

การศึกษาการใช้สารประกอบโลหะผสมกันในกระบวนการชุบนิเกิลและโครเมียมด้วยไฟฟ้า



นาย ชีรศักดิ์ เจริญเศรษฐกุล

## สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STUDY ON MIXED METAL COMPOUND USE FOR NICKEL AND CHROMIUM  
ELECTROPLATING PROCESSES



Mr. Teerasak Charoensettakul

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2007

Copyright of Chulalongkorn University


หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษาการใช้สารประกอบโลหะผสมกันในกระบวนการชุบนิเกิล  
และ โครเมียมด้วยไฟฟ้า  
โดย                              นายธีรศักดิ์ เจริญเศรษฐกุล  
สาขาวิชา                      วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
อาจารย์ที่ปรึกษา              ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
( ศาสตราจารย์ ดร. ชีเรก ลาวัณย์ศิริ )

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช )

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร )

  
..... กรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ จีรพัฒน์ เจาประเสริฐวงศ์ )

  
..... กรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัสน์ รัตนเกื้อกังวาน )

ธีรศักดิ์ เจริญเศรษฐกุล : การศึกษาการใช้สารประกอบโลหะผสมกันในกระบวนการชุบ  
นิกเกิลและ โครเมียมด้วยไฟฟ้า (STUDY ON MIXED METAL COMPOUND USE FOR  
NICKEL AND CHROMIUM ELECTROPLATING PROCESSES)

อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร , 172 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นของสารประกอบโลหะชนิด  
นิกเกิลและ โครเมียมที่เหมาะสมในกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีใน  
บ่อน้ำยาชุบนิกเกิลและ โครเมียม ที่ประกอบด้วยบ่อน้ำยานิกเกิลและ โครเมียมจำนวน 4 บ่อ คือบ่อ  
Semi-Ni , บ่อ Tri-Ni, บ่อ Bright-Ni และบ่อ Bright-Cr โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของ  
ชิ้นงาน ซึ่งชิ้นงานที่ทำการศึกษาคือชิ้นส่วนป้องกันความร้อนจากท่อไอเสีย (Protector Muffler)  
และท่อระบายไอเสีย (Exhaust Pipe) โดยศึกษาสภาพปัจจุบันของกระบวนการชุบและความเข้มข้น  
ของสารประกอบโลหะชนิดนิกเกิลและ โครเมียมที่มีผลต่อค่าความหนาของชั้นนิกเกิลและ โครเมียม  
โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการอัลตราโซนิกที่ความเข้มข้นของสารชุบประกอบชนิด  
นิกเกิลที่ 240, 250, 260 และ 275 กรัมต่อลิตร ในบ่อ Semi-Ni, บ่อ Tri-Ni , บ่อ Bright-Ni และความ  
เข้มข้นของสารชุบประกอบชนิดโครเมียมที่ 260, 280 และ 315 กรัมต่อลิตร ในบ่อ Bright-Cr  
หลังจากนั้นทำการทดลองในสายการผลิตจริงที่ความเข้มข้นของสารชุบประกอบชนิดนิกเกิลที่ 250,  
260 และ 275 กรัมต่อลิตร ในบ่อ Semi-Ni , บ่อ Tri-Ni , บ่อ Bright-Ni และความเข้มข้นของสารชุบ  
ประกอบชนิดโครเมียมที่ 260, 280 และ 315 กรัมต่อลิตร ในบ่อ Bright-Cr

การออกแบบการทดลองปัจจัยเดียวได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าความหนาทำให้ทราบว่า  
ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆจะมีผลต่อค่าความหนาอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่มีข้อบกพร่องของ  
คุณสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของสารชุบประกอบชนิด  
นิกเกิลที่ 260 กรัมต่อลิตร ในบ่อ Semi-Ni, บ่อ Tri-Ni , บ่อ Bright-Ni และ ความเข้มข้นของสารชุบ  
ประกอบชนิดโครเมียมที่ 260 กรัมต่อลิตร ในบ่อ Bright-Cr เป็นสภาวะ ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ค่า  
ความหนาและคุณภาพของชิ้นงานผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ภายหลังจากการศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อค่าความหนาแล้วได้นำไปประยุกต์ใช้กับ  
การผลิตจริง โดยควบคุมค่าความเข้มข้นให้อยู่ในระดับที่กำหนด พบว่าปริมาณสารเคมีที่ใช้ลดลง  
จาก 0.033 กิโลกรัมต่อชิ้น เหลือ 0.029 กิโลกรัมต่อชิ้น หรือคิดเป็นลดลง 12.12 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้  
ค่าใช้จ่ายลดลงจาก 11.08 บาทต่อชิ้น เหลือ 9.56 บาทต่อชิ้นหรือคิดเป็นลดลง 13.72 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม..... ลายมือชื่อนิสิต.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหกรรม..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา.....2550..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 467 14552 21: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: ELECTROPLATING/ NICKEL AND CHROMIUM/ THICKNESS


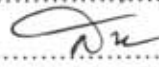
TEERASAK CHAREONSETTAKUL: STUDY ON MIXED METAL COMPOUND USE FOR NICKEL AND CHROMIUM ELECTROPLATING PROCESSES.

THESIS ADVISOR: ASST.PROF.SOMCHAI PUAJINDANETR, Ph.D., 172 pp.

The objective of the research were to (1) study the proper concentration of mixed metal compounds for nickel and chromium electroplating processes, and (2) reduce the cost of mixed metal compounds for nickel and chromium tank which have 4 tanks which were Semi-Ni tank, Tri-Ni tank, Bright-Ni tank and Bright-Cr tank by without any effect on the product quality. The products were Protector Mufflers and Exhaust Pipes. The research emphasized on the relation between concentration of mixed metal compounds and the thickness value for nickel and chromium. Hull Cell test method was applied for trial in laboratory which have concentration of mixed metal compounds for nickel at 240, 250, 260 and 275 g/l in Semi-Ni tank, Tri-Ni tank, Bright-Ni tank and concentration of mixed metal compounds for chromium at 260, 280 and 315 g/l in Bright-Cr. tank. The experimental results were carried on to production line which have concentration of mixed metal compounds for nickel at 250, 260 and 275 g/l in Semi-Ni tank, Tri-Ni tank, Bright-Ni tank and concentration of mixed metal compounds for chromium at 260, 280 and 315 g/l in Bright-Cr tank.

The study found that the different concentrations affecting the thickness value by significant without any effect on physical qualification of products. Furthermore, It found out that concentration of mixed metal compounds for nickel at 260 g/l in Semi-Ni tank, Tri-Ni tank, Bright-Ni tank and concentration of mixed metal compounds for chromium at 260 g/l in Bright-Cr tank is the best concentration which result of thickness value and product quality within the standard.

After applying the suitable concentration obtained from the experiment to the production line, the factory could reduce the chemical usage from 0.033 kg/work piece to 0.029 kg/work piece or decreasing 12.12 percent, and also reduce the cost of chemical from 11.08 baht/work piece to 9.56 baht/work piece, or reducing 13.72 percent

Department.....Industrial Engineering.....	Student's signature..... 
Field of study.....Industrial Engineering.....	Advisor's signature..... 
Academic year.....2007.....	Co-advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้ความรู้ทางทฤษฎี หลักการ ตลอดจนแนวทางการแก้ไขปัญหา และอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำวิจัยอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ข้าพเจ้าในการทำวิจัยครั้งนี้ และกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย วิจิรวนิช ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกั้วาน กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ พร้อมทั้งตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง ภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี

ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณมิ่ง สุดจิตตานนท์ คุณสำเร็จ ขำอ่วม คุณฉัตรชัย บำรุงพรไพศาล ที่อนุญาตให้ผู้วิจัยได้ศึกษาทำวิจัยภายในโรงงานตัวอย่าง ขอขอบคุณน้องเสถียร ศัชฎยาวัตร น้องจิตติมา มีโพนทอง รวมถึงพี่ๆเพื่อนๆน้องๆพนักงานทุกท่านในโรงงานตัวอย่างที่ได้ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการทำการทดลองให้สำเร็จลุล่วงด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ผู้ทำวิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ พี่น้อง ขอขอบคุณคุณคุณกอร์ปบุญ ภาวะกุล คุณพนม เหล่าประชาสกุล คุณนันทิ พินิจรัตนพันธ์ คุณสุชาติ แซ่เต้ คุณธนัญชัย พงษ์เทพนิวัติ คุณธีระชัย ดีสมสุข คุณนโรดม กล่อมเอี่ยม และทุกท่านที่มีได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยเสมอมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี ประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้เขียนขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมาไว้ ณ โอกาสนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัยดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การชูลโลหะด้วยไฟฟ้า.....	3
2.2 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง.....	17
2.3 แนวทางในการออกแบบการทดลอง.....	20
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
3. การศึกษาสภาพปัจจุบัน.....	37
3.1 ข้อมูลของโรงงานที่ทำการศึกษา.....	37
3.2 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี.....	52
4. อุปกรณ์การทดลองและขั้นตอนการทดลอง.....	54
4.1 อุปกรณ์การทดลองชูลนิกเกิล - โครเมียมด้วยไฟฟ้า.....	54
4.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	55
4.3 ขั้นตอนการวัดค่าความหนาชั้นผิวนิกเกิล - โครเมียม.....	58

บทที่	หน้า
4.4 ขั้นตอนการทดลอง HULL CELL TEST.....	60
4.5 การทดลองที่สายการผลิต.....	62
4.6 การทดลองที่ห้องปฏิบัติการ (HULL CELL TEST).....	63
5. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ .....	67
5.1 ผลการทดลองวัดค่าความหนาชั้นนิกเกิล-โครเมียมของการทดลองในห้อง ปฏิบัติการ.....	67
5.2 ผลการทดลองวัดค่าความหนาชั้นนิกเกิล-โครเมียมของการทดลองใน Line Plating.....	68
5.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	87
5.4 การออกแบบการทดลองแบบ General full factorial design.....	88
5.5 การกำหนดระดับในการทดลองแบบ General full factorial design.....	88
5.6 การวิเคราะห์ผลข้อมูล.....	91
5.7 ผลการปรับปรุง.....	120
6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	123
6.1 สรุปผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารชุบ ประกอบชนิดนิกเกิล-โครเมียมที่เหมาะสมในกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า.. ...	123
6.2 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย.....	125
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	125
รายการอ้างอิง.....	126
ภาคผนวก.....	127
ภาคผนวก ก. ....	128
ภาคผนวก ข. ....	142
ภาคผนวก ค. ....	151
ภาคผนวก ง.....	168
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	172



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงวิธีการคำนวณค่าแอมแปร์มินิต.....	11
2.2 แสดงค่าการทดลอง.....	22
2.3 แสดงลำดับการทดลองแบบสุ่ม.....	22
2.4 แสดงข้อมูล(หน่วย $ib/in^2$ ) จากการทดสอบความต้านทานแรงดึง.....	23
2.5 ข้อมูลสำหรับการทดลองปัจจัยเดียว.....	25
2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับปัจจัยเดียว แบบจำลองผลกระทบคงที่.....	33
3.1 แสดงลำดับการชุบชิ้นงานในไลน์นิกเกิลและโครเมียม.....	45
3.2 รายละเอียดขั้นตอนการชุบ NICKEL-CHROMIUM ในส่วนของการทำ ความสะอาดก่อนการชุบ ( Pretreatment Line).....	46
3.3 สถานะของถังน้ำยา PRETREATMENT LINE .....	47
3.4 รายละเอียดขั้นตอนการชุบ NICKEL .....	47
3.5 สถานะของถังน้ำยา NICKEL LINE .....	48
3.6 รายละเอียดขั้นตอนการชุบ CHROMIUM.....	48
3.7 สถานะของถังน้ำยา BRIGHT CHROMIUM LINE .....	49
3.8 รายละเอียดสารเคมีของกระบวนการชุบ NICKEL-CHROMIUM ในส่วนของ การทำทำความสะอาดก่อนการชุบ ( Pretreatment Line).....	49
3.9 รายละเอียดสารเคมีของกระบวนการชุบ NICKEL.....	50
3.10 รายละเอียดสารเคมีของกระบวนการชุบ CHROMIUM.....	51
3.11 ข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในกระบวนการชุบนิกเกิล-โครเมียมในปี 2549.....	52
4.1 ขั้นตอนการทดลองที่ LINE PLATING.....	62
4.2 ค่าความเข้มข้น Standard .....	63
4.3 ค่าความเข้มข้น ต่ำกว่า Standard.....	63
5.1 ผลความหนาของชั้นนิกเกิล (Ni) ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ของน้ำยาชุบในบ่อSEMI ที่ความเข้มข้น240, 250, 260 และ275 กรัมต่อลิตร.....	69
5.2 ผลความหนาของชั้นนิกเกิล (Ni) ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ของน้ำยาชุบในบ่อTRI ที่ความเข้มข้น240, 250, 260 และ275 กรัมต่อลิตร.....	71
5.3 ผลความหนาของชั้นนิกเกิล (Ni) ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ของน้ำยาชุบในบ่อBRIGHT ที่ความเข้มข้น240, 250, 260 และ275 กรัมต่อลิตร...	73

ตาราง	หน้า
5.4 ผลความหนาของชั้นนิกเกิล (Ni) ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ของน้ำยาชุบในบ่อBRIGHT CHROME ที่ความเข้มข้น260, 280, 260 และ315 กรัม ต่อลิตร.....	75
5.5 ผลความหนาของชั้นนิกเกิล (Ni) ที่ได้จากการทดลองในสายการผลิต ของน้ำยาชุบในบ่อSEMI ที่ความเข้มข้น250, 260 และ275 กรัมต่อลิตร.....	78
5.6 ผลความหนาของชั้นนิกเกิล (Ni) ที่ได้จากการทดลองในสายการผลิต ของน้ำยาชุบในบ่อTRI ที่ความเข้มข้น250, 260 และ275 กรัมต่อลิตร.....	80
5.7 ผลความหนาของชั้นนิกเกิล (Ni) ที่ได้จากการทดลองในสายการผลิต ของน้ำยาชุบในบ่อBRIGHT ที่ความเข้มข้น250, 260 และ275 กรัมต่อลิตร.....	82
5.8 ผลความหนาของชั้นนิกเกิล (Ni) และโครเมียม (Ni)ที่ได้จากการทดลอง ในสายการผลิตของน้ำยาชุบในบ่อBRIGHT CHROME ที่ความเข้มข้น 260, 280และ315 กรัมต่อลิตร.....	84
5.9 แสดงระดับของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลองในบ่อชุบ Ni.....	89
5.10 แสดงระดับของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลองในบ่อชุบ Cr.....	89
5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับและผลการทดลอง (Semi).....	91
5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับและผลการทดลอง (Tri).....	97
5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับและผลการทดลอง (Bright Ni).....	103
5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับและผลการทดลอง (Bright Cr for Ni thickness) .....	109
5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับและผลการทดลอง (Bright Cr for Cr thickness).....	115
5.16 ค่าใช้จ่ายสารเคมีช่วงก่อนการปรับปรุง (เดือนมกราคม 2550 ถึงเดือนกรกฎาคม 2550).....	121
5.17 ค่าใช้จ่ายสารเคมีช่วงหลังการปรับปรุง (วันที่ 1 สิงหาคม 2550 ถึงวันที่ 24 สิงหาคม 2550).....	121
5.18 อัตราการเกิดของเสียช่วงก่อนการปรับปรุง (เดือนมกราคม 2550 ถึงเดือนกรกฎาคม 2550).....	122
5.19 อัตราการเกิดของเสียช่วงหลังการปรับปรุง (วันที่ 1 สิงหาคม 2550 ถึงวันที่ 24 สิงหาคม 2550).....	122

ตาราง	หน้า	
ข.1	สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนมกราคม 2550.....	143
ข.2	สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2550.....	144
ข.3	สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนมีนาคม 2550.....	145
ข.4	สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนเมษายน 2550.....	146
ข.5	สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนพฤษภาคม 2550.....	147
ข.6	สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนมิถุนายน 2550.....	148
ข.7	สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนกรกฎาคม 2550.....	149
ข.8	สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนสิงหาคม 2550.....	150
ค.1	อัตราการเกิดของเสียประจำเดือนมกราคม 2550.....	152
ค.2	อัตราลักษณะข้อบกพร่องประจำเดือนมกราคม 2550.....	153
ค.3	อัตราการเกิดของเสียประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2550.....	154
ค.4	อัตราลักษณะข้อบกพร่องประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2550.....	155
ค.5	อัตราการเกิดของเสียประจำเดือนมีนาคม 2550.....	156
ค.6	อัตราลักษณะข้อบกพร่องประจำเดือนมีนาคม 2550.....	157
ค.7	อัตราการเกิดของเสียประจำเดือนเมษายน 2550.....	158
ค.8	อัตราลักษณะข้อบกพร่องประจำเดือนเมษายน 2550.....	159
ค.9	อัตราการเกิดของเสียประจำเดือนพฤษภาคม 2550.....	160
ค.10	อัตราลักษณะข้อบกพร่องประจำเดือนพฤษภาคม 2550.....	161
ค.11	อัตราการเกิดของเสียประจำเดือนมิถุนายน 2550.....	162
ค.12	อัตราลักษณะข้อบกพร่องประจำเดือนมิถุนายน 2550.....	163
ค.13	อัตราการเกิดของเสียประจำเดือนกรกฎาคม 2550.....	164
ค.14	อัตราลักษณะข้อบกพร่องประจำเดือนกรกฎาคม 2550.....	165
ค.15	อัตราการเกิดของเสียประจำเดือนสิงหาคม 2550.....	166
ค.16	อัตราลักษณะข้อบกพร่องประจำเดือนสิงหาคม 2550.....	167
ง.1	แบบฟอร์มตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน.....	169
ง.2	แบบฟอร์มมาตรฐานการปฏิบัติงาน.....	171

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงหลักการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า.....	4
2.2 การล้างทำความสะอาดเบื้องต้น (สมชาย มนต์เกียรติกุล, 2546).....	13
2.3 การล้างผิวก่อนชุบ (สมชาย มนต์เกียรติกุล, 2546).....	14
2.4 การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (สมชาย มนต์เกียรติกุล, 2546).....	14
2.5 กระบวนการหลังการชุบ (สมชาย มนต์เกียรติกุล, 2546).....	15
2.6 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ.....	18
2.7 แผนภาพกล่อง.....	24
2.8 แผนภาพการกระจาย.....	24
3.1 แสดงโครงสร้างองค์กรที่ทำการศึกษา.....	38
3.2 แสดงโครงสร้างองค์กรของหน่วยงานที่ทำการศึกษา.....	39
3.3 ขั้นตอนการผลิตรถจักรยานยนต์.....	40
3.4 แสดงชิ้นส่วน Protector Muffler และ Pipe Exhaust.....	41
3.5 แสดง Flow Diagram ของกระบวนการชุบ.....	42
3.6 แสดง Flow Diagram ของกระบวนการชุบ Ni – Cr. ด้วยไฟฟ้า (แบบ Bright Chromium ).....	43
3.7 แสดง Flow Diagram ของชิ้นงานที่ชุบ Ni – Cr.....	44
3.8 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในกระบวนการชุบนิกเกิล-โครเมียมในปี 2549.....	53
4.1 ภาพชิ้นงานที่ยังไม่ได้ขัดผิว.....	55
4.2 ภาพชิ้นงานที่ขัดผิวเสร็จแล้ว.....	55
4.3 น้ำยา “สีเขียวอมเทา”.....	56
4.4 น้ำยา “สีม่วง”.....	56
4.5 น้ำยา “สีเขียว”.....	57
4.6 น้ำยา “สีเขียว” ตะกอน “สีขาว” .....	57
4.7 น้ำยา “สีเขียวอมเหลือง” .....	57
4.8 น้ำยา “สีฟ้า” .....	57
4.9 ภาพการวัดค่าความหนาชั้นผิวนิกเกิล.....	59
4.10 ภาพเครื่องวัดความหนา.....	59
รูปที่	หน้า

4.11	อุปกรณ์ประกอบ.....	60
4.12	Chemical Regent.....	60
5.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการของ น้ำยาชุบในบ่อ SEMI ที่ความเข้มข้น240, 250,260และ275 กรัมต่อลิตร	70
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการของน้ำยาชุบในบ่อ TRI ที่ความเข้มข้น240, 250,260และ275 กรัมต่อลิตร.....	72
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการของน้ำยาชุบในบ่อ BRIGHT ที่ความเข้มข้น240, 250,260และ275 กรัมต่อลิตร	74
5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการของน้ำยาชุบในบ่อ BRIGHT CHROME ที่ความเข้มข้น260, 280และ315 กรัมต่อลิตร.....	76
5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Chromium ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการของน้ำยาชุบในบ่อ BRIGHT CHROME ที่ความเข้มข้น260, 280 และ315 กรัมต่อลิตร.....	77
5.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในสายการผลิตของน้ำยาชุบในบ่อ SEMI ที่ความเข้มข้น250, 260และ275 กรัมต่อลิตร.....	79
5.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในสายการผลิตของน้ำยาชุบในบ่อ TRI ที่ความเข้มข้น250, 260และ275 กรัมต่อลิตร.....	81
5.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในสายการผลิตของน้ำยาชุบในบ่อ BRIGHT ที่ความเข้มข้น250, 260และ275 กรัมต่อลิตร.....	83
5.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในสายการผลิตของน้ำยาชุบในบ่อBRIGHT CHROMEที่ความเข้มข้น260, 280และ315 กรัมต่อลิตร	85
5.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Chromium ที่ได้จากการทดลองในสายการผลิตของน้ำยาชุบในบ่อBRIGHT CHROMEที่ความเข้มข้น260, 280 และ315 กรัมต่อลิตร.....	86
5.11	กราฟแสดงการวิเคราะห์टक้างของผลการทดลอง (Semi).....	92
5.12	แสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง (Semi).....	93
5.13	แสดงผลการทดสอบความความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนटक้างกับค่าฟิต (Semi)...	94
5.14	ผลของการการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial design (Semi).....	95
5.15	Main Effect Plot ของ Conc. of Semi Ni ที่มีผลต่อความหนา Ni ในบ่อ Semi Ni	96
	รูปที่	หน้า

5.16	กราฟแสดงการวิเคราะห์หาค่าของผลการทดลอง (Tri).....	98
5.17	แสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง (Tri).....	99
5.18	แสดงผลการทดสอบความความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าฟีด (Tri)....	100
5.19	ผลของการการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial design (Tri).....	101
5.20	Main Effect Plot ของ Conc. of Semi Ni ที่มีผลต่อความหนา Ni ในบ่อ Tri Ni	102
5.21	กราฟแสดงการวิเคราะห์หาค่าของผลการทดลอง (Bright Ni).....	104
5.22	แสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง (Bright Ni).....	105
5.23	แสดงผลการทดสอบความความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าฟีด (Bright Ni)	106
5.24	ผลของการการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial design (Bright Ni)	107
5.25	Main Effect Plot ของ Conc. of Semi Ni ที่มีผลต่อความหนา Ni ในบ่อ Bright Ni	108
5.26	กราฟแสดงการวิเคราะห์หาค่าของผลการทดลอง (Bright Cr for Ni thickness)	110
5.27	แสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง (Bright Cr for Ni thickness).....	111
5.28	แสดงผลการทดสอบความความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าฟีด (Bright Cr for Ni thickness).....	112
5.29	ผลของการการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial design (Bright Cr for Ni thickness).....	113
5.30	Main Effect Plot ของ Conc. of Semi Ni ที่มีผลต่อความหนา Ni ในบ่อ Bright Cr.....	114
5.31	กราฟแสดงการวิเคราะห์หาค่าของผลการทดลอง (Bright Cr for Cr thickness)	116
5.32	แสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง (Bright Cr for Cr thickness).....	117
5.33	แสดงผลการทดสอบความความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าฟีด (Bright Cr for Cr thickness).....	118
5.34	ผลของการการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial design (Bright Cr for Cr thickness).....	119
5.35	Main Effect Plot ของ Conc. of Semi Ni ที่มีผลต่อความหนา Cr ในบ่อ Bright Cr.....	120
ก.1	เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า.....	129
ก.2	ปั๊มลมไฟฟ้า.....	129
ก.3	เตาไฟฟ้า.....	130

ก.4	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล.....	130
ก.5	เครื่องทำความร้อนไฟฟ้า.....	131
ก.6	เครื่องวัดความหนาชั้นผิว निकเกิด โครเมียม.....	131
	รูปที่	หน้า
ก.7	ที่คูดน้ำยา.....	132
ก.8	Automatic Burettes.....	132
ก.9	แผ่นทองเหลือง.....	133
ก.10	กระดาษกรอง.....	133
ก.11	แท่นวางชิ้นงาน.....	134
ก.12	ชิ้นตัดเคมี.....	134
ก.13	ที่หนีบแผ่นชิ้นงาน.....	135
ก.14	ชิ้นตัดเคมี.....	135
ก.15	แผ่น निकเกิดและถุงผ้าสำหรับใส่แผ่น निकเกิด.....	136
ก.16	กล่อง ฮัลเซลล์ (Hull Cell) .....	136
ก.17	ตัวล่อโครเมียม.....	137
ก.18	เทอร์โมมิเตอร์.....	137
ก.19	Stand Burette.....	138
ก.20	Stand.....	138
ก.21	ขวดทรงกรวย.....	139
ก.22	กระบอกลดความดันมาตรฐาน.....	139
ก.23	ปิเปต.....	140
ก.24	กรวย.....	140
ก.25	บีกเกอร์ขนาด 500 ml .....	141
ก.26	บีกเกอร์ขนาด 2,000 ml.....	141

# บทที่ 1

## บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์โดยเฉพาะอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนและประกอบรถจักรยานยนต์มีอัตราการเติบโตอย่างต่อเนื่อง ประกอบกับนโยบายจากรัฐบาลที่สนับสนุนการลงทุนในอุตสาหกรรมยานยนต์ และชิ้นส่วนยานยนต์รวมถึงการสนับสนุน ในกลุ่มผู้ประกอบการธุรกิจขนาดกลาง และขนาดเล็กภายในประเทศที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์โดยคณะกรรมการส่งเสริม การลงทุนได้กำหนดให้อุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมเป้าหมาย ที่มุ่งเน้นให้เกิดการพัฒนาทักษะเทคโนโลยีและนวัตกรรม เพื่อให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลาง และฐานการผลิต เพื่อการส่งออกของภูมิภาค

ดังนั้นผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์จึงควรให้ความสำคัญกับการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการผลิตอันรวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตโดยเฉพาะในด้านการใช้สารเคมีหรือวัตถุอันตรายให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตและก่อให้เกิดผลดีต่อสิ่งแวดล้อม ในด้านการใช้วัตถุอันตรายจากแหล่งธรรมชาติ และลดการปล่อยของเสีย ออกสู่สิ่งแวดล้อม ให้น้อยที่สุด

งานวิจัยนี้จึงขอแนะนำเสนอ การศึกษาการใช้สารผสมของสารชุบประกอบ โลหะที่เหมาะสมในกระบวนการ ชุบนิเกิล-โครเมียมด้วยไฟฟ้าในกระบวนการผลิต เพื่อลดการใช้สารเคมีลงและลดต้นทุนในกระบวนการผลิต

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในกระบวนการผลิตจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรต่าง ๆ เช่น วัตถุดิบ สารเคมี พลังงาน น้ำ เป็นต้น ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้ ถือเป็นต้นทุนและค่าใช้จ่ายในกระบวนการ ผลิตทั้งสิ้น โดยในอนาคตทรัพยากรเหล่านี้จะยังมีต้นทุนที่สูงขึ้น เนื่องจากมีความต้องการใช้สูงแต่มีปริมาณที่ลดลง

เพื่อตระหนักถึงเหตุผลที่กล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการชุบโลหะในโรงงานผลิตและประกอบรถจักรยานยนต์แห่งหนึ่ง มีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีที่ใช้ใน กระบวนการชุบโลหะนิเกิล-โครเมียมในปี พ.ศ.2549 ประมาณ 10 ล้านบาท นอกจากนี้ความเข้มข้นของสารชุบประกอบชนิดนิเกิลและโครเมียมมีการกำหนดค่าอยู่ในช่วงที่กว้าง และพบว่าในการทำงานยังขาดการควบคุมความเข้มข้นให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ ซึ่งส่งผลต่อค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีที่สูงขึ้น ดังนั้นในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงทำการศึกษาโดยทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นสารเคมีที่เหมาะสมของกระบวนการชุบโลหะนิเกิล-โครเมียมของโรงงานแห่งนี้



## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาความเข้มข้นของสารซุบประกอบชนิดนิกเกิลและ โครเมียมที่เหมาะสมในกระบวนการซุบโลหะด้วยไฟฟ้า

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ทำการศึกษา เฉพาะกระบวนการซุบโลหะนิกเกิลและ โครเมียมในส่วนของสารซุบประกอบชนิด นิกเกิลและโครเมียม
- 1.3.2 คุณภาพชิ้นงานหลังผ่านการซุบจะถูกตรวจสอบคุณภาพทางด้านความเรียบผิว ความหนา ความคงทนต่อการกัดกร่อนและสภาพผิวภายนอก

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา และวิจัยดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
  - 1.4.2 ศึกษากระบวนการซุบโลหะ
  - 1.4.3 ทำการทดลองและวิเคราะห์ความเข้มข้นของ โลหะในสารประกอบของสารซุบ (Electrolyte) ที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงาน
  - 1.4.4 วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อเลือกสภาวะการซุบที่ดีที่สุด
  - 1.4.5 เปรียบเทียบผลที่ได้หลังการทดลองกับสภาพการซุบในปัจจุบัน
  - 1.4.6 อภิปรายและสรุปผลการทดลอง
  - 1.4.7 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์
- ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย ตั้งแต่ สิงหาคม 2548 – สิงหาคม 2550

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทำให้ทราบถึงความเข้มข้นสารเคมีที่เหมาะสมของกระบวนการซุบโลหะ
- 1.5.2 ลดค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีที่ใช้ในการผลิต
- 1.5.3 เพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการซุบโลหะ

## บทที่ 2

### ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (2524:7) ได้ให้นิยามของการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าว่า คือการทำให้โลหะชนิดหนึ่งไปเคลือบเกาะบนโลหะอีกชนิดหนึ่งโดยกรรมวิธีทางไฟฟ้า และเคมีโดยจุ่มชิ้นงานที่จะทำการชุบลงในน้ำยาชุบ ชิ้นงานนั้นต่อเข้ากับขั้วไฟฟ้า เมื่อครบวงจร โลหะจากน้ำยาชุบและ/หรือจากตัวล่อจะไปเกาะบนชิ้นงาน

วัตถุประสงค์ของการชุบเคลือบผิว (สมชาย มนต์เกียรติกุล, 2546)

1. เพื่อเพิ่มความสวยงาม (Decorative Application)
2. เพื่อผลทางวิศวกรรม (Engineering Application) โดยมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ต้องการ เช่น เป็นชั้นการป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion Resistance), คุณสมบัติพิเศษบางประการของผิวชุบ (Special Surface Properties), คุณสมบัติทางวิศวกรรมหรือกายภาพ (Engineering or mechanical properties) เช่น ความแข็ง (hardness), ความทนทานต่อการขัดสี (Wear Resistance)

องค์ประกอบพื้นฐานของการชุบเคลือบผิว

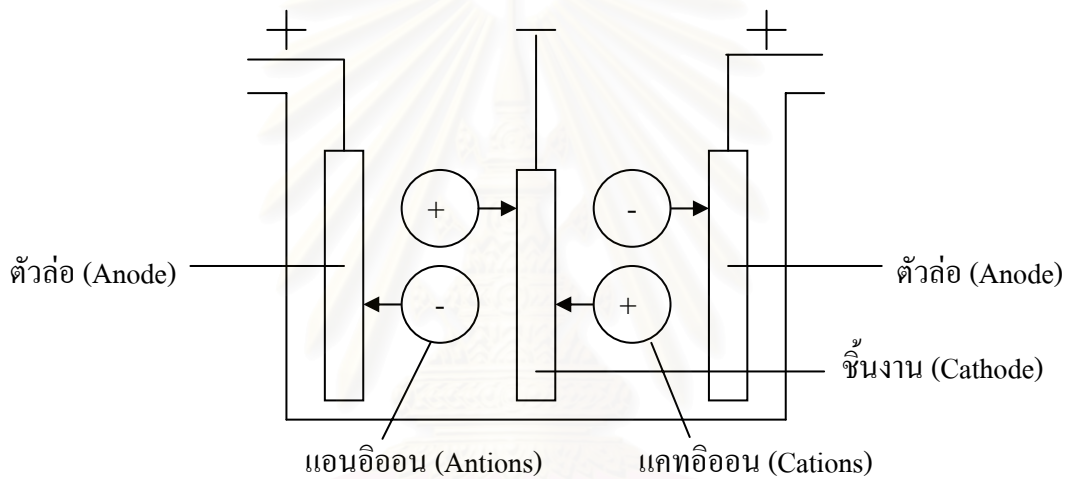
1. อุปกรณ์ชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC supply, Rectifier)
2. น้ำยาชุบ (Electrolyte)
3. ชิ้นงานที่ต้องการชุบ (Substrate)
4. แอโนด, ตัวล่อ (Anode) แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ
  - 4.1 ตัวล่อที่ละลายได้ (Soluble Anode) ตัวอย่างเช่น Copper Anode, Nickel Anode และ Silver Anode
  - 4.2 ตัวล่อที่ไม่ละลาย (Insoluble Anode) ตัวอย่างเช่น Stainless steel Anode, Pt/Ti Anode และ Graphite Anode

ชิ้นงานที่จะทำการชุบจะต้องเป็นโลหะหรือวัสดุอื่นที่เคลือบผิวด้วยวัสดุสื่อ นำไฟฟ้าไว้ก่อนแล้ว เพื่อให้เป็นสื่อไฟฟ้า กระแสที่ใช้ชุบต้องเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (D.C.) มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าและความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม ในการชุบต้องจุ่มชิ้นงานที่จะชุบลงในน้ำยาชุบหรืออิเล็กโทรไลต์

(Electrolyte) โดยต่อชิ้นงานที่จะชุบเข้ากับขั้วลบ (-) และต่อแผ่นตัวล่อซึ่งเป็นโลหะชนิดเดียวกันกับเนื้อโลหะที่จะนำมาเคลือบผิวชิ้นงาน (หรือจะใช้โลหะชนิดอื่นที่เหมาะสม) ต่อขั้วบวก (+)

น้ำยาชุบจะเป็นตัวนำไฟฟ้าและจะแยกสลายตัวออกเป็นอนุภาคเล็กๆ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน อนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าบวก (+) จะวิ่งไปเกาะกับขั้วลบ (-) ซึ่งเป็นตัวชิ้นงานที่ต้องการชุบนั่นเอง อนุภาคที่เป็นประจุไฟฟ้าลบ (-) จะวิ่งไปเกาะที่ขั้วบวก (+) ซึ่งเป็นแผ่นตัวล่อ (พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์, 2543)

### หลักการเบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า น้ำยาชุบโลหะ (Electrolytes)



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

จากการวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ ได้พบว่าตัวนำไฟฟ้าแบ่งได้เป็นสองพวก คือ

พวกที่หนึ่ง เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เป็นแต่เพียงสะพานเพื่อให้ไฟฟ้าผ่านได้เท่านั้น เช่น โลหะต่างๆ และแกรไฟต์

พวกที่สอง เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองแยกสลายออกเป็นอนุภาคเล็กๆ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวของมัน เช่น น้ำเจือกรด และสารละลายของเกลือต่างๆ เป็นต้น ตัวนำไฟฟ้าพวกหลังนี้ในทางวิทยาศาสตร์ ใช้ชื่อว่า อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytes) ไมเคิล ฟาราเดย์ นักวิทยาศาสตร์คนสำคัญคนหนึ่งของโลกได้ตั้งชื่อนี้ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1832 – 1833 ตัวนำไฟฟ้าพวกที่สองนี้เองที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าโดยตรง

เมื่อเราผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายของอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้แผ่นแพลตตินัมเป็นขั้วอิเล็กโทรด อนุภาคเล็กๆพวกหนึ่งของอิเล็กโทรไลต์จะวิ่งไปยังแอโนด (Anode) หรือขั้วบวก อนุภาคเล็กๆอีกพวกหนึ่งของอิเล็กโทรไลต์จะวิ่งไปยังแคโทด (Cathode) หรือขั้วลบ อนุภาคเล็กๆของอิเล็กโทรไลต์ที่วิ่งไป

ยังขั้วบวกหรือขั้วลบดังกล่าวนี้เรียกว่า อีออน (Ions) แต่ละอีออนจะมีประจุไฟฟ้าประจำตัวทุกตัว อีออนที่วิ่งไปยังขั้วบวกเรียกว่า แอนไอออน (Anions) จะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ (-) ประจำตัว อีออนที่วิ่งไปยังขั้วลบเรียกว่า แคตไอออน (Cations) จะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ (+) ประจำตัว ขณะที่เกิดการแยกสลายดังกล่าวในสารละลายนั้น เราจะมองไม่เห็นปฏิกิริยาใดๆเกิดขึ้นในสารละลายนั้นเลย แต่จะไปเห็นปฏิกิริยาเกิดขึ้นที่ขั้วลบ หรือขั้วบวก ตัวอย่างเช่นในสารละลายของอิเล็กโทรไลต์บางชนิด ที่ใช้แผ่นแพลตตินัมเป็นขั้วบวกและขั้วลบ เมื่อต่อแผ่นขั้วทั้งสองเข้ากับแบตเตอรี่ทั้งสองให้ครบวงจร จะปรากฏว่ามีฟองแก๊สออกซิเจนเกิดขึ้นที่ขั้วบวก และมีฟองแก๊สไฮโดรเจนเกิดขึ้นที่ขั้วลบ เป็นต้น

การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า(Electroplating) แบ่งการชุบออกเป็นหลายประเภท เช่น ชุบทองแดง ค้าง ทองแดงกรด นิกเกิล เงิน ทอง แพลตตินัม โรเดียม ฯลฯ โดยใช้หลักการเดียวกันเพียงแต่เปลี่ยนน้ำยาชุบเปลี่ยนแผ่นตัวต่อ และปรับแรงเคลื่อนไฟฟ้า (โวลต์) หรือปรับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร) ให้เหมาะสมเท่านั้น

น้ำหนักของโลหะที่เข้าไปเคลือบบนชิ้นงานเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้าและเวลา (= กระแสxเวลา) ที่ผ่านลงไปโดยสารละลายอิเล็กโทรไลต์ น้ำหนักของโลหะต่างชนิดกันที่ได้จากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่างกัน โดยผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปเป็นปริมาณเท่ากันจะเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักสมมูล (น้ำหนักอะตอม/วาเลนซี) ของโลหะนั้นๆ น้ำหนักของโลหะสามารถคำนวณได้จากกฎของฟาราเดย์ดังนี้

$$W = \frac{ItA}{zF}$$

W = น้ำหนักโลหะที่เข้าไปเคลือบ (กรัม)

I = กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

T = เวลา (วินาที)

A = น้ำหนักอะตอม

z = วาเลนซี

F = ค่าคงที่ 96,500 Coulombs

### ประสิทธิภาพของการชุบ (Current Efficiency) (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2524)

ในการชุบจริงๆจะพบว่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไปในน้ำยาชุบไม่ได้สิ้นเปลืองไปในการแยกสลายให้อิออนของโลหะที่ต้องการชุบไปเกาะที่แคโทดอย่างเดียวแต่ยังต้องสิ้นเปลืองไปกับการแยก สลายสิ่งอื่นๆ ที่อยู่ในน้ำยาอีก เช่น ก๊าซไฮโดรเจน เป็นต้น ประสิทธิภาพขั้วลบของน้ำยานิคต่างๆจะแตกต่างกันออกไป ที่แอโนดก็เช่นเดียวกัน กระแสไฟฟ้าที่เข้าไปช่วยให้แอโนดละลายก็ไม่ได้ใช้หมดไปในการละลายแอโนดแต่อย่างเดียว กระแสไฟฟ้าต้องสูญเสียไปกับสิ่งอื่นๆอีก เช่นต้องเอาชนะความต้านทานที่เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาเคมีที่มีลักษณะเป็นเยื่อบางๆรอบๆแท่งแอโนด ต้องสูญเสียไปกับการละลายสิ่งเจือปนอื่นๆที่ผสมอยู่ในแอโนด เป็นต้น

ในการชุบโลหะโดยทั่ว ๆ ไป ถ้าประสิทธิภาพของแคโทดและแอโนดต่างก็มีประสิทธิภาพดีเลิศคือ 100% เท่ากัน นั่นคือมีโลหะไปเกาะที่แคโทดเท่าใด ที่แอโนดก็จะต้องมีโลหะละลายลงไปในน้ำยาจำนวนเท่าๆกัน ถ้าน้ำยาชุบใดเป็นเช่นนี้ ก็จะมีลักษณะดีเลิศ ไม่มีปัญหายุ่งยากใดๆจะต้องแก้ไขเลย แต่น้ำยาชุบโลหะทุกชนิดไม่ได้มีลักษณะเช่นนั้น น้ำยาทุกชนิดจะมีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วมากเนื่องจากประสิทธิภาพของขั้วบวกและขั้วลบหรือกล่าวโดยง่ายก็คือ การละลายของขั้วบวก และการจับเกาะโลหะที่ขั้วลบจะแตกต่างกันอยู่ตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้เองน้ำยาชุบโลหะแต่ละชนิดจึงจำเป็นต้องประกอบด้วยตัวยาหลายๆอย่าง เช่น ตัวที่หนึ่ง มีหน้าที่ปล่อยโลหะออกมา ตัวที่สองมีหน้าที่ช่วยให้แอโนดละลายสม่ำเสมอ, ช่วยเป็นสื่อไฟฟ้า, ตัวที่สาม มีหน้าที่ควบคุมไม่ให้น้ำยาเป็นกรดมากเกินไปหรือเป็นด่างมากเกินไป ฯลฯ ดังนี้ เป็นต้น ทั้งนี้มีจุดประสงค์ให้ขั้วบวกและขั้วลบบมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้นั่นเอง น้ำยาแต่ละชนิดประกอบด้วยตัวยาที่แตกต่างกันออกไป ตัวยาแต่ละชนิดมีหน้าที่แตกต่างกันอย่างไรเป็นเรื่องที่ช่างชุบโลหะควรศึกษาเอาไว้

ประสิทธิภาพของการชุบสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$CE = \text{Act/Theo} \times 100$$

โดยที่

CE คือ เปอร์เซนต์ประสิทธิภาพของการชุบ (Current efficiency in percent)

Act คือ น้ำหนักของโลหะที่เข้าไปเคลือบหรือกัดกร่อนจากตัวล่อ (weight of metal deposited or dissolved)

Theo คือ ค่าน้ำหนักที่คำนวณจากทฤษฎี (The corresponding weight to be expected from Faradays laws)

### ความหนาแน่นของกระแส (Current Density)

ความหนาแน่นของกระแสของขั้วลบ คือค่าของปริมาณกระแสในหน่วยแอมแปร์ต่อขนาดของพื้นที่ที่ทำการชุบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วนิยมใช้ในหน่วย แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร ความหนาแน่นของกระแสเป็นตัวแปรที่สำคัญมากตัวหนึ่งของการชุบ ซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของผิวชุบหรือประสิทธิภาพของการชุบ เป็นต้น การคำนวณหาพื้นที่ของแคโทดเพื่อทราบว่าจะจ่ายความหนาแน่นของกระแสให้แก่ชิ้นงานนั้นๆเท่าใดเป็นสิ่งจำเป็นมาก เพราะน้ำยาชุบแต่ละชนิดย่อมต้องการความหนาแน่นของกระแสแตกต่างกันออกไป และงานแต่ละชิ้นก็มีเนื้อที่ต่างๆกันด้วยเหตุนี้กระแสและเนื้อที่จึงควรต้องพิจารณาเป็นอันดับแรกก่อนที่จะจุ่มชิ้นงานลงในถังเพื่อทำการชุบ (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2534)

สมชาย มนต์เกียรติกุล (2546) กล่าวว่าความหนาแน่นของกระแสมีความสำคัญอยู่สองประการใหญ่คือ ประการแรกเป็นตัวกำหนดอัตราการเคลือบ ประการที่สองให้สภาวะการทำงานเป็นไปอย่างเหมาะสม ไม่ให้เกิดปัญหาในการชุบ เช่น การไหม้ที่ชิ้นงาน

### การกระจายของกระแส (Current Distribution) และการกระจายของความหนาของการชุบ (Deposit Thickness Distribution)

รูปร่างของชิ้นงานที่จะทำการชุบเคลือบผิวนั้นมักมีรูปร่างต่างกันออกไป เช่น กลม แบน งอ กลวง ฯลฯ รูปร่างต่างๆเหล่านี้จะชุบให้มีการเกาะจับหนาแน่นเท่ากันโดยตลอดทั่วชิ้นงานย่อมยากมาก ในการปฏิบัติ เราพบว่าความหนาของผิวชุบที่บริเวณต่างๆ บนชิ้นงานนั้นไม่ได้เท่ากัน ความหนาจริงที่เกิดขึ้น ณ ตำแหน่งนั้น ขึ้นกับความหนาแน่นของกระแสที่จุดนั้นด้วย จากการศึกษาถึงธรรมชาติการเดินทางของกระแสในการชุบโลหะพบว่า กระแสจะเดินทางไปยังจุดที่ใกล้เคียงที่สุดก่อนอย่างหนาแน่น จุดที่ห่างออกไปก็จะมีกระแสเบาบางลงไป ชิ้นงานชุบที่มีลักษณะกลวงหรือโค้งงอ ส่วนที่อยู่ลึกๆลงไปจะมีการเกาะจับบาง

### คำจำกัดความในเรื่องการชุบโลหะ

การกระตุ้น (Activation)	การกำจัดชั้นผิวที่ไม่ยอมรับสภาพการชุบ
การยึดเกาะ (Adhesion)	แรงยึดเกาะระหว่างผิวที่ชุบเคลือบกับชั้นพื้นผิว
พื้นผิว (Basis)	พื้นผิวด้านล่างที่ถูกชุบเคลือบ
ยาเงา (Brighteners)	สารที่ช่วยทำให้ความเงาของผิวชุบดีขึ้น
Drag-in	เกิดจากน้ำหรือน้ำยาที่เกาะติดไปกับชิ้นงานลงสู่น้ำยาชุบในถัง
Drag-out	เกิดจากน้ำยาชุบที่เกาะติดกับชิ้นงานออกมานอกถังชุบ
Bath Makeup (น้ำยาเมคอัพ)	เคมีภัณฑ์สำหรับผสมน้ำยาชุบ เป็นน้ำยาสำเร็จรูปที่ประกอบด้วยสารเคมีพวก replenisher (สารช่วยปรับสภาพน้ำยาชุบ) และ brightener (สารช่วยให้เงา) กับน้ำกลั่นในอัตราส่วนที่กำหนด

Bath replenishment	เคมีภัณฑ์สำหรับการดูแลรักษาน้ำยาชุบ
น้ำกลั่นหรือน้ำดี. ไอ (Deionized Water)	น้ำที่ปราศจากแร่ธาตุ
พลังชุบปิด (Covering Power)	เป็นความสามารถของการชุบที่เคลือบปิดผิวของชิ้นงานที่มีความ สลัซซึบซึอนได้โดยไม่ได้คำนึงที่หนาที่บริเวณต่างๆเลย
พลังชุบแผ่ (Throwing Power)	เป็นการวัดความสามารถของการชุบที่ทำให้ความหนาบริเวณต่างๆ สม่ำเสมอกันเพียงใด
ความชุบเรียบ (Leveling)	ความสามารถในการกลบรอยที่บริเวณผิวชิ้นงานที่จะชุบ

### อุปกรณ์สำหรับการชุบเคลือบผิว (Schmalhorst, 2000)

1. ถังชุบ (Tanks) ใช้บรรจุน้ำยาชุบ ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นที่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดใหญ่เล็กขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงานที่จะชุบ
2. ถังล้าง (Rinse tanks) บรรจุน้ำที่ใช้ล้างชิ้นงาน
3. เครื่องกรอง (Filters) น้ำยาชุบจะถูกซึมเข้าสู่เครื่องกรอง ซึ่งมีผ้ากรองคอยดักจับสิ่งสกปรกต่างๆ เพื่อกรองน้ำยาให้สะอาด
4. เครื่องกวนน้ำยา เพื่อให้ น้ำยาชุบผสมเข้ากันดีตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงาน
5. อุปกรณ์ที่ทำให้ชิ้นงานแห้ง (Drying systems)
6. ระบบดูดไอพิษ (Exhaust systems)
7. อุปกรณ์ไฟฟ้า (Electrical equipment)
  - 7.1 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifiers) เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าจากกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง
  - 7.2 มิเตอร์วัดแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้านั้นคือ แอมป์มิเตอร์และโวลต์มิเตอร์ซึ่งอยู่ในแผงควบคุมแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้า จะทำให้เราทราบถึงจำนวนกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านน้ำยาและชิ้นงาน จะได้ควบคุมให้ได้ผลตามต้องการ นอกจากนั้นการควบคุมบำรุงรักษาน้ำยาและการเติมน้ำยาต่างๆ เช่น น้ำยาเงาก็ขึ้นอยู่กับจำนวนแอมแปร์-ชั่วโมงของการใช้น้ำยาทั้งสิ้น
  - 7.3 หลอดความร้อน (Heaters) และอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control) น้ำยาชุบแต่ละชนิดจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมซึ่งจะให้สภาวะการทำงานที่ดี
  - 7.4 เครื่องโยกชิ้นงาน (Product Agitation) ในขณะที่ทำการชุบจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนขึ้นที่ชิ้นงาน ดังนั้นจึงต้องมีการโยกชิ้นงานเพื่อให้ฟองก๊าซหลุดหลุดไป
8. อุปกรณ์เพิ่มเติม (Plating accessories)
  - 8.1 ราวแขวนชุบ (Plating racks) ใช้ห้อยงานขณะชุบ โลหะที่นิยมทำเป็นราว เช่น สแตนเลส
  - 8.2 อุปกรณ์จับชิ้นงาน (Plating jigs) หรือที่จับยึดชิ้นงาน ชิ้นงานจะถูกแขวนไว้ในถังชุบ โดยมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน

## น้ำยาชุบหรืออิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

น้ำยาชุบ (Electrolyte) เป็นสารละลายของเกลือโลหะชนิดต่างๆกับสารเคมีชนิดอื่นๆที่ผสมลงไป เพื่อเพิ่มคุณสมบัติบางประการให้เหมาะกับการใช้งานและช่วยให้ประสิทธิภาพของน้ำยาชุบดียิ่งขึ้น น้ำยาชุบจะแตกต่างกันไปแล้วแต่สูตรของบริษัทของผู้ผลิตสูตรน้ำยาชุบนั้นๆ

สมชาย มนต์เกียรติกุล (2546) แบ่งส่วนประกอบของน้ำยาชุบออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

1. องค์ประกอบพื้นฐาน (Basic Plating Chemicals)
  - 1.1 เกลือของโลหะ (Metal Salts) น้ำยาชุบต้องมีเกลือของโลหะที่จะชุบละลายอยู่
  - 1.2 Conducting Salts ช่วยให้การนำไฟฟ้าของสารละลายดียิ่งขึ้น
  - 1.3 บัฟเฟอร์ (Buffers) ควบคุมให้ค่าพีเอช (pH value) คงที่
  - 1.4 Complexing Agents รวมตัวกับไอออนของโลหะที่จะชุบ
  - 1.5 Additions to promote anode corrosion ช่วยให้แอโนดละลายได้ดีขึ้น
2. ตัวเติม (Additives)
  - 2.1 Brightener ช่วยทำให้ผิวที่ได้จากการชุบเงางาม
  - 2.2 Wetting agents ช่วยลดแรงตึงผิวที่ชิ้นงานทำให้ฟองก๊าซที่บริเวณผิวชิ้นงานหลุดง่ายขึ้น
  - 2.3 Grain Refiner (Carrier) ช่วยปรับแต่งโครงสร้างของผิวเคลือบให้มีความละเอียดขึ้น
  - 2.4 Density correction salts ช่วยควบคุมความหนาแน่นของน้ำยาชุบ

น้ำยาชุบแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

1. น้ำยาชุบที่ใช้ตัวล่อที่สามารถละลายได้ คือตัวล่อจะละลายลงมาเป็นส่วนหนึ่งของความเข้มข้นของโลหะในน้ำยา เช่น น้ำยาชุบทองแดงค่างและน้ำยาชุบทองแดงเงาใช้แผ่นทองแดงเป็นตัวล่อ น้ำยาชุบนิกเกิลใช้แผ่นนิกเกิล น้ำยาชุบเงินเงาใช้แผ่นเงินเป็นตัวล่อ
2. น้ำยาชุบที่ใช้ตัวล่อที่ไม่สามารถละลายได้ เช่น น้ำยาชุบทอง โรเดียม พาราเดียม และ แพลทตินัม จะใช้แพลทตินัมในซัลไฟเตเนียม (platinized titanium) เป็นตัวล่อ ซึ่งเป็นตัวล่อประเภท inert anode ที่ไม่ละลายลงในน้ำยาชุบแต่จะควบคุมความเข้มข้นของโลหะที่เคลือบในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้โดยการเติมสารประกอบโลหะที่เหมาะสมหรือเรียกว่า เกลือโลหะ (Metal Salt) ลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยตรง

น้ำยาชุบโลหะที่ใช้ส่วนใหญ่มักจะเป็นสารเคมีและเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปจะทำให้สารบางตัวกลายเป็นก๊าซ สารบางตัวทำให้ปริมาณสารเคมีในน้ำยาชุบสูญหายไป ควรมีการเติมสารที่ขาด มิฉะนั้นแล้วน้ำยาชุบจะเสียสมดุลทำให้ชุบชิ้นงานได้ไม่สวยเท่าที่ควร



การดูแลรักษาน้ำยาชุบ (Schmalhorst, 2000)

- มีการกรองน้ำยาอย่างต่อเนื่อง
- รักษาน้ำยาชุบให้อยู่ในสภาพที่สะอาดเสมอ
- ควรมีฝาปิดที่ถังชุบเมื่อไม่ใช้งาน
- ไม่ควรอุ่นน้ำยาชุบถ้าไม่จำเป็น
- ควบคุมตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการชุบเคลือบผิวให้ถูกต้อง
- มีการตรวจวิเคราะห์น้ำยาชุบสม่ำเสมอ
- เมื่อมีสิ่งต่างๆตกลงไปในถังน้ำยาชุบให้รีบนำออกทันที

การดูแลรักษาน้ำยาให้อยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งานทำได้ดังนี้

1. รักษาระดับน้ำยาชุบให้คงที่ โดยการปรับระดับด้วยน้ำกลั่น
2. ความเข้มข้นของโลหะมีค่าลดลงได้ไม่เกิน 20%
3. ทำการวิเคราะห์หาองค์ประกอบสำคัญเป็นช่วงๆเพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการรักษา ระดับของความเข้มข้นของโลหะมีค่า
4. จัดตั้งปนเปื้อนในน้ำยาในช่วงเวลาที่เหมาะสม

**การบำรุงความเข้มข้นของโลหะโดยอาศัยเครื่องบันทึกค่าแอมแปร์•มินิต (สมชาย มนต์เกียรติกุล, 2546)**

ค่าแอมแปร์•มินิต เป็นการบันทึกค่าผลคูณแบบสะสมของกระแสไฟฟ้ากับเวลาที่ใช้ไปในการชุบของน้ำยาแต่ละชนิด ซึ่งทำให้สามารถทราบได้ว่าโลหะในน้ำยาได้ถูกเคลือบผิวไปแล้วเป็นปริมาณเท่าใด (มิลลิกรัม) ซึ่งคำนวณได้จากค่าอัตราการเคลือบผิว (มิลลิกรัมต่อแอมแปร์•มินิต) ของน้ำยาชุบโลหะแต่ละชนิด

เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น จะขอยกตัวอย่างจากน้ำยาชุบโรเดียมขนาดความจุ 1 ลิตร โดยที่ความเข้มข้นเริ่มต้นของโรเดียมคือ 2 กรัมต่อลิตร และอัตราการเคลือบผิวของน้ำยาชุบโรเดียม (Deposition rate) เป็น  $3.2 \text{ mg/A} \cdot \text{min}$  ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า  $1.0 \text{ A/dm}^2$

หลังจากชุบจนทำให้โรเดียมไปเกาะติดที่ผิวชิ้นงานประมาณ 20% (0.4 กรัม/ลิตร) จะต้องเติมยาบำรุงโรเดียม (น้ำยาบำรุง 100 มิลลิลิตร มีโรเดียม 5 กรัม) จำนวน 8 มิลลิลิตร ซึ่งมีโรเดียม 0.4 กรัม (400 มิลลิกรัม) เพื่อรักษาปริมาณโรเดียมในน้ำยาให้อยู่ในสภาพคงที่ จากค่าอัตราการเคลือบผิวของน้ำยาชุบโรเดียม (Deposition rate)  $3.2 \text{ mg/A} \cdot \text{min}$  สามารถคำนวณค่าแอมแปร์•มินิตที่จะต้องเติมยาบำรุงลงไปจากการเทียบบัญญัติไตรยางค์ดังนี้

เกลือโลหะเคลือบไป  $3.2 \text{ mg}$  เมื่อใช้ไป  $1 \text{ A} \cdot \text{min}$

เกลือโลหะเคลือบไป  $400 \text{ mg}$  เมื่อใช้ไป  $400 \cdot 1 / 3.2 = 125 \text{ A} \cdot \text{min}$

มีวิธีการคำนวณค่าแอมแปร์มินิต ตามตารางที่ 2.1 ดังนี้

แอมแปร์ (A)	เวลาชุบ (min)	A•min
$a_1$	$b_1$	$a_1b_1$
$a_2$	$b_2$	$a_2b_2$
$a_3$	$b_3$	$a_3b_3$

ตารางที่ 2.1 แสดงวิธีการคำนวณค่าแอมแปร์มินิต

หาผลรวมในคอลัมน์  $A \cdot \text{min} = (a_1 \cdot b_1) + (a_2 \cdot b_2) + (a_3 \cdot b_3) + \dots$  จนกระทั่งผลรวมที่ได้มีค่าเท่ากับ  $125 A \cdot \text{min}$  แล้วจึงเติมยาบำรุงโรเดียวลงไป 8 มล.

