สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมน้ำยาชุบพัลลาเดียม

นาย ธวัชชัย เผือกวัด
นางสาว สมธิดา แสงสุริยันต์

ปพ.
ธ395ก
ส539
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....32012
วัน, เดือน, ปี- 8 ก.พ. 2542

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preparation of Palladium Plating Solution

Mr. Thawatchai Puakwat

Miss Somtida Sangsuriyan

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of

the Requirement for the Degree of Bechelor of Science

Department of Chemistry Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	**การเตรียมน้ำยาชุบพัลลาเดียม**
โดย	**นายธวัชชัย เผือกวัด**
	นางสาวสมธิดา แสงสุริยันต์
ภาควิชา	**เคมี**
อาจารย์ที่ปรึกษา	**ดร.อรวรรณ ชัยลภากุล**

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษนี้ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ผศ. นงนุช เกตรานุรักษ์ หัวหน้าภาควิชา

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ

ผศ.ดร.ศักดา ไตรศักดิ์ ประธานกรรมการ

อ. สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล กรรมการ

อ.คณิตา ดังคณานุรักษ์ กรรมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การเตรียมน้ำยาชุบพัลลาเดียม
นักศึกษา	นาย ธวัชชัย เผือกวัด นางสาว สมธิดา แสงสุริยันต์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. อรวรรณ ชัยลภากุล
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2539

บทคัดย่อ

โลหะพัลลาเดียมเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อน และมีความสวยงาม จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า น้ำยาชุบพัลลาเดียมสามารถเตรียมได้จาก เกลือเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์ และใช้แอมโมเนียมคลอไรด์เป็นตัวนำไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้สามารถหาปริมาณขององค์ประกอบของน้ำยาชุบพัลลาเดียม และสภาวะการชุบที่เหมาะสมก่อนการใช้งานโดยใช้วิธีฮัลเซลล์ จากผลการวิจัยพบว่า ผลการชุบที่แสดงบนแผ่นฮัลเซลล์ที่มีลักษณะดีที่สุดนั้น ใช้ความเข้มข้นของ เตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์ 12 กรัมต่อลิตร และใช้ความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ 60 กรัมต่อลิตร โดยใช้สภาวะการชุบที่ค่า pH เท่ากับ 8 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 0.05 - 2.50 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร โดยใช้แผ่นติตาเนียมเป็นขั้วแอโนด และสามารถปรับปรุงคุณสมบัติด้านความเงาได้โดยการเติม ไพริดีน ซึ่งปริมาณที่เหมาะสมคือ 1 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Preparation of Palladium Plating Solution
Name	Mr. Thawatchai Puakwat Miss Somtida Sangsuriyan
Special Project Advisor	Dr. Orawon Chailaphakul
Department	Chemistry
Acadamic Year	1996

Abstract

Palladium is one of the metals which provide the high corrosion resistance and decorative appearace. For this reason, it is suitable to be used as electroplating. Palladium plating solution can be prepared from the solution of tetraammine palladium chloride salt in ammonium chloride solution. In this research, the quantity of components in solution and condition for coating can be examined using Hull Cell's method. Form the results shown that, in order to obtain the best Hull Cell's plate, one litre of solution should contain 12 grams of tetraammine palladium chloride salt and 60 grams of ammonium chloride. The plating condition are controlled by used titanium as anode, with current density between 2.5 - 0.05 amperes per decimeter square and pH of solution maintain at 8. It is also shown that, addition of pyridine 1.0 % by volume can improve brightness of the specimen.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. อรวรรณ ชัยลภากุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือ ในการดำเนินโครงงานพิเศษนี้ด้วยดีตลอดมา ผศ.ดร.ศักดา ไตรศักดิ์ อาจารย์สุจินต์ ตันติพิสิฐกุล และ อาจารย์ คณิตา ตังคณานุรักษ์ คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษที่ช่วยแก้ไขข้อผิดพลาด เพื่อให้รายงานฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น บริษัท เพาเดอร์พลัส จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือทดสอบ ความเงา คุณชลอ ศรีคงแก้ว ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือถ่ายรูปอุปกรณ์ และแผ่นทดสอบฮัลเซลล์ โรงงานสยามคาสท์ ที่ให้ความกรุณาชุบทองแดงลงบนแผ่นทดสอบฮัลเซลล์ เพื่อใช้ในงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในการทำโครงงานพิเศษครั้งนี้ด้วยดีตลอดมา

นาย ธวัชชัย เผือกวัด

นางสาว สมธิดา แสงสุริยันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการชุบเคลือบโลหะด้วยไฟฟ้า	3
2.1.1 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	3
2.1.2 สารละลายอิเล็กโตรไลต์	4
2.1.3 ค่าความเป็นกรด-เบส	5
2.1.4 ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวกและลบ	5
2.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะชิ้นงานและกำลังการเคลือบผิว	7
2.2 การทำความสะอาดชิ้นงานก่อนชุบ	9
2.3 องค์ประกอบในน้ำยาชุบพัลลาเดียม	
2.3.1 เกลือพัลลาเดียม	10
2.3.2 สารที่ช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้า	11
2.3.3 สารควบคุมค่าความเป็นกรด-เบส	11
2.3.4 น้ำยาเงา	12
2.3.5 สารรักษาระดับการเคลือบผิวให้สม่ำเสมอ	12
2.3.6 สารลดรูพรุน	12
2.4 สูตรของน้ำยาชุบพัลลาเดียม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 กลุ่มน้ำยาชุบที่มีสภาวะเป็นกรดและสารละลายอัลคาไลน์ 12
2.4.2 กลุ่มของน้ำยาชุบที่เป็นสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 13
2.4.3 กลุ่มน้ำยาชุบที่ประกอบด้วยกรดอ่อน 14
2.4.4 น้ำยาชุบที่เป็นสารละลาย ไนไตรต์ 15
2.4.5 น้ำยาชุบที่เป็นสารละลาย ไดแอมมิโนไนเตรท 15
2.4.6 น้ำยาชุบที่เป็นสารละลาย ไดแอมมิโนไนไตรต์ 16
2.4.7 น้ำยาชุบที่เป็นสารละลาย ไดแอมมิโนไดไนไตรต์ 16
2.5 การทดสอบน้ำยาชุบโลหะด้วยวิธีฮัลเซลล์
2.5.1 หลักการทั่วไปเกี่ยวกับการทดสอบวิธีฮัลเซลล์ 17
2.5.2 ประโยชน์ของการทดสอบด้วยวิธีฮัลเซลล์ 20
2.5.3 สิ่งที่ควรทราบในการทดสอบน้ำยาชุบด้วยวิธีฮัลเซลล์ 20
บทที่ 3 การดำเนินงานและวิจัย
3.1 สารเคมีและวัสดุเคมีที่ใช้ 23
3.2 เครื่องมือที่ใช้ 24
3.3 ขั้นตอนการทดลอง 25
3.4 ขั้นตอนการทดสอบ
3.4.1 การทดสอบฮัลเซลล์ 28
3.4.2 การทดสอบความเงา 31
3.4.3 การทดสอบความติดแน่น 32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์
4.1 ผลการทดสอบน้ำยาชุบด้วยวิธีฮัลเซลล์ 33
4.1.1 การหาค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม 33
4.1.2 การหาค่าความเป็นกรด-เบส ที่เหมาะสม 36
4.1.3 การหาปริมาณของแอมโมเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสม 39
4.1.4 การหาปริมาณของเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสม 45
4.1.5 ผลของการชุบเมื่อเติม ไพริดีน 50
4.2 ผลการทดสอบความเงา 53
4.3 ผลการทดสอบความติดแน่น 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป 55

5.2 ข้อเสนอแนะ 56

ภาคผนวก ก 57

ภาคผนวก ข 59

ภาคผนวก ค 61

ภาคผนวก ง 62

ภาคผนวก จ 63

ภาคผนวก ฉ 68

เอกสารอ้างอิง 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป **หน้า**

รูปที่ 1 แสดงการกระจายของกระแสไฟฟ้าและความหนาที่เคลือบชิ้นงาน 8
รูปที่ 2 แสดงฮัลเซลล์ที่มีขนาดบรรจุน้ำยาชุบ 267 มิลลิลิตร 18
รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งต่างๆ บนแผ่นฮัลเซลล์ที่บรรจุน้ำยาชุบ 267 มิลลิลิตร 19
รูปที่ 4 แสดงสัญลักษณ์ของลักษณะแผ่นฮัลเซลล์ที่ใช้ในการทดสอบ 22
รูปที่ 5 แสดงแผ่นทดสอบฮัลเซลล์ก่อนชุบและชั้วแอโนดติตาเนียม 29
รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งของแอโนดและแคโธด 29
รูปที่ 7 แสดงเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า 30
รูปที่ 8 แสดงการต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับชุดทดสอบฮัลเซลล์ 30
รูปที่ 9 แสดงเครื่องวัดความเงา (Gloss-Meter) 31
รูปที่10,11 แสดงการเปรียบเทียบแผ่นฮัลเซลล์ที่วิเคราะห์
โดยใช้กระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 35
รูปที่12,13 แสดงการเปรียบเทียบแผ่นฮัลเซลล์ที่วิเคราะห์
โดยใช้ ค่า pH แตกต่างกัน 38
รูปที่14,15 แสดงการเปรียบเทียบแผ่นฮัลเซลล์ที่วิเคราะห์
โดยใช้ ค่า ความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ที่แตกต่างกัน 43-44
รูปที่16,17 แสดงการเปรียบเทียบแผ่นฮัลเซลล์ที่วิเคราะห์โดยใช้
ค่าความเข้มข้นของเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกัน 48
รูปที่ 18 แสดงชิ้นงานที่มีลักษณะดีที่สุด 49
รูปที่ 19 แสดงแผ่นฮัลเซลล์ที่ทำการวิเคราะห์โดยใช้ปริมาณไพริดีนที่แตกต่างกัน 51
รูปที่ 20 แสดงลักษณะชิ้นงานที่ดีที่สุดเมื่อเติมไพริดีนใน
ปริมาณ 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน

เนื่องจากในขบวนการชุบเครื่องประดับนั้น จะต้องมีการชุบรองพื้นเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการป้องกันการกัดกร่อนและทำให้ชุบได้ติดทนนานดีขึ้น โดยทั่วไปในการชุบทองนั้น จะชุบรองพื้นด้วยนิเกิล แต่ปัจจุบันพบว่า นิเกิลมีอันตรายต่อผิวหนัง จึงนำพัลลาเดียมมาใช้ในการชุบรองพื้นแทนนิเกิล เนื่องจากพัลลาเดียมสามารถต่อต้านการหมองคล้ำและการกัดกร่อนของบรรยากาศได้ดี รวมทั้งสวยงามและมีความแข็งแรงสูง ดังนั้นนอกจากจะใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับแล้ว ยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมเคลือบผิว อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ แต่ในปัจจุบันประเทศไทยยังคงสั่งนำน้ำยาชุบพัลลาเดียมเข้าจากต่างประเทศ ดังนั้นในโครงงานพิเศษนี้จะเตรียมน้ำยาชุบพัลลาเดียมเอง โดยจะเตรียมน้ำยาชุบเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ

1.2 วัตถุประสงค์

สามารถเตรียมน้ำยาชุบพัลลาเดียมที่มีคุณสมบัติด้านความเงาและการติดแน่นที่ดีได้

1.3 ขอบเขตการวิจัย

โครงงานพิเศษนี้จะเป็นการเตรียมน้ำยาชุบพัลลาเดียม เพื่อหาสูตรและสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ในการชุบพัลลาเดียมเพื่อความสวยงามและมีความสามารถในการยึดติดที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating) คือการนำเอาชิ้นงานหรือวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้มาเคลือบผิวด้วยโลหะ ซึ่งอาศัยไฟฟ้ากระแสตรงเข้าช่วย โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ชิ้นงานมีผิวที่สวยงาม และคงทนต่อการสึกกร่อนมากยิ่งขึ้น โดยการจุ่มชิ้นงานที่ทำการชุบลงในถังชุบแล้วต่อชิ้นงานเข้ากับขั้วลบของไฟฟ้ากระแสตรง (DC current) คือ กระแสที่ผ่านจากเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier) ซึ่งเรียกว่าขั้วลบ (Cathode) และมีตัวล่อหรือขั้วบวก (Anode) ต่อเข้ากับขั้วบวกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เมื่อไฟฟ้าครบวงจรก็จะเกิดการเกาะจับของโลหะไอออนที่ขั้วลบ (ชิ้นงาน)

การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้านั้น สามารถแบ่งการชุบเป็นหลายประเภทเช่น การชุบทองแดงด่าง ทองแดงกรด นิเกิล โครเมี่ยม เงิน ทอง ทองคำขาว ฯลฯ โดยใช้หลักการเดียวกันเพียงแต่เปลี่ยนน้ำยาชุบ เปลี่ยนตัวล่อและปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือปรับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสมเท่านั้น

พัลลาเดียมเป็นโลหะตัวหนึ่งที่นำมาใช้ในการชุบเคลือบผิว เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สำคัญคือทนการกัดกร่อนได้ดี และมีความสวยงาม ซึ่งนอกจากใช้ในงานด้านเคลือบผิวโลหะแล้วยังสามารถใช้งานในรูปของโลหะผสมหรืออัลลอยด์ อัลลอยด์ที่มีพัลลาเดียมผสมอยู่ จะมีอุณหภูมิหลอมเหลวที่กว้าง ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการนำความร้อนและความต้านทานไฟฟ้าของโลหะที่นำมาผสม ดังนั้นจึงสามารถประยุกต์ใช้กับงานได้ตามต้องการ เช่น ซิลเวอร์-พัลลาเดียม-คอปเปอร์ นำมาผลิตส่วนประกอบของเครื่องยนต์ไอพ่นของเครื่องบิน พัลลาเดียม-ทองคำ ผลิตเป็นฟันปลอมเพราะทนการขัดสีได้ดี เป็นต้น พัลลาเดียมยังใช้เป็นตัวคะตะลิสต์ที่ดีใช้ในปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน และปฏิกริยาที่เกี่ยวกับสารเคมีอินทรีย์ โดยโครงงานวิจัยนี้เป็นการนำพัลลาเดียมมาประยุกต์ใช้ในงานด้านชุบเคลือบผิว (9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า[1,2,3]

2.1.1ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า(Current Density)

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า คือ ปริมาณของกระแสไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โดยปกติแล้ว จะแสดงในหน่วยของแอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร หรือ แอมแปร์ต่อตารางฟุต และถ้าไม่ระบุว่าเป็นความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ที่ขั้วบวกหรือขั้วลบ ก็มักจะหมายถึง ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ ในน้ำยาชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าแต่ละชนิด จะกำหนดสภาวะการทำงานไว้ชัดเจนว่า จะชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่าใด ฉะนั้นก่อนจะทำการชุบ จึงต้องคำนวณพื้นที่ผิวของชิ้นงานเสียก่อน แล้วนำพื้นที่นี้ไปคำนวณดูว่า จะใช้กระแสไฟฟ้าเท่าใด จึงจะทำให้ได้ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตามที่กำหนด ตัวอย่างเช่น ในการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าชนิดหนึ่ง จะต้องทำการชุบเคลือบผิวด้วยความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 8 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร และปรากฏว่า พื้นที่ผิวหน้าของชิ้นงานที่จะทำการชุบทั้งหมด เท่ากับ 5 ตารางเดซิเมตร ฉะนั้น ในการชุบนี้จะต้องใช้กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 8×5 = 40 แอมแปร์ จึงจะอยู่ในสภาวะการทำงานที่ดี โดยปกติแล้ว ในการชุบชนิดเดียวกัน มีสภาวะการทำงานบางอย่างแตกต่างกัน จึงอาจจะใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแตกต่างกันไป เช่น อุณหภูมิสูงและมีการกวนน้ำยาอย่างแรงก็จะชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงกว่าปกติได้ ซึ่งจะทำให้มีอัตราเร็วของการชุบเคลือบผิวสูงขึ้น แต่ทางปฏิบัติทั่วๆ ไปแล้ว การชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำจะเคลือบผิวได้เป็นระเบียบและสวยงามกว่า แต่ก็จะเสียเวลาในการชุบมากขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยกฎของฟาราเดย์ ซึ่งมีเนื้อหาดังนี้คือ

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยทางแคโธดและแอโนด โลหะจะละลายจากแอโนดหรือมีออกซิเจนเกิดขึ้นที่แอโนด และจะได้โลหะเกาะจับที่แคโธดหรือมีไฮโดรเจนเกิดขึ้นที่แคโธด ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยมีส่วนสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลาย และระยะเวลาของการปล่อยให้กระแสไหลผ่าน ไมเคิล ฟาราเดย์ได้ตั้งกฎความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วทั้งสอง ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้และระยะเวลาที่ให้กระแสไหลผ่านไว้ดังนี้

<u>กฎข้อที่ 1</u> น้ำหนักของไอออนที่ถูกปล่อยให้เป็นอิสระ กระแสไฟฟ้าย่อมเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>กฎข้อที่ 2</u> น้ำหนักของไอออนชนิดต่างๆที่ถูกปล่อยให้เป็นอิสระโดยปริมาณไฟฟ้าเท่า ๆ กัน ย่อมเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสมมูลย์เคมีของไอออนเหล่านั้น

จากกฎข้อที่ 1 เราสามารถนำมาใช้ในการชุบโลหะได้ คือ ถ้าเราต้องการให้โลหะที่มาเกาะจับที่มีความหนาจำนวนหนึ่ง เราอาจจะทำได้ 2 วิธีคือ ใช้กระแสไฟฟ้าน้อย ๆ แล้วใช้เวลานาน ๆ หรืออาจกระแสไฟฟ้ามาก ๆ แล้วใช้เวลาสั้น ๆ ก็จะได้โลหะไปเกาะจับที่แคโธดในปริมาณที่เท่ากัน

จากกฎข้อที่ 2 เราทราบได้ว่าโลหะแต่ละชนิดมีคุณสมบัติการแยกสลายไม่เหมือนกัน กล่าวคือ ในปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เท่า ๆ กัน โลหะแต่ละชนิดจะมีปริมาณการแยกสลายออกมาไม่เท่ากัน โลหะบางชนิดจะแยกสลายออกมาน้อย โลหะบางชนิดจะแยกสลายออกมามาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติประจำตัวหรือสมมูลย์เคมีของโลหะนั้น ๆ

2.1.2 สารละลายอิเล็กโทรไลต์

เป็นสารละลายของเกลือโลหะชนิดต่าง ๆ กับสารเคมีชนิดอื่น ๆ ที่ผสมลงไปเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำยาชุบให้ดีขึ้น น้ำยาชุบจะแตกต่างกันไปตามแต่ละชนิดของโลหะที่ต้องการชุบ น้ำยาชุบจะเป็นตัวนำไฟฟ้าและจะแยกสลายตัวออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบวก หรือเรียกอีกชื่อว่า แคทไอออนจะวิ่งไปเกาะขั้วลบซึ่งเป็นชิ้นงานที่ต้องการชุบ อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าลบหรือแอนไอออนจะไปเกาะที่ขั้วบวก ซึ่งเป็นแผ่นตัวล่อ ขณะที่เกิดการแยกสลายดังกล่าวในสารละลายนั้น จะไม่สามารถมองเห็นการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ ในสารละลายนั้นเลย แต่จะเห็นปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่ขั้วลบและขั้วบวก ตัวอย่างเช่นในสารละลายของอิเล็กโทรไลต์บางชนิดที่ใช้แผ่นแพทตินัมเป็นขั้วบวกและขั้วลบ เมื่อต่อแผ่นขั้วทั้งสองเข้ากับแบตเตอรี่ให้ครบวงจร จะปรากฏมีฟองก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นที่ขั้วบวก และมีฟองก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นที่ขั้วลบ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 ค่าความเป็นกรด-เบส

ค่า pH มีอิทธิพลต่อการชุบโลหะมาก กล่าวคือถ้าค่า pH น้อย แสดงว่าน้ำยานั้นมีสภาพเป็นกรดมากเกินไป จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแคโธดลดต่ำลง ถ้าค่าของ pH มีค่ามาก แสดงว่าน้ำยาชุบนั้นมีสภาพเป็นเบสมากเกินไปจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแอโนดลดต่ำลงเช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้การควบคุม pH จึงมีความสำคัญมาก น้ำยาชุบทุกชนิดจะมีค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ที่ค่า ๆ หนึ่ง ฉะนั้นจึงต้องพยายามควบคุมให้ค่าpH อยู่ในขอบเขตตามที่กำหนดให้ได้

2.1.4ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวกและขั้วลบ

ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบและขั้วบวก บางทีเรียกสั้นๆ ว่า ประสิทธิภาพของขั้วลบและประสิทธิภาพของขั้วบวก ซึ่งประสิทธิภาพของขั้วลบ และประสิทธิภาพที่ขั้วบวก ส่วนใหญ่จะมีค่าแตกต่างกัน โดยประสิทธิภาพนี้อาจจะนิยามได้ 2 ลักษณะคือ

ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการชุบเคลือบผิวจริงๆ ต่อปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงไปทั้งหมดคูณด้วยหนึ่งร้อย

หรืออาจนิยามว่าประสิทธิภาพของขั้วบวก คือ ปริมาณโลหะของขั้วบวกที่ละลายจริง ต่อปริมาณของขั้วบวกที่ควรจะละลายตามกฎของฟาราเดย์คูณด้วยหนึ่งร้อย และ ประสิทธิภาพของขั้วลบ คือ ปริมาณของโลหะที่มาเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบ ต่อปริมาณที่ควรจะเกาะขั้วลบ ตามกฎของฟาราเดย์คูณด้วย หนึ่งร้อย

โดยปกติแล้ว ประสิทธิภาพมักจะไม่ค่อยถึง หนึ่งร้อยเปอร์เซนต์ ทั้งขั้วบวกและขั้วลบ (ประสิทธิภาพของน้ำยาชุบชนิดต่างๆ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง) ทั้งนี้เพราะกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปยังน้ำยาชุบไม่ได้นำมาใช้ในการละลายขั้วบวก หรือทำให้ไอออนบวกของโลหะไปเกาะที่ขั้วลบเพียงอย่างเดียว แต่ยังถูกไปใช้ในการไปทำให้เกิดกลไกอื่นอีกด้วย เช่น ไปแยกสลายโมเลกุลของน้ำ ไปทำให้เกิดก๊าซขึ้นที่ขั้วบวกหรือขั้วลบ หรือถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นในสารละลาย เป็นต้น ยกตัวอย่างเช่น ในการชุบโลหะนิเกิล ถ้าใช้กระแสไฟฟ้าผ่านลงไปในสารละลาย 1 ฟาราเดย์ (96,500 คูลอมบ์) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.8 แอมแปร์ ไหลผ่านสารละลายนิเกิลเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตามทฤษฎี ควรจะได้โลหะนิเกิลเกาะที่แคโทด มีน้ำหนัก 29.35 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่จากการทดลองจริงๆ ผลปรากฏว่า ได้โลหะนิเกิลเกาะที่แคโทดเพียง 27.9 กรัม ถ้าเราเอาน้ำหนักของนิเกิล ที่ไปเกาะที่ขั้วลบอย่างแท้จริง มาเปรียบเทียบกับน้ำหนักของนิเกิลที่ควรจะไปเกาะที่ขั้วลบตามทฤษฎี ก็จะสามารถทราบประสิทธิภาพของขั้วลบได้ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

น้ำหนักของนิเกิลที่ไปเกาะที่ขั้วลบอย่างแท้จริง 27.9 กรัม

น้ำหนักของนิเกิลที่ควรจะไปเกาะที่ขั้วลบ 29.35 กรัม

ดังนั้น ประสิทธิภาพของขั้วลบ เท่ากับ $27.9/29.35 \times 100 = 95\ \%$

นั่นคือปริมาณของกระแสไฟฟ้า 26.8 แอมแปร์ ที่ไหลผ่านน้ำยาชุบโลหะนิเกิลเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะมีกระแสไฟฟ้าเพียง 95 % เท่านั้น ที่ใช้ลิ้นเปลืองไปกับการแยกสลายให้โลหะไปเกาะที่ขั้วลบ ส่วนอีก 5 % จะเป็นปริมาณกระแสไฟฟ้าที่สูญเสียไปกับการแยกสลายของก๊าซไฮโดรเจน เราจึงเรียกว่า นิเกิลมีประสิทธิภาพของขั้วลบ 95 %

ประสิทธิภาพของขั้วลบในน้ำยาชุบชนิดต่างๆ จะแตกต่างกันออกไป เช่น น้ำยาชุบโครเมี่ยมจะมีประสิทธิภาพต่ำมาก คือประมาณ 12-16 % เท่านั้นเอง น้ำยาชุบเงินมีประสิทธิภาพขั้วลบสูงมากคือ ประมาณ 100 % เต็ม และในน้ำยาชุบดีบุก ประสิทธิภาพของขั้วลบจะประมาณ 70-95 % ดังนี้ เป็นต้น

ที่แอโนดกระแสไฟฟ้าที่ไปช่วยให้แอโนดละลายก็ไม่ได้ใช้ให้หมดไปในการละลายแอโนดแต่อย่างเดียว กระแสไฟฟ้าต้องสูญเสียไปกับสิ่งอื่นๆ อีกเช่นเดียวกัน เช่น ต้องเอาชนะความต้านทานที่เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาเคมีที่มีลักษณะ เป็นเยื่อบางๆ รอบๆ แท่งแอโนด ต้องสูญเสียไปกับการละลายสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่มีปะปนอยู่ในแอโนด เป็นต้น จากการสูญเสียดังกล่าว จึงต้องคำนวณหาประสิทธิภาพของแอโนดด้วย แต่วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพของแอโนด มักจะคำนวณโดยการเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของแคโทด หรือ คำนวณโดยวิธีเดียวกับการหาประสิทธิภาพของขั้วลบ เช่น ในการชุบเคลือบผิวโลหะอย่างหนึ่งพบว่า เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในสารละลาย 1 ฟาราเดย์ โลหะที่เป็นขั้วบวกละลายไป 80 กรัม แต่ถ้าคำนวณตามกฎฟาราเดย์แล้วจะต้องละลายไป 100 กรัม ฉะนั้น ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวกเท่ากับ $(80/100) \times 100$ ซึ่งเท่ากับ 80 เปอร์เซนต์ เป็นต้น ในการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าที่ดีที่สุดนั้น ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวกจะมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซนต์ทั้งคู่ หรือถ้าไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซนต์ ทั้ง 2 ขั้ว ก็อาจจะเป็นลักษณะว่า ประสิทธิภาพที่ขั้วบวกและขั้วลบจะต้องเท่ากัน เพราะทั้งสองกรณีนี้จะรักษาปริมาณไอออนที่เป็นแหล่งกำเนิดของโลหะคงที่ และเท่ากันเสมอ เนื่องจากปริมาณโลหะที่ไปเคลือบผิวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

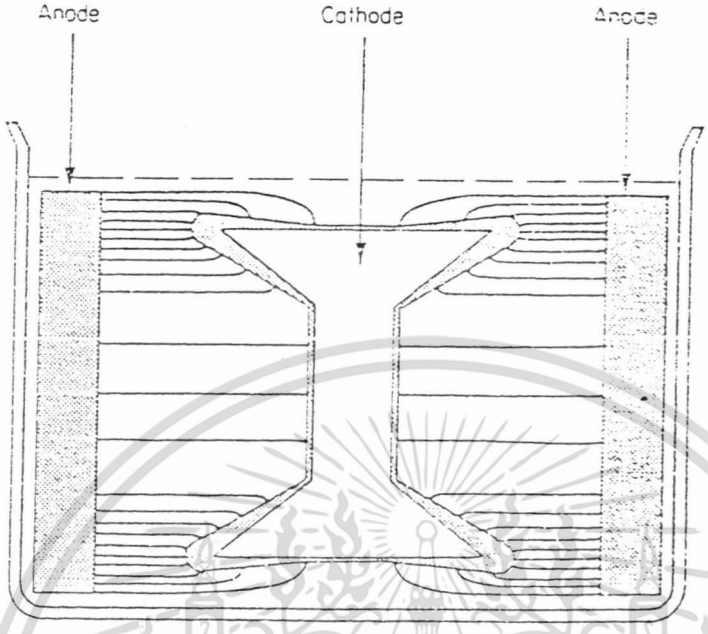
ขั้วลบ จะเท่ากับปริมาณโลหะที่ละลายจากขั้วบวกลงสู่สารละลาย ถ้าน้ำยาชุบใดๆ เป็นเช่นนี้จะเป็นลักษณะที่ดีมากและแทบจะไม่มีปัญหายุ่งยากใดๆ เลย แต่ถ้าน้ำยาชุบของโลหะชนิดใดไม่มีลักษณะเช่นนั้นจะทำให้ปริมาณของไอออนที่เป็นตัวกำเนิดโลหะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้น้ำยาชุบมีประสิทธิภาพไม่ดี แต่ก็ยังมีวิธีแก้ไขปัญหาเหล่านี้ได้ เช่น อาจจะใช้พื้นที่ผิวของขั้วบวกและขั้วลบไม่เท่ากันเข้าช่วย หรืออาจใช้สารเคมี ที่เติมลงไปเพื่อลด หรือเพิ่มการละลายของขั้วบวกเข้าช่วย ดังนั้นน้ำยาชุบโลหะแต่ละชนิดจึงจำเป็นต้องประกอบด้วยส่วนประกอบหลายๆ อย่าง ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะช่วยปรับให้ประสิทธิภาพของขั้วบวกและขั้วลบมีค่าใกล้เคียงกันหรือเท่ากันได้

2.1.5 ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะชิ้นงานและกำลังการเคลือบผิว[3]

รูปร่างของชิ้นงานที่ต้องการทำการชุบเคลือบผิวนั้น มักมีรูปร่างต่างๆกันออกไป เช่น กลม แบน โค้งงอ กลวง แหลม ฯลฯ รูปร่างต่างๆ เหล่านี้ จะชุบให้มีการเกาะหนาเท่ากันโดยตลอดทั่วทั้งชิ้นงานนั้นกระทำได้ลำบาก

จากการศึกษาพบว่า กระแสเดินทางไปยังจุดที่ใกล้เคียงที่สุดอย่างหนาแน่น และจุดที่ห่างออกไปจะมีกระแสไฟฟ้าหนาแน่นลดลงมา เนื่องจากการเดินทางของกระแสไฟฟ้าก็คือ การเดินทางของโลหะไอออนไปยังขั้วลบนั่นเอง ดังนั้นส่วนใดที่มีกระแสอยู่อย่างหนาแน่น ย่อมมีการเกาะจับหนามาก และส่วนที่มีกระแสอยู่ไม่หนาแน่นก็จะมีการเกาะจับบางกว่าส่วนที่มีกระแสอยู่อย่างหนาแน่น และยิ่งบริเวณใดมีลักษณะเป็นมุมแหลมด้วยแล้ว ยิ่งมีการกระจายของกระแสไฟฟ้ามากยิ่งขึ้นไปอีก เนื่องจากการกระจายของกระแสไฟฟ้า ก็คือการกระจายหรือการเคลื่อนที่ของไอออนของโลหะไปเกาะที่ขั้วลบ ดังนั้น จุดใดของขั้วลบที่อยู่ใกล้ขั้วบวกหรือจุดที่เป็นมุมแหลมจะมีการเกาะเคลือบผิวของโลหะบริเวณนั้นมากกว่าบริเวณอื่นๆ จึงทำให้ผิวที่เคลือบบนชิ้นงานนั้นหนากว่าที่อื่นด้วย ซึ่งอาจจะแสดงลักษณะการกระจายของกระแสไฟฟ้าและความหนาที่เคลือบบนชิ้นงานได้ดังรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แสดงการกระจายของกระแสไฟฟ้าและความหนาที่เคลือบชิ้นงาน

จากรูปจะเห็นว่า บริเวณของชิ้นงานส่วนที่เป็นมุมแหลมหรืออยู่ใกล้ขั้วบวกจะมีการกระจายของกระแสไฟฟ้าหนาแน่นมากที่สุด และมีการเกาะเคลือบผิวหนาที่สุด ซึ่งถ้าต้องการให้การชุบเคลือบออกมาในลักษณะเช่นนี้ก็ไม่ต้องแก้ไข แต่ถ้าต้องการให้มีลักษณะของการชุบเคลือบที่มีความหนาแน่นเท่าๆ กันตลอดทั้งชิ้นงาน ก็อาจจะแก้ไขได้โดยหาแผ่นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำยาชุบมากั้นระหว่างขั้วบวกกับขั้วลบตรงบริเวณที่อยู่ใกล้กันเพื่อลดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าให้เหลือเท่าๆ กันทุกบริเวณของขั้วลบ วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า เช่น โพลีเอทธิลีน พีวีซี หรือโพลีโพรพิลีน เป็นต้น แต่ถ้าหากว่าการเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบไม่ทั่วหรือไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากสาเหตุที่น้ำยามีกำลังการเกาะเคลือบผิวไม่ดี ก็จะต้องแก้ไขโดยวิธีออกแบบขั้วบวกให้เหมาะสม คือ ออกแบบให้มีการกระจายของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบให้เท่ากัน และทั่วถึงในส่วนที่ต้องการให้มีการเกาะเคลือบผิว สำหรับกำลังการเคลือบหมายถึง ความสามารถในการกระจายของไอออนบวกหรือไอออนของโลหะไปเคลือบบนผิวชิ้นงานได้ทั่วถึงมากหรือน้อยเพียงใด ถ้าน้ำยาที่มีการเคลือบผิวที่ไม่ดี จะสังเกตได้จากการชุบชิ้นงานที่มีลักษณะกลวง หรือโค้งงอ จะพบว่าส่วนที่อยู่ลึกๆ ลงไป จะไม่สามารถเคลือบผิวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การทำความสะอาดชิ้นงานก่อนชุบ[1]

การเตรียมผิวชิ้นงานเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากขั้นตอนหนึ่งของขบวนการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า เนื่องจากการเตรียมผิวชิ้นงานให้ดีจะช่วยให้การชุบเคลือบผิวของชิ้นงานมีคุณสมบัติด้านความสวยงามและมีการยึดเกาะแน่นทนทานที่ดี

การทำความสะอาดชิ้นงานแต่ละกรรมวิธีที่ทำให้ผิวสะอาดเหมาะกับการชุบก็คือ การกำจัดไขมัน น้ำมัน และรอยเปรอะเปื้อนอื่นๆ ที่ติดมาจากกรรมวิธีการผลิต เช่น การกลึง ปั๊ม เครื่องอัด หรือเครื่องขัดผิวออก การชุบเคลือบบนผิวที่สกปรก หรือมีไขมันจะทำให้ผิวชิ้นงานที่ผ่านการชุบนั้นลอกออกง่าย หรือพอง

การทำความสะอาดและกรรมวิธีของการเตรียมงานก่อนทำการชุบนั้น มีวิธีการหลายอย่างด้วยกัน ดังต่อไปนี้

-การล้างด้วยน้ำด่างร้อน (Soak Clean)

วิธีการนี้เป็นการล้างสิ่งสกปรก โดยนำชิ้นงานมาจุ่มในด่างร้อน เวลาเอางานออก ฟองสกปรกที่ลอยอยู่บนผิวของน้ำด่าง น้ำยาชนิดนี้มีทั้งของสำเร็จโดยผสมกับน้ำใช้ในทันที โดยหากต้องการผสมเองก็สามารถทำได้โดยผสมตามสูตรดังนี้

โซเดียมไฮดรอกไซด์	15	กรัม/ลิตร
ไตรโซเดียมฟอสเฟต	25	กรัม/ลิตร
โซเดียมคาร์บอเนต	25	กรัม/ลิตร
โซเดียมเมตตาซิลิเกต	8	กรัม/ลิตร
อุณหภูมิ	60-70	องศาเซลเซียส

- การล้างด้วยไฟฟ้า (Electro Clean)

