

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมหุบกะปิ๋วโลหะประเภทเครื่องประดับ



นายปรานิน อารยตานนท์
นายปริญญา สมร่าง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

1/4
2-4/1
1-2'

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 33936
วัน, เดือน, ปี 20 ก.ย. 2542

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของสถาบันฯ หากมีการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applying of Cleaner Technology for Adornment Electroplating Factory

Mr. Patanin Arayatanon

Mr. Parinya Somrang

A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of Bachelor of Chemical Engineering

Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมชุบเคลือบผิวโลหะ
ประเภทเครื่องประดับ

โดย นายปธานิน อารยตานนท์
นายปริญญา สมร่าง

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ

1. ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

กอบบุญ หล่อทองคำ กรรมการ
(ผศ.ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ)

อรันฤดี เบญจางคประเสริฐ กรรมการ
(อ.อรันฤดี เบญจางคประเสริฐ)

อ.สันติ วัฒนานุกรณ์ กรรมการ
(อ.สันติ วัฒนานุกรณ์)

เรื่อง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดในอุตสาหกรรมชุบเคลือบผิวโลหะประเภท
เครื่องประดับ

โดย นายธานี อารยตานนท์
นายปริญญา สมร่าง

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ

1. ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

เมื่อนำแนวคิดเทคโนโลยีสะอาดไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะประเภทชิ้นงานเครื่องประดับแห่งหนึ่ง พบว่ามีการใช้น้ำล้างในกระบวนการชุบหลักมากเกินไปจนสิ้นเปลืองปริมาณน้ำที่ใช้ประมาณ 50 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และมีค่าบำบัดน้ำเสียสูงมาก นอกจากนี้มีชิ้นงานจำนวนมากที่ต้องนำกลับมาผ่านกระบวนการชุบใหม่ เนื่องจากความหนาไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งเป็นการเสียทั้งเงินและเวลาในการแก้ไขชิ้นงาน อีกทั้งยังมีการสูญเสียลวดทองแดงที่ใช้ในการชุบชิ้นงานประมาณ 872 กิโลกรัมต่อปี และสูญเสียโลหะทองแดง โลหะนิกเกิลที่ติดไปกับเส้นลวดทองแดงคิดเป็นเงินรวม 203,000 บาทต่อปี

หลังจากทำการปรับปรุงถึงล้างชิ้นงาน และควบคุมปริมาณน้ำให้เหมาะสม ทำให้สามารถลดการใช้น้ำล้างลงได้ 65 % คิดเป็นเงินค่าน้ำประมาณ 103,000 บาทต่อปี และค่าบำบัดน้ำเสีย 350,000 บาทต่อเดือน โดยมีค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง 4,000 บาท สำหรับการหาลักษณะของถังชุบโลหะทองแดงแบบกรดที่เหมาะสมเพื่อลดปริมาณงานชุบที่มีความหนาไม่ได้มาตรฐาน การดำเนินการใช้ค่าใช้จ่ายน้อยมาก พบว่าตัวแปรที่เหมาะสม คือ พื้นที่ขั้วแอโนดต่อแคโทดต้องไม่น้อยกว่า 2:1 ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและแคโทดควรเป็น 15 เซนติเมตร อุณหภูมิของน้ำยาชุบโลหะที่ใช้ควรอยู่ในช่วง 24–26°C ลักษณะการเป่าลมใช้ลม 3–4 ลูกบาศก์เมตรต่อความยาวของท่อลม 1 เมตร ใช้รูลมขนาด 2 มิลลิเมตร เจาะรูทุกความยาว 5 เซนติเมตร และให้แนวรูลมทำมุมกับกันถึง 30° สำหรับการลดปริมาณการใช้ลวดทองแดง ไม่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายใดๆในการดำเนินการ เพียงทำการปรับปรุงลักษณะการพันลวดทองแดงแบบต่างๆให้เหมาะสม ซึ่งจะลดปริมาณลวดทองแดงได้ 236 กิโลกรัมต่อปี ลดการสูญเสียโลหะทองแดงได้ 106 กิโลกรัมต่อปี และลดการสูญเสียโลหะนิกเกิลได้ 19 กิโลกรัมต่อปี ซึ่งคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ลดได้ประมาณ 58,800 บาทต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Applying of Cleaner Technology for Adornment Electroplating Industry

By Mr. Patanin Arayatanon

Mr. Parinya Somrang

Advisor Asst. Prof. Dr. Anchaleeporn Waritswat Lothongkum

Co-advisor Asst. Prof. Dr.-Ing. Gobboon Lothongkum¹

1. Department of Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

After applying of cleaner technology to an adornment electroplating industry, it was found that, the rinsing water consumption in the main part of the process was about 50 m³/day and the wastewater treatment cost was very high. There were a lot of off-spec thickness work-pieces which need to be replated. It cost a lot for repairing and took a lot of time. In addition, the loss of copper wires was 872 kg/year. Total cost of losses of copper wires, plated copper and nickel was 203,000 baht/year.

The improvement of rinsing tanks and a good control of rinsing water reduced the water consumption of 65% about 103,000 baht/year and the wastewater treatment cost 350,000 baht/month. The cost of the modification was 4,000 baht. The optimum parameters of the plating tanks to reduce the off-spec thickness work-pieces were; the area ratio of the anode and cathode must not less than 2:1; the distance between the anode and cathode was 15 cm; the temperature of plating solution ranged 24 – 26 °C; air for proper plating solution circulation was 3–4 m³/meter of pipe with holes diameters of 2 mm. The gap between each hole was 5 cm and the angle of the hole to the bottom of the tank was 30°. No-cost modification, i.e., the modifications of the wiring methods decreased the losses copper wires 236 kg/year, plated copper 106 kg/year and plated nickel 19 kg/year which was about 58,800 baht/year.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมเคมีนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่านดังนี้

1. คุณวัฒน์ มรดัณฑ์ ผู้จัดการฝ่ายโรงงาน
2. คุณกาญจนา ปวีตรปภ Technical Adviser
3. คุณปิยะวัฒน์ วงศ์พันธ์ Chemist
4. คุณศรีแพ จันทะวงษา เจ้าหน้าที่ห้องทดลอง

รวมทั้งพี่ ๆ ฝ่ายบุคคล ฝ่ายบัญชี แผนกซูป และพี่ ๆ ที่โรงงานทุกคนที่ให้ข้อมูล คำปรึกษา คำแนะนำ และความร่วมมือในการดำเนินการทดลองต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ริเริ่มและสนับสนุนกิจกรรมทางด้านเทคโนโลยีสะอาดในประเทศไทย

ผศ.ดร.อัญชสิทธิ์ วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ และผศ.ดร.กอบบุญ หล่อทองคำ ที่ให้คำปรึกษาในการทำโครงการวิศวกรรมเคมี การตรวจแก้ไขรายงาน และให้คำแนะนำในการนำเสนอรายงาน

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ โดยเฉพาะทางบริษัท ๆ ที่ให้โอกาสในการเข้าไปดำเนินการฝึกงานภาคฤดูร้อน และทำโครงการวิศวกรรมเคมีนี้

นายปรานิน อารยตานนท์

นายปริญญา สมร่าง

31 มีนาคม 2542

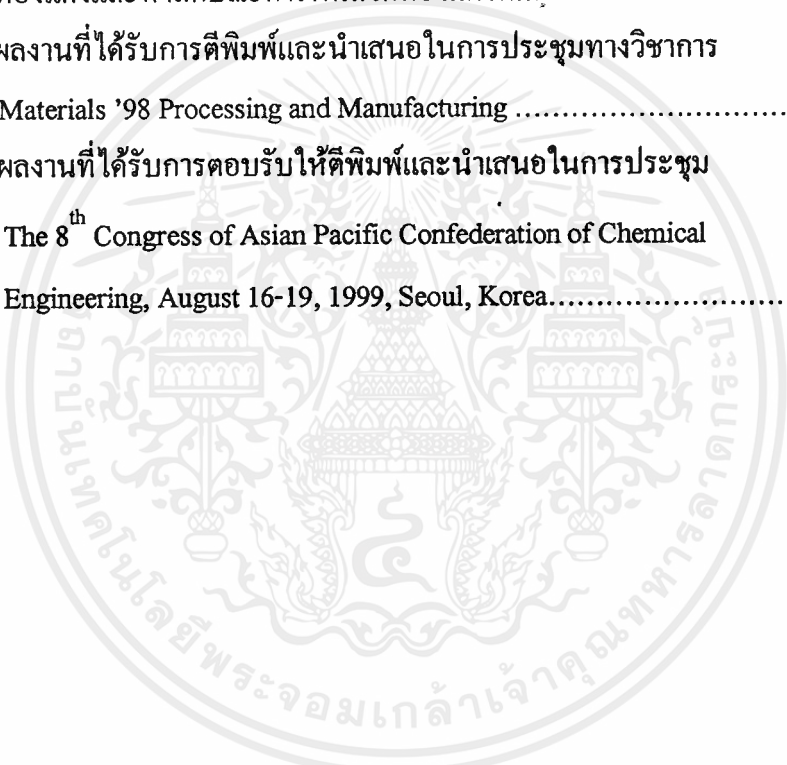
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ณ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของ โครงการงานพิเศษ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการงานพิเศษ.....	1
1.3 ขอบเขตของ โครงการงานพิเศษ.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานของ โครงการงานพิเศษ.....	2
บทที่ 2 หลักการของเทคโนโลยีสะอาด.....	3
2.1 ความเป็นมาและแนวคิดของเทคโนโลยีสะอาด.....	3
2.2 ขั้นตอนการประยุกต์เทคโนโลยีสะอาด.....	4
บทที่ 3 ประวัติและกระบวนการผลิตของ โรงงาน.....	6
3.1 ประวัติของ โรงงาน.....	6
3.2 ความเป็นมาด้านเทคโนโลยีสะอาด.....	6
3.3 กระบวนการหุบลัทธิของ โรงงาน.....	7
3.4 แผนผังกระบวนการหุบลัทธิของ โรงงาน.....	10
3.5 การประเมินเบื้องต้น.....	11
บทที่ 4 ทฤษฎีการหุบลัทธิโดยใช้กระแสไฟฟ้า.....	12
4.1 การหุบลัทธิโดยใช้กระแสไฟฟ้า.....	12
4.2 กฎของฟาราเดย์.....	13
4.3 ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าและขั้วไฟฟ้า.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.4 ลักษณะของสารละลายที่ใช้ในการชุบ โลหะ โดยใช้กระแสไฟฟ้า.....	15
4.5 ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการชุบ โลหะ โดยใช้กระแสไฟฟ้า.....	17
4.6 โครงสร้างของการชุบ โลหะ โดยใช้กระแสไฟฟ้า.....	19
บทที่ 5 การปรับปรุงถังล้างชิ้นงานในกระบวนการชุบ โลหะ เพื่อการใช้น้ำอย่างมี ประสิทธิภาพและลดปริมาณการใช้น้ำ.....	21
5.1 การดำเนินงาน.....	22
5.2 ผลการปรับปรุงตามหลักการทางเทคโนโลยีสะอาด.....	30
5.3 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและระยะเวลาคืนทุน.....	31
บทที่ 6 การศึกษาหาลักษณะของถังชุบ โลหะทองแดงแบบกรดที่เหมาะสม.....	32
6.1 การดำเนินงาน.....	32
6.2 ผลการดำเนินงาน.....	39
บทที่ 7 การลดปริมาณการใช้ลวดทองแดง และหาลักษณะการพันลวดทองแดง ที่เหมาะสม.....	41
7.1 การเก็บข้อมูลลักษณะการพันลวดทองแดงและปริมาณการใช้ลวด ทองแดง.....	43
7.2 การออกแบบและการทดลองลักษณะการพันลวดทองแดง.....	44
7.3 ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการปรับปรุง.....	54
7.4 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินงานปรับปรุง.....	56
บทที่ 8 สรุปผลการดำเนินงานตามหลักการของเทคโนโลยีสะอาด.....	57
8.1 การปรับปรุงถังล้างชิ้นงานในกระบวนการชุบ โลหะ เพื่อการใช้น้ำอย่าง มีประสิทธิภาพและลดปริมาณการใช้น้ำ.....	57
8.2 การศึกษาหาลักษณะของถังชุบ โลหะทองแดงแบบกรดที่เหมาะสม.....	57
8.3 การลดปริมาณการใช้ลวดทองแดงและหาลักษณะการพันลวดทองแดง ที่เหมาะสม.....	58
รายการอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก.....	60
ภาคผนวก ก. การทดสอบน้ำยาชุบโดยวิธีฮัลเซลล์ (Hull Cell).....	61

ภาคผนวก ข.	ข้อมูลดิบและวิธีการทดลองสำหรับการปรับปรุงถังล้างชิ้นงานในกระบวนการชุบโลหะ เพื่อการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพและลดปริมาณการใช้น้ำ.....	67
ภาคผนวก ค.	ข้อมูลดิบและวิธีการทดลองสำหรับการศึกษาหาลักษณะของถังชุบโลหะทองแดงแบบกรดที่เหมาะสม.....	110
ภาคผนวก ง.	ข้อมูลดิบและวิธีการคำนวณสำหรับการลดปริมาณการใช้ลวดทองแดงและหาลักษณะการพันลวดทองแดงที่เหมาะสม.....	142
ภาคผนวก จ.	ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุมทางวิชาการ Materials '98 Processing and Manufacturing	166
ภาคผนวก ฉ.	ผลงานที่ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุม The 8 th Congress of Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering, August 16-19, 1999, Seoul, Korea.....	178



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.1 ลักษณะดังล้างชิ้นงานก่อนการปรับปรุง ทางเข้า-ออกของน้ำ และ ความเหมาะสม.....	22
ตารางที่ 5.2 ค่าความนำไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของน้ำในถังล้างชิ้นงานก่อนการปรับปรุง, ไมโครซีเมน.....	23
ตารางที่ 5.3 ความถี่ในการจุ่มชิ้นงาน (จำนวนที่แขวนชิ้นงานต่อชั่วโมง) และ อัตราการไหลของน้ำ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที).....	24
ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะดังล้างชิ้นงาน และการปรับปรุง.....	26
ตารางที่ 5.5 ผลการคำนวณอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับ อัตราการไหลเดิม.....	27
ตารางที่ 5.6 จำนวนรูที่เจาะและอัตราการไหลของน้ำหลังการต่อท่อเจาะรู.....	29
ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองเรื่องพื้นที่ของขั้วแอโนดต่อขั้วแคโทดที่เหมาะสม ในการชุบโลหะ.....	34
ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองเรื่องระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทด.....	35
ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองเรื่องอุณหภูมิที่ใช้ในการชุบโลหะทองแดงแบบกรด.....	36
ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองฮัลเซลล์.....	37
ตารางที่ 6.5 ผลการทดลองลักษณะการเป่าลมในการชุบโลหะทองแดงแบบกรด.....	38
ตารางที่ 7.1 ข้อมูลเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน และแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง สำหรับชิ้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก (ภาคผนวก ง.4).....	45
ตารางที่ 7.2 ข้อมูลเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน และแบบที่ 2 ที่ได้จากการทดลอง สำหรับชิ้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก (ภาคผนวก ง.4).....	46
ตารางที่ 7.3 ข้อมูลเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน และแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ (ภาคผนวก ง.5).....	48

	หน้า
ตารางที่ 7.4 ข้อมูลเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน และแบบที่ 2 ที่ได้จากการทดลอง สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ (ภาคผนวก ง.5).....	49
ตารางที่ 7.5 ข้อมูลเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน และแบบที่ 3 ที่ได้จากการทดลอง สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ (ภาคผนวก ง.5).....	50
ตารางที่ 7.6 ข้อมูลเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน และแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยคอ (ภาคผนวก ง.6).....	52
ตารางที่ 7.7 ข้อมูลเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน และแบบที่ 2 ที่ได้จากการทดลอง สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยคอ (ภาคผนวก ง.6).....	53
ตารางที่ 7.8 สรุปปริมาณและค่าใช้จ่ายที่ลดลง เมื่อทำการปรับปรุงลักษณะการพัน ลวดทองแดง.....	55
ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองหาขนาดรูที่ใช้เจาะท่อที่เหมาะสมสำหรับ ลดปริมาณการใช้น้ำ ครั้งที่ 1.....	75
ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองหาขนาดรูที่ใช้เจาะท่อที่เหมาะสมสำหรับ ลดปริมาณการใช้น้ำ ครั้งที่ 2.....	75
ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองหาขนาดรูที่ใช้เจาะท่อที่เหมาะสมสำหรับ ลดปริมาณการใช้น้ำ ครั้งที่ 3.....	76
ตารางที่ ข.4 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองหาขนาดรูที่ใช้เจาะท่อที่เหมาะสม สำหรับลดปริมาณการใช้น้ำ.....	76
ตารางที่ ข.5 ค่าระหว่างจำนวนรูของท่อกับปริมาณน้ำ ทดลองครั้งที่ 1.....	78
ตารางที่ ข.6 ค่าระหว่างจำนวนรูของท่อกับปริมาณน้ำ ทดลองครั้งที่ 2.....	78
ตารางที่ ข.7 ค่าระหว่างจำนวนรูของท่อกับปริมาณน้ำ ทดลองครั้งที่ 3.....	79
ตารางที่ ข.8 ค่าระหว่างจำนวนรูของท่อกับปริมาณน้ำ ทดลองครั้งที่ 4.....	79
ตารางที่ ข.9 ค่าระหว่างจำนวนรูของท่อกับปริมาณน้ำ ทดลองครั้งที่ 5.....	80
ตารางที่ ข.10 ค่าเฉลี่ยระหว่างจำนวนรูของท่อกับปริมาณน้ำ.....	80

หน้า

ตารางที่ ข.11	ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 1.....	84
ตารางที่ ข.12	ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 2.....	87
ตารางที่ ข.13	ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 3.....	90
ตารางที่ ข.14	ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 4.....	93
ตารางที่ ข.15	ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 5.....	96
ตารางที่ ข.16	ปริมาณน้ำที่ใช้เฉลี่ยในช่วงเช้าก่อนและหลังการปรับปรุง.....	100
ตารางที่ ข.17	ปริมาณน้ำที่ใช้เฉลี่ยในช่วงบ่ายก่อนและหลังการปรับปรุง.....	101
ตารางที่ ข.18	ปริมาณน้ำที่ใช้เฉลี่ยทั้งวันก่อนและหลังการปรับปรุง.....	102
ตารางที่ ข.19	ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ วัดครั้งที่ 1.....	104
ตารางที่ ข.20	ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ วัดครั้งที่ 2.....	105
ตารางที่ ข.21	ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ วัดครั้งที่ 3.....	106
ตารางที่ ข.22	ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ วัดครั้งที่ 4.....	107
ตารางที่ ข.23	ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ วัดครั้งที่ 5.....	108
ตารางที่ ข.24	ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ วัดครั้งที่ 6.....	109
ตารางที่ ค.1	อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 1:1 การทดลองครั้งที่ 1.....	113
ตารางที่ ค.2	อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 1:1 การทดลองครั้งที่ 2.....	114
ตารางที่ ค.3	อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 1.5:1 การทดลองครั้งที่ 1... ..	114
ตารางที่ ค.4	อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 1.5:1 การทดลองครั้งที่ 2... ..	115
ตารางที่ ค.5	อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 2:1 การทดลองครั้งที่ 1.....	115
ตารางที่ ค.6	อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 2:1 การทดลองครั้งที่ 2.....	116
ตารางที่ ค.7	อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 4:1 การทดลองครั้งที่ 1.....	116
ตารางที่ ค.8	อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 4:1 การทดลองครั้งที่ 2.....	117
ตารางที่ ค.9	อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 8:1	117
ตารางที่ ค.10	อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 12:1	118
ตารางที่ ค.11	อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 16:1.. ..	118
ตารางที่ ค.12	อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 20:1.....	119
ตารางที่ ค.13	อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 24:1.....	119
ตารางที่ ค.14	ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด 25 ซม. การทดลองครั้งที่ 1... ..	120
ตารางที่ ค.15	ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด 25 ซม. การทดลองครั้งที่ 2... ..	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ตารางที่ ค.16	ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนคกับขั้วแค โทค 20 ซม. การทดลองครั้งที่ 1	121
ตารางที่ ค.17	ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนคกับขั้วแค โทค 20 ซม. การทดลองครั้งที่ 2	122
ตารางที่ ค.18	ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนคกับขั้วแค โทค 15 ซม. การทดลองครั้งที่ 1	122
ตารางที่ ค.19	ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนคกับขั้วแค โทค 15 ซม. การทดลองครั้งที่ 2	123
ตารางที่ ค.20	ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนคกับขั้วแค โทค 10 ซม. การทดลองครั้งที่ 1	123
ตารางที่ ค.21	ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนคกับขั้วแค โทค 10 ซม. การทดลองครั้งที่ 2	124
ตารางที่ ค.22	อุณหภูมิในการชุบ 15°ซ การทดลองครั้งที่ 1	125
ตารางที่ ค.23	อุณหภูมิในการชุบ 15°ซ การทดลองครั้งที่ 2	126
ตารางที่ ค.24	อุณหภูมิในการชุบ 20°ซ การทดลองครั้งที่ 1	126
ตารางที่ ค.25	อุณหภูมิในการชุบ 20°ซ การทดลองครั้งที่ 2	127
ตารางที่ ค.26	อุณหภูมิในการชุบ 22°ซ การทดลองครั้งที่ 1	127
ตารางที่ ค.27	อุณหภูมิในการชุบ 22°ซ การทดลองครั้งที่ 2	128
ตารางที่ ค.28	อุณหภูมิในการชุบ 24°ซ การทดลองครั้งที่ 1	128
ตารางที่ ค.29	อุณหภูมิในการชุบ 24°ซ การทดลองครั้งที่ 2	129
ตารางที่ ค.30	อุณหภูมิในการชุบ 26°ซ การทดลองครั้งที่ 1	129
ตารางที่ ค.31	อุณหภูมิในการชุบ 26°ซ การทดลองครั้งที่ 2	130
ตารางที่ ค.32	อุณหภูมิในการชุบ 28°ซ การทดลองครั้งที่ 1	130
ตารางที่ ค.33	อุณหภูมิในการชุบ 28°ซ การทดลองครั้งที่ 2	131
ตารางที่ ค.34	อุณหภูมิในการชุบ 30°ซ การทดลองครั้งที่ 1	131
ตารางที่ ค.35	อุณหภูมิในการชุบ 30°ซ การทดลองครั้งที่ 2	132
ตารางที่ ค.36	อุณหภูมิในการชุบ 35°ซ การทดลองครั้งที่ 1	132
ตารางที่ ค.37	อุณหภูมิในการชุบ 35°ซ การทดลองครั้งที่ 2	133
ตารางที่ ค.38	มุมระหว่างรูที่อลมกับพื้นถึง 90° การทดลองครั้งที่ 1	134
ตารางที่ ค.39	มุมระหว่างรูที่อลมกับพื้นถึง 90° การทดลองครั้งที่ 2	135
ตารางที่ ค.40	มุมระหว่างรูที่อลมกับพื้นถึง 60° การทดลองครั้งที่ 1	135
ตารางที่ ค.41	มุมระหว่างรูที่อลมกับพื้นถึง 60° การทดลองครั้งที่ 2	136
ตารางที่ ค.42	มุมระหว่างรูที่อลมกับพื้นถึง 45° การทดลองครั้งที่ 1	136
ตารางที่ ค.43	มุมระหว่างรูที่อลมกับพื้นถึง 45° การทดลองครั้งที่ 2	137
ตารางที่ ค.44	มุมระหว่างรูที่อลมกับพื้นถึง 30° การทดลองครั้งที่ 1	137

	หน้า
ตารางที่ ค.45 มุมระหว่างรูทอกลมกับพื้นถึง 30° การทดลองครั้งที่ 2.....	138
ตารางที่ ค.46 ผลการทดลองลักษณะของลมที่ออกมาจากรูที่มุมแตกต่างกัน.....	141
ตารางที่ ง.1 ข้อมูลดิบของพื้นที่ชิ้นงาน ความยาวลวดทองแดงที่ใช้ ความยาวลวด ที่ติดไปกับที่แขวนชิ้นงาน และเศษที่เหลือจากการพันชิ้นงานต่อ ที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน.....	143
ตารางที่ ง.2 ข้อมูลดิบจากการวัดความหนาของโลหะ निकเกิดด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์.....	144
ตารางที่ ง.3 ข้อมูลดิบความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบปัจจุบัน ที่ได้จากการทดลองสำหรับชิ้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก.....	147
ตารางที่ ง.4 ข้อมูลดิบความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลองสำหรับชิ้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก.....	148
ตารางที่ ง.5 ข้อมูลดิบความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบที่ 2 ที่ได้จากการทดลองสำหรับชิ้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก.....	149
ตารางที่ ง.6 ข้อมูลดิบความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบปัจจุบัน ที่ได้จากการทดลองสำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ.....	150
ตารางที่ ง.7 ข้อมูลดิบความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลองสำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ.....	151
ตารางที่ ง.8 ข้อมูลดิบความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบที่ 2 ที่ได้จากการทดลองสำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ.....	152
ตารางที่ ง.9 ข้อมูลดิบความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบที่ 3 ที่ได้จากการทดลองสำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ.....	153
ตารางที่ ง.10 ข้อมูลดิบความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบปัจจุบัน ที่ได้จากการทดลองสำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยคอ.....	154
ตารางที่ ง.11 ข้อมูลดิบความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลองสำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยคอ.....	155
ตารางที่ ง.12 ข้อมูลดิบความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบที่ 2 ที่ได้จากการทดลองสำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยคอ.....	156

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 3.1 แผนภาพกระบวนการชုบหลักของโรงงาน.....	7
รูปที่ 4.1 ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาในสารละลายของคอปเปอร์ซัลเฟต.....	12
รูปที่ 4.2 การกระจายของกระแสไฟฟ้า.....	18
รูปที่ 5.1 ถังล้างชิ้นงานที่ใช้ภายในโรงงาน.....	21
รูปที่ 5.2 ลักษณะการต่อท่อเจาะรูภายในถังล้างชิ้นงาน.....	28
รูปที่ 6.1 ลักษณะถังชุบ โลหะ.....	33
รูปที่ 6.2 ลักษณะท่อลมที่ใช้ในถังชุบ โลหะทองแดงแบบกรด.....	38
รูปที่ 6.3 ลักษณะท่อลมที่แนวของรูทำมุม 30 องศา กับพื้นถัง.....	39
รูปที่ 7.1 การพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน.....	41
รูปที่ 7.2 วิธีการพันลวดทองแดงแบบใหม่.....	42
รูปที่ 7.3 เปรียบเทียบความหนาของชิ้นงานการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน และการพันลวดทองแดงแบบใหม่.....	42
รูปที่ 7.4 ลักษณะการพันลวดทองแดงแต่ละประเภทของชิ้นงาน (ก) ชิ้นงานประเภท ที่มีขนาดเล็ก (ข) ชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ (ค) ชิ้นงานประเภทสร้อยคอ...43	
รูปที่ 7.5 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 1 สำหรับชิ้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก...45	
รูปที่ 7.6 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 2 สำหรับชิ้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก...46	
รูปที่ 7.7 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 1 และแบบที่ 2 รวมกัน สำหรับชิ้นงาน ประเภทที่มีขนาดเล็ก.....	47
รูปที่ 7.8 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 1 สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ...48	
รูปที่ 7.9 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 2 สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ...49	
รูปที่ 7.10 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 3 สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ...50	
รูปที่ 7.11 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 1 สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยคอ.....52	
รูปที่ 7.12 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 2 สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยคอ.....53	
รูปที่ ก.1 กล่องทดสอบน้ำยาชุบด้วยวิธีอัลเซลล์.....	61
รูปที่ ก.2 ลักษณะของขั้วแคโทดจากการทดสอบน้ำยาชุบ โลหะด้วยวิธีอัลเซลล์.....	63
รูปที่ ก.3 การกระจายของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 1, 2, 3 และ 5 แอมแปร์.....	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ ข.1 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 1.....	67
รูปที่ ข.2 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 2.....	67
รูปที่ ข.3 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 3.....	68
รูปที่ ข.4 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 4.....	68
รูปที่ ข.5 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 5.....	68
รูปที่ ข.6 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 6.....	69
รูปที่ ข.7 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 7.....	69
รูปที่ ข.8 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 8.....	69
รูปที่ ข.9 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 9.....	70
รูปที่ ข.10 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 10.....	70
รูปที่ ข.11 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 11.....	70
รูปที่ ข.12 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 12.....	71
รูปที่ ข.13 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 13.....	71
รูปที่ ข.14 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 15.....	71
รูปที่ ข.15 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 16.....	72
รูปที่ ข.16 รูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 1.....	81
รูปที่ ข.17 รูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 2.....	81
รูปที่ ข.18 รูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 3.....	81
รูปที่ ข.19 รูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 4.....	82
รูปที่ ข.20 รูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 5.....	82
รูปที่ ข.21 ตำแหน่งการบีบตลับน้ำล้าง.....	83
รูปที่ ข.22 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 1 ตำแหน่งที่ 1.....	84
รูปที่ ข.23 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 1 ตำแหน่งที่ 2.....	85
รูปที่ ข.24 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 1 ตำแหน่งที่ 3.....	85
รูปที่ ข.25 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 1 ตำแหน่งที่ 4.....	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ ข.26 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 1 ตำแหน่งที่ 5.....	86
รูปที่ ข.27 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 2 ตำแหน่งที่ 1.....	87
รูปที่ ข.28 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 2 ตำแหน่งที่ 2.....	88
รูปที่ ข.29 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 2 ตำแหน่งที่ 3.....	88
รูปที่ ข.30 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 2 ตำแหน่งที่ 4.....	89
รูปที่ ข.31 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 2 ตำแหน่งที่ 5.....	89
รูปที่ ข.32 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 3 ตำแหน่งที่ 1.....	90
รูปที่ ข.33 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 3 ตำแหน่งที่ 2.....	91
รูปที่ ข.34 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 3 ตำแหน่งที่ 3.....	91
รูปที่ ข.35 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 3 ตำแหน่งที่ 4.....	92
รูปที่ ข.36 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 3 ตำแหน่งที่ 5.....	92
รูปที่ ข.37 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 4 ตำแหน่งที่ 1.....	93
รูปที่ ข.38 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 4 ตำแหน่งที่ 2.....	94
รูปที่ ข.39 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 4 ตำแหน่งที่ 3.....	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ ข.40 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 4 ตำแหน่งที่ 4.....	95
รูปที่ ข.41 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 4 ตำแหน่งที่ 5.....	95
รูปที่ ข.42 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 5 ตำแหน่งที่ 1.....	96
รูปที่ ข.43 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 5 ตำแหน่งที่ 2.....	97
รูปที่ ข.44 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 5 ตำแหน่งที่ 3.....	97
รูปที่ ข.45 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 5 ตำแหน่งที่ 4.....	98
รูปที่ ข.46 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 5 ตำแหน่งที่ 5.....	98
รูปที่ ข.47 ตำแหน่งการบีบคั้นน้ำ.....	103
รูปที่ ค.1 ลักษณะถังชุบโลหะที่ใช้ทำการทดลอง.....	111
รูปที่ ค.2 ลักษณะการแขวนชิ้นงานในการทดลอง.....	112
รูปที่ ค.3 อุปกรณ์การทดลองลักษณะสมที่ออกมาจากท่อ.....	140

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ [1]

หลักการของเทคโนโลยีสะอาดเป็นการพิจารณาการป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นมากกว่าการรับมือกับปัญหาที่เกิดขึ้นแล้ว หลักการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้คั้งในนานาประเทศที่ใช้กันอยู่ ผลที่ได้รับ คือ สามารถลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการผลิตและสามารถลดปัญหามลพิษที่ทำลายสิ่งแวดล้อม หลักการของเทคโนโลยีสะอาดจึงเป็นสิ่งที่ให้ประโยชน์แก่ผู้ใช้อย่างมากมาย แต่หลักการของเทคโนโลยีสะอาดในปัจจุบันยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายมากนักในอุตสาหกรรมของประเทศไทย ซึ่งถ้าอุตสาหกรรมในประเทศไทยได้มีการนำไปใช้กันอย่างกว้างขวาง ก็จะทำให้ทรัพยากรถูกใช้อย่างคุ้มค่า ซึ่งเป็นการนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

โครงการนี้เป็นการนำหลักการของเทคโนโลยีสะอาด มาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมชุบเคลือบผิวโลหะประเภทเครื่องประดับ ซึ่งจะทำให้สามารถลดวัตถุดิบ ค่าใช้จ่ายในการผลิต ลดของเสียที่เกิดขึ้น อีกทั้งยังเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1.2.1 ปรับปรุงตั้งล้างชิ้นงานในกระบวนการชุบโลหะเพื่อการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ และลดปริมาณการใช้น้ำ

1.2.2 ศึกษาหาลักษณะของถังชุบ โลหะทองแดงแบบกรดที่เหมาะสม

1.2.3 ลดปริมาณการใช้สวดทองแดง และหาลักษณะการพันสวดทองแดงที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1.3.1 ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหลักการของเทคโนโลยีสะอาด

1.3.2 ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการชุบโลหะ

1.3.3 ศึกษากระบวนการชุบโลหะภายในโรงงาน และเก็บข้อมูลเพื่อเลือกเป้าหมายและข้อเน้นสำหรับการนำหลักการของเทคโนโลยีสะอาดมาประยุกต์ใช้เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุง

1.3.4 เสนอทางเลือกในการปรับปรุงให้กับโรงงาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจในหลักการของเทคโนโลยีสะอาด
- 1.4.2 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการชุบ โลหะในอุตสาหกรรม
- 1.4.3 สามารถลดต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการผลิต เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูงขึ้น
- 1.4.4 สามารถลดของเสียจากวัตถุดิบที่ใช้ และประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย
- 1.4.5 เพิ่มผลผลิต และเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในการผลิต
- 1.4.6 ประหยัดพลังงาน
- 1.4.7 ลดความเสี่ยง และอุบัติเหตุในโรงงาน
- 1.4.8 ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานของโครงการพิเศษ

- 1.5.1 ศึกษาความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับหลักการของเทคโนโลยีสะอาด และความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการชุบ โลหะ
- 1.5.2 เก็บข้อมูลเพื่อเลือกเป้าหมายและข้อเน้นสำหรับการปรับปรุง
- 1.5.3 สร้างถังจำลองและศึกษาการไหลของน้ำภายในถังล้างชิ้นงาน
- 1.5.4 ปรับปรุงถังล้างชิ้นงาน
- 1.5.5 ควบคุมปริมาณการใช้ น้ำ
- 1.5.6 สร้างถังจำลองถังชุบ โลหะ
- 1.5.7 ศึกษาหาลักษณะของถังชุบ โลหะทองแดงแบบกรดที่เหมาะสม
- 1.5.8 ศึกษาหาลักษณะการพันลวดทองแดงที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงานแต่ละประเภท
- 1.5.9 สรุปผลการดำเนินงานเสนอให้กับโรงงาน
- 1.5.10 จัดทำรายงาน

บทที่ 2

หลักการของเทคโนโลยีสะอาด

2.1 ความเป็นมาและแนวคิดของเทคโนโลยีสะอาด [1][2]

ปัจจุบันปัญหาเรื่องมลภาวะต่าง ๆ นับวันยิ่งทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะพบควบคู่ไปกับการพัฒนาอุตสาหกรรมและความเจริญเติบโตของประเทศ การแก้ไขปัญหามลพิษในเชิงรับโดยวิธีการกำจัดมลภาวะที่เกิดขึ้น ดังประเทศที่พัฒนาแล้วในอดีตได้พิสูจน์แล้วว่าไม่ประสบความสำเร็จ ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา จึงเริ่มมีการพัฒนาหลักการของเทคโนโลยีสะอาด ซึ่งเป็นปฏิบัติการเชิงรุก โดยเน้นการป้องกันปัญหาที่จะเกิดขึ้นมากกว่าการรับมือกับปัญหาที่เกิดขึ้นแล้ว

เทคโนโลยีสะอาด คือ กลยุทธ์ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ บริการ และกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องเพื่อลดของเสีย ซึ่งทำให้เพิ่มผลผลิต และ/หรือ ลดการใช้วัตถุดิบ เทคโนโลยีสะอาดจะเกี่ยวข้องกับการป้องกันมลพิษ การลดการใช้พลังงาน ลดการใช้น้ำ และทรัพยากรอื่น ๆ รวมทั้งลดการสูญเสียตลอดจนถึงการลดอุบัติเหตุ และการลดความเสี่ยงให้น้อยที่สุด โดยเน้นถึงการเปลี่ยนแนวความคิดจากการแก้ไขเป็นการป้องกัน เพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งแนวคิดนี้จะแตกต่างจากหลักการใช้ประโยชน์จากของเสียอุตสาหกรรม ซึ่งดูที่ปลายทาง (End of pipe) ไม่ใช่ที่ต้นกำเนิด (Source)

กระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ นำไปสู่ปัญหามลพิษทางน้ำและทางอากาศ การปนเปื้อนต่อดินและปัญหาในวงกว้างอื่นๆ เช่น การทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ การเกิดแหล่งน้ำเสีย เทคโนโลยีสะอาดจึงเป็นเครื่องมือสำหรับความได้เปรียบทางธุรกิจ เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวก่อนที่จะเกิด โดยการลดมลพิษและลดของเสียที่แหล่งกำเนิดทั้งยังช่วยลดความเสี่ยงเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต และที่สำคัญก็คือ ช่วยลดต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการผลิต ผลจากการใช้เทคโนโลยีสะอาดได้พิสูจน์มาแล้ว ในนานาประเทศว่าสามารถช่วยให้

- ก. ลดค่าใช้จ่ายในการผลิต เนื่องจากประสิทธิภาพสูงขึ้น
- ข. ลดของเสียจากวัตถุดิบที่ใช้ และประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย
- ค. เพิ่มผลผลิตและเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์
- ง. ประหยัดพลังงาน
- จ. ลดความเสี่ยงและอุบัติเหตุ
- ฉ. เป็นไปตามกฎหมายควบคุมสิ่งแวดล้อมของทางราชการ

บทที่ 3

ประวัติและกระบวนการผลิตของโรงงาน

3.1 ประวัติของโรงงาน [4]

บริษัทก่อตั้งขึ้นเมื่อวันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2516 เปิดดำเนินการด้านชุบโลหะประเภทเครื่องตกแต่งบ้าน เครื่องประดับสตรี และของชำร่วย มีการชุบ 2 แบบ คือ แบบใช้กระแสไฟฟ้า และไม่ใช้กระแสไฟฟ้า โลหะที่ชุบได้แก่ ทองแดง นิกเกิล ไม่มีนิกเกิล (นิกเกิลฟรี) แพลลาเดียม เงิน และทอง ต่อมาวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2529 ทางบริษัทได้จดทะเบียนเปลี่ยนชื่อบริษัท ทั้งนี้เพื่อขยายตลาดไปยังทวีปต่าง ๆ อาทิ ทวีปอเมริกา ยุโรป แอฟริกา และเอเชีย

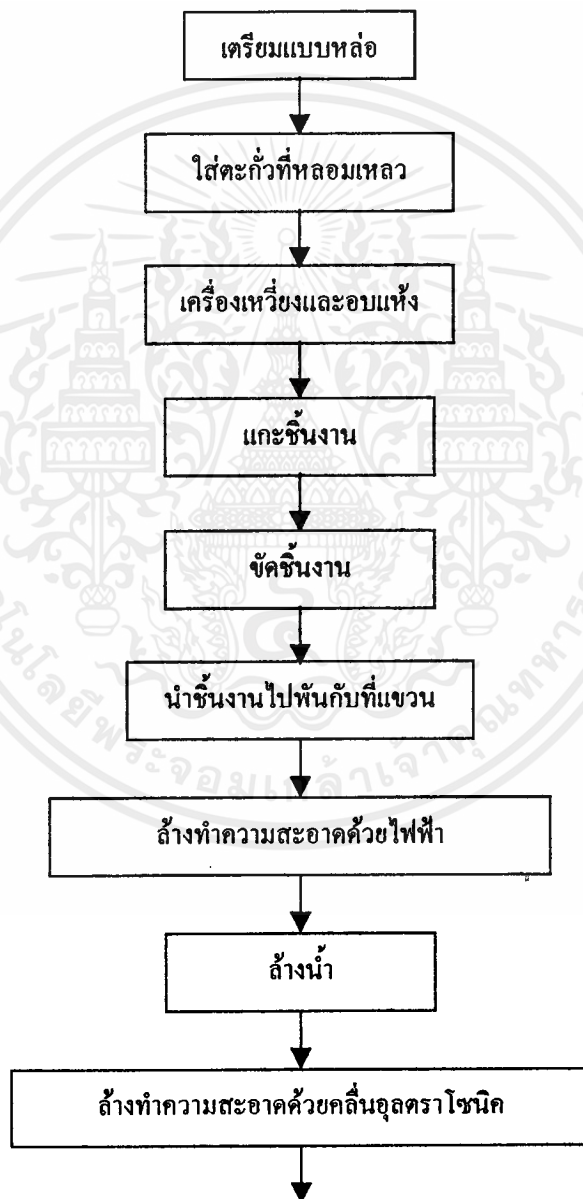
3.2 ความเป็นมาด้านเทคโนโลยีสะอาด [4]

ทางโรงงานได้มีการดำเนินการด้านเทคโนโลยีที่สะอาดตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน กล่าวคือ มีการร่อนน้ำยาชุบหลังจากการใช้แล้ว 3 เดือนด้วยผงคาร์บอน มีถึงพักชิ้นงานหลังจากการชุบ (ถึง Drag out) เพื่อล้างชิ้นงานก่อนการล้างจริงและนำน้ำยาที่ได้เทศันถึงชุบ หรือนำกลับไปแยกธาตุที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ใหม่ เช่น แพลลาเดียม มีการควบคุมความเข้มข้นและการหมุนเวียนของน้ำยาชุบอย่างสม่ำเสมอ เพื่อลดการเสื่อมสภาพของน้ำยาชุบและในขณะเดียวกันก็เป็นการลดปริมาณน้ำยาชุบที่ใช้ด้วย

นอกจากนี้ยังมีการนำขี้โลหะที่ใช้แล้วกลับไปใช้ใหม่ มีการนำตัวทำละลาย เช่น อะซีโตน ที่ใช้แล้วในกระบวนการล้างสีเคลือบไปใช้ต่อในกระบวนการผลิตเรซิน มีการเปลี่ยนตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic-based solvent) เป็นตัวทำละลายสูตรน้ำ (Water-based solvent) และมีความพยายามเปลี่ยนการใช้สารเคมีอันตราย เช่น โซเดียมไนต์ ที่ใช้ในขั้นตอนการชุบโลหะ ไปใช้สารเคมีที่มีอันตรายน้อยลงเพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

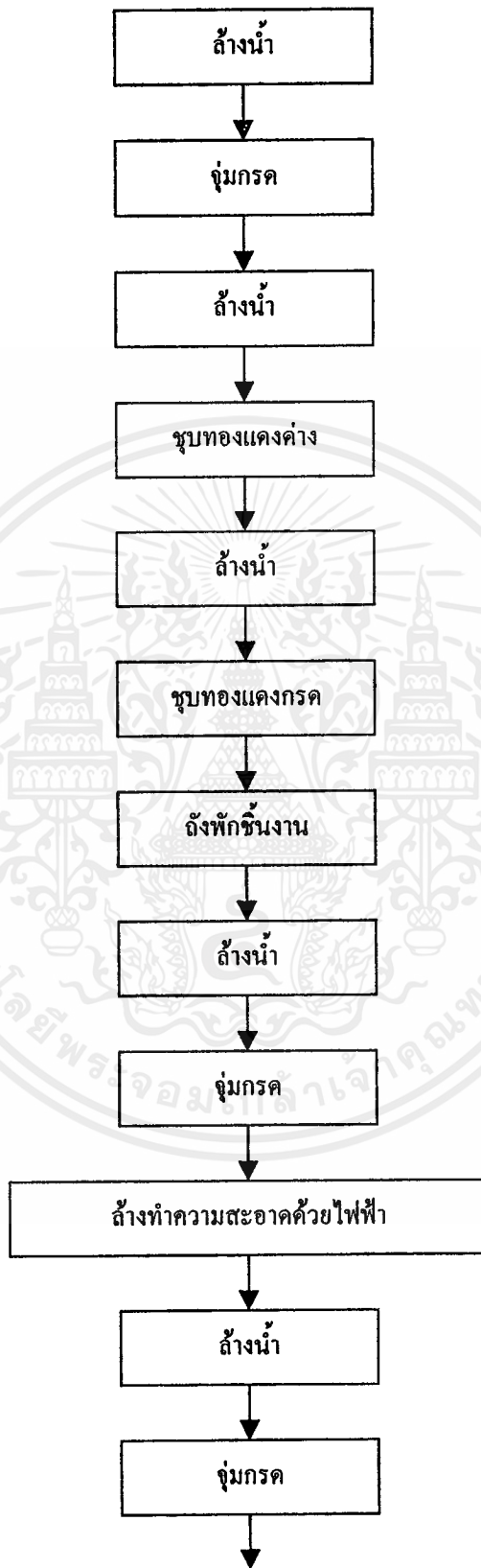
3.3 กระบวนการชุบหลักของโรงงาน [4]

ปัญหาที่พบของโรงงาน ส่วนมากเกิดจากกระบวนการชุบหลักของโรงงาน ได้แก่กระบวนการชุบทองแดงกรด ทองแดงค่าง นิกเกิลค้ำน นิกเกิลเงา แพลตาเดียม และกระบวนการชุบแบบไม่มีนิกเกิล เพราะชิ้นงานที่ทำการชุบต้องผ่านกระบวนการชุบหลักของโรงงาน ซึ่งชิ้นงานจะมีคุณภาพที่ดีหรือไม่ก็ขึ้นกับการชุบในส่วนนี้ ขั้นตอนในกระบวนการชุบหลักของโรงงานแสดงดังรูปที่ 3.1



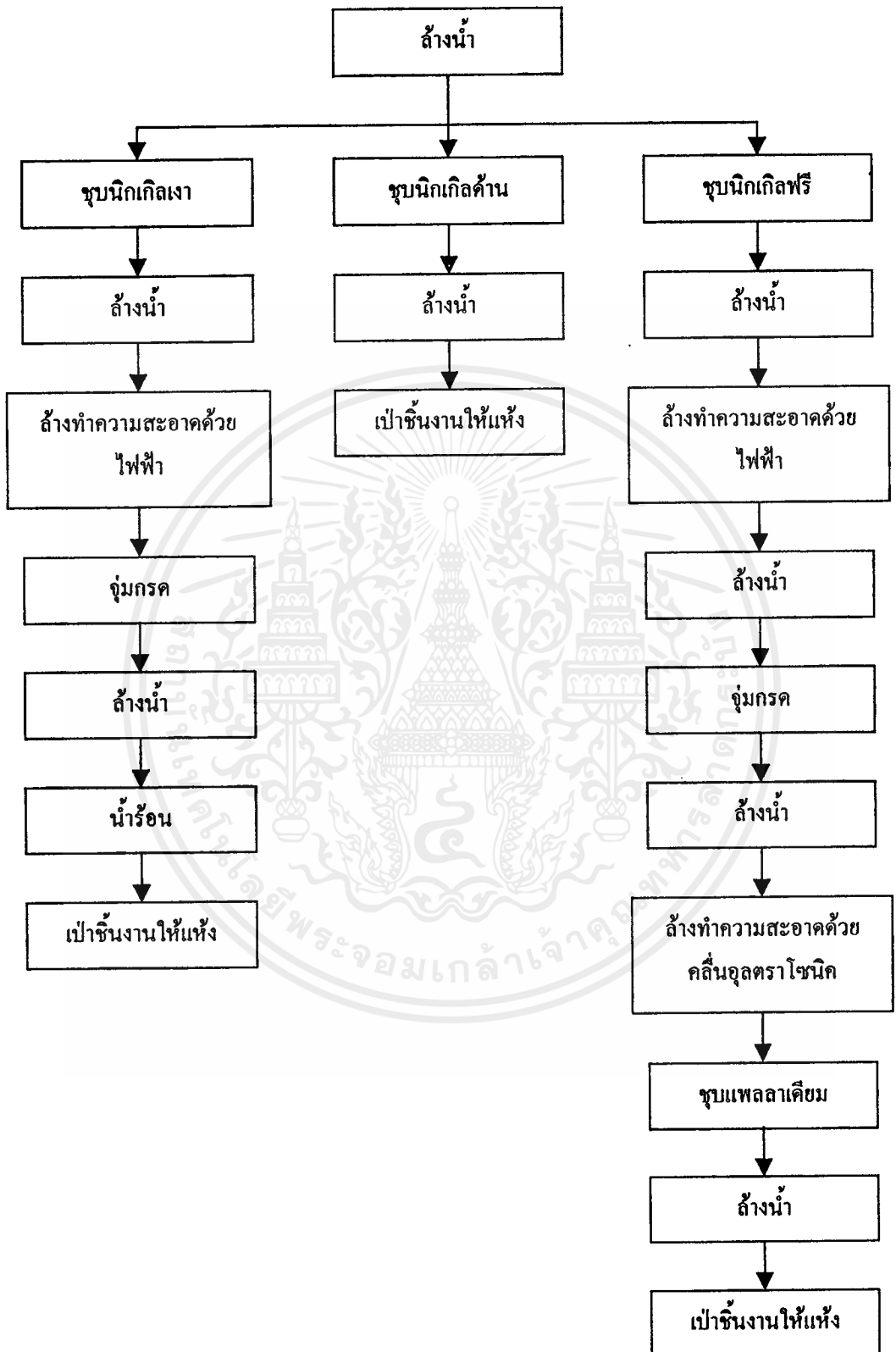
รูปที่ 3.1 แผนภาพกระบวนการชุบหลักของโรงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนภาพกระบวนการชุบทล็กของโรงงาน (ต่อ)

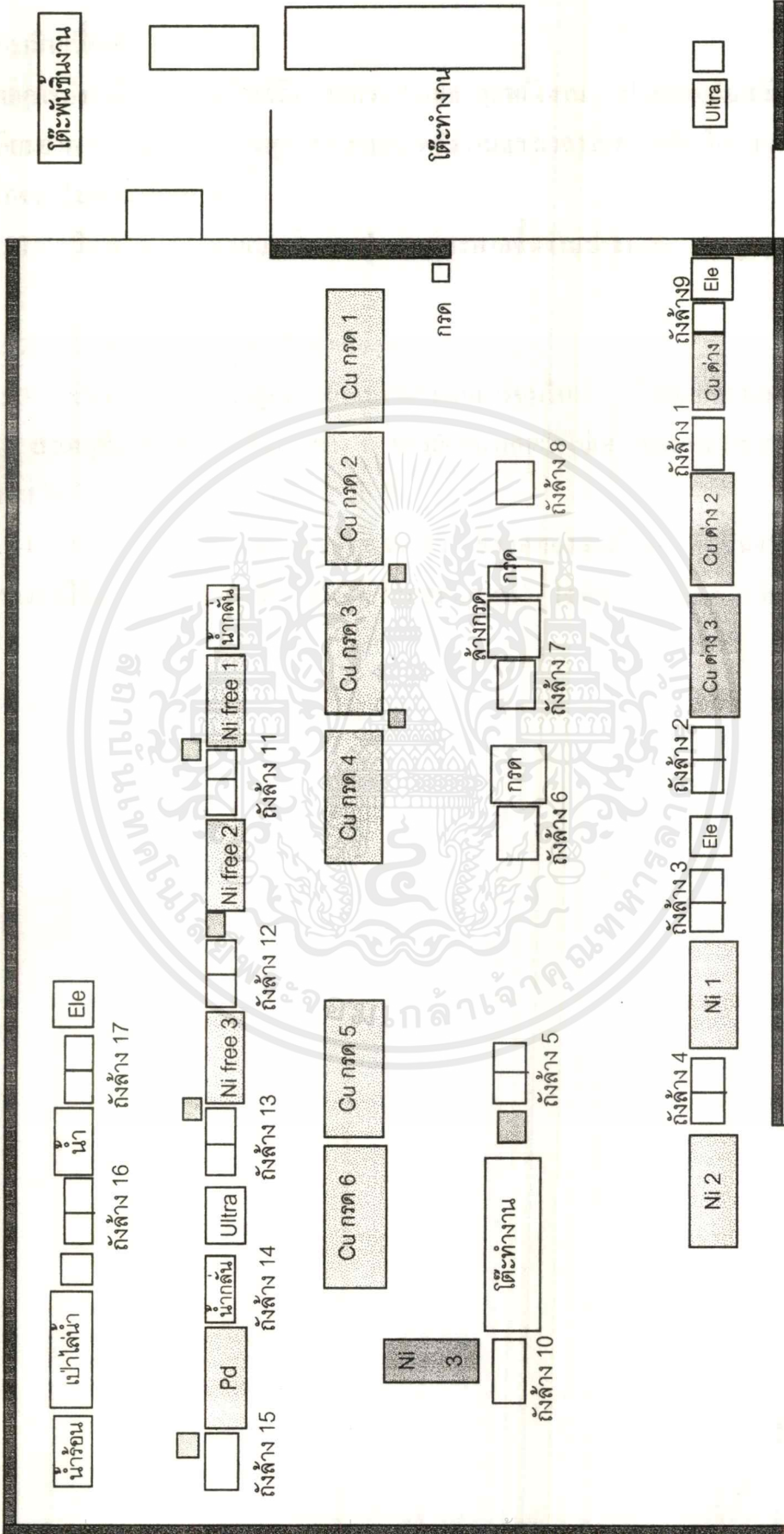
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนภาพกระบวนการชุบหลักของโรงงาน (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แผนผังกระบวนการหลักของโรงงาน



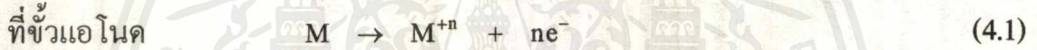
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผู้ใช้เอกสารนี้จะต้องแจ้งชื่อมหาวิทยาลัยและชื่อผู้จัดทำเอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

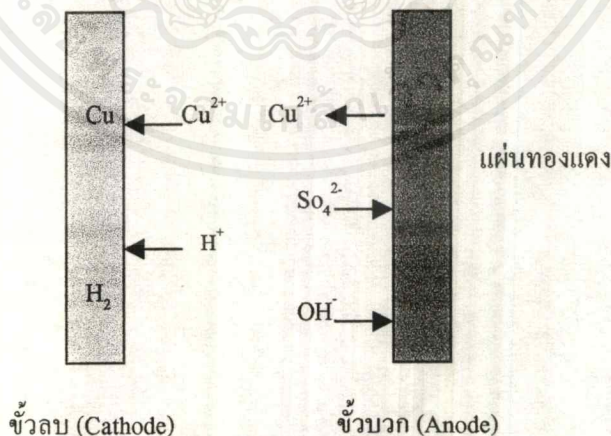
ทฤษฎีการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า

