

ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างอะโนดกับแคต
โธดในการทำ Electrolytic Colouring ของอะลูมิเนียมรีดขึ้นรูป AA 6063

นางสาว อุมารินทร์ พงศ์โสภิตานันท์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4216-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RELATION OF TEMPERATURE AND VOLTAGE DURING ANODIZING WITH COLOURING
OF ELECTROLYTIC COLOURING OF ALUMINIUM EXTRUSION AA 6063



Miss Umarin Phongsophitanan

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Metallurgical Engineering

Department of Metallurgical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4216-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างอะโนไดส์
กับค่าสีในการทำ Electrolytic Colouring ของอะลูมิเนียมรีดขึ้น
รูป AA 6063

โดย

นางสาวอุมารินทร์ พงศ์โสภิตานันท์

สาขาวิชา

วิศวกรรมโลหการ

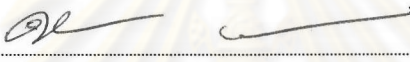
อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร

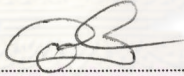
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม


รองศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรชัย สมศิริ

คณะกรรมการศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ


..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชاکกร จารุพิสิฐธรร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรชัย สมศิริ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ สุวันชัย พงษ์สุกิจวัฒน์)

อุมารินทร์ พงศ์โสภิตานันท์ : ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ และค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่าง
อะโนไดส์กับค่าสีในการทำ Electrolytic Colouring ของอะลูมิเนียมรีดขึ้นรูป AA 6063
(RELATION OF TEMPERATURE AND VOLTAGE DURING ANODIZING WITH
COLOURING OF ELECTROLYTIC COLOURING OF ALUMINIUM EXTRUSION
AA 6063) อ.ที่ปรึกษา : ดร.เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รองศาสตราจารย์
ดร. ฉัตรชัย สมศิริ 85 หน้า. ISBN 974-17-4216-9

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์ และค่า
แรงดันไฟฟ้าระหว่างอะโนไดส์กับค่าสีในอะลูมิเนียม AA6063 ที่ผ่านการรีดขึ้นรูป ขึ้นงานในแต่ละ
ชุดทดลองมีขนาดพื้นที่ 690 ตารางเซนติเมตร และผ่านการเตรียมผิวก่อนอะโนไดส์ด้วยสารเคมี
จากนั้นจึงอะโนไดส์ใน กรดซัลฟูริก ระยะเวลาอะโนไดส์นาน 30 นาที แบ่งชิ้นงานที่ได้ออกเป็นสอง
ชุด ชุดแรกนำฟิล์มฯไปตรวจสอบด้วย TEM ชุดที่สองถูกนำไปทำสีและนำไปวัดค่าสี จาก
การศึกษพบว่า เมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ฟิล์มฯจะมีจำนวนรูลดลง มีขนาดของรูใหญ่ขึ้น และ
มีความหนาของฟิล์มฯเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์เพิ่มขึ้น ฟิล์มฯจะมีรูขนาดใหญ่ขึ้น และ
มีความหนาของฟิล์มฯเพิ่มขึ้น แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงจำนวนรูของฟิล์ม
อะโนไดส์กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์ การเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างอะ
โนไดส์ พบว่าเมื่อจำนวนรูเพิ่มขึ้น ฟิล์มฯจะมีค่าความสว่าง (L^*) ลดลง และเมื่อรูมีขนาดใหญ่ขึ้น
ฟิล์มฯจะมีค่าความสว่างจะเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์ระหว่างอะโนไดส์พบว่า
เมื่อจำนวนรูและขนาดรูของฟิล์มอะโนไดส์เพิ่มขึ้น ฟิล์มฯมีค่าความสว่างใกล้เคียงกัน นอกจากนี้
ค่าพิกัดสี (a^* และ b^*) ของแต่ละจำนวนรูและขนาดรูมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้น ค่า
ความสว่างมีผลต่อค่าสีของชิ้นงานมากกว่าเมื่อเทียบกับค่าพิกัดสี ค่าความสว่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อ
แรงดันไฟฟ้าของการอะโนไดส์เพิ่มขึ้น และไม่พบความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าสีต่อการ
เปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์

ภาควิชา.....วิศวกรรมโลหการ.....ลายมือชื่อนิสิต อุมารินทร์ พงศ์โสภิตานันท์
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโลหการ.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา เอกสิทธิ์ นิสารัตนพร
ปีการศึกษา.....2546.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4370629721 : MAJOR METALLURGICAL ENGINEERING

KEY WORD : ANODIZING / COLOURING / TEM / AA6063

UMARIN PHONGSOPHITANAN : RELATION OF TEMPERATURE AND VOLTAGE DURING ANODIZING WITH COLOURING OF ELECTROLYTIC COLOURING OF ALUMINIUM EXTRUSION AA 6063. THESIS ADVISOR : Dr. EKASIT NISARATANAPORN, THESIS COADVISER : ASSOC. PROF. CHATCHAI SOMSIRI, Ph.D., 85 pp. ISBN 974-17-4216-9.

The objective of this research is to clarify the relation of temperature and voltage during anodizing with colouring of electrolytic colouring of aluminium extrusion AA 6063. The test specimens were produced by casting and then were homogenized before ageing. The specimens were rectangular that each specimen's area was 690 cm². Before anodizing, the samples were degreased, etched and desrnutted. The electrolyte was H₂SO₄ for thirty minutes. Then the samples were separated into two groups. One was identified with Transmission Electron Microscope (TEM) in order to analyze the film structure. Another was coloured and measured the colouring. It was found that number of pore, size of pore and film thickness were varied depending on the voltage. As an increment in the voltage, the number of pore decreased. On the other hand, the size of pore and the film thickness increased with the voltage. The change of temperature was related to the change of size of pore and the film thickness. The size of pore and the film thickness increased as an increment in temperature. On the other hand, the relationship between the temperature and the number of pore did not appear. At the same level of temperature, the lightness (L*) decreased with an increment in number of pore, but it increased with the size of pore. At the same level of voltage, the lightness did not vary when number and size of pore increased. The chromaticity coordinate (a* and b*) did not change so much even if number and size of pore changed. So the lightness more effect on colouring than the chromaticity coordinate. It can be concluded that the lightness increased with the voltage and the relationship between the temperature and colouring did not appear.

Department.....Metallurgical Engineering.....Student's signature.....
Field of study..... Metallurgical Engineering.....Advisor's signature.....
Academic year.....2003Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือจาก อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เอกสิทธิ์ นิสารัตนากร และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรชัย สมศิริ ที่ให้ข้อเสนอแนะในกระบวนการทำงานวิจัย ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่เชื้อเพื่อทุนทรัพย์สำหรับงานวิจัย ขอขอบคุณ บริษัท เมืองทองอุตสาหกรรมอาลูมิเนียม จำกัด ที่เชื้อเพื่อทุนทรัพย์ และสถานที่ปฏิบัติงานวิจัย ซึ่งรวมถึงบุคคลากรของบริษัทฯ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และความร่วมมือเป็นอย่างดีมาตลอด ขอขอบคุณคณาจารย์และบุคคลากรประจำภาควิชาวิศวกรรมโลหการ สำหรับคำแนะนำการปฏิบัติงานวิจัยในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบคุณ คุณศิริเพ็ญ เจ้าหน้าที่ประจำเครื่อง TEM ของศูนย์เครื่องมือฯ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ บิดาและมารดา ขอขอบคุณน้องสาว สำหรับทุกกำลังใจและทุกความช่วยเหลือที่มีให้แก่ผู้เขียนเสมอมาจนกระทั่งงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 บริหารศน์วรรณกรรม.....	3
2.1 ความรู้เบื้องต้นของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อะลูมิเนียมรีดขึ้นรูป ที่ผ่านการสร้างฟิล์มอะโนดิก.....	3
2.2 โลหะผสมอะลูมิเนียม แมกนีเซียม ซิลิคอน AA 6063.....	7
2.3 โฮโมจีไนเซชัน (Homogenization).....	8
2.4 การรีดขึ้นรูป (Extrusion).....	8
2.5 กระบวนการทางความร้อนของโลหะผสม AA 6063.....	8
2.6 กระบวนการสร้างฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์โดยใช้อิเล็กโตรไลต์ประเภทกรดซัลฟูริก.....	9
2.6.1 การเตรียมผิว.....	9
2.6.2 การสร้างฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ (Anodizing).....	10
2.6.2.1 ลักษณะของฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์และกลไกการเกิดฟิล์ม.....	10
2.6.2.2 พารามิเตอร์และผลของพารามิเตอร์ในกระบวนการสร้างฟิล์ม อะลูมิเนียมออกไซด์.....	16
2.6.2.3 ผลของธาตุผสมต่อฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์.....	21
2.6.3 กระบวนการภายหลังการสร้างฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์.....	22
2.7 การตรวจสอบลักษณะรูของฟิล์มอะโนดิกด้วย Transmission Electron Microscope.....	22

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.8 การตรวจวัดค่าสีของฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer).....	23
3 กระบวนการดำเนินงานวิจัย.....	24
3.1 รายละเอียดของชิ้นงานทดลองและการเตรียมชิ้นงาน.....	24
3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	25
3.2.1 การเตรียมผิวชิ้นงานก่อนอะโนไดส์.....	25
3.2.2 การอะโนไดส์.....	25
3.2.3 การทำให้ฟิล์มเกิดสีด้วยวิธีทางไฟฟ้าและการปิดรูปทูน.....	26
3.3 เทคนิคการวิเคราะห์ชิ้นงานทดลอง.....	26
3.3.1 การวัดความหนาของฟิล์มอะโนไดค.....	26
3.3.2 การตรวจสอบฟิล์มอะโนไดคด้วยเครื่อง TEM.....	26
3.3.3 การวัดค่าสีของชิ้นงาน.....	27
4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	28
4.1 ลักษณะโครงสร้างของฟิล์มอะโนไดค.....	28
4.2 อิทธิพลของแรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์ต่อลักษณะฟิล์มอะโนไดค.....	32
4.3 อิทธิพลของลักษณะฟิล์มอะโนไดคต่อค่าสี.....	34
4.4 อิทธิพลของแรงดันไฟฟ้าต่อค่าสี.....	47
4.5 อิทธิพลของอุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์ต่อค่าสี.....	47
5 สรุปผลการทดลอง.....	49
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย.....	50
รายการอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก.....	53
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	85

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 ส่วนผสมทางเคมีของ AA 6063.....	7
2-2 สมบัติเชิงกลของ AA 6063-T5 และ AA 6063-T6.....	8
2-3 ปริมาณสูงสุดของธาตุผสมและผลของธาตุผสมที่มีค่าเกินปริมาณสูงสุด ต่อสมบัติของฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์.....	21
3-1 ส่วนผสมทางเคมีของชิ้นงานสำหรับการทดลอง.....	24
3-2 ค่าอุณหภูมิอิเล็กทรอนิกส์ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความเข้มข้นกระแสไฟฟ้า ระหว่างอะโนไดส์ในแต่ละชุดทดลอง.....	25
4-1 ความหนาของฟิล์มอะโนไดค์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรู จำนวนของรู และระยะห่าง ระหว่างรูของฟิล์มอะโนไดค์.....	30
4-2 ค่าสีของชิ้นงานที่ผ่านการทำสี.....	31

