บทที่ 3

อุปกรณ์การทดลองและขั้นตอนการทดลอง

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์การชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโตรไลท์โดยใช้ไฟฟ้า ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์การทดลองที่ใช้ในการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโตรไลท์โดยใช้ไฟฟ้า

3.1.1. ถังชุบ (Tank)

ถังชุบ หมายถึง ถังที่บรรจุน้ำยาที่เกี่ยวข้องกับการชุบเคลือบผิววัสดุด้วยสารละลายอิเล็กโตรไลท์โดยใช้ไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วถังชุบมักจะออกแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดต่าง ๆ ตามลักษณะของชิ้นงานที่ชุบ และที่สำคัญคือวัสดุที่จะนำมาทำถังชุบต้องไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำยาชุบที่บรรจุอยู่ในถัง [11]

ถังชุบในการทดลองประกอบไปด้วย

ก. ถังล้างคราบไขมัน (Degreasing Tank)

เป็นถังที่ใช้ล้างคราบไขมันและคราบสกปรกต่าง ๆ ที่ติดอยู่กับชิ้นงาน ตัวถังทำด้วยเหล็กธรรมดาหุ้มด้วยยางหนาด้านนอกเพื่อช่วยรักษาอุณหภูมิของน้ำยาล้างคราบไขมันให้อยู่ที่อุณหภูมิ 50 - 60 °ซ

ข. ถังกัดผิว (Etching Tank)

เป็นถังที่ใช้สำหรับกัดผิวชิ้นงาน ตัวน้ำยากัดผิวที่ใช้มีจะคุณสมบัติความเป็นด่าง ตัวถังทำด้วยเหล็กธรรมดาหุ้มด้วยยางหนาด้านนอก

ค. ถังล้างคราบดำ (Desmutting Tank)

เป็นถังที่ใช้สำหรับล้างขี้เขม่า หรือคราบดำที่ติดอยู่บนผิวชิ้นงานภายหลังผ่านการกัดผิวมาแล้ว ถังนี้ต้องสามารถทนต่อสภาพน้ำยาล้างคราบดำที่มีคุณสมบัติความเป็นกรดได้ ซึ่งน้ำยาที่ใช้คือ กรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร ตัวถังทำด้วยเหล็กธรรมดาหุ้มด้วยยางหนาด้านนอก 2 ชั้น

ง. ถังอะโนไดซ์ (Anodizing Tank)

ถังนี้นับเป็นถังที่มีความสำคัญมากที่สุดถังหนึ่งในการชุบ ถังอะโนไดซ์ควรออกแบบให้กว้างพอที่จะบรรจุอิเล็กโตรด (electrode) หรือสะพานไฟให้อยู่ตรงกลางตลอดความยาวของถังชุบได้ ถังอะโนไดซ์เป็นถังที่ทำด้วยเหล็กหุ้มด้วยยางหนาด้านนอก 2 ชั้น เพราะเป็นถังที่ต้องทนต่อสภาพน้ำยาชุบที่มีคุณสมบัติความเป็นกรด และกรดที่ใช้คือกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H_2SO_4) นอกจากนี้ตัวถังเองจะต้องสามารถเก็บรักษาความเย็นได้ เพราะน้ำยาชุบในถังต้องถูกควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 18 - 25 °ซ

จ. ถังชุบสี (Electrolytic Colouring Tank)

ถังนี้เป็นถังหลักของการทดลองในงานวิจัยนี้ ตัวถังชุบสีจะออกแบบคล้ายคลึงกับถังอะโนไดซ์กล่าวคือ ออกแบบให้กว้างพอที่จะบรรจุอิเล็กโตรดหรือสะพานไฟให้อยู่ตรงกลางตลอดความยาวของถังได้ ตัวถังทำด้วยเหล็กหุ้มด้วยยางหนาด้านนอก 2 ชั้น เพราะเป็นถังที่ต้องทนต่อสภาพน้ำยาชุบที่มีคุณสมบัติความเป็นกรด ซึ่งกรดที่ใช้คือ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และต้องเก็บรักษาความเย็นได้ดีเช่นเดียวกับถังอะโนไดซ์

ฉ. ถังซีล (Sealing Tank)

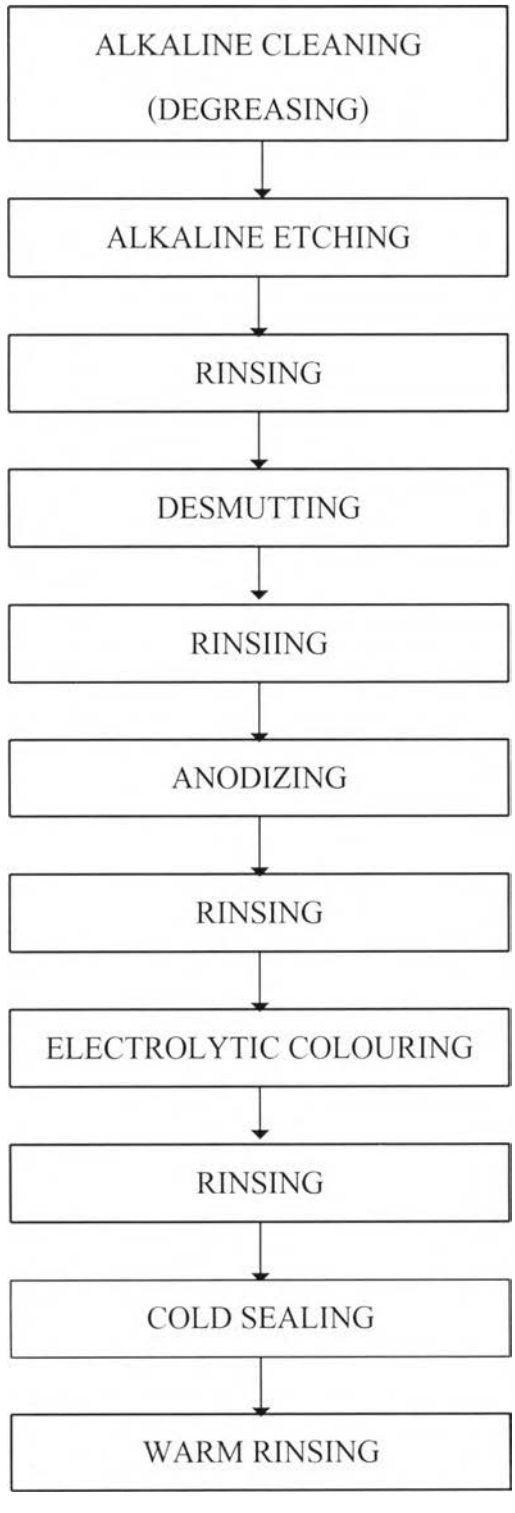
ถังนี้เป็นถังที่บรรจุน้ำยาที่ใช้ในการซีลหรือปิดผนึกผิวของชิ้นงานเพื่อไม่ให้สีที่เกิดจากการชุบหลุดออกมา และเพื่อเพิ่มความคงทนให้กับผิวของชิ้นงาน ตัวถังทำด้วยเหล็กหุ้มด้วยยางหนาด้านนอก และสามารถบรรจุน้ำยาชุบที่ทำงานในอุณหภูมิปกติ (room temperature)