### ประเภทของสิ่งปนเปื้อนที่ผิวชิ้นงาน (Types of soils)

สิ่งปนเปื้อนที่ผิวชิ้นงานก่อนทำการชุบ อาจแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. สารอินทรีย์ (Organic Soils) เช่น ไขมัน (Oils) ที่มาจากพืชหรือสัตว์ wax สารหล่อลื่นในการขึ้นรูป (Lubricants)
2. สารอนินทรีย์ (Inorganic Soils) เช่น สนิม (Rust) ฟิล์มที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาที่ผิวของโลหะ (Tarnish)

### ประเภทของสิ่งเจือปนในน้ำยาชุบ (Types of Impurity)

1. ฝุ่นผงและสารที่ไม่ละลาย (Insoluble Impurities) มีที่มาจากหลายแหล่ง เช่น ฝุ่นที่ลอยอยู่ในอากาศ, สารเคมีที่ไม่บริสุทธิ์หรือหลุดมาจากตัวล่อ สารที่ไม่ละลายนี้จะไปเกาะที่ผิวงานทำให้ผิวชุบหยาบ
2. สิ่งเจือปนประเภทสารอินทรีย์ (Organic Impurities) เป็นผลมาจากการปนเปื้อนของไขมัน น้ำมัน หรือตัวเติมอินทรีย์ที่เสื่อมสภาพ (Breakdown of Organic Additives) คราบไขมันเหล่านี้กระจาย เป็นหยดเล็กๆที่ผิวงาน ทำให้ผิวชุบเป็นหลุม (Pitting) ได้ สารอินทรีย์นี้ยังอาจทำให้ผิวชุบเป็น หมอกๆมัวๆได้
3. สิ่งเจือปนประเภทโลหะ (metallic Impurities) มาจากโลหะที่ถูกกัดกร่อนหรือถูกนำเข้ามา กับ ชิ้นงาน (Drag-in) จากกระบวนการก่อนหน้า (Preceding processes) หรือตัวเติมเคมีที่ไม่บริสุทธิ์

### ผลจากสิ่งปนเปื้อน (Effect of Impurities)

1. สีของผิวชุบเป็นสีเทาหรือคล้ำ (grey, dark coatings)
2. ความสามารถในการเคลือบในชอกถึลดลง (Bad throwing power)
3. มีพื้นที่บางส่วนชุบไม่ติด (Unplated areas)
4. การเกาะติดไม่ดี (Poor adhesion)
5. ความเงาของผิวชุบลดลงหรือหมอง (Reduced brightness/hazy coatings)

### การกำจัดสิ่งปนเปื้อนของน้ำยาชุบ (Contamination of Electrolyte) แบ่งสิ่งปนเปื้อนได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. สิ่งปนเปื้อนจากสารอินทรีย์ (Organic Contamination)  
แก้ไขโดยดูดซับโดยผงถ่าน (Carbon Treatment)
2. สิ่งปนเปื้อนจากโลหะต่างๆ (metallic Contamination)  
แก้ไขโดยเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้สิ่งปนเปื้อนถูกชุบออก (Plate out) ที่บริเวณความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าต่ำ

### สิ่งพึงกระทำในการชุบ

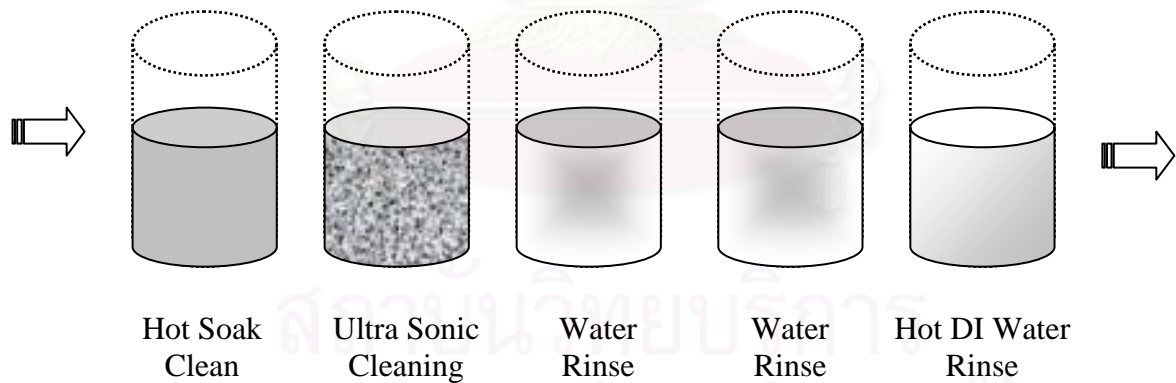
1. ควรให้กระแสไฟฟ้าก่อนจุ่มในสารละลายที่เป็นกรดแก่
2. ในกรณีชิ้นงานที่ชุบยากๆอาจใช้ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงเป็นเวลาสั้นๆ
3. ในกรณีที่ฟองก๊าซไฮโดรเจนเกาะที่ชิ้นงาน ควรเคาะที่ rack เบาๆ
4. ในขณะที่ชุบ ควรโยกแกว่งให้ดี
5. พื้นที่ของแผ่นต่อชิ้นงานควรให้ได้สัดส่วน 2:1

### กระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

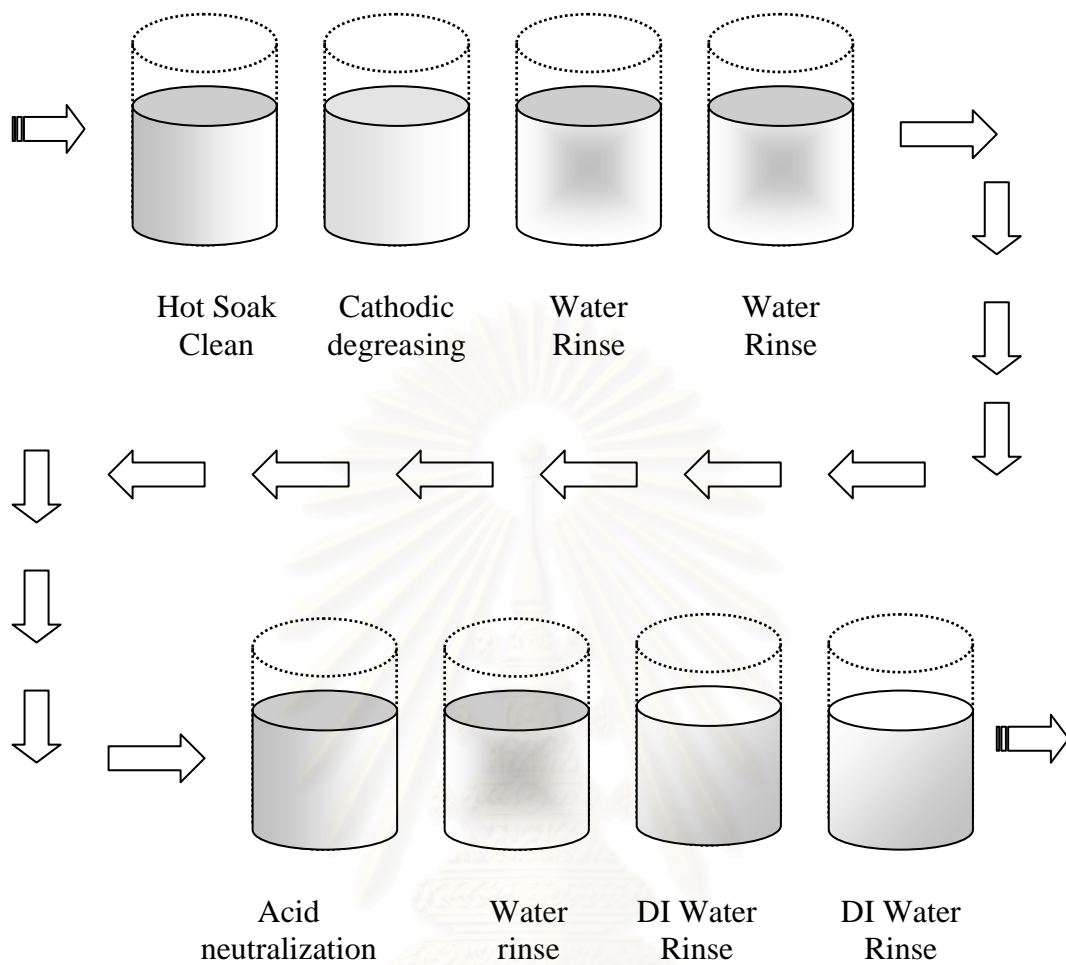
ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้านั้น ไม่ใช่เมื่อมีชิ้นงานแล้วจะนำมาชุบเป็นเงินหรือทองได้โดยตรง เพราะอาจชุบไม่ติด หรือติดแล้วล่อนออกง่าย จำเป็นจะต้องมีกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าที่ถูกต้องดังนี้  
ขั้นตอนหลักของการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าแบ่งเป็น 5 ช่วงใหญ่ๆ คือ

1. การขัดผิว (Polishing)
2. การล้างทำความสะอาดเบื้องต้น (Off Plant Cleaning)
3. การล้างผิวก่อนการชุบ (Pretreatment)
4. การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (Electroplating)
5. กระบวนการหลังการชุบ (Post-treatment)

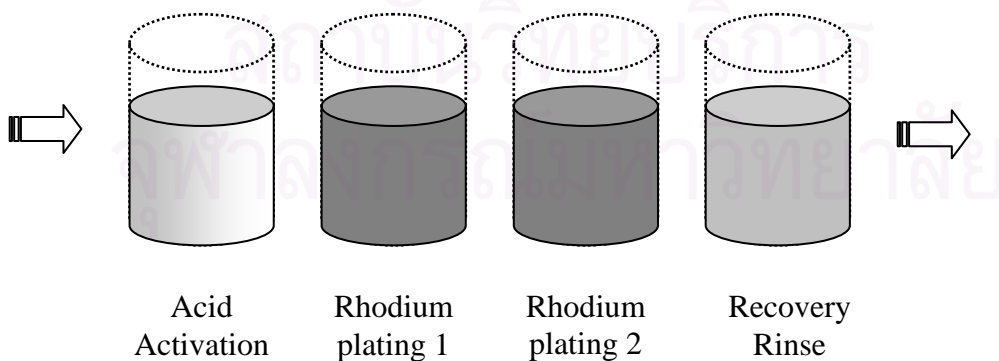
การเตรียมชิ้นงานก่อนชุบนับว่าเป็นสิ่งสำคัญมาก ชิ้นงานที่ผ่านการหล่อออกมาจะมีผิวหยาบ ขรุขระ รอยขีดข่วนต่างๆ เมื่อจะทำการชุบจะต้องผ่านการขัดผิวให้เรียบเสียก่อน จุดมุ่งหมายหลักก็คือ ระเบิดผิวชิ้นงานที่มีออกไซด์ปกคลุมอยู่ แล้วทำความสะอาดชิ้นงานให้หมดคราบไขมันต่างๆ หลักการใหญ่ของการเตรียมผิวชิ้นงานให้สะอาดสมบูรณ์คือ การขัดชิ้นงานด้วยล้อขัด แบ่งเป็นการขัดหยาบ ขัดละเอียดและขัดเงา ต่อจากนั้นจึงนำชิ้นงานมาล้างไขมันออก (การล้างทำความสะอาดเบื้องต้น) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ในกรณีที่ขัดด้วยล้อขัด คราบยาขัดเป็นสารอินทรีย์ ตัวทำละลายที่นำมาล้างคราบอินทรีย์ดังกล่าวให้ออกไปได้ดีที่สุด คือ ไตรคลอโรอีเทน และเพื่อให้ชิ้นงานสะอาดขึ้นอีก จะต้องนำชิ้นงานมาล้างผิวก่อนชุบ ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยนำมาล้างด้วยไฟฟ้า สูตรของสารเคมีที่ใช้จะเหมือนการต้มล้างด้วยด่างร้อนทุกประการ เพียงแต่เพิ่มกระแสไฟฟ้าเข้าไปช่วย โดยมีแผ่นสแตนเลสอยู่ที่ขั้วหนึ่ง และชิ้นงานอยู่ที่อีกขั้วหนึ่ง ในระหว่างการเตรียมผิวชิ้นงานก็มีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจน อาจเกิดเป็นออกไซด์บางๆขึ้นได้ ในกระบวนการชุบจึงต้องมีการจุ่มกรดกระตุ้นผิวก่อนแล้วจึงนำชิ้นงานลงชุบ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 สุดท้ายจะต้องมีกระบวนการหลังการชุบเพื่อล้างชิ้นงานให้สะอาดจากน้ำยาชุบและทำการเป่าให้แห้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (“การชุบและเคลือบผิว”, สมาคมผู้ค้าอัญมณีไทยและเครื่องประดับ)



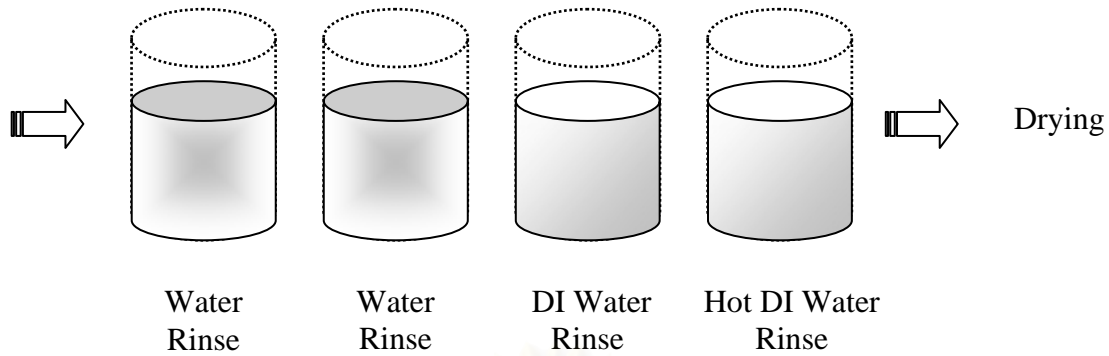
รูปที่ 2.2 การล้างทำความสะอาดเบื้องต้น (สมชาย มนต์เกียรติกุล, 2546)



รูปที่ 2.3 การล้างผิวก่อนชุบ (สมชาย มนต์เกียรติกุล, 2546)



รูปที่ 2.4 การชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า (สมชาย มนต์เกียรติกุล, 2546)



รูปที่ 2.5 กระบวนการหลังการชุบ (สมชาย มนต์เกียรติกุล, 2546)

### สภาวะการทำงานที่สำคัญของการชุบ

1. ความเข้มข้นของโลหะ
2. อุณหภูมิที่ชุบ
3. ค่าพีเอช
4. ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า
5. ความหนาแน่นของน้ำยา
6. สภาวะการกวนน้ำยา

### องค์ประกอบการชุบชิ้นงานให้มีคุณภาพดี

1. องค์ประกอบของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า คือ น้ำยาชุบ ตัวล่อ และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่ต้องถูกต้องและมีคุณภาพดี
2. เทคนิคการชุบต้องถูกต้องและมีคุณภาพดี กล่าวคือ
  - 2.1 การเตรียมชิ้นงาน ชิ้นงานโลหะที่จะนำมาชุบ ต้องมีผิวเรียบปราศจากสนิมหรือผิวขรุขระ ต้องขัดให้เรียบร้อย
  - 2.2 การล้างทำความสะอาดชิ้นงาน ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ความสะอาดเป็นสิ่งสำคัญมาก ต้องทำชิ้นงานให้สะอาดที่สุด
  - 2.3 แรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ต้องเหมาะสมกับขนาดของชิ้นงานและสูตรน้ำยาชุบ แต่ต้องไม่ต่ำหรือสูงจนเกินไป แรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูงจะทำให้ผิวชิ้นงานหยาบ ขรุขระ หรือไหม้ ถ้าต่ำจะเคลือบติดช้า ผิวละเอียดและดำ
  - 2.4 อุณหภูมิที่ใช้ขณะชุบต้องเหมาะสม

### ปัจจัยที่มีผลต่อการชุบ (Corti, 2002)

1. อุณหภูมิมีบทบาทสำคัญทำให้ได้การชุบที่ดี อุณหภูมิของน้ำยาชุบโลหะควรเป็นไปตามคำแนะนำของผู้ขายน้ำยาชุบ น้ำยาชุบสูตรต่างๆต้องการอุณหภูมิที่แน่นอนจุดหนึ่ง เพื่อผลการชุบเคลือบผิวที่ดีที่สุด
2. สภาวะทางไฟฟ้า เป็นความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า การกำหนดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ต่อพื้นที่ผิวของชิ้นงาน (แอมแปร์ต่อตารางเดซิเมตร) ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้านี้มีความสำคัญต่อคุณภาพในการชุบ ถ้ากระแสไฟฟ้าสูงจะทำให้มีความเร็วในการเคลือบผิวมาก แต่ก็อาจทำให้เกิดรูตามคได้ ถ้ากระแสไฟฟ้าต่ำอาจได้ลักษณะปรากฏที่ไม่ดี (not have good appearance) และทำให้การชุบช้าลง
3. ค่า พีเอช เช่นเดียวกับอุณหภูมิต้องมีการกำหนดค่า พีเอช ที่แน่นอน
4. การเขย่ากวนน้ำยา การชุบเคลือบผิวต้องมีการเขย่ากวนน้ำยาเพื่อให้ประจุของโลหะในน้ำยามีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ในขณะที่ชุบจะต้องมีการโยกหรือกวนสารละลายเพื่อให้มีสภาวะเหมาะสมและส่วนผสมในสารละลายกระจายสม่ำเสมอ
5. ส่วนผสมของน้ำยาชุบโลหะ น้ำยาชุบโลหะที่ดีต้องมีความเข้มข้นของโลหะที่ต้องการเคลือบเพียงพอ และมีตัวเติมต่างๆในปริมาณที่เหมาะสม ตัวเติมเหล่านี้จะทำหน้าที่ในการปรับปรุงน้ำยาให้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เช่น
  - เพิ่มพลังชุบแผ่ (Throwing Power) ของน้ำยาชุบทำให้มีความหนาของผิวเคลือบสม่ำเสมอกันดีทั่วทั้งชิ้นงาน
  - เพิ่มความเงาของผิวเคลือบ
  - ลดความเครียดภายในของการชุบ (Internal stress) ตัวเติมจะควบคุมการเกิดขึ้นของความเครียดเพื่อป้องกันไม่ให้ผิวเคลือบปริแตก
  - รักษาเสถียรภาพของสารเคมีในน้ำยา ตัวเติมบัฟเฟอร์ (Buffering agents) ควบคุมให้ค่าพีเอช คงที่ ตัวเติมต่างๆเหล่านี้เป็นลิขสิทธิ์ที่มีค่าและเป็นความลับของบริษัทผู้ผลิตและยากที่จะหาข้อมูลได้ว่าเป็นส่วนประกอบของอะไร โดยทั่วไปมักเป็นสารประกอบอินทรีย์ (Organic chemical compound)
  - ตำแหน่งและพื้นที่ผิวแอโนด ในการชุบโลหะ บริเวณที่อยู่ใกล้แอโนดจะมีการเคลือบที่หนากว่าและบางลงในจุดไกลห่างจากแอโนดหรือบริเวณที่ถูกบดบัง (Area hidden (or out of line of sight) from anode) การจัดวางในตำแหน่งที่ถูกต้องและพื้นที่แอโนดที่ใหญ่ (เทียบกับพื้นที่ผิวชิ้นงาน) เป็นสิ่งที่ดีต่อการชุบ

## 2.2 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง

ไม่ว่าในสาขาวิชาใดก็ตาม จะต้องมีความเกี่ยวข้องกับการทดลองบ้างไม่มากก็น้อย ทั้งนี้เพื่อให้ทราบหรือค้นพบบางสิ่งบางอย่างเกี่ยวกับกระบวนการหรือระบบบางอย่าง โดยคำศัพท์แล้วการทดลองจะหมายถึงการทดสอบ อาจจะทำให้คำนิยามของการทดลองว่าเป็นการทดสอบหรือเป็นชุดของการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นกับผลตอบขาออกได้

การออกแบบและดำเนินการทดลองและการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองเพื่อที่จะหาข้อสรุปที่มีเหตุผล การทดลองทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ฟิสิกส์ และเคมี สำหรับทางด้านวิศวกรรมศาสตร์นั้นการทดลองจะมีบทบาทที่สำคัญในการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ การพัฒนากระบวนการผลิต และการปรับปรุงกระบวนการผลิต วัตถุประสงค์หลักก็เพื่อที่จะพัฒนากระบวนการที่มีความเข้มแข็ง (Robust Process) ซึ่งความแปรผันภายนอกจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการได้น้อยมาก

ตัวอย่างของการทดลองต้องการที่จะศึกษาถึงผลกระทบของกระบวนการการชุบแข็ง 2 วิธี ที่ใช้กับโลหะผสมอะลูมิเนียม คือ วิธีการใช้น้ำมันและวิธีการใช้น้ำเกลือในที่นี้วัตถุประสงค์ในการทดลองก็เพื่อจะหาว่าสารทำลายชนิดไหนที่จะทำให้เกิดความแข็งแรงมากที่สุดต่อโลหะผสมที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ ดำเนินการวัดค่าความแข็งแรงของชิ้นงาน ค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงของชิ้นงานที่ถูกจุ่มในสารละลายต่างชนิดกัน จะนำมาใช้ในการตรวจสอบว่าสารละลายชนิดไหนดีที่สุด

หลังจากที่ได้พิจารณาการทดลองต่างๆ ตามตัวอย่างข้างต้นไปแล้ว อาจมีคำถามมากมายได้ เช่น

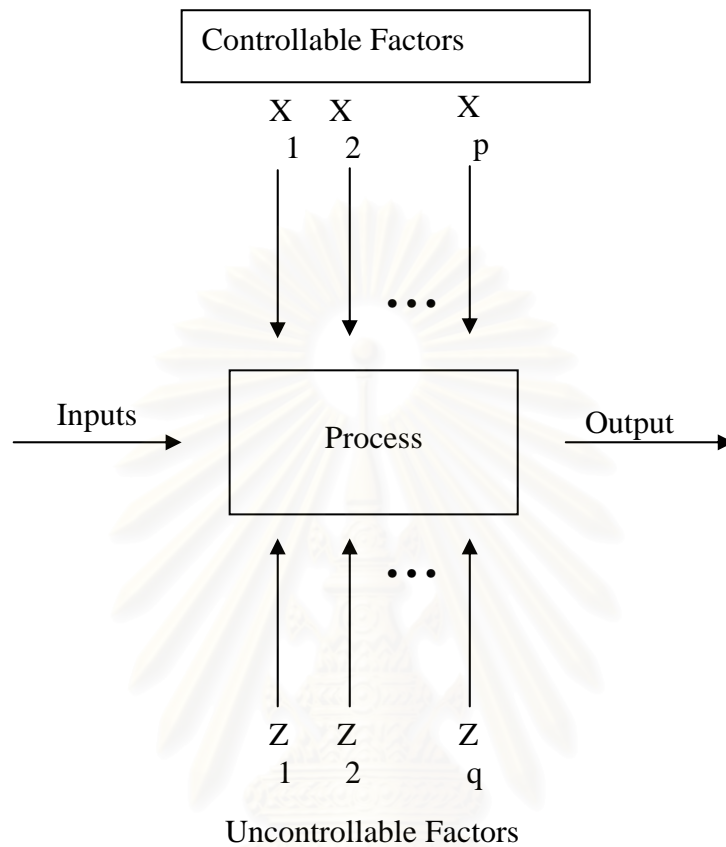
1. สารละลายสองชนิดเท่านั้นเองหรือที่สนใจ
2. มีปัจจัยอื่นอีกหรือไม่ที่อาจจะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรง ซึ่งควรตรวจสอบหรือควบคุมในการทดลอง
3. ควรจะใช้ตัวอย่างจำนวนเท่าใดในการทดลอง
4. กำหนดลำดับของชิ้นงานตัวอย่างที่จะทดสอบกับสารละลายอย่างไร
5. จะใช้วิธีการใดในการวิเคราะห์ผลการทดลอง
6. ค่าความแตกต่างขนาดใดของความแข็งแรงเฉลี่ยของชิ้นงานที่จุ่มลงในสารละลายที่แตกต่างกันจะเรียกว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

คำถามเหล่านี้และอาจจะมีคำถามอื่นๆ อีก ควรจะมีคำตอบก่อนที่ทำการทดลองจริง

ในการทดลองใดๆ ก็ตาม ผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับวิธีการการเก็บข้อมูล สมมุติว่านำชิ้นงานตัวอย่างชิ้นหนึ่งที่ถูกเผาด้วยความร้อนค่าหนึ่งแล้วนำไปจุ่มลดความร้อนด้วยน้ำและนำเอาชิ้นงานอีกชิ้นหนึ่งซึ่งถูกเผาด้วยความร้อนอีกค่าหนึ่งไปจุ่มลดความร้อนด้วยน้ำเกลือ เมื่อนำเอาค่าเฉลี่ยความแข็งแรงของชิ้นงานทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน จะไม่สามารถกล่าวได้ว่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นนั้น มีขนาดเท่าใดที่เป็นผลมาจากตัวกลางที่ใช้ดับความร้อน และขนาดอีกเท่าใดที่เป็นผลมาจากความแตกต่างของความร้อน ดังนั้นจะเห็นว่าวิธีการเก็บข้อมูลจะส่งผลอย่างมากต่อข้อสรุปที่จะเกิดขึ้นจากการทดลอง



ตามปกติแล้วการทดลองถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบ ซึ่งทั้งกระบวนการสามารถที่จะแทนด้วยแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ

อาจจะมองได้ว่า กระบวนการ คือ การรวมเอาคนงาน เครื่องจักร วิธีการ และทรัพยากรอื่นๆ เข้าด้วยกัน เพื่อเปลี่ยนอินพุต (เช่นวัตถุดิบ) ไปสู่เอาต์พุตที่มีผลตอบออกมาในรูปแบบหนึ่งหรือมากกว่าซึ่งสามารถเห็นได้ตัวแปรกระบวนการบางชนิด  $X_1, X_2, \dots, X_p$  เป็นตัวแปรที่เราสามารถควบคุมได้ ในขณะที่ตัวบางตัว  $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$  เป็นตัวแปรที่เราไม่สามารถควบคุมได้ (ถึงแม้ว่าในบางครั้งเราอาจควบคุมตัวแปรพวกนี้ได้ในขณะที่ทำการทดลองก็ตาม) ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการทดลองอาจจะเกี่ยวข้องกับ

1. หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลตอบ  $y$
2. หาวิธีการตั้งค่าของ  $x$  ที่มีผลต่อค่าตอบ  $y$  เพื่อให้  $y$  อยู่ที่ค่าที่ต้องการ
3. หาวิธีการตั้งค่าของ  $x$  ที่มีผลต่อค่าตอบ  $y$  เพื่อให้  $y$  มีค่าน้อย
4. หาวิธีการตั้งค่าของ  $x$  ที่มีผลต่อค่าตอบ  $y$  เพื่อให้ ผลของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้  $Z_1, Z_2, \dots, Z_q$  มีค่าน้อยที่สุด

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า การทดลองส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายตัว และวัตถุประสงค์ของบุคคลที่ทำการทดลอง (เรียกว่า ผู้ทดลอง) ก็คือ หาผลกระทบของปัจจัยเหล่านี้กับผลตอบของระบบ เรียกการ

วางแผนและการดำเนินการทดลองว่า กลยุทธ์ของการทดลอง (Strategy of Experimentation) ว่าจะมีกลยุทธ์หลายอย่างที่ผู้ทดลองสามารถนำไปใช้ได้ เช่น แบบหนึ่งปัจจัยต่อครั้ง (One-Factor-at-a-Time) หรือ การทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial Design) ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงในบทต่อไป

### หลักการพื้นฐาน

ถ้าต้องการให้การทดลองเกิดประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ผลได้สูงสุด จะต้องนำวิธีการทางวิทยาศาสตร์เข้ามาช่วยในการวางแผนการทดลอง คำว่า “การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ (Statistical Design of Experiment)” หมายถึงกระบวนการในการวางแผนการทดลองเพื่อว่าจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้สามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้วิธีการออกแบบการทดลองในเชิงสถิติเป็นสิ่งจำเป็น ถ้าต้องการหาข้อสรุปที่มีความหมายจากข้อมูลที่มีอยู่ และถ้ายังปัญหาที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับความผิดพลาดในการทดลอง (Experimental Error) วิธีการทางสถิติเป็นวิธีการเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่จะสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นได้ ดังนั้นสิ่งสำคัญ 2 ประการสำหรับปัญหาที่เกี่ยวกับการทดลองก็คือการออกแบบการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ซึ่งศาสตร์ทั้งสองนี้มีความเกี่ยวข้องกันอย่างมาก ทั้งนี้เพราะว่าวิธีการวิเคราะห์เชิงสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นกับการออกแบบการทดลองที่จะนำมาใช้

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลองคือ เพลลิเคชัน (Replication) แรนดอมไมเซชัน (Randomization) และบล็อกกิง (Blocking) ที่นี้กำหนดให้ว่า เพลลิเคชัน หมายถึงการทำการทดลองซ้ำ เพลลิเคชันมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการคือ ประการแรกเพลลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ ตัวประมาณค่าความผิดพลาดนี้กลายเป็นหน่วยของการวัดขั้นพื้นฐานสำหรับพิจารณาว่า ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ ประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ย (ตัวอย่างเช่น  $\bar{y}$ ) ถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง ดังนั้นเพลลิเคชันทำให้ผู้ทดลองสามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบนี้ ตัวอย่างเช่น ถ้า  $\sigma^2$  คือความแปรปรวนของข้อมูลแต่ละตัว และมี  $n$  เพลลิเคชัน ดังนั้นค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของตัวอย่างนี้คือ

$$\sigma \frac{2}{y} = \frac{\sigma^2}{n}$$

ผลในทางปฏิบัติคือว่า ถ้ามี  $n=1$  เพลลิเคชัน และค่าที่ได้จากการทดลอง  $y_1 = 145$  (ใช้น้ำเป็นตัวดับความร้อน) และ  $y_2 = 147$  (ใช้น้ำเกลือเป็นตัวดับความร้อน) อาจจะไม่สามารถที่จะสรุปอะไรเกี่ยวกับผลของการทดลอง ทั้งสองนี้ได้ นั่นคืออาจเป็นไปได้ว่าความแตกต่างที่สังเกตได้ อาจจะเป็นผลมาจากความผิดพลาดในการทดลองในทางตรงกันข้าม ถ้า  $n$  มีค่ามากพอเพียง และความผิดพลาดจากการทดลองมีค่า

น้อย ดังนั้นถ้าสังเกตได้ว่า  $\bar{y}_1 < \bar{y}_2$  ก็จะสามารถสรุปได้อย่างปลอดภัยว่าการใช้น้ำเกลือเป็นตัวดับความร้อนนั้นจะทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานมากกว่าการใช้น้ำเป็นตัวดับความร้อนสำหรับโลหะผสมอลูมิเนียม

แรนดอมไมเซชัน เป็นพื้นฐานสำหรับการใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบทดลองแรนดอมไมเซชัน หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม (Random) วิธีการเชิงสถิติกำหนดว่าข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรนดอมไมเซชันจะทำให้สมมุติฐานนี้เป็นจริง การที่แรนดอมไมเซชันการทดลองทำให้สามารถลดความผิดพลาดของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

บล็อกกิง เป็นเทคนิคที่ใช้เพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ในการทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่างๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดขึ้นได้จากการทำบล็อกกิง

หลักการพื้นฐานทั้งสามที่กล่าวมานี้มีความสำคัญอย่างมากต่อการทดลองทุกๆ ชนิด ดังนั้นอาจจะต้องกล่าวถึงหลักการทั้งสามนี้บ่อยครั้ง เพื่อเป็นการแสดงและเน้นให้เห็นถึงประโยชน์ของหลักการดังกล่าว

### 2.3 แนวทางการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ทุกคนที่เกี่ยวข้องในการทดลองจะต้องมีความเข้าใจอย่างถ่องแท้ล่วงหน้าว่า กำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการอาจจะทำได้ดังต่อไปนี้

1. ทำความเข้าใจถึงปัญหา บางคนอาจคิดว่าขั้นตอนนี้ง่ายและตรงไปตรงมา แต่ในความเป็นจริงแล้วขั้นตอนนี้ไม่ได้ง่ายอย่างที่คิด ในขั้นตอนนี้จะต้องพยายามพัฒนาแนวความคิดเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และบ่อยครั้งที่ต้องหาข้อมูลอินพุตจากบุคคลหรือหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น แผนกบุคคล ถ้อยแถลงของปัญหาที่มีความชัดเจนจะมีผลอย่างมากต่อความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์และคำตอบสุดท้ายของปัญหานั้นๆ ด้วยเหตุนี้เองการออกแบบการทดลองทุกครั้งควรจะมีการทำงานเป็นทีม

2. เลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้ที่จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับ (Level) ที่จะเกิดขึ้น ในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดให้ได้อย่างไรและจะวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมากซึ่งความรู้นี้อาจได้มาจากประสบการณ์และความรู้ทางทฤษฎี มีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบดูว่า ปัจจัยที่กำหนดขึ้นมาทั้งหมดนี้มีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือการกรองปัจจัย (Screening) ควรกำหนดให้ระดับต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ การเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัยควรเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆ และเมื่อเรียนรู้เพิ่มขึ้นว่า ตัวแปรใดมีความสำคัญและระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด อาจจะลดขอบเขตลงมาให้แคบลงได้

3. เลือกตัวแปรผลตอบ ในการเลือกตัวแปรผลตอบ ผู้ทดลองควรจะแน่ใจว่า ตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หรือทั้งคู่) ของกระบวนการจะเป็นจะเป็นตัวแปรผลตอบ เป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจจะมีผลตอบหลายตัวและมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรผลตอบ และจะวัดผลตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

4. เลือกการออกแบบการทดลอง ถ้ากิจกรรมการวางแผนการก่อนการทดลองทำได้อย่างถูกต้อง ขั้นตอนนี้จะง่ายขึ้นขั้นตอนที่ง่ายมาก การเลือกการออกแบบเกี่ยวกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่าง (จำนวนเรพลีเคต) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูลและการตัดสินใจว่า ควรจะใช้วิธีบล็อกหรือใช้การแรนดอมไมเวชันอย่างไรอย่างหนึ่งหรือไม่ การเลือกการออกแบบ จำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองอยู่ตลอดเวลา ในการทดลองทางวิศวกรรมศาสตร์ส่วนมาก จะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่า ปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อผลตอบที่เกิดขึ้น ดังนั้นจะหาว่าปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่าง และประมาณขนาดของความแตกต่างที่เกิดขึ้น

5. ทำการทดลอง เมื่อทำการทดลองจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับการทดลองในขั้นตอนนี้ จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

6. วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ ควรนำเอาวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และถ้าทำการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้น จะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติก็คือ ทำให้ผู้ที่มิชำนาญในการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพ และถ้านำเอาวิธีการทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ และสามัญสำนึก จะทำให้ข้อมูลข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือ

7. สรุปและข้อเสนอแนะ เมื่อได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้จะนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อต้องการนำเสนอผลงาน นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation) ควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

### การทดลองปัจจัยเดียวและการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การทดลองปัจจัยเดียว (Single Factor Experiment) แบบ 2 ระดับ (Level) ซึ่งจะนำเสนอวิธีการออกแบบและวิเคราะห์การทดลองแบบปัจจัยเดียวที่มี a ระดับของปัจจัย (หรือ a เงื่อนไข) โดยสมมุติว่าการทดลองเป็นแบบสุ่มสมบูรณ์

ตัวอย่างสำหรับการออกแบบการทดลองปัจจัยเดียวคือ ในการศึกษาค่าแรงดึงของเส้นใยสังเคราะห์ชนิดใหม่ซึ่งใช้สำหรับผลิตเสื้อเชิ้ตชาย จากประสบการณ์พบว่า ค่าแรงดึงจะแปรเปลี่ยนตามเปอร์เซ็นต์ของฝ้ายในเส้นใย และคาดว่า การเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของฝ้ายจะเพิ่มค่าแรงดึงให้มากขึ้น ในเบื้องต้นรู้ว่าค่าเปอร์เซ็นต์ของฝ้ายควรอยู่ประมาณ 10-40 % ตัดสินใจที่จะทดสอบกับตัวอย่างที่ 5 ระดับของเปอร์เซ็นต์ฝ้ายคือ 15, 20, 25, 30 และ 35 ทำการทดลองกับ 5 ตัวอย่างที่แต่ละระดับของเปอร์เซ็นต์ฝ้าย

การทดลองแบบปัจจัยเดียวที่  $a = 5$  ระดับ และ  $n = 5$  เรพลิเคต (Replicate) และการทดลองทั้งหมด 25 ครั้งจะทำการขึ้นแบบสุ่ม เพื่อแสดงวิธีการดำเนินการทดลองแบบสุ่มว่าทำได้อย่างไร สมมุติว่ามีตัวเลขลำดับเพื่อทำการทดลองตามตารางที่ 2.2 ดังนี้

Cotton Weight Percent		Experimental Run Number				
15	1	2	3	4	5	
20	6	7	8	9	10	
25	11	12	13	14	15	
30	16	17	18	19	20	
35	21	22	23	24	25	

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าการทดลอง

ตอนนี้เลือกตัวเลขสุ่มตั้งแต่ 1-25 ขึ้นมา 1 ตัว สมมุติว่าได้ 8 ดังนั้น ค่าสังเกตที่ 8 (ฝ้าย 20 %) จะทำการทดลองเป็นลำดับแรก กระบวนการนี้จะถูกทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่าสังเกตทั้ง 25 ค่าได้รับการกำหนดลำดับของการทดลองเป็นที่เรียบร้อยแล้ว

สมมุติลำดับของการทดสอบเป็นตามตารางที่ 2.3 ดังนี้

Test Sequence	Run Number	Cotton Weight Percent
1	8	20
2	18	30
3	10	20
4	23	35
5	17	30
6	5	15
7	14	25
8	6	20
9	15	25
10	20	30
11	9	20
12	4	15
13	12	25
14	7	20
15	1	15
16	24	35

17	21	35
18	11	25
19	2	15
20	13	25
21	22	35
22	16	30
23	25	35
24	19	30
25	3	15

ตารางที่ 2.3 แสดงลำดับการทดลองแบบสุ่ม

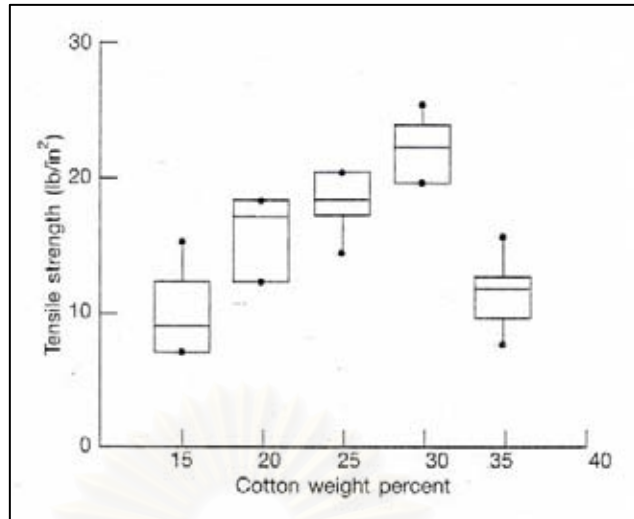
ลำดับการทดลองแบบสุ่มเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการหลีกเลี่ยงผลของตัวแปรบกพร่องที่ไม่ทราบค่า ซึ่งบางครั้งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าไป หรือไม่สามารถควบคุมได้ในขณะทำการทดลอง เพื่อแสดงให้เห็น สมมุติทำการทดลอง 25 การทดลองที่ไม่เป็นแบบสุ่ม (หมายถึง 5 ตัวอย่างที่มีฝ้าย 15 % จะถูกทำการทดลองก่อน ตามด้วย 20 %, 25%, 30%, และ 35% ตามลำดับ) ถ้าหากเครื่องทดสอบกำลังด้านแรงดึงมีผลของช่วงอุ่นเครื่อง (Warm-up) ซึ่งทำให้ค่าสังเกตที่อ่านได้มีค่าลดลงเมื่อเครื่องทำงานนานขึ้น ดังนั้นข้อมูลค่าแรงดึงจะไม่ถูกต้องและอาจทำลายความถูกต้องของการทดลองลงได้

สมมุติมีการทดลองแบบสุ่ม และได้ค่าแรงดึงแสดงในตารางที่ 2.4

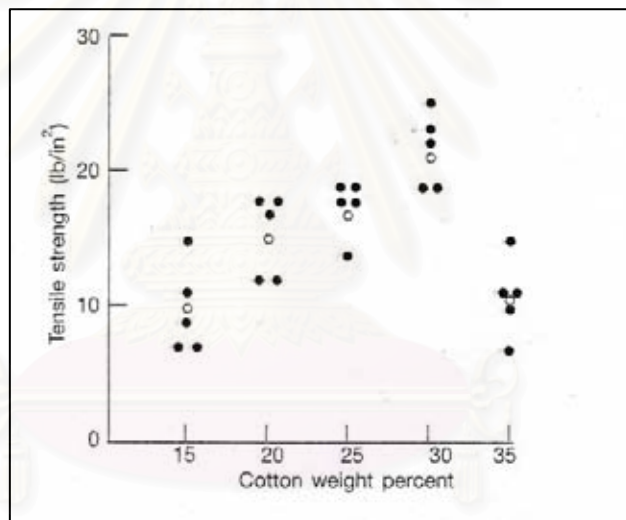
Cotton Weight Percent	Observations					Total	Average
	1	2	3	4	5		
15	7	7	15	11	9	49	9.8
20	12	17	12	18	18	77	15.6
25	14	18	18	19	19	88	17.6
30	19	25	22	19	23	108	21.6
35	7	10	11	15	11	54	10.8
						376	15.04

ตารางที่ 2.4 แสดงข้อมูล (หน่วย lb/in<sup>2</sup>) จากการทดสอบความต้านทานแรงดึง

เป็นแนวทางที่ดี หากจะตรวจสอบข้อมูลการทดลองโดยการมองจากภาพ รูปที่ 2.7 แสดงแผนภาพกล่อง (Box Plot) ของค่าแรงดึงที่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของฝ้ายที่ระดับต่างๆ และรูปที่ 2.8 เป็นแผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) ของค่าแรงดึงกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของฝ้าย ในรูปที่ 2.8 จุดทึบเป็นค่าสังเกตแต่ละค่า และจุดโปร่งเป็นค่าเฉลี่ยของค่าแรงดึง กราฟทั้ง 2 แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดึงเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของฝ้ายที่เพิ่ม จนถึงที่ประมาณ 30% ของน้ำหนักฝ้าย เมื่อน้ำหนักฝ้ายเกิน 30 % จะเห็นว่าค่าแรงดึงมีค่าลดน้อยลง ไม่มีหลักฐานที่เพียงพอที่จะบอกว่า การแปรผันของค่าแรงดึงรอบค่าเฉลี่ยขึ้นกับเปอร์เซ็นต์ฝ้าย จากการวิเคราะห์กราฟแบบง่าย สงสัยว่า (1) เปอร์เซ็นต์ ฝ้ายมีผลค่าแรงดึง (2) ที่ค่าประมาณ 30 % ของฝ้ายจะให้แรงดึงสูงที่สุด



รูปที่ 2.7 แผนภาพกล่อง



รูปที่ 2.8 แผนภาพการกระจาย

ถ้าหากต้องการที่จะวิเคราะห์ข้อมูลให้ละเอียดมากกว่านี้กล่าวคือ ต้องการทดสอบความแตกต่างของมัธมิมของความแข็งแรงที่ทั้ง 5 ระดับเปอร์เซ็นต์ของฝ้าย นั่นคือสนใจทดสอบความเท่ากันของมัธมิมทั้ง 5 ค่า ดูเหมือนว่าปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้การทดสอบ t ในการเปรียบเทียบคู่ของมัธมิมที่เป็นไปได้ทั้งหมด แต่ไม่ใช่วิธีการที่ดีที่สุดสำหรับปัญหานี้ เพราะจะนำไปสู่การบิดเบือนที่เกิดจากความผิดพลาดประเภท 1 ตัวอย่างเช่น ต้องการทดสอบความเท่ากันของมัธมิมทั้ง 5 โดยใช้การเปรียบเทียบแบบคู่ จะมี 10 คู่ที่เป็นไปได้อันจะยอมรับสมมติฐานหลักของการทดสอบแต่ละครั้ง คือ 0.95 ดังนั้นโอกาสที่จะยอมรับสมมติฐานสำหรับการทดสอบทั้งหมด 10 ครั้งคือ  $(0.95)^{10} = 0.60$  ถ้าการทดลองเป็นแบบอิสระต่อกัน

ดังนั้นพบว่าเป็นการเพิ่มโอกาสเกิดความผิดพลาดประเภท 1 ขึ้นอย่างมาก กระบวนการที่เหมาะสมเพื่อทดสอบความเท่ากันของมัชฌิมหลายค่า คือ “การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)” อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถนำไปใช้ได้มากมายนอกเหนือจากปัญหานี้ ซึ่งถือเป็นเทคนิคที่มีประโยชน์มากที่สุดอันหนึ่งในการหาข้อสรุปทางสถิติ

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

สมมติว่ามีระดับซึ่งแตกต่างของปัจจัยเดียวที่ต้องการทำการเปรียบเทียบ และค่าตอบสนองที่ได้จากการสังเกตในแต่ละระดับเป็นตัวแปรสุ่ม ข้อมูลควรจะมีลักษณะเหมือนในตารางที่ 2.5 ซึ่งค่าต่างๆที่แสดงในตาราง (เช่น  $y_{ij}$ ) หมายถึง ค่าสังเกตที่  $j$  ภายใต้ระดับที่  $i$  หรือโดยทั่วไปจะมีค่าสังเกต  $n$  ค่าภายใต้ระดับ  $i$  จะเห็นว่าในตารางที่ 2 เป็นกรณีทั่วไปของข้อมูลเรื่องการทดสอบค่าความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวในตารางที่ 1 สามารถที่จะอธิบายค่าสังเกตต่างๆ นี้ด้วยแบบจำลองทางสถิติเชิงเส้น คือ

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \quad \begin{cases} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

โดยที่  $y_{ij}$  เป็นค่าสังเกตที่  $ij$  และ  $\mu$  คือค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ร่วมกันซึ่งเรียกว่ามัชฌิมรวม (Overall Mean)  $\tau_i$  คือค่าพารามิเตอร์สำหรับระดับที่  $i$  หรือผลกระทบจากระดับที่  $i$  และ  $\epsilon_{ij}$  คือ องค์ประกอบของความผิดพลาดแบบสุ่ม (Random Error) จุดประสงค์ของเราคือเพื่อทำการทดสอบสมมติฐานความผิดพลาดของแบบจำลองถูกสมมติให้เป็นตัวที่มีการกระจายแบบปกติและเป็นอิสระต่อกัน ด้วยมัชฌิมเท่ากับ 0 และความแปรปรวน  $\sigma^2$  ซึ่งสมมติให้ค่าคงตัวตลอดทุกระดับของปัจจัย

Treatment (Level)	Observations	Totals	Average
1	$y_{11} \quad y_{12} \quad \dots$	$y_{1n} \quad Y_1$	$\bar{y}_1$
2	$y_{21} \quad y_{22} \quad \dots$	$y_{2n} \quad Y_2$	$\bar{y}_2$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
a	$y_{a1} \quad y_{a2} \quad \dots$	$y_{an} \quad Y_a$	$\bar{y}_a$
		$y_{..}$	$\bar{y}_{..}$

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลสำหรับการทดลองปัจจัยเดียว



แบบจำลองนี้เรียกว่า “การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Analysis of Variance)” เพราะมีเพียงแค่ปัจจัยที่นำมาพิจารณา ยิ่งกว่านั้นลำดับในการทดลองจะต้องเป็นแบบสุ่มเพื่อให้สิ่งแวดล้อมที่ทำการทดลองในต่างๆ(เรียกว่า “หน่วยการทดลอง(Experimental units)”) จะมีความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังนั้นการทดลองนี้จึงเป็นการออกแบบการทดลองที่เรียกว่า “การออกแบบสุ่มสมบูรณ์”(Completely Randomized Design)”

แบบจำลองทางสถิติในสมการ 2-1 อธิบายความแตกต่างของ 2 สถานการณ์ที่เกี่ยวกับผลกระทบของระดับ อันดับแรกคือ ระดับ a ระดับสามารถถูกกำหนดขึ้นโดยผู้ทดลอง ในที่นี้ต้องการที่จะทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับมัชฌิมของระดับ และบทสรุปที่เกิดขึ้นจะนำไปประยุกต์ได้กับระดับของปัจจัยที่พิจารณาเท่านั้น ข้อสรุปที่ได้ไม่สามารถไปใช้กับระดับอื่นที่มีค่าใกล้เคียงที่ไม่ได้พิจารณาหรือทำการทดลองได้นอกจากนั้น ก็อาจจะต้องการที่จะประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง( $\mu, \sigma^2$ )ซึ่งเรียกว่า “แบบจำลองผลกระทบคงที่ (Fixed Effects Model)” ในทางกลับกัน ถ้าระดับ A ถูกสุ่มเลือกจากประชากรขนาดใหญ่ของระดับต่างๆ ที่เป็นไปได้ ในกรณีนี้สามารถที่จะขยายผลสรุป(ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวอย่างของระดับที่ใช้) ไปยังทุกระดับของประชากร ถึงแม้ว่าอาจจะไม่ได้ทำการพิจารณาระดับนั้นๆ อย่างชัดเจนก็ตาม ในการวิเคราะห์ในที่นี้  $\tau_i$  คือตัวแปรสุ่มและความรู้เกี่ยวกับค่าตัวแปรสุ่มตัวใดตัวหนึ่งจะไม่มีประโยชน์แต่อย่างไรทดสอบสมมุติฐานเกี่ยวกับความแปรผันของ  $\tau_i$  และพยายามที่จะประมาณค่าความแปรผันนี้ ซึ่งเรียกว่า “แบบจำลองผลกระทบแบบสุ่ม (Random Effect Model)”

#### การวิเคราะห์แบบจำลองผลกระทบคงที่

ในส่วนนี้ จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบปัจจัยเดียวของแบบจำลองผลกระทบคงที่ ผลกระทบระดับ ( $\tau_i$ ) มีนิยามเหมือนกับส่วนที่เบี่ยงเบนจากมัชฌิมรวม

$$\sum_{i=1}^a \tau_i = 0 \quad (2-2)$$

ให้  $y_i$  แทนค่าของค่าสังเกตทุกๆตัวของระดับ  $i$  ในทำนองเดียวกันให้  $y_{..}$  แทนค่าสังเกตทั้งหมด และแทน  $y_{i.}$  ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตภายใต้ระดับที่  $i$  ในทำนองเดียวกัน  $y_{..}$  แทนผลรวมของค่าสังเกตทั้งหมด และ  $\bar{y}_{..}$  แทนค่าเฉลี่ยสังเกตทั้งหมด ซึ่งสามารถเขียนในรูปของสัญลักษณ์คือ

$$y_i = \sum_{j=1}^n y_{ij}, \quad \bar{y}_i = y_i/n \quad i = 1, 2, \dots, a$$

$$y_{..} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad \bar{y} = y/N$$

(2-3)

โดย  $N = an$  คือจำนวนค่าสังเกตทั้งหมด จะสังเกตว่าเครื่องหมาย “.” แทนผลรวมของตัวห้อย (Subscript) ที่เครื่องหมายนั้นเข้าไปแทนที่อยู่

มัชฌิมของระดับ  $i$  คือ  $E(y_{ij}) = \mu_i + \mu + \tau_i, i=1, 2, \dots, a$  ดังนั้นมัชฌิมระดับที่  $i$  ประกอบด้วย มัชฌิมรวมบวกกับผลกระทบที่เกิดจากระดับที่  $i$  เราสนใจในการทดสอบความเท่ากันของมัชฌิม  $a$  ระดับ คือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \text{ อย่างน้อยหนึ่งคู่ของ } (i, j)$$

ถ้าหาก  $H_0$  เป็นจริง ทุกระดับจะมีมัชฌิมที่เท่ากันคือ  $\mu$  อาจเขียนสมมติฐานใหม่ในรูปของผลกระทบของระดับ  $\tau_i$  ได้ คือ

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = 0$$

$$H_1 : \tau_i \neq 0 \text{ อย่างน้อยหนึ่ง } i$$

ดังนั้น สามารถกล่าวได้ว่า การทดสอบความเท่ากันของมัชฌิมของระดับหรือการทดสอบผลที่เกิดขึ้นจากระดับ  $\tau_i$  เท่ากับศูนย์ก็ได้ กระบวนการที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบความเท่ากันของมัชฌิมของระดับ  $a$  คือการวิเคราะห์ความแปรปรวน

#### การแยกย่อยของผลรวมของกำลังสอง

คำว่า “การวิเคราะห์ความแปรปรวน” มาจากความหมายของการแบ่งความแปรปรวนทั้งหมด ออกเป็นส่วนประกอบย่อยๆ จะได้ว่า Total Corrected Sum of Square คือ

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2$$

ใช้สำหรับวัดความแปรผันทั้งหมดของข้อมูล เป็นการเหมาะสมถ้าหาร ด้วยระดับชั้นความเสรีที่เหมาะสม (ในกรณีนี้  $an - 1 = N - 1$ ) จะได้ความแปรปรวนของตัวอย่าง  $y$

สังเกตว่า Total Corrected Sum of Square สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n \left[ (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..}) + (y_{ij} - \bar{y}_{i.}) \right]^2 \quad (2-4)$$

หรือ

$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = n \sum_{i=1}^a (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2$$

$$+ 2 \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (\bar{y}_i - \bar{y}_{..}) (y_{ij} - y_{i.}) \quad (2-5)$$

อย่างไรก็ตาม พจน์ของผลคูณไขว้ไว้ในสมการ 2-5 มีค่าเป็น 0 เพราะว่า

$$\sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{i.}) = y_{i.} - n\bar{y}_{i.} = y_{i.} - n(y_{i.}/n) = 0$$

ดังนั้น จะได้ว่า

$$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{..})^2 = n \sum_{i=1}^a (\bar{y}_i - \bar{y}_{..})^2 + \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (2-6)$$

สมการ 2-6 กล่าวว่า ความแปรปรวนทั้งหมดของข้อมูล ซึ่งวัดจาก Total Corrected Sum of Square สามารถแบ่งออกเป็น ส่วนของผลรวมของกำลังสองของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยในแต่ละระดับกับค่าเฉลี่ยรวม รวมกับผลรวมของกำลังสองของความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตภายในระดับกับค่าเฉลี่ยของระดับนั้นๆ ค่าของความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตเฉลี่ยของแต่ละระดับกับค่าเฉลี่ยรวม คือ ตัวความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของแต่ละระดับ ในขณะที่ค่าความแตกต่างระหว่างค่าสังเกตภายในระดับกับค่าเฉลี่ยของระดับ คือ ความผิดพลาดสุ่ม (Random Error) ดังนั้นเราสามารถเขียนสมการ 2-6 ได้เป็น

$$SS_T = SS_{\text{Treatment}} + SS_E$$

ซึ่ง  $SS_{\text{Treatment}}$  เรียกว่า ผลรวมของกำลังสองที่เกิดเนื่องจากระดับ (นั่นคือระดับต่างๆ) และ  $SS_E$  เรียกว่า ผลรวมของกำลังสองที่เกิดเนื่องจากการผิดพลาด เนื่องจากมีค่าสังเกตทั้งหมด  $an = N$  ค่า ดังนั้น จะมี  $N - 1$  ระดับความเสรี ปัจจัยที่กำลังพิจารณาอยู่ระดับ  $a$  ระดับ (และมีขัณภูมิของระดับจะมี  $a$  ค่า) ดังนั้น  $SS_{\text{Treatment}}$  มีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ  $a-1$  และภายในทุกๆ ระดับจะมี  $n$  เรพลิเคต ทำให้ระดับขั้นความเสรีเท่ากับ  $n-1$  สำหรับประมาณการความผิดพลาดในการทดลอง ดังนั้นถ้าปัจจัย  $a$  ระดับ จะมี  $a(n-1) = an - a = N - a$  ระดับขั้นความเสรีสำหรับความผิดพลาด

จะมีประโยชน์อย่างมากถ้าจะพิจารณาในรายละเอียดของสองพจน์ทางขวามือของสมการ 2-6 ให้พิจารณาค่าผิดพลาดของผลรวมของกำลังสอง

$$SS_E = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_{i.})^2 = \sum_{i=1}^a \left[ \sum_{j=1}^n (y_{ij} - y_{i.})^2 \right]$$

ในรูปแบบนี้จะเป็นการง่ายที่จะพิจารณาพจน์ที่อยู่ในวงเล็บถูกหารด้วย  $n-1$  ว่าเป็นค่าความแปรปรวนของตัวอย่างในระดับที่  $i$

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2}{n-1} \quad i = 1, 2, \dots, a$$

ตอนนี้ความแปรปรวนตัวอย่าง  $a$  ค่าอาจจะถูกรวมให้เป็นค่าประมาณหนึ่งค่าของความแปรปรวนร่วมของประชากร ซึ่งแสดงโดย

$$\frac{(n-1) S_1^2 + (n-1) S_2^2 + \dots + (n-1) S_a^2}{(n-1) + (n-1) + \dots + (n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^a \left[ \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_{i.})^2 \right]}{\sum_{i=1}^a (n-1)}$$

$$SS_E / (N-a) = \frac{SS_E}{(N-a)}$$

ดังนั้น  $SS_E / (N-a)$  คือ ค่าประมาณแปรปรวนร่วมภายในแต่ละระดับซึ่งมีทั้งหมด  $a$  ระดับ

ในทำนองเดียวกัน ถ้าหากไม่มีความแตกต่างระหว่างมัธมิมของระดับทั้งหมด  $a$  ระดับ สามารถนำค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของระดับกับค่าเฉลี่ยรวมเพื่อประมาณ  $\sigma^2$  โดยเฉพาะอย่างยิ่ง

$$\frac{SS_{Treatment}}{a-1} = \frac{n \sum_{i=1}^a (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2}{a-1}$$

$\sum_{i=1}^a (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 / (a-1)$  คือค่าประมาณของ  $\sigma^2$  ถ้าหากมัธมิมของระดับมีค่าเท่ากัน เหตุผลสำหรับอธิบายเป็นดังนี้คือ ค่าประมาณค่าของ  $\sigma^2/n$  ซึ่งหมายถึงความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยของระดับ ดังนั้น  $n \sum_{i=1}^a (\bar{y}_{i.} - \bar{y}_{..})^2 / (a-1)$  จะเป็นตัวประมาณของ  $\sigma^2$  ถ้าหากไม่มีความแตกต่างในมัธมิมของระดับ

พบว่าทฤษฎีบทเอกลักษณ์ความแปรปรวน สมการ (2-6) ทำให้ได้ค่าประมาณของ 2 ตัว ตัวหนึ่งเป็นความแปรผันภายในระดับ และอีกตัวหนึ่งอยู่ในความแปรผันระหว่างระดับ ถ้าหากไม่มีความแตกต่างในมัธมิมของระดับ ค่าประมาณทั้ง 2 ค่าจะคล้ายกันมาก แต่หากไม่เป็นเช่นนั้น ควรสงสัยว่า ความแตกต่างของค่าสังเกตต้องเกิดมาจากความแตกต่างของมัธมิมของระดับ ถึงแม้ว่าค่ากล่าวจะมาจากความรู้สึกเท่านั้น แต่ก็มีวิธีการอย่างทางการที่สามารถนำมาใช้อธิบายได้เช่นกัน

เรียกจำนวน

$$MS_{Treatment} = SS_{Treatment} / (a - 1)$$

และ

$$MS_E = SS_E / (N - 1)$$

ว่าค่ากำลังสองเฉลี่ย ตอนนี้นำมาพิจารณา ค่าคาดหวัง (Expected Value) ของค่ากำลังสองเฉลี่ยเหล่านี้ กล่าวคือ

$$\begin{aligned} E(MS_E) &= E\left(\frac{SS_E}{N - a}\right) = \frac{1}{N - a} E\left[\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2\right] \\ &= \frac{1}{N - 1} E\left[\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (y_{ij}^2 - 2y_{ij}\bar{y}_i + \bar{y}_i^2)\right] \\ &= \frac{1}{N - 1} E\left[\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - 2n \sum_{i=1}^a \bar{y}_i^2 + n \sum_{i=1}^a \bar{y}_i^2\right] \\ &= \frac{1}{N - 1} E\left[\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a y_i^2\right] \end{aligned}$$

แทนค่าแบบจำลอง (สมการ 2-1) ในสมการนี้ เราจะได้

$$E(MS_E) = \frac{1}{N - a} E\left[\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n (\mu + \tau_i + \varepsilon_{ij})^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^n \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}\right)^2\right]$$

เมื่อยกกำลังสองและใส่ค่าคาดหวังเข้าไปยังค่าภายในวงเล็บ พบว่าพจน์ที่รวมเอา  $\varepsilon_{ij}^2$  และ  $\varepsilon_i^2$  จะถูกแทนด้วย  $\sigma^2$  และ  $n\sigma^2$  ตามลำดับ เพราะว่า  $E(\varepsilon_{ij}) = 0$  ยิ่งกว่านั้นผลคูณไขว้ทั้งหมดที่เกี่ยวกับ  $E(MS_E)$  จะมีค่าคาดหวังเป็นศูนย์ ดังนั้นหลังจากยกกำลังสองและใส่ค่าคาดหวังลงไปสมการสุดท้ายจะกลายเป็น

$$E(MS_E) = \frac{1}{N - a} \left[ N\mu^2 + n \sum_{i=1}^a \tau_i^2 + N\sigma^2 - N\mu^2 - n \sum_{i=1}^a \tau_i^2 - a\sigma^2 \right]$$

หรือ

$$E(MS_E) = \sigma^2$$

โดยวิธีการที่คล้ายกัน สามารถแสดงให้เห็นว่า

$$E(MS_{Treatment}) = \sigma^2 + \frac{n \sum_{i=1}^a \tau_i^2}{a-1}$$

ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า  $MS_E = SS_E / (N-a)$  เป็นตัวประมาณ  $\sigma^2$  และถ้าหากไม่มีความแตกต่างของมัชฌิมของระดับ (ซึ่งหมายความว่า  $\tau_i = 0$ )  $MS_{Treatment} = SS_{Treatment} / (a-1)$  จะเป็นตัวประมาณของ  $\sigma^2$  เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามถ้าหากมัชฌิมของระดับแตกต่างกันค่าคาดหวังของมัชฌิมของยกกำลังสองจะมากกว่า  $\sigma^2$

ดูเหมือนจะเป็นการชัดเจนว่า การทดสอบสมมุติฐานซึ่งไม่มีความแตกต่างของมัชฌิมของระดับสามารถทำได้โดยการเปรียบเทียบ  $MS_{Treatment}$  และ  $MS_E$  และตอนนี้จะมาพิจารณาว่า สามารถทำการเปรียบเทียบนี้ได้อย่างไร

#### การวิเคราะห์ทางสถิติ

ตอนนี้จะค้นหาว่า การทดสอบสมมุติฐานอย่างเป็นทางการในกรณีที่ไม่มีความแตกต่างในมัชฌิมของระดับ ( $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a$  หรือ  $H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$ ) จะทำอย่างไรเนื่องจากเราต้องสมมุติให้  $\epsilon_{ij}$  มีการกระจายแบบปกติและเป็นอิสระต่อกัน มีมัชฌิม = 0 และค่าความแปรปรวน =  $\sigma^2$  ดังนั้นค่าสังเกตมีการแจกแจงแบบปกติและเป็นอิสระ มีมัชฌิม =  $y_{ij}$  และความแปรปรวน  $\sigma^2$  ดังนั้น  $SS_T$  คือ ผลรวมของกำลังสองของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นเราสามารถแสดงได้ว่า  $SS_T / \sigma^2$  จะมีการแจกแจงแบบ Chi-Square ที่มี  $N-1$  ระดับขั้นความเสรี และ  $SS_{Treatment}$  มีการกระจายแบบ Chi-Square ที่มี  $a-1$  ระดับความเสรี ถ้าสมมุติฐานหลัก  $H_0: \tau_i = 0$  เป็นจริง อย่างไรก็ตาม ค่ารวมของกำลังสองทั้ง 3 ไม่ได้เป็นอิสระต่อกัน เพราะ  $SS_E$  และ  $SS_{Treatment}$  รวมกันเป็น  $SS_T$  ทฤษฎีที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้มีประโยชน์ในการสร้างความเป็นอิสระให้แก่  $SS_E$  และ  $SS_{Treatment}$

#### ทฤษฎีของ Cochran

ให้  $Z_i$  เป็น NID (0,1) สำหรับ  $i = 1, 2, \dots, v$  และ

$$\sum_{i=1}^v Z_i^2 = Q_1 + Q_2 + K + Q_s$$

ซึ่ง  $S \leq v$ ,  $Q_i$  และ  $v_i$  มี ระดับขั้นความเสรี ( $i=1, 2, \dots, s$ ) ดังนั้น  $Q_1 + Q_2 + K + Q_s$  เป็นการแจกแจง Chi-Square ที่เป็นอิสระต่อกัน ด้วยค่า  $v_1, v_2, K, v_s$  ระดับขั้นความเสรีตามลำดับ ก็ต่อเมื่อ

$$v = v_1 + v_2 + K + v_s$$

เพราะระดับขั้นความเสรีของ  $SS_{Treatment}$  และ  $SS_E$  รวมกันเท่ากับ  $N-1$  ซึ่งเป็นระดับขั้นความเสรีทั้งหมด ทฤษฎีของ Cochran บอกเป็นนัยว่า  $SS_{Treatment}/\sigma^2$  และ  $SS_E/\sigma^2$  เป็นตัวแปรอิสระที่มีการแจกแจงแบบ Chi-Square ที่เป็นอิสระกัน ดังนั้น ถ้าหากสมมุติฐานหลักคือ ไม่มีความแตกต่างของมัชฌิมของระดับเป็นจริง ดังนั้นอัตราส่วน

$$F_0 = \frac{SS_{Treatment} / (a-1)}{SS_E / (N-a)} = \frac{MS_{Treatment}}{MS_E} \quad (2-7)$$

จะมีการแจกแจงแบบ F ด้วยระดับขั้นความเสรีเท่ากับ  $a-1$  และ  $N-a$  สมการ 2-7 คือสถิติทดสอบสำหรับสมมุติฐานที่ว่าไม่มีความแตกต่างของมัชฌิมของระดับ

จากค่าคาดหวังกำลังสองเฉลี่ยเราพบว่า โดยทั่วไป  $MS_E$  จะเป็นค่าประมาณที่ไม่ลำเอียงของ  $\sigma^2$  ภายใต้อสมมุติฐานหลัก  $MS_{Treatment}$  จะเป็นค่าประมาณที่ไม่ลำเอียงของ  $\sigma^2$  เช่นกัน อย่างไรก็ตาม ถ้าหากสมมุติฐานหลักเป็นเท็จ ค่าคาดหวังของ  $MS_{Treatment}$  จะมากกว่า  $\sigma^2$  ดังนั้นภายใต้สมมุติฐานรองค่าความคาดหวังของตัวตั้งสถิติทดสอบ (สมการ 2-8) จะมากกว่าค่าคาดหวังของตัวหาร และเราจะปฏิเสธถ้าค่าของสถิติทดสอบที่มีค่ามาก หรือค่าดังกล่าวตกอยู่ในบริเวณวิกฤตซึ่งหมายถึงพื้นที่ด้านขวาของค่าวิกฤต ( $F_{\alpha \cdot a-1, N-a}$ ) ดังนั้นเราจะปฏิเสธ และสรุปว่า มีความแตกต่างระหว่างมัชฌิมของระดับถ้า

$$F_0 > F_{\alpha \cdot a-1, N-a}$$

ซึ่ง  $F_0$  คำนวณได้จากสมการ 2-7 หรือ โดยการใช้ P-value ในการตัดสินใจก็ได้  $MS_{Treatment}$

สูตรสำหรับคำนวณผลรวมของกำลังสองสามารถหาได้จากจากเขียนและลดรูปของ  $SS_T$

ในสมการ 2-6 ให้ง่ายขึ้น ซึ่งจะได้ว่า 
$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N} \quad (2-8)$$

และ

$$SS_{Treatment} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a y_{i.}^2 - \frac{y_{..}^2}{N} \quad (2-9)$$

ค่าผิดพลาดของผลรวมของกำลังสองสามารถหาค่าได้จากการลบ กล่าวคือ

$$SS_E = SS_T - SS_{Treatment} \quad (2-10)$$

ขั้นตอนการทดสอบได้ถูกสรุปไว้ในตารางที่ 2.6 ซึ่งเรียกว่า “ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance Table)”

Source of Variation	Sum of Squares	Degrees of Freedom	Mean Square	$F_0$
Between treatments	$SS_{\text{Treatments}}$	$a - 1$	$MS_{\text{Treatment}}$	$F_0 = \frac{MS_{\text{Treatments}}}{MS_E}$
Error (within treatments)	$SS_E$	$N - a$	$MS_E$	
Total	$SS_1$	$N - 1$		

ตารางที่ 2.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับปัจจัยเดียว แบบจำลองผลกระทบคงที่

#### 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปิยะรัตน์ ลิมนิลชาติ (พ.ศ. 2544) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสาเหตุของงานทำซ้ำเพื่อลดการสูญเสียเวลาในโรงงานเครื่องประดับ ปัญหาที่พบคือการส่งงานไม่ทันตามกำหนดซึ่งมีสาเหตุจากการไม่มีการวางแผนการผลิตที่เหมาะสมและไม่มีการกำหนดมาตรฐานการตรวจสอบและการควบคุมคุณภาพอย่างชัดเจน ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงในแผนกหล่อตัวเรือนและแผนกขัดซึ่งมีปริมาณงานทำซ้ำมาก โดยในแผนกหล่อตัวเรือนได้ทำการกำหนดลักษณะทางเทคนิคที่เหมาะสมเพื่อลดปัญหาการหล่อไม่เต็มและตัวเรือนเป็นรู กำหนดขั้นตอนที่เหมาะสมสำหรับการหล่อปูนและการอบเบ้า ออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการหล่อตัวเรือน สำหรับแผนกขัดได้เสนอให้นำเครื่องโม้เข้ามาใช้แทนการขัดโดยช่างฝีมือและทำการทดลองเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการโม้สำหรับงานประเภทต่าง ๆ

ภัทรวัต อุบะขานนท์ (พ.ศ.2544) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและเสนอแผนการบริหารคุณภาพในโรงงานเครื่องประดับ เพื่อให้สามารถวัด วิเคราะห์ ปรับปรุง และควบคุมคุณภาพในการผลิตเครื่องประดับเงิน พบว่าแผนการบริหารคุณภาพของโรงงานตัวอย่างมีข้อบกพร่องหลายประการ ได้แก่ เป้าหมายคุณภาพของแผนกผลิตไม่มีความชัดเจนไม่สามารถระบุออกมาเป็นรูปธรรมโครงสร้างองค์กรยังไม่ชัดเจนไม่มีการจัดทำรายละเอียดกำหนดหน้าที่การทำงานในแผนกต่าง ๆ ขาดความชัดเจนในการทำเป็นเอกสารมาตรฐานวิธีการทำงานและขาดสารสนเทศด้านคุณภาพ ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านการบริหารจัดการ ปัญหาการเกิดของเสีย และปัญหาการส่งมอบไม่ทันตามที่กำหนด จึงได้เสนอแนวทางการปรับปรุงข้อบกพร่องของแผนโดยเสนอผังโครงสร้างการบริหารขององค์กรใหม่ จัดทำแผนคุณภาพ (Quality Plan) สำหรับกระบวนการผลิตเครื่องประดับและจัดทำระบบการเก็บข้อมูลของเสีย



อรรถพล ฤทธิภักดี (พ.ศ.2544) งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการพ่นสีชิ้นส่วนพลาสติกในอุตสาหกรรมรถยนต์ โดยใช้การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบด้านคุณภาพ (FMEA) พบว่าปัญหาเกิดจากความบกพร่องของกระบวนการพ่นสีและปัญหาด้านคุณภาพที่เกิดจากการขาดการวางแผนการตรวจสอบทางด้านคุณภาพของชิ้นส่วน การขาดมาตรฐานในการควบคุมคุณภาพ การขาดการบำรุงรักษาความสะอาดในกระบวนการพ่นสีและการขาดประสบการณ์ในการทำงานของพนักงาน สำหรับแนวทางในการแก้ไขนั้นผู้วิจัยได้จัดทำมาตรฐานการทำงาน มาตรฐานการตรวจสอบชิ้นงานและมาตรฐานการทำความสะอาดขึ้นมาเพิ่มความถี่ในการทำความสะอาด จัดฝึกอบรมพนักงานและจัดทำกรบันทึกความสามารถลงในใบบันทึกความสามารถ จัดทำใบตรวจสอบในกระบวนการพ่นสีและนำไปใช้ในกระบวนการพ่นสีของโรงงานตัวอย่าง ผลการดำเนินการแก้ไขพบว่า เปอร์เซ็นต์ของเสียเทียบยอดการผลิตลดลงจาก 16.37 % เหลือ 9.37 % (ลดลง 7 %) และมีแนวโน้มในการลดลงอย่างต่อเนื่อง

ชัชวาล พรพัฒน์กุล (พ.ศ.2544) งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องมือวัดในโรงงานผลิตเครื่องเพชรพลอยและเครื่องประดับ เพื่อให้ทราบถึงแหล่งความผันแปรของระบบการวัด โดยมีการวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัด ค่าไบอัส ค่าเสถียรภาพของระบบการวัดและค่าคุณสมบัติเชิงเส้นตรงของเครื่องมือวัด และวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด (%GR&R) ได้ทำการลดความผันแปรจากเครื่องมือวัด (Equipment Variation) โดยทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดตามมาตรฐาน NIS6 จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดทำให้ทราบถึงแหล่งความผันแปรจึงทำการแก้ไขเพื่อลดความผันแปรและจัดทำข้อเสนอแนะให้โรงงานตัวอย่าง พร้อมจัดทำคู่มือมาตรฐานและขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือวัดอย่างละเอียด

พิพัฒน์ ไพศาลกานูมาศ (พ.ศ.2543) งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างต้นแบบสำหรับการตรวจสอบสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวนเพื่อช่วยลดความผิดพลาดในการตรวจสอบโดยพนักงานตรวจสอบคุณภาพซึ่งใช้การตรวจสอบจากการเคาะตัวเรือนแหวนแล้วฟังว่ามีเสียงอัญมณีบนตัวเรือนแหวนหลวมหรือไม่ การศึกษานี้ได้ทำการทดสอบกับแหวนที่มีรูปแบบแตกต่างกัน จำนวน 9 รูปแบบ ทำการทดสอบรูปแบบละ 10 ครั้ง พบว่าการใช้ต้นแบบนี้มีความผิดพลาดน้อยกว่าตรวจสอบด้วยวิธีเดิม และสามารถตรวจสอบได้ทั้ง 9 รูปแบบ ให้ผลการตรวจสอบที่ถูกต้องและสามารถใช้งานได้จริงในการตรวจสอบสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน

มันฆาภรณ์ ภูริปัญญาคุณ (พ.ศ. 2547) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ถึงสาเหตุของข้อบกพร่อง และทำการปรับปรุงกระบวนการชุบเครื่องประดับ ให้มีการควบคุมที่ดี และมีการทำงานที่มีมาตรฐานและเหมาะสม จากการศึกษาพบว่าปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากขาดการตรวจสอบในกระบวนการผลิต วิธีการปฏิบัติงานไม่เหมาะสม ขาดการควบคุมในการทำงาน (ไม่มีการกำหนดมาตรฐานการทำงาน) และมีสาเหตุจากชิ้นงาน น้ำยาชุบและน้ำล้างในกระบวนการจึงได้ทำการปรับปรุงโดยกำหนดวิธีการปฏิบัติงานให้มีมาตรฐานวิธีการทำงานต่าง ๆ ในรูปของเอกสารอย่างชัดเจน จัดทำคู่มือ น้ำยาชุบโลหะของแผนกชุบตัวเรือน จัดทำใบตรวจสอบน้ำยาชุบโลหะด้วยการทำอัลตราเซล จากการวิจัยพบว่า

กระบวนการหุบมีวิธีการทำงานที่เป็นมาตรฐานขึ้นและมีการควบคุมที่ดีทำให้ปัญหาข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นมีจำนวนลดลงจาก 0.591 % เหลือ 0.184 % นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบการทำงานของพนักงานให้มีมาตรฐานเดียวกันโดยนำวิธีการทำงานมาตรฐานที่ได้มาอบรมการปฏิบัติงานแก่พนักงานและทำการประเมินผลพนักงานโดยใช้แนวทางการวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA)

พงษ์ศักดิ์ ฉัตรฉวีวัฒนา (พ.ศ.2543) งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองศึกษาผลของความเข้มข้นของสารกัดผิว ซึ่งประกอบด้วยกรดโครมิกและกรดซัลฟูริก ที่ความเข้มข้นของกรดโครมิก 200, 420 และ 600 กรัมต่อลิตร (และมีความเข้มข้นโดยรวม 800 กรัมต่อลิตร) เวลาของกระบวนการกัดผิวที่ 3,6,9 และ 12 นาที และอุณหภูมิของกระบวนการกัดผิวที่ 55, 65 และ 75 องศาเซลเซียส ต่อการยึดติดแน่นของชั้นเคลือบโลหะบนชิ้นงานพลาสติกเอปียีเอสที่ผ่านการชุบเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า โดยทดสอบกำลังความติดแน่นระหว่างชั้นเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า โดยทดสอบกำลังความติดแน่นระหว่างชั้นเคลือบโลหะทองแดงกับพลาสติกเอปียีเอสตามมาตรฐาน JIS H 8630 ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นของกรดโครมิก อุณหภูมิและระยะเวลาในการกัดผิวมีอิทธิพลร่วมกันต่อลักษณะพื้นผิวพลาสติกเอปียีเอสที่ได้ สภาวะเหล่านี้ทำให้ได้กำลังความติดแน่นระหว่างชั้นเคลือบโลหะทองแดงกับพลาสติกเอปียีเอสที่ต่างกันไป โดยรวมพบว่า ผลกระทบของความเข้มข้นของสารกัดผิวต่อกำลังความติดแน่นยังมีแนวโน้มที่ไม่ชัดเจน เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกัดผิวไปจนถึงค่าหนึ่ง ค่ากำลังความติดแน่นโดยรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการกัดผิวต่อไป ค่ากำลังความติดแน่นที่ได้มีแนวโน้มลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการกัดผิว ค่ากำลังความติดแน่นโดยรวมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

มะลิ แซ่อึ้ง (2544) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาผิวเคลือบในกระบวนการเคลือบด้วยไฟฟ้า ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตใหม่ในการผลิตแผงวงจรไฟฟ้ารวม งานวิจัยนี้ได้ระบุปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อความหนาผิวเคลือบโดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล จากการวิเคราะห์แผนภูมิดังกล่าว ทำให้ทราบว่า 6 ปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อความหนา ปัจจัยเหล่านี้ประกอบด้วย ความเข้มข้นน้ำยาดีบุก additive อิเล็กโตรไลต์ ความสูงของแผ่นกั้น เวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว และความหนาแน่นของกระแส การออกแบบการทดลองวิธีการ Taguchi ได้ถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความหนาผิวเคลือบเฉลี่ย และให้ความแข็งแรงต่อค่าตอบสนองจากการทดลอง พบว่าเพียง 3 ปัจจัยเท่านั้นที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความหนาผิวเคลือบ คือ ความเข้มข้น อิเล็กโตรไลต์ เวลาในการเคลือบและความหนาแน่นกระแส ความสูงของแผ่นกั้นที่ 35 มิลลิเมตรให้ความแข็งแรงต่อค่าตอบสนอง การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลได้ถูกนำมาใช้เพื่อในการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม ได้ความหนาผิวเคลือบใกล้ค่ากึ่งกลางและมีความผันแปรน้อยที่สุดโดยไม่มีข้อบกพร่องของคุณสมบัติทางกายภาพหลังกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า และกระบวนการตัดและขึ้นรูปขางานและการทดสอบโซลเดอรับิลิตี ผลการทดลองพบว่ามี 2 ปัจจัยที่มีอิทธิพล คือ เวลาในการเคลือบผิวและความหนาแน่นกระแสด้วยสภาวะที่เหมาะสมคือ ความหนาแน่นกระแส 30 แอมแปร์/ตารางเดซิเมตร และเวลาที่ใช้ในการเคลือบผิว 55 วินาทีเมื่อค่าปัจจัยที่ดีที่สุดได้ถูกระบุ ฝ่ายผลิตต้องปฏิบัติตามมาตรฐานขั้นตอนการปฏิบัติงานก่อนทำการผลิตเพื่อให้ชิ้นงานนั้นคุณภาพ

นางสาวอรอนงค์ โนมศิริ (2548) งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติของผิวเคลือบจากการชุบเคลือบผิวเหล็กด้วยโลหะผสมดีบุก-สังกะสี ด้วยกระแสไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นกรด ตัวแปรที่ศึกษาคืออัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ 0.5:1-7.3:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 0.5-2 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ชนิดและปริมาณของสารเติมแต่ง ได้แก่ เฮกซะมีน (5-14 กรัมต่อลิตร) พอร์มาลดีไฮด์ (0.4-2 กรัมต่อลิตร) และพอลิเอทิลีนไกลคอล (1-5 กรัมต่อลิตร) ผลการทดลองพบว่าปริมาณดีบุกในผิวเคลือบจะเพิ่มขึ้นและมีปริมาณมากกว่าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ทุกๆความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า แต่องค์ประกอบของดีบุกในผิวเคลือบจะลดลงเมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่อัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เท่ากัน และจะให้ผลสอดคล้องกันในทุกชนิดของสารเติมแต่ง เมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ความหนาของผิวเคลือบจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาเท่ากัน ชนิดของสารเติมแต่งไม่มีผลต่อประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าของผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสี เมื่อทดสอบค่าการกัดกร่อนพบว่า ผิวเคลือบที่ได้จากการชุบเคลือบด้วยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 1.5 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีอัตราส่วนของดีบุกต่อสังกะสี 2.7: 1 พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่งที่ความเข้มข้น 2 กรัมต่อลิตร มีอัตราการกัดกร่อนต่ำสุดเท่ากับ 78 มิลลิเมตรต่อปี จากผลการพิจารณาผิวเคลือบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน พบว่าผิวเคลือบโลหะผสมดีบุก-สังกะสีมีรูปร่างหลายเหลี่ยม เมื่อไม่มีการเติมสารเติมแต่งผิวเคลือบจะมีรูพรุนมากกว่าเมื่อใช้สารเติมแต่ง และเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเติมแต่งจะได้ผิวเคลือบที่มีรูพรุนน้อย

## บทที่ 3

### การศึกษาสภาพปัจจุบัน

#### 3.1 ข้อมูลของโรงงานที่ทำการศึกษา

##### 3.1.1 การจัดองค์กรภายในโรงงาน

โครงสร้างองค์กรของโรงงานผลิตชิ้นส่วนและประกอบรถจักรยานยนต์ และ โครงสร้างของหน่วยงานที่ทำการศึกษสามารถแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2

##### 3.1.2 กระบวนการผลิตรถจักรยานยนต์

ชิ้นส่วนที่ใช้ในการผลิตรถจักรยานยนต์นั้นแบ่งจากแหล่งที่มาได้ 2 ส่วน โดย

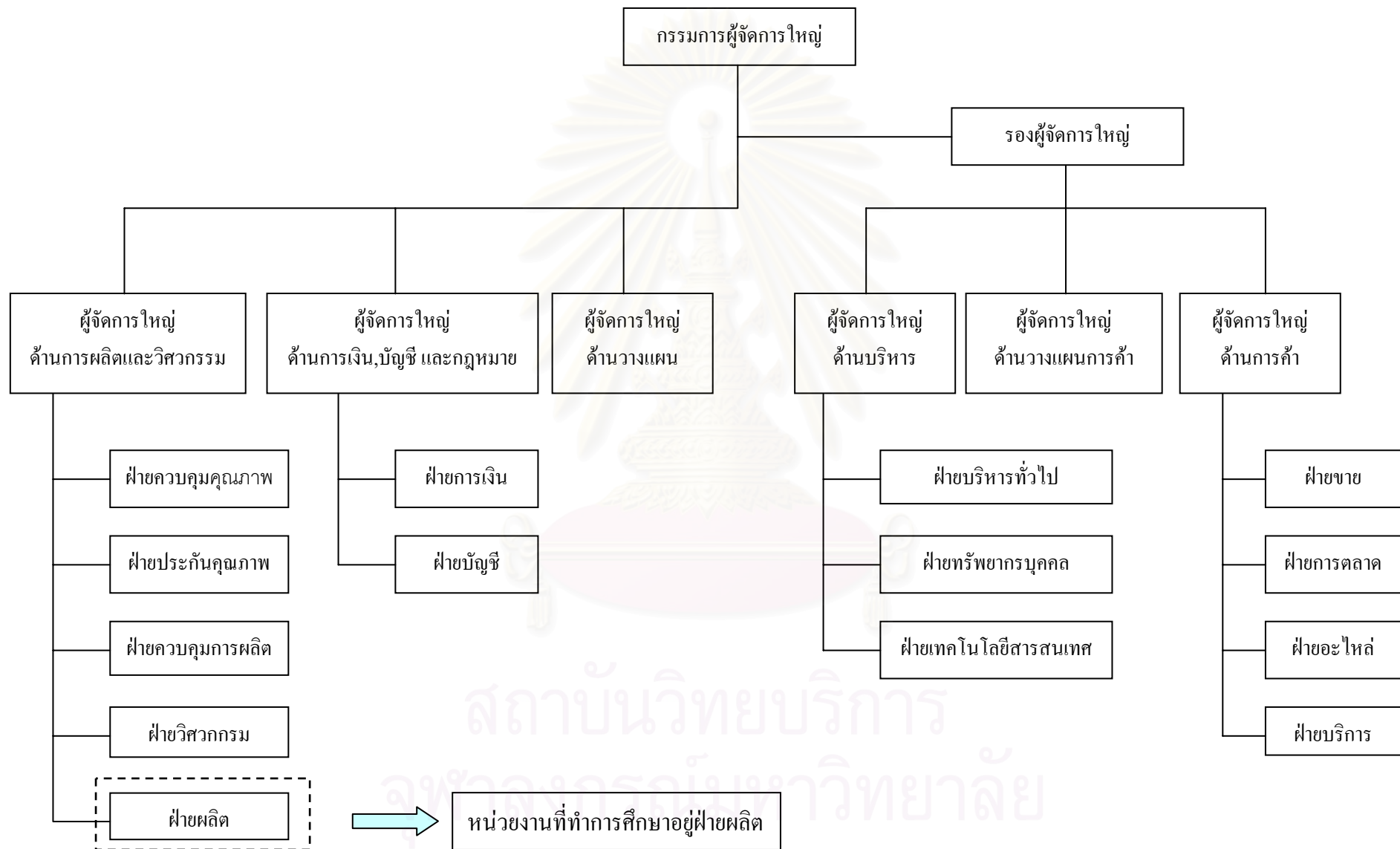
ส่วนที่ 1 คือชิ้นส่วนนำเข้าซึ่งได้แก่ ชิ้นส่วนที่นำเข้าจากต่างประเทศที่ไม่อยู่ในเครือ และชิ้นส่วนแลกเปลี่ยนกับบริษัทในเครือที่อยู่ในเอเชีย

ส่วนที่ 2 คือชิ้นส่วนภายในประเทศ ซึ่งชิ้นส่วนภายในประเทศนี้สามารถแบ่งออกได้อีกเป็น ชิ้นส่วนสำเร็จรูปและชิ้นส่วนกึ่งสำเร็จรูป ในส่วนของชิ้นส่วนกึ่งสำเร็จรูปนี้ต้องนำมาผ่านกระบวนการต่างๆเพื่อให้เป็นชิ้นส่วนที่พร้อมประกอบอีก 5 ขั้นตอน ซึ่งการผ่านขั้นตอนต่างๆ เหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของชิ้นส่วนแต่ละชนิดว่าต้องผ่านขั้นตอนใดบ้าง บางชิ้นส่วนอาจผ่านเพียงขั้นตอนเดียว บางชิ้นส่วนอาจต้องผ่านถึง 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนทั้ง 5 ขั้นตอน ได้แก่

- 1.ขั้นตอนแมชชีนนิ่ง ซึ่งในขั้นตอนนี้มีขั้นตอนย่อยอีก 7 ขั้นตอนย่อย คือ การกลึงการเจาะ การทำเกลียว การกัดเฟืองเกียร์ การเจียรระโน การคว้าน และการขัดละเอียด
- 2.ขั้นตอนการทำสี ซึ่งในขั้นตอนนี้มีขั้นตอนย่อยอีก 3 ขั้นตอนย่อย คือ การชุบสีด้วยไฟฟ้า การพ่นสี และการเคลือบผิวด้วยโครเมียม
- 3.ขั้นตอนการอบชุบ โลหะ ซึ่งในขั้นตอนนี้มีขั้นตอนย่อยอีก 3 ขั้นตอนย่อย คือ การอบชุบโลหะโดยการเพิ่มคาร์บอน การอบชุบโลหะธรรมดา และการอบอ่อน
- 4.ขั้นตอนการชุบ ซึ่งในขั้นตอนนี้มีขั้นตอนย่อยอีก 3 ขั้นตอนย่อย คือ การชุบทองแดง การชุบนิกเกิล-โครเมียม และการชุบโครเมียมแข็ง
- 5.ขั้นตอนการปัดและเชื่อม

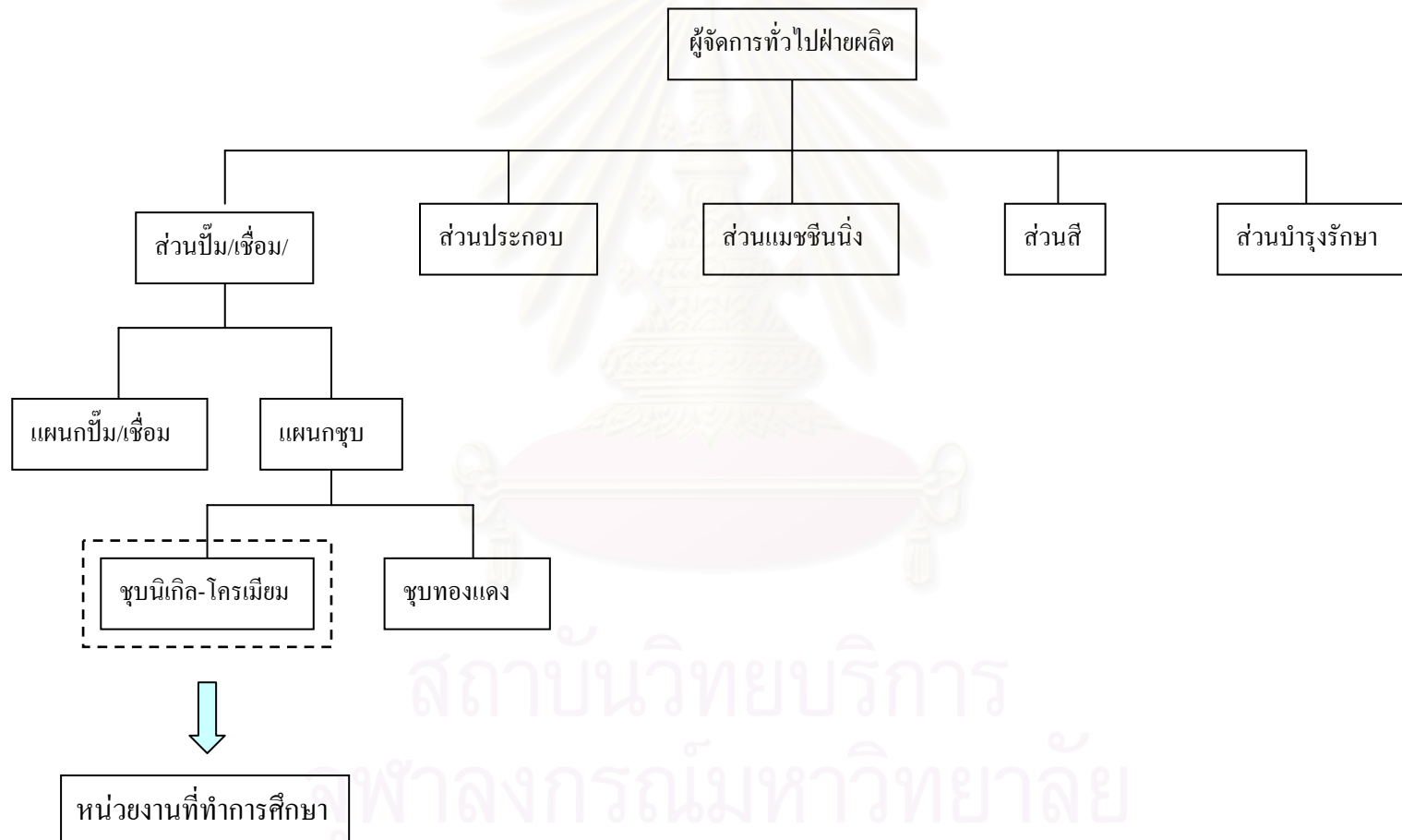
หลังจากนั้นชิ้นส่วนนำเข้า ชิ้นส่วนสำเร็จรูป และชิ้นส่วนกึ่งสำเร็จรูปที่ผ่านขั้นตอนต่างๆที่กล่าวมาแล้วจะต้องผ่านการตรวจสอบคุณภาพก่อนแล้วจึงนำไปประกอบเป็นเครื่องยนต์ และรถจักรยานยนต์ โดยเมื่อผ่านขั้นตอนการประกอบเครื่องยนต์ และขั้นตอนการประกอบรถจักรยานยนต์แล้วจะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพทุกขั้นตอนจนกระทั่งสุดท้ายเป็นรถจักรยานยนต์เสร็จสมบูรณ์ดังรูปที่ 3.3

ผังโครงสร้างองค์กรของโรงงานที่ทำการศึกษ

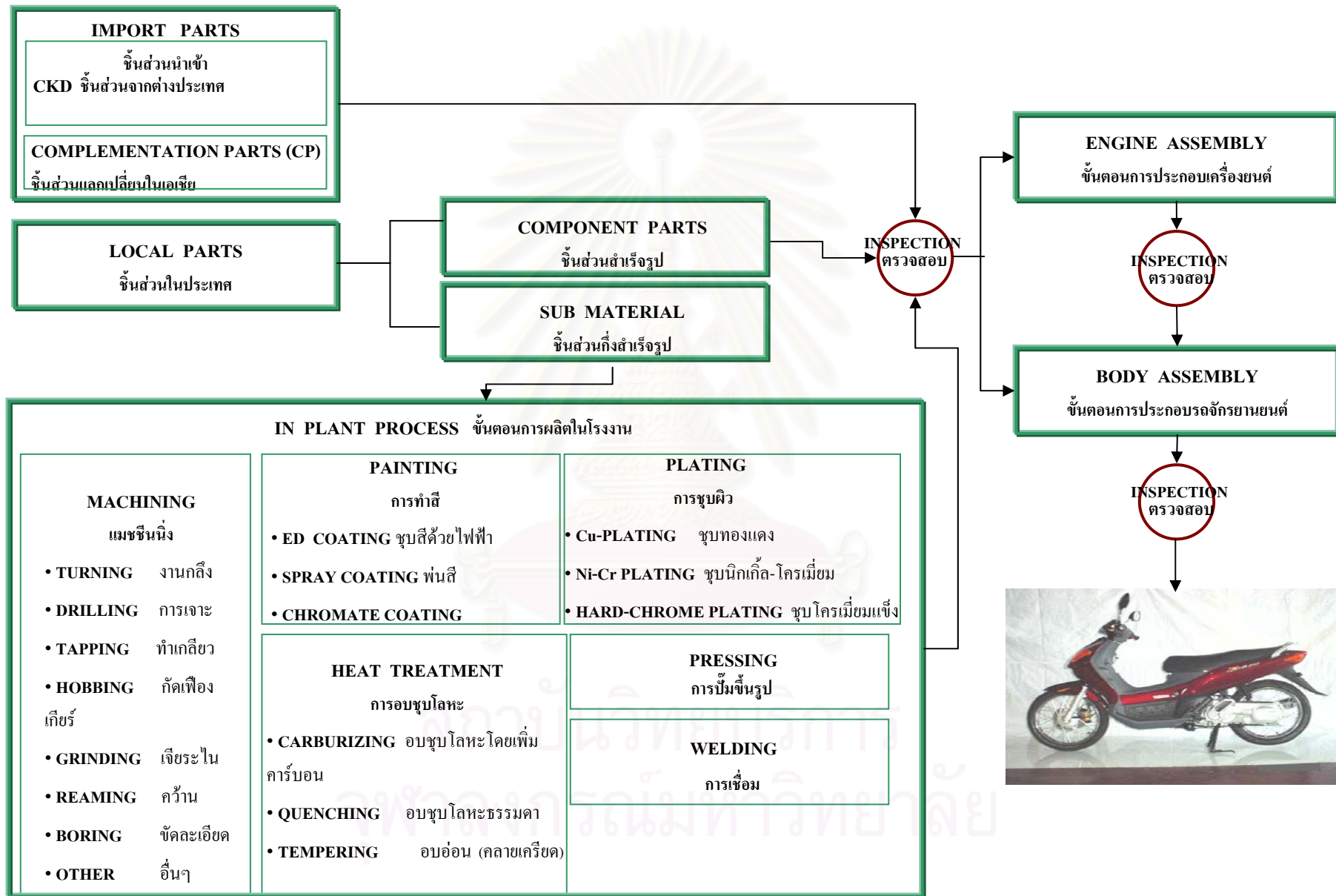


รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างองค์กรที่ทำการศึกษ

ผังโครงสร้างองค์กรในฝ่ายผลิตที่ทำการศึกษา



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างองค์กรของหน่วยงานที่ทำการศึกษา



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการผลิตรถจักรยานยนต์

### 3.1.3 หน่วยงานที่ทำการศึกษา

การวิจัยนี้ทำการศึกษาระบบการชุบนิเกิล-โครเมียม ซึ่งอยู่ภายในแผนกชุบ โดยปัจจุบันทำการชุบชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ คือ Protector Muffler และ Exhaust Pipe ดังแสดงในรูปที่ 3.4

**Protector Muffler**



**Exhaust Pipe**

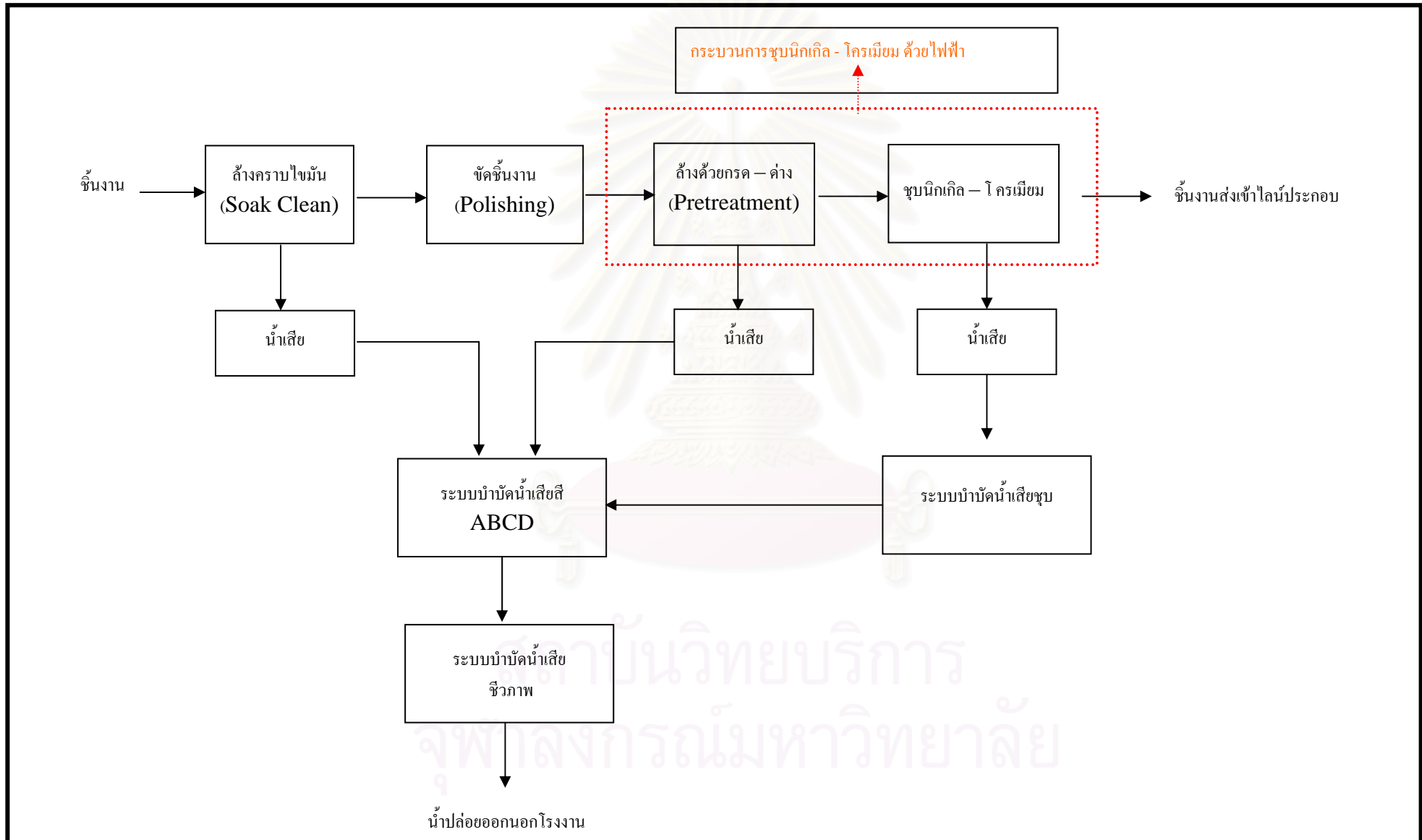


รูปที่ 3.4 แสดงชิ้นส่วน Protector Muffler และ Exhaust Pipe

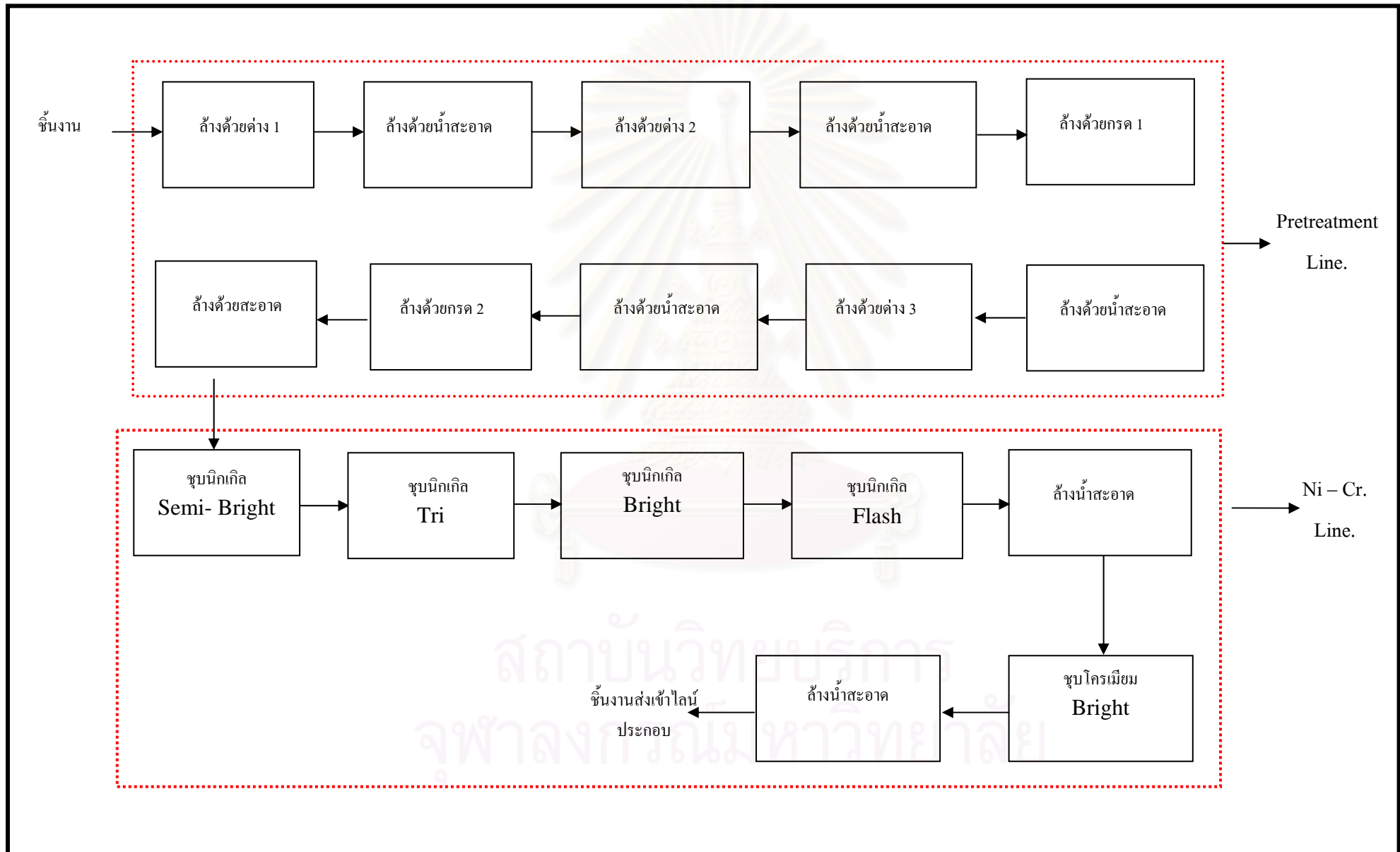
โดยกระบวนการชุบมีขั้นตอนการชุบตาม Flow Diagram ในรูปที่ 3.5 และ รูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7  
 ลำดับการชุบชิ้นงานในไลน์นิเกิลและโครเมียมตามตารางที่ 3.1  
 รายละเอียดขั้นตอนการชุบตามตารางที่ 3.2, 3.4 และ 3.6  
 รายละเอียดสถานะของถังน้ำยาชุบตามตารางที่ 3.3, 3.5 และ 3.7  
 รายละเอียด สารเคมีของกระบวนการชุบตารางที่ 3.8, 3.9 และ 3.10



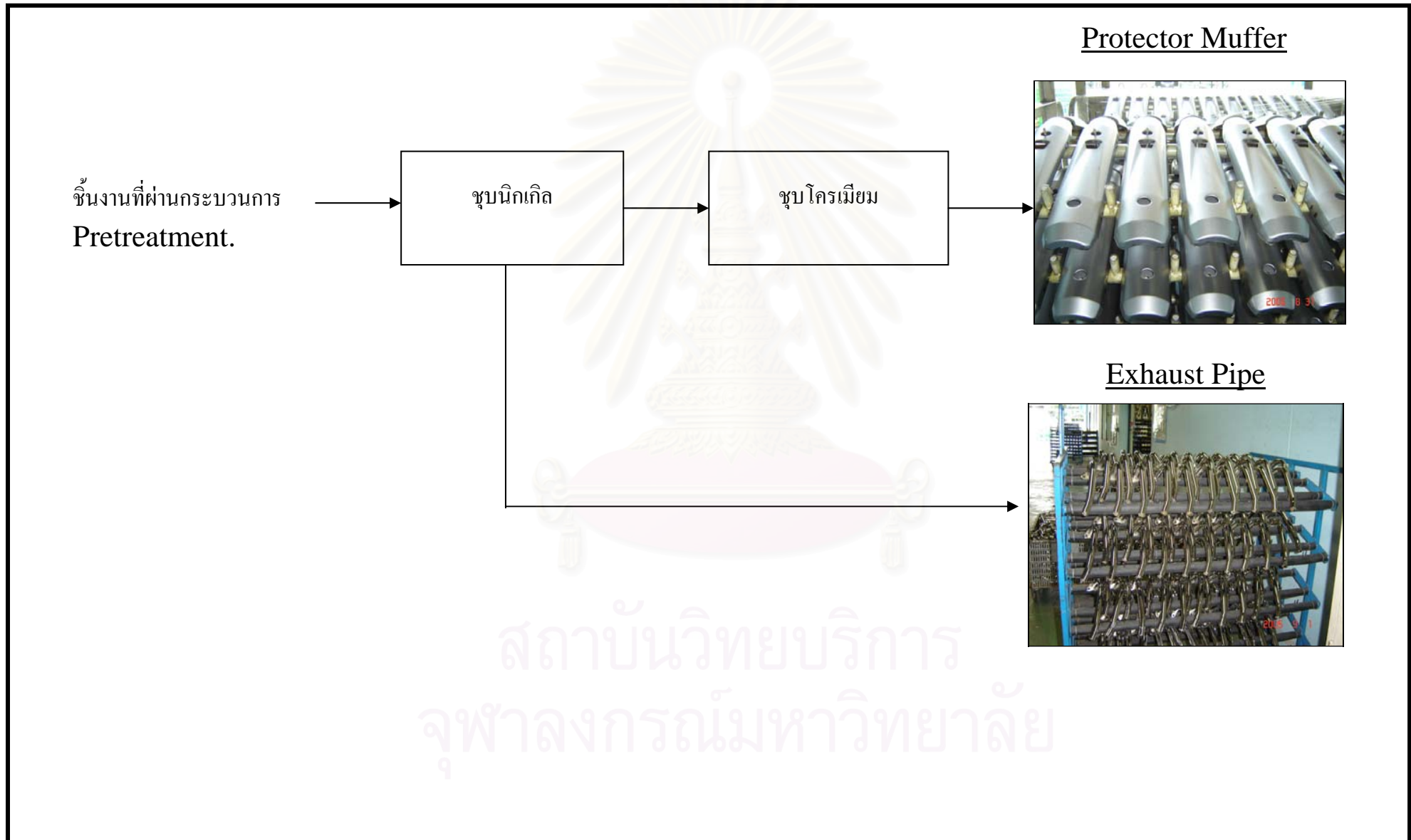
รูปที่ 3.5 แสดง Flow Diagram ของกระบวนการชุบ



รูปที่ 3.6 แสดง Flow Diagram ของกระบวนการชุบ Ni – Cr. ด้วยไฟฟ้า (แบบ Bright Chromium)



รูปที่ 3.7 แสดง Flow Diagram ของชิ้นงานที่ชุบ Ni - Cr



ตารางที่ 3.1 ลำดับการชุบของชิ้นงานใน LINE Ni-Cr ( แบบ BRIGHT CHROMIUM )

POS.	ขั้นตอน	การเดินทางของชิ้นงาน	POS.	ขั้นตอน
1	TRANSFER MECHANISM		40	TRANSFER MECHANISM
2	ANODIC ELECTROCLEAN		41-42	LOADING
3	WATER RINSE		43-44	UNLOADING
4	WATER RINSE			
5	ANODIC ELECTROCLEAN			
6	WATER RINSE		47-48	JIG STRIP
7	WATER RINSE		49-51	DRYER
8	WATER RINSE		52	HOT WATER RINSE
9	ACID ELECTROCLEAN		53	WATER RINSE
10	WATER RINSE		54	WATER RINSE
11	WATER RINSE		55	WATER RINSE
12	PR ELECTROCLEAN		56	RECOVERING
13	WATER RINSE		57	RECOVERING
14	WATER RINSE		58	RECOVERING
15	WATER RINSE		59-60	BLACK CHROME
16	ACID DIPPING		61	WATER RINSE
			62	WATER RINSE
18	WATER RINSE		63	RECOVERING
19	WATER RINSE		64	RECOVERING
20-24	SEMI-BRIGHT NICKEL		65	RECOVERING
25	TRI NICKEL		66	BRIGHT CHROME
26-29	BRIGHT NICKEL		67	WATER RINSE
30	FLASH NICKEL		68	WATER RINSE
31	TRANSFER MECHANISM (RECOVERY)		69	TRANSFER MECHANISM (RECOVERY)

ตารางที่ 3.1 แสดงลำดับการชุบชิ้นงานในไลน์นิกเกิลและโครเมียม

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดขั้นตอนการชุบ NICKEL-CHROMIUM ในส่วนของการทำความสะอาดก่อนการชุบ ( Pretreatment Line)

PRETREATMENT LINE

ลำดับการเดิน	POS.	ขั้นตอน	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	ลักษณะของน้ำในถัง	ปริมาตรถัง (LITERS)
1	2	ANODIC ELECTROCLEAN	1-3 min	50-60	AIR FLOW	4227
2	3	WATER RINSE (RO)	2 min	RT	AIR FLOW	2016
3	4	WATER RINSE (RE)	2 min	RT	AIR FLOW	2016
4	5	ANODIC ELECTROCLEAN	1-3 min	50-60	AIR FLOW	4227
5	6	WATER RINSE (RO)	2-3 min	RT	-	2016
6	7	WATER RINSE (RO)	30 sec	RT	AIR FLOW	2016
7	8	WATER RINSE (RE)	3 min	RT	AIR FLOW	2016
8	9	ACID ELECTROCLEAN	1-3 min	RT-40	CIRCULATE	4227
9	10	WATER RINSE (RO)	3 min	RT	AIR FLOW	2016
10	11	WATER RINSE (RE)	30 sec	RT	AIR FLOW	2016
11	12	PR ELECTROCLEAN	1-3 min	50-60	CIRCULATE	4227
12	13	WATER RINSE (RO)	2 min	RT	AIR FLOW	2016
13	14	WATER RINSE (RO)	30 sec	RT	AIR FLOW	2016
14	15	WATER RINSE (RE)	2-3 min	RT	AIR FLOW	2016
15	16	ACID DIPPING	30 sec	RT	-	1944
16	18	WATER RINSE (RO)	1-2 min	RT	AIR FLOW	2016
17	19	WATER RINSE (RE)	30 sec	RT	AIR FLOW	2016

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ตารางที่ 3.3สถานะของถังน้ำยา PRETREATMENT LINE

POS.	ขั้นตอน	สารเคมี	กระแสไฟฟ้า	คุณสมบัติ	ความเข้มข้นของสารเคมี ( g/l )
2,5	ANODIC ELECTROCLEAN	NC-150Y	7-8 ( A/dm <sup>2</sup> )	ต่าง	100-150
9	ACID ELECTROCLEAN	TOP CLEANER SAN NO.200	7-8 ( A/dm <sup>2</sup> )	กลาง	11-13
		SULFURIC ACID 98%		กรด	70-80
12	PR ELECTROCLEAN	NCC-10	7-8 ( A/dm <sup>2</sup> )	ต่าง	40-60
		NaOH 98%		ต่าง	8-15
16	ACID DIPPING	TOP SAN	-	กรด	70-80

### ตารางที่ 3.4รายละเอียดขั้นตอนการชุบ NICKEL

#### NICKEL LINE

ลำดับการเดิน	POS.	ขั้นตอน	เวลา	อุณหภูมิ ( C )	ลักษณะของน้ำในถัง	ปริมาตรถัง (LITERS)
18	20-24	SEMI-BRIGHT NICKEL	10 min	50-55	AIR FLOW	2916
19	25	TRI NICKEL	2 min	50-55		2916
20	26-29	BRIGHT NICKEL	10 min	50-55	AIR FLOW	2916
21	30	FLASH NICKEL	2 min	50-55		2916
22	31,69	NICKEL RECOVERY (DI)		RT		5628
23	68	WATER RINSE (RO)	1 min	RT	AIR FLOW	2016
24	67	WATER RINSE (RE)	30 sec	RT	AIR FLOW	2016

ตารางที่ 3.5 สถานะของถังน้ำยา NICKEL LINE

POS.	ขั้นตอน	สารเคมีที่ช่วยให้เงา	กระแสไฟฟ้า	ความเข้มข้นของสารเคมี ( g/l )
20-24	SEMI-BRIGHT NICKEL	ACNA-SGL-MU(MAKE UP) ACNA-SGL-R(REPLENISH) NI-PIT	2.0 ( A/dm <sup>2</sup> )	275 (260-290) 45 (40-55) 40 (35-45)
25	TRI NICKEL	TOP-NSA-3 ACNA-H	2.0 ( A/dm <sup>2</sup> ) 275(260-290)	275 (260-290) 80 (65-90) 40 (35-45)
26-29	BRIGHT NICKEL	ACNA-B-10 ACNA-B-35	2.0( A/dm <sup>2</sup> ) 2.0(A/dm <sup>2</sup> )	275 (260-290) 50 (40-55) 40 (35-45)
30	FLASH NICKEL	-	2.0( A/dm <sup>2</sup> )	275 (260-290) 45 (40-55) 40 (35-45)

ตารางที่ 3.6รายละเอียดขั้นตอนการชุบ CHROMIUM

BRIGHT CHROMIUM LINE

ลำดับการเดิน	POS.	ขั้นตอน	เวลา	อุณหภูมิ (C)	ลักษณะของน้ำในถัง	ปริมาตรถัง (LITERS)
25	66	BRIGHT CHROMIUM	2-3 min	50-55	CIRCULATE	2916
26	65	CHROMIUM RECOVERY	2 min	RT	-	2016
27	64	CHROMIUM RECOVERY	30 sec	RT	-	2016
28	63	CHROMIUM RECOVERY	2 min	RT	-	2016
29	62	WATER RINSE (RO)	30 sec	RT	AIR FLOW	2016
30	61	WATER RINSE (RO)	30 sec	RT	AIR FLOW	2016
31	53	WATER RINSE (RE)	2-3 min	RT	AIR FLOW	2016
32	52	HOT WATER RINSE	2 min	70	-	2520
33	49-51	DRYER	8 min	60	-	-

### ตารางที่ 3.7 สถานะของถังน้ำยา BRIGHT CHROMIUM LINE

POS.	ขั้นตอน	สารเคมี	สารเคมีที่ช่วย ไม่ให้เกิดไอ ระเหย	กระแสไฟฟ้า	ความเข้มข้น ของสารเคมี ( g/l )
66	BRIGHT CHROMIUM	ANKOR 1120 MAKE UP	ANKOR-F2 g/l	2 ( A/dm <sup>2</sup> )	280-350  1-3
		ANKOR 1120-2 REPLENISH SALT			
		SULFURIC ACID 98% (AR)			

### ตารางที่ 3.8 รายละเอียดสารเคมีของกระบวนการชุบ NICKEL-CHROMIUM ในส่วนของการทำความสะอาดก่อนการชุบ ( Pretreatment Line)

ANODIC ELECTROCLEAN ( POS.2 , POS.5 )	
ชื่อสารเคมี	NC-150Y
ความเข้มข้นของสารเคมี	100 - 150 g/l
ลักษณะของสารเคมี	ของแข็งสีขาว
คุณสมบัติของสารเคมี	มีฤทธิ์เป็นด่าง
หน้าที่ของสารเคมี	กำจัดไขมันและน้ำมันที่ติดมากับชิ้นงาน

ACID ELECTROCLEAN ( POS.9 )	
ชื่อสารเคมี	TOP CLEANER SAN NO.200
ความเข้มข้นของสารเคมี	11 - 13 g/l
ลักษณะของสารเคมี	ของเหลวสีเหลือง
คุณสมบัติของสารเคมี	มีฤทธิ์เป็นกลาง
หน้าที่ของสารเคมี	เป็นตัวป้องกันไม่ให้ชิ้นงานถูกกรดกัดมากเกินไป และเป็นตัวทำลายกำแพงก๊าซ ทำให้กรดไปกัดชิ้นงานไม่ได้
ชื่อสารเคมี	SULFURIC ACID 98%
ความเข้มข้นของสารเคมี	70 - 80 g/l
ลักษณะของสารเคมี	ของเหลวใส
คุณสมบัติของสารเคมี	มีฤทธิ์เป็นกรด
หน้าที่ของสารเคมี	กำจัดสนิมและยาขัดออกจากชิ้นงาน



PR ELECTROCLEAN ( POS.12 )	
ชื่อสารเคมี	NCC-10
ความเข้มข้นของสารเคมี	40 - 60 g/l
ลักษณะของสารเคมี	ของแข็งสีขาว
คุณสมบัติของสารเคมี	มีฤทธิ์เป็นด่าง
หน้าที่ของสารเคมี	กำจัดไขมันและสิ่งสกปรกต่างๆ
ชื่อสารเคมี	NaOH 98%
ความเข้มข้นของสารเคมี	8 - 15 g/l
ลักษณะของสารเคมี	ของแข็งสีขาว
คุณสมบัติของสารเคมี	มีฤทธิ์เป็นด่าง
หน้าที่ของสารเคมี	เป็นตัวช่วยในการนำไฟฟ้าให้ดีขึ้น เพื่อจะได้ไม่ต้องใช้ความต่างศักย์สูงเกินไป

### ตารางที่ 3.9 รายละเอียดสารเคมีของกระบวนการชุบ NICKEL

ACID DIPPING ( POS.16 )	
ชื่อสารเคมี	TOP SAN
ความเข้มข้นของสารเคมี	70 - 80 g/l
ลักษณะของสารเคมี	ของแข็ง
คุณสมบัติของสารเคมี	มีฤทธิ์เป็นกรด
หน้าที่ของสารเคมี	กำจัด Alkaline Film กระตุ้นผิวชิ้นงานให้เกิดรูพรุนเล็กๆ เพื่อพร้อมที่จะชุบ Ni ต่อไป ล้างชิ้นงานให้ปรับสภาพเป็นกลาง

บ่อชุบ NICKEL ( POS.20-30 )	
ชื่อสารเคมี	NICKEL SULPHATE (NiSO <sub>4</sub> )
ลักษณะของสารเคมี	ของแข็งสีฟ้าอ่อน
ค่า pH	4.2 - 4.8
หน้าที่ของสารเคมี	เป็นเกลือให้ NICKEL ION (Ni <sup>2+</sup> ) ในสารละลายและ (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) ที่ช่วยในการนำไฟฟ้า
ชื่อสารเคมี	NICKEL CHLORIDE (NiCl <sub>2</sub> )
ลักษณะของสารเคมี	ของแข็งสีเขียวอ่อน
ค่า pH	4.2 - 4.8
หน้าที่ของสารเคมี	ให้ NICKEL ION และ CHLORIDE ION CHLORIDE เป็นตัวทำให้การละลายของขั้วบวก (Ni-ANODE) ดีขึ้น ช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้าของสารละลาย และน้ำยาชุบ
ชื่อสารเคมี	BORIC ACID (H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> )

ลักษณะของสารเคมี ค่า pH หน้าที่ของสารเคมี	ของแข็งสีขาว 4.2 - 4.8 ช่วยปรับระดับของ pH ให้การชุบ Ni เงานเรียบมากขึ้น
<b>น้ำยาปรับสภาพเงา ( POS.20-24 )</b>	
ACNA-SGL-R , ACNA-SGL-MU NI-PIT	น้ำยาเงาชนิดที่ไม่มีกำมะถัน (ถ้ามีจะทำให้ผิวงานแตกง่าย) เป็นน้ำยาที่ช่วยป้องกันการเกิดฟองอากาศที่ชิ้นงาน (ตามด)
<b>น้ำยาปรับสภาพเงา ( POS.25 )</b>	
TOP-NSA-3 ACNA-H	เป็นน้ำยาเงาชนิดที่มีกำมะถัน จึงใช้เวลาชุบนานไม่ได้ เป็นน้ำยาช่วยป้องกันตามด
<b>น้ำยาปรับสภาพเงา ( POS.26-29 )</b>	
ACNA-B-10 ACNA-B-35	น้ำยาเงาชนิดที่มีความยืดหยุ่นสูง แต่การเรียงตัวไม่ดี น้ำยาเงาชนิดที่มีความยืดหยุ่นไม่ดี แต่การเรียงตัวดี

### ตารางที่ 3.10 รายละเอียดสารเคมีของกระบวนการชุบ CHROMIUM

BRIGHT CHROMIUM ( POS.66 )	
ชื่อสารเคมี	ANKOR 1120 (CrO <sub>3</sub> )
ความเข้มข้นของสารเคมี	280 - 350 g/l
ลักษณะของสารเคมี	ของแข็งสีน้ำตาลอมส้ม
คุณสมบัติของสารเคมี	มีฤทธิ์เป็นกรด
หน้าที่ของสารเคมี	เพิ่มประสิทธิภาพในการเกาะติดชิ้นงานถึง 15% ส่วน 85% จะติดไปกับ H <sub>2</sub>
ชื่อสารเคมี	ANKOR-F
ความเข้มข้นของสารเคมี	2 g/l
ลักษณะของสารเคมี	ของแข็งสีน้ำตาลอมส้ม
คุณสมบัติของสารเคมี	มีฤทธิ์เป็นกรด
หน้าที่ของสารเคมี	เพิ่มประสิทธิภาพในการเกาะติดชิ้นงาน

BLACK CHROMIUM ( POS.59-60 )	
ชื่อสารเคมี	ECONOCHROME BK
ความเข้มข้นของสารเคมี	450 - 500 g/l
ลักษณะของสารเคมี	ของแข็งสีน้ำตาลอมส้ม
คุณสมบัติของสารเคมี	มีฤทธิ์เป็นกรด
หน้าที่ของสารเคมี	เพิ่มประสิทธิภาพในการเกาะติดชิ้นงาน

ชื่อสารเคมี	ANKOR-F
ความเข้มข้นของสารเคมี	2 g/l
ลักษณะของสารเคมี	ของแข็งสีน้ำตาลอมส้ม
คุณสมบัติของสารเคมี	มีฤทธิ์เป็นกรด
หน้าที่ของสารเคมี	เพิ่มประสิทธิภาพในการเกาะติดชิ้นงาน

### 3.2 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี

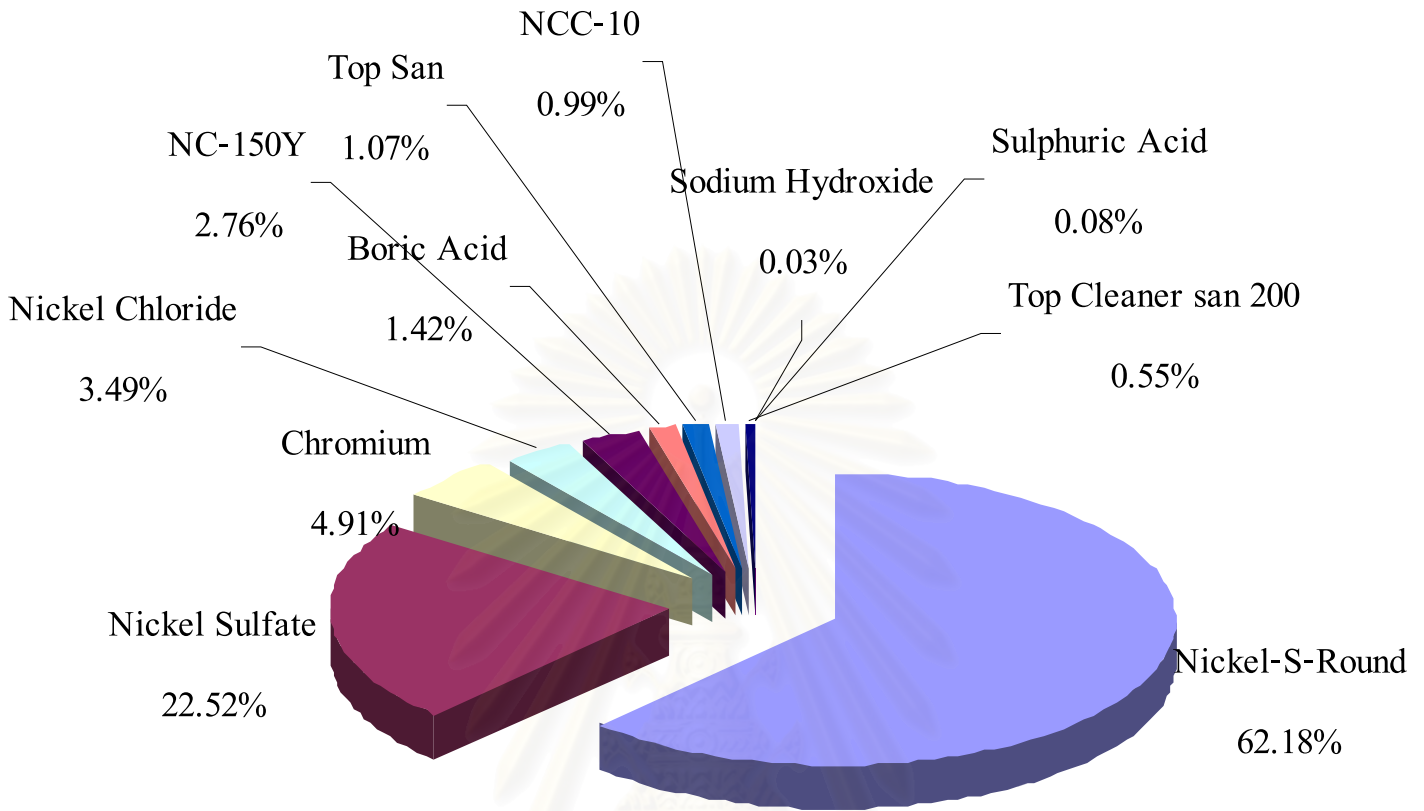
ในปี 2549 โรงงานมีค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีดังแสดงตามตารางที่ 3.11 และรูปที่ 3.8

ตารางที่ 3.11 ข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในกระบวนการชุบนิเกิล-โครเมียมในปี 2549

ลำดับ	ประเภทสารเคมี	จำนวนที่ใช้ (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ค่าใช้จ่ายเทียบเป็น% ของค่าใช้จ่ายรวม
1	Nickel-S-Round	9,310	6,377,350	62.18
2	Nickel Sulfate	8,105	2,309,925	22.52
3	Chromium	1,974	503,370	4.91
4	Nickel Chloride	2,043	357,525	3.49
5	NC-150Y	3,540	283,200	2.76
6	Boric Acid	1,825	146,000	1.42
7	Top San	1,570	109,900	1.07
8	NCC-10	920	101,200	0.99
9	Top Cleaner san 200	196	56,840	0.55
10	Sulphuric Acid	1,215	8,505	0.08
11	Sodium Hydroxide	160	3,200	0.03
	รวม	30,858	10,257,015	100

ที่มา: ข้อมูลค่าใช้จ่ายสารเคมีของกระบวนการชุบนิเกิล-โครเมียมปี พ.ศ.2549

- หมายเหตุ: 1.สารเคมีลำดับที่ 1, 2, 4, 6 ใช้สำหรับผสมในถังน้ำยานิเกิล คิดเป็น 89.61% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด  
 2.สารเคมีลำดับที่ 3, 10 ใช้สำหรับผสมในถังน้ำยาโครเมียม คิดเป็น 4.99% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด  
 3.สารเคมีลำดับที่ 5, 7, 8, 9, 11 ใช้สำหรับผสมในถังน้ำยา ขั้นตอน Pretreatment คิดเป็น 5.40% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมด



รูปที่ 3.8 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในกระบวนการชุบนิเกิล-โครเมียมในปี 2549

ที่มา : ข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีของกระบวนการชุบนิเกิล-โครเมียมในปี 2549

จากข้อมูลตารางที่3.1 พบว่าสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการชุบนิเกิล-โครเมียมในปี 2549 เป็นจำนวน30,858 กิโลกรัมมีการผลิตชิ้นส่วน Ext pipe และ Protector muffler ทั้งหมดเป็นจำนวน 985,400 ชิ้น ดังนั้นคิดเป็น **น้ำหนักสารเคมีเท่ากับ 0.0313 กิโลกรัม/ ชิ้น**

จากข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในกระบวนการชุบนิเกิล-โครเมียมในปี 2549 พบว่าค่าใช้จ่ายรวมเป็น 10,257,015 บาท โดยมีการผลิตชิ้นส่วน Ext pipe และ Protector Muffler ทั้งหมดเป็นจำนวน 985,400 ชิ้น ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่ายเท่ากับ **10.41 บาท/ ชิ้น**

## บทที่ 4

### อุปกรณ์การทดลองและขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองอุปกรณ์ถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก นอกจากจะช่วยอำนวยความสะดวกเกี่ยวกับการทดลองแล้ว ยังส่งผลต่อความเที่ยงตรงของการทดลองนั้นๆด้วย ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 อุปกรณ์การทดลองชุดนิเกิล-โครเมียมด้วยไฟฟ้า

1. เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Rectifier)
2. บั๊มลมขนาดเล็ก
3. เต้าไฟฟ้า
4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล
5. เครื่องทำความร้อนไฟฟ้า
6. เครื่องมือวัดความหนาชั้นผิว Nickel, Chromium
7. ที่ดูดน้ำยา
8. Automatic Burette
9. กระดาษกรอง
10. แท่นวางชิ้นงาน (แท่นแม่เหล็ก)
11. ซ้อนตักสารเคมี
12. บีกเกอร์ 2000 ml
13. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
14. ขาตั้ง (Stand)
15. ซ้อนตักสารเคมี
16. ขวดทรงกรวย (Conical Flask)
17. กระบอกตวงมาตรฐาน (Measuring Cylinder)
18. ปิเปต (Pipette) ขนาด 1, 2, 5, 10 ml
19. กรวย (Funnel)
20. บีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 500 ml
21. แผ่นทองเหลือง
22. ก่อ่งฮัลเซลล์ (Hull Cell)
23. ตัวล่อโครเมียม

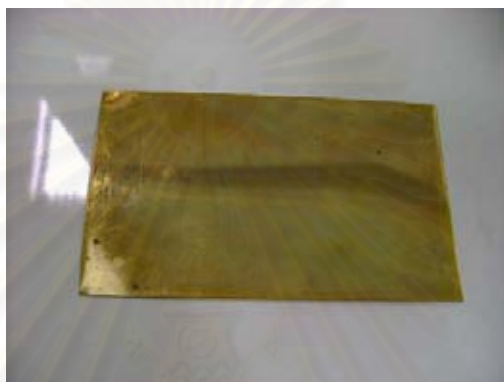
24. กระดาษทึบ

24. แผ่นนิกเกิลและถุงผ้าสำหรับใส่แผ่นนิกเกิล

#### 4.2 ขั้นตอนการทดลอง

##### 4.2.1 ขั้นตอนการเตรียมผิวชิ้นงาน

1) นำชิ้นงาน (แผ่นทองเหลือง) ขนาด 60 X 100 cm. ไปขัดผิวให้เรียบ



รูปที่ 4.1 ภาพชิ้นงานที่ยังไม่ได้ขัดผิว



รูปที่ 4.2 ภาพชิ้นงานที่ขัดผิวเสร็จแล้ว

#### 4.2.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเข้มข้นของน้ำยาหุบ Nickel

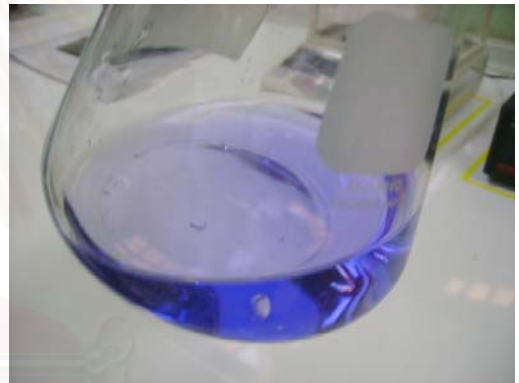
##### 4.2.2.1 การวิเคราะห์ Nickel Metal

สารเคมีที่ใช้ (Reagent)

1. S-A
2. Ind-1
3. R-5

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ใช้ปิเปตคูดน้ำยามาจำนวน 1 ml แล้วใส่ในขวดทรงกรวย
2. เติมน้ำ DI 80 ml
3. ใส่ Ind-1 เท่าหัวไม้จีด
4. เติม R-5 10 ml
5. Titrate ด้วย S-A ให้น้ำยาเปลี่ยนสีจาก “สีเขียวอมเทา” มาเป็น “สีม่วง”



รูปที่ 4.3 น้ำยา “สีเขียวอมเทา”

รูปที่ 4.4 น้ำยา “สีม่วง”

การคำนวณ  $2.9345 \times \text{cc. Of Titrant (STD. 60-70 g/l)}$

##### 4.2.2.2 การวิเคราะห์ Nickel Chloride

สารเคมีที่ใช้ (Reagent)

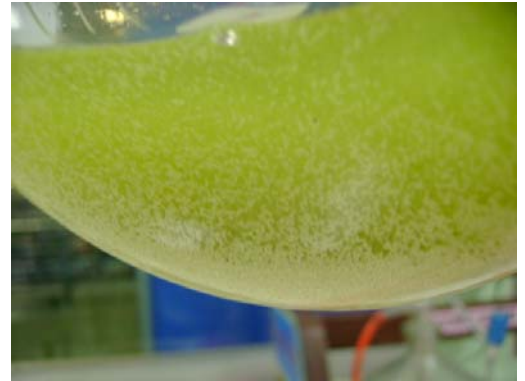
1. Ind-2
2. S-B

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ใช้ปิเปตคูดน้ำยามาจำนวน 5 ml แล้วใส่ในขวดทรงกรวย
2. เติมน้ำ DI 50 ml
3. เติม Ind-2 1 ml
4. Titrate ด้วย S-B ให้น้ำยาเปลี่ยนสีจาก “สีเขียว” จนตกตะกอน “สีขาว”



รูปที่ 4.5 น้ำยา“สีเขียว”



รูปที่ 4.6 น้ำยา“สีเขียว” ตะกอน “สีขาว”

การคำนวณ 2.38 x cc. Of Titrant (STD. 40-45 g/l)

#### 4.2.2.3 การวิเคราะห์ Boric Acid

สารเคมีที่ใช้ (Reagent)

1. D-Manital
2. Ind-3
3. S-C

ขั้นตอนการวิเคราะห์

1. ชั่งสาร D-Manital 4 g แล้วใส่ในขวดทรงกรวย
2. เติมน้ำ DI 50 ml
3. ใช้ปิเปตคูดน้ำยามาใส่จำนวน 2 ml
4. เติม Ind-3 จำนวน 3 หยด
5. Titrant ด้วย S-C ให้น้ำยาเปลี่ยนสีจาก “สีเขียวอมเหลือง” จนเป็น “สีฟ้า”



รูปที่ 4.7 น้ำยา “สีเขียวอมเหลือง”



รูปที่ 4.8 น้ำยา “สีฟ้า”



การคำนวณ 6.184 x cc. Of Titrant (STD. 30-45 g/l)

การคำนวณหา Nickel Sulphate

Nickel Sulphate = (Nickel Metal x 4.46)-(Nickel Chloride x1.1)

STD. = (260-290 g/l)

#### 4.3 ขั้นตอนการวัดค่าความหนาชั้นผิว Nickel และ Chromium

##### วิธีการดำเนินการ

ผู้ทำการทดสอบคุณภาพวัดความหนาผิวชุบโครเมียม ก่อนทำการทดสอบต้องผ่านขั้นตอนการฝึกอบรมเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือเพื่อการทดสอบ

##### การเตรียมการทดสอบ

1. จัดเตรียมแบบฟอร์มเอกสารที่ใช้บันทึกผลการทดสอบ
2. จัดเตรียมความพร้อมเครื่องมือวัด (THICKNESS TESTER) และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบดังนี้
  - 2.1 ELECTROLYTE (S-106) สารละลายที่ใช้ในการกำจัดผิวโครเมียม
  - 2.2 ELECTROLYTE (S-107) สารละลายที่ใช้ในการกำจัดผิวนิกเกิล
  - 2.3 น้ำสะอาด เพื่อใช้ทำความสะอาดระหว่างเปลี่ยนถ่ายสารละลายในขณะที่ทำการทดสอบ
  - 2.4 กระดาษทิชชูใช้ทำความสะอาดคราบน้ำที่ผิวผลิตภัณฑ์
3. จัดเตรียมผิวผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการทดสอบชุบผิว โลหะแล้วจำนวน 1 PCS.
4. คิดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ

##### วิธีการทดสอบ

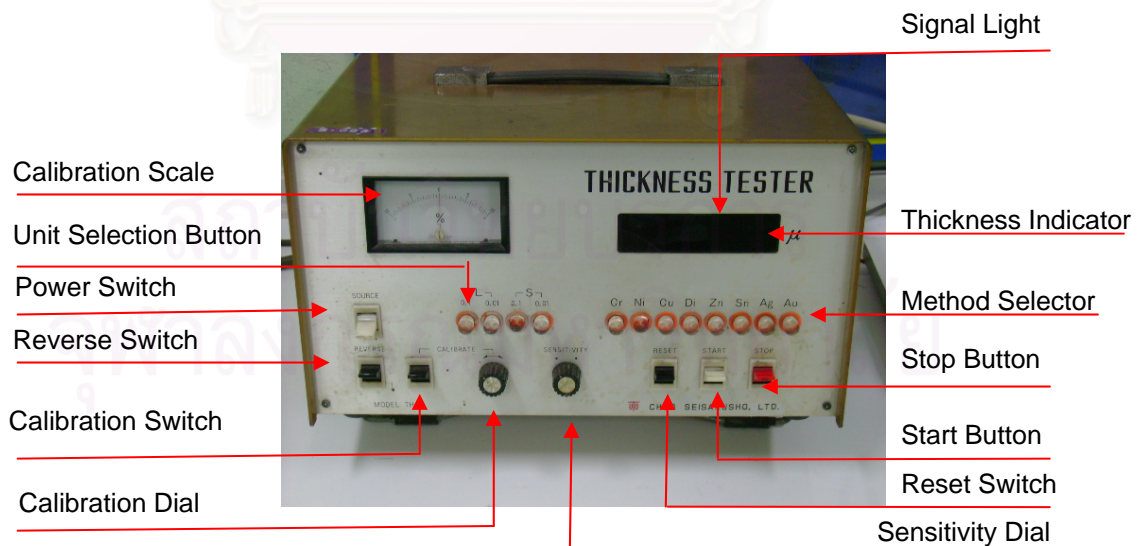
1. นำผลิตภัณฑ์ที่เตรียมไว้วางลงบน TABLE เครื่องทดสอบแล้วปรับหัวทดสอบ (TESTING HEAD) กด GESKET ให้แนบผลิตภัณฑ์
2. การติดตั้งแท่นทดสอบจะต้องทำด้วยความระมัดระวัง แกนตั้งที่มีหัว TESTER อยู่จะต้องตั้งฉากกับชิ้นงานทดสอบจากนั้นให้เลื่อนปุ่มล็อกที่มีสปริงอยู่ข้างใน ยกขึ้นแนบกับข้อต่อแขนทดสอบ และทำการล็อกให้แน่นจึงค่อยล็อกข้อต่อให้แน่นตามลำดับ
3. ใส่ ELECTROLYTE (S-106) ลงใน CELL
4. ปริมาณการใส่ ELECTROLYTE ที่เหมาะสมคือ 4 ใน 5 ส่วนของ CELL
5. กดปุ่ม POWER SWITCH เครื่องทดสอบ (SOURCE)
6. กดปุ่มสวิตช์ลักษณะ Cr และปรับหมุนปุ่ม SENSITIVITY ไปที่หลักทศนิยม 0.01 โดยให้เส้นขีดสีขาวตรงกับจุด THICKNESS INDICATION
7. กดปุ่ม Start Switch (สีเขียว) เพื่อเริ่มทดสอบความหนาชั้นโครเมียม
8. กดปุ่ม Stop switch (สีแดง) เมื่อผิวโครเมียมถูกทำลายจนหมด โดยที่สัญญาณเครื่องจะดังขึ้น พร้อมแสดงค่าความหนาชั้นที่ THICKNESS INDICATION

9. เปลี่ยนถ่าย ELECTROLYTE (S-106) ออกแล้วทำความสะอาดภายใน CELL
10. ใส่ ELECTROLYTE (S-107) ลงใน CELL
11. กดปุ่ม RESET SWITCH (สีดำ) เพื่อให้ตัวเลขที่ THICKNESS INDICATOR เป็นศูนย์
12. กดปุ่มสัญลักษณ์ Ni และปรับหมุนปุ่ม SENSITIVITY เพื่อให้ใบพัดกวานสารละลายในขณะทดสอบ
13. ปิดฝาครอบส่วนบนของ TESTING HEAD เพื่อให้ใบพัดกวานสารละลายในขณะทดสอบ
14. ดำเนินการเหมือนข้อ 7, 8 และข้อที่ 9
15. ตรวจสอบภาพผิวผลิตภัณฑ์ดูว่าชั้นผิวชุบถูกกำจัดออกหมดหรือไม่
16. บันทึกผลการทดสอบลงในแบบฟอร์มเอกสารที่ใช้บันทึกผลการทดสอบ

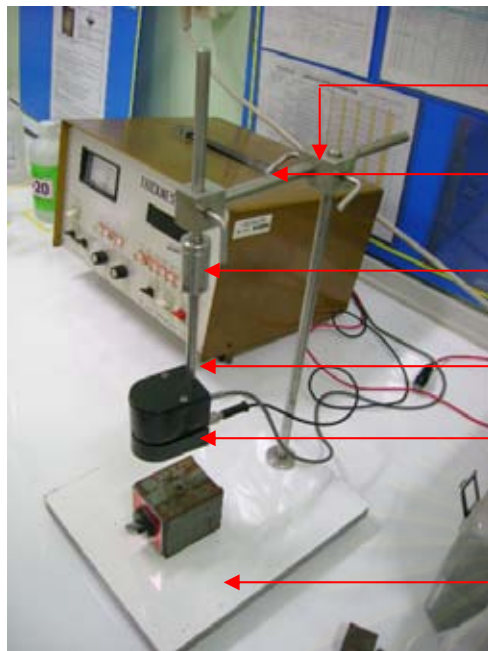


รูปที่ 4.9 ภาพการวัดค่าความหนาชั้นผิวนิกเกิล

#### NOMENCLATURE OF PRINCIPLE PARTS CONTROL



รูปที่ 4.10 ภาพเครื่องวัดความหนา



Arm Supporter

Horizontal Arm

Constraint Pressure attachment

Vertical Arm

Testing Head

Table



Electrolyte S-106

Electrolyte S-107

รูปที่ 4.11 อุปกรณ์ประกอบ

รูปที่ 4.12 Chemical Reagent

#### 4.4 ขั้นตอนการทดลอง HULL CELL TEST

##### สารเคมีที่ใช้

- |                                  |          |
|----------------------------------|----------|
| 1. น้ำยาชุบนิกเกิล Semi Nickel   | 300 ml   |
| 2. น้ำยาชุบนิกเกิล Tri Nickel    | 300 ml   |
| 3. น้ำยาชุบนิกเกิล Bright Nickel | 300 ml   |
| 4. น้ำยาชุบโครเมียม              | 2,000 ml |

##### วิธีการทดลอง

1. จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลองให้พร้อม
2. นำแผ่นชิ้นงานไปขัดผิวให้เรียบ
3. นำน้ำยาชุบมาตั้งที่เตาไฟฟ้าแล้วปรับอุณหภูมิของน้ำยาให้ได้ดังนี้
  - 3.1 น้ำยาชุบนิกเกิลอุณหภูมิ 45-60 องศา
  - 3.2 น้ำยาชุบโครเมียมอุณหภูมิ 50-60 องศา
4. นำชิ้นงานมาล้างใน น้ำยา Soak Clean (Pos 2)
5. นำมาแช่ไว้ในน้ำยาด่าง (Pos 16)
6. นำมาล้างในน้ำสะอาด
7. นำแผ่นนิกเกิลมาใส่ในถุงผ้าแล้วนำมาใส่ที่กล่อง HULL CELL
8. นำตัวอย่างของป๊มลมมาเสียบที่ช่องทางเดินลมของกล่อง HULL CELL
9. เติมน้ำยาชุบนิกเกิล Semi Nickel ใส่ในกล่อง HULL CELL ให้เท่ากับขีด UPPER

10. นำแผ่นชิ้นงานมาใส่ที่กล่อง HULL CELL
11. เอาสายไฟขั้ว (+) ของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามาคียบที่แผ่นนิกเกิล
12. เอาสายไฟขั้ว (-) มาคียบที่แผ่นชิ้นงาน
13. เสียบปลั๊กของปั้มลมเพื่อให้ปั้มลมทำงาน
14. เปิดสวิตซ์เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าไปที่ตำแหน่ง ON
15. หมุนปุ่ม Volume แล้วปรับกระแสไฟฟ้าไปที่ 2 A.
16. เริ่มจับเวลาในการชุบ 10 นาที
17. เมื่อครบ 10 นาทีแล้วให้ ปิดสวิตซ์เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและถอดปลั๊กปั้มลมออก
18. นำแผ่นชิ้นงานออกจากกล่อง HULL CELL
19. นำแผ่นนิกเกิลมาใส่ในถุงผ้าแล้วนำมาใส่ที่กล่อง HULL CELL อันใหม่
20. เติมน้ำยาชุบนิกเกิล Tri Nickel ใส่ในกล่อง HULL CELL ให้เท่ากับขีด UPPER
21. นำแผ่นชิ้นงานที่ผ่านขั้นตอนชุบ Semi Nickel มาใส่ในกล่อง HULL CELL
22. เอาสายไฟขั้ว (+) ของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามาคียบที่แผ่นนิกเกิล
23. เอาสายไฟขั้ว (-) มาคียบที่แผ่นชิ้นงาน
24. เปิดสวิตซ์เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าไปที่ตำแหน่ง ON
25. หมุนปุ่ม Volume แล้วปรับกระแสไฟฟ้าไปที่ 2 A.
26. เริ่มจับเวลาในการชุบ 2 นาที (ในขั้นตอนการทดลองนี้ไม่ต้องต่อสายปั้มลม)
27. เมื่อครบ 2 นาทีแล้วให้ปิดสวิตซ์เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและออกเอาแผ่นชิ้นงานออก
28. นำแผ่นนิกเกิลมาใส่ในกล่อง HULL CELL ใบใหม่
29. เติมน้ำยาชุบให้เท่ากับขีด UPPER
30. ต่อสายปั้มลมเข้าที่กล่อง HULL CELL
31. เสียบปลั๊กสายไฟของปั้มลม
32. เปิดสวิตซ์ของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าไปที่ตำแหน่ง ON
33. หมุนปุ่ม Volume ปรับกระแสไฟฟ้าไปที่ 2 A.
34. จับเวลาในการชุบ 10 นาที
35. เมื่อครบ 10 นาทีแล้วปิดสวิตซ์และถอดปลั๊กปั้มลมออก
36. นำแผ่นชิ้นงานออกจากกล่อง HULL CELL
37. นำตัวล่อโครเมียมมาใส่ใน Beaker ให้อยู่ตรงข้ามกัน ใซ้ที่หนีบแผ่นชิ้นงานหนีบตรงกลางแผ่นและยึดกับขาตั้ง(Stand) ให้ชิ้นงานอยู่ตรงกลางระหว่างตัวล่อ (ในการติดตั้งต้องระวังอย่าให้แผ่นชิ้นงานติดกับตัวล่อด้านใดด้านหนึ่ง)
38. นำสายไฟขั้วบวก (+) ของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ามาหนีบที่ตัวล่อ โครเมียมทั้งสองข้าง
39. นำสายไฟขั้วลบ (-) มาหนีบที่แผ่นชิ้นงาน

40. เปิดสวิตช์เครื่องกระแสไฟฟ้าไปที่ตำแหน่ง ON
41. หมุนปุ่ม Volume ปรับกระแสไฟฟ้าให้ได้ 2 A.
42. เริ่มจับเวลา ในการชุบ 2 นาที
43. เมื่อครบ 2 นาที ให้เอาแผ่นชิ้นงานออก
44. เมื่อทดลองเสร็จแล้วทำความสะอาดอุปกรณ์ให้เรียบร้อย
45. เก็บอุปกรณ์ที่ใช้เข้าที่เดิม

#### 4.5 การทดลองที่ LINE PLATING

วิธีการทดลองที่ LINE PLATING ตามตารางที่ 4.1 ดังนี้

Jig No.	จำนวน (ชิ้น)	ขั้นตอนการทดลอง
No. 1	3	1) ลงชุบข้อ SEMI แล้วเอาออกมาวัดค่าความหนาชั้นผิว Nickel
No. 2	3	2) ลงชุบข้อ SEMI และ TRI แล้วเอาออกมาวัดค่าความหนาชั้นผิว Nickel
No. 3	3	3) ลงชุบข้อ SEMI , TRI และ BRIGHT Ni แล้วเอาออกมาวัดค่าความหนาชั้นผิว Nickel
No. 4	3	4) ลงชุบข้อ SEMI , TRI, BRIGHT Ni และ BRIGHT CROME แล้วเอาออกมาวัดค่าความหนาชั้นผิว Nickel , และ Chromium

ตารางที่ 4.1 ขั้นตอนการทดลองที่ LINE PLATING

#### 4.6 การทดลองที่ ห้อง Lab (HULL CELL TEST)

การทดลองในห้อง Lab เป็นการทดลองแบบ HULL CELL TEST ซึ่งได้ทำการทดลองปรับค่าความเข้มข้นของน้ำยาชุบนิกเกิลให้อยู่ในค่ามาตรฐานตามที่ Standard กำหนดและปรับให้มีค่าต่ำกว่า Standard ดังนี้

วิธีที่ 1 ปรับค่าความเข้มข้นให้อยู่ในค่า Standard ตาม ตารางที่ 4.2

ข้อ	ความเข้มข้น (กรัม / ลิตร)		
	Minimum	Medium	maximum
SEMI	260	275	290
TRI	260	275	290
BRIGHT Ni	260	275	290
BRIGHT Cr	280	315	350

ตารางที่ 4.2 ค่าความเข้มข้น Standard

วิธีที่ 2 ปรับค่าความเข้มข้นให้ต่ำกว่าค่า Standard ตาม ตารางที่ 4.3

ข้อ	ความเข้มข้น (กรัม / ลิตร)		
	Lower Minimum	Minimum	Medium
SEMI	240 / 250	260	275
TRI	240 / 250	260	275
BRIGHT Ni	240 / 250	260	275
BRIGHT Cr	260	280	315

ตารางที่ 4.3 ค่าความเข้มข้น ต่ำกว่า Standard

### 1. วิธีการทดลองน้ำยาชุบนิกเกิลบ่อ SEMI

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลองให้พร้อม
2. ตักน้ำยาชุบนิกเกิลที่จะใช้มาใส่ในขวดทรงกรวย
3. ทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นตามหัวข้อที่ 2.2 (ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของน้ำยาชุบ Nickel)
4. เมื่อทราบค่าความเข้มข้นแล้วให้ทำการปรับค่าตามที่กำหนดไว้
5. ทำการทดลองน้ำยาชุบนิกเกิลบ่อ SEMI ตามหัวข้อที่ 2.4 (ขั้นตอนการทดลอง ที่ 1 ถึง 18)
6. นำแผ่นชิ้นงานไปวัดค่าความหนาชั้นนิกเกิลตามหัวข้อที่ 2.3 ( ขั้นตอนการวัดค่าความหนาชั้นผิว Nickel และ Chromium)
7. บันทึกค่าที่ทำการทดลองไว้

### 2. วิธีการทดลองน้ำยาชุบนิกเกิลบ่อ TRI

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลองให้พร้อม
2. ตักน้ำยาชุบนิกเกิลที่จะใช้มาใส่ในขวดทรงกรวย
3. ทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นตามหัวข้อที่ 2.2 (ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของน้ำยาชุบ Nickel)
4. เมื่อทราบค่าความเข้มข้นแล้วให้ทำการปรับค่าตามที่กำหนดไว้
5. ทำการทดลองน้ำยาชุบนิกเกิลบ่อ SEMI ตามหัวข้อที่ 2.4 (ขั้นตอนการทดลอง ที่ 1 ถึง 18)
6. นำแผ่นชิ้นงานไปวัดค่าความหนาชั้นนิกเกิลตามหัวข้อที่ 2.3 ( ขั้นตอนการวัดค่าความหนาชั้นผิว Ni และ Chromium)
7. บันทึกค่าที่ทำการทดลองไว้
8. ทำการทดลองน้ำยาชุบนิกเกิลบ่อ TRI ตามหัวข้อที่ 2.4 (ขั้นตอนการทดลอง ที่ 19 ถึง 27)
9. นำแผ่นชิ้นงานไปวัดค่าความหนาชั้นนิกเกิลตามหัวข้อที่ 2.3 ( ขั้นตอนการวัดค่าความหนาชั้นผิว Nickel)

### 3. วิธีการทดลองน้ำยาชุบนิกเกิลบ่อ BRIGHT

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลองให้พร้อม
2. ตักน้ำยาชุบนิกเกิลที่จะใช้มาใส่ในขวดทรงกรวย
3. ทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นตามหัวข้อที่ 2.2 (ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของน้ำยาชุบ Nickel)
4. เมื่อทราบค่าความเข้มข้นแล้วให้ทำการปรับค่าตามที่กำหนดไว้
5. ทำการทดลองน้ำยาชุบนิกเกิลบ่อ SEMI ตามหัวข้อที่ 2.4 (ขั้นตอนการทดลอง ที่ 1 ถึง 18)

6. นำแผ่นชิ้นงานไปวัดค่าความหนาชั้นนิกเกิลตามหัวข้อที่ 2.3 ( ขั้นตอนการวัดค่าความหนาชั้นผิว Ni และ Chromium)
7. บันทึกค่าที่ทำการทดลองไว้
8. ทำการทดลองน้ำยาชุบนิกเกิลบ่อ TRI ตามหัวข้อที่ 2.4 (ขั้นตอนการทดลอง ที่ 19 ถึง 27)
9. นำแผ่นชิ้นงานไปวัดค่าความหนาชั้นนิกเกิลตามหัวข้อที่ 2.3 ( ขั้นตอนการวัดค่าความหนาชั้นผิว Nickel)
10. บันทึกค่าที่ทำการทดลองไว้
11. ทำการทดลองน้ำยาชุบนิกเกิลบ่อ BRIGHT ตามหัวข้อที่ 2.4 (ขั้นตอนการทดลอง ที่ 28 ถึง 36)
12. นำแผ่นชิ้นงานไปวัดค่าความหนาชั้นนิกเกิลตามหัวข้อที่ 2.3 (ขั้นตอนการวัดค่าความหนาชั้นผิว Nickel)
13. บันทึกค่าที่ทำการทดลองไว้

#### 4. วิธีการทดลองน้ำยาชุบนิกเกิลบ่อ BRIGHT CHROME

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลองให้พร้อม
2. ตักน้ำยาชุบนิกเกิลที่จะใช้มาใส่ในขวดทรงกรวย
3. ทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นตามหัวข้อที่ 2.2 (ขั้นตอนการวิเคราะห์ความเข้มข้นของน้ำยาชุบ Nickel)
4. เมื่อทราบค่าความเข้มข้นแล้วให้ทำการปรับค่าตามที่กำหนดไว้
5. ทำการทดลองน้ำยาชุบนิกเกิลบ่อ SEMI ตามหัวข้อที่ 2.4 (ขั้นตอนการทดลอง ที่ 1 ถึง 18)
6. นำแผ่นชิ้นงานไปวัดค่าความหนาชั้นนิกเกิลตามหัวข้อที่ 2.3 ( ขั้นตอนการวัดค่าความหนาชั้นผิว Ni และ Chromium)
7. บันทึกค่าที่ทำการทดลองไว้
8. ทำการทดลองน้ำยาชุบนิกเกิลบ่อ TRI ตามหัวข้อที่ 2.4 (ขั้นตอนการทดลอง ที่ 19 ถึง 27)
9. นำแผ่นชิ้นงานไปวัดค่าความหนาชั้นนิกเกิลตามหัวข้อที่ 2.3 ( ขั้นตอนการวัดค่าความหนาชั้นผิว Nickel)
10. บันทึกค่าที่ทำการทดลองไว้
11. ทำการทดลองน้ำยาชุบนิกเกิลบ่อ BRIGHT ตามหัวข้อที่ 2.4 (ขั้นตอนการทดลอง ที่ 28 ถึง 36)
12. นำแผ่นชิ้นงานไปวัดค่าความหนาชั้นนิกเกิลตามหัวข้อที่ 2.3 (ขั้นตอนการวัดค่าความหนาชั้นผิว Nickel)
13. บันทึกค่าที่ทำการทดลองไว้
14. ทำการทดลองน้ำยาชุบโครเมียม ตามหัวข้อที่ 2.4 (ขั้นตอนการทดลอง ที่ 37 ถึง 46)



15. นำแผ่นชิ้นงานไปวัดค่าความหนาชั้นโครเมียมตามหัวข้อที่ 2.3 (ขั้นตอนการวัดค่าความหนาชั้นผิว Nickel)
16. บันทึกค่าที่ทำการทดลองไว้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

#### 5.1 ผลการทดลองวัดค่าความหนาชั้นนิเกิล – โครเมียมของการทดลองในห้องปฏิบัติการ

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองด้วยวิธีการ Hull cell โดยการชุบชิ้นงานด้วยน้ำยาบ่อ Semi ที่ความเข้มข้น Ni ที่ 240 , 250 ,260 ,275 กรัม/ลิตร ตามลำดับและวัดความหนาของชั้น Ni ดังตารางที่ 5.1

1. จากผลความหนาของการชุบชิ้นงานด้วยน้ำยาบ่อ Semi-Ni พบว่าที่ความเข้มข้น Ni ที่ 260 กรัม/ลิตร มีค่าความหนาเฉลี่ยที่สูงที่สุด จึงได้ทำการทดลองชุบชิ้นงานด้วยน้ำยาบ่อ Tri-Ni ที่ความเข้มข้น Ni ที่ 240 , 250 ,260 ,275 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ด้วยวิธีการ Hull cell โดยกำหนดให้ใช้ความเข้มข้น Ni ด้วยน้ำยาบ่อ Semi-Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตร และวัดความหนาของชั้น Ni ได้ดังตารางที่ 5.2

2. จากผลความหนาของการชุบชิ้นงานด้วยน้ำยาบ่อ Tri-Ni พบว่าที่ความเข้มข้น Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตร มีค่าความหนาเฉลี่ยที่สูงที่สุด จึงได้ทำการทดลองชุบชิ้นงานด้วยน้ำยาบ่อ Bright-Ni ที่ความเข้มข้น Ni ที่ 240 , 250 ,260 ,275 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ด้วยวิธีการ Hull cell โดยกำหนดให้ใช้ความเข้มข้น Ni ด้วยน้ำยาบ่อ Semi-Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตร และความเข้มข้น Ni ด้วยน้ำยาบ่อ Tri-Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตร และวัดความหนาของชั้น Ni ได้ดังตารางที่ 5.3

3. จากผลความหนาของชิ้นงานด้วยน้ำยาบ่อ Bright-Ni พบว่าที่ความเข้มข้น Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตร มีค่าความหนาเฉลี่ยที่สูงที่สุด จึงได้ทำการทดลองชุบชิ้นงานด้วยน้ำยาบ่อ Bright-Cr ที่ความเข้มข้น Cr ที่ 260 , 280 , 315 กรัม/ลิตร ตามลำดับ ด้วยวิธีการ Hull cell โดยกำหนดให้ใช้ความเข้มข้น Ni ด้วยน้ำยาบ่อ Semi-Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตร และความเข้มข้น Ni ด้วยน้ำยาบ่อ Tri-Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตรและ ความเข้มข้น Ni ด้วยน้ำยาบ่อ Bright-Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตร และวัดความหนาของชั้น Ni & Cr ได้ดังตารางที่ 5.4

จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ จะพบว่าที่ความเข้มข้นของ Ni ที่ 240 กรัม/ลิตร ของบ่อ Semi-Ni, บ่อ Tri-Ni และบ่อ Bright-Ni ค่าความหนามีค่าน้อยที่สุด และค่าความหนาของชิ้นงานหลังการชุบ Bright-Ni มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน จึงทำการทดลองความเข้มข้นของ Ni ที่ 250, 260 และ 275 กรัม/ลิตร ของบ่อ Semi-Ni, บ่อ Tri-Ni และบ่อ Bright-Ni

## 5.2 ผลการวัดค่าความหนาแน่นนิเกิล-โครเมียมของการทดลองในสายการผลิต

ทำการทดลองโดยการชุบชิ้นงานในบ่อ Semi-Ni ที่ความเข้มข้น Ni ที่ 250 ,260 ,275 กรัม/ลิตร ตามลำดับและวัดความหนาของชั้น Ni ได้ดังตารางที่ 5.5

1. จากผลความหนาของชิ้นงานในบ่อ Semi-Ni พบว่าที่ความเข้มข้น Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตร เปรียบเทียบกับที่ความเข้มข้น Ni ที่ 275 กรัม/ลิตร พบว่ามีค่าความหนาเฉลี่ยใกล้เคียงกัน จึงได้กำหนดให้ใช้ความเข้มข้น Ni ในบ่อ Semi-Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตรเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีต่ำกว่าที่ความเข้มข้น 275 กรัม/ลิตร สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลองและทำการทดลองชุบชิ้นงานในบ่อ Tri-Ni ที่ความเข้มข้น Ni ที่ 250 ,260 ,275 กรัม/ลิตร ตามลำดับ และวัดความหนาของชั้น Ni ได้ดังตารางที่ 5.6

2. จากผลความหนาของชิ้นงานในบ่อ Tri-Ni พบว่าที่ความเข้มข้น Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตร เปรียบเทียบกับที่ความเข้มข้น Ni ที่ 275 กรัม/ลิตร พบว่ามีค่าความหนาเฉลี่ยใกล้เคียงกัน จึงได้กำหนดให้ใช้ความเข้มข้น Ni ในบ่อ Tri-Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตรเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีต่ำกว่าที่ความเข้มข้น 275 กรัม/ลิตร สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และทำการทดลองชุบชิ้นงานในบ่อ Bright-Ni ที่ความเข้มข้น Ni ที่ 250, 260, 275 กรัม/ลิตร ตามลำดับ และวัดความหนาของชั้น Ni ได้ดังตารางที่ 5.7

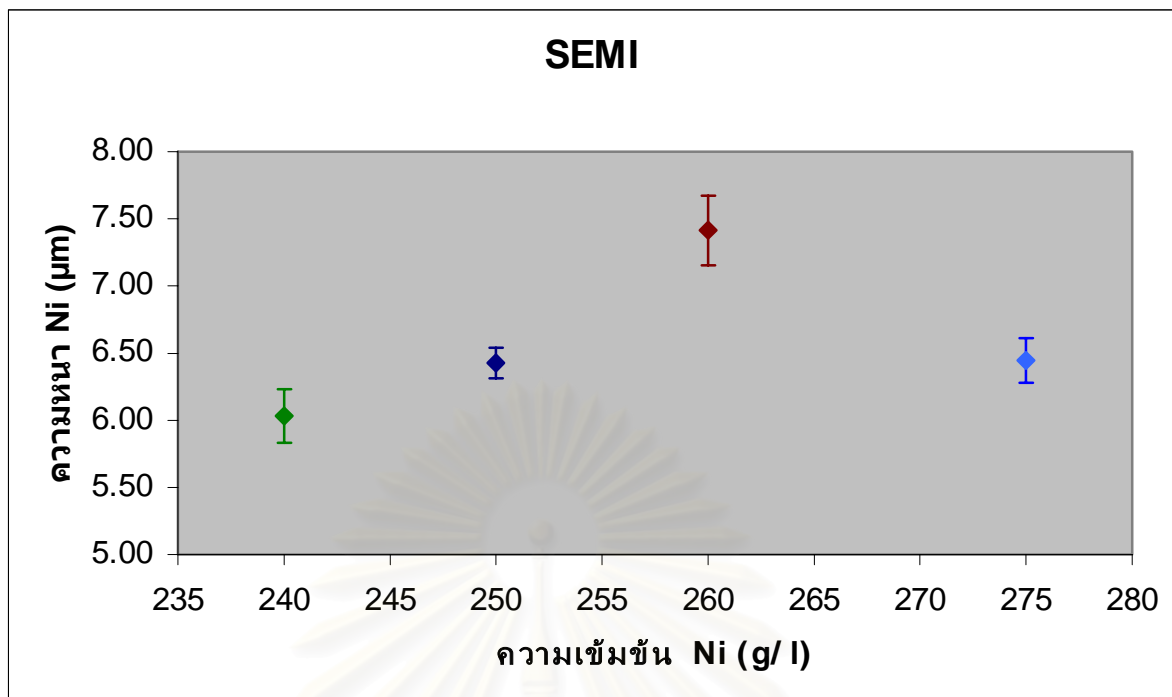
3. จากผลความหนาของชิ้นงานในบ่อ Bright-Ni พบว่าที่ความเข้มข้น Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตร เปรียบเทียบกับที่ความเข้มข้น Ni ที่ 275 กรัม/ลิตร พบว่ามีค่าความหนาเฉลี่ยใกล้เคียงกัน จึงได้กำหนดให้ใช้ความเข้มข้น Ni ในบ่อ Bright-Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตรเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีต่ำกว่าที่ความเข้มข้น 275 กรัม/ลิตร สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง และทำการทดลองชุบชิ้นงานในบ่อ Bright-Cr ที่ความเข้มข้น Cr ที่ 260, 280 และ 315 กรัม/ลิตร ตามลำดับ และวัดความหนาของชั้น Ni และ Cr ได้ดังตารางที่ 5.8

NO.	บ่อ	ความเข้มข้น Ni. (g/l)	ความเข้มข้น Cr.(g/l)	เวลาในการชุบ ( นาที )	ความหนาของชั้น Nickel ( $\mu\text{m}$ )																								
					ชั้นที่ 1					ชั้นที่ 2					ชั้นที่ 3					$\bar{X}$	SD	$\bar{X} \pm \text{SD}$							
					ตำแหน่งวัดที่					ตำแหน่งวัดที่					ตำแหน่งวัดที่							$\bar{X}_1$	SD <sub>1</sub>	$\bar{X}_2$	SD <sub>2</sub>	$\bar{X}_3$	SD <sub>3</sub>	$\bar{X}-\text{SD}$	$\bar{X}+\text{SD}$
					1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5										
1	SEMI	240	-	10	5.9	5.8	6.0	6.1	5.8	5.9	0.13	5.7	6.2	6.0	6.3	6.0	6.0	0.23	5.8	6.3	6.4	6.2	6.0	6.1	0.24	6.03	0.20	5.83	6.23
		250	-	10	6.6	6.4	6.5	6.4	6.3	6.4	0.11	6.7	6.4	6.5	6.4	6.5	6.5	0.12	6.3	6.4	6.5	6.2	6.3	6.3	0.11	6.43	0.11	6.31	6.54
		260	-	10	7.2	7.4	7.3	7.7	7.2	7.4	0.21	7.9	7.4	7.5	7.4	7.0	7.4	0.32	7.3	7.6	7.3	7.8	7.2	7.4	0.25	7.41	0.26	7.15	7.67
		275	-	10	6.5	6.2	6.7	6.4	6.6	6.5	0.19	6.8	6.3	6.6	6.4	6.4	6.5	0.20	6.4	6.5	6.2	6.4	6.3	6.4	0.11	6.45	0.17	6.28	6.61

หมายเหตุ อุณหภูมิ,แรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษามีขนาดเท่ากันตลอดการทดลองเท่ากับ 50 องศา, 8 โวลต์และ 2แอมแปร์ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 ผลความหนาของชั้นนิกเกิล (Ni) ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการของน้ำยาชุบในบ่อ SEMI ที่ความเข้มข้น 240, 250, 260 และ 275 กรัมต่อลิตร

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเหตุ: จากการทดลองไม่พบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานแต่ละชิ้น

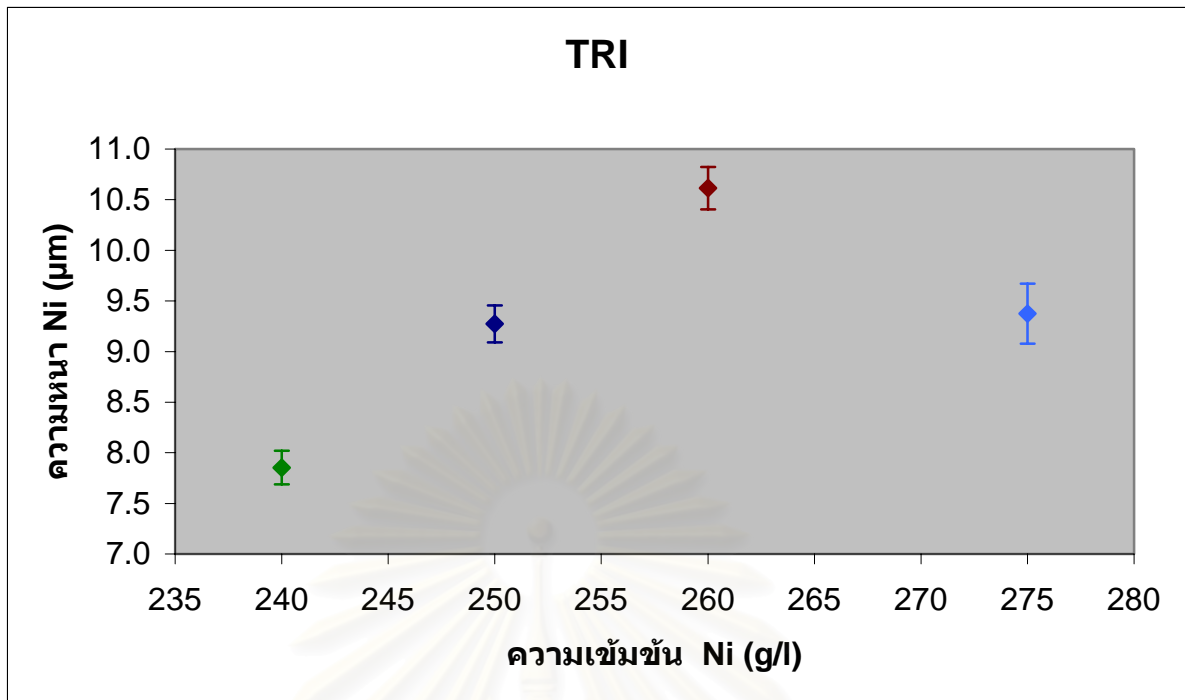
**รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการของน้ำยาชุบในบ่อ SEMI ที่ความเข้มข้น 240, 250, 260 และ 275 กรัมต่อลิตร**

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NO.	บ่อ	ความเข้มข้น Ni. (g/l)	ความเข้มข้น Cr.(g/l)	เวลาในการชุบ ( นาที )	ความหนาของชั้น Nickel ( $\mu\text{m}$ )																								
					ชั้นที่ 1					ชั้นที่ 2					ชั้นที่ 3					$\bar{X}$	SD	$\bar{X} \pm SD$							
					ตำแหน่งวัดที่					ตำแหน่งวัดที่					ตำแหน่งวัดที่							$\bar{X}_1$	SD <sub>1</sub>	$\bar{X}_2$	SD <sub>2</sub>	$\bar{X}_3$	SD <sub>3</sub>	$\bar{X}-SD$	$\bar{X}+SD$
					1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5										
2	SEMI	260	-	10																									
	TRI	240	-	2	7.4	7.9	7.6	7.6	7.7	7.6	0.18	8.0	8.1	7.9	7.8	7.7	7.9	0.16	7.9	8.1	8.2	7.8	8.1	8.0	0.16	7.9	0.17	7.7	8.0
		250	-	2	8.9	8.8	9.0	9.2	9.4	9.1	0.24	9.5	9.3	9.4	9.2	9.6	9.4	0.16	9.2	9.2	9.5	9.4	9.5	9.4	0.15	9.3	0.18	9.1	9.5
		260	-	2	10.7	10.4	10.5	10.5	10.6	10.5	0.11	10.3	10.9	10.8	11.0	10.8	10.8	0.27	10.1	10.7	10.6	10.7	10.6	10.5	0.25	10.6	0.21	10.4	10.8
		275	-	2	8.7	9.3	9.2	9.4	9.7	9.3	0.36	9.7	9.2	9.5	9.3	9.7	9.5	0.23	8.9	9.3	9.5	9.5	9.7	9.4	0.30	9.4	0.30	9.1	9.7

หมายเหตุ อุณหภูมิ,แรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษามีขนาดเท่ากันตลอดการทดลองเท่ากับ 50 องศา, 8 โวลต์และ 2แอมแปร์ตามลำดับ

ตารางที่ 5.2 ผลความหนาของชั้นนิกเกิล (Ni) ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการของน้ำยาชุบในบ่อ TRI ที่ความเข้มข้น 240, 250, 260 และ 275 กรัมต่อลิตร



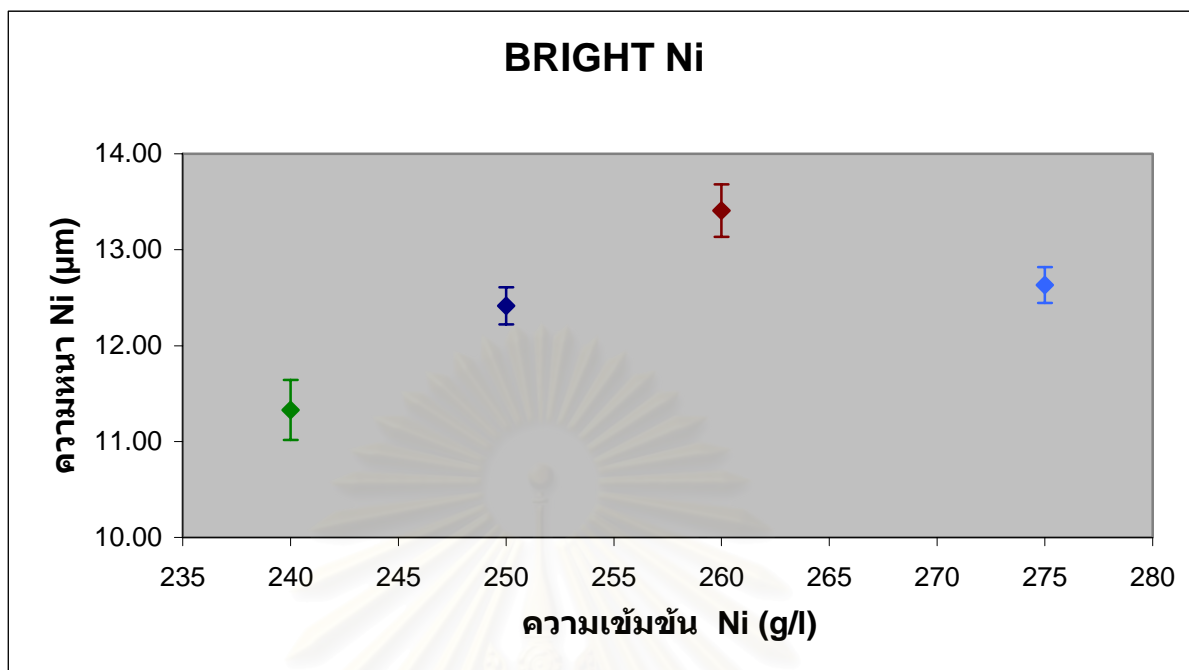
หมายเหตุ: จากการทดลองไม่พบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานแต่ละชิ้น

**รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการของน้ำยาชุบในบ่อ TRI ที่ความเข้มข้น 240, 250, 260 และ 275 กรัมต่อลิตร**

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





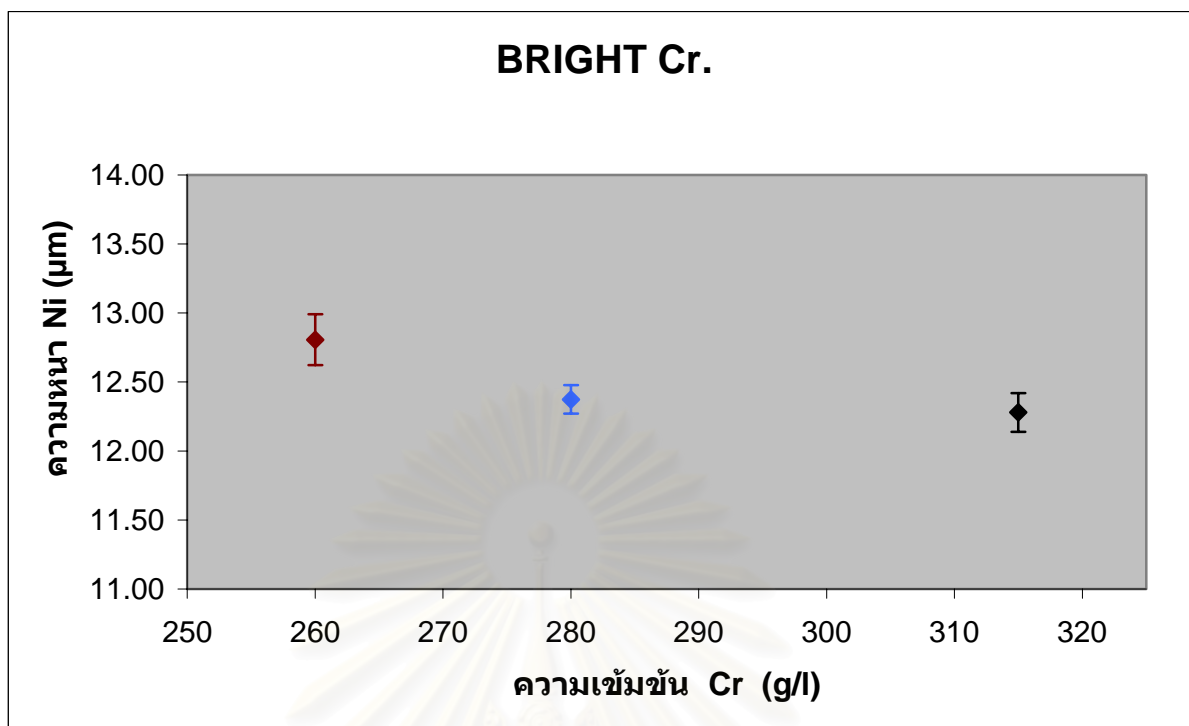


หมายเหตุ: จากการทดลองไม่พบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานแต่ละชิ้น

**รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการของน้ำยาชุบในบ่อ BRIGHT Ni ที่ความเข้มข้น 240, 250, 260 และ 275 กรัมต่อลิตร**

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

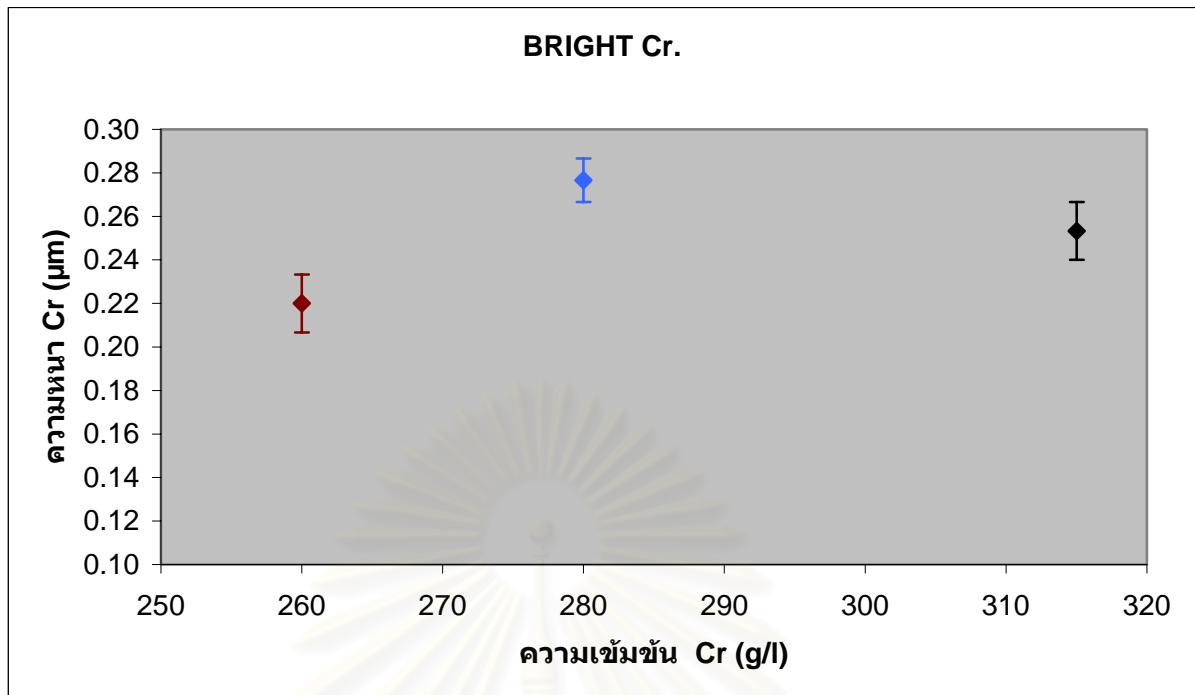




หมายเหตุ: จากการทดลองไม่พบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานแต่ละชิ้น

**รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ  
ของน้ำยาชุบในบ่อ BRIGHT CHROME ที่ความเข้มข้น 260, 280 และ 315 กรัมต่อลิตร**

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเหตุ: จากการทดลองไม่พบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานแต่ละชิ้น

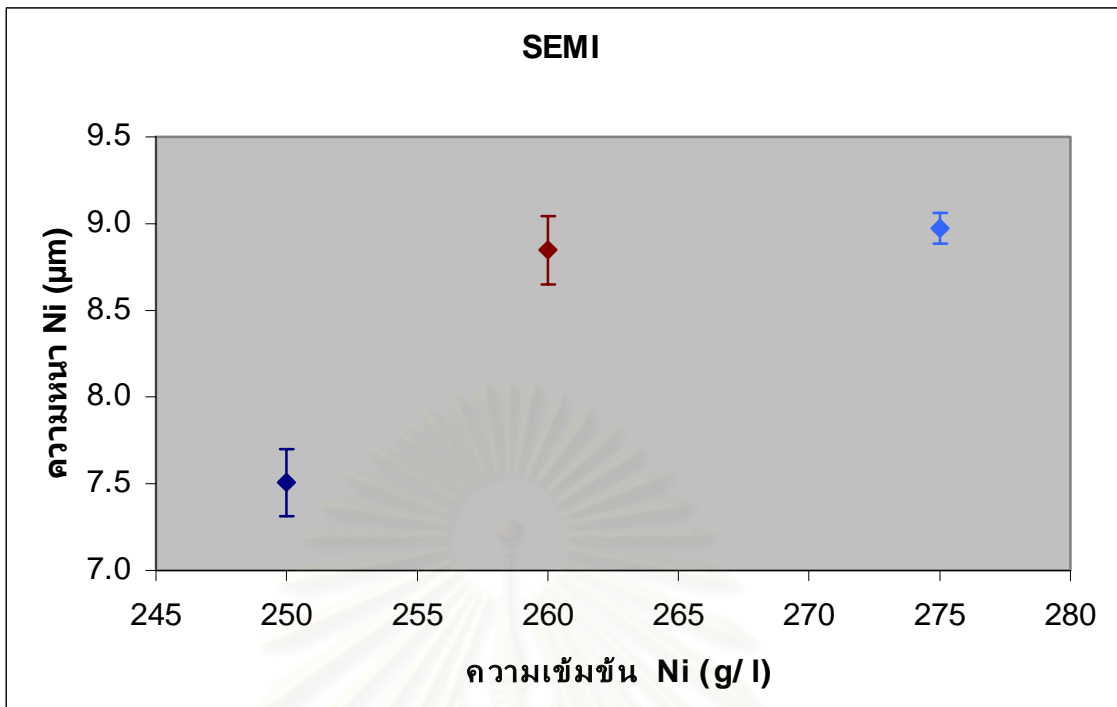
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น CHROME ที่ได้จากการทดลอง  
ในห้องปฏิบัติการของน้ำยาชุบในบ่อ BRIGHT CHROME  
ที่ความเข้มข้น 260, 280 และ 315 กรัมต่อลิตร

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NO.	บ่อ	ความเข้มข้น Ni. (g/l)	ความเข้มข้น Cr.(g/l)	เวลาในการชุบ ( นาที )	ความหนาของชั้น Nickel ( $\mu\text{m}$ )																								
					ชั้นที่ 1						ชั้นที่ 2						ชั้นที่ 3						$\bar{\bar{X}}$	SD	$\bar{\bar{X}} \pm \text{SD}$				
					ตำแหน่งวัดที่					$\bar{X}_1$	SD <sub>1</sub>	ตำแหน่งวัดที่					$\bar{X}_2$	SD <sub>2</sub>	ตำแหน่งวัดที่						$\bar{X}_3$	SD <sub>3</sub>	$\bar{X} - \text{SD}$	$\bar{X} + \text{SD}$	
					1	2	3	4	5			1	2	3	4	5			1	2	3	4							5
1	SEMI	250	-	10	7.3	7.4	7.7	7.6	7.3	7.5	0.18	7.8	7.6	7.3	7.5	7.5	7.5	0.18	7.7	7.8	7.4	7.4	7.3	7.5	0.22	7.5	0.19	7.3	7.7
		260	-	10	8.8	9.0	8.9	9.1	9.2	9.0	0.16	8.9	8.5	8.6	8.7	9.0	8.7	0.21	8.7	8.8	8.5	8.9	9.1	8.8	0.22	8.8	0.20	8.7	9.0
		275	-	10	8.9	9.1	9.1	9.2	9.0	9.1	0.11	9.1	9.0	8.9	8.9	9.0	9.0	0.08	8.8	8.8	8.9	9.0	8.9	8.9	0.08	9.0	0.09	8.9	9.1

หมายเหตุ อุณหภูมิ,แรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษามีขนาดเท่ากันตลอดการทดลองเท่ากับ 50 องศา, 8 โวลต์และ 2แอมแปร์ตามลำดับ

ตารางที่ 5.5 ผลความหนาของชั้นนิกเกิล (Ni) ที่ได้จากการทดลองในสายการผลิตของน้ำยาชุบในบ่อ SEMI ที่ความเข้มข้น 250, 260 และ 275 กรัมต่อลิตร



หมายเหตุ: จากการทดลองไม่พบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานแต่ละชิ้น

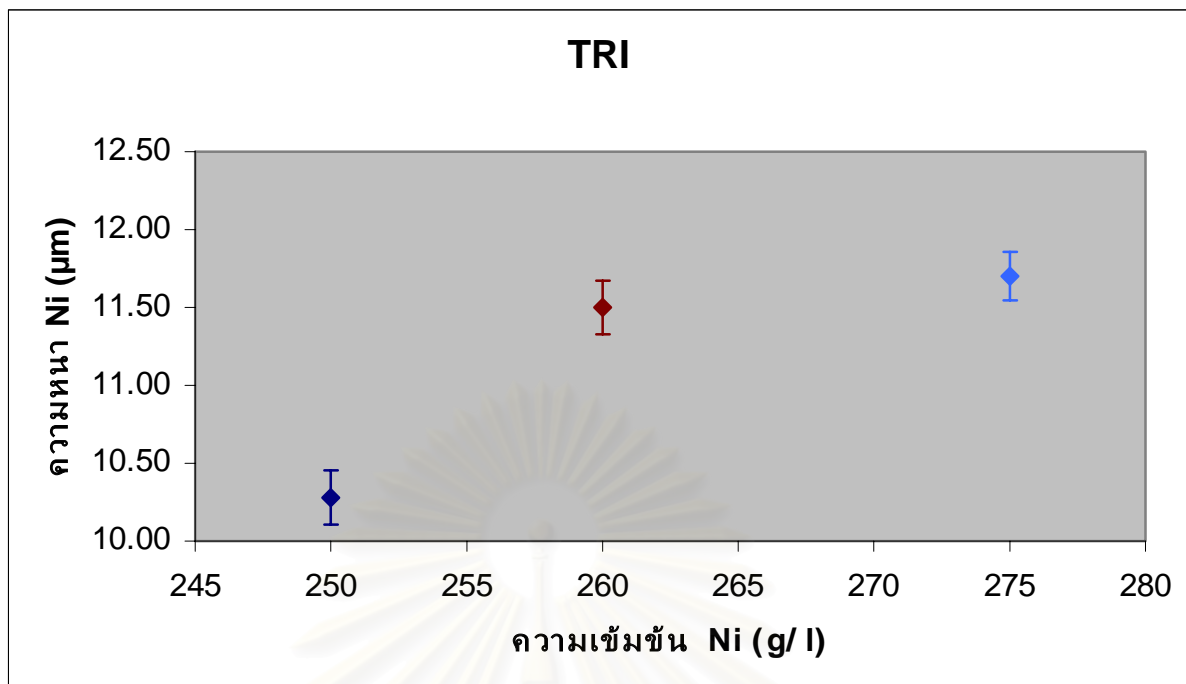
**รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในสายการผลิตของน้ำยาชุบในบ่อ SEMI ที่ความเข้มข้น 250, 260 และ 275 กรัมต่อลิตร**

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NO.	บ่อ	ความเข้มข้น Ni. (g/l)	ความเข้มข้น Cr.( g/l)	เวลาในการชุบ ( นาที )	ความหนาของชั้น Nickel ( $\mu\text{m}$ )																								
					ชั้นที่ 1					ชั้นที่ 2					ชั้นที่ 3					$\bar{\bar{X}}$	SD	$\bar{\bar{X}} \pm \text{SD}$							
					ตำแหน่งวัดที่					$\bar{\bar{X}}_1$	SD <sub>1</sub>	ตำแหน่งวัดที่					$\bar{\bar{X}}_2$	SD <sub>2</sub>	ตำแหน่งวัดที่					$\bar{\bar{X}}_3$	SD <sub>3</sub>	$\bar{\bar{X}} - \text{SD}$	$\bar{\bar{X}} + \text{SD}$		
					1	2	3	4	5			1	2	3	4	5			1			2	3					4	5
2	SEMI	260	-	10																									
	TRI	250	-	2	10.5	10.4	10.3	10.2	10.6	10.4	0.16	10.2	10.3	10.1	9.9	9.8	10.06	0.21	10.3	10.2	10.4	10.4	10.6	10.4	0.15	10.3	0.17	10.1	10.5
		260	-	2	11.3	11.2	11.5	11.6	11.5	11.4	0.16	11.4	11.6	11.8	11.2	11.6	11.52	0.23	11.7	11.7	11.5	11.4	11.5	11.6	0.13	11.5	0.17	11.3	11.7
		275	-	2	11.5	11.9	12.0	11.7	11.7	11.8	0.19	11.8	11.5	11.7	11.6	11.8	11.68	0.13	11.9	11.5	11.7	11.6	11.6	11.7	0.15	11.7	0.16	11.5	11.9

หมายเหตุ อุณหภูมิ,แรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษามีขนาดเท่ากันตลอดการทดลองเท่ากับ 50 องศา, 8 โวลต์และ 2แอมแปร์ตามลำดับ

ตารางที่ 5.6 ผลความหนาของชั้นนิกเกิล (Ni) ที่ได้จากการทดลองในสายการผลิตของน้ำยาชุบในบ่อ TRI ที่ความเข้มข้น 250, 260 และ 275 กรัมต่อลิตร



หมายเหตุ: จากการทดลองไม่พบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานแต่ละชิ้น

**รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในสายการผลิต  
ของน้ำยาชุบในบ่อ TRI ที่ความเข้มข้น 250, 260 และ 275 กรัมต่อลิตร**

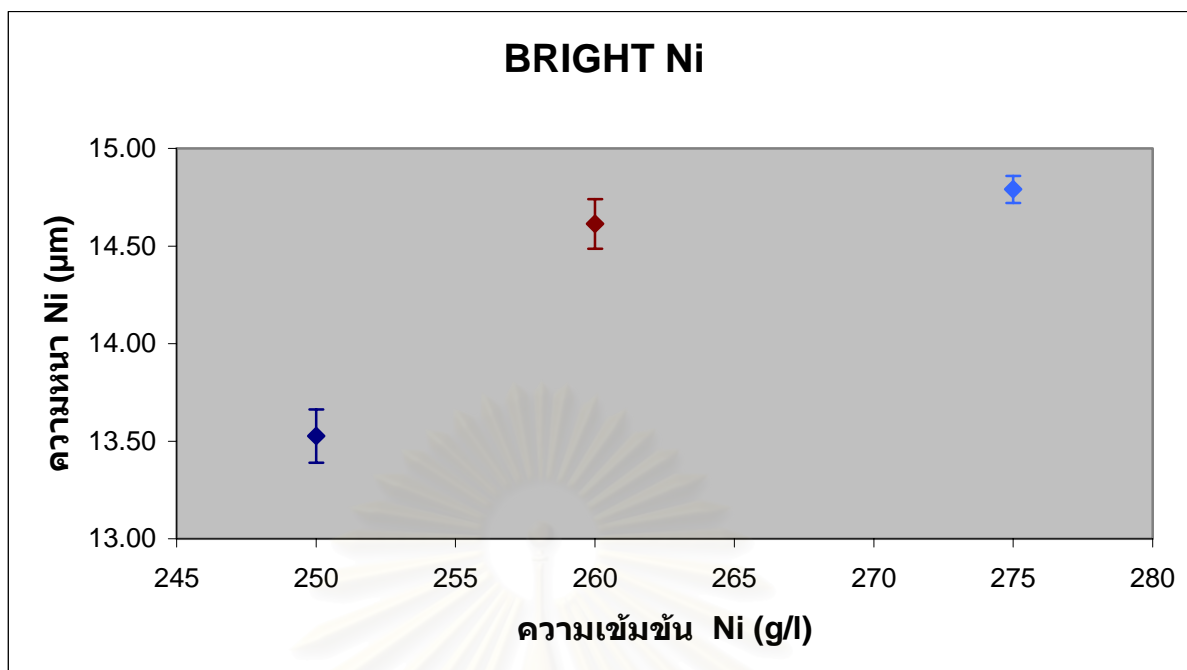
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ความเข้มข้น Ni. (g/l)	ความเข้มข้น Cr. (g/l)	เวลาในการชุบ ( นาที )	ความหนาของชั้น Nickel ( $\mu\text{m}$ )																										
			ชั้นที่ 1						ชั้นที่ 2						ชั้นที่ 3						$\bar{\bar{X}}$	SD	$\bar{\bar{X}} \pm \text{SD}$						
			ตำแหน่งวัดที่					$\bar{X}_1$	SD <sub>1</sub>	ตำแหน่งวัดที่					$\bar{X}_2$	SD <sub>2</sub>	ตำแหน่งวัดที่						$\bar{X}_3$	SD <sub>3</sub>	$\bar{X} - \text{SD}$	$\bar{X} + \text{SD}$			
			1	2	3	4	5			1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	$\bar{X}$					SD	$\bar{X} - \text{SD}$	$\bar{X} + \text{SD}$
3	SEMI	260	-	10																									
	TRI	260	-	2																									
	BRIGHT	250	-	10	13.4	13.5	13.6	13.2	13.5	13.4	0.15	13.5	13.2	13.7	13.5	13.4	13.5	0.18	13.6	13.7	13.8	13.6	13.7	13.7	0.08	13.5	0.14	13.4	13.7
		260	-	10	14.6	14.8	14.8	14.7	14.7	14.7	0.08	14.8	14.4	14.7	14.6	14.9	14.7	0.19	14.3	14.4	14.4	14.5	14.6	14.4	0.11	14.6	0.13	14.5	14.7
		275	-	10	14.8	14.7	14.9	14.9	14.8	14.8	0.08	14.8	14.7	14.8	14.9	14.8	14.8	0.07	14.7	14.8	14.7	14.9	14.8	14.8	0.06	14.8	0.07	14.7	14.9

หมายเหตุ อุณหภูมิ,แรงเคลื่อนไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษามีขนาดเท่ากันตลอดการทดลองเท่ากับ 50 องศา, 8 โวลต์และ 2แอมแปร์ตามลำดับ

ตารางที่ 5.7 ผลความหนาของชั้นนิกเกิล (Ni) ที่ได้จากการทดลองในสายการผลิตของน้ำยาชุบใน BRIGHT Ni ที่ความเข้มข้น 250, 260 และ 275 กรัมต่อลิตร

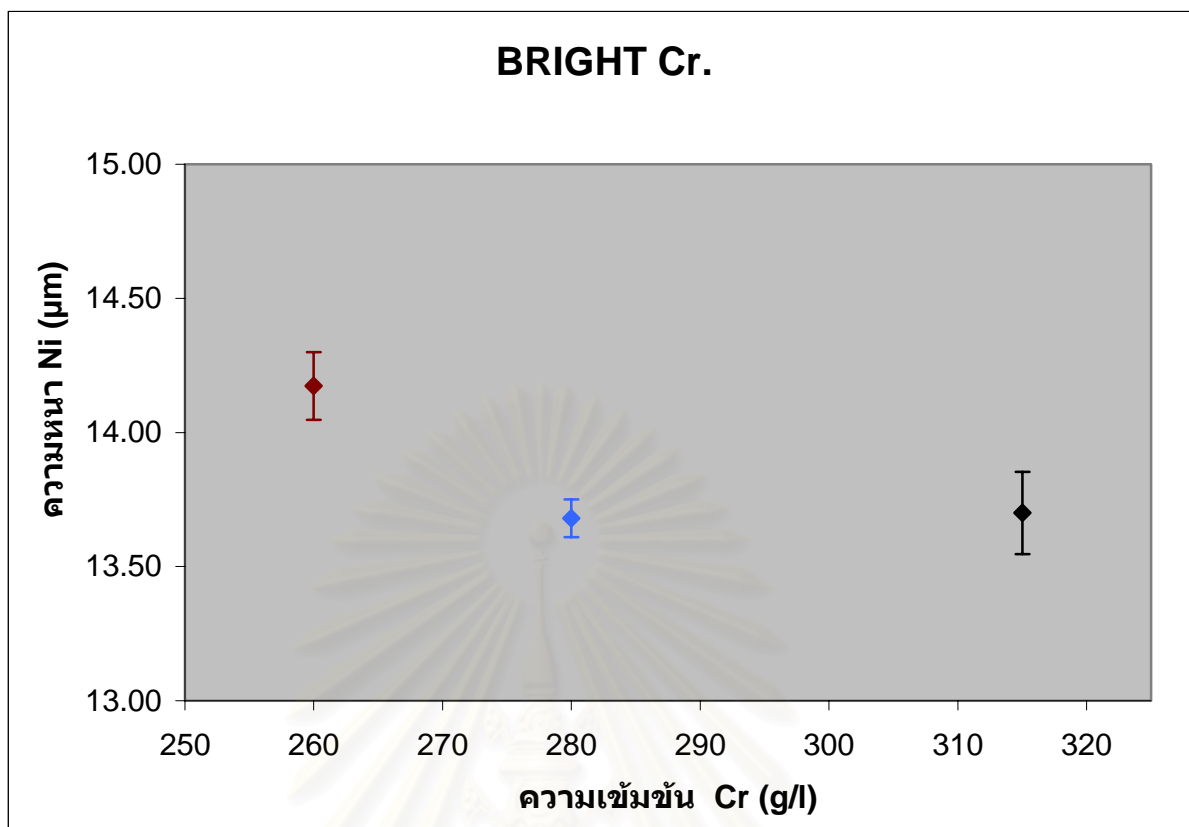


หมายเหตุ: จากการทดลองไม่พบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานแต่ละชิ้น

**รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในสายการผลิต  
ของน้ำยาชุบในบ่อ BRIGHT Ni ที่ความเข้มข้น 250, 250 และ 275 กรัมต่อลิตร**

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

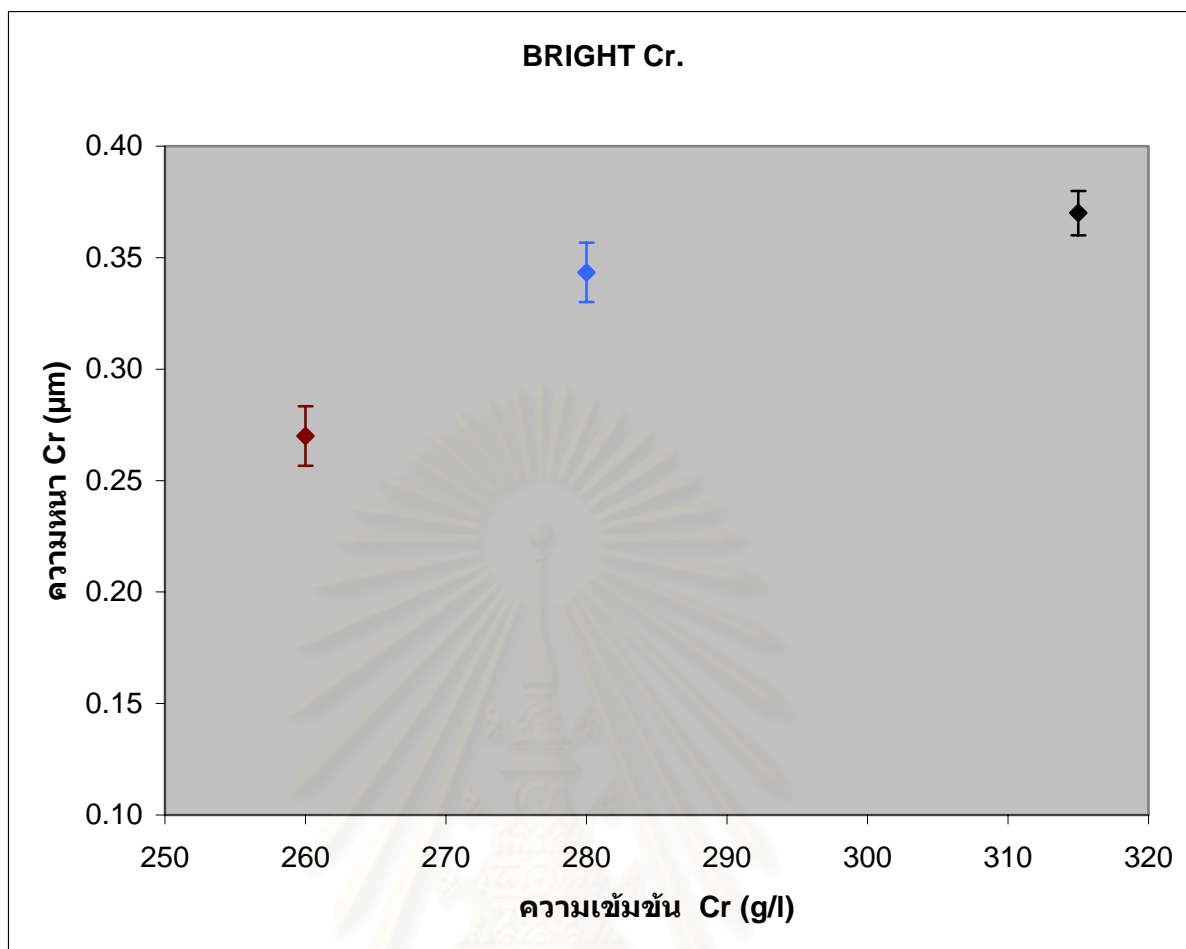




หมายเหตุ: จากการทดลองไม่พบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานแต่ละชิ้น

**รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น Nickel ที่ได้จากการทดลองในสายการผลิตของน้ำยาชุบในบ่อ BRIGHT CHROME ที่ความเข้มข้น 260, 280 และ 315 กรัมต่อลิตร**

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเหตุ: จากการทดลองไม่พบข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานแต่ละชิ้น

**รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้น CHROMIUM ที่ได้จากการทดลอง  
ในสายการผลิตของน้ำยาชุบในบ่อ BRIGHT CHROME ที่ความเข้มข้น 260, 280 และ 315  
กรัมต่อลิตร**

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 5.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองในห้อง Lab เปรียบเทียบกับผลการทดลองใน Line พบว่าค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงานที่ความเข้มข้น 275 กรัม/ลิตร มีค่าแตกต่างกัน คือ ค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงานในห้อง Lab มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงานที่ความเข้มข้น 260 กรัม/ลิตร ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงานใน Line ที่ความเข้มข้น 275 กรัม/ลิตร มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงานที่ความเข้มข้น 260 กรัม/ลิตร

จากการวิเคราะห์สาเหตุเกิดจากการทดลองในห้อง Lab ใช้น้ำยาชุบจากใน Line แต่ละบ่อในครั้งเดียวกันมาทำการวิเคราะห์โดยการปรับค่าความเข้มข้น Ni และ Cr ให้ได้ค่าความเข้มข้นที่ต้องการ จากการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นตั้งต้น พบว่าค่าความเข้มข้นของน้ำยาชุบในแต่ละบ่อ มีค่าดังนี้

บ่อ Semi Ni	ค่าความเข้มข้น Ni เท่ากับ	268 กรัม/ลิตร
บ่อ Tri Ni	ค่าความเข้มข้น Ni เท่ากับ	263 กรัม/ลิตร
บ่อ Bright Ni	ค่าความเข้มข้น Ni เท่ากับ	267 กรัม/ลิตร
บ่อ Bright Cr	ค่าความเข้มข้น Cr เท่ากับ	295 กรัม/ลิตร

โดยการปรับค่าความเข้มข้น Ni ที่ 240, 250 และ 260 กรัม/ลิตร ใช้วิธีการเจือจางโดยการเติมน้ำกลั่นไปตามสัดส่วนของความเข้มข้นที่ต้องการ ในขณะที่การปรับค่าความเข้มข้น Ni ที่ 275 กรัม/ลิตร ใช้วิธีการเติมสารตั้งต้น  $\text{NiSO}_4$  และ  $\text{NiCl}_2$  เท่านั้น แต่ไม่ได้มีการเติมสารเติมแต่ง (Additives) ที่มีผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเกาะติดผิวชิ้นงาน ทำให้ค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงานที่ความเข้มข้น 275 กรัม/ลิตร น้อยกว่าค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงานที่ความเข้มข้น 260 กรัม/ลิตร

ส่วนการปรับค่าความเข้มข้น Cr ที่ 260 และ 280 กรัม/ลิตร ใช้วิธีการเจือจางโดยการเติมน้ำกลั่นไปตามสัดส่วนของความเข้มข้นที่ต้องการ ในขณะที่การปรับค่าความเข้มข้น Cr ที่ 315 กรัม/ลิตร ใช้วิธีการเติมสารตั้งต้น  $\text{CrO}_3$  เท่านั้น แต่ไม่ได้มีการเติมสารเติมแต่ง (Additives) ที่มีผลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเกาะติดผิวชิ้นงาน ทำให้ค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงานที่ความเข้มข้น 315 กรัม/ลิตร น้อยกว่าค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นงานที่ความเข้มข้น 280 กรัม/ลิตร

ในขณะที่การทดลองใน Line การปรับค่าความเข้มข้นน้ำยา Ni ใช้วิธีการเติมสารตั้งต้น และสารเติมแต่งตามสัดส่วนของน้ำยาให้ได้ความเข้มข้นที่ 275 กรัม/ลิตร จึงทำการทดลองหาค่าความหนาชิ้นงานที่ความเข้มข้น 275 กรัม/ลิตร แล้วปล่อยให้มีการผลิตต่อไปพร้อมวัดค่าความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงลดลงจนค่าความเข้มข้นเท่ากับ 260 กรัม/ลิตร จึงทำการทดลองหาค่าความหนาชิ้นงานที่ความเข้มข้น 260 กรัม/ลิตร แล้วปล่อยให้มีการผลิตต่อไปพร้อมวัดค่าความเข้มข้นที่ลดลง ทำซ้ำจนครบที่ความเข้มข้น 250 กรัม/ลิตร ตามลำดับ

ส่วนการปรับค่าความเข้มข้นบ่อน้ำยา Cr ใช้วิธีการเติมสารตั้งต้น และสารเติมแต่งตามสัดส่วนของ น้ำยาให้ได้ความเข้มข้นที่ 315 กรัม/ลิตร จึงทำการทดลองหาค่าความหนาแน่นงานที่ความเข้มข้น 315 กรัม/ ลิตร แล้วปล่อยให้มีการผลิตต่อไปพร้อมวัดค่าความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงลดลงจนค่าความเข้มข้นเท่ากับ 280 กรัม/ลิตร จึงทำการทดลองหาค่าความหนาแน่นงานที่ความเข้มข้น 280 กรัม/ลิตร แล้วปล่อยให้มีการผลิต ต่อไปพร้อมวัดค่าความเข้มข้นที่ลดลง ทำซ้ำจนครบที่ความเข้มข้น 260 ตามลำดับ

กล่าวโดยสรุปพบว่าผลวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นงานในการทดลองในห้อง Lab ที่ค่าความเข้มข้น Ni 275 กรัม/ลิตร และที่ค่าความเข้มข้น Cr 315 กรัม/ลิตร มีความคลาดเคลื่อน ผู้วิจัยจึงตัดสินใจตัดสินทำการวิเคราะห์ ผลการทดลองเฉพาะค่าความหนาแน่นงานจากการทดลองใน Line เท่านั้น

#### 5.4 การออกแบบการทดลองแบบ **General full factorial design**

ผู้วิจัยได้นำเอาปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ปัจจัย ( Factor Analysis ) มาทำการทดลอง เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย ผู้วิจัยได้ออกแบบโดยใช้หลักการในการออกแบบ 2 ประการ คือ

1. การสุ่ม (Randomization) กล่าวคือ ลำดับที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง (Run) จะต้องเป็นไป อย่างสุ่ม
2. การซ้ำ (Replication) กล่าวคือ จำนวนครั้งที่ใช้ในการทดลองในแต่ละระดับ (Level) จะต้อง มีปริมาณเพียงพอที่จะทำให้ค่าอำนาจของการทดสอบ (Power of test) อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ (ในกรณีนี้กำหนดไว้ที่ 0.80)

#### 5.5 การกำหนดระดับในการทดลองแบบ **General full factorial design**

ระดับของแต่ละปัจจัยผู้วิจัย ได้พิจารณากำหนดระดับ (Level) ในการทดลองแต่ละปัจจัยจากช่วงที่มี การใช้งานอยู่ในปัจจุบันของแต่ละปัจจัย ซึ่งเป็นช่วงที่คิดว่าเหมาะสมที่สุด ดังแสดงไว้ใน ตารางที่ 5.9 และ ตารางที่ 5.10

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.9 แสดงระดับของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลองในบ่อชุบ Ni

Factor	ปัจจัย	Level	หน่วย (Unit)
1	ความเข้มข้น Ni	250	กรัม/ลิตร
	ความเข้มข้น Ni	260	กรัม/ลิตร
	ความเข้มข้น Ni	275	กรัม/ลิตร
2	ชิ้นงานที่	1	
	ชิ้นงานที่	2	
	ชิ้นงานที่	3	

ตารางที่ 5.10 แสดงระดับของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลองในบ่อชุบ Cr

Factor	ปัจจัย	Level	หน่วย (Unit)
1	ความเข้มข้น Cr	260	กรัม/ลิตร
	ความเข้มข้น Cr	280	กรัม/ลิตร
	ความเข้มข้น Cr	315	กรัม/ลิตร
2	ชิ้นงานที่	1	
	ชิ้นงานที่	2	
	ชิ้นงานที่	3	



## 1. แผนลำดับในการทดลองแบบ General full factorial design

ผู้วิจัยได้กำหนดแผนการทดลอง (Design Worksheet) สำหรับปัจจัย Ni ดังนี้

Response: ความหนา

Controllable Factor:

### A. Factor 1

ความเข้มข้น Ni ที่	250	กรัม/ลิตร
ความเข้มข้น Ni ที่	260	กรัม/ลิตร
ความเข้มข้น Ni ที่	275	กรัม/ลิตร

### B. Factor 2

ชั้นงานที่ 1  
ชั้นงานที่ 2  
ชั้นงานที่ 3

และได้กำหนดแผนการทดลอง (Design Worksheet) สำหรับปัจจัย Cr ดังนี้

Response: ความหนา

Controllable Factor:

### C. Factor 1

ความเข้มข้น Cr ที่	260	กรัม/ลิตร
ความเข้มข้น Cr ที่	280	กรัม/ลิตร
ความเข้มข้น Cr ที่	315	กรัม/ลิตร

### D. Factor 2

ชั้นงานที่ 1  
ชั้นงานที่ 2  
ชั้นงานที่ 3

## 2. สภาวะในการทดลองแบบ General full factorial design

ในการทดลองแบบ General full factorial design เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ค่าของปัจจัยแต่ละตัว เพื่อให้ได้มาซึ่งผลตอบ (Response) ที่เหมาะสมที่สุดนั้น ผู้วิจัยได้ทำการปรับค่าของปัจจัยต่างๆ ไปยังระดับตามที่ได้วางแผนไว้ โดยมีการควบคุมปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ในกระบวนการอื่นๆ ให้คงที่อยู่ที่ค่ากลาง (Nominal) ทั้งนี้เพื่อทำให้เกิดความผันแปรในการทดลองน้อยที่สุด

## 5.6 การวิเคราะห์ผลข้อมูล

ผู้วิจัยต้องการทราบว่าปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย ในแต่ละระดับส่งผลต่อค่าความหนาของชิ้นงานหรือไม่ จึงได้ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (Two-way ANOVA) ดังนี้

### 1. การวิเคราะห์ผลในบ่อ Semi Ni

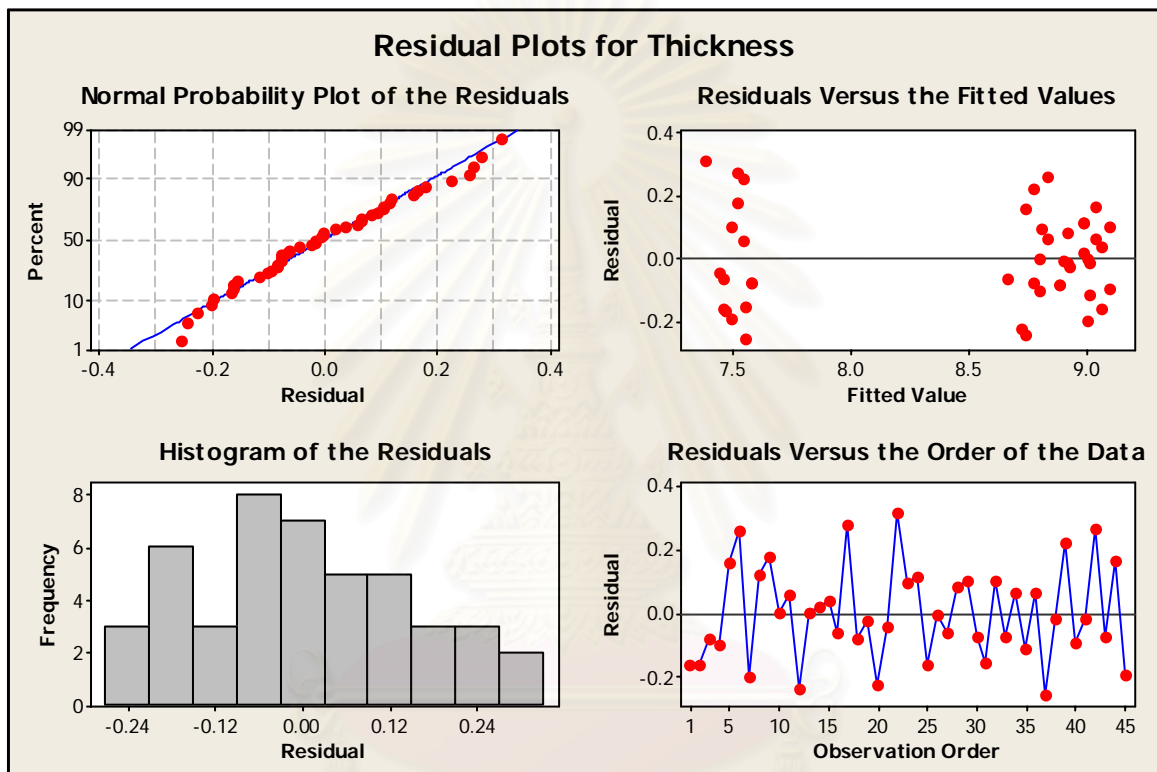
เพื่อให้การทดลองเป็นไปอย่างสุ่ม (Random) ผู้วิจัยจึงได้ใช้ Minitab ในการกำหนดลำดับในการทดลองขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5.11

ลำดับการทดลองที่	ลำดับที่	รูปแบบที่	บล็อกที่	ความเข้มข้นบ่อ Semi Ni (กรัม/ลิตร)	ชิ้นงานที่	ความหนา NI (ไมโครเมตร)
28	1	1	4	250	1	7.3
34	2	1	4	275	1	8.9
36	3	1	4	275	3	8.8
33	4	1	4	260	3	8.7
32	5	1	4	260	2	8.9
29	6	1	4	250	2	7.8
31	7	1	4	260	1	8.8
35	8	1	4	275	2	9.1
30	9	1	4	250	3	7.7
4	10	1	1	260	1	9
2	11	1	1	250	2	7.6
5	12	1	1	260	2	8.5
6	13	1	1	260	3	8.8
8	14	1	1	275	2	9
7	15	1	1	275	1	9.1
1	16	1	1	250	1	7.4
3	17	1	1	250	3	7.8
9	18	1	1	275	3	8.8
13	19	1	2	260	1	8.9
15	20	1	2	260	3	8.5
12	21	1	2	250	3	7.4
10	22	1	2	250	1	7.7
18	23	1	2	275	3	8.9
16	24	1	2	275	1	9.1
11	25	1	2	250	2	7.3
17	26	1	2	275	2	8.9
14	27	1	2	260	2	8.6
45	28	1	5	275	3	9
43	29	1	5	275	1	9.2
38	30	1	5	250	2	7.5
39	31	1	5	250	3	7.4
37	32	1	5	250	1	7.6
41	33	1	5	260	2	8.7
42	34	1	5	260	3	8.9
44	35	1	5	275	2	8.9
40	36	1	5	260	1	9.1
21	37	1	3	250	3	7.3
27	38	1	3	275	3	8.9
23	39	1	3	260	2	9
25	40	1	3	275	1	9
26	41	1	3	275	2	9

24	42	1	3	260	3	9.1
20	43	1	3	250	2	7.5
22	44	1	3	260	1	9.2
19	45	1	3	250	1	7.3

ตารางที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับและผลการทดลอง

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ใช้หลักการของการวิเคราะห์ตกค้าง (Residual analysis) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงการวิเคราะห์ตกค้างของผลการทดลอง

1. ทดสอบความสุ่มของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

$H_1$  : ลำดับของข้อมูลมิได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม

เมื่อพิจารณาจาก Residuals Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.11 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความสุ่ม เนื่องจากส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวแบบไม่มี

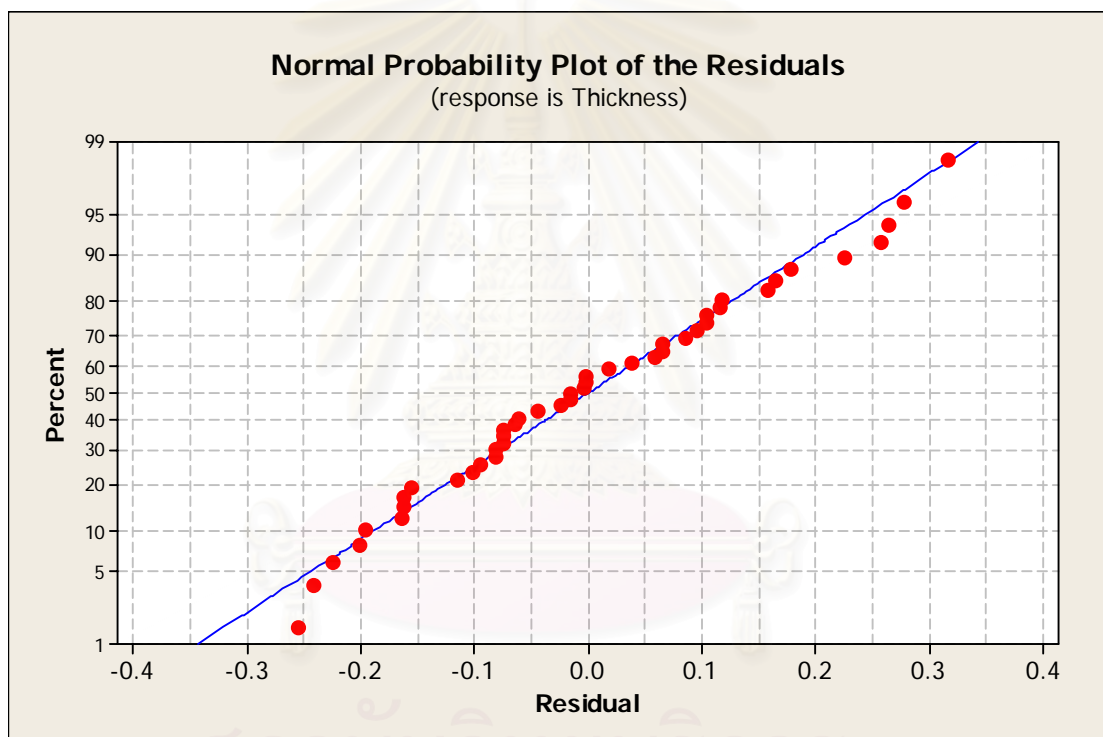
รูปแบบ ฉะนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่จะปฏิเสธ  $H_0$  (Fail to reject  $H_0$ ) สรุปได้ว่า ลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

$H_1$  : ข้อมูลมิได้มีการแจกแจงแบบปกติ

ดำเนินการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล(Normality test) ได้ผลดังรูปที่ 5.12



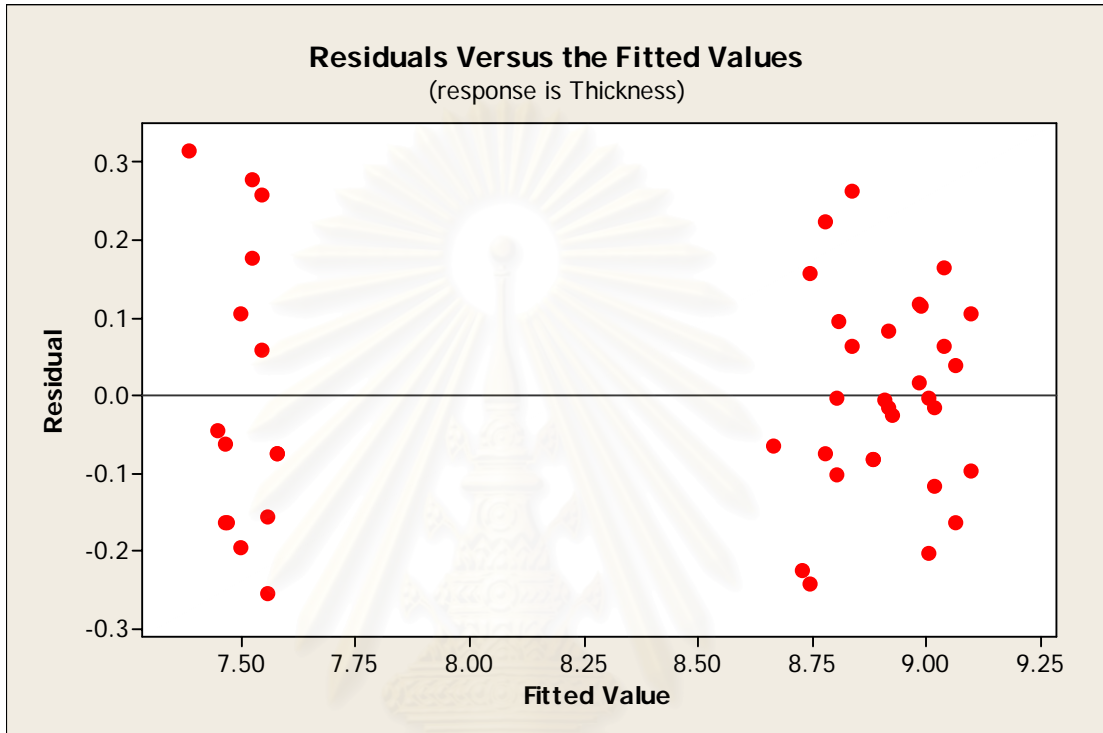
รูปที่ 5.12 แสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาจาก Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 5.12 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง จะเห็นได้ว่าไม่พบความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความเป็นปกตินั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่จะปฏิเสธ  $H_0$  (Fail to reject  $H_0$ ) สรุปได้ว่า ข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3. ทดสอบความเสถียรของความแปรปรวน มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

$H_1$  : ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร



รูปที่ 5.13 แสดงผลการทดสอบความความสัมพัทธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าฟิต

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 5.13 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรจะกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน

จากรูปที่ 5.13 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ สรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ของตัวแปรตอบสนอง (Friction) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่าข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ ความสุ่ม การแจกแจงแบบปกติและค่าความแปรปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID

### การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในส่วนของ การวิเคราะห์ผลการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบไว้ คือ

$H_0$  : Main Effect ไม่มีผลต่อความหนา

$H_1$  : Main Effect มีผลต่อความหนา

General Linear Model: Thickness versus Blocks, Conc. of Semi, Sample No.

Factor	Type	Levels	Values
Blocks	fixed	5	1, 2, 3, 4, 5
Conc. of Semi Ni	fixed	3	250, 260, 275
Sample No.	fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance for Thickness, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	4	0.1453	0.1453	0.0363	0.96	0.441
Conc. of Semi Ni	2	13.4760	13.4760	6.7380	178.69	0.000
Sample No.	2	0.0653	0.0653	0.0327	0.87	0.430
Error	32	1.2067	1.2067	0.0377		
Total	44	15.5120				

S = 0.194186 R-Sq = 92.22% R-Sq(adj) = 89.30%

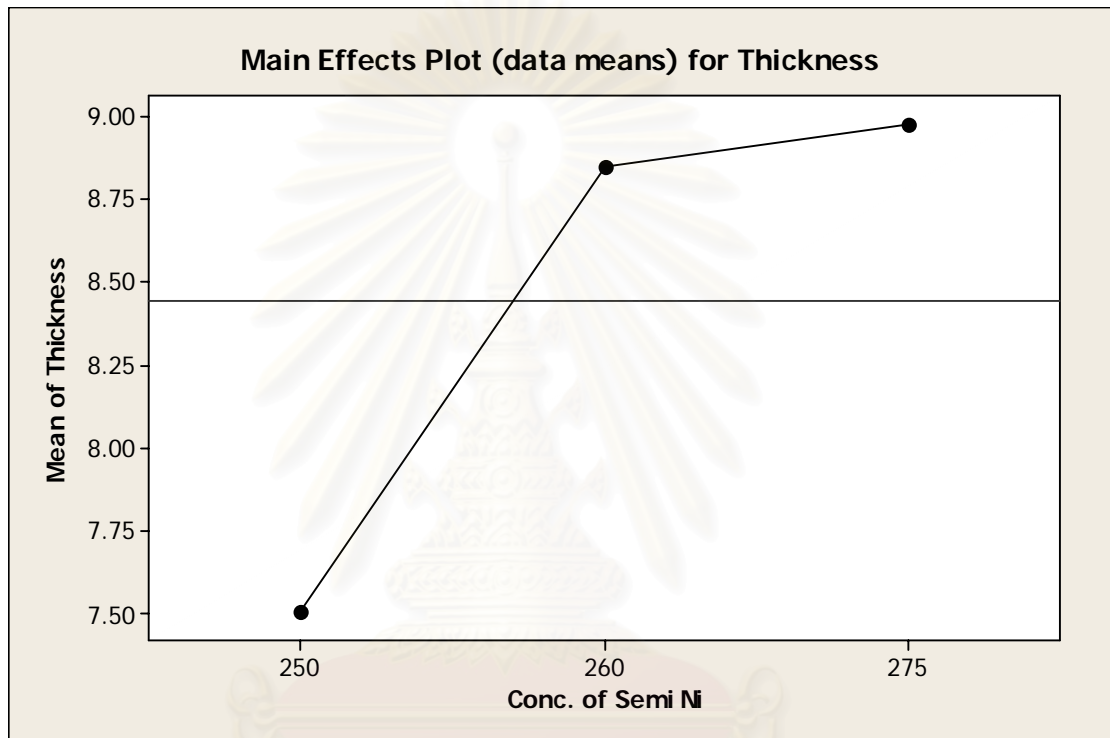
รูปที่ 5.14 ผลของการการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial design

### การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ )

หลังจากวิเคราะห์ความถูกต้องของตัวแบบและแสดงผลแล้วว่าข้อมูลได้รับการเก็บรวบรวมภายใต้สภาวะควบคุมตามแผนการทดลองแล้ว ทำการวิเคราะห์ ค่า R-Sq มีค่าเท่ากับ 92.22 % และ R-sq (adj) เท่ากับ 89.30 % สรุปได้ว่า Variance ที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นผลมาจาก Variance จากทริตเมนต์ เท่ากับ 89.30 %

### การวิเคราะห์ ANOVA

พิจารณาค่า P-Value ของ ในรูปที่ 5.14 พบว่า Conc. of Semi Ni มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าสถิติทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่า ในการทดลองนี้ Conc. of Semi Ni มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนา และ Sample No. มีค่า P-Value เท่ากับ 0.430 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่า ในการทดลองนี้ Sample No. ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนา



รูปที่ 5.15 Main Effect Plot ของ Conc. of Semi Ni ที่มีผลต่อความหนา Ni .ในบ่อ Semi Ni

จากผลการวิเคราะห์ Main Effect Plot ใน รูปที่ 5.15 พบว่าค่า Mean of thickness ที่ความเข้มข้น Ni 260 กรัม/ ลิตร เท่ากับ 8.847 ไมโครเมตร เปรียบเทียบกับที่ความเข้มข้น Ni 275 กรัม/ลิตร เท่ากับ 8.973 ไมโครเมตร พบว่ามีค่า Mean of thickness ใกล้เคียงกัน ผู้วิจัยจึงได้กำหนดให้ใช้ความเข้มข้น Ni ในบ่อ Semi Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตรเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีต่ำกว่าที่ความเข้มข้น 275 กรัม/ลิตร สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง

### 5.6.1 การวิเคราะห์ผลในปอ Tri Ni

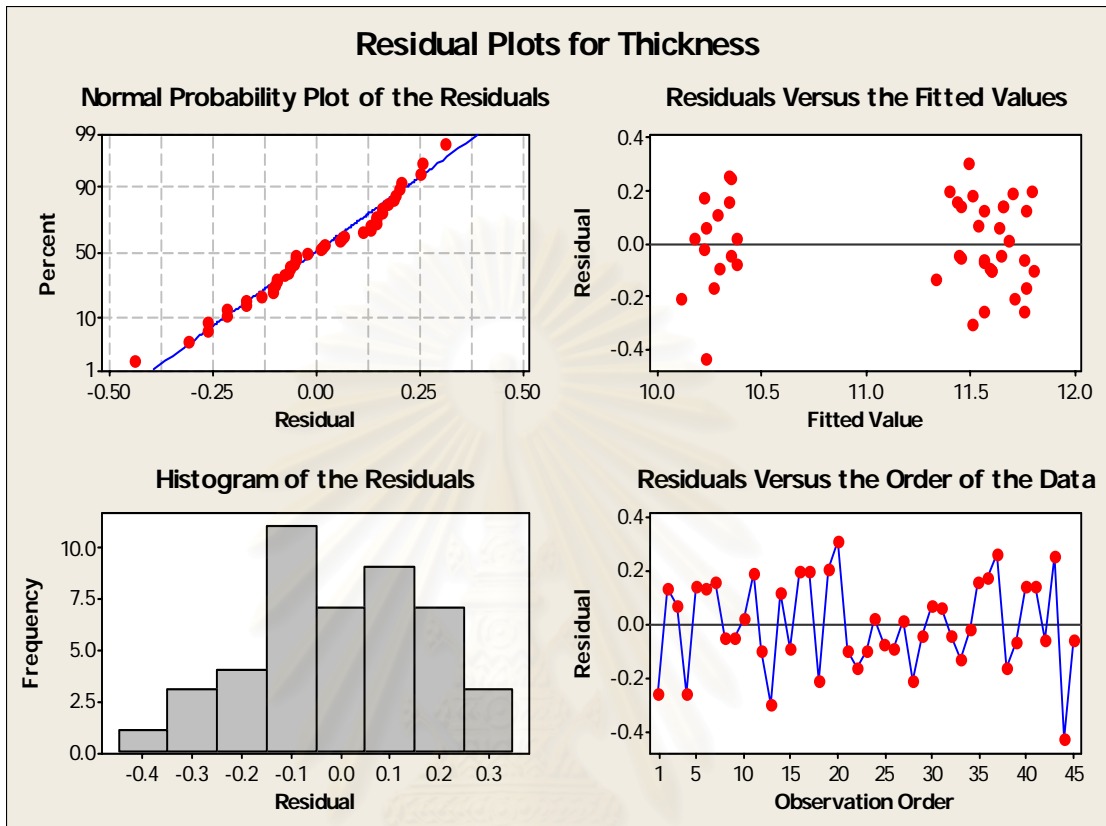
เพื่อให้การทดลองเป็นไปอย่างสุ่ม (Random) ผู้วิจัยจึงได้ใช้ Minitab ในการกำหนดลำดับในการทดลองขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5.12

ลำดับการทดลองที่	ลำดับที่	รูปแบบที่	บล็อกที่	ความเข้มข้นปอ Tri, Ni (กรัม/ลิตร)	ชั้นงานที่	ความหนา NI (ไมโครเมตร)
43	1	1	5	275	1	11.5
42	2	1	5	260	3	11.7
38	3	1	5	250	2	10.3
40	4	1	5	260	1	11.3
44	5	1	5	275	2	11.8
45	6	1	5	275	3	11.9
37	7	1	5	250	1	10.5
39	8	1	5	250	3	10.3
41	9	1	5	260	2	11.4
29	10	1	4	250	2	10.2
33	11	1	4	260	3	11.7
35	12	1	4	275	2	11.5
31	13	1	4	260	1	11.2
28	14	1	4	250	1	10.4
30	15	1	4	250	3	10.2
34	16	1	4	275	1	11.9
32	17	1	4	260	2	11.6
36	18	1	4	275	3	11.5
16	19	1	2	275	1	12
14	20	1	2	260	2	11.8
18	21	1	2	275	3	11.7
11	22	1	2	250	2	10.1
15	23	1	2	260	3	11.5
12	24	1	2	250	3	10.4
10	25	1	2	250	1	10.3
13	26	1	2	260	1	11.5
17	27	1	2	275	2	11.7
20	28	1	3	250	2	9.9
24	29	1	3	260	3	11.4
26	30	1	3	275	2	11.6
25	31	1	3	275	1	11.7
27	32	1	3	275	3	11.6
23	33	1	3	260	2	11.2
19	34	1	3	250	1	10.2
22	35	1	3	260	1	11.6
21	36	1	3	250	3	10.4
1	37	1	1	250	1	10.6
9	38	1	1	275	3	11.6
6	39	1	1	260	3	11.5
5	40	1	1	260	2	11.6
8	41	1	1	275	2	11.8
7	42	1	1	275	1	11.7
3	43	1	1	250	3	10.6
2	44	1	1	250	2	9.8
4	45	1	1	260	1	11.5

ตารางที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับและผลการทดลอง



ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ใช้หลักการของการวิเคราะห์ตกค้าง (Residual analysis) ซึ่งแสดงรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 แสดงการวิเคราะห์ตกค้างของผลการทดลอง

1. ทดสอบความสุ่มของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

$H_1$  : ลำดับของข้อมูลมิได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม

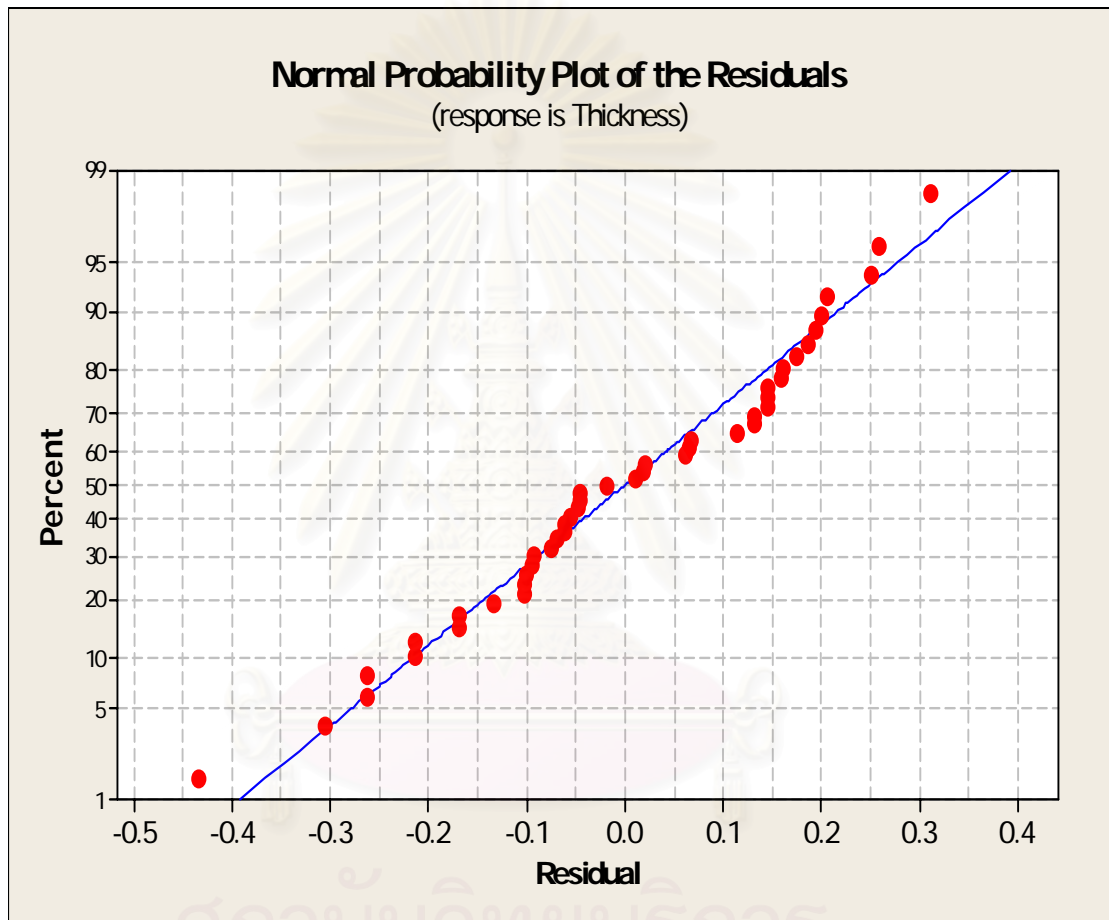
เมื่อพิจารณาจาก Residuals Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.16 ที่พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความสุ่ม เนื่องจากส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบ ฉะนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่จะปฏิเสธ  $H_0$  (Fail to reject  $H_0$ ) สรุปได้ว่า ลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

$H_1$  : ข้อมูลมิได้มีการแจกแจงแบบปกติ

ดำเนินการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ได้ผลดังรูปที่ 5.17



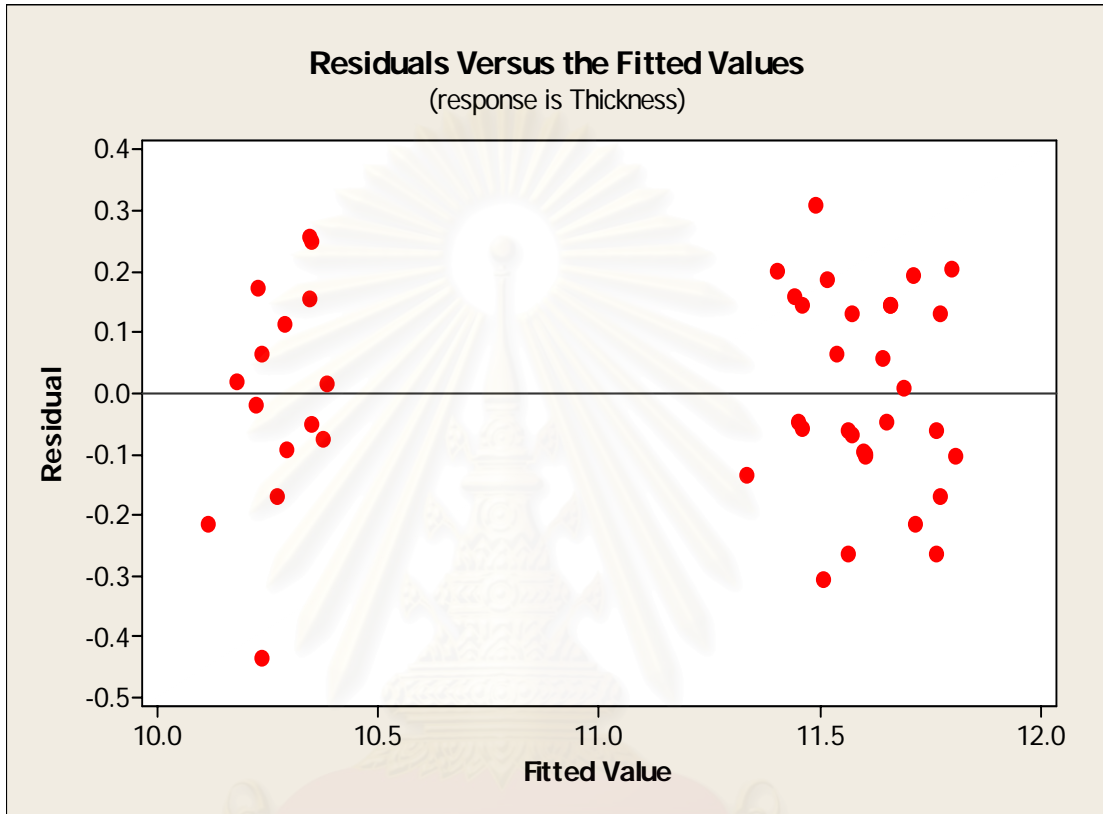
รูปที่ 5-17 แสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาจาก Normal Plot of Residuals รูปที่ 5-17 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง จะเห็นได้ว่าไม่พบความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความเป็นปกติ ฉะนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ  $H_0$  (Fail to reject  $H_0$ ) สรุปได้ว่า ข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

### 3. ทดสอบความเสถียรของความแปรปรวน มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

$H_1$  : ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร



รูปที่ 5.18 แสดงผลการทดสอบความความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าฟิต

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย รูปที่ 5.18 แสดง ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรจะกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน

จาก รูปที่ 5.18 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ สรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ของตัวแปรตอบสนอง (Friction) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่าข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ ความสุ่ม การแจกแจงแบบปกติและค่าความแปรปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID

### การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในส่วนของ การวิเคราะห์ผลการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบไว้ คือ

$H_0$  : Main Effect ไม่มีผลต่อความหนา

$H_1$  : Main Effect มีผลต่อความหนา

General Linear Model: Thickness versus Blocks, Conc. of Tri, Sample No.

Factor	Type	Levels	Values
Blocks	fixed	5	1, 2, 3, 4, 5
Conc. of Tri Ni	fixed	3	250, 260, 275
Sample No.	fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance for Thickness, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	4	0.1347	0.1347	0.0337	0.97	0.435
Conc. of Tri Ni	2	17.7240	17.7240	8.8620	255.63	0.000
Sample No.	2	0.1213	0.1213	0.0607	1.75	0.188
Error	36	1.2480	1.2480	0.0347		
Total	44	19.2280				

S = 0.186190 R-Sq = 93.51% R-Sq(adj) = 92.07%

รูปที่ 5.19 ผลของการการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial design

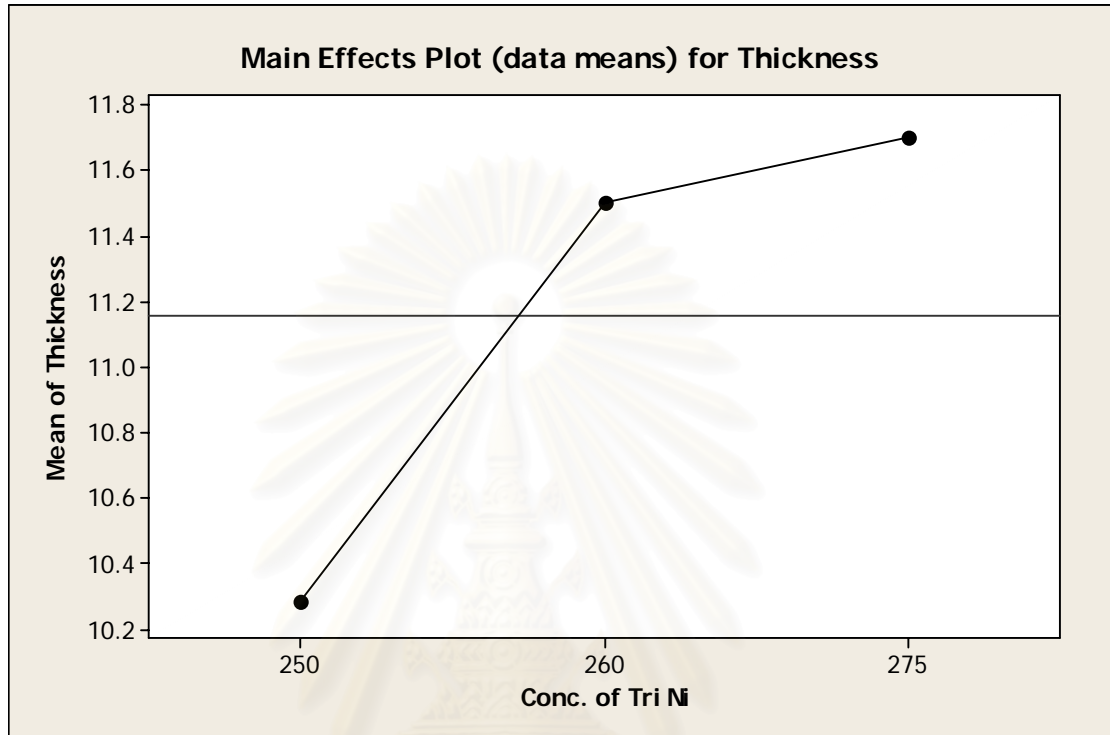
### การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ )

หลังจากวิเคราะห์ความถูกต้องของตัวแบบและแสดงผลแล้วว่าข้อมูลได้รับการเก็บรวบรวมภายใต้สภาวะควบคุมตามแผนการทดลองแล้ว ทำการวิเคราะห์ ค่า R-Sq มีค่าเท่ากับ 93.51% และ R-sq (adj) เท่ากับ 92.07 % สรุปได้ว่า Variance ที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นผลมาจาก Variance จากทริตเมนต์ เท่ากับ 92.07 %

### การวิเคราะห์ ANOVA

พิจารณาค่า P-Value ของ ในรูปที่ 5.19 พบว่า Conc. of Tri Ni มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าสถิติทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่า ในการทดลองนี้ Conc.

of Tri Ni มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนา และ Sample No. มีค่า P-Value เท่ากับ 0.188 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่า ในการทดลองนี้ Sample No. ไม่ มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนา



รูปที่ 5.20 Main Effect Plot ของ Conc. of Tri Ni ที่มีผลต่อความหนา Ni ในบ่อ Tri Ni

จากผลการวิเคราะห์ Main Effect Plot ในรูปที่ 5.20 พบว่าค่า Mean of thickness ที่ความเข้มข้น Ni 260 กรัม/ ลิตร เท่ากับ 11.50 ไมโครเมตร เปรียบเทียบกับที่ความเข้มข้น Ni 275 กรัม/ลิตร เท่ากับ 11.70 ไมโครเมตร พบว่ามีค่า Mean of thickness ใกล้เคียงกัน ผู้วิจัยจึงได้กำหนดให้ใช้ความเข้มข้น Ni ในบ่อ Tri Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตรเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีต่ำกว่าที่ความเข้มข้น 275 กรัม/ลิตร สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง

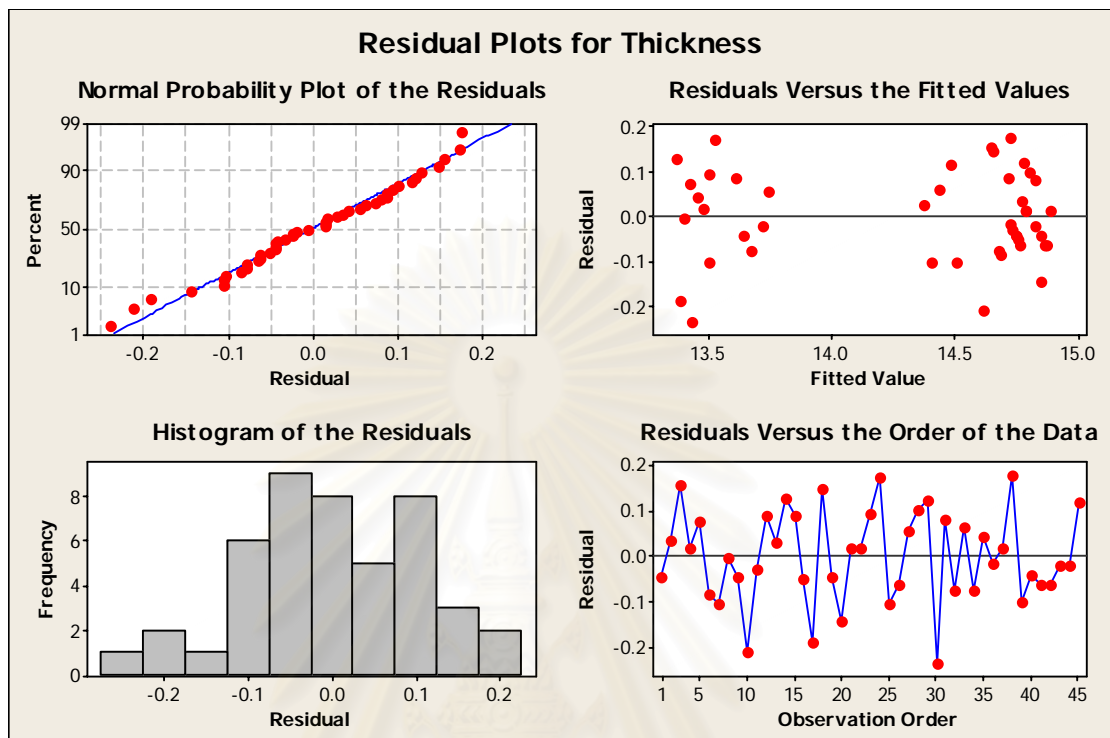
### 5.6.2 การวิเคราะห์ผลในบ่อ Bright Ni

เพื่อให้การทดลองเป็นไปอย่างสุ่ม (Random) ผู้วิจัยจึงได้ใช้ Minitab ในการกำหนดลำดับ  
ในการทดลองขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5.13

ลำดับการทดลองที่	ลำดับที่	รูปแบบที่	บล็อกที่	ความเข้มข้นบ่อ Bright Ni (กรัม/ลิตร)	ชั้นงานที่	ความหนา NI (ไมโครเมตร)
12	1	1	2	250	3	13.6
17	2	1	2	275	2	14.8
14	3	1	2	260	2	14.8
16	4	1	2	275	1	14.8
11	5	1	2	250	2	13.5
13	6	1	2	260	1	14.6
15	7	1	2	260	3	14.3
10	8	1	2	250	1	13.4
18	9	1	2	275	3	14.7
5	10	1	1	260	2	14.4
8	11	1	1	275	2	14.7
9	12	1	1	275	3	14.8
6	13	1	1	260	3	14.4
1	14	1	1	250	1	13.5
3	15	1	1	250	3	13.7
7	16	1	1	275	1	14.7
2	17	1	1	250	2	13.2
4	18	1	1	260	1	14.8
41	19	1	5	260	2	14.7
45	20	1	5	275	3	14.7
40	21	1	5	260	1	14.8
43	22	1	5	275	1	14.9
37	23	1	5	250	1	13.6
38	24	1	5	250	2	13.7
42	25	1	5	260	3	14.4
44	26	1	5	275	2	14.8
39	27	1	5	250	3	13.8
35	28	1	4	275	2	14.9
36	29	1	4	275	3	14.9
28	30	1	4	250	1	13.2
34	31	1	4	275	1	14.9
30	32	1	4	250	3	13.6
33	33	1	4	260	3	14.5
32	34	1	4	260	2	14.6
29	35	1	4	250	2	13.5
31	36	1	4	260	1	14.7
19	37	1	3	250	1	13.5
23	38	1	3	260	2	14.9
20	39	1	3	250	2	13.4
26	40	1	3	275	2	14.8
25	41	1	3	275	1	14.8
22	42	1	3	260	1	14.7
21	43	1	3	250	3	13.7
27	44	1	3	275	3	14.8
24	45	1	3	260	3	14.6

ตารางที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับและผลการทดลอง

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ใช้หลักการของการวิเคราะห์ตกค้าง (Residual analysis) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.21



รูปที่ 5.21 แสดงการวิเคราะห์ตกค้างของผลการทดลอง

1. ทดสอบความสุ่มของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

$H_1$  : ลำดับของข้อมูลมิได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม

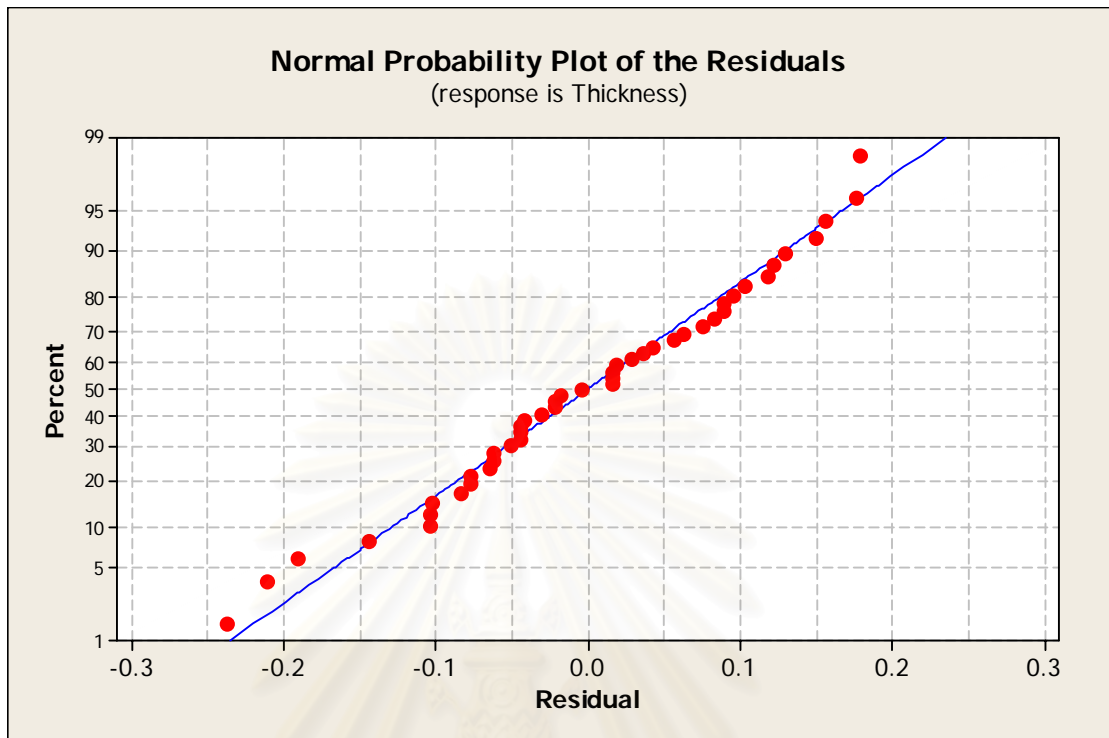
เมื่อพิจารณาจาก Residuals Versus the Order of the Data ใน รูปที่ 5.21 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความสุ่ม เนื่องจากส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบ ฉะนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่จะปฏิเสธ  $H_0$  (Fail to reject  $H_0$ ) สรุปได้ว่า ลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

$H_1$  : ข้อมูลมิได้มีการแจกแจงแบบปกติ

ดำเนินการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ได้ผลดังรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 แสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง

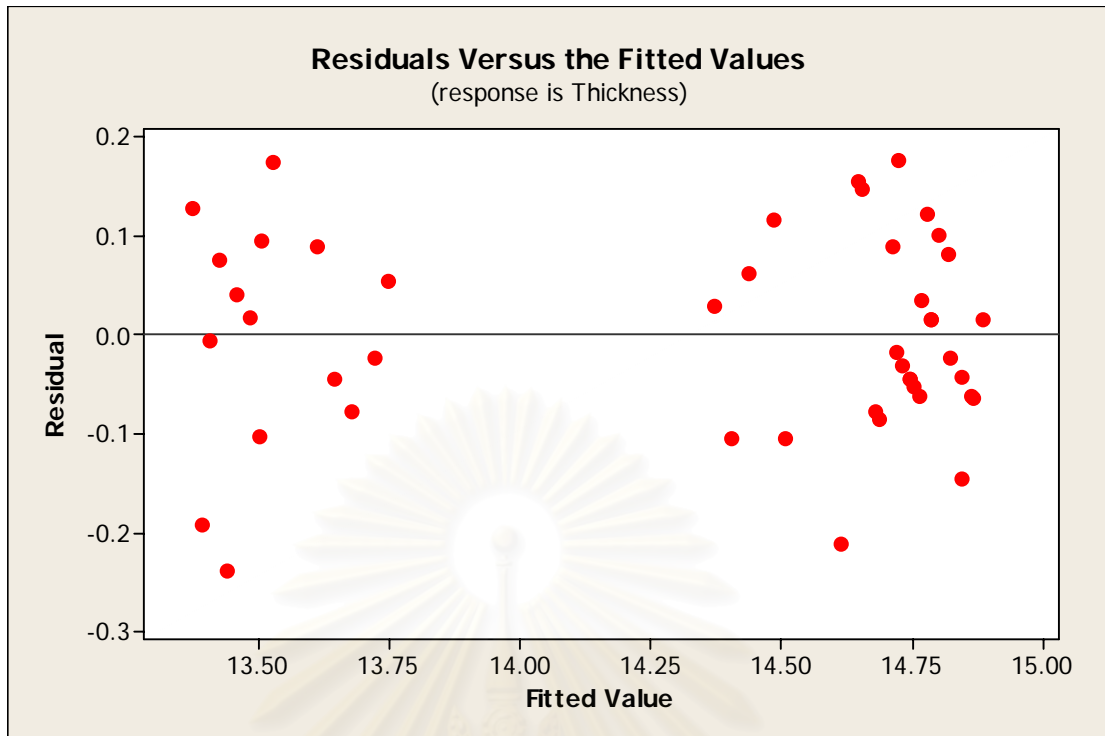
เมื่อพิจารณาจาก Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 5.22 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง จะเห็นได้ว่าไม่พบความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความเป็นปกติ ฉะนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ  $H_0$  (Fail to reject  $H_0$ ) สรุปได้ว่า ข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3. ทดสอบความเสถียรของความแปรปรวน มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

$H_1$  : ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร





รูปที่ 5.23 แสดงผลการทดสอบความความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าฟิต

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดง รูปที่ 5.23 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรจะกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน

จากรูปที่ 5.23 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ สรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ของตัวแปรตอบสนอง (Friction) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่าข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ ความสุ่ม การแจกแจงแบบปกติและค่าความแปรปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID

#### การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในส่วนของการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบไว้ คือ

$H_0$  : Main Effect ไม่มีผลต่อความหนา

$H_1$  : Main Effect มีผลต่อความหนา

General Linear Model: Thickness versus Blocks, Conc. of Bri, Sample No.

Factor	Type	Levels	Values
Blocks	fixed	5	1, 2, 3, 4, 5
Conc. of Bright Ni	fixed	3	250, 260, 275
Sample No.	fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance for Thickness, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	4	0.1076	0.1076	0.0269	1.92	0.131
Conc. of Bright Ni	2	14.1853	14.1853	7.0927	506.12	0.000
Sample No.	2	0.0053	0.0053	0.0027	0.19	0.828
Error	32	0.4484	0.4484	0.0140		
Total	44	15.1520				

S = 0.118380 R-Sq = 97.04% R-Sq(adj) = 95.93%

รูปที่ 5.24 ผลของการการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial design

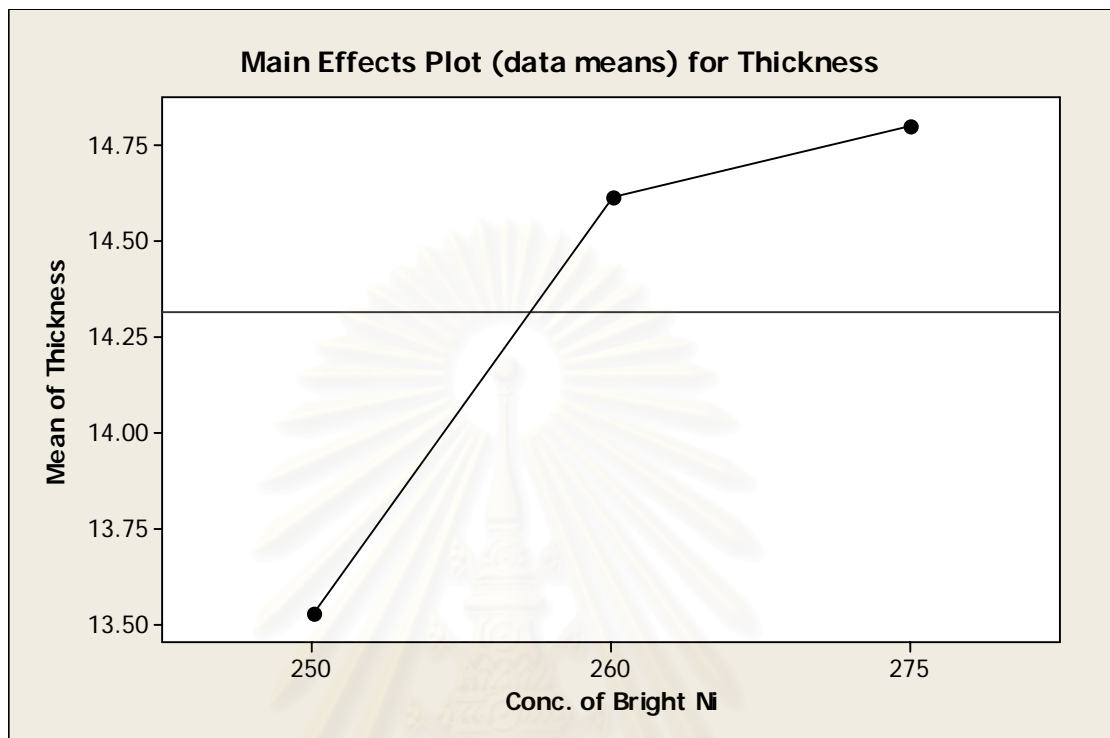
### การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ )

หลังจากวิเคราะห์ความถูกต้องของตัวแบบและแสดงผลแล้วว่าข้อมูลได้รับการเก็บรวบรวมภายใต้สภาวะควบคุมตามแผนการทดลองแล้ว ทำการวิเคราะห์ ค่า R-Sq มีค่าเท่ากับ 97.04% และ R-sq (adj) เท่ากับ 95.93 % สรุปได้ว่า Variance ที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นผลมาจาก Variance จากทรีตเมนต์ เท่ากับ 95.93 %

### การวิเคราะห์ ANOVA

พิจารณาค่า P-Value ของ ในรูปที่ 5.24 พบว่า Conc. of Bright Ni มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าสถิติทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่า ในการทดลองนี้ Conc. of Bright Ni มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนา และ Sample No. มีค่า P-Value เท่ากับ 0.828 ซึ่งมากกว่า

0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่า ในการทดลองนี้ Sample No. ไม่ มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนา



รูปที่ 5.25 Main Effect Plot ของ Conc. of Bright Ni ที่มีผลต่อความหนา Ni .ในบ่อ Bright Ni

จากผลการวิเคราะห์ Main Effect Plot ในรูปที่ 5.25 พบว่าค่า Mean of thickness ที่ความเข้มข้น Ni 260 กรัม/ ลิตร เท่ากับ 14.61 ไมโครเมตร เปรียบเทียบกับที่ความเข้มข้น Ni 275 กรัม/ลิตร เท่ากับ 14.80 ไมโครเมตร พบว่ามีค่า Mean of thickness ใกล้เคียงกัน ผู้วิจัยจึงได้กำหนดให้ใช้ความเข้มข้น Ni ในบ่อ Tri Ni ที่ 260 กรัม/ ลิตรเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายทางด้านสารเคมีต่ำกว่าที่ความเข้มข้น 275 กรัม/ลิตร สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง

### 5.6.3 การวิเคราะห์ผลในบ่อ Brighti Cr

สำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองบ่อ Brighti Cr จะแยกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

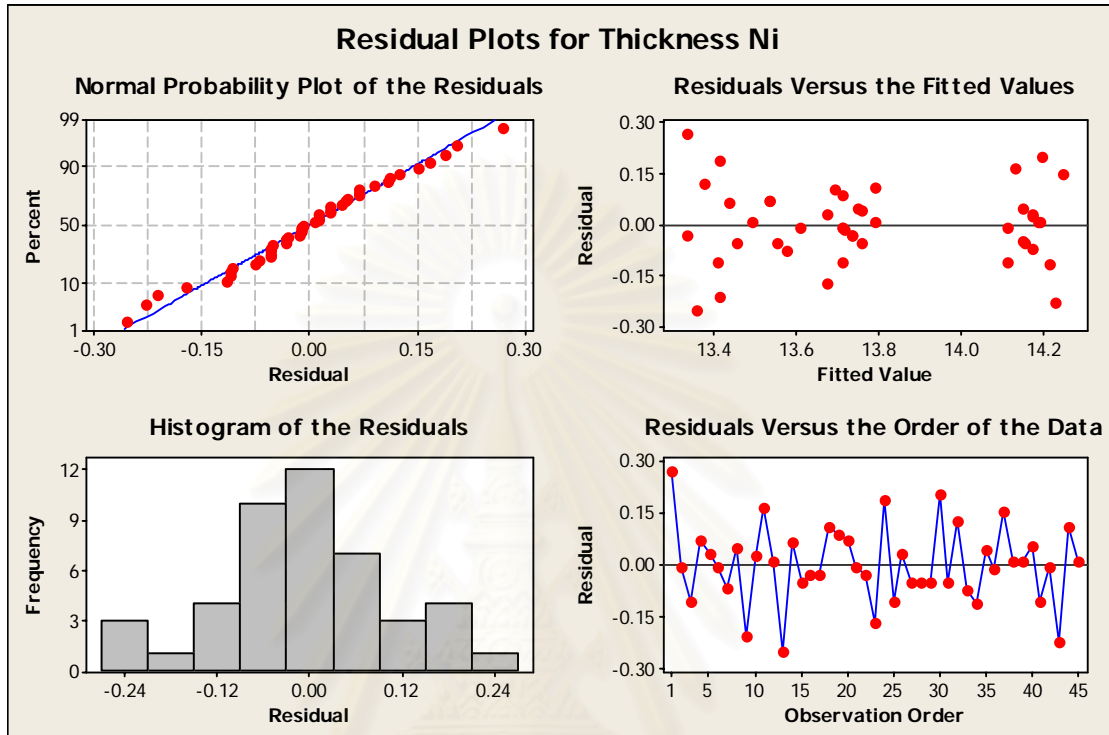
#### 5.6.3.1 การวิเคราะห์ผลความหนา Ni

เพื่อให้การทดลองเป็นไปอย่างสุ่ม (Random) ผู้วิจัยจึงได้ใช้ Minitab ในการกำหนดลำดับในการทดลองขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5.14

ลำดับการทดลองที่	ลำดับที่	รูปแบบที่	บล็อกที่	ความเข้มข้นปอ Bright Cr (กรัม/ลิตร)	ชั้นงานที่	ความหนา NI (ไมโครเมตร)
44	1	1	5	315	2	13.6
40	2	1	5	280	1	13.7
38	3	1	5	260	2	14.0
41	4	1	5	280	2	13.6
45	5	1	5	315	3	13.7
42	6	1	5	280	3	13.7
39	7	1	5	260	3	14.1
37	8	1	5	260	1	14.2
43	9	1	5	315	1	13.2
28	10	1	4	260	1	14.2
29	11	1	4	260	2	14.3
30	12	1	4	260	3	14.2
35	13	1	4	315	2	13.1
34	14	1	4	315	1	13.5
32	15	1	4	280	2	13.5
33	16	1	4	280	3	13.7
31	17	1	4	280	1	13.7
36	18	1	4	315	3	13.8
4	19	1	1	280	1	13.8
5	20	1	1	280	2	13.6
2	21	1	1	260	2	14.1
8	22	1	1	315	2	13.3
9	23	1	1	315	3	13.5
7	24	1	1	315	1	13.6
6	25	1	1	280	3	13.6
3	26	1	1	260	3	14.2
1	27	1	1	260	1	14.1
16	28	1	2	315	1	13.4
13	29	1	2	280	1	13.7
10	30	1	2	260	1	14.4
11	31	1	2	260	2	14.1
17	32	1	2	315	2	13.5
14	33	1	2	280	2	13.5
12	34	1	2	260	3	14.1
15	35	1	2	280	3	13.8
18	36	1	2	315	3	13.7
21	37	1	3	260	3	14.4
22	38	1	3	280	1	13.8
25	39	1	3	315	1	13.5
27	40	1	3	315	3	13.8
26	41	1	3	315	2	13.3
23	42	1	3	280	2	13.6
19	43	1	3	260	1	14.0
24	44	1	3	280	3	13.9
20	45	1	3	260	2	14.2

ตารางที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับและผลการทดลอง

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ใช้หลักการของการวิเคราะห์ตกค้าง (Residual analysis) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.26



รูปที่ 5.26 แสดงการวิเคราะห์ตกค้างของผลการทดลอง

1. ทดสอบความสุ่มของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

$H_1$  : ลำดับของข้อมูลมิได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม

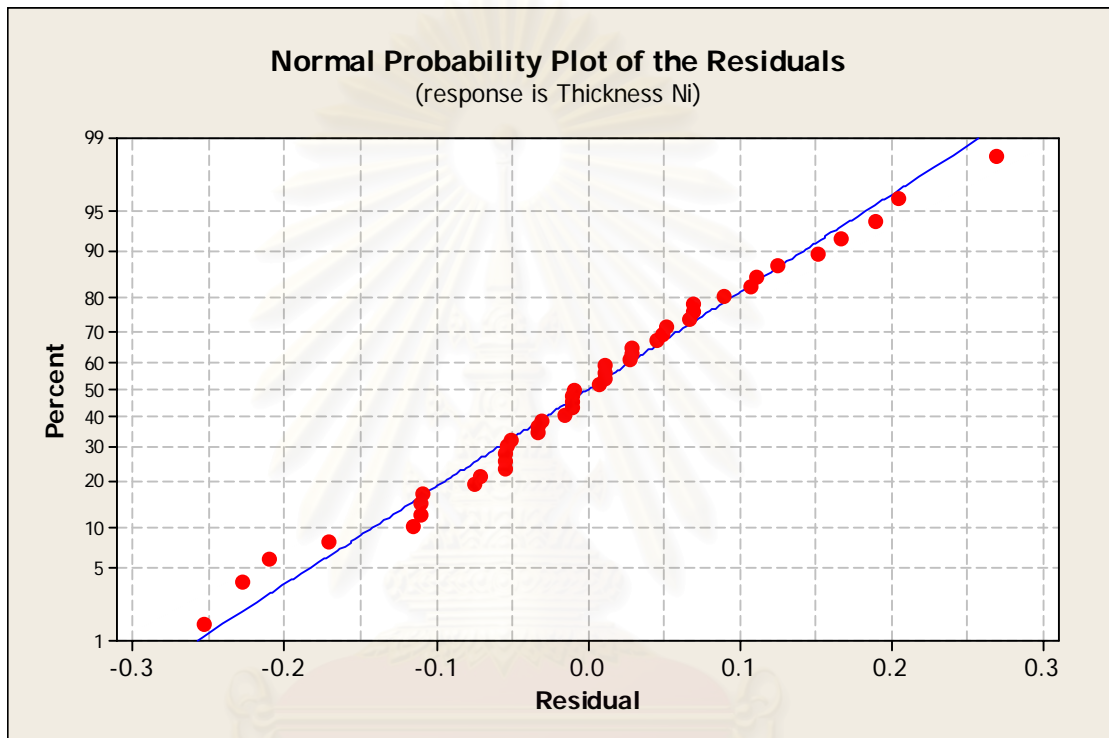
เมื่อพิจารณาจาก Residuals Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.26 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความสุ่ม เนื่องจากส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบ ฉะนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่จะปฏิเสธ  $H_0$  (Fail to reject  $H_0$ ) สรุปได้ว่า ลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2.ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

$H_1$  : ข้อมูลมิได้มีการแจกแจงแบบปกติ

ดำเนินการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ได้ผลดังรูปที่ 5.27



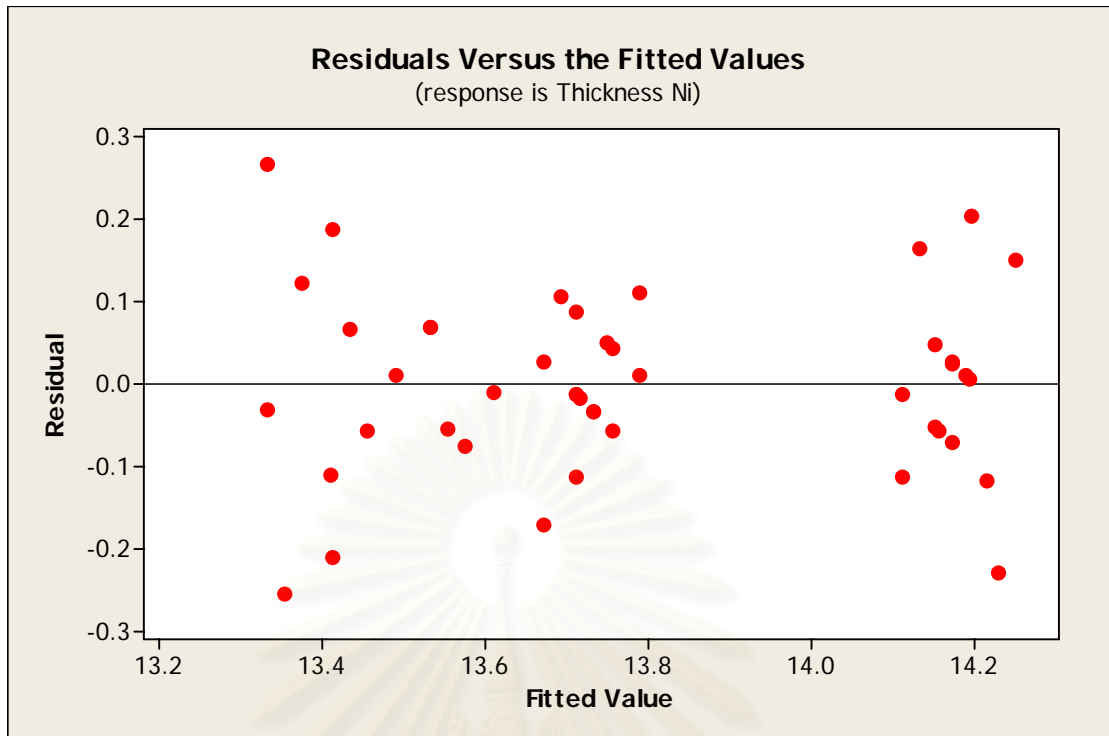
รูปที่ 5.27 แสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาจาก Normal Plot of Residuals รูปที่ 5.27 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง จะเห็นได้ว่าไม่พบความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความเป็นปกติ ฉะนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ  $H_0$  (Fail to reject  $H_0$ ) สรุปได้ว่า ข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.ทดสอบความเสถียรของความแปรปรวน มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

$H_1$  : ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร



รูปที่ 5.28 แสดงผลการทดสอบความความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าฟิต

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย รูปที่ 5.28 แสดง ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรจะกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน

จากรูปที่ 5.28 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ สรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ของตัวแปรตอบสนอง (Friction) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่าข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ ความสุ่ม การแจกแจงแบบปกติและค่าความแปรปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID

#### การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในส่วนของการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบไว้ คือ

$H_0$ : Main Effect ไม่มีผลต่อความหนา

$H_1$ : Main Effect มีผลต่อความหนา

General Linear Model: Thickness Ni versus Blocks, Conc. of Bright , Sample No.

Factor	Type	Levels	Values
Blocks	fixed	5	1, 2, 3, 4, 5
Conc. of Bright Cr	fixed	3	260, 280, 315
Sample No.	fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance for Thickness Ni, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	4	0.09467	0.09467	0.02367	1.15	0.350
Conc. of Bright Cr	2	4.62400	4.62400	2.31200	112.55	0.000
Sample No.	2	0.20800	0.20800	0.10400	5.06	0.062
Error	32	0.65733	0.65733	0.02054		
Total	44	5.86800				

S = 0.143324 R-Sq = 88.80% R-Sq(adj) = 84.60%

รูปที่ 5.29 ผลของการการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial design

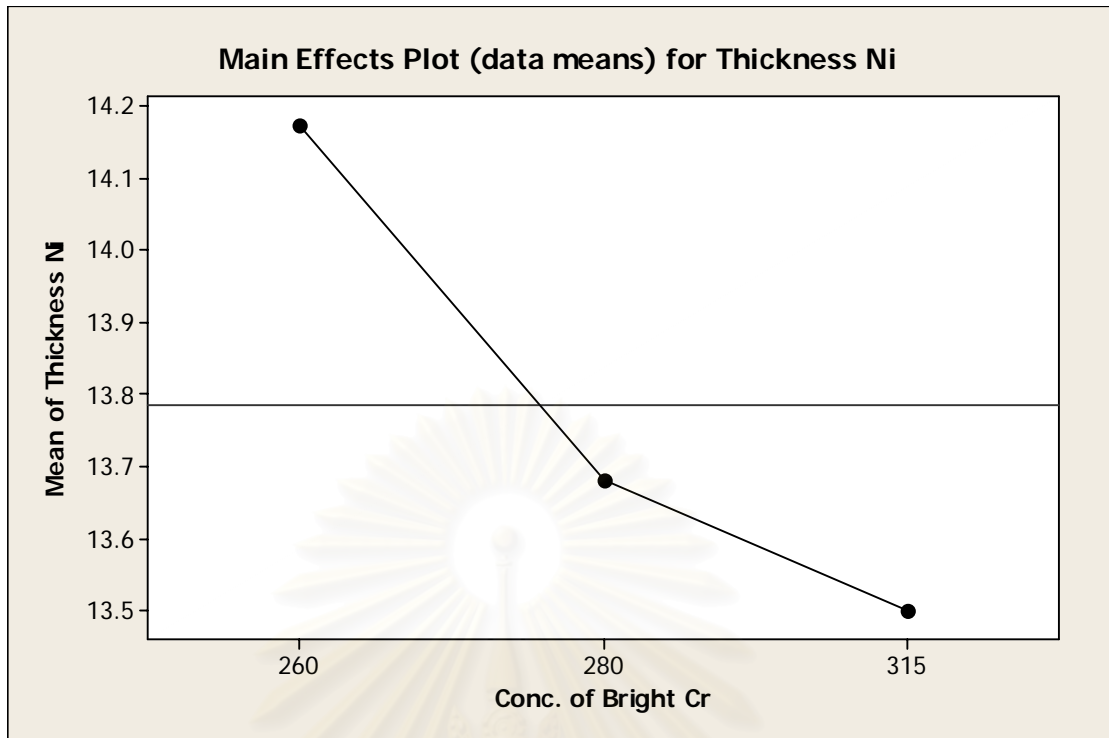
### การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ )

หลังจากวิเคราะห์ความถูกต้องของตัวแบบและแสดงผลแล้วว่าข้อมูลได้รับการเก็บรวบรวมภายใต้สภาวะควบคุมตามแผนการทดลองแล้ว ทำการวิเคราะห์ ค่า R-Sq มีค่าเท่ากับ 88.80% และ R-sq (adj) เท่ากับ 84.60 % สรุปได้ว่า Variance ที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นผลมาจาก Variance จากทรีตเมนต์ เท่ากับ 84.60 %

### การวิเคราะห์ ANOVA

พิจารณาค่า P-Value ของ ใน รูปที่ 5.29 พบว่า Conc. of Bright Cr มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าสถิติทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่า ในการทดลองนี้ Conc. of Bright Cr มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนา Ni และ Sample No. มีค่า P-Value เท่ากับ 0.062 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่า ในการทดลองนี้ Sample No. ไม่ มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนา Ni





รูปที่ 5.30 Main Effect Plot ของ Conc. of Bright Cr ที่มีผลต่อความหนา Ni .ในป้อ Bright Cr

จากผลการวิเคราะห์ Main Effect Plot ใน รูปที่ 5.30 พบว่าค่า Mean of thickness ที่ความเข้มข้น Cr 260, 280 และ 315 กรัม/ ลิตร มีค่าเท่ากับ 14.17, 13.68 และ 13.50 ไมโครเมตรตามลำดับ พบว่าค่า Mean of thickness มีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้น Cr เพิ่มขึ้น ทั้งที่ขึ้นงานผ่านการชุบ Ni ที่ความเข้มข้นเท่ากันควรมีค่าความหนา Ni ใกล้เคียงกัน สาเหตุอาจเกิดจากเมื่อความเข้มข้น Cr เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดการกัดชั้นผิว Ni ออกจากชิ้นงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการชุบระหว่างชั้น Ni และ Cr

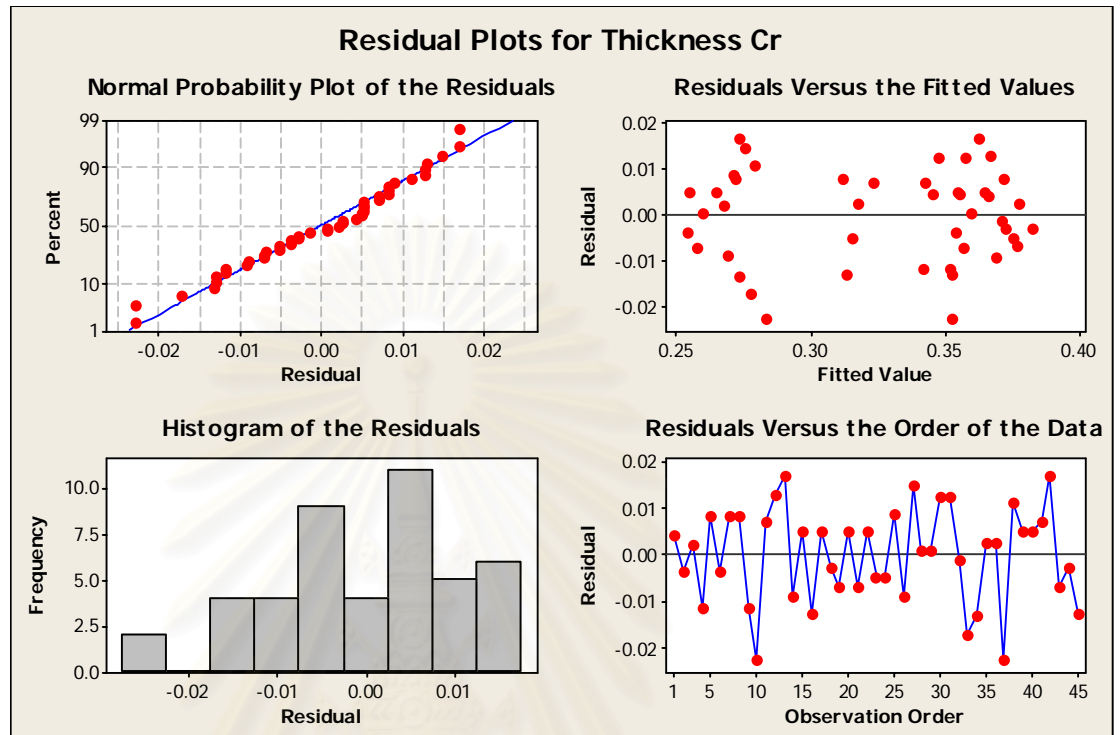
### 5.6.3.2 การวิเคราะห์ผลความหนา Cr

เพื่อให้การทดลองเป็นไปอย่างสุ่ม (Random) ผู้วิจัยจึงได้ใช้ Minitab ในการกำหนดลำดับในการทดลองขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 5.15

ลำดับการทดลองที่	ลำดับที่	รูปแบบที่	บล็อกที่	ความเข้มข้นบ่อ Bright Cr (กรัม/ลิตร)	ชั้นงานที่	ความหนา Cr (ไมโครเมตร)
44	1	1	5	315	2	0.37
43	2	1	5	315	1	0.35
37	3	1	5	260	1	0.27
42	4	1	5	280	3	0.34
38	5	1	5	260	2	0.28
39	6	1	5	260	3	0.25
40	7	1	5	280	1	0.32
45	8	1	5	315	3	0.38
41	9	1	5	280	2	0.33
33	10	1	4	280	3	0.33
32	11	1	4	280	2	0.35
35	12	1	4	315	2	0.38
29	13	1	4	260	2	0.29
28	14	1	4	260	1	0.26
30	15	1	4	260	3	0.26
31	16	1	4	280	1	0.3
34	17	1	4	315	1	0.36
36	18	1	4	315	3	0.37
16	19	1	2	315	1	0.35
14	20	1	2	280	2	0.35
12	21	1	2	260	3	0.25
15	22	1	2	280	3	0.36
18	23	1	2	315	3	0.37
13	24	1	2	280	1	0.31
10	25	1	2	260	1	0.28
17	26	1	2	315	2	0.36
11	27	1	2	260	2	0.29
7	28	1	1	315	1	0.36
3	29	1	1	260	3	0.26
6	30	1	1	280	3	0.37
5	31	1	1	280	2	0.36
8	32	1	1	315	2	0.37
2	33	1	1	260	2	0.26
1	34	1	1	260	1	0.26
9	35	1	1	315	3	0.38
4	36	1	1	280	1	0.32
20	37	1	3	260	2	0.26
19	38	1	3	260	1	0.29
25	39	1	3	315	1	0.37
21	40	1	3	260	3	0.27
22	41	1	3	280	1	0.33
24	42	1	3	280	3	0.38
26	43	1	3	315	2	0.37
27	44	1	3	315	3	0.38
23	45	1	3	280	2	0.34

ตารางที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลำดับและผลการทดลอง

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ใช้หลักการของการวิเคราะห์หาค่าคงที่ (Residual analysis) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.31



รูปที่ 5.31 แสดงการวิเคราะห์หาค่าคงที่ของผลการทดลอง

1. ทดสอบความสุ่มของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

$H_1$  : ลำดับของข้อมูลมิได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม

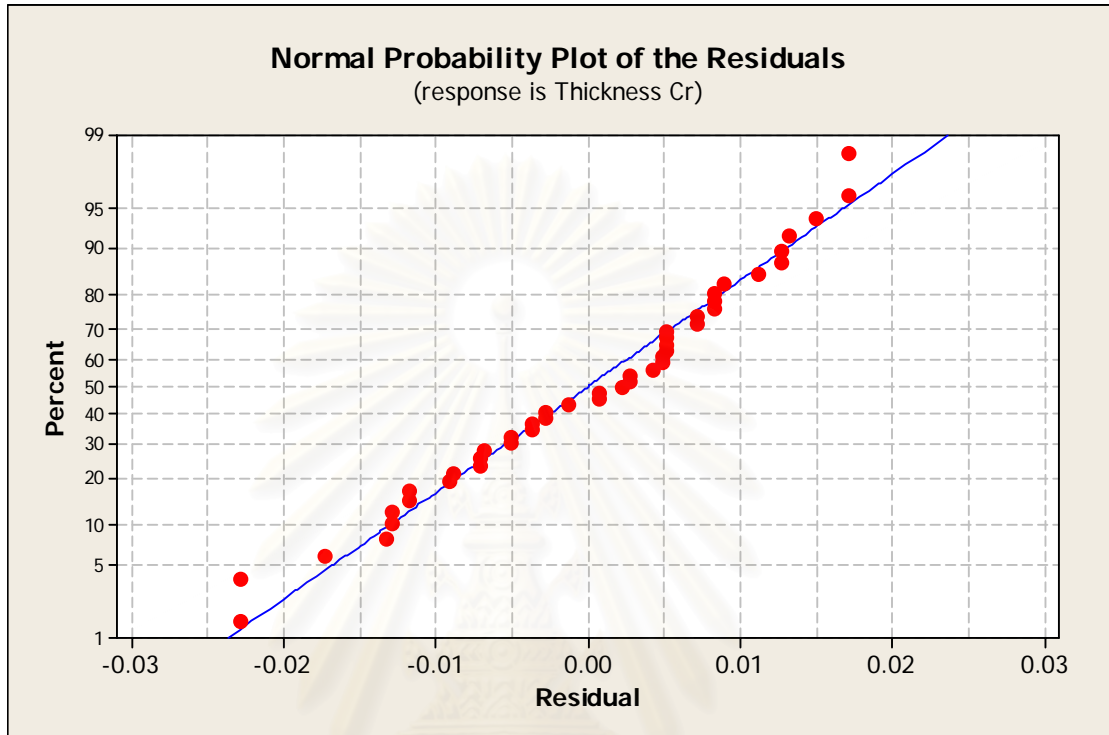
เมื่อพิจารณาจาก Residuals Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.31 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความสุ่ม เนื่องจากส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบ ฉะนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่จะปฏิเสธ  $H_0$  (Fail to reject  $H_0$ ) สรุปได้ว่า ลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

$H_1$  : ข้อมูลมิได้มีการแจกแจงแบบปกติ

ดำเนินการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ได้ผลดังรูปที่ 5.32



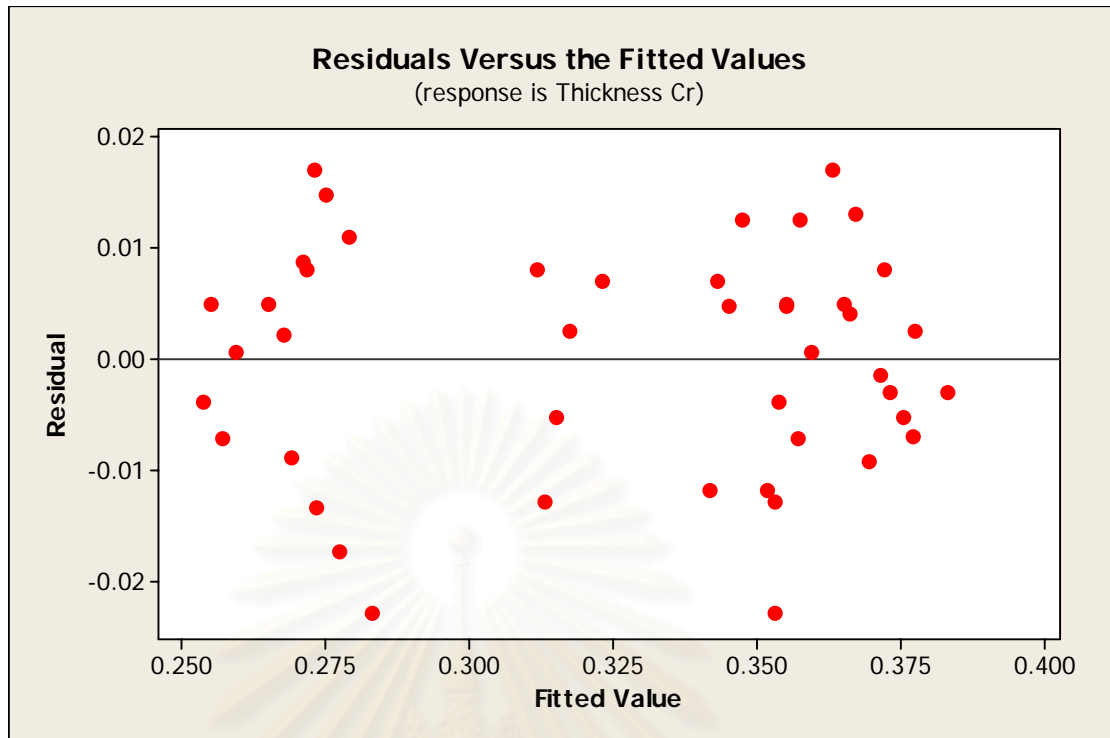
รูปที่ 5.32 แสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาจาก Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 5.32 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง จะเห็นได้ว่าไม่พบความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความเป็นปกติ ฉะนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ  $H_0$  (Fail to reject  $H_0$ ) สรุปได้ว่า ข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3.ทดสอบความเสถียรของความแปรปรวน มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

$H_0$  : ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

$H_1$  : ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร



รูปที่ 5.33 แสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าฟิต

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 5.33 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรจะกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน

จากรูปที่ 5.33 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ สรุปได้ว่า ข้อมูลมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ของตัวแปรตอบสนอง (Friction) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่าข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ ความสุ่ม การแจกแจงแบบปกติและค่าความแปรปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID

#### การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในส่วนของการวิเคราะห์ผลการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานเพื่อการทดสอบไว้ คือ

$H_0$ : Main Effect ไม่มีผลต่อความหนา

$H_1$ : Main Effect มีผลต่อความหนา

General Linear Model: Thickness Cr versus Blocks, Conc. of Bright Cr, Sample No.

Factor	Type	Levels	Values
Blocks	fixed	5	1, 2, 3, 4, 5
Conc. of Bright Cr	fixed	3	260, 280, 315
Sample No.	fixed	3	1, 2, 3

Analysis of Variance for Thickness Cr, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blocks	4	0.0006978	0.0006978	0.0001744	1.23	0.318
Conc. of Bright Cr	2	0.0784133	0.0784133	0.0392067	276.21	0.000
Sample No.	2	0.0022533	0.0022533	0.0011267	7.94	0.072
Error	32	0.0045422	0.0045422	0.0001419		
Total	44	0.0897200				

S = 0.0119140 R-Sq = 94.94% R-Sq(adj) = 93.04%

รูปที่ 5.34 ผลของการการออกแบบการทดลองแบบ General full factorial design

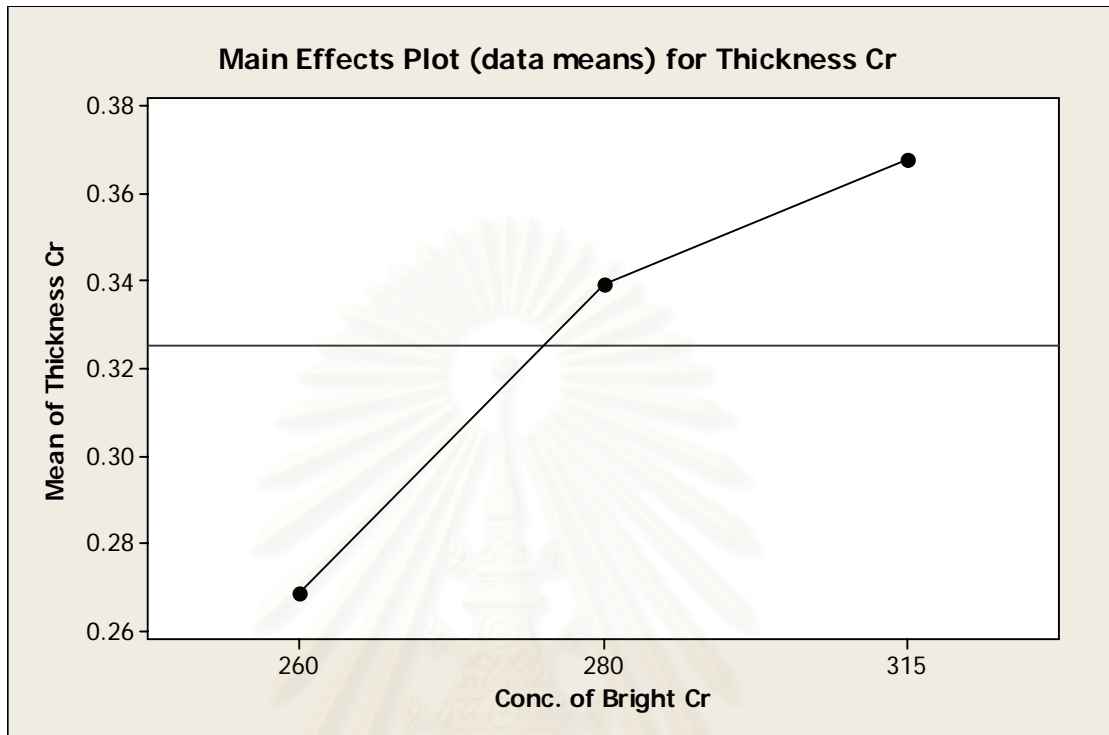
### การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ )

หลังจากวิเคราะห์ความถูกต้องของตัวแบบและแสดงผลแล้วว่าข้อมูลได้รับการเก็บรวบรวมภายใต้สภาวะควบคุมตามแผนการทดลองแล้ว ทำการวิเคราะห์ ค่า R-Sq มีค่าเท่ากับ 94.94% และ R-sq (adj) เท่ากับ 93.04 % สรุปได้ว่า Variance ที่เกิดขึ้นทั้งหมดเป็นผลมาจาก Variance จากทรีตเมนต์ เท่ากับ 93.04 %

### การวิเคราะห์ ANOVA

พิจารณาค่า P-Value ของ ในรูปที่ 5.34 พบว่า Conc. of Bright Cr มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าสถิติทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่า ในการทดลองนี้ Conc. of Bright Cr มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนา Cr และ Sample No. มีค่า P-

Value เท่ากับ 0.062 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่า ใน การทดลองนี้ Sample No. ไม่ มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความหนา Cr



รูปที่ 5.35 Main Effect Plot ของ Conc. of Bright Cr ที่มีผลต่อความหนา Cr .ในบ่อ Bright Cr

จากผลการวิเคราะห์ Main Effect Plot ในรูปที่ 5.35 พบว่าค่า Mean of thickness ที่ความเข้มข้น Cr ที่ความเข้มข้น Cr 280 กรัม/ลิตร เท่ากับ 0.3393 ไมโครเมตร เปรียบเทียบกับที่ความเข้มข้น Cr 315 กรัม/ลิตร เท่ากับ 0.3680 ไมโครเมตร พบว่ามีค่า Mean of thickness ใกล้เคียงกัน ผู้วิจัยจึงได้กำหนดให้ใช้ความเข้มข้น Cr ในบ่อ Bright Cr ที่ 260 กรัม/ ลิตร เนื่องจากเป็นค่าความเข้มข้นที่ต่ำสุดในการทดลองที่มีค่าความหนา Ni และ Cr อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน คือ 12-15 ไมโครเมตร และ 0.2-0.4 ไมโครเมตรตามลำดับ

## 5.7 ผลการปรับปรุง

ทำการปรับปรุงค่าความเข้มข้นน้ำยา Ni และ Cr โดยควบคุมให้ความเข้มข้นอยู่ที่ค่าที่ได้จากการทดลองใน Line และเก็บข้อมูลค่าใช้จ่ายสารเคมี และอัตราการเกิดของเสีย โดยเริ่มการปรับปรุงตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม 2550 ถึงวันที่ 24 สิงหาคม 2550

## 1. ผลการปรับปรุงด้านค่าใช้จ่ายสารเคมี

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสารเคมีก่อนและหลังการปรับปรุง โดยการหาค่าเฉลี่ยค่าใช้จ่ายต่อชิ้นของช่วงก่อนและหลังการปรับปรุงได้ข้อมูลดังตารางที่ 5.16 และ 5.17

ตารางที่ 5.16 ค่าใช้จ่ายสารเคมีช่วงก่อนการปรับปรุง (เดือนมกราคม 2550 ถึงเดือนกรกฎาคม 2550)

เดือน	จำนวนสารเคมีที่ใช้ (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่ายสารเคมี (บาท)	จำนวนชิ้นงาน ที่ผลิต (ชิ้น)	จำนวนสารเคมีที่ใช้ (กิโลกรัมต่อชิ้น)	ค่าใช้จ่ายต่อชิ้น (บาทต่อชิ้น)
ม.ค. 2550	3,554	1,206,192	106,640	0.033	11.31
ก.พ. 2550	2,124	695,938	64,809	0.033	10.74
มี.ค. 2550	1,469	491,836	44,803	0.033	10.98
เม.ย. 2550	1,929	624,751	49,251	0.039	12.69
พ.ค. 2550	1,812	603,345	58,936	0.031	10.24
มิ.ย. 2550	2,050	675,527	62,276	0.033	10.85
ก.ค. 2550	2,001	680,505	62,634	0.032	10.86
<b>รวม</b>	<b>14,939</b>	<b>4,978,094</b>	<b>449,349</b>	<b>0.033</b>	<b>11.08</b>

ตารางที่ 5.17 ค่าใช้จ่ายสารเคมีช่วงหลังการปรับปรุง (วันที่ 1 สิงหาคม 2550 ถึงวันที่ 24 สิงหาคม 2550)

เดือน	จำนวนสารเคมีที่ใช้ (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่ายสารเคมี (บาท)	จำนวนชิ้นงาน ที่ผลิต (ชิ้น)	จำนวนสารเคมีที่ใช้ (กิโลกรัมต่อชิ้น)	ค่าใช้จ่ายต่อชิ้น (บาทต่อชิ้น)
1 ส.ค.-24 ส.ค.50	1,090	361,167	37,785	0.029	9.56
<b>รวม</b>	<b>1,090</b>	<b>361,167</b>	<b>37,785</b>	<b>0.029</b>	<b>9.56</b>

จากข้อมูลพบว่าค่าเฉลี่ยจำนวนสารเคมีที่ใช้ต่อชิ้นก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 0.033 กิโลกรัมต่อชิ้น เปรียบเทียบกับหลังการปรับปรุงเท่ากับ 0.029 กิโลกรัมต่อชิ้น มีจำนวนสารเคมีที่ใช้ลดลง 12.12 เปอร์เซ็นต์ และค่าใช้จ่ายสารเคมีต่อชิ้นก่อนการปรับปรุง 11.08 บาทต่อชิ้น เปรียบเทียบกับหลังการปรับปรุง 9.56 บาทต่อชิ้น มีค่าใช้จ่ายลดลง 13.72 เปอร์เซ็นต์



## 2. ผลการปรับปรุงด้านอัตราการเกิดของเสีย

เปรียบเทียบอัตราการเกิดของเสียก่อนและหลังการปรับปรุง โดยการหาค่าเฉลี่ยต่อเดือนของช่วงก่อนและหลังการปรับปรุงจากข้อมูลดังตารางที่ 5.18 และ 5.19

ตารางที่ 5.18 อัตราการเกิดของเสียช่วงก่อนการปรับปรุง (เดือนมกราคม 2550 ถึงเดือนกรกฎาคม 2550)

เดือน	จำนวนที่ผลิต (ชิ้น)	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์ของเสีย
ม.ค. 2550	106,640	3,062	2.9 %
ก.พ. 2550	64,809	1,856	2.86 %
มี.ค. 2550	44,803	1,662	3.71 %
เม.ย. 2550	49,251	3,108	6.31 %
พ.ค. 2550	58,936	4,249	7.21 %
มิ.ย. 2550	62,276	4,347	6.98 %
ก.ค. 2550	62,634	1,934	3.14 %
<b>รวม</b>	<b>449,349</b>	<b>20,218</b>	<b>4.50 %</b>

ตารางที่ 5.19 อัตราการเกิดของเสียช่วงหลังการปรับปรุง (วันที่ 1 สิงหาคม 2550 ถึงวันที่ 24 สิงหาคม 2550)

เดือน	จำนวนที่ผลิต (ชิ้น)	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์ของเสีย
ส.ค. 2550	37,785	1,674	4.43 %
<b>รวม</b>	<b>37,785</b>	<b>1,674</b>	<b>4.43 %</b>

จากข้อมูลพบว่าอัตราการเกิดของเสียเฉลี่ยต่อเดือนก่อนการปรับปรุง 4.50 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับหลังการปรับปรุง 4.43 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการเกิดของเสียลดลง 1.56 เปอร์เซ็นต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 6

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นของสารซุบประกอบชนิดนิกเกิลและโครเมียมที่เหมาะสมในกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า เพื่อให้สามารถลดค่าใช้จ่ายสารเคมีในบ่อน้ำยาชุบชนิดและโครเมียมลงได้ โดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน โดยผู้วิจัยได้เริ่มต้นศึกษาจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ (Laboratory) เพื่อใช้เป็นแนวทางก่อนการทดลองในสายการผลิต

ในการทดลองผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองโดยควบคุมปัจจัยอื่นๆ ที่จะส่งผลต่อกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า และกำหนดค่าความเข้มข้นน้ำยาชุบที่ค่าต่างๆ เพื่อหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสม โดยทดลองเรียงตามลำดับดังนี้

1. ทดลองหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในบ่อ Semi Ni และเมื่อได้ผลลัพธ์แล้ว ทำการควบคุมค่านั้นไว้
2. ทดลองหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในบ่อ Tri Ni และเมื่อได้ผลลัพธ์แล้ว ทำการควบคุมค่านั้นไว้
3. ทดลองหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในบ่อ Bright Ni และเมื่อได้ผลลัพธ์แล้ว ทำการควบคุมค่านั้นไว้
4. ทดลองหาค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมในบ่อ Bright Cr และเมื่อได้ผลลัพธ์แล้ว ทำการควบคุมค่านั้นไว้

ผู้วิจัยได้นำค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในสายการผลิต ไปใช้ควบคุมในสายการผลิตในเดือนสิงหาคม 2550 เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสารเคมีในบ่อน้ำยาชุบชนิดและโครเมียม และอัตราการเกิดของเสีย ก่อนและหลังการปรับปรุง

#### **6.1 สรุปผลที่ได้จากการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารซุบประกอบชนิดนิกเกิลและโครเมียมที่เหมาะสมในกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า**

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Experiment) ดังนี้

### 6.1.1 ผลที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

ลำดับกระบวนการชุบ	กระบวนการชุบ	ค่าความเข้มข้นที่เหมาะสม กรัม/ลิตร
1	Semi Ni	260
2	Tri Ni	260
3	Bright Ni	260
4	Bright Cr	280

โดยการทดลองไม่พบข้อบกพร่องที่เกิดกับชิ้นงาน

### 6.1.2 ผลที่ได้จากการทดลองในสายการผลิต

ลำดับกระบวนการชุบ	กระบวนการชุบ	ค่าความเข้มข้นที่เหมาะสม กรัม/ลิตร
1	Semi Ni	260
2	Tri Ni	260
3	Bright Ni	260
4	Bright Cr	260

โดยการทดลองไม่พบข้อบกพร่องที่เกิดกับชิ้นงานและพบว่าค่าความเข้มข้นมีอิทธิพลต่อค่าความหนาชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05) ในขณะที่พบว่าชิ้นงานไม่มีอิทธิพลต่อค่าความหนาชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05)

### 6.1.3 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสารเคมีและอัตราการเกิดของเสีย ระหว่างก่อนการปรับปรุง (ค่าเฉลี่ยเดือนมกราคม 2550 ถึงเดือนกรกฎาคม 2550) กับหลังการปรับปรุง (ค่าเฉลี่ยเดือนสิงหาคม 2550)

จำนวนสารเคมีที่ใช้ก่อนการปรับปรุงเท่ากับ 0.033 กิโลกรัมต่อชิ้น

จำนวนสารเคมีที่ใช้หลังการปรับปรุงเท่ากับ 0.029 กิโลกรัมต่อชิ้น

พบว่ามีจำนวนสารเคมีที่ใช้ลดลง 12.12 เปอร์เซ็นต์

ค่าใช้จ่ายสารเคมีก่อนการปรับปรุง 11.08 บาทต่อชิ้น

ค่าใช้จ่ายสารเคมีหลังการปรับปรุง 9.56 บาทต่อชิ้น

พบว่ามีค่าใช้จ่ายสารเคมีลดลง 13.72 เปอร์เซ็นต์

อัตราการเกิดของเสียก่อนการปรับปรุง 4.50 เปอร์เซ็นต์

อัตราการเกิดของเสียหลังการปรับปรุง 4.43 เปอร์เซ็นต์

พบว่ามียอัตราการเกิดของเสียลดลง 1.56 เปอร์เซ็นต์

## 6.2 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย

- 6.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในห้องปฏิบัติการเกิดการชำรุดบ่อย เนื่องจากมีอายุการใช้งานมานาน ทำให้ต้องเสียเวลาในการนำไปซ่อมแซม
- 6.2.2 ค่าใช้จ่ายของ Chemical reagent (Electrolyte S-106 และ Electrolyte S-107) ที่ใช้ในการหาค่าความหนา มีราคาสูง โดยค่าสารเคมีสำหรับวัดค่าความหนาชั้นนิกเกิลเฉลี่ย 40 บาทต่อหนึ่งค่าความหนา และสำหรับวัดค่าความหนาชั้นโครเมียมเฉลี่ย 20 บาทต่อหนึ่งค่าความหนา
- 6.2.3 การหาค่าความหนาโดยใช้เครื่อง Thickness Tester ใช้เวลานานและมีความแม่นยำของตำแหน่งที่วัดต่ำ ทำให้ใช้เวลาในการทดลองนาน และเกิดความคลาดเคลื่อนของค่าความหนาที่ได้

## 6.3 ข้อเสนอแนะ

- 6.3.1 ศึกษาค่าความเข้มข้นของสารชุบประกอบชนิดนิกเกิลและโครเมียมที่ความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เพิ่มเติม
- 6.3.2 ศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ที่ทำให้สามารถลดต้นทุนได้อีก เช่น ความเข้มข้นสารเติมแต่ง (additive) เวลาที่ใช้ในการชุบ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ
- 6.3.3 การทดสอบค่าความหนาควรใช้วิธีที่รวดเร็วกว่าและให้ผลที่แม่นยำสูงกว่าที่ใช้ในการทดสอบในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ เช่น เครื่องเอ็กซ์เรย์
- 6.3.4 การออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียวเพียงรูปแบบเดียว อาจจะยังไม่เพียงพอต่อการศึกษา เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนและแม่นยำ ซึ่งควรจะ ออกแบบการทดลองด้วยวิธีการอื่นๆ เพิ่มเติม

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- ปารเมศ ชุติมา . 2545 . การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เพ็ญศรี ทองนพเนื้อ . 2539 . เคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า กรุงเทพฯ ฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรม เครื่องจักรกลและโลหะการ . 2546. การชุบโครเมียมในอุตสาหกรรม.  
กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม . 2547. การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า.
- สมชาย มนต์เกียรติกุล . 2546. หลักการเบื้องต้นของการชุบเคลือบผิวและการควบคุมคุณภาพน้ำยาชุบโลหะ.
- มัณฑกรณ์ ภูมิปัญญาคุณ . 2547. การปรับปรุงกระบวนการชุบไฟฟ้าเครื่องประดับ .  
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พงศศักดิ์ ฉัตรวิวัฒนา . 2543 . การทดลอง เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารกัดผิว เวลา และอุณหภูมิ ของกระบวนการกัดผิวต่อการยึดติดแน่นของชั้นเคลือบโลหะ บนชิ้นงานพลาสติกเอบีเอส . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มะลิ แซ่อึ้ง . 2544 . การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของผิวเคลือบในกระบวนการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้า . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทรงพล พิเชษฐ์วัฒนา . 2541 . การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการปรับปรุงคุณภาพของแรงดึงของหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสต์ไดรฟ์ . วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อรอนงค์ โคมศิริ . 2548 . ผลของสารเติมแต่งต่อการชุบเคลือบผิวโลหะผสมดีบุก – สังกะสี .  
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

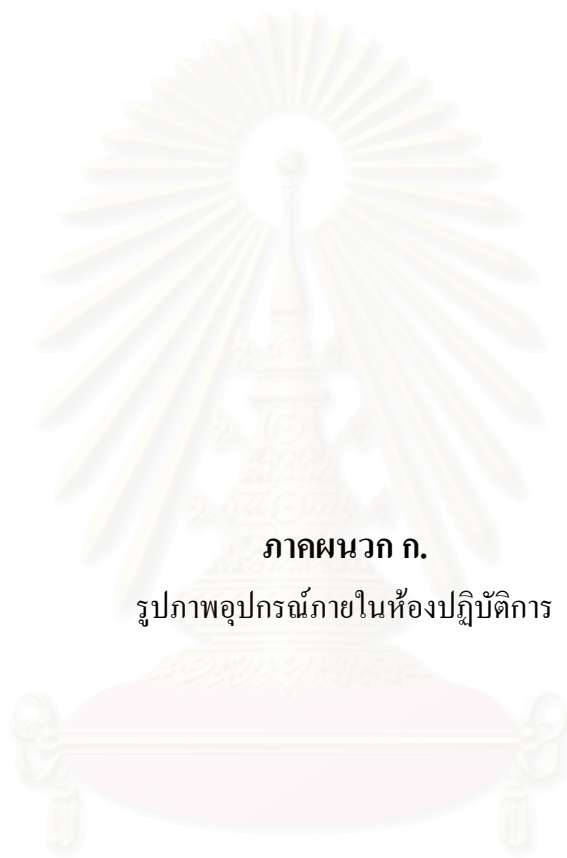
### ภาษาอังกฤษ

- Sinsei Denka Kogyo Co.,Ltd., 1989 . Ishii, Hiroshi Industrial ( Head) Chromium Plating.
- Douglas C. Montgomery. 1997. Design and Analysis of Experiment . 4<sup>th</sup> Editions : John Wiley & Son.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



**ภาคผนวก ก.**

รูปภาพอุปกรณ์ภายในห้องปฏิบัติการ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.1 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า



รูปที่ ก.2 ป้อนลมไฟฟ้า

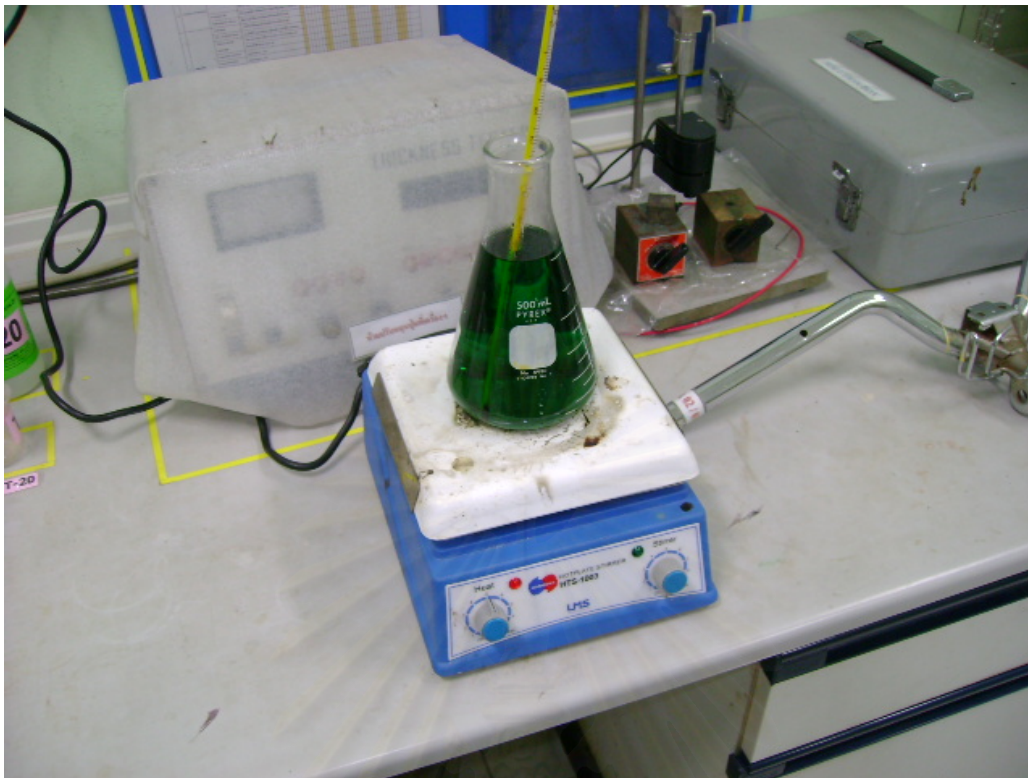




รูปที่ ก.3 เต้าไฟฟ้า



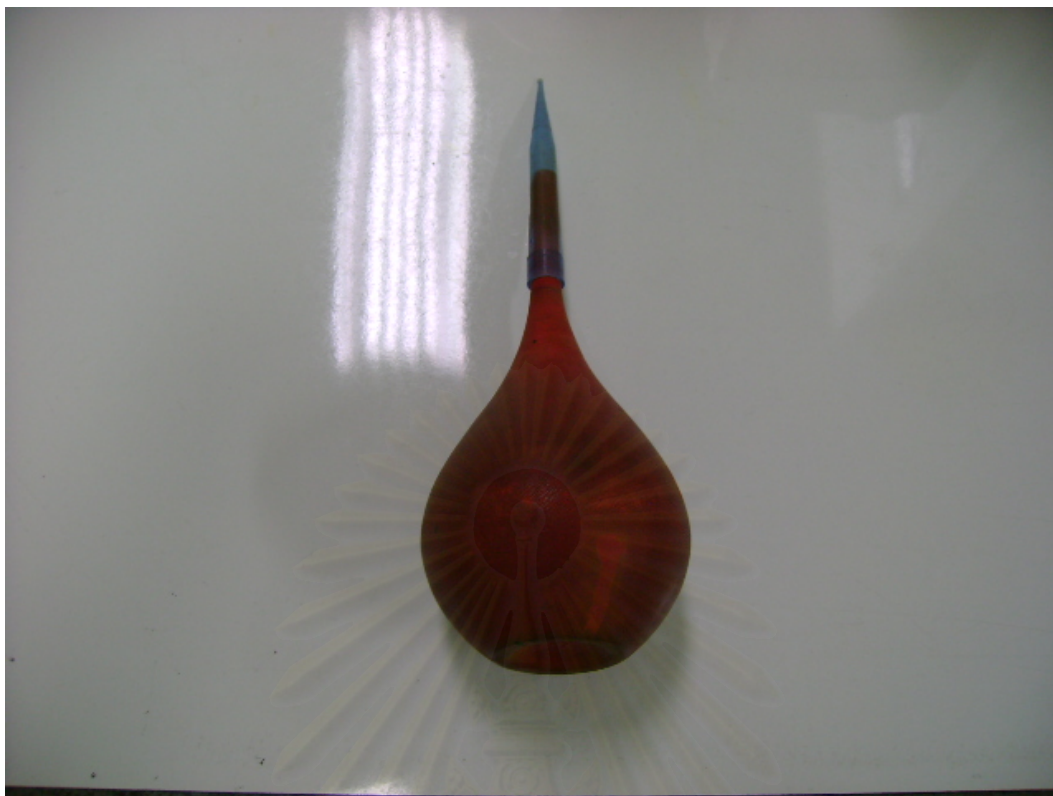
รูปที่ ก.4 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล



รูปที่ ก.5 เครื่องทำความร้อนไฟฟ้า



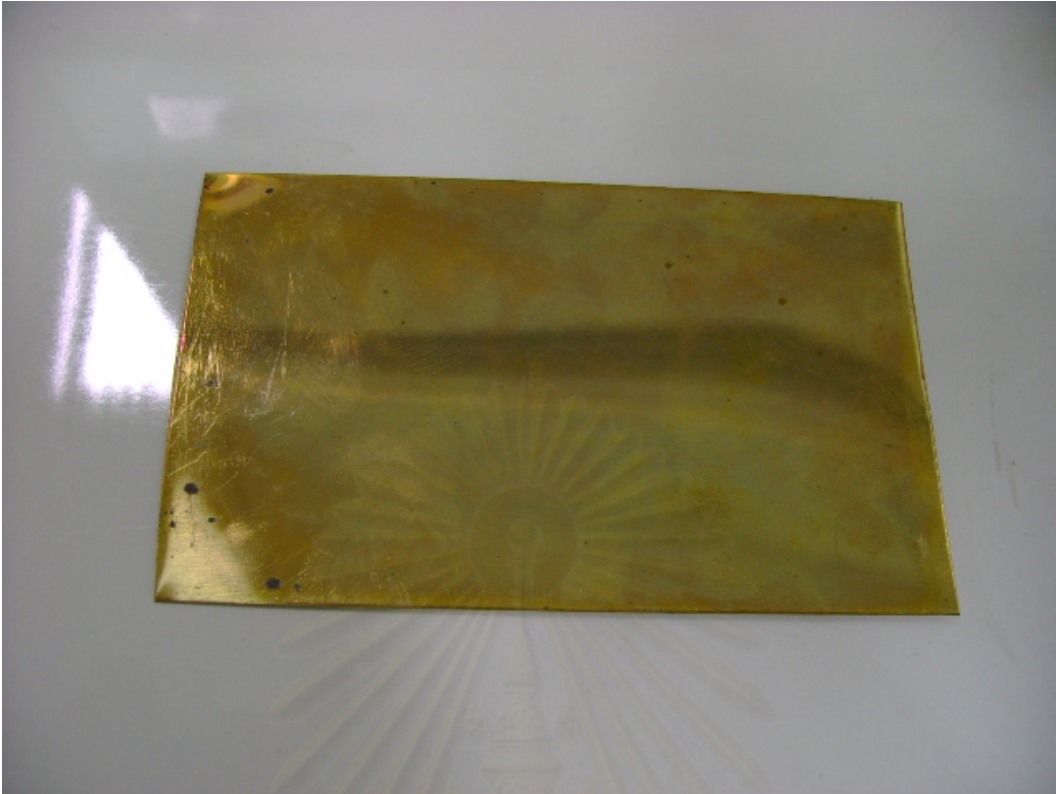
รูปที่ ก.6 เครื่องวัดความหนาชั้นผิวอนิกเกิล โครเมียม



รูปที่ ก.7 ที่ดูดน้ำยา



รูปที่ ก.8 Automatic Burettes



รูปที่ ก.9 แผ่นทองเหลือง



รูปที่ ก.10 กระจายกรอง



รูปที่ ก.11 แท่นวางชิ้นงาน



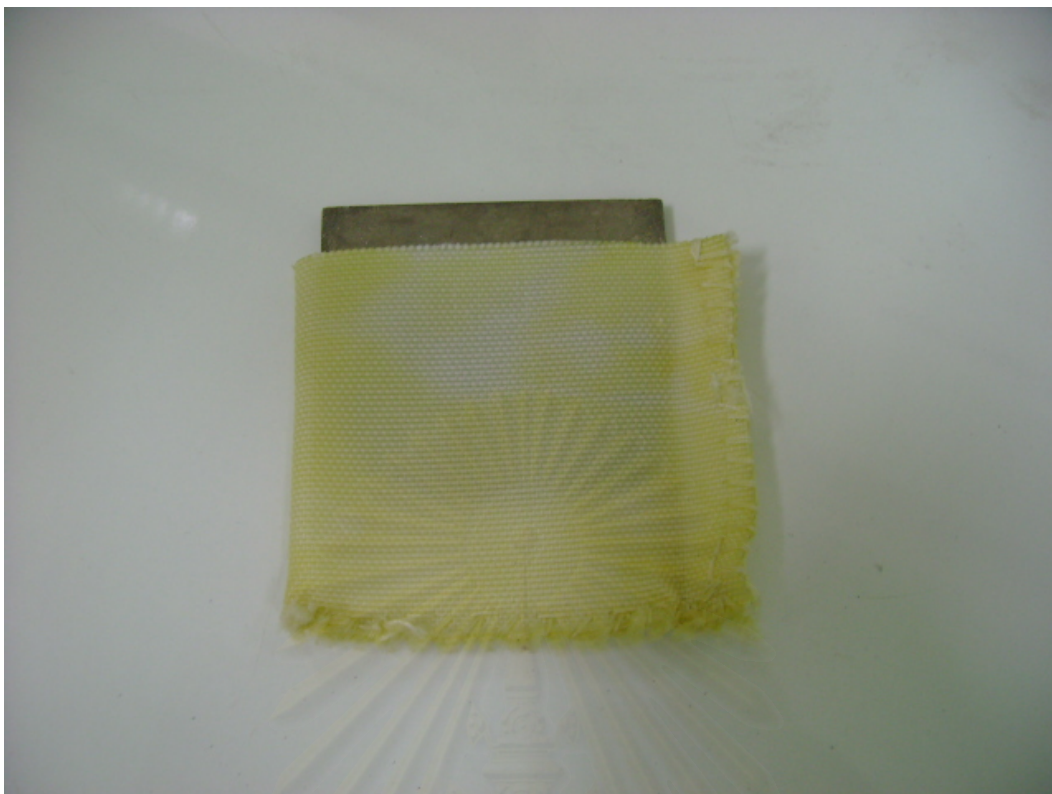
รูปที่ ก.12 ซ้อนตักเคมี



รูปที่ ก.13 ที่หนีบแผ่นชิ้นงาน



รูปที่ ก.14 ซ้อนตักเคมี



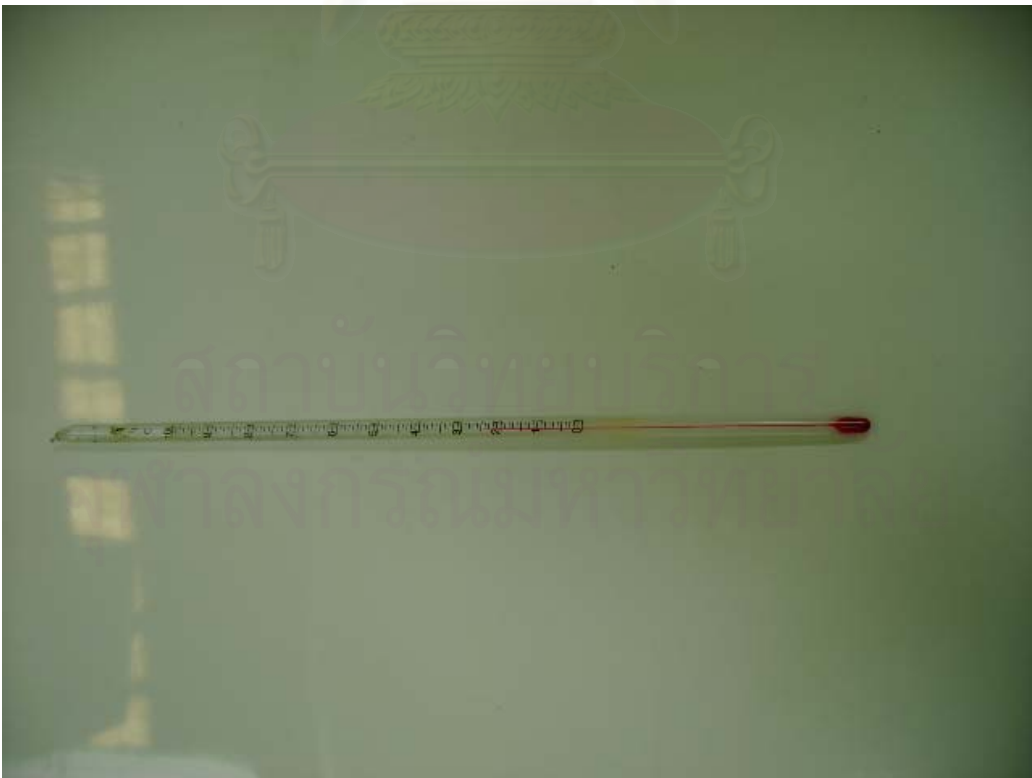
รูปที่ ก.15 แผ่นนิกเกิลและดงฟ้าสำหรับใส่แผ่นนิกเกิล



รูปที่ ก.16 กล่อง ฮัลเซลล์ (Hull Cell)



รูปที่ ก.17 ตัวล่อ โครเมียม



รูปที่ ก.18 เทอร์โมมิเตอร์





รูปที่ ก.19 Stand Burette



รูปที่ ก.20 Stand



รูปที่ ก.21 ขวดทรงกรวย



รูปที่ ก.22 กระบอกลูกทวงมาตรฐาน



รูปที่ ก.23 ปิเปต



รูปที่ ก.24 กรวย



รูปที่ ก.25 บีกเกอร์ขนาด 500 ml



รูปที่ ก.26 บีกเกอร์ขนาด 2,000 ml



**ภาคผนวก ข.**

ตารางสรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.1 สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนมกราคม 2550

ลำดับ	ประเภทสารเคมี	จำนวนที่ใช้ (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ค่าใช้จ่ายเทียบเป็น% (ของค่าใช้จ่ายรวม)	ราคาต่อหน่วย (บาท/กิโลกรัม)
1	Nickel-S-Round	1,113	762,675	63.23%	685
2	Nickel Sulfate	930	265,121	21.98%	285
3	Chromium	242	61,757	5.12%	255
4	Nickel Chloride	234	40,890	3.39%	175
5	NC-150Y	403	32,205	2.67%	80
6	Boric Acid	202	16,163	1.34%	80
7	Top San	172	12,062	1.00%	70
8	NCC-10	95	10,494	0.87%	110
9	Top Cleaner san 200	12	3,619	0.30%	290
10	Sulphuric Acid	138	965	0.08%	7
11	Sodium Hydroxide	12	241	0.02%	20
	รวม	3,554	1,206,192	100	

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.2 สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2550

ลำดับ	ประเภทสารเคมี	จำนวนที่ใช้ (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ค่าใช้จ่ายเทียบเป็น% ของค่าใช้จ่ายรวม	ราคาต่อหน่วย (บาทกิโลกรัม)
1	Nickel-S-Round	617	422,921	60.77%	685
2	Nickel Sulfate	572	163,058	23.43%	285
3	Chromium	133	33,892	4.87%	255
4	Nickel Chloride	147	25,680	3.69%	175
5	NC-150Y	251	20,043	2.88%	80
6	Boric Acid	130	10,439	1.50%	80
7	Top San	88	6,194	0.89%	70
8	NCC-10	55	6,055	0.87%	110
9	Top Cleaner san 200	23	6,681	0.96%	290
10	Sulphuric Acid	89	626	0.09%	7
11	Sodium Hydroxide	17	348	0.05%	20
	<b>รวม</b>	<b>2124</b>	<b>695,938</b>	<b>100.00%</b>	

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.3 สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนมีนาคม 2550

ลำดับ	ประเภทสารเคมี	จำนวนที่ใช้ (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ค่าใช้จ่ายเทียบเป็น% ของค่าใช้จ่ายรวม	ราคาต่อหน่วย (บาทกิโลกรัม)
1	Nickel-S-Round	456	312,266	63.49%	685
2	Nickel Sulfate	370	105,450	21.44%	285
3	Chromium	98	24,887	5.06%	255
4	Nickel Chloride	94	16,378	3.33%	175
5	NC-150Y	151	12,099	2.46%	80
6	Boric Acid	90	7,230	1.47%	80
7	Top San	70	4,918	1.00%	70
8	NCC-10	42	4,574	0.93%	110
9	Top Cleaner san 200	11	3,295	0.67%	290
10	Sulphuric Acid	77	541	0.11%	7
11	Sodium Hydroxide	10	197	0.04%	20
	<b>รวม</b>	<b>1469</b>	<b>491,836</b>	<b>100.00%</b>	

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางที่ ข.4 สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนเมษายน 2550

ลำดับ	ประเภทสารเคมี	จำนวนที่ใช้ (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ค่าใช้จ่ายเทียบเป็น% ของค่าใช้จ่ายรวม	ราคาต่อหน่วย (บาทกิโลกรัม)
1	Nickel-S-Round	565	386,846	61.92%	685
2	Nickel Sulfate	488	139,007	22.25%	285
3	Chromium	122	31,175	4.99%	255
4	Nickel Chloride	139	24,303	3.89%	175
5	NC-150Y	199	15,931	2.55%	80
6	Boric Acid	147	11,745	1.88%	80
7	Top San	79	5,560	0.89%	70
8	NCC-10	59	6,435	1.03%	110
9	Top Cleaner san 200	9	2,686	0.43%	290
10	Sulphuric Acid	107	750	0.12%	7
11	Sodium Hydroxide	16	312	0.05%	20
	<b>รวม</b>	<b>1929</b>	<b>624,751</b>	<b>100.00%</b>	

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.5 สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนพฤษภาคม 2550

ลำดับ	ประเภทสารเคมี	จำนวนที่ใช้ (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ค่าใช้จ่ายเทียบเป็น% ของค่าใช้จ่ายรวม	ราคาต่อหน่วย (บาทกิโลกรัม)
1	Nickel-S-Round	548	375,522	62.24%	685
2	Nickel Sulfate	480	136,778	22.67%	285
3	Chromium	121	30,891	5.12%	255
4	Nickel Chloride	123	21,479	3.56%	175
5	NC-150Y	178	14,239	2.36%	80
6	Boric Acid	131	10,498	1.74%	80
7	Top San	89	6,214	1.03%	70
8	NCC-10	36	3,982	0.66%	110
9	Top Cleaner san 200	10	2,836	0.47%	290
10	Sulphuric Acid	78	543	0.09%	7
11	Sodium Hydroxide	18	362	0.06%	20
	<b>รวม</b>	<b>1812</b>	<b>603,345</b>	<b>100.00%</b>	

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.6 สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนมิถุนายน 2550

ลำดับ	ประเภทสารเคมี	จำนวนที่ใช้ (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ค่าใช้จ่ายเทียบเป็น% ของค่าใช้จ่ายรวม	ราคาต่อหน่วย (บาทกิโลกรัม)
1	Nickel-S-Round	607	415,990	61.58%	685
2	Nickel Sulfate	509	145,103	21.48%	285
3	Chromium	124	31,682	4.69%	255
4	Nickel Chloride	149	26,075	3.86%	175
5	NC-150Y	241	19,253	2.85%	80
6	Boric Acid	133	10,606	1.57%	80
7	Top San	90	6,282	0.93%	70
8	NCC-10	118	12,970	1.92%	110
9	Top Cleaner san 200	24	7,093	1.05%	290
10	Sulphuric Acid	48	338	0.05%	7
11	Sodium Hydroxide	7	135	0.02%	20
	<b>รวม</b>	<b>2050</b>	<b>675,527</b>	<b>100.00%</b>	

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.7 สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนกรกฎาคม 2550

ลำดับ	ประเภทสารเคมี	จำนวนที่ใช้ (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ค่าใช้จ่ายเทียบเป็น% ของค่าใช้จ่ายรวม	ราคาต่อหน่วย (บาทกิโลกรัม)
1	Nickel-S-Round	616	422,118	62.03%	685
2	Nickel Sulfate	542	154,339	22.68%	285
3	Chromium	134	34,161	5.02%	255
4	Nickel Chloride	132	23,069	3.39%	175
5	NC-150Y	233	18,646	2.74%	80
6	Boric Acid	121	9,663	1.42%	80
7	Top San	114	7,962	1.17%	70
8	NCC-10	53	5,784	0.85%	110
9	Top Cleaner san 200	15	4,287	0.63%	290
10	Sulphuric Acid	29	204	0.03%	7
11	Sodium Hydroxide	14	272	0.04%	20
	<b>รวม</b>	<b>2001</b>	<b>680,505</b>	<b>100.00%</b>	

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.8 สรุปค่าใช้จ่ายสารเคมีประจำเดือนสิงหาคม 2550 (วันที่ 1 สิงหาคม ถึงวันที่ 24 สิงหาคม 2550)

ลำดับ	ประเภทสารเคมี	จำนวนที่ใช้ (กิโลกรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ค่าใช้จ่ายเทียบเป็น% ของค่าใช้จ่ายรวม	ราคาต่อหน่วย (บาทกิโลกรัม)
1	Nickel-S-Round	327	223,743	61.95%	685
2	Nickel Sulfate	285	81,190	22.48%	285
3	Chromium	70	17,842	4.94%	255
4	Nickel Chloride	72	12,677	3.51%	175
5	NC-150Y	126	10,040	2.78%	80
6	Boric Acid	65	5,237	1.45%	80
7	Top San	56	3,937	1.09%	70
8	NCC-10	37	4,081	1.13%	110
9	Top Cleaner san 200	7	1,986	0.55%	290
10	Sulphuric Acid	36	253	0.07%	7
11	Sodium Hydroxide	9	181	0.05%	20
	<b>รวม</b>	<b>1090</b>	<b>361,167</b>	<b>100.00%</b>	

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



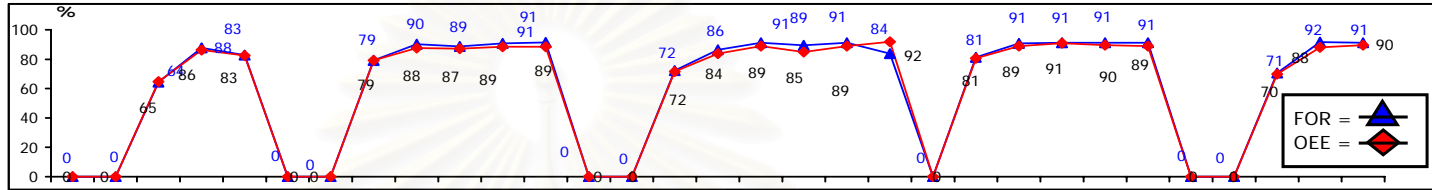
ภาคผนวก ค.

ตารางสรุปอัตราการเกิดของเสียประจำเดือน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## MONTHLY REPORT EFFICIENCY FOR Ni - Cr. LINE SHIFT ( A+B ) JANUARY Y'2007

ISSUED DATE	ISSUED BY	APPROVED BY
03/02/2007		



No.	DETAL ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
1	TOTAL OPERATOR WORKING ( PERSON )	8	8	8	8	0	8	8	8	8	8	8	0	8	8	8	8	8	0	0	8	0	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	200
2	TOTAL WORKING TIME ( REGULRA TIME+O' Min	0	0	960	960	480	0	0	960	960	960	960	960	0	0	960	960	960	960	960	480	0	960	960	960	960	960	0	0	960	960	960	20160	
3	MORNING MEETING Min	0	0	0	13.5	9	0	0	0	18	22.5	18	9	0	0	9	18	9	13.5	9	0	0	9	9	9	9	9	0	0	0	9	4.5	207	
4	5S,TPM,SMALL GROUP Min	0	0	13.5	27	0	0	0	13.5	22.5	13.5	13.5	9	0	0	13.5	18	27	49	27	4.5	0	13.5	18	22.5	22.5	27	0	0	27	22.5	27	432	
5	TOTAL STOP TIME (3)+(4) Min	0	0	13.5	40.5	9	0	0	13.5	40.5	36	31.5	18	0	0	22.5	36	36	62.5	36	4.5	0	22.5	27	31.5	31.5	36	0	0	27	31.5	31.5	638.5	
6	TOTAL OPERATION TIME (2)-(5) Min	0	0	947	920	471	0	0	947	920	924	929	942	0	0	938	924	924	898	924	476	0	938	933	929	929	924	0	0	933	929	929	19522	
7	INTENTIONAL Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	72	0	0	0	0	0	0	198	0	0	270	
8	M/C BREAK DOWN & SHUT DOWWN Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	68	45	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	141.0	
9	SET - UP Min	0	0	94.5	108	81	0	0	108	90	90	85.5	81	0	0	72	81	81	94.5	81	76.5	0	85.5	85.5	81	81	81	0	0	76.5	76.5	81	1872	
10	TOOL CHANGE & ADJUST MENT Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
11	P. SHOTANGE & Q. PROBLEM Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	MINOR SHUT Min	0	0	243	4.5	0	0	0	89.5	0	4.5	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	462	
13	TOTAL LOSS TIME (7)+(8)+(9)+(10)+(11)+(12) Min	0	0	338	113	81	0	0	198	90	105	85.5	81	0	0	260	126	81	94.5	81	76.5	0	176	85.5	81	81	81	0	0	275	76.5	81	2745	
14	TOTAL PRODUCTION PART OUT PUT Pcs	0	0	5562	5907	2630	0	0	4941	6044	4313	5532	4466	0	0	5203	4914	4331	3875	6403	3134	0	4238	5148	4455	4879	4292	0	0	4473	5556	6344	106640	
15	TOTAL QTY DEFECTIVE & REPAIR Pcs	0	0	41	164	68	0	0	191	136	85	132	152	0	0	260	133	89	83	306	203	0	135	245	202	29	108	0	0	47	126	127	3062	
16	DEFECTIVE RATIO (18/17*100) %	####	####	0.7	2.8	2.6	####	####	3.9	2.3	2.0	2.4	3.4	####	####	5.0	2.7	2.1	2.1	4.8	6.5	####	3.2	4.8	4.5	0.6	2.5	####	####	1.1	2.3	2.0	2.9	
17	- SCRAP Pcs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	- REWORK Pcs	0	0	37	141	24	0	0	186	70	25	54	33	0	0	30	58	78	57	248	203	0	90	106	132	29	89	0	0	45	81	115	1931	
19	- REBUFF ( POLISH ) Pcs	0	0	4	23	44	0	0	5	66	60	78	119	0	0	230	75	11	26	58	0	45	139	70	0	19	0	0	2	45	12	1131		
20	LOADING TIME (6)-(13) Min	0	0	609	807	390	0	0	749	830	820	843	861	0	0	678	798	843	803	843	399	0	762	848	848	848	843	0	0	659	852	848	16777	
21	PRODUCTION OUT PUT Min	0	0	621	828	396	0	0	761	842	837	851	851	0	0	689	806	855	815	855	441	0	774	855	873	860	855	0	0	671	846	860	17037	
22	PRODUCTION OUT PUT Bar	0	0	138	184	88	0	0	169	187	186	189	189	0	0	153	179	190	181	190	98	0	172	190	194	191	190	0	0	149	188	191	3786	
23	FOR = $\frac{\text{TOTAL LOADING TIME (20)*100}{\text{TOTAL OPERATION TIME (6)}}$ %	####	####	64	88	83	####	####	79	90	89	91	91	####	####	72	86	91	89	91	84	####	81	91	91	91	91	####	####	71	92	91	85.9	
24	OEE = $\frac{\text{TOTAL PROD. OUT PUT (21)*100}{\text{TOTAL WORKING TIME (2)}}$ %	####	####	65	86	83	####	####	79	88	87	89	89	####	####	72	84	89	85	89	92	####	81	89	91	90	89	####	####	70	88	90	84.5	

**REMARK.**

OEE = 84.5 %  
 LOSS TIME = 16.8 %  
 DEFECTIVE = 2.9 %

**LOSS TIME**

MORNING MEETING 1.03 %  
 TPM / KYT/ SMALL GROUP 2.14 %  
 INTENTIONAL 1.34 %  
 M/C BREAK DOWN 0.7 %  
 SET - UP 9.29 %  
 P. SHOTANGE & Q. PROBLEM = 0.0 %  
 MINOR SHUT = 2.3 %

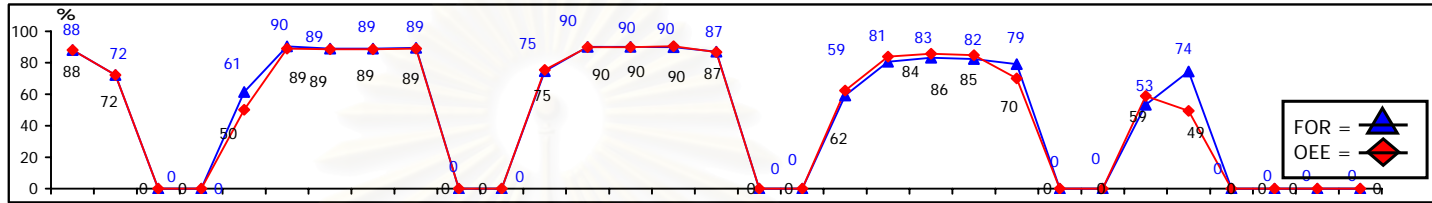
ตารางสรุปที่ ค.2 อัตราลักษณะข้อบกพร่องประจำเดือนมกราคม 2550

Shift A + B		January ' 2007		DAILY CHECK SHEET DEFECTIVE RATIO Ni - Cr. LINE																												ISSUED DATE	ISSUED BY	APPROVED BY
																																03/02/2007		
DATE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL		
PRODUCTION			5562	5907	2630			4941	6044	4313	5532	4466			5203	4914	4331	3875	6403	3134		4238	5148	4455	4879	4292		4473	5556	6344	106640			
NG.			41	164	68			191	136	85	132	152			260	133	89	83	306	203		135	245	202	29	108		47	126	127	3062			
GOOD			5521	5743	2562			4750	5908	4228	5400	4314			4943	4781	4242	3792	6097	2931		4103	4903	4253	4850	4184		4426	5430	6217	103578			
GOOD (%)	####	####	99.3	97.2	97.4	####	####	96.1	97.7	98	97.6	96.6	####	####	95	97.3	97.9	97.9	95.2	93.5	####	96.8	95.2	95.5	99.4	97.5	##	####	98.9	97.7	97.998	97.1%		
ACCIDENT																																		
NG. (%)	####	####	0.7	2.8	2.6	####	####	3.9	2.3	2.0	2.4	3.4	####	####	5.0	2.7	2.1	2.1	4.8	6.5	####	3.2	4.8	4.5	0.6	2.5	##	####	1.1	2.3	2.0	2.87%		
POLISHING																																		
REWORK			41	164	68			191	136	85	132	152			260	133	89	83	306	203		135	245	202	29	108		47	126	127	3062			
SCRAP																																		
TOTAL			41	164	68			191	136	85	132	152			260	133	89	83	306	203		135	245	202	29	108		47	126	127	3062			
SEPARATE BY CAUSE																																		
SCRATCH			5	4				7	4	3	6	1			7	3	7	9	13	6		7		3	3	3			1	2	94			
BLISTER				9																1									1			11		
PINHOLE,PIT																															5	5		
ROUGHNESS			1	4	2			3			7	2				2			4	7		1	7	7		22		4			73			
BURN			4	23	44			5	66	60	78	119			230	75	11	26	58			45	139	70		19		2	45	12	1131			
CLOUDING GLASS			22	2	2			4	11	13	32	19			11	36	69	36	75	32		7	33	89	11	33		27	65	86	715			
MOTTLE								47											1													48		
SPOTTING			9	122	20			125	44	9	9	11			12	17	1		155	157		70	66	33	15	24		13	13	22	947			
SPATTER									11								1	12				5				7			2			38		
TOTAL			41	164	68			191	136	85	132	152			260	133	89	83	306	203		135	245	202	29	108		47	126	127	3062			



## MONTHLY REPORT EFFICIENCY FOR Ni - Cr. LINE SHIFT ( A+B ) FEBRUARY Y'2007

ISSUED DATE	ISSUED BY	APPROVED BY
01/03/07		



No.	DETAL ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
1	TOTAL OPERATOR WORKING ( PERSON )	8	8	0	0	0	8	8	8	8	0	0	0	8	8	8	8	0	0	0	8	8	8	8	0	0	8	8	8	8	8	8	8	160
2	TOTAL WORKING TIME ( REGULRA TIME+O <sup>T</sup> Min	960	960	0	0	960	960	960	960	960	0	0	960	960	960	960	960	0	0	520	520	520	520	520	0	0	520	520	0	0	0	0	15160	
3	MORNING MEETING	Min	4.5	4.5	0	0	0	9	4.5	4.5	4.5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5	5	4	5	0	0	0	32	0	0	0	88		
4	5S,TPM,SMALL GROUP	Min	9	13.5	0	0	4.5	18	13.5	13.5	13.5	0	0	4.5	13.5	13.5	12	13	0	0	4	5	5	5	85	0	0	0	171	0	0	0	417	
5	TOTAL STOP TIME (3)+(4)	Min	13.5	18	0	0	4.5	27	18	18	18	0	0	4.5	13.5	13.5	12	18	0	0	4	10	10	9	90	0	0	0	203	0	0	0	504.5	
6	TOTAL OPERATION TIME (2)-(5)	Min	947	942	0	0	956	933	942	942	942	0	0	956	947	947	948	942	0	0	516	510	510	511	430	0	0	520	317	0	0	0	14656	
7	INTENTIONAL	Min	0	0	0	0	210	0	0	0	0	0	0	144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	354	
8	M/C BREAK DOWN & SHUT DOWNN	Min	0	171	0	0	58.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	238.5	
9	SET - UP	Min	113	90	0	0	101	90	104	104	99	0	0	99	94.5	94.5	95	112	0	0	211	99	86	90	90	0	0	243	81	0	0	0	2094	
10	TOOL CHANGE & ADJUST MENT	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
11	P. SHOTANGE & Q. PROBLEM	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	MINOR SHUT	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	TOTAL LOSS TIME (7)+(8)+(9)+(10)+(11)+(12)	Min	113	261	0	0	369	90	104	104	99	0	0	243	94.5	94.5	95	121	0	0	211	99	86	90	90	0	0	243	81	0	0	0	2687	
14	TOTAL PRODUCTION PART OUT PUT	Pcs	4660	3749	0	0	3741	4342	5710	4778	4894	0	0	3199	4225	4381	3718	4053	0	0	1772	2587	1658	2778	1585	0	0	1315	1664	0	0	0	64809	
15	TOTAL Q'TY DEFECTIVE & REPAIR	Pcs	112	43	0	0	42	105	96	98	44	0	0	51	92	279	207	146	0	0	157	92	84	75	77	0	0	20	36	0	0	0	1856	
16	DEFECTIVE RATIO (18/17*100)	%	2.4	1.1	####	####	1.1	2.4	1.7	2.1	0.9	####	####	1.6	2.2	6.4	5.6	3.6	####	####	8.9	3.6	5.1	2.7	4.9	####	####	1.5	2.2	####	####	####	2.86	
17	- SCRAP	Pcs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	- REWORK	Pcs	84	33	0	0	42	104	48	78	36	0	0	47	79	104	125	101	0	0	105	62	68	16	2	0	0	10	31	0	0	0	1175	
19	- REBUFF ( POLISH )	Pcs	28	10	0	0	0	1	48	20	8	0	0	4	13	175	82	45	0	0	52	30	16	59	75	0	0	10	5	0	0	0	681	
20	LOADING TIME (6)-(13)	Min	834	681	0	0	587	843	839	839	843	0	0	713	852	852	853	821	0	0	305	411	424	421	340	0	0	277	236	0	0	0	11969	
21	PRODUCTION OUT PUT	Min	846	693	0	0	482	855	851	851	855	0	0	725	864	864	869	833	0	0	324	437	446	441	365	0	0	306	257	0	0	0	12159	
22	PRODUCTION OUT PUT	Bar	188	154	0	0	133	190	189	189	190	0	0	161	192	192	193	185	0	0	72	97	99	98	81	0	0	68	57	0	0	0	2728	
23	FOR = $\frac{\text{TOTAL LOADING TIME (20)*100}{\text{TOTAL OPERATION TIME (6)}}$		88	72	####	####	61	90	89	89	89	####	####	75	90	90	90	87	####	####	59	81	83	82	79	####	####	53	74	####	####	####	81.67	
24	OEE = $\frac{\text{TOTAL PROD. OUT PUT (21)*100}{\text{TOTAL WORKING TIME (2)}}$		88	72	####	####	50	89	89	89	89	####	####	75	90	90	90	87	####	####	62	84	86	85	70	####	####	59	49	####	####	####	80.20	

**REMARK.**

OEE = 80.2 %  
 LOSS TIME = 21.0 %  
 DEFECTIVE = 2.86 %

**LOSS TIME**

MORNING MEETING 0.58 %  
 TPM / KYT/ SMALL GROUP 2.75 %  
 INTENTIONAL 2.34 %  
 M/C BREAK DOWN 1.57 %  
 SET - UP 13.8 %  
 P. SHOTANGE & Q. PROBLEM = 0.0 %  
 MINOR SHUT = 0.0 %

ตารางสรุปที่ ค.4 อัตราลักษณะข้อบกพร่องประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2550

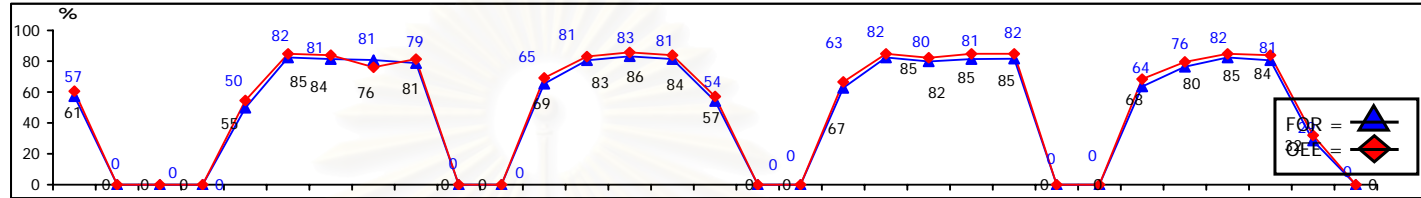
Shift A + B		February ' 2007		DAILY CHECK SHEET DEFECTIVE RATIO Ni - Cr. LINE																												ISSUED DATE	ISSUED BY	APPROVED BY
																																1/3/2007		

