

การวิเคราะห์พหุรามิเตอร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบเงินของกระจกเงา
โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

นายศักรินทร์ อินทปัญญา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0419-16

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYSIS OF PARAMETERS IN ENHANCEMENT OF SILVER PLATING EFFICIENCY
OF MIRROR GLASS BY APPLYING EXPERIMENTAL DESIGN

Mr.Sukkarin Intapun

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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0419-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบเงินของ
กระจกเงาโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง

โดย

นายศักรินทร์ อินทปัญญา


สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

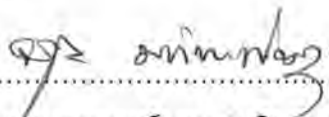
อาจารย์ที่ปรึกษา

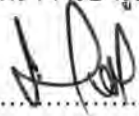
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

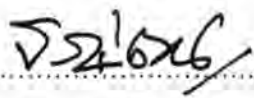

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์จรูญ มหิตธาพองกุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ดำรงศักดิ์ ทวีแสงสกุลไทย)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์)

ศักรินทร์ อินทปัญญา : การวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบเงินของกระจกเงาโดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง. (ANALYSIS OF PARAMETERS IN ENHANCEMENT OF SILVER PLATING EFFICIENCY OF MIRROR GLASS BY APPLYING EXPERIMENTAL DESIGN) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ปารเมศ ชูติมา : 123 หน้า. ISBN 974-13-0419-6.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการเคลือบเงินในกระบวนการผลิตกระจกเงา และเสนอเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเคลือบเงินภายใต้เงื่อนไขที่เป็นไปได้ งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการพิจารณาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการเคลือบเงินโดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล ทำให้สามารถเลือกปัจจัยทั้งหมด 3 ปัจจัยที่น่าจะมีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพการเคลือบเงินในกระบวนการผลิตกระจกเงา และปัจจัยดังกล่าวนี้เป็นปัจจัยที่สามารถเปลี่ยนแปลงและควบคุมได้ง่ายโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายในการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมากภายใต้ประการใด ปัจจัยเหล่านี้ประกอบด้วย อุณหภูมิกระจกก่อนเคลือบเงิน ปริมาณของเหลวบนกระจกซึ่งสัมพันธ์กับความดันน้ำ DI เข้า Console และความดันน้ำเข้า Rinse bar โดยใช้แผนการทดลอง 2^k แฟคทอเรียลในการทดลองเบื้องต้นโดยทุกระดับของปัจจัย 2 ระดับ เพื่อตัดปัจจัยที่ไม่น่าจะมีผลต่อสิ่งที่ต้องการศึกษาออกไป จากผลการทดลองพบว่าปัจจัยทั้ง 3 ชนิดมีผลต่อประสิทธิภาพการเคลือบเงิน การทดลองแบบแฟคทอเรียลได้ถูกนำมาใช้อีกครั้งโดยเพิ่มระดับของปัจจัยเป็น 3 ระดับ เพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมที่จะทำให้ประสิทธิภาพการเคลือบเงินเพิ่มขึ้น ผลการทดลองแสดงว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ประสิทธิภาพการเคลือบเงินมีค่าสูงสุดคือ อุณหภูมิกระจกก่อนเคลือบเงิน 95°F ความดันน้ำ DI เข้า Console 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ความดันน้ำเข้า Rinse bar 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และเมื่อนำประสิทธิภาพการเคลือบเงินที่ได้ไปเปรียบเทียบในเชิงสถิติกับประสิทธิภาพการเคลือบเงินในปัจจุบันพบว่า ค่าประสิทธิภาพการเคลือบเงินโดยเฉลี่ยที่สภาวะใหม่นี้มีค่าสูงกว่าค่าประสิทธิภาพที่เป็นอยู่ในปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ.....
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ.....
ปีการศึกษา2543.....

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4271479021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING


KEY WORD : Silver Plating Efficiency of Mirror Glass / 2^k Factorial Design / Factorial Design with Fixed Effect Model / Model Adequacy Checking / Analysis of Variance.

SUKKARIN INTAPUN : ANALYSIS OF PARAMETERS IN ENHANCEMENT OF SILVER PLATING EFFICIENCY OF MIRROR GLASS BY APPLYING EXPERIMENTAL DESIGN.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D. 123 pp. ISBN 974-13-0419-6.

The objective of this research is to study the factors influencing on silver plating efficiency of mirror glass and present the optimum condition for improvement of silver plating efficiency under practical condition. The research is initiated by considering of factors effected in silver plating efficiency with clause and effect diagram. From the clause and effect diagram , select 3 factors that probably significantly effected in silver plating efficiency of mirror glass.

These factors are easily controlled and changed with no cost. These factors are 1) glass temperature before silver plating , 2) liquid quantity on glass related to DI water pressure inputted console and 3) water pressure of Rinse bar. These factors are put in the screening experiments by using 2^k Factorial Design in 2 levels of each factor in order to screen nonsignificant factors. From the experiments are shown that these 3 factors are significant to silver plating efficiency. Factorial experiment is reconducted by using 3 levels of factor in order to find out the optimum operating condition in silver plating efficiency improvement. The experiments are shown that the optimum operating condition gived maximum silver plating efficiency are glass temperature before silver plating is 95 °F , DI water pressure inputted console is 40 psi and water pressure of Rinse bar is 5 psi. When statistical comparison of silver plating efficiency of experiment and current condition is shown that the arrange silver plating efficiency of experiment condition is significantly higher the silver plating efficiency of current condition.

Department.....Industrial Engineering.....	Student's signature..... 
Field of study.....Industrial Engineering.....	Advisor's signature.....
Academic year.....2000.....	Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ต้องขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงซึ่งท่านได้ชี้แนะแนวทางและให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดี หากไม่มีท่านคอยช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ แล้ววิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงจะไม่สำเร็จลงได้ และขอกราบขอบพระคุณประธานและกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์จรูญ มหิทธิพงศ์ รองศาสตราจารย์ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย และผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ ที่ได้ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่าง ๆ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและครูบาอาจารย์ที่ช่วยอบรมให้การศึกษาแก่ผู้วิจัยตลอดมา นอกจากนี้ขอขอบคุณน้องสาว คุณสุวรรณา ลิขิตศิริวิทย์ และเพื่อนนิสิตที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา

ท้ายนี้ หวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจที่จะนำไปเป็นแนวทางการออกแบบการทดลอง เพื่อประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองเชิงสถิติ.....	4
2.2 วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง.....	6
2.3 คำจำกัดความ.....	6
2.4 หลักในการออกแบบการทดลอง.....	6
2.5 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง.....	8
2.6 การใช้หลักการทางสถิติในการทดลอง.....	9
2.7 การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง.....	22
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 การเคลื่อนเงินและการผลิตกระแสเงิน.....	28
3.1 วิวัฒนาการกระแสเงิน.....	28
3.2 ส่วนประกอบกระแสเงิน.....	28
3.3 กระบวนการผลิตกระแสเงิน.....	29

3.4	ประสิทธิภาพการเคลือบเงิน.....	33
3.5	การไตเตรตเงิน.....	34
บทที่ 4	ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเคลือบเงิน.....	35
4.1	บทนำ.....	35
4.2	การเลือกปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย.....	37
4.3	สรุป.....	43
บทที่ 5	การออกแบบการทดลอง.....	44
5.1	การออกแบบแผนการทดลอง.....	44
5.2	กำหนดปัญหาที่สนใจ.....	44
5.3	การเลือกปัจจัยที่ทำการศึกษา.....	45
5.4	การเลือกตัวแปรตอบสนอง.....	47
5.5	การเลือกแบบการทดลอง.....	47
5.6	ดำเนินการทดลอง.....	49
5.7	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	49
บทที่ 6	ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง.....	64
6.1	ขั้นตอนการทดลอง.....	64
6.2	การจัดเตรียมวัสดุดิบ.....	64
6.3	การเคลือบเงิน.....	64
6.4	การตัดตัวอย่างกระจกที่ผ่านการเคลือบเงิน.....	65
6.5	การไตเตรตเพื่อหาน้ำหนักฟิล์มเงินที่เคลือบติดบนผิวกระจก.....	66
6.6	อุปกรณ์และสารเคมีในการทดลอง.....	67
6.7	สรุป.....	67
บทที่ 7	ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	68
7.1	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ในการทดลองเบื้องต้น.....	68
7.2	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม.....	72

7.3 การหาสภาวะที่เหมาะสม.....	78
7.4 การทดสอบเพื่อยืนยันผล.....	82
บทที่ 8 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	85
8.1 สรุปผลการวิจัย.....	85
8.2 ข้อจำกัดของการวิจัย.....	86
8.3 ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็น.....	87
รายการอ้างอิง.....	88
ภาคผนวก.....	90
ประวัติผู้เขียน.....	123

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัย 2 ปัจจัย (ANOVA TABLE).....	15
2.2 ค่าคาดหวังของกำลังสองเฉลี่ยของรูปแบบอิทธิพลสุ่มของ 3 ปัจจัย.....	21
4.1 สรุปเหตุผลที่ใช้ในการเลือกปัจจัยต่าง ๆ.....	38
4.2 แสดงเหตุผลที่ไม่เลือกปัจจัยต่าง ๆ.....	39
4.3 ปัจจัยที่ถูกเลือกใช้ในการทดลอง.....	42
4.4 ปัจจัยที่ถูกควบคุมในการทดลอง.....	42
5.1 การกำหนดปัจจัยและระดับปัจจัย.....	47
5.2 แสดงการคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	51
5.3 แผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น.....	55
5.4 เมตริกการออกแบบการทดลอง.....	57
5.5 การสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomization) ในการทดลอง.....	58
5.6 แผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม.....	59
5.7 เมตริกการออกแบบ.....	61
5.8 การสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomization) ในการทดลอง.....	62
5.9 ตารางบันทึกผลการทดลองเพื่อยืนยันผล.....	63
7.1 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น.....	68
7.2 แสดงผลการวิเคราะห์ของการทดลองเบื้องต้น.....	72
7.3 แสดงข้อมูลในการทดลองหาประสิทธิภาพการเคลือบเงิน.....	73
7.4 ตาราง ANOVA แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเคลือบเงิน.....	78
7.5 แสดงข้อมูลของประสิทธิภาพการทดสอบที่ได้จากสภาวะปัจจุบันเปรียบเทียบกับ สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง.....	83

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 สัดส่วนต้นทุนสารเคมีของกระจกเงา.....	1
2.1 แสดงถึงรูปแบบของกระบวนการหรือระบบ.....	4
2.2 แสดงอิทธิพลที่ไม่มีผลและอิทธิพลที่มีผลของปัจจัยต่อผลิตภัณฑ์.....	5
2.4 แสดงกราฟการกระจายของฟิชเชอร์ (Fisher).....	16
2.5 แสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ไม่มีผลและมีผล.....	18
3.1 ภาพแสดงส่วนประกอบของกระจกเงา.....	28
3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตกระจกเงา.....	32
3.4 แสดงกลไกของกระบวนการเคลือบเงิน.....	34
4.1 แผนภาพแสดงเหตุและผลต่อประสิทธิภาพการเคลือบเงิน.....	36
6.4 กระจกตัวอย่างขนาด 6" x 6" ที่ผ่านการเคลือบเงิน.....	65
7.1 Normal Probability Plot ของข้อมูลการทดลองเบื้องต้น.....	69
7.2 กราฟ Residual กับลำดับข้อมูลแสดงความเป็นอิสระของข้อมูลการทดลองเบื้องต้น.....	70
7.3 กราฟระหว่างค่า Residual กับอุณหภูมิแสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวน ของข้อมูลเบื้องต้น.....	71
7.4 Normal Probability Plot ของข้อมูลประสิทธิภาพการเคลือบเงิน.....	74
7.5 กราฟ Residual กับลำดับข้อมูลแสดงความเป็นอิสระของข้อมูล.....	75
7.6 กราฟระหว่างค่า Residual กับอุณหภูมิกระจกก่อนเคลือบเงินแสดงความสม่ำเสมอ ของความแปรปรวน.....	76
7.7 กราฟระหว่างค่า Residual กับปริมาณของเหลวบนกระจกซึ่งสัมพันธ์กับความดันน้ำ DI เข้า Console แสดงความสม่ำเสมอของความแปรปรวน.....	77
7.8 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเคลือบเงิน.....	79
7.9 แสดงปฏิกริยาสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระจกและปริมาณของเหลวที่มีผลต่อ ประสิทธิภาพการเคลือบเงิน.....	79
7.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ประชากร.....	84