

ผลของภาวะการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยใช้ไฟฟ้า
ต่อคุณภาพสีดำบนชิ้นงานเอกซัทรูชันอะลูมิเนียม

นางสาวสุขรวิ โสภาโชติ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974 - 639 - 504 - 1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF CONDITION IN ELECTROLYTIC COLOURING PROCESS ON
THE QUALITY OF BLACK COLOUR SHADE OF ALUMINIUM EXTRUSIONS

Miss Sookrawee Sopachote

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Department of Chemical Engineering

Graduate School

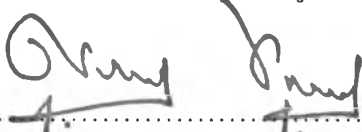
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

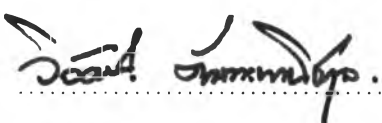
ISBN 974 - 639 - 504 - 1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของภาวะการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโตรไลต์โดยใช้
ไฟฟ้าต่อคุณภาพสีดำบนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียม
โดย นางสาวสุชรวี โสภาโชติ
ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. วรรณ เต๋ไพลีสูงพงษ์
ที่ปรึกษาร่วม นายสุพัฒน์ รัตนศิริวิไล

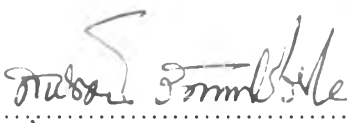
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์





..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. วรรณ เต๋ไพลีสูงพงษ์)


..... ที่ปรึกษาร่วม
(นายสุพัฒน์ รัตนศิริวิไล)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อูรา ปานเจริญ)

สุขรวี โสภานโชติ : ผลของภาวะการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยใช้ไฟฟ้าต่อคุณภาพสีดำบนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียม (EFFECTS OF CONDITION IN ELECTROLYTIC COLOURING PROCESS ON THE QUALITY OF BLACK COLOUR SHADE OF ALUMINIUM EXTRUSIONS) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร. วรรณ แต่ไพสิฐพงษ์, ที่ปรึกษาร่วม : นายสุวัฒน์ รัตนศิริวิไล 120 หน้า. ISBN 974 - 639 - 504 - 1


งานวิจัยนี้ได้ทำการจัดสร้างอุปกรณ์การทดลองและศึกษาถึงผลของเวลาที่ใช้ในการชุบสีอุณหภูมิที่ใช้ในการชุบสี และความเข้มข้นของน้ำยาชุบสี ของกระบวนการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยใช้ไฟฟ้าต่อคุณภาพสีดำบนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียม การทดลองได้ทำบนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียมที่มีรูปหน้าตัด 3 แบบได้แก่ ชิ้นงาน A (เสาข้างสวิง : ) ชิ้นงาน B (กล่องเรียบ : ) และชิ้นงาน C (เสาทูลุญแจ : ) โดยใช้ น้ำยาชุบสแตนเลสซัลเฟตเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ที่อุณหภูมิชุบสีที่ 16, 18, 20, 22 และ 24 °ซ และเวลาชุบสีที่ 6, 8, 10, 12 และ 14 นาที

ผลการทดลองพบว่าเวลาชุบสีมีผลต่อระดับความเข้มของสีดำบนชิ้นงานทั้ง 3 แบบมาก ถ้าใช้เวลาชุบสีมากขึ้น จะได้ระดับความเข้มของสีดำดีขึ้น แต่เมื่อใช้เวลาชุบสีนานเกินไป จะได้ระดับความเข้มของสีดำไม่ดี ส่วนอุณหภูมิชุบสีมีผลน้อยต่อระดับความเข้มของสีดำบนชิ้นงานทั้ง 3 แบบ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จะได้ระดับความเข้มของสีดำคงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อย แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงมากพอ จะมีผลให้ระดับความเข้มของสีดำดีขึ้นหรือเลวลงโดยขึ้นอยู่กับเวลาชุบสีที่ใช้ด้วย โดยรวมภาวะที่เหมาะสมคือใช้อุณหภูมิชุบสี 16 - 24 °ซ และเวลาชุบสี 10 - 12 นาที

นอกจากนั้นการทดลองชุบสีบนชิ้นงาน A ที่อุณหภูมิชุบสี 16 - 24 °ซ และเวลาชุบสี 10 นาที พบว่าความเข้มข้นของน้ำยาชุบสีมีผลต่อระดับความเข้มของสีดำบนชิ้นงาน ถ้าความเข้มข้นของน้ำยาชุบสีลดลง จะได้ระดับความเข้มของสีดำลดลง โดยรวมความเข้มข้นที่เหมาะสมของน้ำยาชุบสีอยู่ที่ 14 - 16 กรัม Sn²⁺/ลิตร

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา 2541.....

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม






C817684 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD:

ANODIZING/ELECTROLYTIC COLOURING/ALUMINIUM EXTRUSIONS

SOOKRAWEE SOPACHOTE : EFFECTS OF CONDITION IN ELECTROLYTIC COLOURING PROCESS ON THE QUALITY OF BLACK COLOUR SHADE OF ALUMINIUM EXTRUSIONS.

THESIS ADVISOR : MR. VARUN TAEPAISITPHONGSE, Ph.D., CO. ADVISOR : MR. SUPAT RATANASIRIVILAI, B. ENG. (EE), 120 pp. ISBN 974 - 639 - 504 - 1

Under this research, the experimental equipment had been constructed and the effects of colouring time, colouring temperature, and electrolyte concentration of the electrolytic colouring process on the quality of black colour shade of aluminium extrusions had been experimentally studied. Experiments had been conducted on aluminium extrusions with 3 different profiles, namely sample A (swing pole : ) , sample B (flat box : ) , and sample C (key pole : )) using stannous sulphate as electrolytic solution at colouring temperature of 16, 18, 20, 22, and 24 °C and at colouring time of 6, 8, 10, 12, and 14 min.

The experimental results showed that the colouring time had a significant effect on the quality of black colour shade on all 3 extrusion samples. When the colouring time was increased, the quality of black colour shade was improved. But if the colouring time was too long, the poor quality of black colour shade was obtained. The colouring temperature had very little effect on the quality of black colour shade on all 3 extrusion samples. When the colouring temperature was increased, the quality of black colour shade was the same or changed very little. But if the colouring temperature was high enough, the good or poor quality of black colour shade also depended on the colouring time. Overall, the suitable condition was to do the electrolytic colouring process at 16 - 24 °C and at 10 - 12 min.

In addition, the experiment on sample A at colouring temperature of 16 - 24 °C and at colouring time of 10 min showed that the concentration of electrolytic solution had an effect on the quality of black shade obtained. When the concentration was reduced, the quality of black shade was poorer. Overall, the suitable concentration was at 14 - 16 g Sn²⁺/l.

ภาควิชา.....วิศวกรรมเคมี

สาขาวิชา.....วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก อาจารย์ ดร.วรัญ แต่ไพ สิริพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านอาจารย์ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางการวิจัย และให้ข้อคิดเห็นในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนช่วยเหลือ และเพิ่มเติมวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตั้งแต่ต้นจนสำเร็จเป็นรูปเล่ม ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศ. ดร. วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล ประธานกรรมการ รศ. ดร. อุรา ปานเจริญ กรรมการ ซึ่งได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณสุพัฒน์ รัตนศิริวิไล ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมและผู้จัดการฝ่ายผลิตที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยทั้งหมด และขอขอบพระคุณ บริษัท ไทยเม็ททอล จำกัด ที่ได้เปิดโอกาสให้ผู้เขียนได้ศึกษาวิชาความรู้ที่เกี่ยวกับงานวิจัย และการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณ คุณธนระัชต์ หลีกภัย คุณสาธิต ปิติสุขฤกษ์ และ คุณมาลีรัตน์ อุดแก้ว ที่ได้ช่วยผลักดันและเป็นกำลังใจด้วยดี ทีมงานแผนกวิศวกรรมการชุบของบริษัท ไทยเม็ททอล จำกัด ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมข้อมูล อันส่งผลให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี





ขอขอบคุณที่ ๆ และเพื่อน ๆ ปริญญาโททุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดการศึกษาและการทำวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา และ มารดา ที่เป็นทุกสิ่งทุกอย่างสำหรับลูก ตลอดจนส่งเสริม สนับสนุน และให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบคุณ คุณสุขกมล โสกาโชติ และคุณปิ่นคำ อินทรประดิษฐ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุกอย่างสำหรับการศึกษาปริญญาโท และการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณ อาจารย์ และเพื่อนอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวนามในครั้งนี้ ที่ได้ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำในการทำวิจัยนี้

สารบัญ

	หน้า	
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ	
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ	
สารบัญตาราง.....	ฎ	
สารบัญภาพ.....	ฏ	
บทที่		
1. บทนำ		
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย.....	1	
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2	
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3	
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	3	
2. หลักการพื้นฐาน.....		5
2.1 การอะโนไดซ์และการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโตรไลต์ โดยใช้ไฟฟ้าบนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียม.....	5	
2.1.1 การทำความสะอาดชิ้นงานก่อนชุบ.....	5	
2.1.2 ขั้นตอนการทำอะโนไดซ์.....	14	
2.1.3 การชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโตรไลต์โดยใช้ไฟฟ้า.....	19	
2.1.4 ขั้นตอนการปีดรูพหรือนการซีลลิ่ง.....	19	
2.1.5 การทดสอบคุณภาพหลังการชุบสี.....	22	
2.2 วิธีการชุบสี.....	23	
2.2.1 วิธีการย้อมสีแบบการดูดซับ.....	24	
2.2.2 วิธีการชุบสีอะโนไดซ์หรือการชุบสีพร้อมกับการอะโนไดซ์.....	27	

2.2.3	วิธีการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลท์โดยใช้ไฟฟ้า.....	29
2.3	การชุบสีด้วยน้ำยาชุบทิน.....	33
3.	อุปกรณ์การทดลองและขั้นตอนการทดลอง	
3.1	อุปกรณ์การทดลอง.....	36
3.1.1.	ถังชุบ.....	37
3.1.2.	อิเล็กโทรด.....	40
3.1.3.	ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า.....	40
3.1.4.	เครื่องกวนน้ำยา.....	43
3.1.5.	ระบบทำความเย็น.....	43
3.2	ขั้นตอนการทดลอง	
ส่วนที่ 1	การทดลองชุบสีดำบนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียม ด้วยน้ำยาชุบทิน โดยใช้วิธีการชุบสีด้วยสารละลาย อิเล็กโทรไลท์ ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ กัน พร้อมประเมินคุณภาพสีที่ชุบได้.....	45
ส่วนที่ 2	ศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของทินสำหรับการชุบสีดำ บนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียมโดยวิธีการชุบสีด้วย สารละลายอิเล็กโทรไลท์โดยใช้ไฟฟ้า พร้อมประเมิน คุณภาพสีที่ชุบได้	53
3.3	การวัดสี.....	54
3.4	ข้อควรระวังในขั้นตอนการชุบสี.....	56




4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	61
4.1 ผลการทดลองชุบสีด้าบนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียมด้วยน้ำยาชุบทิน โดยใช้วิธีการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยใช้ไฟฟ้าที่อุณหภูมิ และเวลาต่าง ๆ กัน พร้อมประเมินคุณภาพสีที่ชุบได้	
ก. ชิ้นงาน A : เสาข้างสวิง ()	
ก.1 ผลของเวลาชุบสี.....	62
ก.2 ผลของอุณหภูมิชุบสี.....	64
ข. ชิ้นงาน B : ก่องเรียบ ()	
ข.1 ผลของเวลาชุบสี.....	66
ข.2 ผลของอุณหภูมิชุบสี.....	69
ค. ชิ้นงาน C : เสากัญแจ ()	
ค.1 ผลของเวลาชุบสี.....	71
ค.2 ผลของอุณหภูมิชุบสี.....	74
4.2 ผลการทดลองศึกษาถึงผลของความเข้มข้นของทินสำหรับการชุบสีด้า บนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียมโดยใช้วิธีการชุบสีด้วยสารละลาย อิเล็กโทรไลต์โดยใช้ไฟฟ้า พร้อมประเมินคุณภาพสีที่ชุบได้	
ก. ชิ้นงาน A : เสาข้างสวิง ()	
ก.1 ผลของความเข้มข้นของน้ำยาชุบสี.....	79
ก.2 ผลของอุณหภูมิชุบสี.....	81
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุป.....	82
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	84
รายการอ้างอิง.....	85

ภาคผนวก

ก. ตารางผลการทดลอง.....	87
ข. การวิเคราะห์หาปริมาณทินและกรดซัลฟิวริก.....	93
ค. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอะลูมิเนียมชุบผิว.....	95
ง. วิธีการทดสอบคุณภาพหลังจากผ่านการซีลด้วยน้ำร้อน ตามมาตรฐาน BS 6161.....	96
จ. การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง.....	98
ฉ. สรุปค่าใช้จ่ายด้านอุปกรณ์และสารเคมีในการทำวิจัย.....	100
ช. ข้อมูลทางเทคนิคของน้ำยาชุบทินหรือน้ำยาชุบสแตนเลสซัลเฟต.....	102
ซ. หลักการเบื้องต้นของการชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า.....	108
ฌ. วิธีทดสอบคุณภาพของผิวชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียม.....	117
ญ. ผลิตผลแห่ง...ความภาคภูมิใจ (ใจ).....	118
ประวัติผู้เขียน.....	120

สารบัญตาราง






ตารางที่



3.1	ภาวะในการทดลองส่วนที่ 1.....	57
3.2	ภาวะในการทดลองส่วนที่ 2.....	59
3.3	ขบวนการและภาวะที่ใช้ควบคุม.....	60
5.1	ภาวะการชุบสีที่ให้ระดับความเข้มของสีดำที่ดีที่สุด.....	83
5.2	ภาวะการชุบสีดำที่ทำให้เกิดปัญหาฝุ่นแป้ง.....	83
ก.1	ผลของภาวะการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยใช้ไฟฟ้า ต่อคุณภาพสีดำบนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียมของ ชิ้นงาน A (เสาข้างสวิง : ).....	87
ก.2	ผลของภาวะการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยใช้ไฟฟ้า ต่อคุณภาพสีดำบนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียมของ ชิ้นงาน B (กล่องเรียบ : ).....	88
ก.3	ผลของภาวะการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยใช้ไฟฟ้า ต่อคุณภาพสีดำบนชิ้นงานเอกซ์ทรูชันอะลูมิเนียมของ ชิ้นงาน C (เสาฤดูแจ : ).....	89
ก.4	ผลของความเข้มข้นของทินต่อระดับสี ณ อุณหภูมิ 16 °ซ.....	90
ก.5	ผลของความเข้มข้นของทินต่อระดับสี ณ อุณหภูมิ 18 °ซ.....	90
ก.6	ผลของความเข้มข้นของทินต่อระดับสี ณ อุณหภูมิ 20 °ซ.....	91
ก.7	ผลของความเข้มข้นของทินต่อระดับสี ณ อุณหภูมิ 22 °ซ.....	91
ก.8	ผลของความเข้มข้นของทินต่อระดับสี ณ อุณหภูมิ 24 °ซ.....	92
ง.1	การอ่านผลการทดสอบแบบหยดสีย้อม (Interpretation of the results of the dye spot test).....	97