DATE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL		
PRODUCTION	4660	3749			3741	4342	5710	4778	4894			3199	4225	4381	3718	4053			1772	2587	1658	2778	1585			1315	1664					64809		
NG.	112	43			42	105	96	98	44			51	92	279	207	146			157	92	84	75	77			20	36					1856		
GOOD	4548	3706			3699	4237	5614	4680	4850			3148	4133	4102	3511	3907			1615	2495	1574	2703	1508			1295	1628					62953		
GOOD (%)	97.6	98.9	####	####	98.9	97.6	98.3	97.9	99.1	####	####	98.4	97.8	93.6	94.4	96.4	####	####	91.1	96.4	94.9	97.3	95.1	####	####	98.5	97.8	####	####	####	####	97.1%		
ACCIDENT																																		
NG. (%)	2.4	1.1	####	####	1.1	2.4	1.7	2.1	0.9	####	####	1.6	2.2	6.4	5.6	3.6	####	####	8.9	3.6	5.1	2.7	4.9	####	####	1.5	2.2	####	####	####	####	2.86%		
POLISHING																																		
REWORK	112	43			42	105	96	98	44			51	92	279	207	146			157	92	84	75	77			20	36					1856		
SCRAP																																		
TOTAL	112	43			42	105	96	98	44			51	92	279	207	146			157	92	84	75	77			20	36					1856		
SEPARATE BY CAUSE																																		
SCRATCH	4	3			7	4	4	10	10			4	8	7	13						3	3		2			2					84		
BLISTER																																		
PINHOLE,PIT																																		
ROUGHNESS	1	1			4		1								1	2																	10	
BURN	28	10			1	48	20	8				4	13	175	82	45			52	30	16	59	75			10	5					681		
CLOUDING GLASS	17	20			18	94	26	29	15			6	52	84	63	74			50	57						8						613		
MOTTLE																																		
SPOTTING	62	9			13	6	16	39	11			37	19	13	48	25			55	2	65	16					31					467		
SPATTER							1																											1
TOTAL	112	43			42	105	96	98	44			51	92	279	207	146			157	92	84	75	77			20	36					1856		

## MONTHLY REPORT EFFICIENCY FOR Ni - Cr. LINE SHIFT ( A+B ) MARCH Y'2007

ISSUED DATE	ISSUED BY	APPROVED BY
03/04/07		



No.	DETAL ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
1	TOTAL OPERATOR WORKING ( PERSON )	8	8	0	0	8	8	8	8	8	0	0	0	8	8	8	8	0	0	0	8	8	8	8	0	0	8	8	8	8	8	8	8	160
2	TOTAL WORKING TIME ( REGULRA TIME+O' Min	520	0	0	0	520	520	520	520	520	0	0	520	520	520	520	520	0	0	520	520	520	520	520	0	0	520	520	520	520	520	0	10920	
3	MORNING MEETING	Min	0	0	0	0	5	5	54	5	0	0	0	5	5	5	5	0	0	0	5	5	5	5	0	0	0	5	4	5	4	0	127	
4	SS,TPM,SMALL GROUP	Min	5	0	0	0	4	4	0	4	0	0	4	4	4	4	4	0	0	0	4	4	4	4	0	0	0	4	5	4	5	0	68	
5	TOTAL STOP TIME (3)+(4)	Min	5	0	0	0	10	9	54	9	0	0	9	9	9	9	9	0	0	9	9	9	9	9	0	0	9	9	9	9	9	0	195	
6	TOTAL OPERATION TIME (2)-(5)	Min	515	0	0	0	520	510	511	466	511	0	520	511	511	511	511	0	0	520	511	511	511	511	0	0	520	511	511	511	511	0	10725	
7	INTENTIONAL	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	M/C BREAK DOWN & SHUT DOWWN	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	SET - UP	Min	220	0	0	261	90	95	90	108	0	180	99	86	95	99	0	0	194	90	103	95	94	0	0	189	121	90	99	113	0	2611		
10	TOOL CHANGE & ADJUST MENT	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	P. SHOTANGE & Q. PROBLEM	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	MINOR SHUT	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	252	0	387	
13	TOTAL LOSS TIME (7)+(8)+(9)+(10)+(11)+(12)	Min	220	0	0	261	90	95	90	108	0	180	99	86	95	234	0	0	194	90	103	95	94	0	0	189	121	90	99	365	0	2998		
14	TOTAL PRODUCTION PART OUT PUT	Pcs	1659	0	0	1323	2031	2315	2389	1873	0	1647	2424	2588	2590	1811	0	0	2238	2211	2309	2412	2230	0	0	2084	2277	2273	2687	1432	0	44803		
15	TOTAL Q'TY DEFECTIVE & REPAIR	Pcs	60	0	0	137	60	132	110	54	0	27	111	53	120	5	0	25	195	68	111	163	0	0	18	20	73	109	11	0	1662			
16	DEFECTIVE RATIO (18/17*100)	%	3.6	####	####	10.4	3.0	5.7	4.6	2.9	####	####	1.6	4.6	2.0	4.6	0.3	####	####	1.1	8.8	2.9	4.6	7.3	####	####	0.9	0.9	3.2	4.1	0.8	####	3.71	
17	- SCRAP	Pcs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	- REWORK	Pcs	47	0	0	0	47	25	46	110	48	0	27	98	53	68	5	0	13	180	65	60	90	0	0	18	14	17	45	11	0	1087		
19	- REBUFF ( POLISH )	Pcs	13	0	0	0	90	35	86	0	6	0	0	13	0	52	0	0	12	15	3	51	73	0	0	6	56	64	0	0	0	575		
20	LOADING TIME (6)-(13)	Min	295	0	0	259	420	416	376	403	0	340	412	425	416	277	0	0	326	421	408	416	417	0	0	331	390	421	412	146	0	7727		
21	PRODUCTION OUT PUT	Min	315	0	0	284	441	437	396	423	0	360	432	446	437	297	0	0	347	441	428	441	441	0	0	356	414	441	437	167	0	8177		
22	PRODUCTION OUT PUT	Bar	70	0	0	63	98	97	88	94	0	80	96	99	97	66	0	0	77	98	95	98	98	0	0	79	92	98	97	37	0	1817		
23	FOR = $\frac{\text{TOTAL LOADING TIME (20)} * 100}{\text{TOTAL OPERATION TIME (6)}}$		57	####	####	####	50	82	81	81	79	####	####	65	81	83	81	54	####	####	63	82	80	81	82	####	####	64	76	82	81	29	####	72.05
24	OEE = $\frac{\text{TOTAL PROD. OUT PUT (21)} * 100}{\text{TOTAL WORKING TIME (2)}}$		61	####	####	####	55	85	84	76	81	####	####	69	83	86	84	57	####	####	67	85	82	85	85	####	####	68	80	85	84	32	####	74.88

**REMARK.**

OEE = 74.9 %	MORNING MEETING 1.16 %	P. SHOTANGE & Q. PROBLEM = 0.0 %
LOSS TIME = 29.2 %	TPM / KYT/ SMALL GROUP 0.62 %	MINOR SHUT = 3.5 %
DEFECTIVE = 3.71 %	INTENTIONAL 0 %	
	M/C BREAK DOWN 0 %	
	SET - UP 23.9 %	

ตารางสรุปที่ ค.6 อัตราลักษณะข้อบกพร่องประจำเดือนมีนาคม 2550

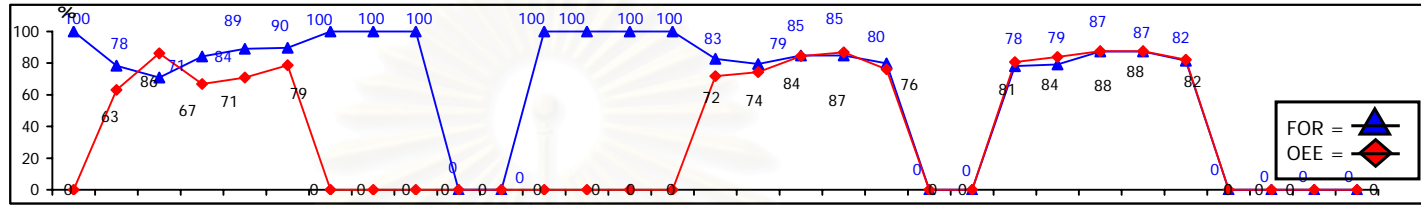
Shift A + B		March ' 2007		DAILY CHECK SHEET DEFECTIVE RATIO Ni - Cr. LINE																												ISSUED DATE	ISSUED BY	APPROVED BY
																																3/4/2007		

DATE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL			
PRODUCTION	1659				1323	2031	2315	2389	1873			1647	2424	2588	2590	1811			2238	2211	2309	2412	2230			2084	2277	2273	2687	1432		44803			
NG.	60				137	60	132	110	54			27	111	53	120	5			25	195	68	111	163			18	20	73	109	11		1662			
GOOD	1599				1186	1971	2183	2279	1819			1620	2313	2535	2470	1806			2213	2016	2241	2301	2067			2066	2257	2200	2578	1421		43141			
GOOD (%)	96.4	####	####	####	89.6	97	94.3	95.4	97.1	####	####	98.4	95.4	98	95.4	99.7	####	####	98.9	91.2	97.1	95.4	92.7	####	####	99.1	99.1	96.8	95.9	99.2	####	96.3%			
ACCIDENT	NG. (%)	3.6	####	####	####	10.4	3.0	5.7	4.6	2.9	####	####	1.6	4.6	2.0	4.6	0.3	####	####	1.1	8.8	2.9	4.6	7.3	####	####	0.9	0.9	3.2	4.1	0.8	####	3.71%		
	POLISHING																																		
	REWORK	60				137	60	132	110	54			27	111	53	120	5			25	195	68	111	163			18	20	73	109	11		1662		
	SCRAP																																		
TOTAL	60				137	60	132	110	54			27	111	53	120	5			25	195	68	111	163			18	20	73	109	11		1662			
SEPARATE BY CAUSE	SCRATCH	1					12	2				9			2				8	4	7	23	6			3	2	6		2		87			
	BLISTER											1																						1	
	PINHOLE,PIT													12	8							2		1										23	
	ROUGHNESS	4																			2											1		7	
	BURN	13				90	35	86		6			13		52				12	15	3	51	73			6	56	64				575			
	CLOUDING GLASS	5				8			79	48			17	15	14	30	5			2	49		34	1			14			16			337		
	MOTTLE																																		
	SPOTTING	37				39	25	34	29					83	26	28				3	125	56	3	82				12	11	29	8		630		
	SPATTER														1												1								2
TOTAL	60				137	60	132	110	54			27	111	53	120	5			25	195	68	111	163			18	20	73	109	11		1662			

## MONTHLY REPORT EFFICIENCY FOR Ni - Cr. LINE SHIFT ( A+B ) APRIL Y'2007

ISSUED DATE	ISSUED BY	APPROVED BY
01/05/07		



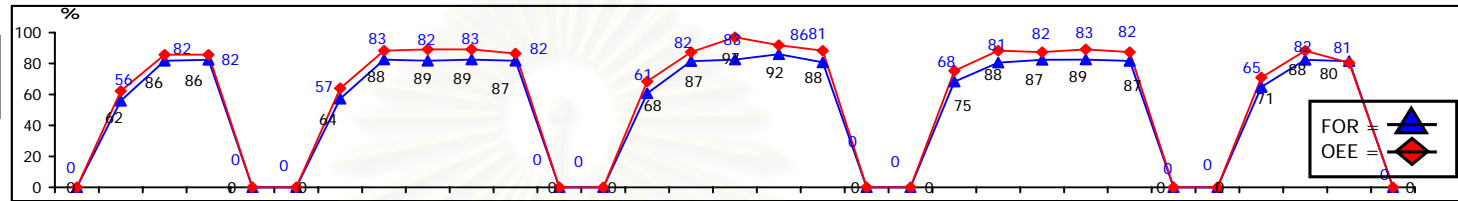
No.	DETAL ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
1	TOTAL OPERATOR WORKING ( PERSON )	0	9	9	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	9	9	9	0	0	9	9	9	9	9	0	0	0	0	135	
2	TOTAL WORKING TIME ( REGULRA TIME+O1Min	0	520	720	720	520	520	0	0	0	0	0	0	0	0	0	720	520	720	720	520	0	0	720	520	720	720	520	0	0	0	0	9400	
3	MORNING MEETING	Min	0	0	4	5	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	15	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48		
4	5S,TPM,SMALL GROUP	Min	0	0	5	4	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	4	4	4	0	0	0	0	5	5	5	0	0	0	54		
5	TOTAL STOP TIME (3)-(4)	Min	0	0	9	9	13	9	0	0	0	0	0	0	0	0	20	9	9	9	9	0	0	0	0	5	5	5	0	0	0	102		
6	TOTAL OPERATION TIME (2)-(5)	Min	480	1000	711	711	987	991	480	480	480	0	0	480	480	480	480	1200	500	711	711	511	0	0	720	520	715	715	515	0	0	0	9298	
7	INTENTIONAL	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
8	M/C BREAK DOWN & SHUT DOWWN	Min	0	0	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99.0		
9	SET - UP	Min	0	216	108	112	108	103	0	0	0	0	0	0	0	0	207	103	108	108	103	0	0	158	108	90	90	95	0	0	0	1817		
10	TOOL CHANGE & ADJUST MENT	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0		
11	P. SHOTANGE & Q. PROBLEM	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
12	MINOR SHUT	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
13	TOTAL LOSS TIME (7)+(8)+(9)+(10)+(11)+(12)	Min	0	216	207	112	108	103	0	0	0	0	0	0	0	0	207	103	108	108	103	0	0	158	108	90	90	95	0	0	0	1916		
14	TOTAL PRODUCTION PART OUT PUT	Pcs	0	2280	4049	3395	2270	2954	0	0	0	0	0	0	0	0	3708	2585	4537	4178	3100	0	0	3847	2695	3850	3274	2529	0	0	0	49251		
15	TOTAL Q'TY DEFECTIVE & REPAIR	Pcs	0	70	1006	126	154	94	0	0	0	0	0	0	0	0	127	156	165	208	110	0	0	262	252	161	137	80	0	0	0	3108		
16	DEFECTIVE RATIO (18/17*100)	%	####	3.1	24.8	3.7	6.8	3.2	####	####	####	####	####	####	####	####	3.4	6.0	3.6	5.0	3.5	####	####	6.8	9.4	4.2	4.2	3.2	####	####	####	####	6.31	
17	- SCRAP	Pcs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
18	- REWORK	Pcs	0	70	908	72	139	32	0	0	0	0	0	0	0	0	55	33	91	63	12	0	0	52	34	96	51	29	0	0	0	1737		
19	- REBUFF ( POLISH )	Pcs	0	0	98	54	15	62	0	0	0	0	0	0	0	0	72	123	74	145	98	0	0	210	218	65	86	51	0	0	0	1371		
20	LOADING TIME (6)-(13)	Min	480	784	504	599	879	888	480	480	480	0	0	480	480	480	993	397	603	603	408	0	0	562	412	625	625	420	0	0	0	7382		
21	PRODUCTION OUT PUT	Min	0	329	621	482	369	410	0	0	0	0	0	0	0	0	518	387	608	626	396	0	0	581	437	630	630	428	0	0	0	7448		
22	PRODUCTION OUT PUT	Bar	0	73	138	107	82	91	0	0	0	0	0	0	0	0	115	86	135	139	88	0	0	129	97	140	140	95	0	0	0	1655		
23	FOR = $\frac{\text{TOTAL LOADING TIME (20)*100}}{\text{TOTAL OPERATION TIME (6)}}$ %		100	78	71	84	89	90	100	100	100	####	####	100	100	100	100	83	79	85	85	80	####	####	78	79	87	87	82	####	####	####	####	79.39
24	OEE = $\frac{\text{TOTAL PROD. OUT PUT (21)*100}}{\text{TOTAL WORKING TIME (2)}}$ %		####	63	86	67	71	79	####	####	####	####	####	####	####	####	72	74	84	87	76	####	####	81	84	88	88	82	####	####	####	####	79.23	

<b>REMARK.</b>	MORNING MEETING      0.51 % TPM / KYT / SMALL GROUP      0.57 % INTENTIONAL      0 % M/C BREAK DOWN      1.05 % SET - UP      19.3 %	P. SHOTANGE & Q. PROBLEM      = 0.0 % MINOR SHUT      = 0.0 %
OEE = 79.2 % LOSS TIME = 21.5 % DEFECTIVE = 6.31 %		



## MONTHLY REPORT EFFICIENCY FOR Ni - Cr. LINE SHIFT ( A+B ) MAY Y'2007

ISSUED DATE	ISSUED BY	APPROVED BY
01/06/07		



No.	DETAL ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
1	TOTAL OPERATOR WORKING ( PERSON )	0	9	9	9	0	0	9	9	9	9	9	0	0	9	9	9	9	9	9	0	0	9	9	9	9	9	0	0	9	9	9	0	189
2	TOTAL WORKING TIME ( REGULRA TIME+O1Min	0	520	520	520	0	0	520	520	520	520	520	0	0	520	520	520	720	520	0	0	520	520	520	520	520	0	0	520	520	520	0	11120	
3	MORNING MEETING	Min	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	4	5	5	0	5	0	0	5	4	9	0	46	
4	SS,TPM,SMALL GROUP	Min	0	0	5	5	0	4	5	5	5	5	0	0	5	5	4	5	4	0	0	5	4	4	4	4	0	0	4	5	4	0	91	
5	TOTAL STOP TIME (3)+(4)	Min	0	0	5	10	0	4	5	5	5	5	0	0	5	5	4	9	4	0	0	9	9	9	4	9	0	0	9	9	13	0	137	
6	TOTAL OPERATION TIME (2)-(5)	Min	0	520	515	510	0	516	515	515	515	515	0	0	515	515	516	711	516	0	0	511	511	511	516	511	0	0	511	511	507	0	10983	
7	INTENTIONAL	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	M/C BREAK DOWN & SHUT DOWNWN	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	SET - UP	Min	0	229	94	90	0	220	90	94	90	94	0	0	202	95	90	99	99	0	0	162	99	90	90	94	0	0	180	90	94	0	2485	
10	TOOL CHANGE & ADJUST MENT	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	P. SHOTANGE & Q. PROBLEM	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	MINOR SHUT	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	TOTAL LOSS TIME (7)+(8)+(9)+(10)+(11)+(12)	Min	0	229	94	90	0	220	90	94	90	94	0	0	202	95	90	99	99	0	0	162	99	90	90	94	0	0	180	90	94	0	2485	
14	TOTAL PRODUCTION PART OUT PUT	Pcs	0	2125	3034	2715	0	2236	2856	2968	2947	3130	0	0	2455	3168	3109	4083	3064	0	0	2419	2793	2842	2853	2788	0	0	2284	2652	2415	0	58936	
15	TOTAL Q'TY DEFECTIVE & REPAIR	Pcs	0	97	349	167	0	151	210	156	123	229	0	0	85	214	200	523	223	0	0	113	162	174	183	287	0	0	167	206	230	0	4249	
16	DEFECTIVE RATIO (18/17*100)	%	####	4.6	11.5	6.2	####	####	6.8	7.4	5.3	4.2	7.3	####	####	3.5	6.8	6.4	12.8	7.3	####	####	4.7	5.8	6.1	6.4	10.3	####	####	7.3	7.8	9.5	####	7.21
17	- SCRAP	Pcs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	- REWORK	Pcs	0	53	85	78	0	24	58	101	45	69	0	0	85	72	173	342	177	0	0	91	120	164	132	175	0	0	147	157	212	0	2560	
19	- REBUFF ( POLISH )	Pcs	0	44	264	89	0	127	152	55	78	160	0	0	0	142	27	181	46	0	0	22	42	10	51	112	0	0	20	49	18	0	1689	
20	LOADING TIME (6)-(13)	Min	0	291	421	420	0	296	425	421	425	421	0	0	313	420	426	612	417	0	0	349	412	421	426	417	0	0	331	421	413	0	8498	
21	PRODUCTION OUT PUT	Min	0	324	446	446	0	333	459	464	464	450	0	0	356	455	504	662	459	0	0	392	459	455	464	455	0	0	369	459	419	0	9288	
22	PRODUCTION OUT PUT	Bar	0	72	99	99	0	74	102	103	103	100	0	0	79	101	112	147	102	0	0	87	102	101	103	101	0	0	82	102	93	0	2064	
23	FOR = $\frac{\text{TOTAL LOADING TIME (20)*100}{\text{TOTAL OPERATION TIME (6)}}$ %	####	56	82	82	####	####	57	83	82	83	82	####	####	61	82	83	86	81	####	####	68	81	82	83	82	####	####	65	82	81	####	77.37	
24	OEE = $\frac{\text{TOTAL PROD. OUT PUT (21)*100}{\text{TOTAL WORKING TIME (2)}}$ %	####	62	86	86	####	####	64	88	89	89	87	####	####	68	87	97	92	88	####	####	75	88	87	89	87	####	####	71	88	80	####	83.53	

**REMARK.**

OEE = 83.5 %		MORNING MEETING	0.41 %	P. SHOTANGE & Q. PROBLEM	= 0.0 %
LOSS TIME = 23.6 %		TPM / KYT/ SMALL GROUP	0.82 %	MINOR SHUT	= 0.0 %
DEFECTIVE = 7.21 %		INTENTIONAL	0 %		
		M/C BREAK DOWN	0 %		
		SET - UP	22.3 %		

ตารางสรุปที่ ค.10 อัตราลักษณะข้อบกพร่องประจำเดือนพฤษภาคม 2550

Shift A + B		May ' 2007		DAILY CHECK SHEET DEFECTIVE RATIO Ni - Cr. LINE																												ISSUED DATE	ISSUED BY	APPROVED BY
																																1/6/2007		

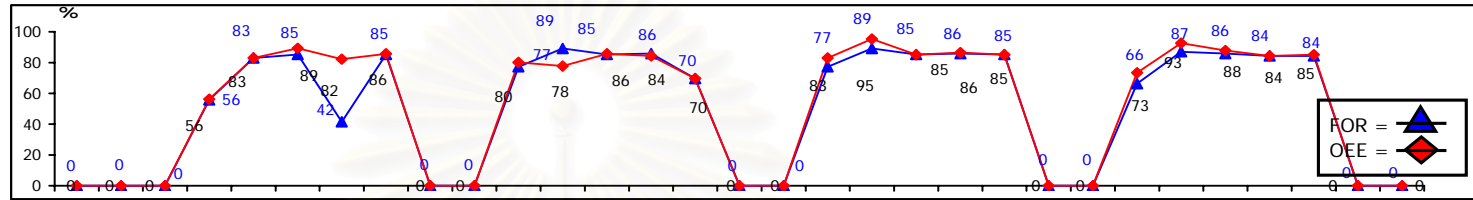
  

DATE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL		
PRODUCTION		2125	3034	2715			2236	2856	2968	2947	3130			2455	3168	3109	4083	3064			2419	2793	2842	2853	2788			2284	2652	2415	58936			
NG.		97	349	167			151	210	156	123	229			85	214	200	523	223			113	162	174	183	287			167	206	230	4249			
GOOD		2028	2685	2548			2085	2646	2812	2824	2901			2370	2954	2909	3560	2841			2306	2631	2668	2670	2501			2117	2446	2185	54687			
GOOD (%)	####	95.4	88.5	93.8	####	####	93.2	92.6	94.7	95.8	92.7	####	####	96.5	93.2	93.6	87.2	92.7	####	####	95.3	94.2	93.9	93.6	89.7	####	####	92.7	92.2	90.5	####	92.8%		
ACCIDENT	NG. (%)	####	4.6	11.5	6.2	####	####	6.8	7.4	5.3	4.2	7.3	####	####	3.5	6.8	6.4	12.8	7.3	####	####	4.7	5.8	6.1	6.4	10.3	####	####	7.3	7.8	9.5	####	7.21%	
	POLISHING																																	
	REWORK		97	349	167			151	210	156	123	229			85	214	200	523	223			113	162	174	183	287			167	206	230		4249	
	SCRAP																																	
TOTAL		97	349	167			151	210	156	123	229			85	214	200	523	223			113	162	174	183	287			167	206	230		4249		
SEPARATE BY CAUSE	SCRATCH		14	4	4		12	8	6	4	17			4	28	3	20	10			11	6	8	13	14			6	6	9		207		
	BLISTER																																	
	PINHOLE,PIT				1																													1
	ROUGHNESS		8	9			2		14		12			3	15	28	38	41			13	11	14	3				4	7	16		238		
	BURN		44	264	89		127	152	55	78	160				142	27	181	46			22	42	10	51	112			20	49	18		1689		
	CLOUDING GLASS		5	20	50		2	36	62	28	9			24	13	119	237	45			31	59	103	83	49			124	110	147		1356		
	MOTTLE																																	
SPOTTING		26	23	23		8	14	19	13	31				54	16	23	47	81			36	44	38	32	112		13	34	40		727			
SPATTER			29																				1	1								31		
TOTAL		97	349	167			151	210	156	123	229			85	214	200	523	223			113	162	174	183	287			167	206	230		4249		



## MONTHLY REPORT EFFICIENCY FOR Ni - Cr. LINE SHIFT ( A+B ) JUNE Y'2007

ISSUED DATE	ISSUED BY	APPROVED BY
04/07/200		

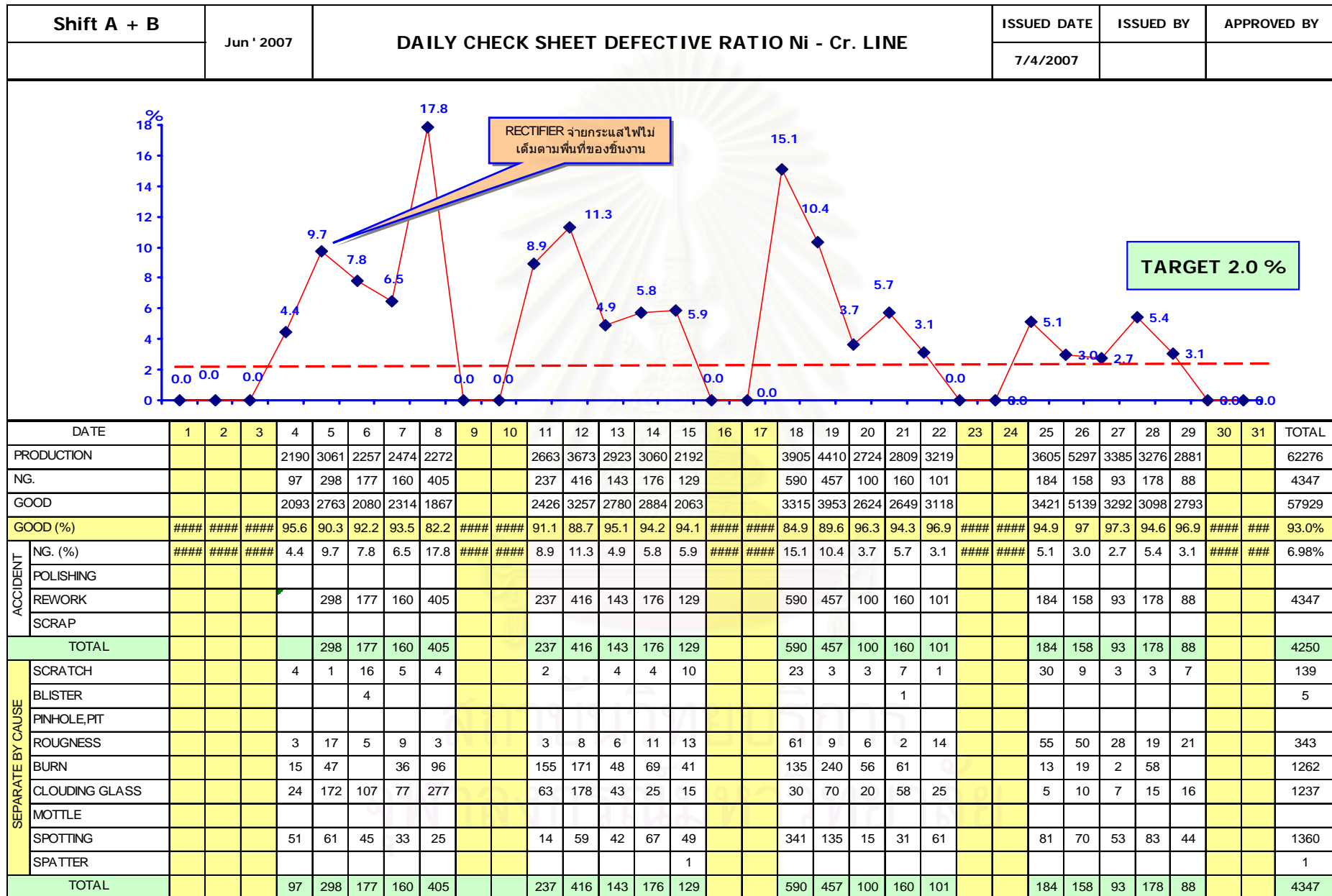


No.	DETAL ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
1	TOTAL OPERATOR WORKING ( PERSON )	0	0	0	9	9	9	9	9	0	0	9	9	9	9	9	0	0	9	9	9	9	9	0	0	9	9	9	9	9	0	0	180	
2	TOTAL WORKING TIME ( REGULRA TIME+O <sup>1</sup> Min	0	0	0	640	640	640	640	640	0	0	640	840	640	640	640	0	0	840	840	640	640	640	0	0	840	840	640	640	640	640	0	0	13800
3	MORNING MEETING	Min	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	
4	5S,TPM,SMALL GROUP	Min	0	0	0	4	4	4	0	5	0	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	0	87	
5	TOTAL STOP TIME (3)+(4)	Min	0	0	0	9	4	4	0	5	0	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	0	92		
6	TOTAL OPERATION TIME (2)-(5)	Min	0	0	0	631	636	636	640	635	0	0	635	835	635	635	635	0	0	835	835	635	635	635	0	0	840	835	635	635	635	0	13708	
7	INTENTIONAL	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103	
8	M/C BREAK DOWN & SHUT DOWN	Min	0	0	0	0	0	0	280	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	0	0	0	0	0	370.0	
9	SET - UP	Min	0	0	0	279	108	94	94	94	0	0	144	90	94	90	90	0	0	189	90	94	90	94	0	0	193	108	90	99	99	0	2323	
10	TOOL CHANGE & ADJUST MENT	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
11	P. SHOTANGE & Q. PROBLEM	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	MINOR SHUT	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	TOTAL LOSS TIME (7)+(8)+(9)+(10)+(11)+(12)	Min	0	0	0	279	108	94	374	94	0	0	144	90	94	90	193	0	0	189	90	94	90	94	0	0	283	108	90	99	99	0	2796	
14	TOTAL PRODUCTION PART OUT PUT	Pcs	0	0	0	2190	3061	2257	2474	2272	0	0	2663	3673	2923	3060	2192	0	0	3905	4410	2724	2809	3219	0	0	3605	5297	3385	3276	2881	0	62276	
15	TOTAL Q'TY DEFECTIVE & REPAIR	Pcs	0	0	0	97	298	177	160	405	0	0	237	416	143	176	129	0	0	590	457	100	160	101	0	0	184	158	93	178	88	0	4347	
16	DEFECTIVE RATIO (18/17*100)	%	####	####	####	4.4	9.7	7.8	6.5	17.8	####	####	8.9	11.3	4.9	5.8	5.9	####	####	15.1	10.4	3.7	5.7	3.1	####	####	5.1	3.0	2.7	5.4	3.1	####	####	6.98
17	- SCRAP	Pcs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	- REWORK	Pcs	0	0	0	82	251	177	124	309	0	0	82	245	95	107	88	0	0	455	217	44	99	101	0	0	171	139	91	120	88	0	3085	
19	- REBUFF ( POLISH )	Pcs	0	0	0	15	47	0	36	96	0	0	155	171	48	69	41	0	0	135	240	56	61	0	0	0	13	19	2	58	0	0	1262	
20	LOADING TIME (6)-(13)	Min	0	0	0	352	528	542	266	541	0	0	491	745	541	545	442	0	0	646	745	541	545	541	0	0	557	727	545	536	536	0	10912	
21	PRODUCTION OUT PUT	Min	0	0	0	360	531	572	527	549	0	0	513	653	549	540	446	0	0	698	801	545	554	545	0	0	617	779	563	540	545	0	11421	
22	PRODUCTION OUT PUT	Bar	0	0	0	80	118	127	117	122	0	0	114	145	122	120	99	0	0	155	178	121	123	121	0	0	137	173	125	120	121	0	2538	
23	FOR = $\frac{\text{TOTAL LOADING TIME (20)*100}{\text{TOTAL OPERATION TIME (6)}}$ %	####	####	####	56	83	85	42	85	####	####	77	89	85	86	70	####	####	77	89	85	86	85	####	####	66	87	86	84	84	####	####	79.60	
24	OEE = $\frac{\text{TOTAL PROD. OUT PUT (21)*100}{\text{TOTAL WORKING TIME (2)}}$ %	####	####	####	56	83	89	82	86	####	####	80	78	86	84	70	####	####	83	95	85	86	85	####	####	73	93	88	84	85	####	####	82.76	

**REMARK.**

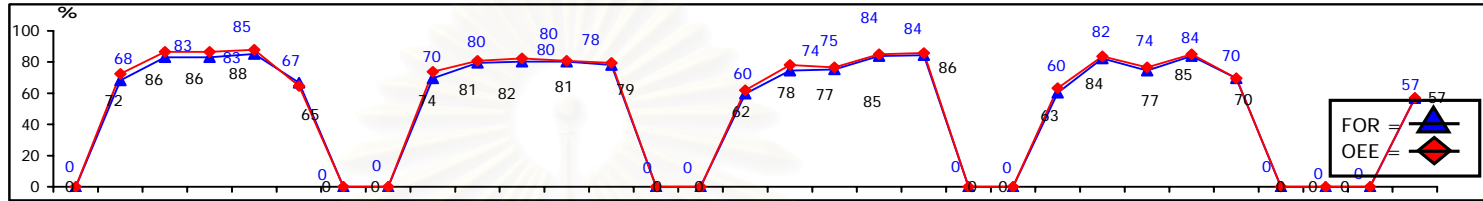
OEE = 82.8 %	LOSS TIME	MORNING MEETING 0.04 %	P. SHOTANGE & Q. PROBLEM = 0.0 %
LOSS TIME = 20.9 %		TPM / KYT/ SMALL GROUP 0.63 %	MINOR SHUT = 0.0 %
DEFECTIVE = 6.98 %		INTENTIONAL 0.75 %	
		M/C BREAK DOWN 2.68 %	
		SET - UP 16.8 %	

ตารางสรุปที่ ค.12 อัตราลักษณะข้อบกพร่องประจำเดือนมิถุนายน 2550



## MONTHLY REPORT EFFICIENCY FOR Ni - Cr. LINE SHIFT ( A+B ) JULY Y'2007

ISSUED DATE	ISSUED BY	APPROVED BY
04/08/200		



No.	DETAL ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total	
1	TOTAL OPERATOR WORKING ( PERSON )	0	9	9	9	9	9	0	0	9	9	9	9	9	0	0	9	9	9	9	9	9	0	0	9	9	9	9	9	0	0	9	189	
2	TOTAL WORKING TIME ( REGULRA TIME+O' Min	0	640	640	640	640	640	0	0	640	640	640	640	640	0	0	640	640	640	640	640	640	0	0	640	640	640	640	640	640	640	640	13440	
3	MORNING MEETING	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	SS.TPM,SMALL GROUP	Min	0	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5	105	
5	TOTAL STOP TIME (3)+(4)	Min	0	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5	105	
6	TOTAL OPERATION TIME (2)-(5)	Min	0	635	635	635	635	635	0	0	635	635	635	635	635	0	0	635	635	635	635	635	0	0	635	635	635	635	635	635	635	635	13335	
7	INTENTIONAL	Min	0	0	0	0	0	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	166	
8	M/C BREAK DOWN & SHUT DOWWN	Min	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	SET - UP	Min	0	193	108	108	94	90	0	0	193	130	126	126	139	0	0	256	162	112	103	99	0	0	252	112	103	103	117	0	0	0	274	3000
10	TOOL CHANGE & ADJUST MENT	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	P. SHOTANGE & Q. PROBLEM	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	76	0	0	0	0	
12	MINOR SHUT	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	
13	TOTAL LOSS TIME (7)+(8)+(9)+(10)+(11)+(12)	Min	0	202	108	108	94	211	0	0	193	130	126	126	139	0	0	256	162	157	103	99	0	0	252	112	162	103	193	0	0	0	274	3310
14	TOTAL PRODUCTION PART OUT PUT	Pcs	0	2850	3322	2832	2785	2654	0	0	3216	3168	3424	2911	3554	0	0	2207	3117	3093	3268	3290	0	0	2801	2919	2824	3068	2508	0	0	0	2823	62634
15	TOTAL Q'TY DEFECTIVE & REPAIR	Pcs	0	75	143	68	191	91	0	0	181	136	84	73	98	0	0	61	112	87	64	101	0	0	82	99	83	54	25	0	0	56	1964	
16	DEFECTIVE RATIO (18/17*100)	%	####	2.6	4.3	2.4	6.9	3.4	####	####	5.6	4.3	2.5	2.5	2.8	####	####	2.8	3.6	2.8	2.0	3.1	####	####	2.9	3.4	2.9	1.8	1.0	####	####	####	2.0	3.14
17	- SCRAP	Pcs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	- REWORK	Pcs	0	46	99	59	185	91	0	0	154	106	67	56	47	0	0	60	61	78	55	58	0	0	56	56	66	54	21	0	0	0	36	1511
19	- REBUFF ( POLISH )	Pcs	0	29	44	9	6	0	0	0	27	30	17	51	0	0	1	51	9	9	43	0	0	26	43	17	0	4	0	0	0	0	20	453
20	LOADING TIME (6)-(13)	Min	0	433	527	527	541	424	0	0	442	505	509	509	496	0	0	379	473	478	532	536	0	0	383	523	473	532	442	0	0	0	361	10025
21	PRODUCTION OUT PUT	Min	0	464	554	554	563	414	0	0	473	518	527	518	509	0	0	396	500	491	545	549	0	0	405	536	491	545	446	0	0	0	365	10355
22	PRODUCTION OUT PUT	Bar	0	103	123	123	125	92	0	0	105	115	117	115	113	0	0	88	111	109	121	122	0	0	90	119	109	121	99	0	0	0	81	2301
23	FOR = $\frac{\text{TOTAL LOADING TIME (20)} * 100}{\text{TOTAL OPERATION TIME (6)}}$ %	####	68	83	83	85	67	####	####	70	80	80	80	78	####	####	60	74	75	84	84	####	####	60	82	74	84	70	####	####	####	57	75.18	
24	OEE = $\frac{\text{TOTAL PROD. OUT PUT (21)} * 100}{\text{TOTAL WORKING TIME (2)}}$ %	####	72	86	86	88	65	####	####	74	81	82	81	79	####	####	62	78	77	85	86	####	####	63	84	77	85	70	####	####	####	57	77.04	

**REMARK.**

OEE = 77.0 %  
 LOSS TIME = 25.4 %  
 DEFECTIVE = 3.14 %

LOSS TIME

MORNING MEETING 0 %  
 TPM / KYT/ SMALL GROUP 0.78 %  
 INTENTIONAL 1.24 %  
 M/C BREAK DOWN #### %  
 SET - UP 22.3 %  
 P. SHOTANGE & Q. PROBLEM = #### %  
 MINOR SHUT = #### %

ตารางสรุปที่ ค.14 อัตราลักษณะข้อบกพร่องประจำเดือนกรกฎาคม 2550

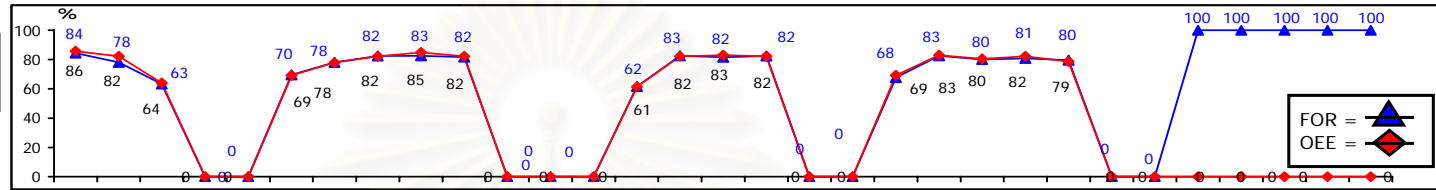
Shift A+B		July ' 2007		DAILY CHECK SHEET DEFECTIVE RATIO Ni - Cr. LINE																												ISSUED DATE	ISSUED BY	APPROVED BY
																																8/4/2007		

DATE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL	
PRODUCTION		2850	3322	2832	2785	2654			3216	3168	3424	2911	3554			2207	3117	3093	3268	3290			2801	2919	2824	3068	2508				2823	62634	
NG.		75	143	68	191	91			181	136	84	73	98			61	112	87	64	101			82	99	83	54	25				56	1964	
GOOD		2775	3179	2764	2594	2563			3035	3032	3340	2838	3456			2146	3005	3006	3204	3189			2719	2820	2741	3014	2483				2767	60670	
GOOD (%)	####	97.4	95.7	97.6	93.1	96.6	####	####	94.4	95.7	97.5	97.5	97.2	####	####	97.2	96.4	97.2	98	96.9	####	####	97.1	96.6	97.1	98.2	99	####	####	####	98	96.9%	
ACCIDENT	NG. (%)	####	2.6	4.3	2.4	6.9	3.4	####	####	5.6	4.3	2.5	2.5	2.8	####	####	2.8	3.6	2.8	2.0	3.1	####	####	2.9	3.4	2.9	1.8	1.0	####	####	####	2.0	3.14%
	POLISHING																																
	REWORK		75	143		191	91			181	136	84	73	98			61	112	87	64	101			82	99	83	54	25				56	1964
	SCRAP																																
TOTAL		75	143		191	91			181	136	84	73	98			61	112	87	64	101			82	99	83	54	25				56	1896	
SEPARATE BY CAUSE	SCRATCH		5	15		8			1	2			3			2	4		1	2						2	2			5	52		
	BLISTER															1																1	
	PINHOLE,PIT																																
	ROUGHNESS		18	15		16	1		14	18	10	17	18				8	2	13	16			25	8	6	10	5				2	222	
	BURN		29	44	9	6			27	30	17	17	51				1	51	9	9	43			26	43	17		4			20	453	
	CLOUDING GLASS		5	6	3	83	19		14	13	20	26	3				30	13	39	4	10			18	13	45	10	8			5	387	
	MOTTLE			19																													19
	SPOTTING		18	44	56	78	71			125	73	37	13	23			27	36	37	37	30			13	35	15	32	6			24	830	
SPATTER																																	
TOTAL		75	143	68	191	91			181	136	84	73	98			61	112	87	64	101			82	99	83	54	25				56	1964	

## MONTHLY REPORT EFFICIENCY FOR Ni - Cr. LINE SHIFT ( A + B ) August Y'2007

ISSUED DATE	ISSUED BY	APPROVED BY
01/09/200		



No.	DETAL ITEM	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Total
1	TOTAL OPERATOR WORKING ( PERSON )	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	279
2	TOTAL WORKING TIME ( REGULRA TIME+O1Min	640	640	640	0	0	520	520	520	520	520	0	0	0	520	520	520	520	0	0	520	520	520	520	520	0	0	0	0	0	0	0	9200
3	MORNING MEETING	Min	0	0	0	0	0	4	5	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	51	
4	5S,TPM,SMALL GROUP	Min	5	5	5	0	0	5	5	4	5	5	0	0	0	5	5	4	4	0	0	5	5	5	5	4	0	0	0	0	0	81	
5	TOTAL STOP TIME (3)+(4)	Min	5	5	5	0	0	5	9	9	5	5	0	0	0	5	5	9	9	0	0	5	5	5	5	36	0	0	0	0	0	132	
6	TOTAL OPERATION TIME (2)-(5)	Min	635	635	635	0	0	515	511	511	515	515	0	0	515	515	511	511	0	0	515	515	515	515	484	0	0	520	640	640	640	9068	
7	INTENTIONAL	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	M/C BREAK DOWN & SHUT DOWWN	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
9	SET - UP	Min	99	103	103	0	0	157	112	90	90	94	0	0	198	90	94	90	0	0	166	90	103	99	99	0	0	0	0	0	0	1877	
10	TOOL CHANGE & ADJUST MENT	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	
11	P. SHOTANGE & Q. PROBLEM	Min	0	36	130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	166	
12	MINOR SHUT	Min	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	#REF!	
13	TOTAL LOSS TIME (7)+(8)+(9)+(10)+(11)+(12)	Min	99	139	233	0	0	157	112	90	90	94	0	0	198	90	94	90	0	0	166	90	103	99	99	0	0	0	0	0	0	2043	
14	TOTAL PRODUCTION PART OUT PUT	Pcs	3133	2632	2211	0	0	2029	2027	2212	1999	2328	0	0	1666	2475	2973	1860	0	0	1748	1860	2517	1977	2138	0	0	0	0	0	0	37785	
15	TOTAL Q'TY DEFECTIVE & REPAIR	Pcs	94	92	39	0	0	48	27	104	123	149	0	0	130	76	102	93	0	0	114	106	86	151	140	0	0	0	0	0	0	1674	
16	DEFECTIVE RATIO (18/17*100)	%	3.0	3.5	1.8	####	####	2.4	1.3	4.7	6.2	6.4	####	####	####	7.8	3.1	3.4	5.0	####	####	6.5	5.7	3.4	7.6	6.5	####	####	####	####	####	4.43	
17	- SCRAP	Pcs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	- REWORK	Pcs	92	45	32	0	0	38	19	56	66	112	0	0	112	75	75	91	0	0	106	103	60	115	110	0	0	0	0	0	0	1307	
19	- REBUFF ( POLISH )	Pcs	2	47	7	0	0	10	8	48	57	37	0	0	18	1	27	2	0	0	8	3	26	36	30	0	0	0	0	0	0	367	
20	LOADING TIME (6)-(13)	Min	536	496	402	0	0	358	399	421	425	421	0	0	317	425	417	421	0	0	349	425	412	416	385	0	0	520	640	640	7025		
21	PRODUCTION OUT PUT	Min	549	527	410	0	0	360	405	428	441	428	0	0	320	428	432	428	0	0	360	432	419	428	410	0	0	0	0	0	0	7200	
22	PRODUCTION OUT PUT	Bar	122	117	91	0	0	80	90	95	98	95	0	0	71	95	96	95	0	0	80	96	93	95	91	0	0	0	0	0	0	1600	
23	FOR = $\frac{\text{TOTAL LOADING TIME (20)*100}}{\text{TOTAL OPERATION TIME (6)}}$ %		84	78	63	####	####	70	78	82	83	82	####	####	####	62	83	82	82	####	####	68	83	80	81	80	####	####	100	100	100	100	77.47
24	OEE = $\frac{\text{TOTAL PROD. OUT PUT (21)*100}}{\text{TOTAL WORKING TIME (2)}}$ %		86	82	64	####	####	69	78	82	85	82	####	####	####	61	82	83	82	####	####	69	83	80	82	79	####	####	####	####	####	78.26	

<b>REMARK.</b>	OEE = 78.3 %	MORNING MEETING 0.55 %	P. SHOTANGE & Q. PROBLEM = 1.8 %
	LOSS TIME = 23.6 %	TPM / KYT/ SMALL GROUP 0.88 %	MINOR SHUT = #### %
	DEFECTIVE = 4.43 %	INTENTIONAL 0 %	
		M/C BREAK DOWN 0 %	
		SET - UP 20.4 %	

ตารางสรุปที่ ค.16 อัตราลักษณะข้อบกพร่องประจำเดือนสิงหาคม 2550

Shift A + B		Aug ' 2007		DAILY CHECK SHEET DEFECTIVE RATIO Ni - Cr. LINE																											ISSUED DATE	ISSUED BY	APPROVED BY
																															26/8/2007		

DATE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL	
PRODUCTION	3133	2632	2211			2029	2027	2212	1999	2328				1666	2475	2973	1860				1748	1860	2517	1977	2138							37785	
NG.	94	92	39			48	27	104	123	149				130	76	102	93				114	106	86	151	140							1674	
GOOD	3039	2540	2172			1981	2000	2108	1876	2179				1536	2399	2871	1767				1634	1754	2431	1826	1998							36111	
GOOD (%)	97	96.5	98.2	####	####	97.6	98.7	95.3	93.8	93.6	####	####	####	92.2	96.9	96.6	95	####	####	93.5	94.3	96.6	92.4	93.5	####	####	####	####	####	####	####	95.6%	
ACCIDENT																																	
NG. (%)	3.0	3.5	1.8	####	####	2.4	1.3	4.7	6.2	6.4	####	####	####	7.8	3.1	3.4	5.0	####	####	6.5	5.7	3.4	7.6	6.5	####	####	####	####	####	####	####	4.43%	
POLISHING																																	
REWORK	94	92	39			48	27	104	123	149				130	76	102	93				114	106	86	151	140							1674	
SCRAP																																	
TOTAL	94	92	39			48	27	104	123	149				130	76	102	93				114	106	86	151	140							1674	
SEPARATE BY CAUSE																																	
SCRATCH		2	2			6								2	1	1					16	6	15	5	3							59	
BLISTER																																	
PINHOLE,PIT																								3									3
ROUGHNESS		22	8			13	3	16	15	4				28	8	49	25				33	38	29	32	15							338	
BURN	2	47	7			10	8	48	57	37				18	1	27	2				8	3	6	36	30							347	
CLOUDING GLASS	9	11	1			5	11	14	52					17	45	10	16				25	35	11	34	67							363	
MOTTLE																																	
SPOTTING	83	10	21			19	11	29	37	56				65	21	15	50				6	24	25	11	3							486	
SPATTER																						26		30	22								78
TOTAL	94	92	39			48	27	104	123	149				130	76	102	93				114	106	86	151	140							1674	



ภาคผนวก ง.

แบบฟอร์มตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 แบบฟอร์มตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน

		INPROCESS INSPECTION DATA				MARK	DATE	REV.BY						
TITLE / PROCESS		FINAL INSPECTION OF PARTS PLATTING				CHECK. BY	APPROVED BY							
INSPECTION TIME	08.00 - 10.00	10.00 - 12.00	13.00 - 15.00	15.00 - 17.00										
PART NO. 4D0 - F6110 - 00														
PART NAME. HANDLE COMP.														
INSPECTION CASE <input type="checkbox"/> DAILY <input type="checkbox"/>		INSP. DATE		RESULT										
JUDGEMENT <input type="checkbox"/> PASSED <input type="checkbox"/> ACCEPTED <input type="checkbox"/> NOT PASSED		LINE		✓ = OK										
		CHROMIUM		X = NG										
NO	ITEM	SPEC	ID.NO.	ACTUAL TIME										
				RESULT	RESULT	RESULT	RESULT	RESULT	RESULT	RESULT	RESULT	RESULT	RESULT	
1	APPEARANCE			OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1.1	BLISTER ( มีขุ่นพองถึงชิ้นล่าง )	ต้องไม่เกิดขึ้นที่ผิวงาน		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1.2	SCRATCH,DENT ( AFTER PLATING ) ( รอยขีด,บุบ หลังกชุบ )	ความยาวต้องไม่เกิน 2.5 mm. , Ø 0.6 mm. ระยะห่างมากกว่า 50 mm		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1.3	PINHOLE , PIT ( รูเข็ม , รอยโป่ง )	โตไม่เกิน Ø 0.6 mm. ระยะห่างมากกว่า 50 mm		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1.4	SCRATCH RESIDUAL BUFFING MARK ( รอยเส้นพ่นจากกระดาษขัด )	ความยาวต้องไม่เกิน 30 mm. , Ø 0.1 mm. ระยะห่างมากกว่า 50 mm		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1.5	SPOTTING ( มีวเป็นจุด,ดวง,ทอย )	ต้องไม่เกิดขึ้นที่ผิวงาน		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1.6	SPATTER ( เม็ด )	โตไม่เกิน Ø 0.6 mm. ระยะห่างมากกว่า 50 mm		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1.7	MOTTLE ( รอยต่างหรือบ )	ต้องไม่เกิดขึ้นที่ผิวงาน		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1.8	BURN,CLOUDING ( โท้ง,ไม่เงา )	ห้ามองเห็นเท่ากับจากทุกทิศทางสามารถมองเห็นได้		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1.9	DIMENSION AFTER PLATING	Ring gauge ต้องสวมได้		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
1.10	NUT	BOLT ต้องหมุนเข้าได้		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
2	RACK ( ชิ้นวางชิ้นส่วน )	FOLLOW OPS.		OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
RESULT														
PROBLEM THIS SHOP				PROBLEM NEXT SHOP										



ตารางที่ ง.1(ต่อ) แบบฟอร์มตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน

PAGE 2 / 2

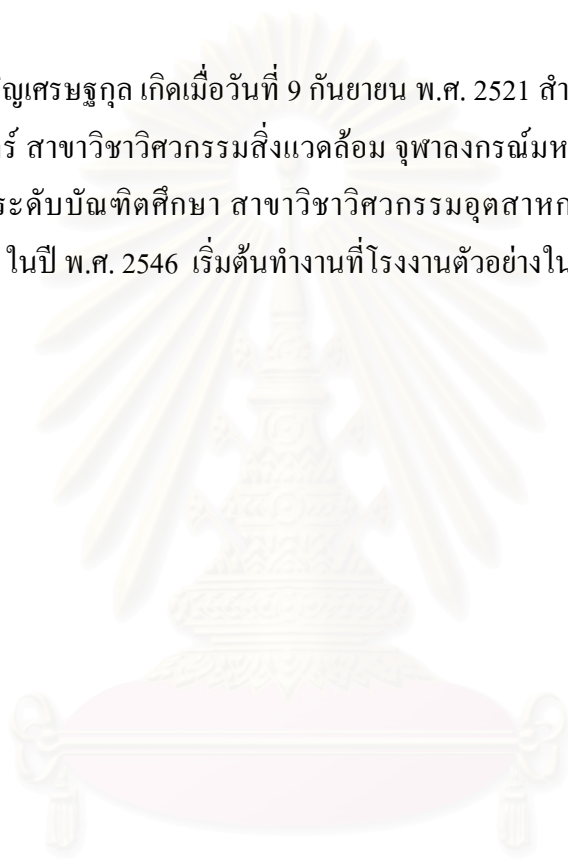
		INPROCESS INSPECTION DATA			MARK	DATE	REV.BY
					NEW	4 / 8 / 07	P.Sakchai
		TITLE : THICKNESS AND CORROSION TEST					
QCPP. NO.	PART NO.	DATE	CHECKED	APPROVED	MAKER		
	PART NAME.				PLATING DIVISION		
	MODEL						
METHOD TEST		INSPECTION CASE		JUDGEMENT		CAUSE	
REF. YGK 7-801		<input type="checkbox"/> WEEKLY <input type="checkbox"/> FULL TRIAL <input type="checkbox"/> MONTHLY <input type="checkbox"/> CONFIRM TRIAL <input type="checkbox"/> NEW MODEL		<input type="checkbox"/> PASSED <input type="checkbox"/> NOT PASSED <input type="checkbox"/> ACCEPT			
EST.							
REV.							
NO. 3		THICKNESS					
ITEM	STANDARD ( micron )	ACTUAL THICKNESS			$\bar{X}$	RESULT	SKETCH
		1	2	3			
Chromium	0.20 - 0.40						
Nickel	12.0 - 15.0						
Zinc	5 - 8	-	-	-	-	-	
NO. 4		CORROSION RESISTANCE					
ITMES SYMBOL	CASS TEST	SALT SPRAY	CRITERIA			RESULT	
MFCr. 10	—	24 Hrs.	There shall be no abnormal condition				
MFCr. 20	16 X 2	—	Defective Percentage area rating number shall be NO. 8 Or more				
MFZn 8. (3)	—	.....Hrs.	There shall be no clear white products. Loosing a color given by chemical conversion treatment is allowed.				
	—	.....Hrs.	There shall be no red rust				
CONDITION							
ITEM	STANDARD		ACTUAL	PICTURE			
	CASS TEST	SALT SPRAY TEST					
1. Density of sodium chloride (5wt%)	5.0 ± 0.5	5.0 ± 0.5					
2. Density of cupric chloride ( g / l )	0.26	-					
3. PH	6.5 - 7.2	6.5 - 7.2					
4. Spray quantity ( ml / Hr )	1.0 - 2.0	1.0 - 2.0					
5. Pressure of compressed air ( kg / cm <sup>2</sup> )	1.0 ± 0.01	1.0 ± 0.01					
6. Temperature of air saturator ( °C )	63 ± 1	47 ± 1					
7. Temperature of chamber ( °C )	50 ± 1	35 ± 1					

ตารางที่ ง. 2 มาตรฐานการปฏิบัติงาน

<b>WORK INSTRUCTION</b>		CODE NO. EFFECTIVE DATE :															
TITLE : <b>มาตรฐานการปฏิบัติงานเพื่อควบคุมความเข้มข้นสารเคมีในบ่อชุบ</b>		REVISION : SECTION : PAGE :															
<p><b>ขั้นตอนการปฏิบัติ</b></p> <p>1. ตรวจสอบความเข้มข้นสารเคมี วันละ 2 ครั้ง เวลา 9.00 น. และ 14.00 น. ตามขั้นตอนการตรวจวัดค่าความเข้มข้นที่กำหนด โดยความเข้มข้นในบ่อชุบมีความเข้มข้นดังนี้</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>ลำดับ</th> <th>บ่อ</th> <th>ความเข้มข้น กรัมต่อลิตร</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Semi Ni</td> <td>260</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Tri Ni</td> <td>260</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Bright Ni</td> <td>260</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Bright Cr</td> <td>260</td> </tr> </tbody> </table> <p>2. หากพบว่าค่าความเข้มข้นไม่อยู่ในค่ามาตรฐานให้ดำเนินการดังนี้</p> <p>2.1 ค่าความเข้มข้นน้อยกว่า 250 กรัมต่อลิตร ให้ทำการผสมสารเคมีต่างๆตามสัดส่วนที่กำหนด ตามขั้นตอนการผสมสารเคมีโดยให้บันทึกค่าความเข้มข้นที่วัดได้ พร้อมแจ้งหัวหน้างานให้รับทราบเพื่อหาสาเหตุและแนวทางปรับปรุงต่อไป</p> <p>2.2 ค่าความเข้มข้นมากกว่า 270 กรัมต่อลิตร ให้ทำการผลิตไปตามปกติ โดยให้บันทึกค่าความเข้มข้นที่วัดได้ พร้อมแจ้งหัวหน้างานให้รับทราบเพื่อหาสาเหตุและแนวทางปรับปรุงต่อไป</p>			ลำดับ	บ่อ	ความเข้มข้น กรัมต่อลิตร	1	Semi Ni	260	2	Tri Ni	260	3	Bright Ni	260	4	Bright Cr	260
ลำดับ	บ่อ	ความเข้มข้น กรัมต่อลิตร															
1	Semi Ni	260															
2	Tri Ni	260															
3	Bright Ni	260															
4	Bright Cr	260															

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธีรศักดิ์ เจริญเศรษฐกุล เกิดเมื่อวันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2521 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2542 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2546 เริ่มต้นทำงานที่โรงงานตัวอย่างในปี พ.ศ.2543 จนถึงปัจจุบัน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย