ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247098

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก

นางสาวนำริชาติ นาทะสัน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
247098

การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก

นางสาวปาริชาติ นาทะสัน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5 1 7 0 3 7 9 9 2 1

DESIGN OF EXPERIMENT FOR ANALYZING FACTORS IN CORRUGATED BOX PRODUCTION PROCESS

Miss Parichart Natasan

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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก
โดย	นางสาวปาริชาติ นาทะสัน
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. อนุชิต อิทธิวิบูลย์)

ปาริชาติ นาทะสัน : การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก. (DESIGN OF EXPERIMENT FOR ANALYZING FACTORS IN CORRUGATED BOX PRODUCTION PROCESS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช, 181 หน้า.

247098

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระยะห่างร่องกาวและลดความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก โดยนำเทคนิคการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวของฝาบนและฝาล่างมีค่าเป็น 6.61±1.69 และ 5.50±1.40 มิลลิเมตร และความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิตระยะสั้น (C_{pk}) ของฝาบนและฝาล่างมีค่าเป็น 0.67 และ 0.84 ตามลำดับ งานวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน เริ่มจากการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดระยะห่างร่องกาว ทำให้ได้แผนภาพแสดงสาเหตุและผล และใช้แผนผังกลุ่มความคิดเพื่อคัดเลือกเฉพาะปัจจัยที่ควบคุมได้ จากนั้นนำปัจจัยที่ควบคุมได้มาทำการออกแบบการทดลองเบื้องต้น โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองของทากูชิ (Taguchi Method) พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาวอย่างมีนัยสำคัญจำนวน 3 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วเครื่องจักร ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา และความเร็วรางพับด้านซ้าย จากนั้นทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง 3^k Factorial design พบว่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักรมีดังนี้ ความเร็วเครื่องจักรที่อัตรา 120 กล่อง/นาที ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ 387 มิลลิเมตร และความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ 0.0 เท่าของรางพับด้านขวา แล้วทำการยืนยันผลโดยทำการผลิตจริง ซึ่งผลหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวของฝาบนและฝาล่างมีค่าเป็น 6.05±0.74 และ 5.93±0.70 มิลลิเมตร และความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิตระยะสั้น (C_{pk}) ของฝาบนและฝาล่างมีค่าเป็น 1.77 และ 1.87 ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต ปาริชาติ นาทะสัน

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553

5170379921 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : CORRUGATED BOX / GLUE GAP DEVIATION / EXPERIMENTAL DESIGN / TAGUCHI'S METHOD / 3^k FACTORIAL DESIGN

PARICHART NATASAN : DESIGN OF EXPERIMENT FOR ANALYZING FACTORS IN CORRUGATED BOX PRODUCTION PROCESS. ADVISOR : ASSOCIATION PROFESSOR JITTRA RUKIJKANPANICH, Ph.D., 181 pp.

247093

The objective of this research was to study factors that influence the glue gap and to reduce the glue gap deviation in corrugated box production process applying the design of experiment (DOE). Previously, the average values of the glue gap on the top side and bottom side of corrugated box were 6.61±1.69 and 5.50±1.40 mm., the process capability (C_{pk}) values on the top side and bottom side of corrugated box were 0.67 and 0.84 respectively. This research had four steps. First, brainstorming to find the factors influence the glue gap problem was performed. These factors were placed in the cause and effect diagram and the affinity diagram was used to select the controllable factors. Second, the controllable factors were input to the preliminary experiment with Taguchi's method. The results of this experiment showed three significant factors: running speed, folding beam DR register and speed OP register. Third, these significant factors were tested to optimize level of each significant factor with 3^k factorial experimental design. As a result, the running speed was fixed 120 boxes/min, the folding beam DR register was fixed 387 mm. and the speed OP register was fixed 0.0 times of DR register. Finally, confirmation was performed by implementing three factors with optimum level in the actual production process. It was found that the average values of the glue gap on the top side and bottom side of corrugated box were 6.05±0.74 and 5.93±0.70 mm., the process capability (C_{pk}) values on the top side and bottom side of corrugated box were 1.77 and 1.87 respectively.

Department : Industrial Engineering Student's Signature ปาริชาติ นาถะสัน

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำเกี่ยวกับความรู้ แนวทางการแก้ปัญหาและอุปสรรคให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีรวมถึง รองศาสตรจารย์ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก กรรมการที่ได้ให้ความเชื่อเหลือในการตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้บริหารโรงงานกรณีศึกษาเป็นอย่างสูงที่ให้ความช่วยเหลือต่างๆ และอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลและการทำการทดลองเป็นอย่างดี และขอขอบคุณ ดร. อนุชิต อิทธิวิบูลย์ หัวหน้าแผนกประกันคุณภาพ ที่ได้ให้เกียรติเป็นกรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ตลอดจนคำแนะนำที่ดี การสนับสนุน และความสะดวกในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ คุณธนาภรณ์ มั่นสัณฐิติ วิศวกรของบริษัทกรณีศึกษาที่ให้ความช่วยเหลือในการทำการทดลองให้ลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอ่ขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่มิได้กล่าวไว้ใน ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ช
สารบัญตาราง		ฎ
สารบัญภาพ		ฐ
บทที่		1
1	บทนำ	1
	1.1 ข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา	2
	1.1.1 โครงสร้างองค์กร	2
	1.1.2 ผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา	3
	1.1.3 กระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก	6
	1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	9
	1.2.1 สภาพปัญหาที่พบ	9
	1.2.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของสภาพปัญหาที่พบ	12
	1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	17
	1.4 ขอบเขตของการวิจัย	17
	1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	17
	1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	18
2	ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
	2.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)	19
	2.1.1 ความหมายการออกแบบการทดลอง	19
	2.1.2 หลักการที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง	21
	2.1.3 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง	21

บทที่		หน้า
	2.2 การเลือกการออกแบบการทดลอง	23
	2.2.1 แผนการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Design)	23
	2.2.2 แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design)	23
	2.2.3 การออกแบบการทดลองโดยเทคนิคทากูชิ (Taguchi Method)	25
	2.3 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล	30
	2.3.1 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square)	30
	2.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model adequacy checking)	30
	2.4 ความสามารถของกระบวนการเชิงสถิติ	32
	2.4.1 ความหมายและขอบเขตความสามารถของกระบวนการเชิงสถิติ	32
	2.4.2 ดัชนีความสามารถของกระบวนการ	33
	2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
	2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาปัจจัย	36
	2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง	38
3	ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา	41
	3.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด	41
	3.1.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด	42
	3.1.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของผลการทดลอง	45
	3.2 การศึกษากระบวนการผลิตและเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง	48
	3.2.1 ผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกและเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง	48
	3.2.2 การศึกษากระบวนการผลิตในการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก	49
	3.3 การค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	52
	3.3.1 การค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	52
	3.3.2 ปัจจัยประเภทเครื่องจักรที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว	55
	3.3.3 ปัจจัยประเภทวัตถุดิบที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว	60
	3.3.4 ปัจจัยประเภทคนที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว	61
	3.3.5 ปัจจัยประเภทวิธีการที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว	62

บทที่		หน้า
	3.3.6 ปัจจัยประเภทสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว.....	62
	3.4 การคัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง.....	63
	3.4.1 เกณฑ์ในการคัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง.....	63
	3.4.2 การพิจารณาคัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง.....	65
4	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	74
	4.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์.....	74
	4.1.1 แผ่นกระดาษลูกฟูก.....	74
	4.1.2 เครื่องจักร B ประเภท Flexo Folder Gluler.....	75
	4.2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง.....	80
	4.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง.....	87
	4.4 แผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น.....	87
5	การคำนวณและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	93
	5.1 วิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นของระยะห่างร่องกาว.....	93
	5.1.1 วิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นของระยะห่างร่องกาวฝาบน.....	93
	5.1.2 วิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง.....	104
	5.2 แผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม.....	114
	5.3 การวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม.....	118
	5.3.1 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน.....	118
	5.3.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง.....	137
	5.4 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง.....	152
	5.4.1 การเตรียมการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง.....	152
	5.4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเพื่อยืนยันผล.....	154
6	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	160
	6.1 สรุปผลการวิจัย.....	160

บทที่ หน้า

6.1.1 สรุปผลการวิจัยในการคัดเลือกปัจจัย..... 160
6.1.2 สรุปผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ..... 161
6.1.3 สรุปผลการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลสามระดับ..... 161
6.1.4 สรุปผลการยืนยันการทดลองโดยทำการผลิตจริง..... 162
6.2 ปัญหาและอุปสรรคในงานวิจัย..... 164
6.3 ข้อจำกัดในงานวิจัย..... 164
6.4 ข้อเสนอแนะ..... 165
รายการอ้างอิง..... 166

ภาคผนวก..... 168
ภาคผนวก ก แบบสอบถามที่ใช้ประเมินอิทธิพลปัจจัย..... 169
ภาคผนวก ข ผลทางสถิติของการออกแบบการทดลองเบื้องต้น..... 174

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 181

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ลักษณะโครงสร้างการประกอบชั้นของกระดาษลูกฟูก.....	4
1.2	ลักษณะผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกแบบมีร่องสล๊อต..... ..	5
1.3	ข้อมูลของเสียเดือนมกราคม-มีนาคม 2551.....	10
1.4	ลักษณะชิ้นงานของปัญหาระยะห่างร่องกาว.....	11
2.1	ตัวอย่าง 2^k แฟคทอเรียล.....	24
2.2	ตัวอย่างจำนวนรอบการทดลอง 2^k แฟคทอเรียล.....	24
2.3	ตัวอย่าง 3^k แฟคทอเรียล.....	24
2.4	ตัวอย่างจำนวนรอบการทดลอง 3^k แฟคทอเรียล.....	25
2.5	เมตริกซ์ออทอกอนอลอะเรย์ $L_8(2)^7$	27
2.6	ตารางมาตรฐานออทอกอนอล อะเรย์.....	27
2.7	เปรียบเทียบจำนวนการทดลองระหว่างวิธี 2^k Factorial และทากูชิ.....	28
2.8	ความหมายของค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ.....	35
2.9	ค่าแนะนำสำหรับค่าดัชนี C_{pk} ขั้นต่ำ.....	36
3.1	ผลการวัดค่าระยะห่างร่องกาวของกล่องกระดาษลูกฟูกของพนักงาน 2 คน.....	44
4.1	สรุประดับปัจจัยที่ต้องการทำการทดลอง.....	86
4.2	แผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น.....	88
4.3	Orthogonal Array L16 (2^{13}) ที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น.....	90
4.4	การสุ่มอย่างสมบูรณ์ในการทดลองเบื้องต้น.....	91
5.1	ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ.....	94
5.2	ค่าอัตราส่วน Signal to Noise (S/N Ratio) ของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน.....	95
5.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนหาปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปรระยะร่องกาวฝาบน.	99
5.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยระยะร่องกาวฝาบน..	101
5.5	ค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ.....	104
5.6	ค่าอัตราส่วน Signal to Noise (S/N Ratio) ของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง.....	105
5.7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนหาปัจจัยที่มีผลต่อความผันแปรระยะร่องกาวฝาล่าง	109
5.8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยระยะร่องกาวฝาล่าง.	111
5.9	แผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม.....	114

ตารางที่ หน้า

5.10 เมตริกซ์ของการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม..... 116
5.11 ลำดับที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม..... 117
5.12 ค่าเฉลี่ยระยะร่องกาวฝาบนในการออกแบบการทดลองหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม 118
5.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระยะห่างร่องกาวฝาบน..... 124
5.14 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนน้อยที่สุด..... 136
5.15 ค่าเฉลี่ยระยะร่องกาวฝาล่างการออกแบบการทดลองหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม 137
5.16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง..... 143
5.17 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างน้อยที่สุด..... 151
6.1 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อลดค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว..... 162

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	โครงสร้างองค์กรของโรงงานกรณีศึกษา	2
1.2	ตัวอย่างประเภทกล่องไดคัท	6
1.3	ตัวอย่างประเภทส่วนประกอบของกล่อง	6
1.4	ขั้นตอนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก	7
1.5	ขั้นตอนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก	8
1.6	สัดส่วนการผลิตในปี 2551	9
1.7	ประเภทของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกแผนกพิมพ์	9
1.8	ของเสียประเภทร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนดของผลิตภัณฑ์ต่างๆ	12
1.9	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนก่อนปรับปรุง	13
1.10	การแปลงข้อมูลระยะห่างร่องกาวฝาบนโดยวิธี Box-Cox	13
1.11	การทดสอบความเป็นปกติระยะห่างร่องกาวฝาบนจากการแปลงข้อมูลวิธี Box-Cox	14
1.12	ผลการทดสอบทางสถิติเบื้องต้นของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนก่อนปรับปรุง	14
1.13	การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างก่อนปรับปรุง	15
1.14	ผลการทดสอบทางสถิติเบื้องต้นของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างก่อนปรับปรุง	16
2.1	รูปแบบระบบการทดลองทั่วไป	20
2.2	ปัจจัยนำเข้าที่มีอิทธิพลและไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง	20
2.3	ความหมายของสัญลักษณ์ตารางออทอกอนอลอะเรย์	26
2.4	การตรวจสอบการแจกแจงปกติของค่าส่วนตกค้าง	31
2.5	การตรวจความเป็นอิสระของข้อมูล	31
2.6	การตรวจความเสถียรภาพของความแปรปรวน	32
2.7	ความสามารถของกระบวนการระยะสั้นและระยะยาว	33
2.8	ความเชื่อมโยงของ C_p ของ P_p ในกระบวนการระยะสั้นและระยะยาว	34
3.1	มิติของกล่องกระดาษลูกฟูก	42
3.2	ตำแหน่งในการวัดระยะห่างร่องกาวของกล่องกระดาษลูกฟูก	42
3.3	ผลการวิเคราะห์ (GR&R) จากโปรแกรม MINITAB	45

ภาพที่ หน้า

3.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดชิ้นงานของพนักงาน 2 คน..... 47
3.5 ตัวอย่างกล่อง RSC..... 48
3.6 เครื่องจักร Flexo Folder Gluler..... 48
3.7 แผนภาพขั้นตอนกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก..... 51
3.8 แผนภาพสาเหตุและผลของปัญหาระยะร่องกาวหลักการ 4M 1E..... 53
3.9 แผนภาพสาเหตุและผลของปัญหาระยะร่องกาวส่วนประกอบย่อยของเครื่องจักร.. 54
3.10 ผังกลุ่มความคิดในการจำแนกปัจจัยที่เกี่ยวข้องระยะห่างร่องกาว..... 72
4.1 แผ่นกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในการทดลอง 74
4.2 การนำแผ่นกระดาษลูกฟูกป้อนเข้าเครื่องจักร..... 75
4.3 โครงสร้างของลูกกลิ้งในชุดพิมพ์..... 76
4.4 ตำแหน่งชุดลูกกลิ้งบน-ล่างของการทับรอยและชุดใบมีดการเซาะร่อง..... 76
4.5 โครงสร้างของลูกกลิ้งในชุดกาว..... 77
4.6 ชุดรางพับกล่องกระดาษลูกฟูก..... 77
4.7 ชุดสแควร์ริ่ง..... 78
4.8 ชุดเคาน์เตอร์และอิเจคเตอร์..... 78
4.9 คอมพิวเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร..... 79
4.10 โครงสร้างของลูกกลิ้งในชุดป้อนกระดาษ..... 80
4.11 โครงสร้างของลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น..... 81
4.12 โครงสร้างของลูกกลิ้งลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดทับในชุดพิมพ์..... 82
4.13 โครงสร้างลูกกลิ้งในแต่ละตู้พิมพ์..... 82
4.14 ตำแหน่งชุดลูกกลิ้งบน-ล่างในชุดทับรอย..... 83
4.15 ชุดรางพับกล่อง..... 84
5.1 การทดสอบความความเป็นปกติของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการทดลองเบื้องต้น..... 96
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการทดลองเบื้องต้น..... 97
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตผลตอบสนองของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการทดลองเบื้องต้น..... 98

ภาพที่ หน้า

5.4 ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบนของแต่ละระดับปัจจัย..... 103
5.5 การทดสอบความความเป็นปกติของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการทดลองเบื้องต้น 106
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการทดลองเบื้องต้น..... 107
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตผลตอบสนองของระยะห่าง ร่องกาวฝาล่างในการทดลองเบื้องต้น..... 108
5.8 ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่างของแต่ละระดับปัจจัย..... 113
5.9 การทดสอบความเป็นปกติระยะห่างร่องกาวฝาบนเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม... 121
5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม..... 122
5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม..... 123
5.12 ปัจจัยร่วมความเร็วเครื่องจักรและระยะเบี่ยงรางพับขวามีผลต่อระยะร่องกาวฝาบน 126
5.13 ปัจจัยร่วมระหว่างระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาและความเร็วรางพับด้านซ้ายที่มีผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบน..... 127
5.14 ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วของเครื่องจักรและระยะเบี่ยงของรางพับด้านขวา..... 132
5.15 ปัจจัยร่วมระหว่างระยะเบี่ยงของรางพับด้านขวาและความเร็วรางพับด้านซ้าย..... 136
5.16 การทดสอบความเป็นปกติระยะห่างร่องกาวฝาล่างเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม... 140
5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม..... 141
5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม..... 142
5.19 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาล่าง..... 145
5.20 อันตรกิริยาของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อค่าเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาบน..... 146
5.21 ปัจจัยร่วมความเร็วเครื่องจักรกับระยะเบี่ยงรางพับขวามีต่อระยะร่องกาวฝาล่าง.... 151
5.22 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล..... 153
5.23 ความเป็นปกติข้อมูลระยะห่างร่องกาวฝาบนหลังปรับปรุง..... 154
5.24 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนหลังปรับปรุง..... 155
5.25 เปรียบเทียบการกระจายตัวค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนก่อนและหลังปรับปรุง..... 156

ภาพที่ หน้า

5.26 ความเป็นปกติข้อมูลระยะห่างร่องกาวฝาล่างหลังปรับปรุง..... 157
5.27 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างหลังปรับปรุง..... 158
5.28 เปรียบเทียบการกระจายตัวค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างก่อนและหลังปรับปรุง..... 159