4.1 การชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า [5]

การชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า อาศัยหลักการ คือ กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี นั่นคือเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แคโทดไอออนหรือไอออนบวกจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทดหรือขั้วลบ แอนไอออนหรือไอออนลบจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแอโนดหรือขั้วบวก ขณะที่เกิดการแยกสลายดังกล่าว ภายในสารละลายนั้นไม่สามารถสังเกตเห็นปฏิกิริยาใด ๆ ที่เกิดขึ้นได้ แต่สามารถสังเกตเห็นปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ที่ขั้วแคโทดและขั้วแอโนด ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 4.1 และ 4.2 ต่อไปนี้



เมื่อ M^{+n} คือ แคโทดไอออน



รูปที่ 4.1 ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต [6]

ตัวอย่างเช่น เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต อนุภาคไอออนของทองแดง (Cu^{2+}) ที่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวกจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทด ทำให้เกิดการเกาะติดของโลหะทองแดงขึ้นที่ผิวของขั้ว ส่วนอนุภาคไอออนของซัลเฟต (SO_4^{2-}) ที่มีประจุไฟฟ้าเป็นลบจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแอโนดที่เป็นแท่งทองแดงและทำปฏิกิริยากับทองแดง ทำให้ทองแดงละลายเป็นคอปเปอร์ซัลเฟต แทนที่คอปเปอร์ซัลเฟตที่มีอยู่ในสารละลาย คอปเปอร์ซัลเฟตที่เกิดขึ้นอีกนี้จะแยกสลายเป็นอนุภาคไอออนของทองแดงและอนุภาคไอออนของซัลเฟต และเกิดปฏิกิริยาขึ้นอีกในลักษณะเดิมเช่นนี้ตลอดเวลาที่ให้กระแสไฟฟ้า

4.2 กฎของฟาราเดย์ [5]

ไมเคิล ฟาราเดย์ ได้ตั้งกฎสำคัญ 2 ข้อ เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโลหะหรือสารอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้ดังนี้

4.2.1 กฎข้อที่ 1 ของฟาราเดย์

“ ปริมาณสารที่สลายตัว หรือ ที่เกิดขึ้นเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในสารละลายเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไฟฟ้านั้น ” จากกฎนี้สามารถแสดงในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ 4.3

$$W = K_e \times q = K_e \times I \times t = \frac{A \times I \times t}{96500 \times Z} \quad (4.3)$$

เมื่อ	W	= ปริมาณสารที่สลายตัว หรือ เกิดที่ขั้วไฟฟ้า
		= น้ำหนักของโลหะที่เข้ามาเกาะที่แคโทด, กรัม
	K_e	= สมมูลเคมีไฟฟ้า
	I	= กระแสไฟฟ้า, แอมแปร์
	q	= ปริมาณกระแสไฟฟ้า, คูลอมบ์
	t	= ระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน, วินาที
	A	= น้ำหนักอะตอม
	Z	= จำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดการแลกเปลี่ยน

จากกฎข้อนี้ ถ้าต้องการชุบโลหะให้มีความหนาตามต้องการ อาจทำได้สองวิธี คือ

- ให้กระแสไฟฟ้าน้อย ๆ แล้วใช้เวลาในการชุบนาน ๆ
- ให้กระแสไฟฟ้ามาก ๆ แล้วใช้เวลาในการชุบไม่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 กฎข้อที่ 2 ของฟาราเดย์

“ เมื่อผ่านปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เท่า ๆ กัน สู่อุสสารละลายต่างชนิดกัน ปริมาณของสารที่เกิดขึ้น จะมีค่ากรัมสมมูลเคมีเท่า ๆ กัน ” จากกฎข้อที่ 2 นี้จะได้ว่า

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{e_1}{e_2} \quad (4.4)$$

เมื่อ e_1, e_2 = สมมูลเคมีของสารชนิดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ
 W_1, W_2 = น้ำหนักของสารที่เกิดขึ้น ในสารละลายชนิดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

จากกฎข้อที่ 2 ทำให้สามารถแยกสารแต่ละชนิดออกมาได้ เพราะสารแต่ละชนิด มีสมบัติทางไฟฟ้าที่ต่างกัน

$$K_e = \frac{A}{96500 \times Z} ; e = \frac{A}{Z} \quad (4.5)$$

หมายเหตุ สมมูลเคมี หมายถึง จำนวนที่บ่งถึงหน่วยน้ำหนักของสารที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับ 1 หน่วยน้ำหนักอย่างเดียวกันของไฮโดรเจน หรือ 8 หน่วยเดียวกันของออกซิเจน

4.3 ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าและขั้วไฟฟ้า [5]

ถ้าผ่านกระแสไฟฟ้าจำนวนหนึ่งลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะได้ปริมาณสารที่เกิดขึ้นตามกฎของฟาราเดย์ แต่จากการทดลองส่วนมากจะพบว่า ปริมาณสารที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ ทั้งนี้เนื่องจาก กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลายนั้น ไม่ได้ใช้ในการแยกสลายไอออนของสารที่ต้องการเพียงอย่างเดียว แต่จะใช้ไปในการแยกสลายไอออนของสารละลายอื่นอีกด้วย เช่น ไฮโดรเจนไอออน เป็นต้น

ดังนั้น จึงจำเป็นต้องหาประสิทธิภาพของปริมาณกระแสไฟฟ้าในจำนวนที่ถูกต้องขึ้น โดยประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้า เป็นปริมาณกระแสไฟฟ้าที่แยกสลายไอออนที่สนใจ เมื่อเทียบกับปริมาณกระแสไฟฟ้าทั้งหมด ที่ใช้ในการแยกสลายไอออนทั้งหมดในสารละลาย ซึ่งสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพไฟฟ้า ได้จากสมการที่ 4.6

$$B_e = \frac{100 \times q_1}{E_{q_1}} \quad (4.6)$$

- เมื่อ B_e = ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า
 q_1 = ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกสลายไอออนที่สนใจ
 E_{q_1} = ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้แยกสลายไอออนทั้งหมด

ในการหาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้า ทำได้โดยการเปรียบเทียบน้ำหนักของสารที่เกิดขึ้นหรือสลายไปของขั้วไฟฟ้า กับน้ำหนักที่คำนวณได้ตามทฤษฎีจากกฎของฟาราเดย์ ตัวอย่างเช่น การชุบโลหะโครเมียม ถ้าใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ไหลผ่านสารละลาย ตามทฤษฎีโลหะโครเมียมควรมาเกาะที่ขั้วแคโทด 8.667 กรัม แต่จากการทดลองพบว่ามีโลหะโครเมียมเกิดขึ้นเพียง 1.646 กรัมเท่านั้น

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ประสิทธิภาพของขั้วแคโทด} &= (100 \times 1.646) / 8.667 \\ &= 19\% \end{aligned}$$

นั่นคือ ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ ที่ไหลผ่านสารละลายโครเมียมจะมีปริมาณกระแสไฟฟ้า 19 % ที่ใช้ในการแยกสลายโครเมียมไอออนออกเป็นโลหะ ส่วนอีก 81 % จะใช้ในการแยกสลายไฮโดรเจนไอออน หรือไอออนอื่น ๆ ในทำนองเดียวกันที่ขั้วแอโนด ปริมาณกระแสไฟฟ้าไม่ได้ใช้ไปในการสลายขั้วแอโนดเพียงอย่างเดียว แต่ต้องสูญเสียไปกับสิ่งอื่น ๆ อีก เช่น ผ่านความต้านทานที่ขั้วแอโนด

ในการชุบโลหะที่ให้ประสิทธิภาพดีนั้น อัตราการเกาะที่ขั้วแคโทด กับอัตราการสลายของขั้วแอโนดในสารละลายที่ใช้ชุบ ควรมีอัตราเร็วที่เท่า ๆ กัน แต่โดยปกติจะไม่เกิดลักษณะเช่นนี้ ดังนั้น จึงต้องมีการเติมสารอื่น ๆ ที่ทำหน้าที่รักษาให้สารละลายมีสภาพที่เหมาะสมที่สุด หรือรักษาให้ขั้วแอโนดกับขั้วแคโทดมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากที่สุด

4.4 ลักษณะของสารละลายที่ใช้ในการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า [5]

สารละลายที่ใช้ในการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า โดยปกติเป็นสารผสมตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ซึ่งสารผสมแต่ละชนิดจะทำหน้าที่แตกต่างกันไป โดยทั่วไปแล้ว จะเรียกสารละลายที่ใช้ในการชุบโลหะนี้ว่า “น้ำยาชุบ” ส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำยาชุบ อาจแบ่งออกได้ ดังนี้

4.4.1 สารที่เป็นตัวกำเนิดโลหะ

ตัวอย่างสารที่เป็นตัวกำเนิดโลหะ เช่น ในการชุบเคลือบผิวด้วยโลหะนิกเกิล ตัวกำเนิดโลหะนิกเกิลที่นิยมใช้ คือ นิกเกิลซัลเฟต

4.4.2 สารที่ทำให้เกิดการนำไฟฟ้าดีขึ้น

สารที่ทำให้เกิดการนำไฟฟ้าดีขึ้นจะช่วยลดค่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำยาชุบลง มีผลทำให้กระแสไฟฟ้าผ่านสารละลายได้สะดวกขึ้น การแยกสลายของไอออนมีมากขึ้นด้วย ทำให้อัตราการเกาะของโลหะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สารจำพวกนี้ได้แก่ กรดหรือด่างชนิดต่าง ๆ เช่น กรดซัลฟิวริก หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น

4.4.3 สารที่ควบคุมระดับ pH ของน้ำยาชุบ

ถ้า น้ำยาชุบมีสภาพเป็นกรด ปริมาณของไฮโดรเจนไอออนมีมาก ดังนั้นเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในน้ำยาชุบ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแยกสลายไอออนของโลหะน้อยลง เพราะจะใช้ในการแยกสลายไฮโดรเจนไอออนมากขึ้น มีผลให้ประสิทธิภาพของขั้วแอโนดและขั้วแคโทดแตกต่างกันมาก หรือถ้า น้ำยาชุบมีสภาพความเป็นด่างมากเกินไป คือ มีปริมาณไฮดรอกไซด์ไอออนมาก จะมีผลทำให้มีปริมาณของออกซิเจนในน้ำยาชุบมากขึ้น เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงในน้ำยาชุบ ออกซิเจนจะทำให้ขั้วแอโนดไม่สามารถสลายตัว หรืออาจทำให้กระแสไฟฟ้าไม่ไหลลงสู่ น้ำยาชุบ ซึ่งปรากฏการณ์ที่ขั้วแอโนดไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เรียกว่า “โพลาไรตี”

ตัวอย่างของสารควบคุมระดับความเป็นกรดหรือด่างของน้ำยาชุบ เช่น กรดบอริก ในน้ำยาชุบโลหะนิกเกิล

4.4.4 สารที่ทำให้เงา (Brightener)

ในงานชุบโลหะที่ต้องการความเงางาม ต้องเติมสารที่ทำให้เงาลงในน้ำยาชุบ เพื่อให้ผิวของชิ้นงานมีลักษณะแวววาวมีความสวยงาม นอกจากนี้ น้ำยาเงายังเป็นตัวเพิ่มสมบัติอื่น ๆ แก่ผิวของชิ้นงาน เช่น ความแข็ง และยังช่วยลดความเค้นของชิ้นงานลงอีกด้วย

ส่วนประกอบของสารที่ทำให้เงา เป็นสารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็นพวก C=O, C=C, C=N, N-C=S, N=O, N=N, C-S-H และ C=COO-C-C เกาะอยู่ติดกับวงแหวนอะโรมาติกเป็นส่วนใหญ่ เช่น ซัลโฟนาไมด์ ซัลโฟนิไมด์ เบนซีนซัลโฟนิกแอซิด (โมโนซัลโฟนิกแอซิด ไดซัลโฟนิกแอซิด และไตรซัลโฟนิกแอซิด) แอริลซัลโฟนิล ซัลโฟเนต เป็นต้น

4.4.5 สารรักษาระดับการเคลือบผิวให้สม่ำเสมอ (Leveler)

ปกติสารประเภทนี้เป็นสารประกอบที่ไม่มีกำมะถัน ได้แก่ “คูมาริน” โดยจะทำให้โครงสร้างมีขนาดเล็กกว่าเดิม และทำให้ระดับความหนาของโลหะที่มาเกาะเท่ากัน

4.4.6 สารเพิ่มความชื้น (Wetting agent)

เป็นสารที่ใช้ในการชุบโลหะแบบเงา โดยลดแรงตึงผิวของสารละลายลง ทำให้ผิวของชิ้นงานที่ชุบไม่เกิดรอยค่างขึ้น ปริมาณในการใช้สารเพิ่มความชื้นขึ้นอยู่กับส่วนผสมของสารที่ทำให้เงาและสารประกอบอื่น ๆ ในน้ำยาชุบ การใช้สารเพิ่มความชื้นที่ไม่เหมาะสม ทำให้ความเงาสูญเสียไป หรือทำให้ระดับการเคลือบผิวของโลหะไม่เท่ากัน สารเพิ่มความชื้นเป็นสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งมีหมู่หลักเป็นแบบเดียวกันกับสารที่ทำให้เงา โดยปกติแล้วสารที่ทำให้เงา สารรักษาระดับการเคลือบผิวให้สม่ำเสมอ และสารเพิ่มความชื้นจะใช้ร่วมกัน ในทางอุตสาหกรรมเรียกสารเหล่านี้รวมกันว่า “น้ำยาเงา (Addition agent)”

4.5 ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า [5]

4.5.1 ค่าของ pH

ค่า pH มีอิทธิพลอย่างมากในการชุบโลหะ ถ้าค่า pH เปลี่ยนแปลงไป จะก่อให้เกิดปัญหาในการชุบ เช่น จะทำให้ชิ้นงานที่ได้จากการชุบเกิดตำหนิ ทั้งนี้เพราะค่า pH ทำหน้าที่ต่าง ๆ ในสารละลาย เช่น ควบคุมศักย์ไฟฟ้าของไฮโดรเจน ควบคุมสภาวะการเกิดสารเชิงซ้อน หรือควบคุมประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้า เป็นต้น

ในกรณีที่ค่า pH ทำหน้าที่ควบคุมศักย์ไฟฟ้าของไฮโดรเจนนั้น ศักย์ไฟฟ้าของไฮโดรเจน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนที่ขั้วไฟฟ้า ซึ่งมีผลให้ประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าลดลงไปด้วย ดังตัวอย่างเช่น ถ้า pH ของสารละลายมีค่าน้อย ปฏิกริยาในน้ำยาชุบดังสมการที่ 4.7



จากปฏิกริยานี้ ที่ขั้วแคโทดเกิดก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ประสิทธิภาพของขั้วแคโทดลดลง หรือในกรณีที่ค่า pH ของสารละลายมีค่ามาก ปฏิกริยาเปลี่ยนไป ดังสมการที่ 4.8



แสดงให้เห็นว่า เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนที่ขั้วแอโนดจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของขั้วแอโนดลดลงด้วย

จากตัวอย่างข้างต้น แสดงให้เห็นว่าค่า pH มีผลต่อกระบวนการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้าอย่างมาก ดังนั้น จึงต้องมีการควบคุม pH ของน้ำยาชุบในแต่ละครั้งอย่างใกล้ชิด

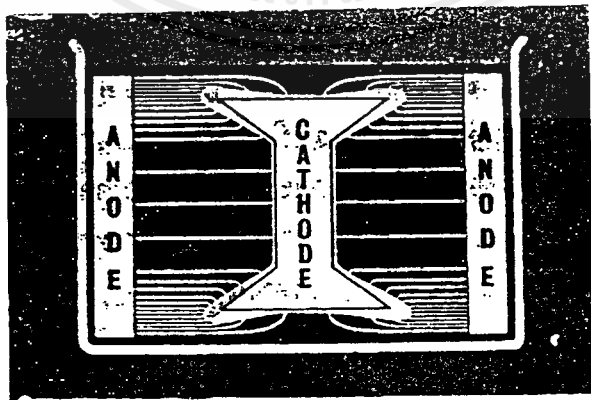
4.5.2 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า คือ ปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขั้วไฟฟ้า ต่อหน่วยพื้นที่ของขั้วไฟฟ้านั้น เช่น ความหนาแน่นของกระแสที่ขั้วแคโทด เป็นกระแสที่ช่วยให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนที่ขั้วแคโทดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของขั้วแคโทดนั้น โดยมากหน่วยความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าคือ แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร ดังนั้นในการคำนวณหาพื้นที่ของชิ้นงานเพื่อเลือกใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญมาก เพราะน้ำยาชุบที่แตกต่างกัน ย่อมต้องการความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกันไป ดังนั้นในการชุบแต่ละครั้ง ต้องคำนึงถึงพื้นที่ของชิ้นงานที่ใช้ชุบด้วยเสมอ

ในทางปฏิบัติ การใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าน้อย ๆ จะทำให้การเกาะแน่นที่ขั้วและเรียบ แต่ต้องใช้เวลาชุบนานขึ้น แต่ถ้าใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้ามากเกินไป จะทำให้ชิ้นงานนั้นไหม้และความเงาตกลง จึงต้องควบคุมความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับขนาดของชิ้นงานแต่ละชนิด

4.5.3 การกระจายของกระแสไฟฟ้า

จากการศึกษาพบว่า ธรรมชาติของการกระจายของกระแสไฟฟ้า มีการกระจายอย่างหนาแน่นที่สุดที่บริเวณใกล้กับขั้วไฟฟ้า บริเวณจุดที่อยู่ห่างออกไปการกระจายกระแสไฟฟ้าจะเบาบางลง โดยการกระจายของกระแสไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลาย คือการเคลื่อนที่ของไอออนจากสารละลายไปยังขั้วไฟฟ้า ดังนั้น บริเวณใดที่ระยะทางการเคลื่อนที่ของไอออนใกล้ บริเวณนั้นจะมีการเกาะหนากว่าบริเวณที่ระยะทางที่ไอออนเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าไกลกว่า



รูปที่ 4.2 การกระจายของกระแสไฟฟ้า [6]

4.5.4 ลักษณะของขั้วแอโนด

ในการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า โดยทั่วไปนิยมใช้ขั้วแอโนดที่ละลายได้ เพื่อให้ปริมาณไอออนในสารละลายมีอยู่เท่าเดิม ลักษณะของขั้วแอโนดที่ละลายน้ำได้ ตามทฤษฎีควรเป็นดังนี้

- ก. มีการละลายออกมาอย่างสม่ำเสมอและเรียบ
- ข. มีการเกิดตะกอนของสิ่งสกปรกน้อยที่สุด
- ค. มีประสิทธิภาพของขั้วแอโนดสูง
- ง. มีความบริสุทธิ์สูง

4.5.5 อุณหภูมิของน้ำยาชุบ

เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเคลือบผิวของโลหะ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นค่าความต่างศักย์ของน้ำยาชุบจะลดลง เนื่องจากการเคลื่อนที่ของไอออนเร็วขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดความหนืดของน้ำยาชุบลง แต่อย่างไรก็ตาม อาจทำให้เกิดฟองก๊าซขึ้นได้

4.5.6 สารที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน

ในการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า ถ้าในน้ำยาชุบมีสารประกอบเชิงซ้อนอยู่ ทำให้การเกาะของโลหะเรียบและแน่น เช่น ในการชุบเคลือบผิวด้วยโลหะทองแดงแบบต่าง มีการใช้สารประกอบที่มีไซยาไนด์อยู่ เป็นสารที่ทำให้เกิดสารเชิงซ้อน ดังสมการที่ 4.9



4.5.7 การกวนน้ำยาชุบ

การกวนน้ำยาชุบทำให้ประสิทธิภาพของการชุบโลหะ โดยใช้กระแสไฟฟ้าดีขึ้น และยังช่วยลดความต่างศักย์ที่เกิดจากความเข้มข้นสูง นอกจากนี้การกวนน้ำยาชุบตลอดเวลาทำให้ความเข้มข้นของไอออนโลหะในน้ำยาชุบ มีความสม่ำเสมอเท่า ๆ กัน

4.6 โครงสร้างของการชุบโลหะโดยใช้กระแสไฟฟ้า [5]

โลหะที่เคลือบผิวประกอบด้วยผลึกหลาย ๆ ผลึก แต่ละผลึกประกอบขึ้นเป็นหน่วยแลตทิต (Lattice units) สมบัติของโลหะที่เคลือบผิวทราบได้จาก ขนาด การจัดเรียงตัวของแต่ละผลึก หรือของผลึกที่เกาะรวมตัวกัน ซึ่งทำให้เกิดการเคลือบผิวขึ้น ชนิดของโครงสร้างผลึกที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะหนึ่ง ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของ

ก. อัตราการเกิดนิวเคลียสของผลึกใหม่

ข. อัตราการเติบโตของผลึกที่เกิดขึ้น

โดยทั่วไป มักกำหนดสภาวะให้มีอัตราการเกิดของนิวเคลียสของผลึกใหม่สูงกว่าอัตราการเติบโตของผลึกที่เกิดขึ้น เพื่อให้ได้ผลึกที่มีขนาดเล็กจำนวนมาก เกรนที่ได้ละเอียด และทำให้โลหะที่เคลือบผิวอยู่มีลักษณะเรียบ

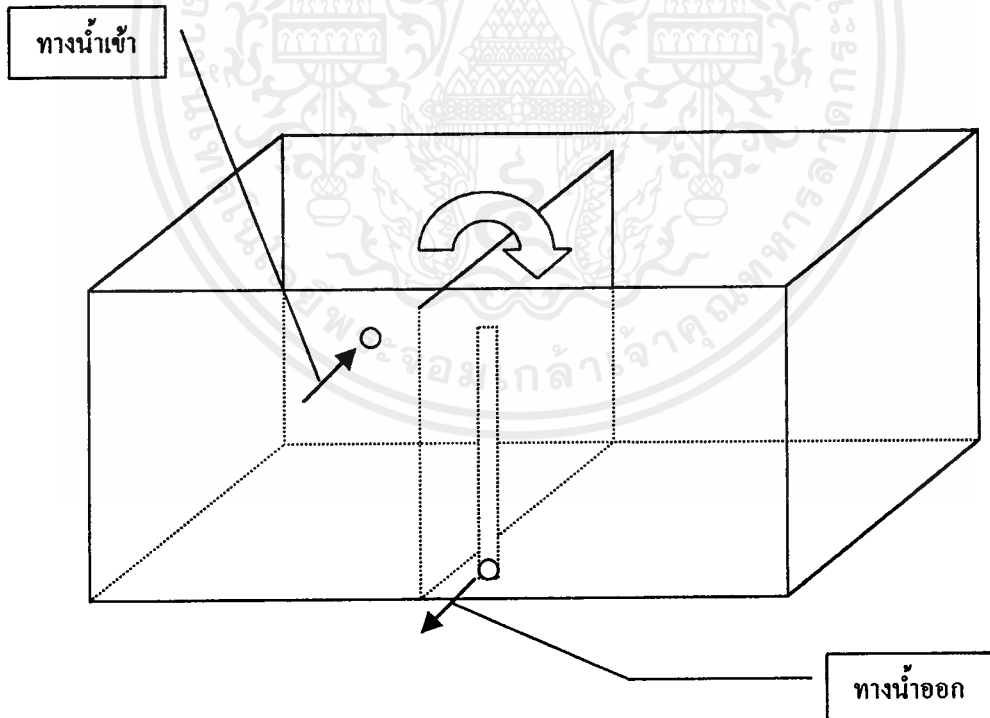


บทที่ 5

การปรับปรุงถังล้างชิ้นงานในกระบวนการชุบโลหะ เพื่อการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ และลดปริมาณการใช้น้ำ

จากการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของโรงงาน พบว่าในปัจจุบันโรงงานมีการใช้น้ำทำความสะอาดชิ้นงานในกระบวนการชุบโลหะประมาณ 50 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งถือได้ว่าการใช้น้ำในปริมาณที่สูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากถังล้างชิ้นงานมีการออกแบบที่ไม่เหมาะสม แสดงดังรูปที่ 5.1 จึงทำให้การใช้น้ำเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ [7]

ดังนั้นวัตถุประสงค์นี้จึงเป็นการปรับปรุงถังล้างชิ้นงานในกระบวนการชุบโลหะ เพื่อการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพและลดปริมาณการใช้น้ำ



รูปที่ 5.1 ถังล้างชิ้นงานที่ใช้ภายในโรงงาน [7]

5.1 การดำเนินงาน

5.1.1 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

ก. ลักษณะดังล้างชิ้นงานปัจจุบัน

ลักษณะดังล้างชิ้นงานที่ไร้ผู้มีการออกแบบที่ไม่เหมาะสม รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 5.1 รูปลักษณะดังล้างชิ้นงานก่อนการปรับปรุงแสดงในภาคผนวก ข.1

ตารางที่ 5.1 ลักษณะดังล้างชิ้นงานก่อนการปรับปรุง ทางเข้า-ออกของน้ำ และความเหมาะสม [4]

ดังล้าง ชิ้นงาน	ลักษณะดัง	ลักษณะการไหลเข้า-ออกของน้ำในแต่ละดัง	ความ เหมาะสม
1	ดังเดี่ยว	ใช้สายยางยาวเกือบถึงก้นดัง-เจาะรูส่วนบนของดังเพื่อให้น้ำไหล ออก	เหมาะสม
2	ดังคู่ (ดัง 1)	ใช้สายยางสั้น-น้ำไหลล้นแผ่นกั้นของดัง 1	ไม่เหมาะสม
	ดังคู่ (ดัง 2)	น้ำไหลล้นออกแผ่นกั้นของดัง 2-ไหลล้นแผ่นเฉียงด้านบนของดัง 2	เหมาะสม
3	ดังคู่ (ดัง 1)	ใช้สายยางยาวถึงกลางดัง-น้ำไหลล้นแผ่นเฉียง 1 ของดัง 2	ไม่เหมาะสม
	ดังคู่ (ดัง 2)	น้ำไหลล้นออกแผ่นเฉียง 1 ของดัง 2-ไหลล้นแผ่นเฉียง 2 ของดัง 2	เหมาะสม
4	ดังคู่ (ดัง 1)	ใช้สายยางยาวถึงกลางดัง-น้ำไหลล้นแผ่นกั้นซึ่งอยู่ระหว่างดัง 1 และ ดัง 2	ไม่เหมาะสม
	ดังคู่ (ดัง 2)	น้ำไหลล้นแผ่นกั้น-ไหลลงท่อที่ต่อขึ้นมาจากก้นดัง	ไม่เหมาะสม
5	ดังคู่ (ดัง 1)	ใช้สายยางยาวเกือบถึงก้นดัง-น้ำไหลล้นแผ่นกั้นซึ่งอยู่ระหว่างดัง 1 และดัง 2	ไม่เหมาะสม
	ดังคู่ (ดัง 2)	น้ำไหลล้นแผ่นกั้น-ไหลลงท่อที่ต่อขึ้นมาจากก้นดัง	ไม่เหมาะสม
6, 7, 8	ดังคู่ (ดัง 1)	น้ำไหลเข้าที่ส่วนบนของดัง-ไหลล้นแผ่นกั้นซึ่งอยู่ระหว่าง ดัง 1 และ ดัง 2	ไม่เหมาะสม
	ดังคู่ (ดัง 2)	น้ำไหลล้นแผ่นกั้น-ไหลลงท่อที่ต่อขึ้นมาจากก้นดัง	ไม่เหมาะสม
9	ดังเดี่ยว	ใช้สายยางยาวถึงกลางดัง-น้ำไหลล้นออกด้านบนของดัง	ไม่เหมาะสม
10	ดังคู่ (ดัง 1)	ใช้สายยางยาวถึงกลางดัง-น้ำไหลล้นแผ่นเฉียง 1 ของดัง 2	ไม่เหมาะสม
	ดังคู่ (ดัง 2)	น้ำไหลล้นออกแผ่นเฉียง 1 ของดัง 2-ไหลล้นแผ่นเฉียง 2 ของดัง 2	เหมาะสม
11-13,	ดังคู่ (ดัง 1)	น้ำที่ไหลเข้าที่ส่วนบนของดัง-ไหลล้นแผ่นเฉียง 1 ของดัง 2	เหมาะสม
16			ดังคู่ (ดัง 2)
15	ดังเดี่ยว	น้ำไหลเข้าที่ก้นดัง-น้ำไหลล้นออกด้านบนของดัง	เหมาะสม

หมายเหตุ 1. ถังล้างชิ้นงานที่ 14 เป็นถังล้างน้ำกลั่น ไม่มีการไหลเข้า-ออกของน้ำกลั่น แต่ใช้วิธีการเปลี่ยนน้ำกลั่นภายในถังล้างชิ้นงานทุก ๆ สัปดาห์

2. ความเหมาะสม สังเกตจากลักษณะการไหลของน้ำจะตรวจสอบด้วยการวัดค่าการนำไฟฟ้าต่อไปในหัวข้อ ข.

ข. ค่าความนำไฟฟ้า

การล้างชิ้นงานในถังล้างชิ้นงาน ทำให้น้ำยาชุบที่ติดมากับที่แขวนชิ้นงานและชิ้นงานถูกล้างออกไป จึงต้องทำการวัดค่าความนำไฟฟ้าเพื่อแสดงถึงปริมาณของน้ำยาชุบที่ละลายอยู่ในน้ำแสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าความนำไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของน้ำในถังล้างชิ้นงานก่อนการปรับปรุง, ไมโครซีเมน [4]

ถังล้างชิ้นงาน	ทางเข้า	กลางถึง 1	กลางถึง 2	ทางออก	หมายเหตุ
1	251	305	-	319	เป็นถังล้างชิ้นงานถังเดียว
2	251	301	409	486	-
3	251	257	317	332	-
4	251	264	272	275	-
5	251	268	393	405	-
6	251	287	270	272	-
7	251	272	294	289	-
8	251	255	406	379	-
9	251	326	-	346	เป็นถังล้างชิ้นงานถังเดียว
10	-	-	-	-	ไม่มีการใช้งาน
11	251	263	274	279	-
12	251	260	270	275	-
13	251	267	279	291	-
15	251	255	-	269	-
16	251	263	267	273	-

ค. ความถี่ในการจุ่มชิ้นงานและอัตราการไหลของน้ำ

การวัดความถี่ในการจุ่มชิ้นงาน เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณหาอัตราการไหลที่เหมาะสมของน้ำ และการวัดอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ถังล้างชิ้นงานเพื่อใช้เป็นค่าเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้ ผลการวัดความถี่ในการจุ่มชิ้นงาน และอัตราการไหลของน้ำแสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ความถี่ในการจุ่มชิ้นงาน (จำนวนที่แขวนชิ้นงานต่อชั่วโมง) และอัตราการไหลของน้ำ (ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อวินาที) [4]

ถังล้าง ชิ้นงาน	ที่แขวนชิ้นงานที่ลงถังล้างชิ้นงาน			อัตราการไหลของน้ำ		
	เข้า (Rack/4h)	บ่าย (Rack/4h)	เฉลี่ย (Rack/h)	เข้า (cm ³ /s)	บ่าย (cm ³ /s)	เฉลี่ย (cm ³ /s)
1	161	325	60.75	103.66	109.83	106.75
2	50	44	11.75	86.69	167.97	127.33
3	167	216	47.88	141.29	148.58	144.94
4	46	42	11.00	122.17	120.38	121.27
5	15	28	5.38	87.34	127.56	107.45
6	400	377	97.13	92.31	123.08	107.69
7	207	252	57.38	116.88	111.26	114.07
8	256	262	64.75	129.57	139.24	134.40
9	140	129	33.63	137.53	145.72	141.63
10	-	-	-	-	-	-
11	16	245	32.63	55.56	46.57	51.07
12	36	44	10.00	61.67	52.13	56.90
13	36	44	10.00	108.33	95.84	102.09
15	36	44	10.00	153.68	138.26	145.97
16	36	44	10.00	78.54	69.25	73.90
รวม	-	-	-	1475.22	1753.89	1535.46

ปริมาณน้ำยาชุบที่ติดไปกับที่แขวนชิ้นงานก่อนลงถังล้างมีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 7 มิลลิลิตรต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน (ตรวจสอบโดย วิธีที่ 1 นำที่แขวนชิ้นงานที่มีชิ้นงานมาจุ่มน้ำยาชุบโลหะ นำขึ้นวางไว้บนถาดแห้งที่ทราบน้ำหนักจนน้ำยาชุบไหลลงมาหมด นำถาดไปชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น แล้วนำไปคำนวณหาปริมาตรของน้ำยาชุบที่ติดมากับที่แขวนชิ้นงาน วิธีที่ 2 นำที่แขวนชิ้นงานที่มีชิ้นงานมาจุ่มน้ำยาชุบโลหะ นำขึ้นวางบนถาดแห้ง นำน้ำกลั่นที่ทราบปริมาตรมาล้างที่แขวนชิ้นงาน เก็บสารละลายที่ได้ไปหาความเข้มข้น แล้วจึงนำไปคำนวณหาปริมาตรของน้ำยาชุบที่ติดมากับที่แขวนชิ้นงาน)

5.1.2 การปรับปรุงตามหลักการของเทคโนโลยีสะอาด

ก. การปรับปรุงถังล้างชิ้นงาน

จากการวิเคราะห์ข้อมูลถังล้างชิ้นงานที่โรงงานใช้อยู่ในปัจจุบันในตารางที่ 5.1 และการตรวจสอบค่าความนำไฟฟ้าในตารางที่ 5.2 ถังล้างชิ้นงานที่จะต้องทำการปรับปรุงและวิธีการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 5.4

ข. การลดปริมาณการใช้น้ำ

จากข้อมูลความถี่ในการจุ่มชิ้นงาน และอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ถังล้างชิ้นงาน สามารถวิเคราะห์ข้อมูลและทำการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมได้จากสมการที่ 5.1 [2]

$$Q = \left[\left(\frac{C_p}{C_n} \right)^{1/n} + \frac{1}{n} \right] \times D_r \quad (5.1)$$

เมื่อ	C_p	=	ความเข้มข้นของน้ำยาชุบ , g/l
	C_n	=	ความเข้มข้นของน้ำยาชุบที่ยอมให้ออกไปกับน้ำ , g/l
	n	=	จำนวนถังแบบน้ำไหลสวนทาง
	D_r	=	Drag out rate , l/h
		=	$(l/Rack) \times (Rack/h)$

ผลการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสม แสดงดังตารางที่ 5.5 วิธี
การคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมแสดงในภาคผนวก ข.2

ตารางที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะดั่งล้างชิ้นงาน และการปรับปรุง

ดั่งล้าง ชิ้นงาน	ลักษณะดั่ง ที่ใช้อยู่	ลักษณะ น้ำเข้า-ออก	ความ เหมาะสม	การปรับปรุง
1	ดั่งเคี้ยว	เข้าล่าง-ออกบน	เหมาะสม	-
2	ดั่งคู่ (ดั่ง 1)	เข้าบน-ออกล่าง	ไม่เหมาะสม	ต่อท่อน้ำเข้าให้ยาวเกือบถึงก้นดั่ง
	ดั่งคู่ (ดั่ง 2)	เข้าล่าง-ออกบน	เหมาะสม	-
3	ดั่งคู่ (ดั่ง 1)	เข้ากลาง-ออกบน	ไม่เหมาะสม	ต่อท่อน้ำเข้าที่ด้านล่างของดั่ง
	ดั่งคู่ (ดั่ง 2)	เข้าล่าง-ออกบน	เหมาะสม	-
4	ดั่งคู่ (ดั่ง 1)	เข้ากลาง-ออกบน	ไม่เหมาะสม	ต่อท่อน้ำเข้าให้ยาวเกือบถึงก้นดั่ง
	ดั่งคู่ (ดั่ง 2)	เข้าบน-ออกบน	ไม่เหมาะสม	เพิ่มแผ่นเฉียงอีก 1 แผ่นในดั่ง 2
5	ดั่งคู่ (ดั่ง 1)	เข้าล่าง-ออกบน	ไม่เหมาะสม	ต่อท่อน้ำเข้าที่ด้านล่างของดั่ง
	ดั่งคู่ (ดั่ง 2)	เข้าบน-ออกบน	ไม่เหมาะสม	เพิ่มแผ่นเฉียงอีก 1 แผ่นในดั่ง 2
6, 7, 8	ดั่งคู่ (ดั่ง 1)	เข้าบน-ออกบน	ไม่เหมาะสม	ต่อท่อน้ำเข้าให้ยาวเกือบถึงก้นดั่ง
	ดั่งคู่ (ดั่ง 2)	เข้าบน-ออกบน	ไม่เหมาะสม	เพิ่มแผ่นเฉียงอีก 1 แผ่นในดั่ง 2 ปิดท่อออกที่ใช้อยู่ และ เจาะท่อน้ำออกใหม่ให้เหมาะสม
9	ดั่งเคี้ยว	เข้ากลาง-ออกบน	ไม่เหมาะสม	ต่อท่อน้ำเข้าให้ยาวเกือบถึงก้นดั่ง และเจาะรูตัวบน ของดั่งเพื่อให้มีน้ำไหลออก
10	ดั่งคู่ (ดั่ง 1)	เข้ากลาง-ออกบน	ไม่เหมาะสม	ต่อท่อน้ำเข้าที่ด้านล่างของดั่ง
	ดั่งคู่ (ดั่ง 2)	เข้าล่าง-ออกบน	เหมาะสม	-
11-13,	ดั่งคู่ (ดั่ง 1)	เข้ากลาง-ออกบน	เหมาะสม	-
16	ดั่งคู่ (ดั่ง 2)	เข้าล่าง-ออกบน	เหมาะสม	-
15	ดั่งเคี้ยว	เข้าล่าง-ออกบน	เหมาะสม	-

ภาคผนวก ข.1 แสดงการปรับปรุงดั่งล้างชิ้นงาน เพื่อให้ระยะเวลาของน้ำล้างชิ้นงานอยู่ใน
ดั่งล้างชิ้นงานนานที่สุดเป็นการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ในกรณีที่ทิศทางการไหลเข้าออกของน้ำ
เหมาะสมอยู่แล้วคือ น้ำเข้าด้านล่างและออกด้านบน เช่นในดั่งล้างชิ้นงานดั่งที่ 1 จะทำการปรับปรุง
เพียงแค่การต่อท่อเจาะรู (1/32 นิ้ว) เพื่อควบคุมอัตราการไหลของน้ำ (หัวข้อ 5.1.2 ข) สำหรับดั่งที่
ทิศทางการไหลเข้าและออกของน้ำไม่เหมาะสม ทำการปรับปรุงโดยการเพิ่มแผ่นเฉียง การต่อท่อ
น้ำทางน้ำลงและต่อท่อเจาะรูที่ก้นดั่ง

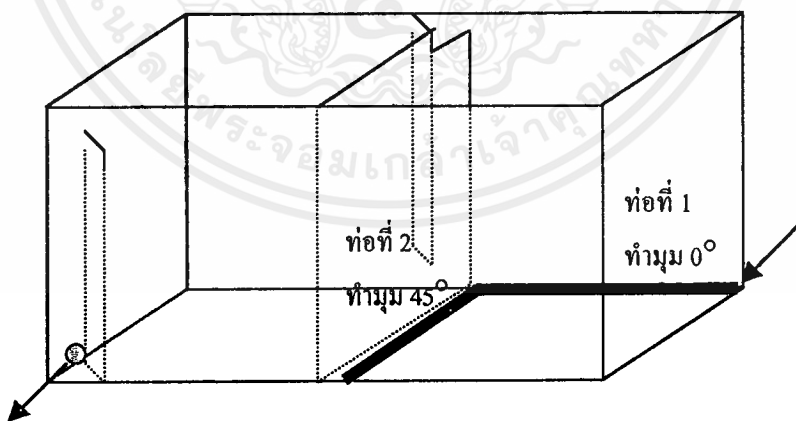
ตารางที่ 5.5 ผลการคำนวณอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมเปรียบเทียบกับอัตราการไหลเดิม

ถึงตั้ง จำนวน	ความถี่ในการจุ่ม จำนวน (Rack/h)	อัตราการไหลก่อนการ ปรับปรุง (l/h)	อัตราการไหลที่เหมาะสม เมื่อ $Cp/Cn = 10^5$, (l/h)	ผลต่าง (%)	อัตราการไหลที่เหมาะสม เมื่อ $Cp/Cn = 10^5$, (l/h)	ผลต่าง (%)	อัตราการไหลที่เหมาะสม เมื่อ $Cp/Cn = 10^5$, (l/h)	ผลต่าง (%)	อัตราการไหลที่เหมาะสม เมื่อ $Cp/Cn = 10^5$, (l/h)	ผลต่าง (%)
1	60.75	384.3	42.74	89%	134.69	65%	384.3	0%		
2	11.75	436.79	8.27	98%	26.05	94%	82.29	81%		
3	47.88	521.78	33.68	94%	106.15	80%	335.33	36%		
4	11.00	436.57	7.74	98%	24.39	94%	77.04	82%		
5	5.38	386.82	3.78	99%	11.93	97%	37.68	90%		
6	97.13	387.68	68.33	82%	215.35	44%	387.68	0%		
7	57.38	363.25	40.37	89%	127.22	65%	363.25	0%		
8	64.75	483.84	45.55	91%	143.56	70%	453.48	6%		
9	33.63	509.87	23.66	95%	74.56	85%	235.53	54%		
10	28.00	237.67	19.70	92%	62.08	74%	196.10	17%		
11	32.63	253.86	22.96	91%	72.34	72%	228.52	10%		
12	10.00	204.84	7.04	97%	22.17	89%	70.04	66%		
13	10.00	367.52	7.04	98%	22.17	94%	70.04	81%		
15	10.00	525.49	7.04	99%	22.17	96%	70.04	87%		
16	10.00	266.04	7.04	97%	22.17	92%	70.04	74%		
	ผลรวม	5766.32	344.91	94%	1087.00	81%	3061.36	47%		

การควบคุมอัตราการไหลของน้ำเพื่อให้ได้อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ถังล้าง
ชิ้นงานที่เหมาะสม ถ้าใช้อุปกรณ์ควบคุมแบบที่สามารถปรับอัตราการไหลได้ ก็จะต้องลงทุนสูง
อีกทั้งยังยุ่งยากในการติดตั้ง ในงานนี้จึงใช้วิธีการต่อท่อเจาะรูภายในถังล้างชิ้นงาน โดยใช้ขนาด
และจำนวนรูที่เจาะเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลเข้าของน้ำ การทดลองหาขนาดรูเจาะที่เหมาะสม
และข้อมูลดิบผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ข.3 สำหรับการหาปริมาณการไหลของน้ำกับ
จำนวนรูของท่อแสดงในภาคผนวก ข.4

เมื่อได้ขนาดรูและจำนวนรูของท่อที่ให้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมตามต้องการ
แล้ว ก็จำเป็นที่จะต้องหาลักษณะการต่อท่อเจาะรูภายในถังล้างชิ้นงานที่เหมาะสมอีกด้วย โดยจะ
อาศัยแรงดันที่ออกมาจากรูของท่อทำให้เกิดการปั่นกววนภายในถังล้างชิ้นงาน ซึ่งได้ทดลองทำเป็น
ตัวอย่างเบื้องต้น 5 แบบ วิธีการทดลองแสดงในภาคผนวก ข.5 และข้อมูลดิบของผลการทดลอง
แสดงในภาคผนวก ข.6

จากการต่อท่อและวางมุมรูที่เจาะกับพื้นถึง 5 แบบนั้นพบว่า แบบที่ 3 ในภาค
ผนวก ข.5 เหมาะสมที่สุด นั่นคือ ท่อที่ 1 ต่อเข้ากับทางไหลเข้าของน้ำ รูที่เจาะทำมุม 0° กับพื้นถึง
และท่อที่ 2 ต่อกับท่อที่ 1 รูที่เจาะทำมุม 45° กับพื้นถึง โดยท่อทั้งสองจะอยู่ที่ก้นถังแสดงดังรูปที่ 5.2
ซึ่งเมื่อต่อท่อเจาะรูตามแบบที่ 3 จาก 5 แบบที่ทำการทดลองแล้วจะทำให้ความสกปรกของน้ำในถัง
ล้างชิ้นงานถูกทำให้สะอาดได้รวดเร็วที่สุด



รูปที่ 5.2 ลักษณะการต่อท่อเจาะรูภายในถังล้างชิ้นงาน

จำนวนรูที่เจาะของท่อเจาะรูและอัตราการไหลของน้ำหลังการต่อท่อเจาะรู
ภายในถังล้างชิ้นงานแต่ละถัง แสดงดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 จำนวนรูที่เจาะและอัตราการไหลของน้ำหลังการต่อท่อเจาะรู

ถึงล่าง ชิ้นงาน	อัตราการไหล ก่อนการ ปรับปรุง (l/h)	อัตราการไหลที่ เหมาะสม เมื่อ $C_p/C_n = 10^4$ (l/h)	อัตราการไหลที่ เหมาะสม เมื่อ $C_p/C_n = 10^5$ (l/h)	จำนวนรู ที่เจาะ	ช่วงอัตราการ ไหลหลังการ ต่อท่อเจาะรู	อัตราการไหล ที่วัดได้โดย เฉลี่ย (มาก กว่า 10 ครั้ง)
1	384.3	42.74	134.69	8	170 – 288	215
2	436.79	8.27	26.05	4	105 – 160	117
3	521.78	33.68	106.15	8	170 – 288	233
4	436.57	7.74	24.39	4	105 – 160	109
5	386.82	3.78	11.93	8	170 – 288	209
6	387.68	68.33	215.35	8	170 – 288	192
7	363.25	40.37	127.22	8	170 – 288	215
8	483.84	45.55	143.56	8	170 – 288	227
9	509.87	23.66	74.56	3	65 – 112	80
10	237.67	19.70	62.08	3	65 – 112	82
11	253.86	22.96	72.34	3	65 – 112	80
12	204.84	7.04	22.17	3	65 – 112	76
13	367.52	7.04	22.17	3	65 – 112	73
15	525.49	7.04	22.17	3	65 – 112	83
16	266.04	7.04	22.17	3	65 – 112	80

หมายเหตุ 1. ช่วงอัตราการไหลหลังการต่อท่อเจาะรู คือ อัตราการไหลของน้ำที่มีโอกาสเป็นไปได้
ทั้งนี้ขึ้นกับแรงดันของน้ำที่ส่งเข้ามา ถ้าแรงดันน้ำที่เข้ามามีค่าสูงอัตราการไหลของน้ำก็จะมีค่าสูง

2. อัตราการไหลที่วัดได้โดยเฉลี่ย ที่วัดได้มีความแตกต่างจากตารางที่ ข.10 (ค่าเฉลี่ยที่ได้
จากการทดลอง 5 ครั้ง) เป็นเพราะผลกระทบของแรงดันน้ำซึ่งไม่คงที่จึงทำให้อัตราการไหลของน้ำ
ที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา อัตราการไหลของน้ำที่วัดได้เฉลี่ยเป็นการวัดมากกว่า 10 ครั้ง

5.2 ผลการปรับปรุงตามหลักการทางเทคโนโลยีสะอาด

5.2.1 ลักษณะถังล้างชิ้นงาน

หลังการปรับปรุงถังล้างชิ้นงานมีลักษณะที่ถูกต้อง โดยมีการไหลของน้ำแบบสวนทางกับการล้างชิ้นงาน รอยแตกรอยรั่วของถังได้รับการซ่อมแซม ทางเดินของท่อน้ำภายในโรงงานได้รับการปรับปรุงให้มีระเบียบมากขึ้น

5.2.2 ปริมาณการใช้น้ำในการล้างชิ้นงาน

เมื่อติดตั้งท่อเจาะรูเพื่อควบคุมปริมาณการใช้น้ำแล้ว ทำให้ปัจจุบันโรงงานมีปริมาณน้ำที่เพียงพอกับความต้องการภายในโรงงาน จากที่ปริมาณน้ำไม่เพียงพอกับความต้องการภายในโรงงาน และปริมาณการไหลของน้ำในกระบวนการชุบหลักของโรงงานค่อนข้างคงที่ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการไหลของน้ำก่อนการปรับปรุง ซึ่งมีปริมาณการไหลของน้ำสูงในช่วงเช้า แต่ปริมาณการไหลของน้ำลดลงมากในช่วงบ่าย เพราะมีการใช้น้ำปริมาณมากจึงทำให้น้ำที่เก็บไว้ในถังเก็บมีปริมาณไม่เพียงพอที่จะใช้ในชั่วโมงบ่าย

หลังการปรับปรุง ปริมาณการไหลของน้ำโดยรวมในกระบวนการชุบหลักของโรงงานประมาณ 2,100 ลิตรต่อชั่วโมง โดยเป็นส่วนที่ทำการควบคุมปริมาณการไหลของน้ำจำนวน 15 ถึง การวัดปริมาณน้ำที่ใช้ในแต่ละถังล้างชิ้นงานและข้อมูลดิบแสดงในภาคผนวก ข.7

ซึ่งปริมาณการไหลของน้ำในกระบวนการชุบหลักโดยรวมของ โรงงานนี้ยังสามารถลดลงได้อีก โดยก่อนการลดควรแน่ใจว่าปริมาณการไหลของน้ำที่ใช้อยู่ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งาน ซึ่งจะลดปริมาณการไหลของน้ำให้อยู่ในช่วงการคำนวณของอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำยาชุบ (C_p) ต่อความเข้มข้นของน้ำยาชุบที่ยอมให้ออกไปกับน้ำ (C_u) เท่ากับ 10,000 ถึง 100,000 เท่า

5.2.3 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำในถังล้างชิ้นงาน

ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำในถังล้างชิ้นงานจะแสดงถึงความสะอาดของน้ำ ซึ่งก่อนทำการปรับปรุงค่าความนำไฟฟ้าของน้ำที่ไหลออกจากถังล้างชิ้นงาน จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าความนำไฟฟ้าของน้ำที่ไหลเข้าถังล้างชิ้นงาน เป็นเพราะถังล้างชิ้นงานที่ใช้มีการออกแบบที่ไม่ถูกต้อง

หลังจากได้ทำการปรับปรุงถังล้างชิ้นงานและควบคุมปริมาณการไหลของน้ำแล้ว ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำที่วัดได้จะเพิ่มสูงขึ้น เพราะปริมาณการใช้น้ำลดลง จากค่าความนำไฟฟ้าที่วัดได้จะสังเกตเห็นว่าค่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับจากทางน้ำเข้า (ตำแหน่งที่ 1) กลางช่องที่ 1 ของถังล้างชิ้นงาน (ตำแหน่งที่ 2) กลางช่องที่ 2 ของถังล้างชิ้นงาน (ตำแหน่งที่ 3) และทางน้ำออก (ตำแหน่งที่ 4) ดังแสดงในรูป ข.47 นั้นแสดงว่าทิศทางการไหลของน้ำในถังล้างชิ้นงานมีลักษณะถูกต้อง ข้อมูลดิบแสดงค่าความนำไฟฟ้าของน้ำในถังล้างชิ้นงานแสดงในภาคผนวก ข.8

5.2.4 ปริมาณเงินงานที่เสีย

เมื่อทำการติดตามปริมาณเงินงานเสีย ภายหลังจากที่ได้ปรับปรุงถึงล้างเงินงานแล้ว ปรากฏว่าไม่มีการเกิดเงินงานเสียที่มีสาเหตุจากการล้างเงินงาน

5.3 ค่าใช้จ่ายในการลงทุนและระยะเวลาคืนทุน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับปรุงประกอบด้วย แผ่นพีวีซีพื้นที่ 3,000 ตารางเซนติเมตร ท่อพีวีซี ยาว 12 เมตร ข้อต่องอ 90 องศาจำนวน 45 ตัว จุกปิดปลายท่อพีวีซี 15 ตัว วาล์วน้ำพีวีซี 4 ตัว คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องลงทุนเท่ากับ 4,000 บาท

หลังการปรับปรุงในปัจจุบันทำให้สามารถลดปริมาณการใช้น้ำลงได้ 3,700 ลิตรต่อชั่วโมง หรือ 710 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้เท่ากับ 9,200 บาท/เดือน

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= 4,000 \times 30 / 9,200 \text{ วัน} \\ &= 13 \text{ วัน} \end{aligned}$$

ฉะนั้นระยะเวลาคืนทุนใช้เวลาประมาณ 13 วัน และสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 9,200 บาทต่อเดือน ทั้งนี้ยังลดปริมาณน้ำเสียได้ประมาณ 350,000 บาทต่อเดือน ซึ่งเป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

บทที่ 6

การศึกษาหาลักษณะของถังชุบโลหะทองแดงแบบกรดที่เหมาะสม

ปัญหาที่พบบ่อยครั้งในกระบวนการชุบโลหะ คือ ปัญหาการเกิดชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐาน ชิ้นงานที่ทำการผลิตออกมาแล้วแต่ไม่ได้ความหนาตามความต้องการของลูกค้า จึงต้องนำชิ้นงานกลับมาแก้ไขใหม่ นอกจากจะเป็นการเสียเวลาแล้วยังเป็นการทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น มีการใช้วัสดุดิบและพลังงานอย่างไม่คุ้มค่า อีกทั้งยังทำให้เกิดของเสียที่อาจเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น ปัญหาการเกิดชิ้นงานที่ไม่ได้มาตรฐานดังกล่าว มีสาเหตุมาจากลักษณะของถังชุบโลหะที่ไม่เหมาะสม เช่น ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการชุบโลหะจะมีระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทดประมาณ 10 เซนติเมตร ในปัจจุบันโรงงานได้ใช้ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทดประมาณ 20 - 25 เซนติเมตร ซึ่งการที่ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทดแตกต่างกัน ทำให้เวลาที่ใช้ในกระบวนการชุบชิ้นงานให้มีความเงางามมีความแตกต่างกันไปด้วย ในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการศึกษาการชุบโลหะทองแดงแบบกรด เพราะทางโรงงานมีปัญหาในการชุบโลหะทองแดงแบบกรด จึงต้องการแก้ไขในส่วนนี้

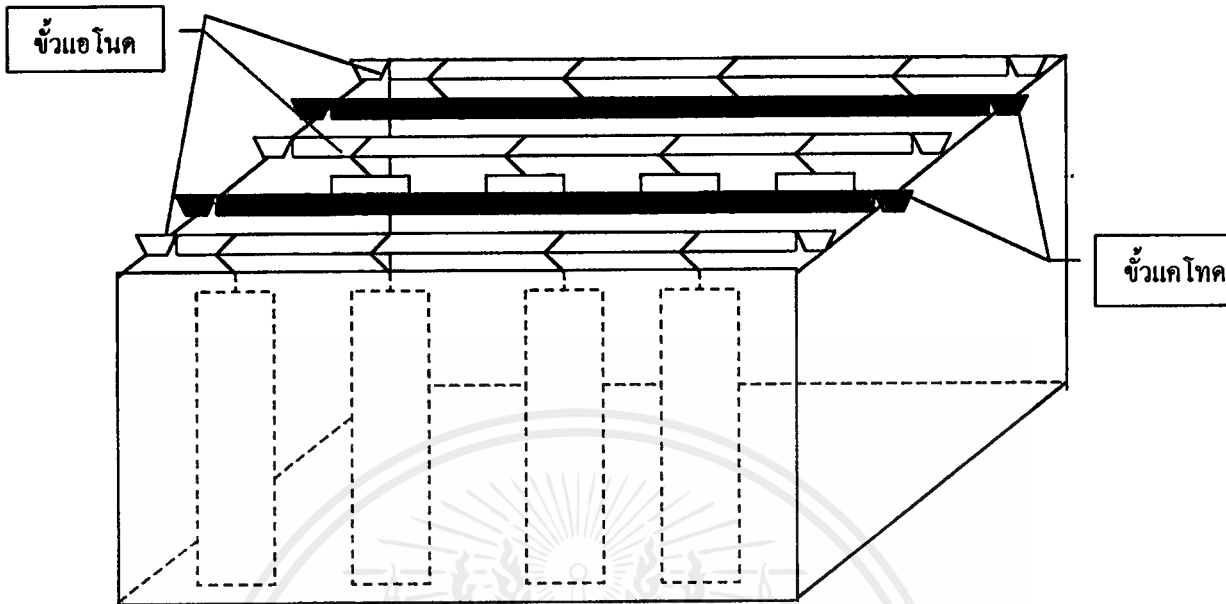
ดังนั้นวัตถุประสงค์นี้จึงเป็นการศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อกระบวนการชุบโลหะ เพื่อหาลักษณะของถังชุบโลหะทองแดงแบบกรดที่เหมาะสม โดยตัวแปรที่ศึกษาคือ

- ก. พื้นที่ของขั้วแอโนดต่อขั้วแคโทดที่เหมาะสมในการชุบโลหะ
- ข. ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทด
- ค. อุณหภูมิของน้ำยาชุบโลหะในการชุบโลหะทองแดงแบบกรด
- ง. ลักษณะการเป่าลมในการชุบโลหะทองแดงแบบกรด

6.1 การดำเนินงาน

6.1.1 การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

ลักษณะของถังชุบโลหะทองแดงแบบกรด แสดงได้ดังรูปที่ 6.1 ลักษณะการวางขั้วแอโนดและขั้วแคโทดของโรงงานนั้น ขั้วแคโทดจะวางอยู่ระหว่างขั้วแอโนด



รูปที่ 6.1 ลักษณะถังชุบโลหะ

ขั้วทองแดงจะแขวนไว้กับขั้วแเอโนค โดยใช้แผ่นทองแดงขนาด 10 กิโลกรัม 7 แผ่นต่อขั้วแเอโนค 1 แถว ระยะห่างระหว่างขั้วแเอโนคและขั้วแคโทคของถังชุบโลหะในปัจจุบันนั้นประมาณ 20 ถึง 25 เซนติเมตร ซึ่งทำให้การแขวนที่แขวนชิ้นงานหรือหีบที่แขวนชิ้นงานที่แขวนอยู่กับขั้วแคโทคด้านในกระทำได้ลำบาก อุณหภูมิของน้ำยาชุบโลหะภายในถังชุบโลหะอยู่ในช่วง 24 ถึง 31 °ซ ท่อลมวางนอนอยู่บริเวณพื้นถังภายใต้ขั้วแคโทค โดยเจาะรูสำหรับเป่าลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ทำมุม 90 องศากับก้นถัง ระยะห่างระหว่างรู 5 เซนติเมตร

เครื่องกรองน้ำยาจะต่อกับถังชุบโลหะ โดยน้ำยาถูกดูดเข้าเครื่องกรองและไหลเข้าถังชุบโลหะทำให้สามารถกรองน้ำยาได้ตลอดเวลาการทำงาน ขั้วแเอโนคและขั้วแคโทคต่อกับเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า

6.1.2 การศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อกระบวนการชุบโลหะ

วิธีการทดลองผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อกระบวนการชุบโลหะ แสดงในภาคผนวก ค.1 โดยพิจารณาผลการทดลองจากความเงาและความหนาของชิ้นงานทดลอง ใช้สภาวะต่าง ๆ ในการทดลองตามข้อมูลที่ทางโรงงานให้อยู่ในปัจจุบัน คือ ระยะห่างระหว่างขั้วประมาณ 20 ถึง 25 เซนติเมตร ท่อลมทำมุม 90 องศากับก้นถัง อุณหภูมิของน้ำยาชุบจะใช้ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตน้ำยาชุบคือ 24 ถึง 28 °ซ ข้อมูลดิบผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ค.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. พื้นที่ของขั้วแอมโนคต่อขั้วแคโทดที่เหมาะสมในการชุบโลหะ

จากข้อมูลที่ได้ พื้นที่ของขั้วแอมโนคต่อขั้วแคโทดที่ใช้ในปัจจุบันนั้นมีค่ามาก จึงทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสม สรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองเรื่องพื้นที่ของขั้วแอมโนคต่อขั้วแคโทดที่เหมาะสมในการชุบโลหะ

พื้นที่ขั้วแอมโนคต่อพื้นที่ขั้วแคโทด	ความหนาเฉลี่ย (ไมครอน)
1 : 1	8.94
1.5 : 1	14.55
2 : 1	18.60
4 : 1	18.70
8 : 1	20.00
12 : 1	20.50
16 : 1	18.30
20 : 1	17.30
24 : 1	17.70

จากผลการทดลอง เมื่ออัตราส่วนพื้นที่ของขั้วแอมโนคต่อขั้วแคโทดมากกว่า 2 : 1 จะได้ความหนาของชิ้นงานที่มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่อัตราส่วนพื้นที่ของขั้วแอมโนคต่อขั้วแคโทดมากๆ จะพบว่ามีปัญหาหน้ายาเงามาเกาะที่ผิวของขั้วแอมโนค ทำให้ต้องสูญเสียเวลาในการทำความสะอาดผิวขั้วแอมโนค ทั้งยังอาจทำให้ชิ้นงานที่ชุบได้หมองไม่เงางาม แต่ถ้าอัตราส่วนพื้นที่ของขั้วแอมโนคต่อขั้วแคโทดต่ำกว่า 2 : 1 แล้ว ความหนาของชิ้นงานที่ได้จะน้อยลงอย่างเห็นได้ชัด อัตราส่วนพื้นที่ของขั้วแอมโนคต่อขั้วแคโทดที่ใช้จึงต้องไม่น้อยกว่า 2 : 1 และไม่ควรมากเกินไป ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการชุบโลหะทองแดงแบบกรด พื้นที่ของขั้วแอมโนคต่อขั้วแคโทดต้องไม่น้อยกว่า 2 : 1

ข. ระยะห่างระหว่างขั้วแอมโนคและขั้วแคโทด

จากข้อมูลของบริษัทที่ทางโรงงานได้สั่งซื้อน้ำยาเง สำหรับชุบโลหะทองแดงแบบกรด ระยะห่างระหว่างขั้วแอมโนคและขั้วแคโทดควรมีค่าประมาณ 10 เซนติเมตร แต่โรงงานมีระยะห่างระหว่างขั้วแอมโนคและขั้วแคโทดประมาณ 20 – 25 เซนติเมตร ซึ่งระยะห่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างขั้วแอ โนดและขั้วแคโทดที่แตกต่างกันนั้น ทำให้เวลาที่ใช้ในกระบวนการชุบชิ้นงานให้มีความเงางามมีความแตกต่างกันไปด้วย เช่น ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนดและขั้วแคโทดที่ 10 เซนติเมตรและ 20 เซนติเมตร ระยะห่างที่ 10 เซนติเมตรจะใช้เวลาในการชุบน้อยกว่าระยะห่างที่ 20 เซนติเมตร [6] จากการทดลองโดยใช้สภาวะอื่น ๆ ตามข้อมูลเบื้องต้น และใช้พื้นที่ของขั้วแอ โนดต่อขั้วแคโทดที่ 2 : 1 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองใน 6.1.2 ก. สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองเรื่องระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนดและขั้วแคโทด

ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนด และขั้วแคโทด (ซ.ม.)	ความหนาเฉลี่ย (ไมครอน)
25	18.25
20	18.05
15	18.55
10	19.35

จากผลการทดลอง เมื่อระยะห่างระหว่างขั้วลดลง เวลาที่ใช้ในการชุบชิ้นงานให้มีความเงางามจะน้อยลง เนื่องจากที่ระยะห่างน้อยๆ การเรียงตัวของผลึกของโลหะจะมีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบชิ้นงานที่ได้จึงมีความเงางาม แต่ที่ระยะห่างมากๆ การเรียงตัวของผลึกของโลหะจะมีการเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบชิ้นงานที่ได้จึงมีความเงางามน้อยกว่า

ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนดและขั้วแคโทดที่เหมาะสมสำหรับโรงงานคือประมาณ 15 เซนติเมตร เพราะใช้เวลาในการชุบชิ้นงานน้อยและความหนาของชิ้นงานยังอยู่ในมาตรฐาน อีกทั้งสามารถปฏิบัติงานได้สะดวก แต่ถ้าระยะห่างน้อยเกินไป การแขวนที่แขวนชิ้นงานกับขั้วแคโทด และการหยิบที่แขวนชิ้นงานจากขั้วแคโทดก็กระทำได้อำบากยิ่งขึ้น เพราะชิ้นงานที่เข้ากระบวนการชุบโลหะไม่ได้มีลักษณะผิวเรียบเพียงอย่างเดียว แต่ชิ้นงานบางประเภทมีลักษณะเป็นวงแหวน ขวดน้ำหอม เมื่อพ้นชิ้นงานกับที่แขวนชิ้นงาน ชิ้นงานจะยื่นออกจากตัวที่แขวนชิ้นงาน ซึ่งถ้าระยะห่างของระหว่างขั้วน้อยเกินไปชิ้นงานอาจการกระทบกับขั้วจนเกิดรอยบนชิ้นงานขึ้นได้

ค. อุณหภูมิที่ของน้ำยาชุบโลหะในการชุบโลหะทองแดงแบบกรด

อุณหภูมิของน้ำยาชุบโลหะในปัจจุบันจะอยู่ในช่วง 24 ถึง 31 °ซ โดยในช่วงเข้าอุณหภูมิประมาณ 24 °ซ และจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงบ่าย ในช่วงฤดูร้อนอุณหภูมิจะสูงมากยิ่งขึ้น การลดอุณหภูมิของน้ำยาชุบจะใช้น้ำเย็นหล่อเย็นเป็นตัวลดอุณหภูมิของน้ำยาชุบ จากการทดลองโดยใช้สภาวะอื่น ๆ ตามข้อมูลเบื้องต้น และใช้พื้นที่ของขั้วแอโนดต่อขั้วแคโทดที่อัตราส่วน 2 : 1 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองใน 6.1.2 ก. ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทด 15 เซนติเมตร ซึ่งเป็นข้อมูลที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองใน 6.1.2 ข. ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ผลการทดลองเรื่องอุณหภูมิที่ใช้ในการชุบโลหะทองแดงแบบกรด

อุณหภูมิของน้ำยาชุบ โลหะ (°ซ)	ความหนาเฉลี่ย (ไมครอน)
15	17.25
20	18.75
22	17.70
24	18.00
26	17.25
28	17.40
30	17.20
35	18.40

จากผลการทดลอง ค่าความหนาของชิ้นงานมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิในช่วง 15 ถึง 35 °ซ ไม่มีผลต่อความหนาของชิ้นงานในการชุบโลหะทองแดงแบบกรดอย่างชัดเจน แต่อุณหภูมิจะมีผลกับน้ำยาเงาในน้ำยาชุบโลหะทองแดงแบบกรด ดังนั้นจึงทำการทดสอบน้ำยาชุบด้วยวิธีฮัลเซลล์ แสดงในภาคผนวก ก. เพื่อวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิต่อการชุบโลหะทองแดงแบบกรด โดยวิธีการทดลองแสดงในภาคผนวก ค.3 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 6.4

จากผลการทดลองฮัลเซลล์ ที่อุณหภูมิ 15 ถึง 35 °ซ เมื่อทำการทดลองฮัลเซลล์ที่เวลาทดลองนานมากขึ้นจะได้รับความเงามากขึ้น ซึ่งที่ช่วงอุณหภูมิ 24 ถึง 26 °ซ จะได้

ลักษณะของผิวแผ่นทดลองที่เงา สวยงาม และ ได้ความเงาภายในเวลาที่เร็วที่สุด จึงสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิของน้ำยาชุบ โลหะที่เหมาะสม คือช่วงอุณหภูมิระหว่าง 24 ถึง 26 °ซ

ตารางที่ 6.4 ผลการทดลองอัลเซตล์

อุณหภูมิ	ลักษณะของแผ่นทองเหลืองที่เวลา		
	2 นาที	4 นาที	6 นาที
15°ซ	แผ่นมัว	แผ่นมัว	แผ่นมัว
20°ซ	แผ่นมัว	แผ่นมัว	แผ่นมัว
22°ซ	แผ่นมัว	แผ่นมัว	แผ่นมัว
24°ซ	แผ่นมัวใน ด้านกระแสไฟฟ้าต่ำ	แผ่นเงา สวยงาม	แผ่นเงาสวยงาม
26°ซ	แผ่นมัวใน ด้านกระแสไฟฟ้าต่ำ	แผ่นเงา สวยงาม	แผ่นเงาสวยงาม
28°ซ	แผ่นมัวทั้งแผ่น เป็นฝ้า	แผ่นมัว ด้านกระแสไฟฟ้าสูง จะเงากว่าที่อุณหภูมิสูง	มีความเงามากขึ้น มัวเล็กน้อย ด้านกระแสไฟฟ้าต่ำ
30°ซ	แผ่นมัวทั้งแผ่น เป็นฝ้า	แผ่นมัว เป็นฝ้า ด้านกระแสไฟฟ้าสูง จะเงานิดหน่อย	มีความเงามากขึ้น มัวเล็กน้อย ด้านกระแสไฟฟ้าต่ำ
35°ซ	แผ่นมัวทั้งแผ่น เป็นฝ้า	แผ่นมัว เป็นฝ้า ด้านกระแสไฟฟ้าสูง จะเงานิดหน่อย	แผ่นมัว เป็นฝ้า ด้านกระแสไฟฟ้าสูง จะเงามากกว่าที่ 4 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. ลักษณะการเป่าลมในการชุบทองแดงแบบกรด

จากข้อมูลลักษณะดังรูปโลหะ ท่อลมจะอยู่บริเวณก้นถังและในแนวเดียวกันกับที่แขวนชิ้นงาน โดยมีลักษณะดังรูปที่ 6.2 จากการทดลองโดยใช้สภาวะคือ พื้นที่ของขั้วแอโนดต่อขั้วแคโทดที่ 2 : 1 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองใน 6.1.2 ก. ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทด 15 เซนติเมตร ซึ่งเป็นข้อมูลที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองใน 6.1.2 ข. อุณหภูมิระหว่าง 24 ถึง 26 °C สามารถสรุปผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 6.5



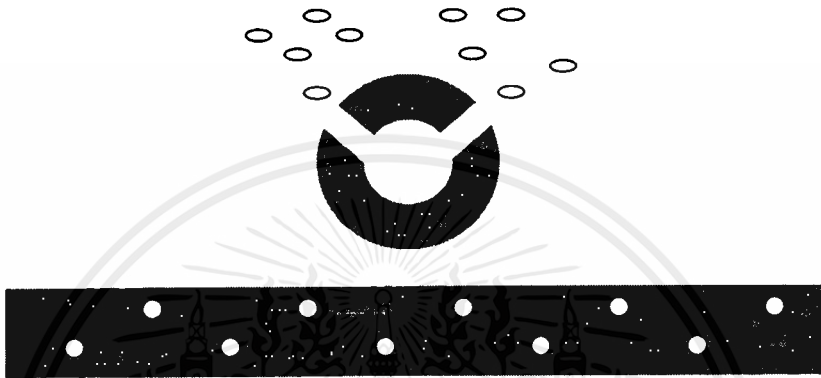
รูปที่ 6.2 ลักษณะท่อลมที่ใช้ในถังชุบโลหะทองแดงแบบกรด

ตารางที่ 6.5 ผลการทดลองลักษณะการเป่าลมในการชุบโลหะทองแดงแบบกรด

มุมของรูที่ทำกับก้นถัง	ความหนาเฉลี่ย (ไมครอน)
30°	17.75
45°	18.00
60°	17.40
90°	18.40

จากผลการทดลอง ความหนาเฉลี่ยมีค่าที่ใกล้เคียงกันแสดงให้เห็นว่า มุมของรูที่ทำกับก้นถังไม่มีผลต่อความหนาของชิ้นงานอย่างชัดเจน ซึ่งลมจะใช้ในการกวนน้ำยาชุบโลหะเป็นการไล่ฟองอากาศที่เกิดที่ผิวชิ้นงาน จึงทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงลักษณะของลมที่ได้จากท่อลม ดังแสดงในภาคผนวก ค.4 โดยมุมของรูที่ทำกับก้นถังที่เหมาะสมคือ 30 องศา เนื่องจากฟองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศที่ลอยขึ้นมาจะกระทบกับชิ้นงานน้อยที่สุด โดยจะลอยผ่านผิวของชิ้นงานทั้งสองข้างเป็นส่วนใหญ่ และควรลดขนาดของรูลงเป็นประมาณ 2 มิลลิเมตร เพื่อให้ฟองของลมที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กกลง และปริมาณที่เหมาะสมของลมคือ ประมาณ 3–4 ลูกบาศก์เมตรต่อความยาวของท่อลม 1 เมตร วัดโดยการแทนที่น้ำ ที่ขนาดรู 2 มิลลิเมตร เจาะทุกความยาว 5 เซนติเมตร



รูปที่ 6.3 ลักษณะท่อลมที่แนวของรูทำมุม 30 องศา กับพื้นตั้ง

6.2 ผลการดำเนินงาน

การชุบโลหะทองแดงแบบกรด เป็นกระบวนการที่สำคัญมาก เพราะชิ้นงานทุกชนิดต้องผ่านการชุบโลหะทองแดงแบบกรด เพื่อสร้างความเงางามให้กับชิ้นงาน จากการทดลอง พื้นที่ของขั้วแอโนดต่อขั้วแคโทด และระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทด มีผลต่อความหนาของชิ้นงานและเวลาที่ใช้ในการชุบชิ้นงานให้มีความเงางามในกระบวนการชุบโลหะทองแดงแบบกรดอย่างชัดเจน เพราะเมื่อทำการปรับพื้นที่ของขั้วแอโนดต่อขั้วแคโทดแล้วทำให้ความหนาของชิ้นงานที่ได้มีค่าแตกต่างกัน และเมื่อทำการปรับระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทดแล้วทำให้ใช้เวลาในการชุบชิ้นงานให้มีความเงางามน้อยลง อุณหภูมินั้น ไม่มีผลต่อความหนาของชิ้นงานโดยตรง แต่มีผลต่อองค์ประกอบอื่น ๆ โดยอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้บริเวณผิวชิ้นงานนั้นเกิดฝ้า และใช้เวลานานในการชุบโลหะเพื่อให้ได้ความเงางามตามต้องการ เช่นเดียวกันกับการเป่าลมในถังชุบโลหะ จะใช้เพื่อกวนน้ำยาชุบโลหะเพื่อให้ฟองอากาศที่เกิดขึ้นและเกาะอยู่บริเวณผิวชิ้นงานหลุดออกไป ทำให้กระบวนการชุบโลหะนั้นมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

ลักษณะของถังชุบโลหะที่เหมาะสมนั้น อัตราส่วนพื้นที่ของขั้วแอโนดต่อขั้วแคโทดต้องไม่น้อยกว่า 2 : 1 เพราะถ้าอัตราส่วนของขั้วแอโนดต่อขั้วแคโทดน้อยกว่าแล้วจะมีผลทำให้ความหนาชิ้นงานที่ได้ลดลง ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทดควรใช้ที่ประมาณ 15 เซนติเมตร

เพราะชิ้นงานที่ได้มีความเงางามรวดเร็วขึ้น และการเขว่นที่เขว่นชิ้นงานกับขั้วแคโทดหรือการหีบที่เขว่นชิ้นงานจากขั้วแคโทดด้านในกระทำได้สะดวกขึ้น

อุณหภูมิของน้ำยาชุบโลหะควรอยู่ในช่วง 24 ถึง 26 °ซ เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความเงาและมีความสวยงามเร็วที่สุด ลักษณะการเป่าลมควรจัดให้แนวของรูที่ท่อทำมุมประมาณ 30 องศากับพื้นตั้ง และควรลดขนาดของรูลงเป็นประมาณ 2 มิลลิเมตร เพื่อให้ฟองของลมที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กและลอยผ่านด้านข้างของชิ้นงาน กระทับกับชิ้นงานน้อยที่สุด จึงช่วยลดการแกว่งของชิ้นงานมากระทับกัน ทำให้ลดการเกิดรอยขีดข่วนบนชิ้นงานได้ โดยเฉพาะรูทุกความยาว 5 เซนติเมตร ปริมาณลมที่เหมาะสม คือ ประมาณ 3 – 4 ลูกบาศก์เมตรต่อความยาวของท่อลม 1 เมตร



บทที่ 7

การลดปริมาณการใช้ลวดทองแดง และหาลักษณะการพันลวดทองแดงที่เหมาะสม

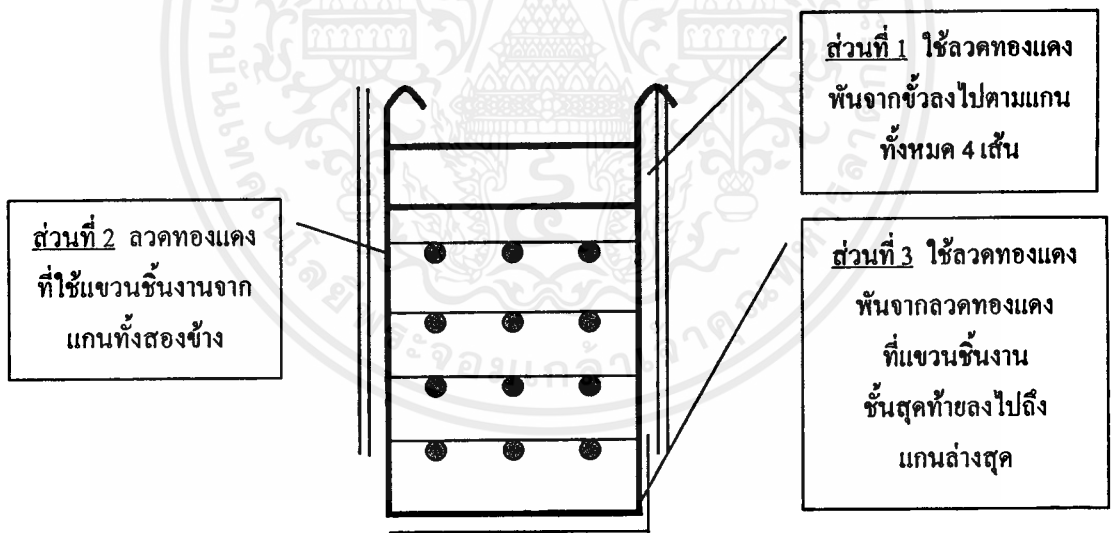
โรงงานมีการสูญเสียลวดทองแดงที่ใช้ในการพันชิ้นงานประมาณ 872 กิโลกรัมต่อปี และมีการสูญเสียโลหะทองแดงและโลหะนิกเกิลที่ติดไปกับลวดทองแดง ซึ่งถ้าคิดเป็นค่าใช้จ่ายรวมทั้งสิ้นประมาณ 203,000 บาทต่อปี [4]

ลักษณะในการพันลวดทองแดงโดยทั่วไปแบบปัจจุบันของโรงงานแสดงดังรูปที่ 7.1 แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 ลวดทองแดงที่พันจากขั้วลงไปตามแกนของที่แขวนชิ้นงาน (Rack)

ส่วนที่ 2 ลวดทองแดงที่พันชิ้นงาน ซึ่งพันจากแกนทั้งสองข้างของที่แขวนชิ้นงาน

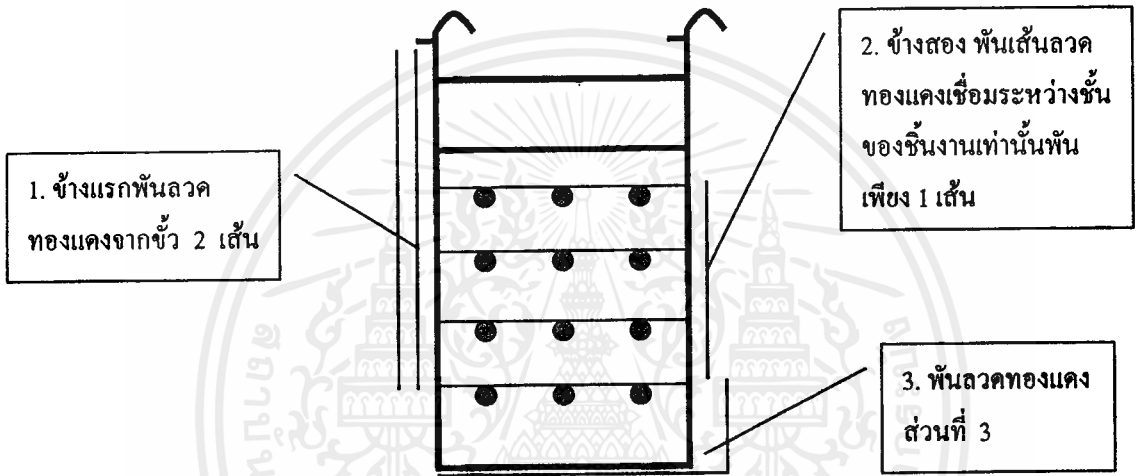
ส่วนที่ 3 ลวดทองแดงที่พันจากลวดทองแดงชั้นสุดท้ายไปยังแกนล่างสุดของที่แขวนชิ้นงาน



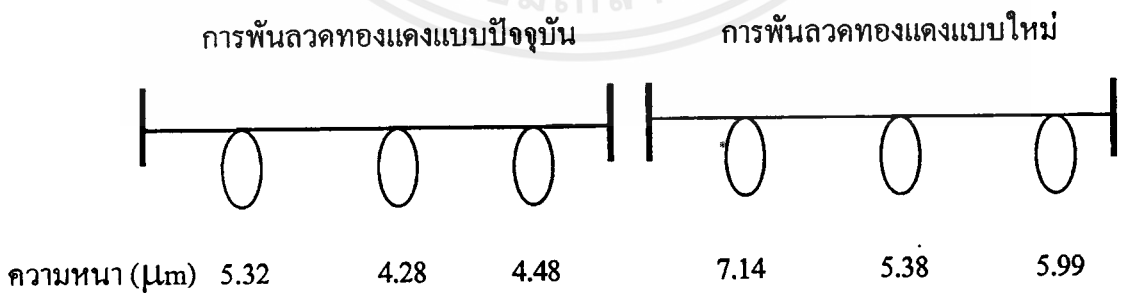
รูปที่ 7.1 การพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน

จากรายงานการฝึกงานภาคฤดูร้อน [4] ได้ผลการทดลองของการพันลวดทองแดงแบบใหม่แสดงดังรูปที่ 7.2 ซึ่งผลของการพันลวดทองแดงแบบใหม่นี้สามารถลดปริมาณการใช้ลวดทองแดง และยังทำให้ชิ้นงานที่ชุบมีความหนาแน่นมากกว่าการชุบแบบพันลวดทองแดงในลักษณะเดิม

อีกด้วย เปรียบเทียบค่าความหนาของชิ้นงานแสดงดังรูปที่ 7.3 จากความหนาที่แสดง จึงได้ว่าสามารถประหยัดค่าลวดทองแดง ค่าโลหะทองแดงและโลหะนิกเกิลที่เกาะไปกับลวดทองแดง ทั้งยังลดเวลาในการชุบได้อีกด้วย เนื่องจากได้ความหนาที่ต้องการเร็วขึ้น แต่ลักษณะในการพันลวดทองแดงแบบใหม่ยังมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถชุบชิ้นงานประเภทสกร้อยได้ เพราะสกร้อยมีข้อต่อเชื่อมกันมาก จึงทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถเดินผ่านชิ้นงานได้อย่างสะดวก



รูปที่ 7.2 วิธีการพันลวดทองแดงแบบใหม่



รูปที่ 7.3 เปรียบเทียบความหนาของชิ้นงานจากการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันและการพันลวดทองแดงแบบใหม่

7.1 การเก็บข้อมูลลักษณะการพันลวดทองแดงและปริมาณการใช้ลวดทองแดง

ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบเดิมของโรงงานขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นงาน โดยสามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 4 ประเภทคือ

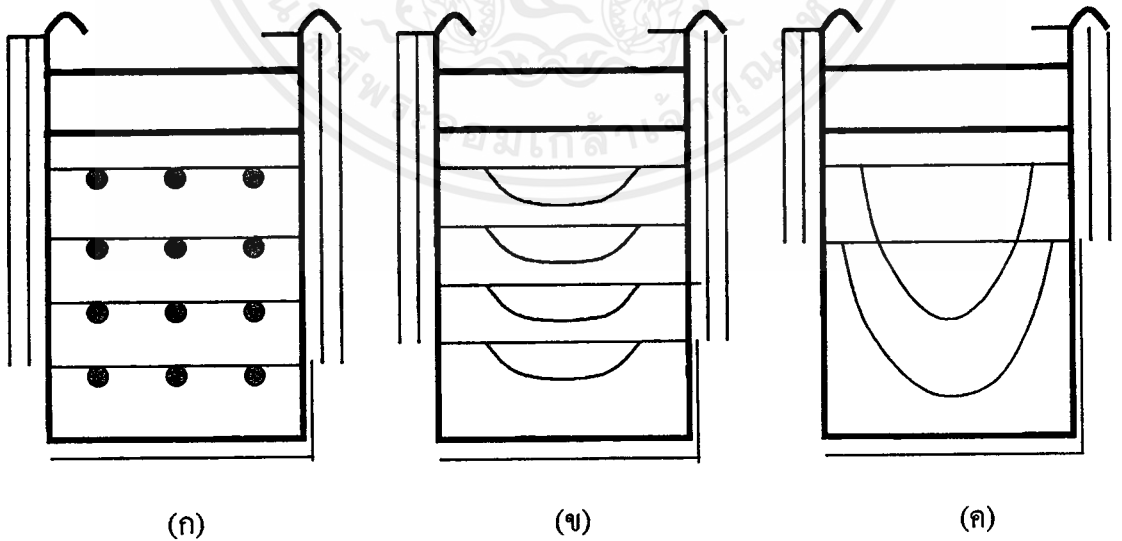
ก. ชิ้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก ชิ้นงานประเภทนี้มีจำนวนมากที่สุดในการชุบคิดได้ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ของงานที่เข้าสู่กระบวนการชุบโลหะทั้งหมด ชิ้นงานในประเภทนี้เช่น จีต่างหู เข็มกลัด ฯลฯ

ข. ชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ ชิ้นงานประเภทนี้เข้าสู่กระบวนการชุบคิดได้ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ของงานที่เข้าสู่กระบวนการชุบโลหะทั้งหมด

ค. ชิ้นงานประเภทสร้อยคอ ชิ้นงานประเภทนี้เข้าสู่กระบวนการชุบคิดได้ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ของงานที่เข้าสู่กระบวนการชุบโลหะทั้งหมด

ง. ชิ้นงานประเภทอื่น ๆ ชิ้นงานประเภทนี้เข้าสู่กระบวนการชุบคิดได้ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของงานที่เข้ากระบวนการชุบโลหะทั้งหมด เช่น ขวดน้ำหอม ค้ามืด กรอบรูป ฯลฯ

ชิ้นงานทั้ง 4 ประเภทนี้มีลักษณะการพันลวดทองแดงที่ไม่แตกต่างกันมาก ในที่นี้จะทำการทดลองหาลักษณะการพันลวดทองแดงที่เหมาะสมใน 3 ประเภทแรกเท่านั้น เพราะเป็นชิ้นงานหลักที่เข้าสู่กระบวนการชุบโลหะ โดยคิดเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ของกระบวนการชุบโลหะทั้งหมด ลักษณะการพันลวดทองแดงทั้ง 3 ประเภทแสดงดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 ลักษณะการพันลวดทองแดงแต่ละประเภทของชิ้นงาน (ก) ชิ้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก (ข) ชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ (ค) ชิ้นงานประเภทสร้อยคอ

เมื่อทำการเก็บข้อมูลความยาวลวดทองแดงเฉลี่ยที่ใช้ในการพันชิ้นงานต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน วัดค่าความหนาของโลหะทองแดง โลหะนิกเกิลที่ติดไปกับลวดทองแดง และทำการเก็บข้อมูลอื่น ๆ ได้ดังนี้

ความยาวลวดทองแดงเฉลี่ย = 6.78 เมตรต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน แยกออกได้เป็นสองส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่หนึ่ง ความยาวลวดทองแดงที่ติดไปกับที่แขวนชิ้นงาน = 6.58 เมตรต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน ส่วนที่สอง ความยาวของเศษที่เหลือจากการพันลวดทองแดง = 0.20 เมตรต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน ความยาวลวดทองแดงที่ติดไปกับที่แขวนชิ้นงานต่อพื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ย เท่ากับ 3.00 เมตรต่อตารางเดซิเมตร (ภาคผนวก ง.1)

พื้นที่เฉลี่ย = 2.20 ตารางเดซิเมตรต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน (ภาคผนวก ง.1)

ความหนาของโลหะทองแดงที่ติดไปกับลวดทองแดง = 77.0 ไมครอน (μm)

ความหนาของโลหะนิกเกิลที่ติดไปกับลวดทองแดง = 22.8 ไมครอน (μm)

(ภาคผนวก ง.2)

จากข้อมูลเบื้องต้นนี้ สามารถทำการคำนวณหาจำนวนที่แขวนชิ้นงานต่อปีได้เท่ากับ 50,700 อัน และสามารถคำนวณหาพื้นที่ที่ทำการชุบโลหะต่อปีได้เท่ากับ 111,500 ตารางเดซิเมตร (ภาคผนวก ง.3)

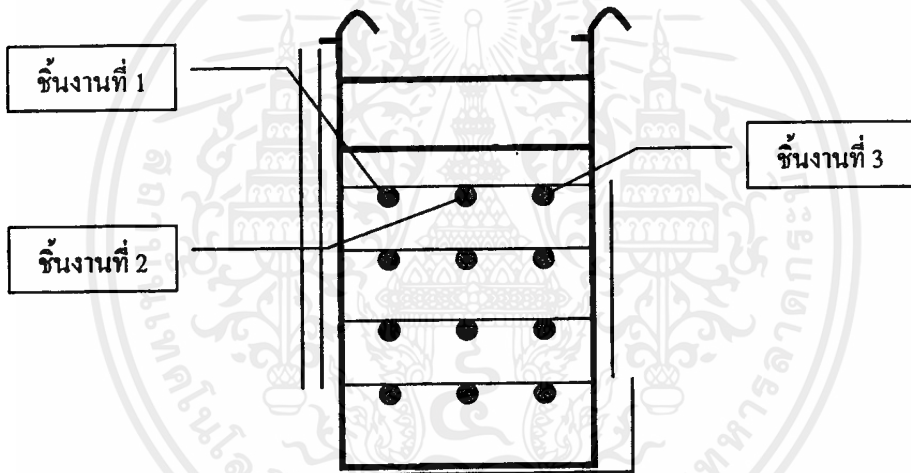
7.2 การออกแบบและการทดลองลักษณะการพันลวดทองแดง

จากรายงานการฝึกงานภาคฤดูร้อน [4] ได้ทำการทดลองหาลักษณะการพันลวดทองแดงแบบใหม่ แต่ในวิธีการพันลวดทองแดงแบบใหม่นี้ยังพบปัญหาว่าไม่สามารถใช้กับสกรูยต่าง ๆ ซึ่งมีข้อต่อมาก ๆ ได้ เมื่อข้อต่อมีมากกระแสไฟฟ้าจะไหลได้ไม่สะดวก โดยในการทดลองดังกล่าวได้เน้นถึงการลดปริมาณการใช้ลวดทองแดงเพียงอย่างเดียว ซึ่งการพันลวดทองแดงโดยหลักแล้วยังเหมือนเดิม แต่เนื่องจากในปัจจุบันโรงงานพบปัญหาในการชุบงานไม่ทันตามกำหนดมีงานค้างอยู่เป็นจำนวนมาก จึงทำการทดลองเน้นในการเพิ่มปริมาณงานให้ได้มากที่สุดต่อที่แขวนชิ้นงาน และปริมาณลวดทองแดงที่ใช้ต่อพื้นที่ของชิ้นงานลดลง จึงได้ออกแบบและทำการทดลองหาลักษณะการพันชิ้นงานของชิ้นงาน 3 ประเภทหลักของโรงงาน โดยพันชิ้นงานตามลักษณะที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งการทดลองได้กระทำการชุบในกระบวนการชุบจริง แล้วนำไปวัดความหนาที่ได้

ก. ชิงงานประเภทที่มีขนาดเล็ก

แบบที่ 1 มีลักษณะการพันลวดทองแดงดังรูปที่ 7.5 ซึ่งมีลักษณะการพันลวดทองแดงแบบเดียวกับที่ได้จากรายงานการฝึกงานภาคฤดูร้อน [4] โดยแสดงการเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันและแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 7.1 และข้อมูลจากผลการทดลองที่ได้ คือ

1. ความยาวลวดทองแดงที่ใช้ต่อที่แวนชิงงาน 1 อัน = 5.98 เมตร
2. ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ของชิงงาน = 2.63 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
3. ปริมาณการใช้ลวดทองแดงลดลง = 12.3 %



รูปที่ 7.5 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 1 สำหรับชิงงานประเภทที่มีขนาดเล็ก

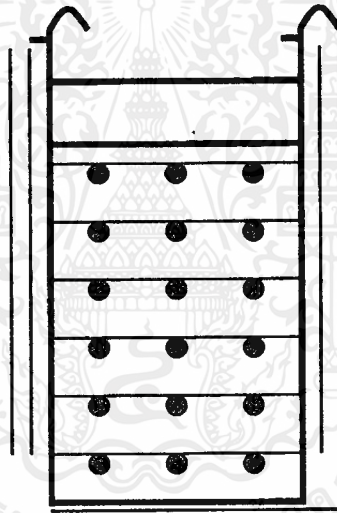
ตารางที่ 7.1 ข้อมูลเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันและแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง สำหรับชิงงานประเภทที่มีขนาดเล็ก (ภาคผนวก ง.4)

ลักษณะการพันลวดทองแดง	ความหนาเฉลี่ย (ไมครอน)
แบบปัจจุบัน	8.83
แบบใหม่	9.44

หมายเหตุ ตัวอย่าง ความหนาเฉลี่ย 8.83 ไมครอน คือ ค่าเฉลี่ยจากความหนาเฉลี่ยชิงงาน 3 ชั้น คือ 8.66, 8.56 และ 9.26 ในตารางที่ ง.3

แบบที่ 2 มีลักษณะการพันลวดทองแดงค้ำรูปที่ 7.6 ซึ่งมีลักษณะการพันลวดทองแดงเหมือนแบบปัจจุบัน เป็นการพันขึ้นงานโดยเพิ่มจำนวนแถวของขึ้นงานเข้าไปอีก 2 แถว ทำให้ได้ปริมาณขึ้นงานในการขุบมากขึ้น อีกทั้งลดปริมาณการใช้ลวดทองแดงลงได้ เมื่อเทียบพื้นที่ผิวของขึ้นงานที่ขุบโลหะได้ที่จำนวนเท่ากัน โดยแสดงการเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันและแบบที่ 2 ที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 7.2 และข้อมูลจากผลการทดลองที่ได้ คือ

1. ความยาวลวดทองแดงที่ใช้ต่อที่แขวนขึ้นงาน 1 อัน = 6.94 เมตร
2. ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ของขึ้นงาน = 2.45 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
3. ปริมาณการใช้ลวดทองแดงลดลง = 18.3 %



รูปที่ 7.6 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 2 สำหรับขึ้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก

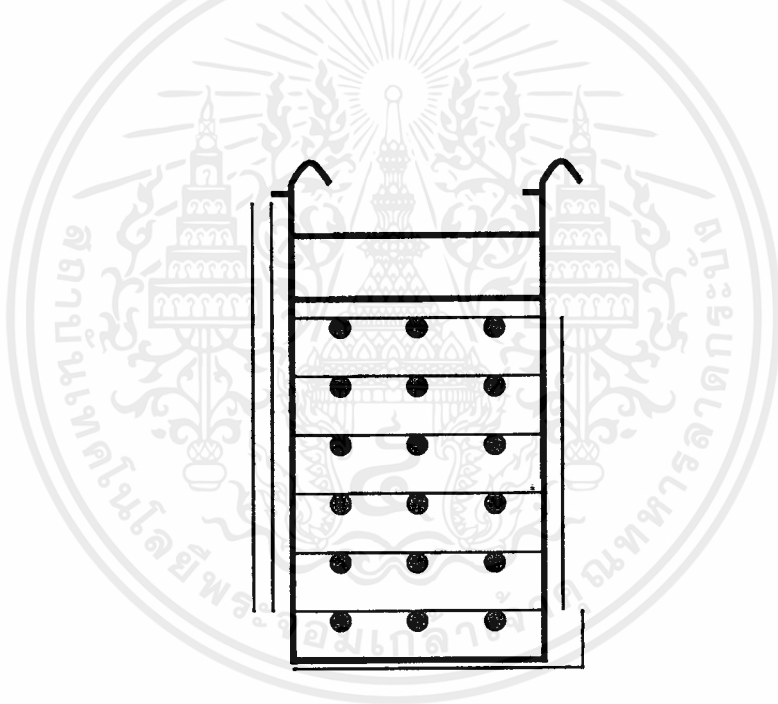
ตารางที่ 7.2 ข้อมูลเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันและแบบที่ 2 ที่ได้จากการทดลอง สำหรับขึ้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก (ภาคผนวก ง.4)

ลักษณะการพันลวดทองแดง	ความหนาเฉลี่ย (ไมครอน)
แบบปัจจุบัน	8.83
แบบใหม่	8.56

หมายเหตุ ความหนาเฉลี่ยการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันใช้ข้อมูลร่วมกับตารางที่ 7.1

จากการผลทดลอง ในแบบที่ 1 สามารถทำให้ความหนาโดยเฉลี่ยของชิ้นงานที่ได้หนา
มากขึ้น ทั้งยังประหยัดลวดทองแดงได้อีกด้วย ในแบบที่ 2 ความหนาของชิ้นงานโดยเฉลี่ยที่ได้น้อย
กว่าแบบปัจจุบัน แต่แบบที่ 2 สามารถชุบโลหะได้ในปริมาณที่มากขึ้น ลดปริมาณงานค้างลงได้
และลดปริมาณลวดทองแดงเมื่อคิดที่ปริมาณพื้นที่ที่สามารถชุบได้เท่ากับแบบปัจจุบัน ซึ่งทาง
โรงงานได้ให้ความสนใจในการพันลวดทองแดงแบบที่ 2 นี้

ถ้านำลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 1 และแบบที่ 2 มาใช้ร่วมกันดังรูปที่ 7.7 จะ
ทำให้ไม่สามารถทำการชุบได้ เนื่องจากปริมาณชิ้นงานมีมากขึ้นจึงต้องเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าให้
มากขึ้น ลวดทองแดงทั้ง 2 เส้นทางด้านซ้ายจึงต้องรับปริมาณกระแสไฟฟ้ามากขึ้น ซึ่งลวดทองแดง
ไม่สามารถทนกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นได้ เส้นลวดทองแดงจึงอาจขาดได้

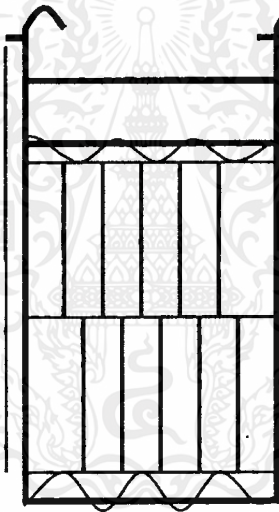


รูปที่ 7.7 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 1 และแบบที่ 2 รวมกัน
สำหรับชิ้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก

ข. ชี้นำงานประเภทสร้อยข้อมือ

แบบที่ 1 มีลักษณะการพันลวดทองแดงคังรูปที่ 7.8 โดยเปลี่ยนจากการพันชี้นำงานในแนวนอนมาเป็นการพันชี้นำงานในแนวตั้ง โดยแสดงการเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันและแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลองคังตารางที่ 7.3 และข้อมูลจากผลการทดลองที่ได้ คือ

1. ความยาวลวดทองแดงที่ใช้ต่อที่แวนงาน 1 อัน = 6.40 เมตร
2. ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ของชี้นำงาน = 1.13 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
3. ปริมาณการใช้ลวดทองแดงลดลง = 62.3 %



รูปที่ 7.8 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 1 สำหรับชี้นำงานประเภทสร้อยข้อมือ

ตารางที่ 7.3 ข้อมูลเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันและแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง สำหรับชี้นำงานประเภทสร้อยข้อมือ (ภาคผนวก ง.5)

ลักษณะการพันลวดทองแดง	ความหนาเฉลี่ย (ไมครอน)
แบบปัจจุบัน	4.33
แบบใหม่	3.41

แบบที่ 2 มีลักษณะการพันลวดทองแดงดังรูปที่ 7.9 มีลักษณะการพันลวดทองแดงคล้ายกับแบบที่ 1 แต่ต่างกันตรงที่ลวดทองแดงทั้ง 2 ข้างของที่แขวนชิ้นงาน จะยาวลงมาถึงลวดทองแดงเส้นที่ 2 ในแนวนอน โดยแสดงการเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันและแบบที่ 2 ที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 7.4 และข้อมูลจากผลการทดลองที่ได้ คือ

1. ความยาวลวดทองแดงที่ใช้ต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน = 6.85 เมตร
2. ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ของชิ้นงาน = 1.21 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
3. ปริมาณการใช้ลวดทองแดงลดลง = 59.7 %



รูปที่ 7.9 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 2 สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ

ตารางที่ 7.4 ข้อมูลเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันและแบบที่ 2 ที่ได้จากการทดลอง สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ (ภาคผนวก ง.5)

ลักษณะการพันลวดทองแดง	ความหนาเฉลี่ย (ไมครอน)
แบบปัจจุบัน	4.33
แบบใหม่	3.99

หมายเหตุ ความหนาเฉลี่ยการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันใช้ข้อมูลร่วมกับตารางที่ 7.3

แบบที่ 3 มีลักษณะการพันลวดทองแดงดังรูปที่ 7.10 มีลักษณะการพันลวดทองแดงคล้ายกับแบบที่ 1 แต่ต่างกันตรงที่ลวดทองแดงทั้ง 2 ข้างของที่แขวนชิ้นงาน จะยาวลงมาถึงลวดทองแดงเส้นล่างสุดในแนวนอน โดยแสดงการเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันและแบบที่ 3 ที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 7.5 และข้อมูลจากผลการทดลองที่ได้ คือ

1. ความยาวลวดทองแดงที่ใช้ต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน = 7.30 เมตร
2. ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ของชิ้นงาน = 1.29 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
3. ปริมาณการใช้ลวดทองแดงลดลง = 57.0 %



รูปที่ 7.10 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 3 สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ

ตารางที่ 7.5 ข้อมูลเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันและแบบที่ 3 ที่ได้จากการทดลอง สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ (ภาคผนวก ง.5)

ลักษณะการพันลวดทองแดง	ความหนาเฉลี่ย (ไมครอน)
แบบปัจจุบัน	4.33
แบบใหม่	4.00

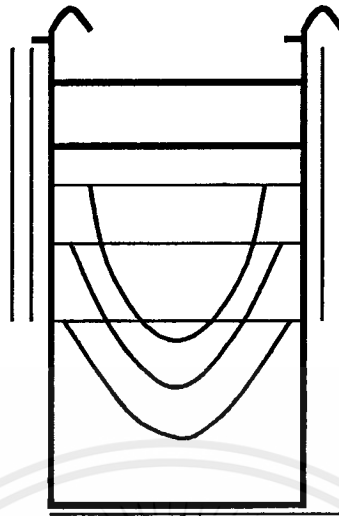
หมายเหตุ ความหนาเฉลี่ยการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันใช้ข้อมูลร่วมกับตารางที่ 7.3

จากการทดลองทั้ง 3 แบบ ในแบบที่ 1 ความหนาชิ้นงานโดยเฉลี่ยที่ได้มีค่าน้อยกว่า การพันลวดทองแดงในปัจจุบัน และพบปัญหาว่ากระแสไฟฟ้าไหลได้ไม่ดีเท่าที่ควร เพราะชิ้นงานในแต่ละชิ้นมีความหนาที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก ลักษณะการพันชิ้นงานในแบบที่ 2 และแบบที่ 3 ความหนาชิ้นงานเฉลี่ยที่ได้ใกล้เคียงกัน ความหนาชิ้นงานเฉลี่ยที่ได้มีค่าน้อยกว่าการพันชิ้นงานแบบปัจจุบันเพียงเล็กน้อย แต่ในแบบที่ 3 จะใช้ปริมาณลวดทองแดงมากกว่าในแบบที่ 2 ดังนั้นวิธีการพันลวดทองแดงที่เหมาะสมและประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุด คือ แบบที่ 2 การพันลวดทองแดงวิธีนี้สามารถทำให้ชุบโลหะได้ในปริมาณที่มากขึ้นจึงลดปริมาณงานค้างลง และลดปริมาณลวดทองแดงเมื่อคิดที่ปริมาณพื้นที่ที่สามารถชุบได้เท่ากันกับการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน ทั้งการพันลวดทองแดงในลักษณะนี้ยังช่วยลดปริมาณชิ้นงานเสียที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงานไม่ดี และชิ้นงานเสียที่เกิดการกระทบกันเป็นรอยบนชิ้นงาน

ค. ชิ้นงานประเภทสร้อยคอ

แบบที่ 1 มีลักษณะการพันลวดทองแดงดังรูปที่ 7.11 การพันลวดทองแดงในประเภทนี้จะใช้สำหรับสร้อยคอที่มีลักษณะโค้งไม่สามารถดึงให้ตรงได้ การพันลวดทองแดงเหมือนแบบปัจจุบัน เป็นการพันชิ้นงานโดยเพิ่มจำนวนแถวของชิ้นงานเข้าไปอีก 1 แถว ทำให้ได้ปริมาณชิ้นงานในการชุบมากขึ้น โดยแสดงการเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันและแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 7.6 และข้อมูลจากผลการทดลองที่ได้ คือ

1. ความยาวลวดทองแดงที่ใช้ต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน = 7.50 เมตร
2. ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ของชิ้นงาน = 2.21 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
3. ปริมาณการใช้ลวดทองแดงลดลง = 26.3 %



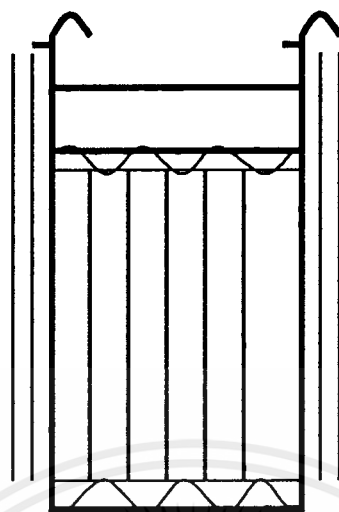
รูปที่ 7.11 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 1 สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยคอ

ตารางที่ 7.6 ข้อมูลเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันและแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลอง สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยคอ (ภาคผนวก ง.6)

ลักษณะการพันลวดทองแดง	ความหนาเฉลี่ย (ไมครอน)
แบบปัจจุบัน	3.89
แบบใหม่	3.85

แบบที่ 2 มีลักษณะการพันลวดทองแดงดังรูปที่ 7.12 การพันลวดทองแดงในประเภทนี้จะใช้สำหรับสร้อยคอที่สามารถดึงให้ตรงได้ไม่มีส่วนโค้ง โดยเปลี่ยนจากการพันชิ้นงานในแนวนอนมาเป็นการพันชิ้นงานในแนวตั้ง โดยแสดงการเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันและแบบที่ 2 ที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 7.7 และข้อมูลจากผลการทดลองที่ได้ คือ

1. ความยาวลวดทองแดงที่ใช้ต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน = 7.80 เมตร
2. ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ของชิ้นงาน = 1.02 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
3. ปริมาณการใช้ลวดทองแดงลดลง = 66.0 %



รูปที่ 7.12 ลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 2 สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยคอ

ตารางที่ 7.7 ข้อมูลเปรียบเทียบความหนาเฉลี่ยของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันและแบบที่ 2 ที่ได้จากการทดลอง สำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยคอ (ภาคผนวก ง.6)

ลักษณะการพันลวดทองแดง	ความหนาเฉลี่ย (ไมครอน)
แบบปัจจุบัน	3.89
แบบใหม่	3.80

หมายเหตุ ความหนาลักษณะการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบันใช้ข้อมูลร่วมกับตารางที่ 7.6

จากการผลทดลอง ในแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สามารถทำให้ความหนาชิ้นงาน โดยเฉลี่ย มีค่าใกล้เคียงกับความหนาชิ้นงานที่ได้จากการพันชิ้นงานแบบปัจจุบัน ซึ่งในลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 1 นี้เหมาะสำหรับสร้อยคอที่มีลักษณะโค้งไม่สามารถดึงให้ตรงได้ และในลักษณะการพันลวดทองแดงแบบที่ 2 นี้เหมาะสำหรับสร้อยคอที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง การพันลวดทองแดงในแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สามารถทำให้ชุบโลหะได้ในปริมาณที่มากขึ้นจึงลดปริมาณงานค้างลงได้ และลดปริมาณลวดทองแดงเมื่อคิดที่ปริมาณพื้นที่ที่สามารถชุบได้เท่ากันกับการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน

7.3 ศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการปรับปรุง

จากการทดลองลักษณะการฟื้นชีนงานหลัก 3 ประเภทของโรงงานแล้ว ทำให้ได้ลักษณะการฟื้นชีนงานแบบใหม่ ซึ่งลดปริมาณการใช้ลวดทองแดงลงได้ และยังคงปริมาณการสูญเสียของโลหะทองแดงและโลหะนิกเกิลที่ติดไปกับลวดทองแดงได้อีกด้วย โดยสามารถแยกคิดค่าใช้จ่ายที่ลดลงในแต่ละประเภทของชีนงานได้ดังนี้ แสดงการคำนวณในภาคผนวก ง.7

ก. ชีนงานประเภทที่มีขนาดเล็ก

เมื่อปรับปรุงลักษณะการฟื้นชีนงานเป็นแบบที่ 2

ลดปริมาณการใช้ลวดทองแดงลงได้เท่ากับ	101	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ	15,200	บาทต่อปี
ลดการสูญเสียโลหะทองแดงได้เท่ากับ	46.2	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ	6,500	บาทต่อปี
ลดการสูญเสียโลหะนิกเกิลได้เท่ากับ	13.6	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ	3,800	บาทต่อปี

ข. ชีนงานประเภทสร้อยข้อมือ

เมื่อปรับปรุงลักษณะการฟื้นชีนงานเป็นแบบที่ 2

ลดปริมาณการใช้ลวดทองแดงลงได้เท่ากับ	75.8	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ	11,400	บาทต่อปี
ลดการสูญเสียโลหะทองแดงได้เท่ากับ	31.6	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ	4,400	บาทต่อปี
ลดการสูญเสียโลหะนิกเกิลได้เท่ากับ	9.35	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ	2,600	บาทต่อปี

ค. ชีนงานประเภทสร้อยคอ

เมื่อปรับปรุงลักษณะการฟื้นชีนงานเป็นแบบที่ 1 สำหรับสร้อยคอที่มีลักษณะโค้งไม่สามารถดึงให้ตรงได้

ลดปริมาณการใช้ลวดทองแดงลงได้เท่ากับ	16.8	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ	2,500	บาทต่อปี
ลดการสูญเสียโลหะทองแดงได้เท่ากับ	7.7	กิโลกรัมต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ	1,100	บาทต่อปี
ลดการสูญเสียโลหะนิกเกิลได้เท่ากับ	2.25	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ	600	บาทต่อปี
เมื่อปรับปรุงลักษณะการพันชิ้นงานเป็นแบบที่ 2	สำหรับสร้อยคอที่มีลักษณะตรง	
สามารถดึงให้ตรงได้		

ลดปริมาณการใช้ลวดทองแดงลงได้เท่ากับ	42.1	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ	6,300	บาทต่อปี
ลดการสูญเสียโลหะทองแดงได้เท่ากับ	20	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ	2,800	บาทต่อปี
ลดการสูญเสียโลหะนิกเกิลได้เท่ากับ	5.87	กิโลกรัมต่อปี
คิดเป็นค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้เท่ากับ	1,600	บาทต่อปี

ในวัตถุประสงค์นี้ไม่เสียค่าใช้จ่ายใด ๆ ในการปรับปรุง แต่เป็นการเปลี่ยนลักษณะของการทำงานเพียงอย่างเดียว โดยสามารถสรุปค่าใช้จ่ายที่ลดลงในแต่ละแบบของลักษณะชิ้นงานหลังจากการปรับปรุงลักษณะการพันลวดทองแดงดังกล่าวในตารางที่ 7.8 และสามารถลดค่าใช้จ่ายทั้งหมดลงได้ 58,800 บาทต่อปี คิดเป็น 29 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายรวมก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ 7.8 สรุปปริมาณและค่าใช้จ่ายที่ลดลง เมื่อทำการปรับปรุงลักษณะการพันลวดทองแดง

ประเภทของชิ้นงาน	ลวดทองแดง		โลหะทองแดง		โลหะนิกเกิล	
	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
ชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก (รูปแบบที่ 2)	101	15,200	46.2	6,500	13.6	3,800
สร้อยข้อมือ (รูปแบบที่ 2)	75.8	11,400	31.6	4,400	9.35	2,600
สร้อยคอที่มีลักษณะโค้ง (รูปแบบที่ 1)	16.8	2,500	7.7	1,100	2.25	600
สร้อยคอที่มีลักษณะตรง (รูปแบบที่ 2)	42.1	6,300	20	2,800	5.87	1,600
รวม	235.7	35,400	105.5	14,800	18.83	8,600

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนึ่งในการพันลวดทองแดงกับที่แขวนชิ้นงานของพนักงานจะมีเศษเหลือของลวดทองแดง ประมาณ 0.20 เมตรต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน คิดเป็นน้ำหนักที่สูญเสียไปประมาณ 26 กิโลกรัม ต่อปี ซึ่งเป็นการสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ จึงควรอบรมให้พนักงานพันลวดทองแดงให้มีเศษเหลือของลวดทองแดงให้น้อยที่สุด สามารถลดการสูญเสียลวดทองแดงได้อีกทางหนึ่ง

7.4 ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการดำเนินงานปรับปรุง

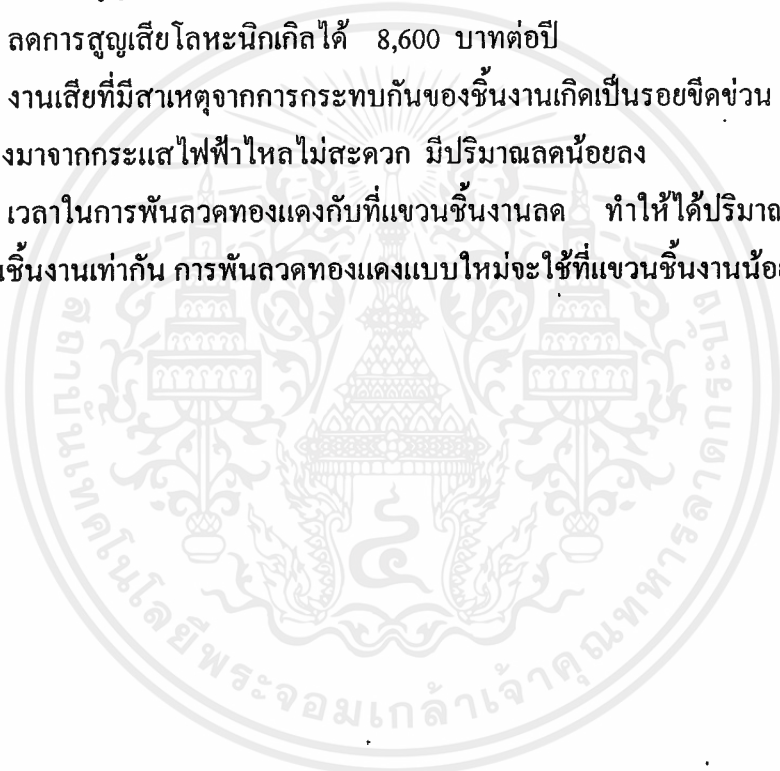
7.4.1 ลดปริมาณการใช้ลวดทองแดงลงได้ 35,400 บาทต่อปี

7.4.2 ลดการสูญเสียโลหะทองแดงได้ 14,800 บาทต่อปี

7.4.3 ลดการสูญเสียโลหะนิกเกิลได้ 8,600 บาทต่อปี

7.4.4 งานเสียที่มีสาเหตุจากการกระทบกันของชิ้นงานเกิดเป็นรอยขีดข่วน และรอยไหม้บนชิ้นงานเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้าไหลไม่สะดวก มีปริมาณลดน้อยลง

7.4.5 เวลาในการพันลวดทองแดงกับที่แขวนชิ้นงานลด ทำให้ได้ปริมาณชิ้นงานมากขึ้น และในปริมาณชิ้นงานเท่ากัน การพันลวดทองแดงแบบใหม่จะใช้ที่แขวนชิ้นงานน้อยกว่า



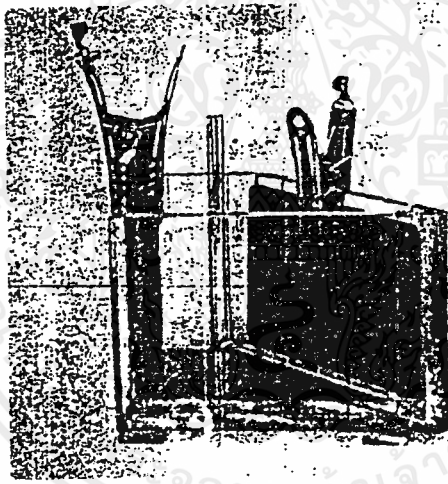
รายการอ้างอิง

1. ชำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, ผศ.ดร. เทคโนโลยีสะอาด : เครื่องมือสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนของภาคอุตสาหกรรม. เอกสารประกอบการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่องเทคโนโลยีสะอาดสำหรับอุตสาหกรรมไทย. ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 16 - 20 มีนาคม 2541. : สวทช, 2541.
2. ชำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, ผศ.ดร. เอกสารประกอบการบรรยายเรื่องเทคโนโลยีสะอาดกับวิศวกรรมเคมี. ณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 9 ธันวาคม 2540.
3. สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. การตรวจสอบการใช้เทคโนโลยีสะอาดตามหลักการ UNEP. เอกสารประกอบการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่องเทคโนโลยีสะอาดสำหรับอุตสาหกรรมไทย. ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 16-20 มีนาคม 2541. : สวทช, 2541.
4. ปธานิน อารยตานนท์., ศรีัญญา เจริญวงศ์. การฝึกงานภาคฤดูร้อนในโครงการเทคโนโลยีสะอาด. รายงานการฝึกงานภาคฤดูร้อน ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, เมษายน - พฤษภาคม 2541.
5. กาญจนา ปวิตรปก., จารุณี อมรประภากรณ์. การชุบเคลือบผิวพลาสติกด้วยโลหะโครเมียม. วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2532.
6. อนันต์ ทองมอญ. ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า. กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ภาพพิมพ์.
7. Arayatanon, P., Charoenwongsa, S. and Waritswat, A. Materials '98 Processing and Manufacturing Conference, Bangkok International Trade and Exhibition Center (BITEC) Organized by National Metal and Materials Technology Center, 6 – 7 November 1998.

ภาคผนวก ก

การทดสอบน้ำยาชุบด้วยวิธีฮัลเซลล์ (Hull Cell)

การทดสอบน้ำยาชุบด้วยวิธีฮัลเซลล์ เป็นการทดสอบสภาพของน้ำยาว่า มีความสมบูรณ์มากน้อยเพียงใด มีปริมาณน้ำยาเผาเพียงพอหรือไม่ และเป็นการทดสอบว่าในน้ำยาชุบมีโลหะอื่น ๆ เจือปนอยู่หรือไม่ (Metallic impurities) เพื่อทำการแก้ไขและปรับปรุงน้ำยาชุบให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์ การทดสอบน้ำยาชุบด้วยวิธีฮัลเซลล์นี้ สามารถทำการทดสอบได้กับน้ำยาชุบทุกประเภท เช่น น้ำยาชุบนิกเกิล โครเมียม ทองแดง สังกะสี ทอง เงิน เป็นต้น



รูปที่ ก.1 กล่องทดสอบน้ำยาชุบด้วยวิธีฮัลเซลล์

กล่องทดสอบน้ำยาชุบด้วยวิธีฮัลเซลล์นี้ ทำด้วยพลาสติกใสมีรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมคางหมู ขั้วแอโนดจะวางอยู่ที่ขอบกล่องทางด้านตรง และขั้วแคโทดจะวางที่ขอบกล่องทางด้านเอียง มีท่อสำหรับเสียบสายปั๊มลมเพื่อให้ลมกวนน้ำยาชุบในขณะที่ทำการทดสอบ และมีเครื่องให้ความร้อนติดอยู่เพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้ น้ำยาชุบมีอุณหภูมิเท่ากับการใช้งานจริง ปริมาตรของกล่องทดสอบนี้จะเท่ากับ 267 มิลลิลิตร ซึ่งจะเป็นปริมาตรที่เมื่อเติมสารละลาย 1 กรัม จะเท่ากับ ½ ออนซ์ต่อ 1 แกลลอน (หน่วยเอสไอ) และปริมาตร 320 มิลลิลิตร สำหรับ ½ ออนซ์ต่อ 1 แกลลอน (หน่วยอังกฤษ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. ขั้วแอโนด

การทดสอบน้ำยาชุบด้วยวิธีอัลเซลล์นี้จะใช้ขั้วแอโนดที่ใช้ในการชุบโลหะตามปกติ ขั้วแอโนดสำหรับการทดสอบน้ำยาชุบด้วยวิธีอัลเซลล์มีขนาดกว้าง 60 มิลลิเมตร ยาว 100 มิลลิเมตร แต่ในการทดสอบน้ำยาชุบโครเมียม ขั้วแอโนดชนิดตะกั่วที่ใช้จะมีขนาดกว้าง 60 มิลลิเมตร และยาว 115 มิลลิเมตร

ข. แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้าที่ใช้จะเป็นชนิดกระแสตรงแรงดันไฟฟ้าต่ำ อยู่ในช่วง 8/10 โวลต์ 10 แอมแปร์ ซึ่งจะต้องมีการควบคุมกระแสให้ถูกต้อง

สำหรับสารละลายอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โครเมียม แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้คือหม้อแปลงกลับกระแสไฟฟ้า 1 เฟส หรือใช้แบตเตอรี่ที่มีแรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุด 3 แอมแปร์ แต่ในการชุบโลหะโครเมียม จะใช้กระแสไฟฟ้าสูงถึง 10 แอมแปร์ และเมื่อเปิดวงจรจะต้องให้แรงดันไฟฟ้า 10 โวลต์ กระแสต้องเกิดการแกว่งเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงต้องใช้หม้อแปลงกลับกระแสไฟฟ้า 3 เฟส หม้อแปลงกลับกระแสไฟฟ้า 1 เฟส ที่ให้กระแสไฟฟ้าเรียบ หรือแบตเตอรี่

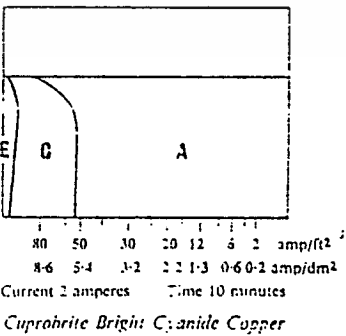
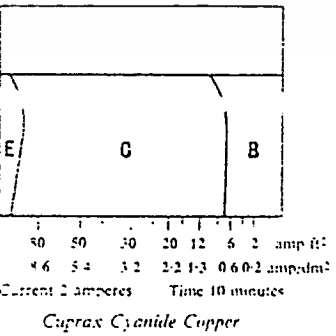
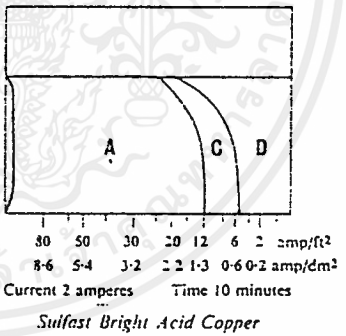
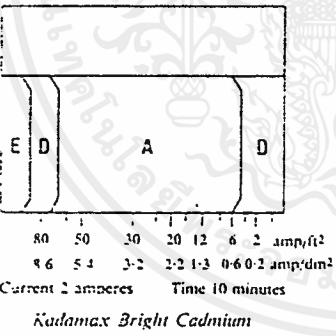
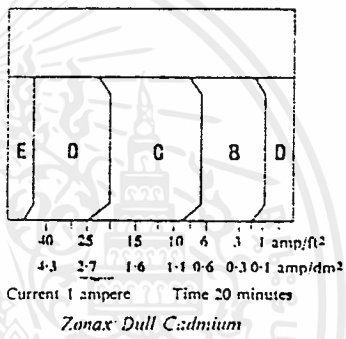
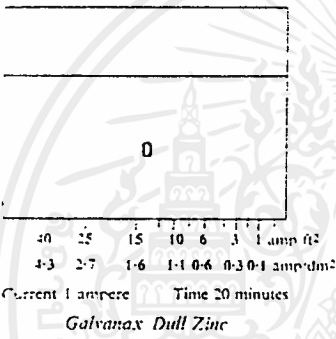
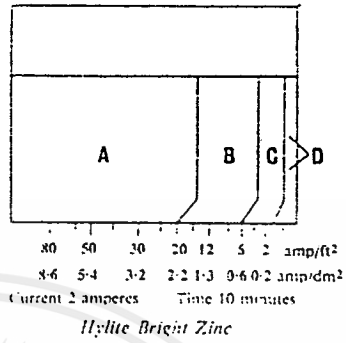
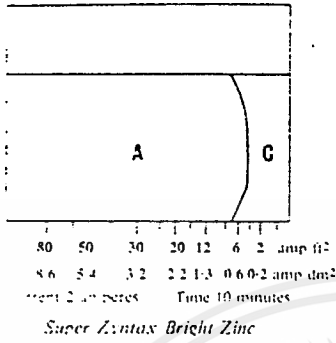
ค. กระแสไฟฟ้าและระยะเวลาในการทดสอบ

ในการชุบโลหะแบบเงาของสารละลาย นิกเกิล แคลเดียม สังกะสี และทองแดง จะใช้กระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ และเวลาในการชุบ 10 นาที แต่ถ้าต้องการเน้นถึงผลของสารเจือปน จะใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำ เช่น สารละลายนิกเกิลเงา จะใช้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ และเวลาในการชุบ 15 ถึง 20 นาที ที่สภาวะนี้สามารถใช้ทดสอบกับการชุบโลหะแบบด้านได้

เพื่อให้ทราบแน่ชัดถึงสาเหตุของการไหม้ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง จะใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ และเวลาในการชุบ 5 นาที

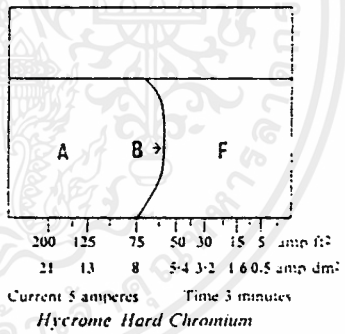
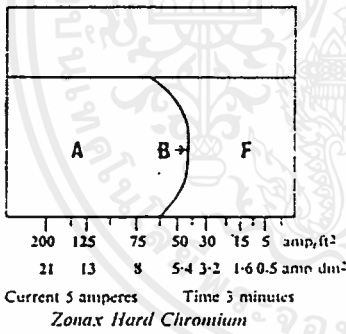
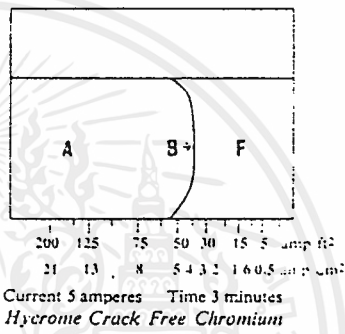
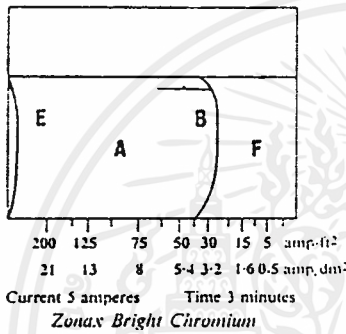
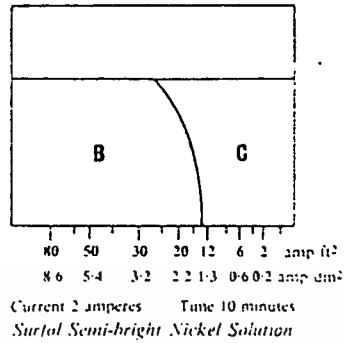
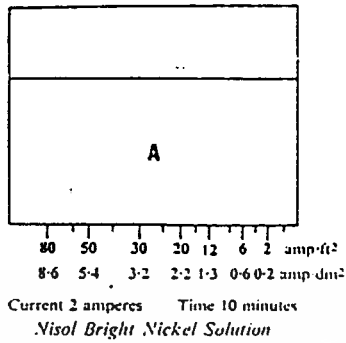
การทดสอบสารละลายโครเมียม จะใช้กระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ เวลาในการชุบ 3 นาที ที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง จะใช้กระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ และเวลาในการชุบ 1½ นาที

ที่กระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ ไม่จำเป็นที่จะต้องใช้อ่างควบคุมอุณหภูมิ แต่การชุบจะเริ่มที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส และเมื่อสิ้นสุดการทดสอบ อุณหภูมิจะสูงกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส ที่กระแสไฟฟ้า 10 แอมแปร์ ก่อตั้งทดสอบจะแช่อยู่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิต่ำ สารละลายจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมประมาณ 1 องศาเซลเซียสในช่วงเริ่มการทดสอบ และในทุกสภาวะควรทำการต่อขั้วแคโทดก่อนที่จะทำการบรรจุสารละลายลงในถ้อยทดสอบ



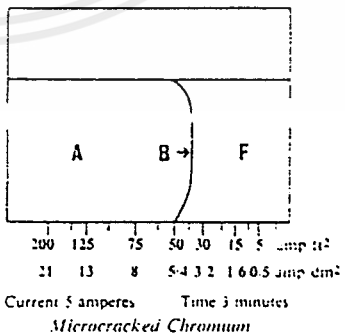
รูปที่ ก.2 ลักษณะของขั้วแคโทดจากการทดสอบน้ำยาชุบโลหะด้วยวิธีอัลเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Typical Hull Cell diagrams for plating solutions in good condition

- Key—
 A Bright B Hazy bright
 C Semi-bright D Dull
 E Burnt F No plate



รูปที่ ก.2 ลักษณะของขั้วแคโทดจากการทดสอบน้ำยาชุบโลหะด้วยวิธีฮัลเซลล์ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง. ขั้วแคโทด

สำหรับสารละลายนิกเกิลและสารละลายทองแดงกรด ควรจะใช้ขั้วแคโทดที่ทำจากทองเหลืองขนาดหน้า 0.25 มิลลิเมตร สำหรับสารละลายแคดเมียม สังกะสี และ ทองแดงไซยาไนด์ ขั้วแคโทดจะทำจากแผ่นเหล็ก ที่ผ่านการขัดทำความสะอาดแล้วและมีผิวเรียบ ซึ่งในการเก็บรักษา ควรป้องกันการเกิดสนิม ขนาดที่เหมาะสมคือ กว้าง 75 มิลลิเมตร และยาว 100 มิลลิเมตร

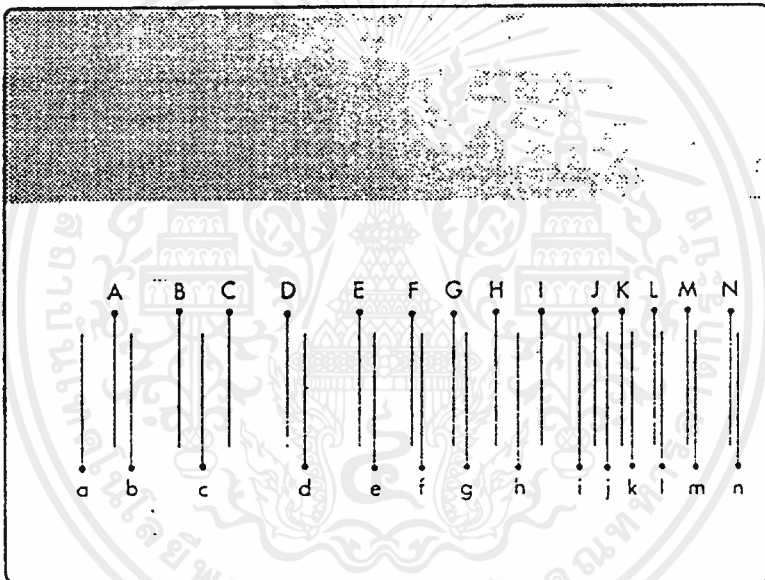
ในการทดสอบที่ต้องเป่ากวนน้ำยาชุบด้วยลม ขั้วแคโทดที่ใช้จะต้องบาง เพื่อป้องกันฟองอากาศติดอยู่ที่ด้านหลังของขั้วทำให้อัตราการกวนลดลง และการเกิดฟองอากาศมากเกินไป

การกระจายของกระแสไฟฟ้าจะเป็นไปตามสมการที่ ก.1

$$i = I (5.1 - 5.24 \log x) \quad (\text{ก.1})$$

- เมื่อ
- i = ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า, แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร
 - I = กระแสไฟฟ้ารวม, แอมแปร์
 - x = ระยะห่างจากด้านที่มีความหนาแน่นของกระแสสูงของขั้วแคโทด, เซนติเมตร

Current applied : amperes	Current Density—amp/ft ²													
	Position on Hull Cell panel													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	40	30	25	20	15	12	10	8	6	4	3	2	1	0.5
2	80	60	50	40	30	24	20	16	12	8	6	4	2	1
3	120	90	75	60	45	36	30	24	18	12	9	6	3	1.5
5	200	150	125	100	75	60	50	40	30	20	15	10	5	2.5



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	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

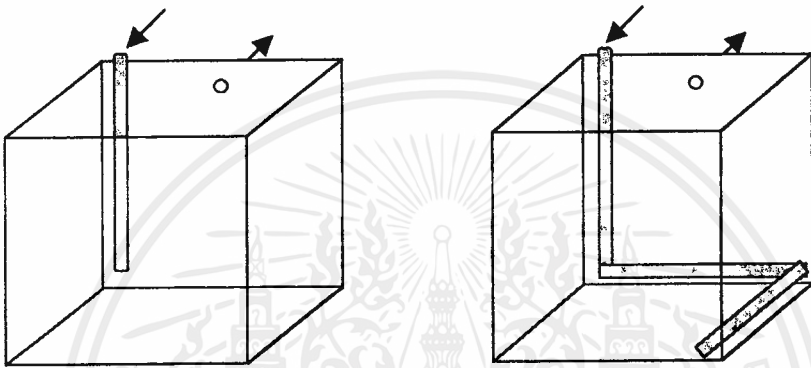
รูปที่ ก.3 การกระจายของความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า
ที่กระแสไฟฟ้า 1, 2, 3 และ 5 แอมแปร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

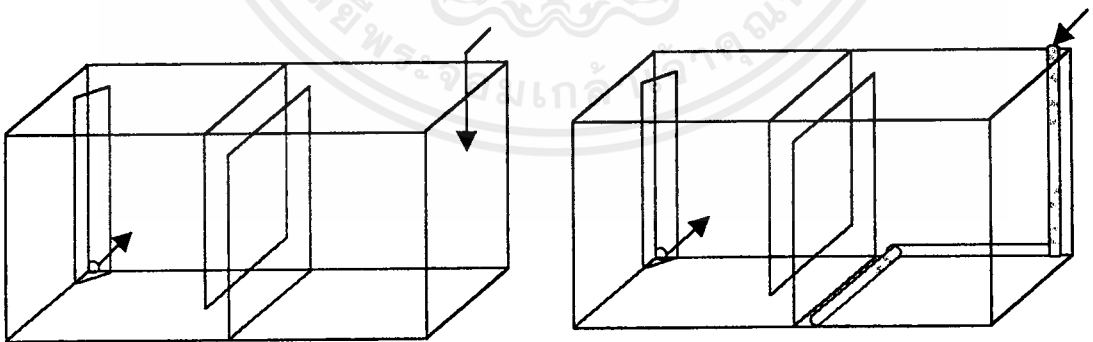
ภาคผนวก ข

ข้อมูลดิบและวิธีการทดลองสำหรับการปรับปรุงถังล้างชิ้นงานในกระบวนการชุบโลหะ
เพื่อการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพและลดปริมาณการใช้น้ำ

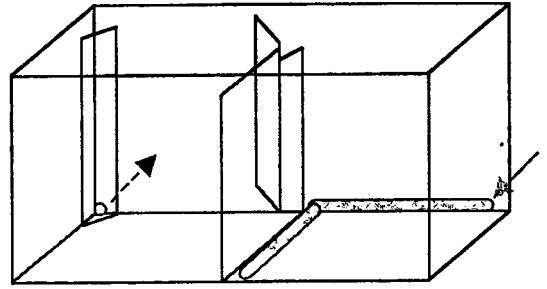
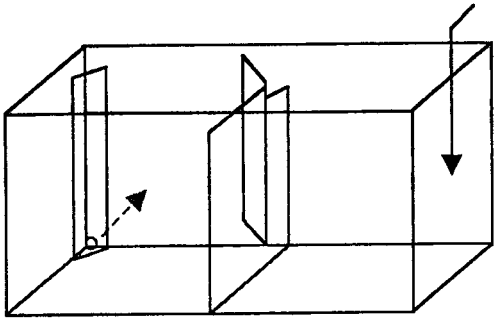
ภาคผนวก ข.1 ถังล้างชิ้นงานก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง
ลูกศรแสดงทิศทางเข้าและออกของน้ำ



ก. ถังล้างชิ้นงานก่อนการปรับปรุง ข. ถังล้างชิ้นงานหลังการปรับปรุง
รูปที่ ข.1 ถังล้างชิ้นงานถึงที่ 1



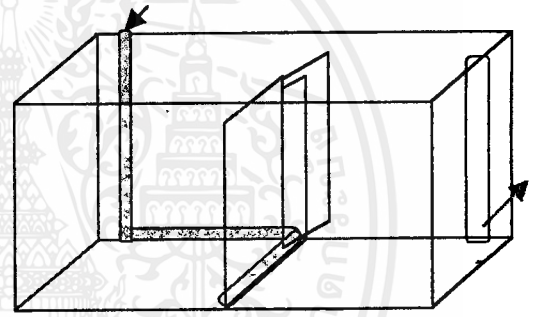
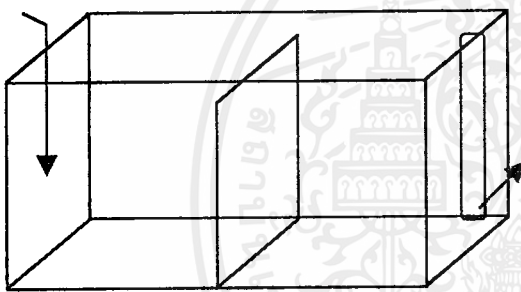
ก. ถังล้างชิ้นงานก่อนการปรับปรุง ข. ถังล้างชิ้นงานหลังการปรับปรุง
รูปที่ ข.2 ถังล้างชิ้นงานถึงที่ 2



ก. ถังล้างชิ้นงานก่อนการปรับปรุง

ข. ถังล้างชิ้นงานหลังการปรับปรุง

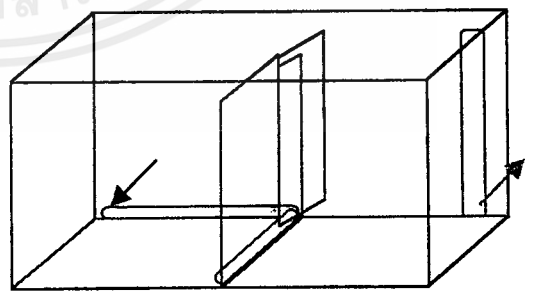
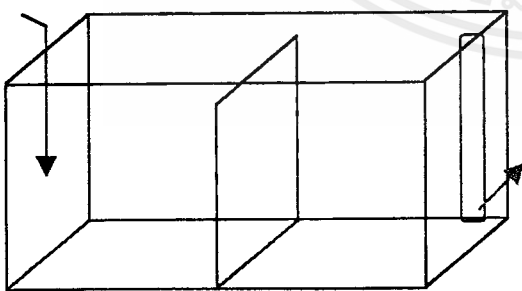
รูปที่ ข.3 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 3



ก. ถังล้างชิ้นงานก่อนการปรับปรุง

ข. ถังล้างชิ้นงานหลังการปรับปรุง

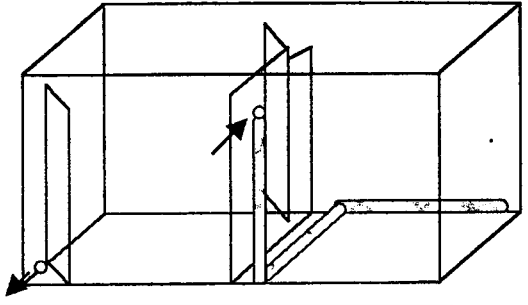
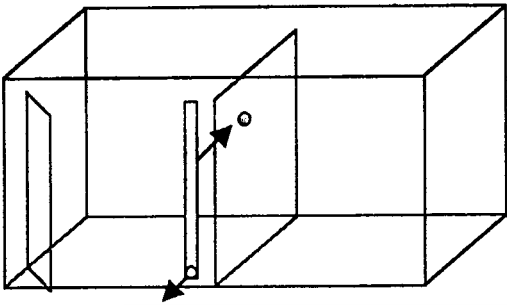
รูปที่ ข.4 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 4



ก. ถังล้างชิ้นงานก่อนการปรับปรุง

ข. ถังล้างชิ้นงานหลังการปรับปรุง

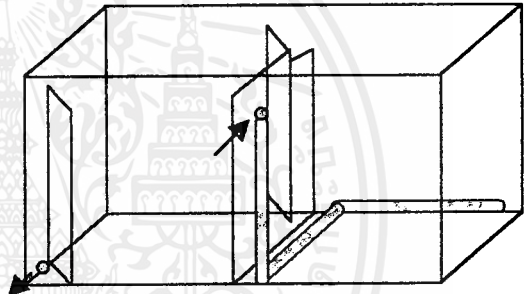
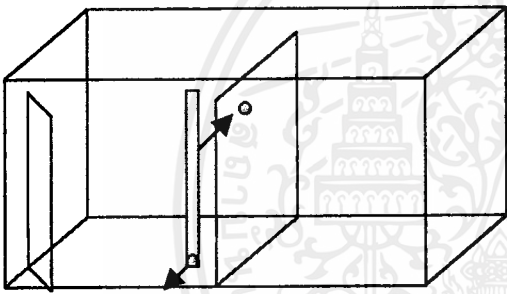
รูปที่ ข.5 ถังล้างชิ้นงานถังที่ 5



ก. ถึงด้ายขึ้นงานก่อนการปรับปรุง

ข. ถึงด้ายขึ้นงานหลังการปรับปรุง

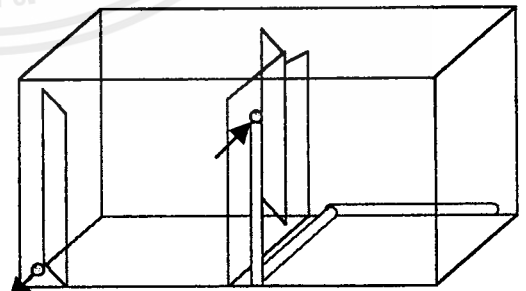
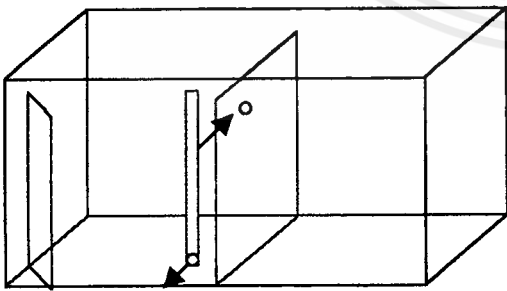
รูปที่ ข.6 ถึงด้ายขึ้นงานถึงที่ 6



ก. ถึงด้ายขึ้นงานก่อนการปรับปรุง

ข. ถึงด้ายขึ้นงานหลังการปรับปรุง

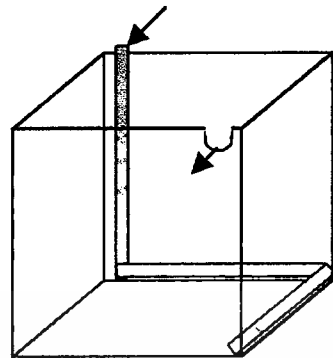
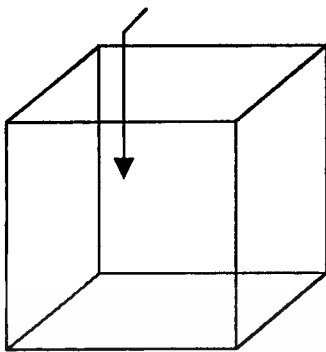
รูปที่ ข.7 ถึงด้ายขึ้นงานถึงที่ 7



ก. ถึงด้ายขึ้นงานก่อนการปรับปรุง

ข. ถึงด้ายขึ้นงานหลังการปรับปรุง

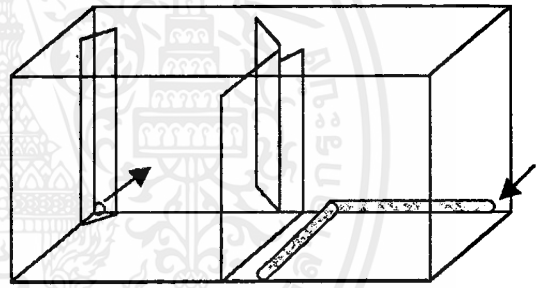
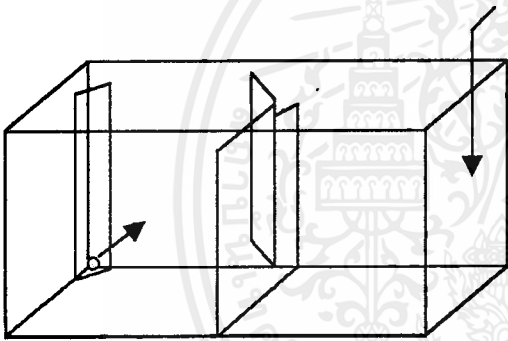
รูปที่ ข.8 ถึงด้ายขึ้นงานถึงที่ 8



ก. ถังล้างชิ้นงานก่อนการปรับปรุง

ข. ถังล้างชิ้นงานหลังการปรับปรุง

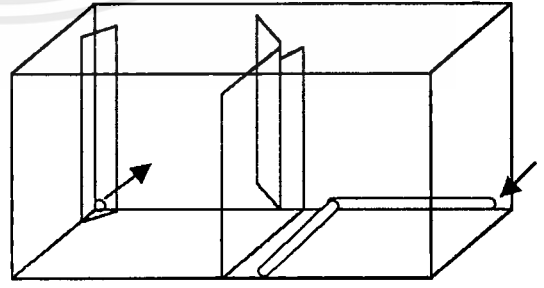
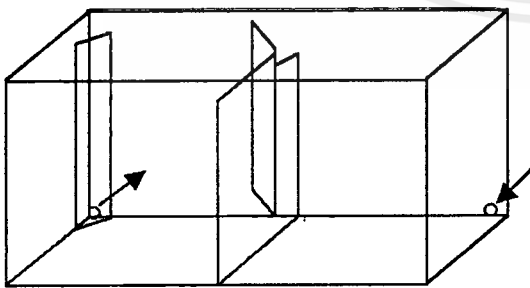
รูปที่ ข.9 ถังล้างชิ้นงานถึงที่ 9



ก. ถังล้างชิ้นงานก่อนการปรับปรุง

ข. ถังล้างชิ้นงานหลังการปรับปรุง

รูปที่ ข.10 ถังล้างชิ้นงานถึงที่ 10



ก. ถังล้างชิ้นงานก่อนการปรับปรุง

ข. ถังล้างชิ้นงานหลังการปรับปรุง

รูปที่ ข.11 ถังล้างชิ้นงานถึงที่ 11

ภาคผนวก ข.2 การคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำล้างที่เหมาะสม

จากข้อมูลความถี่ในการจุ่มชิ้นงาน สามารถคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมได้จากสมการที่ 5.1 [2] คือ

$$Q = \left[\left(\frac{C_p}{C_n} \right)^{\frac{1}{n}} + \frac{1}{n} \right] \times D_r$$

เมื่อ	C_p	=	ความเข้มข้นของน้ำยาชุบ , g/l
	C_n	=	ความเข้มข้นของน้ำยาชุบที่ยอมให้ออกไปกับน้ำ , g/l
	n	=	จำนวนถังแบบน้ำไหลสวนทาง
	D_r	=	Drag out rate , l/h
		=	(l/Rack) x (Rack/h)
	$l/Rack$	=	0.007 l

ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราการไหลที่เหมาะสมของถังล้างชิ้นงาน 4

ถังล้างชิ้นงาน 4 มีจำนวนถังแบบไหลสวนทางเท่ากับ 2 ถึง ความถี่ในการจุ่มชิ้นงานเท่ากับ 11 Rack/h (ตารางที่ 5.3) และถ้าต้องการอัตราส่วนความเข้มข้นของน้ำยาชุบ (C_p) กับความเข้มข้นของน้ำยาชุบที่ยอมให้ออกไปกับน้ำ (C_n) เท่ากับ 10,000 เท่าก็สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Q &= \left[(10000)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} \right] \times 0.007 \times 11 \\ &= 7.7 \quad \text{l/h} \end{aligned}$$

ฉะนั้นจะได้ว่าอัตราการไหลที่เหมาะสมของน้ำล้างชิ้นงาน 4 ที่อัตราส่วนความเข้มข้นของน้ำยาชุบกับความเข้มข้นของน้ำยาชุบที่ยอมให้ออกไปกับน้ำเท่ากับ 10,000 เท่า คือ 7.7 ลิตร/ชั่วโมง

ภาคผนวก ข.3 การทดลองหาขนาดรูที่ใช้เจาะท่อที่เหมาะสมสำหรับลดปริมาณการใช้น้ำ

เมื่อทำการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำล้างที่เหมาะสมแล้ว ปัญหาที่พบคือไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำล้างให้อยู่ในช่วงที่คำนวณได้ จึงทำการทดลองโดยการทำท่อเจาะรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดแตกต่างกัน 2 ขนาด เพื่อเลือกขนาดของรูที่เหมาะสม

รูที่มีขนาดเหมาะสม คือ จะต้องสามารถควบคุมปริมาณน้ำได้ในทุก ๆ ถังให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ เหตุที่จำเป็นต้องใช้รูที่มีขนาดเดียวกันในทุก ๆ ถังล้างชิ้นงาน เพื่อให้ง่ายต่อการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเมื่อจำเป็น เช่น เมื่อต้องการอัตราการไหลของน้ำที่สูงขึ้นก็จะสามารถเจาะรูที่ท่อเพิ่มได้ทันที โดยไม่ต้องคำนึงถึงขนาดของรูเพราะขนาดของรูเท่ากันในทุก ๆ ถังล้างชิ้นงาน

ก. อุปกรณ์ในการทดลอง

1. มิเตอร์วัดปริมาตรน้ำ
2. ท่อพีวีซียาว 30 เซนติเมตร
3. จุกปิดพีวีซี
4. ข้อต่อเกลียวในพีวีซี
5. นาฬิกาจับเวลา
6. ดอกสว่านขนาด $\frac{1}{32}$ นิ้ว และ $\frac{1}{16}$ นิ้ว

ข. วิธีการทดลอง

1. นำท่อพีวีซียาว 30 เซนติเมตร ต่อเข้ากับจุกปิดพีวีซีทากาว ส่วนอีกด้านหนึ่งให้ต่อกับข้อต่อเกลียวในพีวีซี โดยให้ส่วนที่เป็นเกลียวหันออกด้านนอกทากาว ทำจำนวน 6 อัน
2. นำท่อพีวีซีที่ได้มาเจาะรูขนาด $\frac{1}{32}$ นิ้ว 1, 4 และ 8 รู อย่างละ 1 อัน และเจาะรูขนาด $\frac{1}{16}$ นิ้ว 1, 4 และ 8 รู อย่างละ 1 อัน
3. นำมิเตอร์น้ำต่อเข้ากับวาล์วน้ำซึ่งต่อกับปั๊มภายในโรงงาน
4. นำท่อพีวีซีที่เจาะรูขนาด $\frac{1}{32}$ นิ้ว 1 รู มาต่อเข้ากับมิเตอร์น้ำ
5. เปิดวาล์วเริ่มจับเวลา บันทึกผลเวลากับปริมาตรที่ใช้
6. ทำข้อ 4 และ 5 โดยเปลี่ยนท่อพีวีซีที่เจาะรูขนาด $\frac{1}{32}$ นิ้ว 1 รู เป็นท่อพีวีซีที่เจาะรูขนาด $\frac{1}{16}$ นิ้ว 4 และ 8 รู และท่อพีวีซีที่เจาะรูขนาด $\frac{1}{16}$ นิ้ว 1, 4 และ 8 รู ตามลำดับ

ค. ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ ข.1 ผลการทดลองหาขนาดรูที่ใช้เจาะท่อที่เหมาะสมสำหรับลดปริมาณการใช้น้ำ ครั้งที่ 1

ขนาดรู (นิ้ว)	จำนวนรู	ปริมาณการไหลของน้ำ (ลิตร)	เวลาที่ใช้ (นาที)
$\frac{1}{32}$	1	5.5	10
	4	27.0	10
	8	48.0	10
$\frac{1}{16}$	1	13.0	10
	4	48.0	10
	8	84.0	10

ตารางที่ ข.2 ผลการทดลองหาขนาดรูที่ใช้เจาะท่อที่เหมาะสมสำหรับลดปริมาณการใช้น้ำ ครั้งที่ 2

ขนาดรู (นิ้ว)	จำนวนรู	ปริมาณการไหลของน้ำ (ลิตร)	เวลาที่ใช้ (นาที)
$\frac{1}{32}$	1	5.5	10
	4	27.0	10
	8	47.0	10
$\frac{1}{16}$	1	13.0	10
	4	45.0	10
	8	93.0	10

ตารางที่ ข.3 ผลการทดลองหาขนาดรูที่ใช้เจาะท่อที่เหมาะสมสำหรับลดปริมาณการใช้น้ำ ครั้งที่ 3

ขนาดรู (นิ้ว)	จำนวนรู	ปริมาณการไหลของน้ำ (ลิตร)	เวลาที่ใช้ (นาที)
$\frac{1}{32}$	1	5.4	10
	4	26.0	10
	8	48.0	10
$\frac{1}{16}$	1	13.0	10
	4	49.0	10
	8	87.0	10

ตารางที่ ข.4 ค่าเฉลี่ยผลการทดลองหาขนาดรูที่ใช้เจาะท่อที่เหมาะสมสำหรับลดปริมาณการใช้น้ำ

ขนาดรู (นิ้ว)	จำนวนรู	ปริมาณการไหลของน้ำ (ลิตร/10 นาที)	ปริมาณการไหลของน้ำ (ลิตร/ชั่วโมง)
$\frac{1}{32}$	1	5.5	33.0
	4	26.7	160.2
	8	47.7	286.2
$\frac{1}{16}$	1	13.0	78.0
	4	47.3	283.8
	8	88.0	528.0

จากผลการทดลองจึงได้ว่าขนาดรูที่เหมาะสมสำหรับลดปริมาณการใช้น้ำในถังล้างชิ้นงาน คือ $\frac{1}{32}$ นิ้ว เพราะถ้าต้องการควบคุมปริมาณการไหลของน้ำในปริมาณน้อย ๆ เช่น การควบคุมปริมาณการไหลของน้ำให้ได้เท่ากับหรือน้อยกว่า 40 ลิตรต่อชั่วโมง เช่น กรณีอัตราการไหลที่เหมาะสมตามการคำนวณเมื่อ $C_p / C_u = 10^4$ ของถังที่ 1, 2 และ 3 เป็นต้น (ตารางที่ 5.5) รูที่มีขนาด $\frac{1}{16}$ นิ้วจะไม่สามารถควบคุมปริมาณการไหลของน้ำได้ แต่รูที่มีขนาด $\frac{1}{32}$ นิ้วจะสามารถควบคุมปริมาณการไหลของน้ำได้

ภาคผนวก ข.4 การหาปริมาณการไหลของน้ำกับจำนวนรูของท่อ

เมื่อทราบแล้วว่าขนาดรูที่เหมาะสมจากการทดลองว่ามีขนาดเท่าใดแล้ว ก็จะต้องทำการหา ค่าระหว่างปริมาณการใช้น้ำกับจำนวนรู โดยปริมาณการไหลของน้ำจะขึ้นอยู่กับความดันภายในท่อ ถ้าความดันภายในท่อสูงปริมาณการไหลจะสูง และถ้าความดันภายในท่อต่ำ ปริมาณการไหลจะต่ำ ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองภายในโรงงาน เพื่อให้ค่าความดันภายในท่อมีค่าใกล้เคียงกับสภาวะ การใช้งานจริงมากที่สุด

ก. อุปกรณ์การทดลอง

1. มิเตอร์วัดปริมาตรน้ำ
2. ท่อพีวีซียาว 30 เซนติเมตร
3. จุกปิดพีวีซี
4. ข้อต่อเกลียวในพีวีซี
5. นาฬิกาจับเวลา
6. ดอกสว่านขนาด $\frac{1}{32}$ นิ้ว

ข. วิธีการทดลอง

1. นำท่อพีวีซียาว 30 เซนติเมตร ต่อเข้ากับจุกปิดพีวีซีทากาว ส่วนอีกด้านหนึ่งให้ ต่อกับข้อต่อเกลียวในพีวีซี โดยให้ส่วนที่เป็นเกลียวหันออกด้านนอกทากาว ทำจำนวน 8 อัน
2. นำท่อพีวีซีที่ได้มาเจาะรูขนาด $\frac{1}{32}$ นิ้ว จำนวน 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 รู อย่างละ 1 อัน
3. นำมิเตอร์น้ำต่อเข้ากับวาล์วน้ำซึ่งต่อกับปั๊มภายในโรงงาน
4. นำท่อพีวีซีที่เจาะรูขนาด $\frac{1}{32}$ นิ้ว 1 รู มาต่อเข้ากับมิเตอร์น้ำ
5. เปิดวาล์วเริ่มจับเวลา บันทึกระหว่างผลเวลากับปริมาตรที่ใช้
6. ทำข้อ 4 และ 5 โดยเปลี่ยนท่อพีวีซีที่เจาะรูขนาด $\frac{1}{32}$ นิ้ว 1 รู เป็น 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 รู ตามลำดับ

ค. ข้อมูลดิบของค่าระหว่างจำนวนรูของท่อกับปริมาณน้ำ

ตารางที่ ข.5 ค่าระหว่างจำนวนรูของท่อกับปริมาณน้ำ ทดลองครั้งที่ 1

จำนวนรูของท่อ	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	เวลาที่ใช้ (นาที)
1	5.3	10
2	13.4	10
3	19.2	10
4	25.5	10
5	31.8	10
6	35.8	10
7	43.3	10
8	48.4	10

ตารางที่ ข.6 ค่าระหว่างจำนวนรูของท่อกับปริมาณน้ำ ทดลองครั้งที่ 2

จำนวนรูของท่อ	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	เวลาที่ใช้ (นาที)
1	6.0	10
2	8.4	10
3	18.4	10
4	27.3	10
5	31.8	10
6	37.1	10
7	41.5	10
8	47.6	10

ตารางที่ ข.7 ค่าระหว่างจำนวนรูของท่อกับปริมาณน้ำ ทดลองครั้งที่ 3

จำนวนรูของท่อ	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	เวลาที่ใช้ (นาที)
1	5.6	10
2	13.6	10
3	18.6	10
4	26.9	10
5	31.6	10
6	36.9	10
7	42.1	10
8	47.6	10

ตารางที่ ข.8 ค่าระหว่างจำนวนรูของท่อกับปริมาณน้ำ ทดลองครั้งที่ 4

จำนวนรูของท่อ	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	เวลาที่ใช้ (นาที)
1	5.5	10
2	13.7	10
3	18.7	10
4	26.4	10
5	32.2	10
6	36.4	10
7	41.8	10
8	48.0	10

ตารางที่ ข.9 ค่าระหว่างจำนวนรูของท่อกับปริมาณน้ำ ทดลองครั้งที่ 5

จำนวนรูของท่อ	ปริมาณน้ำ (ลิตร)	เวลาที่ใช้ (นาที)
1	5.2	10
2	13.5	10
3	18.5	10
4	26.5	10
5	31.8	10
6	35.8	10
7	42.1	10
8	48.4	10

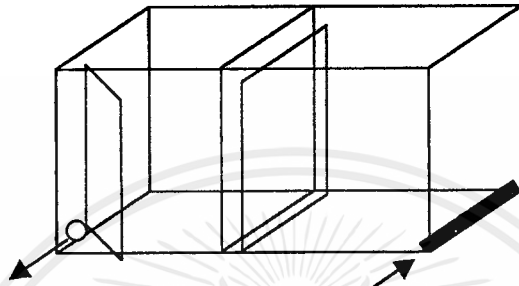
ตารางที่ ข.10 ค่าเฉลี่ยระหว่างจำนวนรูของท่อกับปริมาณน้ำ

จำนวนรูของท่อ	ปริมาณน้ำ (ลิตร/10 นาที)	ปริมาณน้ำ (ลิตร/ชั่วโมง)
1	5.5	33
2	12.5	75
3	18.7	112
4	26.5	159
5	31.8	191
6	36.4	218
7	42.2	253
8	48.0	288

ภาคผนวก ข.5 การทดลองรูปแบบของการต่อท่อเจาะรูภายในถังล้างชิ้นงาน

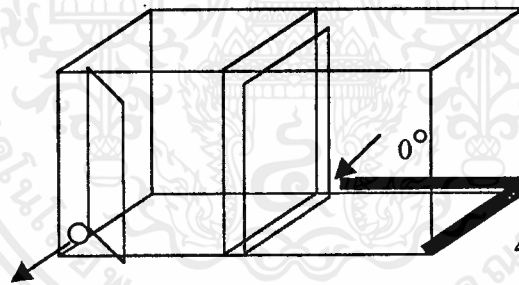
การต่อท่อเจาะรูภายในถังล้างชิ้นงาน มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมปริมาณการไหลของน้ำที่ใช้ในการล้างชิ้นงาน โดยจะทำการทดสอบเบื้องต้น 5 รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ 1 ท่อที่ 1 เจาะรู 4 รู แนวของรูทำมุม 0° กับพื้นถัง



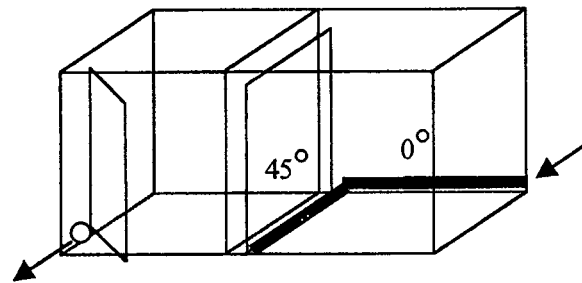
รูปที่ ข.16 รูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 1

รูปแบบที่ 2 ท่อที่ 1 เจาะรู 4 รู แนวของรูทำมุม 0° กับพื้นถัง ท่อที่ 2 เจาะรู 4 รู แนวของรูทำมุม 45° กับพื้นถัง



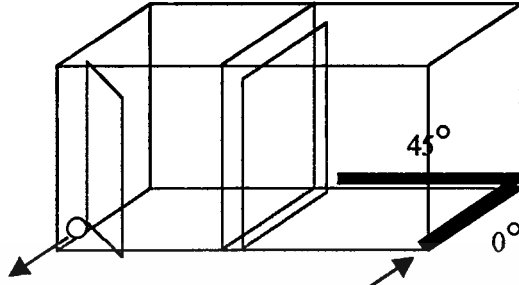
รูปที่ ข.17 รูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 2

รูปแบบที่ 3 ท่อที่ 1 เจาะรู 4 รู แนวของรูทำมุม 0° กับพื้นถัง ท่อที่ 2 เจาะรู 4 รู แนวของรูทำมุม 45° กับพื้นถัง



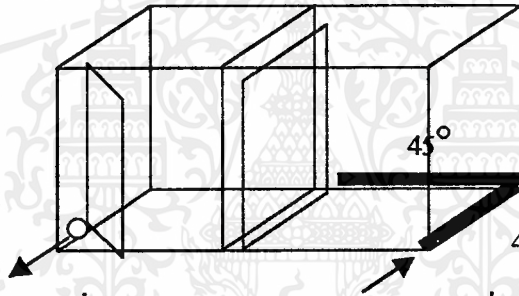
รูปที่ ข.18 รูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 3

รูปแบบที่ 4 ท่อที่ 1 เจาะรู 4 รู แนวของรูทำมุม 0° กับพื้นถึง ท่อที่ 2 เจาะรู 4 รู แนวของรูทำมุม 45° กับพื้นถึง



รูปที่ ข.19 รูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 4

รูปแบบที่ 5 ท่อที่ 1 เจาะรู 4 รู แนวของรูทำมุม 45° กับพื้นถึง ท่อที่ 2 เจาะรู 4 รู แนวของรูทำมุม 45° กับพื้นถึง



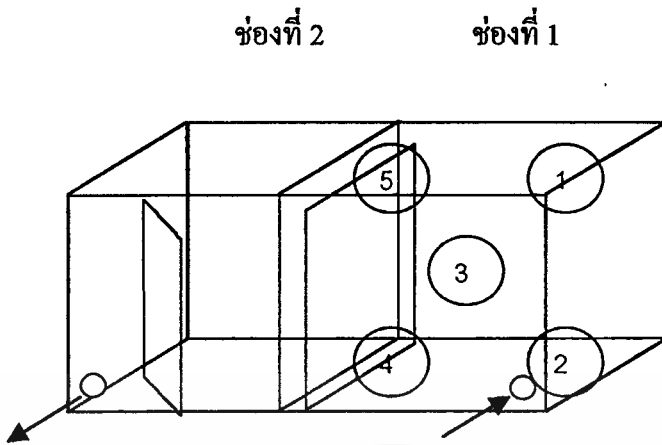
รูปที่ ข.20 รูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 5

ก. อุปกรณ์การทดลอง

1. บีกเกอร์ปริมาตร 50 มิลลิลิตร 5 ใบ
2. ปิเปตขนาด 50 มิลลิลิตร
3. เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้า

ข. วิธีการทดลอง

1. ทำการปรับเทียบเครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้า
2. ใช้ปิเปต ปิเปตน้ำล้างในตำแหน่งที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ดังแสดงในรูปที่ ข.21 ตำแหน่งการปิเปตน้ำล้าง ใส่ในบีกเกอร์ตามลำดับ
3. ใช้เครื่องวัดค่าความนำไฟฟ้าวัดค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างในบีกเกอร์ บันทึกผล
4. เปลี่ยนรูปแบบของท่อเจาะรูและทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อ 2 และ 3



รูปที่ ข.21 ตำแหน่งการปีเปิดน้ำล้าง

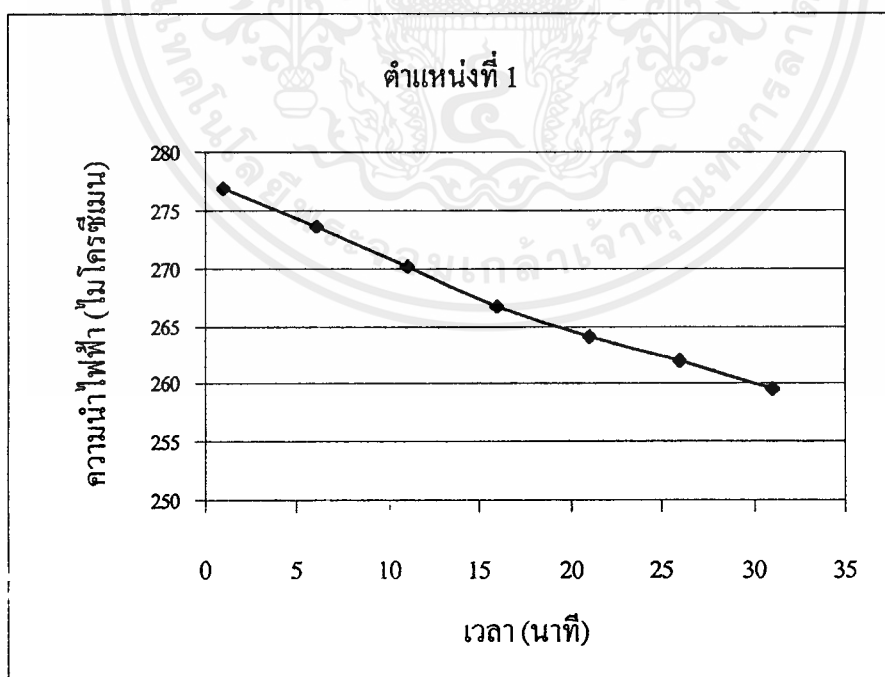


ภาคผนวก ข.6 ข้อมูลดิบการทดลองรูปแบบของการต่อท่อเจาะรูภายในถังล้างชิ้นงาน

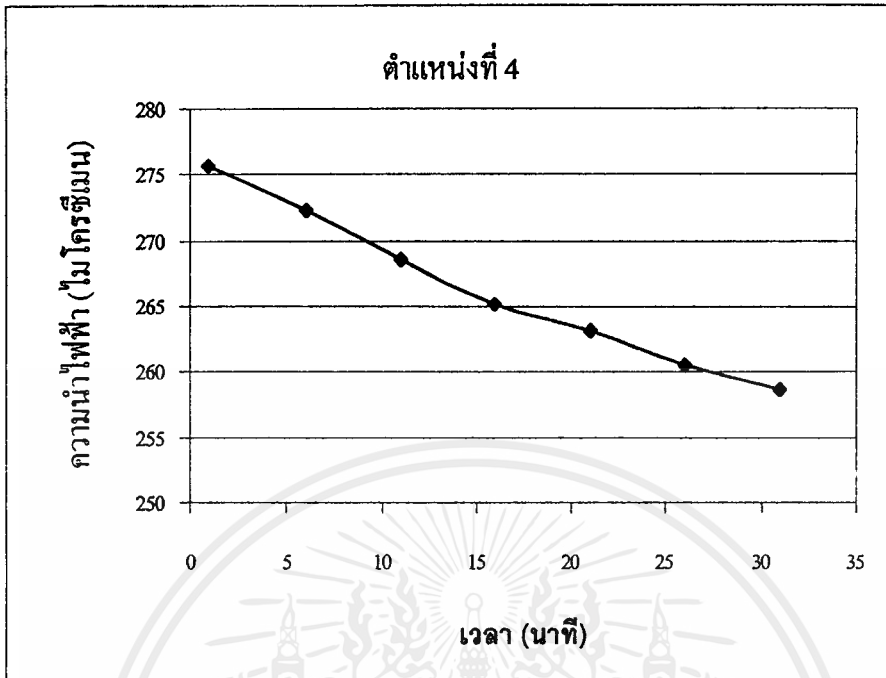
ก. รูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 1

ตารางที่ ข.11 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 1

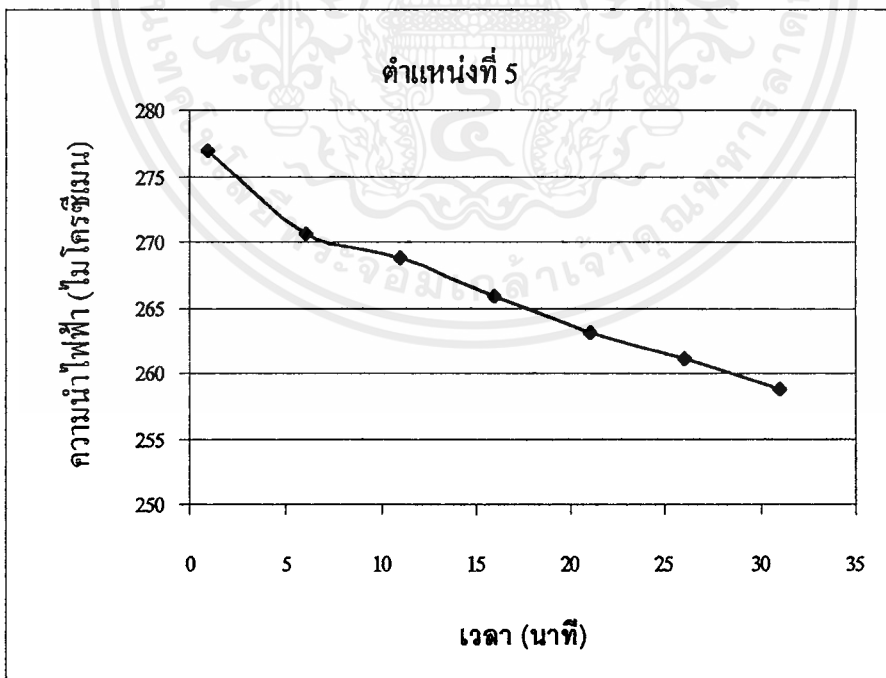
เวลา (นาที)	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4	ตำแหน่งที่ 5
1	276.9	276.9	276.3	275.7	277.0
6	273.6	274.0	273.3	272.2	270.6
11	270.2	270.0	269.3	268.5	268.7
16	266.6	266.8	266.1	265.1	265.9
21	264.1	264.3	264.1	263.2	263.1
26	261.9	261.9	261.2	260.5	261.1
31	259.5	260.3	259.4	258.7	258.7



รูปที่ ข.22 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 1 ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ ข.25 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 1 ตำแหน่งที่ 4

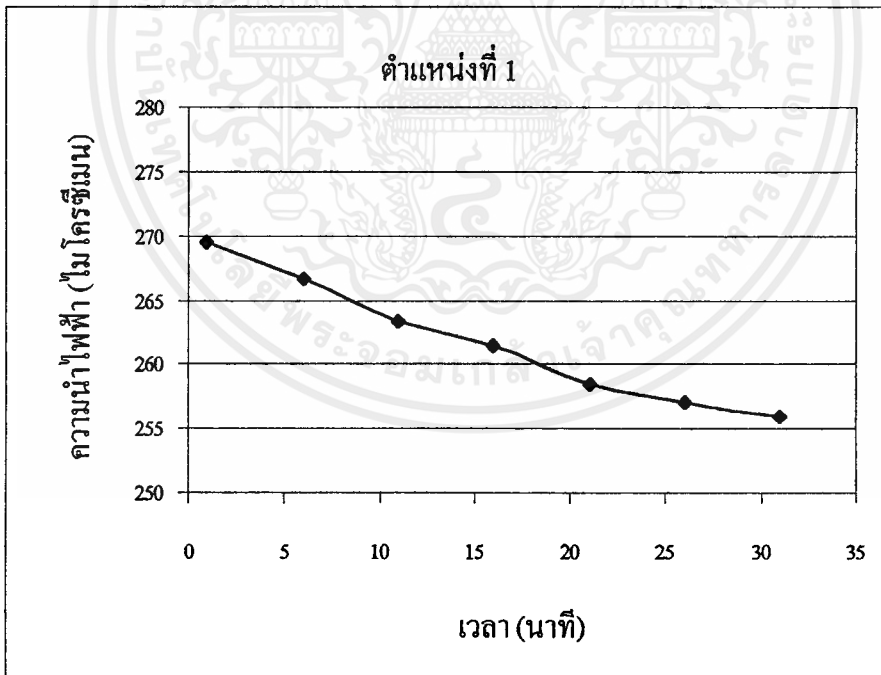


รูปที่ ข.26 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 1 ตำแหน่งที่ 5

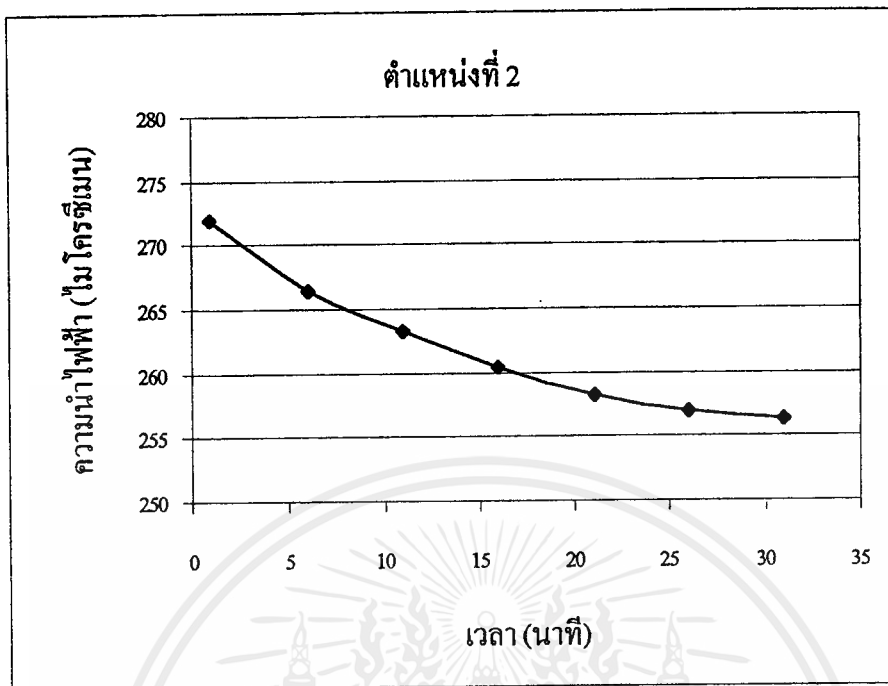
ข. รูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 2

ตารางที่ ข.12 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 2

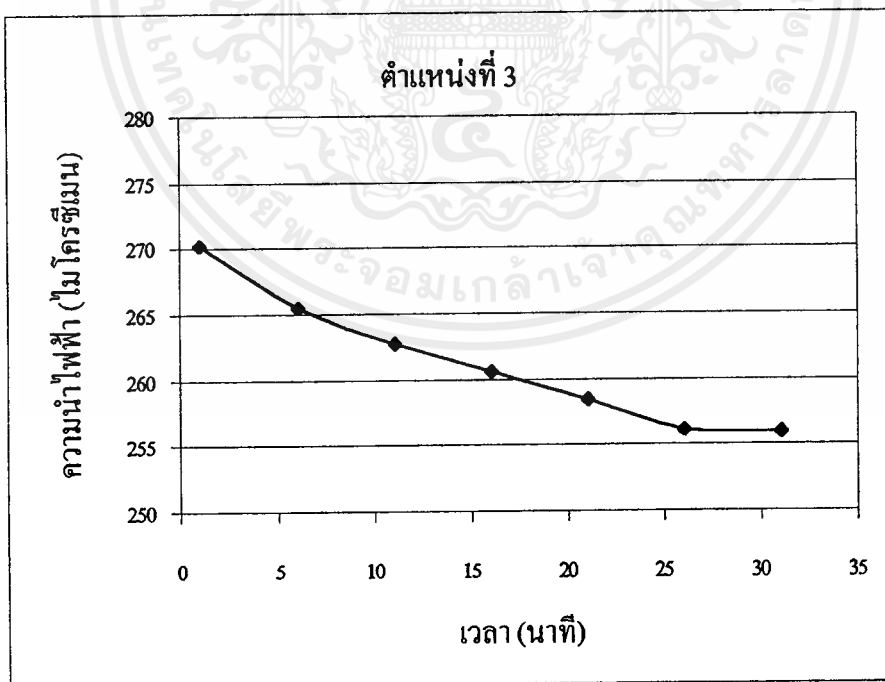
เวลา (นาทีก)	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4	ตำแหน่งที่ 5
1	269.5	271.9	270.2	268.5	268.4
6	266.6	266.5	265.5	265.3	266.0
11	263.3	263.2	262.7	262.4	262.8
16	261.5	260.4	260.5	260.4	260.5
21	258.5	258.2	258.4	258.2	258.3
26	257.0	256.9	256.1	256.8	257.7
31	256.0	256.3	255.9	256.3	255.9



รูปที่ ข.27 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 2 ตำแหน่งที่ 1

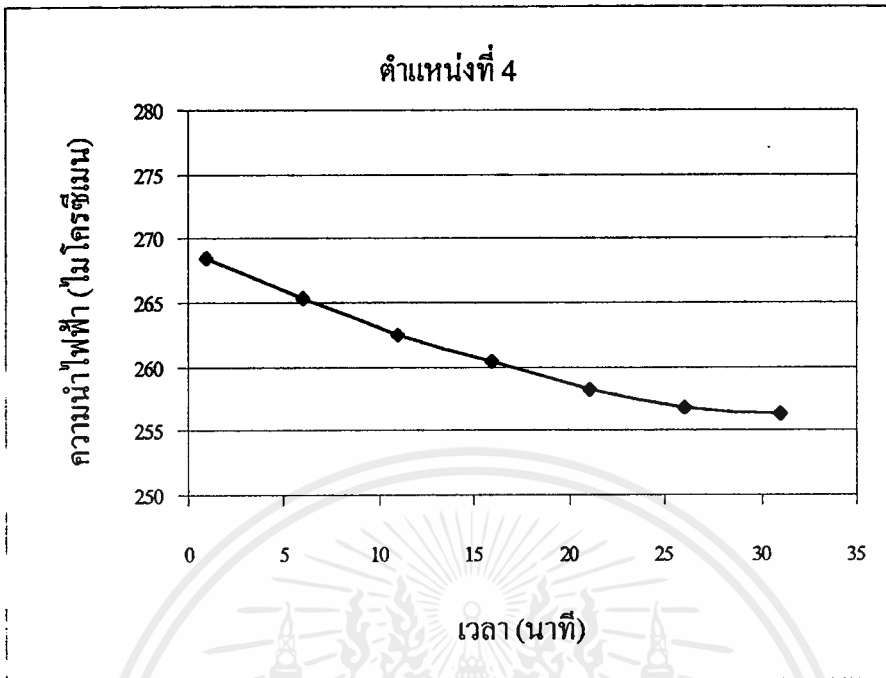


รูปที่ ข.28 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 2 ตำแหน่งที่ 2

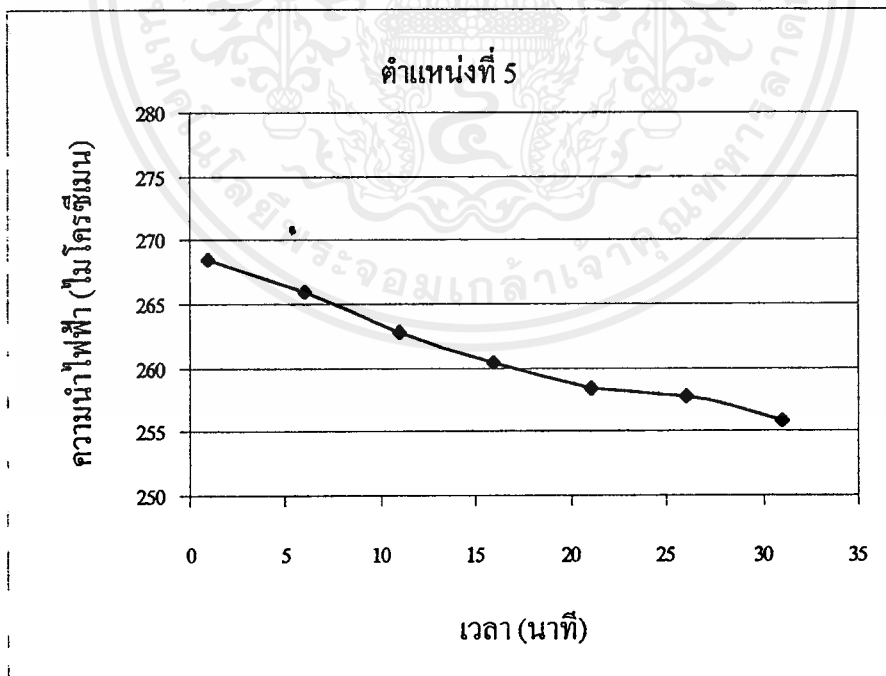


รูปที่ ข.29 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 2 ตำแหน่งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.30 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 2 ตำแหน่งที่ 4

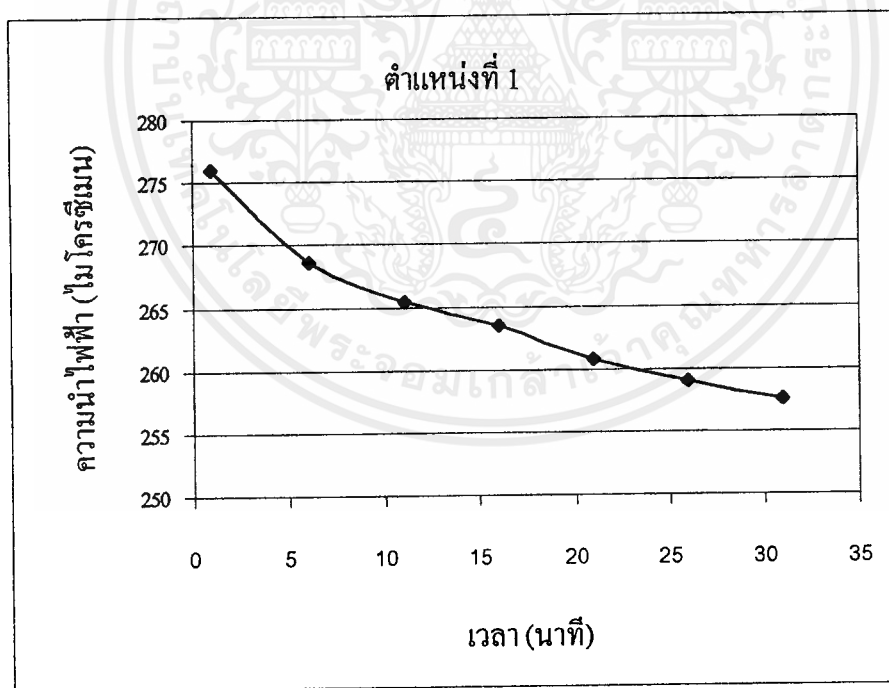


รูปที่ ข.31 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 2 ตำแหน่งที่ 5

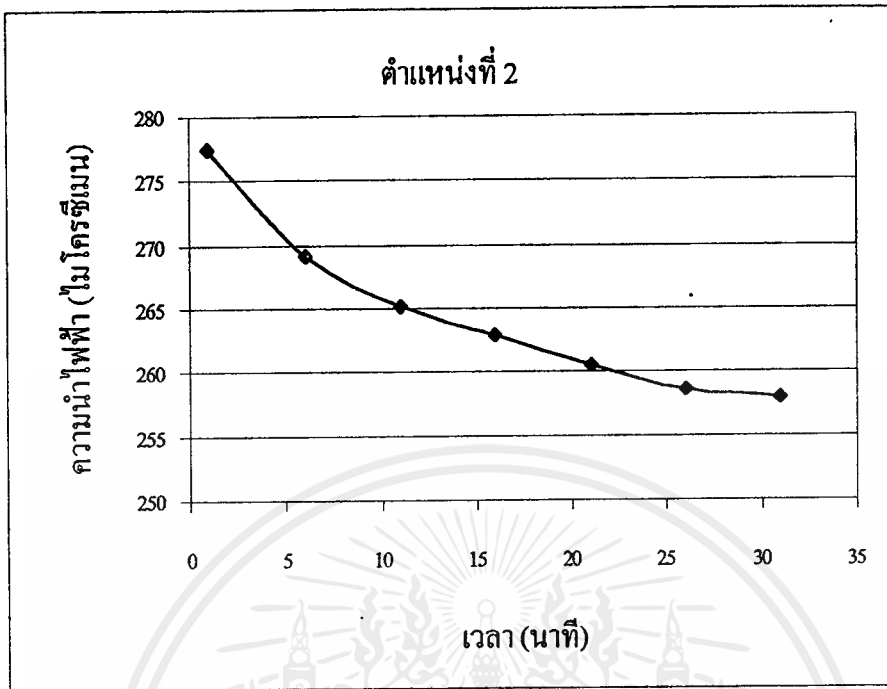
ค. รูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 3

ตารางที่ ข.13 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 3

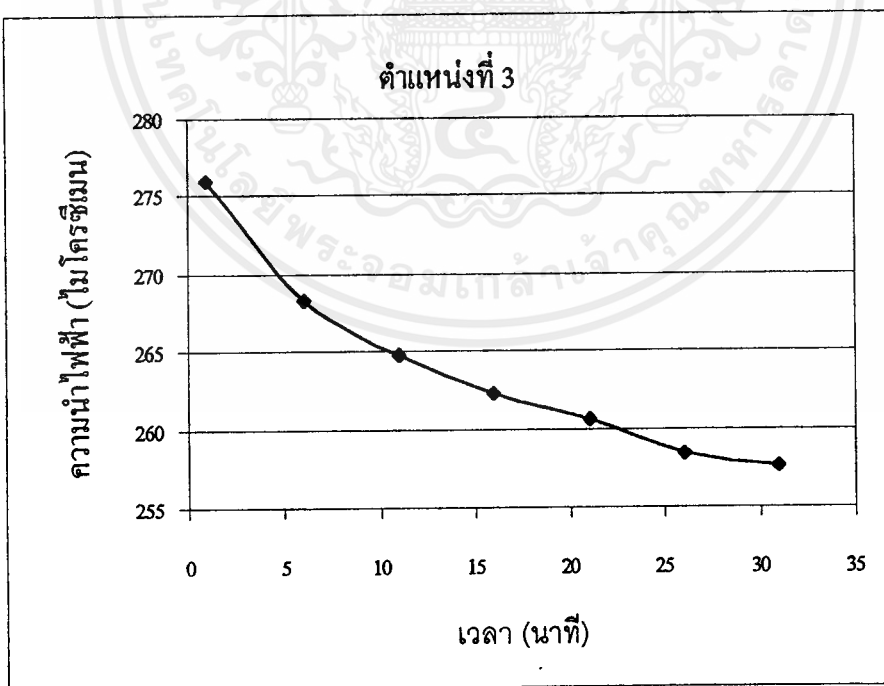
เวลา (นาที)	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4	ตำแหน่งที่ 5
1	276.0	277.4	276.0	273.1	273.4
6	268.6	269.2	268.3	267.9	268.3
11	265.4	265.1	264.8	264.8	264.9
16	263.5	262.9	262.3	262.7	262.5
21	260.8	260.5	260.6	260.4	259.7
26	259.0	258.6	258.4	258.7	258.8
31	257.6	258.0	257.6	257.2	257.0



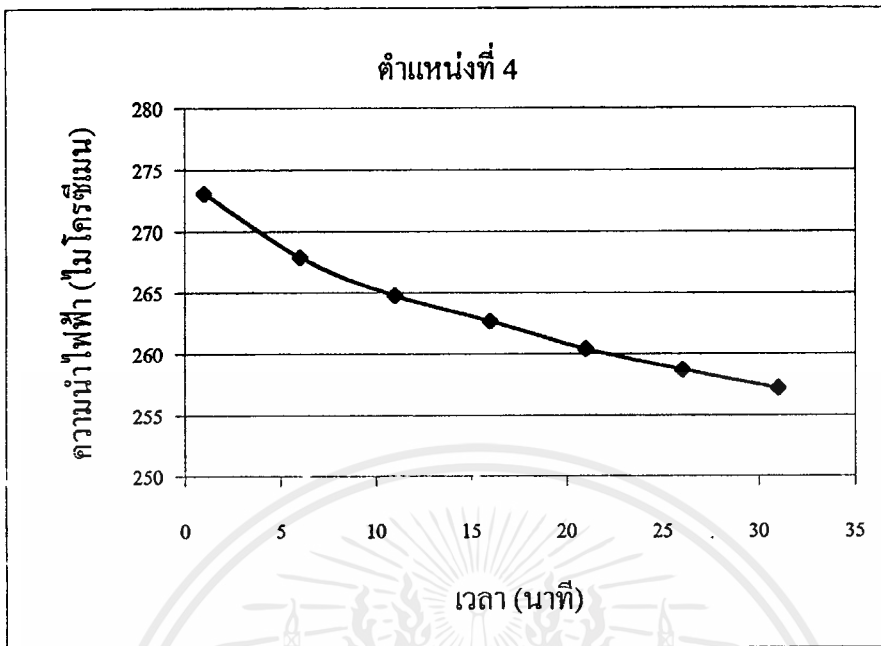
รูปที่ ข.32 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 3 ตำแหน่งที่ 1



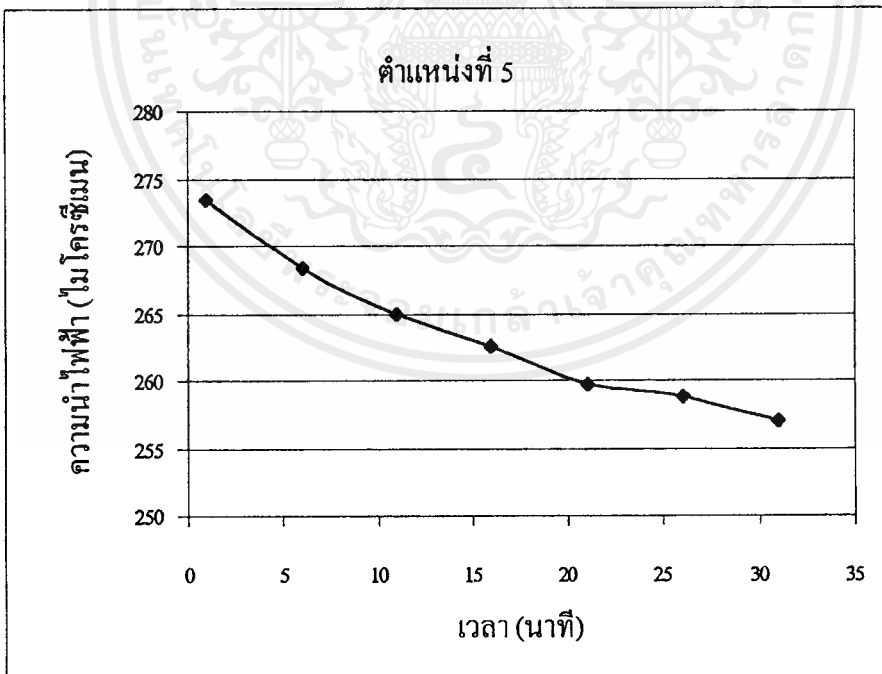
รูปที่ ข.33 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 3 ตำแหน่งที่ 2



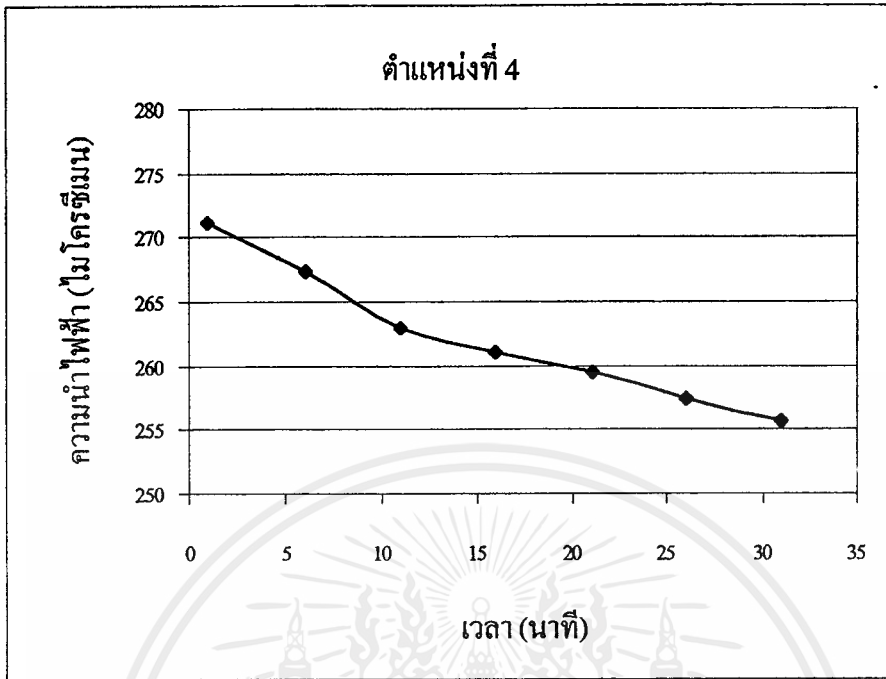
รูปที่ ข.34 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 3 ตำแหน่งที่ 3



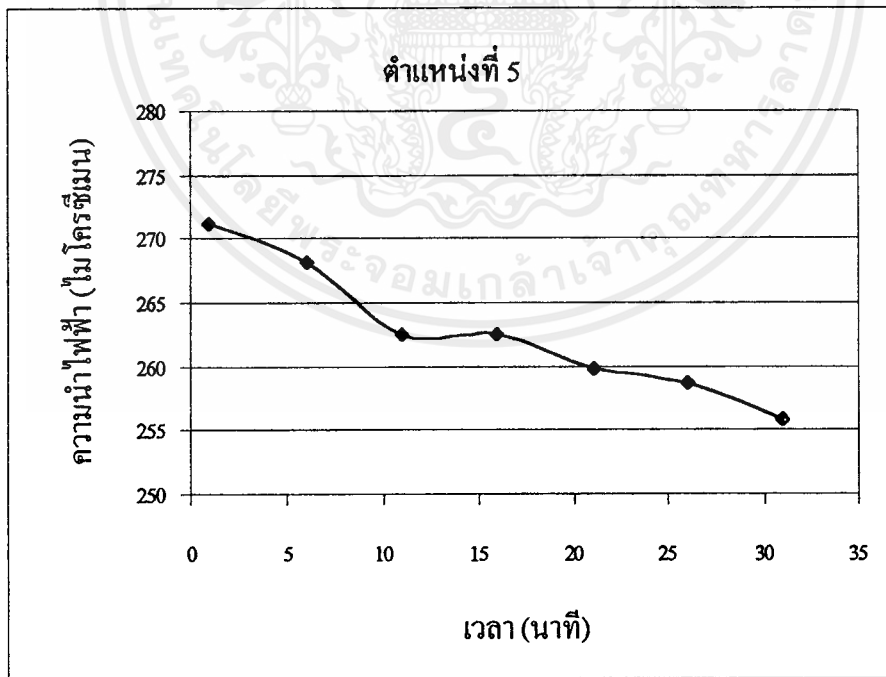
รูปที่ ข.35 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 3 ตำแหน่งที่ 4



รูปที่ ข.36 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 3 ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ ข.40 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 4 ตำแหน่งที่ 4

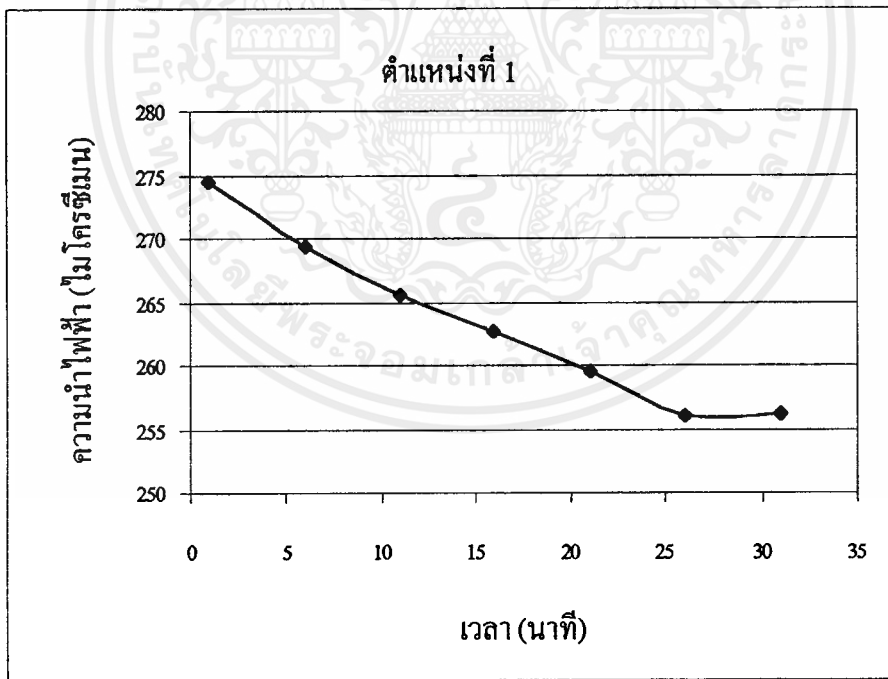


รูปที่ ข.41 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 4 ตำแหน่งที่ 5

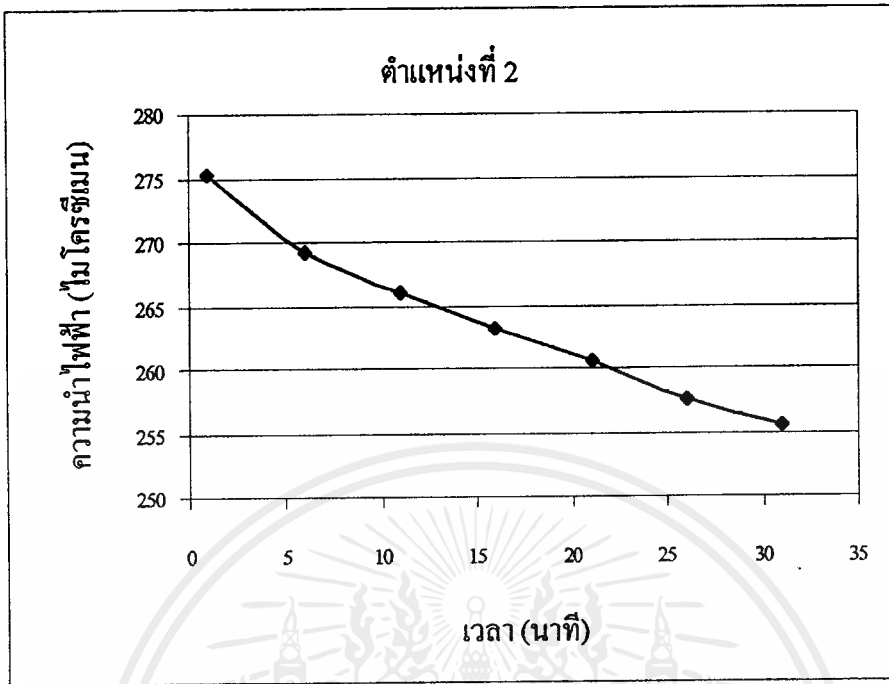
จ. รูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 5

ตารางที่ ข.15 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 5

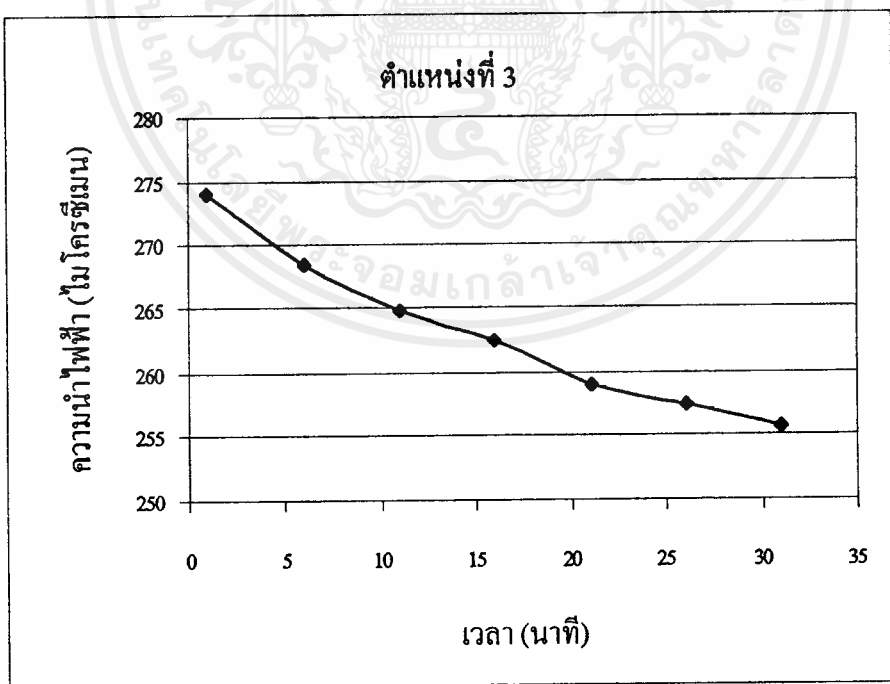
เวลา (นาที)	ตำแหน่งที่ 1	ตำแหน่งที่ 2	ตำแหน่งที่ 3	ตำแหน่งที่ 4	ตำแหน่งที่ 5
1	274.4	275.2	274.0	274.6	274.3
6	269.3	269.2	268.5	269.9	269.7
11	265.6	266.0	264.8	266.0	266.1
16	262.7	263.2	262.4	263.0	262.8
21	259.6	260.7	259.0	259.8	259.9
26	256.0	257.6	257.5	257.9	257.6
31	256.2	255.5	255.7	256.2	256.6



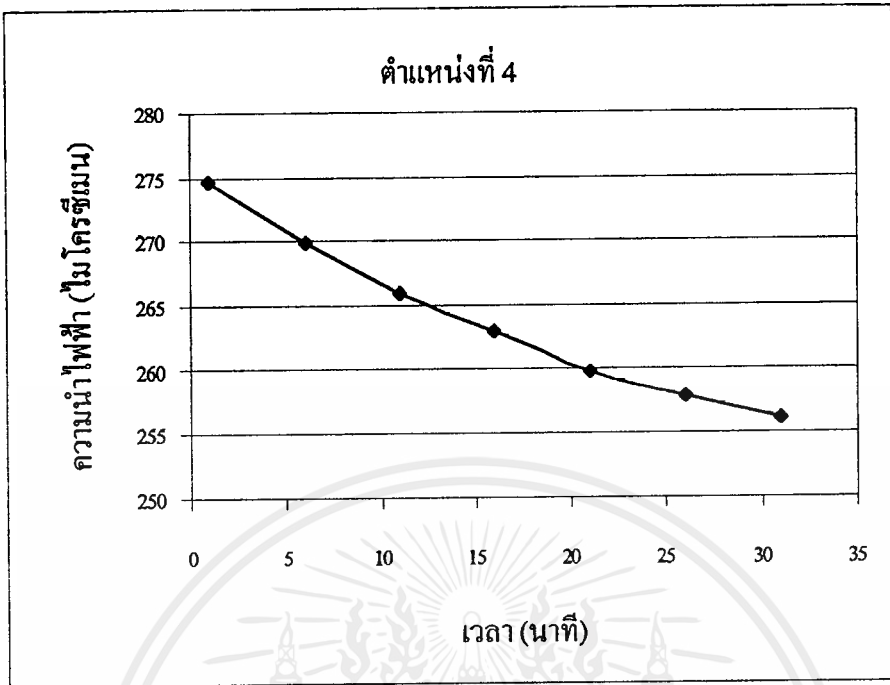
รูปที่ ข.42 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 5 ตำแหน่งที่ 1



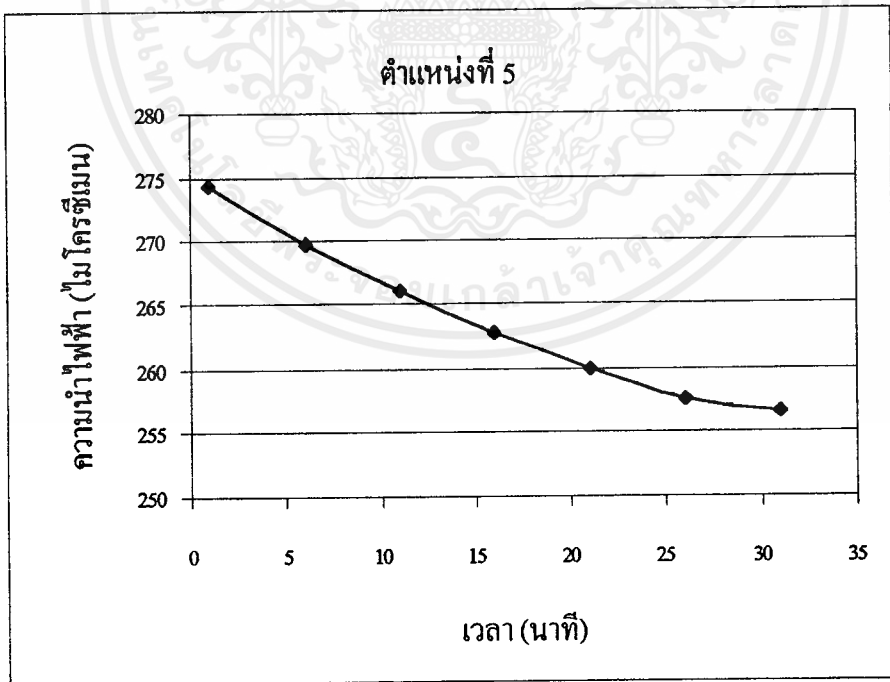
รูปที่ ข.43 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 5 ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ ข.44 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูปแบบที่ 5 ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ ข.45 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 5 ตำแหน่งที่ 4



รูปที่ ข.46 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำล้างของรูปแบบการต่อท่อเจาะรูแบบที่ 5 ตำแหน่งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.7 การวัดปริมาณน้ำที่ใช้ในแต่ละถังล้างชิ้นงาน

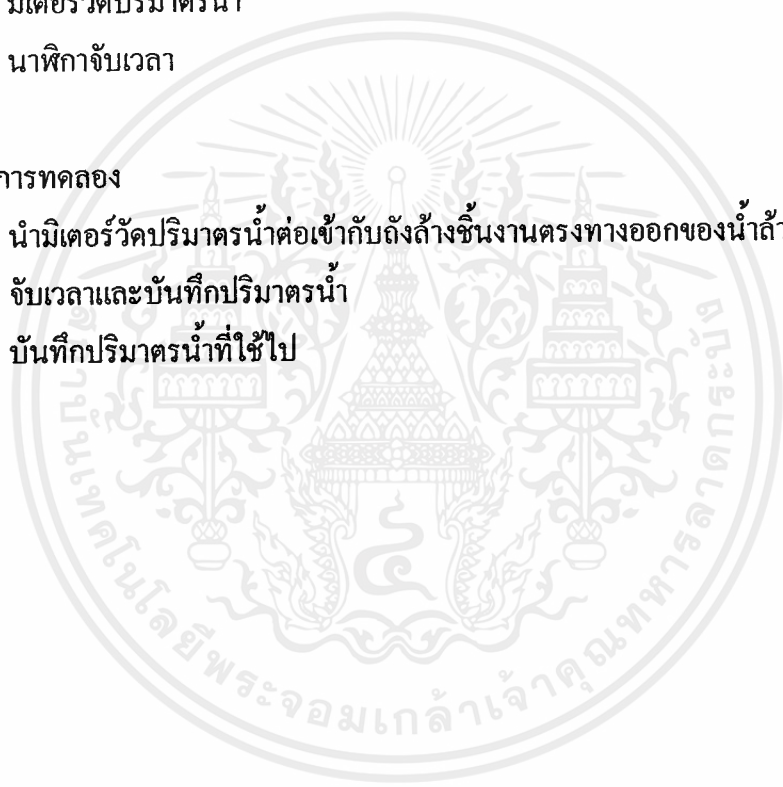
หลังจากติดตั้งท่อเจาะรูเพื่อควบคุมปริมาณการใช้น้ำแล้ว จำเป็นที่จะต้องทราบปริมาณน้ำที่ใช้ในแต่ละถังล้างชิ้นงาน เพื่อให้ทราบผลของการควบคุมปริมาณการไหลของน้ำว่าเป็นไปอย่าง
ที่คำนวณไว้หรือไม่ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการปรับปรุงแก้ไขต่อไปในกรณีที่จำเป็น

ก. อุปกรณ์การทดลอง

1. มิเตอร์วัดปริมาตรน้ำ
2. นาฬิกาจับเวลา

ข. วิธีการทดลอง

1. นำมิเตอร์วัดปริมาตรน้ำต่อเข้ากับถังล้างชิ้นงานตรงทางออกของน้ำล้าง
2. จับเวลาและบันทึกปริมาตรน้ำ
3. บันทึกปริมาตรน้ำที่ใช้ไป



ค. ข้อมูลดิบแสดงค่าปริมาณน้ำที่ใช้หลังจากการปรับปรุงแล้ว

ตารางที่ ข.16 ปริมาณน้ำที่ใช้เฉลี่ยในช่วงเช้าก่อนและหลังการปรับปรุง

ถังล้าง ชิ้นงาน	ปริมาณน้ำที่ใช้เฉลี่ยในช่วงเช้า		เวลาที่ใช้วัด (นาที)
	ก่อนการปรับปรุง (ลิตร)	หลังการปรับปรุง (ลิตร)	
1	62.2	38.8	10
2	52.1	20.6	10
3	84.8	36.0	10
4	73.3	18.9	10
5	52.4	37.5	10
6	55.4	35.2	10
7	70.1	38.8	10
8	77.7	40.5	10
9	82.5	13.7	10
10	-	14.3	10
11	33.3	13.7	10
12	37.0	14.3	10
13	65.0	12.5	10
15	92.2	14.1	10
16	47.1	14.5	10

ตารางที่ ข.17 ปริมาณน้ำที่ใช้เฉลี่ยในช่วงบ่ายก่อนและหลังการปรับปรุง

ถึงด้าง ชิ้นงาน	ปริมาณน้ำที่ใช้เฉลี่ยในช่วงบ่าย		เวลาที่ใช้วัด (นาที)
	ก่อนการปรับปรุง (ลิตร)	หลังการปรับปรุง (ลิตร)	
1	65.9	32.9	10
2	100.8	18.4	10
3	89.1	41.8	10
4	72.2	17.5	10
5	76.5	32.2	10
6	73.8	28.8	10
7	66.8	32.9	10
8	83.5	35.3	10
9	87.4	13.4	10
10	-	13.1	10
11	27.9	13.4	10
12	31.3	11.0	10
13	57.5	11.7	10
15	83.0	13.4	10
16	41.6	12.0	10

ค. ข้อมูลดิบแสดงค่าความนำไฟฟ้า

ตารางที่ ข.19 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ วัดครั้งที่ 1

ถังล้างชิ้นงาน	ทางเข้า	กลางถัง 1	กลางถัง 2	ทางออก	หมายเหตุ
1	252	282	-	486	ถังล้างชิ้นงานแบบถังเดี่ยว
2	252	276	812	782	-
3	252	268	327	325	-
4	252	294	381	371	-
5	252	266	388	383	-
6	252	1100	913	887	-
7	252	270	1117	1151	-
8	252	275	380	405	-
9	252	335	-	333	ถังล้างชิ้นงานแบบถังเดี่ยว
10	252	287	385	380	-
11	252	264	293	290	-
12	252	286	438	422	-
13	252	277	303	308	-
15	252	401	-	400	ถังล้างชิ้นงานแบบถังเดี่ยว
16	252	267	324	355	-

ตารางที่ ข.20 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ วัดครั้งที่ 2

ถังล้างชิ้นงาน	ทางเข้า	กลางถัง 1	กลางถัง 2	ทางออก	หมายเหตุ
1	252	601	-	589	ถังล้างชิ้นงานแบบถังเดี่ยว
2	252	273	911	881	-
3	252	270	344	336	-
4	252	358	466	474	-
5	252	269	312	309	-
6	252	807	954	957	-
7	252	267	439	430	-
8	252	271	314	315	-
9	252	609	-	553	ถังล้างชิ้นงานแบบถังเดี่ยว
10	252	278	335	328	-
11	252	265	287	287	-
12	252	290	456	450	-
13	252	279	301	305	-
15	252	386	-	388	ถังล้างชิ้นงานแบบถังเดี่ยว
16	252	268	298	296	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.21 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ วัดครั้งที่ 3

ถึงถังขึ้นงาน	ทางเข้า	กลางถัง 1	กลางถัง 2	ทางออก	หมายเหตุ
1	252	627	-	609	ถึงถังขึ้นงานแบบถังเดียว
2	252	259	571	563	-
3	252	257	343	336	-
4	252	381	537	530	-
5	252	266	435	435	-
6	252	423	688	678	-
7	252	253	319	318	-
8	252	263	510	506	-
9	252	307	-	301	ถึงถังขึ้นงานแบบถังเดียว
10	252	268	324	320	-
11	252	353	258	260	-
12	252	270	371	362	-
13	252	258	274	276	-
15	252	323	-	326	ถึงถังขึ้นงานแบบถังเดียว
16	252	254	269	269	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.22 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ วัดครั้งที่ 4

ถังล้างชิ้นงาน	ทางเข้า	กลางถัง 1	กลางถัง 2	ทางออก	หมายเหตุ
1	252	642	-	645	ถังล้างชิ้นงานแบบถังเดี่ยว
2	252	258	659	645	-
3	252	266	276	276	-
4	252	326	451	446	-
5	252	268	486	492	-
6	252	284	311	311	-
7	252	265	827	891	-
8	252	285	446	451	-
9	252	377	-	366	ถังล้างชิ้นงานแบบถังเดี่ยว
10	252	265	335	328	-
11	252	261	263	264	-
12	252	266	332	330	-
13	252	274	385	384	-
15	252	324	-	327	ถังล้างชิ้นงานแบบถังเดี่ยว
16	252	260	273	278	-

ตารางที่ ข.23 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ วัดครั้งที่ 5

ถึงถังขึ้นงาน	ทางเข้า	กลางถัง 1	กลางถัง 2	ทางออก	หมายเหตุ
1	252	657	-	662	ถึงถังขึ้นงานแบบถังเดียว
2	252	266	759	761	-
3	252	260	433	432	-
4	252	264	328	325	-
5	252	263	693	714	-
6	252	1096	460	364	-
7	252	266	1414	1432	-
8	252	269	512	426	-
9	252	341	-	340	ถึงถังขึ้นงานแบบถังเดียว
10	252	265	339	320	-
11	252	265	285	285	-
12	252	261	310	309	-
13	252	265	377	380	-
15	252	319	-	321	ถึงถังขึ้นงานแบบถังเดียว
16	252	255	267	267	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.24 ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำ วัดครั้งที่ 6

ถังล้างชิ้นงาน	ทางเข้า	กลางถัง 1	กลางถัง 2	ทางออก	หมายเหตุ
1	252	570	-	583	ถังล้างชิ้นงานแบบถังเดี่ยว
2	252	264	393	371	-
3	252	263	525	551	-
4	252	269	367	366	-
5	252	258	319	323	-
6	252	1344	933	927	-
7	252	280	1216	1092	-
8	252	264	276	277	-
9	252	386	-	388	ถังล้างชิ้นงานแบบถังเดี่ยว
10	252	261	355	365	-
11	252	258	274	277	-
12	252	260	285	290	-
13	252	257	319	318	-
15	252	308	-	316	ถังล้างชิ้นงานแบบถังเดี่ยว
16	252	256	268	271	-

ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบและวิธีการทดลองสำหรับการศึกษาหาลักษณะ ของถังชุบโลหะทองแดงแบบกรดที่เหมาะสม

ภาคผนวก ก.1 การทดลองศึกษาลักษณะถังชุบที่เหมาะสม

เมื่อทำการศึกษาถึงกระบวนการชุบโลหะในทางทฤษฎีแล้ว ลักษณะของถังชุบตามข้อมูลจากบริษัทผู้จำหน่ายน้ำยาชุบโลหะจะแตกต่างกับถังชุบโลหะที่ใช้ภายในโรงงาน ดังนั้นจึงทำการศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อกระบวนการชุบโลหะ เพื่อทำการปรับปรุงลักษณะของถังชุบให้เหมาะสมโดยตัวแปรที่ทำการศึกษามี 4 ตัวแปรคือ

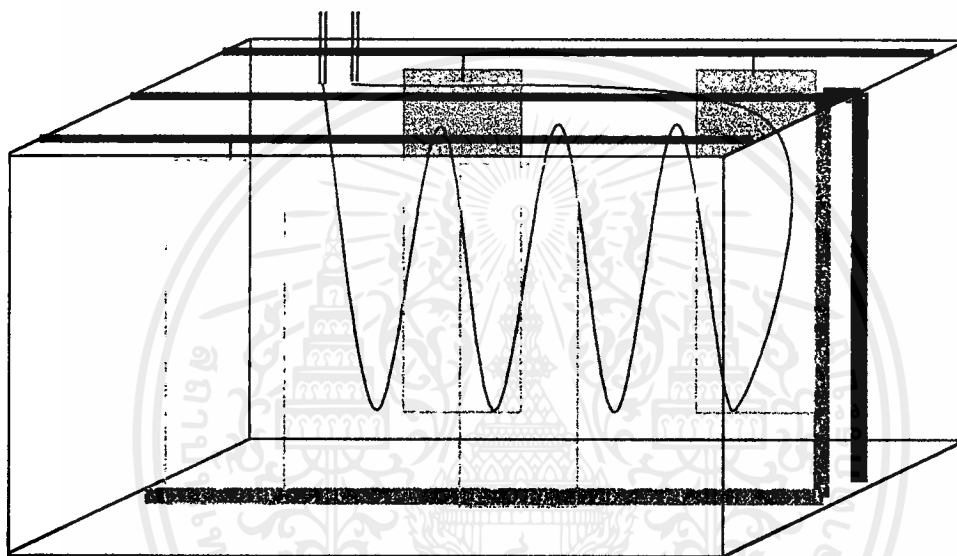
1. พื้นที่ของขั้วแอโนดต่อขั้วแคโทดที่เหมาะสมในการชุบโลหะ
2. ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดและขั้วแคโทด
3. อุณหภูมิที่ใช้ในการชุบโลหะทองแดงแบบกรด
4. ลักษณะการเป่าลมในการชุบโลหะทองแดงแบบกรด

ก. อุปกรณ์ในการทดลอง

1. ถังชุบโลหะขนาด 200 ลิตร
2. ชั่งงานทดลอง
3. ลวดทองแดง
4. แผ่นทองแดง
5. เครื่องจ่ายไฟกระแสตรง
6. เครื่องกรองน้ำยา
7. มิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้า
8. นาฬิกาจับเวลา
9. ท่อพีวีซี
10. ข้อต่อและจุกปิดพีวีซี
11. คอกส่ว่านขนาด 2 และ 3 มิลลิเมตร

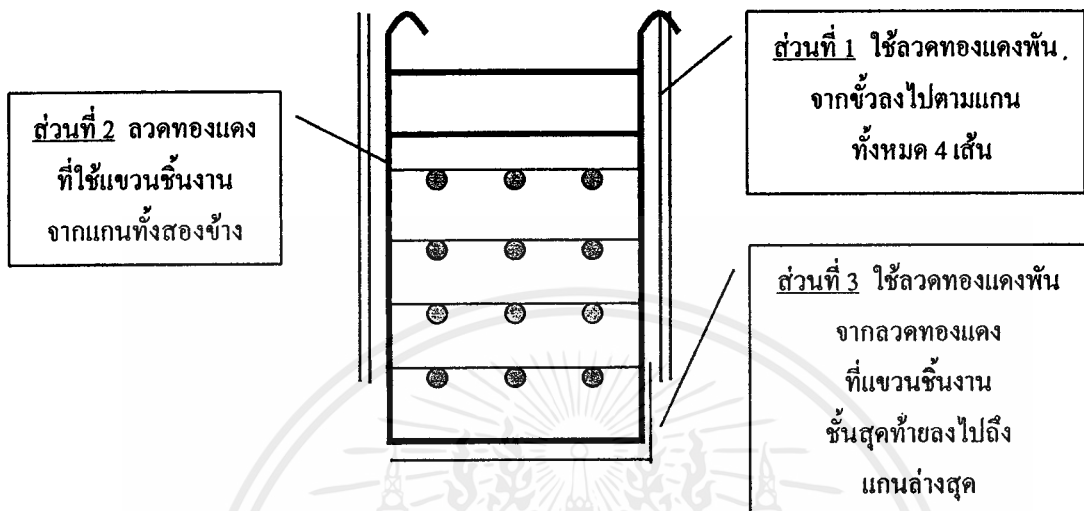
ข. วิธีการทดลอง

1. จัดเตรียมถังชุบโลหะ บรรจุน้ำยาชุบโลหะทองแดงแบบกรดปริมาณ 200 ลิตร นำท่อพีวีซียาว 90 เซนติเมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร โดยมีระยะห่างระหว่างรูเจาะ 5 เซนติเมตร ปลายด้านหนึ่งต่อกับจุกปิดพีวีซี อีกด้านหนึ่งต่อกับท่อลม จัดให้อยู่ที่บริเวณพื้นถึงคอท่อหล่อเย็น และแขวนแผ่นทองแดงกับขั้วแอโนด ดังรูปที่ ค.1



รูปที่ ค.1 ลักษณะถังชุบโลหะที่ใช้ทำการทดลอง

2. ตัดแผ่นชิ้นงานทดลองขนาด 2 x 3 ตารางเซนติเมตร แขวนกับที่แขวนชิ้นงาน โดยมีลักษณะดังรูปที่ ค.2
3. ทำการทดลองเรื่อง พื้นที่ของขั้วแอโนดต่อขั้วแคโทดที่เหมาะสมในการชุบโลหะ ที่อัตราส่วน 1:1, 1.5:1, 2:1, 4:1, 8:1, 12:1, 16:1, 20:1 และ 24:1 โดยใช้ไฟ 13 แอมป์ เป็นเวลา 30 นาที ควบคุมให้ตัวแปรอื่น ๆ มีค่าคงที่ วัดค่าความหนาของชิ้นงาน บันทึกผล
4. ทำการปรับปรุง โดยใช้พื้นที่ของขั้วแอโนดต่อขั้วแคโทดที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ ก.2 ลักษณะการแขวนชิ้นงานในการทดลอง

5. ทำข้อ 3 และ ข้อ 4 โดยเปลี่ยนการทดลองเป็นเรื่องระยะห่างระหว่างขั้วแอโนด และขั้วแคโทด ที่ 25, 20, 15 และ 10 เซนติเมตร อุณหภูมิที่ใช้ในการชุบ โลหะทองแดงแบบกรด ที่ 15°C, 20°C, 22°C, 24°C, 26°C, 28°C, 30°C และ 35°C และลักษณะการเป่าลมในการชุบ ทองแดงแบบกรด โดยใช้มุมที่รูเจาะทำกับพื้นตั้ง ที่ 90°, 60°, 45° และ 30° ตามลำดับ

หมายเหตุ ในการทดลองใช้อัตราการไหลของลมเท่ากับ โรงงาน

ภาคผนวก ก.2 ข้อมูลคิบัติการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการชุบโลหะ

ก. พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด

ตารางที่ ก.1 อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 1:1 การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 25 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันตั้ง

อุณหภูมิ : 24 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 7.91 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	8.13	9.37	8.78	8.74	9.74	9.07	8.07	8.96	8.45
	ด้านหลัง	8.35	9.26		8.33	9.45		8.00	8.77	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	7.59	7.67	7.56	6.64	8.14	7.68	7.19	7.56	7.31
	ด้านหลัง	7.19	7.79		7.52	8.42		7.05	7.44	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	7.44	7.28	7.49	6.63	7.72	7.35	6.93	7.38	7.27
	ด้านหลัง	7.08	8.14		7.32	7.74		6.95	7.81	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	7.88	8.25	7.49	7.99	8.46	8.03	7.81	8.94	8.44
	ด้านหลัง	6.45	7.36		7.07	8.58		8.03	8.98	

หมายเหตุ ความหนาชั้นงานที่อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 1:1 มีค่าน้อย เนื่องจากการละลายของโลหะที่ขั้วแอโนดมีค่าน้อย จึงทำให้จำนวนโลหะที่เข้าไปเกาะที่ขั้วแคโทดมีน้อย ความหนาชั้นงานที่ได้จึงมีค่าน้อย ฉะนั้นที่อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อขั้วแคโทดเท่ากับ 1:1 จึงไม่เหมาะสมในการใช้งาน

ตารางที่ ค.2 อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 1:1 การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 25 ซม.

อุณหภูมิ : 24 °ซ

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 9.96 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	9.33	10.50	10.38	10.30	11.90	10.75	10.40	11.70	10.78
	ด้านหลัง	10.60	11.10		10.20	10.60		10.60	10.40	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	9.06	10.20	9.21	8.78	9.51	9.12	8.85	11.40	9.88
	ด้านหลัง	8.28	9.28		8.78	9.42		8.85	10.40	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	7.66	9.31	9.02	8.24	9.47	9.28	9.17	10.00	9.55
	ด้านหลัง	9.19	9.92		8.49	10.90		8.73	10.30	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	9.63	10.90	10.37	8.51	10.30	9.87	10.70	12.40	11.35
	ด้านหลัง	9.56	11.40		9.47	11.20		10.20	12.10	

ตารางที่ ค.3 อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 1.5:1 การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 25 ซม.

อุณหภูมิ : 24 °ซ

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 14.8 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	13.1	15.3	14.8	12.9	13.7	14.1	13.0	13.6	14.5
	ด้านหลัง	14.0	16.6		14.7	15.2		15.3	16.2	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	12.0	14.2	13.5	12.3	13.2	13.0	11.7	14.5	13.7
	ด้านหลัง	12.6	15.1		12.8	13.5		12.8	15.8	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	10.9	13.0	13.4	11.0	11.2	12.9	12.3	15.0	14.3
	ด้านหลัง	14.3	15.5		13.7	15.7		13.9	16.0	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	13.4	17.4	16.6	16.1	19.8	17.8	18.2	22.2	18.6
	ด้านหลัง	16.3	19.2		15.8	19.3		14.3	19.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ หากมีการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 1.5:1 การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 25 ซม.

อุณหภูมิ : 24 °ซ

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 14.3 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	13.9	13.1	14.2	12.6	11.1	14.2	13.6	13.8	14.0
	ด้านหลัง	13.4	16.5		15.1	18.1		12.6	15.9	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	13.5	14.6	12.7	13.1	14.6	14.1	12.6	16.4	13.4
	ด้านหลัง	10.0	12.5		12.7	15.9		12.0	12.7	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	12.6	12.3	12.9	12.2	12.5	13.0	12.9	15.3	13.7
	ด้านหลัง	12.2	14.5		12.5	14.8		12.0	14.4	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	11.4	14.4	15.0	13.4	20.6	16.8	13.1	22.0	17.9
	ด้านหลัง	14.1	20.0		14.2	18.8		16.8	19.8	

ตารางที่ ค.5 อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 2:1 การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 25 ซม.

อุณหภูมิ : 24 °ซ

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 19.2 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	16.0	20.8	19.6	16.3	19.6	18.5	19.2	20.5	19.6
	ด้านหลัง	18.8	22.6		17.6	20.6		17.6	20.9	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	18.8	23.0	18.4	15.4	19.9	19.9	16.3	20.0	18.3
	ด้านหลัง	14.4	17.3		17.5	26.7		17.0	19.9	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	15.5	17.0	17.5	15.1	19.6	18.0	16.7	18.8	18.1
	ด้านหลัง	15.8	21.8		16.5	20.8		17.1	19.6	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	18.7	18.8	18.0	17.2	22.4	20.0	19.7	27.6	24.5
	ด้านหลัง	17.9	16.6		19.1	21.2		24.1	26.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอ โนคต่อพื้นที่ขั้วแค โทค 2:1 การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนคกับขั้วแค โทค : 25 ซม.

อุณหภูมิ : 24 °ซ

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.0 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	16.0	22.1	18.3	16.2	18.0	17.8	16.1	18.7	18.9
	ด้านหลัง	14.2	20.8		17.1	19.8		16.9	23.9	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	13.9	16.6	16.2	16.5	17.1	15.6	17.0	18.7	16.9
	ด้านหลัง	16.3	17.9		12.8	16.0		14.4	17.4	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	15.0	16.9	17.8	17.3	19.3	17.6	15.2	17.4	17.3
	ด้านหลัง	19.0	20.4		14.0	19.7		16.2	20.4	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	20.7	21.5	18.6	18.5	21.6	20.8	17.6	21.6	20.8
	ด้านหลัง	16.7	15.3		17.8	25.3		19.2	24.9	

ตารางที่ ก.7 อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอ โนคต่อพื้นที่ขั้วแค โทค 4:1 การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนคกับขั้วแค โทค : 25 ซม.

อุณหภูมิ : 25 °ซ

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 19.2 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	18.7	19.3	19.8	16.5	22.9	20.5	18.9	24.5	20.7
	ด้านหลัง	18.1	23.3		23.1	19.5		18.7	20.8	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	16.9	23.1	19.6	17.8	18.8	17.3	13.8	14.4	16.9
	ด้านหลัง	15.8	22.5		17.6	15.1		20.6	18.8	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	20.4	18.0	18.9	15.5	24.6	20.3	18.1	20.0	17.2
	ด้านหลัง	18.3	19.1		19.7	21.6		15.8	14.6	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	24.0	24.1	21.5	14.4	16.8	17.9	19.4	21.0	20.4
	ด้านหลัง	17.7	20.1		17.5	22.9		17.3	23.7	

ตารางที่ ค.8 อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอ โนคต่อพื้นที่ขั้วแค โทค 4:1 การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนคกับขั้วแค โทค : 25 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้านตั้ง

อุณหภูมิ : 24 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.2 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	16.8	17.7	17.8	17.6	17.9	17.8	18.2	16.8	18.9
	ด้านหลัง	17.1	19.5		18.5	17.4		21.8	18.8	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	16.0	18.6	17.4	18.5	17.6	17.6	16.1	20.9	18.9
	ด้านหลัง	15.6	19.4		18.2	16.4		15.9	22.7	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	15.8	18.3	18.2	15.8	17.4	16.7	16.5	18.5	18.2
	ด้านหลัง	16.4	22.2		15.8	17.7		16.8	21.0	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	16.7	20.4	18.4	15.5	18.2	17.2	18.5	24.5	21.7
	ด้านหลัง	16.4	20.1		14.2	20.9		16.5	27.3	

ตารางที่ ค.9 อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอ โนคต่อพื้นที่ขั้วแค โทค 8:1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 12.9 แอมป์ 30 นาที

ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนคกับขั้วแค โทค : 25 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้านตั้ง

อุณหภูมิ : 25 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 20.0 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	22.1	20.6	20.4	18.9	24.5	20.1	20.4	25.0	20.7
	ด้านหลัง	20.6	18.5		16.8	20.1		17.9	19.5	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	18.6	23.3	19.4	23.0	23.8	21.5	16.9	22.9	18.8
	ด้านหลัง	18.0	17.6		20.1	19.3		16.2	19.1	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	16.7	20.7	18.0	20.7	20.7	19.9	19.3	18.9	17.7
	ด้านหลัง	17.1	17.5		18.8	19.4		15.8	16.8	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	19.0	21.9	20.2	18.2	22.2	19.5	26.3	24.9	23.5
	ด้านหลัง	20.4	19.7		16.5	21.1		20.5	22.1	

ตารางที่ ค.10 อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 12:1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 12.9 แอมป์ 30 นาที

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 25 ซม.

อุณหภูมิ : 25 °ซ

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 20.5 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	22.8	19.8	21.1	18.8	25.8	20.8	18.9	22.5	20.3
	ด้านหลัง	18.5	23.3		19.5	19.1		17.4	22.4	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	20.4	19.7	20.8	19.1	19.7	21.3	17.2	20.2	20.1
	ด้านหลัง	20.4	22.8		26.4	20.0		18.9	24.0	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	21.0	20.2	20.9	20.2	20.8	20.4	17.6	19.3	18.3
	ด้านหลัง	19.1	23.3		22.2	18.5		16.7	19.7	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	18.8	22.6	21.7	18.4	22.3	19.8	19.2	23.9	20.9
	ด้านหลัง	20.5	25.0		18.4	20.1		17.9	22.4	

ตารางที่ ค.11 อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 16:1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 25 ซม.

อุณหภูมิ : 25 °ซ

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.3 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	19.8	18.7	18.4	20.5	22.7	19.8	18.9	20.0	20.2
	ด้านหลัง	19.2	15.8		17.3	18.6		21.8	20.0	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	17.8	14.2	16.7	16.6	17.9	17.4	16.8	19.8	18.2
	ด้านหลัง	16.8	17.8		16.7	18.5		17.8	18.5	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	15.5	17.1	16.7	15.8	18.2	17.3	16.2	18.2	18.2
	ด้านหลัง	16.2	17.8		18.5	16.7		17.0	21.4	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	15.1	17.1	17.4	15.5	18.7	18.5	17.4	22.2	20.7
	ด้านหลัง	18.3	19.1		20.0	19.7		21.1	22.3	

ตารางที่ ค.12 อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 20:1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 25 ซม.

อุณหภูมิ : 25 °ซ

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 17.3 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	15.0	17.9	17.2	15.0	16.2	17.3	17.8	20.0	18.0
	ด้านหลัง	16.4	19.7		19.5	18.3		16.5	17.9	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	14.9	16.4	16.0	15.5	17.3	16.2	17.2	18.5	18.1
	ด้านหลัง	15.5	17.3		14.4	17.6		17.0	19.9	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	14.3	17.1	16.3	14.9	16.0	16.1	15.0	16.4	16.9
	ด้านหลัง	14.6	19.1		16.5	17.2		17.8	18.6	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	16.0	18.1	17.4	18.3	20.0	17.8	18.3	25.5	20.3
	ด้านหลัง	14.8	20.7		16.1	16.7		17.5	20.0	

ตารางที่ ค.13 อัตราส่วนพื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด 24:1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 25 ซม.

อุณหภูมิ : 24 °ซ

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 17.7 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	18.0	20.4	18.0	18.2	21.5	18.0	17.0	18.5	18.0
	ด้านหลัง	17.1	16.5		15.5	16.8		15.8	20.9	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	15.6	17.1	16.2	14.3	16.1	15.6	16.8	19.7	17.7
	ด้านหลัง	15.8	16.4		15.0	17.3		14.6	19.7	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	15.5	18.5	17.0	15.9	18.8	17.0	14.6	20.7	16.9
	ด้านหลัง	16.1	18.2		14.6	18.6		14.9	17.4	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	18.3	20.9	19.6	17.6	21.2	19.6	17.4	20.9	19.5
	ด้านหลัง	18.3	20.9		18.0	21.6		18.8	21.0	

ข. ระยะห่างระหว่างซี่แอโนดกับซี่แคโทด

ตารางที่ ค.14 ระยะห่างระหว่างซี่แอโนดกับซี่แคโทด 25 ซม. การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ซี่แอโนดต่อพื้นที่ซี่แคโทด : 2 : 1

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันดั้ม

อุณหภูมิ : 25°C

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : $17.8\ \mu\text{m}$

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	17.0	18.3	18.1	17.4	19.6	17.5	14.5	18.1	16.9
	ด้านหลัง	17.0	20.0		15.0	17.9		15.7	19.2	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	17.3	19.7	16.4	14.2	17.9	16.6	14.8	15.7	16.0
	ด้านหลัง	14.8	13.7		14.5	19.8		14.5	18.8	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	15.7	19.5	17.8	13.2	17.2	15.3	16.2	18.5	16.6
	ด้านหลัง	15.9	20.2		13.6	17.3		14.3	17.2	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	16.7	23.8	21.6	16.4	22.0	22.0	18.4	22.6	19.0
	ด้านหลัง	19.8	26.0		18.1	31.5		15.2	19.7	

ตารางที่ ค.15 ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด 25 ซม. การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

อุณหภูมิ : 26 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.7 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	15.6	18.6	17.5	15.7	19.7	19.1	16.2	18.9	18.6
	ด้านหลัง	18.0	17.6		17.5	23.5		17.9	21.4	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	11.4	19.7	17.8	14.1	21.1	17.6	11.1	17.6	16.4
	ด้านหลัง	15.6	24.5		14.1	21.0		16.6	20.3	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	16.6	17.6	15.9	16.1	21.2	19.2	15.2	22.4	19.1
	ด้านหลัง	13.1	16.1		15.8	23.7		16.2	22.5	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	18.3	20.7	17.9	18.2	25.3	22.0	19.0	24.3	22.9
	ด้านหลัง	14.8	17.9		17.8	26.8		22.2	26.0	

ตารางที่ ค.16 ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด 20 ซม. การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

อุณหภูมิ : 25 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 17.8 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	17.2	20.3	18.0	15.1	16.0	16.8	17.5	25.0	19.1
	ด้านหลัง	16.0	18.4		16.3	19.9		16.2	17.5	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	14.2	16.6	16.1	15.4	17.3	16.3	15.0	18.0	16.3
	ด้านหลัง	15.1	18.5		14.4	17.9		15.2	16.9	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	14.8	18.4	16.3	14.2	16.5	15.2	14.8	17.3	16.3
	ด้านหลัง	15.7	16.3		14.3	15.8		13.9	19.0	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	17.2	21.8	20.1	17.4	24.9	20.6	19.2	24.3	22.4
	ด้านหลัง	17.4	24.0		16.4	23.8		18.1	28.1	

ตารางที่ ค.17 ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด 20 ซม. การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันดั้ม

อุณหภูมิ : 26 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.3 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	16.2	20.1	18.7	18.6	20.2	19.2	16.8	20.1	18.0
	ด้านหลัง	18.8	19.6		18.1	20.0		15.8	19.1	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	14.7	18.1	17.5	14.6	21.2	16.8	14.1	18.8	16.5
	ด้านหลัง	16.1	21.0		14.7	16.7		15.5	17.5	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	15.2	16.0	16.9	13.7	19.6	17.0	14.2	17.7	16.6
	ด้านหลัง	15.2	21.1		14.3	20.5		15.6	18.9	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	18.7	23.6	20.2	18.7	28.1	21.4	17.2	29.5	21.5
	ด้านหลัง	15.3	23.2		14.2	24.6		15.5	23.7	

ตารางที่ ค.18 ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด 15 ซม. การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันดั้ม

อุณหภูมิ : 25 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.5 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	15.8	18.7	19.7	20.6	24.3	21.5	13.8	19.0	19.4
	ด้านหลัง	18.3	25.9		16.9	24.3		21.7	23.2	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	14.6	17.5	16.4	13.1	18.0	17.3	12.7	14.0	16.4
	ด้านหลัง	15.0	18.5		17.5	20.6		17.4	21.3	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	14.2	16.0	15.8	15.2	19.3	18.1	16.1	19.0	17.6
	ด้านหลัง	14.9	18.2		17.1	20.6		14.5	20.8	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	17.3	25.1	20.2	15.1	18.5	19.4	19.6	22.2	20.4
	ด้านหลัง	16.4	21.9		18.6	25.2		13.9	25.7	

ตารางที่ ค.19 ระยะห่างระหว่างขั้วแอมโนดกับขั้วแคโทด 15 ซม. การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอมโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันดั้ม

อุณหภูมิ : 26 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.6 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	16.9	22.6	19.8	20.1	22.4	19.8	16.8	18.3	18.3
	ด้านหลัง	18.7	20.9		17.0	19.5		17.3	20.7	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	15.2	20.0	18.1	15.4	20.5	19.2	13.1	17.7	17.3
	ด้านหลัง	15.9	21.3		16.0	25.0		14.8	23.6	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	14.5	19.9	17.9	14.9	18.5	15.9	12.7	15.1	15.6
	ด้านหลัง	15.6	21.4		13.8	16.3		15.2	19.4	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	18.0	30.6	22.2	21.3	19.8	16.9	14.2	32.7	22.9
	ด้านหลัง	17.5	22.7		11.2	15.2		18.6	26.1	

ตารางที่ ค.20 ระยะห่างระหว่างขั้วแอมโนดกับขั้วแคโทด 10 ซม. การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอมโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันดั้ม

อุณหภูมิ : 25 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.8 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	18.4	22.6	21.8	16.4	26.0	21.5	15.7	22.4	17.7
	ด้านหลัง	21.7	24.6		20.2	23.5		15.1	17.4	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	16.9	20.7	18.8	16.5	21.0	18.0	13.3	19.0	16.4
	ด้านหลัง	15.9	21.6		15.3	19.1		13.7	19.7	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	16.3	19.3	18.7	16.8	19.4	17.5	14.9	19.7	15.9
	ด้านหลัง	16.9	22.1		15.5	18.4		11.5	17.3	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	17.5	24.8	20.7	12.4	19.0	20.3	13.0	18.0	18.6
	ด้านหลัง	17.8	22.7		20.4	29.5		19.5	23.7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับกรณีการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.19 ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนดกับขั้วแค โทด 15 ซม. การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอ โนดต่อพื้นที่ขั้วแค โทด : 2 : 1

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันดั้

อุณหภูมิ : 26 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.6 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	16.9	22.6	19.8	20.1	22.4	19.8	16.8	18.3	18.3
	ด้านหลัง	18.7	20.9		17.0	19.5		17.3	20.7	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	15.2	20.0	18.1	15.4	20.5	19.2	13.1	17.7	17.3
	ด้านหลัง	15.9	21.3		16.0	25.0		14.8	23.6	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	14.5	19.9	17.9	14.9	18.5	15.9	12.7	15.1	15.6
	ด้านหลัง	15.6	21.4		13.8	16.3		15.2	19.4	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	18.0	30.6	22.2	21.3	19.8	16.9	14.2	32.7	22.9
	ด้านหลัง	17.5	22.7		11.2	15.2		18.6	26.1	

ตารางที่ ค.20 ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนดกับขั้วแค โทด 10 ซม. การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอ โนดต่อพื้นที่ขั้วแค โทด : 2 : 1

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันดั้

อุณหภูมิ : 25 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.8 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	18.4	22.6	21.8	16.4	26.0	21.5	15.7	22.4	17.7
	ด้านหลัง	21.7	24.6		20.2	23.5		15.1	17.4	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	16.9	20.7	18.8	16.5	21.0	18.0	13.3	19.0	16.4
	ด้านหลัง	15.9	21.6		15.3	19.1		13.7	19.7	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	16.3	19.3	18.7	16.8	19.4	17.5	14.9	19.7	15.9
	ด้านหลัง	16.9	22.1		15.5	18.4		11.5	17.3	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	17.5	24.8	20.7	12.4	19.0	20.3	13.0	18.0	18.6
	ด้านหลัง	17.8	22.7		20.4	29.5		19.5	23.7	

ตารางที่ ค.21 ระยะห่างระหว่างซี่แอโนดกับซี่แคโทด 10 ซม. การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ซี่แอโนดต่อพื้นที่ซี่แคโทด : 2 : 1

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันตั้ง

อุณหภูมิ : 26 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 19.9 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	16.9	22.2	19.1	18.6	14.5	20.4	21.5	21.8	21.1
	ด้านหลัง	17.0	20.2		23.4	24.9		19.4	21.7	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	14.5	18.4	16.9	21.2	25.0	19.6	14.2	18.0	19.2
	ด้านหลัง	15.7	18.8		13.0	19.2		20.0	24.5	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	14.2	19.5	16.8	15.9	23.6	20.2	16.8	16.2	19.0
	ด้านหลัง	15.6	18.0		16.7	24.4		20.7	22.1	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	15.9	26.0	21.2	18.6	23.9	22.4	24.5	25.0	22.5
	ด้านหลัง	17.3	25.6		21.3	25.9		18.1	22.4	

ค. อุณหภูมิในการชุบเคลือบผิวโลหะ

ตารางที่ ค.22 อุณหภูมิในการชุบ 15°ซ การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันตั้ง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 16.8 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	14.5	15.3	15.9	12.5	24.9	21.5	17.0	17.3	17.1
	ด้านหลัง	16.1	17.6		20.4	28.2		15.6	18.6	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	13.0	17.4	16.6	17.3	14.5	14.2	12.7	17.6	16.0
	ด้านหลัง	14.2	21.8		11.2	13.7		16.8	16.9	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	14.2	21.1	17.4	13.6	18.3	18.0	12.0	17.6	14.8
	ด้านหลัง	13.6	20.6		15.9	24.1		12.5	17.2	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	14.0	18.2	17.2	13.2	16.8	14.7	12.0	24.7	18.0
	ด้านหลัง	15.3	21.2		13.2	15.4		15.6	19.5	

ตารางที่ ค.23 อุณหภูมิในการชุบ 15°ซ การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 17.7 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	12.6	29.1	21.7	18.0	19.8	18.7	16.8	20.5	19.5
	ด้านหลัง	19.3	25.7		17.3	19.8		16.8	23.9	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	15.1	15.7	16.4	13.5	16.1	15.2	13.0	18.3	16.3
	ด้านหลัง	15.5	19.3		15.3	15.9		16.8	16.9	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	12.8	16.1	14.7	11.5	17.1	15.5	14.1	21.0	18.0
	ด้านหลัง	14.0	15.7		14.4	19.0		16.2	20.5	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	12.3	16.9	18.9	12.2	20.3	19.1	19.9	23.3	18.7
	ด้านหลัง	14.5	31.9		17.8	26.2		13.1	18.3	

ตารางที่ ค.24 อุณหภูมิในการชุบ 20°ซ การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.5 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	18.0	20.4	18.6	21.0	26.9	21.4	19.1	25.9	21.7
	ด้านหลัง	14.3	21.6		15.9	21.8		15.6	26.3	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	15.3	20.2	16.7	16.4	23.5	18.1	16.7	21.4	18.2
	ด้านหลัง	15.5	15.7		13.8	18.8		14.3	20.3	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	16.2	25.4	19.2	13.9	19.7	17.3	14.8	18.3	16.5
	ด้านหลัง	12.1	23.0		16.3	19.2		16.3	16.4	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	18.2	20.4	18.3	10.1	19.2	17.9	13.4	20.2	18.8
	ด้านหลัง	13.0	21.5		17.4	24.7		18.8	22.6	

ตารางที่ ค.25 อุณหภูมิในการชุบ 20°ซ การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 19.0 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	22.5	26.3	22.6	20.8	25.8	20.7	17.4	25.3	20.3
	ด้านหลัง	14.0	27.5		10.1	26.1		16.1	22.4	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	16.3	25.1	20.6	16.7	21.1	17.7	16.8	21.3	16.9
	ด้านหลัง	16.7	24.2		12.1	20.7		10.3	19.2	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	15.3	19.7	17.5	12.0	20.6	16.6	13.8	18.1	15.3
	ด้านหลัง	14.6	20.2		15.9	17.9		12.5	16.6	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	21.1	26.3	19.7	18.0	22.0	18.1	21.0	25.7	22.6
	ด้านหลัง	10.5	20.7		11.4	21.1		20.1	23.4	

ตารางที่ ค.26 อุณหภูมิในการชุบ 22°ซ การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.2 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	19.2	26.5	22.3	17.8	25.8	21.8	12.7	23.7	19.9
	ด้านหลัง	14.8	28.7		15.3	28.2		17.4	25.6	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	16.6	21.4	17.4	11.1	18.9	16.8	10.0	20.1	17.0
	ด้านหลัง	12.0	19.7		15.8	21.5		16.8	21.1	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	14.7	15.5	14.8	11.8	14.6	15.3	13.2	18.1	15.9
	ด้านหลัง	12.9	16.1		16.4	18.3		14.4	18.0	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	12.0	21.2	17.6	12.8	21.1	19.1	14.9	20.7	20.3
	ด้านหลัง	17.0	20.0		20.7	21.6		21.7	23.9	

ตารางที่ ค.27 อุณหภูมิในการชุบ 22°ซ การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอ โนคต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนคกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันตั้ง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 17.2 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	16.7	19.4	18.0	13.8	17.0	16.6	16.3	19.3	18.7
	ด้านหลัง	15.3	20.5		16.3	19.4		17.4	21.6	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	11.4	16.7	15.5	12.0	19.9	16.4	15.7	17.6	16.7
	ด้านหลัง	14.7	19.1		14.6	19.1		14.9	18.7	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	12.3	19.9	16.1	12.4	17.1	15.8	11.1	23.4	16.7
	ด้านหลัง	14.0	18.1		14.2	19.6		14.9	17.3	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	13.9	18.6	16.8	17.6	28.7	21.4	14.5	20.4	17.7
	ด้านหลัง	14.5	20.2		16.0	23.1		17.4	18.3	

ตารางที่ ค.28 อุณหภูมิในการชุบ 24°ซ การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอ โนคต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอ โนคกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันตั้ง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.1 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	15.9	25.2	18.8	16.8	22.4	20.3	16.0	23.6	20.6
	ด้านหลัง	12.9	21.1		15.6	26.3		16.6	26.2	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	12.9	17.1	14.8	12.1	19.2	17.6	17.2	20.1	17.0
	ด้านหลัง	11.7	17.4		16.4	22.5		12.9	17.6	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	12.7	17.1	14.1	15.2	19.7	15.8	11.4	14.2	16.5
	ด้านหลัง	10.4	16.2		15.4	13.0		18.4	22.1	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	17.8	21.5	21.5	16.6	19.0	18.0	18.0	21.9	22.3
	ด้านหลัง	20.4	26.3		17.5	18.7		18.4	30.8	

ตารางที่ ค.29 อุณหภูมิในการชุบ 24°ซ การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 17.9 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	17.0	23.3	19.5	19.1	24.8	19.7	17.2	23.7	22.7
	ด้านหลัง	12.7	25.1		14.2	20.7		20.3	29.4	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	15.3	17.4	14.9	15.8	17.7	16.1	15.5	18.9	17.8
	ด้านหลัง	10.1	16.6		11.7	19.1		14.0	22.7	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	14.1	18.1	15.3	14.6	18.3	15.6	17.2	18.4	17.4
	ด้านหลัง	12.1	16.9		11.1	18.4		13.8	20.0	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	16.0	20.5	17.3	18.6	20.8	17.8	13.3	23.1	20.8
	ด้านหลัง	12.2	20.3		13.0	18.8		21.8	25.0	

ตารางที่ ค.30 อุณหภูมิในการชุบ 26°ซ การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับก้นถัง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 17.3 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	16.5	23.0	18.5	15.4	20.5	18.1	15.0	19.1	18.1
	ด้านหลัง	15.0	19.5		11.3	25.0		17.2	20.9	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	14.4	18.4	15.0	15.8	18.6	16.7	16.0	18.5	16.0
	ด้านหลัง	12.5	14.8		12.8	19.6		13.3	16.3	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	15.1	17.2	16.3	16.1	16.4	16.4	17.4	20.3	17.2
	ด้านหลัง	13.6	19.4		14.7	18.3		15.6	15.3	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	18.6	18.0	18.3	17.1	22.8	18.5	16.4	22.1	18.5
	ด้านหลัง	13.7	22.9		13.7	20.5		15.3	20.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.31 อุณหภูมิในการชุบ 26°C การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันตั้ง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 17.2 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	16.3	22.0	19.3	18.5	25.6	21.9	16.8	24.0	20.1
	ด้านหลัง	15.3	23.4		18.0	25.6		19.8	19.9	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	12.2	15.3	13.8	13.1	15.8	14.8	12.2	17.2	15.8
	ด้านหลัง	13.7	14.1		14.6	15.5		16.8	17.1	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	12.3	15.5	14.8	15.2	16.6	15.2	17.7	16.0	15.7
	ด้านหลัง	14.2	17.0		11.7	17.3		12.3	16.8	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	14.4	19.5	17.8	13.8	23.7	19.1	11.7	18.8	17.9
	ด้านหลัง	17.2	20.1		17.1	21.9		18.0	22.9	

ตารางที่ ค.32 อุณหภูมิในการชุบ 28°C การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันตั้ง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.2 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	16.8	23.6	20.4	18.8	22.8	20.5	15.4	21.8	18.6
	ด้านหลัง	18.4	22.8		19.8	20.7		17.4	19.7	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	16.8	17.0	16.3	14.7	16.9	16.8	19.5	22.2	17.0
	ด้านหลัง	15.5	15.7		16.7	19.0		16.2	10.1	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	17.3	19.7	16.5	15.5	18.2	15.4	17.3	20.0	17.8
	ด้านหลัง	10.5	18.5		11.8	15.9		12.0	21.9	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	13.0	17.7	17.8	14.8	18.8	18.7	24.0	29.2	22.7
	ด้านหลัง	19.0	21.5		19.2	22.0		17.0	20.5	

ตารางที่ ค.33 อุณหภูมิในการชุบ 28°ซ การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ลักษณะการเป่าลม : 90° ก้นก้นถึง

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 16.6 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	15.4	21.7	17.9	13.0	22.3	17.1	12.4	17.5	18.4
	ด้านหลัง	16.0	18.5		14.0	19.2		19.4	24.4	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	13.5	16.0	15.5	12.4	17.6	15.5	13.2	18.6	17.0
	ด้านหลัง	14.9	17.4		16.4	15.6		15.7	20.5	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	12.7	15.2	14.6	11.8	17.8	15.5	13.2	16.4	18.1
	ด้านหลัง	13.5	16.8		15.4	16.8		16.9	26.0	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	13.4	19.4	16.7	14.0	19.7	17.6	11.6	17.6	15.8
	ด้านหลัง	14.7	19.1		16.9	19.9		17.3	16.6	

ตารางที่ ค.34 อุณหภูมิในการชุบ 30°ซ การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ลักษณะการเป่าลม : 90° ก้นก้นถึง

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 17.5 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	14.1	16.5	16.8	17.8	18.5	17.8	14.4	15.3	16.9
	ด้านหลัง	17.4	19.3		15.9	19.1		18.2	19.8	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	13.5	19.9	17.6	13.4	15.8	16.2	14.4	17.1	16.3
	ด้านหลัง	17.0	19.9		15.5	20.0		15.4	18.1	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	12.7	15.2	16.9	12.5	19.7	16.9	12.3	20.6	16.6
	ด้านหลัง	15.2	24.4		15.6	19.7		15.1	18.5	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	15.1	21.8	19.8	14.6	22.4	19.6	14.0	22.1	19.2
	ด้านหลัง	18.4	23.9		18.0	23.5		18.1	22.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนุญาตเห็นาใบเซปประเอยชนด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.35 อุณหภูมิในการชุบ 30°ซ การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันตั้ง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 16.9 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	13.4	17.9	17.4	12.7	17.9	16.7	12.8	18.7	17.5
	ด้านหลัง	18.1	20.3		16.9	19.4		16.4	21.9	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	9.4	14.9	14.8	11.3	16.4	14.9	13.3	21.8	17.1
	ด้านหลัง	16.8	18.2		14.8	17.1		15.1	18.3	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	13.4	20.1	17.2	10.9	18.8	15.4	13.0	16.7	15.1
	ด้านหลัง	15.7	19.4		14.4	17.3		14.5	16.0	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	15.1	21.0	19.0	11.4	22.9	18.9	13.4	19.6	18.9
	ด้านหลัง	18.0	21.9		17.8	23.6		18.5	24.0	

ตารางที่ ค.36 อุณหภูมิในการชุบ 35°ซ การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° กับกันตั้ง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.5 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	13.3	28.5	22.7	12.3	20.6	21.3	14.6	24.9	20.5
	ด้านหลัง	21.0	28.0		21.8	30.3		20.4	21.9	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	18.6	26.5	18.8	11.4	18.7	17.0	17.9	19.1	16.0
	ด้านหลัง	10.9	19.1		18.6	19.2		9.8	17.1	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	12.0	20.4	16.6	11.4	18.2	16.9	12.0	19.0	18.8
	ด้านหลัง	15.5	18.6		16.0	21.8		19.6	24.6	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	12.9	16.0	15.5	11.4	19.7	19.4	20.9	27.6	18.6
	ด้านหลัง	16.9	16.3		22.6	23.8		11.6	14.1	

ตารางที่ ค.37 อุณหภูมิในการชุบ 35°C การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

ลักษณะการเป่าลม : 90° ก้นก้นถึง

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.3 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	18.7	21.9	19.2	19.1	22.5	21.3	18.8	26.4	23.5
	ด้านหลัง	12.4	23.8		17.1	26.5		17.7	30.9	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	11.5	18.2	17.0	15.8	18.2	17.0	12.2	14.3	17.1
	ด้านหลัง	18.1	20.3		15.9	17.9		19.6	22.3	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	17.1	18.0	15.7	17.5	16.7	17.5	18.1	16.6	16.9
	ด้านหลัง	15.1	12.4		15.7	20.0		13.5	19.5	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	17.1	17.5	16.8	17.4	18.8	17.0	15.0	23.0	21.4
	ด้านหลัง	12.8	19.6		13.2	18.4		23.8	23.8	

จ. ลักษณะการเป่าลมในการชุบทองแดงแบบกรด

ตารางที่ ค.38 มุมระหว่างรูท่อลมกับพื้นตั้ง 90° การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

อุณหภูมิ : 25 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.5 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	21.3	20.3	20.3	18.8	20.7	20.2	16.8	18.9	18.2
	ด้านหลัง	18.6	20.8		18.5	22.6		18.2	19.0	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	18.0	18.5	17.2	15.4	17.5	16.0	13.2	16.2	16.4
	ด้านหลัง	16.5	15.9		15.1	16.0		17.4	18.6	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	16.9	18.1	16.8	15.8	15.5	15.8	15.6	18.2	17.9
	ด้านหลัง	15.5	16.5		13.9	18.0		17.1	20.8	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	20.8	23.4	21.0	19.5	26.8	20.7	20.5	21.6	21.3
	ด้านหลัง	19.0	20.6		19.0	17.6		18.8	24.1	

ตารางที่ ค.39 มุมระหว่างรูที่อลมกับพื้นถึง 90° การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13.1 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

อุณหภูมิ : 25 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 18.3 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	19.6	21.0	20.3	19.4	19.9	19.0	19.1	19.7	19.5
	ด้านหลัง	18.2	22.3		17.7	19.0		19.0	20.3	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	18.7	16.0	17.5	16.2	17.3	16.5	18.0	18.0	18.9
	ด้านหลัง	16.1	19.0		15.4	17.1		17.6	21.8	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	16.7	16.7	15.9	16.3	16.2	15.6	17.0	18.8	19.0
	ด้านหลัง	12.9	17.1		14.2	15.5		15.6	24.4	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	18.5	16.6	18.3	18.2	21.6	18.4	20.5	25.6	20.6
	ด้านหลัง	18.8	19.1		16.2	17.4		18.1	18.2	

ตารางที่ ค.40 มุมระหว่างรูที่อลมกับพื้นถึง 60° การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

อุณหภูมิ : 25.3 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 17.1 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	17.5	16.8	18.1	16.5	17.2	17.8	18.0	19.4	18.7
	ด้านหลัง	18.7	19.4		16.8	20.5		18.0	19.5	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	12.5	13.9	17.4	16.0	16.2	15.4	18.0	17.4	16.4
	ด้านหลัง	20.9	22.4		14.5	15.0		15.0	15.2	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	16.3	17.6	16.6	13.5	14.3	14.9	14.8	16.3	16.3
	ด้านหลัง	16.0	16.3		15.5	16.4		15.4	18.6	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	19.5	22.3	19.3	16.6	20.0	17.7	18.2	19.6	16.7
	ด้านหลัง	17.1	18.3		15.5	18.7		14.2	14.7	

ตารางที่ ค.41 มุมระหว่างรูทอกลมกับพื้นถึง 60° การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13.1 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

อุณหภูมิ : 25 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 17.7 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	15.8	17.8	19.7	18.2	19.0	19.3	16.5	19.5	20.5
	ด้านหลัง	22.3	22.8		19.7	20.3		23.1	23.0	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	15.3	15.3	16.3	13.7	14.2	14.4	17.3	20.9	17.7
	ด้านหลัง	16.7	17.7		15.1	14.4		15.6	16.8	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	14.4	14.9	16.5	14.5	13.3	15.9	15.5	15.0	15.8
	ด้านหลัง	17.6	19.1		17.0	18.6		15.5	17.2	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	17.5	20.0	19.4	17.8	21.4	19.5	15.1	16.4	17.1
	ด้านหลัง	20.2	19.8		18.7	20.2		17.7	19.0	

ตารางที่ ค.42 มุมระหว่างรูทอกลมกับพื้นถึง 45° การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

อุณหภูมิ : 25 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 17.7 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	18.0	18.7	17.9	15.1	19.4	18.7	17.8	21.8	19.3
	ด้านหลัง	18.1	16.7		20.1	20.0		18.4	19.3	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	13.2	14.6	15.7	12.5	17.9	17.8	17.3	16.7	16.4
	ด้านหลัง	17.1	17.7		19.9	20.7		15.5	16.1	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	13.3	14.2	16.0	12.1	13.2	15.4	16.2	17.7	16.9
	ด้านหลัง	18.0	18.5		17.1	19.3		16.2	17.5	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	16.7	18.1	19.3	19.8	21.6	19.3	21.5	22.5	20.4
	ด้านหลัง	20.6	21.7		16.0	19.8		16.7	21.0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเห็นาเบ้ขอขมา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.43 มุมระหว่างรูทอกลมกับพื้นถึง 45° การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

อุณหภูมิ : 25°C

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : $18.3\ \mu\text{m}$

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	18.8	21.4	20.6	21.4	22.4	21.2	21.9	23.2	21.8
	ด้านหลัง	19.3	22.8		18.2	22.6		18.9	23.2	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	18.8	20.4	18.3	17.3	18.4	17.7	17.5	19.1	18.2
	ด้านหลัง	16.8	17.3		14.3	20.7		17.8	18.4	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	16.3	16.8	16.1	14.2	13.9	15.2	15.5	15.6	16.5
	ด้านหลัง	15.6	15.6		16.5	16.2		17.5	17.4	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	16.8	16.4	19.3	17.9	20.0	17.0	16.3	17.8	18.1
	ด้านหลัง	20.7	23.4		15.1	14.9		17.8	20.3	

ตารางที่ ค.44 มุมระหว่างรูทอกลมกับพื้นถึง 30° การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

อุณหภูมิ : 24.5°C

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : $18.0\ \mu\text{m}$

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	18.0	18.2	19.5	19.9	20.5	19.0	18.0	18.2	18.9
	ด้านหลัง	20.6	21.0		16.9	18.6		19.2	20.2	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	17.9	17.4	17.8	14.9	15.3	15.6	14.6	14.6	16.1
	ด้านหลัง	17.5	18.4		16.0	16.0		17.6	17.6	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	14.4	16.0	15.9	15.8	16.3	15.7	15.7	16.6	16.9
	ด้านหลัง	16.7	16.6		14.7	15.8		15.8	19.5	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	18.1	20.0	20.8	19.0	25.8	21.7	18.8	19.3	18.1
	ด้านหลัง	21.8	23.4		19.6	22.4		16.2	17.9	

ตารางที่ ค.45 มุมระหว่างรูทออลมกับพื้นถึง 30° การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 สภาวะ : 13 แอมป์ 30 นาที

พื้นที่ขั้วแอโนดต่อพื้นที่ขั้วแคโทด : 2 : 1

ระยะห่างระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทด : 15 ซม.

อุณหภูมิ : 24 °ซ

ความหนาชั้นงานเฉลี่ยที่ได้ : 17.5 μm

		ความหนาชั้นงานชั้นที่ 1			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 2			ความหนาชั้นงานชั้นที่ 3		
		วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm	วัดครั้งที่		เฉลี่ย μm
		1	2		1	2		1	2	
แถวที่ 1	ด้านหน้า	12.9	15.9	15.2	15.8	16.6	18.9	18.5	20.5	18.2
	ด้านหลัง	16.0	16.1		18.8	24.2		14.3	19.5	
แถวที่ 2	ด้านหน้า	15.4	16.8	16.3	16.1	16.5	14.8	16.1	18.3	17.0
	ด้านหลัง	15.5	17.5		11.7	14.9		15.4	18.1	
แถวที่ 3	ด้านหน้า	14.0	14.7	14.7	14.6	22.0	17.6	15.6	17.7	17.8
	ด้านหลัง	13.3	16.9		14.1	19.6		15.8	22.2	
แถวที่ 4	ด้านหน้า	16.4	21.2	22.6	21.7	20.0	19.3	16.3	17.3	17.3
	ด้านหลัง	23.5	29.1		16.4	19.0		15.4	20.0	

ภาคผนวก ค.3 วิธีการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิต่อการชุบเคลือบผิวด้วยโลหะทองแดงแบบกรด

เมื่อทราบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อความหนาของโลหะทองแดงที่เคลือบบนชิ้นงาน จึงทำการศึกษาถึงผลกระทบอื่น ๆ ที่มีต่อการชุบเคลือบผิวด้วยโลหะทองแดง โดยทำการทดสอบฮัลเซลล์

ก. อุปกรณ์การทดลอง

1. ก่อ่งทดสอบฮัลเซลล์
2. ปีมล
3. ฮีทเตอร์
4. เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. นาฬิกาจับเวลา
7. ขั้วทองแดง
8. แผ่นทองเหลือง
9. ปีกเกอร์
10. แท่งแก้วคน
11. น้ำยาชุบโลหะทองแดงแบบกรด
12. น้ำแข็ง

ข. วิธีการทดลอง

1. จัดอุปกรณ์ทดสอบฮัลเซลล์ ต่อขั้วทองแดงเข้ากับขั้วแอโนดของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า และแผ่นทองเหลืองเข้ากับขั้วแคโทด
2. เตรียมน้ำยาชุบโลหะทองแดงแบบกรดที่อุณหภูมิ 15°C บรรจุลงในก่อก่งทดสอบฮัลเซลล์ ทำการทดสอบที่กระแสไฟ 2 แอมป์ เป็นเวลา 2, 4 และ 6 นาที ตามลำดับ
3. สังเกตและเปรียบเทียบแผ่นทองเหลืองที่ได้หลังจากการทดสอบฮัลเซลล์ ที่เวลาแตกต่างกัน บันทึกผล
4. ทำข้อ 2 และ 3 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 20°C , 22°C , 24°C , 26°C , 28°C , 30°C และ 35°C ตามลำดับ
5. สังเกตและเปรียบเทียบแผ่นทองเหลืองที่ได้หลังจากการทดสอบฮัลเซลล์ ที่เวลาและอุณหภูมิแตกต่างกัน บันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.4 วิธีการทดลองลักษณะลมที่ออกมาจากท่อลม

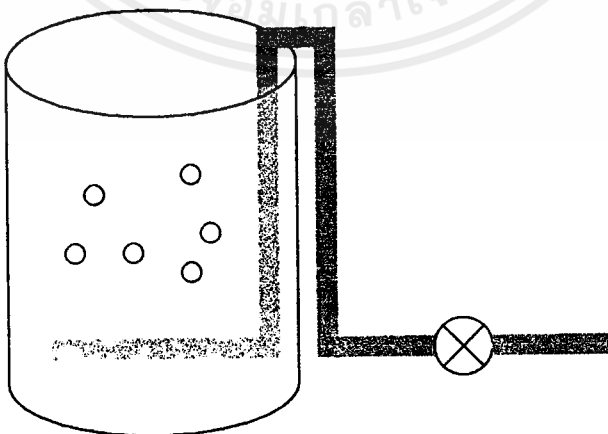
จากการศึกษาถึงผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อกระบวนการชุบโลหะ มุมของรูที่ทำกับกันถึงไม่มีผลต่อความหนาของชิ้นงาน แต่ลมที่ได้จากท่อนั้นจะช่วยกวนน้ำยาชุบโลหะ เพื่อให้ได้ฟองอากาศที่เกิดบริเวณผิวชิ้นงาน ทำให้การชุบโลหะมีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น

ก. อุปกรณ์การทดลอง

1. ปีมล
2. ท่อพีวีซี
3. วาล์ว
4. ข้อต่อมุม 90°
5. จุกปิดท่อพีวีซี
6. ถังบรรจุน้ำ
7. สว่าน
8. ดอกสว่านขนาด 2 และ 3 มิลลิเมตร

ข. วิธีการทดลอง

1. จัดอุปกรณ์ทดลองดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 อุปกรณ์การทดลองลักษณะลมที่ออกมาจากท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เจาะรูขนาด 3 มิลลิเมตรที่ท่อบีวีซี โดยแนวของรูทำมุม 0° , 30° , 45° , 60° และ 90° กับพื้นถึง

3. ต่อท่อเจาะรูโดยแนวของรูทำมุม 0° กับพื้นถึงเข้ากับอุปกรณ์ทดลอง เปิดวาล์วให้ลมไหลเข้า สังเกตลักษณะของลมที่ออกมาจากรู บันทึกลงผล

4. ทำข้อ 3 โดยเปลี่ยนท่อเจาะรูเป็น 30° , 45° , 60° และ 90° ตามลำดับ

5. ทำข้อ 2 โดยเปลี่ยนที่เจาะรูเป็นขนาด 2 มิลลิเมตร

6. เปรียบเทียบลักษณะของลมที่ออกมาจากรูที่มุมแตกต่างกัน

ค. ผลการทดลอง

เมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดของรูระหว่าง 2 มิลลิเมตร กับ 3 มิลลิเมตร จะได้ว่า ปริมาตรของฟองอากาศที่ออกมาจากรูของขนาด 3 มิลลิเมตร มีขนาดใหญ่ และปริมาตรของฟองอากาศที่ออกมาจากรูของขนาด 2 มิลลิเมตร มีขนาดเล็กและกระจายตัวดีกว่าฟองอากาศที่ออกมาจากรูของขนาด 3 มิลลิเมตร การวิเคราะห์ผลการทดลองลักษณะของลมที่ออกมาจากรูขนาด 2 มิลลิเมตรที่มุมแตกต่างกันแสดงดังตาราง ค.46

ตารางที่ ค.46 ผลการทดลองลักษณะของลมที่ออกมาจากรูที่มุมแตกต่างกัน

มุมของรูที่ทำกับพื้นถึง	ลักษณะของลม
0°	ลมที่ออกมาจะเกาะมาตามท่อและขึ้นมา โคนชิ้นงาน โดยตรง
30°	ลมที่ออกมาไม่ โคนชิ้นงานมากนัก ชิ้นงานแกว่งเล็กน้อย
45°	ลมที่ออกมาอยู่ในแนวที่ใกล้ชิ้นงานมาก ชิ้นงานแกว่ง
60°	ลมที่ออกมาอยู่ในแนวที่ใกล้ชิ้นงานมาก ชิ้นงานแกว่ง
90°	ลมที่ออกมาจะ โคนกับชิ้นงาน โดยตรง ชิ้นงานแกว่งมาก

ภาคผนวก ง

ข้อมูลดิบและวิธีการคำนวณสำหรับการลดปริมาณการใช้ลวดทองแดง และหาลักษณะการพันลวดทองแดงที่เหมาะสม

ภาคผนวก ง.1 ข้อมูลดิบของการพันชิ้นงานแบบเดิม

ทำการเก็บข้อมูลความยาวลวดทองแดงที่ใช้ในการพันชิ้นงาน โดยเฉลี่ย โดยวัดความยาวของลวดทองแดงที่ใช้ แล้วนำไปพันชิ้นงานกับที่แวนชิ้นงาน วัดความยาวของลวดทองแดงที่เหลือ แล้วนำไปลบกับความยาวลวดทองแดงที่วัดไว้เบื้องต้น จะได้ความยาวลวดที่ใช้ทั้งหมด นำเศษลวดทองแดงที่ถูกตัดทิ้งมาวัดความยาวทั้งหมด ได้ความยาวเศษของลวดทองแดงนำไปลบออกจากค่าความยาวลวดที่ใช้ไปทั้งหมด จะได้ความยาวของลวดทองแดงที่ติดไปกับที่แวนชิ้นงาน ในการทดลองแต่ละครั้งทำการหาพื้นที่ของชิ้นงานต่อที่แวนชิ้นงานด้วย จากการเก็บข้อมูลสามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ ง.1

จากข้อมูลในตารางที่ ง.1 สามารถหาความยาวลวดทองแดงที่ติดไปกับที่แวนชิ้นงานต่อพื้นที่ชิ้นงาน เท่ากับ $6.58 / 2.20 = 3.00$ เมตรต่อตารางเดซิเมตร

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลดิบของพื้นที่ขึ้นงาน ความยาวลวดทองแดงที่ใช้ ความยาวลวดที่ติดไปกับที่แขวนขึ้นงาน และเศษที่เหลือจากการพันขึ้นงานต่อที่แขวนขึ้นงาน 1 อัน

ขึ้นงาน	พื้นที่ของขึ้นงาน ต่อ Rack (dm ²)	ความยาวลวดที่ใช้ ไปทั้งหมด (m)	ความยาวลวดที่ติดไปกับ ที่แขวนขึ้นงาน (m)	เศษที่เหลือจากการ พันขึ้นงาน (m)
ชนิดที่ 1	3.00	7.43	7.24	0.20
ชนิดที่ 2	1.68	6.70	6.55	0.15
ชนิดที่ 3	1.48	8.48	7.60	0.88
ชนิดที่ 4	1.92	8.42	8.37	0.05
ชนิดที่ 5	1.92	8.42	8.37	0.05
ชนิดที่ 6	0.78	5.55	5.50	0.05
ชนิดที่ 7	2.40	5.71	5.66	0.05
ชนิดที่ 8	1.45	7.25	7.20	0.05
ชนิดที่ 9	2.04	4.82	4.74	0.08
ชนิดที่ 10	2.40	6.03	5.96	0.08
ชนิดที่ 11	2.60	5.69	5.50	0.19
ชนิดที่ 12	1.65	4.89	4.74	0.15
ชนิดที่ 13	3.25	6.17	6.13	0.05
ชนิดที่ 14	2.16	7.96	7.80	0.16
ชนิดที่ 15	2.16	7.94	7.84	0.10
ชนิดที่ 16	1.48	7.05	6.99	0.06
ชนิดที่ 17	2.60	5.86	5.86	0.00
ชนิดที่ 18	3.00	7.39	7.31	0.08
ชนิดที่ 19	3.40	7.04	5.59	1.45
ชนิดที่ 20	2.60	6.73	6.72	0.02
เฉลี่ย	2.20	6.78	6.58	0.20

ภาคผนวก ง.2 ข้อมูลดิบความหนาของโลหะนิกเกิลและโลหะทองแดง

นำลวดทองแดงที่ผ่านกระบวนการชุบโลหะแล้ว มาทำการวัดความหนาของโลหะนิกเกิลด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ แสดงผลการวัดความหนาดังตารางที่ ง.2

ตารางที่ ง.2 ข้อมูลดิบจากการวัดความหนาของโลหะนิกเกิลด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์

ครั้งที่วัด	ความหนา (ไมครอน)	ครั้งที่วัด	ความหนา (ไมครอน)	ครั้งที่วัด	ความหนา (ไมครอน)	ครั้งที่วัด	ความหนา (ไมครอน)
1	18.90	21	19.60	41	32.30	61	25.40
2	22.30	22	21.80	42	13.60	62	20.90
3	6.16	23	28.60	43	16.50	63	47.20
4	2.44	24	29.20	44	24.70	64	16.50
5	4.20	25	22.20	45	17.10	65	27.70
6	16.20	26	23.80	46	19.90	66	49.40
7	18.60	27	23.20	47	18.30	67	25.90
8	18.20	28	22.90	48	23.20	68	21.30
9	18.50	29	22.40	49	16.80	69	24.70
10	4.30	30	20.50	50	30.80	70	23.30
11	21.60	31	31.20	51	9.16	71	32.20
12	19.80	32	21.40	52	25.40	72	24.00
13	21.40	33	25.90	53	20.40	73	14.60
14	16.80	34	26.90	54	20.10	74	25.50
15	14.60	35	22.60	55	38.70	75	24.30
16	35.30	36	25.80	56	50.00	76	23.90
17	29.00	37	20.80	57	47.80	77	27.60
18	22.30	38	2.77	58	34.00	78	20.20
19	27.40	39	14.30	59	26.90	79	20.70
20	12.90	40	21.60	60	7.61	80	32.20

จากข้อมูลดิบในตารางที่ ง.2 สามารถคำนวณหาค่าเฉลี่ยความหนาของโลหะ निकเกิดได้เท่ากับ 22.8 ไมครอน

ความหนาของโลหะทองแดงไม่สามารถวัดได้ด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ เนื่องจากว่าลวดทองแดงเป็นโลหะชนิดเดียวกันกับโลหะทองแดงที่มาเกาะที่ผิวของลวดทองแดง เมื่อนำไปวัดความหนาเครื่องจะวัดความหนารวมของลวดทองแดงด้วย และด้วยความสามารถของเครื่องเอ็กซ์เรย์ ที่วัดความหนาได้ในช่วงที่ไม่เกิน 54.3 ไมครอน จึงทำให้เครื่องเอ็กซ์เรย์ ไม่สามารถวัดความหนาของโลหะทองแดงรวมกับความหนาของลวดทองแดงได้ (ลวดทองแดงมีความหนา 600 ไมครอน) เพราะความหนาที่วัดเกินขีดจำกัดของเครื่องเอ็กซ์เรย์จึงได้ทำการวัดความหนาของโลหะทองแดงโดยใช้เวอร์เนียร์เป็นเครื่องมือในการวัดความหนา แล้วหักลบในส่วนที่เป็นความหนาของลวดทองแดงและความหนาของโลหะ निकเกิดออก ซึ่งสามารถหาค่าความหนาเฉลี่ยของโลหะทองแดงได้เท่ากับ 77 ไมครอน



ภาคผนวก ง.3 การคำนวณหาจำนวนที่แขวนชิ้นงานที่ทำได้ต่อปี และพื้นที่ชิ้นงานที่เข้ากระบวนการชุบโลหะต่อปี

การคำนวณหาจำนวนที่แขวนชิ้นงานที่ทำได้ต่อปี และการคำนวณหาพื้นที่ชิ้นงานที่เข้าสู่กระบวนการชุบโลหะต่อปี

ปี พ.ศ. 2540 ใช้ลวดทองแดงไปทั้งหมด 872 กิโลกรัม

ความหนาแน่นของลวดทองแดงเท่ากับ 8,960 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ดังนั้นปริมาตรลวดทองแดงที่ใช้ไป = $872 / 8,960$

= 0.0973 ลูกบาศก์เมตร

ลวดทองแดงมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6×10^{-4} เมตร (0.6 มิลลิเมตร)

พื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดทองแดง = $\pi \times (6 \times 10^{-4})^2 / 4$

= 2.83×10^{-7} ตารางเมตร

ลวดทองแดงที่ใช้มีความยาว = $0.0973 / (2.83 \times 10^{-7})$

= 343,800 เมตร

ใช้ลวดทองแดง 6.78 เมตร ต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน

ดังนั้นสามารถพันชิ้นงานกับที่แขวนชิ้นงานได้ = $343,800 / 6.78$

= 50,700 อันต่อปี

พื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ยต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อันคือ 2.20 ตารางเดซิเมตร

พื้นที่ชิ้นงานที่เข้ากระบวนการชุบโลหะต่อปี = $50,700 \times 2.20$

= 111,500 ตารางเดซิเมตรต่อปี

ภาคผนวก ง.4 ข้อมูลดิบจากการทดลองการพันลวดทองแดงสำหรับชิ้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก

ก. แบบที่ 1

1. ความยาวลวดทองแดงที่ใช้ต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน เท่ากับ 5.98 เมตร แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่ง ความยาวลวดทองแดงที่ติดไปกับที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน เท่ากับ 5.78 เมตร ส่วนที่สอง ความยาวเศษที่เหลือจากการพันลวดทองแดง 1 อัน เท่ากับ 0.20 เมตร
2. พื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ย เท่ากับ 2.20 ตารางเดซิเมตร
3. ความยาวลวดทองแดงที่ติดไปกับที่แขวนชิ้นงานต่อพื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ย แบบปัจจุบัน เท่ากับ 3.00 เมตรต่อตารางเดซิเมตร (ภาคผนวก ง.1) และในแบบที่ 1 เท่ากับ $5.78/2.20 = 2.63$ เมตรต่อตารางเดซิเมตร
4. ปริมาณการใช้ลวดทองแดงลดลง เท่ากับ $((3.00 - 2.63) \times 100) / 3.00 = 12.3 \%$
5. ความหนาชิ้นงานที่ได้จากการทดลองแบบปัจจุบันแสดงดังตารางที่ ง.3 และแบบที่ 1 แสดงดังตารางที่ ง.4

ตารางที่ ง.3 ข้อมูลดิบความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบปัจจุบันที่ได้จากการทดลองสำหรับชิ้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก

จำนวนครั้งที่วัดความหนา	ความหนาชิ้นงานจากการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน (μm)		
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3
1	9.23	8.71	8.43
2	8.69	8.03	8.53
3	7.45	7.71	8.67
4	10.2	10.4	11.8
5	7.61	7.72	8.42
6	8.09	8.54	8.65
7	8.82	8.76	8.78
8	9.21	8.61	10.8
เฉลี่ย	8.66	8.56	9.26

ตารางที่ ง.4 ข้อมูลคิบัติความหนาชั้นงานของการพันชั้นงานแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลองสำหรับ
ชั้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก

จำนวนครั้งที่วัดความหนา	ความหนาชั้นงานจากการพันลวดทองแดงแบบที่ 1 (μm)		
	ชั้นงานที่ 1	ชั้นงานที่ 2	ชั้นงานที่ 3
1	9.53	8.80	9.54
2	9.94	9.52	9.51
3	8.19	8.02	8.64
4	11.3	10.8	12.7
5	8.12	8.21	8.52
6	9.30	8.70	7.79
7	9.02	9.57	10.1
8	10.82	9.26	11.9
เฉลี่ย	9.52	9.11	9.70

ข. แบบที่ 2

- ความยาวลวดทองแดงที่ใช้ต่อที่แขวนชั้นงาน 1 อัน เท่ากับ 6.94 เมตร แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่ง ความยาวลวดทองแดงที่ติดไปกับที่แขวนชั้นงาน 1 อัน เท่ากับ 6.74 เมตร ส่วนที่สอง ความยาวเศษที่เหลือจากการพันลวดทองแดง 1 อัน เท่ากับ 0.20 เมตร
- พื้นที่ชั้นงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 1.25 เท่า (125 %) มีค่าเท่ากับ 2.75 ตารางเดซิเมตร
- ความยาวลวดทองแดงที่ติดไปกับที่แขวนชั้นงานต่อพื้นที่ชั้นงานเฉลี่ย ก่อนปรับปรุง เท่ากับ 3.00 เมตรต่อตารางเดซิเมตร (ภาคผนวก ง.1) และในแบบที่ 2 เท่ากับ 2.45 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
- ปริมาณการใช้ลวดทองแดงลดลง เท่ากับ $((3.00 - 2.45) \times 100) / 3.00 = 18.3 \%$
- ความหนาชั้นงานที่ได้จากการทดลองแบบที่ 2 แสดงดังตารางที่ ง.5

ตารางที่ ง.5 ข้อมูลความหนาขึ้นงานของการพันขึ้นงานแบบที่ 2 ที่ได้จากการทดลองสำหรับ
ขึ้นงานประเภทที่มีขนาดเล็ก

จำนวนครั้ง ที่วัดความหนา	ความหนาขึ้นงานจากการพันลวดทองแดงแบบที่ 2 (μm)		
	ขึ้นงานที่ 1	ขึ้นงานที่ 2	ขึ้นงานที่ 3
1	9.34	10.1	9.36
2	7.54	6.62	7.24
3	7.06	6.06	7.36
4	8.18	6.56	7.52
5	7.77	6.65	7.50
6	10.4	10.0	10.5
7	10.4	9.83	12.4
8	6.91	6.69	9.72
9	6.84	6.04	9.01
10	7.43	8.31	10.8
11	7.36	7.71	9.06
12	11.5	10.4	12.0
เฉลี่ย	8.39	7.91	9.37

ภาคผนวก ง.5 ข้อมูลดิบจากการทดลองการพันลวดทองแดงสำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ

ก. แบบที่ 1

1. ความยาวลวดทองแดงที่ใช้ต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน เท่ากับ 6.40 เมตร แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่ง ความยาวลวดทองแดงที่คิดไปกับที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน เท่ากับ 6.20 เมตร ส่วนที่สอง ความยาวเศษที่เหลือจากการพันลวดทองแดง 1 อัน เท่ากับ 0.20 เมตร
2. พื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 2.5 เท่า (250%) มีค่าเท่ากับ 5.50 ตารางเดซิเมตร
3. ความยาวลวดทองแดงที่คิดไปกับที่แขวนชิ้นงานต่อพื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ยแบบปัจจุบัน เท่ากับ 3.00 เมตรต่อตารางเดซิเมตร (ภาคผนวก ง.1) และในแบบที่ 1 เท่ากับ 1.13 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
4. ปริมาณการใช้ลวดทองแดงลดลง เท่ากับ $((3.00 - 1.13) \times 100) / 3.00 = 62.3 \%$
5. ความหนาชิ้นงานของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน ที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ ง.6
6. ความหนาชิ้นงานของการพันลวดทองแดงแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ ง.7

ตารางที่ ง.6 ข้อมูลดิบความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบปัจจุบันที่ได้จากการทดลองสำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ

จำนวนครั้งที่วัดความหนา	ความหนาชิ้นงานจากการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน (μm)			
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	ชิ้นงานที่ 4
1	4.67	3.75	4.34	4.87
2	4.39	3.48	4.36	3.37
3	4.49	3.81	4.16	5.58
4	4.30	3.61	4.13	4.81
5	3.94	3.74	4.39	4.51
6	4.26	3.96	4.15	5.21
7	5.21	4.28	4.04	3.70
8	4.85	4.49	4.14	5.50
เฉลี่ย	4.51	3.89	4.21	4.69

ตารางที่ ง.7 ข้อมูลดิบความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลองสำหรับ
ชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ

จำนวนครั้งที่วัดความหนา	ความหนาชิ้นงานตำแหน่งต่างๆ จากการพันลวดทองแดงแบบที่ 1 (μm)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3.68	3.68	2.97	3.31	3.56	3.03	4.49	2.86	2.74	3.06
2	3.52	3.56	3.07	3.14	3.56	3.13	4.41	2.64	2.71	3.42
3	3.35	3.25	2.91	3.04	3.43	3.36	4.22	2.40	2.57	3.48
4	3.21	3.25	2.78	2.83	3.30	3.52	4.21	2.41	2.56	3.58
5	3.33	3.00	2.74	2.96	3.43	4.09	4.27	2.40	2.63	3.65
6	3.11	3.01	2.85	2.95	3.69	5.18	4.28	2.65	2.61	3.98
7	3.20	3.39	3.06	2.94	3.48	6.48	5.32	2.47	2.82	4.33
8	3.02	3.34	3.57	3.47	4.09	5.67	4.58	2.89	3.40	4.46
เฉลี่ย	3.30	3.31	3.00	3.08	3.57	4.31	4.47	2.59	2.76	3.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. แบบที่ 3

1. ความยาวลวดทองแดงที่ใช้ต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน เท่ากับ 7.30 เมตร แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่ง ความยาวลวดทองแดงที่ติดไปกับที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน เท่ากับ 7.10 เมตร ส่วนที่สอง ความยาวเศษที่เหลือจากการพันลวดทองแดง 1 อัน เท่ากับ 0.20 เมตร
2. พื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 2.5 เท่า (250%) มีค่าเท่ากับ 5.50 ตารางเดซิเมตร
3. ความยาวลวดทองแดงที่ติดไปกับที่แขวนชิ้นงานต่อพื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ยแบบปัจจุบัน เท่ากับ 3.00 เมตรต่อตารางเดซิเมตร (ภาคผนวก ง.1) และในแบบที่ 3 เท่ากับ 1.29 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
4. ปริมาณการใช้ลวดทองแดงลดลง เท่ากับ $((3.00 - 1.29) \times 100) / 3.00 = 57.0\%$
5. ความหนาชิ้นงานของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน ที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ ง.6
6. ความหนาชิ้นงานของการพันลวดทองแดงแบบที่ 3 ที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ ง.9

ตารางที่ ง.9 ข้อมูลคิความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบที่ 3 ที่ได้จากการทดลองสำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยข้อมือ

จำนวนครั้งที่วัดความหนา	ความหนาชิ้นงานตำแหน่งต่างๆ จากการพันลวดทองแดงแบบที่ 3 (μm)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4.57	4.19	4.60	3.68	3.46	4.68	3.29	3.94	3.90	4.58
2	4.61	3.75	4.64	3.11	3.95	4.88	3.78	3.69	3.97	4.28
3	4.02	3.85	4.28	3.47	4.48	4.29	3.77	3.69	3.73	3.79
4	5.17	3.98	3.57	3.83	4.52	4.32	3.56	3.85	3.87	3.94
5	4.44	4.13	3.28	3.28	4.02	4.72	3.39	3.96	4.37	3.87
6	4.67	4.03	3.71	3.17	4.38	3.59	3.48	3.83	3.65	3.82
7	4.31	4.37	4.13	3.50	4.15	4.55	3.29	4.13	3.96	4.12
8	4.28	5.29	3.99	3.68	3.63	4.84	3.38	4.16	3.78	4.05
เฉลี่ย	4.51	4.20	4.03	3.47	4.07	4.36	3.49	3.91	3.90	4.06

ภาคผนวก ง.6 ข้อมูลดิบจากการทดลองการพันลวดทองแดงสำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยคอ .

ก. แบบที่ 1

1. ความยาวลวดทองแดงที่ใช้ต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน เท่ากับ 7.50 เมตร แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่ง ความยาวลวดทองแดงที่ติดไปกับที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน เท่ากับ 7.30 เมตร ส่วนที่สอง ความยาวเศษที่เหลือจากการพันลวดทองแดง 1 อัน เท่ากับ 0.20 เมตร
 2. พื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 1.5 เท่า (150 %) มีค่าเท่ากับ 3.30 ตารางเดซิเมตร
 3. ความยาวลวดทองแดงที่ติดไปกับที่แขวนชิ้นงานต่อพื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ยแบบปัจจุบัน เท่ากับ 3.00 เมตรต่อตารางเดซิเมตร (ภาคผนวก ง.1) และในแบบที่ 1 เท่ากับ 2.21 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
 4. ปริมาณการใช้ลวดทองแดงลดลง เท่ากับ $((3.00 - 2.21) \times 100) / 3.00 = 26.3 \%$
 5. ความหนาชิ้นงานของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน ที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ ง.10
 6. ความหนาชิ้นงานของการพันลวดทองแดงแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ ง.11
- ตารางที่ ง.10 ข้อมูลดิบความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบปัจจุบันที่ได้จากการทดลองสำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยคอ

จำนวนครั้งที่วัดความหนา	ความหนาชิ้นงานจากการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน (μm)	
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2
1	4.25	4.20
2	3.36	3.59
3	2.96	3.02
4	3.15	3.18
5	4.22	4.12
6	4.54	4.58
7	3.81	4.67
8	3.38	5.17
เฉลี่ย	3.71	4.07

ตารางที่ ง.11 ข้อมูลดิบความหนาชั้นงานของการพันชั้นงานแบบที่ 1 ที่ได้จากการทดลองสำหรับ
ชั้นงานประเภทสร้อยคอ

จำนวนครั้ง ที่วัดความหนา	ความหนาชั้นงานจากการพันลวดทองแดงแบบที่ 1 (μm)		
	ชั้นงานที่ 1	ชั้นงานที่ 2	ชั้นงานที่ 3
1	3.33	2.98	5.36
2	3.08	2.99	4.79
3	3.69	3.09	4.15
4	4.05	3.85	3.88
5	4.91	3.66	3.41
6	4.73	3.01	4.08
7	4.82	2.68	4.08
8	3.90	3.85	4.07
เฉลี่ย	4.06	3.26	4.23

ข. แบบที่ 2

1. ความยาวลวดทองแดงที่ใช้ต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน เท่ากับ 5.80 เมตร แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่ง ความยาวลวดทองแดงที่ติดไปกับที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน เท่ากับ 5.60 เมตร ส่วนที่สอง ความยาวเศษที่เหลือจากการพันลวดทองแดง 1 อัน เท่ากับ 0.20 เมตร

2. พื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 2.5 เท่า (250%) มีค่าเท่ากับ 5.50 ตารางเดซิเมตร

3. ความยาวลวดทองแดงที่ติดไปกับที่แขวนชิ้นงานต่อพื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ยแบบปัจจุบัน เท่ากับ 3.00 เมตรต่อตารางเดซิเมตร (ภาคผนวก ง.1) และในแบบที่ 2 เท่ากับ 1.02 เมตรต่อตารางเดซิเมตร

7. ปริมาณการใช้ลวดทองแดงลดลง เท่ากับ $((3.00 - 1.02) \times 100) / 3.00 = 66.0\%$

8. ความหนาชิ้นงานของการพันลวดทองแดงแบบปัจจุบัน ที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ ง.10

9. ความหนาชิ้นงานของการพันลวดทองแดงแบบที่ 2 ที่ได้จากการทดลองแสดงดังตารางที่ ง.12

ตารางที่ ง.12 ข้อมูลความหนาชิ้นงานของการพันชิ้นงานแบบที่ 2 ที่ได้จากการทดลองสำหรับชิ้นงานประเภทสร้อยคอ

จำนวนครั้งที่วัดความหนา	ความหนาชิ้นงานจากการพันลวดทองแดงแบบที่ 2 (μm)				
	ชิ้นงานที่ 1	ชิ้นงานที่ 2	ชิ้นงานที่ 3	ชิ้นงานที่ 4	ชิ้นงานที่ 5
1	5.41	4.55	4.07	3.61	4.57
2	4.14	3.87	4.31	3.43	4.06
3	4.81	4.48	3.32	4.09	3.29
4	4.08	4.13	3.94	2.76	3.52
5	4.07	3.42	4.65	3.27	3.38
6	4.83	3.22	4.52	2.67	3.71
7	3.65	4.43	2.99	2.41	3.19
8	4.35	4.40	2.97	2.39	2.81
เฉลี่ย	4.42	4.06	3.85	3.08	3.57

ภาคผนวก ง.7 การคำนวณค่าใช้จ่ายที่ลดลงตามประเภทของโรงงาน

ก. โรงงานประเภทที่มีขนาดเล็ก

โรงงานประเภทนี้คิดเป็น 65 เปอร์เซ็นต์ของงานที่เข้ากระบวนการชุบโลหะทั้งหมด การปรับปรุงการพันลวดทองแดงสำหรับโรงงานประเภทที่มีขนาดเล็ก จะใช้ลักษณะการพันลวดทองแดงในแบบที่ 2 แสดงการคำนวณต่าง ๆ ดังนี้

1. หาปริมาณและค่าใช้จ่ายลวดทองแดงที่ลดลง

$$\begin{aligned} \text{จำนวนที่แขวนโรงงานประเภทที่มีขนาดเล็กต่อปี} &= 50,700 \times 0.65 \quad \text{อันต่อปี} \\ &= 33,000 \quad \text{อันต่อปี} \end{aligned}$$

พื้นที่โรงงานเฉลี่ยต่อที่แขวนโรงงานแบบปัจจุบันเท่ากับ 2.20 ตารางเดซิเมตร

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่โรงงานเฉลี่ย} &= 33,000 \times 2.20 \quad \text{ตารางเดซิเมตรต่อปี} \\ &= 72,600 \quad \text{ตารางเดซิเมตรต่อปี} \end{aligned}$$

ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่โรงงานแบบปัจจุบันเท่ากับ 3.00 เมตรต่อตารางเดซิเมตร

ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่โรงงานแบบใหม่ (แบบที่ 2) เท่ากับ 2.45 เมตรต่อตารางเดซิเมตร

$$\begin{aligned} \text{ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่โรงงานลดลง} &= 3.00 - 2.45 \quad \text{เมตรต่อตารางเดซิเมตร} \\ &= 0.55 \quad \text{เมตรต่อตารางเดซิเมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้นประหยัดลวดทองแดงได้} &= 72,600 \times 0.55 \quad \text{เมตรต่อปี} \\ &= 39,900 \quad \text{เมตรต่อปี} \end{aligned}$$

พื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดงมีค่าเท่ากับ 2.83×10^{-7} ตารางเมตร (ภาคผนวก ง.3)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของลวดทองแดงลดได้} &= 39,900 \times 2.83 \times 10^{-7} \quad \text{ลูกบาศก์เมตร} \\ &= 1.13 \times 10^{-2} \quad \text{ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

ความหนาแน่นของลวดทองแดงเท่ากับ 8,960 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักลวดทองแดงที่ลดได้} &= 1.13 \times 10^{-2} \times 8,960 \quad \text{กิโลกรัมต่อปี} \\ &= 101 \quad \text{กิโลกรัมต่อปี} \end{aligned}$$

ลวดทองแดงราคา 150 บาทต่อกิโลกรัม

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้นสามารถประหยัดค่าลวดทองแดงได้} &= 101 \times 150 \quad \text{บาทต่อปี} \\ &= 15,200 \quad \text{บาทต่อปี} \end{aligned}$$

2. หาปริมาณและค่าใช้จ่ายของโลหะทองแดง โลหะนิกเกิล ที่สามารถลดลงได้

ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบแบบปัจจุบันเท่ากับ 6.06 เมตร

พื้นที่เฉลี่ยต่อที่แขวนชิ้นงานแบบปัจจุบันเท่ากับ 2.20 ตารางเดซิเมตร

คิดเป็นความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงาน = 2.75 เมตรต่อตารางเดซิเมตร

ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบแบบใหม่เท่ากับ 6.22 เมตร

พื้นที่เฉลี่ยต่อที่แขวนชิ้นงานแบบใหม่เท่ากับ 2.75 ตารางเดซิเมตร

คิดเป็นความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงาน = 2.26 เมตรต่อตารางเดซิเมตร

ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงานหลังการปรับปรุงลดลง

$$= 2.75 - 2.26 \text{ เมตรต่อตารางเดซิเมตร}$$

$$= 0.49 \text{ เมตรต่อตารางเดซิเมตร}$$

ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงานหลังการปรับปรุงลดลงต่อปี

$$= 72,600 \times 0.49 \text{ เมตรต่อปี}$$

$$= 35,600 \text{ เมตรต่อปี}$$

โลหะทองแดงหนาเท่ากับ 77.0×10^{-6} เมตร

เส้นรอบวงของลวดทองแดง = $\pi \times 0.6 \times 10^{-3}$ เมตร

$$= 1.88 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

สมมติให้พื้นที่ของ โลหะทองแดงที่เกาะที่ผิวลวดทองแดงกับที่ผิวนอกสุดของโลหะทองแดงที่มาเกาะมีค่าเท่ากัน

ปริมาตรโลหะทองแดงที่สูญเสียลดได้ = $35,600 \times 1.88 \times 10^{-3} \times 77.0 \times 10^{-6}$ ลูกบาศก์เมตร

$$= 5.15 \times 10^{-3} \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

ความหนาแน่นโลหะทองแดงเท่ากับ 8,960 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

น้ำหนักโลหะทองแดงที่สูญเสียลดได้ = $5.15 \times 10^{-3} \times 8,960$ กิโลกรัมต่อปี

$$= 46.2 \text{ กิโลกรัมต่อปี}$$

ราคาทองแดงแผ่นเท่ากับ 140 บาทต่อกิโลกรัม

ฉะนั้นสามารถลดการสูญเสียโลหะทองแดงได้ = 46.2×140 บาทต่อปี

$$= 6,500 \text{ บาทต่อปี}$$

โลหะนิกเกิลหนาเท่ากับ 22.8×10^{-6} เมตร

สมมติให้เส้นรอบวงของผิวโลหะทองแดงมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก

ดังนั้นเส้นรอบวงของโลหะทองแดง = 1.88×10^{-3} เมตร

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรโลหะ निकิลที่เกิดที่สูญเสียไปได้} &= 35,600 \times 1.88 \times 10^{-3} \times 22.8 \times 10^{-6} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \\ &= 1.53 \times 10^{-3} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

ความหนาแน่นโลหะ निकิลเท่ากับ 8,900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักโลหะ निकิลที่ติดไปกับลวดทองแดงที่ได้} &= 1.53 \times 10^{-3} \times 8,900 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \\ &= 13.6 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \end{aligned}$$

ราคานิกิลแผ่นเท่ากับ 280 บาทต่อกิโลกรัม

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้นสามารถลดการสูญเสียโลหะ निकิลได้} &= 13.6 \times 280 \text{ บาทต่อปี} \\ &= 3,800 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

ข. ชีงงานประเภทสร้อยข้อมือ

ชีงงานประเภทนี้คิดเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ของงานที่เข้ากระบวนการชุบโลหะทั้งหมด การปรับปรุงการพันลวดทองแดงสำหรับชีงงานประเภทสร้อยข้อมือ จะใช้ลักษณะการพันลวดทองแดงในแบบที่ 2 แสดงการคำนวณต่าง ๆ ดังนี้

1. หาปริมาณและค่าใช้จ่ายลวดทองแดงที่ลดลง

$$\begin{aligned} \text{จำนวนที่แขวนชีงงานประเภทสร้อยคอ} &= 50,700 \times 0.15 \text{ อันต่อปี} \\ &= 7,600 \text{ อันต่อปี} \end{aligned}$$

พื้นที่ชีงงานเฉลี่ยต่อที่แขวนชีงงานแบบปัจจุบันเท่ากับ 2.20 ตารางเดซิเมตร

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ชีงงานเฉลี่ย} &= 7,600 \times 2.20 \text{ ตารางเดซิเมตรต่อปี} \\ &= 16,700 \text{ ตารางเดซิเมตรต่อปี} \end{aligned}$$

ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ชีงงานแบบปัจจุบันเท่ากับ 3.00 เมตรต่อตารางเดซิเมตร

ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ชีงงานแบบใหม่ (แบบที่ 2) เท่ากับ 1.21 เมตรต่อตารางเดซิเมตร

$$\begin{aligned} \text{ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ชีงงานลดลง} &= 3.00 - 1.21 \text{ เมตรต่อตารางเดซิเมตร} \\ &= 1.79 \text{ เมตรต่อตารางเดซิเมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้นประหยัดลวดทองแดงได้} &= 16,700 \times 1.79 \text{ เมตรต่อปี} \\ &= 29,900 \text{ เมตรต่อปี} \end{aligned}$$

พื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดงมีค่าเท่ากับ 2.83×10^{-7} ตารางเมตร (ภาคผนวก ง.3)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของลวดทองแดงที่ได้} &= 29,900 \times 2.83 \times 10^{-7} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \\ &= 8.46 \times 10^{-3} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

ความหนาแน่นของลวดทองแดงเท่ากับ 8,960 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักลวดทองแดงที่ได้} &= 8.46 \times 10^{-3} \times 8,960 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \\ &= 75.8 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \end{aligned}$$

ลวดทองแดงราคา 150 บาทต่อกิโลกรัม

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้นสามารถประหยัดค่าลวดทองแดงได้} &= 75.8 \times 150 \text{ บาทต่อปี} \\ &= 11,400 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

2. หาปริมาณและค่าใช้จ่ายของโลหะทองแดง โลหะนิกเกิล ที่สามารถลดลงได้

ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบแบบปัจจุบันเท่ากับ 6.06 เมตร

พื้นที่เฉลี่ยต่อที่แขวนชิ้นงานแบบปัจจุบันเท่ากับ 2.20 ตารางเดซิเมตร

คิดเป็นความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงาน = 2.75 เมตรต่อตารางเดซิเมตร

ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบแบบใหม่เท่ากับ 6.13 เมตร

พื้นที่เฉลี่ยต่อที่แขวนชิ้นงานแบบใหม่เท่ากับ 5.50 ตารางเดซิเมตร

คิดเป็นความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงาน = 1.11 เมตรต่อตารางเดซิเมตร

ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงานหลังการปรับปรุงลดลง

$$\begin{aligned} &= 2.75 - 1.11 \text{ เมตรต่อตารางเดซิเมตร} \\ &= 1.46 \text{ เมตรต่อตารางเดซิเมตร} \end{aligned}$$

ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงานหลังการปรับปรุงลดลงคือปี

$$\begin{aligned} &= 16,700 \times 1.46 \text{ เมตรต่อปี} \\ &= 24,400 \text{ เมตรต่อปี} \end{aligned}$$

โลหะทองแดงหนาเท่ากับ 77.0×10^{-6} เมตร

เส้นรอบวงของลวดทองแดง = 1.88×10^{-3} เมตร

สมมติให้พื้นที่ของ โลหะทองแดงที่เกาะที่ผิวลวดทองแดงกับที่ผิวนอกสุดของโลหะทองแดงที่มาเกาะมีค่าเท่ากัน

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตร โลหะทองแดงที่สูญเสียไปได้} &= 24,400 \times 1.88 \times 10^{-3} \times 77.0 \times 10^{-6} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \\ &= 3.53 \times 10^{-3} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

ความหนาแน่น โลหะทองแดงเท่ากับ 8,960 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักโลหะทองแดงที่สูญเสียไปได้} &= 3.53 \times 10^{-3} \times 8,960 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \\ &= 31.6 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \end{aligned}$$

ราคาทองแดงแผ่นเท่ากับ 140 บาทต่อกิโลกรัม

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้นสามารถลดการสูญเสียโลหะทองแดงได้} &= 31.6 \times 140 \text{ บาทต่อปี} \\ &= 4,400 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

โลหะนิกเกิลหนาเท่ากับ 22.8×10^{-6} เมตร

สมมติให้เส้นรอบวงของผิวโลหะทองแดงมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก

$$\text{ดังนั้นเส้นรอบวงของลวดทองแดง} = 1.88 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรโลหะนิกเกิลที่สูญเสียไปได้} &= 24,400 \times 1.88 \times 10^{-3} \times 22.8 \times 10^{-6} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \\ &= 1.05 \times 10^{-3} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

ความหนาแน่นโลหะนิกเกิลเท่ากับ 8,900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักโลหะนิกเกิลที่ติดไปกับลวดทองแดงได้} &= 1.05 \times 10^{-3} \times 8,900 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \\ &= 9.35 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \end{aligned}$$

ราคานิกเกิลแผ่นเท่ากับ 280 บาทต่อกิโลกรัม

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้นสามารถลดการสูญเสียโลหะนิกเกิลได้} &= 9.35 \times 280 \text{ บาทต่อปี} \\ &= 2,600 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

ก. ชีงงานประเภทสร้อยคอ

ชีงงานประเภทนี้คิดเป็น 15 เปอร์เซ็นต์ของงานที่เข้ากระบวนการชุบโลหะทั้งหมด การปรับปรุงการพันลวดทองแดงสำหรับชีงงานประเภทสร้อยคอ โดยแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือใช้ลักษณะการพันลวดทองแดงในแบบที่ 1 สำหรับสร้อยคอที่ไม่สามารถดึงให้ตึงได้คิดเป็น 7.5 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด และใช้ลักษณะการพันลวดทองแดงในแบบที่ 2 สำหรับสร้อยคอที่สามารถดึงให้ตึงได้คิดเป็น 7.5 เปอร์เซ็นต์ของงานทั้งหมด แสดงการคำนวณต่าง ๆ ดังนี้

แบบที่ 1 สำหรับสร้อยคอโค้งที่ไม่สามารถดึงให้ตึงได้

1. หาปริมาณและค่าใช้จ่ายลวดทองแดงที่ลดลง

$$\begin{aligned} \text{จำนวนที่แขวนชีงงานประเภทสร้อยคอต่อปี} &= 50,700 \times 0.075 \text{ อันต่อปี} \\ &= 3,800 \text{ อันต่อปี} \end{aligned}$$

พื้นที่ชีงงานเฉลี่ยต่อที่แขวนชีงงานแบบปัจจุบันเท่ากับ 2.20 ตารางเดซิเมตร

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ชีงงานเฉลี่ย} &= 3,800 \times 2.20 \text{ ตารางเดซิเมตรต่อปี} \\ &= 8,400 \text{ ตารางเดซิเมตรต่อปี} \end{aligned}$$

ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ชิ้นงานแบบปัจจุบันเท่ากับ 3.00 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
 ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ชิ้นงานแบบใหม่ (แบบที่ 1) เท่ากับ 2.21 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
 ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ชิ้นงานลดลง = $3.00 - 2.21$ เมตรต่อตารางเดซิเมตร
 = 0.79 เมตรต่อตารางเดซิเมตร.
 ฉะนั้นประหยัดลวดทองแดงได้ = $8,400 \times 0.79$ เมตรต่อปี
 = 6,600 เมตรต่อปี

พื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดงมีค่าเท่ากับ 2.83×10^{-7} ตารางเมตร (ภาคผนวก ง.3)
 ปริมาตรของลวดทองแดงลดได้ = $6,600 \times 2.83 \times 10^{-7}$ ลูกบาศก์เมตร
 = 1.87×10^{-3} ลูกบาศก์เมตร
 ความหนาแน่นของลวดทองแดงเท่ากับ 8,960 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 น้ำหนักลวดทองแดงลดได้ = $1.87 \times 10^{-3} \times 8,960$ กิโลกรัมต่อปี
 = 16.8 กิโลกรัมต่อปี
 ลวดทองแดงราคา 150 บาทต่อกิโลกรัม
 ฉะนั้นสามารถประหยัดค่าลวดทองแดงได้ = 16.8×150 บาทต่อปี
 = 2,500 บาทต่อปี

2. หาปริมาณและค่าใช้จ่ายของโลหะทองแดง โลหะนิกเกิล ที่สามารถลดลงได้

ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบแบบปัจจุบันเท่ากับ 6.06 เมตร
 พื้นที่เฉลี่ยต่อที่แขวนชิ้นงานแบบปัจจุบันเท่ากับ 2.20 ตารางเดซิเมตร
 คิดเป็นความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงาน = 2.75 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
 ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบแบบใหม่เท่ากับ 6.78 เมตร
 พื้นที่เฉลี่ยต่อที่แขวนชิ้นงานแบบใหม่เท่ากับ 3.30 ตารางเดซิเมตร
 คิดเป็นความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงาน = 2.05 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
 ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงานหลังการปรับปรุงลดลง
 = $2.75 - 2.05$ เมตรต่อตารางเดซิเมตร
 = 0.70 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
 ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงานหลังการปรับปรุงลดลงต่อปี
 = $8,400 \times 0.70$ เมตรต่อปี
 = 5,900 เมตรต่อปี

โลหะทองแดงหนาเท่ากับ 77.0×10^{-6} เมตร

เส้นรอบวงของลวดทองแดง = 1.88×10^{-3} เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติให้พื้นที่ของ โลหะทองแดงที่เกาะที่ผิวลวดทองแดงกับที่ผิวนอกสุดของโลหะทองแดงที่มาก
เกาะมีค่าเท่ากัน

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรโลหะทองแดงที่สูญเสียไปได้} &= 5,900 \times 1.88 \times 10^{-3} \times 77.0 \times 10^{-6} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \\ &= 8.54 \times 10^{-4} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

ความหนาแน่นโลหะทองแดงเท่ากับ 8,960 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักโลหะทองแดงที่สูญเสียไปได้} &= 8.54 \times 10^{-4} \times 8,960 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \\ &= 7.7 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \end{aligned}$$

ราคาทองแดงแผ่นเท่ากับ 140 บาทต่อกิโลกรัม

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้นสามารถลดการสูญเสียโลหะทองแดงได้} &= 7.7 \times 140 \text{ บาทต่อปี} \\ &= 1,100 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

โลหะนิกเกิลหนาเท่ากับ 22.8×10^{-6} เมตร

สมมติให้เส้นรอบวงของผิวโลหะทองแดงมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก

$$\text{ดังนั้นเส้นรอบวงของลวดทองแดง} = 1.88 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรโลหะนิกเกิลที่สูญเสียไปได้} &= 5,900 \times 1.88 \times 10^{-3} \times 22.8 \times 10^{-6} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \\ &= 2.53 \times 10^{-4} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

ความหนาแน่นโลหะนิกเกิลเท่ากับ 8,900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักโลหะนิกเกิลที่ติดไปกับลวดทองแดงได้} &= 2.53 \times 10^{-4} \times 8,900 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \\ &= 2.25 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \end{aligned}$$

ราคานิกเกิลแผ่นเท่ากับ 280 บาทต่อกิโลกรัม

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้นสามารถลดการสูญเสียโลหะนิกเกิลได้} &= 2.25 \times 280 \text{ บาทต่อปี} \\ &= 600 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

แบบที่ 2 สำหรับสกร๊อคตรงที่สามารถดึงให้ตึงได้

1. หาปริมาณและค่าใช้จ่ายลวดทองแดงที่ลดลง

$$\begin{aligned} \text{จำนวนที่แขวนชิ้นงานประเภทสกร๊อคต่อปี} &= 50,700 \times 0.075 \text{ อันต่อปี} \\ &= 3,800 \text{ อันต่อปี} \end{aligned}$$

พื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ยต่อที่แขวนชิ้นงานแบบปัจจุบันเท่ากับ 2.20 ตารางเดซิเมตร

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ชิ้นงานเฉลี่ย} &= 3,800 \times 2.2 \text{ ตารางเดซิเมตรต่อปี} \\ &= 8,400 \text{ ตารางเดซิเมตรต่อปี} \end{aligned}$$

ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ชิ้นงานแบบปัจจุบันเท่ากับ 3.00 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
 ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ชิ้นงานแบบใหม่ (แบบที่ 2) เท่ากับ 1.02 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
 ความยาวลวดทองแดงต่อพื้นที่ชิ้นงานลดลง = $3.00 - 1.02$ เมตรต่อตารางเดซิเมตร
 = 1.98 เมตรต่อตารางเดซิเมตร.
 ฉะนั้นประหยัดลวดทองแดงได้ = $8,400 \times 1.98$ เมตรต่อปี
 = 16,600 เมตรต่อปี

พื้นที่หน้าตัดของลวดทองแดงมีค่าเท่ากับ 2.83×10^{-7} ตารางเมตร (ภาคผนวก ง.3)
 ปริมาตรของลวดทองแดงลดได้ = $16,600 \times 2.83 \times 10^{-7}$ ลูกบาศก์เมตร
 = 4.70×10^{-3} ลูกบาศก์เมตร
 ความหนาแน่นของลวดทองแดงเท่ากับ 8,960 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
 น้ำหนักลวดทองแดงลดได้ = $4.70 \times 10^{-3} \times 8,960$ กิโลกรัมต่อปี
 = 42.1 กิโลกรัมต่อปี
 ลวดทองแดงราคา 150 บาทต่อกิโลกรัม
 ฉะนั้นสามารถประหยัดค่าลวดทองแดงได้ = 42.1×150 บาทต่อปี
 = 6,300 บาทต่อปี

2. หาปริมาณและค่าใช้จ่ายของโลหะทองแดง โลหะนิกเกิล ที่สามารถลดลงได้

ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบแบบปัจจุบันเท่ากับ 6.06 เมตร
 พื้นที่เฉลี่ยต่อที่แขวนชิ้นงานแบบปัจจุบันเท่ากับ 2.20 ตารางเดซิเมตร
 คิดเป็นความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงาน = 2.75 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
 ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบแบบใหม่เท่ากับ 5.08 เมตร
 พื้นที่เฉลี่ยต่อที่แขวนชิ้นงานแบบใหม่เท่ากับ 5.50 ตารางเดซิเมตร
 คิดเป็นความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงาน = 0.92 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
 ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงานหลังการปรับปรุงลดลง
 = $2.75 - 0.92$ เมตรต่อตารางเดซิเมตร
 = 1.83 เมตรต่อตารางเดซิเมตร
 ความยาวลวดทองแดงที่จุ่มในน้ำยาชุบต่อพื้นที่ชิ้นงานหลังการปรับปรุงลดลงต่อปี
 = $8,400 \times 1.83$ เมตรต่อปี
 = 15,400 เมตรต่อปี

โลหะทองแดงหนาเท่ากับ 77.0×10^{-6} เมตร

เส้นรอบวงของลวดทองแดง = 1.88×10^{-3} เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติให้พื้นที่ของโลหะทองแดงที่เกาะที่ผิวลวดทองแดงกับที่ผิวนอกสุดของโลหะทองแดงที่มาเกาะมีค่าเท่ากัน

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรโลหะทองแดงที่สูญเสียไปได้} &= 15,400 \times 1.88 \times 10^{-3} \times 77.0 \times 10^{-6} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \\ &= 2.23 \times 10^{-3} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

ความหนาแน่นโลหะทองแดงเท่ากับ 8,960 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักโลหะทองแดงที่สูญเสียไปได้} &= 2.23 \times 10^{-3} \times 8,960 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \\ &= 20 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \end{aligned}$$

ราคาทองแดงแผ่นเท่ากับ 140 บาทต่อกิโลกรัม

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้นสามารถลดการสูญเสียโลหะทองแดงได้} &= 20.0 \times 140 \text{ บาทต่อปี} \\ &= 2,800 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

โลหะนิกเกิลหนาเท่ากับ 22.8×10^{-6} เมตร

สมมติให้เส้นรอบวงของผิวโลหะทองแดงมีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก

$$\text{ดังนั้นเส้นรอบวงของลวดทองแดง} = 1.88 \times 10^{-3} \text{ เมตร}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรโลหะนิกเกิลที่สูญเสียไปได้} &= 15,400 \times 1.88 \times 10^{-3} \times 22.8 \times 10^{-6} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \\ &= 6.60 \times 10^{-4} \text{ ลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

ความหนาแน่นโลหะนิกเกิลเท่ากับ 8,900 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักโลหะนิกเกิลที่ติดไปกับลวดทองแดงได้} &= 6.60 \times 10^{-4} \times 8,900 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \\ &= 5.87 \text{ กิโลกรัมต่อปี} \end{aligned}$$

ราคานิกเกิลแผ่นเท่ากับ 280 บาทต่อกิโลกรัม

$$\begin{aligned} \text{ฉะนั้นสามารถลดการสูญเสียโลหะนิกเกิลได้} &= 5.87 \times 280 \text{ บาทต่อปี} \\ &= 1,600 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

ภาคผนวก จ.

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุมทางวิชาการ

Materials '98 Processing and Manufacturing



Materials
98 Processing
and Manufacturing
Conference

6-7 November 1998

Bangkok International Trade and Exhibition Center (BITEC)

ORGANIZED BY

MTEC

National Metal and Materials Technology Center



Reed Tradex Co., Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์เทคโนโลยีสะอาดในกระบวนการชุบโลหะประเภทชิ้นงาน เครื่องประดับ

ประธานิน อารยตานนท์ ศรีญา เจริญวงศ์ อัญชลีพร วาริษฐ์สวัสดิ์ สุรัตน์ อารีรัตน์ และ กอบบุญ หล่อทองคำ*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

*ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

แนวความคิดหลักการเทคโนโลยีสะอาดเป็นแนวความคิดที่มีมานานแล้ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันหรือลดการเกิดของเสียในกระบวนการอุตสาหกรรม ผลของการใช้เทคโนโลยีสะอาด คือ การลดต้นทุนการผลิต ผลิตภัณฑ์ได้คุณภาพตามมาตรฐาน ปริมาณการผลิตมากขึ้น ลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และ พนักงานทำงานในสิ่งแวดล้อมที่ดีมีความปลอดภัย

ในโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะประเภทชิ้นงานเครื่องประดับ พบว่าในหลาย ๆ ส่วนสามารถนำแนวความคิดหลักการของเทคโนโลยีสะอาดมาปรับปรุงใช้ เช่น การลดการสูญเสียการใช้น้ำ การลดการบำบัดน้ำเสีย การประหยัดพลังงานความร้อน การลดการสูญเสียสารเคมีจากถังชุบ ลดการนำชิ้นงานกลับมาชุบใหม่ เป็นต้น

บทความนี้สรุปผลงานการนำเทคโนโลยีสะอาดไปประยุกต์ใช้เบื้องต้น ในโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะประเภทชิ้นงานเครื่องประดับแห่งหนึ่ง จากการทดลองปรับปรุงกระบวนการบางขั้นตอนสามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตได้ประมาณ 200,000 บาทต่อปี คาดว่าถ้าสามารถนำเทคโนโลยีสะอาดไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตทุกขั้นตอนได้อย่างแท้จริง จะลดค่าใช้จ่ายในการผลิตได้มากขึ้น

1. บทนำ

ปัญหามลภาวะ นับวันจะยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น เป็นปัญหาที่พบควบคู่ไปกับการพัฒนาอุตสาหกรรมและความเจริญเติบโตของประเทศ การแก้ไขปัญหาในเชิงรับโดยวิธีการกำจัดมลภาวะที่เกิดขึ้น ดังตัวอย่างที่ใช้ในประเทศพัฒนาในอดีต ได้พิสูจน์แล้วว่า ไม่ประสบผลสำเร็จ ทำให้คุณภาพของชีวิตของประชากรเลวร้ายลง และประสบปัญหาอื่น ๆ ตามมาอีกมาก ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ได้เริ่มมีการพัฒนาหลักการของเทคโนโลยีสะอาด (Cleaner Technology หรือ CT) และนำมาใช้มากขึ้น

เทคโนโลยีสะอาด [1] คือ กลยุทธ์ในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ บริการ และกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องเพื่อลดของเสียซึ่งทำให้เพิ่มผลผลิต และ/หรือ ลดการใช้วัตถุดิบ เทคโนโลยีสะอาดจะเกี่ยวข้องกับ การป้องกันมลพิษ การลดการใช้พลังงาน ลดการใช้และการสูญเสียและทรัพยากรอื่น ๆ ตลอดไม่จำกัดใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนถึงการลดอุบัติเหตุและให้เกิดความเสี่ยงในการทำงานน้อยที่สุด โดยเน้นถึงการเปลี่ยนแนวความคิดจากการแก้ไขเป็นการป้องกัน เพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนทั้งด้านสิ่งแวดล้อมและด้านเศรษฐศาสตร์ แนวคิดนี้จะแตกต่างจากหลักการใช้ประโยชน์จากของเสียอุตสาหกรรม ซึ่งดูที่ปลายทาง (End of pipe) ไม่ใช่ที่ต้นกำเนิดของเสีย (Source)

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสะอาดตามหลักการของ UNIDO/UNEP [2] แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ การวางแผนและการจัดองค์กร การประเมินเบื้องต้น การประเมิน การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ และการลงมือปฏิบัติ ในขั้นตอนการประเมินเบื้องต้นและการประเมิน จะเกี่ยวข้องกับการสร้างแผนภาพกระบวนการผลิต (Process flow chart) เขียนหน่วยปฏิบัติการเฉพาะหน่วยต่อเนื่องกัน พิจารณาสິงที่เข้า (Input) และสิ่งที่ออก (Output) จากแต่ละหน่วยปฏิบัติการเฉพาะหน่วย ตลอดจนถึงการทำดุลมวลสารและดุลพลังงาน ทำให้เข้าใจโดยละเอียดถึงแหล่งและสาเหตุของของเสียที่ออกมาจากกระบวนการผลิต การวิเคราะห์สาเหตุและหาวิธีป้องกันแก้ไข นิยมพิจารณาจากปัจจัย 5 ประการ คือ วัตถุประสงค์ เทคโนโลยี การจัดการ ผลกระทบ และของเสียโดยมุ่งการนำมาใช้ซ้ำหรือหมุนเวียนมาใช้อีก

การประยุกต์ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดในประเทศ ได้รับการส่งเสริมมาไม่นานนี้ โดยมีศูนย์กลางการดำเนินงานจากสถาบันพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ คณะผู้เขียนได้ทดลองประยุกต์ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาดเบื้องต้น ในโรงงานอุตสาหกรรมชุบโลหะประเภทชิ้นงานเครื่องประดับแห่งหนึ่ง จากผลการคำนวณสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 200,000 บาทต่อปี

2. ผลการวิเคราะห์โรงงานก่อนการประยุกต์ใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด

โรงงานได้มีการดำเนินการด้านเทคโนโลยีสะอาดตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันบ้างแล้ว กล่าวคือ มีการกรองน้ำยาชุบหลังจากการใช้แล้ว 3 เดือนด้วยผงคาร์บอน มีถังพักชิ้นงานหลังจากการชุบ (ถัง Drag out) เพื่อล้างชิ้นงานก่อนการล้างจริงและนำน้ำยาที่ติดมากับชิ้นงานกลับคืนถังชุบ หรือนำน้ำยาไปแยกธาตุที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ใหม่ เช่น แพลลาเดียม มีการควบคุมความเข้มข้นและการหมุนเวียนของน้ำยาชุบอย่างสม่ำเสมอ เพื่อลดการเสื่อมสภาพของน้ำยาชุบและในขณะเดียวกันเป็นการลดปริมาณการใช้น้ำยาชุบด้วย

นอกจากนี้ ยังมีการนำตัวโลหะที่ใช้แล้วกลับไปใช้ใหม่ มีการนำตัวทำละลาย เช่น อะซีโตน ที่ใช้แล้วในกระบวนการล้างสีเคลือบชิ้นงานไปใช้ต่อในกระบวนการผลิตเรซิน มีการเปลี่ยนตัวทำละลายอินทรีย์ (Organic-based solvent) เป็นตัวทำละลายสูตรน้ำ (Water-based solvent) และมีความพยายามเปลี่ยนสารเคมีอันตราย เช่น ไซยาไนต์ ที่ใช้ในขั้นตอนการชุบโลหะไปใช้สารเคมีที่มีอันตรายน้อยลง เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

จากการประเมินเบื้องต้นด้วยวิธีทำดุลมวลสารและดุลพลังงาน ประกอบกับหลักการเทคโนโลยีสะอาด พบว่า มีปัญหาการสูญเสียวัตถุดิบ พลังงาน และเวลาในการผลิต ในส่วนกระบวนการชุบหลัก

คือ ส่วนกระบวนการชุบทองแดงกรด ทองแดงดำ นิกเกิลดำ นิกเกิลเงา และแพลลาเดียม สรุบบัญหาได้ดังต่อไปนี้

- มีการใช้น้ำปริมาณมากในการทำความสะอาดชิ้นงานประมาณ 50 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
- มีการใช้ลวดทองแดงจำนวนมากในการฟื้นชิ้นงานในลักษณะที่ใช้แล้วทิ้ง
- ในห้องชุบมีอุณหภูมิสูง และมีไอระเหยของสารเคมีค่อนข้างมาก
- ชิ้นงานจำนวนมากต้องถูกนำกลับมาเข้ากระบวนการชุบใหม่ เพราะความหนาจากการชุบไม่ได้มาตรฐาน ชิ้นงานจึงไม่ผ่านการทดสอบคุณภาพโดยการกัดด้วยกรด (Corrosion test) หรือชิ้นงานมียาขีดติดอยู่ตามซอก ทำให้เกิดปัญหาซุบลินะไม่ติด ชิ้นงานมีผิวไม่เรียบ

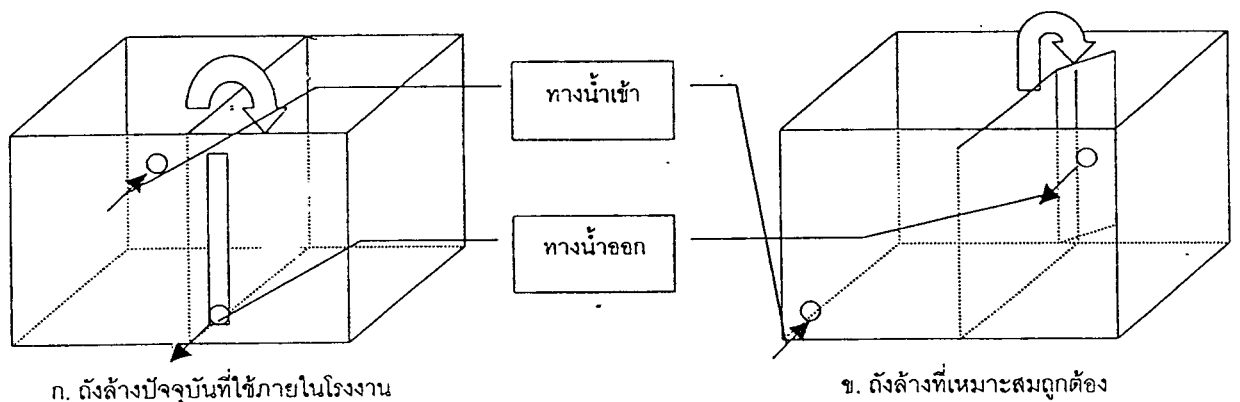
จากผลการประเมินเบื้องต้นนี้ จึงตั้งวัตถุประสงค์ของการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด คือ

จากผลการประเมินเบื้องต้นนี้ จึงตั้งวัตถุประสงค์ของการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยใช้หลักการเทคโนโลยีสะอาด คือ

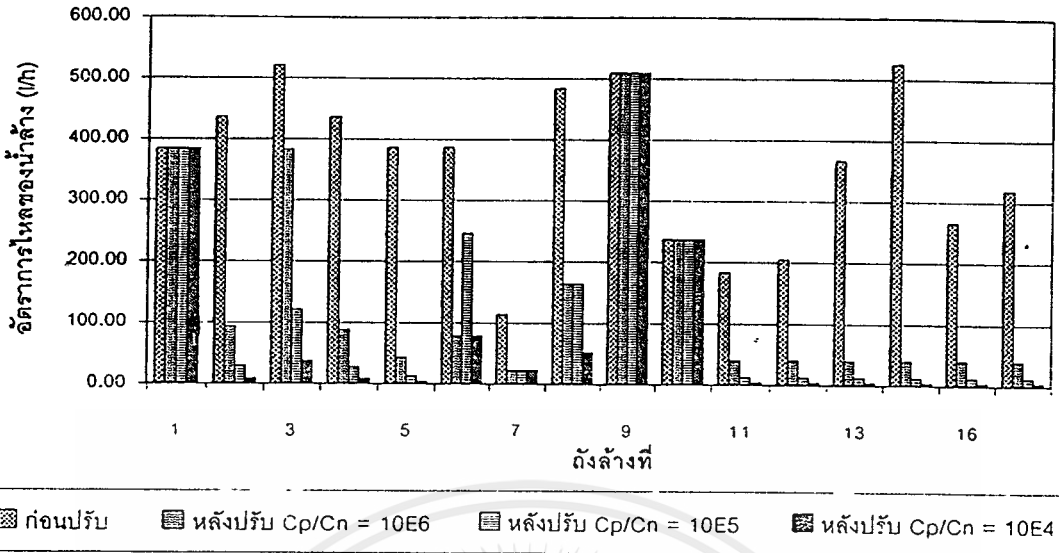
- 2.1 ลดปริมาณและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำล้างในการทำความสะอาดชิ้นงาน
- 2.2 ลดปริมาณการใช้ลวดทองแดงในการชุบชิ้นงาน
- 2.3 ลดการสูญเสียพลังงานความร้อน และไอสารเคมีที่ระเหยจากถังชุบนิกเกิล
- 2.4 ลดจำนวนชิ้นงานที่มีความหนาไม่ได้มาตรฐาน
- 2.5 เพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาดยาขีดออกจากซอกของชิ้นงาน

3. ปริมาณและประสิทธิภาพการใช้น้ำล้างในการทำความสะอาดชิ้นงาน

จากการเก็บข้อมูล ลักษณะถังล้างชิ้นงานในกระบวนการชุบ ปริมาณและคุณภาพของน้ำล้างในแต่ละถัง ผลที่ได้คือ ลักษณะถังล้างชิ้นงานไม่เหมาะสมดังแสดงในรูปที่ 1 ก. ทำให้อัตราการใช้น้ำล้างในแต่ละถังซึ่งแสดงในรูปที่ 2 (ก่อนปรับ) มีปริมาณมาก และประสิทธิภาพการใช้น้ำล้างตามลักษณะของถังตามรูปที่ 1 ก จะต่ำ



เอกสารนี้เป็นภาพแสดงถังล้างชิ้นงานก่อนการปรับปรุง (รูป ก) และหลังการปรับปรุง (รูป ข) ให้เหมาะสมการดำเนินงาน ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 แสดงอัตราการไหลของน้ำในแต่ละถัง

ในการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำล้างที่เหมาะสมสำหรับถังล้างแบบน้ำไหลสวนทางใช้สูตรคำนวณดังนี้ [3]

$$Q = [(C_p/C_n)^{1/n} + 1/n] \times D_r \tag{1}$$

โดยที่ C_p = ความเข้มข้นของน้ำยาขุบ (g/l)

C_n = ความเข้มข้นของน้ำยาขุบมากที่สุดที่ยอมให้ออกไปกับน้ำล้าง (g/l)

n = จำนวนถังแบบน้ำไหลสวนทาง

D_r = Drag out rate (l/h) = (l/Rack) × (Rack/h)

น้ำยาที่ติดมากับที่แขวนชิ้นงาน = 0.004 l/Rack

จากการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำที่เหมาะสมจากสูตรสมการ .1 จะได้อัตราการไหลของน้ำที่อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของน้ำยาขุบและความเข้มข้นของน้ำยาขุบที่มากที่สุดที่ยอมให้ออกไปกับน้ำล้าง (C_p/C_n) ต่างกันเป็นค่า 10,000, 100,000 และ 1,000,000 เท่าตามลำดับ ผลการคำนวณแสดงในรูปที่ 2

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ น้ำล้างตามลักษณะถังล้างดังรูปที่ 1 ก และผลการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำล้างที่เหมาะสมกับอัตราการใช้น้ำล้างในสภาวะจริงดังแสดงในรูปที่ 2 สามารถสรุปเป็นข้อเสนอการปรับปรุงตามหลักการเทคโนโลยีสะอาด ได้ดังนี้

- ควรปรับปรุงลักษณะของถังล้างชิ้นงานให้เหมาะสมดังรูปที่ 1 ข

- ควรปรับอัตราการไหลของน้ำล้างตามผลการคำนวณ

นอกจากนี้ จากการสังเกตวิธีการทำงาน พบว่ามีข้อเสนอนะเพิ่มเติม คือ ควรปรับปรุงวิธีการจุ่มชิ้นงานลงถังล้างชิ้นงาน ควรปิดวาล์วน้ำสำหรับถังล้างชิ้นงานที่ไม่ได้ใช้งาน ควรเพิ่มถัง Drag out ให้ครบทุกถังซบ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินงานตามข้อเสนอ คือ ลดปริมาณน้ำล้างที่ใช้ในขั้นตอนการล้างทำความสะอาดชิ้นงาน ประสิทธิภาพการใช้น้ำเพิ่มขึ้น และลดค่าบำบัดน้ำเสียของโรงงาน

ผลการศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ สรุปได้ดังตารางที่ 1

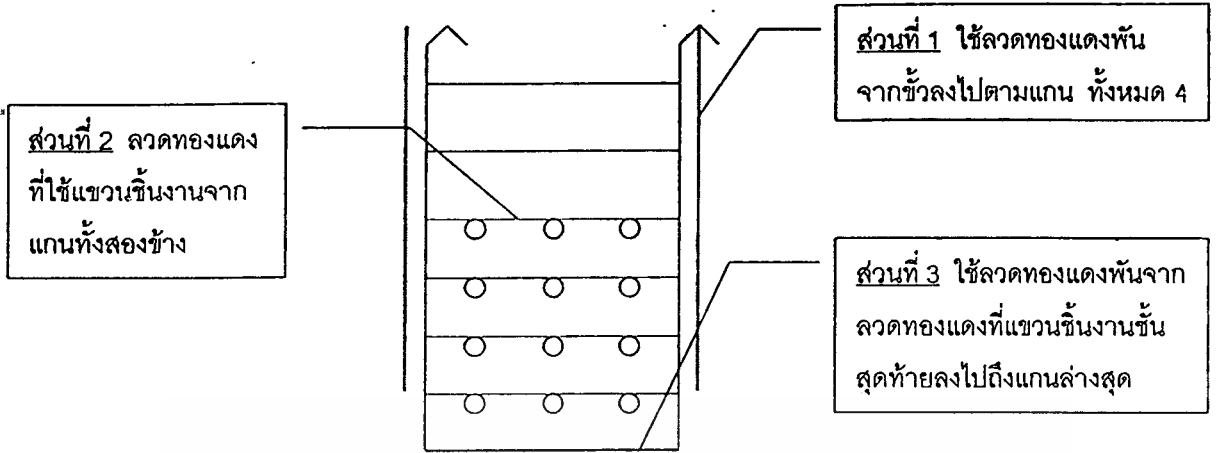
ตารางที่ 1 ค่าใช้จ่ายการปรับปรุงลักษณะถังล้างและค่าใช้น้ำหลังการปรับปรุงลักษณะถังล้าง

ค่าปรับปรุงถังล้างชิ้นงาน 5 ถัง (บาท)	ค่าน้ำลดลง หลังการปรับปรุง (บาท/เดือน)	ค่าบำบัดน้ำเสียลดลง (บาท/เดือน)	ระยะเวลาคืนทุน (วัน)
4,000	7,630	1,750	13

4. ปริมาณลวดทองแดงที่ใช้ในการแขวนชิ้นงาน

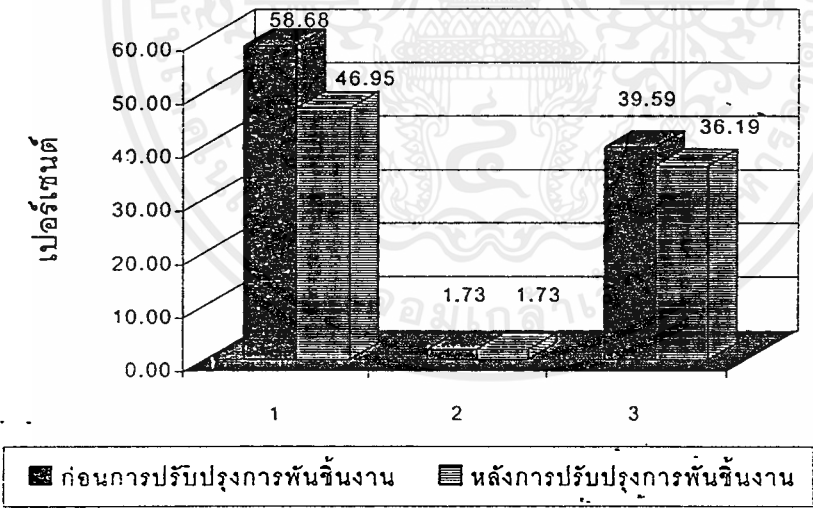
ในกระบวนการชุบใช้ลวดทองแดงพันรอบที่แขวนชิ้นงาน (Rack) ลวดทองแดงที่ใช้พันแบ่งออกเป็น 3 ส่วน (แสดงดังรูปที่ 3) คือ ลวดทองแดงที่พันจากขั้วลบบลงไปตามแกนของที่แขวนชิ้นงาน ลวดทองแดงที่พันชิ้นงานโดยพันจากแกนทั้งสองข้างของที่แขวนชิ้นงาน และลวดทองแดงที่พันจากเส้นลวดทองแดงชั้นสุดท้ายไปจนถึงแกนล่างสุดของที่แขวนชิ้นงาน ความยาวของลวดทองแดงที่ใช้ต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อัน โดยเฉลี่ยเท่ากับ 677.5 เซนติเมตร คิดเป็นส่วนที่ติดไปกับที่แขวนชิ้นงานจริงเท่ากับ 658.1 เซนติเมตร และเป็นเศษเหลือทิ้งเท่ากับ 19.4 เซนติเมตร หลังจากกระบวนการชุบ วัดความหนาของทองแดงและนิกเกิลที่สูญเสียติดไปกับเส้นลวดทองแดง โดยใช้เครื่อง X-rays ได้ความหนาของทองแดงที่สูญเสียติดไปกับ 77 ไมครอน และได้ความหนาของนิกเกิลที่สูญเสียติดไปกับ 23 ไมครอน

จากการปรับปรุงแก้ไขโดยอาศัยหลักการป้องกันการสูญเสียลวดทองแดง การปรับปรุงเทคนิคการพันลวดทองแดงทำให้พนักงานทำงานได้สะดวกมากขึ้น การวัดปริมาณการสูญเสียทองแดงและนิกเกิลที่ติดไปกับลวดทองแดงที่ใช้พัน โดยในส่วนของรายละเอียดได้แสดงไว้ในรายงาน [4] สามารถลดความยาวลวดทองแดงที่ใช้ต่อที่แขวนชิ้นงาน 1 อันเหลือเป็น 625.9 เซนติเมตรและทำให้ความหนาของการชุบมากขึ้นกว่าวิธีการพันลวดทองแดงแบบเดิม



รูปที่ 3 แสดงส่วนของที่แขวนชิ้นงาน ที่ใช้ลวดทองแดงพันในกระบวนการชุบ

เมื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในปรับปรุงเปลี่ยนแปลงตามหลักการทางเทคโนโลยี สะอาด ลดค่าลวดทองแดงที่ใช้พันได้ 22,200 บาท/ปี และลดปริมาณการสูญเสียทองแดงและนิกเกิลคิดเป็นมูลค่าได้เท่ากับ 7,400 บาท/ปี รวมเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย 29,600 บาท/ปี ซึ่งสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4



1 คือ ลวดทองแดงที่ติดไปกับ Rack จริง , 2 คือ เศษลวดทองแดงที่เหลือทิ้ง , 3 คือ นิกเกิลและทองแดงที่สูญเสีย

รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าใช้จ่ายก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

5. การสูญเสียพลังงานความร้อนและไอสารเคมีที่ระเหยจากถังชุบนิกเกิล

ตารางที่ 2 และ 3 แสดงข้อมูลการสูญเสียปริมาณสารเคมีที่ระเหยไปและการสูญเสียพลังงานความร้อนที่ไปกับไอสารเคมีที่ระเหยของถังชุบนิกเกิลแต่ละถัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ข้อมูลการสูญเสียปริมาณสารเคมีของถังชุบนิเกิลแต่ละถัง

ข้อมูลของถัง	พื้นที่หน้าตัดของถัง (cm^2)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)	ปริมาตรน้ำยา ในถัง (dm^3)	อัตราการลดน้ำยาในถังนิเกิล (cm^3/h)
ถังนิเกิล 1	15,840	60	800	3,057
ถังนิเกิล 2	11,544	55	950	2,196
ถังนิเกิล 3	6,162	53	500	1,125

ตารางที่ 3 ข้อมูลการสูญเสียพลังงานความร้อนของถังชุบนิเกิลแต่ละถัง

ถัง	นิเกิลซัลเฟต (kg/month)	นิเกิลคลอไรด์ (kg/month)	กรดบอริก (kg/month)	อัตราการสูญเสียพลังงาน ความร้อน (kJ/h)
ถังนิเกิล 1	10.27	3.80	0.43	7,290
ถังนิเกิล 2	7.38	2.73	0.31	5,298
ถังนิเกิล 3	2.20	0.81	0.09	2,724
รวม	19.85	7.34	0.83	15,312

ข้อมูลในตารางที่ 3 ได้จากการทดลองนำน้ำยาสารเคมีจากถังนิเกิลมาต้มที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส (ค่าอุณหภูมิตัวแทน) เพื่อหาอัตราสารเคมีที่ระเหยไป และหาอัตราการสูญเสียพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปกับไอสารเคมีที่ระเหย

การแก้ไขใช้บอลลพลาสติกชนิดพิเศษที่มีผิวเป็นฉนวนกันความร้อนมาลยที่ผิวของสารละลายในถังชุบนิเกิลทั้ง 3 ถัง บอลลพลาสติกจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อน ป้องกันการระเหยของสารเคมี โดยให้บอลลพลาสติกปกคลุมพื้นที่ผิวของสารละลายเพียง 70 เปอร์เซ็นต์ สามารถลดการสูญเสียพลังงานได้ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้บอลลพลาสติกจะต้องไม่ทำให้ชิ้นงานเป็นรอย ถ้าไม่มีการชุบชิ้นงานก็อาจเพิ่มบอลลพลาสติกลงไปอีก ถ้าใส่บอลลพลาสติกครอบคลุมพื้นที่ผิวสารละลาย 100 เปอร์เซ็นต์ จะสามารถลดการสูญเสียพลังงานได้ประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ [5]

ค่าใช้จ่ายที่ต้องลงทุนในการซื้อบอลลพลาสติกทั้งหมดเท่ากับ 13,100 บาท เมื่อใช้บอลลพลาสติกลยบนพื้นที่ 70 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าตัดจะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้เท่ากับ 3,300 บาท/เดือน ฉะนั้นจะใช้ระยะเวลาคืนทุนทั้งหมดประมาณ 4 เดือน

6. จำนวนชิ้นงานที่มีความหนาไม่ได้มาตรฐาน

จากการเก็บข้อมูล พบว่า ปัญหาส่วนใหญ่ที่มีผลต่อการผลิต คือ ปัญหาการชุบได้ชิ้นงานที่มีความหนาไม่ได้มาตรฐานตามที่ต้องการ จึงต้องนำชิ้นงานมาแก้ไข นอกจากจะเป็นการเสียเวลาแล้วยังเป็นการทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงขึ้น อีกทั้งยังทำให้เกิดของเสียที่ทำลายสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้นโดยจำเป็น

การดำเนินการแก้ไข ใช้วิธีการป้องกันการเกิดของเสียจากกระบวนการชุบ โดยการจัดทำตารางการชุบชิ้นงานที่แสดงการทำงานอย่างมีระบบและหลักการ โดยคำนวณหาค่ากระแสและเวลาการชุบตามทฤษฎี [6] และคำนวณหาประสิทธิภาพการชุบของแต่ละถัง เพื่อนำไปจัดทำเป็นตารางการชุบสามารถสรุปประสิทธิภาพการชุบของแต่ละถังได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ประสิทธิภาพการชุบของแต่ละถัง

ถัง	ประสิทธิภาพ (%)	ถัง	ประสิทธิภาพ (%)
ทองแดงต่าง 1	43.7	ทองแดงกรด 3	41.1
ทองแดงต่าง 2	54.5	ทองแดงกรด 4	25.1
ทองแดงต่าง 3	46.1	นิกเกิล 1	42.0
ทองแดงกรด 1	19.3	นิกเกิล 2	34.2
ทองแดงกรด 2	33.4	นิกเกิล 3	40.0

จากประสิทธิภาพของถังชุบ นำไปสร้างเป็นตารางการชุบในกระบวนการชุบได้ โดยในที่นี้จะแสดงตัวอย่างตารางการชุบของถังนิกเกิล 3 เป็นตัวอย่าง ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตัวอย่างตารางการชุบของถังนิกเกิล 3 [4]

พื้นที่ชิ้นงาน ต่อถัง (dm ²)	ความหนาที่ต้องการ (Micron)	แอมแปร์นาที่ที่ต้องใช้ (A·min)
15	5.0	915
	6.0	1,098
	7.0	1,280
	8.0	1,463
	9.0	1,646
	10.0	1,829

ข้อเสนอแนะการปรับปรุงในที่นี้ คือ เมื่อทราบความหนาที่ต้องการชุบ พื้นที่ของชิ้นงานต่อถังจะต้องใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าตามตารางการชุบที่จัดทำไว้ เพื่อหลีกเลี่ยงการชุบหลายครั้งหรือการชุบซ้ำจึงจะได้ความหนาตามต้องการ นอกจากนี้ควรมีการอบรมพนักงานในการทำงานให้มีการทำงานที่ถูกต้องและควรมีการแบ่งหน้าที่ความรับผิดชอบในการทำงานในหน่วยชุบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความชำนาญงานของพนักงาน

7. ประสิทธิภาพในการทำความสะอาดชิ้นงานหลังจากชุบ

ในขั้นตอนการทำความสะอาดชิ้นงานหลังจากการชุบ ทางโรงงานใช้การล้างด้วยอุลตราโซนิกเท่านั้นโดยใช้น้ำยา C เป็นน้ำยาล้าง ความเข้มข้นน้ำยา C เป็น 65 กรัม/ลิตร อุณหภูมิ 65-70^oซ นานไม่เกิน 1 นาที หลังการล้าง พบว่า ชิ้นงานจะมีเศษยาติดติดอยู่ โดยเฉพาะชิ้นงานที่ผ่านการชุบและทิ้งไว้ค้างคืน (ประมาณ 15 ชั่วโมง) ชิ้นงานที่ไม่สะอาดก่อปัญหาในการชุบ คือ ผิวขรุขระ ชุบทองแดงกรดไม่ติด ชิ้นงานไม่ผ่านการทดสอบ เสียค่าใช้จ่ายและเวลาการแก้ไขชิ้นงานที่มีปัญหา

การแก้ไขตามหลักการเทคโนโลยีสะอาดในที่นี้ คือ เพิ่มขั้นตอนการต้มล้างชิ้นงานด้วยน้ำยาก่อนการล้างด้วยอุลตราโซนิก ในการทดลองหาวิธีการล้างที่เหมาะสมนี้ใช้น้ำยา A เป็นน้ำยาดมล้าง และใช้น้ำยา A, B และ C เป็นน้ำยาล้างในขั้นตอนการล้างด้วยอุลตราโซนิก โดยที่น้ำยา A และ B เป็นน้ำยาชนิดใหม่ที่ทางโรงงานต้องการใช้ น้ำยา C เป็นน้ำยาล้างอุลตราโซนิกที่ทางโรงงานใช้อยู่แล้ว ผลการทดลองจากการทดลองที่คัดเลือกไว้แล้วแสดงดังในตารางที่ 7 โดยได้ทำการทดลองกับชิ้นงานที่ผ่านการชุบค้างคืน

ตารางที่ 7 ผลการทดลองใช้น้ำยา A, B และ C

การทดลองที่	น้ำยาดมล้าง	น้ำยาล้างอุลตราโซนิก	ผลที่สังเกตได้
1	น้ำยา A ความเข้มข้นที่เหมาะสม 80 กรัม/ลิตร อุณหภูมิ 75-80 ^o ซ 2 นาที	น้ำยา A ความเข้มข้นที่เหมาะสม 80 กรัม/ลิตร อุณหภูมิ 75-80 ^o 15 นาที	มีเศษยาติดติดอยู่มาก
2	น้ำยา A ความเข้มข้นที่เหมาะสม 80 กรัม/ลิตร อุณหภูมิ 75-80 ^o ซ 5 นาที	น้ำยา B ความเข้มข้นที่เหมาะสม 8 % (ปริมาตร) อุณหภูมิ 85-90 ^o ซ 20 นาที	มีเศษยาติดติดอยู่เล็กน้อย
3	น้ำยา A ความเข้มข้นที่เหมาะสม 80 กรัม/ลิตร อุณหภูมิ 75-80 ^o ซ 3 นาที	น้ำยา C ความเข้มข้น 65 กรัม/ลิตร อุณหภูมิ 65-70 ^o 1-10 นาที	มีเศษยาติดติดอยู่มาก ผิวชิ้นงานด้านหลังจากแช่ น้ำยา C นานเกิน 1 นาที
4	น้ำยา A ความเข้มข้นที่เหมาะสม 80 กรัม/ลิตร อุณหภูมิ 75-80 ^o ซ 3 นาที	น้ำยา B ความเข้มข้นที่เหมาะสม 8 % (ปริมาตร) อุณหภูมิ 85-90 ^o ซ 10 นาที	ชิ้นงานสะอาด ไม่มียาติดติดอยู่

จากผลการทดลองตามตารางที่ 7 พบว่าการทดลองที่ 4 เหมาะสม ชิ้นงานที่ได้สะอาดและไม่มีเศษยาขัดติดอยู่ หลังจากผ่านการชุบ ปริมาณชิ้นงานที่ต้องนำกลับมาแก้ไขลดลง

8. สรุป

เมื่อทำการปรับปรุงตามวัตถุประสงค์ทั้ง 5 ประการ จะสามารถสรุปผลประโยชน์ที่ได้รับจากการนำหลักการเทคโนโลยีสะอาดมาประยุกต์ใช้กับโรงงาน คือ

- 8.1 ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- 8.2 ลดต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการผลิตโดยรวมประมาณ 200,000 บาท / ปี
- 8.3 ของเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณลดลง และประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย
- 8.4 เพิ่มผลผลิต และเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์
- 8.5 ประหยัดพลังงาน
- 8.6 ลดความเสี่ยง และอุบัติเหตุ

จะเห็นได้ว่าการนำเทคโนโลยีสะอาดมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินการป้องกันการเกิดของเสีย และลดต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการผลิต เป็นหลักการที่มีประโยชน์มากในอุตสาหกรรม การแก้ไขปัญหาดังกล่าวตามหลักการเทคโนโลยีสะอาดดังกล่าวมา มิได้มุ่งเน้นการแก้ไขเทคโนโลยีการชุบ [5-9] เป็นการปรับปรุงการทำงานตามเทคโนโลยีที่มีอยู่แล้ว คณะผู้เขียนเห็นว่าสามารถที่จะปรับปรุงเทคโนโลยีการชุบตามหลักการของเทคโนโลยีสะอาดได้

คำขอขอบคุณ

คณะผู้เขียนขอขอบคุณ คุณวัฒน์ มรัตนย์ ผู้จัดการโรงงาน คุณกาญจน์ ปวีตรปภ ที่ปรึกษาทางเทคนิค ที่ให้ข้อมูล คำปรึกษา คำแนะนำ อำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการดำเนินการ การเก็บข้อมูล รวมทั้งการทดลองต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาของโครงการ และขอขอบคุณสถาบันพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่สนับสนุนโครงการเทคโนโลยีสะอาด

9. เอกสารอ้างอิง

1. โครงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อชนบทและการพัฒนาที่ยั่งยืน สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. เอกสารประกอบการประชุมเรื่อง การนำเสนอรายงานสรุปผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การฝึกงานด้านเทคโนโลยีสะอาดโดย นักศึกษาฝึกงานปี 2541. ณ อาคารสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ วันที่ 28 พฤษภาคม พ.ศ. 2541.
2. อัมรินทร์ มุ่งเจริญ, เทคโนโลยีสะอาด : เครื่องมือสู่การพัฒนาที่ยั่งยืนของภาคอุตสาหกรรม. เอกสารประกอบการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่องเทคโนโลยีสะอาดสำหรับอุตสาหกรรมไทย ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 16-20 มีนาคม พ.ศ. 2541.
 3. อัมรินทร์ มุ่งเจริญ, เอกสารประกอบการบรรยายเรื่องเทคโนโลยีสะอาดกับวิศวกรรมเคมี. ณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2540
 4. ศรีัญญา เจริญวงศ์ , ปธานิน อารยตานนท์ รายงานการฝึกงานภาคฤดูร้อนในโครงการเทคโนโลยีสะอาด ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2541.
 5. Metal Finishing Guidebook and Directory Issues. Vol.92. No 1A. 1994.
 6. วัชรรา ชนิษฐบุตร. กระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า. เอกสารประกอบการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ เรื่องเทคโนโลยีสะอาดสำหรับอุตสาหกรรมไทย ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วันที่ 16-20 มีนาคม พ.ศ. 2541.
 7. อนันต์ ทองมอญ. ชุบโครเมียม-ชุบทอง. พิมพ์ครั้งที่ 1.
 8. อนันต์ ทองมอญ. ชุบโลหะด้วยไฟฟ้า. พิมพ์ครั้งที่ 1.
 9. W.CANNING & CO.LTD. Handbook on Electroplating. 2nd Ed. 1970.

ภาคผนวก ฉ.

ผลงานที่ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์และนำเสนอในการประชุม

The 8th Congress of Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering,

August 16-19, 1999, Seoul, Korea



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLYING OF CLEANER TECHNOLOGY IN AN ADORNMENT ELECTROPLATING FACTORY

P. Arayatanon, P. Somrang and A. Waritswat*

Dept. of Chemical Engineering, Fac. of Engineering,
Kingmongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand.

Abstract – The concept of the cleaner technology is to prevent or decrease the off-spec products and wastes in the industrial processes resulting in a lower cost of production, more products within standard, less pollution and safety workings. It was found that the rinsing water consumption in the main part of the process was about 50 m³/day. The expense of wastewater treatment was high, as well. Total cost of copper wires, plated copper and nickel was 203,000 baht/year. In addition, a lot of work-pieces had to be replated since their thickness were out of standard. The improvement of rinsing tanks and a good control of rinsing water reduced the water consumption cost of 103,000 baht/year and the wastewater treatment cost of 350,000 baht/month. The optimum parameters of the plating tanks to reduce the off-spec thickness work-pieces are; the area ratio of the anode and cathode must not less than 2:1; the distance between the anode and cathode is 15 cm; the temperature of plating solution ranges 24 – 26 °C; air for proper plating solution circulation is 3–4 m³/meter of pipe with holes diameters of 2 mm. The gap between each hole is 5 cm and the angle of the hole to the bottom of the tank is 30°. In case of modifications of the wiring methods, the consumption of copper wires, the loss of plated copper and nickel were decreased which saved 58,800 baht/year.

INTRODUCTION

Cleaner Technology (CT) concept have now been initiated in most of the Asia-Pacific countries. It is quite new concept for Thailand, especially the Thai SMEs, but is rapidly promoted as a way of sustainable development for the past few years. CT concerns an effort to improve product quality, work method and/or to reduce raw materials and energy consumption resulting in a lower cost of production, more products within standard, less pollution and safety workings [1]. According to the concept of UNIDO/UNEP [2-3], CT application consists of five steps, i.e., planning and organizing, pre-assessment, assessment, economic calculation and implementation. This work applied CT concept in an adornment electroplating factory. Low or no-cost modifications were carried out to improve the process in the viewpoint of raw materials, technology and management in work method.

FACTORY DATA ANALYSIS

The factory has applied CT for a long time, e.g., using the drag out tanks, recycling plating solution to the plating tanks and controlling the concentration of plating solution to extend the life time. Furthermore, the factory has replaced some chemicals with the less hazardous ones

From the assessment by mass and energy balances and the principles of CT, it was found that the factory had high rinsing water about 50 m³/day, high wastewater treatment cost, a lot of off-spec thickness

work-pieces which need to be replated, and loss of copper wires with plated copper and nickel. Thus, the objectives of this work are:

- Improve the rinsing tanks and control the rinsing water.
- Find out the optimum parameters of the plating tanks.
- Reduce the consumption of copper wires and modify the wiring methods.

RINSING TANKS IMPROVEMENT AND CONTROLLING THE RINSING WATER

Some rinsing tanks are ineffective resulting in high consumption of rinsing water. The optimum water consumption is determined by the following equation [4]:

$$Q = [(C_p/C_n)^{1/n} + 1/n] \times D_r$$

C_p = plating solution concentration, g/l

C_n = allowable concentration of plating solution in rinsing water, g/l

n = the number of countercurrent tanks

D_r = drag out rate, l/h

= (liter/rack) × (rack/hour)

Flow rates of rinsing water with $C_p/C_n = 10^4$, 10^5 and 10^6 of the rinsing tanks are shown in Fig. 1. The example of 2-compartment unmodified and modified rinsing tanks are illustrated in Fig. 2(a) and Fig. 2(b), respectively. The concepts of the modifications were studied [5]. From Fig.2(b) the plate was installed between the two compartments of the tank for the

E-mail: kwanchal@kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

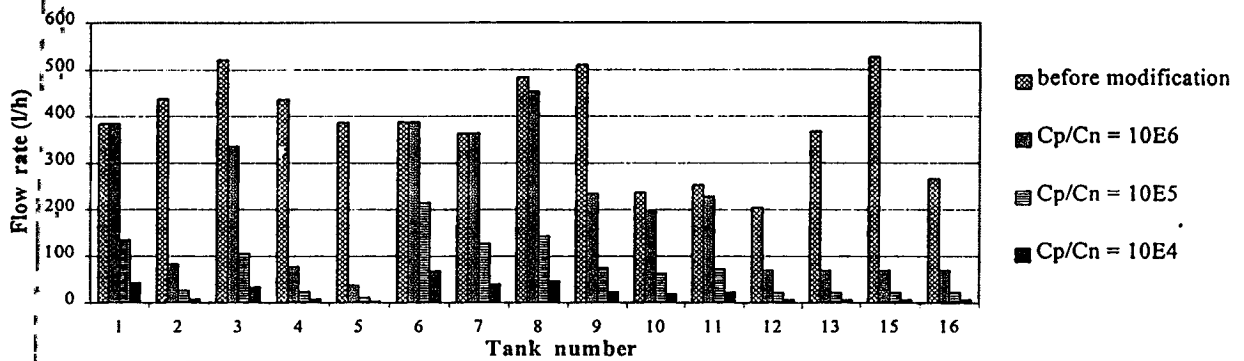


Fig. 1. Flow rates of rinsing water of the rinsing tanks

effective circulation of water, and PVC pipes with holes 1-mm in diameter were used to obtain the suitable water flow rate according to the accepted ratio of $C_p/C_n = 10^4$ and 10^5 . The effective rinsing was confirmed by measuring the conductance of rinsing water at the inlet, outlet and in the middle of each compartment of the tank. Different types of the modifications and results in detail can be seen in the references [6-8].

The amount of rinsing water use decreased 65% while the rinsing process was still effective and saved 103,000 baht/year for cost of water and 350,000 baht/month for wastewater treatment cost. The total modifications cost only 4,000 baht.

THE OPTIMUM PARAMETERS OF THE PLATING TANKS

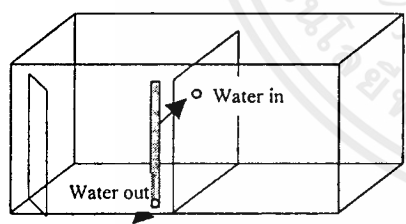
One of the important problems in an adornment electroplating factory is the off-spec thickness work-pieces which need to be replated. The following case study used the copper acid process and came out with very low cost modification.

1. The Area Ratio Of The Anode And Cathode

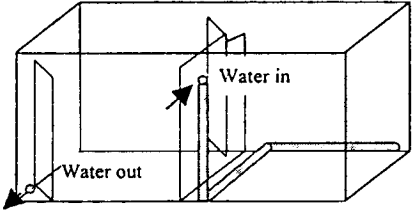
The area ratio of the anode and cathode used by the factory was very high. The area ratios were varied and the results shown in Table 1. The suitable area ratio of the anode and cathode must not less than 2:1 to obtain work-pieces within standard thickness not less than 17-18 μm .

2. The Distance Between The Anode And Cathode

The distance between the anode and cathode substantially affects the plating time. It is found that the plating time of 10-cm distance is shorter than that of the 20-cm for the same thickness [6]. The distance used by the factory is 20-25 cm. From Table 2, the selected distance is 15 cm since plated work-pieces are still within standard thickness with short plating time and without the damage of plated work-pieces from scratching when large work-pieces are plated.



(a)



(b)

Fig. 2. An example of a rinsing tank (a) before modification (b) after modification

Table 1. The results of varying the area ratio of the anode and cathode

Area ratio (Anode:Cathode)	Thickness (μm)
1 : 1	8.94
1.5 : 1	14.55
2 : 1	18.60
4 : 1	18.70
8 : 1	20.00
12 : 1	20.50
16 : 1	18.30
20 : 1	17.30
24 : 1	17.70

Table 2. The results of varying the distance between the anode and cathode

Distance (cm)	Thickness (μm)
10	19.35
15	18.55
20	18.05
25	18.25

3. The Temperature Of Plating Solution

The temperature of plating solution used by the factory were 24-31 °C. The temperatures were varied. The results are shown in Table 3. Different temperatures of plating solution from 15-35 °C have almost no significance on the thickness of work-pieces. From the hull cell test information [9], data were tested and shown in Table 4. The optimum temperature ranges 24-26 °C due to the beautiful appearances of work-pieces and short plating time, as well.

Table 3. The results of varying the plating temperature

Temp. (°C)	Thickness (μm)
15	17.25
20	18.75
22	17.70
24	18.00
26	17.25
28	17.40
30	17.20
35	18.40

Table 4. The hull cell test

Temp. (°C)	Brass appearance		
	2 min.	4 min.	6 min.
15	Dull	Dull	Dull
20	Dull	Dull	Dull
22	Dull	Dull	Dull
24	Dull at low current density	Bright	Bright
26	Dull at low current density	Bright	Bright
28	Dull Has filmed	Dull	Semi-Bright
30	Dull Has filmed	Dull Has filmed	Dull
35	Dull Has filmed	Dull Has filmed	Dull Has filmed

4. The Circulation Of The Plating Solution

The air pipe of the plating tank is shown in Fig. 3 (a) and Fig. 3(b). The holes are in the diameters of 2-mm giving air 3-4 m³/meter of pipe. The distance between each hole is 5 cm. The results are shown in Table 5. The angles of the holes (30°-90°) to the bottom of the tank do not affect the thickness. Selected angle is 30° since the direction of the bubbles will not damage the work-pieces.

REDUCTION IN COPPER WIRE CONSUMPTION AND MODIFICATIONS OF THE WIRING METHODS

The concerned matters were carried out by no-cast modifications, i.e., using management in work method. The modifications focused on changing the wiring methods for the most numbers of work-pieces per rack, the least copper wires use, no off-spec thickness work-pieces, and the least loss of plated copper and nickel with the copper wires. Fig. 4 shows the percentage of

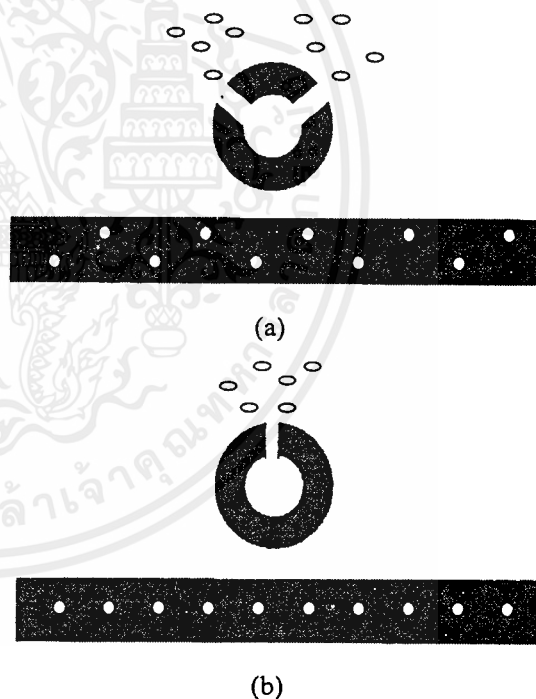


Fig. 3. The air pipes with the holes angled to the bottom of the tank (a) 30° (b) 90°

Table 5. The results of varying the angle of the hole

Angle	Thickness (μm)
30°	17.75
45°	18.00
60°	17.40
90°	18.40

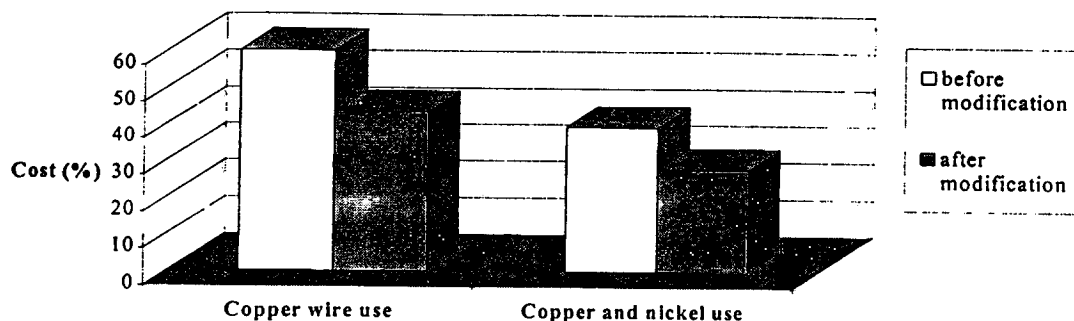


Fig. 4. The cost comparison before and after the modification

cost reduction. The total number is 58,800 baht/year. Details of different wiring methods and results are shown in the references [6-8].

CONCLUSIONS

This work is a case study of the practical use of CT concept to the industry with low or no-cost modifications but obtained the significant outcomes in lower production cost, high product quality, high productivity, the reduction in pollution generation as well as improved environmental protection.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to express our sincere appreciation to Mr. Watana Marutan, the Factory Manager, Miss Kanchana Pavitrapok, the Technical Advisor, and Mr. Piyawat Wongpun, Chemist, for their helpful advice and the facilities in the factory.

The National Science and Technology Development Agency (NSTDA) for the concept of CT in Thailand.

The Hitachi Scholarship Foundation, Japan and Faculty of Engineering, KMITL for their consistent supports.

REFERENCES

1. "Project on Science and Technology for Rural Community and Sustainable Development", a paper presented on a Cleaner Technology Internship, The National Science and Technology Development Agency (NSTDA), May 28, 1998.

2. Thailand Environment Institute, "Examination of the use of CT according to the UNEP principles", a paper presented at the workshop on CT for Thai industry, Fac. of Eng., Chulalongkorn University, Mar. 16-20, 1998.

3. Mungcharoen, T., "Cleaner Technology : Tool to sustainable development for the industrial sector", *ibid.*

4. Mungcharoen, T., a paper accompanying the lecture on CT and Chemical Engineering", Dept. of Chem. Eng., Fac. of Eng., KMITL, Dec 9, 1997.

5. Steward, F. A. and McLay, W. J., "Waste Minimization Technologies", Handbook on Electroplating, 2nd ed., W. Canning & Co., Ltd., page 819-839, 1970.

6. Arayatanon, P. and Somrang, P., "Applying of Cleaner Technology for Adornment Electroplating Industry", Senior Project, Dept. of Chem. Eng., Fac. of Eng., KMITL, 1998.

7. Arayatanon, P., and Charoenwongsa, S., "Report of Pollution Prevention Internship Program", Dept. of Chem. Eng., Fac. of Eng., KMITL, Apr.-May, 1998.

8. Arayatanon, P., Charoenwongsa, S., and Waritswat, A., "Materials '98 Processing and Manufacturing Conference", Bangkok International Trade and Exhibition Center (BITEC) organized by the National Metal and Materials Technology Center, Nov. 6-7, 1998.

9. Mohler, J. B., "Plating Cells", Handbook on Electroplating, 2nd ed., W. Canning & Co., Ltd., page 577-582, 1970.



Challenges facing chemical engineering in the twenty-first century

The 8th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCChE) and the Seoul International Chemical Industry Show — SICHEM '99 — are to be held in Seoul, Korea, 16—19 August 1999.

Chemical engineering has played a key role in modern society, and it will continue to flourish in the upcoming twenty-first century. The Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering (APCChE) Congress has chosen the 'Challenges facing chemical engineering in the twenty-first century' as its focus. Chemical engineers in Korea are looking forward to meeting friends and colleagues from member countries, as well as from all around the world. The conference will also be accompanied by a Symposium on Industrial Development and the Seoul International Chemical Industry Show (SICHEM).

Venue

The Congress will be held at the Korea Exhibition Centre (KOEX) which is located south of the Han River in Seoul. KOEX is the largest and the most comprehensive full-service exhibition and convention facility in Korea. Seoul, the capital of Korea, is one of the five largest cities in the world. It has been the host to many international events, most notably the 1988 Summer Olympic Games.

Focus and agenda

Within the main theme of 'Challenges facing chemical engineering in the twenty-first century' is the following scientific programme:

- A Issues facing chemical engineering**
- Clean technology
 - Wastes treatment and recycling
 - New and alternative energy
 - Energy efficient processes
 - Process safety

- B Critical technology in chemical engineering**
- Advanced materials
 - Biotechnology and biomaterials
 - Computer and chemical engineering

- C. Fundamentals in chemical engineering**
- Thermodynamics
 - Transport phenomena
 - Reaction engineering
 - Catalysis
 - Separation processes
 - Interfacial phenomena
 - Electrochemical processes
 - Industrial chemistry

- D. Chemical engineering education/research**
- Symposium on industrial development
Invited speakers.

Call for papers

The organising committee invites the submission of papers to be considered for presentation at the conference in August 1999. Presentations should be related to the topics outlined above. Accepted papers can be presented orally or as posters and the author's preference should be indicated in a letter accompanying the abstract. The deadline for submission of abstract is 31 October 1998.

Deadlines

- Submission of abstract: 31 October 1998
- Notification of acceptance: 30 January 1999
- Final manuscripts: 31 March 1999
- Early registration: 30 April 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Language

English will be the official language throughout the 8th APCCHE Congress. All submissions and presentations must be in English.

Proceedings

Proceedings including plenary, invited, oral and poster papers presented, will be published. Contributors will be requested to submit their final manuscripts in camera-ready form no later than 31 March 1999.

Seoul International Chemical Industry Show (SICHEM)

The first Seoul International Chemical Industry Show (SICHEM) will be held in 1988 and will be held concurrently with the APCCHE in Seoul in 1999. Jointly organised by the Korean Institute of Chemical Engineers (KICHE) and the Korea Exhibition Centre (KOEX) SICHEM is recognised as being the best way to launch chemical business in Korea.

Supported by:

- Ministry of International Trade & Industry (MITI)
- Ministry of Science & Technology (MOST)
- Korea Institute of Science & Technology (KIST)
- The Korean Federation of Science & Technology Societies (KOFST)
- Korea Foreign Trade Association (KFTA)
- Korea Broadcasting System(KBS)
- American Institute of Chemical Engineers (AIChE)
- Society of Chemical Engineers, Japan (SCEJ)

Exhibition profile

- Plant engineering
- Processes
- New systems and new energies
- Biotechnology
- Chemical and powder equipment
- Environmental equipment
- Rotating machinery
- Combustion units
- Piping material
- Parts and materials
- Instrument and control units
- Construction and transportation equipment
- Safety and fire fighting systems
- Laboratory and research equipment
- Maintenance equipment
- Chemical products and process
- New chemical technologies: new materials, advanced separation and refining, cryogenic, high vacuum, other key technologies.

**Participation fee
(As for SICHEM'96)**

Note: These fees are subject to change. Please contact the organiser for updated information.

Booth

Space only US\$2000/ Booth (3x3m)

Space and shell stand

US\$2500/ Booth (3x3m)

Electricity US\$50/KW

Telephone US\$50/ Ea (Local calls only)

Utility

Water and drainage

US\$130/ Hall: 2Kg/Cm² max, 25mm(Ø)

Compressed air US\$130/

Hall: 7Kg/cm² max, 25mm(Ø)

CONTACT DETAILS

Prof. Hwayong Kim
 APCCHE '99 Secretariat
 Department of Chemical Engineers
 Seoul National University
 Seoul 151-742
 Korea
 Tel: +82 2 880 7406
 Fax: +82 2 888 7295
 E-mail: apcche99@plaza.snu.ac.kr
 Website: <http://cheme.snu.ac.kr/APCCHE99>*

*We strongly encourage authors and participants to contact us via the Internet. You can fill out the preliminary registration form on-line and later send in your abstracts and papers.

Registration fee

- Early registration (before 30 April 1999)

Active participants:

US\$400.00*

Students:

US\$100.00

Accompanying persons:

US\$100.00

- On-site registration

Active participants:

US\$450.00*

Students

US\$120.00

Accompanying persons

US\$100.00

* This includes US\$10 contribution to the APCCHE Secretariat.

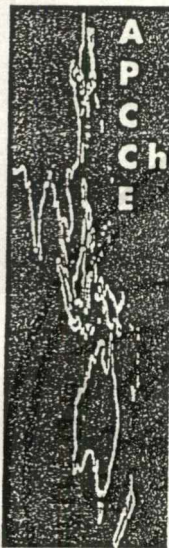
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTACT DETAILS

For further information, please contact:
SICHEM Secretariat
 Tel: +82 2 551 1120/1117
 Fax: +82 2 551 1179
 E-mail: sichem@star.koex.co.kr
 Website:
<http://www.koex.co.kr/korean/exhibition/schedule/sichem.html>

Member Societies of APCCHE

- Chinese Institute of Chemical Engineers (CIChE)
- Korean Institute of Chemical Engineers (KIChE)
- Society of Chemical Engineers of Japan (SchEJ)
- Institution of Professional Engineers New Zealand (IPENZ)
- Institution of Engineers Thailand
- Indian Institute of Chemical Engineers
- Philippines Institution of Chemical Engineers (PIChE)
- Indonesian Institution of Chemical Engineers (IIChE)
- The Institution of Engineers Singapore (IES)
- Institution of Engineers Australia/IChem (Aust)/RACI
- Institution of Engineers Malaysia (IEM)
- Hong Kong Institution of Engineers (HKIE)



SICHEM facts and figures

Table 1. Number of exhibitors at SICHEM.

	1988	1990	1992	1994	1996	1998	1999
Exhibitors	84	87	98	110	125	140	180
Booths	220	258	315	336	380	430	480

Figures for 1998-1999 are estimated

Table 2. Number of exhibitors at SICHEM '96, by country.

Korea	48	UK	2
Japan	23	China	1
USA	4	HK	2
Germany	30	Denmark	1
Italy	2	Canada	2
Taiwan	5	Spain	1
Swiss	3	France	1

Visitors to SICHEM'96:
 48,504 from 12 countries.

Table 4. SICHEM'96: visitors' areas of interest (from questionnaire).

	(%)
Plant engineering	5.8
Piping materials	0.5
Processes	7.2
Parts and materials	5.2
New systems and new energies	7.5
Instrument and control units	8.6
Biotechnology	8.7
Construction and transportation equipment	9.4
New chemical technologies	64.0
Safety and fire fighting systems	10.8
Chemical and powder equipment	0.2
Laboratory and research equipment	5.6
Environmental equipment	11.7
Maintenance equipment	3.4
Rotating machinery	1.4
Chemical products and processes	7.3
Combustion units	0.3

Table 5. SICHEM'96 exhibitors' degree of satisfaction (from questionnaire).

Very satisfactory	Satisfactory	Average	Less than satisfactory
18%	55%	27%	0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ

ผู้ว่ากรรมการฯ เท่านั้น อีกทั้งห้ามมิให้ตีพิมพ์เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากคณะกรรมการฯ