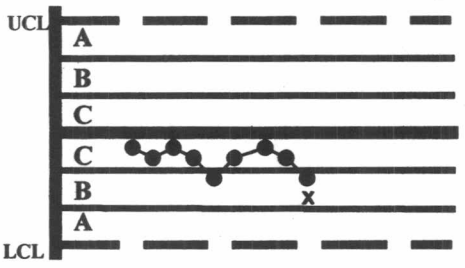
ค) ค่าเฉลี่ยเปลี่ยนไป : ข้อมูลล่าสุดจำนวน 9 จุดมีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยเปลี่ยนไป เมื่อเทียบกับข้อมูลในช่วงก่อนหน้า 9 จุดนี้ ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 9.5 ค)

ง) ข้อมูลแกว่งตัวไปมารอบเส้นกลาง : ข้อมูลล่าสุดจำนวน 14 จุดแกว่งตัวไปมาในช่วงกว้างทั้งด้านบนและล่างของเส้นกึ่งกลาง ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 9.5 ง)

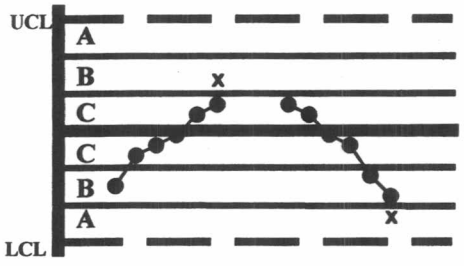
ก) มีจุดหนึ่งจุดออกนอกโซน A



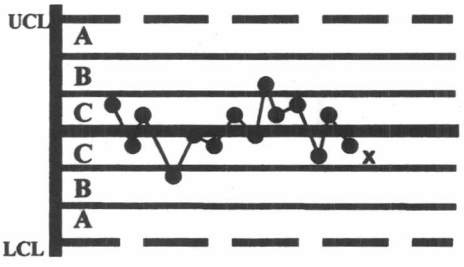
ค) มีจุดเก้าจุดต่อเนื่องอยู่ด้านใด ด้านหนึ่งของเส้นกลาง



