การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อการลดของเสีย
กรณีศึกษากระบวนการผลิตเพลากลาง

นาย พรเทพ ลาภธุวะศิริ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544.

ISBN 974-03-1026-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ม.ค. 2546
I 20371068

APPLICATION OF EXPERIMENTAL DESIGN FOR DEFECTS REDUCTION: CASE STUDY OF SHAFT PROPELLER LINE PRODUCTION PROCESS.

Mr. Pornthep Laptuvasiri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1026-5

4371456621

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อการลดของเสีย: กรณีศึกษากระบวนการผลิตเพลากลาง
โดย	นาย พรเทพ ลาภธุวะศิริ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์

พรเทพ ลาภธุวะศิริ : การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อการลดของเสีย: กรณีศึกษากระบวนการผลิตเพลากลาง (APPLICATION OF EXPERIMENTAL DESIGN FOR DEFECTS REDUCTION: CASE STUDY OF PROPELLER SHAFT LINE PRODUCTION PROCESS.) อ. ที่ปรึกษา: ผศ.ดร.ปารเมศ ชุติมา 126 หน้า ISBN 974-03-1026-5

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ที่มีอิทธิพลต่อค่าสมดุล (Balance) ของเพลากลางและเสนอเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิต เพื่อลดของเสียที่เกิดจากการทดสอบค่าสมดุลเกินจากข้อกำหนด งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากการอาศัยความรู้และความชำนาญของผู้เชี่ยวชาญและจากเอกสารที่เกี่ยวข้องเพื่อระบุถึงปัจจัยทั้งหมดที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อค่าความสมดุล โดยใช้แผนภาพแสดงสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) จากนั้นเรียงลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย โดยการวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Failure Mode and Effect Analysis) แล้วจึงเลือกปัจจัยที่น่าจะมีผลกระทบต่อค่าสมดุลของเพลากลาง 4 ปัจจัยได้ดังนี้ แรงดันไฟฟ้าของเครื่องเชื่อม (Supply Voltage) อัตราการป้อนลวดของเครื่องเชื่อม (Welding Speed) ค่าความร่วมศูนย์กลางของโยก (Concentricity) และค่าทอร์กของการประกอบโยก (Torque) โดยมีหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกปัจจัยเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลองคือต้องสามารถปรับและควบคุมค่าได้โดยไม่มีผลกระทบกับกระบวนการผลิตและไม่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการผลิต จากนั้นจึงใช้การออกแบบการทดลองแบบฟูลเฟคทอเรี่ยล (Full Factorial Experiment) เพื่อวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดที่มีต่อค่าสมดุลของเพลากลาง และปัจจัยใดที่มีอันตรกิริยา (Interaction) ระหว่างกัน จากผลการวิเคราะห์ด้วยหลักการทางสถิติวิศวกรรมที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ของการวิจัยเบื้องต้นพบว่า มี 3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่าสมดุลของเพลากลางคือ แรงดันไฟฟ้าของเครื่องเชื่อม อัตราการป้อนลวดของเครื่องเชื่อม ค่าความร่วมศูนย์ของโยก การออกแบบการทดลองแบบเฟคทอเรี่ยลถูกนำมาใช้อีกครั้งเพื่อสภาวะที่เหมาะสมโดยเพิ่มระดับ (Level) ให้กับปัจจัยที่มีผลกับค่าสมดุลผลการทดลอง สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าสมดุลมีค่า10 กรัม คือแรงดันฟ้าของเครื่องเชื่อมที่ 28.5036 โวลท์ อัตราการป้อนลวดของเครื่องเชื่อม ที่ 22.0191 วินาที/รอบ และค่าความร่วมศูนย์ที่ 0.1436 มิลลิเมตร เมื่อสภาวะการผลิตใหม่ที่ได้ไปทดสอบเพื่อยืนยันผลแล้วนำค่าเฉลี่ยความสมดุลของเพลากลางนี้ไปเปรียบเทียบเชิงสถิติกับ พบว่าค่าสมดุลใหม่นี้มีค่าลดลง 14.68 กรัมจากค่าสมดุลของเพลากลางปัจจุบันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ.....พรเทพ ลาภธุวะศิริ.....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

AN ABSTRACT

##4371456621: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: FACTORIAL DESIGN / ANALYSIS OF VARIANCE / PROPELLER SHAFTS / BALANCE TEST/DEFECTS REDUCTION

PORNTHEP LAPTUVASIRI: APPLICATION OF EXPERIMENTAL DESIGN FOR DEFECTS REDUCTION: CASE STUDY OF PROPELLER SHAFT LINE PRODUCTION PROCESS THESIS ADVISOR: ASST.DR.PARAMES CHUTIMA 124 pp. ISBN 974 – 03 - 1026 - 5

The objective of this thesis is to study factors that are influential in the balance test of propeller shaft and to propose the optimum working condition for reducing the waste parts, which are rejected as out of specification with practicable solution. Commencing with skills from specialist and knowledge from various relevant documents, this research is to define potential factors to the balancing test by using cause and effect diagram and risk priority number by using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). The analysis found that 4 factors need to be considered in the balancing test. Since all of these factors are changeable and controllable without incurring additional production costs. The factors comprise supply voltage, welding speed, york concentricity and torque. Full factorial design has been applied to analyze. These parameters are significant and have interaction effect to the balancing test by using 0.05 significant levels. The experiment reveals that 3 factors include supply voltage, welding speed and york concentricity are significant to the balancing test. Factorial design is then reapplied by increasing level for each factor in order to explore the appropriate working condition to obtain the lowest balancing of the shaft propeller. This experiment shows that the optimum conditions are supply voltage at 28.5036 volt, welding speed 22.0191 sec/round and york concentricity 0.1436 mm. Then compared to the current balancing test mean and purpose condition balancing test mean that of the optimum condition is significantly lower by decrease 14.68 gram from current condition.

Department/Program Industrial engineering Student's signature.....

Field of study Industrial engineering Advisor's signature.....

Academic year 2001 Co-Advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์ของ อาจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและสอนวิชาการออกแบบการทดลองซึ่งเป็นแนวทางในการวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนท่านอาจารย์ประด้วยประธานกรรมการ รศ.ดำรงค์ ทวีแสง สกุลไทย กรรมการ รศ.จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ อ.ดร.ปวีนา เชาวลิตวงศ์ ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์และตรวจสอบความถูกต้องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อความเหมาะสมและเป็นประโยชน์ในการศึกษาต่อไป

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ตลอดจนขอบคุณเพื่อนร่วมงานที่ได้ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้หวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้กับการทำงานในสถานประกอบการต่างๆ ทางด้านการปรับปรุงคุณภาพโดยวิธีการออกแบบการทดลอง ความดีเหล่านี้ขอมอบแด่ผู้ให้การสนับสนุนและให้ความอนุเคราะห์ในการทำวิจัยครั้งนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญภาพ.....ฏ
บทที่
1. บทนำ
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....4
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....4
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....5
2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
2.1 การออกแบบการทดลองเชิงสถิติ.....6
2.2 วัตถุประสงค์ของการออกแบบการทดลอง.....6
2.3 ส่วนประกอบการทดลอง.....7
2.4 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง.....11
2.5 แนวคิดพื้นฐานการออกแบบการทดลอง.....9
2.6 การเลือกแบบการทดลอง.....10
2.7 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล.....15
2.8 การทดสอบสมมุติฐาน.....16
2.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน.....17
2.10 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (FMEA).....21
2.11 การวิเคราะห์การวัด.....24
2.12 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....27
2.13 บทสรุปท้ายบท.....29
3. เพลากลางและกระบวนการผลิต
3.1 ระบบส่งกำลังรถยนต์.....30
3.2 รูปแบบของระบบส่งกำลังรถยนต์.....31
3.3 ชนิดการขับเคลื่อนของเพลากลาง.....31

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	3.4 แบบของเพลากลาง	34
	3.5 ข้อต่ออ่อน	35
	3.6 ส่วนประกอบของเพลากลาง	43
	3.7 แผนผังกระบวนการผลิตเพลากลาง	45
	3.8 การศึกษาความสามารถของกระบวน (Process Capability)	49
	3.9 การวิเคราะห์การวัด (Measure System Analysis)	50
	3.10 บทสรุปท้ายบท	51
4.	การวิเคราะห์กระบวนการ	
	4.1 การกำหนดปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย	52
	4.2 แผนภาพแสดงตุและผล	53
	4.3 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต	58
	4.4 การเลือกปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย	63
	4.5 บทสรุปท้ายบท	66
5.	การออกแบบการทดลอง	
	5.1 การออกแบบการทดลอง	67
	5.2 การกำหนดปัญหาที่สนใจ	67
	5.3 การเลือกปัจจัยที่ทำการศึกษา	68
	5.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวิจัย	69
	5.5 การเลือกตัวแปรตอบสนอง	69
	5.6 การเลือกแบบการทดลอง	70
	5.7 การวิเคราะห์ข้อมูล	75
	5.8 การดำเนินการทดลอง	79
	5.9 บทสรุปท้ายบท	85
6.	ผลการทดลองและการวิเคราะห์	
	6.1 ผลการทดลองผลการทดลองจากการทดลองเบื้องต้น	86
	6.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น	87
	6.3 ผลการทดลองในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม	97
	6.4 การหาสภาวะที่เหมาะสม	104
	6.5 การทดลองเพื่อยืนยันผล	106
	6.6 บทสรุปท้ายบท	110

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ หน้า

7. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย.....112

7.2 ข้อจำกัดของการวิจัย.....114

7.3 ข้อเสนอแนะและความคิดเห็น.....114

รายการอ้างอิง.....115

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์.....118

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....125

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	แสดงจำนวนชิ้นงานที่ไม่ผ่านการตรวจสอบที่สถานีตรวจสอบความสมดุล	3
1.2	แสดงจำนวนชันงานที่ไม่ผ่านการตรวจสอบที่สถานีงานแมชีนนิ่ง	3
2.1	การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน	16
2.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ One – way ANOVA	18
2.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อก	19
2.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two – Factor Fixed Effect Model	20
2.5	แสดงค่าของความร้ายแรงหรือความวิกฤตของความล้มเหลว	22
2.6	แสดงค่าของโอกาศเกิดความล้มเหลว	23
2.7	แสดงค่าของความยากลำบากในการค้นหาความเสียหายก่อนถึงมือลูกค้า	24
2.8	ANOVA สำหรับทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบเชิงเส้นตรง	25
3.1	กระบวนการผลิตเพลากลาง	45
3.2	การแบ่งเกณฑ์ความสามารถของกระบวน	49
3.3	สรุปการวิเคราะห์การวัด	51
4.1	การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (FMEA)	60
4.2	แสดงสรุปและแสดงเหตุผลของแต่ละปัจจัย	63
4.3	แสดงปัจจัยที่ถูกเลือกใช้ในการวิจัย	66
5.1	สรุประดับของปัจจัยที่ใช้ในการศึกษา	69
5.2	บันทึกผลในการทดลองเบื้องต้น	72
5.3	ตารางบันทึกผลการทดสอบเพื่อยันผล	75
5.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two Factor Fixed Effect Model	77
6.1	แสดงผลการทดลองที่ได้จากการทดลองเบี้ยงต้น	86
6.2	แสดงผลการวิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นสำหรับค่าสมดุลด้าน Rear	87
6.3	แสดงผลการวิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นสำหรับค่าสมดุลด้านหน้า Front	92
6.4	แสดงผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม	97
6.5	ANOVA TABLE (Analysis of Variance for Balance	99
6.6	การวิเคราะห์สมการถดถอย	104
6.7	ผลการทดลองเพื่อยืนยันผล	106
6.8	การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตใหม่	110
7.1	แสดงรายละเอียดของแต่ละปัจจัย	112
ก.1	แสดงผลการวิเคราะห์ Rear Balance	119
ก.2	แสดงผลการวิเคราะห์ Front Balance	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ก.3 แสดงผลการวิเคราะห์ในการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม.....120

ก.4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....120

ก.5 แสดงผลการวิเคราะห์สมการถดถอย.....121

ก.6 สรุปการประเมินรูปแบบของความบกพร่อง.....125

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ		หน้า
1.1	แสดงส่วนประกอบระบบส่งกำลัง	1
1.2	แสดงวิธีการตรวจสอบความบิดงอของของเพลากลาง	2
2.1	แสดงปัจจัยและพารามิเตอร์ของกระบวนการ	6
2.2	แสดงผลปัจจัย A ผลต่อผลิตภัณฑ์	7
2.3	แสดง Randomized Complete Block Design	11
2.4	แสดงอิทธิพลของปัจจัยร่วมไม่มีผลและมีผล	13
3.1	แสดงโครงสร้างของระบบส่งกำลัง	30
3.2	แสดงการเคลื่อนที่ของเพลากลาง	31
3.3	เพลากลางแบบทอร์กทูบไดรฟ์	32
3.4	เพลากลางแบบฮอต์คคิสไดรฟ์	33
3.5	อาการม้วนตัวของแหนบสปริงเมื่อเพลากลางหมุน	33
3.6	เพลากลางแบบสองข้อต่ออ่อน	34
3.7	เพลากลางแบบสามข้อต่ออ่อน	34
3.8	กากบาทชนิดลูกปืนแข็ง	35
3.9	กากบาทชนิดลูกปืนเซลล์	36
3.10	การเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมของข้อต่ออ่อนแบบก้ามปูหรือแบบฮุก	37
3.11	การติดตั้งข้อต่ออ่อนและตำแหน่งให้เพลาขับและเพลาตามขนานกัน	37
3.12	แสดงส่วนประกอบของข้อต่ออ่อนยืดหยุ่นแบบผ้าใบ	38
3.13	แสดงส่วนประกอบของข้อต่ออ่อนยืดหยุ่นแบบยางแข็ง	38
3.14	แสดงส่วนประกอบของข้อต่ออ่อนแบบเบอร์ฟิลด์	39
3.15	แสดงส่วนประกอบของข้อต่ออ่อนแบบไทรปอด	40
3.16	ข้อต่ออ่อนแบบโพลีโกนอล	40
3.17	แสดงส่วนประกอบข้อต่ออ่อนแบบข้อต่อร่วม	41
3.18	ลูกปืนรองรับเพลากลาง	41
3.19	แสดงส่วนประกอบของข้อต่อเลื่อน	42
3.20	ส่วนประกอบของเพลากลาง	43
3.21	แสดงกระบวนการผลิตเพลากลาง	44
3.22	แสดงผลการคำนวน Process Capability ของค่าสมดุล	49
4.1	แสดงผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)	53
4.2	แสดงลักษณะของท่อ (Pipe) ที่ใช้ผลิตเพลากลาง	54

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
4.3	แสดงลักษณะของผิวงานด้านในของโยกทิว (York tube)	54
4.4	แสดงลักษณะของตำแหน่งประกอบแสนบริง	55
4.5	แสดงบูชและกากบาท	55
4.6	แสดงลักษณะของ Snapring แบบต่างๆ	55
4.7	แสดง Fixture ที่ใช้จับชิ้นงานที่เครื่องมิลลิ่ง	56
4.8	แสดงตำแหน่งการเชื่อมโยคทิวบ์เข้ากับท่อ	57
4.9	แสดงค่าท็อร์คของโยคแฟลงล์ (York Flange)	57
4.10	แสดงแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)	62
5.1	แสดงชิ้นงานหล่อโยก	79
5.2	แสดงท่อ (Pipe) ที่ตัดเสร็จพร้อมประกอบ	80
5.3	แสดงจุดปรับแต่งค่าแรงดันไฟฟ้าและอัตราการป้อนลวด	80
5.4	แสดงขั้นตอนการเจาะรูยันศูนย์	81
5.5	แสดงขั้นตอนการเจาะรูประกอบแบริ่ง	81
5.6	แสดงขั้นตอนตรวจวัชิ้นงานโยก	82
5.7	แสดงขั้นตอนการประกอบโยกกับท่อ	82
5.8	แสดงขั้นตอนการเชื่อมโยกกับท่อ	83
5.9	แสดงขั้นตอนการประกอบโยกแฟลงและโยกสลีฟ	83
5.10	แสดงชิ้นงานเพลากลางสำเร็จรูปรอทดสอบค่าสมดุล	84
5.11	แสดงชิ้นงานเพลากลางต้นแบบสำหรับทดสอบค่าสมดุล	84
5.12	แสดงการทดสอบค่าสมดุลของงานสำเร็จรูป	85
6.1	แผนภูมิพาเรโตแสดง Effect ของแต่ละปัจจัย	88
6.2	แสดงกราฟ Normal Probability Plot of Effect..	88
6.3	แสดงกราฟ Normality Probability plot ของค่าความคลาดเคลื่อน	89
6.4	กราฟแสดงการกระจายตัวของ Residual และ Time	90
6.5	แสดงความเสถียรของระหว่าง Residual และ Fitted Value	91
6.6	กราฟแสดง Main Effect Plot ของค่าสมดุล	91
6.7	กราฟแสดง Interaction Effect Plot ของค่าสมดุล	92
6.8	แสดงแผนภูมิพาเรโตของ Effect แต่ละปัจจัย	93
6.9	การพล็อทค่าEffect ของแต่ปัจจัยบนนอมอลกราฟ	93
6.10	แสดงกราฟ Normal Probability Plot of Effect	94

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

6.11 กราฟแสดงการกระจายตัวของ Residual และ Time.....95

6.12 แสดงความเสถียรของระหว่าง Residual และ Fitted Value 96

6.13 กราฟแสดง Main Effect Plot ของค่าสมดุล.....96

6.14 กราฟแสดง Interaction Effect Plot ของค่าสมดุล.....97

6.15 แสดงแผนภูมิพาเรโตของ Effect แต่ละปัจจัย.... 99

6.16 แสดงกราฟ Normal Probability Plot of Effect 100

6.17 แสดงกราฟ Normal Probability plot ของค่าสมดุล.....101

6.18 กราฟแสดงการกระจายตัวของ Residual และ Time 102

6.19 แสดงความเสถียรของระหว่าง Residual และ Fitted Value 102

6.20 กราฟแสดง Main Effect Plot ของค่าสมดุล.....103

6.21 กราฟแสดง Interaction Effect Plot ของค่าสมดุล.....103

6.22 กราฟแสดง Actaul by Predicted Plot ของค่าสมดุล.....105

6.23 กราฟแสดงสภาวะที่เหมาะสมที่มีผลกับคาสมดุล.....105

6.24 รูปแสดงการทดสอบความมีนัยสำคัญของค่าเฉลี่ยของประชากรปกติ.....108

6.25 รูปแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของทั้งสองประชากร.....109

6.26 แสดงผลการคำนวณ Process Capability ของค่าสมดุล..... 111

ก.1 Cube Plot สำหรับการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม..... 121

ก.2 Surface Plot สำหรับการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม..... 122

ก.3 แสดงกราฟระหว่างค่า Residual และ Observation Order..... 122

ก.4 แสดงกราฟ Normal Probability of Residual..... 123