สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบและพัฒนาเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

T104368

นายผดุงเกียรติ มงคลอินทร์
นายสิวนันท์ หาดี
นายเอกชัย บุตรฉพ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104368
วัน,เดือน,ปี - 2 พ.ย. 2552

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN AND DEVELOPMENT OF

ELECTRO DEPOSITION PAINT

MR. PHADUNGKIAT MONGKON-IN

MR. SIWANAN HADEE

MR. EKKACHAI BOOTLOP

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การออกแบบและพัฒนาเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า
DESIGN AND DEVELOPMENT OF ELECTRO DEPOSITION PAINT

นักศึกษา

นายผดุงเกียรติ มงคลอินทร์	รหัสประจำตัว	48010553
นายศิวนันท์ หาดี	รหัสประจำตัว	48010899
นายเอกชัย บุตรลพ	รหัสประจำตัว	48011134

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(ผศ.ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบและพัฒนาเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า		
นักศึกษา	นายผดุงเกียรติ มงคลอินทร์	รหัสประจำตัว	48010553
	นายศิวนันท์ หาดี	รหัสประจำตัว	48010899
	นายเอกชัย บุตรลพ	รหัสประจำตัว	48011134
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2551		
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า โดยพัฒนาให้เหมาะสมกับการชุบชิ้นงานโลหะที่มีขนาดเล็ก ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง ขนาดไม่เกิน 100 แอมแปร์ และทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง โดยพิจารณาการตรวจสอบรอยตำหนิที่เกิดขึ้นบนชิ้นงาน น้ำหนักของสีที่เกาะที่ผิวของชิ้นงาน และความหนาของชั้นสีที่เกิดขึ้น โดยค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่องนี้ มีค่าเท่ากับ 63.65 เปอร์เซ็นต์ โดยผลที่ได้รับจากการศึกษาในครั้งนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า สำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็กได้ ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	DESIGN AND DEVELOPMENT OF ELECTRO DEPOSITION PAINT
Student	Mr. Phadungkiat Mongkon-in
	Mr. Siwanan Hadee
	Mr. Ekkachai Bootlop
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering
	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2008
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Sunpasit Limnararat

ABSTRACT

The objective of this thesis is to design and develop of Electro Deposition Paint for small work piece. By using direct current, not more than 100 ampere, the efficiency of this machine can be assessed in the aspect of surface defect, weight of pigment and thickness of pigment occurred on the surface of work piece. The final result shows that efficiency of this machine is 63.65 %. Therefore, the design and development of this machine can be applied to the further development for the small industrial application in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องการออกแบบและพัฒนาเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับการสนับสนุนและคำแนะนำของอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างดีตลอดมา ตั้งแต่เริ่มต้นจนปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จ กลุ่มผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ขอขอบคุณบุคคลต่างๆ ดังต่อไปนี้

ผศ.ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำดีๆ ความรู้สึกดีๆ และกำลังใจที่มีให้ตลอดมา ขอขอบคุณสำหรับความช่วยเหลือทุกอย่างที่คอยดูแลทั้งเรื่องอุปกรณ์ที่คอยจัดหาให้ และรอยยิ้มที่มีให้ตลอดมา

ดร..อนิรุท ไชยจารุวณิช กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำแนะนำดีๆ และกำลังใจดีๆที่มีให้ตลอดระยะเวลาที่ทำปริญญานิพนธ์นี้

ผศ.ดร.กรรณชัย กัลยาศิริ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ดีๆ คำแนะนำดีๆ ที่มอบให้ และขอขอบคุณสำหรับความห่วงใยที่มีให้ตลอดมา

รศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำถามดีๆ คำแนะนำดีๆ และความห่วงใยที่มีให้ตลอดระยะเวลาที่ทำปริญญานิพนธ์นี้

ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิตต์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับ ไมตรีดีๆ คำแนะนำดีๆ และความห่วงใยที่มีให้ตลอดระยะเวลาที่ทำปริญญานิพนธ์นี้

ดร.วิภู ศรีสืบสาย กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำดีๆ ที่มีให้ตลอดระยะเวลาที่ทำปริญญานิพนธ์นี้

ผศ.ดร.สิทธิพร พิมพ์สกุล กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำถามดีๆ คำแนะนำดีๆ และความรู้สึกดีๆ ที่มอบให้ตลอดมา

อาจารย์พลชัย โชติปรายนกุล กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ ที่มีให้ตลอดระยะเวลาที่ทำปริญญานิพนธ์นี้

ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ กลุ่มผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง สำหรับคำปรึกษาเกี่ยวกับสมการไฟฟ้าเคมี และความรู้อื่นที่มีให้ตลอดมา

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่มิได้เป็นเพียงแค่สถานศึกษาที่ให้ความรู้ด้านวิชาการ แต่ยังเป็นสถานที่ที่ให้ความอบอุ่น และความรู้สึกดีๆ ที่น่าจดจำสิ่งดีๆ เหล่านี้ตลอดไป

ขอขอบคุณ พ่อ แม่ พี่ น้อง ญาติ และเพื่อนๆ ทุกท่านที่คอยให้กำลังใจ และความช่วยเหลือทุกๆ ด้านตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณหนังสือทุกเล่มที่ใช้ในการศึกษาข้อมูลในการค้นคว้าทำปริญญานิพนธ์ และขอขอบคุณแหล่งความรู้อันทรงคุณค่าทุกแหล่งที่มีให้ตลอดระยะเวลาที่ทำปริญญานิพนธ์นี้

นายผดุงเกียรติ มงคลอินทร์

นายศิวนันท์ หาดี

นายเอกชัย บุตรลพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	-
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ ปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเคมีไฟฟ้า	3
2.1.1 กฎของโอห์ม	3
2.1.2 กฎของฟาราเดย์	4
2.1.3 อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเคมี	6
2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า	8
2.2.1 ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบและขั้วบวก	9
2.2.1.1 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า	9
2.2.1.2 การกระจายของกระแสไฟฟ้า	10
2.2.2 รายละเอียดของการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า	11
2.2.2.1 การชุบด้วยสารเคลือบสี	11
2.2.2.2 ส่วนประกอบของสารเคลือบสี	11
2.2.2.3 โครงสร้างของสารเคลือบสี	12
2.2.3 การอบสารเคลือบสี	12
2.2.4 การคำนวณอัตราการไหลของระบบบำบัดน้ำสี	13
2.2.4.1 อัตราการไหล	13
2.2.4.2 Head Loss	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.4.3 Head Pump 15

บทที่ 3 การดำเนินงาน

3.1 ศึกษาและหาข้อมูลของกระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 17

3.2 ออกแบบและพัฒนาส่วนประกอบของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 18

3.2.1 ออกแบบและสร้างส่วนของถังชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 18

3.2.2 ออกแบบและสร้างส่วนโครงเหล็กวางถัง 19

3.2.3 ออกแบบและสร้างระบบหมุนเวียนและกรองน้ำสี 20

3.3 การคำนวณอัตราการไหลของระบบบำบัดน้ำสี 21

3.3.1 อัตราการไหล 21

3.3.2 Reynolds Number 22

3.3.3 พิจารณาค่า Reynolds Number จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) 22

3.3.4 Head Loss 24

3.3.5 Head Pump 25

3.4 ออกแบบและสร้างระบบขับเคลื่อนในการชุบสี 28

3.5 ออกแบบและสร้างขั้วกระแสไฟฟ้า 30

3.6 ระบบควบคุม 31

3.6.1 การออกแบบและสร้างระบบควบคุมการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 31

3.6.1.1 การทำงานของปั๊ม 31

3.6.1.2 การทำงานของตัวขับเคลื่อนชิ้นงาน 32

3.6.1.3 การทำงานของขั้วกระแสไฟฟ้า 32

3.6.1.4 การทำงานของตัววัดอุณหภูมิ 32

3.6.1.5 การทำงานของตัววัดกระแสไฟฟ้า 32

3.6.1.6 การออกแบบและสร้างระบบป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้า 32

บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการดำเนินงานการออกแบบและสร้างเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 36

4.2 ผลการดำเนินงานในส่วนการทดสอบระบบเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 38

4.2.1 ทดสอบระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน 38

4.2.2 ทดสอบระบบการไหลเวียนของน้ำสี 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.3 การทดสอบระบบควบคุม	39
4.3 ผลการดำเนินงานการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า	40
4.3.1 ขั้นตอนการเลือกวัสดุที่ใช้ทำการทดลอง	40
4.3.2 ขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงาน	41
4.3.3 ขั้นตอนการนำชิ้นงานไปทดสอบน้ำหนักก่อนการชุบสี	42
4.3.4 ขั้นตอนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า	43
4.3.4.1 สมการเคมี	43
4.3.5 ขั้นตอนการอบชิ้นงาน	46
4.3.6 ขั้นตอนบันทึกผลการทดลอง	47
4.3.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง	48
4.3.7.1 การตรวจสอบรอยตำหนิบนผิวชิ้นงาน	49
4.3.7.2 การตรวจสอบน้ำหนักสีเกาะที่ผิวชิ้นงาน	51
4.3.7.3 การตรวจสอบความหนาชั้นสีที่ผิวชิ้นงาน	53
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผลการวิจัย	
5.1 สรุปและวิเคราะห์โครงสร้างของกระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า	56
5.2 สรุปและวิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า	56
5.3 แนวทางการพัฒนางานวิจัย	57
หนังสืออ้างอิง	58
ภาคผนวก	ผ 1-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของอิออนขณะผ่านกระแสไฟฟ้า 8
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการกระจายของกระแสไฟฟ้าและความหนาที่เคลือบบนผิวชิ้นงาน 10
รูปที่ 2.3 โครงสร้างสารเคลือบสีเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้า 12
รูปที่ 2.4 กระบวนการอบสารเคลือบสีที่ผ่านการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 13
รูปที่ 2.5 Moody Diagram 14
รูปที่ 3.1 กระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน 17
รูปที่ 3.2 ออกแบบถังชุบสีที่ใช้ในกระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 18
รูปที่ 3.3 สร้างถังชุบสีที่ใช้ในกระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 19
รูปที่ 3.4 ออกแบบโครงเหล็กวางถังชุบสี 19
รูปที่ 3.5 สร้างโครงเหล็กวางถังชุบสี 20
รูปที่ 3.6 ออกแบบระบบหมุนเวียนและกรองน้ำสี 20
รูปที่ 3.7 Moody Diagram 22
รูปที่ 3.8 สร้างระบบหมุนเวียนและกรองน้ำสี 23
รูปที่ 3.9 สร้างระบบหมุนเวียนและกรองน้ำสี 23
รูปที่ 3.10 ออกแบบโครงระบบขับเคลื่อน 28
รูปที่ 3.11 ออกแบบระบบขับเคลื่อน 29
รูปที่ 3.12 ออกแบบระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน 29
รูปที่ 3.13 สร้างระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน 30
รูปที่ 3.14 ออกแบบขั้วกระแสไฟฟ้า 30
รูปที่ 3.15 ขั้วกระแสไฟฟ้า 31
รูปที่ 3.16 การออกแบบระบบควบคุมการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 33
รูปที่ 3.17 สร้างระบบควบคุมการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 34
รูปที่ 3.18 ทดลองระบบควบคุมการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 34
รูปที่ 3.19 ระบบควบคุมการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 35
รูปที่ 4.1 ออกแบบเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 36
รูปที่ 4.2 เครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 37
รูปที่ 4.3 เครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 37
รูปที่ 4.4 ระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน 38
รูปที่ 4.5 การไหลเวียนของน้ำในระบบบำบัดน้ำสี 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6 ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 39
รูปที่ 4.7 ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 40
รูปที่ 4.8 ชิ้นงานที่ใช้ทำการทดลอง 40
รูปที่ 4.9 เครื่องเจียระไนที่ใช้ขัดผิวชิ้นงาน 41
รูปที่ 4.10 การขัดผิวชิ้นงานด้วยเครื่องเจียระไน 41
รูปที่ 4.11 ชิ้นงานที่ผ่านการขัดผิวด้วยเครื่องเจียระไน 42
รูปที่ 4.12 การทดสอบน้ำหนักของชิ้นงานก่อนการทดลองชุบสี 42
รูปที่ 4.13 ค่าน้ำหนักที่อ่านได้จากเครื่องชั่ง 43
รูปที่ 4.14 การชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 45
รูปที่ 4.15 รูปภาพการอบชิ้นงานในเตาอบไฟฟ้า 46
รูปที่ 4.16 เตาอบไฟฟ้า 46
รูปที่ 4.17 แบบบันทึกผลการทดลอง 47
รูปที่ 4.18 ชิ้นงานไม่ใช้กระแสไฟฟ้าในการชุบ 48
รูปที่ 4.19 ชิ้นงานที่ใช้กระแสไฟฟ้าในการชุบ 48
รูปที่ 4.20 ชิ้นงานที่ผ่านการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า 49
รูปที่ 4.21 กราฟการตรวจสอบรอยตำหนิบนผิวชิ้นงาน 50
รูปที่ 4.22 กราฟการตรวจสอบประสิทธิภาพของชั้นสีที่ผิวชิ้นงาน 53
รูปที่ 4.23 กราฟการตรวจสอบความหนาชั้นสีที่ผิวชิ้นงาน 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 ตารางการตรวจสอบรอยตำหนิบนผิวชิ้นงานที่ใช้กระแสไฟฟ้าในการชุบ 18.6 แอมแปร์ 49

4.2 ตารางการตรวจสอบน้ำหนักสีเกาะที่ผิวชิ้นงาน 51

4.3 ตารางการตรวจสอบความหนาชั้นสีที่ผิวชิ้นงาน 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและวิทยาการใหม่ด้านการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้านี้ ได้รับการคิดค้นวิจัย เพื่อนำมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมทั่วโลกประมาณปี พ.ศ. 2509 โดยเฉพาะอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ กระบวนชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้านี้ ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นตลอดมาจนถึงปัจจุบันนี้โดยอุตสาหกรรมในญี่ปุ่นกว่า 50 ประเภท จะใช้สีเคลือบชนิดนี้ ดังเช่น ตัวถังรถยนต์, อะไหล่รถ, โครงเหล็ก, เครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้าน ตลอดจนวัสดุต่างๆ ที่ทำด้วยโลหะ ซึ่งจะมีการใช้สีนี้สูงถึง 90% เมื่อเทียบกับทางยุโรปและอเมริกา ซึ่งให้ความนิยมเพียง 60-70% เท่านั้น ส่วนในประเทศไทย ได้นำวิทยาการนี้มาใช้เมื่อปี พ.ศ. 2521 โดยบริษัทผลิตรถยนต์ของญี่ปุ่น ขบวนการใหม่นี้ได้รับการขนานนามต่างๆ กัน เช่น Electrophoresis, E-coat, Electro coating แต่ชื่อที่นิยมกันคือ Electroplating ส่วนในเมืองไทยนิยมเรียก คือ Electro Deposition Paint ลักษณะดีเด่นหรือจุดประสงค์ใหญ่ของการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า คือ ความสามารถในการป้องกันการสึกกร่อนภายใน (Inherent Corrosion Resistance) และความสวยงามของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการศึกษา ออกแบบและพัฒนาต้นแบบของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าที่เหมาะกับการใช้งานกับ ชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก โดยมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องชุบสีขนาดใหญ่ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต้นแบบของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

1.2 วัตถุประสงค์ ปริญญานิพนธ์

วัตถุประสงค์ ปริญญานิพนธ์ ได้แก่

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า
2. ออกแบบและสร้างเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า
3. วิเคราะห์และสรุปผลการทำงานของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ มีดังต่อไปนี้

1. ชิ้นงานที่ใช้ในการชุบ คือ โลหะเหล็ก ขนาดพื้นที่ไม่เกิน 400 ตารางเซนติเมตร
2. บ่อที่ใช้ชุบชิ้นส่วนของโลหะมีขนาด(ยาว x กว้าง x ลึก) 60 x 49 x 49 เซนติเมตร
3. กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบมีขนาดไม่เกิน 25 แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

1. ได้ความรู้ความเข้าใจในกระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า
2. ได้ความรู้ความเข้าใจในการออกแบบ และพัฒนาเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า
3. เป็นแนวทางในการพัฒนา และปรับปรุงต้นแบบของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า ทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องและจำเป็นต่อการศึกษาในครั้งนี้ ประกอบด้วย

1. ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเคมีไฟฟ้า

2. ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

2.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเคมีไฟฟ้า

2.1.1 กฎของโอห์ม

ตามกฎของโอห์ม (Ohm's low) เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้า (I) เข้าไปยังตัวกลางที่มีความต้านทาน (R) ทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้า (E) เกิดขึ้น ซึ่งค่าเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$I = \frac{E}{R} \tag{2.1}$$

กฎนี้จะเป็นจริงเกือบทุกกรณี ยกเว้นในกรณีที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงมากๆและมีสารละลายที่เป็นตัวต้านทาน หน่วยที่ใช้กับกระแสไฟฟ้าคือ แอมแปร์ (Ampere) แรงเคลื่อนไฟฟ้าคือ โวลท์ (Volt) และความต้านทานคือ โอร์ม (Ohm) โดยนิยามของหน่วยต่างๆเป็นดังนี้

แอมแปร์ คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลายเป็นเวลา 1 วินาที แล้วทำให้อิออนของสารละลายไปเกาะที่ขั้วไฟฟ้า (ขั้วลบ) เป็นจำนวน 1.11800 มิลลิกรัม

โอห์ม คือ ความต้านทาน 0 องศาเซลเซียส ของลำปรอทที่ยาว 106.3 เซนติเมตร ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันตลอดหนัก 14.4521 กรัม

โวลท์ คือ ความต่างศักย์หรือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ไหลผ่านระบบที่มีความต้านทาน 1 โอห์ม

หน่วยที่ควรทราบอีกหน่วยก็คือ คูลอมบ์ (Coulomb) โดย 1 คูลอมบ์ หมายถึง ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดจากกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ไหลผ่านจุดจุดหนึ่งเป็นเวลา 1 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในขดลวด ความต้านทานจะมีความร้อนเกินขึ้น และปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป ดังนั้น จึงอาจจะวัดปริมาณความร้อนจากปริมาณของกระแสไฟฟ้าได้ และหน่วยในทางปฏิบัติ คือ ปริมาณของกระแสไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ ที่ไหลผ่านวงจรด้วยแรงเคลื่อน 1 โวลต์ จะมีหน่วยเป็น โวลต์ – คูลอมบ์ ซึ่งเท่ากับปริมาณความร้อน 1 จูล หรือ 1 เอิร์ก ฉะนั้นถ้าเป็นกระแสไฟฟ้า ไหลผ่านตัวนำจะมีพลังงานปลดปล่อยออกมา ดังนี้

$$Q = EIT \times 10^7 \text{ เอิร์ก} \quad (2.2)$$

$$Q = I^2RT \times 10^7 \text{ เอิร์ก} \quad (2.3)$$

$$Q = EIT / 4.183 \text{ แคลอรี่} \quad (2.4)$$

2.1.2 กฎของฟาราเดย์

ในระหว่างปี ค.ศ. 1833-1834 ฟาราเดย์ตีพิมพ์ผลงานเพิ่มเติมจากผลงานเดิมของเขา ซึ่งผลงานใหม่ที่ตีพิมพ์นี้สรุปเป็นกฎได้ 2 ข้อ คือ

1. กฎข้อที่หนึ่ง ปริมาณของสารที่แตกออกหรือเกิดขึ้นเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในสารละลาย จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณไฟฟ้า

กฎข้อที่หนึ่ง ทดสอบได้โดยผ่านกระแสไฟฟ้าคงที่ลงไปในสารละลายด้วยระยะเวลาต่างๆ กัน แล้วหาปริมาณของสารที่ไปเกาะที่ขั้วลบ ก็จะพบว่าน้ำหนักของสารที่ไปเกาะต่อเวลา จะเป็นอัตราส่วนคงที่

2. กฎข้อที่สอง ปริมาณไฟฟ้าเท่ากันย่อมทำให้สารแตกออกหรือเกิดขึ้นเป็นจำนวนสมมูลทางเคมีที่เท่ากัน แม้ว่าสารนั้นๆ จะแตกต่างกันก็ตาม

กฎข้อที่สอง ทดสอบได้โดยผ่านปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่เท่ากัน (จำนวนคูลอมบ์เท่ากัน) ลงไปในสารละลายต่างๆ ที่แตกต่างกัน เช่น ในสารละลายกรดกำมะถันเจือจาง ในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด ในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต เป็นต้น สมมติว่าทั้งสามสารละลายข้างต้นผ่านกระแสไฟฟ้าลงไป 1 แอมแปร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะพบว่าน้ำหนักของสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบเป็น 0.0379 กรัมของก๊าซไฮโดรเจน 4.0248 กรัมของโลหะทองเงิน และ 1.186 กรัมของโลหะทองแดง เมื่อเอาน้ำหนักสมมูลของสารเหล่านี้ คือ ของไฮโดรเจนเท่ากับ 1.008 โลหะเงินเท่ากับ 107.88 และโลหะทองแดงเท่ากับ 31.78 ไปหารกับน้ำหนักของสารที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ ก็จะได้ค่าออกมา 3 ค่าซึ่งเท่ากัน และก็คือจำนวนสมมูลของสารนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎของฟาราเดย์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์โดยการหาปริมาณสารที่ไปเกาะที่ขั้วลบได้ เพราะว่าปริมาณไฟฟ้าที่ทำให้สารไปเกาะที่ขั้วลบจำนวน 1 สมมูล จะต้องใช้ปริมาณไฟฟ้า 1 ฟาราเดย์ (Faraday) ซึ่งเท่ากับ 96,500 คูลอมบ์ จากความสัมพันธ์นี้ สามารถสร้างเป็นสูตรได้ คือ

$$W = \frac{lTe}{96500} \qquad (2.5)$$

เมื่อ I คือ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงไปในสารละลาย มีหน่วยเป็นแอมแปร์

T คือ เวลาที่ผ่านกระแสไฟฟ้าลงไป มีหน่วยเป็นวินาที

e คือ น้ำหนักสมมูลของสารที่จะไปเกาะที่ขั้วลบ

W คือ น้ำหนักของสารที่ไปเกาะที่ขั้วลบ มีหน่วยเป็นกรัม

การคำนวณตามกฎของฟาราเดย์นี้ จะถือว่า ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าและขั้วลบเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือปริมาณไฟฟ้าทั้งหมดจะถูกใช้ไปในการเคลือบผิวเพียงอย่างเดียว ไม่ได้ถูกใช้ไปเพื่อทำอย่างอื่น ๆ เลย แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ประสิทธิภาพมักจะไม่เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ฉะนั้น จึงจำเป็นจะต้องนำค่าของประสิทธิภาพของกระแสมาแก้ไขด้วย เช่น ถ้าคำนวณน้ำหนักสารที่ไปเกาะที่ขั้วลบ (W) ได้ 5 กรัม แต่ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าน้ำหนักสารที่ไปเกาะที่ขั้วลบจริง ๆ เป็น $5 \times \frac{80}{100}$ เท่ากับ 4 กรัม หรือในทำนองเดียวกัน ถ้าอยากทราบถึงประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าก็จะต้องคำนวณหาน้ำหนักของสารที่ไปเกาะที่ขั้วลบตามสูตรของฟาราเดย์แล้วจึงไปหาน้ำหนักของสารที่ไปเกาะจริงๆ อาจทำได้โดยการชั่งน้ำหนัก จะได้ว่าน้ำหนักที่ไปเกาะจริงต่อน้ำหนักที่คำนวณได้ คูณด้วยหนึ่งร้อย ก็จะได้ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าเป็นเปอร์เซ็นต์ออกมา

นอกจากนี้ยังสามารถที่จะคำนวณหาความหนาของโลหะที่ไปเกาะเคลือบบนชิ้นงานได้อีกด้วย โดยเมื่อหาน้ำหนักของสารที่ไปเกาะเคลือบอยู่ที่ขั้วลบหรือชิ้นงานได้แล้ว ให้เอาไปหารด้วยความหนาแน่นของโลหะที่ไปเกาะและพื้นที่ของชิ้นงานที่ไปเกาะ โดยต้องใช้หน่วยระบบเดียวกันโดยตลอด โดยสูตรนี้หามาจาก

$$D = \frac{M}{V} \qquad (2.6)$$

เมื่อ D คือ ความหนาแน่นของโลหะที่ไปเกาะบนชิ้นงาน

M คือ น้ำหนักของโลหะที่ไปเกาะบนชิ้นงาน

V คือ ปริมาณของโลหะที่ไปเกาะบนชิ้นงาน

แต่เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V = a \times l \quad (2.7)$$

เมื่อ a คือ พื้นที่ผิวชิ้นงานที่โลหะจะเกาะ

l คือ ความหนาของฟิล์มโลหะที่ไปเกาะ

ดังนั้น

$$D = \frac{m}{a \times l} \quad (2.8)$$

$$l = \frac{m}{a \times D} \quad (2.9)$$

2.1.3 อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ปฏิกิริยาเคมีบางชนิดจะเกิดได้อย่างรวดเร็ว แต่บางชนิดจะเกิดช้ามาก หรือบางทีปฏิกิริยาเคมีเดียวกันแต่อยู่ในสภาวะต่างกันก็จะมีอัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีต่างกันไป จากการศึกษาพบว่ามีแฟคเตอร์ (Factor) 4 ประการที่มีผลต่ออัตราเร็วของปฏิกิริยา ดังนี้

1. ธรรมชาติหรือชนิดของสารตั้งต้น

สารแต่ละอย่างมีสมบัติในการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเร็วหรือช้าต่างกัน เช่น โลหะทองแดงและโลหะเงินต่างก็ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้อย่างช้า ๆ ภายในเปลวไฟ แต่โลหะแมกนีเซียมทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้อย่างรวดเร็วในอากาศภายใต้สภาวะเดียวกัน หรือเมื่อเทสารละลายเงินไนเตรตลงไปในสารละลายเกลือแกงก็จะเกิดตะกอนของเงินคลอไรด์อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเทสารแมกนีเซียมซัลเฟต ลงในสารละลายโซเดียมออกซาเลต จะได้ตะกอนของแมกนีเซียมออกซาเลตเกิดขึ้นช้ามาก อาจจะต้องใช้เวลาถึง 24 ชั่วโมง จากตัวอย่างเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า ธรรมชาติของสารตั้งต้นมีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเคมี

2. ความเข้มข้นของสารตั้งต้น

อัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น คือ สารตั้งต้นมีความเข้มข้นสูง อัตราเร็วของปฏิกิริยาลดลงเรื่อย ๆ การที่สารตั้งต้นมีความเข้มข้นสูง แล้วทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาสูงนั้น ก็เนื่องจากมีปริมาณและโอกาสที่สารตั้งต้นจะทำปฏิกิริยาเคมีกันสูงนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อุณหภูมิ

การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดได้เร็วขึ้นโดยปกติเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 องศาเซลเซียส อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มเป็น 2 เท่า แต่ค่านี้ไม่ใช่ค่าที่แน่นอนเสมอไป เพราะบางปฏิกิริยาก็ไม่เป็นไปตามนี้ การเพิ่มอุณหภูมิทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เพราะเป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ให้แก่อนุภาคของสารที่เข้าทำปฏิกิริยา และเพิ่มจำนวนอนุภาคที่มีพลังงานสูงพอที่จะทำให้พลังงานศักย์ของระบบอยู่ในระดับที่จะทำปฏิกิริยาเกิดผลสำเร็จ ซึ่ง Arrhenius นักเคมีชาวสวีเดนได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าคงที่ของอัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีไว้ดังนี้

$$k = Ae^{-E/RT} \qquad (2.10)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ของอัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมี (rate constant) ถ้า k มาก อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะสูง

A คือ ค่าคงที่ที่เกี่ยวกับจำนวนครั้งของการชนของอนุภาคก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและอื่น ๆ

e คือ ฐานของล็อกธรรมชาติ

E คือ พลังงานกระตุ้น (Activation energy)

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (gas constant) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.987 แคลอรี่ต่อองศาโมล

T คือ อุณหภูมิของปฏิกิริยาเคมีในหน่วยองศาเคลวิน

สำหรับพลังงานกระตุ้นนั้น หมายถึง พลังงานจำนวนน้อยที่สุดที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ เมื่อมีการปะทะหรือชนกันระหว่างอนุภาคในทิศทางที่ดีที่สุด และโดยปกติแล้ว พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาเดียวกันจะมีค่าเท่ากัน ไม่ว่าจะมีความเข้มข้นหรืออุณหภูมิเหมือนกันหรือไม่ก็ตาม

4. คะตะลิสต์

คะตะลิสต์ คือสารที่ช่วยเร่งให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดเร็วขึ้นแม้จะเติมลงไปเพียงเล็กน้อย โดยตัวคะตะลิสต์เองจะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ก็ได้ แต่ส่วนใหญ่จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอะไร การที่คะตะลิสต์ช่วยทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาสูงขึ้นก็เพราะมันไปช่วยลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาให้ต่ำลง หรืออาจจะไปทำให้ปฏิกิริยาดำเนินไปในวิถีทางใหม่ หรือมีกลไกของปฏิกิริยาใหม่ต่างจากเมื่อไม่ได้เติมคะตะลิสต์ลงไปคะตะลิสต์แบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

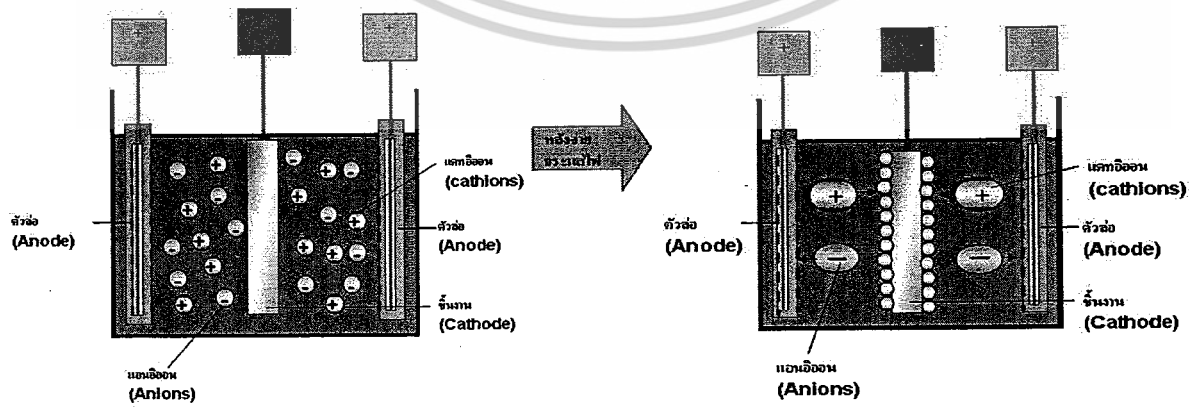
1. คะตะลิสต์เนื้อเดียว เป็นสารที่มีสถานะเหมือนกับสารตั้งต้นและใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการเกิดสารที่ว่องไวในปฏิกิริยากับสารตั้งต้นตัวใดตัวหนึ่ง

2. คะตะลิสต์เนื้อผสม เป็นสารที่มีสถานะต่างจากสารตั้งต้น คะตะลิสต์แบบนี้ส่วนใหญ่จะเป็นของแข็งพื้นที่ผิวมาก เพราะปฏิกิริยาเคมีจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวของคะตะลิสต์ และอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะแปรผันโดยตรงกับพื้นที่ผิว

2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

จากการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ ได้พบว่าตัวนำไฟฟ้าแบ่งได้เป็นสองพวก คือ พวกที่หนึ่ง เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เป็นเพียงสะพานเพื่อให้ไฟฟ้าผ่านได้เท่านั้น เช่น โลหะต่างๆ และ พวกที่สองเป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองแยกสลายออกเป็นอนุภาคเล็กๆ ในขณะที่ไฟฟ้าไหลผ่านตัวของมัน เช่น น้ำเจือกรด สารละลาย เป็นต้น ตัวนำไฟฟ้านี้ทางวิทยาศาสตร์ เรียกว่า สารอีเล็กโตรไลต์ (Electrolytes) ไมเคิล ฟาราเดย์ นักวิทยาศาสตร์คนสำคัญคนหนึ่งของโลก ได้ตั้งชื่อนี้ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1832-1833 ตัวนำไฟฟ้าพวกที่สองนี้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าโดยตรง

การชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า หมายถึง การนำเอาชิ้นงานหรือวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้มาเคลือบผิวด้วยโลหะโดยอาศัยไฟฟ้ากระแสตรงเข้าช่วย ซึ่งมีหลักการง่ายๆ คือ นำชิ้นงานที่จะทำการชุบต่อเข้ากับขั้วแคโทด (Cathode) หรือขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนโลหะที่จะไปเคลือบบนชิ้นงานจะต่อเข้ากับขั้วแอโนด (Anode) หรือขั้วบวก แต่ขั้วบวกไม่จำเป็นต้องเป็นโลหะชนิดเดียวกับโลหะที่ไปเคลือบบนชิ้นงานเสมอไป ซึ่งเรียกว่า ตัวล่อนำชิ้นงานและตัวจุ่มลงในน้ำยาชุบ แล้วปรับปริมาณทางไฟฟ้า คือแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าให้เหมาะสม อนุภาคเล็กๆ ของอีเล็กโตรไลต์ที่วิ่งไปยังขั้วบวกหรือขั้วลบดังกล่าวแล้วนั้นเรียกว่า อิออน (Ions) แต่ละอิออนจะมีประจุไฟฟ้าประจำทุกตัว อิออนที่วิ่งไปยังขั้วบวก เรียกว่า แอนอิออน (Anions) จะมีประจุไฟฟ้าลบ (-) ประจำตัว อิออนที่วิ่งไปยังขั้วลบเรียกว่า แคทอิออน (Cathions) จะมีประจุไฟฟ้าบวก (+) ประจำตัว คือ อิออนของโลหะที่เคลือบชิ้นงานวิ่งไปยังขั้วลบซึ่งเป็นชิ้นงาน แล้วรับอิเลคตรอนที่ผิวของชิ้นงานกลายเป็นชั้นของเนื้อสีเคลือบติดอยู่บนชิ้นงาน จากหลักการข้างต้นสามารถเขียนเป็นแผนภาพดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของอิออนขณะผ่านกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาจากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าน้ำยาชุบ จะต้องนำไฟฟ้าได้จึงจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลได้ได้ครบวงจร ฉะนั้น ในน้ำยาชุบจึงมีสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของน้ำยาชุบชนิดที่แตกตัวเป็นอิออนบวก และ อิออนลบเมื่อละลายน้ำได้ดี ซึ่งอิออนเหล่านี้จะเป็นตัวนำไฟฟ้าให้ไหลครบวงจร คือ อิออนบวกจะนำไฟฟ้าบวกไปยังขั้วลบหรือเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบเพื่อจะรับอิเลคตรอนจากขั้วลบ ส่วนอิออนลบจะวิ่งไปยังขั้วบวกเพื่อจ่ายอิเลคตรอนให้กับขั้วบวก ปรากฏการณ์เช่นนี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลาในขณะที่ทำการชุบ

2.2.1 ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบและขั้วบวก

ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบและขั้วบวกบางทีเรียกสั้นๆ ว่า ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าหรือบางทีเรียกว่า ประสิทธิภาพของขั้วลบหรือประสิทธิภาพของขั้วบวก ซึ่งประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบและขั้วบวกส่วนใหญ่จะมีค่าแตกต่างกัน โดยประสิทธิภาพนี้อาจจะนิยามได้ 2 ลักษณะ คือ ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างกระแสไฟฟ้าที่นำไปใช้ประโยชน์ในการชุบเคลือบผิวจริงๆ ต่อปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงไปทั้งหมดคูณด้วยหนึ่งร้อย หรืออาจจะนิยามว่า ประสิทธิภาพของขั้วบวก คือ ปริมาณโลหะของขั้วบวกที่ละลายจริง ต่อปริมาณของโลหะของขั้วบวกที่ควรจะลายตามกฎของฟาราเดย์คูณด้วยหนึ่งร้อย หรืออาจจะนิยามว่า ประสิทธิภาพของขั้วบวก คือปริมาณสารที่มาเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบต่อปริมาณที่ควรเกาะขั้นลบตามกฎของฟาราเดย์คูณด้วยหนึ่งร้อย

โดยปกติแล้ว ประสิทธิภาพจะมีค่าไม่ถึงหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์ทั้งบวกและลบ ทั้งนี้เพราะกระแสไฟฟ้าที่ผ่านเข้าไปยังน้ำยาชุบไม่ได้นำไปใช้ในการละลายขั้วบวก หรือ ทำให้อิออนบวกของโลหะไปเกาะที่ขั้วลบเพียงอย่างเดียว แต่ยังถูกใช้ในการนำไปทำให้เกิดกลไกอย่างอื่นอีกด้วย เช่น ไปแยกสลายโมเลกุลของน้ำไปทำให้เกิดก๊าซขึ้นที่ขั้วบวกหรือลบ หรือเปลี่ยนไปเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นในสารละลาย เป็นต้น

ในการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าที่ดีที่สุดนั้น ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวกและขั้วลบควรมีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ทั้งคู่ หรือถ้าไม่เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ทั้งสองขั้ว ก็อาจจะเป็นลักษณะว่าประสิทธิภาพที่ขั้วบวกและขั้วลบต้องเท่ากัน เพราะทั้งสองกรณีจะต้องรักษาลักษณะอิออนที่เป็นแหล่งกำเนิดของโลหะคงที่และเท่าเดิมเสมอ เนื่องจากปริมาณโลหะที่ไปเคลือบผิวที่ขั้วลบจะเท่ากับปริมาณโลหะของอิออนละลายจากขั้วบวกลงสู่สารละลาย แต่ถ้าประสิทธิภาพของขั้วบวกและลบไม่เท่ากัน จะทำให้ปริมาณของอิออนที่เป็นที่เป็นตัวกำเนิดเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะทำให้น้ำยาชุบเสื่อมสภาพเร็ว แต่ก็ยังมีวิธีแก้ปัญหาเหล่านี้ได้ เช่น อาจจะใช้พื้นที่ผิวของขั้วบวกและขั้วลบไม่เท่ากันเข้าช่วย หรืออาจจะใช้สารเคมีที่เติมลงไปเพื่อลดหรือเพิ่มการละลายของขั้วบวกเข้าช่วย เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะช่วยปรับให้ประสิทธิภาพของขั้วบวกและขั้วลบมีค่าใกล้เคียงกันหรือเท่าๆกันได้

2.2.1.1 <u>ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า</u>

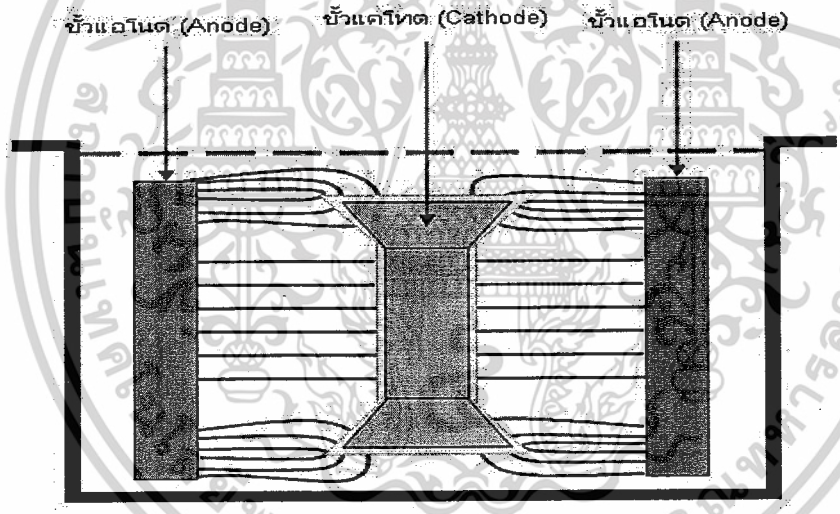
ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า คือ ปริมาณของกระแสไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ โดยปกติแล้วจะแสดงในหน่วยของแอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร หรือแอมแปร์ต่อตารางฟุต และถ้าไม่ระบุว่าเป็นความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วบวกหรือลบ ก็จะหมายถึงความหนาแน่นของกะแสไฟฟ้าที่ขั้วลบ ในน้ำยาชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าแต่ละชนิด จะกำหนดสภาวะการทำงานไว้ชัดเจนว่าจะทำการชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าเท่าใด ฉะนั้นก่อนจะทำการชุบ จึงต้องคำนวณพื้นที่ผิวของชิ้นงานหรือขั้วลบเสียก่อนแล้วนำค่าไปคำนวณดูว่าจะใช้กระแสไฟฟ้าเท่าใดจึงจะทำให้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นตามกระแสไฟฟ้าที่กำหนด โดยปกติแล้ว ถ้าการชุบชนิดเดียวกันมาสถานะแตกต่างกันก็จะใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่างกันไป เช่น อุณหภูมิสูงและมีการกวนน้ำยาอย่างแรงก็จะชุบที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงกว่าปกติได้ ซึ่งจะทำให้มีอัตราเร็วของการชุบเคลือบผิวเร็วขึ้นแต่ทางปฏิบัติทั่วๆไปแล้วการชุบที่มีความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำการเคลือบผิวจะเป็นระเบียบและสวยงามแต่จะเสียเวลาในการชุบมากขึ้น

2.2.1.2 <u>การกระจายของกระแสไฟฟ้า</u>

เนื่องจากชิ้นงานมีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป เช่น แบบ กลม กลวง โค้ง แหลม ฯลฯ จะพบว่าจุดต่างๆ ของชิ้นงานจะห่างจากขั้วลบไม่เท่ากัน จุดใดที่อยู่ใกล้ขั้วลบกระแสไฟฟ้าจะเดินทางได้สะดวกทำให้มีลักษณะการกระจายของกระแสไฟฟ้าบริเวณจุดที่อยู่ใกล้มากกว่าจุดที่อยู่ไกล และยิ่งตรงบริเวณใดที่มีลักษณะเป็นมุมแหลมด้วยแล้ว ยิ่งมีการกระจายของกระแสไฟฟ้าไปในบริเวณนั้นหนาแน่นมากขึ้นไปอีก เนื่องจากการกระจายของกระแสไฟฟ้า คือการกระจายหรือการเคลื่อนที่ของอิออนของโลหะที่จะไปเกาะที่ขั้วลบ ดังนั้น จุดใดของขั้วลบที่อยู่ใกล้ขั้วบวกหรือจุดแหลมจะมีการเกาะเคลือบผิวบริเวณนั้นมากกว่าบริเวณอื่น ซึ่งอาจจะแสดงลักษณะการกระจายของกระแสไฟฟ้าและความหนาที่เคลือบบนชิ้นงานได้ดังรูป



รูปที่ 2.2 ลักษณะการกระจายของกระแสไฟฟ้าและความหนาที่เคลือบบนผิวชิ้นงาน

จากรูปที่2.2 จะเห็นว่า บริเวณของชิ้นงานส่วนที่เป็นมุมแหลมหรืออยู่ใกล้ขั้วบวกจะมีการกระจายของกระแสไฟฟ้าหนาแน่นมากสุดและมีการเกาะเคลือบผิวหนาที่สุด ซึ่งถ้าต้องการชุบสีให้ออกมาในลักษณะเช่นนี้ก็ไม่จำเป็นต้องมีการแก้ไข แต่ถ้าต้องการให้มีลักษณะของการชุบเคลือบผิวที่มีความหนาแน่นเท่าๆ กันตลอดชิ้นงาน ก็อาจแก้ไขโดยการหาแผ่นวัสดุที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำยาชุบมากันระหว่างขั้วบวกกับขั้วลบ ตรงบริเวณที่อยู่ใกล้กันเพื่อลดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าให้เหลือเท่ากันทุกบริเวณของขั้วลบ วัสดุที่ใช้ควรเป็นวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้า เช่น โพลีเอ-ทธิลีน พีวีซี หรือโพลี่โปรปีลีน เป็นต้น แต่ถ้าหากว่าการเกาะเคลือบผิวที่ขั้วลบไม่ทั่วหรือไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากสาเหตุที่น้ำยามีกำลังการเกาะผิวไม่ดีก็ต้องแก้ไขโดยการออกแบบขั้วบวกให้เหมาะสมเข้าช่วย คือ ออกแบบให้มีการกระจายของกระแสไฟฟ้าที่ขั้วลบให้เท่ากันและทั่วถึงในส่วนที่ต้องการให้มีการเกาะเคลือบผิว สำหรับการเคลือบผิวหมายถึงความสามารถในการกระจายของอิออนบวกหรืออิออนโลหะไปเคลือบบนผิวชิ้นงานได้ทั่วถึงมากหรือน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงใด ถ้าน้ำยาใดมีกำลังการเคลือบผิวไม่ดี จะสังเกตได้จากการชุบชิ้นงานที่มีลักษณะกลวงหรือโค้งงอจะพบว่าส่วนที่อยู่ลึกๆ ลงไปจะไม่เกิดการเคลือบผิว

2.2.2 รายละเอียดของการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

รายละเอียดของการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า สามารถอธิบายได้ในหัวข้อต่อไปนี้

2.2.2.1 การชุบด้วยสารเคลือบสี

สารเคลือบสีมีประโยชน์ในการชุบเคลือบบนผิวของวัตถุที่ต้องการเคลือบ และเกิดการแข็งตัวเป็นฟิล์มปกคลุมพื้นผิวของวัสดุนั้น โดยชั้นฟิล์มที่เกิดขึ้นจะมีคุณสมบัติต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อพื้นผิวของวัสดุ เช่น ปกป้องรักษาวัตถุ ทนทานต่อสารเคมี น้ำมัน ความชื้น กันน้ำได้ กันการเกิดสนิมและการผุกร่อน ความสวยงาม ความเรียบ เป็นต้น

2.2.2.2 ส่วนประกอบของสารเคลือบสี

ส่วนประกอบที่สำคัญของสารเคลือบสี ได้แก่

1. เม็ดสี (Pigment) คือ สารที่ปรากฏทำให้สีสันต่างๆกับสิ่งที่นำมาเคลือบสี มีลักษณะเป็นผงละเอียด หากต้องการนำไปใช้งานควรบดเม็ดสีให้ละเอียดเป็นอนุภาคเล็กๆ เพื่อให้อนุภาคของผงสี แขวนลอยอยู่ในน้ำสี

2. เรซิน (Resin) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นตัวทำละลายต่างๆ

3. กรด (Neutralizer or Acid) คือ มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนๆ

4. สารปรุงแต่ง (Additive) คือ สารที่ใส่ลงไปในสี เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของสี ทั้งในด้านกระบวนการ และปรับปรุงคุณสมบัติของฟิล์มสี

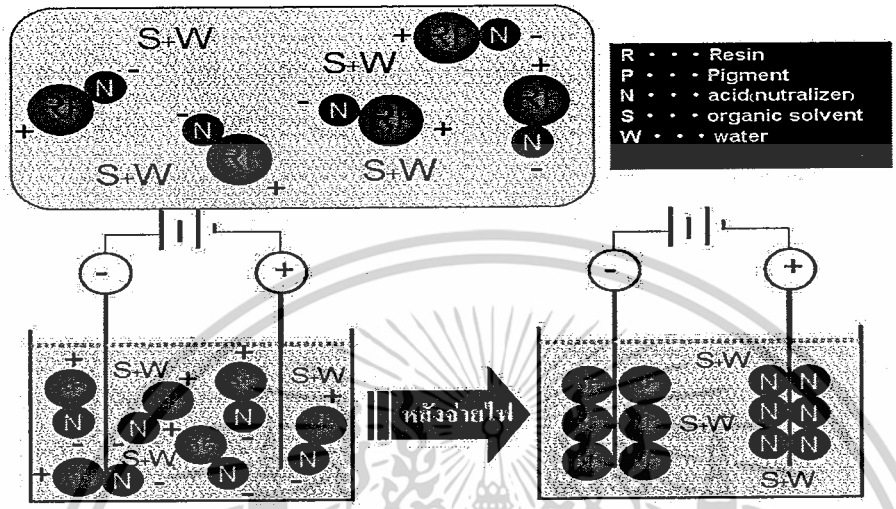
5. ตัวทำละลาย (Solvent) คือ สารที่มีคุณสมบัติทำลายเรซินให้เป็นของเหลวมากขึ้น เพราะ เรซินมีความหนืดสูง

6. น้ำบริสุทธิ์ (Distilled water) คือ เป็นน้ำที่ปราศจากสารเจือปนหรือสิ่งปนเปื้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.3 โครงสร้างของสารเคลือบสี

เรซินเป็นสารที่ประกอบด้วยหมู่ของไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) และ ชอบน้ำ (hydrophilic) แต่ไม่สามารถละลายในน้ำได้ แต่เมื่อเติมกรด (Neutralizer or Acid) ลงไป เรซินก็จะสามารถแตกตัวและละลายน้ำได้