ช. ถังน้ำล้างอุ่น (Warm Rinsing Tank)

ถังนี้ใช้บรรจุน้ำร้อนอุณหภูมิ 50 °ซ เพื่อใช้ทำความสะอาดชิ้นงานที่ผ่านการซีลหรือการปิดผนึกมาแล้ว ตัวถังทำด้วยเหล็กหุ้มด้วยยางหนาด้านนอก

ซ. ถังน้ำล้างเย็น (Rinsing Tank)

ถังนี้ใช้ใส่น้ำธรรมดาสำหรับล้างชิ้นงานที่ผ่านการจุ่มลงในน้ำยาชุบในถังต่าง ๆ (ดังแสดงในรูปที่ 3.2) ตัวถังทำด้วยเหล็กธรรมดา ควบคุมการทำงานที่อุณหภูมิปกติ



รูปที่ 3.2 การใช้งานของถังน้ำล้าง

3.1.2. อิเล็กโตรด (Electrode)

อิเล็กโตรดหรือสะพานไฟจะบรรจุอยู่ตรงกลางตลอดความยาวของถังชุบ ตัวอิเล็กโตรดทำด้วยเหล็กไร้สนิม รูปร่างของอิเล็กโตรดมีหลายแบบ เช่น เป็นแผ่นยาว เป็นแบบลูกฟูก (ย่น) เป็นแผ่นมุมฉาก หรือเป็นท่อ เป็นต้น [5] การทำให้กำลังการเคลือบผิว (Throwing Power) เกิดขึ้นได้ดี จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดให้อิเล็กโตรดมีขนาดเท่ากันทุกชิ้นและวางอิเล็กโตรดแต่ละชิ้นให้มีระยะห่างเท่ากันตลอดแนวความยาวของถังชุบ [14]

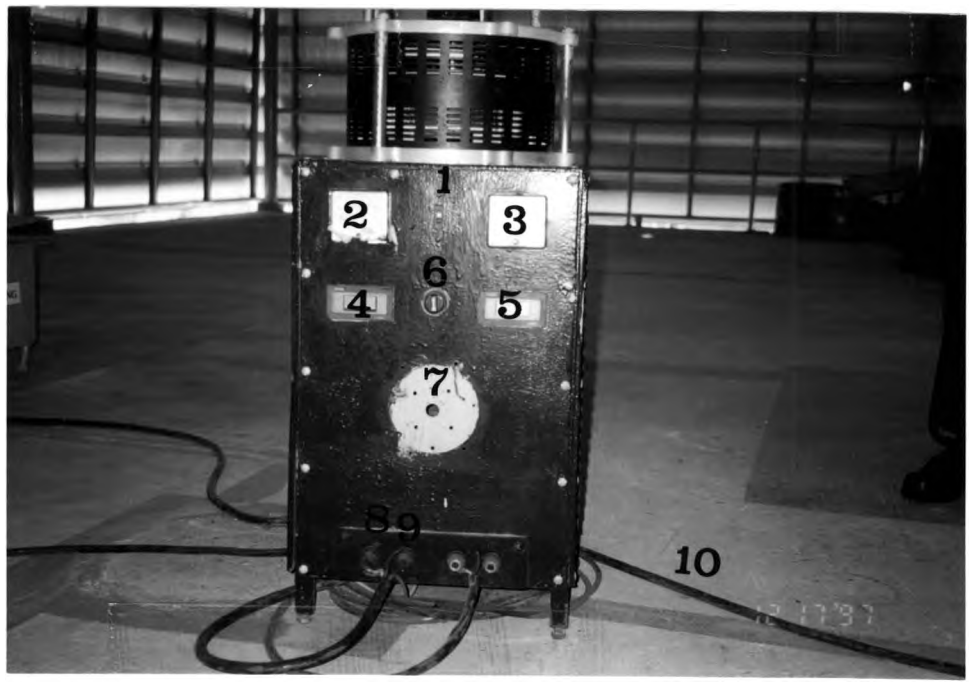
อิเล็กโตรดควรถูกออกแบบให้มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวของอิเล็กโตรดต่อพื้นที่ผิวของชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียมเท่ากับ 1:1 เพื่อจะทำให้เกิดสีบนชิ้นงานทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ [14] นอกจากนี้ควรออกแบบให้อิเล็กโตรดมีความสูงมากกว่าตัวโหลดหรือชิ้นงาน และให้เหมาะสมกับทางเดินของกระแสไฟฟ้า

3.1.3. ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Power Supply)

ก. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier)

ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าสลับที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ

ขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามักจะกำหนดเป็นจำนวนกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องจะจ่ายออกมาได้ ในการเลือกขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงลักษณะและขนาดของชิ้นงานที่จะชุบเป็นสำคัญ [5, 11] เพราะถ้าเลือกไม่เหมาะสม เช่น ขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายโดยใช่เหตุ และยังควบคุมปริมาณไฟฟ้าได้ไม่ละเอียดอีกด้วย แต่ถ้าเล็กเกินไปจะทำให้การชุบไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร ตัวอย่างของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier)*

1 = สวิทซ์ปิด - เปิดเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

2 = โวลท์มิเตอร์ของไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C.)