ข) มีจุดหกจุดเรียงตัวแบบเพิ่มขึ้น หรือ ลดลงอย่างสม่ำเสมอ

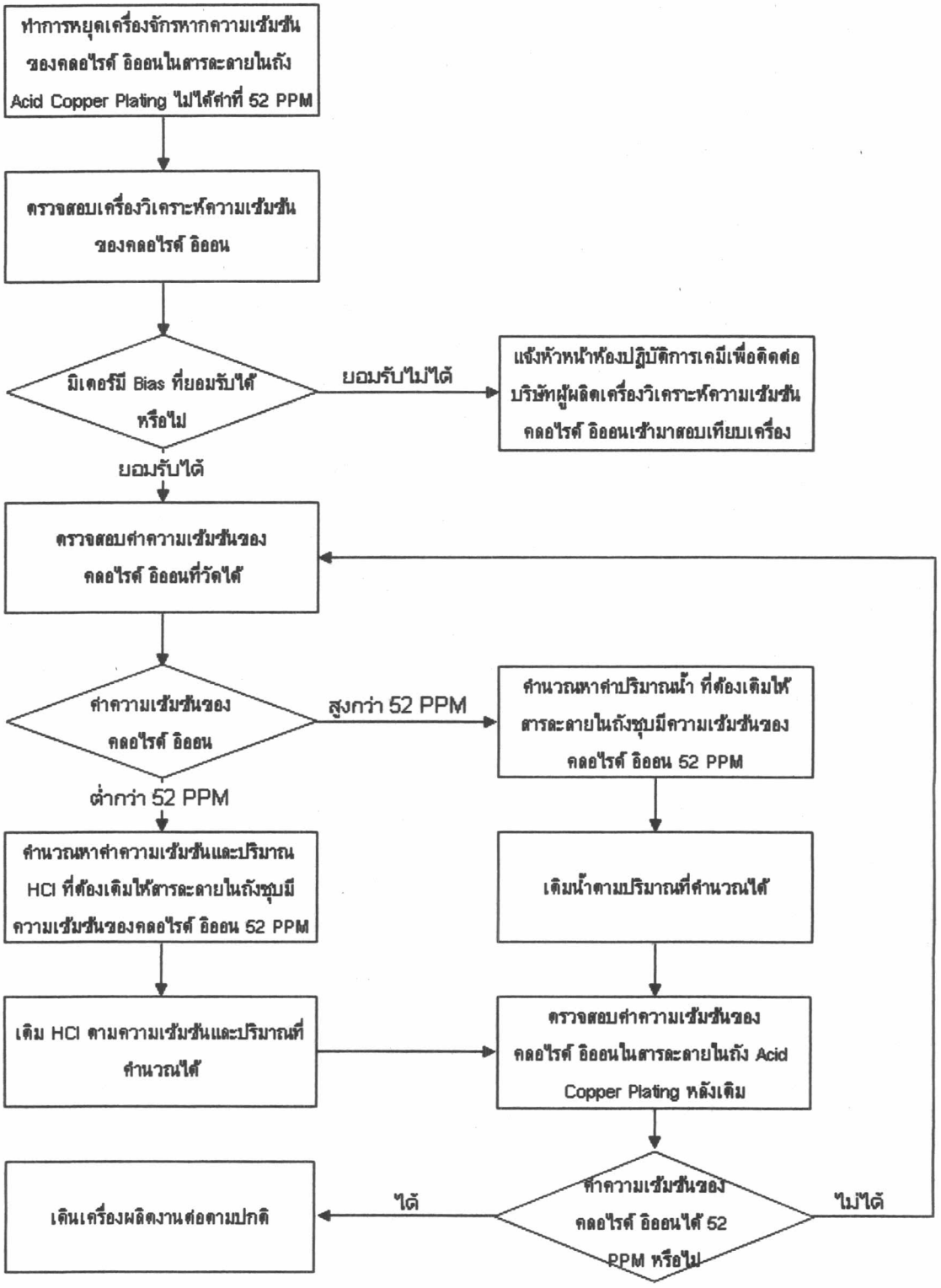


ง) มีจุดอยู่สิบสี่จุดเรียงสลับขึ้นลง รอบเส้นกลาง



รูปที่ 9.5 ลักษณะของข้อมูลที่ออกนอกการควบคุม ก) ค่าเฉลี่ยเปลี่ยนไปอย่างกะทันหัน ข) มีแนวโน้มเคลื่อนขึ้นหรือลง ค) ค่าเฉลี่ยเปลี่ยนไป และ ง) ข้อมูลแกว่งตัวไปมารอบเส้นกลาง

นอกจากนี้ยังได้จัดทำขั้นตอนในการปฏิบัติการแก้ไขหากพบว่าค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออนในสารละลายที่ใช้ในการชุบไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด โดยให้นักเคมีผู้ดูแลกระบวนการหยุดเครื่องจักรนั้นทันที และทำการแก้ไขค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออนในสารละลายที่ใช้ในการชุบให้กลับมาที่ค่าที่กำหนดไว้ตามขั้นตอนที่แสดงดังรูปที่ 9.6 ซึ่งแผนการควบคุมที่กำหนดขึ้นมาใหม่นี้จะบันทึกไว้ในเอกสารที่ใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับข้อแนะนำในการปฏิบัติงานว่าการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า (Electro Copper Plating) เพื่อให้พนักงานประจำกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าปฏิบัติงานเป็นไปในแนวทางเดียวกัน



รูปที่ 9.6 ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออนในสารละลายที่ใช้ในการชุบออกนอกค่าที่กำหนด

9.2.1.5 ความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก

เนื่องจากค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกในสารละลายที่ใช้ในการชุบสามารถที่จะปรับตั้งได้ด้วยการนำสารละลายไปตรวจสอบหาปริมาณความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกด้วยเครื่องวิเคราะห์ความเข้มข้นสารละลายในห้องปฏิบัติการเคมี และสามารถปรับเพิ่มความเข้มข้นด้วยการเติมสารละลายกรดซัลฟุริก หรือลดด้วยการเติมน้ำลงไปในถังชุบตามปริมาณที่เหมาะสมที่คำนวณได้ ซึ่งในปัจจุบันแผนการตรวจสอบค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกในสารละลายที่ใช้ในการชุบจะกระทำโดยให้นักเคมีของห้องปฏิบัติการเคมี และทำการบันทึกผลลงในใบตรวจสอบ แสดงดังรูปที่ 9.1 โดยมีความถี่ 24 ชั่วโมงต่อครั้ง

แผนการควบคุมปัจจัยความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกในสารละลายที่ใช้ในการชุบหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต จะกำหนดค่าของความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกที่ใช้ในการชุบที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองจาก 230 กรัมต่อลิตร เป็น 255 กรัมต่อลิตร ไว้ในเอกสารที่ใช้อ้างอิงเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับข้อแนะนำในการปฏิบัติงาน ว่าด้วยการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า (Electro Copper Plating) และได้เปลี่ยนระยะเวลาหรือความถี่ในการตรวจสอบค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกในสารละลายที่ใช้ในการชุบเป็น 8 ชั่วโมงต่อครั้ง เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่น (จากข้อมูลความแปรปรวนของค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก ดังแสดงในภาคผนวก ซ) โดยการบันทึกผลการตรวจสอบจะบันทึกในใบตรวจสอบดังรูปที่ 9.1

นอกจากนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมแบบ ImR มาใช้ในการตรวจจับและควบคุมปัจจัยดังกล่าวว่าอยู่ในสภาวะตามที่ต้องการหรือไม่ เนื่องจากข้อมูลของปัจจัยทั้งสองเป็นข้อมูลเชิงผันแปร (Variable data) และเป็นแผนควบคุมที่เหมาะกับกระบวนการทางเคมีที่มีการผลิตแบบ Batch หรือกระบวนการทางเคมีที่มีความต่อเนื่อง ซึ่งจะกำหนดแผนการควบคุมกระบวนการโดยอาศัยสถิติของปัจจัยทั้งสองนี้ในคู่มือการปฏิบัติงาน WI (Work Instruction) เพื่อให้พนักงานที่เกี่ยวข้องปฏิบัติงานในทิศทางเดียวกัน โดยรายละเอียดของแผนภูมิควบคุมที่ประยุกต์ใช้มีดังนี้คือ

- ขนาดสิ่งตัวอย่าง

การกำหนดขนาดสิ่งตัวอย่างในการตรวจสอบ จะใช้จำนวนสิ่งตัวอย่าง 1 ตัวอย่าง ต่อการสุ่มวัดต่อช่วงเวลาที่กำหนด

- ความถี่ในการชักสิ่งตัวอย่าง

จากการเก็บข้อมูลในกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่ผ่านมาของปัจจัยความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก พบว่ามีค่าความแปรปรวนที่ค่อนข้างต่ำ การควบคุมค่า

ปัจจัยให้เป็นไปตามต้องการค่อนข้างง่าย และด้วยข้อจำกัดด้านเครื่องมือวัด ดังนั้นจึงกำหนดความถี่ในการชักสิ่งตัวอย่างสำหรับปัจจัยทั้งสองเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมงต่อหนึ่งครั้ง

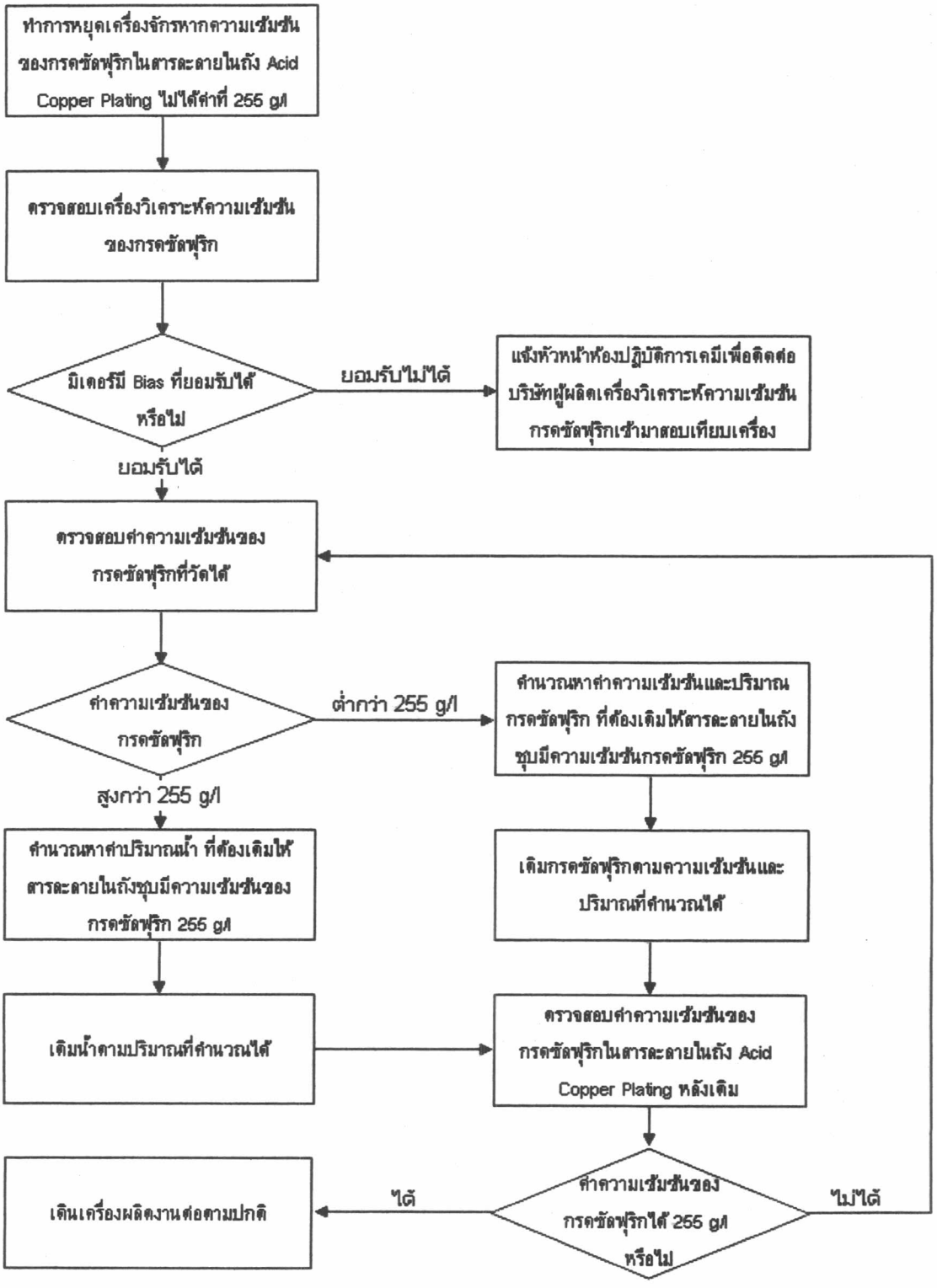
- วิธีการวัด

ให้พนักงานที่เกี่ยวข้องทำการสุ่มน้ำยาชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าจากกระบวนการชุบตามช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้ จากนั้นให้นำน้ำยาตัวอย่างดังกล่าวไปวัดค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก ที่เครื่อง Atomic Absorption Spectrometer

- กฎการตัดสินใจ

กฎในการตัดสินใจเกี่ยวกับลักษณะรูปแบบของข้อมูลในแผนภูมิควบคุมที่บ่งบอกถึงสภาวะของกระบวนการที่ออกนอกการควบคุม จะอ้างอิงกฎในการตัดสินใจ 4 ข้อ เช่นเดียวกันกับการควบคุมปัจจัยความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน ในข้อ 9.2.1.4

นอกจากนี้ยังได้จัดทำขั้นตอนในการปฏิบัติการแก้ไขหากพบว่าค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกในสารละลายที่ใช้ในการชุบไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด โดยให้นักเคมีผู้ดูแลกระบวนการหยุดเครื่องจักรนั้นทันที และทำการแก้ไขค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกในสารละลายที่ใช้ในการชุบให้กลับมาที่ค่าที่กำหนดไว้ตามขั้นตอนที่แสดงดังรูปที่ 9.7 ซึ่งแผนการควบคุมที่กำหนดขึ้นมาใหม่นี้จะบันทึกไว้ในเอกสารที่ใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับข้อแนะนำในการปฏิบัติงานว่าการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า (Electro Copper Plating) เพื่อให้พนักงานประจำกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าปฏิบัติงานเป็นไปในแนวทางเดียวกัน



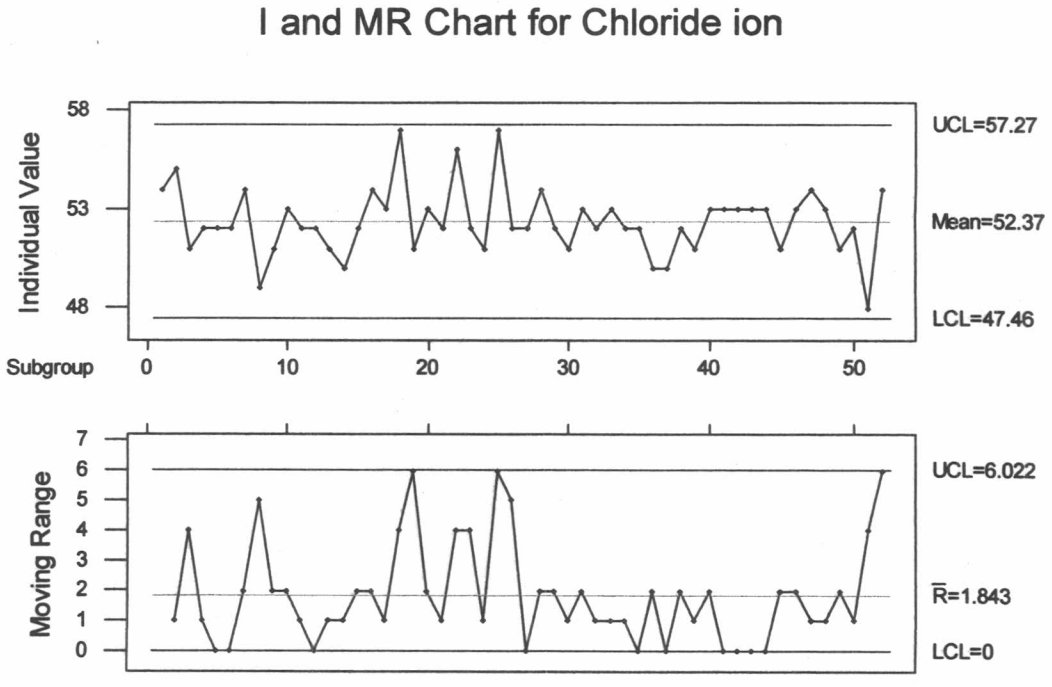
รูปที่ 9.7 ขั้นตอนการแก้ไขเมื่อความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกในสารละลายที่ใช้ในการชุบออกนอกค่าที่กำหนด

9.3 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

หลังจากการกำหนดแผนการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้ง 5 ปัจจัย และนำสภาวะของปัจจัยหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตไปใช้ในสายการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ จากการเก็บข้อมูลในกระบวนการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ภายในเดือนมกราคม 2547 เพื่อพิจารณาผลของการปรับปรุงกระบวนการในระยะยาวทั้งปัจจัยนำเข้าที่สำคัญและตัวแปรตอบสนองที่เป็นเป้าหมาย พบว่าปริมาณของของเสียที่เกิดจากค่าความหนาทองแดงในรู ออกนอกข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้าที่กระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้ายมีค่าลดลงจากเดิม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

9.3.1 ความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน

จากการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตของความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน ตามแผนการควบคุมที่ได้กำหนดไว้ โดยสังเกตจากแผนภูมิควบคุม ImR ซึ่งแสดงดังรูปที่ 9.8 เพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยดังกล่าวอยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่

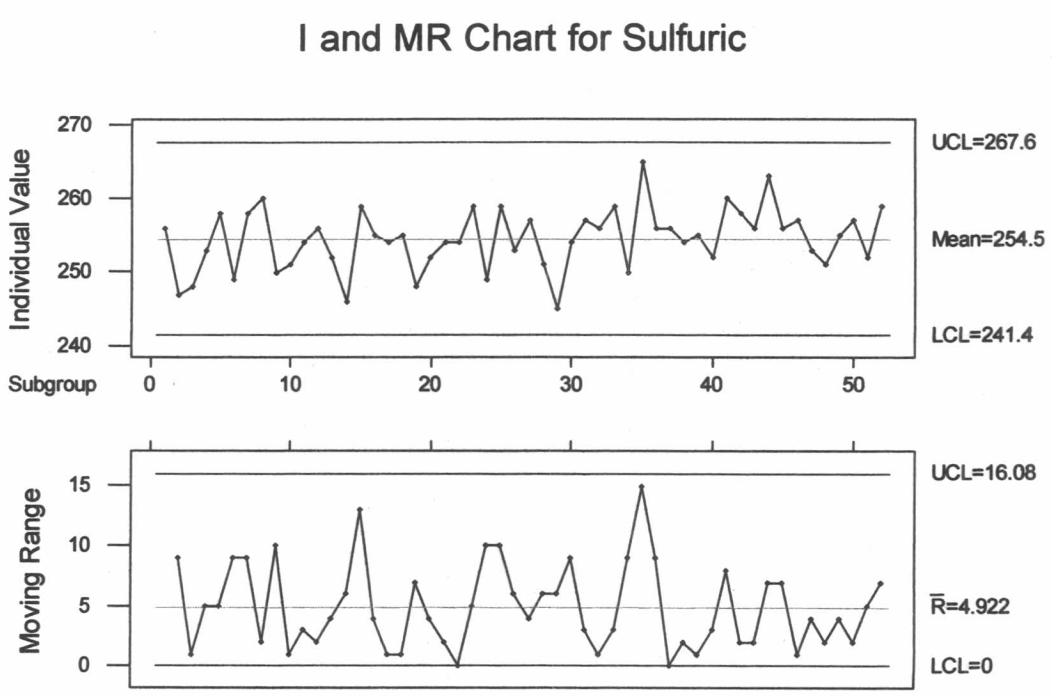


รูปที่ 9.8 แผนภูมิควบคุม ImR สำหรับความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน

จากแผนภูมิควบคุมดังกล่าวจะเห็นได้ว่า กระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ และมีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน อยู่รอบๆ 52.37 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงและเป็นไปตามค่าที่กำหนดไว้คือ 52 PPM

9.3.2 ความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก

จากการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตของความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก ตามแผนการควบคุมที่ได้กำหนดไว้ โดยสังเกตจากแผนภูมิควบคุม ImR ซึ่งแสดงดังรูปที่ 9.9 เพื่อตรวจสอบว่าปัจจัยดังกล่าวอยู่ภายใต้การควบคุมหรือไม่

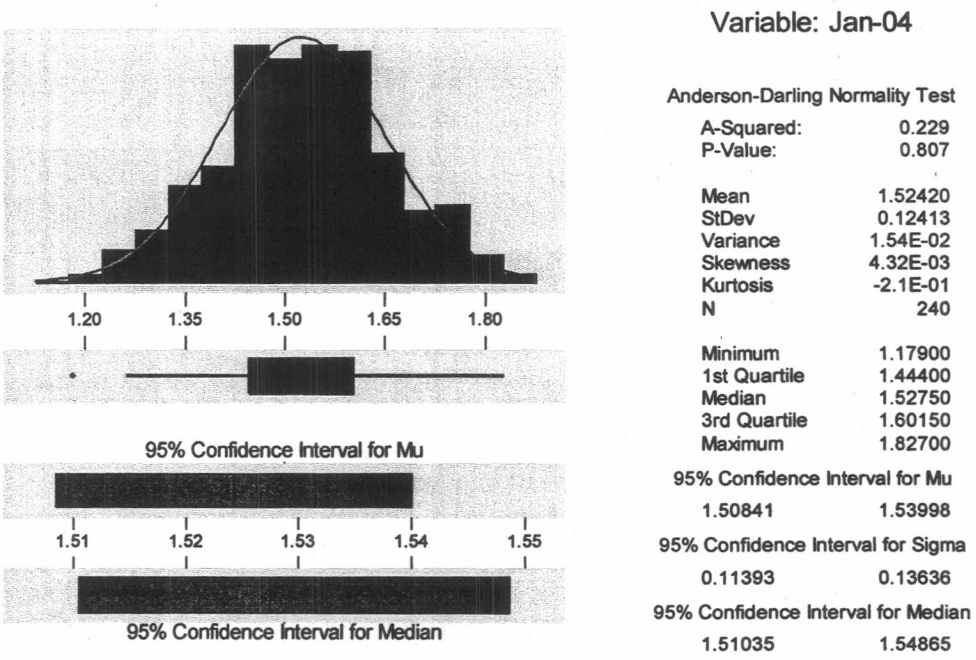


รูปที่ 9.9 แผนภูมิควบคุม ImR สำหรับความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก

จากแผนภูมิควบคุมดังกล่าวจะเห็นได้ว่า กระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ และมีค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก อยู่รอบๆ 254.5 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียง และเป็นไปตามค่าที่กำหนดไว้คือ 255 กรัมต่อลิตร

9.3.3 ค่าความหนาทองแดงในรูหลังการปรับปรุง

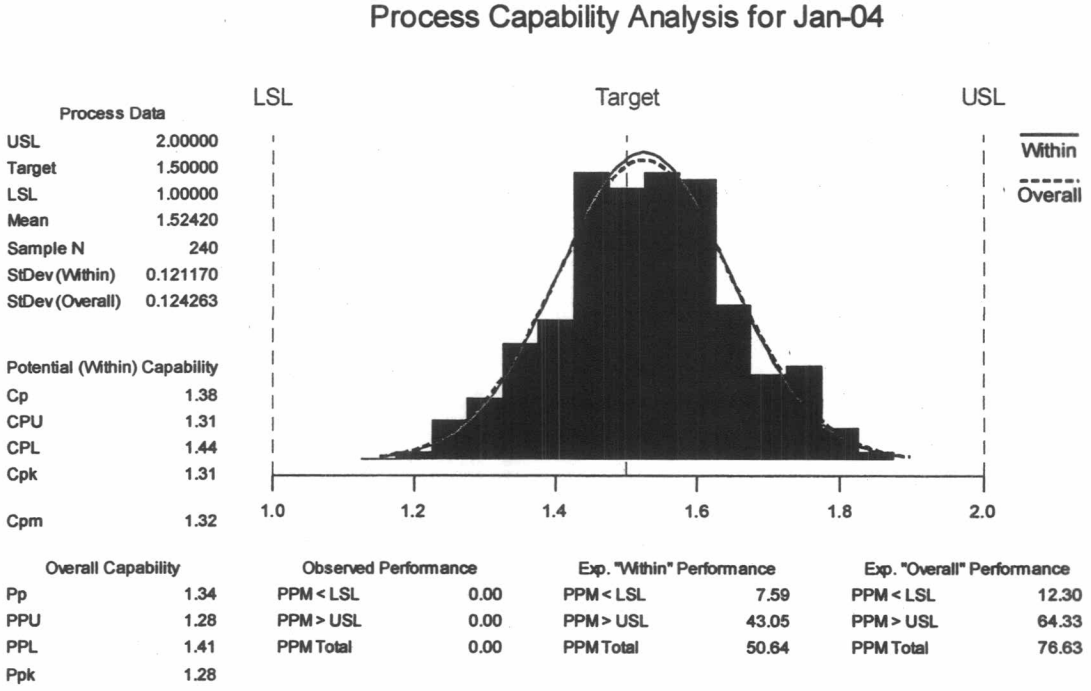
เมื่อทำการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญคือ เวลาที่ใช้ในการจุ่ม (ชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า), กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบ, อุณหภูมิของสารละลาย, ความเข้มข้นของคลอไรด์อิออน และความเข้มข้นของกรดซัลฟุริก ตามค่าที่กำหนดแล้ว ในส่วนของค่าความหนาทองแดงในรูจะทำการพิจารณาในค่าของค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นว่า ค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูในระยะยาวมีค่าอยู่ในช่วงใด แผนการตรวจสอบของค่าความหนาทองแดงในรูในปัจจุบันจะใช้การสุ่มงานเพื่อนำไปวัดค่าความหนาทองแดงในรูที่กระบวนการตรวจสอบขั้นสุดท้าย (Final Inspection) ซึ่งได้ผลการเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุงภายในเดือนมกราคม 2547 แสดงดังรูปที่ 9.10 (ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ช)



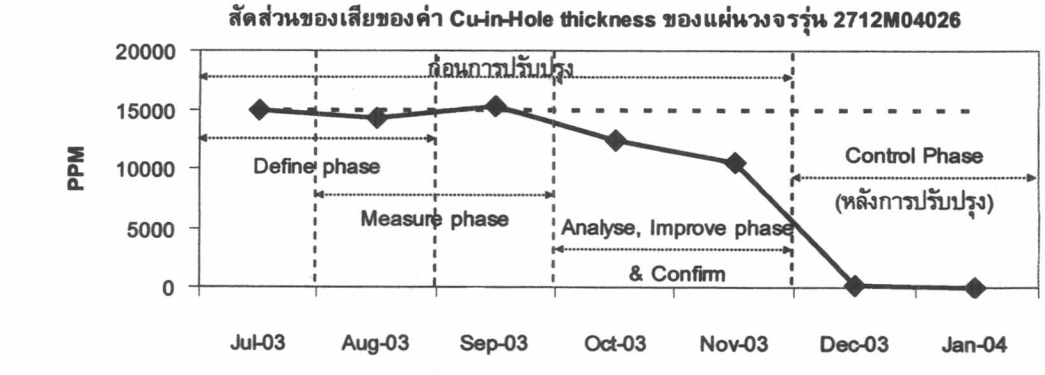
รูปที่ 9.10 การกระจายของค่าความหนาทองแดงในรู

จากแผนภาพในรูปที่ 9.9 การกระจายของค่าความหนาทองแดงในรู มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.52 mils ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายตามข้อกำหนดคือ 1.50 mils และมีค่าความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในรูในรูปของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 0.124 mils ซึ่งข้อมูลดังกล่าวยืนยันให้เห็นว่ากระบวนการหลังการปรับปรุงสามารถที่จะทำให้ค่าเฉลี่ยความหนาทองแดงในรูเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย อีกทั้งกระบวนการควบคุมปัจจัยนำเข้าสำคัญทั้ง 5 ยังสามารถลดค่าความผันแปรของกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าที่มีต่อค่าความหนาทองแดงในรูของชิ้นงานหลังชุบได้

เมื่อวิเคราะห์ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงแก้ไข จะได้ว่าค่าดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการมีค่า 1.28 ซึ่งเป็นค่าที่เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุงกระบวนการ (ที่มีค่าเท่ากับ 0.72 ในเดือนกรกฎาคม 2546) ดังแสดงในรูปที่ 9.11



รูปที่ 9.11 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง



	Jul-03	Aug-03	Sep-03	Oct-03	Nov-03	Dec-03	Jan-04
PPM	14872	14294	15226	12394	10424	87	77
Baseline	14872	14872	14872	14872	14872	14872	14872

รูปที่ 9.12 กราฟเส้นแสดงค่าสัดส่วนของเสียที่เกิดจากค่าความหนาทองแดงในรูไม่ได้ตามข้อกำหนดของแผ่นวงจรพิมพ์รุ่น 2712M04026 ของกระบวนการก่อนและหลังการปรับปรุง

จากการพิจารณาค่าสัดส่วนของเสียของค่าความหนาทองแดงในรูไม่ได้ตามข้อกำหนดที่เกิดขึ้น พบว่าหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่กระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้านี้สามารถที่จะลดค่าสัดส่วนของเสียให้เหลือประมาณ 77 PPM ซึ่งมีค่าที่ลดลงจากเดิมก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต (ที่มีค่า 14,872 PPM) ซึ่งลดลงได้ 99.5% ดังในรูปที่ 9.12 นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงการดำเนินงานก่อนการปรับปรุงคือในช่วงขั้นตอนการวิเคราะห์ และช่วงระหว่างการปรุงกระบวนการ สมาชิกในทีมดำเนินงานได้เห็นแนวโน้มของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งห้าว่ามีนัยสำคัญ ทำให้ส่วนงานผลิตมีการทดลองปรับค่าปัจจัยดังกล่าวได้ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมที่สุดแต่ยังไม่มีการควบคุมและยังไม่รู้ค่าที่เหมาะที่แท้จริง จึงทำให้ของสัดส่วนของเสียของค่าความหนาทองแดงในรูไม่ได้ตามข้อกำหนดมีค่าลดลงจาก Baseline ได้บ้าง ดังจะเห็นได้จากค่าสัดส่วนของเสียในเดือนตุลาคม ถึงเดือนพฤศจิกายน 2546 ที่มีค่าลดลง

จากข้อมูลหลังการปรับปรุงดังกล่าว เมื่อพิจารณาในส่วนของการปรับปรุงกระบวนการโดยพิจารณาในส่วนของความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในรูนั้น พบว่า การปรับปรุงกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าเพื่อให้ขนาดของความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงหลังการชุบมีค่าที่ลดลงจากเดิมนั้น ซึ่งส่วนที่ลดลงได้เป็นความแปรปรวนที่มาจากความแตกต่างระหว่างกลุ่มย่อย (Between Subgroup) หรือระหว่างรุ่น (Batch) ของการชุบ โดยสังเกตได้จากค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยรวม (Standard Deviation Overall) ที่ลดลงจากเดิม โดยก่อนการปรับปรุงกระบวนการมีค่าเท่ากับ 0.138 mils[1] (ความแปรปรวนเท่ากับ 0.0190 $mils^2$) และหลังการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 0.124 mils (ความแปรปรวนเท่ากับ 0.0153 $mils^2$) สามารถทำให้ค่าความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในรูในขั้นตอนการตรวจสอบสุดท้ายก่อนส่งผลิตภัณฑ์ลดลงได้ ซึ่งคิดเป็นความแปรปรวนที่ลดลงได้ 19.47%

9.3.4 ต้นทุนการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไป

ต้นทุนการผลิตที่เปลี่ยนไปจะพิจารณาเฉพาะต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบแผ่นวงจรรุ่น 2712M04026 ได้ดังนี้

จากการชุบแผ่นวงจรพิมพ์ 1 รุ่น (144 แผ่น) เมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าจาก 534 แอมแปร์ และเวลาในการชุบจาก 58 นาที เป็น กระแสไฟฟ้า 553 แอมแปร์และเวลาในการชุบเป็น 59 นาที 39 วินาที จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายของกระแสไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้นอีก 7.2 บาทต่อการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้ากับแผ่นวงจรพิมพ์ 1 รุ่น (Batch) และคิดเป็นต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากค่ากระไฟฟ้าเท่ากับ 0.05 บาทต่อแผ่นวงจรพิมพ์ 1 แผ่น

---

[1] จากข้อมูลความสามารถของกระบวนการในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2546 (รูปที่ 1.5 ในบทที่ 1)

9.3.5 ความสูญเสียที่สามารถลดได้

ในเชิงการจัดการจะพิจารณาผลของการปรับปรุงในรูปของหน่วยวัดทางการเงินที่สามารถประหยัดได้ ดังแสดงในตารางที่ 9.2

ตารางที่ 9.2 แสดงการวิเคราะห์ทางการเงินหลังจากการดำเนินการวิธีซิกซ์ ซิกมา

รายการ	Jul-03	Aug-03	Sep-03	Oct-03	Nov-03	Dec-03	Jan-04	Total
ปริมาณการผลิต (Units)	70,352	48,864	46,488	46,008	47,328	49,368	45,456	353,864
เกณฑ์ของเสียจาก Define phase (Baseline, ppm)	14,872	14,872	14,872	14,872	14,872	14,872	14,872	14,872
ค่าประมาณของข้อบกพร่อง (Forecast Yield, ppm)	14,872	14,294	15,226	12,394	10,424	84	77	9,624
ผลที่ได้รับเทียบกับ Baseline (Gain, ppm)	0	578	-354	2,478	4,448	14,788	14,795	5,248
ผลที่ได้รับเทียบกับ Baseline ในเชิงผลผลิต (Units)	0	28	-16	114	210	730	673	1,739
ต้นทุนของเสียที่ลดลงได้เทียบกับ Baseline (Cost saving, บาท)	0	2,826	-1,645	11,401	21,050	73,005	67,252	173,889
ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเนื่องการค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบ หลังปรับปรุง (บาท)						2,468	2,273	4,741
ต้นทุนที่ลดลงได้หลังการปรับปรุง (Cost saving, บาท)						70,537	64,979	135,517

จากตารางแสดงการวิเคราะห์ผลตอบแทนหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตสามารถลดความสูญเสียเนื่องจากค่าความหนาทองแดงในรูไม่ได้ตามข้อกำหนดในเดือนธันวาคม 2546 และ มกราคม 2547 ได้ทั้งสิ้น 135,517 บาท จากความสูญเสีย 141,022 บาท (เทียบกับ Baseline) และเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการลดความสูญเสียมีค่าเท่ากับ 96.1%ของมูลค่าความสูญเสีย

นอกจากนี้แล้ว การพิจารณาผลตอบแทนหลังการปรับปรุงที่ได้ต่อปี จากการประเมินยอดการสั่งซื้อแผ่นวงจรพิมพ์รุ่นนี้ที่พยากรณ์ไว้ในปี 2547 (เดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม) พบว่ามียอดสั่งซื้อที่พยากรณ์ไว้รวมทั้งสิ้น 584,356 แผ่น จะทำให้ได้รับผลตอบแทนต่อปีเท่ากับ 839,837 บาท คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของการลดความสูญเสียมีค่าเท่ากับ 96.1%

9.3.6 การพิจารณาแหล่งความผันแปรอื่นๆ

นอกจากนี้แล้วพบว่าการที่จะลดค่าความแปรปรวนของกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าให้มีค่าน้อยลงกว่านี้อาจจะต้องนำเอาเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพที่ดีกว่ามาใช้ เนื่องจากการวิเคราะห์ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการหลังการปรับปรุงแล้วพบว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานภายในกลุ่มย่อย (Standard Deviation

within Subgroup) มีค่าเท่ากับ 0.121 mils ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่างกลุ่มย่อย (Standard Deviation between Subgroup) หรือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยรวม (Standard Deviation Overall) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.124 mils นั่นคือค่าความแปรปรวนของค่าความหนาทองแดงในรูที่ได้จากกระบวนการชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้าหลังการปรับปรุง อยู่ในขีดจำกัดของความสามารถสูงสุดของเครื่องจักรแล้ว

ดังนั้นการวิจัยฉบับนี้จึงจะสรุปผลไว้ที่ผลของการปรับปรุงกระบวนการผลิต ที่สามารถจะลดปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นจากค่าความหนาทองแดงในรูลงได้เหลือเพียง 77 PPM (7,700 บาทต่อล้านแผ่น) จาก 14,872 PPM ในเดือนกรกฎาคม 2546 (1,487,200 บาทต่อล้านแผ่น) โดยมีต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 50,000 บาทต่อการผลิตหนึ่งล้านแผ่นหรือ 0.05 บาทต่อชิ้น และประมาณการค่าความสูญเสียจากของเสียดังกล่าวที่ลดลงได้เท่ากับ 1,429,500 บาทต่อการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์รุ่น 2712M04026 หนึ่งล้านแผ่น)

9.4 สรุปผลขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต

ระบบการควบคุมที่นำมาใช้เพื่อตรวจจับและควบคุมให้ปัจจัยอยู่ภายใต้การควบคุมทางสถิติ โดยพิจารณาจากลักษณะของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญแต่ละปัจจัย ผลสรุปเป็นดังนี้คือ

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

9.4.2 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

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

9.4.4 ความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน ในน้ำยาชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า แผนการควบคุมที่กำหนดใช้หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตคือ ทำการเปลี่ยนแปลงค่าที่เหมาะสมของปัจจัยจาก 50 PPM เป็น 52 PPM และควบคุมด้วยแผนควบคุม ImR โดยให้ช่างผู้รับผิดชอบทำการตรวจสอบค่าความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน ที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ให้อยู่ในค่าที่กำหนดทุกๆ 8 ชั่วโมง และใช้ใบตรวจสอบเพื่อบันทึกข้อมูลของความเข้มข้นที่ได้ และได้กำหนดขั้นตอนในการปฏิบัติการแก้ไขหากความเข้มข้นของคลอไรด์ อิออน ที่ใช้ชุบที่ได้ไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด โดยแผนการควบคุมทั้งหมดนี้จะถูกกำหนดไว้ในเอกสารการปฏิบัติงานเกี่ยวกับเครื่องชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

9.4.5 ความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกในน้ำยาชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า แผนการควบคุมที่กำหนดใช้หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตคือ ทำการเปลี่ยนแปลงค่าที่เหมาะสมของปัจจัยจาก 230 กรัมต่อลิตร เป็น 255 กรัมต่อลิตร และควบคุมด้วยแผนควบคุม ImR โดยให้ช่างผู้รับผิดชอบทำการตรวจสอบค่าความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกที่ใช้ในการชุบในถัง Acid Copper Plating ให้อยู่ในค่าที่กำหนดทุกๆ 8 ชั่วโมง และใช้ใบตรวจสอบเพื่อบันทึกข้อมูลความเข้มข้นที่ได้ และได้กำหนดขั้นตอนในการปฏิบัติการแก้ไขหากความเข้มข้นของกรดซัลฟุริกที่ใช้ชุบที่ได้ไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด โดยแผนการควบคุมทั้งหมดนี้จะถูกกำหนดไว้ในเอกสารการปฏิบัติงานเกี่ยวกับเครื่องชุบทองแดงด้วยกระแสไฟฟ้า

9.4.6 เมื่อพิจารณาสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นปริมาณของเสียลดลงจากเดิม โดยในเดือนมกราคม 2547 ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 77 PPM และหากเปรียบเทียบกับค่าของเสียก่อนการปรับปรุงที่ได้จากข้อมูลในเดือน กรกฎาคม 2546 (Baseline) ปริมาณของเสียลดลงจากเดิมประมาณ 14,795 PPM ซึ่งลดลง 99.5% หากทำการวิเคราะห์ผลตอบแทนหลังทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตในรูปของหน่วยวัดทางการเงินสามารถลดความสูญเสียเนื่องจากของเสียได้ทั้งสิ้น 135,517 บาท หรือคิดเป็น 96.1% ของความสูญเสียที่สามารถลดได้