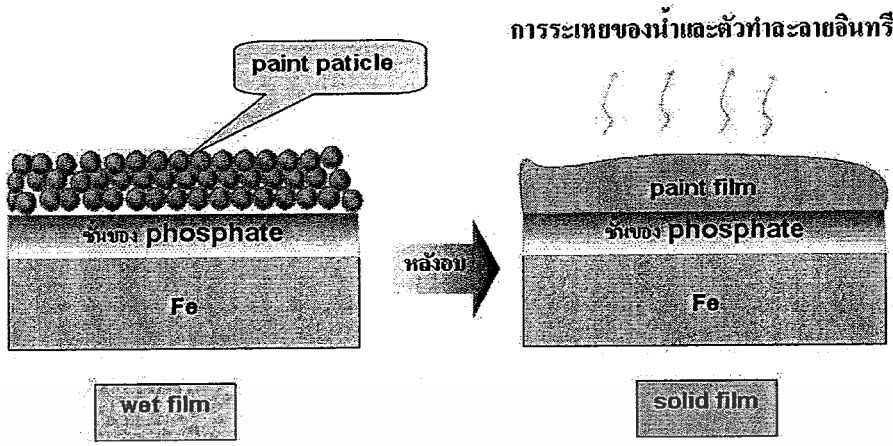
รูปที่ 2.3 โครงสร้างสารเคลือบสีเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้า

จากรูปที่2.3 แสดงสาร RP (Resin-Pigment)ซึ่งมีขั้วเป็นบวก จะรวมตัวกับสารที่มีขั้วเป็นลบคือ กรด (Neutralizer or Acid) ส่วน ตัวทำละลาย (Solvent Water) นั้น บางส่วนจะติดไปเป็นส่วนหนึ่งของฟิลม์ก่อนอบ (Wet film) แต่ตัวทำละลายส่วนใหญ่จะยังคงเหลืออยู่ในสารละลายของสี ปกติสีที่อยู่ในบ่อในจะอยู่ในรูป R-P-N ที่ละลายอยู่ในน้ำได้ แต่ถ้าดึงกรดออกไป กลายเป็น RP แล้วก็จะละลายน้ำได้ยากมาก ดังนั้นหลังจากทำการ ED แล้ว RP จึงไม่สามารถละลายน้ำได้อีก แต่ถ้าทิ้งสาร RP ไว้ในสารละลายของสีนานๆ กรดก็จะกลับมารวมตัวกับสาร RP อีก และสาร RPส่วนหนึ่ง ก็จะสามารถละลายกลับลงไปในน้ำได้อีก ซึ่งเรียกสิ่งนี้ว่า การละลายกลับ (Resolution)

2.2.3 การอบสารเคลือบสี

กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่ออบฟิล์มของสี คือ หลังจากผ่านการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า ฟิล์มของสีที่เกาะผิวชิ้นงาน จะเรียงเป็นชั้น ซึ่งความหนาจะขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าและเวลาในการชุบ โดยความร้อนจากการอบจะทำให้น้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ระเหยออกไปจากฟิล์มสี นอกจากนี้การอบจะช่วยให้ฟิล์มสีมีความเรียบผิว และ ฟิล์มสีจะมีการยึดเกาะกันได้ดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 กระบวนการอบสารเคลือบสีที่ผ่านการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

2.2.4 การคำนวณอัตราการไหลของระบบบำบัดน้ำสี

หลักการคำนวณเบื้องต้น เกี่ยวกับอัตราการไหลของระบบน้ำสี ได้แก่

2.2.4.1 อัตราการไหล

อัตราการไหลของระบบบำบัดน้ำสี สามารถคำนวณได้ จากสมการ

$$Q = VA \tag{2.11}$$

โดยที่

Q คือ อัตราการไหล

V คือ ความเร็วในการไหล

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ

Reynolds Number

ในการคำนวณเพื่อหารูปแบบการไหลของระบบบำบัดน้ำสี สามารถคำนวณได้ จากสมการ Reynolds Number

$$N_R = \frac{1000V\,{}^{m}\!/_{s} \times D(mm)}{V(cs)} \tag{2.12}$$

โดยที่

N_R คือ เลขเรย์โนลด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V คือ ความเร็วในการไหล

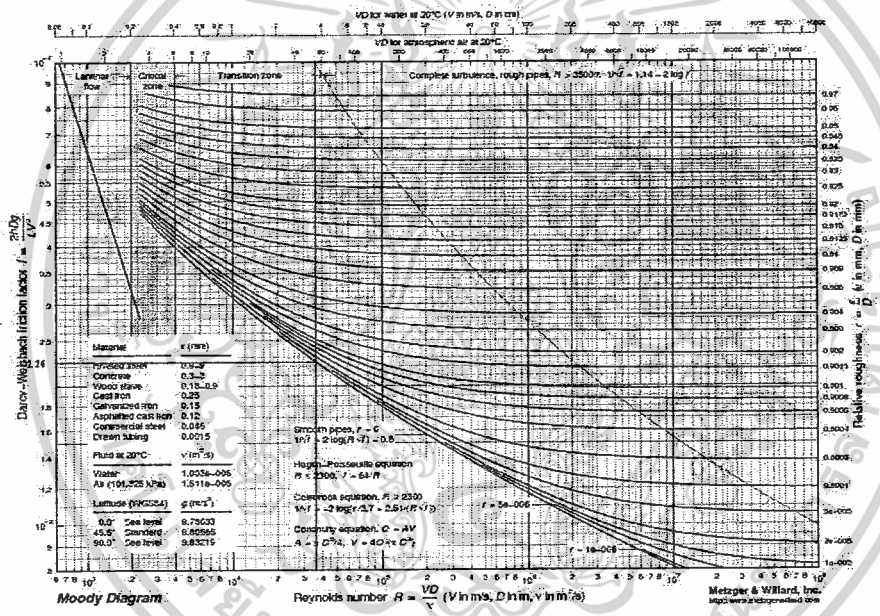
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

การพิจารณาค่า Reynolds Number จะเป็นการไหลแบบคงที่ (Laminar Flow) หรือ การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) จะแบ่งเป็น 2 กรณี

1. ถ้า Reynolds Number น้อยกว่า 2,000 จะเป็นการไหลแบบคงที่ (Laminar Flow)

2. ถ้า Reynolds Number มากกว่า 4,000 จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent)

เพื่อนำค่า Reynolds Number ไปกำหนดจุดในกราฟ Moody Diagram จะได้ค่า Friction Factor (f)



รูปที่ 2.5 Moody Diagram

2.2.4.2 <u>Head Loss</u>

Head Loss คือการสูญเสียเนื่องจากอัตราการไหลของระบบบำบัดน้ำสี สามารถหาได้ จากสมการ

$$H_L = f\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{V^2}{2g}\right) \qquad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$H_L = K\left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad (2.14)$$

โดยที่

H_L คือ ความสูญเสีย (Head Loss)

f คือ ความเสียดทาน (Friction Factor)

L คือ ความยาวท่อ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

K คือ ค่าคงที่ความสูญเสีย

V คือ ความเร็วในการไหล

g คือ แรงโน้มถ่วง

2.2.4.3 <u>Head Pump</u>

Head Pump ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพปั้มของระบบบำบัดน้ำสี สามารถคำนวณ จากสมการ

$$\text{Hp (m)} = \frac{Pump\ \ Hydrolic\ \ Power\ \ (w)}{y\left(N/m^3\right) \times Q\left(m^3/s\right)} \quad (2.15)$$

โดยที่

Hp คือ Head Pump

y คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำสี

Q คือ อัตราการไหล

ดังนั้น

จะสามารถแสดงสมการพลังงาน ได้ดังนี้

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_p = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_L \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

P_1 คือ ความดันตำแหน่งที่หนึ่ง

V_1 คือ ความเร็วในการไหลตำแหน่งที่หนึ่ง

Z_1 คือ ระดับความสูงตำแหน่งที่หนึ่ง

ρ_1 คือ ความหนืดของน้ำสีตำแหน่งที่หนึ่ง

P_2 คือ ความดันตำแหน่งที่สอง

V_2 คือ ความเร็วในการไหลตำแหน่งที่สอง

Z_2 คือ ระดับความสูงตำแหน่งที่สอง

ρ_2 คือ ความหนืดของน้ำสีตำแหน่งที่สอง

H_p คือ ค่า Head Pump

H_L คือ ค่า Head Loss

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

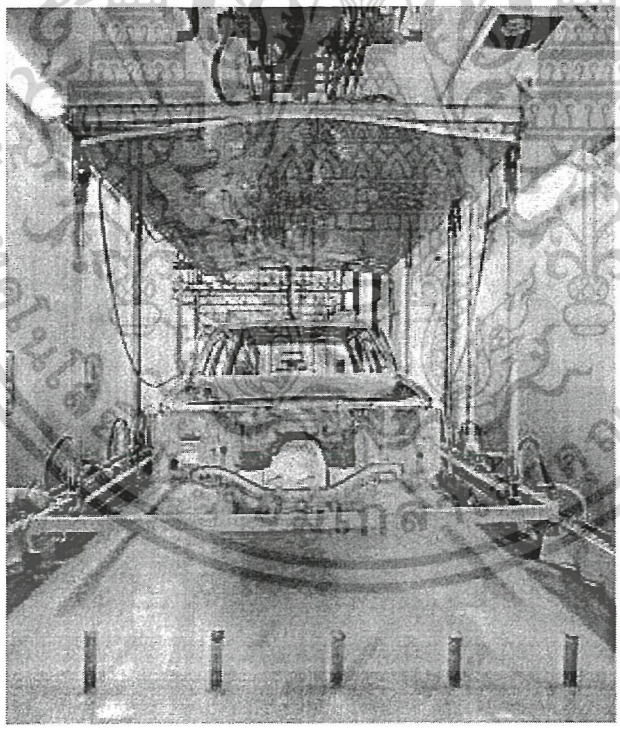
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 3

การดำเนินงาน

3.1 การศึกษาและหาข้อมูลของกระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ได้เริ่มจากศึกษาหลักการทำงานของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า ส่วนประกอบอุปกรณ์ประกอบการทำงาน และวงจรทำงานทั้งหมด ตลอดจนศึกษากระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรมในปัจจุบัน เพื่อทำการออกแบบและและพัฒนาเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 3.1 กระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าในอุตสาหกรรมในปัจจุบัน

ซึ่งกระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบันนี้ เป็นอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตขนาดใหญ่ และ จะใช้ระบบการทำงานแบบอัตโนมัติ กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบสูงมาก การชุบสีในแต่ละครั้งจึงใช้เวลาในการชุบน้อย และ ประสิทธิภาพของการชุบสีมีมาก งานที่ได้ออกมาจึงมีจุดบกพร่องน้อยมาก แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

104368

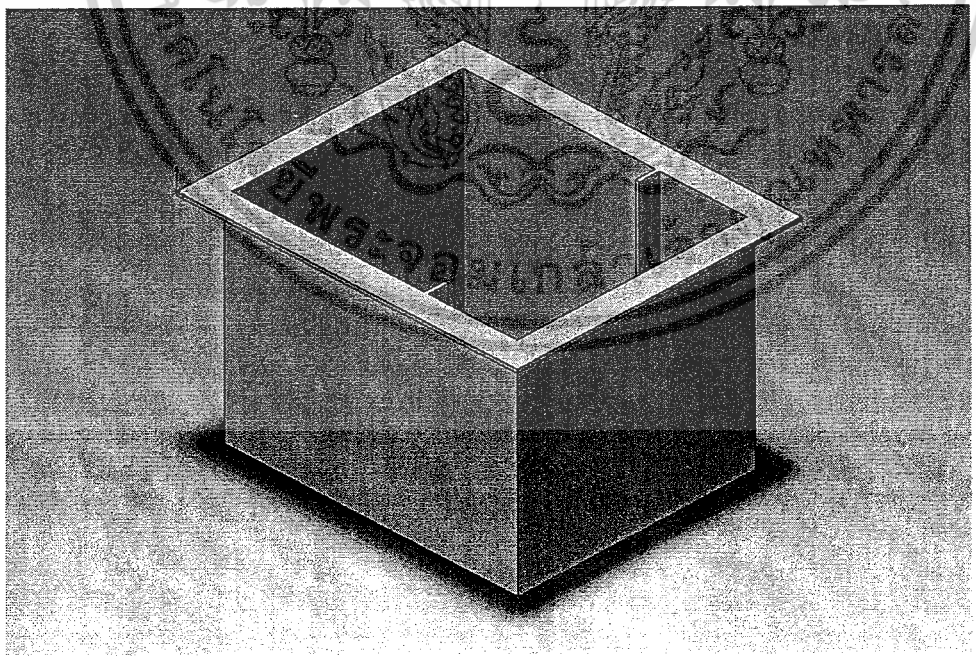
สำหรับเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าที่ผู้ดำเนินงานวิจัยได้ออกแบบและสร้างนั้น จะเป็นเครื่องที่มีขนาดเล็กใช้สำหรับการชุบสีชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบไม่สูงมาก และระบบการควบคุมเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ

3.2 การออกแบบและพัฒนาส่วนประกอบของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

หลังจากที่ได้ศึกษาหลักการและกระบวนการทำงานของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าแล้ว ทำการออกแบบและสร้างเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าดังต่อไปนี้

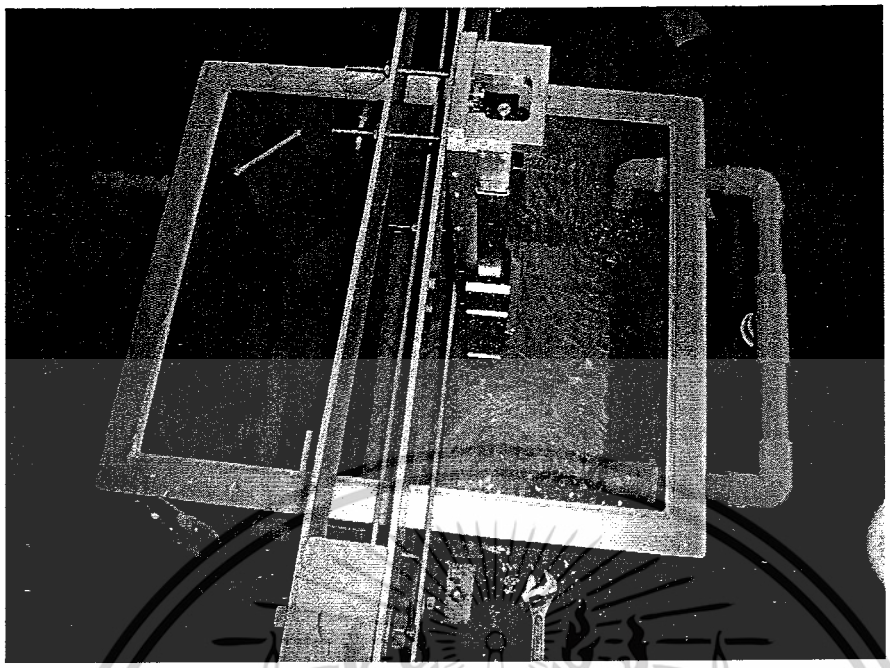
3.2.1 การออกแบบและสร้างส่วนของถังชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

ในการออกแบบส่วนถังชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า ได้ทำการออกแบบโดยถังชุบสี ที่มีขนาด กว้าง 49 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร ลึก 49 เซนติเมตร และแบ่งถังชุบสีออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะเป็นส่วนของถังที่ใช้ในกระบวนการชุบสี ซึ่งมีขนาด กว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 49 เซนติเมตร ลึก 49 เซนติเมตร และส่วนที่สองจะเป็นส่วนของถังพักน้ำสีซึ่งมีขนาด กว้าง 18.5 เซนติเมตร ยาว 49 เซนติเมตร ลึก 49 เซนติเมตร เพื่อที่จะพักน้ำสี และนำน้ำสีไปผ่านกระบวนการกรองหมุนเวียนน้ำสีกลับไปยังถังชุบสี ส่วนวัสดุที่ใช้ทำถังชุบสีคือ โพลีคาร์บอเนต ซึ่งมีความหนา 5 มิลลิเมตร เนื่องจากโพลีคาร์บอเนตเป็นพลาสติกที่มีลักษณะ แข็งและทนความร้อน ไม่นำไฟฟ้า จึงสามารถทนต่อสภาวะของกระแสไฟฟ้าและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการชุบสีได้ โดยระหว่างถังทั้งสองส่วนตัดช่องเพื่อให้น้ำสีผ่านและวางแผ่นกรองน้ำสี ซึ่งช่องว่างที่ตัดมีกว้าง 50 เซนติเมตร ลึก 60 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 การออกแบบถังชุบสีที่ใช้ในกระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

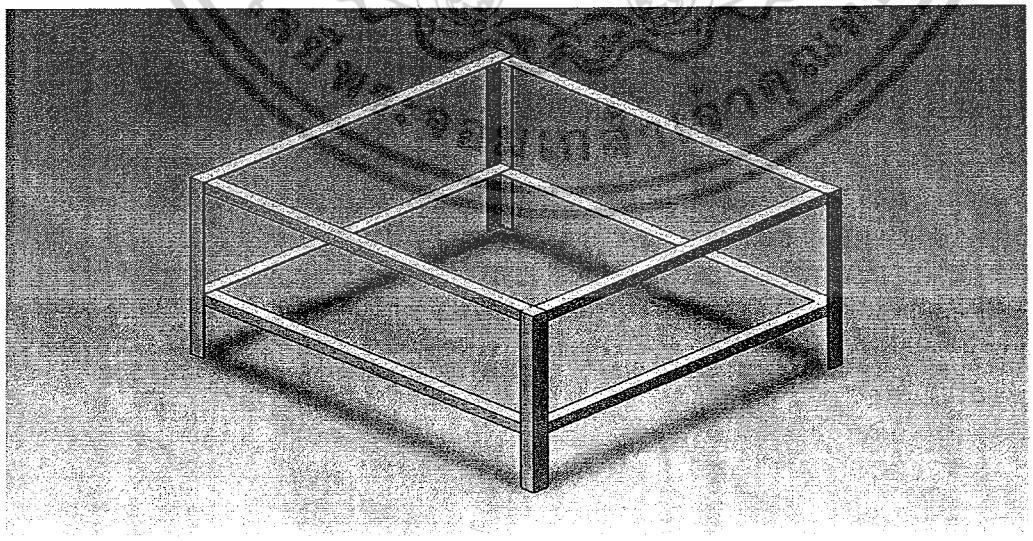
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ถังชุบสีที่ใช้ในกระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

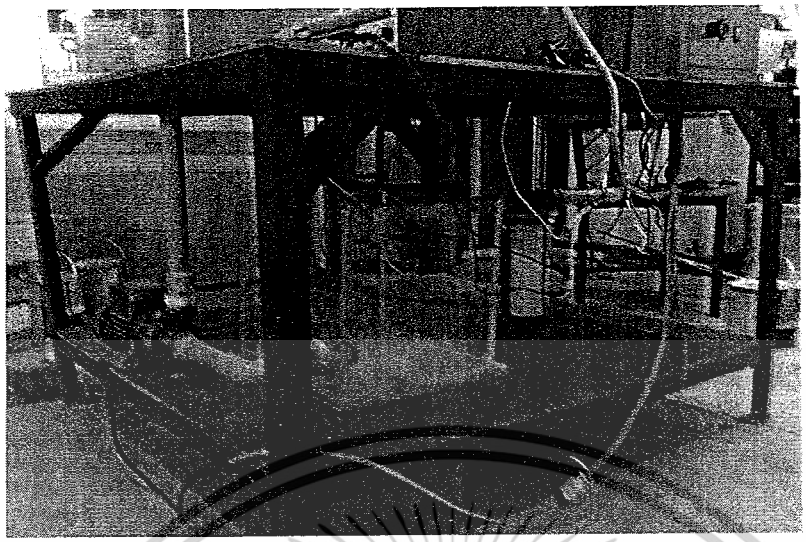
3.2.2 การออกแบบและสร้างส่วนโครงเหล็กวางถัง

ในส่วนของโครงเหล็ก ได้ทำการออกแบบเพื่อใช้ติดตั้งถังชุบ วัสดุทำมากจากเหล็กกล้าหน้าตัดมุมฉากขนาดด้านละ 4 มิลลิเมตร ความหนา 2 มิลลิเมตร โดยออกแบบเป็นโต๊ะทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 110 เซนติเมตร สูง 70 เซนติเมตร ฐานด้านล่างสูงจากพื้น 20 เซนติเมตร พื้นด้านบน ปิดด้วยไม้อัดแผ่นกว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 110 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การออกแบบโครงเหล็กวางถังชุบสี

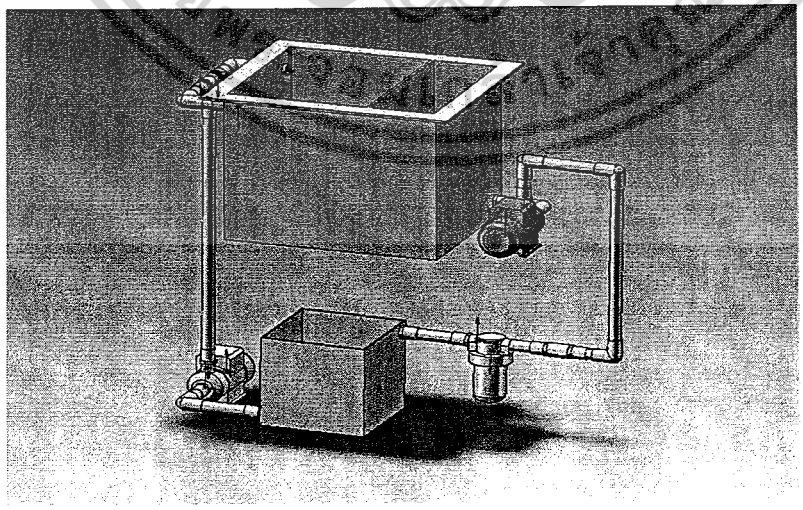
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 โครงเหล็กวางถังชุบสี

3.2.3 การออกแบบและสร้างระบบหมุนเวียนและกรองน้ำสี

ระบบหมุนเวียนน้ำสี สร้างขึ้นเพื่อทำให้น้ำสีในระบบเกิดการหมุนเวียนและไม่เกิดการตกตะกอนของน้ำสี โดยไหลเวียนขณะดำเนินการชุบสี จะส่งผลดีกับการกระจายตัวของประจุไฟฟ้า ทำให้การชุบสีมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่วนระบบการกรองน้ำสีนั้น สร้างขึ้นเพื่อกรองสิ่งสกปรกและเศษฝุ่นละอองออกจากน้ำสี เพราะหากมีเศษฝุ่นละอองปะปนอยู่ในน้ำสีแล้ว จะทำให้เศษฝุ่นละลองเหล่านั้นติดไปกับชิ้นงานเมื่อมีการชุบชิ้นงานนั้นๆ และจะทำให้ผิวชิ้นงานขรุขระไม่เรียบ โดยระบบการหมุนเวียนและกรองน้ำสีนั้นประกอบไป ด้วย ปั๊ม 220 โวลต์ ขนาด 40 ลิตรต่อนาที สองเครื่อง ท่อและข้อต่อพีวีซี ขนาดหน้าตัด 1 นิ้ว ถังพักขนาด กว้าง 1 ฟุต ยาว 1 ฟุต สูง 1 ฟุต แผ่นกรองน้ำสีขนาด ตัวกรองน้ำสี มาประกอบเป็นระบบดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ออกแบบระบบหมุนเวียนและกรองน้ำสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การคำนวณอัตราการไหลของระบบบำบัดน้ำสี

ในการกำหนดขนาดและประสิทธิภาพของปั๊มทั้งสอง เพื่อให้เหมาะกับระบบหมุนเวียนและทำให้การไหลเวียนของน้ำสีเป็นไปอย่างต่อเนื่อง จึงได้มีการคำนวณขนาดของปั๊ม และประสิทธิภาพดังต่อไปนี้

3.3.1 อัตราการไหล

อัตราการไหลของระบบบำบัดน้ำสี สามารถคำนวณได้ จากสมการ

$$Q = VA \tag{3.1}$$

กำหนดให้ $Q = 40\ L/\text{min} = 6.667 \times 10^{-4}\ m^3/s$

$$D = 25.4\ \text{mm.}$$

แทนค่า $$6.667 \times 10^{-4} = V[\frac{\pi}{4}(25.4 \times 10^{-3})^2]$$

$$V = 1.316\ m/s$$

ดังนั้น $$\frac{V^2}{2g} = \frac{(1.316)^2}{2(9.807)} = 0.088$$

โดยที่

Q คือ อัตราการไหล

V คือ ความเร็วในการไหล

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 Reynolds Number

Reynolds Number ใช้ในการคำนวณเพื่อหารูปแบบการไหลของระบบบำบัดน้ำสี สามารถคำนวณได้ จากสมการ

$$N_R = \frac{1000V\,{}^{m}\!/_{s} \times D(mm)}{V(cs)} \qquad (3.2)$$

$$= \frac{1000(1.316)\times(25.4)}{0.894}$$

$$= 37{,}390$$

เนื่องจาก $N_R > 4{,}000$ จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent)

โดยที่

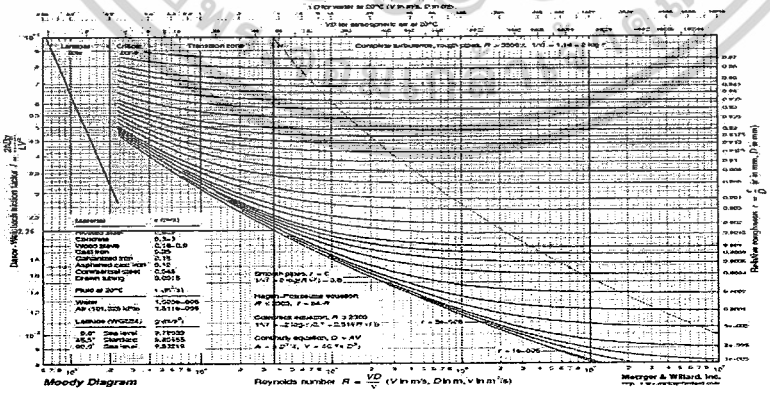
N_R คือ เลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number)

V คือ ความเร็วในการไหลของน้ำสี

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

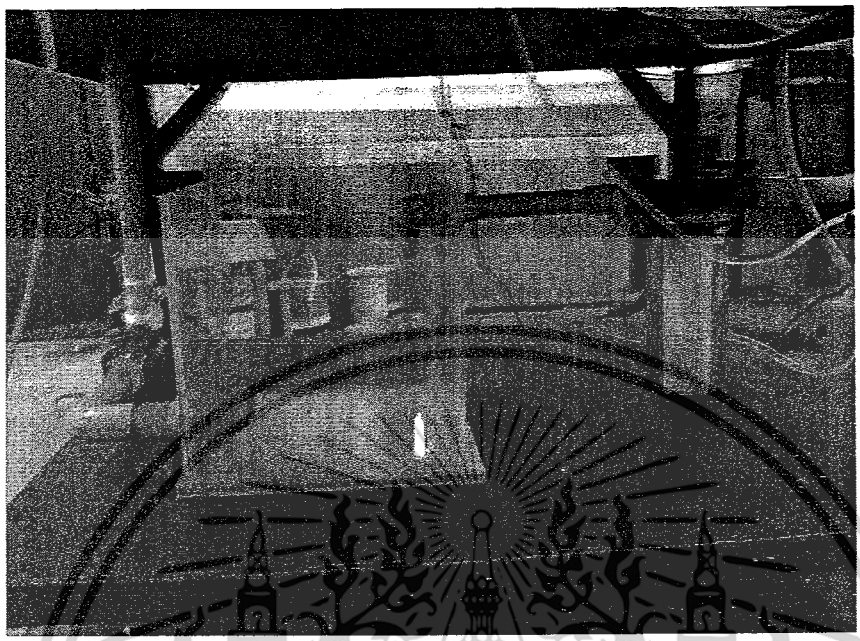
3.3.3 การพิจารณาค่า Reynolds Number จะเป็นการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent)

เมื่อนำค่า Reynolds Number กำหนดจุดในกราฟ Moody Diagram ในรูปที่ 3.7จะ ได้ค่า Friction Factor (f)

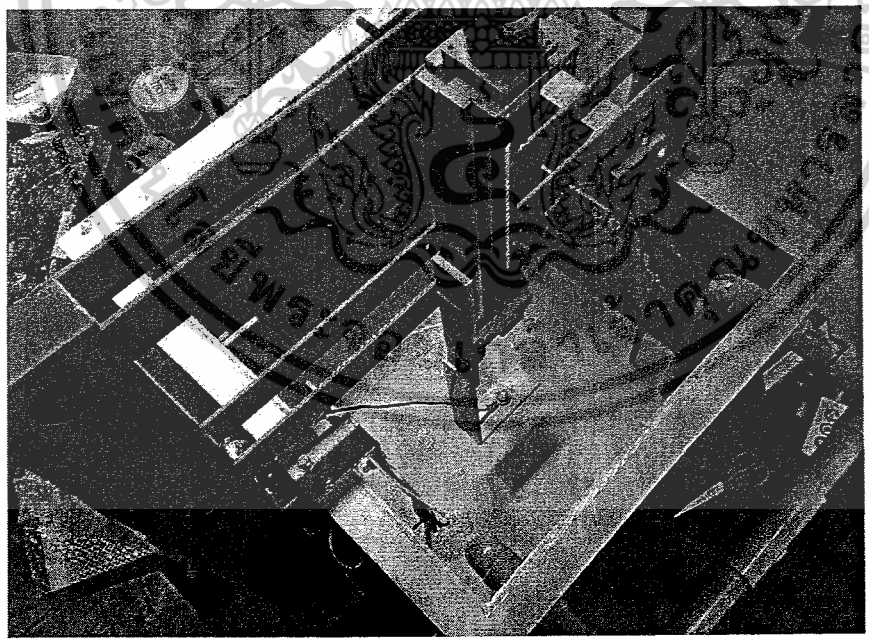


รูปที่ 3.7 Moody Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 สร้างระบบหมุนเวียนและกรองน้ำสี



รูปที่ 3.9 สร้างระบบหมุนเวียนและกรองน้ำสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 Head Loss

Head Loss การสูญเสียเนื่องจากอัตราการไหลของระบบบำบัดน้ำสี สามารถหาได้ จากสมการ

$$H_L = f\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad (3.3)$$

$$= (0.0226)\left(\frac{1.5m}{25.4\times10^{-3}m}\right)(0.088)$$

$$= 0.1174 \text{ m.}$$

Head Loss in Value and fitting

$$H_L = K\left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad (3.4)$$

$$= 5[(0.75)(0.088)]$$

$$= 0.33 \text{ m}$$

$$H_{L\ Value} = 4(0.088)$$

$$= 0.352 \text{ m}$$

$$\text{Total Head Los} = 0.33 + 0.352 + 0.1174 \text{ m}$$

$$= 0.7994 \text{ m}$$

โดยที่

H_L คือ ความสูญเสีย (Head Loss)

f คือ ความเสียดทาน (Friction Factor)

L คือ ความยาวท่อ

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ

K คือ ค่าคงที่ความสูญเสีย

V คือ ความเร็วในการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

g คือ แรงโน้มถ่วง

3.3.5 Head Pump

Head Pump ใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพปั๊มของระบบบำบัดน้ำสี สามารถคำนวณ จากสมการ

$$\text{Hp (m)} = \frac{Pump\,Hydrolic\,Power(w)}{y\left(N/m^3\right)\times Q\left(m^3/s\right)} \tag{3.5}$$

กำหนด $Y_{water} = 9{,}797\ N/m^3\ (SpecificWeight)$

แทนค่า $$\text{Hp (m)} = \frac{370\,w}{9{,}797\,N/m^3 \times 6.667\times10^{-4}\,m^3/s}$$

$$= 56.65\ \text{m}$$

Hp คือ Head Pump

y คือ สัมประสิทธิ์ความหนืดของน้ำสี

Q คือ อัตราการไหล

ดังนั้น

จากสมการพลังงาน

$$\frac{P_1}{\rho_1}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1+H_p=\frac{P_2}{\rho_2}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2+H_L \tag{3.6}$$

$$P_2 = P_{atm} + \rho gh = \left(1.013\times10^5\right)+\left(10^3\right)\left(9.807\right)\left(40\times10^{-2}\right)= 1.052\times10^5\ N/m^2$$

$$P_1 = 0$$

$$\frac{1.052\times10^5}{10^3}+0+0.55+56.65=\frac{P_3}{10^3}+\left(0.088\right)+0+0.7994$$

$$P_3 = 1.615\times10^5\ N/m^2$$

$$\frac{P_1}{\rho_1}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1+H_p=\frac{P_2}{\rho_2}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2+H_L$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{1.052\times10^{5}}{10^{3}}+0+0+H_{p}=\frac{P_{2}}{10^{3}}+(0.088)+0.22+H_{L}$$

$$\text{Hp} = 56.65\ \text{m}$$

$$H_{L\ pipe}=f\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{V^{2}}{2g}\right)=(0.0226)\left(\frac{0.27}{25.4\times10^{-3}}\right)(0.088)$$

$$=0.0211$$

$$H_{l\,elow}=K\left(\frac{V^{2}}{2g}\right)=(2)(0.75)(0.088)$$

$$=0.132$$

$$H_{L}=0.1531$$

$$105.2+56.65=\frac{P_{2}}{10^{3}}+0.088+0.22+0.1531$$

$$P_{2}=1.613\times10^{5}\ N/m^{3}$$

หาค่า V_3 อัตราการไหลเข้าถังพักจากสมการ

$$\frac{P_{2}}{\rho_{2}}+\frac{V_{2}^{2}}{2g}+Z_{2}+H_{p}=\frac{P_{3}}{\rho_{3}}+\frac{V_{3}^{2}}{2g}+Z_{3}+H_{L}$$

$$\frac{4.613\times10^{5}}{10^{3}}+(0.088)+(0.74)=\left(\frac{1.615\times10^{5}}{10^{3}}\right)+\frac{V_{3}^{2}}{2g}+0+H_{L}$$

$$H_{L\ pipe}=f\left(\frac{L}{D}\right)\left(\frac{V^{2}}{2g}\right)=(0.0226)\left(\frac{1.195}{25.4\times10^{-3}}\right)(0.088)\left(\frac{V_{3}^{2}}{2g}\right)=1.063$$

$$H_{l\,elow}=K\left(\frac{V^{2}}{2g}\right)=(3)(0.75)\left(\frac{V_{3}^{2}}{2g}\right)=2.25\left(\frac{V_{3}^{2}}{2g}\right)$$

$$H_{l\,Value}=K\left(\frac{V^{2}}{2g}\right)=(4)\left(\frac{V_{3}^{2}}{2g}\right)=4\left(\frac{V_{3}^{2}}{2g}\right)$$

$$H_{L}=7.313\,\frac{V_{3}^{2}}{2g}$$

$$161.3+0.088+0.74=161.5+\frac{V_{3}^{2}}{2g}+0+7.313\left(\frac{V_{3}^{2}}{2g}\right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{V_3^2}{2g} = 0.0755$$

$$V_3 = 1.217 \ {}^{m}/_{s}$$

$$Q = VA = (1.217)\left[\left(\frac{\pi}{4}\right)(25.4 \times 10^{-3})^2\right]$$

$$Q = 0.0243 \ {}^{m^3}/_{s}$$

$$Q = 37 \ {}^{L}/_{\min}$$

การเลือกปั๊มควรมีอัตราการไหลคือ $Q = 37 \ {}^{L}/_{\min}$

โดยที่

P_1 คือ ความดันตำแหน่งที่หนึ่ง

V_1 คือ ความเร็วในการไหลตำแหน่งที่หนึ่ง

Z_1 คือ ระดับความสูงตำแหน่งที่หนึ่ง

ρ_1 คือ ความหนืดของน้ำสีตำแหน่งที่หนึ่ง

P_2 คือ ความดันตำแหน่งที่สอง

V_2 คือ ความเร็วในการไหลตำแหน่งที่สอง

Z_2 คือ ระดับความสูงตำแหน่งที่สอง

ρ_2 คือ ความหนืดของน้ำสีตำแหน่งที่สอง

P_3 คือ ความดันตำแหน่งที่สาม

V_3 คือ ความเร็วในการไหลตำแหน่งที่สาม

Z_3 คือ ระดับความสูงตำแหน่งที่สาม

ρ_3 คือ ความหนืดของน้ำสีตำแหน่งที่สาม

H_p คือ เฮดปั๊ม (Head Pump)

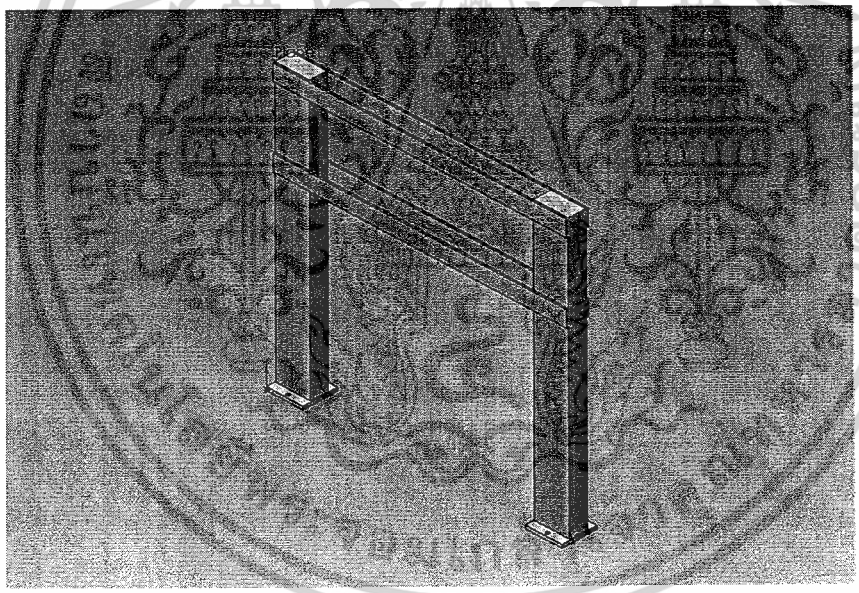
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H_L คือ ความสูญเสีย (Head Loss)

3.4 การออกแบบและสร้างระบบขับเคลื่อนในการชุบสี

ในกระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป จะใช้ระบบการชุบแบบอัตโนมัติ ตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการจนถึงสิ้นสุดกระบวนการ แต่ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ มีข้อจำกัดทางด้านงบประมาณและระยะเวลา จึงได้ปรับกระบวนการจากระบบอัตโนมัติให้เป็นระบบกึ่งอัตโนมัติ เพื่อให้เหมาะสมกับการสร้างและพัฒนากระบวนการชุบสีขนาดเล็ก

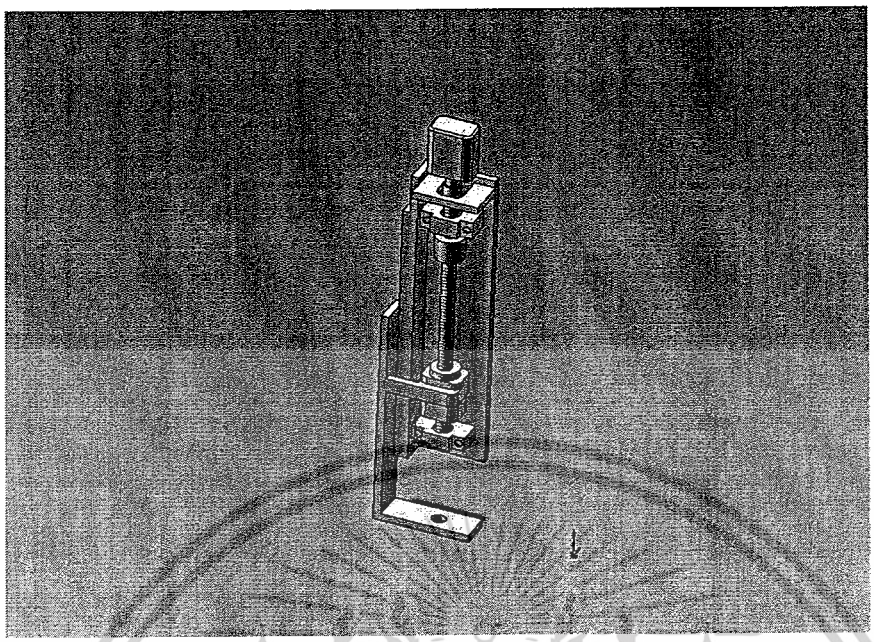
ฐานของระบบขับเคลื่อนใช้วัสดุจากเหล็กกล้า ทรงแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นฐานทั้งสองข้าง ขนาดความสูง 86 เซนติเมตร หน้าตัดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร และคานจำนวนสองคู่ ขนาดยาว 82 เซนติเมตร กว้าง หนา มิลลิเมตร โดยเสาและคานยึดด้วย น็อตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร โดยคานแต่ละคู่ยึดเสาห่างกัน 30 เซนติเมตร คือแสดงภาพการออกแบบใช้ รูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การออกแบบโครงระบบขับเคลื่อน

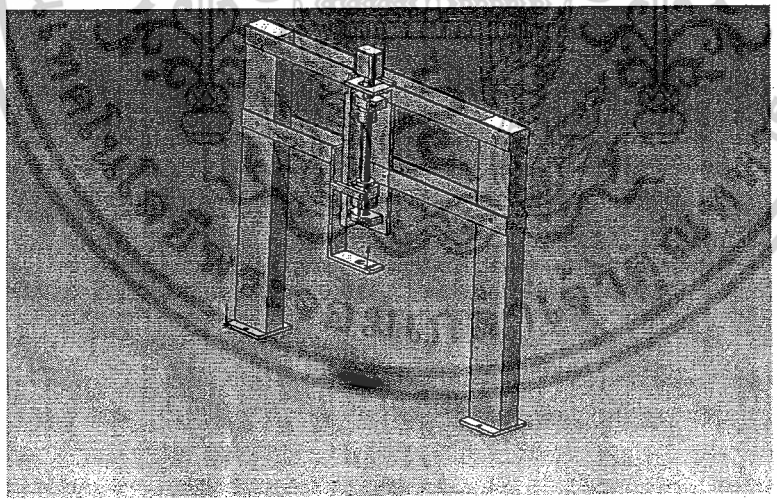
ในส่วนของกลไกขับเคลื่อน ได้ออกแบบให้สามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลง ในแนวดิ่งได้ โดยส่วนขับเคลื่อนของระบบ ใช้เฟืองทำหน้าที่ส่งกำลังเพื่อขับเคลื่อน เพราะระบบเฟืองนอกจะสามารถเคลื่อนที่ในแนวดิ่งได้อย่างสมบูรณ์แล้ว ระบบเฟืองยังเป็นระบบที่มีความแข็งแรง การเคลื่อนที่จะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ในระบบนี้ประกอบด้วยชุดเฟือง มอเตอร์ เพลาเชื่อมเฟือง และฐานยึดระบบเฟือง ประกอบเข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 การออกแบบระบบขับเคลื่อน

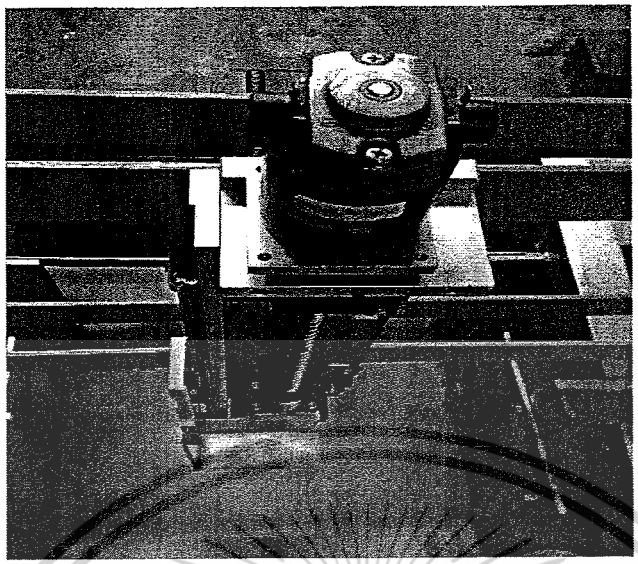
ในส่วนของมอเตอร์ใช้แบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24 โวลต์ การใช้มอเตอร์กระแสไฟฟ้าเพราะสามรถขับเฟืองได้เร็วมากกว่า สเตปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor) ฐานยึดระบบเฟือง ใช้ฐานทำจากวัสดุอลูมิเนียม เนื่องจากอลูมิเนียมน้ำหนักเบาและแข็งแรง ด้านข้างของ ฐานยึดเฟืองใช้ระบบรางลูกปืนเพื่อใช้ในการเชื่อต่อกับอุปกรณ์จับงาน ดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.12 การออกแบบระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน

ระบบขับเคลื่อนจะถูกควบคุมโดยสวิทซ์ ซึ่งใช้ควบคุมการขึ้นลงโดยต่อกระแสไฟฟ้าเข้ากับขั้วบวก และขั้วลบของมอเตอร์ หลักการทำงานของระบบขับเคลื่อนจะเป็นหลักการง่ายๆ โดยจะใช้ผู้ควบคุมในการกดสวิทซ์ เฟืองจะถูกขับโดยมอเตอร์เพื่อเคลื่อนที่ตามความต้องการ โดยเมื่อเคลื่อนที่ลงเมื่อถึงระดับล่างสุด จะถูกหยุดการขับเคลื่อนโดยตัวล็อก ที่ติดไว้กับด้านล่านของชุดเฟือง และเมื่อเคลื่อนที่ขึ้น จะมีตัวล็อกให้เฟืองหยุดอยู่ที่ตำแหน่งนั้น

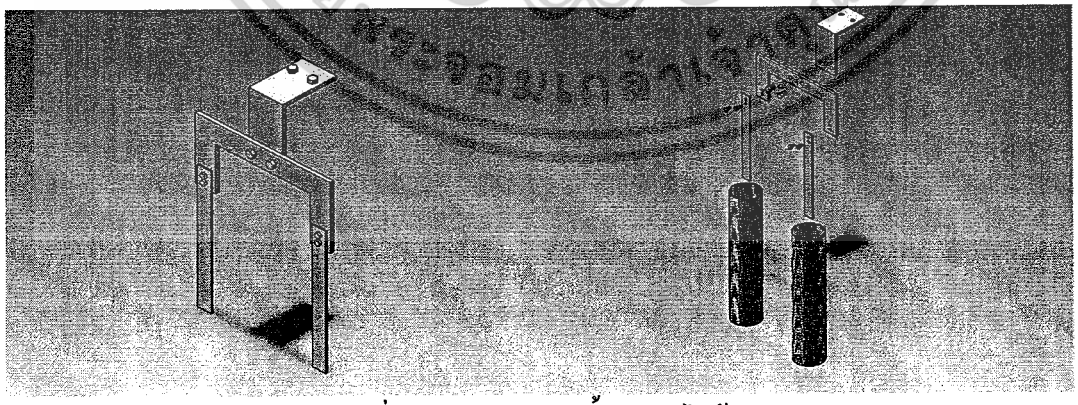
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 ระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน

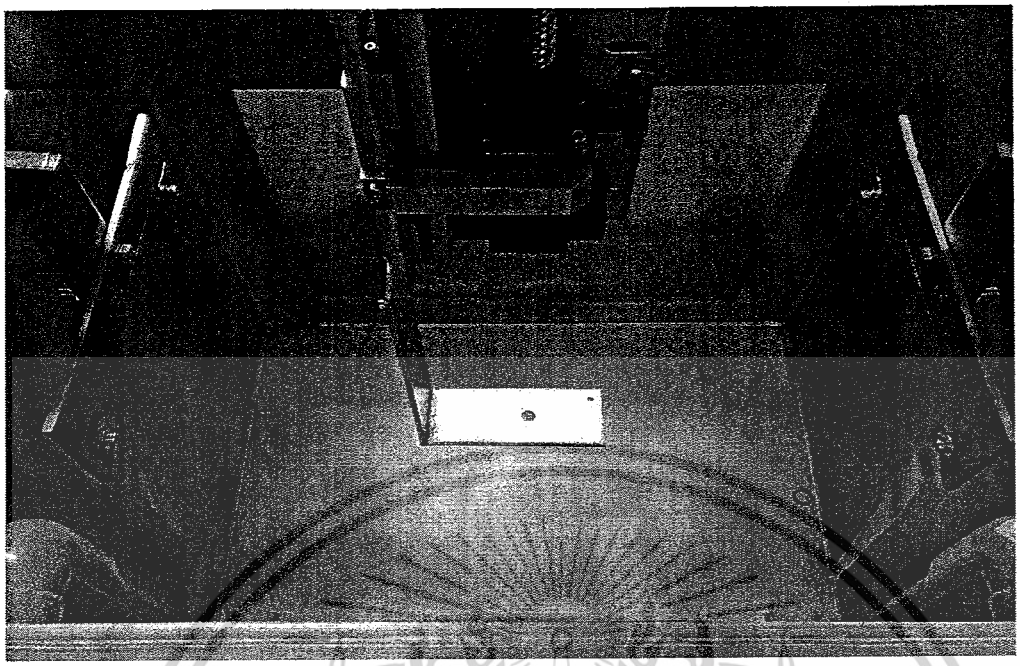
3.5 การออกแบบและสร้างขั้วกระแสไฟฟ้า

การทำงานของขั้วกระแสไฟฟ้า จะใช้ขั้วกระแสไฟฟ้าทั้ง 4 ขั้ว แต่ละขั้วทำจากทองแดง ขนาด กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 37 เซนติเมตร ใช้แหล่งจ่ายไฟความต่างศักย์ขนาดไม่เกิน 220 โวลต์ และ กระแสไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 100 แอมแปร์ ต่อเข้ากับไฟ 220 โวลต์ และมีกรองหุ้มเพื่อป้องกันเศษฝุ่นละอองมาจับที่ขั้วกระแสไฟฟ้า และใช้สวิทซ์ควบคุมการทำงานของขั้วกระแสไฟฟ้า โดยจะปล่อยประจุไฟฟ้าลงในถังชุบ เพื่อให้อิออนของน้ำสีแตกตัว ทำให้เนื้อสีที่มีประจุบวกจะวิ่งไปจับที่ชิ้นงานที่มีประจุลบ



รูปที่ 3.14 การออกแบบขั้วกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ขั้วกระแสไฟฟ้า

3.6 ระบบควบคุม

การออกแบบระบบควบคุมกระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้ามีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

3.6.1 การออกแบบและสร้างระบบควบคุมการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

การออกแบบและสร้างระบบควบคุมการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้านี้ เป็นระบบควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่ต้องใช้ในการควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆ ในระบบ และ ใช้คนควบคุมการทำงานของเครื่องตามที่ต้องการ ซึ่งการออกแบบและสร้างระบบควบคุมประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

3.6.1.1 ปั๊ม

การทำงานของปั๊ม จะใช้ปั๊มสองตัวในระบบการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้านี้ ปั๊มตัวที่หนึ่งจะดูดน้ำสีในถังชุบสีผ่านท่อพีวีซี ส่งไประบบกรองน้ำสี และส่งไปถังพัก ปั๊มตัวที่สองจะดูดน้ำสีจากถังพักกลับไปถังชุบสี ซึ่งน้ำสีที่มาถังชุบจะมีการไหลวน ทำให้น้ำสีภายในถังชุบสีมีการไหลวน ส่งผลให้ประจุไฟฟ้ามีการกระจายตัวได้ดี และทำให้การชุบมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยปั๊มทั้งสองตัวนี้จะใช้ไฟ 220 โวลต์ และมีสวิทช์ควบคุมการทำงานของปั๊มแต่ละตัวเพื่อให้ง่าย ต่อการเปิด-ปิดการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1.2 ตัวขับเคลื่อนชิ้นงาน

การทำงานของตัวขับเคลื่อนชิ้นงาน จะใช้มอเตอร์ขนาด 24 โวลต์ โดยการออกแบบระบบทางกลศาสตร์ จะเป็นการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวตั้งเพื่อเคลื่อนชิ้นงานที่จะลงไปชุบในถังชุบสี และมีการแปลงไฟขนาด 220 โวลต์ ให้เป็น 24 โวลต์ และ ใช้สวิทซ์ควบคุมการทำงานของตัวขับเคลื่อนชิ้นงาน เพื่อง่าย ต่อการเปิด-ปิดการทำงาน

3.6.1.3 ขั้วกระแสไฟฟ้า

การทำงานของขั้วกระแสไฟฟ้า จะใช้ความต่างศักย์ขนาดไม่เกิน 220 โวลต์ และใช้กระแสไฟฟ้าขนาดไม่เกิน 100 แอมแปร์ ต่อเข้ากับไฟ 220 โวลต์ ใช้สวิทซ์ควบคุมการทำงานของตัวปล่อยกระแสไฟฟ้า เพื่อง่าย ต่อการเปิด-ปิดการทำงาน

3.6.1.4 ตัววัดอุณหภูมิ

การทำงานของตัววัดอุณหภูมิ (Thermo Meter) ใช้ไฟขนาด 5 โวลต์ ที่แปลงมาจากไฟขนาด 220 โวลต์ ต่อเข้ากับสวิทซ์ โดยใช้สวิทซ์ควบคุมการทำงานของตัววัดอุณหภูมิ เพื่อง่าย ต่อการเปิด-ปิดการทำงาน

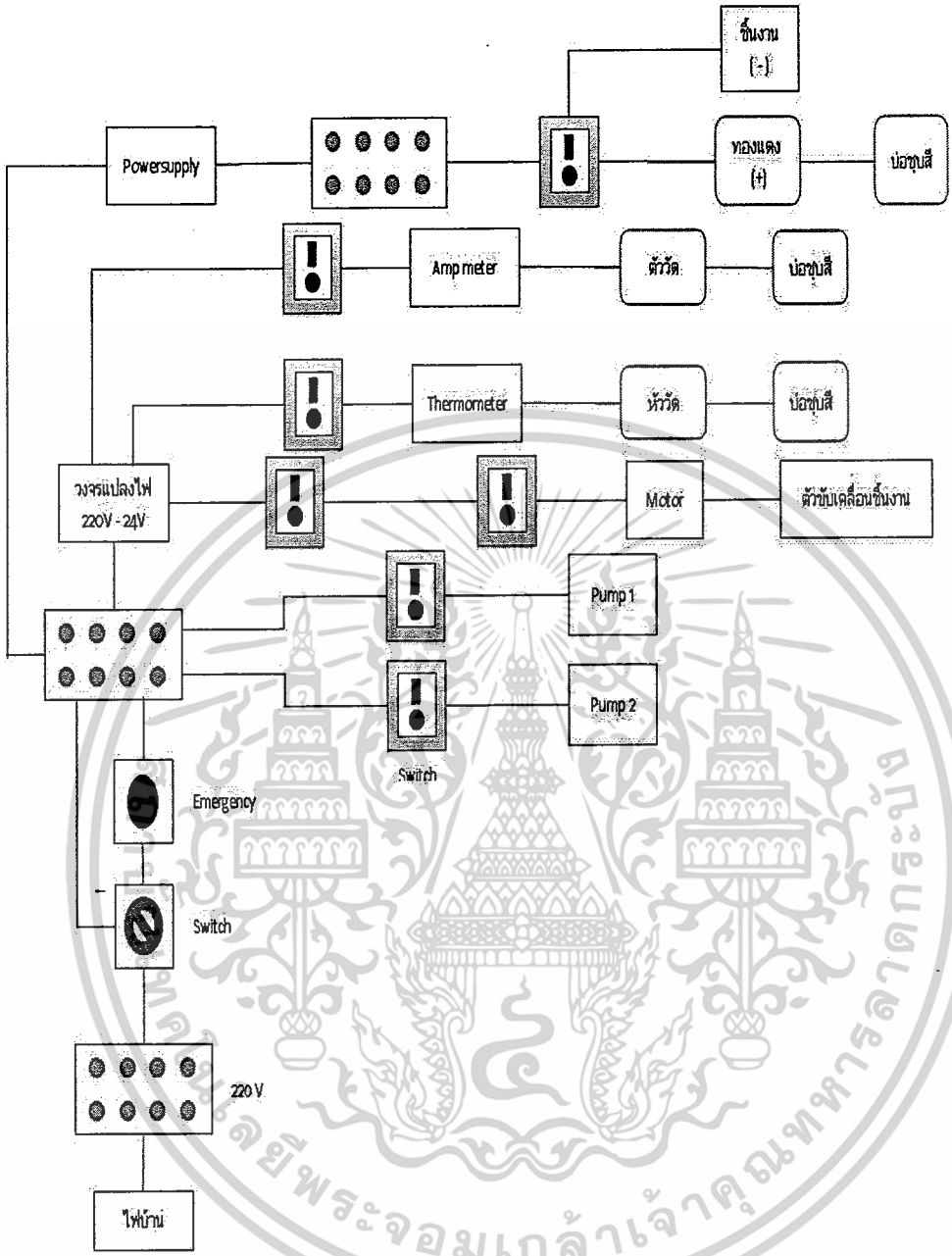
3.6.1.5 ตัววัดกระแสไฟฟ้า

การทำงานของตัววัดกระแสไฟฟ้า (Amp Meter) ใช้ไฟขนาด 5 โวลต์ ที่แปลงมาจากไฟขนาด 220 โวลต์ ต่อเข้ากับสวิทซ์ โดยใช้สวิทซ์ควบคุมการทำงานของตัววัดอุณหภูมิ เพื่อง่าย ต่อการเปิด-ปิดการทำงาน

3.6.1.6 การออกแบบและสร้างระบบป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้า

การออกแบบและสร้างระบบป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้า จะใช้สวิทซ์ความปลอดภัยตัดไฟของระบบทั้งหมดของเครื่อง (Emergency Switch) เพื่อป้องกันอันตรายหรือเหตุฉุกเฉินที่อาจเกิดขึ้นกับระบบเพื่อความสะดวกรวดเร็ว และ ง่ายต่อการปฏิบัติงาน โดยภาพรวมของการออกแบบระบบควบคุมการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าสามารถแสดงได้โดย รูปที่ 3.16 3.17 3.18 3.19

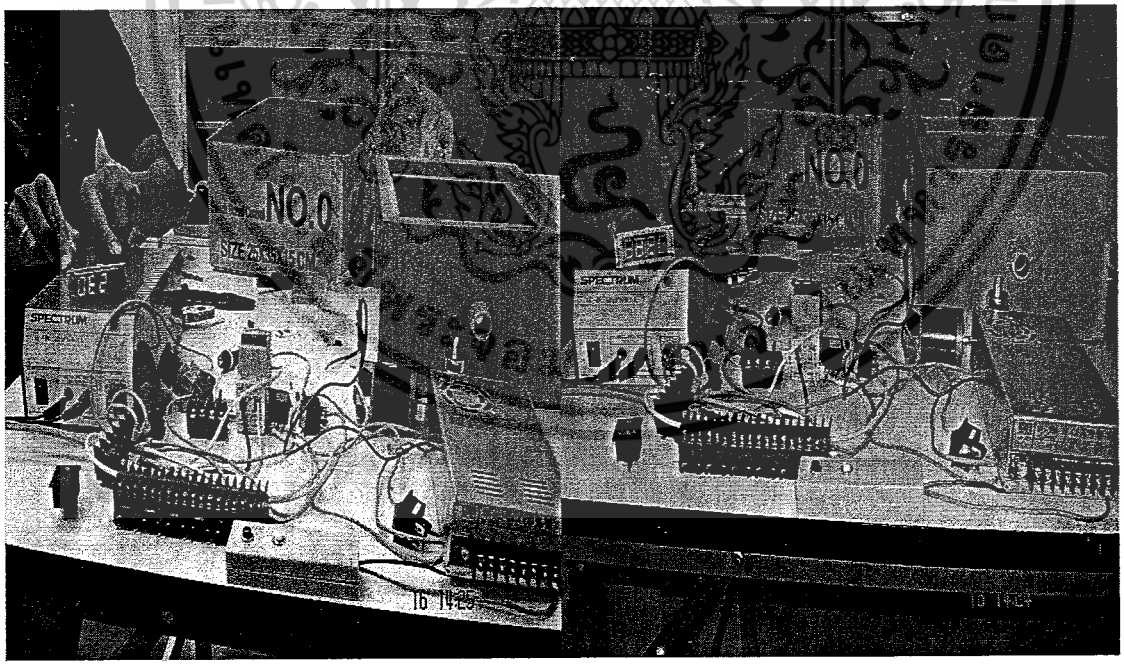
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 การออกแบบระบบควบคุมการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

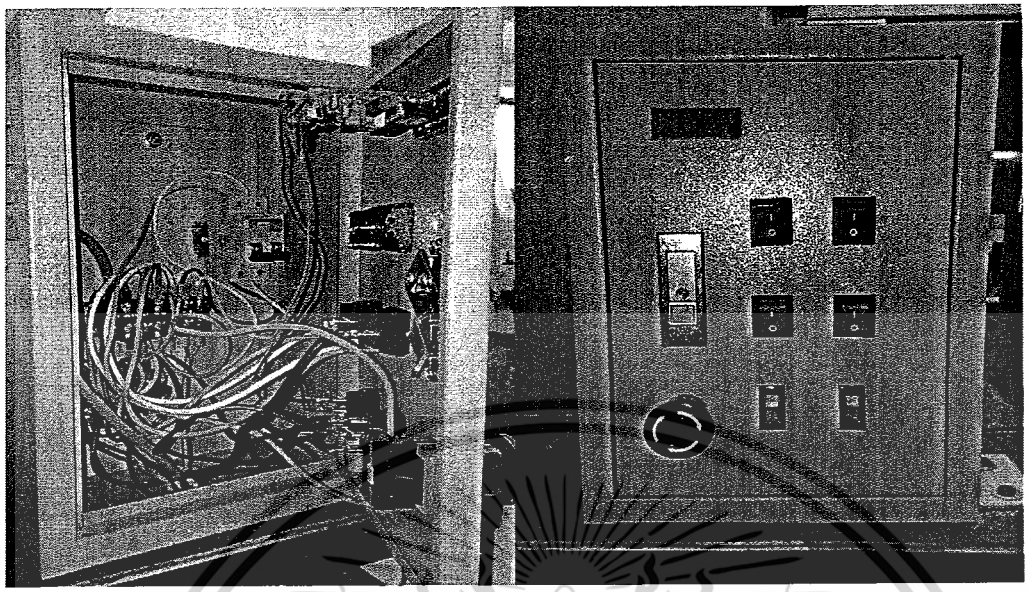
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.17 ระบบควบคุมการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.18 การทดลองระบบควบคุมการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 กล่องควบคุมระบบการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

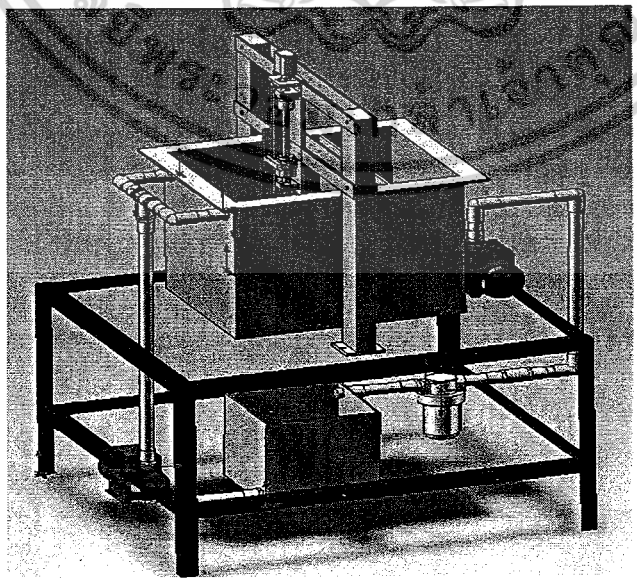
บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าประกอบไปด้วย การดำเนินงานในสองส่วนหลัก คือ ส่วนที่หนึ่ง ดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า และส่วนที่สอง ดำเนินการทดสอบเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า ซึ่งในการทดสอบการทำงานของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้านั้นนอกจะทดสอบการทำงานโดยระบบทั่วไปแล้ว ยังมีการวัดผล โดยอาศัยตัวแปรต่างๆ เช่น กระแสไฟฟ้า และเวลาในการชุบ เพื่อศึกษาความแตกต่างของสภาพผิวชิ้นงานหลังการชุบ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า ระหว่างประสิทธิภาพทางทฤษฎี และประสิทธิภาพจากการปฏิบัติงานจริงของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

4.1 ผลการดำเนินงานการออกแบบและสร้างเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

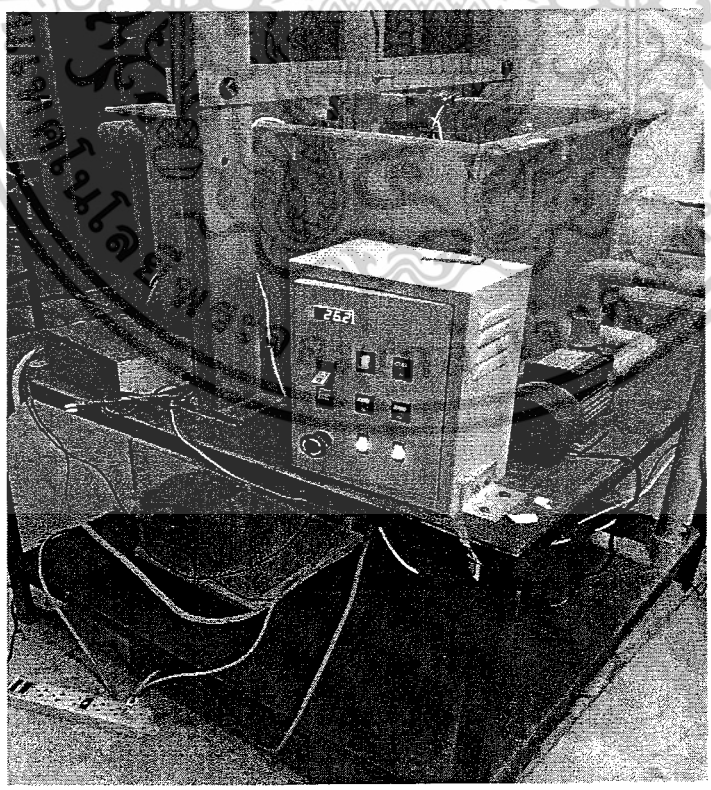
ในการดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วย ถังชุบสี ระบบขับเคลื่อนระบบหมุนเวียนและบำบัดน้ำสี และระบบควบคุมการทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติ ซึ่งเมื่อประกอบเป็นเครื่องที่เสร็จสมบูรณ์จะได้เครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าดังรูปที่ 4.1 4.2 4.3



รูปที่ 4.1 ออกแบบเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 เครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 4.3 เครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

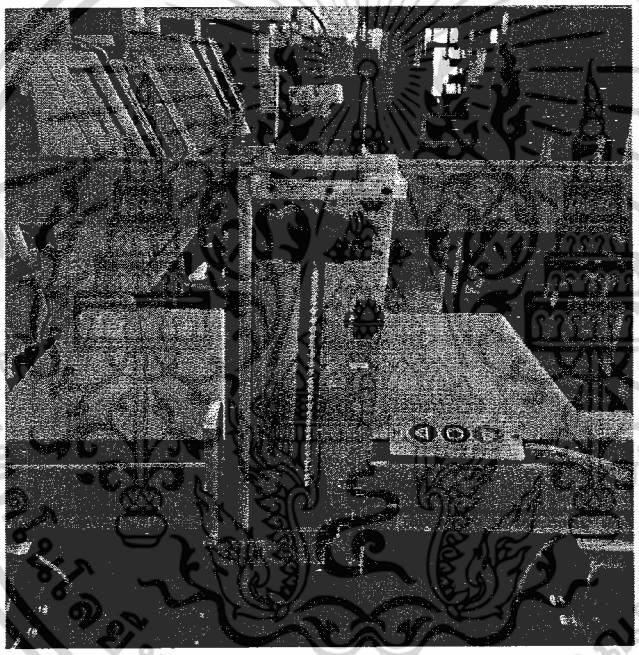
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการดำเนินงานในส่วนการทดสอบระบบเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

ในการดำเนินการทดสอบเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า ทำการทดสอบระบบการทำงานของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า ดังต่อไปนี้

4.2.1 การทดสอบระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน

ระบบขับเคลื่อนชิ้นงานเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ จากการทดสอบการเคลื่อนที่ขึ้น-ลง โดยการควบคุมจากสวิตช์ พบว่าสามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่ติดขัด สามารถหยุดได้ตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

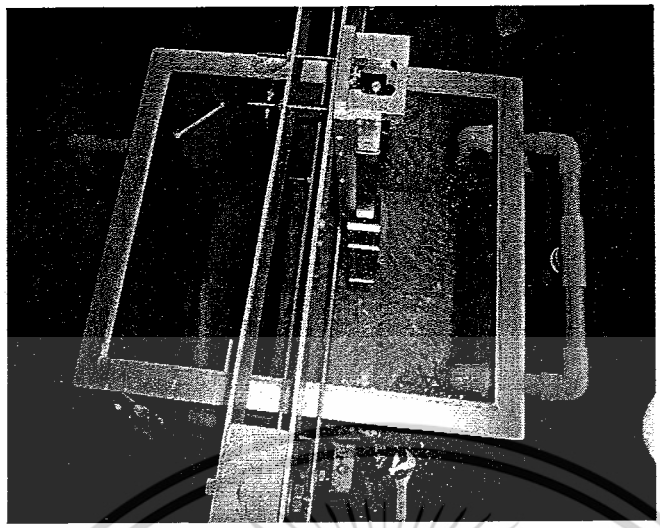


รูปที่ 4.4 ระบบขับเคลื่อนชิ้นงาน

4.2.2 การทดสอบระบบการไหลเวียนของน้ำสี

การไหลเวียนของน้ำสีในระบบ เมื่อดำเนินการทดสอบระบบบำบัดน้ำสีพบว่า น้ำในระบบสามารถไหลเวียนได้อย่างต่อเนื่องและสมดุลระหว่างปั๊มทั้งสอง ทำให้ภายในถังชุบมีการไหลวนของน้ำ ซึ่งจะทำให้การกระจายตัวของประจุไฟฟ้า กระจายตัวได้ดีขึ้น ทำให้การชุบสีมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.5

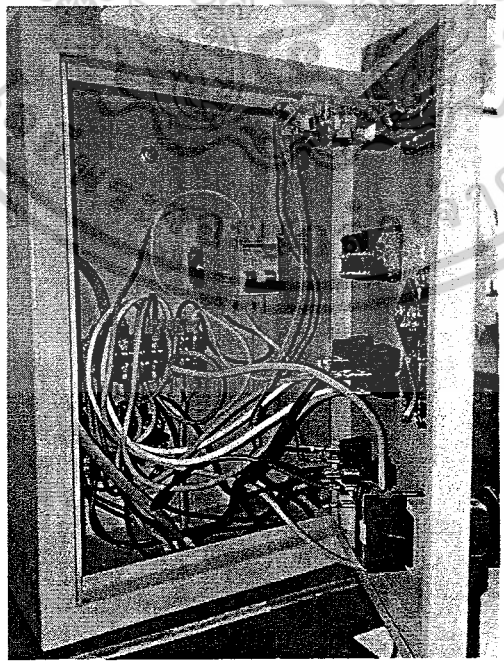
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การไหลเวียนของน้ำในระบบบำบัดน้ำสี

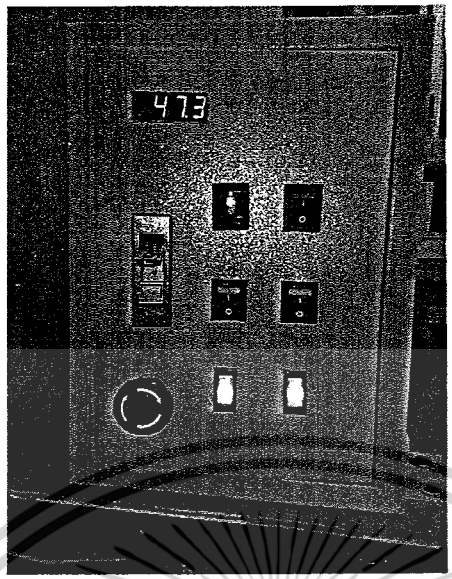
4.2.3 การทดสอบระบบควบคุม

ระบบควบคุมของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า ใช้สวิตช์ในการเปิด-ปิด การทำงานของแต่ละระบบ การทดสอบระบบโดยการจ่ายไฟให้กับระบบควบคุมที่อยู่ภายในกล่องควบคุมพบว่า สามารถจ่ายไฟไปยังอุปกรณ์ต่างๆได้อย่างสมบูรณ์และไม่เกิดการลัดวงจร ดังแสดงในรูปที่ 4.6 4.7



รูปที่ 4.6 ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



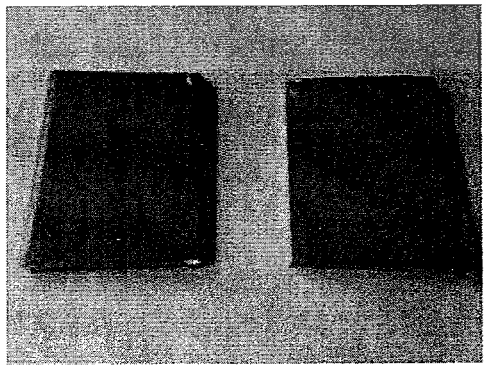
รูปที่ 4.7 ระบบควบคุมการทำงานของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

4.3 ผลการดำเนินงานการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

การดำเนินงานในส่วนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า เริ่มจากการเลือกวัสดุในการเตรียมชิ้นงาน การดำเนินการทดลอง การวิเคราะห์ผลชิ้นงานที่ผ่านการชุบสี และการสรุปผลการทดลอง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.3.1 ขั้นตอนการเลือกวัสดุที่ใช้ทำการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้เลือกใช้เหล็ก SUS 304 ขนาด ความหนา 3 มิลลิเมตร ความกว้าง 5 เซนติเมตร ความยาว 7 เซนติเมตร เป็นชิ้นงานที่จะทำการทดลอง จากนั้น นำชิ้นงานแต่ละชิ้นเจาะรูขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร บริเวณปลายชิ้นงาน ดังแสดงในรูปภาพต่อไปนี้

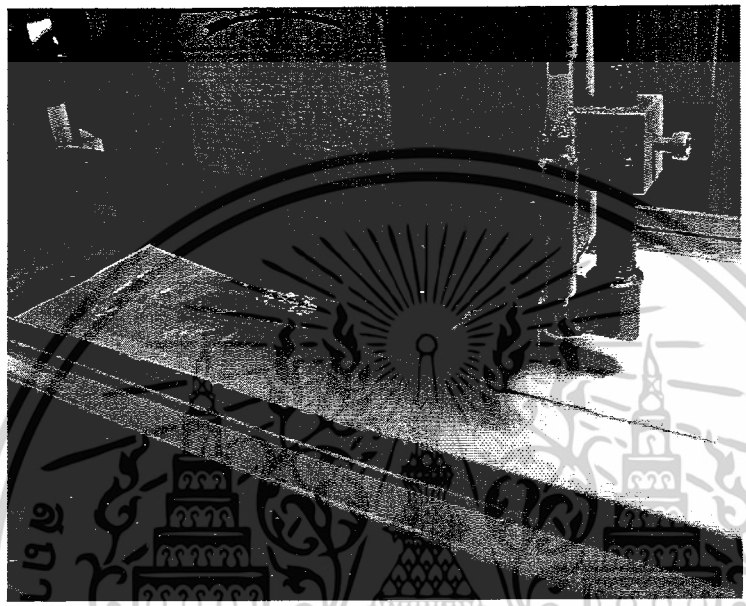


รูปที่ 4.8 ชิ้นงานที่ใช้ทำการทดลอง

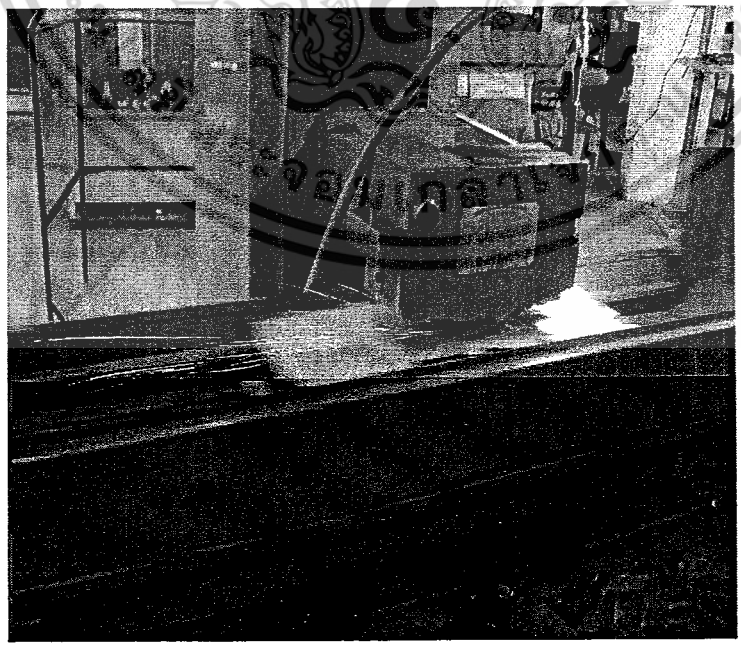
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงาน

ในการเตรียมผิวชิ้นงาน จะต้องนำชิ้นงานที่ได้มาทำการปรับผิวชิ้นงานให้เรียบด้วยเครื่องเจียระไน ซึ่งจะทำการขัดผิวทั้งสองด้านของชิ้นงานเพื่อนำคราบสกปรก และ สนิมออก โดยทำการเจียระไนผิวชิ้นงานออก ด้านละ 0.25 มิลลิเมตร และจะได้ชิ้นงานที่มีความหนา 2.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปภาพที่ 4.9 4.10

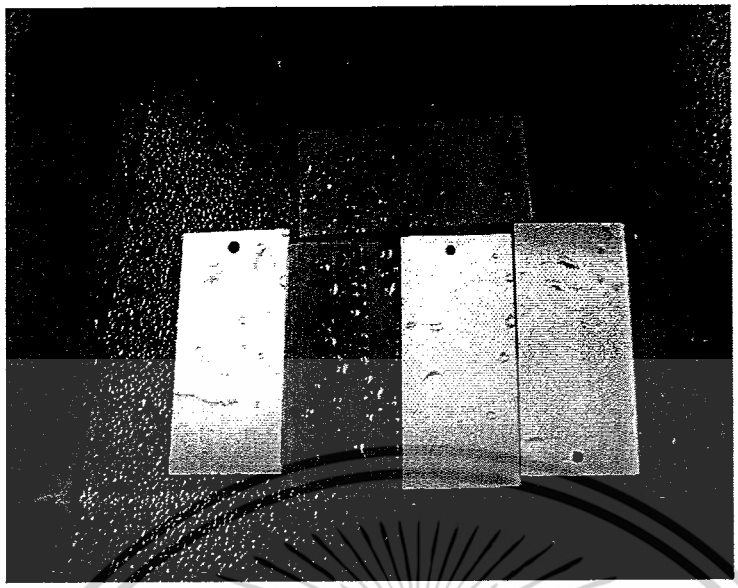


รูปที่ 4.9 เครื่องเจียระไนที่ใช้ขัดผิวชิ้นงาน



รูปที่ 4.10 การขัดผิวชิ้นงานด้วยเครื่องเจียระไน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

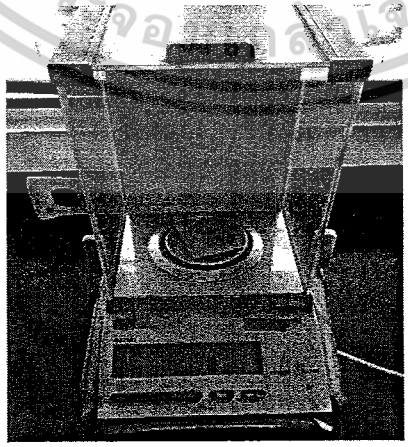


รูปที่ 4.11 ชิ้นงานที่ผ่านการขัดผิวด้วยเครื่องเจียระไน

จากรูปที่ 4.11 แสดงความแตกต่างระหว่างชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมผิวด้วยการเจียระไน และยังไม่ได้ผ่านการเตรียมผิวด้วยการเจียระไน จะเห็นความแตกต่างคือ ความมันเงาของชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมผิวมีมากกว่า ซึ่งจะมีผลทำให้การชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้ามีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากเนื้อสีจะไปเกาะที่ผิวชิ้นงานได้ง่ายกว่าชิ้นงานที่ยังไม่ได้ทำการขัดผิว

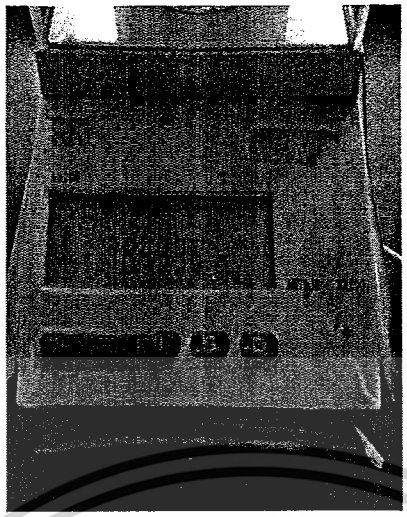
4.3.3 ขั้นตอนการนำชิ้นงานไปทดสอบน้ำหนักก่อนการชุบสี

ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบน้ำหนักของชิ้นงานก่อนทำการทดลองชุบสี เพื่อคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าตามกฎฟาราเดย์ ดังรูปที่ 4.12 4.1



รูปที่ 4.12 การทดสอบน้ำหนักของชิ้นงานก่อนการทดลองชุบสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ค่าน้ำหนักที่อ่านได้จากเครื่องชั่ง

-

4.3.4 ขั้นตอนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

การชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าจะเป็นกระบวนการที่ให้กระแสฟ้ากับสารละลาย จะเห็นว่าน้ำยาชุบจะต้องนำไฟฟ้าได้จึงจะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลได้ได้ครบวงจร ฉะนั้น ในน้ำยาชุบจึงมีสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของน้ำยาชุบชนิดที่แตกตัวเป็นอิออนบวก และ อิออนลบเมื่อละลายน้ำได้ดี ซึ่งอิออนเหล่านี้จะเป็นตัวนำไฟฟ้าให้ไหลครบวงจร คือ อิออนบวกจะนำไฟฟ้าบวกไปยังขั้วลบหรือเคลื่อนที่ไปยังขั้วลบเพื่อจะรับอิเลคตรอนจากขั้วลบ ส่วนอิ-ออนลบจะวิ่งวิ่งไปยังขั้วบวกเพื่อจ่ายอิเลคตรอนให้กับขั้วบวก ปรากฏการณ์เช่นนี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลาในขณะที่ทำการชุบ ดังสมการเคมี ต่อไปนี้

4.3.4.1 <u>สมการเคมี</u>

สูตรเคมีสำหรับเนื้อสี ที่ใช้ชุบคือ $PbCr_2O_7$

ดุลสมการ Redox โดยวิธี Half Reaction

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + e^- \longrightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O \qquad Ecell = +1.33$$

$$Fe^{3+} + e^- \longrightarrow Fe^{2+} \qquad Ecell = +0.77$$

1. หาครึ่งของ Reaction ว่า สมการที่ 1 หรือสมการที่ 2 ตัวใดเป็น Oxidetion หรือ Reduction

oxidat^n : $2Cr^{3+} \longrightarrow Cr^2O_7^{2-}$

red^n : $Fe^{3+} \longrightarrow Fe^{2+}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ดุล atom อื่นๆ นอกจาก O และ H

oxidat^{n} : $2Cr^{3+} \longrightarrow Cr_2O_7^{2-}$

red^{n} : $Fe^{3+} \longrightarrow Fe^{2+}$

3. ดุล O (เติม H_2O) ด้านที่มี O น้อยกว่า

oxidat^{n} : $2Cr^{3+} + 7\,H_2O \longrightarrow Cr_2O_7^{2-}$

red^{n} : $Fe^{3+} \longrightarrow Fe^{2+}$

4. ดุล H (เติม H^+) ด้านที่มี H^+ น้อยกว่า

oxidat^{n} : $2Cr^{3+} + 7\,H_2O \longrightarrow Cr_2O_7^{2-} + 14H^+$

red^{n} : $Fe^{3+} \longrightarrow Fe^{2+}$

5. ดุลประจุโดยเติม e^-

oxidat^{n} : $2Cr^{3+} + 7\,H_2O \longrightarrow Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^-$

red^{n} : $Fe^{3+} \longrightarrow Fe^{2+}$

6. ดุลจำนวน e^- ของแต่ละครึ่งปฏิกิริยา

oxidat^{n} : $2Cr^{3+} + 7\,H_2O \longrightarrow Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^-$

red^{n} : $6Fe^{3+} + 6e^- \longrightarrow 6Fe^{2+}$

7. รวมครึ่งปฏิกิริยาของทั้งสองสมการ

$$2Cr^{3+} + 7\,H_2O + 6Fe^{3+} \rightleftharpoons Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6Fe^{2+}$$

จากสมการ คิดน้ำหนักเทียบ โมล

$Cr_2O_7^{2-}$ 1 โมล เกิดเป็น Cr^{3+} 2 โมล

หาน้ำหนักสมมูล (Fw) = $\frac{Mw}{e}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{24}{3}$$

เนื่องจาก อัตราส่วนการผสมระหว่างสีและสารละลายเป็น 1 ต่อ 3

ดังนั้น น้ำหนักสมมูล $= \frac{24}{3 \times 3}$

$= 2.67$

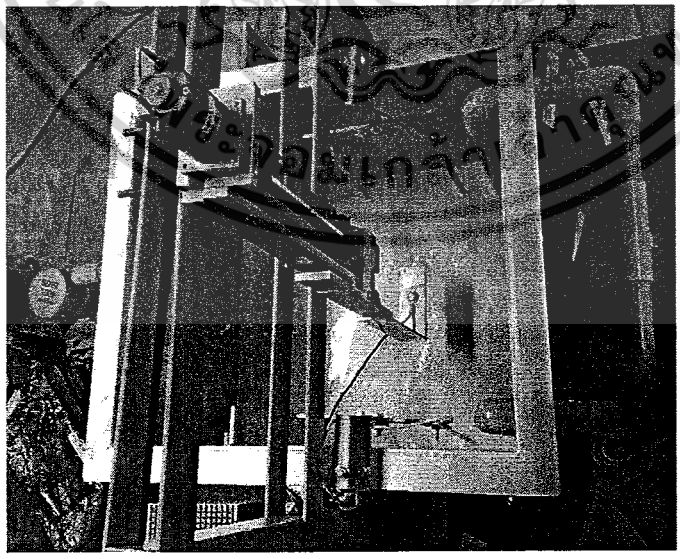
หลังจากผ่านการเตรียมชิ้นงานแล้ว จะนำชิ้นงานมาชุบด้วยเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. นำชิ้นงานไปล้างด้วยสารละลาย เบส โดยในการทดลองครั้งนี้ ใช้ผงซักฟอกในการล้างผิวชิ้นงาน หลังจากนั้นเช็ดชิ้นงานให้แห้งก่อนนำไปชุบสี

2. นำชิ้นงานมาติดไว้กับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน และติดเข้ากับระบบขับเคลื่อน เพื่อรอทำการทดสอบการชุบชิ้นงาน

3. ดำเนินการทดลองการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า โดยการชุบสีจะใช้ไฟขนาด ความต่างศักย์ไฟฟ้า 4.7 โวลต์ กระแสไฟฟ้า 18.6 แอมแปร์ ที่เวลาต่างกัน โดยในขณะดำเนินการทดลองนั้นจะทำการเปิดระบบหมุนเวียนน้ำสีควบคู่ไปด้วย เพื่อให้ประจุไฟฟ้ามีการกระจายตัวได้ดียิ่งขึ้น

4. เมื่อดำเนินการชุบสีครบตามเวลาที่กำหนดแล้ว นำชิ้นงานที่ผ่านการชุบสีไปทำการล้างด้วยน้ำสะอาด ก่อนจะทำการอบผิวชิ้นงานด้วยเตาอบไฟฟ้า เพื่อให้เนื้อสียึดเกาะที่ผิวชิ้นงานได้ดียิ่งขึ้น

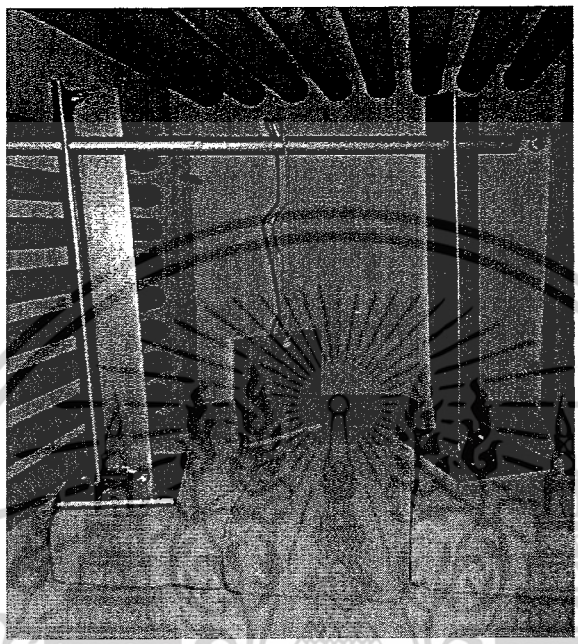


รูปที่ 4.14 การชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

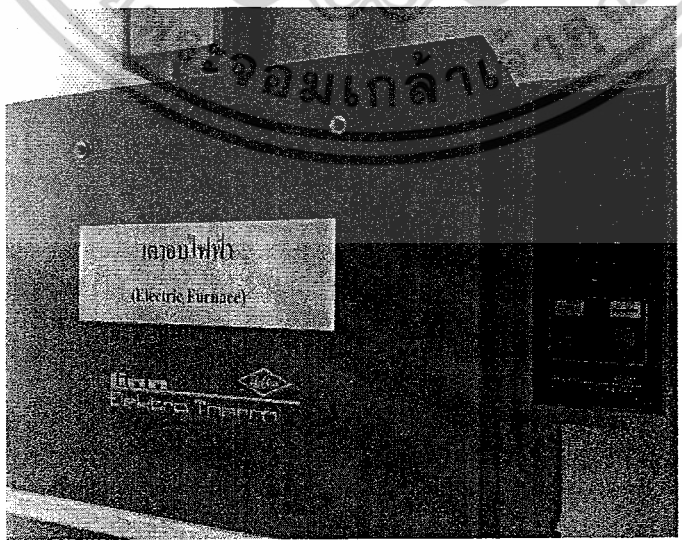
4.3.5 ขั้นตอนการอบชิ้นงาน

1. นำชิ้นงานที่ผ่านการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า ไปแขวนไว้กับตัวแขวนชิ้นงาน เพื่อทำการอบด้วยเตาอบไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 รูปภาพการอบชิ้นงานในเตาอบไฟฟ้า

2. ทำการอบชิ้นงานด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ด้วยเวลา 1 นาที ต่อชิ้นงาน 1 ชิ้น

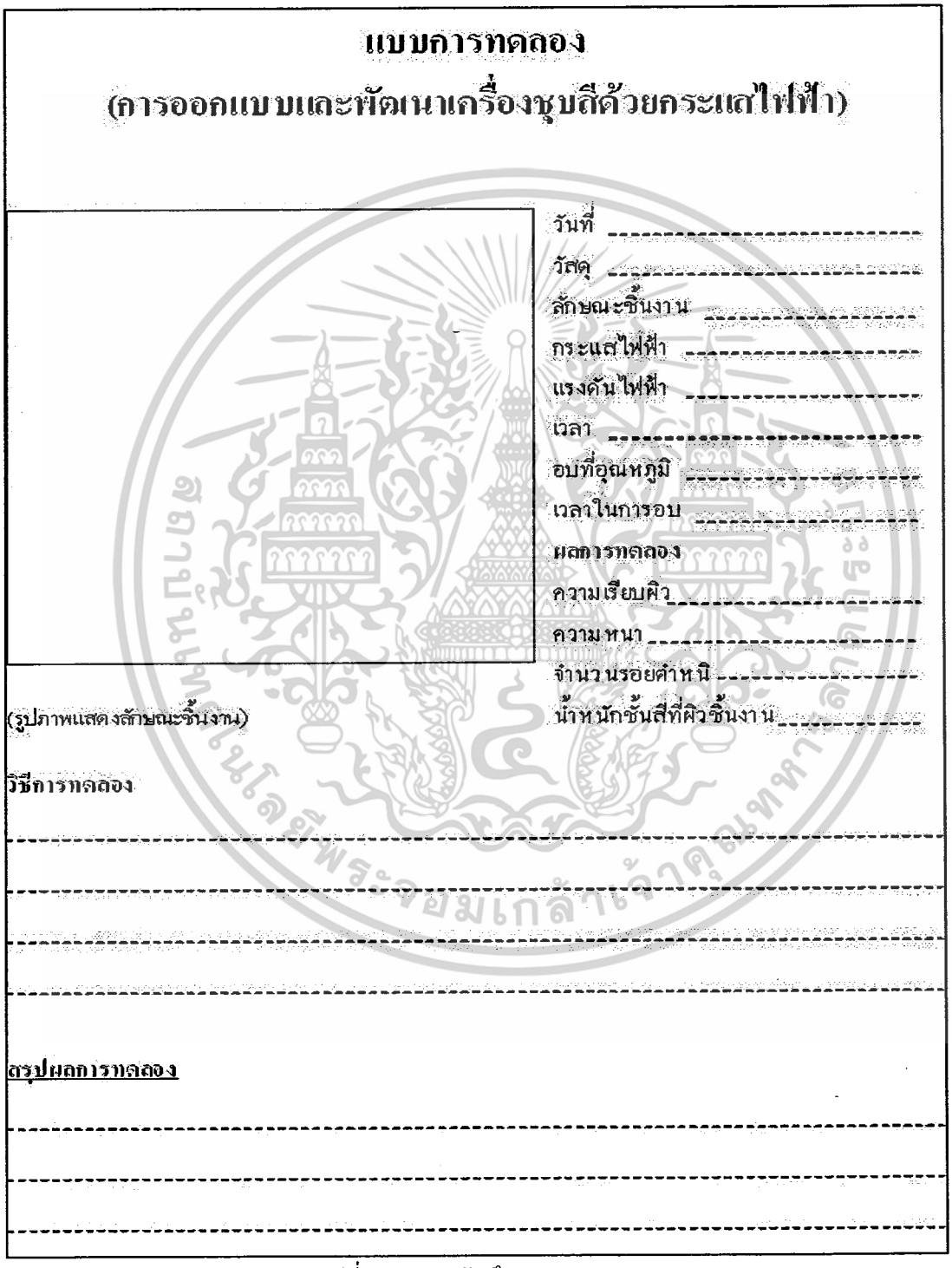


รูปที่ 4.16 เตาอบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 ขั้นตอนบันทึกผลการทดลอง

การตรวจสอบชิ้นงานหลังจากผ่านการชุบสี จะต้องมีการบันทึกผลการทดลอง เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้แบบฟอร์ม สำหรับบันทึกผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 4.17



แบบการทดลอง

(การออกแบบและพัฒนาเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า)

วันที่ _____

วัสดุ _____

ลักษณะชิ้นงาน _____

กระแสไฟฟ้า _____

แรงดันไฟฟ้า _____

เวลา _____

อบที่อุณหภูมิ _____

เวลาในการอบ _____

ผลการทดลอง

ความเรียบผิว _____

ความหนา _____

จำนวนรอยตำหนิ _____

น้ำหนักชั้นสีที่ผิวชิ้นงาน _____

(รูปภาพแสดงลักษณะชิ้นงาน)

วิธีการทดลอง

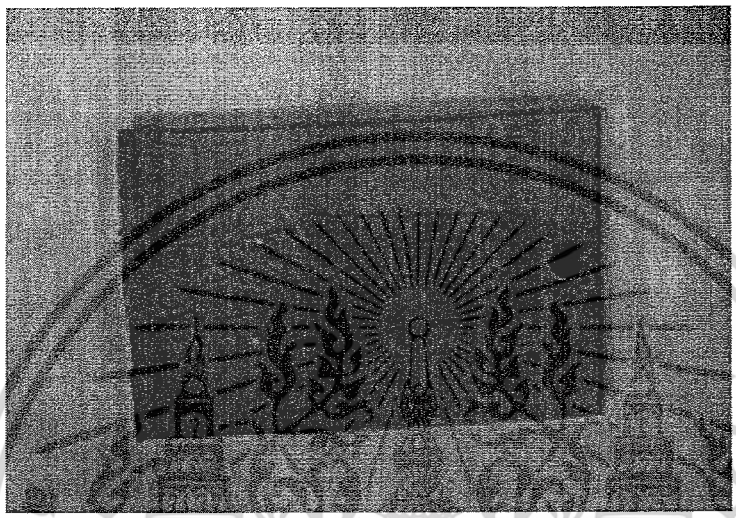
สรุปผลการทดลอง

รูปที่ 4.17 แบบบันทึกผลการทดลอง

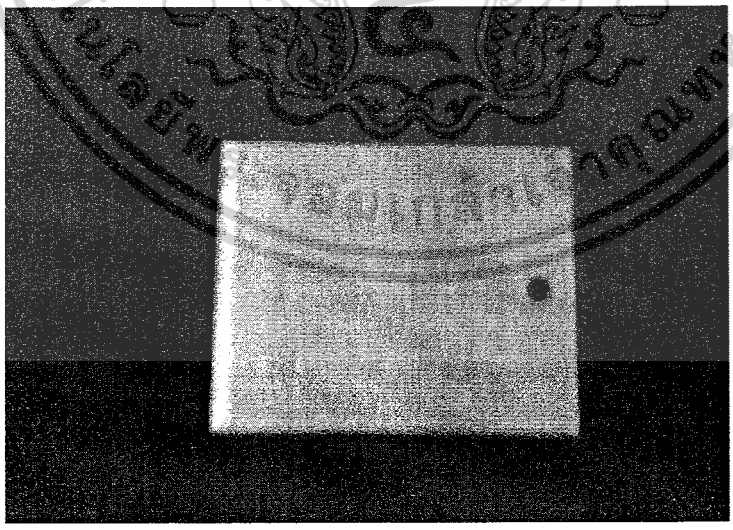
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลอง เปรียบเทียบชิ้นงานที่ผ่านการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า และชิ้นงานที่ไม่ผ่านการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า และใช้วิธีการตรวจสอบชิ้นงานเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ ดังต่อไปนี้

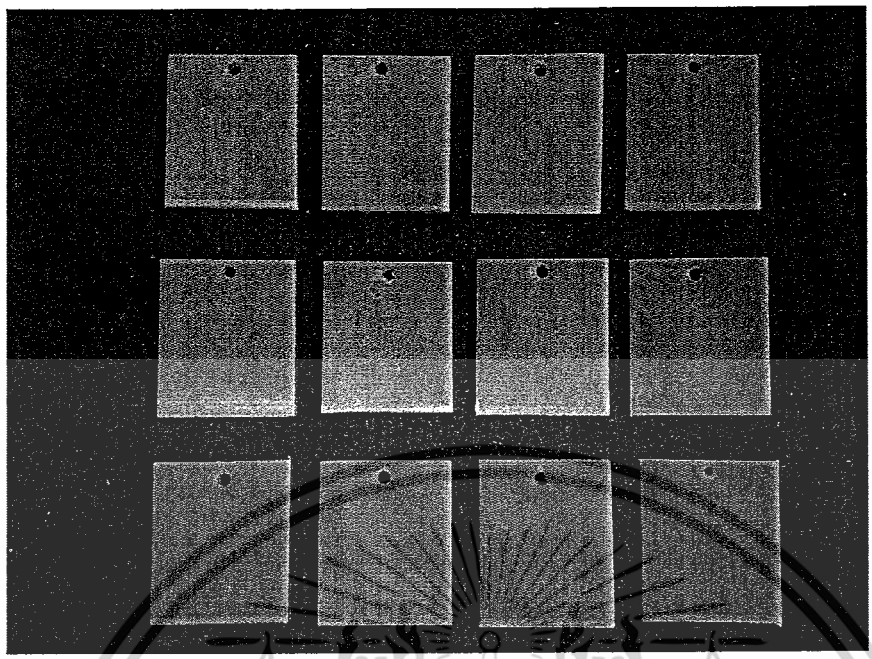


รูปที่ 4.18 ชิ้นงานไม่ใช้กระแสไฟฟ้าในการชุบ



รูปที่ 4.19 ชิ้นงานที่ใช้กระแสไฟฟ้าในการชุบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 ชิ้นงานที่ผ่านการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

4.3.7.1 <u>การตรวจสอบรอยตำหนิบนผิวชิ้นงาน</u>

การตรวจสอบรอยตำหนิบนผิวชิ้นงาน จะทำการทดสอบชุบสีที่เวลาแตกต่างกัน 3 ครั้ง โดยใช้ชิ้นงานในการชุบทั้งหมด 12 ชิ้น เพื่อวิเคราะห์สภาพผิวของชิ้นงานที่ผ่านการชุบสี แล้วทำการบันทึกผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

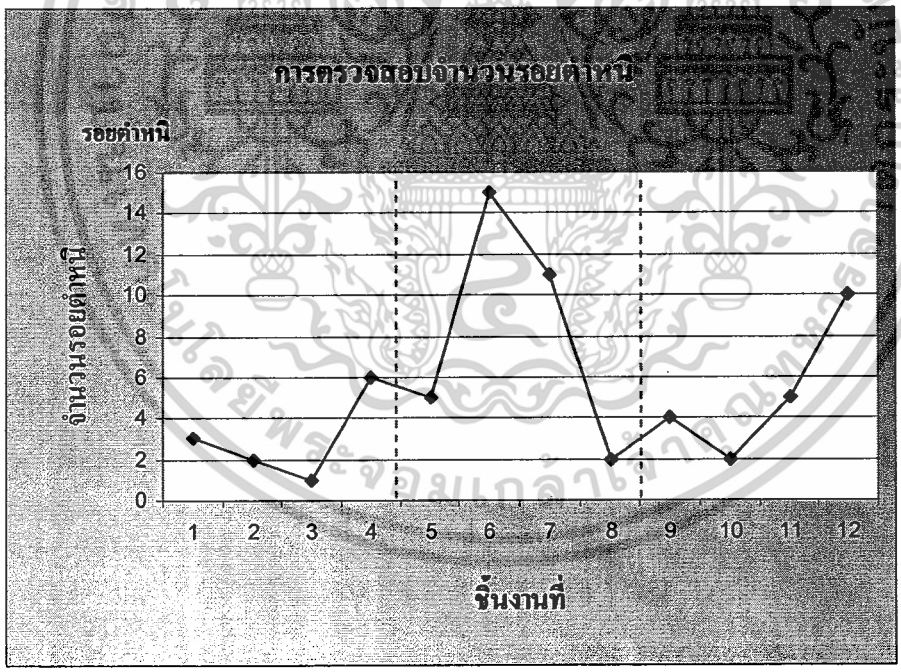
ตารางที่ 4.1 การตรวจสอบรอยตำหนิบนผิวชิ้นงานที่ใช้กระแสไฟฟ้าในการชุบ 18.6 แอมแปร์

ชิ้นงานที่	จำนวนรอยตำหนิ
1	3
2	2
3	1
4	6
5	5
6	15
7	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การตรวจสอบรอยตำหนิบนผิวชิ้นงานที่ใช้กระแสไฟฟ้าในการชุบ 18.6 แอมแปร์ (ต่อ)

ชิ้นงานที่	จำนวนรอยตำหนิ
8	2
9	4
10	2
11	5
12	10
รวม	66
ค่าเฉลี่ย	**5.5**



รูปที่ 4.21 กราฟการตรวจสอบรอยตำหนิบนผิวชิ้นงาน

วิเคราะห์ ผลการทดลอง

ผลจากการตรวจสอบชิ้นงาน ด้วยวิธีตรวจสอบรอยตำหนิบนผิวชิ้นงาน มีรอยตำหนิบนผิวชิ้นงานเฉลี่ย 5.5 รอยต่อชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.7.2 <u>การตรวจสอบน้ำหนักสีเกาะที่ผิวชิ้นงาน</u>

การตรวจสอบน้ำหนักสีเกาะที่ผิวชิ้นงาน จากกฎฟาราเดย์ สามารถนำไปคำนวณหาน้ำหนักสีเกาะที่ผิวชิ้นงานได้ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ทำให้เนื้อสีไปเกาะที่ผิวชิ้นงานในทางทฤษฎีและทางปฏิบัติ ทำการบันทึกผลการทดลอง ดังตารางต่อไปนี้

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบ 18.6 แอมแปร์

ตารางที่ 4.2 การตรวจสอบน้ำหนักสีเกาะที่ผิวชิ้นงาน

ชิ้นงานที่	ก่อนชุบ	หลังชุบ	น้ำหนักสี	ประสิทธิภาพ
1	78.713	78.9201	0.2071	67.07
2	79.7028	79.908	0.2052	66.45
3	80.1465	80.3556	0.2091	67.71
4	80.1136	80.3289	0.2153	69.72
5	80.1303	80.5234	0.3931	63.65
6	76.6006	76.9759	0.3753	60.77
7	80.0471	80.4334	0.3863	62.55
8	78.2237	78.6152	0.3915	63.39
9	76.4894	77.0547	0.5653	61.03
10	78.1281	78.6824	0.5543	59.84
11	78.9724	79.5241	0.5517	59.56
12	76.8515	77.4264	0.5749	62.06
ค่าเฉลี่ย	**78.68**	**79.06**	**0.39**	**63.65**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎฟาราเดย์ $$W = \frac{lTe}{96500}$$

เมื่อ I คือ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านลงในสารละลาย มีหน่วยเป็นแอมแปร์

T คือ เวลาที่ผ่านกระแสไฟฟ้าลงไป มีหน่วยเป็นวินาที

e คือ น้ำหนักสมมูลของสารเกาะที่ขั้วลบ

W คือ น้ำหนักของสารเกาะที่ขั้วลบ มีหน่วยเป็นกรัม

ตัวอย่างการคำนวณชิ้นงานที่ 1

น้ำหนักชิ้นงานก่อนชุบ = 78.7136 กรัม

น้ำหนักชิ้นงานหลังชุบ = 78.9201 กรัม

เวลาที่ใช้ในการชุบ = 10 นาที

กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการชุบ = 18.6 แอมแปร์

คิดน้ำหนัก ของสีตามทฤษฎี

$$W = \frac{(18.6)(10\times 60)(2.67)}{96{,}500}$$

W = 0.3088 กรัม

น้ำหนักที่ได้จากการทดลอง = น้ำหนักหลังการชุบ – น้ำหนักก่อนการชุบ

= 78.9201 – 78.7136

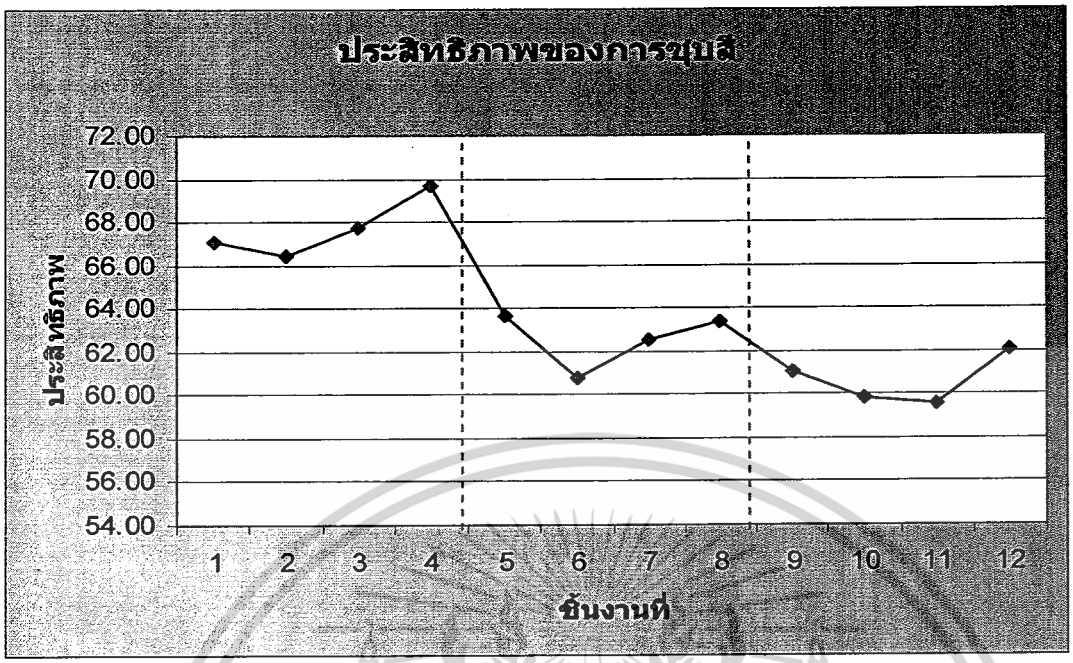
= 0.2071 กรัม

ประสิทธิภาพ = (น้ำหนักสีจากการทดลอง ÷ น้ำหนักสีทางทฤษฎี) × 100

$$= (0.2071 \div 0.3088)\times 100$$

=67.07 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 กราฟการตรวจสอบความหนาชั้นสีที่ผิวชิ้นงาน

วิเคราะห์ ผลการทดลอง

ผลจากการตรวจสอบชิ้นงาน ด้วยวิธีการตรวจสอบน้ำหนักสีเกาะที่ผิวชิ้นงาน

ประสิทธิภาพของน้ำหนักสีเกาะที่ผิวชิ้นงานจริงที่เวลาในการชุบ 10 นาที เท่ากับ 67.74 เปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพของน้ำหนักสีเกาะที่ผิวชิ้นงานจริงที่เวลาในการชุบ 20 นาที เท่ากับ 62.59 เปอร์เซ็นต์

ประสิทธิภาพของน้ำหนักสีเกาะที่ผิวชิ้นงานจริงที่เวลาในการชุบ 30 นาที เท่ากับ 60.62 เปอร์เซ็นต์

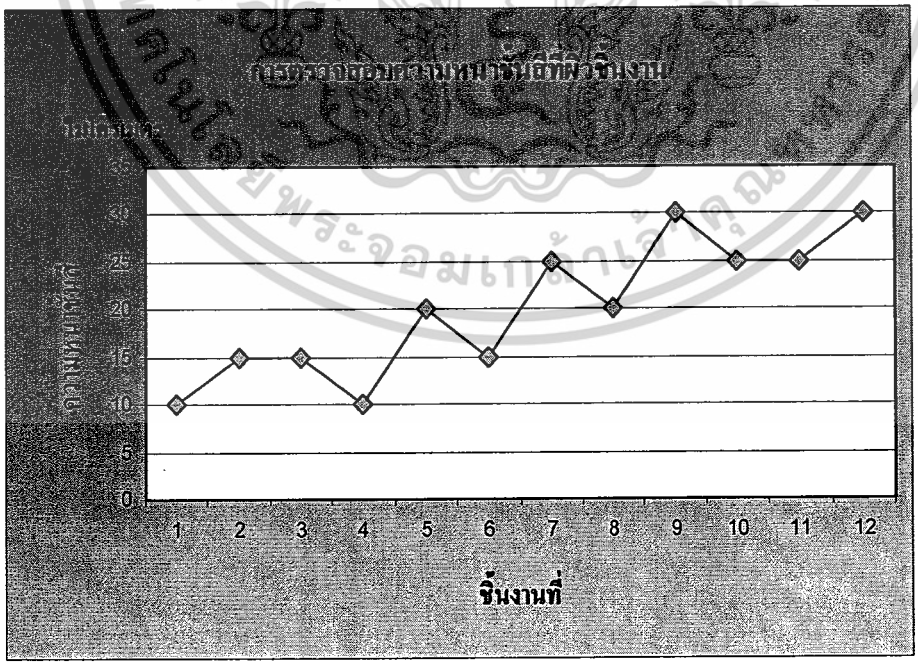
4.3.7.3 <u>การตรวจสอบความหนาชั้นสีที่ผิวชิ้นงาน</u>

การตรวจสอบความหนาชั้นสีที่ผิวชิ้นงาน ใช้เครื่องวัดความหนาชั้นผิวโลหะ ในการวัดความหนาของชั้นสีที่ผ่านการชุบในการทดสอบชุบสี จำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการชุบ 12 ชิ้น เพื่อวัดประสิทธิภาพของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า ทำการบันทึกผลการทดลอง ดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การตรวจสอบความหนาชั้นสีที่ผิวชิ้นงาน

ชิ้นงานที่	ความหนาของชิ้นงาน (µm)
1	10
2	15
3	15
4	10
5	20
6	15
7	25
8	20
9	30
10	25
11	25
12	30



รูปที่ 4.23 กราฟการตรวจสอบความหนาชั้นสีที่ผิวชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ ผลการทดลอง

ผลจากการตรวจสอบชิ้นงาน ด้วยวิธีการตรวจสอบความหนาชั้นสีที่ผิวชิ้นงาน

ค่าเฉลี่ยความหนาชั้นสีที่ผิวชิ้นงานใช้เวลาในการชุบ 10 นาที เท่ากับ 12.5 ไมโครเมตร

ค่าเฉลี่ยความหนาชั้นสีที่ผิวชิ้นงานใช้เวลาในการชุบ 20 นาที เท่ากับ 20 ไมโครเมตร

ค่าเฉลี่ยความหนาชั้นสีที่ผิวชิ้นงานใช้เวลาในการชุบ 30 นาที เท่ากับ 27.5 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปและวิเคราะห์โครงสร้างของกระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

จากการศึกษาถึงกระบวนการและโครงสร้างของกระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าพบว่า การชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า หมายถึง การนำเอาชิ้นงานหรือวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้มาเคลือบผิวด้วยน้ำสี กลายเป็นชั้นของเนื้อสีเคลือบติดอยู่บนชิ้นงาน โดยอาศัยไฟฟ้ากระแสตรงเข้าช่วย และงานชุบแต่ละประเภทมีสภาวะในการชุบที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลกระทบกับชิ้นงานที่ผ่านการชุบสี แต่มีปัจจัยควบคุมกระบวนการชุบสีที่เหมือนกัน คือ อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าในการชุบ เวลาในการชุบ ค่าความเป็นกรด – ด่าง และค่าความเข้มข้นของน้ำสี ให้อยู่ในช่วงสภาวะการชุบของแต่ละประเภทที่เหมาะสม

การชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าในปัจจุบัน จากการศึกษาพบว่า อุตสาหกรรมที่เป็นสายการผลิตขนาดใหญ่ ได้มีเครื่องมือช่วยเหลือในการควบคุมปัจจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการชุบ และเครื่องจักรในกระบวนการชุบที่เป็นระบบอัตโนมัติอย่างสมบูรณ์แล้ว แต่สำหรับการออกแบบและพัฒนาเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าขนาดเล็กนี้จะเป็นส่วนช่วยในการพัฒนาต้นแบบของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดเล็กต่อไป

5.2 สรุปและวิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า

ในงานวิจัยนี้ใช้กระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า ใช้ทองแดงเป็นตัวปล่อยกระแสไฟฟ้าที่มาจากหม้อแปลงไฟลงในในถังชุบสี ใช้ระบบขับเคลื่อนชิ้นงานขึ้น – ลง ในแนวตั้งด้วยมอเตอร์กระแสตรง ใช้ปั๊มน้ำ เป็นตัวส่งแรงดันในระบบบำบัดน้ำสีช่วยในการกวนน้ำสีในถังชุบสี เพื่อให้ประจุไฟฟ้ากระจายตัวได้ดีขึ้น ลดการใช้ใบพัดในการกวนน้ำสีในถังชุบ การควบคุมระบบในการชุบสีของเครื่องเป็นแบบกึ่งอัตโนมัติ ใช้สวิตช์เป็นตัวเปิด – ปิด การทำงานของระบบ การชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าในงานวิจัยนี้มีวิธีการตรวจสอบชิ้นงาน เช่น การตรวจสอบรอยตำหนิบนผิวชิ้นงาน การตรวจสอบน้ำหนักสีไปเกาะที่ชิ้นงาน การตรวจสอบความหนาชั้นสีที่ผิวชิ้นงาน เป็นต้น เพื่อวัดประสิทธิภาพของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าในงานวิจัยนี้

ผลจากการตรวจสอบชิ้นงานดังวิธีข้างต้นพบว่า วิธีที่หนึ่ง การตรวจสอบรอยตำหนิบนผิวชิ้นงาน ในการทดสอบชุบสีที่เวลาต่างกัน 3 ครั้ง จำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการชุบ 12 ชิ้น มีรอยตำหนิบนผิวชิ้นงานเฉลี่ย 5.5 รอย ต่อ ชิ้น วิธีที่สอง การตรวจสอบน้ำหนักสีไปเกาะที่ผิวชิ้นงาน จากกฎฟาราเดย์ สามารถนำไปคำนวณหาน้ำหนักสีไปเกาะที่ผิวชิ้นงานได้ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เนื้อสีไปเกาะที่ผิวชิ้นงาน จากการชุบสี ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสีไปเกาะที่ผิวชิ้นงานจริงที่เวลาในการชุบคือ 10 20 และ 30 นาที เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้าที่ทำให้เนื้อสีเกาะที่ผิวชิ้นงานที่เวลา 10 20 และ 30 นาที เท่ากับ 67.74 62.59 และ 60.62 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ วิธีที่สาม การตรวจสอบความหนาชั้นสีที่ผิวชิ้นงาน ใช้เครื่อง ในการวัดความหนาของชั้นสีที่ผ่านการชุบจากการทดสอบจำนวนชิ้นงาน 12 ชิ้น พบว่า ค่าเฉลี่ยความหนาชั้นสีที่ผิวชิ้นงานที่เวลา 10 20 และ 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 12.5 20 และ 27.5 ไมโครเมตร ตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ สามารถนำข้อมูลไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาต้นแบบของเครื่องชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดเล็กได้

5.3 แนวทางการพัฒนางานวิจัย

1. ทำการปรับปรุงและพัฒนาระบบควบคุมการชุบสีจากแบบกึ่งอัตโนมัติให้เป็น แบบอัตโนมัติ เพื่อที่จะได้มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรม

2. ทำการปรับปรุงและพัฒนาระบบควบคุมการชุบสี โดยใช้ PLC เข้ามาช่วยในการควบคุมระบบในการชุบสี เพื่อที่จะได้มีความสะดวกยิ่งขึ้น

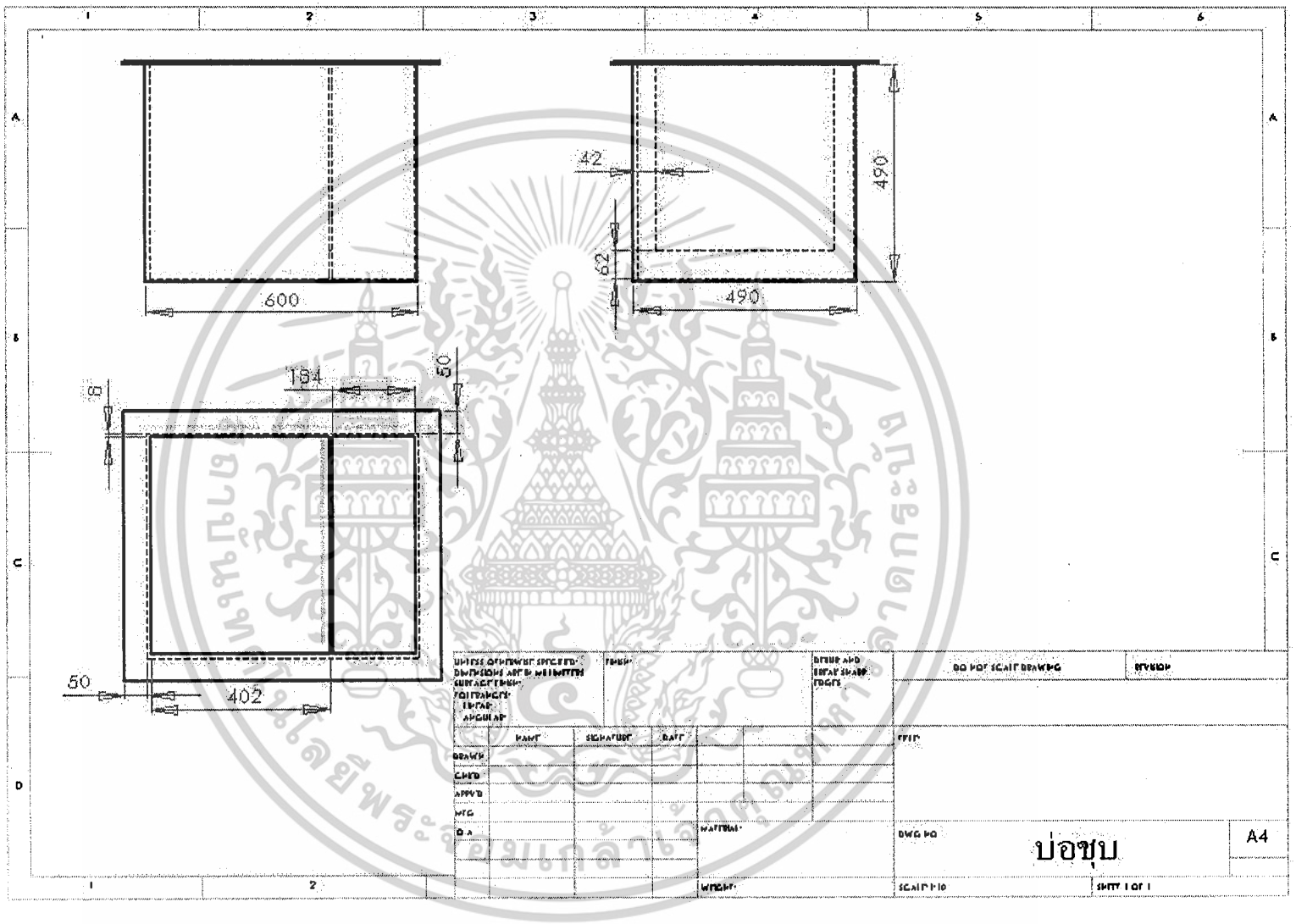
3. ทำการปรับปรุงและพัฒนารูปแบบของเครื่องชุบสี ให้มีความเหมาะสม สะดวก และง่ายต่อการใช้งานยิ่งขึ้น

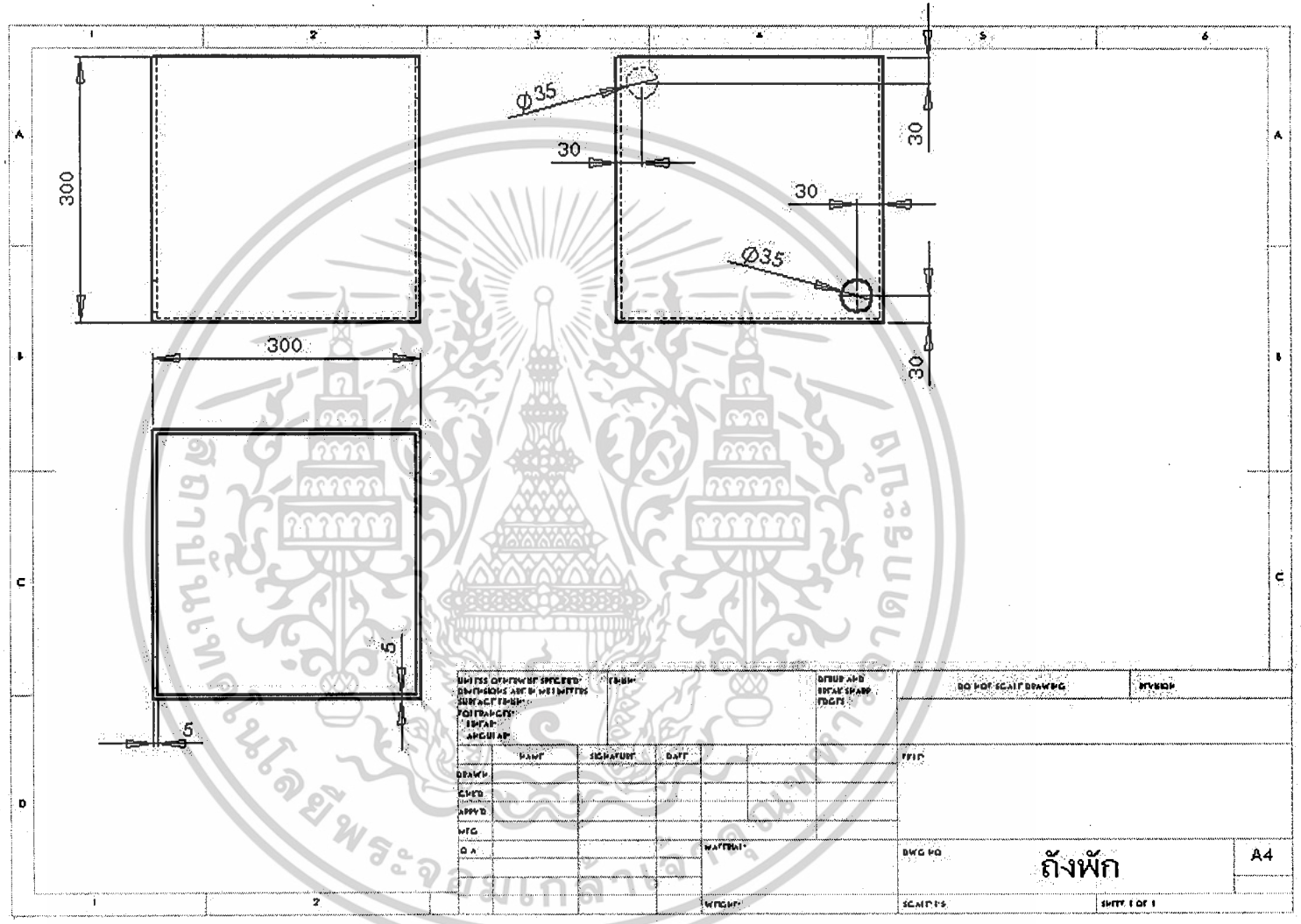
4. ทำการปรับปรุงและพัฒนารูปแบบของเครื่องชุบสี ให้เป็นกระบวนการชุบสีที่สมบูรณ์ ทั้งขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานก่อนชุบ และขั้นตอนการทำความสะอาดชิ้นงานหลังชุบ เพื่อที่จะได้มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

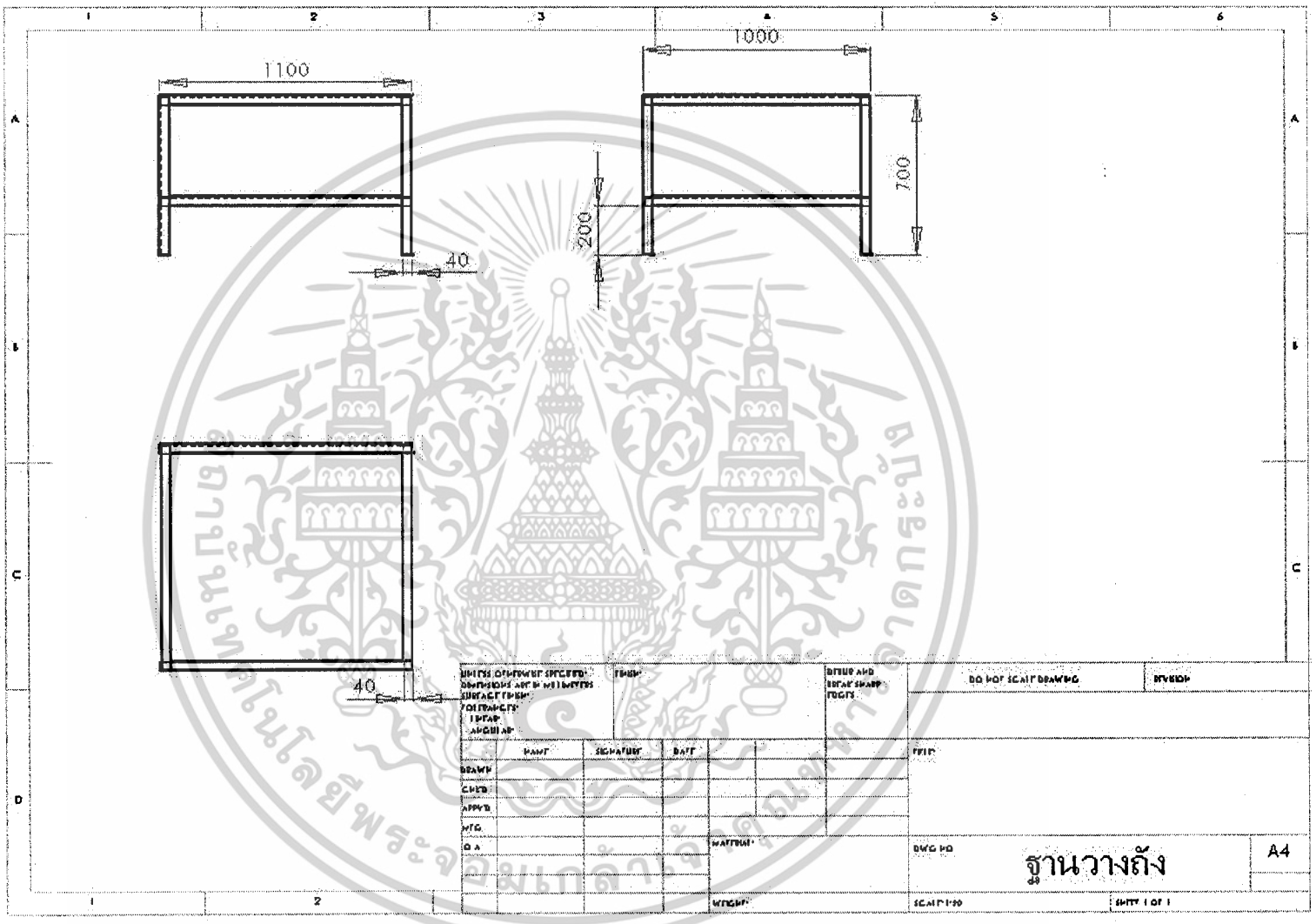
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

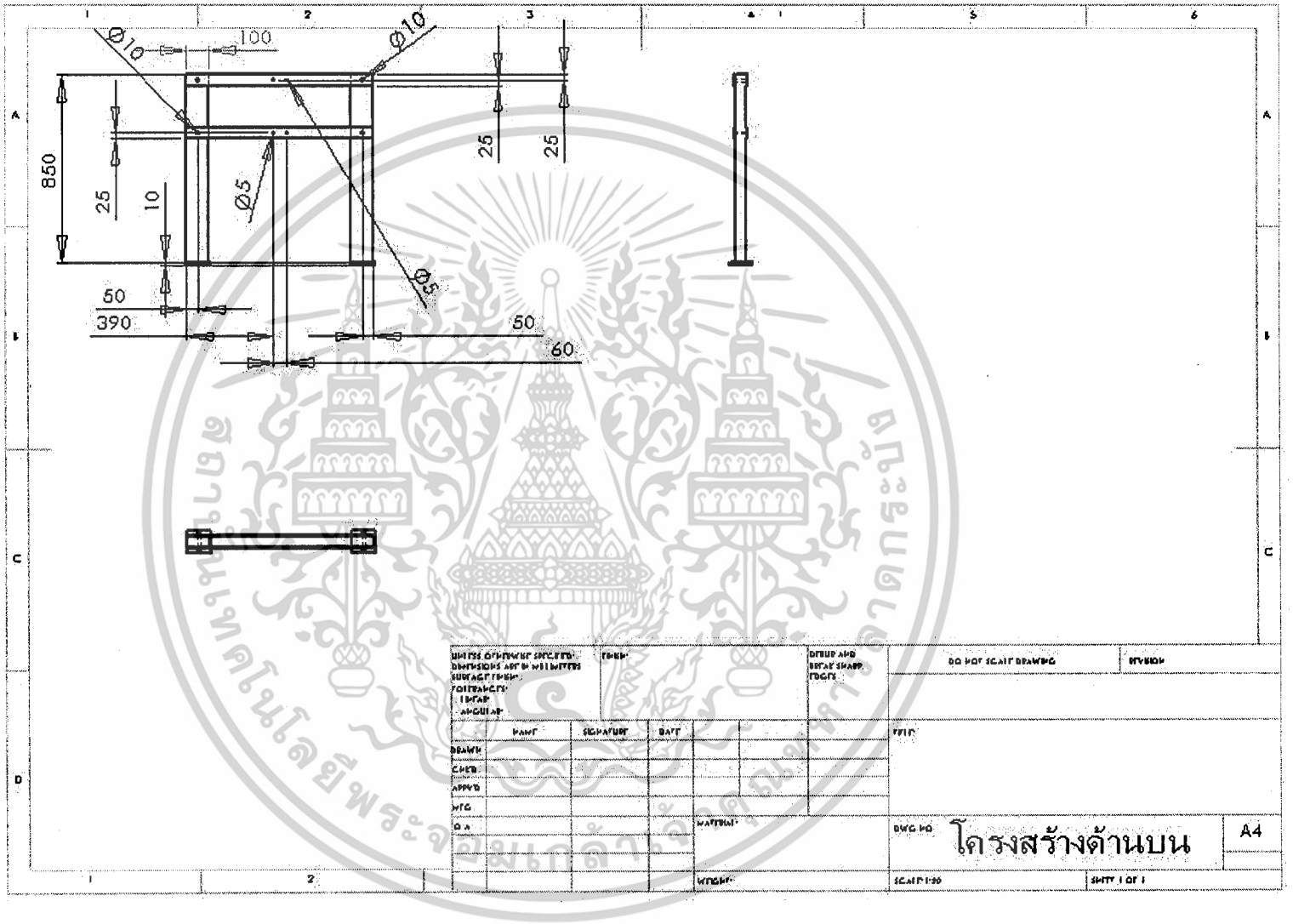

600
42
490
62
490
8
164
50
50
402
DRAWN
CHK'D
APP'D
MFG
Q.A
SCALE 1:10
SHEET 1 OF 1
A4
บ่อชุบ



ผ 2



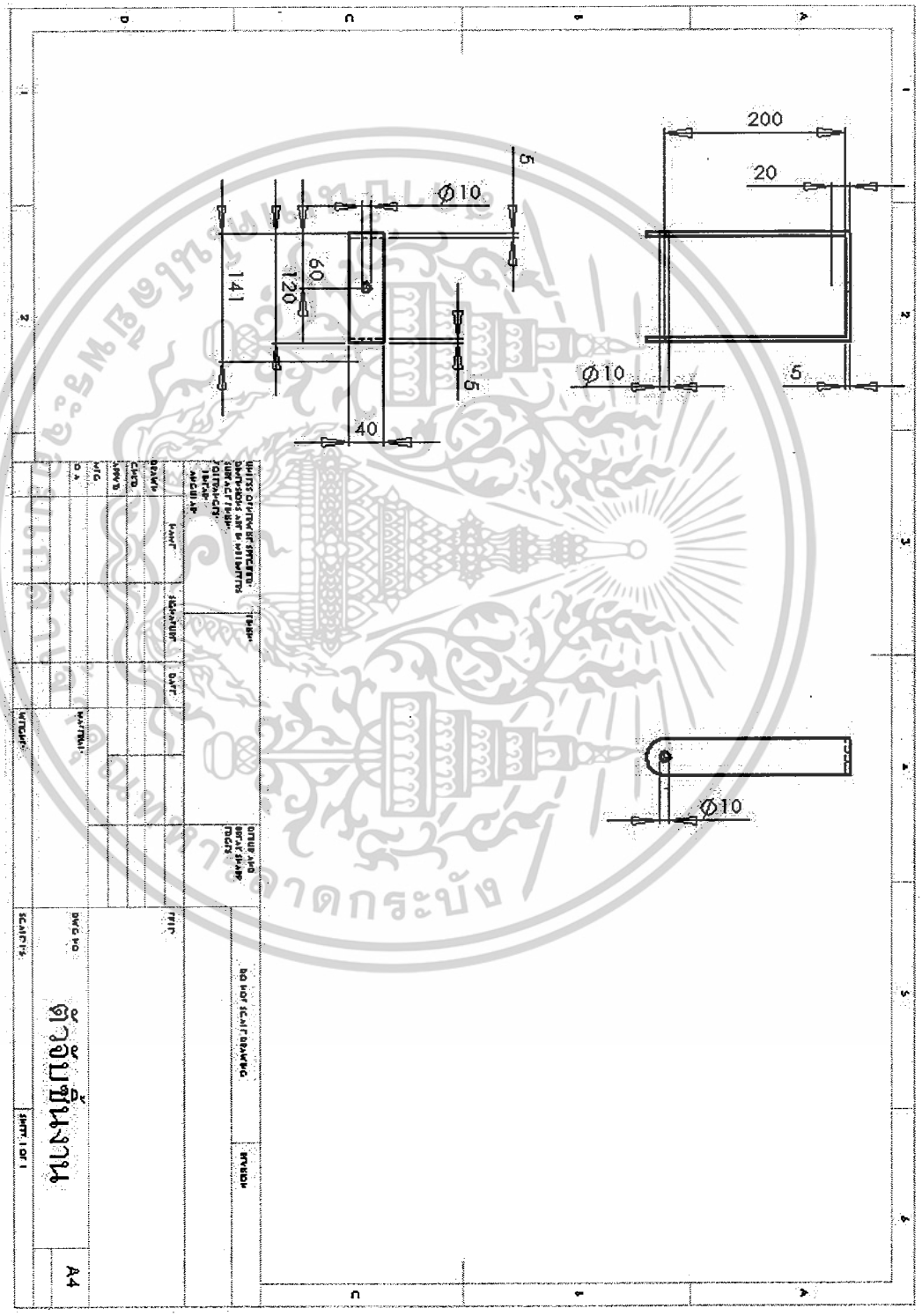
ผ 3

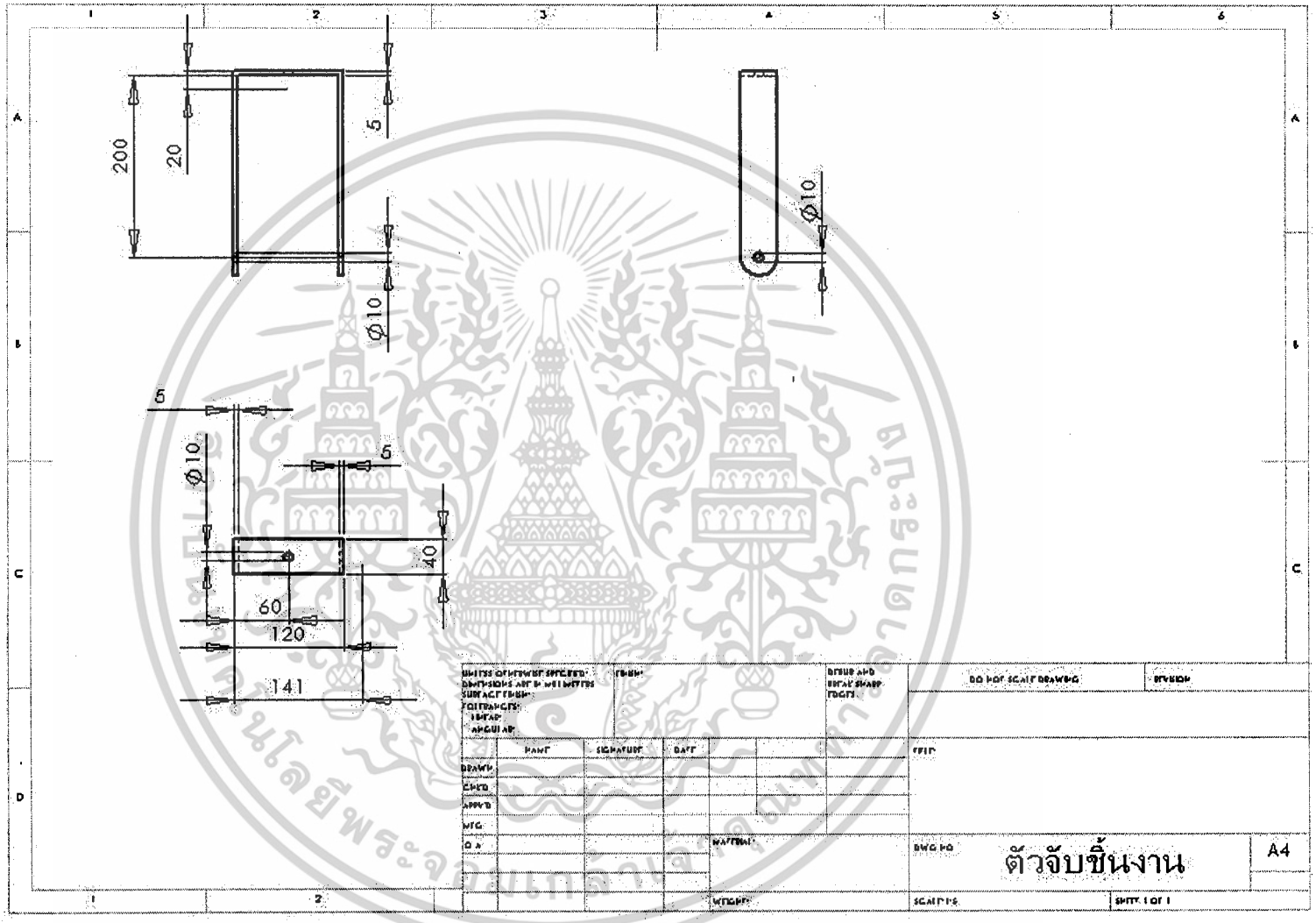

Ø10
100
Ø10
850
25
10
Ø5
Ø5
25
25
50
390
50
60
DO NOT SCALE DRAWING
โครงสร้างด้านบน
A4

A4

M5

100
50
50
10
Ø35
45°
90
90
Ø110
Ø120
20
70
10
50
80
100
9
Ø110
Ø105
A5°
20
Ø35
Ø38
60
20
20
100
120
140
70
10
10
20
140
Ø35
70
Ø38
20
100
60
120
DO NOT SCALE DRAWING
pump
A4


200
20
Ø10
5
Ø10
5
141
60
120
5
40
Ø10
ขาตั้งไม้
A4

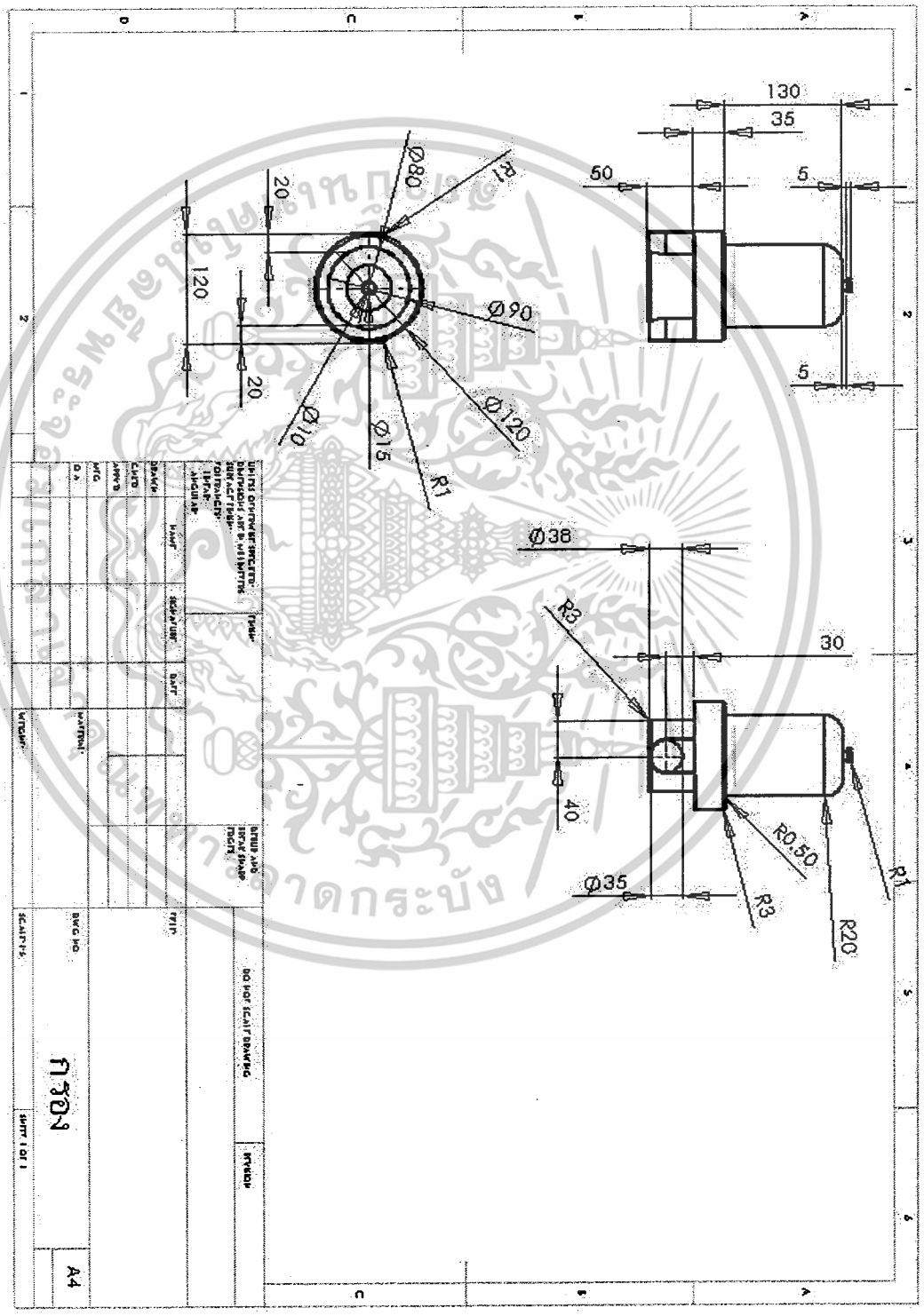

200
20
5
Ø10
Ø10
5
5
Ø10
40
60
120
141
DO NOT SCALE DRAWING
DRAWN
CHK'D
APP'D
MFG
Q.A
MATERIAL
WEIGHT
SCALE 1:5
SHEET 1 OF 1
ตัวจับชิ้นงาน
A4

M8

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				DEBUR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING
	NAME	SIGNATURE	DATE		TITLE:
DRAWN					
CHKD					
APPV'D					
MFG					
Q.A.				MATERIAL	DWG NO. ตระแกรง
				WEIGHT:	SCALE: 1:10

A4

SHEET 1 OF 1


130
35
50
5
5
Ø80
R3
20
120
20
Ø90
Ø120
Ø10
Ø15
R1
Ø38
R3
30
40
R0.50
R1
Ø35
R3
R20
A4
DO NOT SCALE DRAWING

หนังสืออ้างอิง

1. โตโยตา มอเตอร์ ประเทศไทย จำกัด มหาชน. 2550. **กระบวนการชุบสีด้วยกระแสไฟฟ้า.** สมุทรปราการ : สำนักพิมพ์ โตโยตา มอเตอร์.

2. วิศิษฏ์ จาตุรมาน. 2533. **กลศาสตร์ของไหล.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

3. ศศิมา พงษ์แสงสุริยะ. 2542. **การควบคุมสภาวะเคมีแบบอัตโนมัติของกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า.** กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี.

4. สุรพงษ์ สุวจิตตานนท์. 2531. **ไฟฟ้าเคมี (Electro chemistry).** กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์

5. สาโรช พันธุ์แพ. 2526. **การชุบผิวโลหะด้วยฟ้า.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพ : โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.

6. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2538. **ผิวเคลือบโลหะโดยกรรมวิธีทางไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

7. John Olmsted Gregory M. Williams. 1997. **Chemistry the molecular science .** LA :Dubuque

8. http://chemistryquiz.exteen.com/

9. http://www.most.go.th/news/newspaper/default.asp?GID=1162

10. http://161.200.134.28/News-Detail.asp?TID=4&ID=15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้