สารบัญภาพ

รูปที่

2.1	แผนภูมิการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยใช้ไฟฟ้า ของชิ้นงานอะลูมิเนียมที่ถูอะโนไดซ์.....	6
2.2	ตัวอย่างการเกิดปัญหาหลายโซดา (Etch Staining).....	11
2.3	อัตราการกัดผิว (Etch Rates).....	12
2.4	วิธีการอะโนไดซ์อะลูมิเนียม.....	14
2.5	รูปตัดขยายของผิวอะโนไดซ์แสดงให้เห็นโครงสร้างของรูเซลล์.....	18
2.6	การเกิดชั้นไฮดรทในขณะทำการสี.....	21
2.7	ขั้นตอนปกติของการอะโนไดซ์และการชุบสีชิ้นงานอะลูมิเนียม (Typical Anodizing Line).....	23
2.8	การย้อมสีแบบการดูดซับ (Adsorptive Dyeing).....	24
2.9	ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาของสีย้อมอินทรีย์.....	25
2.10	การชุบสีอะโนไดซ์ (Colour Anodizing) หรือการชุบสีพร้อมกับการ อะโนไดซ์ (Integral Colouring).....	27
2.11	การชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยใช้ไฟฟ้า (Electrolytic Colouring).....	29
2.12	ฟิล์มอะโนไดซ์ที่ถูกชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยใช้ไฟฟ้า (Electrolytically pigmented anodic film).....	32
2.13	ตัวอย่างการเกิดฝุ่นแป้ง.....	35
3.1	ชุดอุปกรณ์การทดลองที่ใช้ในการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยใช้ไฟฟ้า.....	36
3.2	การใช้งานของถังน้ำล้าง (Rinsing Tank)	39
3.3	เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier)	41

3.4	ระบบทำความสะอาดที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.5	ชิ้นงานที่เตรียมไว้สำหรับการทดลอง.....	46
3.6	ขั้นการล้างคราบไขมัน (Degreasing)	50
3.7	ขั้นการกัดผิว (Etching)	51
3.8	ขั้นการล้างขี้เขม่าหรือล้างคราบดำ (Desmutting)	51
3.9	ขั้นการทำอะโนไดซ์ (Anodizing)	52
3.10	ขั้นการชุบสีด้วยสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยใช้ไฟฟ้า (Electrolytic Colouring).....	52
3.11	ขั้นการซีลหรือการปิดผนึกผิว (Sealing)	53
3.12	ระดับความเข้มของสีดำ.....	55
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มของสีดำของชิ้นงาน A () กับเวลาการชุบสี ณ อุณหภูมิ (ก) 16 °ซ (ข) 18 °ซ (ค) 20 °ซ (ง) 22 °ซ และ (จ) 24 °ซ.....	63
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มของสีดำของชิ้นงาน A () กับอุณหภูมิการชุบสี ณ เวลา (ก) 6 นาที (ข) 8 นาที (ค) 10 นาที (ง) 12 นาที และ (จ) 14 นาที.....	65
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มของสีดำของชิ้นงาน B () กับเวลาการชุบสี ณ อุณหภูมิ (ก) 16 °ซ (ข) 18 °ซ (ค) 20 °ซ (ง) 22 °ซ และ (จ) 24 °ซ.....	68
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มของสีดำของชิ้นงาน B () กับอุณหภูมิการชุบสี ณ เวลา (ก) 6 นาที (ข) 8 นาที (ค) 10 นาที (ง) 12 นาที และ (จ) 14 นาที.....	70
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มของสีดำของชิ้นงาน C () กับเวลาการชุบสี ณ อุณหภูมิ (ก) 16 °ซ (ข) 18 °ซ (ค) 20 °ซ (ง) 22 °ซ และ (จ) 24 °ซ.....	73

4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มของสีค่าของชิ้นงาน C () กับอุณหภูมิการชุบสี ณ เวลา (ก) 6 นาที (ข) 8 นาที (ค) 10 นาที (ง) 12 นาที และ (จ) 14 นาที.....	75
4.7	ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้ระดับความเข้มของสีค่าตามมาตรฐาน (ระดับ 5).....	76
4.8	ตัวอย่างชิ้นงานที่ได้ระดับความเข้มของสีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้..	77
4.9	ตัวอย่างชิ้นงานที่เกิดรอยต่างเนื่องจากการเตรียมผิวชุบ ไม่สะอาดเพียงพอ.....	78
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสีค่าของชิ้นงาน A : เสาข้างสวิง () กับความเข้มขึ้นของน้ำยาชุบสี.....	80
ซ.1	หลักการชุบผิวโลหะด้วยกระแสไฟฟ้าอย่างง่าย.....	109
ซ.2	ตัวอย่างชิ้นงานที่มีขนาดกว้าง 2 ซม. ยาว 2 ซม.....	114
ซ.3	ลักษณะการกระจายของกระแสไฟฟ้าและความหนาที่เคลือบ ในบริเวณต่าง ๆ ของชิ้นงาน.....	116