3 = โวลท์มิเตอร์ของไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.)

4 = จอแสดงค่าแอมแปร์ของไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C.)

5 = จอแสดงค่าแอมแปร์ของไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.)

6 = สวิทซ์ปิด - เปิดเลือกการทำงานเป็นแบบ A.C. หรือ D.C.

7 = ปุ่มปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้า

8 = ขั้วบวก (+) ของไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.)

9 = ขั้วลบ (-) ของไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.)

10 = ปลั๊กหรือเต้าเสียบ (ต่อเข้ากับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์)

หมายเหตุ * เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าดังรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างขึ้นเองที่บริษัทไทย เม็ททอล จำกัด

วิธีใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

1. ตรวจดูสวิทซ์ปิด - เปิดที่ปุ่มหมายเลข (1) ว่าสวิทซ์ดังกล่าวอยู่ในตำแหน่งปิด (OFF) หรือไม่ ถ้าไม่อยู่ในตำแหน่งปิดให้กดสวิทซ์มาที่ตำแหน่งปิดเสียก่อน จากนั้นจึงทำการปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปรุ่มปรับโวลท์หมายเลข (7) ให้มาอยู่ในตำแหน่งต่ำสุด

2. ต่อสายไฟฟ้าที่มีสายไฟย่อยอยู่ 2 เส้นกล่าวคือ ต่อสายไฟเส้นสีน้ำเงินเข้าที่ขั้วบวก (+) ของไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.) ที่ปุ่มหมายเลข (8) และต่อสายไฟเส้นสีขาวเข้าที่ขั้วลบ (-) ของไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.) ที่ปุ่มหมายเลข (9)

3. ต่อปลายที่เหลืออีกด้านหนึ่งของสายไฟเส้นสีน้ำเงินและสายไฟเส้นสีขาวเข้ากับแผ่นตัวล่อ (สะพานไฟ) ในถังชุบ จากนั้นต่อสายไฟที่ใช้เป็นสายดิน (สายไฟเส้นสีดำ) เข้ากับราวโลหะที่วางบนถังชุบ (ส่วนสายไฟที่ใช้เสียบเข้ากับชิ้นงานจะมีขั้วสีดำ)

4. เสียบปลั๊กหรือเต้าเสียบหมายเลข (10) เข้ากับช่องเสียบปลั๊กหรือเต้ารับของไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลท์

5. ปรับสวิทซ์ปิด - เปิดที่ใช้สำหรับเลือกการทำงานว่าจะเป็นแบบ A.C. หรือ D.C. ที่ปุ่มหมายเลข (6) สำหรับการทำอะโนไดซ์จะเลือกการทำงานเป็นแบบ D.C. ส่วนการชุบสีจะเลือกการทำงานเป็นแบบ A.C.

6. จุ่มชิ้นงานลงในถังชุบโดยให้ผิวหน้าส่วนกว้างของชิ้นงานขนานไปกับแผ่นตัวล่อหรือสะพานไฟ โดยใช้คลิปหนีบจับชิ้นงานให้แน่น (ถ้าคลิปหนีบจับชิ้นงานไม่แน่นจะส่งผลทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเข้าได้ไม่ดีหรือเข้าไม่ได้ อันจะส่งผลกระทบต่อการเกิดฟิล์มขึ้นบนชิ้นงาน)

7. จากนั้นเปิดสวิทซ์ (ON) ที่สวิทซ์ปิด - เปิดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าที่ปุ่มหมายเลข (1)

8. การทดลองครั้งนี้จะควบคุมความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแทนการใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้า เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่า [10] ดังนั้นขณะทำการชุบไม่ต้องสนใจว่าจะปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้ากี่โวลท์ แต่ให้หมุนปุ่มปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ปุ่มหมายเลข (7) ไปเรื่อย ๆ ซึ่งจะทำให้เข็มแอมแปร์ขึ้นตามจนกระทั่งเข็มแอมแปร์ไปหยุดอยู่ที่ 1.2 แอมแปร์/ดม^2 (ควบคุมความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 1.2 - 1.5 แอมแปร์/ดม^2) จึงหยุดหมุน

ข. ทางเดินของกระแสไฟฟ้า (Busbar)

ทางเดินของกระแสไฟฟ้า หมายถึง โลหะที่ใช้เป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าไปยังถังชุบ และพบว่าโลหะทองแดงและโลหะอะลูมิเนียมเหมาะสมที่จะนำมาทำเป็นทางเดินของกระแสไฟฟ้าสำหรับงานชุบมากที่สุด ลักษณะของทางเดินกระแสไฟฟ้าที่ดี คือ ควรมีรูปหน้าตัดเป็นลักษณะของสี่เหลี่ยมผืนผ้าแคบ ๆ หรือเป็นแผ่นแบน ๆ ซึ่งจะทำให้สามารถนำไฟฟ้าและระบายความร้อนได้ดีกว่าทางเดินของกระแสไฟฟ้าที่มีรูปหน้าตัดเป็นลักษณะของสี่เหลี่ยมจตุรัส หากต้องมีการต่อทางเดินกระแสไฟฟ้าควรทำให้หน้าสัมผัสสะอาดและเรียบ แล้วจึงใช้แผ่นโลหะอัดประกบเข้าหากันพร้อมทั้งเชื่อมติดกันให้เรียบร้อย [5, 11]

3.1.4. เครื่องกวนน้ำยา (Solution Agitation)

การกวนน้ำยาเป็นสิ่งจำเป็น เพราะจะทำให้น้ำยาชุบที่อยู่ในถังผสมเข้ากันได้ดีและมีองค์ประกอบของน้ำยาเหมือนกันหมดในทุก ๆ ส่วนของถัง และยังช่วยให้กำลังการเคลือบผิวดีอีกด้วย [11] อย่างไรก็ตามการกวนน้ำยาชุบทิน (Tin) นี้ควรใช้เวลาสั้นที่สุด [13, 14, 15] ทั้งนี้เนื่องจากความไม่เสถียรของตัวทินเอง สำหรับการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องเป่าลมในการกวนน้ำยา

3.1.5. ระบบทำความเย็น (Cooling System)

เนื่องจากน้ำยาชุบอะโนไดซ์และน้ำยาชุบสีจะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ๆ ดังนั้นระบบทำความเย็นสำหรับควบคุมอุณหภูมิน้ำยาชุบจึงมีความจำเป็น ระบบทำความเย็นที่ใช้ในการทดลองได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4 ซึ่งเป็นชุดอุปกรณ์ที่จัดทำขึ้นที่บริษัท ไทยเม็ททอล จำกัด ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักดังนี้ เครื่องอัดความดัน (Compressor) คอยล์ร้อน (Condenser) และคอยล์เย็น (Evaporator)

(หมายเหตุ คอยล์เย็นจะถูกวางไว้ในถังชุบและไม่ได้แสดงในรูป)

รูปที่ 3.4 ระบบทำความเย็นที่ใช้ในการทดลอง

หมายเหตุ

น้ำยาชุบหรือน้ำยาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในการชุบ เมื่อผ่านการใช้งานสักระยะหนึ่ง จะมีพวกสารแขวนลอย เศษผง และสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่เป็นของแข็งเกิดขึ้น จึงจำเป็นต้องกรองเอาสิ่งเหล่านี้ออกจากน้ำยาด้วยเครื่องกรองน้ำยา เพราะสิ่งสกปรกเหล่านี้จะทำให้ผิวของชิ้นงานที่ชุบมีลักษณะหยาบ และอาจนำผลเสียอื่น ๆ ตามมา [5, 11] การกรองน้ำยาในที่นี้จะหมายถึง การกรองเพื่อแยกเอาอนุภาคที่เป็นของแข็งออกจากน้ำยาชุบ แล้วจึงนำน้ำยาชุบที่ผ่านการกรองแล้วกลับมาใช้ใหม่ สำหรับการทดลองในงานวิจัยครั้งนี้ไม่ได้ใช้เครื่องกรองน้ำยาทั้งนี้เพราะปริมาณของน้ำยาชุบในแต่ละถังมีไม่มากประกอบกับมีการปรับเติมน้ำยาใหม่อย่างต่อเนื่อง

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 การทดลองชุบสีดำบนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียมด้วยน้ำยาชุบทิน (Tin) โดยใช้วิธีการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโตรไลท์โดยใช้ไฟฟ้าที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน พร้อมประเมินคุณภาพสีที่ชุบได้

ส่วนที่ 2 ศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของทินสำหรับการชุบสีดำบนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียมโดยใช้วิธีการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโตรไลท์โดยใช้ไฟฟ้าพร้อมประเมินคุณภาพสีที่ชุบได้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ถังใส่น้ำยาชุบขนาด 19.5 ซม. x 33.5 ซม. x 30 ซม. จำนวน 11 ถัง
2. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier)
3. ชิ้นงานและตัวล่อ (หรือเรียกว่าขั้วบวกและขั้วลบ)
4. สายไฟสำหรับต่อจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าไปยังเซลล์ไฟฟ้าและอิเล็กโตรด (electrode) หรือสะพานไฟ
5. ระบบทำความเย็น
6. อุปกรณ์ทำความร้อน (Heater)
7. เครื่องเป่าลมกวน
8. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
9. นาฬิกาจับเวลา

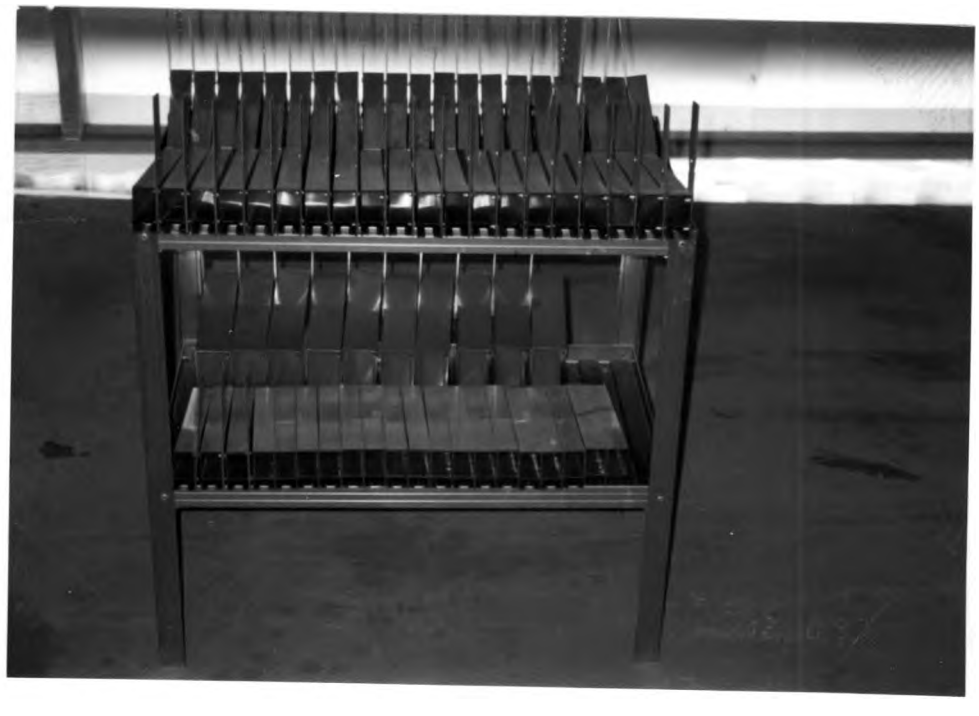
อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมี

1. ปิเปตขนาด 10 มล.
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มล.
3. บิวเรตขนาด 50 มล.
4. ลูกยางสำหรับใช้ดูดปิเปต
5. บีกเกอร์

การเตรียมชิ้นงานสำหรับการชุบ

การเตรียมชิ้นงานสำหรับการชุบทำได้ดังต่อไปนี้

1. เตรียมอะลูมิเนียมที่มีรูปตัดขวางตามที่ต้องการ (รูปตัดขวางของชิ้นงาน)
2. นำอะลูมิเนียมมาตัดที่ความยาวประมาณ 8 นิ้ว (หรือให้ยาวพอจะลงชุบในถังน้ำยาชุบได้)
3. เตรียมอะลูมิเนียมแผ่นแบนสำหรับทำเป็นสื่อไฟฟ้า
4. นำอะลูมิเนียมที่เตรียมไว้พร้อมด้วยอะลูมิเนียมแผ่นแบนมาเจาะรูด้วยสว่านและยิงด้วยรีเวท จะได้ชิ้นงานดังตัวอย่างในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ชิ้นงานที่เตรียมไว้สำหรับการทดลอง

ขั้นตอนในการชุบชิ้นงาน

(สภาวะการทดลองได้สรุปไว้ในตารางที่ 3.3)

1. ขั้นการทำความสะอาดชิ้นงานก่อนชุบ (Cleaning)

1.1 นำชิ้นงานที่เตรียมไว้จุ่มลงในถังล้างคราบไขมัน (Degreasing Tank) ดังรูปที่ 3.6 โดยควบคุมอุณหภูมิของน้ำยาล้างคราบไขมันให้อยู่ที่ 50 - 60 ^{o}ซ (ใช้อุปกรณ์ทำความร้อนในการให้ความร้อน) ใช้เวลาจุ่มนาน 5 นาที

1.2 นำชิ้นงานภายหลังจากผ่านการล้างคราบไขมันแล้วลงจุ่มในถังกัดผิว (Etching Tank) ดังรูปที่ 3.7 โดยควบคุมอุณหภูมิของน้ำยาชุบให้อยู่ที่ 50 - 60 ^{o}ซ ใช้เวลาจุ่มนาน 10 นาที

ข้อควรปฏิบัติ น้ำยากัดผิวควรกวนผสมให้เข้ากันได้ดีเสียก่อนเพื่อให้ปฏิกิริยาการกัดผิวทำได้อย่างสมบูรณ์

1.3 ภายหลังผ่านการกัดผิวแล้วให้นำชิ้นงานที่ได้ลงจุ่มล้างน้ำสะอาดทันทีในถังล้าง (Rinsing Tank) ควรทำให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้เพราะเมื่อชิ้นงานผ่านการกัดผิวจะเกิดขี้เขม่า (smut) หรือคราบดำเกาะติดอยู่บนชิ้นงาน ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการจุ่มล้างน้ำทันทีนั่นเอง ใช้เวลาจุ่มนานประมาณ 5 นาที

1.4 เมื่อครบ 5 นาทีแล้วยกขึ้น จะสังเกตเห็นได้ว่ายังมีขี้เขม่าหรือคราบดำหลงเหลืออยู่อีก ดังนั้นให้นำชิ้นงานลงจุ่มในถังล้างคราบดำ (Desmutting Tank) ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งทำที่อุณหภูมิห้อง ใช้เวลาจุ่มนานประมาณ 5 - 7 นาที

1.5 จากนั้นนำชิ้นงานลงล้างน้ำในถังล้างให้สะอาดโดยใช้เวลาจุ่มนาน 1 - 2 นาที

ข้อควรปฏิบัติ สำหรับขั้นตอนนี้ ต้องล้างชิ้นงานด้วยน้ำให้สะอาดหมดจด ก่อนที่จะนำชิ้นงานไปทำการอะโนไดซ์

2.ขั้นการทำอะโนไดซ์ (Anodizing)

2.1 เตรียมภาวะของการทำอะโนไดซ์ดังนี้

กรดซัลฟิวริก (Sulphuric Acid (H_2SO_4))	:	180	g/l
อุณหภูมิ	:	18 - 20	^{o}C
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	:	1.2 - 1.5	A/dm^2
แรงเคลื่อนไฟฟ้า	:	12 - 17	volt
เวลา	:	20	min.

2.2 นำชิ้นงานลงจุ่มในถังอะโนไดซ์ (Anodizing Tank) ดังรูปที่ 3.9 โดยใช้ภาวะการทำงานดังข้อ 2.1 หลังผ่านการทำอะโนไดซ์เรียบร้อยแล้วให้นำชิ้นงานลงจุ่มล้างน้ำในถังล้างโดยทันที ใช้เวลาจุ่มนานประมาณ 3 - 4 นาที

ข้อควรปฏิบัติ เมื่อใช้เวลาครบ 20 นาทีในการทำอะโนไดซ์แล้วต้องปิดเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าทันที เพื่อหยุดการให้กระแสไฟฟ้า

3. ขั้นการชุบสี (Electrolytic Colouring)

สำหรับขั้นการชุบสีเป็นขั้นการทดลองหลักในงานวิจัยนี้ ดังนั้นวิธีการทดลองตลอดจนการควบคุมภาวะจะทำโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 การทดลองชุบสีดำบนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียมด้วยน้ำยาชุบทิน (Tin) โดยใช้วิธีการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโตรไลท์โดยใช้ไฟฟ้าที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน พร้อมประเมินคุณภาพสีที่ชุบได้

ก. ควบคุมปริมาณน้ำยาชุบในถังชุบสีดังนี้ (การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของน้ำยาชุบสามารถดูได้ในภาคผนวก ข)

ทินซัลเฟต (Tin Sulphate)	:	12 - 17	g/l
สารเพิ่มความเสถียร (Stabilizer)	:	2 - 5	% โดยปริมาตร
กรดซัลฟิวริก (Sulphuric Acid)	:	15 - 20	g/l

ข. นำชิ้นงานที่ผ่านการอะโนไดซ์และผ่านการล้างน้ำเรียบร้อยแล้วจุ่มลงในถังชุบสีดังรูปที่ 3.10 โดยกำหนดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 0.2 - 0.3 A/dm^2 (หรือค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าประมาณ 10 โวลท์) ทำการทดลองชุบสีโดยใช้อุณหภูมิของน้ำยาชุบอยู่ที่ 16 °ซ ใช้เวลาชุบสีนาน 6 นาที

ค. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้วให้นำชิ้นงานจุ่มล้างน้ำให้สะอาด ใช้เวลาจุ่มนานประมาณ 1 - 2 นาที

ง. ทำการซีลหรือปิดผนึกผิวโดยการนำชิ้นงานจุ่มลงในถังซีล (Sealing Tank) ดังรูปที่ 3.11 ใช้เวลาในการซีลนาน 12 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

จ.หลังผ่านการซีลเรียบร้อยแล้วให้นำชิ้นงานจุ่มลงในถังน้ำล้างอุ่น (Warm Rinsing Tank) ควบคุมอุณหภูมิของน้ำอุ่นที่ 50 - 60 °ซ ใช้เวลานาน 5 นาที

ฉ. จากนั้นให้นำชิ้นงานไปผึ่งให้แห้ง

ช. ทำการประเมินคุณภาพสีที่ชุบได้ด้วยการวัดสี (Colour Measurement)

ทำการทดลองตามข้อ ข. - ช. ซ้ำโดยเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำยาชุบให้อยู่ที่ 18, 20, 22, และ 24 °ซ ตามลำดับ และที่ทุกอุณหภูมิจะใช้เวลาชุบนาน 6, 8, 10, 12 และ 14 นาที (จำนวนการทดลองทั้งหมดแสดงอยู่ในตารางที่ 3.1)

รูปที่ 3.6 ขั้นการล้างคราบไขมัน (Degreasing)

รูปที่ 3.7 ขั้นการกัดผิว (Etching)

รูปที่ 3.8 ขั้นการล้างขี้เขม่าหรือล้างคราบดำ (Desmutting)

รูปที่ 3.9 ขั้นการทำอะโนไดซ์ (Anodizing)

รูปที่ 3.10 ขั้นการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโตรไลท์โดยใช้ไฟฟ้า

(Electrolytic Colouring)

รูปที่ 3.11 ขั้นการซีลหรือการปิดผนึกผิว (Sealing)

ส่วนที่ 2 ศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของทินสำหรับการชุบสีดำบนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียมโดยใช้วิธีการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโตรไลท์โดยใช้ไฟฟ้าพร้อมประเมินคุณภาพสีที่ชุบได้

ก. จัดเตรียมน้ำยาชุบในถังชุบสีให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นตามมาตรฐานที่กำหนด (คือให้เป็นไปตามสูตรดังข้อ ก ของการทดลองส่วนที่ 1)

ข. วิเคราะห์และบันทึกความเข้มข้นของน้ำยาชุบ

ค. นำชิ้นงานที่ผ่านการอะโนไดซ์ลงจุ่มในถังชุบสี (Electrolytic Colouring Tank) ทั้งนี้ให้ควบคุมอุณหภูมิของน้ำยาชุบอยู่ที่ 16 °ซ และใช้เวลาชุบสี 10 นาที

ง. ทำการซีลโดยการนำชิ้นงานจุ่มลงในถังซีล ใช้เวลาในการซีล 12 นาที

จ. นำชิ้นงานลงจุ่มในถังน้ำล้างอุ่น ควบคุมอุณหภูมิในถังน้ำอุ่นที่ 50 - 60 °ซ ใช้เวลานาน 5 นาที

ฉ. นำชิ้นงานไปผึ่งให้แห้ง และทำการประเมินคุณภาพที่ชุบ

ช. ทำการทดลองตามข้อ ข. - ฉ. ซ้ำอีก 9 ครั้ง โดยใช้ความเข้มข้นของน้ำยาชุบสีที่มีอยู่ในถังที่เหลือจากการทดลองครั้งก่อน (ไม่ต้องปรับความเข้มข้น)

ซ. ทำการทดลองตามข้อ ก. - ช. ซ้ำโดยเปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำยาชุบให้อยู่ที่ 18, 20, 22, และ 24°ซ ตามลำดับ (จำนวนการทดลองทั้งหมดแสดงอยู่ในตารางที่ 3.2)

3.3 การวัดสี (Colour Measurement)

การดูสีที่เกิดขึ้นสามารถทำได้ในหลายลักษณะ อาทิ การใช้การตรวจวัดโดยเครื่อง Spectrophotometer [1, 2] ค่าการตรวจวัดที่ได้จะให้ผลลัพธ์ที่ละเอียด แม่นยำและแน่นอน แต่ข้อจำกัดคืออุปกรณ์มีราคาที่ค่อนข้างสูงมาก ในทางปฏิบัติจริงสำหรับการตรวจวัดความเข้มของระดับสีทำโดยเปรียบเทียบด้วยตาเปล่า และอาศัยประสบการณ์ความชำนาญในการดูสีที่ปรากฏขึ้น ซึ่งในแต่ละบริษัทผู้ดำเนินการชุบสีจะมีมาตรฐานการกำหนดขอบเขตความคลาดเคลื่อนของสีที่จะยอมรับ และการตรวจวัดความเข้มของระดับสีที่แตกต่างกันออกไป ในการเปรียบเทียบสีบนชิ้นงานกับสีตัวอย่างให้นำไปวางไว้ในตำแหน่งที่กำหนดไว้เฉพาะเพื่อใช้ดูสี (ในการทดลองครั้งนี้วางชิ้นงานบนโต๊ะที่มีผ้าสีขาวคลุมรอบโต๊ะ) สำหรับแสงที่ใช้ทดสอบให้ทำในที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ ถ้าจำเป็นอาจใช้แสงไฟช่วยก็ได้ แต่ความเข้มของแสงรวมกันแล้วจะต้องเท่ากับความสว่างภายในห้อง ไม่ควรตรวจสอบสีกลางแสงแดดเพราะจะทำให้การดูสีผิดพลาดได้ ถ้าใช้แสงไฟให้วางชิ้นงานและสีตัวอย่างห่างจากต้นกำเนิดแสงในระยะเท่ากัน แล้วจึงตรวจดูสีที่ชุบได้โดยเปรียบเทียบสีของชิ้นงานกับสีตัวอย่าง (เพื่อเพิ่มความมั่นใจในการเปรียบเทียบสี ควรดูสีชิ้นงานหลาย ๆ จุดซึ่งอาจทำได้โดยการหมุนชิ้นงานและสีตัวอย่างไปรอบ ๆ เพื่อให้แสงตกกระทบลงบนชิ้นงานและสีตัวอย่างสม่ำเสมอทุกจุด) แต่ถ้าหากเป็นการเปรียบเทียบสีในการผลิตจริง จะนำสีตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่แขวนอยู่บนขอแขวนชิ้นงานแล้วจึงตรวจดูสีที่ชุบได้ สำหรับบริษัท ไทยเม็ททอล จำกัด มีเกณฑ์การวัดระดับความเข้มของสีโดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

เมื่อใช้ทินเป็นอิเล็กโตรไลท์

สามารถทำการชุบสีโดยควบคุมภาวะต่าง ๆ ให้เหมาะสม และกำหนดเวลาเป็นหลักในการทำให้ได้สีที่แตกต่างกันออกไปกล่าวคือ

Light bronze (Code 512)	ใช้เวลาประมาณ	1 - 2 นาที
Medium bronze (Code 514)	ใช้เวลาประมาณ	2 - 3 นาที
Dark bronze (Code 517)	ใช้เวลาประมาณ	3 - 4 นาที
Black (Code 519)	ใช้เวลาประมาณ	6 - 14 นาที

งานวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาถึงการเกิดขึ้นของสีดำ (Black) เป็นหลักพร้อมทั้งได้กำหนดระดับความเข้มของสีดำไว้ดังรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 ระดับความเข้มของสีดำ

ระดับความเข้มสีดำที่ 5	ได้สีดำตามมาตรฐานกำหนด (Code 519)
ระดับความเข้มสีดำที่ 4	ได้สีดำต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดพอประมาณ
ระดับความเข้มสีดำที่ 3	ได้สีดำต่ำกว่ามาตรฐานกำหนดมาก
ระดับความเข้มสีดำที่ 2	พบฝุ่นแป้งน้อย - ปานกลาง
ระดับความเข้มสีดำที่ 1	พบฝุ่นแป้งปริมาณมาก

3.4 ข้อควรระวังในขั้นตอนการชุบสี

สิ่งที่ต้องระมัดระวังมากในการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับการชุบ คือ อันตรายอันเกิดจากสารเคมีในน้ำยาชุบ ดังนั้นผู้ทดลองควรสวมเสื้อคลุมทับเสื้อผ้าที่ใส่ตามปกติ เพื่อป้องกันสารเคมีที่เป็นพิษหรือมีฤทธิ์กัดกร่อนที่รุนแรง เช่น กรด ซึ่งอาจจะกระเด็นมาถูกได้ นอกจากนี้ควรสวมถุงมือและแว่นตานิรภัยในการทดลองด้วยจะดีมาก

ในถังชุบหลายถังได้แก่ ถังน้ำยากัดผิว (Etching Tank) ถังน้ำยาล้างขี้เขม่าหรือล้างคราบดำ (Desmutting Tank) และถังอะโนไดซ์ (Anodizing Tank) ขณะทำการทดลองควรระวังไม่สูดดมไอพิษที่ระเหยออกมา ผู้ทดลองควรใส่อุปกรณ์ป้องกันการสูดดมสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในถังน้ำยาซีล (Sealing Tank) มีส่วนประกอบของไซยาไนด์ (Cyanide) ซึ่งเป็นสารเคมีเป็นพิษที่ก่อให้เกิดมะเร็งและเป็นอันตรายถึงตาย ดังนั้นควรปิดฝาถังน้ำยาซีลให้มิดชิด ไม่ควรให้สารเคมีหกหล่นลงบนพื้น จะต้องไม่ใช้มือเปล่าจับต้องน้ำยาเด็ดขาด ควรใช้ถุงยางหรือคีมเหล็กแทน และล้างมือทำความสะอาดทุกครั้งเมื่อเลิกงานชุบ

อันตรายที่สำคัญที่สุดอีกประการหนึ่งได้แก่การถูกไฟฟ้าดูด เนื่องจากผู้ทดลองจะต้องทำการทดลองโดยใช้ไฟฟ้า และส่วนมากพื้นของบริเวณชุบก็จะเปียกอยู่ตลอดเวลา ทำให้กระแสไฟฟ้ารั่วได้ง่าย หรือบางครั้งก็อาจถูกน้ำยาเคมีกระเด็นเข้าใส่ ฉะนั้นผู้ทำการทดลองควรให้ความระมัดระวังอันตรายอันเกิดจากไฟฟ้าให้มาก การเดินสายไฟฟ้าต่าง ๆ ควรเดินสายดินเผื่อไว้ในกรณีที่อาจเกิดไฟรั่วได้ และผู้ทำการทดลองควรสวมรองเท้ายางประเภทรองเท้าบูท สวมถุงมือ และแว่นตานิรภัยป้องกันด้วย

ตารางที่ 3.1 ภาวะในการทดลองส่วนที่ 1

การทดลองที่	รูปตัดขวางของชิ้นงาน	เวลาชุบสี (นาที)	อุณหภูมิน้ำยาชุบสี (°ซ)
3.1.1		6	16
3.1.2		8	16
3.1.3		10	16
3.1.4		12	16
3.1.5		14	16
3.1.6		6	18
3.1.7		8	18
3.1.8		10	18
3.1.9		12	18
3.1.10		14	18
3.1.11		6	20
3.1.12		8	20
3.1.13		10	20
3.1.14		12	20
3.1.15		14	20
3.1.16		6	22
3.1.17		8	22
3.1.18		10	22
3.1.19		12	22
3.1.20		14	22
3.1.21		6	24
3.1.22		8	24
3.1.23		10	24
3.1.24		12	24
3.1.25		14	24

การทดลองที่	รูปตัดขวางของชิ้นงาน	เวลาชุบสี (นาที)	อุณหภูมิน้ำยาชุบสี (°ซ)
3.1.26		6	16
3.1.27		8	16
3.1.28		10	16
3.1.29		12	16
3.1.30		14	16
3.1.31		6	18
3.1.32		8	18
3.1.33		10	18
3.1.34		12	18
3.1.35		14	18
3.1.36		6	20
3.1.37		8	20
3.1.38		10	20
3.1.39		12	20
3.1.40		14	20
3.1.41		6	22
3.1.42		8	22
3.1.43		10	22
3.1.44		12	22
3.1.45		14	22
3.1.46		6	24
3.1.47		8	24
3.1.48		10	24
3.1.49		12	24
3.1.50		14	24

ตารางที่ 3.1 ภาวะในการทดลองส่วนที่ 1 (ต่อ)

การทดลองที่	รูปตัดขวางของชิ้นงาน	เวลาชุบสี (นาที)	อุณหภูมิน้ำยาชุบสี (°ซ)
3.1.51		6	16
3.1.52		8	16
3.1.53		10	16
3.1.54		12	16
3.1.55		14	16
3.1.56		6	18
3.1.57		8	18
3.1.58		10	18
3.1.59		12	18
3.1.60		14	18
3.1.61		6	20
3.1.62		8	20
3.1.63		10	20
3.1.64		12	20
3.1.65		14	20
3.1.66		6	22
3.1.67		8	22
3.1.68		10	22
3.1.69		12	22
3.1.70		14	22
3.1.71		6	24
3.1.72		8	24
3.1.73		10	24
3.1.74		12	24
3.1.75		14	24

ตารางที่ 3.2 ภาวะในการทดลองส่วนที่ 2

การทดลองที่	อุณหภูมิน้ำยาชุบสี (°ซ)	เวลาชุบสี (นาที)
3.2.1	16	10
3.2.2		
3.2.3		
3.2.4		
3.2.5		
3.2.6		
3.2.7		
3.2.8		
3.2.9		
3.2.10		

การทดลองที่	อุณหภูมิน้ำยาชุบสี (°ซ)	เวลาชุบสี (นาที)
3.2.21	20	10
3.2.22		
3.2.23		
3.2.24		
3.2.25		
3.2.26		
3.2.27		
3.2.28		
3.2.29		
3.2.30		

การทดลองที่	อุณหภูมิน้ำยาชุบสี (°ซ)	เวลาชุบสี (นาที)
3.2.41	24	10
3.2.42		
3.2.43		
3.2.44		
3.2.45		
3.2.46		
3.2.47		
3.2.48		
3.2.49		
3.2.50		

การทดลองที่	อุณหภูมิน้ำยาชุบสี (°ซ)	เวลาชุบสี (นาที)
3.2.11	18	10
3.2.12		
3.2.13		
3.2.14		
3.2.15		
3.2.16		
3.2.17		
3.2.18		
3.2.19		
3.2.20		

การทดลองที่	อุณหภูมิน้ำยาชุบสี (°ซ)	เวลาชุบสี (นาที)
3.2.31	22	10
3.2.32		
3.2.33		
3.2.34		
3.2.35		
3.2.36		
3.2.37		
3.2.38		
3.2.39		
3.2.40		

ตารางที่ 3.3 ขบวนและภาวะที่ใช้ควบคุม [13]

TANK NO.	PROCESS	CHEMICAL CONTENT	CONCEN-TRATION	TEMP.	CURRENT DENSITY	Time. (min)
1	Degreasing	Degreaser PT - 100	60 g/l	50 - 60 ^{o}C	-	5
2	Etching	Sodium Hydroxide (NaOH) Additive PT - 200	50 g/l 16 g/l	50 - 60 ^{o}C	-	10
3	Desmutting	10% (v/v) Nitric Acid (HNO_3)	150 m/l	Room	-	5 - 7
6	Anodizing	Sulphuric Acid (H_2SO_4)	180 g/l	18 - 20 ^{o}C	1.2 -1.5 A/dm^2	20
8	Electrolytic Colouring	Stannous Sulphate Stabilizer (Potone TSL) Sulphuric Acid	*	*	*	*
10	Cold Sealing	Low Temperature Sealing LTS - 100	5 g/l pH 5.5 - 5.6	Room	-	12

Remark * ดูในวิธีทำการทดลองส่วนที่ 1