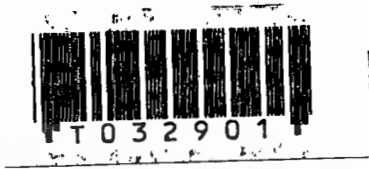


การเตรียมสารละลายสำหรับชุบทองสีต่าง ๆ

PREPARATION OF ELECTROPLATING SOLUTION
FOR COLOURED GOLD



พิมพ์
ครั้งที่
๑

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการศึกษาศาสตร์ (เคมี)

บัณฑิตวิทยาลัย

เลขหมู่
เลขทะเบียน 32901

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542

พ.ศ. ๒๕๔๒

ISBN 974-622-402-6

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**PREPARATION OF ELECTROPLATING SOLUTION
FOR COLOURED GOLD**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN SCIENCE EDUCATION (CHEMISTRY)
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ของศูนย์วิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ISBN 974-622-402-6
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 1999

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Preparation of Electroplating Solution for Coloured Gold
Student Mrs. Malinee Chinnanont
Student ID. 37063312
Degree Master of Science
Programme Science Education(Chemistry)
Year 1999
Thesis Advisor Assoc.Prof.Dr. Sakda Trisak
Thesis Co-advisor Assist.Prof.Dr. Punnee Leekitchwatana
Dr. Orawan Chailapakul

ABSTRACT

This research was studied, the effect of the transition elements on color of gold by electroplating process. Transition elements such as, Ag(I) Cu(I) Cd(II) and Ni(II) were used in the experiments. The results showed that the optimum concentration of Ag(I) (0.2 gm/l) and Cd (II) (0.3 gm/l) produced greenish-yellow color of the gold panels, Cu(I) (0.4 gm/l) show slightly pinkish on gold panels, whereas the amount of Ni(II) did not affect the color change of the gold panels only slightly fade. The effect of mixtures of two different transition elements such as Cu(I) and Ag(I), Cu(I) and Cd(II) and Cu(I) and Ni(II) have also were studied. The color of the gold panels plated from single element solution appeared beautifully bright compare with those obtained from the mixtures.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ ไตรศักดิ์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรรณี ลีกิจวัฒน์ ดร. อรวรรณ ชัยลภากุล อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วมที่ได้กรุณาจัดหาอุปกรณ์ สารเคมี ให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.รวิวรรณ ชินะตระกูล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล เทพหัสดิน ณ อยุธยา ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และชี้แนวทางที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณชลอ ศรีคงแก้ว ที่เอื้อเฟื้อในการทำรูปภาพประกอบ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการทำงาน

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา - มารดา พี่ ๆ ทุกคนที่ได้ให้โอกาส ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจ แก่ผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณปัญญา ฉินนานนท์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจที่ดีเสมอ ตลอดมา

สุดท้ายขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณ บิดา มารดา และคุณครู - อาจารย์ทุกท่าน ด้วยความเคารพยิ่ง

มาลินี ฉินนานนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.6 คำนิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทองคำ (Gold).....	4
2.2 โลหะผสมของทองคำ (Gold Alloy).....	5
2.2.1 กลไกของการเกิด Solid Solution.....	5
2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิด Solid Solution.....	6
2.3 การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating).....	7
2.3.1 ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า.....	7
2.3.2 การสะท้อนแสงบนวัตถุ.....	9
2.3.3 การทำให้เกิดความเรียบ.....	10
2.4 ชนิดของน้ำยาชุบทอง.....	11
2.5 อุปกรณ์ในการชุบทอง.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	17
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	17
3.2 วิธีทดลอง.....	18
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์.....	21
4.1 ผลการสกัดและแยกทองคำ.....	21
4.2 สภาวะเหมาะสมในการชุบ.....	21
4.3 ผลของโลหะทรานสิชันที่มีต่อสีของทอง.....	22
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	35
5.1 สารเตรียมสารละลายสำหรับชุบทอง.....	35
5.2 ผลของโลหะทรานสิชันที่มีต่อสีของชุบ.....	35
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	35
บรรณานุกรม.....	36
ภาคผนวก.....	37
ประวัติผู้เขียน.....	42

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงผลของการเติม CdO ในปริมาณต่าง ๆ กัน ลงในสารละลาย สำหรับชูปทอง 24 K.....	23
4.2 แสดงผลของการเติม $K[Ag(CN)_2]$ ในปริมาณต่าง ๆ กัน ลงในสารละลาย สำหรับชูปทอง 24 K.....	24
4.3 แสดงผลของการเติม CuCN ในปริมาณต่าง ๆ กันลงในสารละลาย สำหรับชูปทอง 24 K.....	26
4.4 แสดงผลของการเติม $K_2[Ni(CN)_4]$ ในปริมาณต่าง ๆ กันลงในสารละลาย สำหรับชูปทอง 24 K.....	27
4.5 แสดงผลของการเติม 0.4 กรัม/ลิตร CuCN กับ CdO ในปริมาณต่าง ๆ กัน ลงในสารละลายสำหรับชูปทอง 24 K.....	29
4.6 แสดงผลของการเติม 0.4 กรัม/ลิตร CuCN กับ $K[Ag(CN)_2]$ ในปริมาณต่าง ๆ กัน ลงในสารละลายสำหรับชูปทอง 24 K.....	31
4.7 แสดงผลของการเติม 0.4 กรัม/ลิตร CuCN กับ $K_2[Ni(CN)_4]$ ในปริมาณต่าง ๆ กัน ลงในสารละลายสำหรับชูปทอง 24 K.....	32
4.8 โครงสร้างผลึกและค่ารัศมีอะตอมของโลหะต่าง ๆ.....	34

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบแบบแทนที่และแบบแทรกตัวของอะตอม.....	6
2.2 การกระจายของกระแสไฟฟ้า.....	8
2.3 แสงสะท้อนบนวัตถุ.....	10
2.4 การสะท้อนแสงบนผิวเรียบ.....	10
2.5 การสะท้อนแสงบนผิวขรุขระ.....	10
2.6 แสดงการต่อชิ้นงานและตัวล่อในการชุบทอง.....	11
2.7 แสดงขนาดของด้านต่าง ๆ ของฮัลล์เซลล์ โดยตัวเลขในสเกลเหล่านี้มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร.....	14
2.8 แสดงขนาดต่าง ๆ บนแผ่นโลหะที่ใช้เป็นขั้วแคโทดในฮัลล์เซลล์ที่บรรจุน้ำยาชุบขนาด 267 มิลลิเมตร (โดยด้านซ้ายมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงสุด).....	15
4.1 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K.....	22
4.2 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับ สารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 0.6 กรัม/ลิตร CdO.....	24
4.3 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับ สารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 0.5 กรัม/ลิตร $K[Ag(CN)_2]$	25
4.3 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับ สารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 1 กรัม/ลิตร CuCN.....	27
4.5 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับ สารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 1 กรัม/ลิตร $K_2[Ni(CN)_4]$	29
4.6 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติมโลหะทรานสิชันต่างชนิดกัน ในปริมาณเดียวกัน.....	30
4.7 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม โลหะทรานสิชัน 1 ชนิด กับ 2 ชนิด.....	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

การชุบเคลือบผิวโลหะด้วยทองคำ เป็นงานที่ต้องอาศัยเทคนิคในการทำขั้นตอนต่าง ๆ อย่างปราณีต เพื่อให้สีของทองคำเคลือบผิวของโลหะในขั้นตอนสุดท้ายออกมาสวยงาม ซึ่งเทคนิคและสูตรน้ำยาชุบทองคำที่ใช้ส่วนใหญ่มาจากต่างประเทศ บริษัทผู้ผลิตจะไม่เปิดเผยสูตรในการทำ และถือว่าเป็นความลับสุดของของบริษัท เพราะไม่ต้องการให้เกิดบริษัทคู่แข่ง

ในการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยทองคำ สามารถชุบเคลือบผิวบนโลหะธรรมดา และบนทองรูปพรรณได้ การชุบเคลือบผิวโลหะด้วยทองคำบนเครื่องประดับต่าง ๆ ซึ่งเรียกว่า จิวเวลรี่ (Jewelry) กำลังเป็นที่นิยมอย่างมาก และทำให้โลหะธรรมดาที่นำมาชุบเคลือบผิวด้วยทองคำมีราคามากขึ้น เนื่องจากสีของทองคำเป็นสีที่สวยงาม มีความคงทน บริษัทผู้ผลิตจึงได้มีการพัฒนาทั้งรูปแบบของเครื่องประดับและสีของทองคำที่นำมาชุบเคลือบผิว ให้มีความแปลกใหม่มากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการดัดแปลงน้ำยาชุบทองคำจากสีทองธรรมดาให้มีสีที่เข้มข้น สีเหลืองอ่อน สีแดง สีชมพู หรือสีเหลืองอมเขียว เพื่อให้เป็นไปตามแฟชั่น และทำให้ผู้สวมใส่เครื่องประดับมีทางเลือกที่หลากหลายมากขึ้น

ปัจจุบันเครื่องประดับชุบทองคำที่มีสีต่างๆ กำลังเป็นที่นิยมในต่างประเทศ และเริ่มมีการสั่งนำเข้าเครื่องประดับชุบทองคำที่มีสีต่างๆ จากต่างประเทศเข้ามาจำหน่าย ถ้าทำการชุบทองคำที่มีสีต่าง ๆ ในประเทศไทย โรงงานส่วนใหญ่ต้องสั่งนำเข้าน้ำยาชุบทองคำที่มีสีต่าง ๆ จากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาแพง ทำให้เครื่องประดับชุบทองคำที่มีสีต่าง ๆ มีราคาสูงขึ้นด้วย

ในการที่จะทำให้สารละลายสำหรับชุบทองคำมีสีต่าง ๆ ได้นั้น จะต้องเติมสารที่ทำให้เกิดสี และสามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกับสารละลายสำหรับชุบทองคำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งหวังที่จะศึกษาและเตรียมสารละลายสำหรับชุบทองคำสีต่างๆ ขึ้นเอง เพื่อเป็นประโยชน์ในการผลิต และยังช่วยส่งเสริมอุตสาหกรรมเครื่องประดับในประเทศให้เป็นที่นิยมแพร่หลายอีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลของโลหะทรานสิชันบางชนิด ที่เติมลงในสารละลายสำหรับชุบทองคำ เพื่อให้ได้ทองชุบสีต่าง ๆ

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

ปริมาณโลหะทรานสิชัน ชนิดต่าง ๆ ที่เติมลงในสารละลายสำหรับชุบทองจะทำให้ได้ทองชุบสีต่าง ๆ

1.4 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เตรียมสารละลายสำหรับชุบทองสีต่าง ๆ ดังนี้

1.4.1 เตรียมสารละลายสำหรับชุบทองสีเหลืองปกติ เตรียมได้ 2 วิธี คือ

1.4.1.1 นำเครื่องประดับที่มีทองผสมอยู่ ซึ่งชำรุดแล้ว มาสกัดและแยกทองคำโดยใช้กรดกัดทอง จากนั้น เพิ่มความบริสุทธิ์ของทองคำที่ได้โดยวิธี คูเพลเลชัน แล้วนำทองคำที่ได้ไปเตรียมสารละลายสำหรับชุบทอง

1.4.1.2 นำโกลโปดัสเซียมไซยาไนด์ ($K[Au(CN)_2]$) มาเตรียมสารละลายสำหรับชุบทอง

1.4.2 ทำการทดลองโดยเติมโลหะทรานสิชันชนิดต่างๆ ลงในสารละลายสำหรับชุบทอง ในปริมาณต่าง ๆ กัน การทดลองแต่ละครั้งจะใช้โลหะทรานสิชันเพียงชนิดเดียว เพื่อดูสีที่เกิดขึ้นจากปริมาณโลหะที่เติมลงไป

1.4.3 ชนิดของโลหะทรานสิชันที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ $CuCN$, $K[Ag(CN)_2]$, CdO และ $K_2[Ni(CN)_4]$ เป็นต้น

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 การวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาการเตรียมสารละลายสำหรับชุบทองสีต่าง ๆ ขึ้น ภายในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยทำการทดลองชุบในอัลต์เซลล์ ผู้วิจัยได้เลือกใช้น้ำยาชุบทองชนิดต่าง (Alkaline Cyanide Gold) และใช้สแตนเลสเป็นแอโนด

1.5.2 ตัวแปรที่ศึกษา

1.5.2.1 ตัวแปรต้น คือ ปริมาณและชนิดของโลหะทรานสิชัน ที่เติมลงไป ในสารละลายสำหรับชุบทอง โดยให้อุณหภูมิและเวลาในการชุบทอง คงที่

1.5.2.2 ตัวแปรตามคือ เจดสีของทองที่ชุบได้ที่เกิดขึ้นจากในแต่ละปริมาณและชนิดของโลหะทรานสิชันที่เติมลงไป

1.6 คำนิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดคำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย ดังนี้

1.6.1 โลหะผสมของทอง (Gold Alloy) หมายถึง สารละลายของของแข็งของทองที่มีโลหะชนิดอื่นปนอยู่

1.6.2 โลหะทรานสิชัน (Transition Elements) หมายถึง ธาตุที่อโอนของมันเป็นอย่างน้อย 1 อโอนมีอิเล็กตรอนในระดับพลังงานย่อย d ไม่ครบ ซึ่งเป็นธาตุที่อยู่ในหมู่ย่อย B ของตารางธาตุ

1.6.3 การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating) เป็นขบวนการชุบเคลือบผิวที่ใช้ไฟฟ้าและเคมี เกิดการเคลื่อนที่ของอโอนในน้ำยาชุบหรืออิเล็กโตรไลต์ที่เตรียมขึ้น ทำให้ชิ้นงานมีอโอนของโลหะที่ต้องการเกาะอยู่

1.6.4 อิเล็กโตรไลต์ (Electrolyte) หมายถึง สารละลายที่นำไฟฟ้าได้

1.6.5 ฮัลล์เซลล์ (Hull Cell) เป็นภาชนะที่ทำด้วยพลาสติก มีรูปร่างเป็นถังสี่เหลี่ยมคางหมู มีขนาด 267 มิลลิเมตร ใช้สำหรับทดลองชุบชิ้นงานเพื่อตรวจสอบสภาพน้ำยา และยังสามารถบอกได้ว่าน้ำยาชุบนี้ควรที่จะชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่าใด จึงจะทำให้ผลงานออกมาดี โดยบริเวณที่อยู่ใกล้ขั้วแอโนดมากที่สุดจะมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามากที่สุด

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทองคำ (Gold)

ทองคำมีสัญลักษณ์คือ Au เป็นธาตุที่อยู่ในหมู่ IB จัดเป็นธาตุทรานสิชัน และเนื่องจากธาตุทรานสิชันทุกธาตุเป็น โลหะ จึงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า โลหะทรานสิชัน Au มีเลขอะตอม (Atomic Number) เท่ากับ 79 มีเลขมวลเท่ากับ 196.96 มีจุดหลอมเหลวที่ 1063°C สามารถละลายได้ในกรดกัดทอง คือกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 ส่วน รวมกับ กรดไนตริกเข้มข้น 1 ส่วน ($\text{HCl} : \text{HNO}_3 = 3 : 1$) ซึ่งส่วนผสมนี้เรียกว่า Aqua Regia ทองจัดเป็นโลหะที่มีค่าสูง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด เพราะว่าเนื้อทองมีสีสวยสะอาดตา สวยงาม สามารถยึดเป็นเส้นได้ดีกว่าโลหะชนิดใด ๆ ทั้งหมด มีความทนทานต่อการสึกกร่อนสูง และยังมีคุณสมบัติต้านทานการเกิดออกไซด์ได้ดี ดังนั้นทองคำจึงถูกนำมาใช้เป็นเครื่องประดับ นำมาชุบบนเครื่องประดับ และนำมาใช้ในทางอุตสาหกรรม เช่น ใช้ชุบบนชิ้นงานส่วนประกอบของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ใช้ชุบบนส่วนประกอบภายในของเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น ใช้ชุบบนแผ่นวงจร (Printed Circuit Board) เฉพาะจุดที่ต้องทนทานแรงเสียดสีสูง เป็นต้น

ทองคำมี เลขออกซิเดชัน (Oxidation Number) ที่สำคัญคือ +1 และ +3 (Au^+ และ Au^{3+}) Au^+ มีโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ 2 มีรูปทรงเรขาคณิตเป็นเส้นตรง สามารถเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโควาเลนต์กับลิแกนด์ได้ 2 อีออนส่วน Au^{3+} มีโคออร์ดิเนชันนัมเบอร์ 4 มีรูปทรงเรขาคณิตเป็นระนาบสี่เหลี่ยม (Square Planar) สามารถเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโควาเลนต์กับลิแกนด์ได้ 4 อีออน

ความบริสุทธิ์ของทองคำนั้น กำหนดเป็นหน่วยกะรัต (Karat Value) โดยที่ 1 กระรัตหมายถึง โลหะผสมที่มีทองเป็นองค์ประกอบหนัก 100 กรัม จะมีเนื้อทองที่เป็นส่วนผสมหนัก 4.1667 กรัม หรือ

1 K	=	4.1667 %
18 K	=	$4.1667 \times 18 = 75 \%$
23 K	=	$4.1667 \times 23 = 95.83 \%$
24 K	=	$4.1667 \times 24 = 100 \%$

2.2 โลหะผสมของทองคำ (Gold Alloy)

การชุบทองคำได้มีการพัฒนาขึ้น เพื่อให้สารละลายสำหรับชุบทองคำ มีความคงทน โดยการผสมโลหะชนิดอื่น ๆ ลงในสารละลายสำหรับชุบทองคำ ทำให้ผิวที่ชุบได้อยู่ในรูปของ โลหะผสมของทองคำ (Gold Alloy) ซึ่งทำให้ผิวแข็งแรงกว่าเนื้อทองคำธรรมดา

แอลลอยมักจะอยู่ในรูปของของแข็ง เช่น ทองเหลือง ซึ่งเป็นแอลลอยของทองคำแดงกับสังกะสี แต่แอลลอยอาจจะเป็นของเหลวก็ได้ เช่น อามัลกัม (Amalgam) ซึ่งเป็นของผสมของปรอทกับโลหะอื่น ถ้าปรอทผสมกับโซเดียม แอลลอยที่ได้เรียกว่า โซเดียมอามัลกัม (Sodium Amalgam)

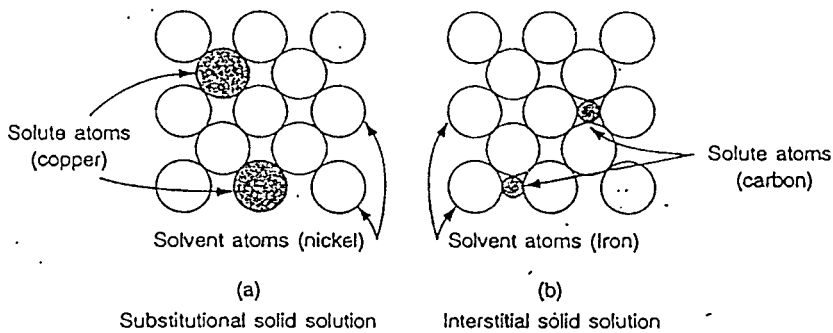
โลหะผสมของทองคำ มีลักษณะเป็น Solid Solution คือเป็นสารละลายของของแข็งที่ได้จากโลหะตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป หรือโลหะกับโลหะละลายปนเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งเรียกว่าของผสมเอกพันธ์ (Homogeneous Mixture) ในของผสมชนิดนี้ อะตอมของโลหะชนิดหนึ่งที่เป็นองค์ประกอบ จะเข้าไปครอบครองตำแหน่งในโครงผลึก และเรียกโลหะที่เป็นเจ้าของโครงผลึกว่าตัวทำละลาย (Solvent) และเรียกโลหะที่เข้าไปแทนที่บางตำแหน่งของโลหะที่เป็นตัวทำละลายว่าตัวถูกละลาย (Solute) ดังนั้น Gold Alloy จึงมีทองคำเป็นตัวทำละลาย และโลหะที่เติมลงไป จะเป็นตัวถูกละลาย

2.2.1 กลไกของการเกิด Solid Solution

การเกิด Solid Solution เกิดได้ 2 แบบ ได้แก่

2.2.1.1 Substitutional Solid Solution เป็นสารละลายของของแข็งที่เกิดจากอะตอมของตัวถูกละลายเข้าไปแทนที่ (Substitute) อะตอมของตัวทำละลายบางอะตอมในโครงผลึก ดังนั้นอะตอมของตัวถูกละลายจะต้องมีขนาดเท่ากัน หรือใกล้เคียงกับอะตอมของตัวทำละลาย การแทนที่จึงเกิดขึ้นได้

2.2.1.2 Interstitial Solid Solution เป็นสารละลายของของแข็งที่เกิดจากอะตอมของตัวถูกละลายที่มีขนาดเล็ก เช่น H, C, B, และ N เข้าไปครอบครองโพรงหรือ ช่องว่างระหว่างอะตอมของตัวทำละลายที่มีขนาดใหญ่ เช่น Fe เป็นต้น



รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบแบบแทนที่และแบบแทรกตัวของอะตอม

ที่มา : เทพนารินทร์ ประพันธ์พัฒน์ และวิหาร ดิปัญญา, วัสดุอุตสาหกรรม (กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2539), หน้า 176

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิด Solid Solution

2.2.2.1 ขนาดของอะตอม ถ้าอะตอมของตัวถูกละลาย และตัวทำละลายมีขนาดใกล้เคียงกันคือ ต่างกันน้อยกว่า 8 % การละลายจะเกิดขึ้นได้ดี นั่นคือ โลหะทั้งสองจะละลายในซึ่งกันและกันได้ทุกอัตราส่วน

2.2.2.2 สัมพรรคภาพทางเคมี หรือ แอฟฟินิตีทางเคมี (Chemical Affinity) ถ้าธาตุคู่ใดมีสัมพรรคภาพทางเคมีสูง ธาตุคู่นั้นจะไม่ละลายเป็นสารละลาย แต่จะรวมตัวกันเกิดเป็นสารประกอบ เช่น Na ในหมู่ I มีโครงสร้างอิเล็กโทรนิกต่างกับ Cl จึงมีแนวโน้มที่จะรวมกันเกิดเป็นสารประกอบได้ง่าย เรียกว่า Na และ Cl มีสัมพรรคภาพทางเคมีต่อกันสูง จึงไม่ละลายเป็นสารละลาย

2.2.2.3 ประเภทของโครงสร้างผลึก ถือเป็นแฟคเตอร์ที่สำคัญที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาถึงความสามารถในการเกิดเป็นสารละลายของโลหะ ถ้าโลหะมีโครงสร้างผลึกชนิดเดียวกัน จะมีแนวโน้มที่จะเกิดสารละลายชนิด Substitutional Solid Solution

การเกิดโลหะผสมในลักษณะที่เป็น Solid Solution นั้น จะต้องพิจารณาทั้ง 3 ข้อ ประกอบกันด้วย

ดังนั้นการจะเติมโลหะชนิดใดลงไปผสมกับทองคำ จึงต้องพิจารณาถึงหลักเกณฑ์ข้างต้นประกอบกันด้วย และเนื่องจากเป็นโลหะทรานสิชัน เมื่ออยู่ในสภาพบริสุทธิ์จะมีสีหนึ่งเฉพาะ แต่เมื่อรวมกับธาตุอื่นจะเปลี่ยนสีไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating)

การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating) เป็นขบวนการที่ใช้ไฟฟ้าและเคมีทำให้ชิ้นงานที่เป็นโลหะ หรือวัสดุอื่นที่เคลือบผิวด้วยโลหะ มีผิวเคลือบเป็นโลหะอีกชนิดหนึ่งที่ต้องการ โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้ชิ้นงานมีผิวที่สวยงาม และคงทนต่อการสึกกร่อนยิ่งขึ้น นิยมใช้ชุบบนเครื่องประดับ

การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า ต้องมีตัวนำไฟฟ้าในการชุบ จากการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ ตัวนำไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

ประเภทแรก เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเอง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เป็นแต่เพียงสะพานเพื่อให้ไฟฟ้าผ่านได้เท่านั้น เช่น โลหะต่างๆ แกรไฟต์ เป็นต้น

ประเภทที่สอง เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองแยกสลายออกเป็นอนุภาคเล็กๆ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวของมันเอง เช่น น้ำเจือกรด สารละลายของเกลือต่างๆ เป็นต้น เมื่อปี ค.ศ. 1832 - 1833 ไมเคิล ฟาราเดย์ ได้เรียกตัวนำประเภทที่สองนี้ว่า อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytes) หรือน้ำยาชุบ ตัวนำประเภทนี้เองที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าโดยตรง

เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในน้ำยาชุบ อนุภาคเล็กๆ พวกหนึ่งของน้ำยาชุบจะวิ่งไปยังขั้วบวก (Anode) อนุภาคเล็กๆ อีกพวกหนึ่งของน้ำยาชุบจะวิ่งไปยัง ขั้วลบ (Cathode) อนุภาคเล็กๆ ดังกล่าวเรียกว่า อีออน (Ions) แต่ละอีออนจะมีประจุไฟฟ้าประจำตัวทุกตัว

อีออนที่วิ่งไปยังขั้วบวก (Anode) เรียกว่า แอนไอออน (Anions) จะมีประจุไฟฟ้าลบ ส่วนอีออนที่วิ่งไปยังขั้วลบ (Cathode) เรียกว่า แคทไอออน (Cathions) จะมีประจุไฟฟ้าบวก

ขณะเกิดการแยกสลายดังกล่าวในน้ำยาชุบนั้นเราจะมองไม่เห็น ปฏิกิริยาใดๆ เกิดขึ้นในสารละลายนั้นเลย แต่จะไปเห็นเกิดขึ้นที่ขั้วบวกหรือขั้วลบ

การต่อวงจรไฟฟ้าในน้ำยาชุบ ตัวชิ้นงานที่ต้องการชุบจะต่ออยู่กับขั้วลบ เพื่อรับอิเล็กตรอนเกิดเป็นโลหะเคลือบอยู่ที่ชิ้นงาน ส่วนตัวล่อจะต่อไว้กับขั้วบวก

2.3.1 ตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า

2.3.1.1 ค่าของ พีเอช (pH Values) ค่า pH มีอิทธิพลอย่างมากในการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าบางชนิด ถ้าค่าพีเอช เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้ น้ำยาชุบโลหะเสื่อมคุณภาพ หรือชิ้นงานที่ได้จากการชุบมีตำหนิ กล่าวคือถ้าค่าของพีเอช น้อย แสดงว่าน้ำยานั้นมีสภาพเป็นกรดมากเกินไป จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของชิ้นงานลดต่ำลง ถ้าค่าของ พีเอช มาก แสดงว่าน้ำยานั้นมีสภาพเป็นด่างมากเกินไป จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของตัวล่อ ลดต่ำลงเช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้การควบคุมค่าของพีเอชจึงมีความสำคัญมาก น้ำยาทุกชนิดจะมีค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่โดยเฉพาะค่าหนึ่ง ฉะนั้นจึงควรพยายามควบคุมให้ค่าพีเอช อยู่ในขอบเขตตามที่กำหนดให้ได้