วิธีนี้ใช้เมื่อวิธีจุ่มชิ้นงานในน้ำด่างร้อน ใช้เวลานานในการทำความสะอาด การทำความสะอาดด้วยไฟฟ้าจะรวดเร็วกว่าการจุ่มล้างปกติ ซึ่งกระทำได้โดยปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านลงไปในน้ำยาด่างที่ร้อนประมาณ 60-90 ^{o}C สามารถล้างชิ้นงานได้ทั้งขั้วลบและขั้วบวก แต่ที่การทำความสะอาดด้วยไฟฟ้านี้ไม่เหมาะต่อการใช้ทำความสะอาดงานครั้งละจำนวนมากๆ ความหนาแน่นในการล้างด้วยไฟฟ้านี้ สำหรับงานทั่วไปใช้ประมาณ 5-10 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร เวลา 1-2 นาที แรงเคลื่อนไฟฟ้าประมาณ 4-6 โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทำความสะอาดด้วยกรดหรือจุ่มเงา

-การกัดด้วยกรดซัลฟิวริก 5-10 % ใช้สำหรับกัดสนิมเหล็กบางๆ เหล็กกล้า ทองแดง ทองเหลือง นิเกิลเงา และทองแดงผสมอื่นๆ

-ล้างกรดกัดเงา กระทำหลังจากที่ได้กัดด้วยกรดซัลฟิวริกเจือจางแล้ว เพื่อทำให้ผิวเงาสุกใส โดยกรดกัดเงามีส่วนผสมดังนี้

น้ำ	350	มิลลิลิตร
กรดซัลฟิวริก	500	มิลลิลิตร
กรดไนตริก	185	มิลลิลิตร
โซเดียมคลอไรด์	1.5	กรัม

ใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที ที่อุณหภูมิปรกติ

-การกัดด้วยกรดไฮโดรคลอริก

กรดเกลือใช้กัดสนิมได้ดีมาก สำหรับงานโดยทั่วๆ ไปจะผสมโดยใช้ กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 ส่วน และน้ำ 3-5 ส่วนโดยปริมาตร

2.3 องค์ประกอบในน้ำยาชุบพัลลาเดียม

2.3.1 เกลือพัลลาเดียม

จากสูตรน้ำยาชุบที่กล่าวมา ได้นำเกลือของพัลลาเดียมมาใช้เป็นส่วนประกอบในน้ำยาชุบพัลลาเดียม เกลือของพัลลาเดียมที่สามารถละลายน้ำได้ที่สำคัญคือ เตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์ ซึ่งสามารถเตรียมได้โดยการเติมแอมโมเนีย ลงในสารละลายพัลลาเดียมคลอไรด์ ที่ร้อน ซึ่งจะต้องปราศจากทองแดงเนื่องจากสามารถเกิดสารประกอบระหว่าง ทองแดงกับไนโตรเจนได้ โดยทั่วไปแล้ว เตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์ จะไม่เกิดผลึก แต่จะเปลี่ยนเป็นตะกอนของ $(NH_3)_2PdCl_2$ ได้เมื่อเติมกรดไฮโดรคลอริก แล้วกรอง ถ้าต้องการให้ละลายได้อีกครั้งจะทำได้โดยการเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลลาดัสไนเตรท เตรียมได้จากละลายพัลลาเดียมในกรดไนตริกเข้มข้น และสามารถแยกผลึกออกจากตัวทำละลายได้ พัลลาดัสไนเตรทสามารถเกิดปฏิกริยาไฮโดรไลซีส เมื่อนำมาละลายในตัวทำละลายที่ร้อน

พัลลาดัสซัลเฟต ก็เช่นเดียวกัน คือสามารถเตรียมได้โดยการเติมพัลลาเดียมในสารละลายกรดซัลฟิวริกที่ร้อน

โซเดียมพัลลาดัสเตตระไนไตรต์ สามารถเตรียมได้โดยการให้ความร้อนแก่สารละลายที่มีพัลลาเดียมคลอไรด์ กับ โซเดียมไนไตรต์ ในสภาวะที่เป็นกรดเล็กน้อย

โดยในโครงงานพิเศษนี้ใช้พัลลาเดียมในรูปของเกลือ เตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์

2.3.2 สารที่ช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้า

แม้ว่าสารที่เป็นตัวกำเนิดโลหะจะแตกตัวและนำไฟฟ้าได้ แต่ก็ยังนำได้ไม่ดีนัก จะต้องมีสารช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้าใส่เข้าไปในน้ำยาชุบด้วย ซึ่งมักจะเป็นพวกกรดแก่หรือด่างแก่ชนิดต่างๆ ซึ่งจะช่วยให้อัตราเร็วในการเคลือบผิวดีขึ้น ซึ่งในโครงงานพิเศษนี้ใช้ แอมโมเนียมคลอไรด์เป็นสารช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้าในน้ำยาชุบพัลลาเดียม

2.3.3 สารควบคุมค่าความเป็นกรด-เบส (Buffer)

น้ำยาชุบแต่ละชนิดจะอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับว่ามีค่า pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตามแต่น้ำยาชุบแต่ละชนิดหรือไม่ ฉะนั้นถ้าไม่ต้องการให้ pH ของน้ำยาชุบเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ก็ควรจะใส่สารควบคุมระดับ pH ลงไป เช่นการเติมกรดบอริคลงในน้ำยาชุบนิเกิล เป็นต้น โดยในโครงงานพิเศษนี้เลือกใช้ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เป็น สารควบคุมระดับ pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 น้ำยาเงา (Brightener)

ในการชุบส่วนมากจะต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความเงางาม จึงต้องทำการเติมน้ำยาเงาลงไปในน้ำยาชุบ เพื่อทำให้ผิวของชิ้นงานที่ได้มีความแวววาวสวยงาม เช่น ไพริดีน ซึ่งน้ำยาเงานี้จะขึ้นอยู่กับสูตรที่ผู้ผลิตจะคิดค้นขึ้นมา

2.3.5 สารรักษาระดับการเคลือบผิวให้สม่ำเสมอ (Leveller)

สารนี้ส่วนมากจะเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ไม่มีซัลเฟอร์รวมอยู่ ซึ่งที่นิยมใช้กันมากได้แก่ คูมาริน (Coumarin) ซึ่งจะช่วยทำให้การเคลือบบนชิ้นงานสม่ำเสมอทั่วทั้งชิ้นงาน

2.3.6 สารลดรูพรุน (Wetting agent)

เป็นสารที่มีความสำคัญมากในการชุบโลหะเงา เพราะจะไปลดแรงตึงผิวของสารละลายลงชิ้นงานที่เป็นผลิตภัณฑ์จะไม่เกิดรอยด่าง การใช้สารลดรูพรุน จะต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม เพราะถ้าใช้ไม่เหมาะสมแล้วจะทำให้ความเงางามสูญเสียไป หรือทำให้การรักษาระดับการเคลือบไม่ดี

2.4 สูตรน้ำยาชุบพัลลาเดียม[3,4]

น้ำยาชุบพัลลาเดียมมีหลายชนิดแบ่งอย่างกว้างๆ ได้ดังต่อไปนี้

2.4.1 กลุ่มน้ำยาชุบที่มีสภาวะเป็นกรดและสารละลายอัลคาไลน์

น้ำยาชุบในกลุ่มนี้เป็นที่นิยมมากเนื่องจากมีหลายชนิดให้เลือกกับค่าpH ที่ต้องการใช้ น้ำยาชุบชนิดที่มีสภาวะเป็นกรดตามสูตรของ E.M. Wise and Vines มีส่วนประกอบดังนี้

Pd (as chloride)	52 g/l
HCl	เพื่อปรับ pH ให้เป็น 0.1-0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NH_4Cl	22 - 37 g/l
Current density	5-10 amp / sq ft
อุณหภูมิ	37 - 49 ^oC

น้ำยาชนิดนี้เหมาะสำหรับงานประเภทที่ต้องการชุบหนา และงานที่ต้องการให้มีความแข็งแรงสูง เพราะน้ำยาชุบมีกรดแก่ซึ่งจะทำให้พัลลาเดียมที่เคลือบดีขึ้นใช้รองพื้นก่อนการชุบแพทตินัมทอง หรือชุบพัลลาเดียมอีกครั้ง ขั้วแอโนดที่ใช้ในน้ำยาชุบชนิดนี้ จะต้องทนต่อการกัดกร่อนจากกรดเข้มข้นได้ดี

น้ำยาชุบชนิด Acid Chloride ตามสูตรของ Ronald j. Morrissey มีส่วนประกอบดังนี้

$PdCl_2$	50 g/l
NH_4Cl	30 g/l
HCl	เพื่อปรับ pH ให้เป็น 0.1-0.5
Current density	0.1-1.0 A/dm^2
Anodes	pure palladium
อุณหภูมิ	40 - 50 ^oC

น้ำยาชุบชนิดนี้ จะมีการเจือปนของก๊าซไฮโดรเจนประมาณ 3% โดยจะมีค่า Current efficiency 97% ในอ่างไม่ควรมีทองแดงเจือปนเพราะสามารถเกิดปฏิกริยาได้ดีกว่าพัลลาเดียม

2.4.2 กลุ่มของน้ำยาชุบที่เป็นสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์

-สูตรของ Yampolsky ประกอบด้วย

$[Pd(NH_3)_4]Cl_2$	35 g/l
NH_4Cl	18 g/l
NH_4OH (25%)	55 g/l
pH	8.5-9.5
Current density	10-20 amp/sq ft
Efficiency	98 %

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Anodes	Palladium(มีพื้นที่มากกว่าanodes 3 เท่า)
อุณหภูมิ	15-25 °C

-สูตรของRonald J. Morrissey ประกอบด้วย

Palladium (as $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$)	10-15 g/l
NH_4Cl	60-90 g/l
NH_4OH	เพื่อปรับ pH ให้เป็น 8.0-9.5
Current density	0.1-2.5 A/dm^2
Anodes	platinized
อุณหภูมิ	25-50 °C

โดยค่า pH ควรจะมากกว่า 8 เพราะถ้า pH ต่ำกว่า 8 จะทำให้ชิ้นงานหมอง น้ำยาชุบชนิดนี้เหมาะสำหรับการชุบรองพื้นก่อนการชุบทองและเงิน ในรัสเซีย สามารถผลิตน้ำยาชุบที่เป็น strog alkaline โดยมีองค์ประกอบดังนี้

Pd	2.1-2.5 g/l
KOH	75-255 g/l
Current density	5-20 amp / sq ft
Anodes	stainless steel
อุณหภูมิ	25-50 °C

น้ำยาชุบนี้นำมาประยุกต์ใหม่โดย ชาวเยอรมันซึ่งจะใช้ พัลลาเดียม(ในรูปของคลอไรด์) 0.5 g/l และใช้ โซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อปรับpH ให้อยู่ในช่วง 10-14 โดยพบว่าจะให้น้ำยาชุบที่ขาวสุกสว่าง

2.4.3 กลุ่มน้ำยาชุบที่ประกอบด้วยกรดอ่อน

ตามสูตรของ S.Wernick ประกอบด้วย

Palladium (ในรูปของ Barium palladium nitrate)	10 g/l
NaCl	30 g/l
pH	5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Current density	40-100 amp/sq ft
อุณหภูมิ	40-50 °C

โดยพบว่า ถ้า pH มากกว่า 8 แล้วขั้วแอโนดพัลลาเดียมไม่สามารถละลายได้

2.4.4 น้ำยาชุบที่เป็นสารละลาย ไนไตรต์

ตามสูตรของ Yampolsky จะมีองค์ประกอบดังนี้

$PdCl_2 \cdot 2H_2O$	5-10 g/l
$NaNO_2$	15-20 g/l
NaCl	40-50 g/l
H_3BO_3	25-30 g/l
Current density	1-10 amp/sq ft
pH	5.6-6.5
Efficiency	40-50 %
Anode	Palladium:graphite=2:1
อุณหภูมิ	50 °C

น้ำยาชุบชนิดนี้ใช้ H_3BO_3 เป็น Buffer แต่น้ำยาชุบชนิดนี้ยังไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับการชุบนิเกิลและยังไม่เหมาะแก่การนำมาชุบรองพื้น ก่อนการชุบเงินเพราะเงินจะชุบติดได้ยากและยังมีการปนของซิลเวอร์คลอไรด์ด้วย

2.4.5 น้ำยาชุบไดแอมมิโนไนเตรท

โดย W.Keitel และ H.E. Zschigner ซึ่งประกอบด้วย

Pd (ในรูปของ diamminonitrate)	2.1 g/l
NH_4NO_3	90 g/l
NH_4OH	10 g/l
Current density	5-10 amp/sq ft
pH	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ	43-55 °C

ในกรณีที่งานชุบต้องการพื้นที่ผิวที่มาก จะเพิ่มค่าpH โดยการเติม แอมโมเนีย จนมี pH 8-10 จุดเด่นของน้ำยาชุบนี้คือ สามารถใช้ในสภาวะที่เป็นกลางได้ซึ่งป้องกันการกัดกร่อนต่อชิ้นงานได้ดี เหมาะกับงานประเภท แผงวงจรไฟฟ้าเพราะจะไม่ทำลายทองแดงที่เป็นโลหะพื้นอยู่ก่อนแล้ว

2.4.6 น้ำยาชุบไดแอมมิโนไนไตรต์

โดย Blum และ Hogoboom ซึ่งประกอบด้วย

Pd (ในรูปของ diamminonitrite)	4 g/l
Na_2HPO_4	100 g/l
$(NH_4)_2HPO_4$	20 g/l
Current density	2 - 4 amp/sq ft
อุณหภูมิ	อุณหภูมิห้อง

ก่อนใช้น้ำยาชุบชนิดนี้จะต้องอุ่นจนเป็นสีเหลืองอ่อน และYampolsky ได้ทดลองเพิ่มปริมาณกรดเบนโซอิก 2.5 g/l ซึ่งผิวที่ชุบได้นั้นจะมีความสุกสว่างและชุบได้หนา 1.5 ไมครอน และถ้าชุบที่ 80-90องศาเซลเซียส จะชุบได้หนาถึง 7-8 ไมครอน

2.4.7 น้ำยาชุบไอแอมมิโนไดไนไตรต์

โดย Ronald J. Morrissey ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

$Pd(NH_3)_2(NO_2)_2$	10-15 g/l
$H_2NSO_3NH_4$	100 g/l
NH_4OH	to pH 7.5-8.5
Current density	0.1-2.0 A/dm^2
Anode	platinized
อุณหภูมิ	25-35 °C

ซึ่งจากการศึกษาสูตรน้ำยาชุบพัลลาเดียมต่างๆแล้ว พบว่าน้ำยาชุบตามสูตรของ Ronald J. Morrissey (เตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์) เหมาะสมที่จะใช้ในการชุบรองพื้นก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การชุบทองในเครื่องประดับมากที่สุด ดังนั้นในโครงงานพิเศษนี้จะเลือกเตรียมน้ำยาชุบพัลลาเดียมตามสูตรของ Ronald J. Morrissey เพื่อหาสภาวะที่ทำให้ชิ้นงานแวววาวและยึดติดแน่น

2.5 การทดสอบน้ำยาชุบโลหะด้วยวิธีฮัลเซลล์ [3,7]

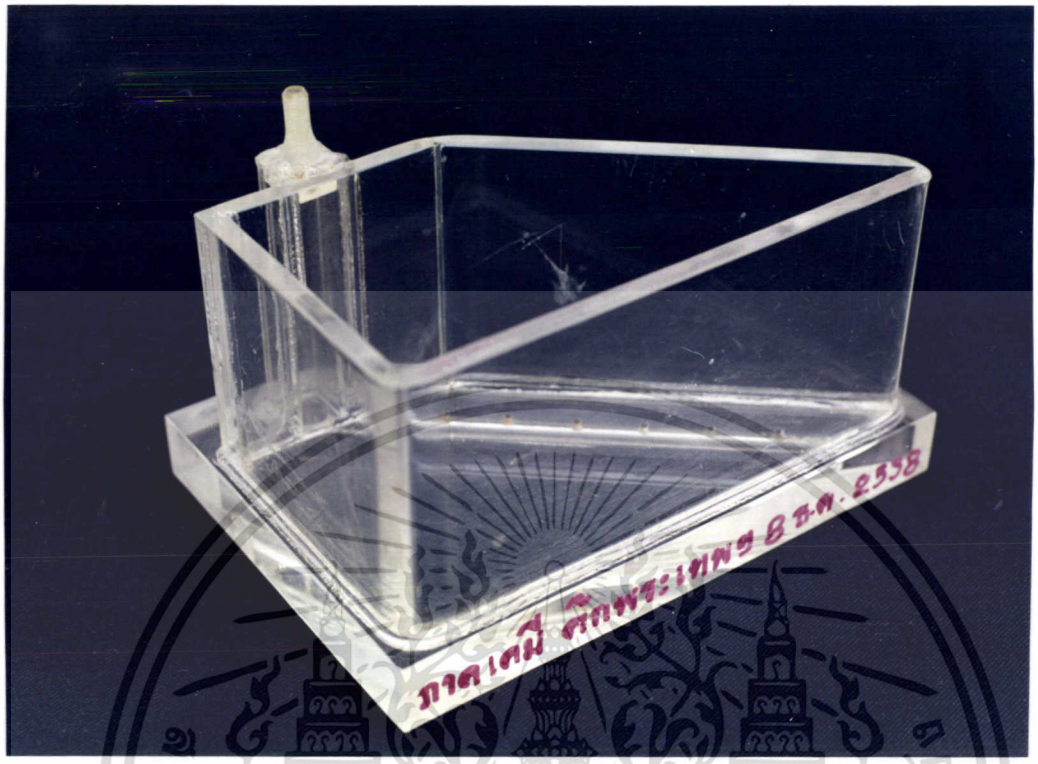
2.5.1 หลักการทั่วไปเกี่ยวกับการทดสอบวิธีฮัลเซลล์

ฮัลเซลล์เป็นภาชนะที่บรรจุน้ำยาชุบที่มีขนาดเล็ก หรือเป็นการย่อส่วนถังชุบหรือการชุบให้มีขนาดเล็ก และถังชุบแบบนี้จะออกแบบผิดไปจากถังชุบปกติ โดยจะมีรูปร่างเป็นถังสี่เหลี่ยมคางหมู ฮัลเซลล์จะมีประโยชน์ในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำยาและภาวะการทำงานโดยจะนำน้ำยาชุบที่ต้องการตรวจสอบคุณภาพใส่ลงไปในฮัลเซลล์ปรับอุณหภูมิของการชุบให้เท่ากับอุณหภูมิของการชุบจริง แล้วใส่ขั้วบวกและขั้วลบลงไปในตำแหน่ง จากนั้นก็ต่อไฟฟ้ากระแสตรงให้ครบวงจรแล้วให้กระแสไฟฟ้าเพื่อทำการชุบ หลังจากชุบเสร็จก็นำขั้วลบมาล้างทำความสะอาดและจดบันทึกลักษณะของชิ้นงานที่ได้โดยละเอียดและนำมาแปลความหมายถึงลักษณะการชุบผิวว่าคุณภาพของน้ำยาและภาวะการทำงานเป็นอย่างไรซึ่งจะเป็นแนวทางที่จะบอกให้ทราบว่าภาวะการทำงานและน้ำยาที่ใช้อยู่ดีอยู่แล้วหรือควรแก้ไขอย่างไร

ฮัลเซลล์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 3 ขนาด คือ ขนาดที่บรรจุน้ำยาชุบ 267, 534 และ 1,000 มิลลิลิตร โดยขนาด 267 มิลลิลิตรเป็นขนาดที่นิยมใช้กันมากที่สุด วัสดุที่ใช้ทำฮัลเซลล์มักจะเป็นพลาสติกชนิดโปร่งใสที่ทนต่อสภาพความเป็นกรดหรือด่างของน้ำยาได้ดี เช่น โพลีเอทธิลีน พีวีซี เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32012



รูปที่ 2 แสดงฮัลเซลล์ที่มีขนาดบรรจุน้ำยา 267 มิลลิลิตร

นอกจากนี้ฮัลเซลล์ยังสามารถบอกถึงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมที่จะใช้ในการชุบได้อีกด้วย โดยจะสังเกตจากตำแหน่งที่ทำให้เกิดความเงาดีที่สุดซึ่งความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าบริเวณใกล้ขั้วบวกจะมีค่ามากกว่าบริเวณที่ไกลขั้วบวก ซึ่งการกระจายของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบในตำแหน่งต่างๆ จะเป็นไปตามสมการดังนี้

$$C.D. = I (5.1\text{-}5.24 \log X)$$

เมื่อ C.D. คือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ห่างจากขอบของขั้วลบที่มีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงสุดเป็นระยะทาง X cm. มีหน่วยเป็น แอมแปร์ ต่อ ตารางเดซิเมตร

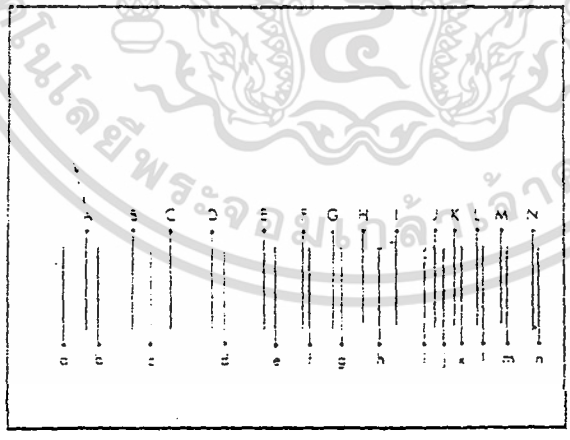
I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านน้ำยาชุบมีหน่วยเป็นแอมแปร์

X คือ ระยะทางที่ห่างจากขอบของขั้วลบที่มีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงสุด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการกระจายของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสำหรับฮัลเซลล์ที่บรรจุน้ำยาชุบขนาด 267 มิลลิลิตร

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร)													
	a	b	c	d	e	f	g	h	I	j	k	l	m	n
0.5	2.5	2	1.5	1	0.75	0.65	0.5	0.37	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0.025
1	5	4	3	2	1.5	1.25	1	0.75	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05
2	10	8	6	4	3	2.5	2	1.5	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1
3	15	12	9	6	4.5	3.75	3	2.25	1.5	1.2	0.9	0.6	0.3	0.15
5	25	20	15	10	7.5	5	5	3.75	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.25



รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งต่างๆ บนแผ่นฮัลเซลล์ที่บรรจุน้ำยาชุบขนาด 267 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบ หลังจากการทดสอบแล้วผลจะแสดงให้เห็นในแผ่นทดสอบ เช่น ทดสอบน้ำยาชุบนิเกิลเงา ถ้าหากแผ่นทดสอบเงาเรียบสม่ำเสมอทั้งแผ่นแสดงว่าน้ำยาชุบอยู่ในสภาพดี แต่ถ้าหากแผ่นทดสอบมีรอยไหม้มากในบริเวณที่มีกระแสไฟฟ้าสูง แสดงว่าน้ำยาเจือจางลงมากจำเป็นจะต้องแก้ไข โดยสามารถดูวิธีแก้ไขได้จากภาคผนวก ข

2.5.2 ประโยชน์ของการทดสอบด้วยวิธีฮัลเซลล์

1. สามารถประมาณค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในช่วงที่ทำการชุบแล้วได้ผิวที่ชุบเป็นเงางามโดยค่าที่ควรใช้ที่ดีที่สุดควรจะเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้

2. ช่วยประมาณค่าความเข้มข้นของสารที่เป็นองค์ประกอบของน้ำยาชุบ เช่น ถ้า ปริมาณของไอออนของโลหะที่จะไปเกาะบนผิวของชิ้นงานมีมากเกินไป ก็จะทำให้ต้องใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงกว่าปกติจึงจะทำให้ชิ้นงานเงางาม

3. จากลักษณะการเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบของฮัลเซลล์จะช่วยบอกได้ว่าสารเพิ่มคุณสมบัติ เช่น น้ำยาเงา สารลดรูพรุน หรือสารตัวอื่น มีปริมาณมากหรือน้อยเกินไปได้

4. สิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการให้มีในน้ำยาชุบ เช่น ไอออนของโลหะชนิดอื่นๆ หรือสารอินทรีย์อื่นๆ ถ้ามีในน้ำยาชุบแล้วจะทำให้เกิดผลเสียต่อน้ำยาชุบหรือไม่อย่างไร จะดูได้จากการเกาะเคลือบผิวของขั้วลบ เพราะถ้าหากมีไม่เกินขีดจำกัดที่จะมีได้ก็จะไม่เกิดผลเสียอะไร แต่ถ้ามีมากเกินไปก็จะปรากฏผลให้เห็น

5. ฮัลเซลล์เป็นเครื่องมือที่จะช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับสารเพิ่มคุณสมบัติ กำลังการยึดเกาะ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำสุดที่จะใช้ได้ ประสิทธิภาพของขั้วลบโดยเฉลี่ยกำลังการเคลือบผิว ผลของ pH อุณหภูมิ เป็นต้น

2.5.3 สิ่งที่ควรทราบในการทดสอบน้ำยาด้วยวิธีฮัลเซลล์

1.ใส่น้ำยาลงไปในเซลล์ให้ได้ระดับหรือปริมาตรที่ต้องการ

2. คนหรือกวนน้ำยาให้ทั่ว โดยใช้แท่งแก้วกวนหรืออาจใช้ลมเป่าก็ได้

3. ปรับอุณหภูมิของน้ำยาให้คงที่เท่ากับอุณหภูมิของน้ำยาชุบจริง ซึ่งควรจะใช้ฮัลเซลล์ชนิดที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ และห้ามปรับอุณหภูมิโดยเอาฮัลเซลล์ไปวางบนแหล่งกำเนิดความร้อนโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ถ้าต้องการทดสอบน้ำยาชุบที่มีความเข้มข้นต่างกันหรือต่างชนิดกัน ในฮัลเซลล์อันเดิมจะต้องทำความสะอาดฮัลเซลล์และขั้วไฟฟ้าให้สะอาดเสียก่อน

5. น้ำยาชุบก่อนที่จะนำมาทดสอบด้วยฮัลเซลล์ ควรจะทำวิเคราะห์ปริมาณของสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบและปรับให้มีปริมาณตามสูตรของน้ำยาเสียก่อน เพื่อดูผลที่เกิดจากสิ่งอื่นๆ ซึ่งจะทำให้สะดวกขึ้น

6. ถ้าจะใช้แผ่นเหล็กที่ชุบด้วยสังกะสีเป็นขั้วลบ จะต้องทำการลอกผิวเอาสังกะสีออกให้หมดเสียก่อน

7. เวลาที่ใช้ในการชุบของน้ำยาแบบต่างๆ ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาชุบ

8. ฮัลเซลล์มี 3 ขนาดคือ ขนาดที่บรรจุน้ำยา 267, 534 และ 1000 มิลลิลิตร การเติมสารลงในฮัลเซลล์ขนาด 267 มิลลิลิตร จำนวน 2 กรัม หรือขนาด 534 มิลลิลิตร จำนวน 4 กรัม หรือขนาด 1000 มิลลิลิตรจำนวน 7.5 กรัม จะเหมือนกับการเติมสารลงในถังชุบปกติ จำนวน 7.5 กรัมต่อลิตร

9. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ที่ใช้กับฮัลเซลล์จะต้องให้กระแสไฟฟ้าที่เรียบมาก

10. ไม่ควรนำขั้วลบที่ใช้แล้วมาลอกผิวเพื่อชุบใหม่อีกครั้งหนึ่ง เพราะลักษณะของผิวหน้าที่ลอกจะไม่เหมือนกับผิวหน้าที่ยังไม่เคยทำการชุบ

11. น้ำยาชุบที่นำมาทดสอบในคราวหนึ่งๆ ไม่ควรจะนำชิ้นงานมาชุบหลายแผ่น โดยไม่ควรจะเกิน 6-8 แผ่น

12. ขั้วบวกที่ใช้ควรจะมีขนาดเท่ากับพื้นที่หน้าตัด ของบริเวณที่เป็นตำแหน่งของขั้วบวกของฮัลเซลล์ และส่วนใหญ่แล้วขั้วบวกจะเป็นแผ่นแบน แต่ถ้าต้องการให้ขั้วบวกมีการละลายสูงจะใช้ขั้วบวกที่เป็นตะแกรงหรือแผ่นลูกฟูก

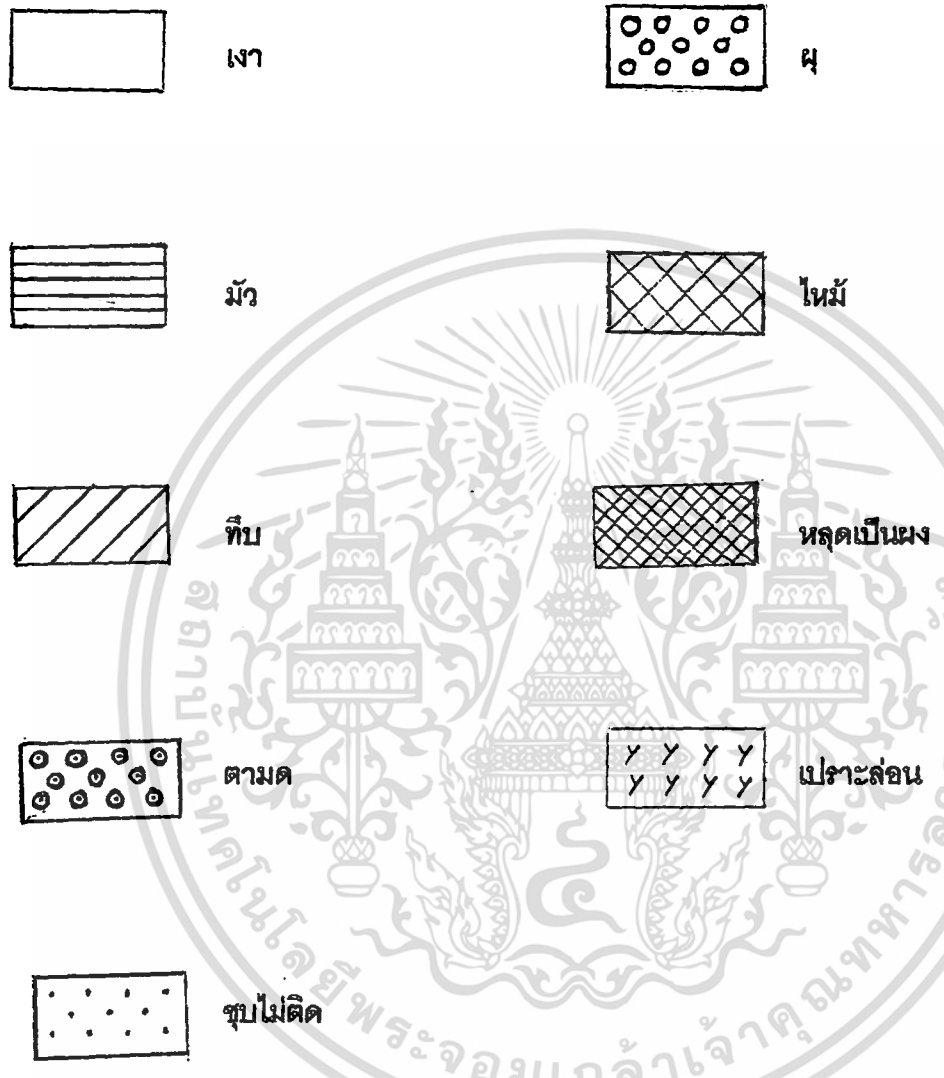
13. ขั้วลบเป็นแผ่นโลหะแบน เรียบ มีขนาดเท่ากับพื้นที่หน้าตัดของฮัลเซลล์ที่เป็นตำแหน่งของขั้วลบ ซึ่งมักจะใช้แผ่นทองเหลืองเป็นขั้วลบ

14. แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงนิยมใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ขนาด 10 แอมแปร์ 12 โวลท์ มากกว่าที่จะใช้ แบตเตอรี่

15. สำหรับฮัลเซลล์ที่ใช้กระแสไฟฟ้าสูงจะต้องใช้น้ำหล่อข้างนอกด้วย เพราะน้ำยาจะเกิดความร้อนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการทดสอบน้ำยาซุบด้วยวิธีฮัลเซลล์ สามารถแสดงเป็นสัญลักษณ์ได้ดังนี้



รูปที่ 4 แสดงสัญลักษณ์ของลักษณะแผ่นฮัลเซลล์ที่ได้จากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและวัสดุเคมีที่ใช้

- เตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์
  ความเข้มข้น 230 กรัม ต่อ ลิตร
- แอมโมเนียมคลอไรด์
  เกรดวิเคราะห์
- แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
  เกรดห้องปฏิบัติการ
- ไพริดีน
  เกรดห้องปฏิบัติการ
- กรดซัลฟิวริก
  เกรดห้องปฏิบัติการ
- แผ่นทองเหลืองเคลือบผิวด้วยทองแดง
  ขนาด 6 × 10 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือที่ใช้

- ชุดทดสอบฮัลเซลล์
- เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า
- แอมมิเตอร์
- พีเอชมิเตอร์
- Gloss-Meter รุ่น haze-Gloss
- ตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

สูตรน้ำยาชุบที่จะต้องเตรียมมีดังนี้

เตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้น	10 - 15	กรัมต่อลิตร
แอมโมเนียมคลอไรด์	50 - 90	กรัมต่อลิตร
แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เพื่อปรับค่า pH ให้อยู่ระหว่าง	8.0 - 9.5	
ขั้วแอโนด	ติตาเนียม	

สำหรับน้ำยาชุบพัลลาเดียมตัวอย่างที่ความเข้มข้นต่างๆ สามารถเตรียมโดย ปิเปตสารละลายเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์ และ แอมโมเนียมคลอไรด์* ได้ดังตารางต่อไปนี้

$[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	10	11	12	13	14	15
ปริมาตรของสารละลาย $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (มิลลิลิตร)	13.0	14.31	15.61	16.91	18.21	19.51

NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	50	60	70	80	90	100
น้ำหนักที่ชั่งมา (กรัม)	15	18	21	24	27	30

*** หมายเหตุ แสดงวิธีการคำนวณไว้ในภาคผนวก ก**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเตรียมสูตรน้ำยาชุบต่างๆ ดังนี้

ชิ้นงานที่	ความเข้มข้นของ $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของ NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	pH	ไพริดีน (มิลลิลิตร)	กระแส (แอมแปร์)
1	10	40	10	-	1
2	10	50	10	-	1
3	10	60	10	-	1
4	10	80	10	-	1
5	12	40	10	-	1
6	10	80	10	-	0.5
7	10	100	10	-	0.5
8	10	50	7	-	0.5
9	10	50	8	-	0.5
10	10	50	9	-	0.5
11	10	50	10	-	0.5
12	10	60	9	-	0.5
13	10	80	9	-	0.5
14	10	80	9	-	0.7
15	12	50	8	-	0.5
16	12	60	8	-	0.5
17	12	70	8	-	0.5
18	12	70	8	-	0.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานที่	ความเข้มข้นของ $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของ NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	pH	ไพริดีน (มิลลิลิตร)	กระแส (แอมแปร์)
19	14	50	8	-	0.5
20	14	60	8	-	0.5
21	14	70	8	-	0.5
22	14	80	8	-	0.5
23	14	80	9	-	0.5
24	12	60	8	1	0.5
25	12	60	8	2	0.5
26	12	60	8	3	0.5
27	12	60	8	4	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