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อะลูมิเนียมรีดขึ้นรูปและผ่านการสร้างฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์.....	5
2-2 กระบวนการสร้างฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์.....	6
2-3 โครงสร้างจุลภาคของฟิล์มอะโนดิกที่ได้จากการอะโนไดส์ที่ใช้อิเล็กโตรไลต์ประเภทกรดซัลฟูริก หรือกรดออกซาลิก หรือกรดฟอสฟอริก.....	11
2-4 การเกิดฟิล์มอะโนดิกตามข้อสันนิษฐานของ Rummell.....	12
2-5 โครงสร้างฟิล์มอะโนดิกที่ได้จากการอะโนไดส์ด้วยอิเล็กโตรไลต์ประเภทกรดออกซาลิกถ่าย (TEM).....	13
2-6 โครงสร้างฟิล์มที่ถูกอะโนไดส์ด้วยกรดซัลฟูริก 20 v/o อุณหภูมิ 15°C ที่แรงดันไฟฟ้า 15 V ระยะเวลาอะโนไดส์ 5, 3 และ 2 วินาที.....	13
2-7 โครงสร้างฟิล์มที่เซลล์และรูบางบริเวณมีลักษณะแตกต่างจากโครงสร้างทั่วไป.....	14
2-8 โครงสร้างฟิล์มอะโนดิกอะลูมิเนียม AA6063 ที่มีเซลล์ล้อมรอบแต่ละเซลล์ไม่เท่ากับหกเซลล์.....	14
2-9 โครงสร้างเซลล์และรูเรียงตัวเกิดรูปแบบเฉพาะรูปลายนิ้วมือ.....	15
2-10 โครงสร้างของฟิล์มที่เซลล์และรูมีรูปร่างแตกต่างจากโครงสร้างปกติ.....	15
2-11 ภาพจำลองแสดงช่องที่แตกสาขาจากรูหลักและรูที่ไม่ตั้งในแนวตรง.....	16
2-12 อิทธิพลของเวลาต่อความหนาของฟิล์ม ณ อุณหภูมิอิเล็กโตรไลต์ต่างๆ ของการอะโนไดส์อะลูมิเนียม 1100 ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15% ความเข้มข้นกระแสไฟฟ้า 130 แอมป์ต่อตารางเมตร.....	17
2-13 ผลของอุณหภูมิอิเล็กโตรไลต์ต่อการดูดซับน้ำของฟิล์ม (ความพรุนของฟิล์ม) จากฟิล์มหนา 10 ไมครอน ที่อะโนไดส์ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 % ที่ 200 แอมป์ต่อตารางเมตร และจุ่มลงในน้ำเดือดนาน 30 นาที.....	17
2-14 ผลของเวลาต่อหน้าหนักของฟิล์ม ณ อุณหภูมิอิเล็กโตรไลต์ต่างๆ ของการอะโนไดส์อะลูมิเนียม 1100 ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15% ความเข้มข้นกระแสไฟฟ้า 130 แอมป์ต่อตารางเมตร.....	18
2-15 โครงสร้างของฟิล์มอะลูมิเนียมออกไซด์ รูปซ้าย คือเซลล์ (cell) รูปขวา คือ รูฟิล์มของการอะโนไดส์ที่ใช้กรดฟอสฟอริกเข้มข้น 4 % ถ่ายด้วยกล้องอิเล็กตรอน กำลังขยาย 35,000 เท่า.....	19