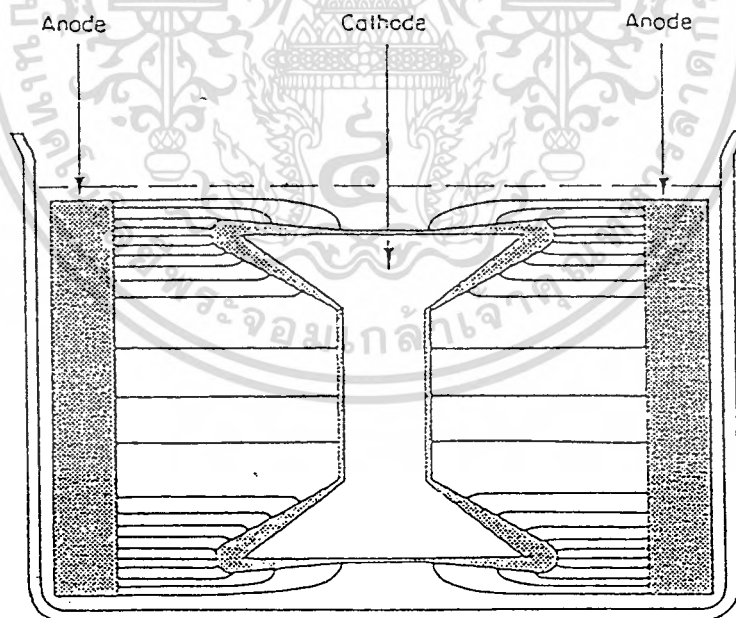
2.3.1.2 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า หมายถึง จำนวนของกระแสไฟฟ้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าผ่านข้อไฟฟ้า ต่อหน่วยพื้นที่ของขั้วไฟฟ้านั้น เช่น ความหนาแน่นของกระแสที่ขั้วลบ เป็นกระแสไม่วารณใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ช่วยให้เกิดการเคลือบผิวที่ขั้วลบ ต่อหนึ่งพื้นที่ของขั้วลบนั้น โดยส่วนมาก หน่วยของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็น แอมแปร์/ตารางฟุต หรือ แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร ฉะนั้นการคำนวณหาพื้นที่ของชิ้นงาน เพื่อใช้กระแสไฟฟ้าที่ถูกต้อง จึงมีความสำคัญมาก เพราะในน้ำยาชุบแต่ละชนิด ต้องการความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าแตกต่างกันไป ดังนั้นในการชุบแต่ละครั้ง ต้องคำนึงถึงพื้นที่ของชิ้นงานด้วยเสมอ

ในทางปฏิบัติพบว่า การใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าน้อย ๆ ทำให้การเกาะบนชิ้นงานแน่นทึบ และเรียบดี แต่ต้องใช้เวลาในการชุบ แต่ถ้าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามากเกินไป ทำให้ชิ้นงานนั้นไหม้ และความเงาลดลง จึงต้องมีการควบคุมความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับขนาดของชิ้นงานแต่ละชนิด

2.3.1.3 การกระจายของกระแสไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่า ธรรมชาติของการกระจายของกระแสไฟฟ้ามีการกระจายอย่างหนาแน่นที่สุดที่บริเวณใกล้กับขั้วไฟฟ้า จุดที่อยู่ห่างออกไป การกระจายของกระแสไฟฟ้าเบาบางลง การกระจายของกระแสไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลาย หรืออาจหมายถึง การเคลื่อนที่ของไอออนจากสารละลายไปยังขั้วไฟฟ้า ดังนั้น จึงเห็นได้ว่า ที่ใดระยะทางการเคลื่อนที่ของไอออนใกล้ บริเวณนั้นจะมีการเกาะที่หนากว่า บริเวณที่ระยะทางที่ไอออนเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าไกลกว่า



รูปที่ 2.2 การกระจายของกระแสไฟฟ้า

ที่มา : วัชร นิลสกุล และคณะ, “ การวิเคราะห์สารเติมแต่งในกระบวนการชุบโลหะ,” (โครงการ

พิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ลาดกระบัง, 2535), หน้า 14.
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.4 ลักษณะของขั้วแอโนดที่ใช้ในการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า โดยทั่วไปนิยมใช้ขั้วแอโนดที่ละลายน้ำได้ เพื่อให้ปริมาณอโอนในสารละลายมีอยู่เท่าเดิม ลักษณะขั้วแอโนดที่ละลายน้ำได้ ตามทฤษฎีควรเป็นดังนี้

1. มีการละลายออกมาอย่างสม่ำเสมอและเรียบ
2. มีการเกิดตะกอนของสิ่งสกปรกน้อยที่สุด
3. มีประสิทธิภาพของขั้วแอโนดสูง
4. มีความบริสุทธิ์สูง

2.3.1.5 อุณหภูมิของน้ำยาชุบ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเคลือบผิวของโลหะ โดยพบว่าถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต่างศักย์ของน้ำยาชุบจะลดลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิออนเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดความหนืดของน้ำยาชุบลง แต่อย่างไรก็ตาม อาจทำให้เกิดฟองก๊าซขึ้นได้

2.3.1.6 สารที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน ในการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้านั้น ถ้าในน้ำยาชุบมีสารประกอบเชิงซ้อนอยู่ ทำให้การเกาะของโลหะเรียบและแน่น เช่น ในการชุบเคลือบผิวด้วยทองแดงในสภาวะเบส ใช้สารประกอบที่มีไซยาไนด์อยู่เป็นสารที่ทำให้เกิดสารเชิงซ้อน โดยอยู่ในรูป

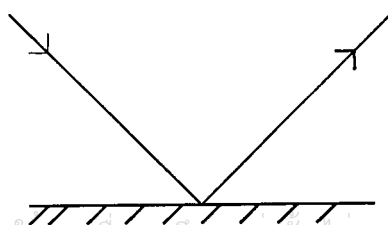


2.3.1.7 การกวนของน้ำยาชุบ การกวนทำให้ประสิทธิภาพของการชุบเคลือบผิวดียิ่งขึ้น และยังช่วยลดความต่างศักย์ที่เกิดจากความเข้มข้นสูง นอกจากนี้การกวนตลอดเวลาทำให้ความเข้มข้นของอโอนโลหะในน้ำยาชุบมีความสม่ำเสมอเท่า ๆ กัน

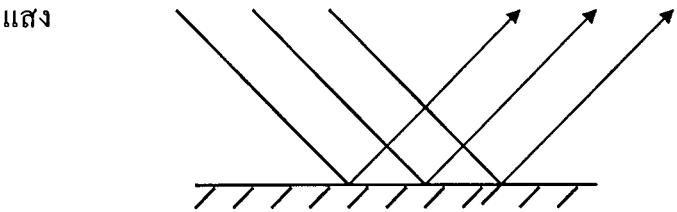
2.3.2 การสะท้อนแสงบนวัตถุ

การชุบที่ได้เกรนของผลึกที่มีขนาดใหญ่ จะทำให้ความเรียบของชิ้นงานน้อยกว่าเกรนขนาดเล็ก (ความเรียบในระดับไมโคร) การเติมน้ำยาเงจะช่วยให้เกรนที่ได้มีความละเอียดจนได้ความเรียบถึงระดับหนึ่ง ความเงางาม หรือการสะท้อนแสงก็จะเกิดขึ้น

การมองเห็นวัตถุต่างๆ ได้ เพราะแสงกระทบวัตถุนั้น แล้วมาเข้าตาของผู้มองเนื่องจากธรรมชาติของแสงเมื่อตกกระทบวัตถุ มุมที่แสงตกกระทบจะทำกับมุมที่แสงสะท้อน ดังรูป



ดังนั้น ถ้าวัตถุผิวเรียบสม่ำเสมอตลอด จึงมองเห็นวัตถุนั้นสะท้อนแสงเป็นเงางามดังรูป



รูปที่ 2.4 การสะท้อนแสงบนผิวเรียบ

แต่ถ้าวัตถุมีผิวขรุขระไม่เรียบ การสะท้อนแสงไม่เป็นระเบียบ ทำให้มองเห็นผิวของวัตถุนั้นทึบ ค้าน ไม่สะท้อนแสง ดังรูป



รูปที่ 2.5 การสะท้อนแสงบนผิวขรุขระ

จึงสรุปได้ว่า วัตถุผิวเรียบจะเกิดการสะท้อนแสงออกมา ทำให้เราเห็นวัตถุนั้นเงางาม

2.3.3 การทำให้เกิดความเรียบ

มีวิธีทำให้เกิดความเรียบหลายวิธีคือ

2.3.3.1 ขัดลบรอย เช่นขัดด้วยล้อขัด หรือจุ่มสารเคมีให้กักรอยขรุขระออกไป จน

ผิวเรียบ

2.3.3.2 ชุบเคลือบผิวด้วยโลหะ เพื่อลบรอยขีดข่วน หรือความขรุขระ ลักษณะนี้จะ

มีโลหะมาพอกติดบนชิ้นงาน การเกิดความเรียบโดยวิธีชุบเคลือบผิวนี มาจากสาเหตุ 2 ประการคือ

- 1. จากน้ำยาชุบ หมายถึง น้ำยาชุบเองมีคุณสมบัติพิเศษเมื่อชุบแล้ว

โลหะสามารถพอกลบรอยขีดข่วน เช่น น้ำยาชุบทองแดงในสภาวะกรด เป็นต้น

- 2 จากน้ำยาเง หมายถึง มีการเติมสารลงไปใน้ำยาชุบ เพื่อช่วยให้เกิด

ความเรียบดีขึ้น ทำให้มีความเงาเพิ่มขึ้นด้วย และสิ่งที่เติมลงไปเพื่อจุดประสงค์นี้ เรียกว่า

“น้ำยาเงา”

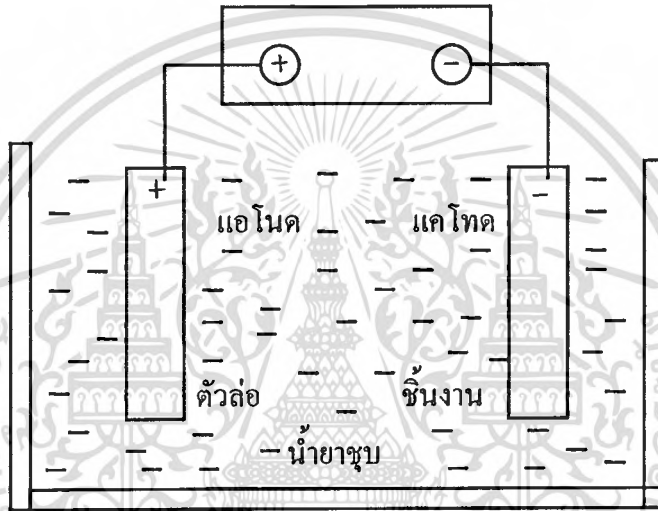
ในการชุบทองนั้นถ้าผิวของชิ้นงานเป็นโลหะประเภททองเหลือง สังกะสี หรืออื่น ๆ ที่ไม่

เอกรสชาติจำเป็นต้องมีการชุบรองพื้นด้วย น้ำยาทองแดง นิเกิล ก่อนที่จะชุบทอง เพื่อให้ชิ้นงาน

ไม่มีความเงางาม แต่ถ้าชิ้นงานเป็นทองจริงอยู่แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องชุบรองพื้นด้วยโลหะอย่างอื่นก่อนใช้

การชุบทองมีหลักการแยกเป็นรายละเอียดได้ดังนี้

1. ชิ้นงานที่จะชุบต้องเป็นโลหะหรือวัสดุอื่น ที่เคลือบผิวด้วยโลหะไว้ก่อนแล้ว เพื่อให้เป็นสื่อไฟฟ้า เช่น การชุบดอกไม้ทอง และชุบพลาสติก
2. กระแสไฟฟ้าที่ใช้ชุบต้องเป็นกระแสไฟฟ้าตรง (D.C.) มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม
3. ต้องจุ่มชิ้นงานที่จะชุบลงในถังหรือภาชนะบรรจุน้ำยาชุบ (Electrolyte) โดยต่อชิ้นงานที่จะชุบเข้ากับขั้วลบ (Cathode) และต่อแผ่นตัวล่อซึ่งเป็นโลหะชนิดเดียวกันกับเนื้อโลหะที่จะนำมาเคลือบผิวชิ้นงาน (หรือจะใช้โลหะชนิดอื่นที่เหมาะสม) ต่อที่ขั้วบวก (Anode)



รูปที่ 2.6 แสดงการต่อชิ้นงานและตัวล่อในการชุบทอง

ตัวล่อ หรือ ขั้วบวก = แอโนด (Anode)

ชิ้นงาน หรือ ขั้วลบ = แคโทด (Cathode)

ในการชุบทองต้องใช้เกลือทองหรือ โกลโปตัสเซียมไซยาไนด์เป็นสารละลายโกลโปตัสเซียมไซยาไนด์ มีลักษณะเป็นผงสีขาว คล้ายน้ำตาลทราย ที่นิยมใช้ในการชุบทองปัจจุบันนี้ จะเป็นทองโกลโปตัสเซียมไซยาไนด์ 68% (Gold Potassium Cyanide 68%) ($\text{KAu}(\text{CN})_2$) หรืออาจจะใช้ทองค้ำแท้ละลายด้วย Aqua Regia ก็ได้

2.4 ชนิดของน้ำยาชุบทอง

น้ำยาชุบทองแบ่งเป็นชนิดต่าง ๆ ตามสภาพของน้ำยาได้ดังนี้

2.4.1 น้ำยาชุบทองชนิดด่าง (Alkaline Cyanide Gold)

น้ำยาชุบทองชนิดด่างนี้ มีทั้งชนิดน้ำยาชุบที่ชุบแล้วได้โลหะทองบริสุทธิ์ และทั้งชนิดที่ชุบแล้วได้ทองผสมกับโลหะอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในทางอื่น

2.4.2 น้ำยาชุบทองชนิดเป็นกลาง (Neutral Gold)

น้ำยาชุบทองประเภทนี้สภาพของน้ำยาจะเป็นกลาง ซึ่งทำให้ง่ายต่อการบำรุงรักษา และผู้ปฏิบัติงานก็ลดอันตรายจากไซยาไนด์ ซึ่งน้ำยามีค่า pH ระหว่าง 6 ถึง 7

2.4.3 น้ำยาชุบทองแบบกรด (Acid Gold)

น้ำยาชุบทองแบบกรดนี้มีทั้งแบบชุบแล้วได้เป็น ทองผสม (ทองเค) และมีทั้งได้ทองเปอร์เซ็นต์สูง หรือทองบริสุทธิ์ (Pure Gold) และอีกอย่างหนึ่งเป็นแบบสไตรด์ ซึ่งน้ำยาชนิดนี้มี pH ประมาณ 4.5 การชุบทองแบบกรดนี้สีทองจะอ่อน สามารถชุบให้หนาได้โดยไม่เปลี่ยนสี

2.4.4 น้ำยาชุบทองแบบไม่มีไซยาไนด์ (Non-Cyanide Gold)

น้ำยาชุบทองแบบนี้มีใช้น้อยมาก เพราะเกลือทองที่ใช้จะใช้ประเภททองซัลไฟท์ (Gold Sulphite) ทองแบบนี้ไม่ค่อยทนทานค่า pH อยู่ประมาณ 9.5

2.5 อุปกรณ์ในการชุบทอง

2.5.1 ตัวล่อ (Anode) ในการชุบทอง

สแตนเลส ใช้ในน้ำยาชุบทองประเภทเป็นด่าง (Alkaline Cyanide Baths) ซึ่งการชุบทองแบบนี้สามารถใช้ถึงเป็นสแตนเลส และต่อไฟขั้วบวกเข้ากับถังโดยใช้ถึงเป็นตัวล่อ แต่สแตนเลสไม่ควรใช้เป็นตัวล่อในน้ำยาชุบทองแบบกรด และน้ำยาชุบทองแบบเป็นกลาง

ทอง ใช้เป็นตัวล่อในน้ำยาชุบทองประเภทด่าง (Alkaline Cyanide Baths)

กราไฟท์ กราไฟท์หรือคาร์บอนก็สามารถใช้เป็นตัวล่อในการชุบทองได้ แต่ต้องใส่ถุงประเภท Cotton หรือถุงโพลีพรอปพีลีน (Poly Propylene) เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกที่มีอยู่ในถังกราไฟท์หรือคาร์บอนละลายออกมาปนกับน้ำยาชุบ

ปลั๊ตตินั่ม ดีเตเนียม (Platinize Titanium) ซึ่งเป็นดีเตเนียม เคลือบด้วยปลั๊ตตินั่มสามารถใช้เป็นตัวล่อในน้ำยาชุบทองที่มีสภาพน้ำยาเป็นกรด และใช้เป็นตัวล่อในการชุบโรเดียม

2.5.2 ราวแขวนตัวล่อ

ราวแขวนตัวล่อและแขวนชิ้นงาน ควรเป็นโลหะดีเตเนียมหรือสแตนเลส ถ้าใช้ราวทองแดงต้องชุบด้วยนิเกิลเสียก่อน หากไม่ชุบก่อนแล้วทองแดงจะทำปฏิกิริยากับน้ำยาชุบทอง ทำให้โลหะทองแดงตกลงไปปะปนในน้ำยาชุบทองได้ อันเป็นสาเหตุทำให้น้ำยาชุบทองเสียหายได้

2.5.3 ถังชุบทอง

ถังชุบทองใช้แก้วทนความร้อนหรือทำด้วยโพลีเอททิลีน ถังสแตนเลส หรือถัง พี.วี.ซี.

ก็ได้ และถ้าใช้น้ำยาชุบทองจำนวนมากจำเป็นต้องใช้เครื่องกรองน้ำยาชุบทองด้วย เพื่อให้ น้ำยา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า สะอาดอยู่เสมอ ไม่วางกรรมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier)

Rectifier ใช้แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (A.C.) มาเป็นกระแสไฟตรง (D.C.) ขนาดของ Rectifier ที่กำหนดในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้านั้นใช้ขนาดแรงเคลื่อนไม่เกิน 12 โวลต์ สำหรับกระแสไฟฟ้าจำนวนมากน้อยแค่ไหน ก็ต้องขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนเนื้อที่ของชิ้นงานที่จะชุบแต่ละครั้ง เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าขนาด 12 โวลต์ สามารถใช้กับถังชุบหลาย ๆ ถังก็ได้ ถ้าหากมีแอมแปร์สูงพอ แต่ถ้าหากว่า Rectifier 1 ตัว ใช้กับถังชุบ 1 ถังก็จะสะดวกในการควบคุมกระแสไฟฟ้าแต่ละถัง

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามีแบบระบายความร้อนด้วยลม (Air Cool) กับแบบระบายความร้อนด้วยน้ำมัน (Oil Cool) และมีระบบใช้กับไฟฟ้า 220 โวลต์ กับ 380 โวลต์ ซึ่งเป็นระบบที่ใช้กับโรงงานอุตสาหกรรม แต่ถ้าหากเป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ๆ เช่น ประเภทรับชุบของเล็ก ๆ น้อย ๆ ก็ใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบ 220 โวลต์ ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 10 แอมแปร์ จนถึงแอมแปร์มาก ๆ ตามต้องการ

เครื่องขนาด 10 แอมแปร์ ใช้ชุบของเล็กๆ เช่น ชุบเครื่องประดับต่าง ๆ ใช้ชุบทอง, ชุบเงิน, ชุบนิเกิล และชุบโครเมียม

2.5.5 น้ำยาชุบ (Electrolyte)

เป็นสารละลายของเกลือโลหะชนิดต่าง ๆ กับสารเคมีชนิดอื่น ๆ ที่ผสมลงไปเพื่อช่วยให้ประสิทธิภาพของน้ำยาชุบดียิ่งขึ้น น้ำยาชุบจะแตกต่างกันไปแล้วแต่สูตรของบริษัทผู้คิดค้นสูตรน้ำยานั้น ๆ ตัวอย่างเช่น

สูตรน้ำยาชุบทอง 24 K (24 Karat Gold)

โกลโปรดัสเซียมไซยาไนด์ (K ₂ Au (CN) ₂)	1.5 - 3	กรัม/ลิตร
โพตัสเซียมไซยาไนด์ (KCN)	7.5	กรัม/ลิตร
ไดโพตัสเซียมฟอสเฟต (K ₂ HPO ₄)	15	กรัม/ลิตร
อุณหภูมิ	60 - 70	องศาเซลเซียส
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	10 - 40	แอมแปร์/ตารางฟุต

2.5.6 ฮัลเซลล์ (Hull Cell)

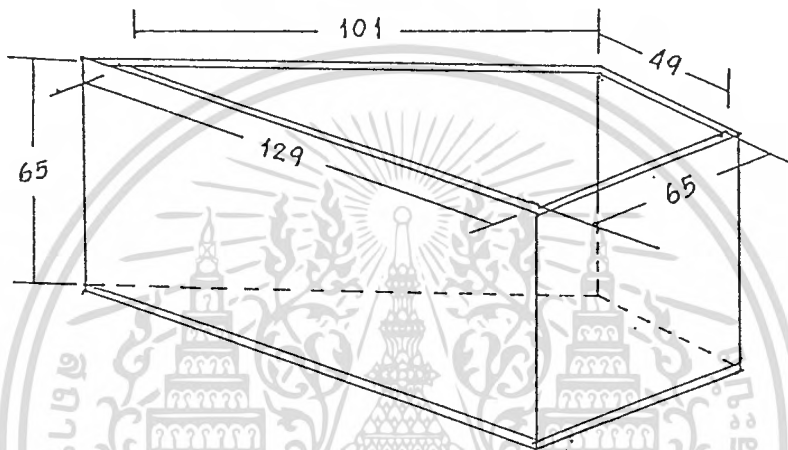
ฮัลเซลล์เป็นภาชนะที่ทำด้วยพลาสติก เช่น โพลีเอทิลีน ใช้บรรจุน้ำยาชุบ ที่มีขนาดเล็กหรือเป็นการย่อยส่วนถังชุบ หรือการชุบให้มีขนาดเล็กและถังชุบแบบนี้จะถูกออกแบบผิดไปจากถังชุบปกติโดยจะมีรูปร่างเป็นถังสี่เหลี่ยมคางหมู

ฮัลเซลล์มีประโยชน์ในการตรวจสอบคุณภาพของน้ำยา และภาวะการทำงานโดยจะนำน้ำยาชุบ ที่ต้องการตรวจสอบคุณภาพใส่ลงไปในฮัลเซลล์ ปรับอุณหภูมิให้เท่ากับที่ใช้ชุบจริง

เอกสารแล้วใส่ขั้วบวกที่และขั้วลบตามตำแหน่ง จากนั้นก็ต่อไฟฟ้ากระแสตรงให้ครบวงจร โดยใช้กระแสค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้า 2 - 3 แอมแปร์ไหลผ่าน สำหรับน้ำยาชุบทั่วไป แต่ถ้าเป็นน้ำยาชุบโครเมียมจะใช้กระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ ชุบเคลือบผิวแคโทด ประมาณ 5 - 10 นาที (ขึ้นกับชนิดของน้ำยา) แล้วนำขั้วแคโทดออกมาล้างทำความสะอาด และจดบันทึกลักษณะของการชุบ โดยละเอียด จากนั้นนำผลที่บันทึกไว้ และลักษณะของชิ้นงานหรือขั้วแคโทดมาแปรความถึงลักษณะการเกาะชุบผิว ซึ่งจะเป็นแนวทางที่จะบอกให้ทราบว่าจะการทํางาน และน้ำยาชุบที่ใช้คืออยู่แล้ว หรือควรแก้ไขต่อไป

อัลลัเซลล์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน มีขนาด 267 มิลลิเมตร ดังรูป



รูปที่ 2.7 แสดงขนาดของด้านต่าง ๆ ของอัลลัเซลล์ โดยตัวเลขในสเกลเหล่านี้มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

จากรูปจะเห็นว่า ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่นชิ้นงานจะไม่เท่ากัน โดยบริเวณที่อยู่ใกล้ขั้วแอโนดมากที่สุด จะมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามากที่สุด สำหรับการกระจายของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ที่ขั้วแคโทดในตำแหน่งต่าง ๆ จะเป็นไปตามสมการข้างล่างนี้

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

เมื่อ C.D. คือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ห่างจากด้านหรือขอบของขั้วแคโทดที่มีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงสุดเป็นระยะทาง X เซนติเมตร และหน่วยของ C.D. เป็นแอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านน้ำยาชุบมีหน่วยเป็นแอมแปร์

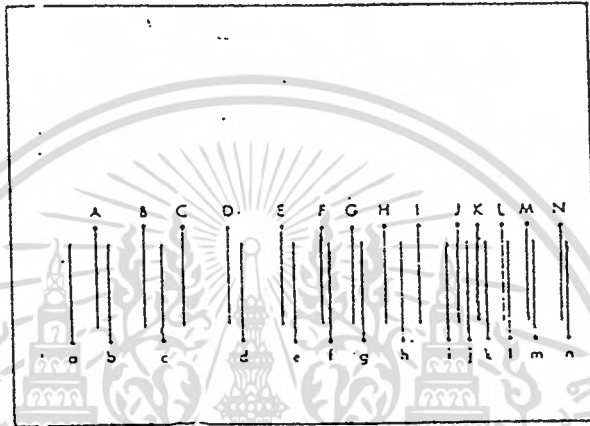
X คือ ระยะทางที่ห่างจากขอบของขั้วแคโทด ที่มีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง

สุด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการกระจายของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า สำหรับอัลลีเซลล์ที่บรรจุน้ำยา
ชุบขนาด 267 มิลลิเมตร เป็นตารางและรูปข้างล่างนี้

Current applied amperes	Current density—amp·dm ²													
	Position on Hull Cell panel													
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
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	6.25	5	3.75	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.25



รูปที่ 2.8 แสดงขนาดต่าง ๆ บนแผ่นโลหะที่ใช้เป็นขั้วแคโทดในอัลลีเซลล์ที่บรรจุน้ำยาชุบ
ขนาด 267 มิลลิเมตร (โดยด้านซ้ายมีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงสุด)

ที่มา : วัชร นิลสกุล และคณะ, “การวิเคราะห์สารเติมแต่งในกระบวนการชุบโลหะ,”
(โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
คุณทหารลาดกระบัง, 2535), หน้า 14.

จากชิ้นงานที่ทำการชุบ จะบอกได้ทันทีว่า น้ำยาชุบนี้ควรที่จะชุบที่ความหนาแน่นของ
กระแสไฟฟ้าเท่าใด จึงจะทำให้ผลงานออกมามี ตัวอย่างเช่น ถ้าผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในสาร
ละลาย 3 แอมแปร์ แล้วทำให้ผิวชิ้นงานที่ชุบมีความเงามอยู่ในช่วงตำแหน่ง c-g ก็จะใช้ความ
หนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 3-9 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร เป็นต้น

ประโยชน์ของอัลลีเซลล์

1. สามารถประมาณความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ในช่วงที่ทำการชุบแล้วได้ผิวที่
ชุบเป็นเงาม และค่าที่ควรใช้ที่ดีที่สุดควรเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างค่าสูงสุดกับค่าต่ำสุดของความหนา
แน่นของกระแสไฟฟ้าที่ทดสอบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ช่วยประมาณค่าความเข้มข้นของสารที่เป็นองค์ประกอบของน้ำยาชุบ เช่น ปริมาณของไอออนของโลหะ ที่จะไปเกาะบนผิวของชิ้นงานมีมากเกินไป ก็จะทำให้ต้องใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงกว่าปกติจึงจะทำให้ชิ้นงานเงางาม

3. จากลักษณะการเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบของฮัลล์เซลล์ จะช่วยบอกได้ว่าสารเพิ่มคุณสมบัติ เช่น น้ำยาเงา สารเพิ่มความมัน มีปริมาณมากหรือน้อยเกินไป ซึ่งสะดวกกว่าการวิเคราะห์ทางเคมี

4. สิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการให้มีในน้ำยาชุบ เช่น ไอออนของโลหะอื่นๆ หรือสารอินทรีย์เคมี ถ้ามีแล้วจะมีผลต่อการชุบหรือไม่ จะดูได้จากการเกาะเคลือบผิวของขั้วแคโทด เพราะถ้าหากสิ่งเหล่านี้มีปริมาณไม่เกินขีดจำกัดที่จะมีได้ก็ไม่เป็นผลเสียหาอะไร แต่ถ้ามีเกินขีดจำกัดจึงปรากฏผลออกมาให้เห็น

5. ฮัลล์เซลล์เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับสารเพิ่มคุณสมบัติกำลังการยึดเกาะ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำสุดที่จะใช้ได้ ประสิทธิภาพของขั้วลบโดยเฉลี่ย กำลังการเคลือบผิว ผลของ pH อุณหภูมิ สารที่เกิดจากการแตกสลายในขณะที่ชุบ เป็นต้น

ในงานวิจัยครั้งนี้จะใช้ชิ้นงานที่เป็นแผ่นทองเหลืองที่ผ่านการชุบเคลือบผิวด้วยทองแดงและนิเกิลมาเรียบร้อยแล้ว นำมาทดลองชุบทองที่เตรียมขึ้นเอง โดยใช้ฮัลล์เซลล์ และปรับสารละลายสำหรับชุบทองให้เป็นสีต่างๆ จะทำการทดลองโดยการเติมโลหะต่างๆ ลงไปในปริมาณต่างๆ กันเพื่อดูสีที่เกิดขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. บีกเกอร์ขนาด 250 ml	3 ใบ
ขนาด 500 ml	4 ใบ
ขนาด 1000 ml	1 ใบ
2. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 ml	2 ใบ
3. แท่งแก้วคนสาร	2 อัน
4. กรวยกรอง	1 อัน
5. กระจกกรอง	1 กล่อง
6. Cupel	1 อัน
7. ช้อนตักสาร	1 อัน
8. กระจกฉีดยาน้ำกลั่น	1 อัน
9. กระจกตวง ขนาด 10 ml	1 อัน
ขนาด 50 ml	1 อัน
10. เทอร์โมมิเตอร์ 100 °C	1 อัน
11. ถ้วยกระเบื้อง	1 อัน
12. กระจกนาฬิกา	1 อัน
13. ถุงมือ	1 คู่
14. หน้ำกาก + แวนตา	1 ชุด
15. Crucible Tongs	1 อัน
16. Forceps	1 อัน
17. เครื่องชั่งละเอียด	1 เครื่อง
18. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ขนาด 12 โวลต์	1 ชุด
19. ฮัลล์เซลล์	1 อัน
20. แผ่นสแตนเลส	1 แผ่น
21. แผ่นทองเหลืองขนาด 10 x 7 ซม.	
22. เต้าเผา	
23. ตู้อบ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24. เดซิเคเตอร์

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. conc. HCl (AR. grade)
2. conc. HNO₃ (AR. grade)
3. conc. NH₃ (AR. grade)
4. Zince dust
5. น้ำกลั่น
6. K₂HPO₄ (AR. grade)
7. CuCN (AR. grade)
8. K[Ag(CN)₂] (AR. grade)
9. KCN (AR. grade)
10. CdO (AR. grade)
11. Na₂S₂O₅ (AR. grade)
12. K[Au(CN)₂]
13. ทองคำตัวอย่าง
14. NaCl
15. K₂[Ni(CN)₄]

3.2 วิธีทดลอง

ในการเตรียมสารละลายสำหรับหุบทองเป็นสีต่างๆ มีลำดับขั้นตอนดังนี้

ตอนที่ 1 การสกัดและแยกทองคำโดยใช้กรดกัดทอง

1. นำเครื่องประดับที่มีทองเป็นส่วนผสม ซึ่งชำรุดแล้วใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เตรียมกรดกัดทองในตู้ควันโดยผสมกรดไนตริกเข้มข้นกับกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น ในอัตราส่วน 1:3 โดยปริมาตร
3. นำกรดกัดทองที่เตรียมได้ เติมลงในบีกเกอร์ที่มีสารตัวอย่าง โดยใช้ปริมาณให้สูงเหนือตัวอย่าง
4. ให้ความร้อนแก่สารตัวอย่าง 80 องศาเซลเซียส โดยปั่นกวนสารตัวอย่างตลอดเวลา ทั้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยานาน 40 นาที แล้วจึงเติมน้ำกลั่นเพื่อเจือจางกรด จากนั้นนำไปกรองด้วย กรวยบุษนอร์ ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้ง จนสารละลายที่กรองออกมาไม่มีสี
5. นำสารละลายที่กรองได้มาตกตะกอน โดยการเติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ (Na₂S₂O₅)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ที่ละน้อยโดยใช้แท่งแก้วคนสารละลายทุกครั้งที่ได้เติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ จนสังเกตเห็นว่า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ออกจากนี้รับผิดชอบแต่เพียงผู้เดียว และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนไม่เพิ่มขึ้นจึงหยุดเติม ทั้งให้เกิดการตกตะกอนโดยสมบูรณ์ประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นลองเติม โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ลงไปอีก ถ้าไม่มีตะกอนเกิดขึ้นอีกจึงหยุดเติม คอยจนปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์

6. นำไปกรองแยกตะกอนโลหะออกโดยใช้กรวยกรอง แล้วล้างตะกอนที่ได้ด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง เพื่อชะกรดที่มีอยู่ออกไป

7. นำตะกอนไปอบให้แห้งที่ 120 องศาเซลเซียส

8. นำกระดาษกรองที่มีตะกอนที่อบแล้วใส่ด้วยครุชีเบิล เผาในตู้ควันจนกระทั่งกระดาษกรองไหม้หมด จึงนำตะกอนที่เหลือจากการเผาล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นเพื่อขจัดสิ่งเจือปน รินกรดออกและล้างซ้ำด้วยกรดอีก 1 ครั้ง ล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งน้ำที่ล้างไม่เป็นกรด

9. อบตะกอนให้แห้งที่ 120 องศาเซลเซียส เมื่อแห้งแล้ว ร่อนตะกอนเย็นนำไปใส่ในเดซิเคเตอร์แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

ตอนที่ 2 การเพิ่มความบริสุทธิ์ของทองคำ โดยวิธีคูเพลเลชัน

1. นำทองคำที่ได้จากตอนที่ 1 มาชั่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน

2. นำทองคำที่ชั่งน้ำหนักแล้วมาห่อด้วยแผ่นตะกั่วที่ตีบาง หนัก 2 กรัม นำไปใส่ในคูเพลเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส โลหะหรือสิ่งเจือปนอื่นที่ไม่ใช่ทองคำจะเกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ ซึมลงไปในคูเพลจนหมดทิ้งไว้อีก 2 ชั่วโมง จึงหยุดให้ความร้อนทิ้งไว้ให้เย็น จึงนำคูเพลออกมา จะได้ทองคำอยู่ที่ก้นถ้วย

3. นำทองคำที่ได้มารีดเป็นแผ่นบาง ๆ จากนั้นนำไปใส่กรดไนตริกเข้มข้น พร้อมให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส เพื่อละลายเงินออกมาโดยใช้กรด 3-4 ครั้ง นำสารละลายมาเติมโซเดียมคลอไรด์ ถ้ามีผลึกสีขาวเกิดขึ้นแสดงว่ามีเงินอยู่ ต้องใช้กรดล้างอีกจนกระทั่งไม่เกิดผลึก จากนั้น

- ล้างทองคำที่เหลือด้วยน้ำร้อนหลาย ๆ ครั้ง
- นำทองคำที่ได้อบให้แห้งเมื่อเย็นให้นำไปใส่ในเดซิเคเตอร์ ชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอน
- หาความบริสุทธิ์ของทองคำที่ได้เทียบกับน้ำหนักของทองคำเริ่มต้น

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์} = \frac{\text{น้ำหนักทองคำหลังหลอม} \times 100}{\text{น้ำหนักทองคำก่อนหลอม}}$$

นำทองคำที่เตรียมได้มาเตรียมน้ำยาชุบทอง

1. นำทองคำที่เตรียมได้ประมาณ 1.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ ขนาด 1000 มิลลิลิตร
2. เทกรดกัดทองประมาณ 4 เท่าของน้ำหนักทอง ลงในบีกเกอร์ที่ใส่ทองไว้แล้ว

3. นำไปให้ความร้อนในตู้คั่ววัน เพื่อช่วยให้การละลายทองทำได้เร็วขึ้น

4. เมื่อทองถูกละลายหมดแล้ว ให้รอนกว่าน้ำกรดแห้งเมื่อน้ำกรดแห้งแล้วยกออกจากเตาไฟ จะได้ผงทองติดอยู่ที่บีกเกอร์

5. เติมน้ำกลั่นประมาณ $2/3$ ของบีกเกอร์

6. เติมโปตัสเซียมไซยาไนด์ 7.5 - 10 กรัม กวนให้ละลาย

7. เติมไดโปตัสเซียมฟอสเฟต 15 กรัม ละลายให้เข้ากัน

8. เติมน้ำจันครบ 1 ลิตร จะได้น้ำยาชุบทองจำนวน 1 ลิตร

เมื่อได้สารละลายสำหรับชุบทองแล้ว นำไปทดลองในฮัลล์เซลล์ เพื่อปรับน้ำยาให้เป็นสีต่าง ๆ โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณและชนิดของโลหะทรานสิชันที่เติมลงไปในการละลายสำหรับชุบทอง ทำการทดลองชุบทองบนแผ่น โลหะทองเหลืองที่ผ่านการชุบทองแดงและนิเกิลมาเรียบร้อยแล้ว



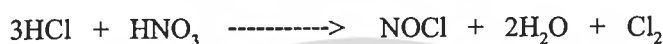
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

4.1 ผลการสกัดและแยกทองคำ

นำเครื่องประดับที่มีทองคำเป็นส่วนผสม มาสกัดด้วยกรดกัดทอง ทองคำที่มีอยู่จะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ



ทองคำจะเกิดปฏิกิริยากับ NOCl จากกรดกัดทองกลายเป็น Au^{3+} ซึ่งจะถูกรีดิวซ์ให้กลับเป็นโลหะทองคำอีกครั้งหนึ่งด้วยโซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ ทองคำที่ได้มีเนื้อละเอียด สีเหลืองหาความบริสุทธิ์ของทองคำโดยวิธีคูเพลเลชัน และสามารถคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์} = \frac{\text{น้ำหนักของทองคำหลังหลอม} \times 100}{\text{น้ำหนักของทองคำก่อนหลอม}}$$

$$\text{น้ำหนักของทองคำก่อนหลอม} = 2.7795 \text{ กรัม}$$

$$\text{น้ำหนักของทองคำหลังหลอม} = 2.7612 \text{ กรัม}$$

$$\text{ดังนั้น ความบริสุทธิ์ของทองคำ} = 99.3 \%$$

การแยกทองคำออกจากโลหะอื่นโดยใช้กรดกัดทอง เป็นวิธีที่ง่ายและได้ผลดี ความบริสุทธิ์ที่ได้มีค่าสูง เมื่อนำทองคำที่เตรียมได้ไปเตรียมน้ำยาชุบทอง โดยใช้สูตรการเตรียมน้ำยาชุบทอง 24 K ที่ใช้ทั่วไป สีของทองที่ชุบจากทองที่สกัดได้กับทองคำที่อยู่ในรูปของสารประกอบของ $\text{K}[\text{Au}(\text{CN})_2]$ ในปริมาณเดียวกันคือ 2 กรัม/ลิตร จะให้เฉดสีเดียวกัน

4.2 สภาวะเหมาะสมในการชุบ

ทำการทดลองชุบในอัลล์เซลล์ โดยใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าขนาด 12 โวลท์ เลือกเอกสารที่เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ใช้กระแสไฟในการทดลองชุบ 1 แอมแปร์ 8 โวลท์ และแอโนดที่เหมาะสมคือ สแตนเลส ไม่วากรัมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้แดดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาในการชุบทอง ที่เหมาะสมคือ 1 นาที โดยดูจากสีของทองและการเคลือบผิวบนชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K

4.3 ผลของโลหะทรานสิชันที่มีต่อสีของทอง

4.3.1 ผลเมื่อเติมโลหะทรานสิชันชนิดเดียว

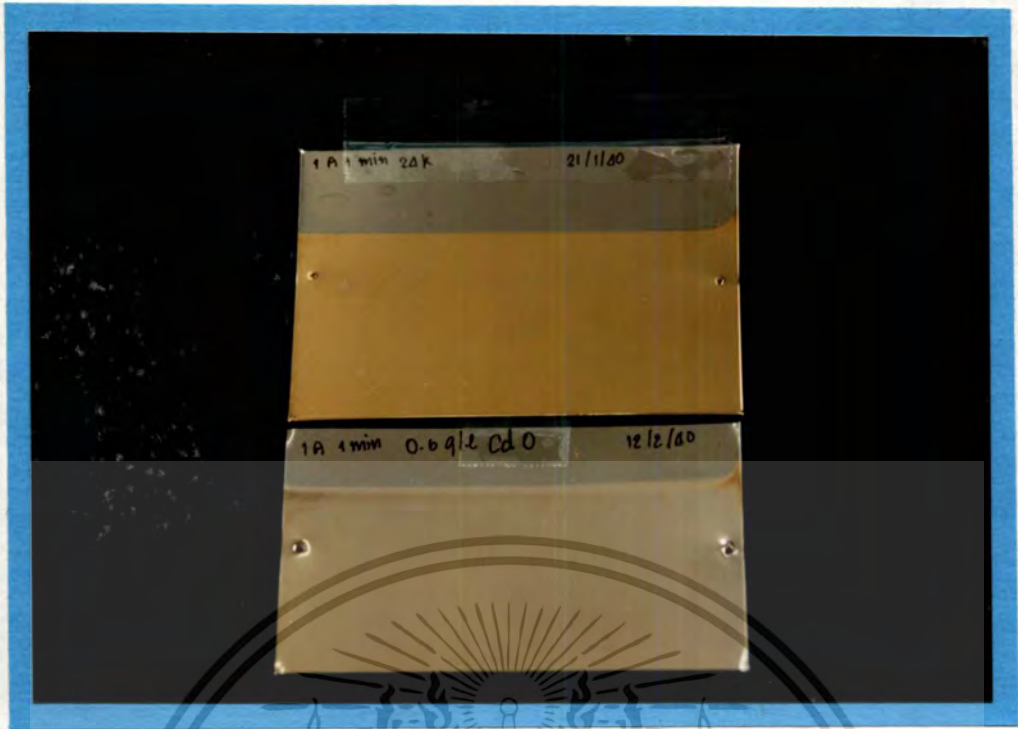
4.3.1.1 ผลของแคดเมียม การเติม CdO ลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เตรียมขึ้น จะทำให้สีเหลืองของทองมีสีเหลืองขึ้นและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอมเขียวจนกระทั่งสีเหลืองจางลง เฉดสีที่เกิดขึ้นในปริมาณ CdOต่าง ๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงผลของการเติม CdO ในปริมาณต่าง ๆ กัน ลงในสารละลายสำหรับชุบทอง

24 K

ปริมาณ CdO (กรัม/ลิตร)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0.10	- สีเหลืองขึ้น	- แตกต่างจากสีเหลืองทอง 24 K อย่างชัดเจน
0.20	- สีเหลืองเข้มขึ้น	- สีส้มเขียวเล็กน้อย
0.30	- สีเหลืองอมเขียว	- สีเหลืองอมเขียว
0.40	- สีจางลง มีสีน้ำตาลอ่อน ๆ ทางด้าน กระแสไฟสูงไหม้บ้าง เล็กน้อย	- สีแตกต่างจากปริมาณ 0.30 กรัม/ลิตร อย่างชัดเจน
0.50	- สีเหลืองจางลง สีน้ำตาลเข้มมากขึ้น ทางด้านกระแสไฟสูงไหม้มากขึ้น	- การเคลือบผิวของทองคำไม่ดีนัก โดยเฉพาะทางด้านกระแสไฟต่ำ
0.60	- สีเหลืองจางลงไปอีก สีน้ำตาลเข้ม มากขึ้น ทางด้านกระแสไฟสูงไหม้ มากขึ้น	- การเคลือบผิวของทองคำตลอด ทั้งแผ่นไม่ดีนัก

จากตารางที่ 4.1 การเติม CdO ในปริมาณ 0.10 กรัม/ลิตร - 0.30 กรัม/ลิตร จะให้สีเหลืองขึ้นจนกระทั่งเป็นสีเหลืองอมเขียวทั่วแผ่น การเคลือบผิวดี แต่ถ้าเติม 0.40 กรัม/ลิตร จะทำให้สีเหลืองทองจางลง และด้านกระแสไฟสูงจะไหม้ และยิ่งเติม CdO มากขึ้น การเคลือบผิวจะไม่ดีมากขึ้นและด้านกระแสไฟสูงหรือด้านที่ใกล้ขั้วแอโนดจะไหม้มากขึ้น การละลายของ CdO จะยากกว่าตัวอื่น ๆ



รูปที่ 4.2 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 0.6 กรัม/ลิตร CdO

4.3.1.2 ผลของซิลเวอร์ การเติม $K[Ag(CN)_2]$ ลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K จะทำให้สีเหลืองของทอง 24 K เปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองอมเขียว เจดสีที่เกิดขึ้น ในปริมาณ $K[Ag(CN)_2]$ ต่าง ๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 4.2 รูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงผลของการเติม $K[Ag(CN)_2]$ ในปริมาณต่างๆ กัน ลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K

ปริมาณ $K[Ag(CN)_2]$ (กรัม/ลิตร)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0.10	- สีเหลืองมากขึ้น ชิ้นงานเรียบเป็นเงา	-แตกต่างจากสีเหลืองของ ทอง 24 K อย่างชัดเจน
0.20	- สีเหลืองอมเขียว	-การเคลือบผิวดีตลอดทั้ง แผ่น
0.30	- สีเหลืองอมเขียว ทางด้านกระแ ไฟสูงไหม้เล็กน้อย	-การเคลือบผิวดีตลอดทั้ง แผ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มอนูญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ปริมาณ $K[Ag(CN)_2]$ (กรัม/ลิตร)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0.40	- สีเหลืองอมเขียว ทางด้านกระแสไฟสูงไหม้มากขึ้น	- การเคลือบผิวดีตลอดทั้งแผ่น
0.50	- สีเหลืองอมเขียว ทางด้านกระแสไฟสูงไหม้มากขึ้น	- สีเหลืองอมเขียว

จากตารางที่ 4.2 การเติม $K[Ag(CN)_2]$ 0.10 กรัม/ลิตร - 0.20 กรัม/ลิตร จะให้สีเหลืองมากขึ้น จนกระทั่งเป็นสีเหลืองอมเขียว แต่เมื่อเติมในปริมาณ 0.30 กรัม/ลิตร ยังคงให้สีเหลืองอมเขียว แต่ทางด้านกระแสไฟสูงจะไหม้ ยิ่งเติมมากขึ้น ด้านกระแสไฟสูงจะไหม้มากขึ้น



รูปที่ 4.3 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 0.5 กรัม/ลิตร $K[Ag(CN)_2]$

4.3.1.3 ผลของคอปเปอร์ การเติม $CuCN$ ลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K

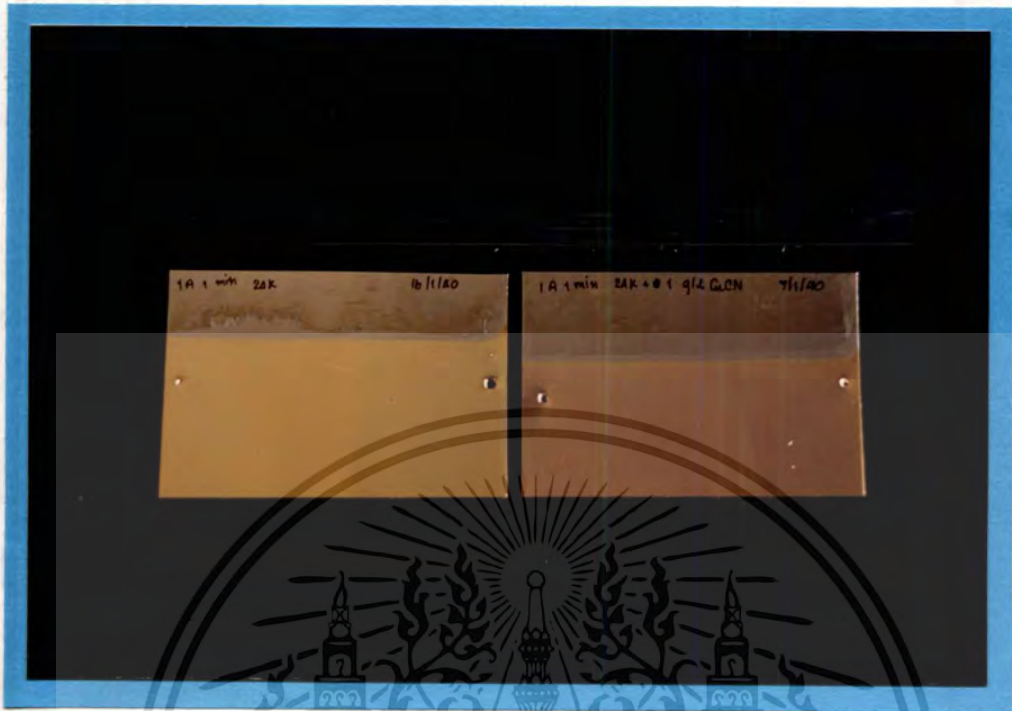
จะทำให้สีเหลืองของทองออกไปทางสีชมพู เจดสีของทองที่เกิดขึ้นในปริมาณ $CuCN$ ต่าง ๆ กัน ดังเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แสดงในตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.4

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของการเติม CuCN ในปริมาณต่าง ๆ กัน ลงในสารละลายสำหรับ
ชุบทอง 24 K

ปริมาณ CuCN (กรัม/ลิตร)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0.10	- สีเหลืองของทอง 24 K มีสีชมพูเล็กน้อยทางด้านกระแสไฟสูง	-การเคลือบผิวของ CuCN ยังไม่ดีนัก
0.20	- สีเหลืองเข้ม	-สีอมชมพู การเคลือบผิวของ CuCN ทางด้านกระแสไฟต่ำยังไม่ดีนัก
0.30	- สีเหลืองอมชมพูมากขึ้น	-การเคลือบผิวดีตลอดทั้งแผ่น แต่ยังคงมี สีเหลืองของทอง 24 K อยู่
0.40	- สีชมพูชัดเจนทั่วแผ่น	-สีเปลี่ยนไปจากสีของทอง 24 K
0.50	- สีชมพู มากขึ้นเล็กน้อย	-การเคลือบผิวของ CuCN ดีตลอดทั้งแผ่น
0.60 - 1.0	- สีชมพู	-สีชมพู

จากตารางที่ 4.3 การเติม CuCN 0.1 กรัม/ลิตร - 0.20 กรัม/ลิตร จะให้สีชมพูเล็กน้อย บริเวณใกล้กับทางด้านกระแสไฟสูง การเคลือบผิวของ CuCN ยังไม่ดีนัก ยังคงเป็นสีเหลืองของทอง 24 K อยู่ ปริมาณ 0.30 กรัม/ลิตร การเคลือบผิวของ CuCN ดีทั่วแผ่น สีเหลืองอมชมพูมากขึ้น แต่เมื่อเติมลงไป 0.40 กรัม/ลิตร จะเป็นสีชมพูทั่วแผ่น



รูปที่ 4.4 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 1 กรัม/ลิตร CuCN

4.3.1.1.4 ผลของนิเกิล การเติม $K_2[Ni(CN)_4]$ ลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K จะทำให้สีเหลืองของทองจางลง เหนือสีของทองที่เกิดขึ้น ในปริมาณ $K_2[Ni(CN)_4]$ ต่าง ๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของการเติม $K_2[Ni(CN)_4]$ ในปริมาณต่าง ๆ กัน ลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K

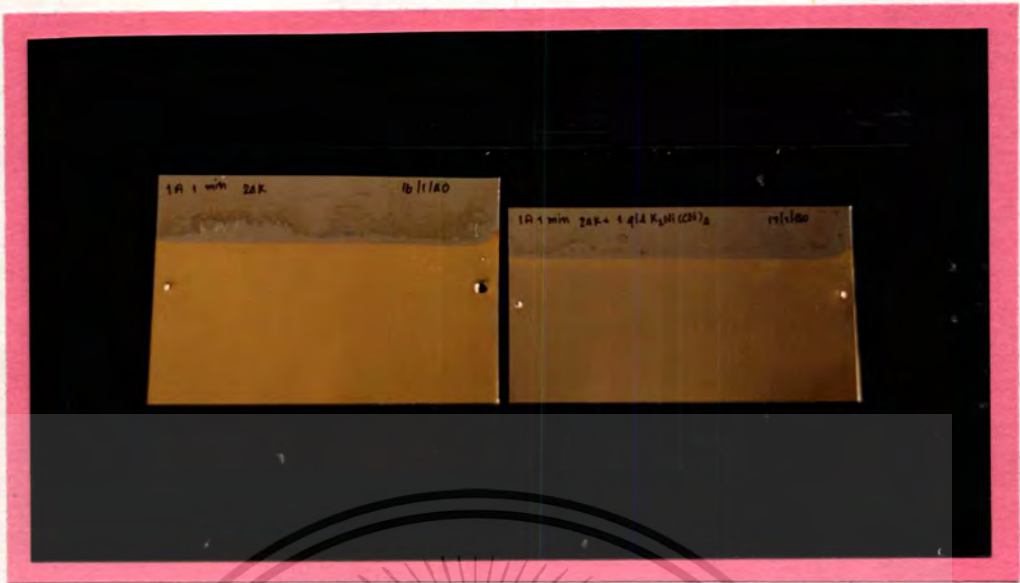
ปริมาณ $K_2[Ni(CN)_4]$ (กรัม/ลิตร)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0.10	- สีเหลืองจางลงเล็กน้อย	- ยังคงเป็นสีเหลืองของทอง 24 K
0.20	- สีเหลืองจางลงอีกเล็กน้อย	- ยังคงเป็นสีเหลืองของทอง 24 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

ปริมาณ $K_2[Ni(CN)_4]$ (กรัม/ลิตร)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0.30	- สีเหลืองจางลงอีก	- สีจางลงตลอดทั้งแผ่น
0.40	- สีเหลืองจางลงอีก	- สีจางลงตลอดทั้งแผ่น
0.50	- สีเหลืองจางลงอีก	- ทางด้านกระแสไฟสูง เป็นสีของนิเกิล
0.60	- ด้านกระแสไฟสูงสีเหลืองจางลง มาก เป็นสีของนิเกิลชัดเจน	- ทางด้านกระแสไฟต่ำมี สีเหลืองเล็กน้อย
0.70 - 1.0	- เช่นเดียวกับปริมาณ 0.60 g/l	

จากตารางที่ 4.4 การเติม $K_2[Ni(CN)_4]$ ตั้งแต่ปริมาณ 0.10 กรัม/ลิตร เป็นต้นไป จะทำให้สีเหลืองของทองคำย่ ๆ จางลง ยิ่งเติมลงไปปริมาณมากจะทำให้สีของทองคำย่ ในปริมาณ 0.6 กรัม/ลิตร - 1.0 กรัม/ลิตร สีเหลืองของทองทางด้านกระแสไฟสูงจะจางลงมาก แต่ทางด้านกระแสไฟต่ำยังคงมีสีเหลืองของทองอยู่บ้าง แสดงว่ากำลังการเคลือบผิวของนิเกิลไม่ทั่วแผ่น



รูปที่ 4.5 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K กับสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติม 1 กรัม/ลิตร $K_2[Ni(CN)_4]$

4.3.2 ผลเมื่อเติมโลหะทรานสิชันมากกว่า 1 ชนิด จะยึดสีที่เกิดขึ้นจากโลหะ Cu ซึ่งมีสีชมพูเป็นเกณฑ์

4.3.2.1 การเติม CdO ลงในสารละลายผสมของทอง 24 K กับ 0.40 กรัม/ลิตร CuCN ผลที่ได้ทำให้สีของทองผสมที่เป็นสีชมพูเปลี่ยนไป ตามปริมาณของ CdO ดังแสดงในตารางที่ 4.5 รูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของการเติม 0.4 กรัม/ลิตร CuCN กับ CdO ในปริมาณต่าง ๆ ในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K

ปริมาณ CdO (กรัม/ลิตร)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0.10	- สีชมพูจางลงอย่างชัดเจน	- สีชมพูยังคงอยู่
0.20	- สีเหลืองอมเขียวทั่วแผ่น	- สีไม่เงางาม การเคลือบผิวดีตลอดทั้งแผ่น
0.30	- สีเหลืองอมเขียวทั่วแผ่น	-
0.40	- สีเหลืองอมเขียวทั่วแผ่น	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 การเติม 0.40 กรัม/ลิตร CuCN กับ CdO ในปริมาณ 0.10 กรัม/ลิตร จะทำให้สีชมพูของ CuCN จางลงอย่างชัดเจน และที่ปริมาณ 0.20 กรัม/ลิตร เป็นต้นไป จะให้สีเหลืองอมเขียวทั่วแผ่น ซึ่งเป็นสีของ CdO แต่สีที่ได้ไม่สวย ไม่เงางาม เหมือนกับการเติม CdO ในปริมาณเดียวกัน สีจะอ่อนกว่าการเติม CdO เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4.6 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติมโลหะทรานสิชันต่างชนิดกัน ในปริมาณเดียวกัน

4.3.2.2 การเติม $K[Ag(CN)_2]$ ลงในสารละลายผสมระหว่างทอง 24 K กับ 0.40 กรัม/ลิตร CuCN ผลที่ได้จะทำให้สีชมพูจางลง ตามปริมาณของ $K[Ag(CN)_2]$ ดังแสดงในตารางที่ 4.6 รูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลของการเติม 0.4 กรัม/ลิตร CuCN กับ $K[Ag(CN)_2]$ ในปริมาณต่าง ๆ กัน ลงในสารละลายสำหรับชุดทอง 24 K

ปริมาณ $K[Ag(CN)_2]$ (กรัม/ลิตร)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0.10	- สีชมพูจางลง	- จางลงทั่วแผ่น
0.20	- สีชมพูจางลงอีก มีสีเหลืองอ่อนๆ	- สีเหลืองอ่อน บริเวณกระแสไฟสูง
0.30	- สีชมพูหายไปเป็นสีเหลืองอ่อน ๆ	- สีเหลืองอ่อนทั่วแผ่น
0.40	- สีเหลืองอ่อน ๆ ปนเขียว	- ด้านกระแสไฟสูงไหม้เล็กน้อย
0.50	- สีเหลืองอ่อนลง	- การเคลือบผิวไม่ดี ด้านกระแสไฟสูงไหม้มากขึ้น

จากตารางที่ 4.6 การเติม 0.40 กรัม/ลิตร CuCN กับ $K[Ag(CN)_2]$ 0.10 กรัม/ลิตร - 0.20 กรัม/ลิตร สีชมพูจางลงเป็นสีเหลืองของทองมากขึ้น 0.30 กรัม/ลิตร สีชมพูจางหายไป จะเห็นเป็นสีเหลืองอ่อน ๆ ทั่วแผ่น ในปริมาณ 0.40 กรัม/ลิตร ของ $K[Ag(CN)_2]$ จะให้สีเหลืองอ่อนปนเขียว ซึ่งเป็นสีของ $K[Ag(CN)_2]$ แต่จะให้สีที่อ่อนกว่าการเติมเพียงตัวเดียว ทางด้านกระแสไฟสูงจะเริ่มไหม้เล็กน้อย เมื่อเติมลงไป 0.50 กรัม/ลิตร สีเหลืองจะจางลง การเคลือบผิวไม่ดี ด้านกระแสไฟสูงจะไหม้มากขึ้น

4.3.2.3 การเติม $K_2[Ni(CN)_4]$ ลงในสารละลายผสมระหว่างทอง 24 K กับ 0.40 กรัม/ลิตร CuCN ผลที่ได้ทำให้สีชมพูจางลง ตามปริมาณของ $K_2[Ni(CN)_4]$ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลของการเติม 0.40 กรัม/ลิตร CuCN กับ $K_2[Ni(CN)_4]$ ในปริมาณต่าง ๆ ลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K

ปริมาณ $K_2[Ni(CN)_4]$ (กรัม/ลิตร)	สีและลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏ	ข้อสังเกต
0.10	- สีชมพูจางลงทั่วแผ่น	- การเคลือบผิวดี
0.20	- สีชมพูจางลงอีก	- การเคลือบผิวดี
0.30	- สีจางลงอีกเป็นสีของนิเกิล	- ทางด้านกระแสไฟต่ำ มีสีเหลืองชมพูเล็กน้อย
0.40	- เช่นเดียวกับปริมาณ 0.30 กรัม/ลิตร	- ทางด้านกระแสไฟต่ำ มีสีเหลืองชมพูเล็กน้อย

จากตารางที่ 4.7 การเติม 0.40 กรัม/ลิตร CuCN กับ $K_2[Ni(CN)_4]$ 0.10 กรัม/ลิตร - 0.20 กรัม/ลิตร ลงในสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K จะทำให้สีของ CuCN จางทั่วแผ่น แต่ปริมาณ 0.30 กรัม/ลิตร ขึ้นไป จะทำให้สีชมพูจางลงเรื่อย ๆ แต่ทางด้านกระแสไฟต่ำยังคงมีสีชมพู แสดงถึงว่า นิเกิล ไม่สามารถเคลือบผิวทางด้านกระแสไฟต่ำได้ดีพอ



รูปที่ 4.7 แสดงสีของชิ้นงานที่ชุบด้วยสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ที่เติมโลหะทรานซิชัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 1 ชนิด กับ 2 ชนิด ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเตรียมสารละลายสำหรับชุบทองสีต่าง ๆ การเคลือบผิวที่เกิดจากน้ำยาชุบทองจะเกิดในลักษณะของโลหะผสมของทองคำ จากการวิจัยครั้งนี้พบว่า Cd มีการละลายที่ไม่ดีนัก เมื่อเติมลงไปในการเตรียมสารละลายสำหรับชุบทอง ความคงทนในการเกิดโลหะผสมระหว่าง Cd กับ Au จึงไม่ดี เพราะเมื่อเก็บแผ่นทองเหลืองที่ผ่านการชุบทองแดงและนิกเกิลเรียบร้อยแล้ว นำมาชุบสารละลายสำหรับชุบทองที่มีโลหะ Cd ผสมอยู่ แล้วเก็บใส่ถุงพลาสติก ในระยะเวลาเท่ากัน แผ่นจะมีคราบสีน้ำตาล ในขณะที่โลหะผสมของ Au กับ Ni, Au กับ Cu และ Au กับ Ag แผ่นยังคงเหมือนเดิม

การเกิดโลหะผสมระหว่าง Au กับ Ni, Au กับ Cu และ Au กับ Ag จะเป็นการเกิด Solid Solution ในแบบ Substitution Solid Solution เนื่องจากมีการละลายเข้ากันได้ดี มีโครงสร้างผลึกชนิดเดียวกัน คือเป็นแบบ Face Centered Cubic (FCC) (ดังตารางที่ 4.8) จึงทำให้การเกิดโลหะผสมที่มีความคงทน ส่วนสีที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวถูกละลายและปริมาณของตัวทำละลายที่เข้าไปครอบครองโครงสร้างผลึก ส่วนโลหะผสมระหว่าง Au กับ Cd ถึงแม้จะมีโครงสร้างผลึกที่ต่างกันคือ Cd มีโครงสร้างผลึกแบบ Hexagonal Close - Packing (HCP) แต่ขนาดอะตอมใกล้เคียงกัน จึงเกิดการแทนที่กันได้ ซึ่งจากการวิจัยโลหะทั้งสองสามารถละลายเข้ากันได้ แต่โครงสร้างผลึกไม่คงทน ทำให้สีของโลหะผสมเปลี่ยนแปลงไป ส่วนการเกิดโลหะผสม 3 ชนิดนั้น สีที่เกิดขึ้นจะเป็นสีผสมระหว่างโลหะทั้ง 3 ชนิด แต่ความเงางามของสีจะไม่สวยงามนัก เมื่อเทียบกับการเติมโลหะชนิดเดียวลงในสารละลายสำหรับชุบทอง

ตารางที่ 4.8 โครงสร้างผลึกและรัศมีอะตอมของโลหะต่าง ๆ

Element	Crystal Structure	Atomic Radius, $^{\circ}$ A
Cadmium	HCP	1.489
Copper	FCC	1.278
Gold	FCC	1.441
Nickel	FCC	1.246
Silver	FCC	1.444

ที่มา : เทพนารินทร์ ประพัฒน์ และวิหาร ดีปัญญา. วัสดุอุตสาหกรรม . (กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์, 2539). หน้า 117

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 การเตรียมสารละลายสำหรับชุบทอง

น้ำยาชุบทองที่ได้จากทองที่สกัดด้วยกรดคัตทองกับ $K[Au(CN)_2]$ จะให้ผลสีของทอง 24 K เหมือนกัน

สภาวะที่เหมาะสมในการชุบคือ ใช้กระแสไฟ 1 แอมแปร์ 8 โวลต์ ระยะเวลา 1 นาที

5.2 ผลของโลหะทรานสิชันมีต่อสีของทองชุบ

5.2.1 การเติม CdO และ $K[Ag(CN)_2]$ จะทำให้สีเหลืองของทอง เปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองอมเขียว ที่ปริมาณ 0.3 กรัม/ลิตร และ 0.2 กรัม/ลิตร ตามลำดับ

5.2.2 การเติม $CuCN$ ทำให้สีเหลืองของทองเปลี่ยนไปเป็นสีชมพู ที่ปริมาณ 0.4 กรัม/ลิตร

5.2.3 การเติม $K_2[Ni(CN)_4]$ ไม่ทำให้สีเหลืองของทองเปลี่ยนไป แต่ทำให้สีเหลืองของทองเป็นสีเหลืองอ่อน

5.2.4 การเติมโลหะทรานสิชัน 2 ชนิด โดยใช้ 0.4 กรัม/ลิตร $CuCN$ ผสมกับสารละลายสำหรับชุบทอง 24 K ได้เป็นสีชมพู เมื่อเติม CdO , $K[Ag(CN)_2]$ และ $K_2[Ni(CN)_4]$ ลงไปผสมครั้งละ 1 ชนิด ในปริมาณต่าง ๆ กัน CdO และ $K[Ag(CN)_2]$ ทำให้สีชมพูเปลี่ยนไปเป็นสีเหลืองอมเขียวจาง ๆ ไม่เงางาม ส่วน $K_2[Ni(CN)_4]$ ทำให้สีชมพูจางลง เปลี่ยนเป็นสีของนิเกิล

5.2.5 สีที่ได้จากการเติมโลหะทรานสิชัน 2 ชนิด ไม่เงางาม เมื่อเทียบกับการเติมโลหะทรานสิชันชนิดเดียว ในปริมาณเดียวกัน

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการชุบทองแต่ละครั้งในอัลลเซลล์จะใช้น้ำยาชุบทอง 300 มล. ซึ่งการเติมโลหะทรานสิชันแต่ละชนิดลงไป ทำการชุบทองไม่ต่ำกว่า 10 ครั้ง จึงน่าจะมีการตรวจเช็คปริมาณทองคำที่เหลืออยู่ในสารละลาย

5.3.2 ในการวิจัยนี้ ใช้เงินงานเป็นแผ่นทองเหลืองที่ผ่านการชุบทองแดง และนิเกิลมาแล้ว จึงน่าจะมีการทดลองนำชิ้นงานชนิดอื่น เช่น เงิน มาทดลองชุบเคลือบผิวด้วยสารละลายสำหรับชุบทองมีสีที่เตรียมได้

5.3.3 ควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมในโลหะคู่อื่น ๆ เช่น ทองแดงกับสังกะสี

5.3.4 ควรนำสารละลายน้ำยาชุบทองที่มีสีต่าง ๆ ที่เตรียมได้ ทดลองชุบบนเครื่องประดับ เปรียบเทียบกับสารละลายน้ำยาชุบทองที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ

บรรณานุกรม

- เทพนารินทร์ ประพันธ์พัฒน์ และวิหาร ตีปัญญา. 2539. วัสดุอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : สกายบุ๊กส์.
- พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. 2531. ชุบทอง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์.
- วัชร นิลสกุล และคณะ. 2535. การวิเคราะห์สารเติมแต่งในกระบวนการชุบโลหะ. โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศุขชาติ ไวว่องกิจการ และสุภารัตน์ จำปา. 2535. การสกัดโลหะทองคำจากด้ายขัดทอง โดยวิธีไซยาไนด์ชัน. โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อนันต์ ทองมอย. 2533. ชุบโครเมียม-ชุบทอง. กรุงเทพฯ : ภาพพิมพ์.
- อนันต์ ทองมอย. 2530 ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : ภาพพิมพ์.
- F.A. Lowenheim. 1978. **Electroplating**. New York : McGraw - Hill.
- F. A Lowenheim. 1963. **Modern Electroplating**. 2nd ed., New York : John Wiley & Son Inc.
- F. H. Reid and W. Goldie. 1974. **Gold plating Technology**. Scotland. : Electrochemical Publication Ltd..
- W.S. Rapson and T. Groenewald. 1978. **Gold Usage**. London : Academic Press.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การป้องกันอุบัติเหตุภายในห้องทดลอง

การทำงานภายในห้องปฏิบัติการ และทดลองซุบ โลหะนี้ ส่วนใหญ่เป็นงานวิเคราะห์หาคุณสมบัติของน้ำยาเคมีที่ใช้สำหรับซุบ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับกรดและด่าง เช่น โซยาไนต์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดซัลฟูริก ซึ่งจะเป็นอันตรายมากถ้ากระเด็นถูกร่างกาย ดังนั้นในทางปฏิบัติผู้ปฏิบัติการทดลอง ควรจะมีผ้ากันกรดหรือด่างกระเด็นถูกผิวหนัง สวมถุงมือและแว่นตา

ข้อควรปฏิบัติในการปฏิบัติงานทั่ว ๆ ไปคือ

1. เมื่อจะทำให้กรดเจือจางลงจะต้องเทกรดลงในน้ำไม่ใช่เทน้ำลงในกรด เทลงอย่างช้า ๆ และกวนสม่ำเสมอ
2. สารเคมีพวกโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ เวลาผสมน้ำยาควรเทสารลงในน้ำเย็นและทำการกวนตลอดเวลา
3. โซยาไนต์ เป็นสารเคมีที่เป็นพิษเป็นอันตรายถึงตาย ดังนั้น ถึงโซยาไนต์ควรปิดฝาให้มิดชิด ไม่ควรให้โซยาไนต์หกหล่นลงบนพื้น จะต้องไม่ใช้มือเปล่าจับต้อง โซยาไนต์เด็ดขาด ควรใช้ถุงมือยางหรือคีมเหล็กแทน และล้างมือทำความสะอาดทุกครั้งเมื่อจะทำงาน

การปฐมพยาบาลเบื้องต้น

แม้ว่าจะมีการป้องกันและระมัดระวังเป็นอย่างดีแล้วก็ตาม อุบัติเหตุก็ยังสามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่คาดฝัน คนงานอาจพลั้งเผลอไปชั่วขณะ หรือโดยประมาท ดังนั้นจึงควรที่จะรู้อาการของผู้ประสบอุบัติเหตุ และวิธีปฐมพยาบาลเบื้องต้น ซึ่งถ้าผู้ประสบอุบัติเหตุมีอาการหนักจะต้องนำส่งโรงพยาบาลทันที

1. แผลไหม้เกิดจากสารเคมี ไม่ว่าจะเป็นกรดหรือด่าง ควรล้างด้วยน้ำสะอาดจนสะอาดเสียก่อนแล้วจึงล้างด้วยน้ำยา “ บัฟเฟอร์ฟอสเฟต ” ซึ่งมีส่วนผสมดังนี้ โมโนเบสิก โปตัสเซียมฟอสเฟต (Monobasic Potassium Phosphate) 70 กรัม ไดเบสิก โซเดียม ฟอสเฟต (Diabasic Sodium Phosphate) 180 กรัม น้ำกลั่น (Distilled Water) 880 ซี.ซี เวลาจะใช้น้ำยาบัฟเฟอร์ฟอสเฟต นี้ให้ผสมกับน้ำสะอาดอีกเท่าตัว โดยอัตราส่วน 1:1 หลังจากนั้นปล่อยให้แห้งพันแผลด้วยผ้าพันแผลที่แห้งและสะอาดแล้วนำส่งโรงพยาบาล ห้ามใช้ขี้ผึ้งหรือน้ำมันต่าง ๆ ทาแผลโดยเด็ดขาด

ถ้าไม่มีน้ำยาบัฟเฟอร์ฟอสเฟตนี้ให้ใช้ล้างด้วยสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตชนิดเจือจาง 5 % เมื่อถูกกรดและล้างด้วยสารละลายกรดอะซิติกชนิดเจือจาง 5 % เมื่อถูกด่างแล้วจึงปฏิบัติเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เดียวกัน
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กรดหรือด่างถูกนัยน์ตา ใช้น้ำเกลือธรรมดา ซึ่งมีส่วนผสมเกลือ 58 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร ล้างตาหลาย ๆ ครั้ง วิธีปฏิบัติให้ผู้ป่วยนอนหงาย แล้วเปิดตาผู้ป่วยชำระล้างด้วยน้ำเกลืออย่างน้อย ประมาณ 10 นาที หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำยาล้างตาอีกครั้งหนึ่ง ปิดตาด้วยผ้าปิดตาและนำส่งโรงพยาบาล

3. ถูกพิษไซยาไนด์ ไซยาไนด์สามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายวิธี เช่น

- หายใจเอาก๊าซของกรดไฮโดรไซยานิก ซึ่งเกิดจากกรดผสมกับไซยาไนด์
- กระเด็นเข้าไปในปากในลักษณะเป็นก้อนหรือน้ำยาชุป
- ซึมเข้าทางผิวหนังหรือแผลตามร่างกาย

อาการแพ้พิษไซยาไนด์จะสังเกตได้คือ

- ผู้ป่วยรู้สึกแสบคันในลำคอ
- ผู้ป่วยรู้สึกหัวใจเต้นถี่เร็ว
- ผู้ป่วยจะรู้สึกหายใจไม่สะดวก ถี่และหอบจนถึงหมดสติ

วิธีปฐมพยาบาล

- ขั้นแรกถ้าผู้ป่วยยังมีสติอยู่ให้นำผู้ป่วยไปนอนในที่กลางแจ้ง ใช้เอมิลไนไตรต์ (Amyl Nitrite) เทลงในผ้าเช็ดหน้าและให้ดม เปลี่ยนใหม่บ่อย ๆ ทุก 3 นาที
 - ใช้ผ้าเช็ดบริเวณที่ถูกไซยาไนด์ให้หมดแล้วล้างด้วยน้ำและล้างด้วยน้ำยาบัพเฟอร์ ฟอสเฟต หรือโซเดียมไบคาร์บอเนตหลาย ๆ ครั้ง
 - ห่มผ้าให้ผู้ป่วยเพื่อให้ร่างกายอบอุ่น
 - ช่วยการหายใจโดยการเป่าลมเข้าปาก หรือให้ออกซิเจน
- ข้อควรระวัง เอมิลไนไตรต์เป็นสารไวไฟไม่ควรใช้ใกล้ไฟหรือบุหรี่

ข้อแนะนำสำหรับแพทย์

ในกรณีที่ผู้ป่วยหมดสติ ควรฉีดยาให้ผู้ป่วย ดังนี้

1. ละลายโซเดียมไนไตรต์ 0.3 กรัม ในน้ำบริสุทธิ์ 10 - 15 ซี.ซี. ฉีดให้ในอัตรา 2.5 - 5 ซี.ซี. ต่อนาที
2. ละลายโซเดียมไตรโอซัลเฟต 25 กรัม ในน้ำบริสุทธิ์ 50 ซี.ซี. ฉีดตามเข้าไปในอัตราเดียวกัน

ถ้าผู้ป่วยกินไซยาไนด์เข้าไป วิธีปฐมพยาบาลต้องพยายามให้ผู้ป่วยอาเจียนออกมา โดยใช้เอมิลไนไตรต์ หรือจะใช้สารละลายผสมระหว่าง “ยาแก้พิษไซยาไนด์ เอ” ให้ผู้ป่วยดื่มถ้ายังรู้สึกตัวอยู่ หรือจัดให้ผู้ป่วยนอนราบอุดจมูกทฤษฎี ๆ ลงในปากพยายามทำให้ผู้ป่วยอาเจียน



คำสั่งคณะกรรมการอุดมศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ที่ ๒๕๕ / 2541

เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการควบคุมและคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อ
และเค้าโครงวิทยานิพนธ์ของ นางมาลินี จินนานนท์

เพื่อให้การเรียบเรียงวิทยานิพนธ์ของ นางมาลินี จินนานนท์ เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีประสิทธิภาพ จึงแต่งตั้งคณะกรรมการเพื่อควบคุมและพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ดังต่อไปนี้

- | | | |
|--|-------------------|--------------------------|
| 1. คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ | | |
| ผศ.ดร.ศักดิ์ | ไตรศักดิ์ | ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ |
| ผศ.ดร.พรรณี | สิริกัจฉนะ | ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม |
| ดร.อรวรรณ | ชัยลภากุล | ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม |
| 2. คณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ | | |
| รศ.ดร.รวิวรรณ | ชินะตระกูล | ประธานกรรมการ |
| ผศ.ดร.ศักดิ์ | ไตรศักดิ์ | กรรมการประจำสาขาวิชา |
| ผศ.ดร.พรรณี | สิริกัจฉนะ | กรรมการประจำสาขาวิชา |
| ดร.อรวรรณ | ชัยลภากุล | กรรมการ |
| ผศ.ดร.ธีระพล | เทพัสติน ณ อยุทยา | กรรมการ |

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๒๗ ตุลาคม พ.ศ. 2541

Wan r

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(รศ.ดร.ปรียาพร วงศ์อนุตรโรจน์)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
คนบตี



ประกาศบัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง ผลการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย โดยความเห็นชอบของคณะกรรมการพิจารณาหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ขอประกาศรายชื่อหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการศึกษาวิทยาศาสตร์ ที่ได้รับอนุมัติให้ดำเนินการ ดังนี้

ได้รับอนุมัติเมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน 2541

1. นางมาลินี ถิ่นนานนท์ ทำวิทยานิพนธ์เรื่อง “การเตรียมสารละลายสำหรับชุบทองสีต่างๆ” โดยมี ผศ.ดร.ศักดิ์ ไตรศักดิ์ เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พรรณี ลีกิจวัฒน์ และ ดร.อรรรรณ ชัยลภากุล เป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม

ทั้งนี้ให้นักศึกษาค้นคว้าและเขียนวิทยานิพนธ์ โดยปรึกษากับอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ให้เสร็จสิ้นภายในเวลาที่กำหนดในระเบียบของบัณฑิตวิทยาลัย

ประกาศ ณ วันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ.2541

(รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์)

กณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นางมาลินี ฉินนานนท์ เกิดเมื่อวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2511 ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สำเร็จการศึกษาปริญญาการศึกษามัธยมศึกษา จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ วิทยาเขตมหาสารคาม (มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ในปัจจุบัน) เมื่อปี พ.ศ. 2533 เข้าทำงานเป็นนักเคมี ที่บริษัท พี อี เอ็น ซี (ประเทศไทย) จำกัด จนถึงพ.ศ. 2535 เริ่มเข้ารับราชการในตำแหน่งอาจารย์ ที่คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล เมื่อวันที่ 23 พฤศจิกายน พ.ศ. 2535 จนถึงพ.ศ. 2541 ได้ไปปฏิบัติงานที่คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ต. คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี จนถึงปัจจุบัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้