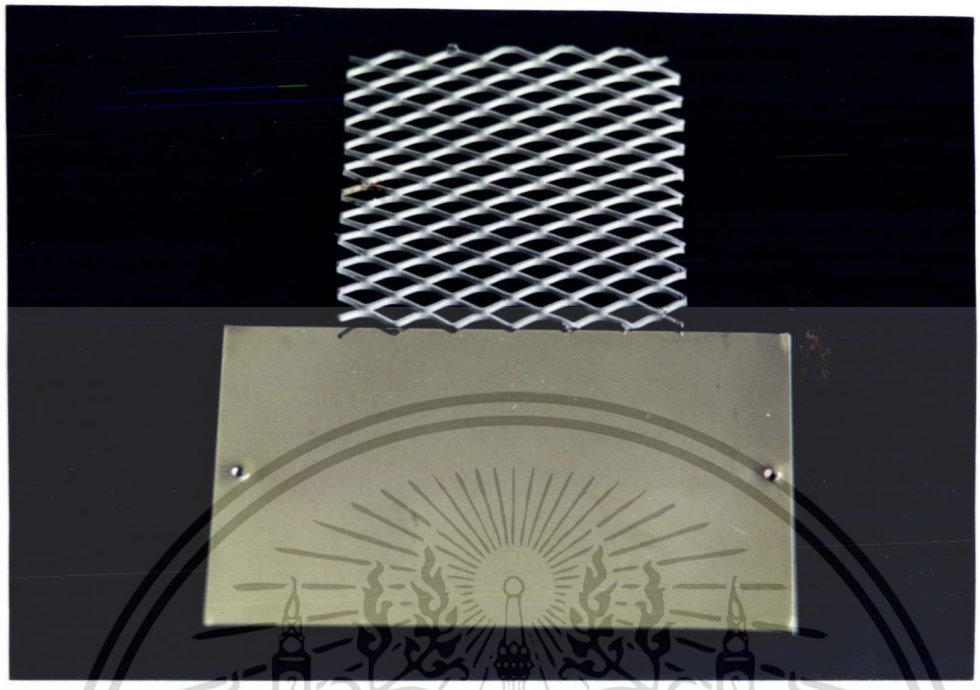
3.4 ขั้นตอนการทดสอบ

3.4.1 การทดสอบด้วยวิธีฮัลเซลล์

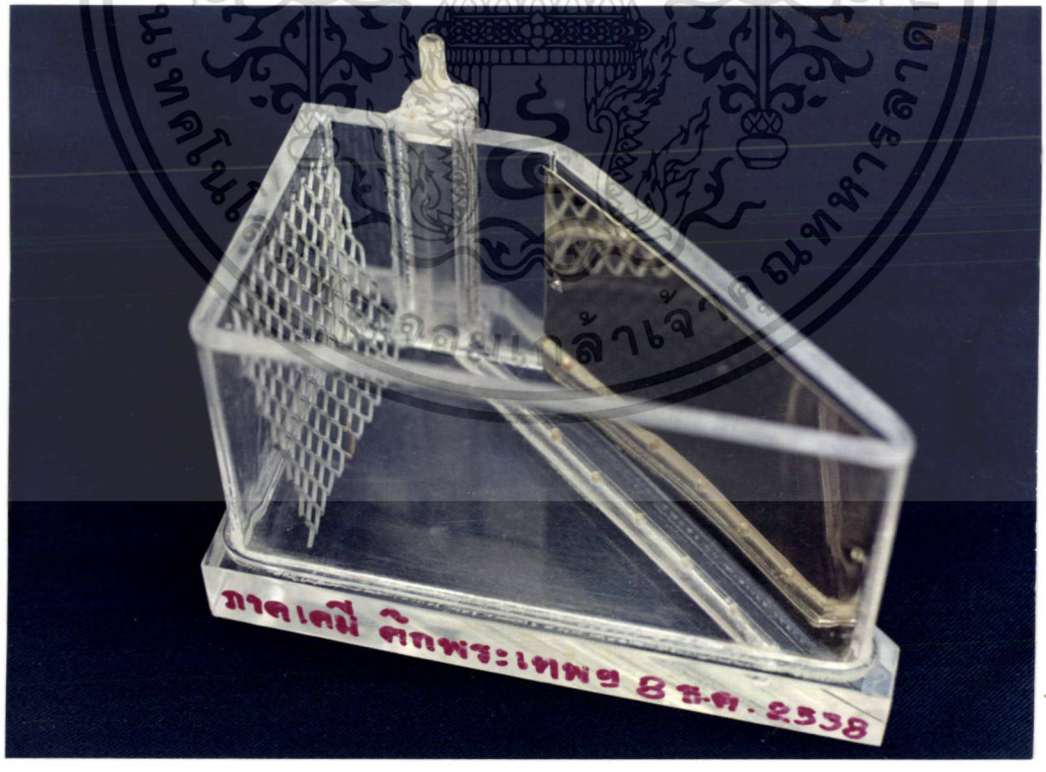
เครื่องมือ
1. ชุดทดสอบฮัลเซลล์
2. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

วิธีทดสอบ
1. นำน้ำยาชุบที่ทราบปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ลงในฮัลเซลล์ ปริมาตร 267 มิลลิลิตร
2. ทำความสะอาดแผ่นฮัลเซลล์ทองเหลืองที่ชุบด้วยทองแดง ด้วยน้ำสบู่และล้างอีกครั้งด้วยน้ำกลั่น
3. นำแผ่นฮัลเซลล์มาล้างด้วยกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 10 เปอร์เซนต์
4. วางแผ่นฮัลเซลล์และแผ่นติตาเนียม ลงในตำแหน่งที่กำหนดไว้ในฮัลเซลล์
5. ต่อวงจรกับเครื่องกระแสไฟฟ้าโดยขั้วลบต่อกับแผ่นชิ้นงาน และขั้วบวกต่อกับแผ่นติตาเนียม
6. จ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรง โดยต้องให้ค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ค่าใดค่าหนึ่งและคนน้ำยาชุบด้วยแท่งแก้วอย่างสม่ำเสมอเป็น เวลา 3 นาที
7. ปิดกระแสไฟฟ้าแล้วนำขั้วไฟฟ้าออก นำแผ่นชิ้นงานมาล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วเป่าให้แห้ง
8. จดบันทึกลักษณะชิ้นงานที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

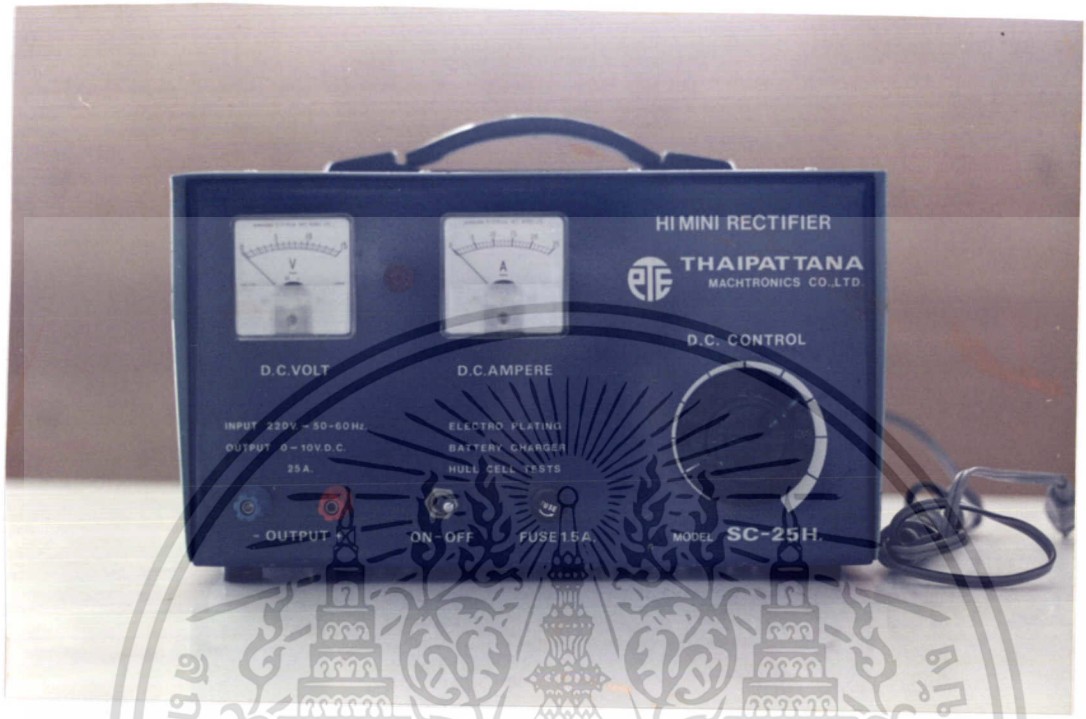


รูปที่ 5 แสดงแผ่นทดสอบฮัลเซลล์และชั้วแอโนดติตาเนียม

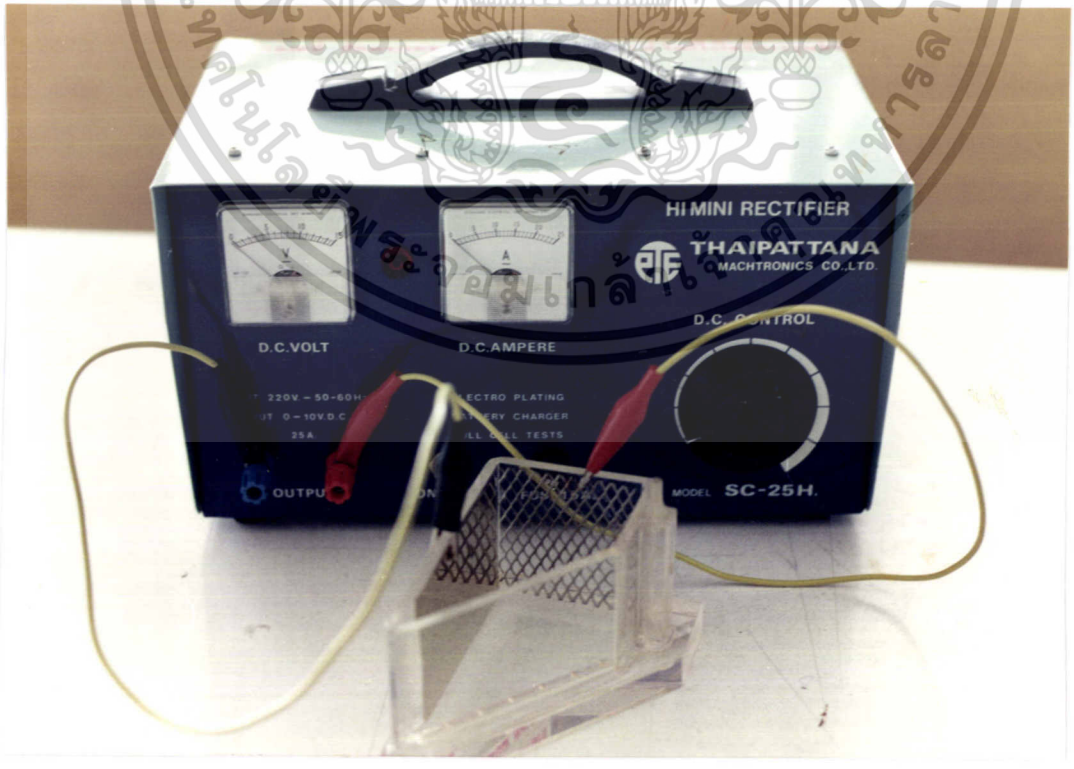


รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งของแอโนดและแคโธด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 แสดง เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 8 แสดงการต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับชุดทดสอบฮัลเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การทดสอบความเงา

เครื่องมือ Gloss-Meter

วิธีทดสอบ 1. นำแผ่นฮัลเซลล์วางบนตำแหน่งที่กำหนด

2. วัดค่าความเงาที่มุม 60 °

รูปที่ 9 แสดงเครื่องวัดความเงา (Gloss meter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การทดสอบความติดแน่น[8]

เครื่องมือ ตู้อบสารเคมี

วิธีทดสอบ
1. อบแผ่นทดสอบฮัลเซลล์ ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยสามารถมีความคลาดเคลื่อนได้ ไม่เกิน 10 องศาเซลเซียส
2. นำมาแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องทันทีหลังจากที่อบแล้ว
3. สังเกตว่าชิ้นงานมีการหลุดลอกหรือไม่

หมายเหตุ
- วิธีการทดสอบนี้เป็นวิธีตามมาตรฐานอุตสาหกรรม ของการทดสอบการติดแน่นของนิเกิล (ภาคผนวก ฉ)
- การทดสอบนี้อาจทำให้สมบัติเชิงกลของชิ้นงานเปลี่ยนไป ดังนั้นควรทำการวัดค่าความเงาก่อนที่จะนำมาวัดคุณสมบัติของการติดแน่น

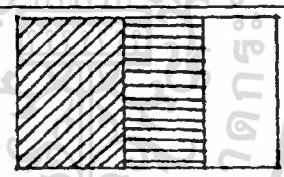
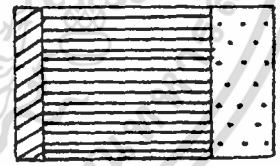
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

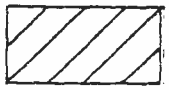
บทที่4
ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 ผลการทดสอบน้ำยาชุบด้วยวิธีฮัลเซลล์

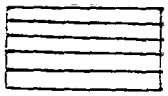
4.1.1 การหาค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม

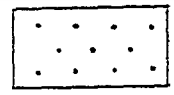
ผลการทดลองหาค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการชุบ โดยทดสอบกับน้ำยาชุบ ที่มีองค์ประกอบต่างๆ กันดังนี้

ความเข้มข้นของ $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	pH	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ชิ้นงานที่	ผลแสดงบนแผ่นฮัลเซลล์
10	50	10	1.0	2	
			0.5	11	

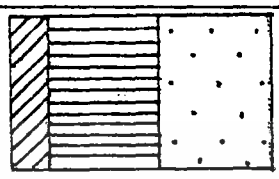
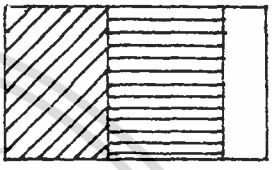
 ชิ้นงานทึบ

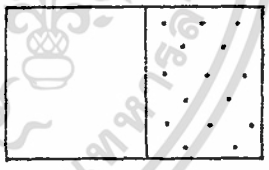
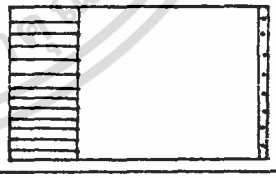
ชิ้นงานแวววาว

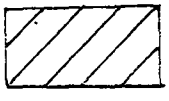
 ชิ้นงานมัว

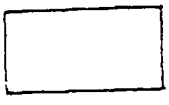
 ชุบไม่ติด

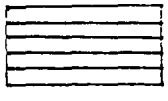
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

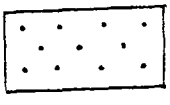
ความข้มข้นของ $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของ NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	pH	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ชิ้นงานที่	ผลแสดงบนแผ่นฮัลเซลล์
10	80	10	0.5	6	
			1.0	4	

ความเข้มข้นของ $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของ NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	pH	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ชิ้นงานที่	ผลแสดงบนแผ่นฮัลเซลล์
12	70	8	0.3	18	
			0.5	17	

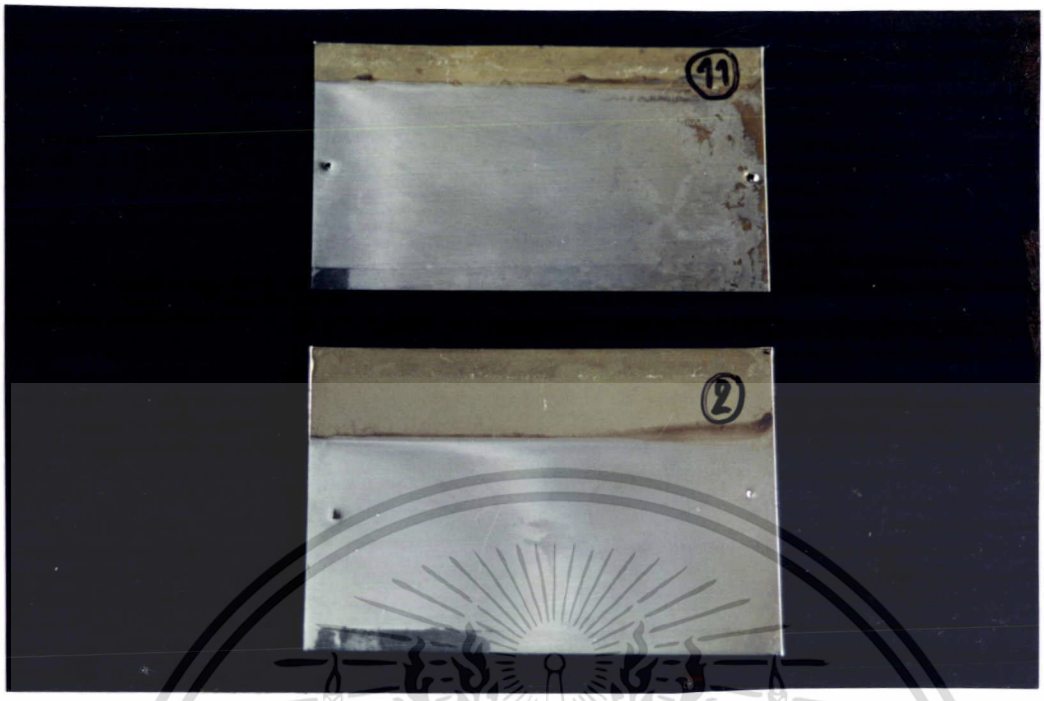
 ชิ้นงานทึบ

 ชิ้นงานแวววาว

 ชิ้นงานมัว

 จุบไม่ติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 10 แสดงการเปรียบเทียบแผ่นฮัดเซลล์ที่วิเคราะห์โดยใช้กระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน(ใช้ พัลลาเดียม 10 กรัมต่อลิตร แอมโมเนียมคลอไรด์ 50 กรัมต่อลิตร ที่ pH = 7

ชิ้นงานที่ 2 ใช้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์

11 ใช้กระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์

รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบแผ่นฮัดเซลล์ที่วิเคราะห์โดยใช้กระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน(ใช้พัลลาเดียม 12 กรัมต่อลิตร แอมโมเนียมคลอไรด์ 70 กรัมต่อลิตร ที่ pH = 7

ชิ้นงานที่ 17 ใช้กระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์

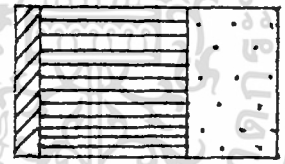
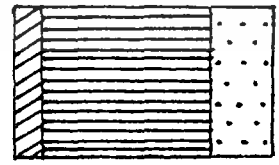
18 ใช้กระแสไฟฟ้า 0.3 แอมแปร์

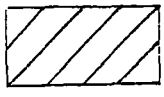
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ค่ากระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมแก่การชุบคือ 0.5 แอมแปร์ โดยถ้าให้กระแสไฟฟ้ามากกว่า 0.5 แอมแปร์ จะทำให้เกิดรอยดำบนชิ้นงานมากขึ้นโดยจะเกิดทางด้านที่มีความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูง และรอยดำจะมากขึ้นเรื่อยๆ เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้นไปอีก แต่ถ้าให้กระแสไฟฟ้าต่ำกว่า 0.5 แอมแปร์ จะทำให้ชุบชิ้นงานด้านที่มีความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำไม่ติด จากรูปที่ 3 ทำให้ทราบว่า ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมคือ อยู่ในช่วง 0.05 - 2.5 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร

4.1.2 การหาค่าความเป็นกรด-เบส ที่เหมาะสม

ผลการทดสอบฮัลเซลล์โดยควบคุมเปรียบเทียบค่า pH และควบคุมให้สภาวะอื่นคงที่

ความเข้มข้นของ $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของ NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	pH	ชิ้นงานที่	ผลแสดงบนแผ่นฮัลเซลล์
10	50	0.5	7	8	
			8	9	
			9	10	
			10	11	

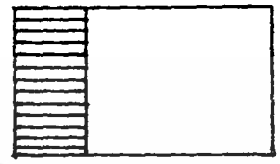
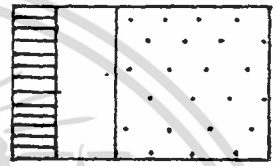
 ผิวชิ้นงานทึบ

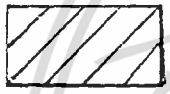
ชิ้นงานแวววาว

ชิ้นงานมัว

ชุบไม่ติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของ $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของ NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	pH	ชิ้นงานที่	ผลแสดงบนแผ่นฮัลเซลล์
14	80	0.5	8	22	
			9	23	

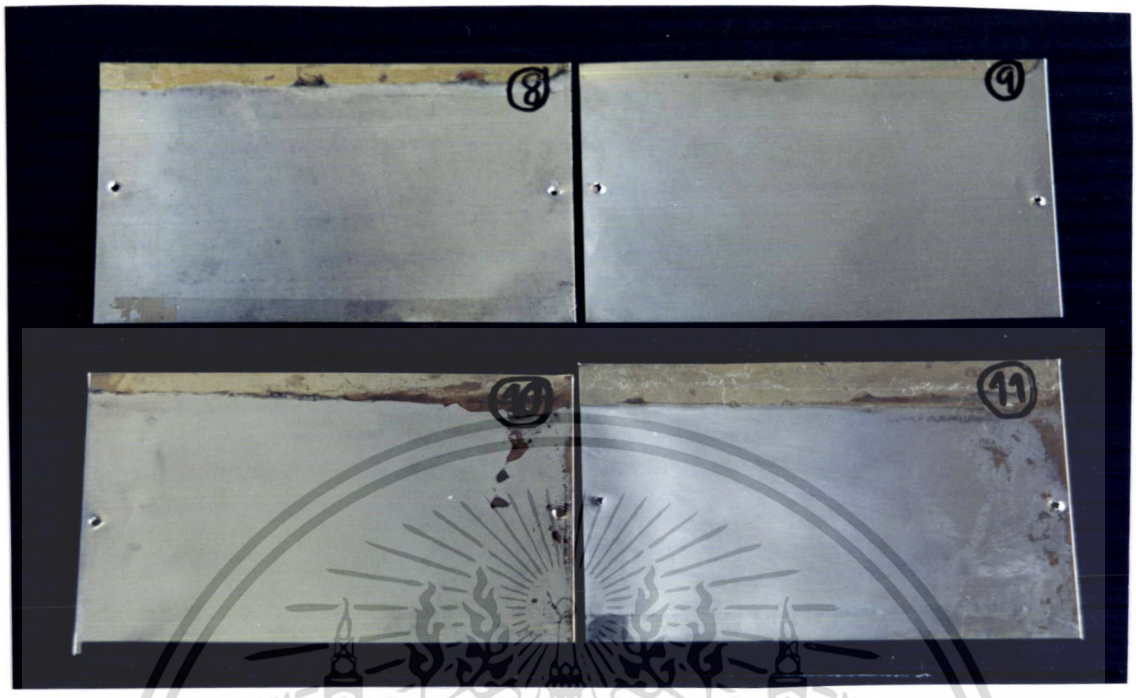
 ผิวชิ้นงานทึบ

ชิ้นงานแวววาว

ชิ้นงานมัว

ชุบไม่ติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบแผ่นฮัลเซลล์ที่วิเคราะห์โดยใช้ค่า pH ที่แตกต่างกัน(ใช้พัลลาเดียม 10 กรัมต่อลิตร แอมโมเนียมคลอไรด์ 50 กรัมต่อลิตร และกระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์)

ชิ้นงานที่ 8 กระทำที่ค่า pH = 7 ,9 กระทำที่ค่า pH = 8
10 กระทำที่ค่า pH = 9 ,11 กระทำที่ค่า pH = 10

รูปที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบแผ่นฮัลเซลล์ที่วิเคราะห์โดยใช้ค่า pH ที่แตกต่างกัน(ใช้พัลลาเดียม 14 กรัมต่อลิตร แอมโมเนียมคลอไรด์ 80 กรัมต่อลิตร และกระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์)

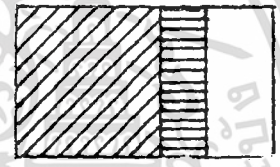
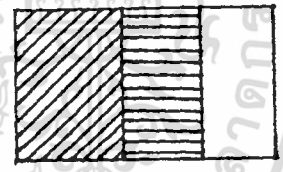
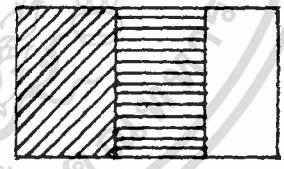
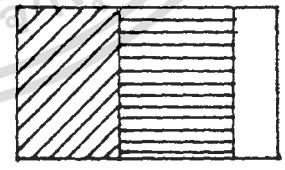
ชิ้นงานที่ 22 กระทำที่ค่า pH = 8
23 กระทำที่ค่า pH = 9

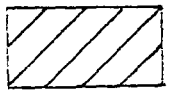
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ค่าความเป็นกรด-เบส ที่เหมาะสมคือ เท่ากับ 8 ถ้าน้ำยาชุบมีความเป็นเบสมากกว่านี้จะทำให้ชุบไม่ติด และถ้ามีความเป็นกรดมากกว่านี้จะเริ่มเกิดรอยดำทางด้านความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง

4.1.3การหาปริมาณของแอมโมเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสม

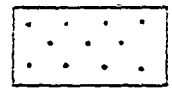
ผลการทดสอบฮัลเซลล์โดยควบคุมเปรียบเทียบค่า NH_4Cl และควบคุมให้สภาวะอื่นคงที่ให้ผลดังต่อไปนี้

ความเข้มข้นของ[Pd $(NH_3)]_4Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	pH	ความเข้มข้นของ NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	ชิ้นงานที่	ผลแสดงบนแผ่นฮัลเซลล์
10	1.0	10	40	1	
			50	2	
			60	3	
			80	4	

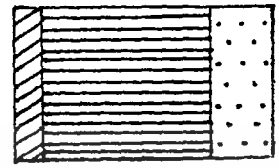
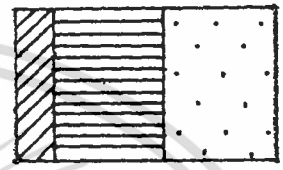
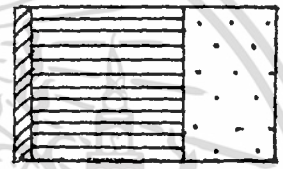
 ชิ้นงานทึบ

ชิ้นงานแวววาว

ชิ้นงานมัว

 ชุบไม่ติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของ $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	pH	ความเข้มข้นของ NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	ชิ้นงานที่	ผลแสดงบนแผ่นฮัลเซลล์
10	0.5	10	50	11	
			80	6	
			100	7	

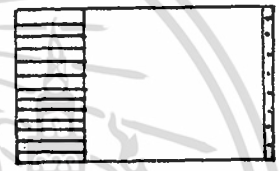
ชิ้นงานทึบ

ชิ้นงานแวววาว

ชิ้นงานมัว

จุบไม่ติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของ $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	pH	ความเข้มข้นของ NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	ชิ้นงานที่	ผลแสดงบนแผ่นฮัลเซลล์
12	0.5	8	50	15	
			60	16	
			70	17	

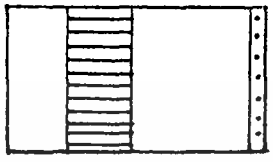
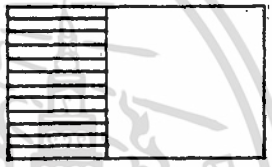
ชิ้นงานทึบ

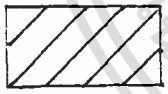
ชิ้นงานแวววาว

ชิ้นงานมัว

ชุบไม่ติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของ $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	pH	ความเข้มข้นของ NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	ชิ้นงานที่	ผลแสดงบนแผ่นฮัลเซลล์
14	0.5	8	50	19	
			60	20	
			70	21	
			80	22	

 ชิ้นงานทึบ

ชิ้นงานแวววาว

ชิ้นงานมัว

ชุบไม่ติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

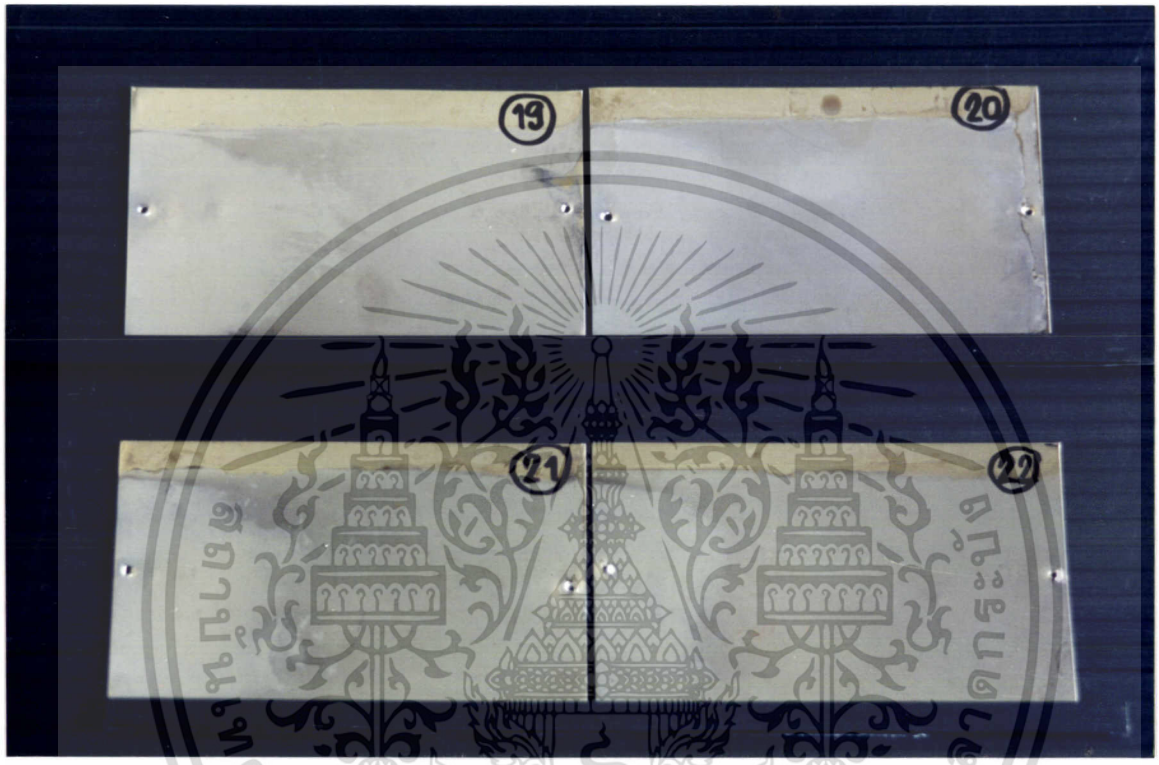
รูปที่ 14 แสดงแผ่นฮัลเซลล์ที่วิเคราะห์โดยมีความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์แตกต่างกัน(ใช้พัลลาเดียม 12 กรัมต่อลิตร กระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์ ที่ pH = 8)

ชิ้นงานที่ 15 มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ 50 กรัมต่อลิตร

16 มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ 60 กรัมต่อลิตร

17 มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ 70 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 15 แสดงแผ่นฮัลเซลล์ที่วิเคราะห์โดยมีความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์แตกต่างกัน(ใช้พัลลาเดียม 14 กรัมต่อลิตร กระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์ ที่ pH = 8)

ชิ้นงานที่ 19 มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ 50 กรัมต่อลิตร

20 มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ 60 กรัมต่อลิตร

21 มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ 70 กรัมต่อลิตร

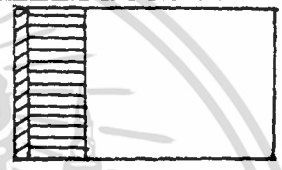
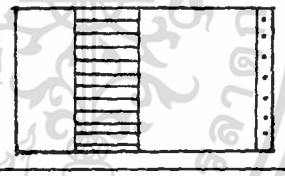
22 มีความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ 80 กรัมต่อลิตร

จากการทดสอบสรุปได้ว่าค่าความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ที่เหมาะสมคือ 60 กรัมต่อลิตร ถ้าใช้สูตรที่มีความเข้มข้นน้อยลงมามีผลทำให้แผ่นชุบมัวบริเวณที่มีความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูง และทำให้ชุบไม่ติดเมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่ำ หากใช้แอมโมเนียมคลอไรด์ในปริมาณที่สูงกว่านี้จะทำให้ชิ้นงานเกิดรอยไหม้ได้

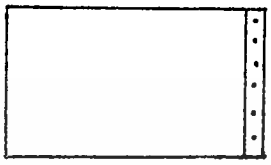
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

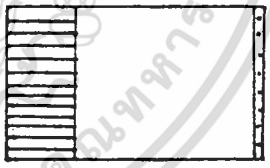
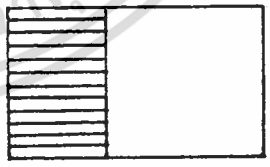
4.1.4 การหาปริมาณของเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสม

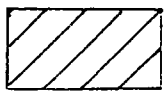
ผลการทดสอบฮัลเซลล์โดยควบคุมเปรียบเทียบค่า $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ และควบคุมให้สภาวะอื่นคงที่ ให้ผลดังต่อไปนี้

ความเข้มข้นของ NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	pH	ความเข้มข้นของ $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	ชิ้นงานที่	ผลแสดงบนแผ่นฮัลเซลล์
50	0.5	8	10	9	
			12	15	
			14	19	

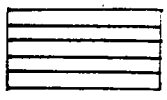
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

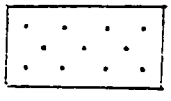
ความเข้มข้นของ NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	pH	ความเข้มข้นของ $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	ชิ้นงานที่	ผลแสดงบนแผ่นฮัลเซลล์
60	0.5	8	12	16	
			14	20	

ความเข้มข้นของ NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	pH	ความเข้มข้นของ $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	ชิ้นงานที่	ผลแสดงบนแผ่นฮัลเซลล์
70	0.5	8	12	17	
			14	21	

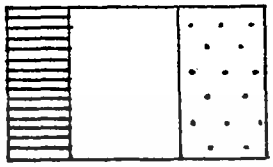
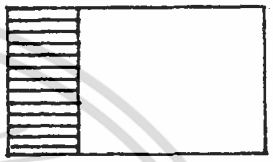
 ชิ้นงานทึบ

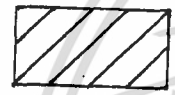
ชิ้นงานแวววาว

 ชิ้นงานมัว

 จุบไม่ติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของ NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	pH	ความเข้มข้นของ $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	ชิ้นงานที่	ผลแสดงบนแผ่นฮัลเซลล์
80	0.5	9	10	13	
			14	22	

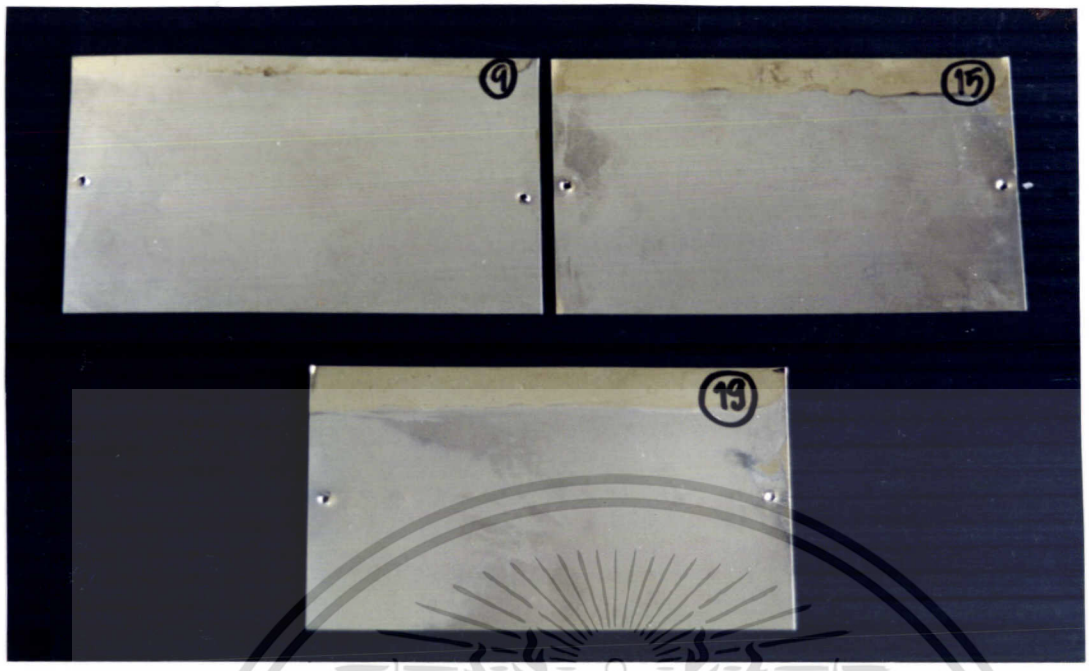
 ชิ้นงานทึบ

ชิ้นงานแวววาว

ชิ้นงานมัว

ชุบไม่ติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบแผ่นฮัลเซลล์ที่วิเคราะห์โดยความเข้มข้นของเตตระแอมมีนพัลลา
เดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกัน(ใช้แอมโมเนียมคลอไรด์ 50 กรัมต่อลิตร กระแส 0.5 แอมแปร์ ที่ pH=8)
ชิ้นงานที่ 9 มีความเข้มข้นของเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์เข้มข้น 10 กรัมต่อลิตร
15 มีความเข้มข้นของเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์เข้มข้น 12 กรัมต่อลิตร
19 มีความเข้มข้นของเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์เข้มข้น 14 กรัมต่อลิตร

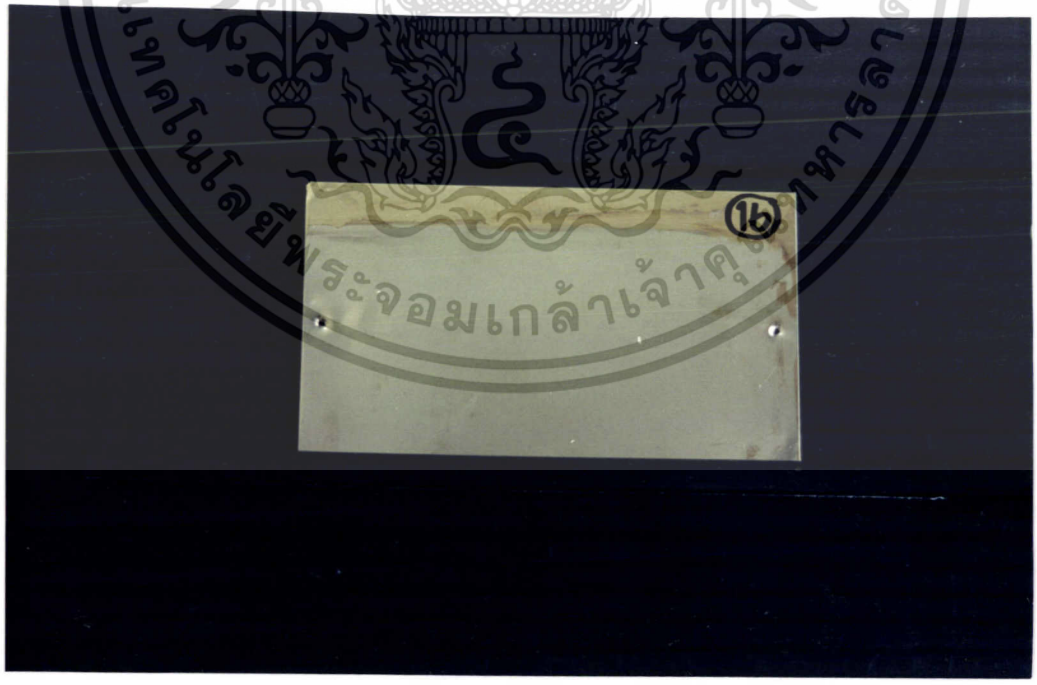
รูปที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบแผ่นฮัลเซลล์ที่วิเคราะห์โดยความเข้มข้นของเตตระแอมมีนพัลลา
เดียมคลอไรด์ที่แตกต่างกัน(ใช้แอมโมเนียมคลอไรด์ 70 กรัมต่อลิตร กระแสไฟฟ้า 0.5 ที่ pH = 8)
ชิ้นงานที่ 17 มีความเข้มข้นของเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์เข้มข้น 12 กรัมต่อลิตร
21 มีความเข้มข้นของเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์เข้มข้น 14 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การชุบเคลือบผิวด้วยพัลลาเดียมนั้น ค่าความเข้มข้นของเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์ที่ดีที่สุดควรใช้ที่ค่าความเข้มข้น 12 กรัมต่อ ลิตร ถ้าความเข้มข้นของพัลลาเดียมน้อยกว่านี้จะทำให้เกิดรอยมัวบางส่วนของแผ่นชิ้นงาน และถ้าใช้ความเข้มข้นมากกว่านี้ จะทำให้เกิดรอยดำบนแผ่นชิ้นงานอย่างเด่นชัด และรอยดำจะชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อปริมาณของแอมโมเนียมคลอไรด์สูงขึ้นด้วย

จากการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปหาสภาวะที่เหมาะสมในการชุบได้ว่า ชิ้นงานที่ 16 ซึ่งมีสภาวะดังนี้

ความเข้มข้นของเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์	12 กรัมต่อลิตร
ความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์เข้มข้น	60 กรัมต่อลิตร
ค่า pH เท่ากับ	8
กระแสไฟฟ้า	0.5 แอมแปร์

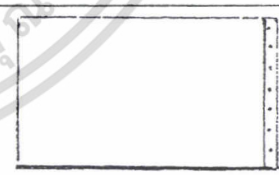
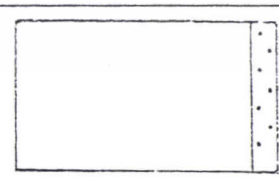


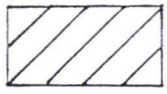
รูปที่ 18 แสดงชิ้นงานที่มีสภาวะดีที่สุด

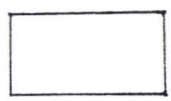
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

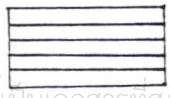
4.1.5 ผลของการชุบเมื่อเติมไพริดีน

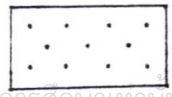
ผลการทดสอบฮัลเซลล์โดยควบคุมเปรียบเทียบ ปริมาณและควบคุมให้สภาวะอื่นคงที่ โดยเลือกใช้สภาวะที่ทำให้การชุบดีที่สุดมาเติม ไพริดีนซึ่งให้ผลดังต่อไปนี้

ความเข้มข้นของ $[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	pH	ความเข้มข้นของ NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	ปริมาณไพริดีน (%โดยปริมาตร)	ชิ้นงานที่	ผลแสดงบนแผ่นฮัลเซลล์
12	0.5	8	60	0.00	16	
				0.33	24	
				0.67	25	
				1.00	26	
				1.33	27	

 ผิวชิ้นงานทึบ

 ชิ้นงานแวววาว

 ชิ้นงานมัว

 ชุบไม่ติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 19 แสดงแผ่นฮัลเซลล์ที่ทำการวิเคราะห์โดยใช้ปริมาณ ไพริดีนที่แตกต่างกัน

ชิ้นงานที่ 16 เป็นแผ่นที่มีสภาวะที่สุดและยังไม่มีการเติมไพริดีน

25 เป็นแผ่นที่มีสภาวะที่สุดและมีการเติมไพริดีน 0.67 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร

26 เป็นแผ่นที่มีสภาวะที่สุดและมีการเติมไพริดีน 1.00 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร

27 เป็นแผ่นที่มีสภาวะที่สุดและมีการเติมไพริดีน 1.34 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร

จากการทดลอง พบว่าเมื่อหาสภาวะของการชุบที่ดีที่สุดได้แล้ว มาเติมไพริดีนในปริมาณต่างๆ กัน โดยพบว่าเมื่อใช้ปริมาณของ ไพริดีน 1.0 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตร นั้นจะให้ผลที่ดีที่สุด เนื่องจากจะทำให้ชิ้นงานมีความเงาดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 20 แสดงสภาวะที่ดีที่สุดเมื่อเติมไพริดีนในปริมาณ 1 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบความเงา

ชิ้นงานที่	ค่าความเงา (มุม 60°)
1	513
2	499
3	469
4	526
5	457
6	515
7	493
8	522
9	579
10	614
11	337
12	606
13	549
14	506
15	610
16	595
17	510
18	555
19	538
20	635
21	633
22	556
23	596

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นงานที่	ค่าความเงา (มุม 60°)
24	606
25	612
26	634
27	628

จากการทดสอบจะเห็นได้ว่า เมื่อ pH มีค่าสูง ชิ้นงานจะมีความเงาสูงกว่า สภาวะที่มีค่าเป็นกรด เมื่อเติมปริมาณของแอมโมเนียมคลอไรด์สูงขึ้นจะทำให้ความเงาลดลง และเมื่อเพิ่มปริมาณของพัลลาเดียม จะทำให้ความเงาเพิ่มขึ้น และความเงาจะสูงสุดเมื่อไพริดีนมีปริมาณ 1 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตร และเมื่อเติมพัลลาเดียมสูงกว่านี้จะทำให้ค่าความเงาลดลง

4.3 ผลการทดสอบความติดแน่น

จากการทดสอบพบว่าทุกแผ่นที่ทำการทดสอบมีความสามารถในการติดแน่นดีทุกแผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากผลการทดลองพบว่าการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยพัลลาเดียมจะได้ผลดีต้องประกอบด้วยหลายปัจจัยรวมกัน ได้แก่ ความเข้มข้นของเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และpH เป็นต้น ดังแสดงในรายละเอียดต่อไปนี้

1. ผลกระทบของปริมาณกระแสไฟฟ้า

เมื่อใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าต่ำกว่า 0.5 แอมแปร์จะทำให้ชุบไม่ติดชิ้นงาน และผิวชิ้นงานจะไหม้เมื่อใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าสูง กว่า 0.5 แอมแปร์ หรือนั่นคือ จะสามารถทำการชุบได้ดีในช่วงความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 0.05 - 2.5 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตรซึ่งเป็นช่วงที่กว้างทำให้สามารถควบคุมปริมาณกระแสได้ง่าย

2. ผลกระทบของปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์

เมื่อปริมาณแอมโมเนียมคลอไรดในน้ำยาชุบมีน้อยกว่า 12 กรัม ต่อ ลิตร มีผลทำให้แผ่นชุบมัวและชุบไม่ติด แต่ถ้าปริมาณของแอมโมเนียมคลอไรด์มากกว่า 12 กรัม ต่อ ลิตรจะทำให้เกิดรอยไหม้ขึ้นได้

3. ผลกระทบของความเป็นกรด-เบส

น้ำยาชุบควรมีสภาวะเป็นเบสเล็กน้อย คือควรมีค่า pH ประมาณ 8 หากมีความเป็นเบสมากกว่านี้จะทำให้ชุบไม่ติด และถ้ามีค่าความเป็นกรดมากกกว่านี้จะทำให้ชุบได้ไม่เงา

4. ผลกระทบของเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์

ถ้าความเข้มข้นของเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์ มีน้อยกว่า 12 กรัม ต่อ ลิตร ผลการชุบจะทำให้เกิดรอยมัวบนแผ่นและจะมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นน้อยลง แต่ถ้าน้ำยาชุบมีความเข้มข้นของเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์สูงกว่า 12 กรัม ต่อ ลิตร จะทำให้การชุบไม่เงาและเกิดรอยด่างเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรน้ำยาชุบและสภาวะการชุบจะมีค่าเฉพาะแน่นอน จึงจะทำให้ผลของชิ้นงานมีความเงาดี ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ได้จากการทดสอบด้วยวิธีซัลเซลล์ จากผลการวิจัยสามารถหาสูตรน้ำยาชุบและสภาวะการชุบได้ดังนี้

เตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์	12 กรัม ต่อ ลิตร
แอมโมเนียมคลอไรด์	60 กรัม ต่อ ลิตร
pH	8
ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า	0.05 - 2.5 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร
ขั้วแอโนด	ติตาเนียม
อุณหภูมิ	28 ^{o}
เวลา	3 นาที

และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้านความเงาได้ด้วยการเติม ไพริดีน ซึ่งปริมาณที่เหมาะสมคือเติมในปริมาณ 1.0 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตร โดยหากเติมไพริดีนในปริมาณที่น้อยกว่านี้ จะมีความเงาดีไม่เท่ากับ ไพริดีน ปริมาณ 1.0 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตร แต่หากเติมไพริดีน ในปริมาณที่มากกว่านี้จะทำให้ความเงาลดลง และทำให้ผลการชุบในด้านที่มีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำชุบไม่ติด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในงานทดลองขั้นต่อไปควรจะศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับ

1. ศึกษาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเมื่อเติมยาเงาชนิดอื่น
2. ศึกษาผลกระทบขององค์ประกอบชนิดอื่นๆ เช่น สารลดรูพรุน , สารรักษาการเคลือบผิวให้สม่ำเสมอ เป็นต้น
3. ศึกษาถึงการชุบโดยใช้เกลือพัลลาเดียมชนิดอื่น นอกจากพัลลาเดียมเตตระคลอไรด์
4. เปรียบเทียบต้นทุนของน้ำยาชุบในแต่ละสภาวะ
5. ศึกษาถึงความสามารถของน้ำยาว่ามีผลต่อความหนาของชิ้นงานอย่างไร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณความเข้มข้น

1. การคำนวณความเข้มข้น เตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์

มวลโมเลกุล พัลลาเดียม = 106.45

มวลโมเลกุล เตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์ = 245.47844

น้ำยาชุบ พัลเลเดียม มีปริมาณ พัลลาเดียม = 100 กรัมต่อลิตร

ฉะนั้น น้ำยาชุบมีปริมาณของ เตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์

= (245.47844/106.45) ×100

= 230.60 กรัมต่อลิตร

หากต้องการเตรียมน้ำยาชุบที่มีปริมาณเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์ จำนวน 300 มิลลิลิตร จะต้องปิเปตน้ำยาในปริมาตรต่างๆ กัน ซึ่งสามารถคำนวณได้ ดังนี้

ปริมาตรของเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์ = $300\ M_1 / M_2$

เมื่อ M_1 คือ ความเข้มข้นของสารละลาย เตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์เจือจาง

M_2 คือ ความเข้มข้นของสารละลายเตตระแอมมีนพัลลาเดียมคลอไรด์

เข้มข้น 230.60 กรัม ต่อ ลิตร

ซึ่งจากการคำนวณดังกล่าวนี้สามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

$[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (กรัมต่อลิตร)	10	11	12	13	14	15
ปริมาตรของสารละลาย$[Pd(NH_3)_4]Cl_2$ (มิลลิลิตร)	13.0	14.31	15.61	16.91	18.21	19.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การคำนวณความเข้มข้นของ แอมโมเนียมคลอไรด์

มวลโมเลกุลของแอมโมเนียมคลอไรด์ = 53.49

หากต้องการหาความเข้มข้นของแอมโมเนียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ กัน จำนวน 300 มิลลิลิตร สามารถคำนวณได้ดังนี้ คือ

ปริมาตรของแอมโมเนียมคลอไรด์ ที่ชั่งมา = 3M/100

เมื่อ M คือ ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ที่ต้องการ

จากการคำนวณสามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

NH_4Cl (กรัมต่อลิตร)	50	60	70	80	90	100
น้ำหนักที่ชั่งมา (กรัม)	15	18	21	24	27	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ปัญหาที่พบบ่อยๆ และการแก้ไข[4]

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
เกิดก๊าซไฮโดรเจนทำให้ประสิทธิภาพลดลง	-ค่าศักย์ไฟฟ้าสูงเกินไป	-ลดศักย์ไฟฟ้า
ผิวชุบเป็นเม็ด	-การกวนน้ำยาน้อยหรือเบาเกินไป -มีสิ่งเจือปน อยู่ในน้ำยา -ค่า pH ต่ำมากเกินไป	-กวนน้ำยาขณะชุบแรงและเร็วขึ้น -กรองออกด้วยผง Filter aid -ควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม
ผิวมัวหมอง	-ความสะอาดของแผ่นชิ้นงานน้อย -น้ำล้างหลังการชุบไม่สะอาด -การเป่าแห้งไม่ดี	-ล้างแผ่นด้วยตัวทำละลายอินทรีย์(Trichloroethylene หรือ Alkaline ammonia - soap solution) .-ใช้น้ำสะอาดหลังการชุบ -ใส่อ่างดูดความชื้น
ผิวไหม้	-ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงเกินไป -การนำไฟฟ้าไม่ดี	-ลดค่ากระแสไฟฟ้า -เติมเกลือโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหา	สาเหตุ	การแก้ไข
. ผิวชุบเป็นสีเทา-ดำ ตรงๆ บริเวณที่มีความหนาแน่นของกระแสไฟต่ำ	-เนื่องจากมีธาตุโลหะอื่นๆ เจือปนในน้ำยา เช่น ทองแดง หรือสังกะสี	กำจัด ธาตุโลหะที่เจือปนออก โดยนำแผ่นเหล็กดัดให้เป็นลอนลูกฟูกเพื่อให้มีส่วนที่ได้รับกระแสไฟสูง และส่วนที่ได้รับกระแสไฟต่ำ ขั้นแรกต้องทำความสะอาด แผ่นลูกฟูกก่อน แล้วจึงนำลงไปชุบด้วยกระแส 20 แอมแปร์ต่อตารางฟุต เวลา 20 นาที แล้วก็ลดกระแสลงมาเหลือ 2 แอมแปร์ต่อตารางฟุต ชุบทิ้งไว้นานๆ สัก 3 ชั่วโมง นำแผ่นลูกฟูกออกมาขัดถูด้วยแปรง เพื่อให้คราบดำๆ ในซอกออกจนหมด แล้วนำลงชุบใหม่ กระทำอยู่เช่นนี้จนไม่มีคราบดำมาเกาะบนแผ่นลูกฟูก เป็นอันว่าน้ำยาใช้ได้ตามปรกติ วิธีการเช่นนี้เรียกว่า ดัมมี่ (Dummy)
ผิวที่ชุบได้เปราะแตกและล่อนออกง่าย	ผิวที่ชุบได้เปราะแตกและล่อนออกง่าย -มีธาตุโลหะอื่นๆ เจือปน	-กรองด้วยผงคาร์บอน -ทำดัมมี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ค่าสำคัญต่าง ๆที่ใช้ในการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

ความยาว

1 เมตร	= 39.37	นิ้ว
1 เดซิเมตร	= 3.937	นิ้ว
1 เซนติเมตร	= 0.3937	นิ้ว
1 นิ้ว	= 2.54	เซนติเมตร
1 ฟุต	= 30.48	เซนติเมตร

พื้นที่

1 ตารางเมตร	= 1,550	ตารางนิ้ว
1 ตารางเดซิเมตร	= 15.4	ตารางนิ้ว
1 ตารางเซนติเมตร	= 0.155	ตารางนิ้ว
1 ตารางนิ้ว	= 6.45	ตารางเซนติเมตร
1 ตารางฟุต	= 9.29	ตารางเดซิเมตร

ปริมาตร

1 ลูกบาศก์เมตร	= 35.31	ลูกบาศก์ฟุต
1 ลูกบาศก์เดซิเมตร	= 61.02	ลูกบาศก์นิ้ว
1 ลูกบาศก์เซนติเมตร	= 0.061	ลูกบาศก์นิ้ว
1 ลูกบาศก์นิ้ว	= 16.39	ลูกบาศก์เซนติเมตร
1 ลูกบาศก์ฟุต	= 28.32	ลูกบาศก์เดซิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในน้ำยาชุบแต่ละประเภท[6]

น้ำยาชุบ	ประสิทธิภาพ (%)
Cadmium Cyanide	85 - 95
Chromium	12 - 16
Copper (Acid)	95 - 99
Copper (Cyanide)	30 - 60
Copper (Rochelle)	40 - 65
Gold	70 - 85
Indium (Cyanide)	30 - 50
Indium (Sulphate)	70 - 90
Iron	90 - 95
Lead	90 - 100
Nickel	94 - 98
Silver	100
Tin (Acid)	90 - 95
Tin (Stannate)	70 - 85
Rhodium	35 - 40
Zinc (Acid)	97 - 99
Zinc (Cyanide)	85 - 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานรีดักชันกับขั้วมาตรฐานไฮโดรเจน(ที่25°C)[5]

Element	Haft of Reduction	E^0,V
Ag	$Ag^{2+} + e^- \Longleftrightarrow Ag^+$	+2.00
	$Ag^+ + e^- \Longleftrightarrow Ag\downarrow$	+0.799
	$AgBr\downarrow + e^- \Longleftrightarrow Ag\downarrow + Br^-$	+0.071
	$AgBrO_3\downarrow + e^- \Longleftrightarrow Ag\downarrow + BrO_3^-$	+0.55
	$AgC_2H_3O_2\downarrow + e^- \Longleftrightarrow Ag\downarrow + C_2H_3O_2^-$	+0.64
	$AgCN\downarrow + e^- \Longleftrightarrow Ag\downarrow + CN^-$	-0.04
	$Ag(CN)_2^- + e^- \Longleftrightarrow Ag\downarrow + 2CN^-$	-0.29
	$Ag(CN)_3^{2-} + e^- \Longleftrightarrow Ag\downarrow + 3CN^-$	-0.51
	$AgCNO\downarrow + e^- \Longleftrightarrow Ag\downarrow + CNO^-$	+0.41
	$Ag_2CO_3\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow 2Ag\downarrow + CO_3^{2-}$	+0.46
	$Ag_2C_2O_4\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow 2Ag\downarrow + C_2O_4^-$	+0.472
	$AgCl\downarrow + e^- \Longleftrightarrow Ag\downarrow + Cl^-$	+0.224
	$Ag_2CrO_4\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow 2Ag\downarrow + CrO_4^{2-}$	+0.447
	$Ag_2Fe(CN)_6\downarrow + 4e^- \Longleftrightarrow 4Ag\downarrow + Fe(CN)_6^{4-}$	+0.194
	$AgI\downarrow + e^- \Longleftrightarrow Ag\downarrow + I^-$	-0.152
	$AgIO_3\downarrow + e^- \Longleftrightarrow Ag\downarrow + IO_3^-$	+0.35
	$Ag_2MoO_4\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow 2Ag\downarrow + MoO_4^{2-}$	+0.49
	$Ag(NH_3)_2^+\downarrow + e^- \Longleftrightarrow Ag\downarrow + 2NH_3$	+0.373
	$AgNO_2\downarrow + e^- \Longleftrightarrow Ag\downarrow + NO_2^-$	+0.59
	$AgN_3\downarrow + e^- \Longleftrightarrow Ag\downarrow + N_3^-$	0.293
	$2AgO\downarrow + H_2O + 2e^- \Longleftrightarrow 2Ag_2O\downarrow + 2OH^-$	+0.60
	$AgO^+ + 2H^+ + e^- \Longleftrightarrow 2Ag^{2+} + H_2O$	+2.1
	$Ag_2O_3\downarrow + H_2O + 2e^- \Longleftrightarrow 2AgO\downarrow + 2HO^-$	+0.344
	$Ag_2O_3\downarrow + H_2O + 2e^- \Longleftrightarrow 2AgO\downarrow + 2OH^-$	+0.74

เอกสารนี้เป็นเอกสาร[illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element	Haft of Reduction	E^0,V
Ag	$Ag(S_2O_3)_2^{3-} + e^- \Longleftrightarrow Ag\downarrow + 2S_2O_3^{2-}$	+0.01
	$Ag_2SO_4\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow 2Ag\downarrow + SO_4^{2-}$	+0.653
Al	$Al^{3-} + 3e^- \Longleftrightarrow Al\downarrow$	-1.66
	$AlO_3^- + 2H_2O + 3e^- \Longleftrightarrow Al\downarrow + 4OH^-$	-2.35
	$Al(OH)_3\downarrow + 3e^- \Longleftrightarrow Al\downarrow + 3OH^-$	-2.31
	$AlF_6^{3-} + 3e^- \Longleftrightarrow Al\downarrow + 6F^-$	-2.70
Au	$Au^{3+} + 2e^- \Longleftrightarrow Au^-$	+1.41
	$Au^{3+} + 3e^- \Longleftrightarrow Au\downarrow$	+1.50
	$Au^+ + e^- \Longleftrightarrow Au\downarrow$	+1.68
	$AuBr_2^- + e^- \Longleftrightarrow Au\downarrow + 2Br^-$	+0.96
	$AgBr_4^- + 2e^- \Longleftrightarrow AuBr_2^- + 2Br^-$	+0.82
	$AuBr_4^- + 3e^- \Longleftrightarrow Au\downarrow + 4Br^-$	+0.87
	$Au(CN)_2^- + e^- \Longleftrightarrow Au\downarrow + 2CN^-$	+0.61
	$AgCl_2^- + e^- \Longleftrightarrow Au\downarrow + 2Cl^-$	+11.1
	$AuCl_4^- + 2e^- \Longleftrightarrow AuCl_2^-\downarrow + 2Cl^-$	+0.93
	$AuCl_4^- + 3e^- \Longleftrightarrow Au\downarrow + 4Cl^-$	+0.99
	$H_2AuO_3^- + H_2O + 3e^- \Longleftrightarrow Au\downarrow + 4OH^-$	+0.7
	$Au(SCN)_2^- + e^- \Longleftrightarrow Au\downarrow + 2SCN^-$	+0.69
	$Au(SCN)_4^- + 2e^- \Longleftrightarrow Au(SCN)_2^-\downarrow + 2SCN^-$	+0.64
	$Au(SCN)_4^- + 3e^- \Longleftrightarrow Au\downarrow + 4SCN^-$	+0.66
Cr	$Cr^{3+} + e^- \Longleftrightarrow Cr^{2+}$	-0.41
	$Cr^{3+} + 3e^- \Longleftrightarrow Cr\downarrow$	-0.74
	$Cr^{2+} + 2e^- \Longleftrightarrow Cr\downarrow$	-0.91
	$Cr(OH)_3\downarrow + 3e^- \Longleftrightarrow Cr\downarrow + 3OH^-$	-1.3
	$Cr(OH)_2\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow Cr\downarrow + 2OH^-$	-1.4
	$CrO_2^- + 2H_2O + 3e^- \Longleftrightarrow Cr\downarrow + 4OH^-$	-1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element	Haft of Reduction	E^0,V
Cu	$Cu^{2+} + 2e^- \Longleftrightarrow Cu\downarrow$	+0.337
	$Cu^{+} + e^- \Longleftrightarrow Cu\downarrow$	+0.521
	$Cu^{2+} + e^- \Longleftrightarrow Cu^{+}$	+0.153
	$Cu^{2+} + Br^- + e^- \Longleftrightarrow CuBr\downarrow$	+0.64
	$Cu^{2+} + Cl^- + e^- \Longleftrightarrow CuCl\downarrow$	+0.54
	$Cu^{2+} + I^- + e^- \Longleftrightarrow CuI\downarrow$	+0.86
	$Cu(CN)_2^- + e^- \Longleftrightarrow Cu\downarrow + 2CN^-$	-0.43
	$CuCl\downarrow + e^- \Longleftrightarrow Cu\downarrow + Cl^-$	+0.137
	$CuI\downarrow + e^- \Longleftrightarrow Cu\downarrow + I^-$	-0.185
	$Cu(NH_3)_4^{2+} + e^- \Longleftrightarrow Cu(NH_3)_2^{+} + 2NH_3$	-0.01
	$Cu(NH_3)_2^{+} + e^- \Longleftrightarrow Cu\downarrow + 2NH_3$	-0.12
	$Cu(NH_3)_4^{2+} + 2e^- \Longleftrightarrow Cu\downarrow + 4NH_3$	-0.07
	$2Cu(OH)_2\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow Cu_2O\downarrow + 2OH^- + H_2O$	-0.08
	$Cu_2O\downarrow + H_2O + 2e^- \Longleftrightarrow 2Cu\downarrow + 2OH^-$	-0.36
	$Cu(OH)_2\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow Cu\downarrow + 2OH^-$	-0.22
	$CuS\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow Cu\downarrow + S^-$	-0.70
	$Cu_2S\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow 2Cu\downarrow + S^{2-}$	-0.88
	$CuSCN\downarrow + e^- \Longleftrightarrow Cu\downarrow + SCN^-$	-0.27
Fe	$Fe^{3+} + e^- \Longleftrightarrow Fe^{2+}$	+0.770
	$Fe^{3+} + 3e^- \Longleftrightarrow Fe\downarrow$	-0.036
	$Fe^{2+} + 2e^- \Longleftrightarrow Fe\downarrow$	-0.044
	$Fe(CN)_6^{3-} + e^- \Longleftrightarrow Fe(CN)_6^{4-}$	+0.356
	$FeCO_3\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow Fe\downarrow + CO_3^{2-}$	-0.756
	$Fe(OH)_3\downarrow + e^- \Longleftrightarrow Fe(OH)_2\downarrow + OH^-$	-0.56
	$Fe(OH)_2\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow Fe\downarrow + 2OH^-$	-0.877
	$FeO_4^{2-} + 8H^+ + 3e^- \Longleftrightarrow Fe^{3+} + 4H_2O$	>+1.9
	$Fe_3O_4 + 8H^+ + 8e^- \Longleftrightarrow Au\downarrow + 4H_2O$	-0.085

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element	Haft of Reduction	E^0,V
H	$2H^- + 2e^- \Longleftrightarrow H_2$	± 0.0000
	$H_2\uparrow + 2e^- \Longleftrightarrow 2H^+$	-2.25
	$2H_2O + 2e^- \Longleftrightarrow H_2\uparrow + 2OH^-$	-0.828
	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \Longleftrightarrow 2H_2O$	+1.77
	$OH_2^- + H_2O + 2e^- \Longleftrightarrow 3OH^-$	+0.88
Ni	$Ni^{2+} + 2e^- \Longleftrightarrow Ni$	-0.23
	$Ni(CN)_4^{-2} + e^- \Longleftrightarrow Ni(CN)_3^{-2} + CN^-$	<-0.4
	$NiCO_3\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow Ni\downarrow + CO_3^{2-}$	-0.45
	$Ni(OH)_2\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow Ni\downarrow + 2OH^-$	-0.72
	$Ni(NH_3)_6^{2+} + 2e^- \Longleftrightarrow Ni\downarrow + 6NH_3$	-0.49
	$NiO_2\downarrow + 4H^+ + 2e^- \Longleftrightarrow Ni^{2+} + 2H_2O$	+1.68
	$NiO_2\downarrow + 2H_2O + 2e^- \Longleftrightarrow Ni(OH)_2\downarrow + 2OH^-$	+0.49
	$NiO_4^{-2} + 8H^+ + 2e^- \Longleftrightarrow Ni^{2+} + 4H_2O$	>1.8
O	$O_2\uparrow + 4H^+ + 4e^- \Longleftrightarrow 2H_2O$	+1.229
	$O_2\uparrow + 2H_2O + 4e^- \Longleftrightarrow 4OH^-$	+0.401
	$O_2\uparrow + 2H^+ + 2e^- \Longleftrightarrow H_2O_2$	+0.682
	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \Longleftrightarrow 2H_2O$	+1.77
	$HO_2^- + H_2O + 2e^- \Longleftrightarrow 3OH^-$	+0.88
	$O_3\uparrow + 2H^+ + 2e^- \Longleftrightarrow O_2\uparrow + H_2O$	+2.07
	$O_2\uparrow + H_2O + 2e^- \Longleftrightarrow O_2\uparrow + 2OH^-$	+1.24
Pd	$Pd^- + 2e^- \Longleftrightarrow Pd\downarrow$	+0.987
	$PdCl_2^{2-} + 2e^- \Longleftrightarrow Pd\downarrow + 4Cl^-$	+0.623
	$PdCl_6^{2-} + 2e^- \Longleftrightarrow PdCl_4^{2-} + 2Cl^-$	+1.29
	$PdCl_6^{2-} + 4e^- \Longleftrightarrow Pd\downarrow + 6Cl^-$	+0.96
	$Pd(OH)_2\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow Pd\downarrow + 2OH^-$	+0.07
	$Pd(OH)_4\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow Pd(OH)_2\downarrow + 2OH^-$	+0.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Element	Haft of Reduction	E^{o},V
Pt	$Pt(OH)_2\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow Pt\downarrow + 2OH^-$	+0.15
	$Pt(OH)_2\downarrow + 2H^+ + 2e^- \Longleftrightarrow Pt\downarrow + 2H_2O$	+0.98
Rh	$Rh^{3+} + 3e^- \Longleftrightarrow Rh\downarrow$	+0.8
	$RhCl_6^{3-} + 2H^+ + 6e^- \Longleftrightarrow Rh\downarrow + 6Cl^-$	+0.44
	$RhO_3\downarrow + 2e^- \Longleftrightarrow 2Rh\downarrow + 3H_2O$	+0.87
	$RhO_2 + 4H^+ + 6Cl + e^- \Longleftrightarrow RhCl_6^{3-} + 2H_2O$	+1.4
	$RhCl^{2+} + 2H^+ + e^- \Longleftrightarrow Rh^{3+} + H_2O$	+1.40
	$RhCl_4^{2-} + 6H^+ + 2e^- \Longleftrightarrow RhO^{2+} + 3H_2O$	+1.46
Tl	$Tl^{2+} + 2e^- \Longleftrightarrow Tl\downarrow$	-1.63
	$TlO_2\downarrow + 4H^+ + 4e^- \Longleftrightarrow Tl\downarrow + 2H_2O$	-0.86
	$TlO^{2+} + 2H^+ + 4e^- \Longleftrightarrow Tl\downarrow + H_2O$	-0.88
	$TlO^{2+} + 2H^+ + e^- \Longleftrightarrow Tl^{3+} + H_2O$	+0.1
	$Tl^{3+} + 2e^- \Longleftrightarrow Tl^+$	-0.37
	$TlF_6^{2-} + 4e^- \Longleftrightarrow Tl\downarrow + 6F^-$	-1.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การชุบเคลือบด้วยโลหะโดยกรรมวิธีทางไฟฟ้า เพื่อใช้ทดสอบสมบัติของนิเกิล

-การทดสอบความติดแน่น

1. วิธีตะไบ

ตัดชิ้นทดสอบให้ได้ขนาดที่พอเหมาะ ใช้ปากกายึดชิ้นทดสอบให้แน่นแล้วใช้ตะไบหยาย ตะไบขอบชิ้นทดสอบที่ถูกตัดเพื่อให้ โลหะชุบลอก โดยตะไบในทิศทางจากโลหะพื้นฐานไปยังผิวชุบ ทำมุมประมาณ 45 องศากับผิวชุบ

2. วิธีเย็นเร็ว

อบชิ้นทดสอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยให้มีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิไม่เกิน 10 องศาเซียส อุณหภูมิที่ใช้ขึ้นอยู่กับโลหะพื้นฐานดังต่อไปนี้

1) เหล็กกล้าใช้อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส

2) สังกะสีเจือใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

3) ทองแดงหรือทองแดงเจือ ใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

แล้วนำชิ้นงานทดสอบมาแช่น้ำทันทีที่อุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. อนันต์ ทองมอญ ,ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า , ภาพพิมพ์ , กรุงเทพฯ ,2536.

2. พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์, ชุบทอง , มิตรนราการพิมพ์ , กรุงเทพฯ, 2528

3. สาโรช พันแพ , อภิชาติ ธรรมวิทย์กุล , การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า , ชวนการพิมพ์ ,2526

4. Fischer , J. and Dennis , E. Weimer Precious Metal Plating pp. 215-243,1874.

5. Ju. Lurie , Handbook of Analytical Chemistry (translated from the Russian by Nicholas Bobrov) pp. 300-313 , Mir Publishers , Moscow , 1975.

6. Ollard , E.A. and Smith , E.B. In Handbook of Industrial Electroplating , 3 rd ed. , pp. 356 , American Elsevier publishing company Inc. , New York , 1964.

7. Walter Nohes , The Hull Cell , pp. 24 Robert Draper Ltd. Teddington , 1966.

8. มอก.,มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการชุบเคลือบด้วยโลหะโดยกรรมวิธีทางไฟฟ้า : นิเกิล, 544 (2518)

9. International Nikel Ltd., Palladium : the metal, it properties and applications, 2 nd. pp. 1-20 , London, 1985.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้