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2-16 ความสัมพันธ์ของปริมาตรของรู (Pore volume) ต่อค่าแรงดันไฟฟ้า ที่ใช้สร้างฟิล์มอะโนดิกในอิเล็กโทรไลต์ประเภทต่าง.....	19
2-17 ความสัมพันธ์ของขนาดเซลล์ต่อแรงดันไฟฟ้าของการอะโนไดส์ในอิเล็กโทรไลต์ต่างๆ.....	20
2-18 แสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ และค่าแรงดันไฟฟ้า ระหว่างการอะโนไดส์อะลูมิเนียมแผ่น 99.99 % ในกรดซัลฟูริก ที่ใช้ความเข้มข้นกระแสไฟฟ้า 130แอมป์ต่อตารางเมตร.....	20
2-19 แสดงสัญลักษณ์ค่าสี L^* , a^* และ b^*	23
3-1 ภาพจำลองชิ้นงานสำหรับการทดลอง.....	24
4-1 ฟิล์มอะโนดิกจากการอะโนไดส์ที่อุณหภูมิ 22°C และแรงดันไฟฟ้า 15 V.....	29
4-2 ฟิล์มอะโนดิกจากการอะโนไดส์ที่อุณหภูมิ 22°C และแรงดันไฟฟ้า 16 V.....	29
4-3 ฟิล์มอะโนดิกจากการอะโนไดส์ที่อุณหภูมิ 18°C และแรงดันไฟฟ้า 16 V.....	30
4-4 อิทธิพลของอุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์และแรงดันไฟฟ้าระหว่างอะโนไดส์ต่อจำนวนรูฟิล์มฯ.....	33
4-5 อิทธิพลของอุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์และแรงดันไฟฟ้าระหว่างอะโนไดส์ต่อขนาดรูฟิล์มฯ.....	33
4-6 อิทธิพลของอุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์และแรงดันไฟฟ้าระหว่างอะโนไดส์ต่อความหนาฟิล์มฯ.....	34
4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูกับค่าความสว่าง L^* ของฟิล์มอะโนดิกในชิ้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์ 16°C.....	36
4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูกับค่าความสว่าง L^* ของฟิล์มอะโนดิกในชิ้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์ 18°C.....	36
4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูกับค่าความสว่าง L^* ของฟิล์มอะโนดิกในชิ้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์ 20°C.....	37
4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูกับค่าความสว่าง L^* ของฟิล์มอะโนดิกในชิ้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์ 22°C.....	37
4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูกับค่าพิกัดสี a^* ของฟิล์มอะโนดิกในชิ้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์ 20°C.....	38
4-12 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูกับค่าพิกัดสี b^* ของฟิล์มอะโนดิกในชิ้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโทรไลต์ 20°C.....	38
4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูกับค่าความสว่าง L^* ของฟิล์มอะโนดิกในชิ้นงานที่ อะโนไดส์ ณ แรงดันไฟฟ้า 15 V.....	39

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูกับค่าพิกัดสี a^* ของฟิล์มอะนิติคในชั้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโตรไลต์ 15 V.....	39
4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรูกับค่าพิกัดสี b^* ของฟิล์มอะนิติคในชั้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโตรไลต์ 15 V.....	40
4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรูกับค่าความสว่าง L^* ของฟิล์มอะนิติคในชั้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโตรไลต์ 16°C.....	42
4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรูกับค่าความสว่าง L^* ของฟิล์มอะนิติคในชั้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโตรไลต์ 18°C.....	42
4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรูกับค่าความสว่าง L^* ของฟิล์มอะนิติคในชั้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโตรไลต์ 20°C.....	43
4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรูกับค่าความสว่าง L^* ของฟิล์มอะนิติคในชั้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโตรไลต์ 22°C.....	43
4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรูกับค่าพิกัดสี a^* ของฟิล์มอะนิติคในชั้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโตรไลต์ 20°C.....	44
4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรูกับค่าพิกัดสี b^* ของฟิล์มอะนิติคในชั้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโตรไลต์ 20°C.....	44
4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรูกับค่าความสว่าง L^* ของฟิล์มอะนิติคในชั้นงานที่ อะโนไดส์ ณ แรงดันไฟฟ้า 15 V.....	45
4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรูกับค่าพิกัดสี a^* ของฟิล์มอะนิติคในชั้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโตรไลต์ 15 V.....	45
4-24 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรูกับค่าพิกัดสี b^* ของฟิล์มอะนิติคในชั้นงานที่ อะโนไดส์ ณ อุณหภูมิอิเล็กโตรไลต์ 15 V.....	46