

การปรับปรุงความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูก
ด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง



นายอลงกต กาญจนคช

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4006-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STRENGTH IMPROVEMENT OF CORRUGATED BOARD
BY AN EXPERIMENTAL DESIGN APPROACH



Mr. Alongkod Kanjanakoht

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2003

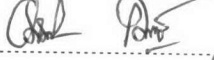
ISBN 974-17-4006-9

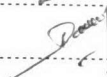
อลงกต กาญจนคช : การปรับปรุงความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกด้วยวิธีการ
ออกแบบการทดลอง (STRENGTH IMPROVEMENT OF CORRUGATED BOARD
BY AN EXPERIMENTAL DESIGN APPROACH) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดำรงค์ ทวีแสง
สกุลไทย , 186 หน้า. ISBN 974-17-4006-9.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในการผลิตกล่อง
กระดาษ โดยใช้ประยุกต์วิธีการออกแบบการทดลองเพื่อปรับปรุงค่าความสามารถในการต้านทานแรงกด
ลอนลูกฟูก (Flat Crush) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกที่มีความสำคัญมาก อีกทั้ง
ยังเป็นค่าสำคัญที่ลูกค้าใช้ในการตัดสินใจเลือกซื้อบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกที่นอกเหนือจากความ
สวยงามของการพิมพ์สีบนผิวกล่องด้านนอก จากการศึกษาสภาพการผลิตแผ่นลูกฟูกพบว่ามีรายละเอียด
และความซับซ้อนของกระบวนการค่อนข้างมาก โดยก่อนปรับปรุงกระบวนการมีค่าความสามารถในการ
ต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) เฉลี่ยที่ 891 kg/33.2cm² และมีค่าดัชนีความสามารถด้าน
สมรรถนะของกระบวนการแบบระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 0.63 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดี จึงสมควรที่จะ
ปรับปรุงให้สูงขึ้น

โดยขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัยจะมีการนำเครื่องมือต่างๆเข้ามาวิเคราะห์และกลั่นกรอง
ปัจจัย ก่อนที่จะไปทำการออกแบบการทดลองซึ่งประกอบด้วย แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and
Effect Diagram) ผังกลุ่มความคิด (Affinity Diagram) การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุและ
ผล (Cause and Effect Matrix) แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) การวิเคราะห์ระบบการวัด
(Measurement System Analysis) และการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Test) ตามลำดับและผลที่ได้
จากการวิเคราะห์เหลือปัจจัยทั้งหมด 9 ปัจจัย สำหรับนำไปออกแบบการทดลองเพื่อกรองปัจจัย
(Screening DOE) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบการทดลองเพื่อกรองปัจจัย พบว่า มีปัจจัยที่มี
นัยสำคัญแบบอันตรกิริยา 6 ปัจจัย รวมทั้งรูปแบบสมการมีลักษณะของส่วนโค้งเกิดขึ้น (Curvature) จึง
นำทั้ง 6 ปัจจัยดังกล่าวซึ่งประกอบด้วย สัดส่วนแป้งแห้งของSF(Solid Content of SF) สัดส่วนแป้งแห้ง
DF(Solid Content of DF) อัตราส่วนความเร็วลูกแบ่งกับลูกลอนล่างของDF(G/L Speed Ratio:DF)
แรงลมดูด (Suction Fan) ระยะห่างระหว่างลูกปาดกับลูกแบ่งของDF(Gap Glue Roll & Doctor Roll:
Double facer) และระยะการกดระหว่างลูกกลิ้งทับผ้าใบกับแผ่นความร้อน(Gap Weight Roll)ไปทำการ
ออกแบบการทดลองพื้นผิวตอบ (Response Surface Method) เพื่อหาการกำหนดค่าระดับของปัจจัยที่
เหมาะสมของทั้ง 6 ปัจจัย จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความสามารถในการต้านแรงกดลอนลูกฟูก (Flat
Crush) ที่เหมาะสมสูงสุดคือ 1165.22 kg/33.2 cm² แล้วทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองโดยการ
กำหนดค่าระดับของปัจจัยทั้ง 6 ปัจจัยตามที่วิเคราะห์ได้ ก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต

หลังจากการปรับปรุงกระบวนการโดยการกำหนดค่าระดับที่เหมาะสมของทั้ง 6 ปัจจัยแล้วพบว่า
มีค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) เฉลี่ยที่ 1102 kg/33.2cm² และค่า
ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 1.49 เพิ่มขึ้นจากเดิมก่อนการ
ปรับปรุง 0.86 นอกจากนี้ยังส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านแรงกดลอนลูกฟูก(Flat
Crush) สูงขึ้นด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต 

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ปีการศึกษา 2546 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4470726021: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: DESIGN OF EXPERIMENTAL / CORRUGATED BOARD / FRACTIONAL FACTORIAL DESIGN / RESPONSE SURFACE METHOD /

ALONGKOD KANJANAHOHT: STRENGTH IMPROVEMENT OF CORRUGATED BOARD BY AN EXPERIMENTAL DESIGN APPROACH. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. DAMRONG THAWESAENGSKULTHAI, 175 pp. ISBN 974-17-4006-9.

The objective of this research is to improve the strength of corrugated board using for producing of paper boxes. The research has applied design of experiment method to improve flat crush which is the most important strength index. Moreover, this value is the factor that customers use to make decision of buying paper boxes other than the perfect color printing on the outside surface of the paper boxes.

From the study of corrugated board production line, it is discovered that the process is very complex. The previous average flat crush value was $891 \text{ kg}/33.2\text{cm}^2$ and process capability C_{pk} was 0.63 which was very low. Many principles were employed in the research to analyze and screen factors before designing the experiment. Such principles are Cause-Effect Diagram, Affinity Diagram, Cause-Effect Matrix, Pareto Diagram, Measurement System Analysis and Hypothesis Testing respectively. The analysis result of the screening reduced to 9 factors used in designing the experiment by screening DOE method which has 2^{9-4} fractional factorial design model. The result shows that there are 6 significant interaction factors and curvature appears in the model. The result shows that there are 6 significant interaction factors namely Solid Content of SF, Solid Content of DF, G/L Speed Ratio: DF, Suction Fan, Gap Glue Roll & Doctor Roll: DF and Gap Weight Roll were used to design by Face-centered cube central composite design model in Response Surface technique. The result shows that optimum flat crush of this model at $1165 \text{ kg}/32 \text{ cm}^2$ can occur by setting 6 significant interaction factors. Finally, the test has been conducted to confirm the result before applying in production line.

After adjusting the process by setting optimum factors, it is discovered that average flat crush value was $1102 \text{ kg}/33.2\text{cm}^2$ C_{pk} increases to 1.49 which is higher than previous C_{pk} by 0.86. Moreover, the average flat crush measured from production line increases closed to the value that was calculated from the model.

Department..... INDUSTRIAL ENGINEERING

Concentration..... INDUSTRIAL ENGINEERING

Academic year 2003.....

Student's signature *Alongkod Kanjanakhoht*

Advisor's signature *Damrong Thawesaengskulthai*

Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อ รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ทวีแสงสกุลไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความรู้ทางทฤษฎี หลักการ ตลอดจนแนวทางการแก้ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำวิจัยอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเวชชาญสง่าเวช ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา และรองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เกาประเสริฐวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนผู้วิจัย นอกจากนี้ ขอขอบคุณ พี่น้อง เพื่อนนิสิต และทุกท่านที่มีได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยเสมอมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 บทนำ.....	1
1.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	10
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	10
1.5 แนวทางของการดำเนินการวิจัย.....	10
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	12
บทที่ 2 การสำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.2 การสำรวจทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	24
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	66
3.2 การศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน.....	69
3.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับ	
ตัวแปรตอบสนองของแผ่นกระดาษลูกฟูก.....	78
3.4 แผนภูมิพาเรโต.....	80
3.5 การวิเคราะห์ระบบการวัดของค่าความสามารถ	
ในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก.....	82

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.5 การวิเคราะห์ระบบการวัดของค่าความสามารถ ในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก.....	82
3.6 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ไม่น่าจะมีผล กระทบต่อความแข็งแรงของแผ่นกระดาดลูกฟูก.....	88
3.7 สรุปปัจจัยที่จะนำไปทำการออกแบบการทดลอง.....	110
บทที่ 4 การออกแบบการทดลอง	
4.1 การเลือกตัวแปรตอบสนอง.....	111
4.2 การออกแบบการทดลองเพื่อกรองปัจจัย.....	113
4.3 การออกแบบการทดลองเพื่อกำหนด ค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสม.....	127
บทที่ 5 การทดสอบยืนยันผล	
5.1 บทนำ.....	145
5.2 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล.....	145
5.3 การวิเคราะห์ผลการทดสอบการยืนยันผล.....	146
5.4 สรุปผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง.....	151
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
6.1 บทสรุปงานวิจัย.....	152
6.2 ข้อจำกัดในการดำเนินงานวิจัย.....	157
6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย.....	159
รายการอ้างอิง.....	160
บรรณานุกรม.....	163
ภาคผนวก.....	165
ภาคผนวก ก.....	166
ภาคผนวก ข.....	171
ภาคผนวก ค.....	178
ภาคผนวก ง.....	180
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	186

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ตารางแสดงการออกแบบการทดลองแบบ Fractional Factorial..... 14
2.2	ตารางแสดงการเปรียบเทียบจำนวนสิ่งตัวอย่างที่ต้องใช้ในการทำการทดลอง ระหว่าง OFAT กับ Full Factorial..... 18
3.1	ตารางแสดงส่วนทางการตลาดของผลิตภัณฑ์แผ่นกระดาษลูกฟูก (Product Life Cycle) 68
3.2	ตารางแสดงลำดับของความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ แบบระยะสั้น(Cpk)..... 73
3.3	ตารางแสดงค่าแนะนำสำหรับค่าที่ต่ำที่สุดของดัชนี (Cpk)..... 74
3.4	ตารางแสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนอง ของแผ่นกระดาษลูกฟูก..... 79
3.5	ตาราง ANOVA สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด..... 86
3.6	ตาราง ANOVA สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด เมื่ออิทธิพลร่วมไม่มีนัยสำคัญ..... 86
3.7	ค่าความผันแปรจากแหล่งต่างๆ ของระบบการวัด (Gage R&R) 87
3.8	ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวน ของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4 กับการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4 ส่วน ของลูกความร้อน..... 92
3.9	ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวน การต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4 กับการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4..... 93
3.10	ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่า ความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush)ที่มีแรง ลมดูด 400 mm.Aq.กับแรงลมดูด 500 mm.Aq..... 96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
3.11 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความ สามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq.กับแรงลมดูด 500 mm.Aq.....	98
3.12 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่า ความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก(Flat Crush)ที่มีระยะห่าง ของ Nip Roll 2 มิลลิเมตรกับไม่มีการกดของ Nip Roll.....	101
3.13 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่า ความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีระยะห่าง ของ Nip Roll 2 มิลลิเมตรกับไม่มีการกดของ Nip Roll.....	103
3.14 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่า ความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มี การพ่นน้ำของหัวฉีดกับที่มีการพ่นน้ำของหัวฉีด.....	106
3.15 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความ ความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มี การพ่นน้ำของหัวฉีดกับที่มีการพ่นน้ำของหัวฉีด.....	108
4.1 ตารางแสดงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะนำไปทำการทดลอง.....	113
4.2 ตารางแสดงผลการทดลองเพื่อกรองปัจจัย.....	115
4.3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง(Coded Units).....	123
4.4 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ ANOVAของการออกแบบการทดลอง (Coded Units).....	124
4.5 ตารางแสดงสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยของการออกแบบการทดลอง เพื่อกรองปัจจัย(Uncoded units).....	125
4.6 ตารางแสดงปัจจัยที่จะนำไปออกแบบการทดลอง แบบ Face-Centered Central Composite.....	127
4.7 ตารางแสดงผลการทดลองเพื่อกำหนดค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสม.....	129
4.8 ตารางแสดงผลจากการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Coded Units).....	135

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 ตาราง ANOVA แสดงผลจากการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Coded Units).....	136
4.10 ตารางแสดงสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยจาก การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Uncoded Units).....	137
4.11 ตารางแสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ.....	144
6.1 ตารางแสดงการเปรียบเทียบผลของกระบวนการก่อน และหลังการปรับปรุงกระบวนการ.....	156



คุนยวิทยทรพยากร
จุพาลงกรณมหาวิทยาฬย

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	บรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องกระดาษลูกฟูก..... 2
1.2	โครงสร้างองค์กร..... 3
1.3	ประเภทของแผ่นลูกฟูก..... 5
1.4	ชนิดของลอนลูกฟูก..... 5
1.5	กล่อง RSC (Regular Slotted Carton)..... 6
1.6	กล่อง HSC (Half Slotted Carton)..... 6
1.7	กล่องไดคัท..... 6
1.8	ส่วนประกอบกล่อง..... 6
1.9	แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิต..... 7
1.10	ขั้นตอนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก..... 8
1.11	ชนิดของกระดาษกราฟที่นำมาทำกล่องกระดาษลูกฟูก..... 9
1.12	เครื่องมือที่ใช้ในการกรองปัจจัยที่ส่งผลต่อผลลัพธ์ของกระบวนการ..... 12
2.1	แผนภาพพื้นผิวผลตอบของ BF โดยที่กำหนด D ไว้ที่ (ต่ำ)..... 15
2.2	แผนภาพพื้นผิวผลตอบที่เหมาะสมสำหรับ Polyurethane Particle Size..... 16
2.3	ผังแสดงโครงสร้างการออกแบบการทดลอง..... 16
2.4	แผนภาพสาเหตุและผล..... 25
2.5	ผังกลุ่มความคิด..... 26
2.6	แผนภาพ Cause and Effect Matrix..... 28
2.7	แผนภูมิพาเรโต..... 30
2.8	ความสม่ำเสมอและความแปรปรวนของกระบวนการ..... 33
2.9	การแบ่งโซนของแผนภูมิควบคุมตามส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน..... 36
2.10	ตัวอย่างของกฎ 1..... 36
2.11	ตัวอย่างของกฎ 2..... 36
2.12	ตัวอย่างของกฎ 3..... 37
2.13	ตัวอย่างของกฎ 4..... 37
2.14	ตัวอย่างของกฎ 5..... 38
2.15	ตัวอย่างของกฎ 6..... 38

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.16 ตัวอย่างของกฎ 7.....	38
2.17 ตัวอย่างของกฎ 8.....	39
2.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร.....	44
2.19 ตัวแบบถดถอย (Regression Plot)	46
2.20 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเหลือและลำดับของข้อมูล.....	47
2.21 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเหลือ และลำดับของข้อมูล(ฮีสโตแกรม).....	48
2.22 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเหลือและลำดับ ของข้อมูล(Normal Probability Plot).....	48
2.23 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยเหลือและค่า Fitted value.....	49
2.24 การแจกแจงของตัวสถิติภายใต้ H0 และ H1.....	50
2.25 องค์ประกอบของกระบวนการหรือระบบที่เกี่ยวข้องกับการ ออกแบบการทดลอง.....	53
2.26 ตัวแปรตอบสนองที่มีผลจาก Main Effect.....	58
2.27 ตัวแปรตอบสนองที่มีผลจาก Interaction Effect.....	58
2.28 การทดลองที่ตามมาที่เป็นไปได้หลังจากการออกแบบการทดลอง เศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล.....	61
2.29 กราฟโครงร่างและพื้นผิวผลตอบ.....	63
2.30 Face-Center Cube	65
3.1 ปริมาณการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก.....	67
3.2 ความต้องการทางการตลาด.....	67
3.3 ปริมาณการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกชนิดต่างๆ.....	68
3.4 ส่วนประกอบของเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก.....	70
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าความสามารถในการต้านทาน แรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush Resistance).....	71
3.6 การแปลงรูปข้อมูลโดยวิธี Box-Cox (The Box-Cox Transforms Method)	71
3.7 การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Checking)	72
3.8 ความสามารถของกระบวนการผลิต (Process Capability)	73

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Checking)	72
3.8 ความสามารถของกระบวนการผลิต (Process Capability)	73
3.9 แผนภาพสาเหตุและผล(Cause & Effect Diagram) ของกระบวนการผลิต แผ่นกระดาษลูกฟูก	75
3.10 แผนภาพสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) ของกระบวนการผลิต แผ่นกระดาษลูกฟูก(รายละเอียด).....	76
3.11 ผังกลุ่มความคิด (Affinity Diagram) ของ กระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก.....	77
3.12 แผนภูมิพาเรโต.....	80
3.13 ภาพเครื่องมือวัดค่าความสามารถในการต้านทาน แรงกดลอนลูกฟูก (Crush Tester).....	83
3.14 ภาพของ CIRCULAR CUTTER และแผ่นกระดาษลูกฟูกวงกลม พื้นที่หน้าตัด 33.2 cm ² สำหรับทดสอบค่าความสามารถ ในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush).....	83
3.15 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด.....	85
3.16 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของ d/s ที่ใช้ในการคำนวณสิ่งตัวอย่าง.....	89
3.17 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush)ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4.....	90
3.18 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4 ส่วนของลูกความร้อน.....	91
3.19 กราฟความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการ ต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4กับการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4 ส่วนของลูกความร้อน.....	92
3.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทาน แรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4 กับการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4.....	94
3.21 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq.....	95

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.22 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 500 mm.Aq.....	95
3.23 กราฟความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq. กับแรงลมดูด 500 mm.Aq.....	97
3.24 กราฟความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq.กับแรงลมดูด 500 mm.Aq.....	99
3.25 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีระยะห่างของ Nip Roll 2 มิลลิเมตร.....	100
3.26 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการกดของ Nip Roll.....	100
3.27 กราฟความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีระยะห่างของ Nip Roll 2 มิลลิเมตรกับไม่มีการกดของ Nip Roll.....	102
3.28 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีระยะห่างของ Nip Roll 2 มิลลิเมตรกับไม่มีการกดของ Nip Roll.....	104
3.29 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการพ่นน้ำของหัวฉีด.....	105
3.30 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการพ่นน้ำของหัวฉีด.....	105
3.31 กราฟความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการพ่นน้ำของหัวฉีด กับมีการพ่นน้ำของหัวฉีด.....	107

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.32 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทาน ต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการพ่นน้ำของหัวฉีด กับมีการพ่นน้ำของหัวฉีด.....	109
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการต้านทาน แรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) และ ค่าความสามารถในการรับน้ำหนัก ของลอนลูกฟูก (Edge Crush).....	112
4.2 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าความสามารถในการต้านทาน แรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) จากการออกแบบการทดลอง เพื่อการรองรับจัย.....	116
4.3 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง.....	117
4.4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล.....	118
4.5 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟัด.....	119
4.6 กราฟ Normal Probability Plot แสดงปัจจัยหลัก และอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ.....	120
4.7 แผนภูมิพาเรโต แสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ.....	120
4.8 แสดงภาพผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง.....	121
4.9 ภาพอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง.....	121
4.10 ภาพข้อมูลที่ได้จากการทดลอง.....	122
4.11 แผนภูมิแสดงสถิติเชิงพรรณนาของค่าความสามารถใน การต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) จากการออกแบบการทดลอง เพื่อกำหนดค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสม.....	131
4.12 กราฟแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง.....	132
4.13 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของข้อมูล.....	133
4.14 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟัด.....	134
4.15 กราฟพื้นผิวผลตอบและกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย Solid Content (SF) กับ Gap Weight Roll.....	139
4.16 กราฟพื้นผิวผลตอบและกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย Solid Content(SF) กับ G/L Speed Ratio.....	139

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 กราฟพื้นผิวผลตอบและกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย Solid Content (SF) กับ Glue Gap :DF.....	139
4.18 กราฟพื้นผิวผลตอบและกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย Solid Content (SF) กับ Suction Fan.....	140
4.19 กราฟพื้นผิวผลตอบและกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย Solid Content (SF) กับ Solid Content (DF).....	140
4.20 กราฟพื้นผิวผลตอบและกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย Suction Fan กับ Glue Gap:DF.....	140
4.21 กราฟพื้นผิวผลตอบและกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย Solid Content (DF) กับ Gap Weight Roll.....	141
4.22 กราฟพื้นผิวผลตอบและกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย Solid Content (DF) และ G/L Speed Ratio.....	141
4.23 กราฟพื้นผิวผลตอบและกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย Solid Content (DF) กับGlue Gap:DF	141
4.24 กราฟพื้นผิวผลตอบและกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย Solid Content (DF) กับ Suction Fan.....	142
4.25 กราฟพื้นผิวผลตอบและกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย G/L Speed Ratio กับGap Weight Roll	142
4.26 กราฟพื้นผิวผลตอบและกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย Glue Gap:DF กับ Gap weight Roll.....	142
4.27 กราฟพื้นผิวผลตอบและกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย Glue Gap:DF กับ G/L Speed Ratio.....	143
4.28 กราฟพื้นผิวผลตอบและกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย Suction Fan กับ Gap Weight Roll.....	143
4.29 กราฟพื้นผิวผลตอบและกราฟโครงร่างระหว่างปัจจัย Suction Fan กับ G/L Speed Ratio.....	143

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.30 ผลการวิเคราะห์ระดับปัจจัยที่เหมาะสมของทั้ง 6 ปัจจัย.....	144
5.1 แสดงผลลัพธ์ทางสถิติเบื้องต้นของค่าความสามารถในการต้านทาน แรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) หลังจากการทดสอบยึนยั้นผล.....	146
5.2 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทาน แรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) หลังจากการทดสอบยึนยั้นผล.....	147
5.3 แสดงการแปลงรูปข้อมูลโดยวิธี Box-Cox ของค่าความสามารถ ในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูกหลังจากการทดสอบยึนยั้นผล.....	148
5.4 กราฟนอร์มัลพล็อตหลังจากการแปลงรูปข้อมูลโดยวิธี Box-Cox ของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก.....	148
5.5 แสดงการทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการ สำหรับค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก.....	149
5.6 กราฟการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต แผ่นกระดาษลูกฟูกของการทดสอบการยึนยั้นผลของการทดลอง.....	150
6.1 กราฟการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต แผ่นกระดาษลูกฟูกก่อนการปรับปรุงกระบวนการ.....	155
6.2 กราฟการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต แผ่นกระดาษลูกฟูกหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ.....	156

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย