การออกแบบการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก

นางสาวปาริชาติ นาทะสัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DESIGN OF EXPERIMENT FOR ANALYZING FACTORS IN CORRUGATED BOX PRODUCTION PROCESS

Miss Parichart Natasan

ศูนย์วิทยทรัพยากร
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 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)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

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 ซึ่งผลหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวของฝาบนและฝาล่างมีค่าเป็น 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 จิตรา รู้กิจการพานิช

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.

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 ปาริชาต นฐะสัน

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 และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัย

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

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งผู้ที่เกียวข้องทุกท่านที่มิได้กล่าวไว้ใน ณ ที่นี้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 งานวิจัยที่เกียวข้อง.....	36
	2.5.1 งานวิจัยที่เกียวข้องกับการค้นหาปัจจัย.....	36
	2.5.2 งานวิจัยที่เกียวข้องกับการออกแบบการทดลอง.....	38
3	ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา.....	41
	3.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด.....	41
	3.1.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด.....	42
	3.1.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของผลการทดลอง.....	45
	3.2 การศึกษากระบวนการผลิตและเครื่องจักรที่เกียวข้อง.....	48
	3.2.1 ผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกและเครื่องจักรที่เกียวข้อง.....	48
	3.2.2 การศึกษากระบวนการผลิตในการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก.....	49
	3.3 การค้นหาปัจจัยที่เกียวข้อง.....	52
	3.3.1 การค้นหาปัจจัยที่เกียวข้อง.....	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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆ พยามยามพัฒนาองค์กรโดยเป็นเรื่องคุณภาพของผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก เนื่องด้วยภาวะการแข่งขันในตลาดอุตสาหกรรมที่ค่อนข้างสูง เพื่อความอยู่รอดขององค์กร สิ่งที่สำคัญที่ต้องพัฒนาและปรับตัวอยู่เสมอเพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจในคุณภาพที่ดีของสินค้าและการบริการลูกค้า ดังนั้นโรงงานกรณีศึกษาจำเป็นต้องเน้นคุณภาพของสินค้าเป็นอย่างมาก เพื่อนำไปสู่ความยังยืนขององค์กร

โรงงานกรณีศึกษาผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกที่ใช้สำหรับสินค้าอุปโภคบริโภคในชีวิตประจำวัน ได้แก่ สินค้าประเภทอาหาร เครื่องใช้ไฟฟ้า เฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น สำหรับผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกนั้น คุณภาพของระยะห่างร่องกาวเป็นอีกหนึ่งคุณสมบัติที่มีความสำคัญ เนื่องจากในกระบวนการผลิตนั้น พบว่าเกิดของเสียขึ้นในกระบวนการผลิตเป็นประจำ จึงทำให้มีปริมาณของเสียที่ต้องนำมาซ่อมแซมแก้ไขใหม่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดความสูญเสียทั้งในแง่เวลาสูญเปล่า ค่าใช้จ่ายแรงงาน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์ดังกล่าวให้ดีขึ้น โดยหาปัจจัยที่มีผลต่อระยะห่างร่องกาว และระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อให้ค่าระยะห่างของร่องกาวมีค่าใกล้เคียงค่าเป้าหมายตามที่กำหนดไว้ โดยนำเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ด้วย

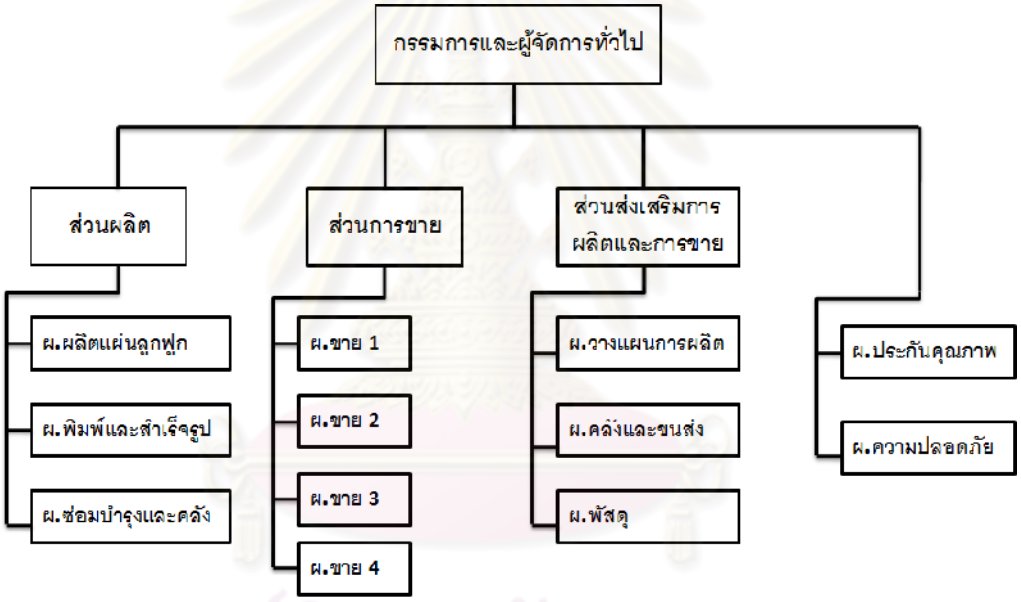
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 ข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องกระดาษลูกฟูก โดยมีทุนจดทะเบียน 100 ล้านบาท มีกำลังการผลิต 100,000 ตันต่อปี โรงงานกรณีศึกษามีความมุ่งมั่นในการพัฒนาคุณภาพอย่างต่อเนื่อง จึงได้รับการรองรับมาตรฐานสากลต่างๆอีกด้วย และในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษาได้เน้นการให้ความสำคัญในการวางแผนงานเรื่องความรับผิดชอบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม โดยจัดกิจกรรมต่างๆในชุมชนใกล้เคียง

1.1.1 โครงสร้างองค์กร (Organization)

บริษัทได้จัดแบ่งความรับผิดชอบการบริหารงานของหน่วยงานต่างๆ โดยมีกรรมการและผู้จัดการทั่วไป เป็นผู้รับผิดชอบในการบริหารและควบคุมการดำเนินงานของบริษัท



รูปที่ 1.1 โครงสร้างองค์กรของโรงงานกรณีศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1.2 ผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา

ลักษณะผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา แบ่งออกเป็น 2 ชนิดดังนี้

1.1.2.1 แผ่นกระดาษลูกฟูก

นำกระดาษคราฟท์ม้วนที่รับมาจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ ซึ่งชนิดของกระดาษคราฟท์ที่นำมาใช้ทำกล่องกระดาษลูกฟูก มี 4 ประเภท ดังนี้

- กระดาษคราฟท์ KF เป็นผิวกระดาษสีน้ำตาล มีความแข็งแรงปานกลาง มีความหนาตั้งแต่ 125-185 g/m^2
- กระดาษคราฟท์ KI เป็นผิวกระดาษสีน้ำตาลอ่อน มีความแข็งแรงปานกลาง มีความหนาตั้งแต่ 125-185 g/m^2
- กระดาษคราฟท์ KA เป็นผิวกระดาษสีน้ำตาลออกส้ม มีความแข็งแรงสูง เนื้อแน่น พิมพ์ได้สีสดกว่า มีความหนาตั้งแต่ 125-230 g/m^2
- กระดาษคราฟท์ KS เป็นผิวกระดาษสีขาว สามารถใช้กับงานพิมพ์สีทีซับซ้อนได้ดี เนื้อกระดาษคุณภาพสูง มีความหนาประมาณ 170 g/m^2

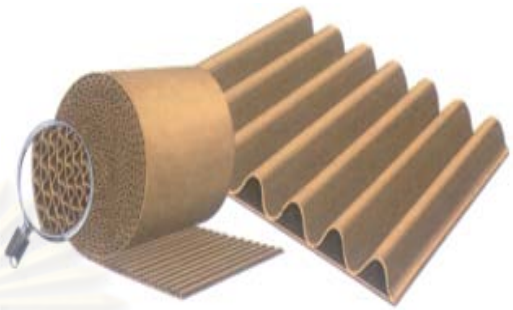
นำกระดาษมาทำการผลิตเป็นลอนและปะกระดาษแผ่นเรียบ ซึ่งลักษณะลอนลูกฟูกก่อนนำมาขึ้นรูปกล่องกระดาษ แบ่งตามขนาดของลอน 3 ประเภท ดังนี้

- ลอน B ความสูงประมาณ 2.4 มิลลิเมตร และจำนวนประมาณ 170 ลอนต่อเมตร
- ลอน C ความสูงประมาณ 3.6 มิลลิเมตร และจำนวนประมาณ 140 ลอนต่อเมตร
- ลอน BC เป็นลอนที่มี ลอน B และ ลอน C ประกบกัน 2 ชั้น สูงประมาณ 6.0 มิลลิเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึงผลิตภัณฑ์แผ่นกระดาษลูกฟูกแบ่งประเภทตามลักษณะโครงสร้างการประกอบชั้นออกเป็น 3 แบบดังนี้

ตารางที่1.1 ลักษณะโครงสร้างการประกอบชั้นของกระดาษลูกฟูก

1) **กระดาษลูกฟูกโชว์ลอน** (Single Faced) คือ กระดาษบุผิวเพียงแผ่นเดียว ผนึกกับลอนลูกฟูก 1 แผ่น ซึงกระดาษสามารถม้วนงอได้	
2) **แผ่นกระดาษลูกฟูก 1 ชั้น** (Single Wall) คือ กระดาษบุผิวสองแผ่นประกบบน-ล่าง โดยมีลอนลูกฟูกอยู่ตรงกลาง 1 แผ่น มีความแข็งแรงมาก และเป็นกระดาษมาตรฐานที่ใช้ผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกทั่วไป	
3) **แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้น** (Double Wall) คือ กระดาษบุผิวสามแผ่นประกบคั่นระหว่างลอนลูกฟูกอยู่ตรงกลาง 2 แผ่น มีความแข็งแรงมากเป็นพิเศษ	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

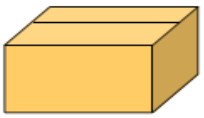
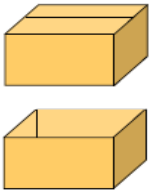
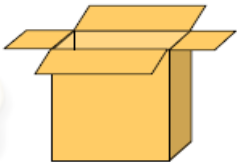
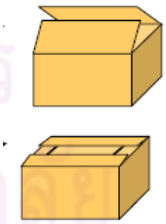
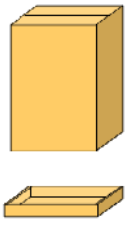
1.1.2.2 **กล่องกระดาษลูกฟูก**

นำกระดาษลูกฟูกที่ประกบลอนเรียบร้อยมาทำการขึ้นรูปเป็นตัวกล่องผลิตภัณฑ์ กล่องกระดาษลูกฟูกแบ่งประเภทตามลักษณะกล่องกระดาษลูกฟูกออกเป็น 3 แบบดังนี้

1) **กล่องแบบมีร่องสล๊อต** (Slotted Containers)

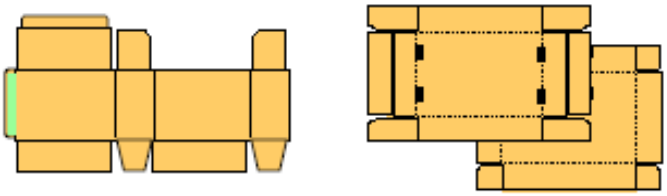
เป็นกล่องที่มีรูปทรงมาตรฐานกล่องกระดาษลูกฟูกทั่วไป

ตารางที่ 1.2 ลักษณะผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกแบบมีร่องสล๊อต

กล่องแบบมีร่องสล๊อต	กล่องกระดาษที่ขึ้นรูป
อาร์ เอส ซี (RSC / Regular Slotted Container) เป็นกล่องที่ฝามีความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของด้านกว้าง และฝาทุกฝามีความสูงเท่ากัน ประกอบเป็นตัวกล่องชิ้นเดียวกัน	
เอช เอส ซี (HSC / Half Slotted Container) เป็นกล่องที่มีฝาเพียงด้านเดียว โดยตัวกล่องแยกออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน คือส่วนตัวกล่องและส่วนฝาครอบ	
ฟูลโอเวอร์แลป (FOL / Full Overlap) เป็นกล่องที่มีขนาดของฝาเท่ากับด้านกว้าง ส่วนใหญ่มักเป็นกล่องที่มีความกว้างน้อย	
พาเชียล โอเวอร์แลป (Partial Overlap Slotted Container) เป็นกล่องที่มีขนาดของฝาไม่เท่ากับครึ่งหนึ่งของด้านกว้าง ซึ่งอาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่าก็ได้ แต่ฝาทั้ง 4 มีขนาดเท่ากัน	
กล่องเทเลสโคป (Telescope) จะใช้เรียกลักษณะกล่องที่มีโดยตัวกล่องแยกออกเป็นสองส่วนไม่เท่ากัน คือส่วนตัวกล่องและส่วนฝาครอบ	

2) **กล่องแบบมีร่องสล๊อต** (Slotted Containers)

เป็นกล่องที่ไม่มีรูปทรงมาตรฐาน ขึ้นอยู่กับการออกแบบในการขึ้นรูป



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างประเภทกล่องไดคัท

3) **ส่วนประกอบกล่อง** (Accessories)

ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรง และป้องกันการกระแทกของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ภายในกล่อง เช่นไส้ฟัน, แผ่นรอง, แผ่นบุข้าง

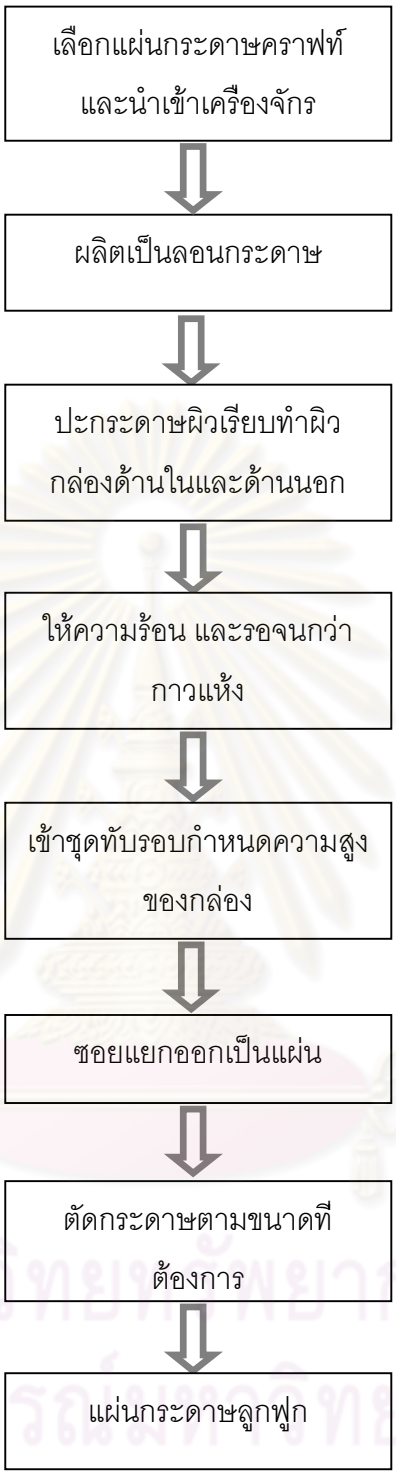
รูปที่ 1.3 ตัวอย่างประเภทส่วนประกอบของกล่อง

1.1.3 กระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก

กระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

1) **การผลิตแผ่นลูกฟูก**

นำกระดาษคราฟท์ม้วนใหญ่ป้อนเข้าเครื่องจักรผลิตลอนกระดาษ และปะกระดาษทำผิวกล่องด้านใน จากนั้นจึงนำมาปะกระดาษทำผิวกล่องด้านนอกผ่านชุดให้ความร้อนเพื่อให้กาวแห้ง ผ่านเข้าสู่ชุดทับรอยด้านความสูงกล่องและซอยแยกแผ่น แล้วจึงทำการตัดออกเป็นแผ่นตามความยาวที่ต้องการ มีขั้นตอนดังรูปที่ 1.4

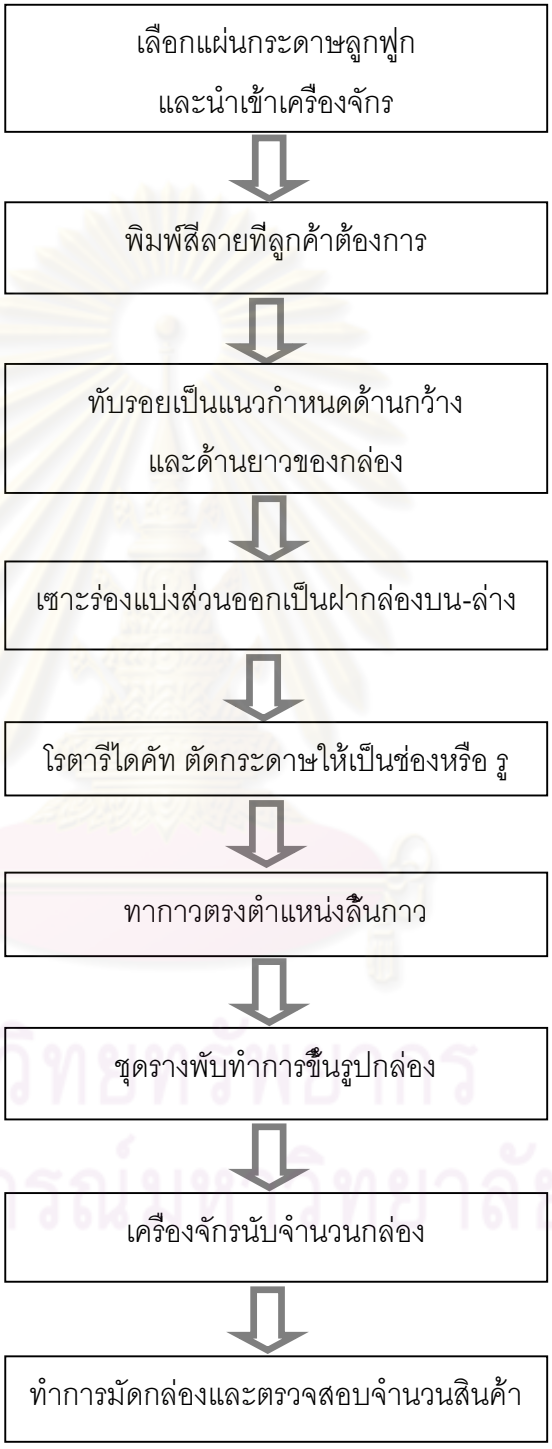


รูปที่ 1.4 ขั้นตอนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) **การขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก**

นำแผ่นกระดาษลูกฟูก เข้าเครื่องจักรเพื่อทำหน้าที่พิมพ์ลวดลายลงบนกล่องกระดาษลูกฟูก จากนั้นจึงตัวเครื่องส่งไปขึ้นรูปเป็นตัวกล่อง มีขั้นตอนดังรูปที่ 1.5



รูปที่ 1.5 ขั้นตอนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก

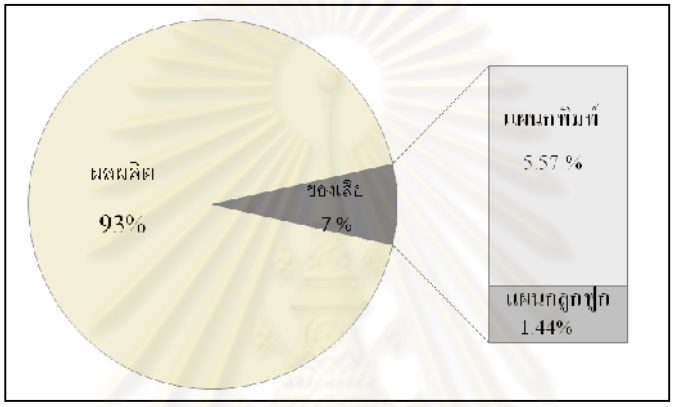
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

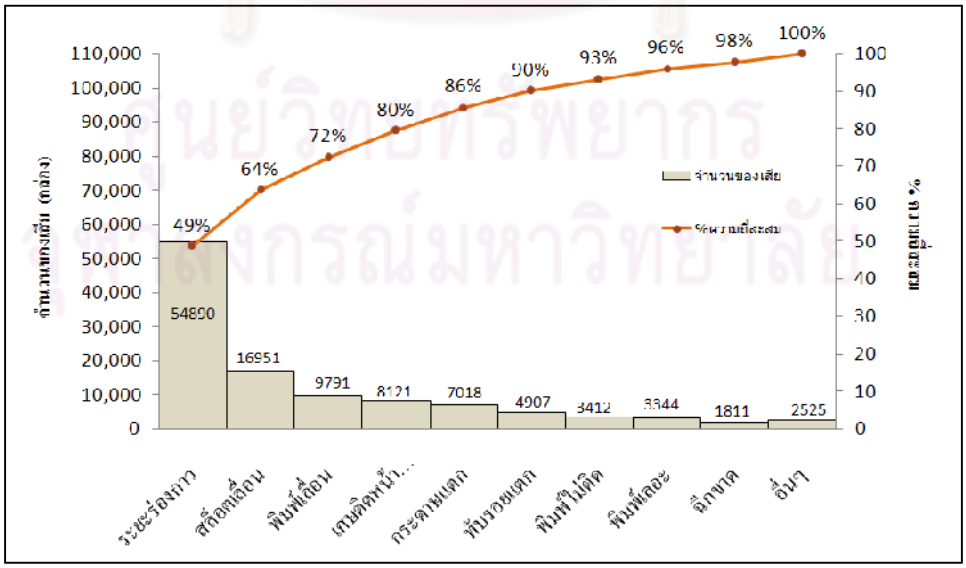
1.2.1 สภาพปัญหาที่พบ

ในส่วนผลผลิตของโรงงานกรณีศึกษาประกอบด้วย แผนกผลิตกระดาษลูกฟูก และแผนกพิมพ์สำเร็จรูป จากข้อมูลในปี 2551 ดังรูปที่ 1.6 พบว่าผลผลิตที่ได้คิดเป็น 93% และของเสียคิดเป็น 7% ซึ่งของเสียนั้นแบ่งออกเป็นของเสียแผนกพิมพ์โดยเฉลี่ยคิดเป็น 5.57% และของเสียจากแผนกลูกฟูกเกิดขึ้นโดยเฉลี่ยคิดเป็น 1.44 % ดังนั้นจึงพิจารณาเพียงของเสียที่เกิดขึ้นจากแผนกพิมพ์เท่านั้น ซึ่งของเสียในแผนกพิมพ์ดังกล่าวส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น



รูปที่ 1.6 สัดส่วนการผลิตในปี 2551

จากข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม-มีนาคม 2552 พบว่าประเภทของเสียที่เกิดขึ้นในแผนกพิมพ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูกของเครื่องจักร B ประเภท Flexo Folder Gluler พบว่าประเภทของเสียที่มากที่สุดคือปัญหาระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด ประมาณ 49% ของชิ้นงานเสียทั้งหมด ดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 ประเภทของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกแผนกพิมพ์

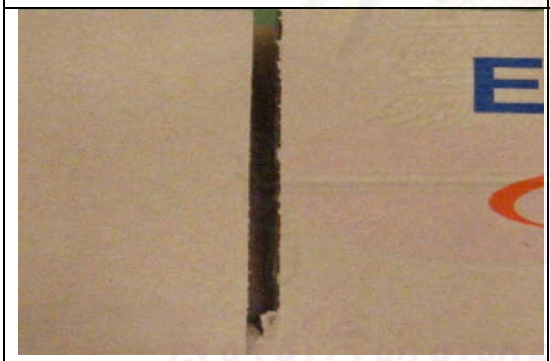
จากตารางที่ 1.3 เป็นข้อมูลการสรุปยอดรวมของเสียประเภทต่างๆที่เกิดขึ้นในแผนกพิมพ์เป็นกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก ของเครื่องจักร B ประเภท Flexo Folder Gluler ซึ่งของเสียที่มีระยะร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนดนั้น มีจำนวน 54,890 กล่อง จากปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมด 112,770 กล่อง เนื่องจากปัญหาระยะร่องกาวมีจำนวนของเสียสูงสุด จากสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นนั้น จึงมุ่งเน้นการปรับปรุงปัญหาร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด

ตารางที่ 1.3 ข้อมูลของเสียเดือนมกราคม-มีนาคม 2552

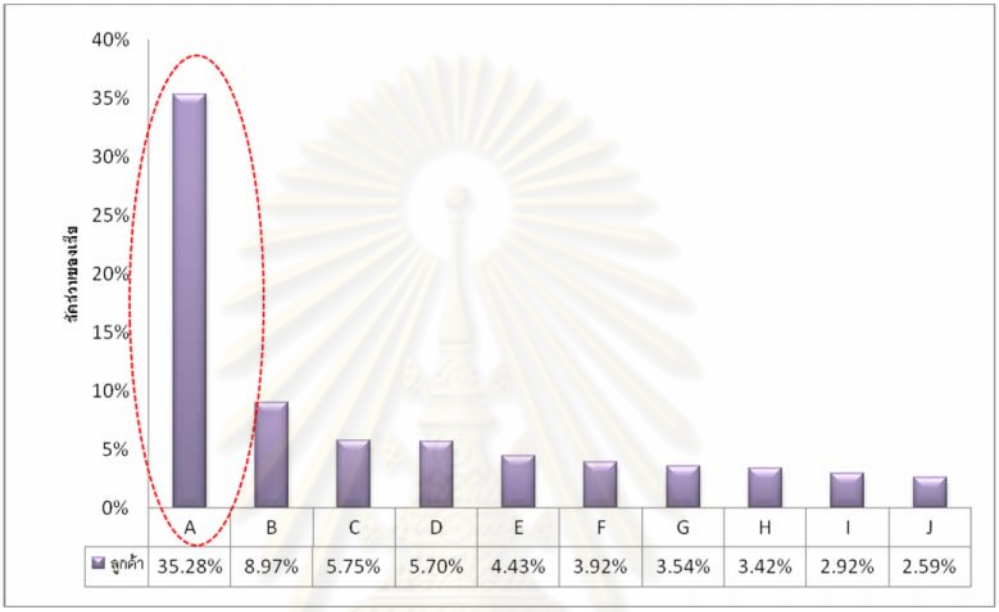
ปัญหาที่พบ	**จำนวนของเสีย (กล่อง)**	**เปอร์เซ็นต์ของเสียทั้งหมด (%)**
ระยะร่องกาวไม่ได้ตามที่กำหนด	54,890	48.67
สล็อตเลื่อน	16,951	15.03
พิมพ์เลื่อน	9,791	8.68
เศษติดหน้าบล็อก	8,121	7.20
กระดาษแตก	7,018	6.22
ทับรอยแตก	4,907	4.35
กระดาษพิมพ์ไม่ติด	3,412	3.03
กระดาษพิมพ์เลอะ	3,344	2.97
กระดาษฉีกขาด	1,811	1.61
ขอบแตก	676	0.60
เครื่องจักรไม่ได้ปล่อยกาว	673	0.60
กระดาษมีจุดขีดดำ	430	0.38
กระดาษเลอะน้ำมัน	426	0.38
สีพิมพ์ไม่สม่ำเสมอ	175	0.16
กาวติดระหว่างใบ	123	0.11
ตัดสล็อตสูง	11	0.01
กาวไม่เต็มหน้า	11	0.01

ในการควบคุมคุณภาพระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนดนั้น จัดเป็นปัญหาเรื้อรังที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตมาเป็นเวลานาน อาจจะมีหลากหลายปัจจัยที่เป็นสาเหตุในกระบวนการผลิต ซึ่งการทำงานในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานที่แน่นอน อาศัยประสบการณ์ และความชำนาญของผู้ปฏิบัติการในการปรับตั้งเครื่องจักร จึงทำให้เกิดของเสียประเภทดังกล่าวเสมอ ดังตารางที่ 1.4 ซึ่งกล่องกระดาษลูกฟูกที่เสียจะถูกนำมาแก้ไขงานใหม่ โดยให้พนักงานทำการแกะกล่องด้านที่ทากาวออก และนำไปปะกาวใหม่ให้ได้ระยะห่างร่องกาวตามมาตรฐานที่กำหนด เกิดความสูญเปล่า คือ ค่าใช้จ่ายแรงงานในการซ่อมแซม เวลาสูญเปล่า

ตารางที่ 1.4 ลักษณะชิ้นงานของปัญหาระยะห่างร่องกาว

	ระยะห่างร่องกาว น้อยกว่า 2 มิลลิเมตร ชิ้นงานแคบเกินไป เมื่อพับกล่องกระดาษลูกฟูก จะส่งผลให้ฝาเกยกัน ทำให้กล่องขึ้นรูปยาก และมิติภายในลดลง
	ระยะห่างร่องกาว ระหว่าง 2-10 มิลลิเมตร หรืออยู่ในเกณฑ์เท่ากับ 6±4 มิลลิเมตร
	ระยะห่างร่องกาวมากกว่า 10 มิลลิเมตร ชิ้นงานกว้างเกินไป เมื่อพับกล่องกระดาษลูกฟูก จะส่งผลให้ฝาห่างกัน จะทำให้มุมกล่องป็นรู แมลง ฝุ่น อาจเข้าไปในสินค้าได้

จากรูปที่ 1.8 ของเสียประเภทระยะห่างของร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนดนั้น เกิดขึ้นในแต่ละผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลระหว่างเดือนมกราคม-มีนาคม 2552 ผลิตภัณฑ์ รหัส A ที่เครื่องจักร B ประเภท Flexo Folder Gluler ทำการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก พบว่าของเสียประเภทระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนดมีจำนวนมากที่สุด จึงเลือกผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมาทำการทดลองเพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นในการแก้ไขปัญหาระยะห่างร่องกาวให้ใกล้เคียงที่กำหนดมากขึ้น จึงทำการเก็บตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป



รูปที่ 1.8 ของเสียประเภทร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนดของผลิตภัณฑ์ต่าง

1.2.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติของสภาพปัญหาที่พบ

ทำการเก็บตัวอย่างผลิตภัณฑ์ รหัส A ในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูกที่เครื่องจักร B ประเภท Flexo Folder Gluler จากนั้นทำการวัดค่าระยะห่างร่องกาวทั้งฝาบน และฝาล่างของกล่องกระดาษลูกฟูก เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติก่อนการปรับปรุงต่อไป

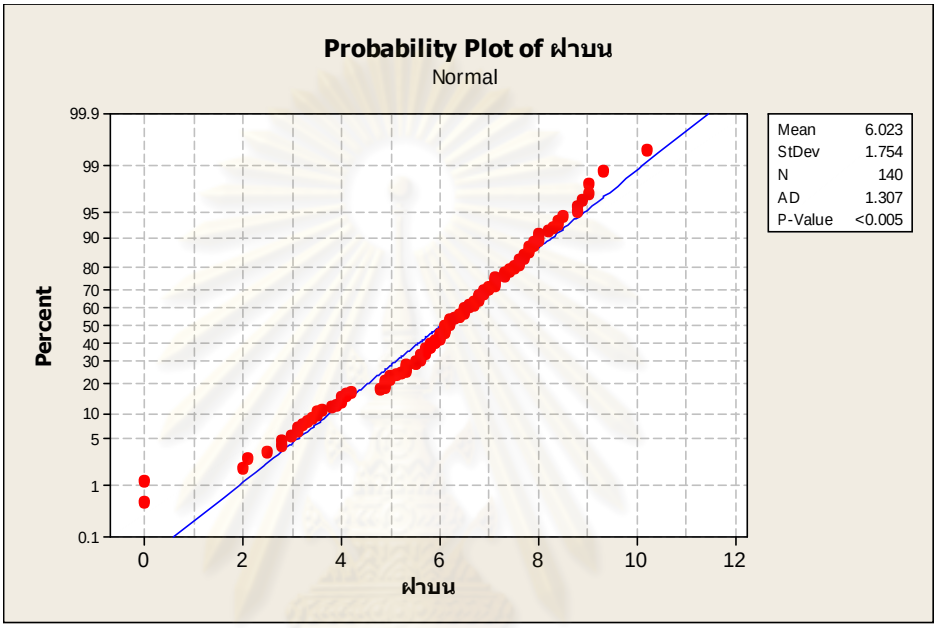
1.2.2.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติของค่าระยะห่างร่องกาวของฝาบนก่อนปรับปรุง

วิธีการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) เป็นการทดสอบว่าข้อมูลที่เก็บตัวอย่างของค่าระยะห่างร่องกาวของฝาบน จะมีการกระจายแบบปกติหรือไม่ โดยในทดสอบจะใช้โปรแกรม minitab สำหรับการวิเคราะห์ผลทางสถิติ จะให้ค่า P-Value ซึ่งเป็นการสรุปผลการทดสอบสมมติฐานที่ว่า

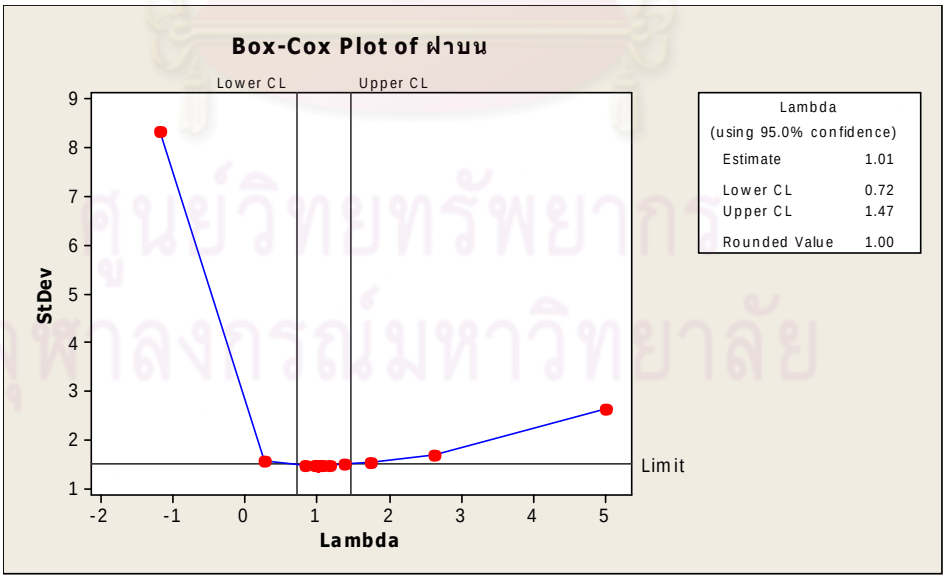
H_0 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

H_a : ข้อมูลไม่เป็นการกระจายแบบปกติ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าระยะห่างร่องกาวของฝาบน ข้อมูลมีการกระจายตัวไม่เป็นแบบปกติ ดังรูปที่ 1.9 เนื่องจากผลการตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลระยะห่างร่องกาวในส่วนฝาบน เนื่องจากค่า P-Value < α (0.05) จะสรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐาน H_0 กล่าวคือ ข้อมูลไม่เป็นการกระจายแบบปกติ จึงทำการแปลงรูปข้อมูลด้วยวิธี Box-Cox (The Box-Cox Transforms Method) ด้วยค่า λ= 1.05 ดังรูปที่ 1.9

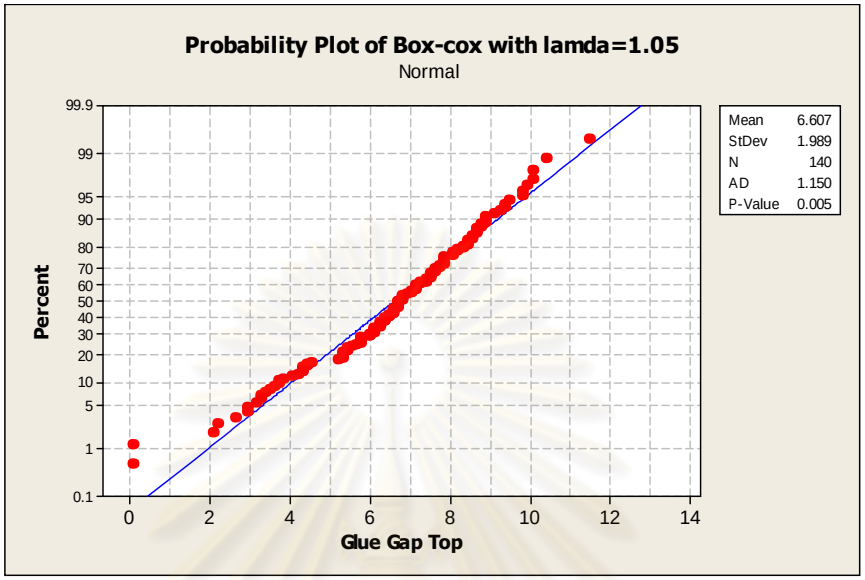


รูปที่ 1.9 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนก่อนปรับปรุง



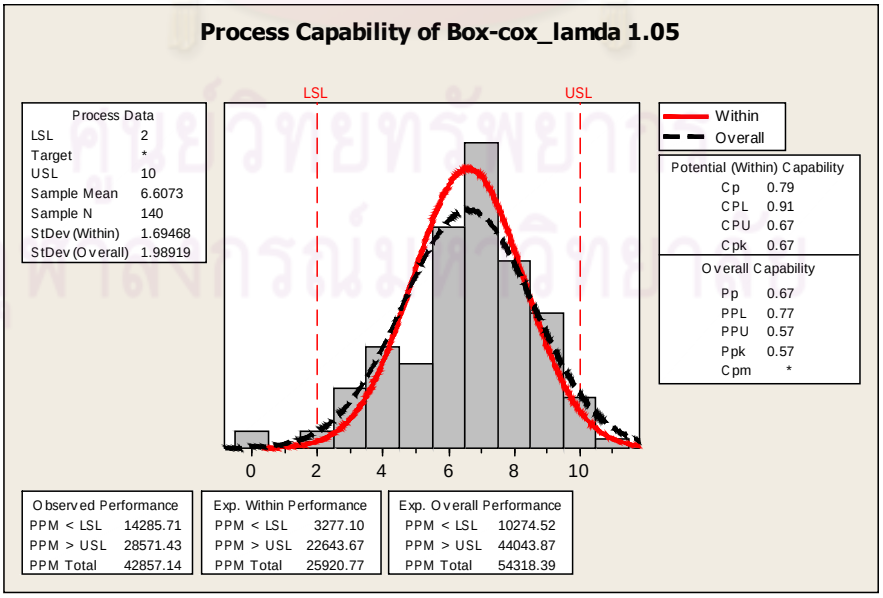
รูปที่ 1.10 การแปลงข้อมูลระยะห่างร่องกาวฝาบนโดยวิธี Box-Cox

แล้วตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลอีกครั้ง จากรูปที่ 1.11 พบว่าข้อมูลมีการกระจายแบบปกติด้วยค่า P-value เท่ากับ 0.05 ดังนั้น ลักษณะข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ จึงสามารถวิเคราะห์ผลทางสถิติต่อไป



รูปที่ 1.11 การทดสอบความเป็นปกติระยะห่างร่องกาวฝาบนจากการแปลงข้อมูลวิธี Box-Cox

จากผลการทดสอบทางสถิติ ดังรูปที่ 1.12 พบว่าค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวของฝาบนมีค่าเฉลียเท่ากับ 6.61±1.69 มิลลิเมตร และ ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 0.67 แสดงให้เห็นว่าความสามารถของกระบวนการในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกมีค่าน้อย ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่แย่ และควรปรับปรุงให้มีความเหมาะสม สำหรับเกณฑ์ความสามารถของกระบวนการมีความสามารถอยู่ในเกณฑ์ดี $C_{pk} \geq 1.33$



รูปที่ 1.12 ผลการทดสอบทางสถิติเบื้องต้นของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนก่อนปรับปรุง

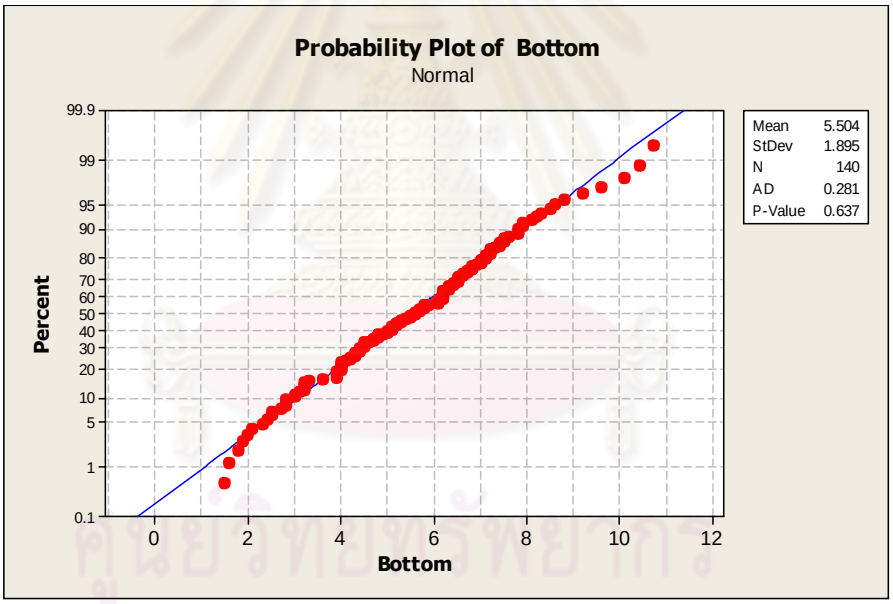
1.2.2.2 วิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติของค่าระยะห่างร่องกาวของฝาล่างก่อนปรับปรุง

วิธีการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Test) เป็นการทดสอบว่าข้อมูลที่เก็บตัวอย่างของค่าระยะห่างร่องกาวของฝาล่าง จะมีการกระจายแบบปกติหรือไม่ โดยในทดสอบจะใช้โปรแกรม minitab สำหรับการวิเคราะห์ผลทางสถิติ จะให้ค่า P-Value ซึ่งเป็นการสรุปผลการทดสอบสมมติฐานที่ว่า

H_0 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

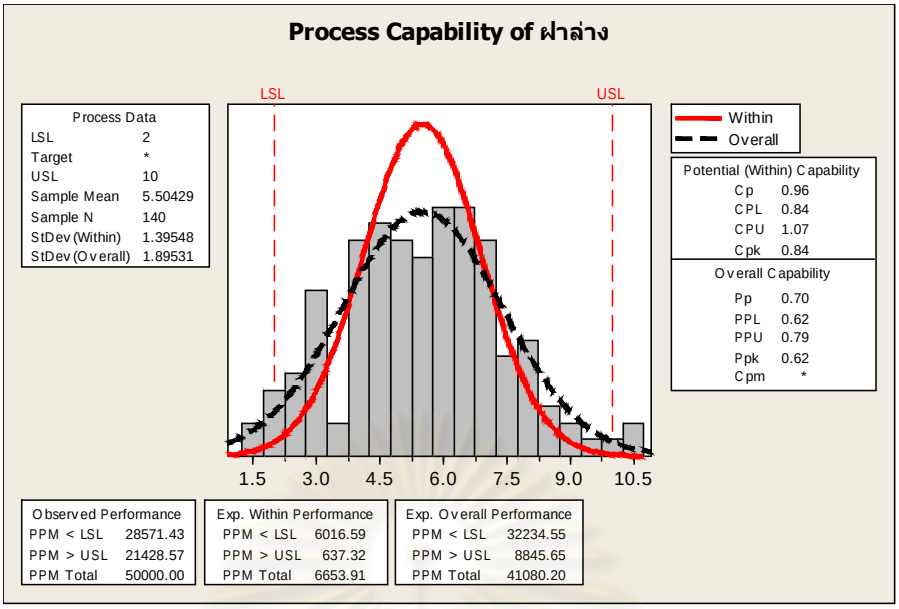
H_a : ข้อมูลไม่เป็นการกระจายแบบปกติ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ เนื่องจากผลการตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลระยะห่างร่องกาวในส่วนฝาล่าง เนื่องจากค่า P-Value > α (0.05) จะสรุปได้ว่า ไม่มีเหตุผลมากพอที่จะปฏิเสธสมมติฐาน H_0 กล่าวคือ ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ ดังรูปที่ 1.13



รูปที่ 1.13 การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูลค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างก่อนปรับปรุง

จากผลการทดสอบทางสถิติ ดังรูปที่ 1.14 พบว่าค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.50±1.40 มิลลิเมตร และ ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 0.84 แสดงให้เห็นว่าความสามารถของกระบวนการในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกมีค่าน้อย ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่แย่ และควรปรับปรุงให้มีความเหมาะสม สำหรับเกณฑ์ความสามารถของกระบวนการมีความสามารถอยู่ในเกณฑ์ดี $C_{pk} \geq 1.33$



รูปที่ 1.14 ผลการทดสอบทางสถิติเบื้องต้นของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างก่อนปรับปรุง

จากผลการทดสอบทางสถิติเบื้องต้นของค่าระยะห่างร่องกาวของฝาบนและฝาล่าง พบว่าค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวของฝาบนควรจะควบคุมให้มีค่าใกล้เคียงค่าเป้าหมายมากขึ้น โดยลดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของฝาบนและฝาล่าง เนื่องจากการกระจายตัวของค่าระยะห่างร่องกาวยังมีค่ามาก และกล่องกระดาษลูกฟูกบางตัวอย่างมีค่าออกนอกเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งปัญหาระยะห่างร่องกาวเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเป็นประจำ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าระยะห่างร่องกาว จากนั้นทำการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม เพื่อลดค่าเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวและเพิ่มค่าความสามารถกระบวนการแบบระยะสั้น (C_{pk}) ให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม (สำหรับเกณฑ์ความสามารถของกระบวนการมีความสามารถอยู่ในเกณฑ์ดี $C_{pk} \geq 1.33$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระยะห่างร่องกาวและลดความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลอง

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ข้อ คือ

1) ศึกษาเฉพาะปัญหาด้านความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว ผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก รหัส A ที่เครื่องจักร B ประเภท Flexo Folder Gluler เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์รุ่นที่มีจำนวนของเสียมากที่สุด
2) ตัวแปรขาเข้าที่ทำการศึกษามี 3 ปัจจัย
   - ความเร็วเครื่องจักร (Running Speed)
   - ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (Folding Beam DR Register)
   - ความเร็วรางพับด้านซ้าย (Speed OP Register)

1.5 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยแบ่งออกเป็น10 ข้อ คือ

1) ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิธีการออกแบบการทดลอง
2) ศึกษาสภาพการดำเนินงานในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา
   2.1) ศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก
   2.2) เก็บรวบรวมข้อมูลปัญหาที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิต
   2.3) กำหนดวัตถุประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัย
3) วิเคราะห์เลือกตัวแปรขาเข้าที่จะนำมาศึกษาปัญหาความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก
   3.1) วิเคราะห์หาสาเหตุของกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูกที่ส่งผลต่อระยะห่างร่องกาวด้วยแผนภาพสาเหตุและผล
   3.2) จำแนกกลุ่มของปัจจัยเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมให้คงที่ (Held Constant Factor) และปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง (Experimental factors)
   3.3) วิเคราะห์ระดับของปัจจัยที่นำมาทดลอง

4) ศึกษาและวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) แสดงความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัด

5) การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

5.1) ออกแบบการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัย โดยใช้เทคนิควิธีการออกแบบการทดลองของทากูชิ (Taguchi Method)

5.2) ออกแบบการทดลองสำหรับการหาระดับปัจจัยที่สามารถลดความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวลงได้ โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง 3^k Factorial Design

6) ดำเนินการทดลองตามแผนการออกแบบการทดลอง

7) วิเคราะห์ผลการทดลองตามหลักสถิติเชิงวิศวกรรม

8) เปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการผลิตสภาวะก่อนและหลังปรับปรุง

9) สรุปผลงานการวิจัยและข้อเสนอแนะ

10) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับแบ่งออกเป็น 4 ข้อ คือ

1) เพื่อทราบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวในการกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก

2) เพื่อลดค่าระยะห่างร่องกาว และเพิ่มค่าสมรรถนะในกระบวนการผลิตได้

3) เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นต่อลูกค้าที่จะได้รับผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตรงตามที่กำหนด

4) เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการปรับปรุงคุณภาพ ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองสำหรับปัญหาอื่นๆต่อไป

บทที 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกียวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่จะสามารถนำหลักการความรู้และเครื่องมือต่างๆมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่เกียวข้อง การคัดเลือกปัจจัย หลักการการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ รวมถึงงานวิจัยที่เกียวข้องกับการออกแบบการทดลอง

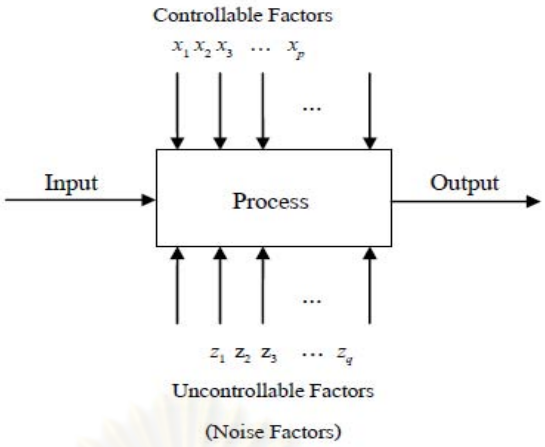
2.1 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

ในการออกแบบการทดลองนั้น จึงจำเป็นต้องทราบ ความหมายและหลักการการออกแบบการทดลอง ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 ความหมายการออกแบบการทดลอง

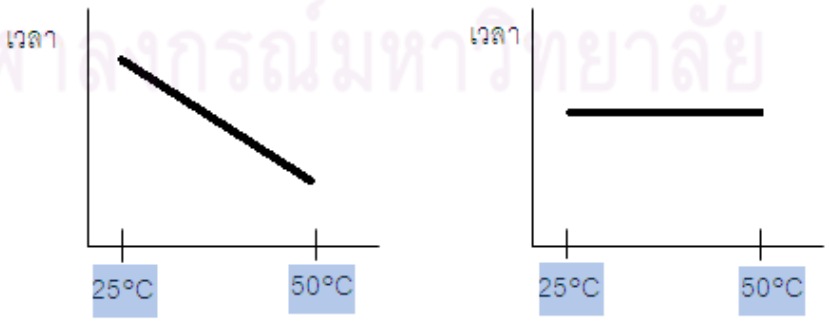
ปัจจัยนำเข้า (Input Factors) เป็นตัวแปรที่สนใจหรือเป็นสาเหตุของที่เกียวข้องต่อกระบวนการ สามารถเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพหรือเชิงปริมาณได้ ตัวแปรตอบสนอง (Output Response) ซึ่งเป็นค่าตัวแปรตามที่เกิดจากการเปลียนแปลงของปัจจัยนำเข้า ซึงการออกแบบการทดลองจะเป็นการทดสอบทางสถิติเพื่อแน่ใจว่าปัจจัยนำเข้านั้นๆ ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ และสามารถหาสภาวะที่เหมาะสมได้ นายวิชาญ (2545) ได้ให้ความหมายของปัจจัยนำเข้าไว้ดังนี้

- ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) คือ ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองในการทดลองและปัจจัยสามารถกำหนดค่าได้ที่สภาวะ ต่างๆในการทดลอง
- ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) คือ ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตอบสนองในการทดลอง แต่ไม่สามารถกำหนดค่าได้ที่สภาวะ ต่างๆในการทดลอง อันเนืองมาจาก ขีดความสามารถของเครื่องจักรและเครื่องมือ เช่น ตัวแปรรบกวน ในการทดลองอาจมีบางปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแต่ไม่ได้ถูกนำมาพิจารณาหรือเป็นปัจจัยที่ซ่อนเร้น หรือถูกละเลยไป เช่น Nuisance Variable สามารถลดผลกระทบดังกล่าวลงไปได้ โดยทำการสุ่มลำดับในการทดลอง



รูปที่ 2.1 รูปแบบระบบการทดลองทั่วไป (Montgomery, 2005)

ในการออกแบบการทดลองนั้น เพื่อวิเคราะห์ได้ว่าปัจจัยนำเข้าที่ศึกษามีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองหรือไม่ โดยทำการปรับค่าปัจจัยนำเข้าอย่างน้อย 2 ระดับ เพื่อทราบถึงผลกระทบที่เปลี่ยนแปลงของตัวแปรตอบสนอง ตัวอย่างเช่น ในการศึกษาอัตราในการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยมีปัจจัยนำเข้าที่ศึกษา คือ อุณหภูมิ และตัวแปรตอบสนองที่สนใจ คือเวลาในการทำปฏิกริยาเคมี ในการทดลองปัจจัยอุณภูมิ ทดลองที่สภาวะ 25°C และ 50°C ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งจากกราฟรูปแรก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้เวลาในการทำปฏิกริยาเคมีเร็วขึ้น สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมินั้นจะมีอิทธิพลต่อเวลาในการทำปฏิกริยาเคมี ด้วยจากกราฟรูปสอง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกริยาเคมีเท่าเดิม สรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมินั้นไม่มีอิทธิพลต่อเวลาในการทำปฏิกริยาเคมี ซึ่งในการออกแบบการทดลองต่างๆ หากมีปัจจัยนำเข้ามากกว่า 1 ปัจจัยสามารถทำการวิเคราะห์ทางสถิติได้



รูปที่ 2.2 ปัจจัยนำเข้าที่มีอิทธิพลและไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง

2.1.2 หลักการที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง (Montgomery, 2005)

การทำซ้ำ (Replication) ในการทำการทดลองแต่ละครั้ง อาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นในการทดลองได้ เพื่อความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลจึงต้องการทำซ้ำเพื่อทำให้สามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนในการทดลองได้ และข้อมูลที่ได้มีความแม่นยำถูกต้องมากขึ้น

การทำแบบสุ่ม (Randomization) คือ การสุ่มลำดับของการทดลอง ซึ่งจะเป็นการกระจายโอกาสที่จะได้รับความผันแปรจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีผลเวลาในการทำปฏิกริยาเคมี เช่นความเที่ยงตรงในการจับเวลาของผู้ทดลอง ทดลองด้วยโอกาสเท่า ๆ กัน การทำแบบสุ่มยังสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

1) การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomization)
2) การทำแบบสุ่มอย่างง่าย (Simple Randomization)
3) การทำแบบสุ่มสมบูรณ์ในบล็อก (Complete Randomization within Blocks)

การบล็อก (Blocking) คือ การจัดกลุ่มการทดลองเพื่อลดผลจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ เช่น พนักงานไม่สามารถทำการทดลองแต่ละสภาวะในวันเดียวกันได้ อาจจะทำให้ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ เช่น ความชื้น ในแต่ละการทดลองไม่เท่ากัน เพื่อให้การทดลองนั้นมีความเที่ยงตรงมากขึ้น

2.1.3 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

สรียา (2543) ได้สรุปลำดับขั้นตอนในการออกแบบการทดลองไว้ดังนี้

1) การระบุปัญหา (Recognition of and Statement of the problem)

ในการที่จะบรรลุถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนั้นๆ จำเป็นที่จะต้องทราบปัญหาที่แท้จริงก่อน จึงจะสามารถดำเนินการเพื่อหาสาเหตุ และแก้ไขปัญหาให้ตรงจุดได้

2) การเลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขต (Choice of Factors and Levels)

เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีมาประยุกต์หรือจากประสบการณ์ ที่นำมาช่วยในการระบุปัจจัยที่เกียวข้อง กำหนดระดับปัจจัย และขอบเขต ในหลักการได้กล่าวว่าหากต้องการคัดกรองปัจจัยในเบื้องต้น การกำหนดระดับปัจจัยนั้นควรมีขอบเขตที่กว้างและจำนวนช่วงน้อย เพื่อทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนอง จากนั้นเมื่อต้องการหาค่าที่ดีที่สุด จึงค่อยกำหนดขอบเขตให้แคบลงได้ แบ่งเป็น 3 แบบ ดังนี้

2.1) แบบกำหนดตายตัว (Fixed levels) กำหนดค่าระดับปัจจัยได้แน่นอน

2.2) แบบสุ่ม (Random levels) ไม่สามารถกำหนดค่าระดับปัจจัยได้แน่นอน

2.3) แบบผสม (Mixed levels) การผสมระดับปัจจัยระหว่างแบบกำหนดตายตัวและแบบสุ่ม

3) เลือกตัวแปรตอบสนอง (Choice of Response Variable)

ตัวแปรตอบสนอง คือค่าตัวแปรตามที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำเข้า โดยในการวัดค่าตัวแปรตอบสนองจะเป็นค่าเฉลี่ยหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในการทดลองหนึ่งจะมีมากกว่า 1 ตัวแปรตอบสนองได้ ซึ่งในการวิจัยควรมีการศึกษาและวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) แสดงความถูกต้องและความแม่นยำของระบบการวัดด้วย

4) เลือกการออกแบบการทดลอง (Choice of Experimental Design)

เลือกลักษณะการออกแบบการทดลองให้เหมาะสม โดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์งานวิจัยเป็นหลัก จำนวนปัจจัยนำเข้า ข้อจำกัดต่างๆ เช่น เวลา ต้นทุน ค่าใช้จ่ายในการทำการทดลอง สำหรับการเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการกำหนดจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บข้อมูลได้ การทำซ้ำ (Replication) การสุ่มลำดับ (Randomization) และการบล็อก (Blocking)

5) ดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment)

ดำเนินการทดลองตามหลักการที่ได้ออกแบบไว้ให้ถูกต้อง หากเกิดความผิดพลาด ผลการทดลอง และการวิเคราะห์อาจเกิดความคลาดเคลื่อนหรือไม่ถูกต้องได้

6) การวิเคราะห์ข้อมูล (Statistical Analysis of data)

การนำเอาหลักการทางสถิติมาวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้ผลมีความน่าเชื่อถือ จากนั้นพิจารณาว่าผลการวิเคราะห์สามารถบรรลุวัตถุประสงค์หรือไม่ ซึ่งในปัจจุบันมีโปรแกรมซอฟต์แวร์ (Software) ทางสถิติมากมาย เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ และตีความจากข้อมูลการทดลอง

7) สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ (Conclusions and Recommendations)

สรุปผลการทดลอง ซึ่งอาจแสดงในรูปของกราฟ ตาราง แผนภูมิ นอกจากนี้ควรจะมีการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองที่ได้ทำมา และให้ข้อเสนอแนะ เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น

2.2 การเลือกการออกแบบการทดลอง

Montgomery (2005) ได้กล่าวไว้ว่าแผนการออกแบบการทดลองสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 แผนการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว (Single Factor Design)

เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียว เพื่อทดสอบว่าระดับของปัจจัยต่างๆ มีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือไม่ สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1) การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) จัดเป็นแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลที่ง่ายที่สุด เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียว แต่จะทำการเปรียบเทียบระหว่างระดับของปัจจัยเดียว ไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่นๆ มีปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้แต่ส่งผลกระทบน้อย และไม่มีปัจจัยรบกวน (Nuisance Factor) เพื่อให้แผนการมีประสิทธิภาพ การทดลองควรจะใช้หลักการทำแบบสุ่มและการทำซ้ำ แต่ไม่สามารถวิเคราะห์อิทธิพลร่วม (Interaction Effect)

2) การทดลองบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Block Design : CRB) เป็นการทดลองที่มีปัจจัยเดียว ในบางการทดลองซึ่งอาจประสบปัญหาหน่วยทดลอวไม่มีความสม่ำเสมอ หรือ บางครั้งปัจจัยรบกวนนั้นไม่ทราบและไม่สามารถควบคุมได้อยู่ในการทดลองซึ่งมีผลกระทบต่อค่าตัวแปรตอบสนอง อาจทำให้ในการวิเคราะห์ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนสูง จึงใช้วิธีการบล็อก (Blocking) ในการกำจัดผลของปัจจัยรบกวนออกได้ เพื่อให้แน่ใจว่าผลการทดลองมาจากปัจจัยที่ศึกษาเท่านั้น

2.2.2 แผนกาออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การทดลองเชิงแฟคทอเรียลเป็นการทดลองที่มีปัจจัยที่มีหลายปัจจัย โดยในการทดลองสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งอิทธิพลหลัก (Main Effect) คือ ผลของการเปลี่ยนแปลงค่าระดับปัจจัยที่ส่งผลตัวแปรสนองจากปัจจัยด้วยตัวมันเอง และอิทธิพลร่วม (Interaction Effect) คือ ผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าระดับปัจจัยหนึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอีกปัจจัยหนึ่งด้วย ความแปรปรวนในการทดลองประกอบด้วย ความแปรปรวนจากอิทธิพลหลัก ความแปรปรวนเนื่องจากอิทธิพลร่วม และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง รูปแบบทั่วไปของแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียลมีดังนี้

1) การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลปัจจัยที่ใช้ทดลองมีจำนวนทั้งหมด k ปัจจัยแต่ละปัจจัยกำหนดระดับปัจจัย 2 ระดับ
ตัวอย่างเช่น ในการทดลองมี 2 ปัจจัยแต่ละปัจจัยมีการเปลี่ยนแปลงระดับ

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่าง 2^k แฟคทอเรียล

ปัจจัย	ระดับปัจจัย	
	ระดับต่ำ	ระดับสูง
อุณหภูมิ	25 องศา	50 องศา
เวลา	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง

ในการทดลองนี้จะต้องมีจำนวนรอบการทดลอง

Run = 2^2 = 2x2 = 4 ครั้ง

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างจำนวนรอบการทดลอง 2^k แฟคทอเรียล

Run	อุณหภูมิ	เวลา
1	25 องศา	1 ชั่วโมง
2	25 องศา	2 ชั่วโมง
3	50 องศา	1 ชั่วโมง
4	50 องศา	2 ชั่วโมง

2) การออกแบบการทดลองแบบ 3^k แฟคทอเรียลปัจจัยที่ใช้ทดลองมีจำนวนทั้งหมด k ปัจจัยแต่ละปัจจัยกำหนดระดับปัจจัย 3 ระดับ

ตัวอย่างเช่น ในการทดลองมี 2 ปัจจัยแต่ละปัจจัยมีการเปลี่ยนแปลงระดับ

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่าง 3^k แฟคทอเรียล

ปัจจัย	ระดับปัจจัย		
	ระดับต่ำ	ระดับกลาง	ระดับสูง
อุณหภูมิ	20 องศา	50 องศา	80 องศา
เวลา	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	3 ชั่วโมง

ในการทดลองนี้จะต้องมีจำนวนรอบการทดลอง

Run = 3^2 = 3x3 = 9 ครั้ง

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างจำนวนรอบการทดลอง 3^k แฟคทอเรียล

Run	อุณหภูมิ	เวลา
1	20 องศา	1 ชั่วโมง
2	20 องศา	2 ชั่วโมง
3	20 องศา	3 ชั่วโมง
4	50 องศา	1 ชั่วโมง
5	50 องศา	2 ชั่วโมง
6	50 องศา	3 ชั่วโมง
7	80 องศา	1 ชั่วโมง
8	80 องศา	2 ชั่วโมง
9	80 องศา	3 ชั่วโมง

ข้อดีของ Full factorial design

1. ไม่มีการเกิด Alias
2. สามารถวิเคราะห์ Main factor และ Interaction ได้ทั้งหมด

ข้อด้อยของ Full factorial design

1. ต้องทำการทดลองให้ครบทุก Run ทำให้ต้องสิ้นเปลืองทรัพยากรมาก ใช้เวลาในการทำการทดลองมาก
2. เมื่อจำนวน Run มากๆ อาจจะประสบปัญหาในการป้องกันความคลาดเคลื่อนของการปรับเปลี่ยนค่าของปัจจัยใดๆได้

2.2.3 **การออกแบบการทดลองโดยเทคนิคทากุชิ** (Taguchi Method)

Ross Phillip (1988) ได้กล่าวไว้ว่าวิศวะกรชาวญี่ปุ่นที่ชื่อว่า Dr. Genichi Taguchi มีแนวความคิดแบบใหม่ในการปรับปรุงคุณภาพ และได้กำหนดความหมายของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ คือ ความสูญเสียทั้งหมดที่เกิดแก่สังคมเกิดขึ้นนับจากเวลาที่ผลิตภัณฑ์นั้นถูกส่งออกสู่ท้องตลาด ดังนั้นทากูชิจึงได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อลดความผันแปรที่เกิดขึ้น และให้ค่าเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดเพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจ ขณะเดียวกันการออกแบบกระบวนการผลิตก็เพื่อให้คุณลักษณะให้มีความไวกับปัจจัยรบกวนน้อยที่สุด หรือที่เรียกว่า การออกแบบอย่างแข็งแรง (Robust Design) การ

ออกแบบการทดลองของ Taguchi จะอาศัยเทคนิคที่ประกอบด้วย orthogonal array และ linear graph การปรับปรุงคุณภาพของหลักการทากุชิ คือ

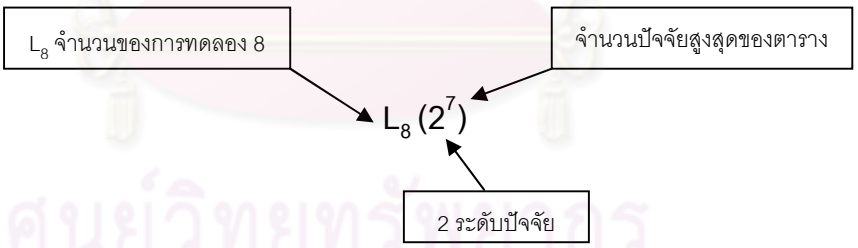
(1) กระบวนการผลิต ชิ้นงานถูกออกแบบไม่ให้อ่อนไหวต่อความผันแปรสิ่งรบกวนภายนอก

(2) วิธีการออกแบบการทดลองเป็นเครื่องมือ ทางวิศวกรรมที่ช่วยให้ได้ตามวัตถุประสงค์

(3) ชิ้นงานได้ค่าตามเป้าหมายเป็นสิ่งที่สำคัญ

2.2.3.1 **ออทอกอนอล อะเรย์** (Orthogonal Array)

ในบางการทดลองพบว่ามีปัจจัยที่ต้องการศึกษาเป็นจำนวนมาก เช่นปัจจัยนำเข้าจำนวนมาก ซึ่งปัจจัยทั้งหมดมีความสำคัญเท่ากัน ไม่สามารถตัดปัจจัยใดออกไปได้ ซึ่งในการทดลองแบบแฟคทอเรียลอาจจะเกิดจำนวนในการทดลองมาก ทำให้ค่าใช้จ่ายในการทดลองสูง ระยะเวลาในการทดลองมากเกินไป ดังนั้นทากุชิ จึงได้พัฒนาตระกูลเมตริกซ์ของ factional factorial design มาใช้ในสถานการณ์ที่มีจำนวนปัจจัยมาก โดยใช้เมตริกซ์ “Orthogonal Array” สัญลักษณ์แทนด้วย $L_a(b)^c$ (โดยที่สัญลักษณ์ a คือจำนวนการทดลองที่ต้องการ สัญลักษณ์ b คือ ระดับของปัจจัย และ สัญลักษณ์ c คือ จำนวนปัจจัยที่สนใจมากที่สุด ตัวอย่างเช่น $L_8(2)^7$ หมายถึงว่าจำนวนการทดลองที่ต้องทำคือ 8 การทดลองด้วยจำนวน ปัจจัยที่เราสนใจมากที่สุดเท่ากับ 7 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความหมายของสัญลักษณ์ตารางออทอกอนอล อะเรย์ (Ross Phillip,1988)

ออทอกอนอลอะเรย์ $L_8(2)^7$ ที่มีจำนวนการทดลอง8 การทดลองโดยมีเมตริกซ์ของแต่ละปัจจัยดังตารางที่2.5 (สัญลักษณ์ + แทนระดับสูงและ – แทนระดับต่ำ)

ตารางที่ 2.5 เมตริกซ์ออทอกอนอลอะเรย์ $L_8(2)^7$

Trill no.	Column no.						
	1	2	3	4	5	6	7
1	+	+	+	+	+	+	+
2	+	+	+	-	-	-	-
3	+	-	-	+	+	-	-
4	+	-	-	-	-	+	+
5	-	+	-	+	-	+	-
6	-	+	-	-	+	-	+
7	-	-	+	+	-	-	+
8	-	-	+	-	+	+	-

ออทอกอนอล อะเรย์ เป็นตารางมาตรฐานที่ใช้ในการลดจำนวนการทดลอง การนำออทอกอนอลอะเรย์ มาตรฐานไปใช้งานขึ้นอยู่กับระดับปัจจัย และจำนวนปัจจัยในการทดลอง ซึ่งจะได้จำนวนการทดลองตามมาตรฐานของออทอกอนอลอะเรย์ การใช้ตารางออทอกอนอล อะเรย์ มีข้อดีคือ ทำให้สามารถลดการทดลองให้น้อยลง ทำให้ลดเวลาและต้นทุนในการทดลองได้อย่างมาก ตารางมาตรฐานออทอกอนอล อะเรย์ แบ่งตามระดับของปัจจัยได้ 3 กลุ่ม ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.6 ตารางมาตรฐานออทอกอนอล อะเรย์ (Ross Phillip, 1988)

ระดับปัจจัย	**ตารางมาตรฐานออทอกอนอล อะเรย์**
2 ระดับ	$L_4(2^3)$, $L_8(2^7)$, $L_{12}(2^{11})$, $L_{16}(2^{15})$, $L_{432}(2^{31})$, $L_{64}(2^{63})$
3 ระดับ	$L_9(3^4)$, $L_{27}(3^{13})$, $L_{81}(3^{40})$
5 ระดับ	$L_{25}(5^{56})$

การออกแบบการทดลองโดยเทคนิคทากูชิ ให้ได้ผลการทดลอง ที่เชื่อถือได้ทางสถิติ ได้ใช้ออทอกอนอล อะเรย์ เป็นตารางมาตรฐาน ข้อดีคือ ลดเวลา และจำนวนครั้งของการทดลองลง ซึ่งเหมาะกับงานวิจัยที่มีข้อจำกัดทางด้านเวลาในการทดลอง และประหยัดวัตถุดิบ เมื่อเทียบการการออกแบบการทดลองอื่นๆ จากตารางที่ 2.6 เป็นการเปรียบเทียบจำนวนการทดลองระหว่างวิธี 2^k Factorial และทากูชิ จะเห็นว่าในกรณีที่ต้องการศึกษาปัจจัยที่มีจำนวนมาก แต่ละปัจจัยมีความสำคัญเท่ากัน ไม่สามารถตัดออกไปได้ ในการคัดกรองเบื้องต้นสามารถใช้การออกแบบการทดลองเทคนิคทากูชิมามาประยุกต์ใช้ได้ ซึ่งจะลดจำนวนการทดลองลงได้มาก จากนั้นจึงวิเคราะห์อิทธิพลของแต่ละปัจจัยต่อไป

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบจำนวนการทดลองระหว่างวิธี 2^k Factorial และทากูชิ

จำนวน	**ระดับปัจจัย**	2^k Factorial	**ทากูชิ**
3 ปัจจัย	2	8 การทดลอง	4 การทดลอง
7 ปัจจัย	2	128 การทดลอง	8 การทดลอง
11 ปัจจัย	2	2048 การทดลอง	12 การทดลอง
4 ปัจจัย	3	81 การทดลอง	9 การทดลอง
13 ปัจจัย	3	1,594,323 การทดลอง	27 การทดลอง

2.2.3.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองทากุชิ

กิตติกร และ เลอศักดิ์ (2546) ได้กล่าวว่าการออกแบบพารามิเตอร์จะเป็นกรรมวิธีในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของผลิตภัณฑ์และพารามิเตอร์ของกระบวนการที่ใช้ดำเนินการผลิตโดยให้มีความไวน้อยที่สุดต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมและปัจจัยรบกวนต่าง ๆ ผู้ออกแบบจะต้องมีความเข้าใจในหลักการออกแบบการทดลองเชิงสถิติ โดย Ross Phillip (1988) ได้กล่าวไว้ว่า Taguchi ได้เสนอวิธีการออกแบบการทดลองโดยใช้ค่า signal-to-noise ratioใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อค่าตอบสนองและความผันแปรต่อกระบวนการผลิต Taguchi ได้สร้างการแปรรูปของ repetition data ไปในรูปแบบอื่นซึ่งวัดในรูปของเปอร์เซ็นต์ความผันแปร ที่เรียกว่า S/N Ratio สัดส่วนลงในค่าเพียงค่าเดียวไว้แสดงเปอร์เซนต์ความผันแปรในกระบวนการผลิต Taguchi ได้พัฒนา S/N ratio ไว้หลาย ๆ แบบขึ้นกับคุณลักษณะทางวิเคราะห์ผลการทดลองของ Taguchi จะอาศัย

ตัววัดที่เรียกว่า Signal to Noise (S/N) คุณลักษณะของชิ้นงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กรณี ดังต่อไปนี้

(1) กรณีค่ายิ่งมากยิ่งดี (Larger-the-Better)

กล่าวคือ จุดประสงค์ในการทดลอง ต้องการให้ค่าตัวแปรตอบสนองมีค่ามากที่สุด เช่น ค่าความแข็งของเหล็กที่ผลิต ยิ่งมีค่ามาก คุณภาพยิ่งสูง การคำนวณ Signal to Noise (S/N) ดังสมการที่ (1)

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{y_i^2} \right) \quad \text{สมการที่ (1)}$$

(2) กรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller-the-Better)

กล่าวคือ จุดประสงค์ในการทดลอง ต้องการให้ค่าตัวแปรตอบสนองมีค่าน้อยที่สุด เช่น ค่าความชื้นของกระดาษที่ผลิต ยิ่งมีค่าน้อย คุณภาพยิ่งสูง การคำนวณ Signal to Noise (S/N) ดังสมการที่ (2)

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} y_i^2 \right) \quad \text{สมการที่ (2)}$$

(3) กรณีค่าตรงตามเป้าหมายดีที่สุด (Target the Best)

กล่าวคือ จุดประสงค์ในการทดลอง ต้องการให้ค่าตัวแปรตอบสนองมีใกล้เคียงเป้าหมายที่กำหนดไว้มากที่สุด เช่น ค่าความหนาของเหล็กที่ผลิต ยิ่งมีค่าใกล้เคียงเป้าหมาย คุณภาพยิ่งสูง การคำนวณ Signal to Noise (S/N) ดังสมการที่ (3) และสมการที่ (4)

- กรณีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นอิสระต่อกัน

$$\frac{S}{N} = 10 \log(S^2) \quad \text{สมการที่ (3)}$$

- กรณีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เป็นอิสระต่อกัน

$$\frac{S}{N} = 10 \log \frac{\bar{Y}^2}{S^2} \quad \text{สมการที่ (4)}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ

(ค่าเฉลี่ย/ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) = ค่าคงที่

โดยที่ Y คือ ค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ และ S คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองจำเป็นต้องตรวจสอบความถูกต้องเพื่อให้แน่ใจก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยการทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ และการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square)

นายวิชาญ (2545) ได้กล่าวว่า การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square) แสดงถึงความเหมาะสมของการออกแบบการทดลองนั้น ซึ่งในการทดลองทุกครั้ง จะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้หรือ ความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดีจะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้น้อยที่สุด

การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square) = $\frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \times 100\%$

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-square) ต่ำ สามารถแก้ไขโดย

1) การเพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลองให้มากขึ้น
2) ตรวจหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องอีกครั้ง ซึ่งอาจจะมีปัจจัยซ่อนเร้นที่มีผลต่อปัจจัยตอบสนองที่ละเลยไป แล้วจึงออกแบบการทดลองใหม่
3) ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-square) ยังต่ำอยู่ แสดงว่า ผลจากปัจจัยรบกวน (Noise factor) มีมากจึงควรทำการบล็อกเพื่อลดผลปัจจัยรบกวนให้น้อยที่สุด

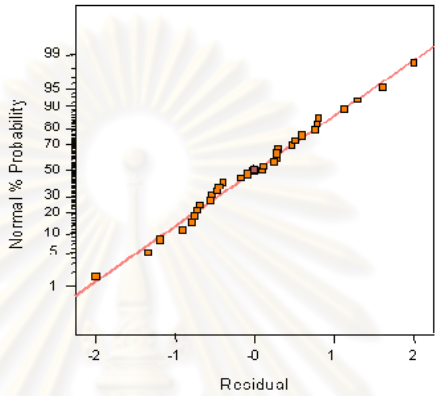
2.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model adequacy checking)

การตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง เป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าข้อมูลจากการทดสอบถูกต้องและเพียงพอหรือไม่ เพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป Montgomery (2005) ซึ่งการตรวจสอบ ε_{ij} มี 3 ขั้นตอนดังนี้

2.3.2.1 การตรวจสอบการกระจายเป็นแบบการแจกแจงปกติ (Normal Distribution)

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักจะตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากการที่ให้ตัวแปรตอบสนองมีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal distribution) ใช้การวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) เพื่อวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน (ε) มีการกระจายแบบปกติหรือไม่ คือมีการแจกแจงแบบ $\varepsilon_{ij} \sim N(0,\sigma^2)$ และการสร้าง Normal Probability Plot ของส่วนตกค้าง หากการแจกแจงของความผิดพลาดนั้นเป็นแบบปกติ

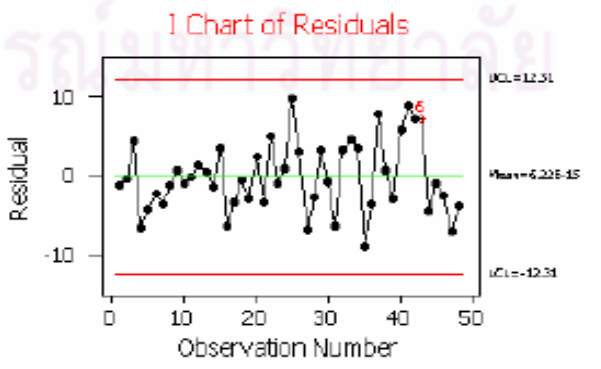
ลักษณะกราฟจะเป็นเส้นตรง โดยในงานวิจัยจะใช้หลักการทดสอบแบบ Anderson-Darling และพิจารณาจากค่า P-Value เป็นหลัก ถ้าหาก P-Value มากกว่าค่านัยสำคัญ (α= 0.05) ที่กำหนดไว้ แสดงว่า ε_{ij} มีการกระจายเป็นแบบแจกแจงปกติ จำนวนข้อมูลทดลองเพียงพอที่จะนำไปวิเคราะห์และสรุปผล แต่ถ้า P-Value น้อยกว่าค่านัยสำคัญ (α) ที่กำหนดไว้นั้นแสดงว่า ε_{ij} มีการกระจายไม่เป็นแบบแจกแจงปกติ ซึ่งหมายถึงจำนวนข้อมูลไม่เพียงพอที่จะสรุปผลดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การตรวจสอบการแจกแจงปกติของค่าส่วนตกค้าง

2.3.2.2 **การตรวจสอบความเป็นอิสระ** (Independent)

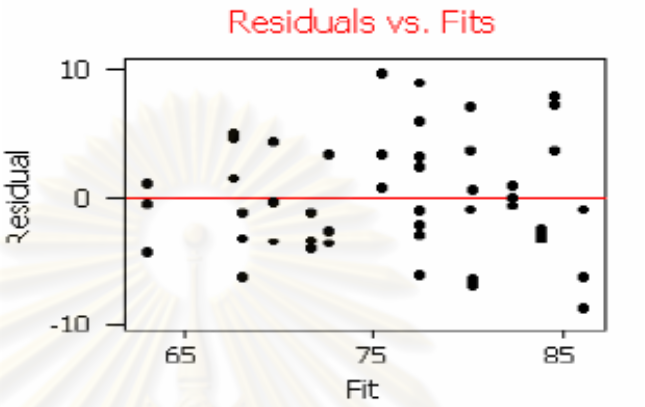
ในการตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลทำได้โดยการพล็อตส่วนตกค้างกับลำดับเวลาในการทดลอง โดยใช้แผนภูมิกระจาย (ScatterPlot) ของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) โดยเขียนจุดของค่าความคลาดเคลื่อนเรียงตามลำดับของการเก็บข้อมูลการทำการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) ข้อมูลจะมีลักษณะการประจายเป็นอิสระแล้วพิจารณาลักษณะการกระจายของจุดบนแผนภูมิว่าเป็นรูปแบบอิสระกระจายตัวรอบ ๆ ค่าศูนย์หรือไม่ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การตรวจความเป็นอิสระของข้อมูล

2.3.2.3การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability)

โดยใช้แผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กับค่าฟิต (Fit) หรือค่าเฉลี่ยในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นรูปแบบเฉพาะ (Pattern) ไม่มีลักษณะการเพิ่มขึ้นหรือลดลงแบบเป็นแนวโน้มของความแปรปรวน แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวนดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การตรวจความเสถียรภาพของความแปรปรวน

2.4 ความสามารถของกระบวนการเชิงสถิติ

การทดสอบคุณภาพกระบวนการผลิตหรือผลิตภัณฑ์นั้น สามารถดูได้จากค่าดัชนีชี้วัดที่ได้จากการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยความหมายและการคำนวณค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

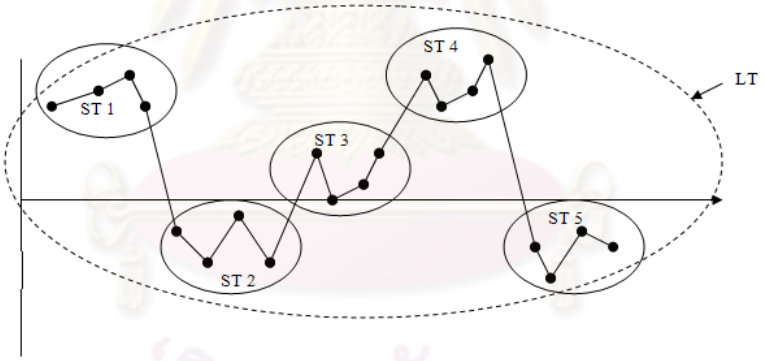
2.4.1 ความหมายและขอบเขตความสามารถของกระบวนการเชิงสถิติ

ลำปาง (2549) ได้ให้ความหมายและขอบเขตความสามารถของกระบวนการเชิงสถิติไว้ว่า ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้น ต้องมีตัวแปรที่เป็นตัวแทนสำหรับวัดค่าซึ่งตัวแปรดังกล่าวต้องถูกควบคุมโดยผ่านขั้นตอนการออกแบบการทดลอง เพื่อนำมาทดสอบทางสถิติให้ค่าดังกล่าวอยู่ในช่วงมาตรฐานเพื่อแน่ใจว่าผลิตภัณฑ์มีคุณภาพมากพอ และกำหนดค่าที่ควบคุมให้อยู่ในช่วงระหว่างขอบเขตข้อกำหนดบน (Upper Specification Limited :USL) และ ขอบเขตข้อกำหนดล่าง (Lower Specification Limited :LSL) หากค่าที่ควบคุมของผลิตภัณฑ์อยู่นอกขอบเขตดังกล่าวถือว่าไม่มีคุณภาพ

2.4.2 ดัชนีความสามารถของกระบวนการ

ลำปาง (2549) ได้กล่าวว่า การศึกษาความสามารถของกระบวนการคือการศึกษาความผันแปรที่เกิดขึ้นในการบวนการผลิตที่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ ซึ่งดัชนีความสามารถกระบวนการ (Process Capability Index : C_p) ได้จากการเปรียบเทียบสัดส่วนนของความกว้างของขอบเขตข้อกำหนดบนและล่าง กับ 6 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ ซึ่งข้อมูลที่วิเคราะห์มีการแจกแจงแบบปกติ

การศึกษาดัชนีความสามารถของกระบวนการทั้งในระยะสั้นและระยะเวลายาว มีความแตกต่างกันคือ การศึกษาระยะสั้น คือการศึกษาที่รวบรวมข้อมูลระยะสั้น เพื่อพอที่จะกำจัดความผันแปรที่ผิดธรรมชาติออกไปเท่านั้น อาจใช่ข้อมูล 30-50 ตัวอย่างเท่านั้น ความสามารถของกระบวนการในระยะสั้นอาจไม่แสดงความผันแปรที่แตกต่างกันออกมาให้เห็น แต่เมื่อศึกษาในระยะยาว แล้ว อาจเกิดความผันแปร ขนาดใหญ่มากได้ ใช้ข้อมูล 100-200 ตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งดัชนีความสามารถของกระบวนการระยะสั้นใช้ค่าเฉลียของความผันแปรภายในกลุ่มตัวอย่าง(within-group variation) ส่วน ดัชนีความสามารถของกระบวนการระยะยาว ใช้ค่าความผันแปรทั้งหมดของข้อมูล (overall variation)



รูปที่ 2.7 ความสามารถของกระบวนการระยะสั้นและระยะยาว (ลำปาง แสงจันทร์, 2549)

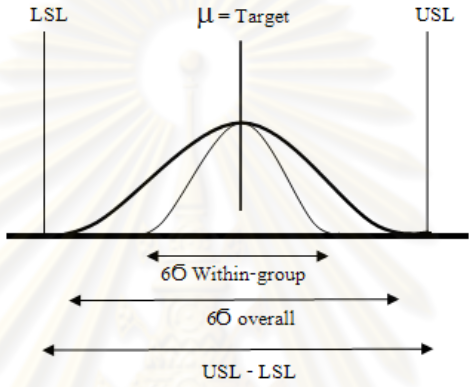
2.4.2.1 ประเภทของดัชนีความสามารถของกระบวนการ

การศึกษาว่า กระบวนการมีความสามารถตามตามขอบเขตของข้อกำหนด โดยให้ค่าเฉลียของกระบวนการตรงกับค่าเป้าหมายของข้อกำหนดเฉพาะ จะใช้ตัวชี้วัดคือค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพ (Potential Capability) แบ่งออกได้ดังนี้

- ดัชนี C_p = ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพระยะสั้น
- ดัชนี P_p = ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพระยะยาว
- ดัชนี CR = อัตราส่วนความสามารถกระบวนการด้านศักยภาพระยะสั้น
- ดัชนี PR = อัตราส่วนความสามารถกระบวนการด้านศักยภาพระยะยาว

การศึกษาว่า กระบวนการมีความสามารถตามขอบเขตของข้อกำหนด โดยให้ค่าเฉลี่ยของกระบวนนั้นทำได้จริงและตรงกับค่าเป้าหมายของข้อกำหนดเฉพาะมากน้อยเพียงไร จะใช้ตัวชี้วัดคือค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านสมรรถนะที่กระบวนการเบียงเบนไป (Performance Capability) แบ่งออกได้ดังนี้

- ดัชนี C_{pk} = ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านสมรรถนะที่กระบวนการเบียงเบนระยะสั้น
- ดัชนี P_{pk} = ดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านสมรรถนะที่กระบวนการเบียงเบนระยะยาว



รูปที่ 2.8 ความเชื่อมโยงของ C_p ของ P_p ในกระบวนการระยะสั้นและระยะยาว (ลำปาง แสงจันทร์, 2549)

2.4.2.2 การคำนวณค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการ

ค่าที่บอกถึงสมรรถภาพในการทำงานของกระบวนการว่าสามารถทำผลงานที่มีคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการได้ดีเพียงใด โดยทั่วไปจะรายงานในรูปของ 2 ค่า คือ C_p และ C_{pk} ความแตกต่างคือค่า C_p พิจารณาถึงการกระจายตัวโดยรวมของกระบวนการเมื่อเทียบกับความกว้างของสเปคเท่านั้นโดยไม่ได้พิจารณาถึงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการจะอยู่ ณ ตำแหน่งใดใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายหรือไม่(โดยปกติค่าเป้าหมายคือค่ากลางของสเปค) เนื่องจากค่า C_p ไม่ได้บอกถึงการเปลี่ยนแปลงไปจากจุดกึงกลาง จึงต้องคำนวณค่า C_{pk} ซึ่งเป็นอัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการที่สามารถบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของค่ากลางจากเป้าหมายได้ โดย C_{pk} คือค่าอัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการด้านที่ใกล้กับข้อกำหนดมากที่สุด

การคำนวณค่าดัชนีความสามารถของกระบวนการด้านศักยภาพระยะสั้นแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

(1) ข้อกำหนด 2 ด้าน มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma_{within}}$$

เมื่อ Upper Specification Limit (USL) คือ ค่าสเปคด้านสูง

Lower Specification Limit (LSL) คือ ค่าสเปคด้านต่ำ

σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของข้อมูล

(2) ข้อกำหนดด้านเดียว มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$C_{pu} = \frac{USL-\mu}{3\sigma}, \quad C_{pl} = \frac{\mu-LSL}{3\sigma}$$

เมื่อ C_{PU} คือ ค่าดัชนีวัดด้านบน

C_{PL} คือ ค่าดัชนีวัดด้านล่าง

μ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

หลังจากคำนวณค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (C_p) นำค่าดังกล่าวมาวิเคราะห์ได้การตีความจากแผนภูมิ X- R ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ความหมายของค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (C_p)

(อลงกต กาญจนคช, 2546)

ค่า C_p ที่คำนวณได้	**ความหมาย**
$C_p < 1$	กระบวนการไม่มีความสามารถ ภายใต้การกระจายของข้อมูลเมื่อเทียบกับขอบเขตข้อกำหนดบน-ล่าง (USL-LSL)
$C_p = 1$	กระบวนการมีความสามารถค่อนข้างต่ำและจากการแจกแจงปกติช่วงกว้าง 6σ จะกล่าวว่ามีร้อยละ 0.27ที่ข้อมูลตกอยู่นอกช่วงขอบเขตบนและล่าง โดยจะตกขอบเขตแต่ละข้างร้อยละ 0.135
$C_p \geq 1$	กระบวนการมีความสามารถ และถ้าต้องการความมั่นใจในกระบวนการว่ามีความสามารถมาก การกระจายข้อมูลในกระบวนการก็ควรไม่มีข้อมูลใดตกนอกขอบเขตข้อกำหนดบนและล่าง กรณีที่ C_p มีค่ามากจะชี้ว่ากระบวนการมีความสามารถมาก

การคำนวณค่าอัตราส่วนสมรรถภาพกระบวนการระยะสั้น (C_{pk})บอกถึงการเปลี่ยนแปลงของค่ากลางจากเป้าหมายได้ โดยเลือกค่าด้านที่ใกล้กับข้อกำหนดมากที่สุด

$$C_{pk} = \min (C_{pu}, C_{pl})$$

ถ้า $C_p = C_{pk}$ แสดงว่าค่าเฉลี่ยของกระบวนการอยู่ตรงกับค่าเป้าหมาย

ถ้า $C_{pk} < C_p$ แสดงว่า ค่าเฉลี่ยของกระบวนการไม่ได้อยู่ตรงค่าเป้าหมาย

ตารางที่ 2.9 ค่าแนะนำสำหรับค่าดัชนี C_{pk} ขั้นต่ำ (อลงกต กาญจนศช, 2546)

ประเภทกระบวนการ	**ระดับคุณภาพ**	**ค่าดัชนี C_{pk} ขั้นต่ำ**	
		ข้อกำหนดเฉพาะ 2 ด้าน	**ข้อกำหนดเฉพาะ 1 ด้าน**
กระบวนการทั่วไป แบบเดิม	4σ	1.33	1.25
กระบวนการทั่วไปใหม่	4.5σ	1.50	1.45
กระบวนการที่เกี่ยวกับความปลอดภัย แบบเดิม	4.5σ	1.50	1.45
กระบวนการที่เกี่ยวกับความปลอดภัย ใหม่	5σ	1.67	1.60

2.5 งานวิจัยที่เกียวข้อง

การศึกษางานวิจัยที่เกียวข้องได้มีการแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่งานวิจัยที่เกียวข้องสำหรับเครื่องมือในการค้นหาคัดกรองปัจจัยต่างๆที่นำมาทำการทดลอง และงานวิจัยที่เกียวข้องสำหรับการออกแบบการทดลอง

2.5.1 งานวิจัยที่เกียวข้องกับการค้นหาปัจจัย

เครื่องมือต่างๆได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการค้นหาปัจจัยก่อนที่จะทำการออกแบบการทดลอง จึงจำเป็นต้องมีการเลือกปัจจัยที่เกียวข้องทั้งหมดก่อน ซึ่งในบางเครื่องมือมีประสิทธิภาพในการคัดกรองปัจจัย จึงถูกนำมาอย่างแพร่หลายในงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมา ในการค้นหาปัจจัย ทรงพล (2541) ได้เริ่มจากการระดมสมองจากผู้เชียวชาญและผู้ที่เกียวข้อง เพื่อเลือกปัจจัยทั้งหมดซึ่งในการคัดเลือกปัจจัยให้ครอบคลุมและประยุกต์ใช้เครื่องมือพื้นฐานทางสถิต คือแผนภาพเหตุและผล (Cause and Effect

Diagram) เพื่อค้นหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา ซึ่งจะมีทั้งสาเหตุใหญ่และสาเหตุย่อย โดยสาเหตุหลักพิจารณาได้จากหลักการ 4M 1E ได้แก่ คน (Man) วัตถุดิบ (Material) เครื่องจักร (Machine) วิธีการ (Metnod) และ สิ่งแวดล้อม (Environment) แต่ในงานวิจัยของไกรกุล (2550) ได้แบ่งหัวข้อสาเหตุตามส่วนประกอบของเครื่องจักรเป็นหลัก เนื่องจากในกระบวนการผลิตนั้นเริ่มจากพนักงานนำวัตถุดิบป้อนเข้าไปในเครื่องจักร ซึ่งขั้นตอนการผลิตทั้งหมดอยู่ในตัวเครื่องจักรตัวเดียว แล้วได้ผลิตภัณฑ์ออกมานำส่งลูกค้า ดังนั้นหัวใจสำคัญในหาค้นหาปัจจัยที่เกียวข้องจะนำส่วนประกอบมาก แยกหาปัจจัยย่อยๆ ต่อไป

อลงกต (2546) ได้นำปัจจัยที่เกียวข้อง ทำการจัดรวบรวมกลุ่มปัญหาด้วยผังกลุ่มความคิด โดยแบ่งจำแนกตามประเภทปัจจัยปัจจัยออกเป็นปัจจัยควบคุมได้ ปัจจัยควบคุมไม่ได้ และปัจจัยรบกวน จากนั้นวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล และกลั่นกรองสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภูมิพาเรโต เพื่อแสดงให้เห็นถึงลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย และสามารถตัดสินใจศึกษาเฉพาะปัจจัยที่มีความสำคัญลำดับต้นๆมาทำการทดลองเพื่อแก้ปัญหาก่อน เนื่องจากในงานวิจัยนั้น อาจมีข้อจำกัดทางด้านปริมาณวัตถุดิบและเวลา จึงไม่สามารถนำทุกปัจจัยมาทำการทดลองได้ทั้งหมด ในงานวิจัยของวิชาญ (2545) ได้ทำแบบสอบถามเพื่อให้วิศวกรและผู้เชียวชาญที่เกียวข้องได้ทำแบบประเมินแต่ละปัจจัย ที่เกียวข้องซึ่งในการประเมินจะใช้ประสบการณ์ และข้อมูลในอดีตมาพิจารณาในการคัดเลือกปัจจัย โดยแบบประเมินอิทธิพลของปัจจัยแบ่งออกเป็น 5 ระดับ แล้วจึงนำมารวบรวมคะแนนเพื่อคัดเลือกปัจจัย จากนั้นแบ่งกลุ่มปัจจัยออกเป็น 2 ส่วน แล้วสรุปเหตุผลในการเลือกปัจจัย และไม่เลือกปัจจัยดังกล่าวมาทำการทดลอง ซึ่งหากระดับอิทธิพลของปัจจัยอยู่ในระดับต่ำมาก อาจส่งผลต่อการปัญหาไม่ชัดเจนนัก จึงควบคุมให้ปัจจัยคงที่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นจึงไม่เป็นปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ในการทดลอง และในงานวิจัยของไกรกุล (2550) ได้ทำการรวบรวมปัจจัยที่มีผลต่อขนาดกระเบื้องบิสกิต มาทำการวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysys : FMEA) โดยผู้เชียวชาญ เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของแต่ละปัจจัย โดยพิจารณาจากตัวเลขแสดงลำดับความเสียง (Risk Priority Number : RPN) ทำการเลือกปัจจัยที่มีตัวเลขลำดับสูงใช้แผนภูมิพาเรโตเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการคัดเลือกปัจจัยเพื่อทำการทดลองเบื้องต้นต่อไป

2.5.2 งานวิจัยที่เกียวข้องกับการออกแบบการทดลอง

เมือได้ปัจจัยนำเข้าทีใช้ในการออกแบบการทดลองนั้น ในการทดลองส่วนใหญ่จะใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองทีแตกต่างกันไป ในงานวิจัยของสุรพล (2542) ได้ศึกษาปัจจัยทีมีอิทธิพลต่อการเชือมดีบุก–ตะกัวบนแผ่นลายวงจรพิมพ์ด้วยเครืองเชือมอัตโนมัติ และหาเงือนไขทีเหมาะสมจากการทดลอง โดยใช้ตัวชีวัดคือ จำนวนจุดบกพร่องของรอยเชือม ดังนั้นในการออกแบบการทดลองสิงทีสำคัญคือ ดัชนีตัวชีวัด เพือนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างผลก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ ส่วนในงานวิจัยของไกรกุล (2550) ทำการวิเคราะห์และลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ โดยใช้ตัวชีวัดคือ ความสามารถของกระบวนการของค่าความเปรียบต่างสีและจำนวนของเสียก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

การเลือกแผนการออกแบบการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่การออกแบบการทดลองเบืองต้นเพือคัดกรองปัจจัย และ การออกแบบการทดลองเพือหาระดับปัจจัยทีเหมาะสมในกระบวนการผลิตจริง ซึงในการเลือกนั้น จะพิจารณาจำนวนปัจจัยนำเข้าทีใช้ในการทดลอง และข้อจำกัดในการวิจัย ความเป็นไปได้ ทางด้านเวลา วัตถุดิบทีใช้โดยในงานวิจัยได้ใช้วิธีการแตกต่างกัน ดังนี

ในการทำการทดลองเบืองต้นนั้นมีวัตถุประสงค์คือ เพือทราบว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ในงานวิจัยของมะลิ (2544) ได้นำเทคนิคการออกแบบการทดลองวิธีการ Taguchi มาใช้เพือวิเคราะห์ปัจจัยนำเข้า ซึงมีทังหมด 6 ปัจจัย มาทดสอบอิทธิพลของแตละปัจจัยทีมีผลต่อค่าความหนาผิวเคลือบเฉลีย ซึงแผนการทดลองทากูชิ มีข้อดีคือ เหมาะกับการศึกษาปัจจัยทีมีผลต่อกระบวนการผลิตในช่วงเวลาสันๆ ใช้วัสดุในการทดลองน้อย และเสียค่าใช้จ่ายน้อย ข้อเสีย ให้ข้อมูลสารสนเทศน้อย และไม่สามารถวิเคราะห์หาผลอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยได้ ดังนั้นการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดกรองปัจจัยเบืองต้นได้ และ ในงานวิจัยของกิตติกร และเลอศักดิ์ (2546) ได้ใช้วิธีการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลโดยหลักการของทากูชิเช่นเดียวกัน ในศึกษาการพัฒนาและการปรับปรุงคุณภาพของงานหล่อบรอนซ์ผสม ใช้แผนการทดลอง Orthogonal Array L9 (3^4) ตามมาตรฐานของ Taguchi Method มี 4 ตัวแปร กำหนดระดับของตัวแปร 3 ระดับ และทำการทดลอง 9 ครัง ตามแผนการทดลองผลการทดลองได้ปัจจัยทีทำให้สมบัติด้านความแข็งดีทีสุด ในงานวิจัยของวิชาญ (2545) ได้นำเทคนิคการออกแบบการทดลอง 2^k

แฟคทอเรียลในการทดลองเบื้องต้นโดยทุกระดับของปัจจัยมี 2 ระดับเพื่อตัดปัจจัยที่ไม่น่าจะมีผลต่อสิ่งที่ต้องการศึกษาออกไป และ อลงกต (2546) ได้ทำการปรับปรุงความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านวัตถุดิบและเวลาใช้วิธีออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ระดับเพื่อทำการคัดกรองปัจจัย

ในการออกแบบการทดลองขั้นที่สอง มีวัตถุประสงค์คือเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม นำไปปรับตั้งค่าแต่ละปัจจัยเพื่อใช้ในการผลิตจริง ในงานวิจัยของมะลิ (2544) นำเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล เพื่อในการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมได้ความหนาผิวเคลือบใกล้ค่ากึ่งกลางและมีความผันแปรน้อยที่สุดได้ ในงานวิจัยของวิชาญ (2545) ได้ใช้การออกแบบแฟคทอเรียล 3^k แฟคทอเรียล โดยเพิ่มระดับของปัจจัยเป็น 3 ระดับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดเหล็กปลายสั้นที่มีความยาวน้อยที่สุด จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมทำให้เกิดเหล็กปลายสั้นที่มีความยาวน้อยที่สุดได้ ผลจากการประยุกต์ใช้เงื่อนไขของปัจจัยหลัก สามารถสรุปมูลค่าการลดของเสียจากเหล็กปลายสั้นเมื่อเปรียบเทียบที่สภาวะปัจจุบัน กับที่สภาวะที่เหมาะสม เป็นมูลค่า 236,196 บาท/ปี ในงานวิจัยของสรียา (2543) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงและความคงขนาดของแผ่นพาร์ทิเคิล และหาเงื่อนไขส่วนผสมที่เหมาะสม โดยมีตัวแปรตอบสนองจำนวน 9 ตัวแปร และปัจจัยนำเข้าที่ใช้ในการทดลองจำนวน 3 ตัวแปร แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ โดยใช้การออกแบบแฟคทอเรียล 3^k แฟคทอเรียล ใช้วิธีการสุ่มแบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ วิเคราะห์การทดลองเพื่อหาส่วนผสมที่เหมาะสมจากผลการทดลองแล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและความคงขนาดของแผ่นพาร์ทิเคิลตามข้อกำหนดของ มอก.876-2532 ก่อนทำการผลิตจริง ในงานวิจัยของอลงกต (2546) ใช้วิธีการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k ที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลางในการทดลองและวิเคราะห์ส่วนโค้งด้วยวิธีการของพื้นผิวตอบเพื่อการกำหนดค่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสม เพื่อปรับปรุงความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง และในงานวิจัยของเปมิกา (2548) และ ไกรกุล (2550) ได้ใช้การออกแบบการทดลองโดยรูปแบบของการทดลองนี้มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง (Curvature) จึงทำการออกแบบการทดลองพื้นผิวผลตอบเพิ่มเติมเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมได้

การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกียวข้องนั้น จะสามารถที่จะเป็นแนวทางในการนำหลักการความรู้และเครื่องมือดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เกียวข้องได้ว่ามีการกลั่นกรองปัจจัยเป็นอย่างไร เพื่อที่จะสามารถคัดเลือกปัจจัยได้อย่างถูกต้องและมีคุณภาพ รวมถึงหลักการการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ เนื่องจากในงานวิจัยต่างๆมีการเลือกวิธีในการออกแบบการทดลองทั้งในส่วนการทดลองเบื้องต้นและการหาสภาวะที่เหมาะสม มีวิธีการแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของงานวิจัยนั้นๆ ดังนั้นทฤษฎีและหลักการที่เกียวข้องนั้นจะนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา

ในบทนี้ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ระบบการวัด เพื่อให้ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ จากนั้นเป็นการศึกษากระบวนการผลิต เพื่อค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก โดยผลการศึกษามีดังนี้

3.1 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) ระบบการวัดมีความสำคัญต่อการยืนยันผลการตรวจสอบคุณภาพ เพื่อสามารถแน่ใจว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นมีความถูกต้อง และน่าเชื่อถือ ในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำจะพิจารณาในส่วนความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) และความสามารถการทำเหมือน (Reproducibility) ซึ่งการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัดจะพิจารณาดัชนีที่เรียกว่า GR&R (Gage Repeatability and Reproducibility) ซึ่งในระบบการวัด จะสามารถจำแนกแหล่งของความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการวัด เช่น ความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด ความผิดพลาดของผู้วัด เป็นต้น ตัวแปรที่ทำการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้คือ ค่าระยะห่างร่องกาวของกล่องกระดาษลูกฟูก และเนื่องจากบริษัทได้มีการสอบเทียบเครื่องมือวัดเป็นประจำ จึงอาจอนุมานได้ว่าคุณสมบัติด้านความถูกต้องของเครื่องมือวัดดีแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

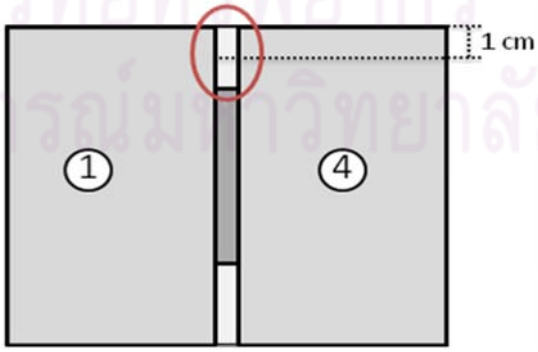
3.1.1 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

ในงานวิจัยนี้จึงวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำเพียงอย่างเดียวได้ทำการวางแผนขั้นตอนการศึกษาความแม่นยำ ดังนี้

1) เครื่องมือวัด: โดยการใช้ตลับเมตรที่มีความละเอียด 0.5 มิลลิเมตร เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่พนักงานใช้ในการปฏิบัติงานวัดกล่องกระดาษลูกฟูก
2) วิธีการวัด: ลักษณะกล่องจะประกอบไปด้วย 4 ด้านโดยด้านสุดท้ายจะติดกับส่วนที่เรียกว่า ลิ้นกาวใช้สำหรับทากาว เพื่อประกบด้านที่หนึ่งกับด้านที่สี่เข้าไว้ด้วยกัน ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 มิติของกล่องกระดาษลูกฟูก

เมื่อกล่องผ่านชุดรางพับจะได้กล่องกระดาษลูกฟูกที่เสร็จสมบูรณ์ (กล่องกระดาษลูกฟูกด้านหนึ่งกับด้านที่สี่มาประกบเข้าด้วยกันตรงตำแหน่งลิ้นกาว) นำกล่องดังกล่าวมาทำการวัดขนาดระยะห่างของร่องกาว โดยกำหนดตำแหน่งในการวัดที่บริเวณไม่เกิน 1 เซนติเมตร นับจากปลายฝาด้านบน ดังรูปที่ 3.2 ในการทดสอบใช้กล่องกระดาษลูกฟูกจำนวน 20 ใบ



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งในการวัดระยะห่างร่องกาวของกล่องกระดาษลูกฟูก

3) พนักงานวัด: โดยพนักงานทั้งหมดจะแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือกะเช้าและกะบ่าย เลือกพนักงานวัดกล่องที่ได้รับการฝึกอบรมขั้นตอนการวัดระยะร่องกาวของกล่องกระดาษลูกฟูกและการอ่านค่าได้อย่างถูกต้อง จำนวน 2 คน โดยในการทดลองทำการสุ่มลำดับกล่องที่ใช้ในการวัดค่ากำหนดให้วัดกล่องกระดาษลูกฟูกใบละ 3 ครั้ง
4) สิงแวดล้อมในการวัด: ระบบการวัดจะไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยภายนอกเช่น อุณหภูมิ ความชื้น เป็นต้น ปัจจัยที่ใช้ควบคุมในการวัด คือ แสงสว่าง ให้เพียงพอสำหรับการวัดและการอ่านค่า
5) ทำการวัดกล่องกระดาษลูกฟูก และบันทึกผลการวัดดังตารางที่ 3.1
6) วิเคราะห์ผลความแม่นยำของระบบการวัดด้วยโปรแกรม MINITAB โดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อประเภทแยกความผันแปรต่างๆ

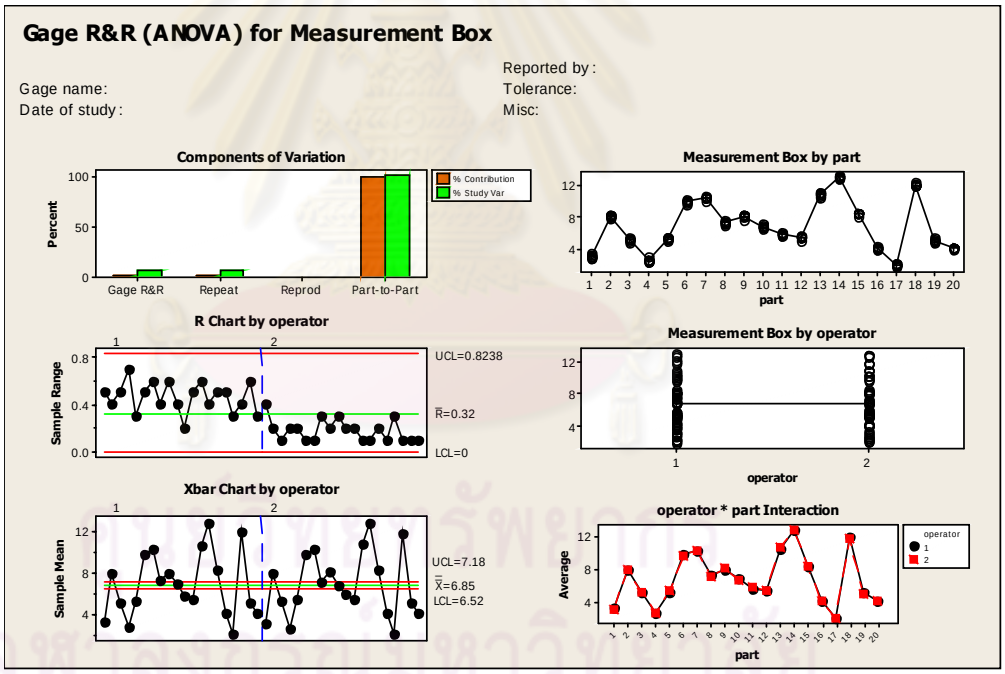
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 ผลการวัดค่าระยะห่างร่องกาวของกล่องกระดาษลูกฟูกของพนักงาน 2 คน

ชิ้นที่	พนักงานวัดคนที่ 1			พนักงานวัดคนที่ 2		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	3.5	3.2	3.0	3.1	3.0	3.4
2	8.1	8.2	7.8	8.0	7.9	8.1
3	5.4	5.1	4.9	5.3	5.2	5.3
4	3.1	2.8	2.4	2.6	2.6	2.8
5	5.2	5.4	5.1	5.5	5.3	5.4
6	10.0	9.9	9.5	9.8	9.7	9.8
7	10.5	10.3	9.9	10.3	10.2	10.3
8	7.5	7.4	7.1	7.2	7.0	7.3
9	8.2	8.1	7.6	8.2	8.0	8.2
10	7.1	6.8	6.7	6.8	6.6	6.9
11	5.8	5.6	5.7	5.8	5.9	6.0
12	5.6	5.5	5.1	5.6	5.4	5.5
13	10.3	10.6	10.9	10.9	10.8	10.8
14	13.0	12.9	12.6	12.8	12.7	12.8
15	8.4	8.5	8.0	8.3	8.3	8.5
16	4.4	4.1	3.9	4.1	4.0	4.1
17	2.2	1.9	2.1	2.1	2.0	2.3
18	12.1	11.9	11.7	11.8	11.8	11.7
19	5.2	5.4	4.8	5.1	5.0	5.1
20	4.2	4.2	3.9	4.1	4.2	4.2

3.1.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดนั้น ในส่วนแรกจะพิจารณาคุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัดหรือไม่ และระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการผลิตนี้หรือไม่ ซึ่งนำข้อมูลจากการวัดค่ากล่องกระดาษลูกฟูก ของพนักงาน 2 คน ไปทำการวิเคราะห์ GR&R ดังรูปที่ 3.3 พบว่า R Chart by Operator ซึ่งพิสัยมากกว่า 3 ค่าที่อยู่ในพิกัดควบคุม ดังนั้นระบบการวัดมีความสามารถแยกความแตกต่างของข้อมูลวัดได้ และค่าพิสัยทั้งหมดอยู่ในพิกัดควบคุม สรุปได้ว่าระบบวัดนี้มีคุณสมบัติด้านความสม่ำเสมอดี และ Xbar Chart by Operator พบว่าค่าของข้อมูลหลุดออกนอกพิกัดเสมอ สรุปได้ว่าสาเหตุความแปรปรวนมาจากความแปรปรวนของชิ้นงานตัวอย่าง และระบบการวัดสามารถตรวจจับความแตกต่างของกระดาษลูกฟูกตัวอย่างได้ ดังนั้นกล่องกระดาษลูกฟูกที่เลือกมามีความเหมาะสมแล้ว



รูปที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์ GR&R จากโปรแกรม MINITAB

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำจะแบ่งออกเป็น ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) และ ความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) จากรูปที่ 3.4 จากผลการวิเคราะห์ ANOVA ในการวัดของพนักงานทั้ง 2 คน พบว่า ไม่มีอันตรกิริยาระหว่างพนักงานวัดกับกล่องตัวอย่าง มีค่า P-Value เท่ากับ 0.898 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จากนั้นพิจารณาอิทธิพลของพนักงานวัด มีค่า P-Value เท่ากับ 0.547 ซึ่งมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าอิทธิพลพนักงานวัดไม่มีนัยสำคัญ และพิจารณาอิทธิพลของกล่องกระดาษลูกฟูกตัวอย่าง มีค่าของ P-value เท่ากับ 0.000 น้อยกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าความผันแปรในระบบการวัดเกิดจากความผันแปรของกล่องตัวอย่างเท่านั้น

เมื่อประเมินผลความผันแปรของกระบวนการ (% Contribution of VerComp) จะพบว่าถ้าความผันแปรของกระบวนการผลิตที่ประเมินได้จากค่าวัดทั้งหมด 100 % แล้ว ความผันแปรจากสาเหตุของกล่องตัวอย่าง 99.65 % และความผันแปรจากระบบการวัด 0.35 % ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10% ตามเกณฑ์มาตรฐาน พิจารณาค่าความผันแปรของระบบการวัด (%GR&R) มีค่าเท่ากับ 5.89% ซึ่งมาจากเครื่องมือวัด (Repeatability) 5.89% และจากพนักงานวัด (Reproducibility) 0.00% นอกนั้นเป็นความผันแปรจากกล่องกระดาษลูกฟูกตัวอย่าง ในระบบการวัดสามารถตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดีและพบว่าค่า Number of Distinct Categories = 23 แสดงว่าระบบการวัดที่ศึกษาทำการแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 23 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จะใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดได้ จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดที่ทำการวัดนี้สามารถใช้ในการวัดค่าระยะห่างร่องกาวของกล่องกระดาษลูกฟูกจากกระบวนการผลิตได้อย่างเหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
part	19	1077.75	56.7237	2663.30	0.000
operator	1	0.01	0.0120	0.56	0.462
part * operator	19	0.40	0.0213	0.60	0.898
Repeatability	80	2.85	0.0357		
Total	119	1081.02			

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
part	19	1077.75	56.7237	1723.65	0.000
operator	1	0.01	0.0120	0.36	0.547
Repeatability	99	3.26	0.0329		
Total	119	1081.02			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.03291	0.35
Repeatability	0.03291	0.35
Reproducibility	0.00000	0.00
operator	0.00000	0.00
Part-To-Part	9.44846	99.65
Total Variation	9.48137	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.18141	1.0885	5.89
Repeatability	0.18141	1.0885	5.89
Reproducibility	0.00000	0.0000	0.00
operator	0.00000	0.0000	0.00
Part-To-Part	3.07383	18.4430	99.83
Total Variation	3.07918	18.4751	100.00

Number of Distinct Categories = 23

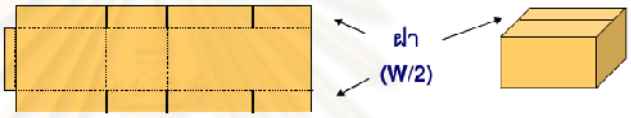
รูปที่ 3.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดชิ้นงานของพนักงาน 2 คน

3.2 การศึกษากระบวนการผลิตและเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง

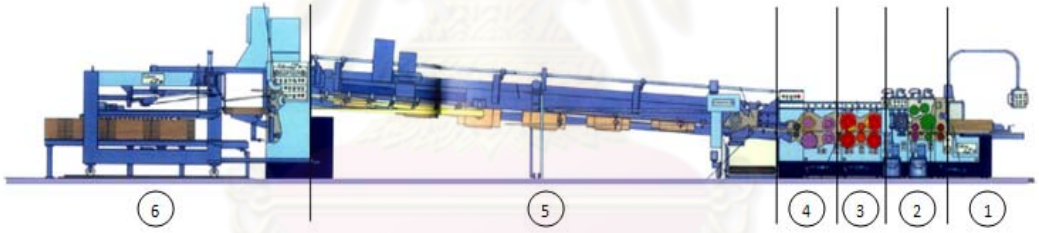
ผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก ส่วนประกอบของเครื่องจักรและการศึกษากระบวนการผลิตมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 ผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกและเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกประเภท RSC (Regular Slotted Container) เป็นกล่องแบบมีร่องสล๊อต ที่มีฝามีความสูงเป็นครึ่งหนึ่งของด้านกว้าง และฝาทุกฝามีความสูงเท่ากัน ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งเครื่องจักรที่ใช้ในการพิมพ์และขึ้นรูปกล่องผลิตภัณฑ์ดังกล่าว คือ เครื่องจักร B ประเภท Flexo Folder Gluler ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างกล่อง RSC



รูปที่ 3.6 เครื่องจักร Flexo Folder Gluler

หมายเลข 1 ชุดป้อนกระดาษ (Feed Section) ทำหน้าที ป้อนแผ่นลูกฟูกเข้าชุดพิมพ์

หมายเลข 2 ชุดพิมพ์กระดาษ (Print Section) ทำหน้าที พิมพ์แผ่นลูกฟูก ใช้ระบบการพิมพ์แบบเฟลกโซกราฟฟี่ (Flexography)

หมายเลข 3 ชุดทับรอยและเซาะร่อง (Creaser & Slotter Section)

หมายเลข 4 ชุดโรตารีไดคัท (Rotary Die-cutter Section)

หมายเลข 5 ชุดทากาวและรางพับ (Folding & Gluing Section)

หมายเลข 6 ชุดเคาน์เตอร์และอีเจคเตอร์ (Counter & Ejecter Section)

3.2.2 การศึกษากระบวนการผลิตในการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก

ในการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระยะร่องกาว จะเริ่มจากการศึกษากระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก มีขั้นตอนดังรูปที่ 3.7

1) นำแผ่นกระดาษลูกฟูกที่ประกบลอนเรียบร้อยแล้วมาที่ชุดพรีฟีดเดอร์ (Pre-Feeder) เพื่อรับกองกระดาษส่งสู่ชุดป้อนกระดาษให้เป็นไปอย่างต่อเนื่องกระดาษถูกส่งมายังชุดป้อนดาษ (Feed Section) ซึ่งส่งผ่านกระดาษจากฟีดเทเบิ้ล เข้าสู่ชุดพิมพ์ทีละ 1 แผ่น กระดาษจะถูกส่งผ่านจากฟีดเทเบิ้ล โดยอาศัยชุดฟีดเดอร์ผลักกระดาษเข้าสู่ฟีดโรล ซึ่งเป็นลูกกลิ้งไซลินเดอร์ (Cylinder) 2 ลูก บน-ล่าง หมุนดึงกระดาษให้ถูกส่งต่อไปยังชุดพิมพ์

2) กระดาษถูกส่งมายังชุดพิมพ์ (Print Section)

2.1) หมึกพิมพ์จะถูกรีดหรือปาดน้ำหมึกให้ได้ฟิล์มของหมึกบางที่สุด ถ่ายทอดจากอนิล็อกซ์โรล (Anilox roll) ซึ่งเป็นลูกกลิ้งที่ถูกเจาะรูให้มีความลึก และรูปร่างตามคุณภาพการพิมพ์ที่ต้องการ อนิล็อกซ์โรล (Anilox roll) จะรับหมึกเข้าไปในเซลล์ (cell) และจ่ายออกเมื่อสัมผัสกับหน้าแม่พิมพ์ และถ่ายทอดลงบนผ่านกระดาษลูกฟูกอีกครั้ง

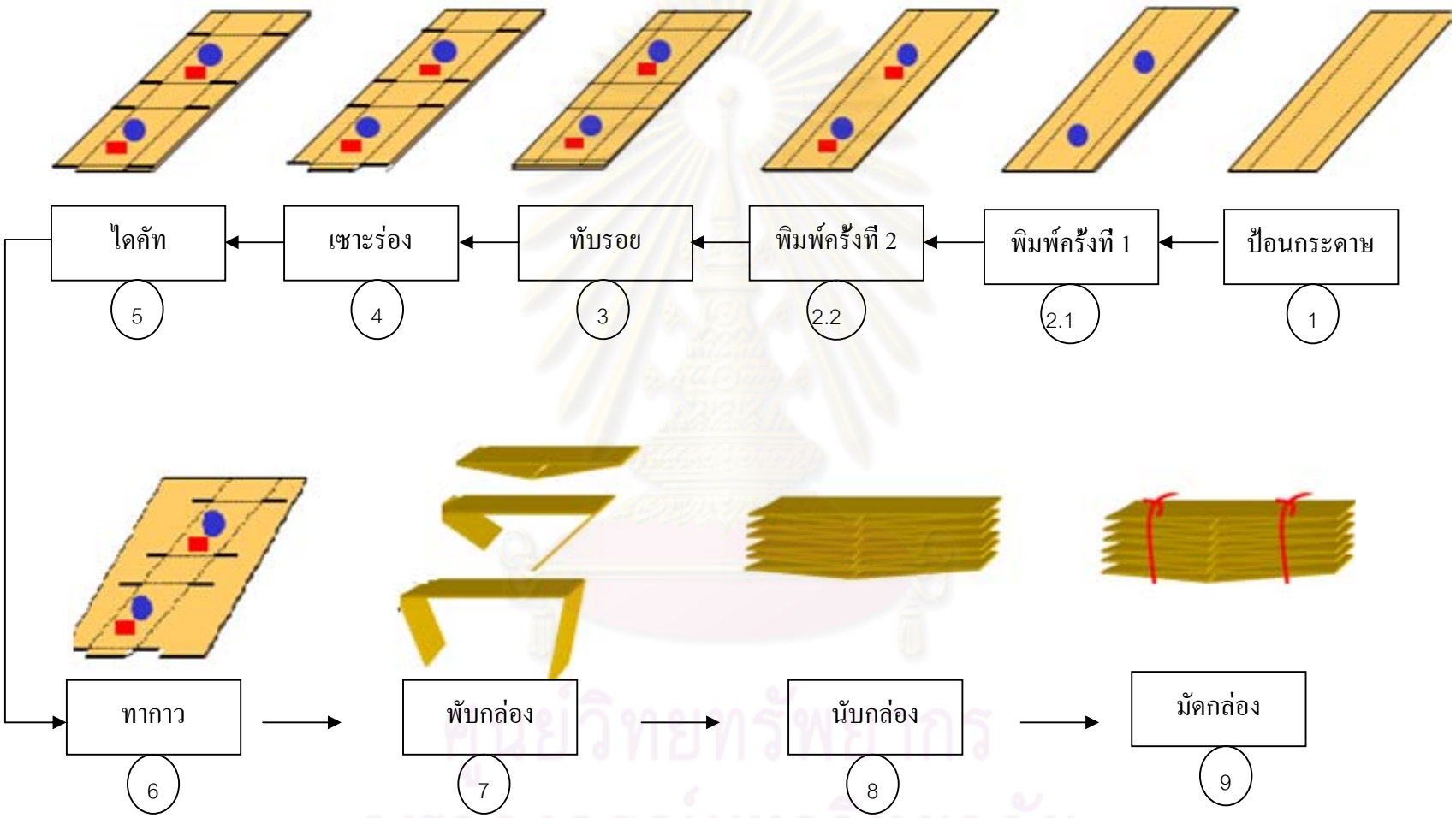
2.2) กระดาษถูกส่งจากชุดพิมพ์ไปยังชุดทำงานถัดไป โดยอาศัยการหมุนสวนทางของไซลินเดอร์ (Cylinder) 2 ลูก คือพริ้นไซลินเดอร์ (Print Cylinder) เป็นลูกกลิ้งทำด้วยโลหะที่มีการเซาะร่องไว้สำหรับเกี่ยวบล็อกพิมพ์ กับอิมเพรสชั้นไซลินเดอร์ (Impression Cylinder) เป็นลูกกลิ้งผิวโลหะมันทำหน้าที่กดกระดาษ เพื่อให้บล็อกพิมพ์สัมผัสกระดาษขณะพิมพ์

3) กระดาษถูกส่งมายังชุดทับรอย (Creaser Section) ซึ่งเป็นชุดลูกกลิ้งบน-ล่าง ที่ทำให้เกิดรอยทับด้านในของแผ่นกระดาษลูกฟูก ซึ่งทับรอยแบ่งรอยแผ่นกระดาษที่ผ่านการพิมพ์เป็นแนวทับรอยด้านยาวและกว้างของกล่อง โดยลูกทับรอยตัวผู้จะมีลักษณะเป็นวงแหวนที่มีสันนูน บีบอัดกับทับรอยตัวเมีย ซึ่งเป็นวงแหวนที่หุ้มด้วยยางยูริเทรน (Uritane) เป็นตัวรองกด ทำให้เกิดแนวเส้นทับรอย

4) กระดาษถูกส่งมายังชุดเซาะร่อง (Slotter Section) เป็นชุดใบมีดเซาะให้เกิดร่องที่ด้านบนและล่างของเส้นทับรอยทั้ง 4 เส้น แบ่งส่วนของแผ่นกระดาษเป็นฝากล่องบน-ล่าง ทั้งยาว

และด้านกว้างของกล่อง โดยทีใบมีดชุดแรก จะมีใบมีดหัวโขกประกบอยู่ ซึงจะทำหน้าที ตัดกระดาษให้เป็นส่วนของลิ้นกาวกล่อง

5) กระดาษถูกส่งมายังชุดโรตารีไดคัท (Rotary Die-cutter Section) ทำหน้าทีหลักในการตัดแผ่นกระดาษทีผ่านจากชุดพิมพ์ ให้มีลักษณะเป็นช่องหรือรูตามทีลูกค้าต้องการ ซึงส่วนใหญ่จะใช้เจาะรูหูหิ้วในกล่องขนาดใหญ่หรือช่องระบายอากาศในกล่องใส่สินค้าประเภทผักและผลไม้
6) กระดาษถูกส่งมายังชุดกาว (Gluing Section) มีลักษณะเป็นลูกล้อบน-ล่างโดยมีลูกใดลูกหนึง ทำหน้าทีทากาวทีลิ้นของกล่องและอีกลูกหนึงประคองขณะทีกระดาษผ่านระหว่างลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูก
7) กระดาษถูกส่งมายังชุดรางพับกล่อง (Floding Section) ชนิด RSC (Regular Slotted Container) เป็นกล่องทีฝามีความสูงเป็นครึงหนึงของด้านกว้าง และฝาทุกฝามีมีความสูงขนาดเท่ากันหมด ซึงชุดรางพับกล่องทำหน้าทีในการประคองและพับกล่องให้อยู่ในตำแหน่งทีถูกต้อง โดยอาศัยสายพานบน-ล่าง เป็นตัวพากล่องให้เคลือนทีไปบนรางพับ และมีโฟลดิ้งรอดเป็นตัวประคองให้เกิดการพับทีองศาต่างๆกัน จนรอยต่อทั้ง 2 ด้าน เข้ามาประกบชิดกันพอดี ในตำแหน่งลิ้นกาว กระดาษถูกส่งมายังชุดสแควร์ริง (Squaring Section) เป็นชุดตบกระแทกกล่องทีมีการพับขึ้นรูปแล้ว โดยมีหลักการทีจะต้องทำให้ด้านที 4 ทีพับมาทับกับลิ้นกาวด้านที 1 มีแนวต่อเป็นเส้นตรงทั้งด้านบนและด้านล่างของตัวกล่อง
8) กระดาษถูกส่งมายังชุดเคาน์เตอร์และอิเจคเตอร์ (Counter & Ejector Section) เพือทำการนับกล่อง ซึงเมือครบตามจำนวนทีตั้งไว้ กล่องนั้นก็จะถูกผลักออกมาและจะถูกส่งต่อไปยังชุดมัดถัดไป
9) กระดาษถูกส่งมายังชุดเครืองมัด (Tying Machine Section) เพือรัดกล่องให้เป็นมัดด้วยเชือก เพืองา่ยต่อการขนถ่ายและตรวจสอบจำนวนสินค้าทีผลิตขั้นสุดท้ายก่อนส่งถึงลูกค้า



รูปที่ 3.7 แผนภาพขั้นตอนกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การค้นหาปัจจัยที่เกียวข้อง

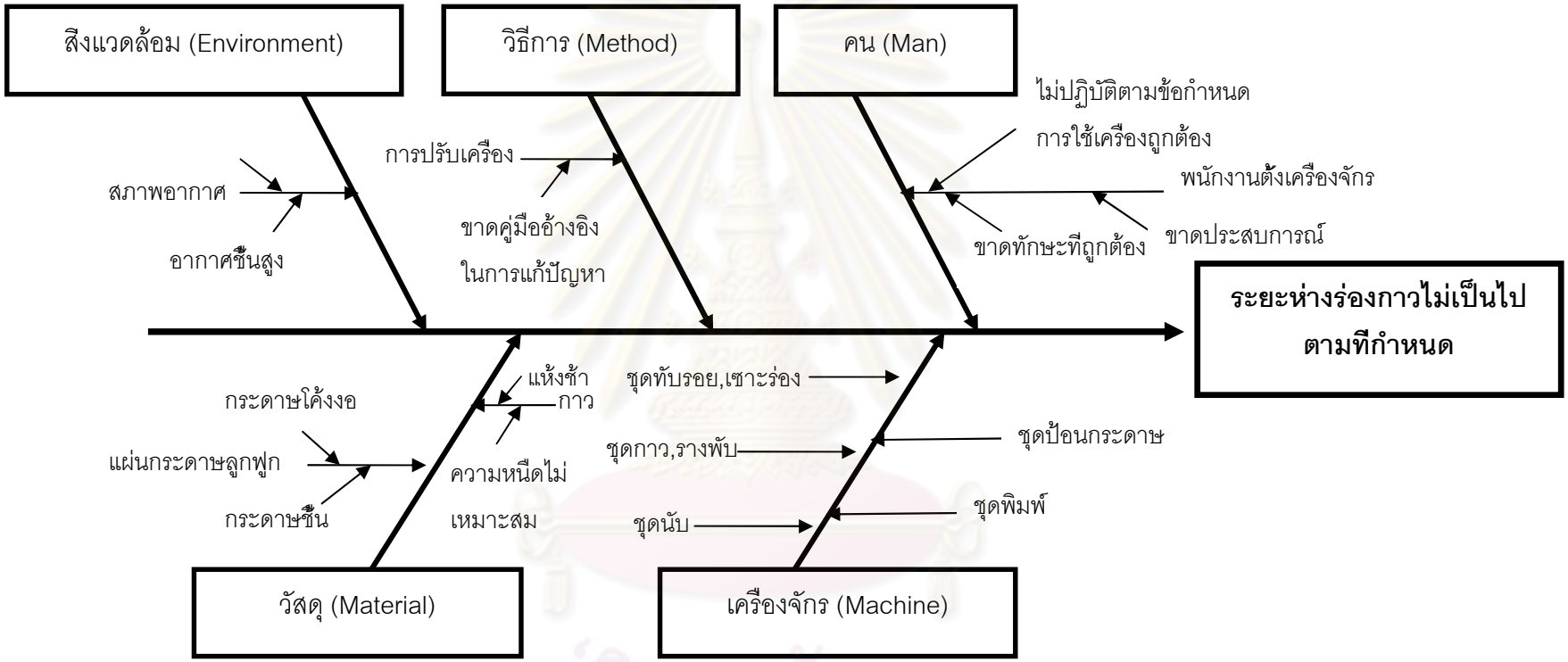
ในงานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูกเท่านั้น เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่เกียวข้องต่อระยะห่างร่องกาว ในเบื้องต้นจะใช้การระดมสมอง (Brainstorming) จากผู้เชียวชาญและผู้มีประสบการณ์ที่เกียวข้องของโรงงานกรณีศึกษาโดยอ้างอิงตามหลักการทางวิศวกรรม ข้อมูลจากการทดลองในอดีตที่ผ่านมา เพื่อระบุปัจจัยที่เป็นไปได้ที่มีผลกระทบต่อระยะร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด

3.3.1 การค้นหาปัจจัยที่เกียวข้อง

เครื่องมือที่นำมาประยุกต์ใช้ช่วยในการพิจารณา คือ แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เพื่อหาปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมด จากนั้นจะได้แผนภาพแสดงเหตุและผลขึ้นมา โดยจะใช้หลักการ 4M 1E ได้แก่ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัสดุ (Material) วิธีการ (Method) และสิงแวดล้อม (Environment) เป็นแนวทางในการพิจารณารายละเอียดของปัจจัยต่อไป ดังรูปที่ 3.8

ในส่วนเครื่องจักร (Machine) นั้นจะลงรายละเอียดย่อยเพื่อพิจารณาปัจจัยที่เกียวข้องตามส่วนการทำงานต่างๆของเครื่องจักร ซึ่งมีอยู่ 5 ส่วนหลักที่เกียวข้องกับปัญหา คือ ชุดป้อนแผ่น (Feed Unit) ชุดทำการพิมพ์ (Printer Unit) ชุดเซาะร่อง (Slotter Unit) ชุดพับกล่อง (Folder Unit) และชุดนับ (Delivery Unit) ซึงสามารถอธิบายความเกียวข้องของปัจจัยต่างๆ ได้ดังรูปที่ 3.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 แผนภาพสาเหตุและผลของปัญหาระยะร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด โดยจะใช้หลักการ 4M 1E

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.9 แผนภาพสาเหตุและผลของปัญหาระยะร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนดในส่วนประกอบย่อยของเครื่องจักร

* หมายถึง ปัจจัยที่เลือกใช้ในการศึกษานี้

3.3.2 **ปัจจัยประเภทเครื่องจักรที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว**

สำหรับรายละเอียดของแต่ละปัจจัยส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด มีดังต่อไปนี้

3.3.2.1 **ชุดป้อนกระดาษ** (Feed Unit)

ชุดป้อนกระดาษ ทำหน้าที่นำแผ่นกระดาษลูกฟูกที่ประกบลอนเรียบร้อยเข้าสู่เครื่องพิมพ์ โดยอาศัยลูกกลิ้งไซลินเดอร์หมุนดึงกระดาษให้ถูกส่งต่อไปยังชุดพิมพ์ถัดไป โดยปัจจัยที่มีผลต่อระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนดในชุดป้อนกระดาษ ดังนี้

1) **ความเร็วของเครื่องจักร** (Running Speed) ความเร็วที่ใช้ในการเดินเครื่องจักร หากเดินเครื่องที่ความเร็วสูงเกินไป อาจส่งผลให้ลูกกลิ้งและสายพานเกิดการลื่นไถลในระหว่างการลำเลียง ซึ่งส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของกระดาษบิดเบี้ยวไปได้ แต่หากเดินเครื่องที่ความเร็วที่ต่ำเกินไปจะทำให้สูญเสียกำลังการผลิต และกาวเกิดการแห้งตัวก่อนถึงชุดนับได้
2) **ระยะกดของลูกกลิ้งป้อนกระดาษ** (Feed Roll Gap) ประกอบไปด้วยลูกกลิ้งไซลินเดอร์บน-ล่างอยู่ในส่วนชุดป้อนแผ่น ทำหน้าที่หมุนดึงกระดาษให้ลำเลียงต่อไปยังชุดพิมพ์ หากกำหนดระยะห่างของลูกกลิ้งป้อนกระดาษไม่เหมาะสม ทำให้แผ่นกระดาษเกิดการยุบตัวและคุณสมบัติบางประการเสียไปได้ อาจส่งผลต่อการทิศทางการเคลื่อนที่ของกระดาษบิดเบี้ยวไปได้ ทำให้ระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด
3) **ตำแหน่งของตัวตบข้าง** (Side Gauge Register) ตำแหน่งของระยะของตัวกระแทกด้านข้างของชุดป้อนกระดาษ เพื่อให้แผ่นลูกฟูกเรียงซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบ และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่เข้าสู่เครื่องจักร ซึ่งหากอยู่ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้เกิดแรงกระแทกที่มากเกินไปจนแผ่นลูกฟูกยุบ หรือเบาเกินไปจนไม่สามารถจัดเรียงให้แผ่นลูกฟูกซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบได้ อาจส่งผลต่อการทิศทางการเคลื่อนที่ของกระดาษบิดเบี้ยวไปได้ ทำให้ระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด

4) **สภาพของล้อป้อนกระดาษ** (Feed Wheel) หากมีการสึกหรือชำรุดของสภาพล้อป้อนกระดาษด้านใดด้านหนึ่งหรือลูกโรลมีค่า Hardness ไม่เหมาะสม ทำให้ต้องออกแรงกดมากขึ้น ทำให้กระดาษเกิดการยุบตัวและคุณสมบัติบางประการของกระดาษเสียไปได้

5) **แรงลมดูดในชุดป้อนกระดาษ** (Vacuum Holddown) ทำหน้าที่ดูดกระดาษลูกฟูกที่กำลังลำเลียงให้แนบติดกับเครื่องก่อนที่จะผ่านเข้าชุดป้อนกระดาษ หากแรงลมดูดไม่เหมาะสม อาจทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่ของกระดาษบิดเบี้ยวไป

3.3.2.2 **ชุดพิมพ์** (Printer Unit)

ชุดพิมพ์ ทำหน้าที่พิมพ์ลาย สี ลงกล่องกระดาษลูกฟูกตามที่ลูกค้าต้องการ โดยเครื่องจักรแบ่งเป็นชุดพิมพ์ย่อยๆ เป็น 3 ชุด แต่ละชุดพิมพ์ติดตั้งบล็อกพิมพ์และสีแตกต่างกัน โดยหมึกพิมพ์จะถูกรีดหรือปาดหมึกให้ได้ฟิล์มของหมึกที่บางที่สุด ถ่ายทอดจากอนิล็อกซ์โรล มายังผิวหน้าของแม่พิมพ์ แล้วจึงลำเลียงกระดาษไปยังชุดเซาะร่องต่อไป โดยปัจจัยที่มีผลต่อระยะห่างร่องกาวในชุดพิมพ์กระดาษ ดังนี้

1) **ระยะกดของลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น** (Pull Roll Gap) มีลักษณะเป็นลูกกลิ้งไซลินเดอร์บน-ล่าง ทำหน้าที่หมุนดึงจากชุดป้อนกระดาษให้ลำเลียงเข้ามายังชุดพิมพ์ ซึ่งหากกำหนดระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไม่เหมาะสม ทำให้แผ่นกระดาษเกิดการยุบตัวและคุณสมบัติบางประการเสียไปได้ อาจส่งผลต่อการทิศทางการเคลื่อนที่ของกระดาษบิดเบี้ยวไปได้ ซึ่งส่งผลต่อระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด

2) **ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพิมพ์ กับลูกกลิ้งกด** (Print Roll Gap) **ตู้ที่1, 2 และ 3** ระยะห่างระหว่างพริ้นไซลินเดอร์กับอิมเพรสชั้นไซลินเดอร์ ซึ่งเครื่องจักรประกอบไปด้วยตู้พิมพ์ 3 ตู้ หากระยะดังกล่าวไม่เหมาะสม อาจทำให้แผ่นกระดาษเกิดการยุบตัวและคุณสมบัติบางประการเสียไปได้ ส่งผลในการเคลื่อนที่ของแผ่นลูกฟูกบิดเบี้ยวซึ่งส่งผลต่อระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2.3 **ชุดทับรอยและเซาะร่อง** (Slotter Unit)

ชุดทับรอยและเซาะร่อง ทำหน้าที่ทับรอยแบ่งรอยแผ่นกระดาษที่ผ่านการพิมพ์เป็นแนวทับรอยด้านยาวและกว้างของกล่อง จากนั้นกระดาษถูกส่งมายังชุดเซาะร่องเป็นชุดใบมีดเพื่อตัดกระดาษให้เกิดร่องที่ด้านบนและล่างของเส้นทับรอยและส่วนของลิ้นกาวกล่อง โดยปัจจัยที่มีผลต่อระยะห่างร่องกาวในชุดทับรอยและเซาะร่องกระดาษ ดังนี้

1) **ระยะกดของชุดทับรอยชุดที่** 1 (precreaser) เป็นชุดลูกกลิ้งบน-ล่างที่ทำให้เกิดรอยทับด้านในของแผ่นกระดาษลูกฟูก ทำหน้าที่กดลอนลูกฟูกให้ยุบตัวลงไประดับหนึ่งก่อนหากกำหนดระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไม่เหมาะสม อาจทำให้มีปัญหาในการพับตัวของกล่องได้
2) **ระยะกดของชุดทับรอยชุดที** 2 (creaser) เป็นชุดลูกกลิ้งบน-ล่างที่ทำให้เกิดรอยทับด้านในของแผ่นกระดาษลูกฟูก ทำหน้าที่กดลอนลูกฟูกย้ำให้เกิดรอยพับที่ชัดเจนขึ้นหากกำหนดระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไม่เหมาะสม อาจทำให้มีปัญหาในการพับตัวของกล่องได้
3) **ตำแหน่งมีดทับรอยชุดที่ 1 และ** 2 (Creasing Register 1 and 2) หากมีดทับรอยแต่ละชุดกดลงในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้มิติด้านกว้าง-ยาวของกล่องคลาดเคลื่อน อาจทำให้ระยะห่างร่องกาวไม่ได้ตามที่กำหนด
4) **ตำแหน่งของชุดเซาะร่อง** (Slotter Register) หากมีดเซาะร่องกดลงในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้มิติด้านกว้าง-ยาวของกล่องคลาดเคลื่อนอาจทำให้ระยะห่างร่องกาวไม่ได้ตามที่กำหนดไว้
5) **ตำแหน่งของมีดตัดเศษท้าย** (Slitter Register) หากตั้งตำแหน่งของมีดตัดเศษท้ายไม่เหมาะสม จะทำให้มิติด้านที่ 4 ของกล่องมากหรือน้อยเกินไป ซึ่งส่งผลต่อระยะร่องกาวไม่ได้ตามที่กำหนด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2.4 **ชุดทากาวและรางพับ** (Folder Unit)

ชุดทากาวและรางพับ ทำหน้าที่ทากาวที่ลิ้นของกล่อง โดยใช้ลูกล้อบน-ล่างลูกใดลูกหนึ่ง และอีกลูกหนึ่งประคองกระดาษ จากนั้นกระดาษถูกส่งมายังชุดรางพับกล่อง โดยใช้สายพานบน-ล่างในการประคองให้เคลื่อนที่ไปบนรางพับ และพับกล่องให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง และมีโฟลดิ้งรอดเป็นตัวประคองให้เกิดการพับที่องศาต่างๆกัน จนรอยต่อของกล่องกระดาษลูกฟูกทั้ง 2 ด้าน เข้ามาประกบชิดกันพอดี ในตำแหน่งลิ้นกาว โดยมีหลักการที่จะต้องทำให้ด้านที่ 4 ที่พับมาทับกับลิ้นกาวด้านที่ 1 มีแนวต่อเป็นเส้นตรงทั้งด้านบนและด้านล่างของตัวกล่อง โดยปัจจัยที่มีผลต่อระยะห่างร่องกาวในชุดทากาวและพับกล่องกระดาษลูกฟูก ดังนี้

1) **ระยะเบียงของรางพับด้านซ้าย** (Folding Beam OP Register) ทำหน้าที่กำหนดตำแหน่งในการประคองและพับกล่องให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ซึ่งหากกำหนดระยะเบียงของรางพับด้านซ้ายไม่เหมาะสม ส่งผลต่อระยะร่องกาวไม่ได้ตามที่กำหนด
2) **ระยะเบียงของรางพับด้านขวา** (Folding Beam DR Register) ทำหน้าที่กำหนดตำแหน่งในการประคองและพับกล่องให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ซึ่งหากกำหนดระยะเบียงของรางพับด้านขวาไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อการเคลื่อนที่และการพับของกระดาษคลาดเคลื่อนไปได้
3) **ความเร็วรางพับด้านซ้าย** (Speed OP Register) ความเร็วที่กล่องเคลื่อนที่บนรางพับ ซึ่งหากกำหนดความเร็วของรางพับด้านซ้ายไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อการเคลื่อนที่และการพับของกระดาษคลาดเคลื่อนไปได้ โดยทั่วไปจะค่าความเร็วของรางพับด้านซ้ายจะตั้งเป็นจำนวนเท่าของความเร็วของรางพับด้านขวา โดยการพับกล่องของด้านที่1 และด้านที่ 4 ให้มาประกบกันได้ ความเร็วรางพับด้านซ้ายจะช้ากว่าด้านขวาเสมอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) **ความเร็วรางพับด้านขวา** (Speed DR Register) ความเร็วที่กล่องเคลื่อนที่บนรางพับ ซึ่งหากกำหนดความเร็วของรางพับด้านขวาไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อการเคลื่อนที่และการพับของกระดาษคลาดเคลื่อนไป

5) **ความขนานของรางพับ** (Parallel of Folding Beam) หากรางพับไม่ขนานกัน อาจทำให้การเคลื่อนที่และการพับตัวคลาดเคลื่อนได้

6) **ตำแหน่งของสายพานประคองข้าง** (Squaring Belt Register) หากตำแหน่งของสายพานทั้งด้านซ้ายและขวาทำให้เกิดการบีบกล่องมากเกินไป จะทำให้ระยะร่องกาวแคบลงได้

7) **ระยะกดล้อกาว** (Glue Wheel Gap) ชุดกาวมีลักษณะเป็นลูกล้อบนล่าง โดยมีลูกใดลูกหนึ่งทำหน้าที่ทากาวที่ลิ้นของกล่อง และอีกลูกหนึ่งประคองกระดาษ ถ้าหากระยะกดล้อกาวกว้างเกินไป อาจทำให้ฟิล์มกาวมีความหนามาก กาวแห้งช้า อาจส่งผลต่อการเคลื่อนที่และการพับของกล่องคลาดเคลื่อนไปได้

8) **ความตึงของสายพานพับกล่อง** (Upper &Lower Folding Belt Tension) หากความตึงของสายพานพับกล่องไม่เหมาะสม อาจส่งผลการพับตัวกล่องคลาดเคลื่อนได้

9) **ความตึงของสายพานประคองข้าง** (Squaring Belt Tension) หากความตึงของสายพานประคองข้างไม่เหมาะสม ส่งผลการพับตัวของกล่องคลาดเคลื่อนได้

10) **แรงลมดูดใต้สายพานพับกล่องเส้นล่าง** (Suction Force of Lower Belt) รางลมดูดทำหน้าที่ดูดกล่องที่กำลังลำเลียงผ่านไปให้แนบติดกับ Belt หากแรงลมดูดดังกล่าวมีค่าไม่เหมาะสม อาจทำให้เกิดการเคลื่อนที่และการพับตัวของกล่องที่ไม่เหมาะสมได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2.5 **ชุดเคาน์เตอร์และอิเจคเตอร์** (Counter & Ejector Section)

ชุดเคาน์เตอร์และอิเจคเตอร์ ทำหน้าทีนับกล่อง ซึงเมือครบตามจำนวนทีตังไว้ กล่องจะถูกผลักออกมาและจะถูกส่งต่อไปยังชุดมัดถัดไป เพือรัดกล่องให้เป็นมัดด้วยเชือก เพืองา่ยต่อการขนถ่ายและตรวจสอบจำนวนสินค้าทีผลิตขันสุดท้ายก่อนส่งถึงลูกค้า โดยปัจจัยทีมีผลต่อระยะห่างร่องกาวในชุดนับและมัดกล่องกระดาษลูกฟูก ดังนี

1) **ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ** (Feed Belt Gap) ทำหน้าทีดึงกล่องต่อจาก Squaring Belt เพือป้อนข้าสู่ชุด Squaring ฉะนันหากการตังระยะการกดของสายพานชุดนีไม่เหมาะสม อาจทำให้การเคลือนทีเข้าสู่ชุดนับไม่เหมาะสมได้
2) **จังหวะในการตบของตัวตบฉาก** (Timing of Squaring Bar) หากจังหวะในการตบของ Squaring Bar ไม่สอดคล้องกับการเคลือนทีเข้ากระแทกกับ Back Stop และการเลือนยกขึนของชุดนับ อาจทำให้การตบฉากเพือให้เกิดความเรียบเสมอของร่องกาวเป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ จนทำให้เกิดปัญหาร่องกาวเบียวได้
3) **ระยะของตังกันท้าย** (Back Stop Register) หากตังค่าตำแหน่งของกันท้ายไม่เหมาะสม อาจทำให้เกิดปัญหากล่องติดในเครือง หรือทำให้ตัวตบฉากตบไม่ถึง ซึงอาจทำให้เกิดปัญหาร่องกาวเบียวได้

3.3.3 **ปัจจัยประเภทวัตถุดิบทีมีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว**

ปัจจัยวัตถุดิบที่ส่งผลต่อระยะห่างร่องกาวได้แก่ กระดาษลูกฟูก กาว มีรายละเอียดดังนี

1) **ความโค้งงอของกระดาษลูกฟูก** (Warp Sheet) ความโค้งงอของกระดาษลูกฟูกส่งผลต่อความยาก ง่ายในการทับรอยขึนรูปกล่องกระดาษ ก่อให้เกิดปัญหาระยะห่างร่องกาวชิด ห่างไม่ได้ตามทีกำหนดไว้
2) **ปริมาณความชืนในกระดาษลูกฟูก** (Moisture Content) ความชืนของกระดาษลูกฟูกส่งผลต่อความยากง่ายในการทับรอยขึนรูปกล่องกระดาษก่อให้เกิดปัญหาระยะห่างร่องกาวชิด ห่างไม่ได้ตามทีกำหนดไว้

3) **ความหนืดของกาว** (Glue Viscosity) เนื่องจากความหนืดของกาว ส่งผลต่อความเสียดทานที่ตำแหน่งกล่องสัมผัสกับล้อทากาว ซึ่งส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของกล่องเคลื่อนที่เอียงบนรางพับ ทำให้ระยะห่างร่องกาวคลาดเคลื่อนได้

4) **เกรดกระดาษลูกฟูก** (Board Combination) เนื่องจากกระดาษลูกฟูกแต่ละชนิด มีคุณสมบัติที่ต่างกัน เช่น ความแข็งแรง หากเกรดกระดาษลูกฟูกเปลี่ยนไป ก็จะทำให้ความสามารถในการกดทับรอยหนัก-เบาไม่เท่ากัน ทำให้การพับตัวของกล่องกระดาษ ยากง่ายไม่เท่ากัน ก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการพับ ส่งผลต่อระยะห่างของร่องกาวได้

5) **ชนิดลอนลูกฟูก** (Flute Type) เนื่องจากลอนลูกฟูกแต่ละชนิด มีคุณสมบัติที่ต่างกัน เช่น ความสูงของลอน หากชนิดลอนลูกฟูกเปลี่ยนไป ทำให้ความสามารถในการกดทับรอยยากง่ายไม่เท่ากัน ส่งผลต่อการพับตัวของกล่องกระดาษ ก่อให้เกิดปัญหาระยะห่างของร่องกาวได้

6) **ขนาดกล่องกระดาษลูกฟูก** (Sheet Dimension) หากกล่องมีขนาดของความกว้าง ความยาว ความสูง ที่แตกต่างกัน อาจส่งผลต่อความแม่นยำในการติดลิ้นกาวได้

3.3.4 ปัจจัยประเภทคนที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว

ปัญหาประเภทคนที่ส่งผลต่อระยะห่างร่องกาวโดยตรง คือพนักงานปรับตั้งเครื่องจักร ซึ่งสาเหตุในความผิดพลาดนั้นอาจเนื่องมาจาก พนักงานขาดทักษะที่ถูกต้อง ความชำนาญในการปรับตั้งเครื่องจักร ขาดประสบการณ์ในการแก้ปัญหาเมื่อเกิดระยะห่างร่องกาวมากหรือน้อยเกินไป และการที่พนักงานปรับตั้งเครื่องจักร ไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดการใช้เครื่องจักรให้ถูกต้องตามที่ได้ฝึกอบรมมา จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว

3.3.5 ปัจจัยประเภทวิธีการที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว

ปัญหาประเภทวิธีการที่ส่งผลต่อระยะห่างร่องกาวโดยตรง คือ ขาดคู่มืออ้างอิงในการแก้ปัญหา เนื่องจากปัญหาระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนดนั้น บางครั้งเกิดระยะห่างร่องกาวกว้างมากเกินไป หรือแคบมากเกินไป ขึ้นอยู่กับชนิดรหัสผลิตภัณฑ์การปรับตั้งในแต่ละครั้งไม่มีคู่มืออ้างอิง เป็นการลองผิดลองถูกแก้ปัญหาเฉพาะหน้าไป

3.3.6 ปัจจัยประเภทสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว

ปัจจัยที่ประเภทสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลต่อระยะห่างร่องกาว คือสภาพอากาศ เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษามีสายการผลิตที่เป็นอาคารแบบเปิด ซึ่งเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศเช่น อากาศชื้นมากเกินไป อาจส่งผลต่อการแห้งตัวของกาวในกล่องกระดาษลูกฟูก หรือตัวกล่องกระดาษลูกฟูกเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การคัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

จากแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) จากรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 พบว่า ในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก มีปัจจัยที่เกียวข้องทั้งหมด 33 ปัจจัย เนื่องจากปัจจัยมีจำนวนมากเกินไป ดังนั้นในขั้นตอนถัดไปจะเป็นการพิจารณาเพื่อจำแนกชนิดของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง จะสามารถตัดบางปัจจัยออกจากการทดลองได้ เพื่อให้เหมาะกับทรัพยากรและเวลาที่มีอย่างจำกัด

3.4.1 เกณฑ์ในการคัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

เนื่องจากปัจจัยที่เกียวข้องมีจำนวนมากเกินไป ดังนั้นจึงมีหลักเกณฑ์ที่ใช้จำแนกเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่จะใช้ในการทดลองเบื้องต้น มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาว่าแต่ละปัจจัยจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้หรือปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ในการทดลอง

- จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) พิจารณาต่อขั้นตอนที่ 2
- จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) พิจารณาต่อขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 2 หากจัดเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factors) จะพิจารณาว่าปัจจัยดังกล่าว ในแต่ละครั้งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ง่ายหรือยุ่งยาก

- ปรับเปลี่ยนค่าได้ง่ายในแต่ละสภาวะการทดลอง ซึ่งนำปัจจัยดังกล่าวไปทำพิจารณาขั้นตอนที่ 3
- ปรับเปลี่ยนค่ายุ่งยากในแต่ละสภาวะการทดลองอันเนื่องข้อจำกัดทางเทคโนโลยี ต้นทุนในการควบคุม จะกำหนดปัจจัยนั้นควบคุมให้มีค่าคงที่ไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่งในการทดลอง (Held Constant Factor)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนที 3 หากจัดเป็นปัจจัยที่ปรับเปลี่ยนค่าได้ง่ายในแต่ละสภาวะการทดลอง จะพิจารณาว่าปัจจัยดังกล่าวส่งผลกับการเปลี่ยนแปลงความสามารถของเครื่องจักรหรือไม่

- หากส่งผลกับการเปลี่ยนแปลงความสามารถของเครื่องจักร จะกำหนดปัจจัยน้นควบคุมให้มีค่าคงที่ไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่งในการทดลอง (Held Constant Factor)
- หากไม่ส่งผลกับการเปลี่ยนแปลงความสามารถของเครื่องจักร จะนำปัจจัยไปใช้ในการออกแบบการทดลองเบื้องต้น โดยใช้เทคนิคทากูชิ เพื่อทราบอิทธิพลของปัจจัยด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ

ขั้นตอนที 4 พิจารณาปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Factors) นั้นมีส่วนร่วมในส่งผลกระทบต่อปัญหาระยะห่างร่องกาวมากหรือไม่

- ส่งผลกระทบปัญหาระยะห่างร่องกาวมาก ให้พิจารณาว่าสามารถควบคุมใน ระหว่างการทดลองได้หรือไม่
    - ถ้าควบคุมได้ ให้ทำการบล็อกปัจจัยดังกล่าวในการทดลอง
    - ถ้าควบคุมไม่ได้ให้ดำเนินการออกแบบการวิเคราะห์ตัวแปรร่วม (Analysis of Covariance)
- ไม่ส่งผลกระทบปัญหาระยะห่างร่องกาวมาก สามารถจัดปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยสิ่งรบกวน (Noise Factor) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็กน้อยที่ไม่สามารถควบคุมได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2 การพิจารณาคัดเลือกปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

จากการพิจารณาเลือกปัจจัยต่างๆ โดยการใช้เกณฑ์ในหัวข้อ 3.4.1 สามารถที่จะสรุปเหตุผลของการเลือกปัจจัยที่จะนำไปใช้ในการออกแบบการทดลอง ดังนี้

3.4.2.1 ปัจจัยที่ถูกคัดเลือกเพื่อใช้ในการทดลอง

เหตุผลในการเลือกปัจจัยที่จะนำไปใช้ในการออกแบบการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

1) **ความเร็วของเครื่องจักร** (Running Speed) ซึ่งปัจจัยความเร็วของเครื่องจักรจะพิจารณาจากข้อมูลการทดลองที่ได้ทำแล้วในอดีตโดยทีมงานทักษะว่าปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว และจากแนวทางในการเลือกปัจจัยเบื้องต้น พบว่าปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว ดังนั้นปัจจัยความเร็วของเครื่องจักร จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยต่อไป

2) **ระยะกดของลูกกลิ้งป้อนกระดาษ** (Feed Roll Gap) หากกำหนดระยะห่างของลูกกลิ้งป้อนกระดาษไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อการทิศทางการเคลื่อนที่ของกระดาษบิดเบี้ยวไปได้ ซึ่งส่งผลต่อระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด จากการระดมสมองจากผู้เชียวชาญผู้มีประสบการณ์ในโรงงานกรณีศึกษา และแนวทางในการเลือกปัจจัยเบื้องต้น พบว่าปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว ดังนั้นปัจจัยระยะกดของลูกกลิ้งป้อนกระดาษ จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยต่อไป

3) **ระยะกดของลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น** (Pull Roll Gap) หากกำหนดระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อการทิศทางการเคลื่อนที่ของกระดาษบิดเบี้ยวไปได้ ซึ่งส่งผลต่อระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด จากการระดมสมองจากผู้เชียวชาญผู้มีประสบการณ์ในโรงงานกรณีศึกษาและแนวทางในการเลือกปัจจัยเบื้องต้น พบว่าปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว ดังนั้นปัจจัยระยะกดของลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) **ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพิมพ์ กับลูกกลิ้งกด** (Print Roll Gap) **ตู้ที่** 1, 2 **และ** 3 หากระยะดังกล่าวไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดปัญหาในการเคลือนทีของแผ่นลูกฟูกบิดเบี้ยวซึงส่งผลต่อระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามทีกำหนด จากการระดมสมองจากผู้เชียวชาญผู้มีประสบการณ์ในโรงงานกรณีศึกษาและแนวทางในการเลือกปัจจัยเบื้องต้น พบว่าปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยทีควบคุมได้ทีสามารถปรับเปลียนค่าได้ จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นทีมีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว ดังนั้นปัจจัยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกด จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยต่อไป ซึงเหตุผลในการเลือกปัจจัยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกด ตู้ที่ 1, 2 และ 3 เหมือนกัน

5) **ระยะกดของชุดทับรอยชุดที** 1 (precreaser) หากกำหนดระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไม่เหมาะสม อาจทำให้มีปัญหาในการพับตัวของกล่องได้ ซึงปัจจัยระยะกดของชุดทับรอยชุดที1 จะพิจารณาจากข้อมูลการทดลองทีได้ทำแล้วในอดีตโดยทีมงานทักษะว่าปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว และจากแนวทางในการเลือกปัจจัยเบื้องต้น พบว่าปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยทีควบคุมได้ทีสามารถปรับเปลียนค่าได้ จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นทีมีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว ดังนั้นปัจจัยระยะกดของชุดทับรอยชุดที 1 จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยต่อไป

6) **ระยะกดของชุดทับรอยชุดที** 2 (creaser) หากกำหนดระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไม่เหมาะสม อาจทำให้มีปัญหาในการพับตัวของกล่องได้ ซึงปัจจัยระยะกดของชุดทับรอยชุดที 2 จะพิจารณาจากข้อมูลการทดลองทีได้ทำแล้วในอดีตโดยทีมงานทักษะว่าปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว และจากแนวทางในการเลือกปัจจัยเบื้องต้น พบว่าปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยทีควบคุมได้ทีสามารถปรับเปลียนค่าได้ จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นทีมีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว ดังนั้นปัจจัยระยะกดของชุดทับรอยชุดที 2 จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยต่อไป

7) **ระยะเบียงของรางพับด้านซ้าย** (Folding Beam OP Register) หากกำหนดระยะเบียงของรางพับด้านซ้ายไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อการเคลื่อนที่และการพับของกระดาษคลาดเคลื่อนไปได้ จากการระดมสมองจากผู้เชียวชาญผู้มีประสบการณ์ในโรงงานกรณีศึกษาและแนวทางในการเลือกปัจจัยเบื้องต้น พบว่าปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว ดังนั้นปัจจัยระยะเบียงของรางพับด้านซ้าย จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยต่อไป

8) **ระยะเบียงของรางพับด้านขวา** (Folding Beam DR Register) หากกำหนดระยะเบียงของรางพับด้านขวาไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อการเคลื่อนที่และการพับของกระดาษคลาดเคลื่อนไปได้ ซึ่งปัจจัยระยะเบียงของรางพับด้านขวา จะพิจารณาจากข้อมูลการทดลองที่ได้ทำแล้วในอดีตโดยทีมงานทักษะว่าปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว และจากแนวทางในการเลือกปัจจัยเบื้องต้น พบว่าปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว ดังนั้นปัจจัยระยะเบียงของรางพับด้านขวา จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยต่อไป

9) **ความเร็วรางพับด้านซ้าย** (Speed OP Register) หากกำหนดความเร็วของรางพับด้านซ้ายไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อการเคลื่อนที่และการพับของกระดาษคลาดเคลื่อนไปได้ โดยทั่วไปจะค่าความเร็วของรางพับด้านซ้ายจะตั้งเป็นจำนวนเท่าของความเร็วของรางพับด้านขวา โดยการพับกล่องของด้านที่ 1 และด้านที่ 4 ให้มาประกบกันได้นั้น ความเร็วรางพับด้านซ้ายจะช้ากว่าด้านขวาเสมอ จากการระดมสมองจากผู้เชียวชาญผู้มีประสบการณ์ในโรงงานกรณีศึกษาและแนวทางในการเลือกปัจจัยเบื้องต้น พบว่าปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาวที่นำมาใช้ในการทดลองต่อไป ดังนั้นปัจจัยความเร็วของรางพับด้านซ้าย จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยต่อไป

10) **ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ** (Feed Belt Gap) หากการตั้งระยะการกดของสายพานชุดนี้ไม่เหมาะสม อาจทำให้การเคลื่อนที่เข้าสู่ชุดนับ ไม่เหมาะสมได้ ซึ่งปัจจัยระยะกดของสายพานป้อนเข้าชุดนับ จะพิจารณาจากข้อมูลการทดลองที่ได้ทำแล้วในอดีตโดยทีมงานทักษะว่าปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว และจากแนวทางในการเลือกปัจจัยเบื้องต้น พบว่าปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นที่มีอิทธิพลต่อระยะห่าร่องกาว ดังนั้นปัจจัยระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยต่อไป

11) **ระยะของตั้งกันท้าย** (Back Stop Register) หากตั้งค่าตำแหน่งของระยะกันท้ายไม่เหมาะสม ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาร่องกาวเบี้ยวได้ ซึ่งปัจจัยระยะของตั้งกันท้าย ซึ่งปัจจัยระยะของตั้งกันท้าย จะพิจารณาจากข้อมูลการทดลองที่ได้ทำแล้วในอดีตโดยทีมงานทักษะว่าปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว และจากแนวทางในการเลือกปัจจัยเบื้องต้น พบว่าปัจจัยดังกล่าวจัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ จึงเป็นปัจจัยเบื้องต้นที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างของร่องกาว ดังนั้นปัจจัยระยะตั้งกันท้าย จึงถูกนำมาใช้ในการทดลองคัดเลือกปัจจัยต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4.2.2 **ปัจจัยที่ไม่ถูกคัดเลือกเพื่อใช้ในการทดลอง**

เหตุผลในการไม่เลือกปัจจัยที่จะนำไปใช้ในการออกแบบการทดลองมีรายละเอียด ดังนี้

1) **ตำแหน่งของตัวตบข้าง** (Side Gauge Register) จัดเป็นปัจจัยตายตัว จึงต้องค่าปัจจัยดังกล่าวให้คงที่ตามมาตรฐานเครื่องจักรตามความเหมาะสม
2) **สภาพของล้อป้อนกระดาษ** (Feed Wheel) จัดเป็นปัจจัยควบคุมได้แต่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ ควบคุมเบื้องต้นโดยการตรวจสอบสภาพของล้อป้อนกระดาษให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมได้ด้วยตาเปล่าก่อนเดินเครื่อง
3) **แรงลมดูดในชุดป้อนกระดาษ** (Vacuum Holddown) จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ แต่ในทางปฏิบัติค่าแรงลมดูดในชุดป้อนกระดาษจะตั้งค่าคงที่ตามมาตรฐานเครื่องจักร จึงตั้งค่าปัจจัยคงที่ตายตัว
4) **ตำแหน่งมีดทับรอยชุดที** 1 (Creasing Register 1) จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ ในทางปฏิบัติปัจจัยดังกล่าวจะตั้งค่าคงที่ตามหน้ากว้างของแผ่นกระดาษลูกฟูกในแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งในงานวิจัยศึกษาเพียงผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว ดังนั้นตั้งค่าปัจจัยให้คงที่ตายตัว
5) **ตำแหน่งมีดทับรอยชุดที** 2 (Creasing Register 2) จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ ในทางปฏิบัติปัจจัยดังกล่าวจะตั้งค่าคงที่ตามหน้ากว้างของแผ่นกระดาษลูกฟูกในแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งในงานวิจัยศึกษาเพียงผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว ดังนั้นตั้งค่าปัจจัยให้คงที่ตายตัว
6) **ตำแหน่งของชุดเซาะร่อง** (Slotter Register) จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ ในทางปฏิบัติปัจจัยดังกล่าวจะตั้งค่าคงที่ตามหน้ากว้างของแผ่นกระดาษลูกฟูกในแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งในงานวิจัยศึกษาเพียงผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว ดังนั้นตั้งค่าปัจจัยให้คงที่ตายตัว
7) **ตำแหน่งของมีดตัดเศษท้าย** (Slitter Register) จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ ในทางปฏิบัติปัจจัยดังกล่าวจะตั้งค่าคงที่ตามหน้ากว้างของแผ่นกระดาษลูกฟูกในแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งในงานวิจัยศึกษาเพียงผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว ดังนั้นตั้งค่าปัจจัยให้คงที่ตายตัว

8) **ความเร็วรางพับด้านขวา** (Speed DR Register) จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ ในทางปฏิบัติค่าความเร็วของรางพับด้านขวาจะตั้งค่าคงที่ตามมาตรฐานเครื่องจักร ซึ่งไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ จึงตั้งค่าปัจจัยไว้ที่ค่าค่าหนึ่งที่ควบคุมให้คงที่ตายตัว

9) **ความขนานของรางพับ** (Parallel of Folding Beam) จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้แต่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ ควบคุมเบื้องต้นโดยการสามารถตรวจสอบความขนานของรางพับให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมได้เปล่าก่อนเดินเครื่องจักร

10) **ตำแหน่งของสายพานประคองข้าง** (Squaring Belt Register) จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ ในทางปฏิบัติปัจจัยดังกล่าวจะตั้งค่าคงที่ตามหน้ากว้างของแผ่นกระดาษลูกฟูกในแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งในงานวิจัยศึกษาเพียงผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว ดังนั้นตั้งค่าปัจจัยให้คงที่ตายตัว

11) **ระยะกดล้อกาว** (Glue Wheel Gap) จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ ในทางปฏิบัติปัจจัยดังกล่าวจะตั้งค่าคงที่ตามความหนาแผ่นกระดาษลูกฟูกในแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งในงานวิจัยศึกษาเพียงผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว ดังนั้นตั้งค่าปัจจัยให้คงที่ตายตัว

12) **ความตึงของสายพานพับกล่อง** (Upper &Lower Folding Belt Tension) จัดเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ แต่สามารถตรวจสอบความตึงของสายพานพับกล่องให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมได้ก่อนเดินเครื่องจักร

13) **ความตึงของสายพานประคองข้าง** (Squaring Belt Tension) จัดเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้แต่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ ควบคุมเบื้องต้นโดยสามารถตรวจสอบตึงของสายพานประคองข้าง ให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสมได้ด้วยตาเปล่าก่อนเดินเครื่องจักร

14) **แรงลมดูดใต้สายพานพับกล่องเส้นล่าง** (Suction Force of Lower Belt) จัดเป็นปัจจัยที่ค่าตายตัวคงที่ เนื่องจากในแต่ละผลิตภัณฑ์จะใช้ค่าเดียวกัน จึงตั้งค่าปัจจัยดังกล่าวให้คงที่ตามมาตรฐานเครื่องจักรตามความเหมาะสม

15) **จังหวะในการตบของตัวตบฉาก** (Timing of Squaring Bar) จัดเป็นปัจจัยที่ค่าตายตัวคงที่ เนื่องจากในแต่ละผลิตภัณฑ์จะใช้ค่าเดียวกัน จึงตั้งค่าปัจจัยดังกล่าวให้คงที่ตามมาตรฐานเครื่องจักรตามความเหมาะสม

16) **ความหนืดของกาว** (Glue Viscosity) จัดเป็นปัจจัยที่ค่าตายตัวคงที่ เนื่องจากในแต่ละผลิตภัณฑ์จะใช้กาวชนิดเดียวกัน จึงตั้งค่าปัจจัยดังกล่าวให้เป็นปัจจัยคงที่ตามมาตรฐานเครื่องจักรตามความเหมาะสม

17) **เกรดกระดาษลูกฟูก** (Board Combination) จัดเป็นปัจจัยที่ค่าตายตัวคงที่ เนื่องจากศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียว คือ ผลิตภัณฑ์รหัส A ดังนั้นเกรดกระดาษลูกฟูก จึงไม่เป็นปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ในการทดลองนี้

18) **ชนิดลอนลูกฟูก** (Flute Type) จัดเป็นปัจจัยที่ค่าตายตัวคงที่ เนื่องจากศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียว คือ ผลิตภัณฑ์รหัส A ดังนั้นชนิดลอนกระดาษลูกฟูก จึงไม่เป็นปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ในการทดลองนี้

19) **ขนาดกล่องกระดาษลูกฟูก** (Sheet Dimension) จัดเป็นปัจจัยที่ค่าตายตัวคงที่ เนื่องจากศึกษาเฉพาะผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียว คือ ผลิตภัณฑ์ รหัส A ดังนั้นขนาดกล่องกระดาษลูกฟูก จึงไม่เป็นปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ในการทดลองนี้

20) **ปริมาณความชื้นในกระดาษลูกฟูก** (Moisture Content) จัดเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวนั้นจะขึ้นกับคุณภาพกระดาษที่รับมาจากบริษัทผู้ผลิตกระดาษ และการเก็บกระดาษ แต่ปัจจัยดังกล่าว ไม่ก่อให้เกิดปัญหาระยะห่างร่องกาวมาก สามารถจัดปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยสิ่งรบกวน โดยต้องตรวจสอบความเหมาะสมของกระดาษลูกฟูกก่อนทำการทดลอง โดยนำกระดาษมาวางไว้ในที่โล่งและมีความร้อน เพื่อไล่ความชื้นบางส่วนออกไป เพื่อควบคุมปัจจัยสิ่งรบกวนให้ได้มากที่สุด

21) **ความโค้งงอของกระดาษลูกฟูก** (Warp Sheet) จัดเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวนั้นจะขึ้นกับคุณภาพกระดาษที่รับมาจากบริษัทผู้ผลิตกระดาษ แต่ปัจจัยดังกล่าว ไม่ก่อให้เกิดปัญหาระยะห่างร่องกาวมาก สามารถจัดปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยสิ่งรบกวน โดยต้องตรวจสอบความเหมาะสมของกระดาษลูกฟูกก่อนทำการทดลอง เพื่อควบคุมปัจจัยสิ่งรบกวนให้ได้มากที่สุด

22) **พนักงานปรับตั้งเครื่องจักร** ในการทดลองควบคุมเลือกพนักงานที่มีประสบการณ์และความชำนาญ โดยในทุกการทดลองมีกลุ่มพนักงานปรับตั้งเครื่องจักรชุดเดียวกัน

ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factor)

ปัจจัยที่ปรับค่าได้

-ความเร็วเครื่องจักร
-ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ
-ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น
-ระยะห่างลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดตู้ที่ 1
-ระยะห่างลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดตู้ที่ 2
-ระยะห่างลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดตู้ที่ 3
-ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1
-ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2
-ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย
-ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา
-ความเร็วรางพับด้านซ้าย
-ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ
-ระยะของตั้งก้นท้าย

ปัจจัยควบคุมให้คงที่

-ตำแหน่งของตัวตบข้าง
-สภาพของล้อป้อนกระดาษ
-แรงลมดูดในชุดป้อนกระดาษ
-ตำแหน่งมีดทับรอยชุดที่ 1
-ตำแหน่งมีดทับรอยชุดที่ 2
-ตำแหน่งของชุดเซาะร่อง
-ตำแหน่งของมีดตัดเศษท้าย
-ความเร็วรางพับด้านขวา
-ความขนานของรางพับ
-ตำแหน่งสายพานประคองข้าง
-ระยะกดล้อกาว
-ความตึงของสายพานพับกล่อง
-ความตึงของสายพานประคองข้าง
-แรงลมดูดใต้สายพานพับกล่องเส้นล่าง
-จังหวะในการตบของตัวตบฉาก
-เกรดกระดาษ,ชนิดลอนลูกฟูก
-ขนาดกล่องกระดาษลูกฟูก

ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้

(Uncontrollable Factors)

-ความโค้งงอของกระดาษลูกฟูก
-ปริมาณความชื้นในกระดาษลูกฟูก
-ความหนืดของกาว

รูปที่ 3.10 ผังกลุ่มความคิดในการจำแนกปัจจัยที่เกี่ยวข้องระยะห่างร่องกาวในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก

ในบทที่ 3 ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา จากผลการวิเคราะห์ระบบการวัดผ่านเป็นที่ยอมรับ สามารถใช้ในการวัดค่าระยะห่างร่องกาวของกล่องกระดาษลูกฟูกจากกระบวนการผลิตได้อย่างเหมาะสม และในส่วนการพิจารณาเพื่อค้นหาปัจจัยที่เกียวข้องในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก จนถึงการจำแนกประเภทลักษณะของแต่ละปัจจัยที่จะใช้ในการทดลองเบื้องต้น มีจำนวนทั้งหมด 13 ปัจจัย คือ ความเร็วของเครื่องจักร ระยะกดของลูกกลิ้งป้อนกระดาษ ระยะกดของลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดตู้ที่ 1, 2 และ 3 ระยะกดของชุดทับรอยชุดที่ 1 และ 2 ระยะเบียงของรางพับด้านซ้าย ระยะเบียงของรางพับด้านขวา ความเร็วรางพับด้านซ้าย ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ และระยะของตั้งก้นท้าย ซึ่งในบทถัดไปจะเป็นการเตรียมการทดลองและแผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

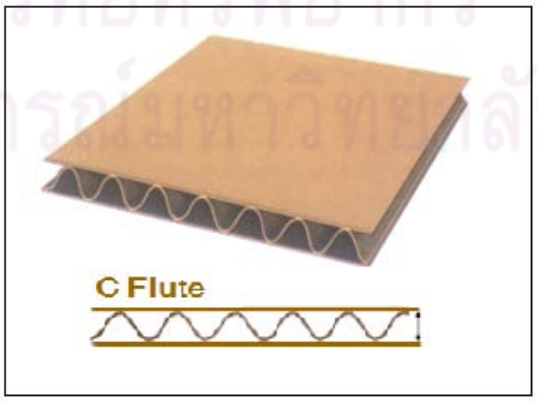
จากบทที่ 3 ซึ่งได้ทำการศึกษารายละเอียดของปัจจัยต่างๆที่มีแนวโน้มน่าจะมีอิทธิพลต่อค่าระยะห่างร่องกาวในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก และได้ทำการคัดเลือกปัจจัยที่จะนำมาใช้ในการทดลอง ซึ่งในขั้นตอนต่อไปที่จะกล่าวถึงในบทนี้ เป็นการนำปัจจัยเหล่านี้มาทำการออกแบบการทดลอง เพื่อพิสูจน์สมมติฐานว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าระยะห่างร่องกาวในการทดลองเบื้องต้น

4.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์

จากการศึกษาปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องต่อการเกิดระยะห่างร่องกาวที่ไม่เป็นไปตามที่กำหนดนั้น สำหรับปัจจัยที่ควบคุมได้ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้จะนำไปใช้ในการดำเนินทดลอง เพื่อคัดเลือกปัจจัย โดยใช้เทคนิคทากูชิ ส่วนปัจจัยที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ จะต้องถูกควบคุมค่าของปัจจัยนั้นให้คงที่ไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่ง ซึ่งการเตรียมวัสดุอุปกรณ์ในการทดลอง และกระบวนการผลิต มีดังต่อไปนี้

4.1.1 แผ่นกระดาษลูกฟูก

ที่ใช้ในการทดลองเป็นประเภท อาร์ เอส ซี เป็นกล่องกระดาษลูกฟูกที่มีความสูงของฝาเป็นครึ่งหนึ่งของด้านกว้าง และฝาทุกฝามีความสูงเท่ากันหมด แผ่นกระดาษลูกฟูกขนาดใหญ่และมีกระดาษลูกฟูกลอน C หนึ่งชั้นอยู่ตรงกลาง ประกบด้วยกระดาษผิวเรียบทั้งสองด้าน เรียกว่า Single Wall ตัวอย่างกล่องที่ใช้ในการทดลองจริง ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผ่นกระดาษลูกฟูกที่ใช้ในการทดลอง

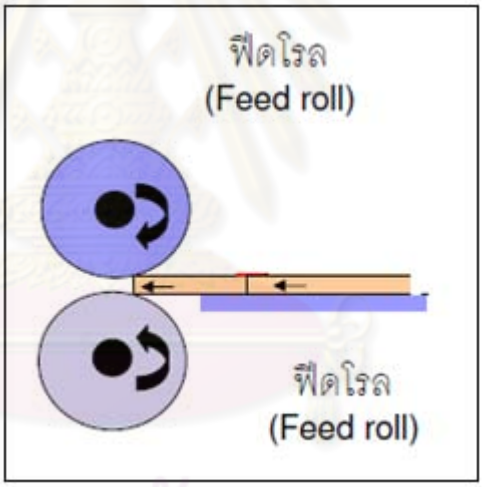
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 **เครื่องจักร** B **ประเภท** Flexo Folder Gluler

ส่วนประกอบของเครื่องจักรในการทำงานต่างๆของเครื่องจักร ซึ่งมีอยู่ 5 ส่วนหลัก คือ ชุดป้อนกระดาษ ชุดพิมพ์ ชุดทับรอยและเซาะร่อง ชุดพับกล่อง และชุดนับ ดังนี้

1. **ชุดป้อนกระดาษ** (Feed Unit)

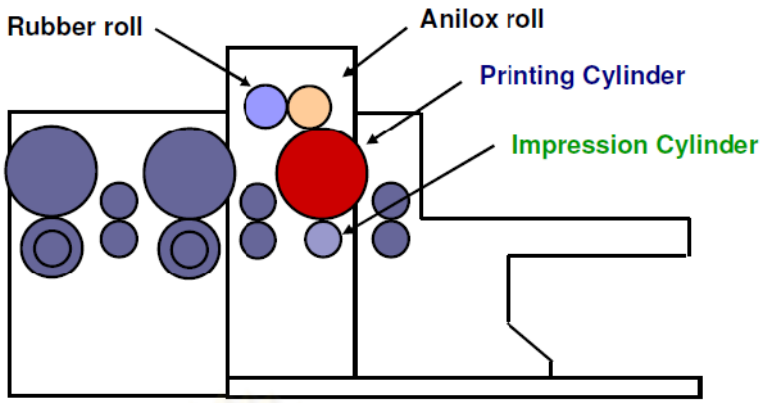
ทำหน้าที่นำแผ่นกระดาษลูกฟูกป้อนเข้าสู่เครื่องจักรทีละแผ่น โดยจะรับกระดาษลูกฟูกจาก พรีฟีดเดอร์ ที่ทำหน้าที่รับกองแผ่นกระดาษลูกฟูกที่ประกบลอบเรียบร้อยจากคอนเวเยอร์ส่งเข้าสู่ชุดป้อนกระดาษอย่างต่อเนื่อง สำหรับการปรับตั้งค่าเครื่องจักรในส่วนของชุดป้อนกระดาษทางซ้ายมือ ดังรูปที่ 4.2 ในชุดป้อนกระดาษจะมีลูกกลิ้งไซลินเดอร์ 2 ลูก บน-ล่างอยู่ในส่วนชุดป้อนแผ่น ทำหน้าที่หมุนดึงกระดาษให้ลำเลียงต่อไปยังชุดพิมพ์ โดยแรงลมดูดในชุดป้อนกระดาษทำหน้าที่ดูดกระดาษลูกฟูกให้แนบติดกับตัวเครื่องก่อนที่จะผ่านเข้าชุดป้อนกระดาษ ซึ่งส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของกระดาษลูกฟูก



รูปที่ 4.2 การนำแผ่นกระดาษลูกฟูกป้อนเข้าเครื่องจักร

2. **ชุดพิมพ์** (Print Unit)

ซึ่งประกอบไปด้วยตู้พิมพ์ 3 ตู้ ในแต่ละตู้พิมพ์มีสีแตกต่างกัน โดยหมึกพิมพ์จะถูกรีดหรือปาดน้ำหมึกให้ได้ฟิล์มของหมึกบางที่สุด ถ่ายทอดจากอนิล็อกซ์โรลซึ่งเป็นลูกกลิ้งที่ถูกเจาะรูให้มีความลึก และรูปร่างตามคุณภาพการพิมพ์ที่ต้องการ อนิล็อกซ์โรลจะรับหมึกเข้าไปในเซลล์ จ่ายออกเมื่อสัมผัสกับหน้าแม่พิมพ์ และถ่ายทอดลงบนผ่านกระดาษลูกฟูกอีกครั้ง กระดาษถูกส่งจากชุดพิมพ์ไปยังชุดทำงานถัดไป โดยอาศัยการหมุนสวนทางของไซลินเดอร์ 2 ลูก ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 โครงสร้างของลูกกลิ้งในชุดพิมพ์

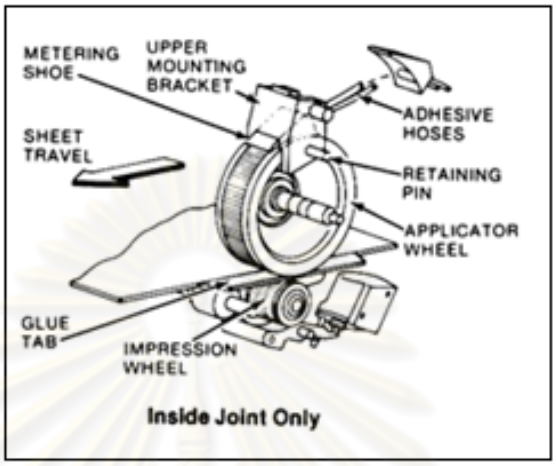
3. **ชุดทับรอยและเซาะร่อง** (Creaser and Slotter Unit)

กระดาษถูกส่งมายังชุดทับรอย ซึ่งเป็นชุดลูกกลิ้งบน-ล่าง ที่ทำให้เกิดรอยทับด้านในของแผ่นกระดาษลูกฟูก ซึ่งทับรอยแบ่งรอยแผ่นกระดาษที่ผ่านการพิมพ์เป็นแนวทับรอยด้านยาวและกว้างของกล่อง โดยลูกทับรอยตัวผู้จะมีลักษณะเป็นวงแหวนที่มีสันนูน บีบอัดกับทับรอยตัวเมีย ซึ่งเป็นวงแหวนที่หุ้มด้วยยางยูริเทรนเป็นตัวรองกด ทำให้เกิดแนวเส้นทับรอยกระดาษถูกส่งมายังชุดเซาะร่อง เป็นชุดใบมีดเซาะให้เกิดร่องที่ด้านบนและล่างของเส้นทับรอยทั้ง 4 เส้น แบ่งส่วนของแผ่นกระดาษเป็นฝากล่องบน-ล่าง ทั้งยาวและด้านกว้างของกล่อง โดยที่ใบมีดชุดแรก จะมีใบมีดหัวโกกประกบอยู่ ซึ่งจะทำหน้าที่ตัดกระดาษให้เป็นส่วนของลิ้นกาวกล่อง

รูปที่ 4.4 ตำแหน่งชุดลูกกลิ้งบน-ล่างของการทับรอยและชุดใบมีดการเซาะร่อง

4. **ชุดกาว** (Gluing Unit)

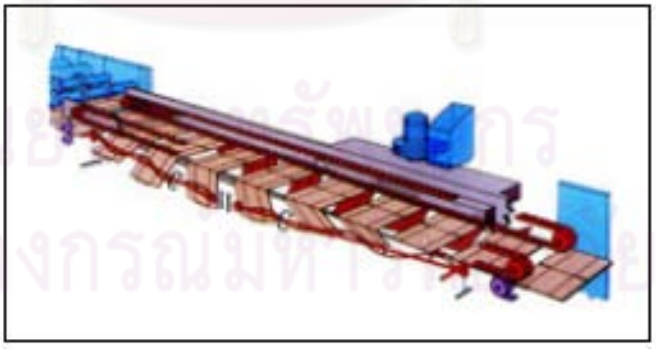
กระดาษถูกส่งมายังชุดกาว มีลักษณะเป็นลูกล้อบน-ล่างโดยมีลูกใดลูกหนึ่ง ทำหน้าที่ทากาวที่ตำแหน่งลิ้นของกล่อง อีกลูกหนึ่งประคองขณะที่กระดาษผ่านระหว่างลูกกลิ้งทั้งสองลูก ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 โครงสร้างของลูกกลิ้งในชุดกาว

5. **ชุดรางพับ** (Folding Unit)

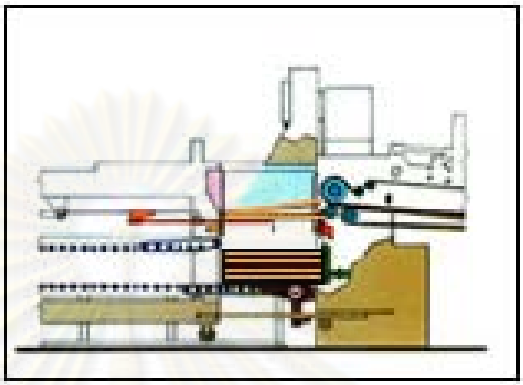
ทำหน้าที่ในการประคองและพับกล่องให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยอาศัยสายพานบน-ล่าง เป็นตัวพากล่องให้เคลื่อนที่ไปบนรางพับ และมีโฟลดิ้งรอดเป็นตัวประคองให้เกิดการพับที่องศาต่างๆกัน จนรอยต่อของด้านที่สีกับด้านที่หนึ่งมาประกบชิดกันพอดีในตำแหน่งลิ้นกาว ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ชุดรางพับกล่องกระดาษลูกฟูก

6. **ชุดสแควร์ริง** (Squaring Unit)

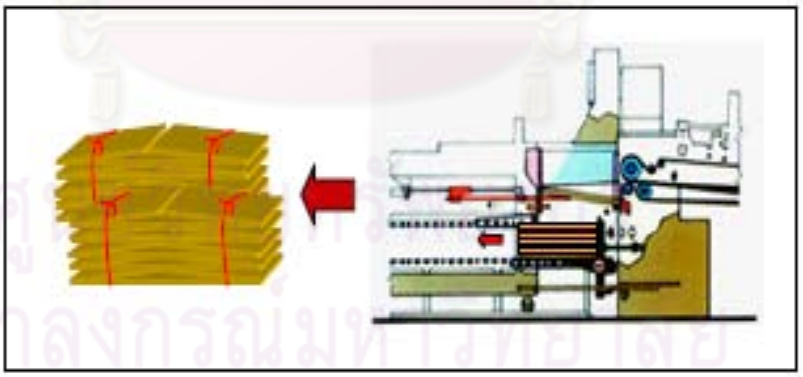
เป็นชุดตบกระแทกกล่องที่มีการพับขึ้นรูปแล้ว โดยมีหลักการที่จะต้องทำให้ด้านที่สีที่พับมาทับกับลิ้นกาวด้านที่หนึ่งมีแนวต่อเป็นเส้นตรงทั้งด้านบนและด้านล่างของตัวกล่อง ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ชุดสแควร์ริ่ง

7. **ชุดเคาน์เตอร์และอิเจคเตอร์** (Counter & Ejector Unit)

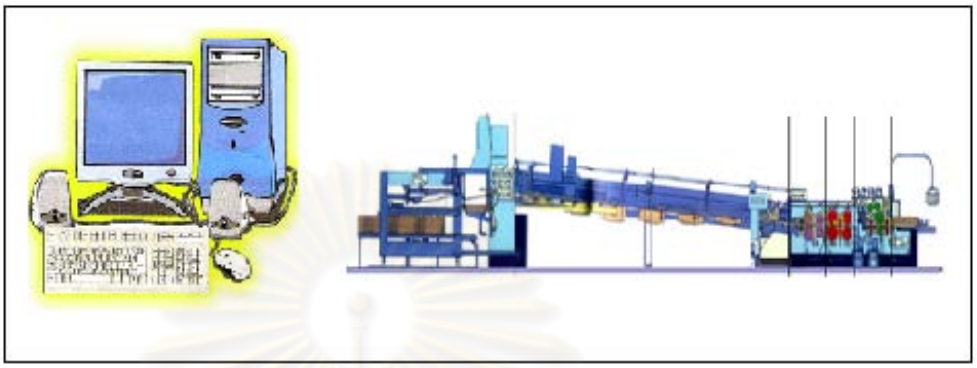
เป็นชุดที่ทำการนับกล่อง ซึ่งเมื่อครบตามจำนวนที่ตั้งไว้ กล่องนั้นก็จะถูกผลักออกมาและจะถูกส่งต่อไปยังชุดมัดถัดไป ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ชุดเคาน์เตอร์และอิเจคเตอร์

5.เครื่องคอมพิวเตอร์

ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการผลิตของเครื่องจักร ซึ่งต้องทำการทำการป้อนข้อมูลเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นหัวใจหลักในการปรับตั้งค่าสภาวะต่างๆของเครื่องจักร



รูปที่ 4.9 คอมพิวเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร

6. การควบคุมคุณภาพ

กล่องกระดาษลูกฟูกที่ได้จากการเดินเครื่อง พนักงานจะสุ่มหยิบกล่องขึ้นมา เพื่อวัดค่าว่าเป็นไปตามสเปกที่ลูกค้าต้องการหรือไม่ ถ้าหากไม่เป็นไปตามคุณสมบัติที่กำหนด พนักงานจะทำการปรับตั้งค่าเครื่องจักรใหม่อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของพนักงานเป็นอย่างมาก

7. การวัดค่าระยะห่างร่องกาว

โดยคุณภาพของระยะร่องกาวในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกนั้น เป็นอีกหนึ่งคุณสมบัติที่มีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นกระดาษลูกฟูกที่ได้จากการทดลองจะต้องทำการวัดค่าระยะห่างร่องกาว โดยการใช้ตลับเมตร ที่มีความละเอียด 0.5 มิลลิเมตร ที่ได้มีการสอบเทียบเครื่องมือวัดเป็นประจำมาทำการวัดขนาดระยะห่างของร่องกาว โดยกำหนดตำแหน่งในการวัดที่บริเวณไม่เกิน 1 เซนติเมตร นับจากปลายฝาด้านบน

4.2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

จากการตัดปัจจัยที่ได้จากการพิจารณาในบทที่ 3 สามารถนำปัจจัยที่เหลือทั้ง 13 ปัจจัย จากนั้นกำหนดระดับของแต่ละปัจจัย ซึ่งได้ผลดังนี้

1) ความเร็วของเครื่องจักร (Running Speed)

การกำหนดความเร็วที่ใช้ในการเดินเครื่องจักรขึ้นอยู่กับลักษณะแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งการเดินเครื่องที่ความเร็วสูงเกินไป อาจส่งผลให้ลูกกลิ้ง สายพานเกิดการลื่นไถลและไม่สอดคล้องกันในระหว่างการลำเลียง ซึ่งส่งผลต่อทิศทางการเคลื่อนที่ของกระดาษบิดเบี้ยวไป แต่หากเดินเครื่องที่ความเร็วที่ต่ำเกินไป จะทำให้สูญเสียกำลังการผลิต และกาวเกิดการแห้งตัวก่อนถึงชุดนับได้ ซึ่งในการทดลองได้ปรับระดับของปัจจัยได้เป็น 2 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 ความเร็วของเครื่องจักร 80 กล่อง/นาที

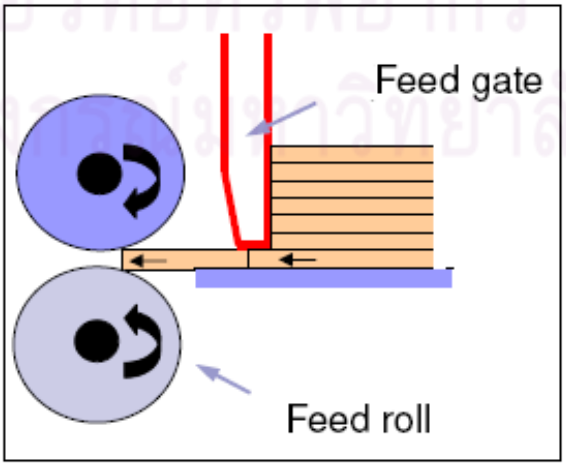
ระดับ 2 ความเร็วของเครื่องจักร 120 กล่อง/นาที

2) ระยะกดของลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (Feed Roll Gap)

คือ ระยะห่างของลูกกลิ้งไซลินเดอร์ 2 ลูก บน-ล่างอยู่ในส่วนชุดป้อนกระดาษ ลูกกลิ้งจะทำหน้าที่หมุนดึงกระดาษให้ลำเลียงต่อไปยังชุดพิมพ์ การกำหนดระยะห่างของลูกกลิ้งป้อนกระดาษขึ้นอยู่กับลักษณะแต่ละผลิตภัณฑ์ หากกำหนดค่าดังกล่าวไม่เหมาะสม ทำให้แผ่นกระดาษเกิดการยุบตัว ซึ่งในการทดลองได้ปรับระดับของปัจจัยได้เป็น 2 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 ระยะกดของลูกกลิ้งป้อนกระดาษ 1.80 มิลลิเมตร

ระดับ 2 ระยะกดของลูกกลิ้งป้อนกระดาษ 3.20 มิลลิเมตร



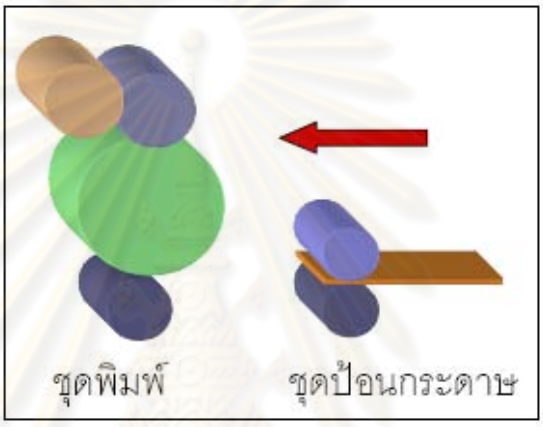
รูปที่ 4.10 โครงสร้างของลูกกลิ้งในชุดป้อนกระดาษ

3) **ระยะกดของลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น** (Pull Roll Gap)

คือ ระยะห่างของลูกกลิ้งไซลินเดอร์ 2 ลูก บน-ล่าง ทำหน้าที่หมุนดึงจากชุดป้อนกระดาษให้ลำเลียงเข้ามายังชุดพิมพ์ ซึ่งหากกำหนดระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อการทิศทางการเคลื่อนที่ของกระดาษบิดเบี้ยวไปได้ ซึ่งส่งผลต่อระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด ซึ่งในการทดลองได้ปรับระดับของปัจจัยได้เป็น 2 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 ระยะกดของลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น 1.50 มิลลิเมตร

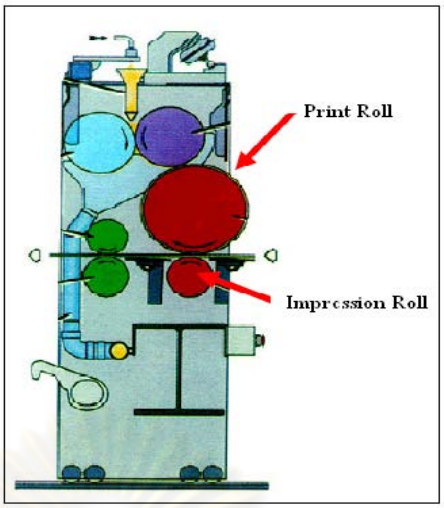
ระดับ 2 ระยะกดของลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น 2.20 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.11 โครงสร้างของลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น

4) **ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพิมพ์ กับลูกกลิ้งกด** (Print Roll Gap) **ตู้ที่** 1, 2 **และ** 3

คือ ระยะห่างระหว่าง ลูกกลิ้งพิมพ์ เป็นลูกกลิ้งที่ทำด้วยโลหะใช้สำหรับติดตั้งบล็อกพิมพ์ ซึ่งบล็อกพิมพ์จะรับหมึกและถ่ายทอดลงกระดาษลูกฟูก กับ ลูกกลิ้งกดทับ ซึ่งทำหน้าที่กดกระดาษเพื่อให้บล็อกพิมพ์สัมผัสกระดาษขณะพิมพ์ ซึ่งเครื่องจักรประกอบไปด้วยตู้พิมพ์ 3 ตู้ ซึ่งการตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้ง 3 ตู้มีค่าใกล้เคียงกัน หากระยะดังกล่าวไม่เหมาะสม อาจทำให้แผ่นกระดาษเกิดการยุบตัวและคุณสมบัติบางประการเสียไปได้ ซึ่งในการทดลองได้ปรับระดับของปัจจัยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งได้ ดังนี้



รูปที่ 4.12 โครงสร้างของลูกกลิ้งลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดทับในชุดพิมพ์

ระดับปัจจัยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดตู้ที่ 1 ได้เป็น 2 ระดับดังนี้

ระดับ 1 ระยะกดของลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดตู้ที่ 1 1.50 มิลลิเมตร

ระดับ 2 ระยะกดของลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดตู้ที่ 1 2.20 มิลลิเมตร

ระดับปัจจัยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดตู้ที่ 2 ได้เป็น 2 ระดับดังนี้

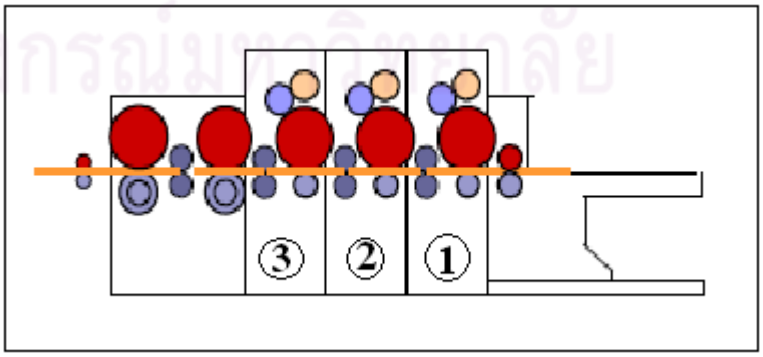
ระดับ 1 ระยะกดของลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดตู้ที่ 2 1.00 มิลลิเมตร

ระดับ 2 ระยะกดของลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดตู้ที่ 2 2.80 มิลลิเมตร

ระดับปัจจัยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดตู้ที่ 3 ได้เป็น 2 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 ระยะกดของลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดตู้ที่ 3 1.00 มิลลิเมตร

ระดับ 2 ระยะกดของลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดตู้ที่ 3 2.00 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.13 โครงสร้างลูกกลิ้งในแต่ละตู้พิมพ์

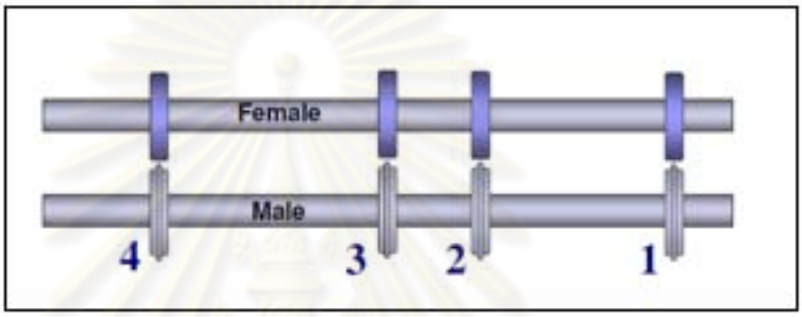
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5) **ระยะกดของชุดทับรอยชุดที** 1 (precreaser)

คือ ชุดลูกกลิ้งบน-ล่าง ทีทำให้เกิดรอยทับด้านในของแผ่นกระดาษลูกฟูก ทำหน้าทีกดลอนลูกฟูกให้ยุบตัวลงไประดับหนึงก่อนหากกำหนดระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไม่เหมาะสม อาจทำให้มีปัญหาในการพับตัวของกล่องได้ ซึงในการทดลองได้ปรับระดับของปัจจัยได้เป็น 2 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 ระยะกดของชุดทับรอยชุดที 1 1.50 มิลลิเมตร

ระดับ 2 ระยะกดของชุดทับรอยชุดที 1 2.50 มิลลิเมตร



รูปที 4.14 ตำแหน่งชุดลูกกลิ้งบน-ล่างในชุดทับรอย

6) **ระยะกดของชุดทับรอยชุดที** 2 (creaser)

คือ ชุดลูกกลิ้งบน-ล่างทีทำให้เกิดรอยทับด้านในของแผ่นกระดาษลูกฟูก ทำหน้าทีกดลอนลูกฟูกย้ำให้เกิดรอยพับทีชัดเจนขึ้น ซึงลักษณะโครงสร้างตำแหน่งลูกกลิ้งบน-ล่างนั้นจะเหมือนกับระยะกดของชุดทับรอยชุดที 1 ต่างกันทีชุดทับรอยทีหนึงจะทับรอยคมกว่า ส่วนชุดทีสองจะหุ้มด้วยยางเพื่อทับรอยซ้ำอีกครั้ง หากกำหนดระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไม่เหมาะสม อาจทำให้มีปัญหาในการพับตัวของกล่องได้ ซึงในการทดลองได้ปรับระดับของปัจจัยได้เป็น 2 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 ระยะกดของชุดทับรอยชุดที 2 1.70 มิลลิเมตร

ระดับ 2 ระยะกดของชุดทับรอยชุดที 2 3.00 มิลลิเมตร

7) **ระยะเบียงรางพับด้านซ้ายและด้านขวา** (Folding Beam OP&DR Register)

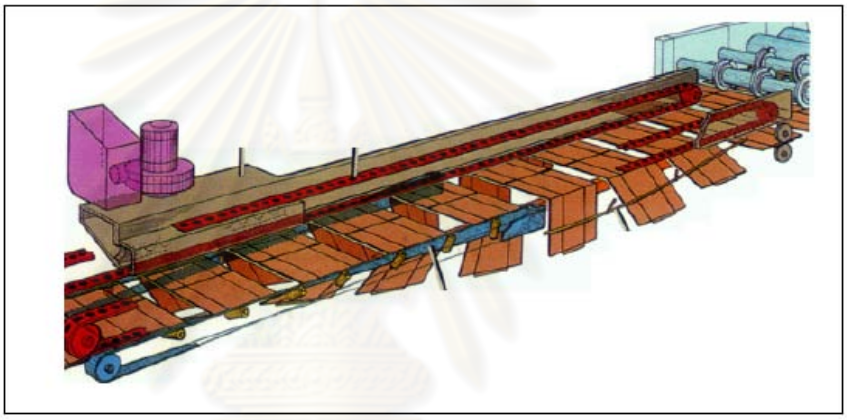
ทำหน้าที่กำหนดตำแหน่งในการประคองและพับกล่องให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ซึ่งหากกำหนดระยะเบียงของรางพับไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อการเคลื่อนที่และการพับของกระดาษคลาดเคลื่อนไปได้ ซึ่งในการทดลองได้ปรับระดับของปัจจัยได้เป็น 2 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 ระยะเบียงของรางพับด้านซ้าย 323 มิลลิเมตร

ระดับ 2 ระยะเบียงของรางพับด้านซ้าย 333 มิลลิเมตร

ระดับ 1 ระยะเบียงของรางพับด้านขวา 387 มิลลิเมตร

ระดับ 2 ระยะเบียงของรางพับด้านขวา 407 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.15 ชุดรางพับกล่อง

8) **ความเร็วรางพับด้านซ้าย** (Speed OP Register)

ความเร็วทีกล่องเคลื่อนทีบนรางพับ ซึ่งหากกำหนดความเร็วของรางพับด้านซ้ายไม่เหมาะสม อาจส่งผลต่อการเคลื่อนที่และการพับของกระดาษคลาดเคลื่อนไปได้ โดยทั่วไปจะค่าความเร็วของรางพับด้านซ้ายจะตั้งเป็นจำนวนเท่าของความเร็วของรางพับด้านขวา โดยการพับกล่องของด้านทีหนึ่ง และด้านทีสี ให้มาประกบกันได้ ความเร็วรางพับด้านซ้ายจะช้ากว่าด้านขวาเสมอซึ่งในการทดลองได้ปรับระดับของปัจจัยได้เป็น 2 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 ความเร็วรางพับด้านซ้าย 0.0 เท่าของความเร็วรางพับด้านขวา

ระดับ 2 ความเร็วรางพับด้านซ้าย 0.5 เท่าของความเร็วรางพับด้านขวา

9) **ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ** (Feed Belt Gap)

Feed Belt ทำหน้าทีดึงกล่องต่อจาก Squaring Belt เพื่อป้อนข้าสู่ชุด Squaring ฉะนั้นหากการตั้งระยะการกดของสายพานชุดนี้ไม่เหมาะสม อาจทำให้การเคลือนทีเข้าสู่ชุดนับ ไม่เหมาะสมได้ ซึงในการทดลองได้ปรับระดับของปัจจัยได้เป็น 2 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ 10 มิลลิเมตร

ระดับ 2 ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ 17 มิลลิเมตร

10) **ระยะของตังกันท้าย** (Back Stop Register)

หากตังค่าตำแหน่งของ Back Stop ไม่เหมาะสม เช่นใกล้ตัวตบฉากเกินไปอาจทำให้เกิดปัญหากล่องติดในเครือง หรือ ห่างจากตัวตบฉากเกินไปอาจทำให้ตัวตบฉากตบไม่ถึง ซึงอาจทำให้เกิดปัญหาร่องกาวเบี้ยวได้ ซึงในการทดลองได้ปรับระดับของปัจจัยได้เป็น 2 ระดับ ดังนี้

ระดับ 1 ระยะของตังกั้นท้าย 696 มิลลิเมตร

ระดับ 2 ระยะของตังกั้นท้าย 714 มิลลิเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการพิจารณาข้างต้น สรุประดับของแต่ละปัจจัย ทั้งหมด 13 ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ โดยระดับต่ำ แทนด้วยสัญลักษณ์ (-) และระดับสูง แทนด้วยสัญลักษณ์ (+) และการแทนแต่ละปัจจัยด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุประดับปัจจัยที่ต้องการทำการทดลอง

ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น	**แทน**	**ระดับปัจจัย**		**หน่วย**
		(-) **ต่ำ**	(+) **สูง**	
1. ความเร็วเครื่องจักร	A	80	120	กล่อง/นาที
2. ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ	B	1.8	3.2	มิลลิเมตร
3. ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น	C	1.5	2.2	มิลลิเมตร
4. ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ กับลูกกลิ้งกดชุดที 1	D	1.5	2.2	มิลลิเมตร
5. ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ กับลูกกลิ้งกดชุดที 2	E	1.0	2.8	มิลลิเมตร
6. ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ กับลูกกลิ้งกดชุดที 3	F	1.0	2.0	มิลลิเมตร
7. ระยะกดชุดทับรอยชุดที1	G	1.5	2.5	มิลลิเมตร
8. ระยะกดชุดทับรอยชุดที2	H	1.7	3.0	มิลลิเมตร
9. ระยะเบียงรางพับด้านซ้าย	J	323	333	มิลลิเมตร
10. ระยะเบียงรางพับด้านซ้าย	K	387	407	มิลลิเมตร
11. ความเร็วรางพับด้านซ้าย	L	0.0	0.5	เท่า
12. ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ	M	10	17	มิลลิเมตร
13. ระยะต้งกั้นท้าย	N	696	714	มิลลิเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response Variables)

จากการคัดเลือกปัจจัยที่คาดว่ามีอิทธิพลสำหรับปัญหาที่สนใจนั้น นำมาใช้สำหรับการทดลอง เพื่อให้สามารถกำหนดค่าปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด โดยตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน และค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ซึ่งตัวแปรตอบสนองจัดเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative Data)

4.4 แผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

จากการพิจารณาหัวข้อที่ 4.2 ได้สรุปปัจจัยที่จะใช้ในการทดลองมีทั้งหมด 13 ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ และระดับสูง ดังนั้นเพื่อความเหมาะสมในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดและระยะเวลาในการทดลอง แผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้นที่ใช้สำหรับคัดกรองปัจจัยคือ การออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีทากูชิ (Taguchi Method) ตารางการออกแบบการทดลอง ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งเทคนิคดังกล่าวสามารถทดสอบสมมติฐานว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าระยะห่างร่องกาวของปัจจัยหลักได้ จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้ทราบว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ในงานวิจัยนี้ไม่ได้แยกปัจจัยรบกวนออกมาใช้ในการศึกษานี้ เนื่องจากปัจจัยรบกวนเหล่านี้ยากต่อการควบคุม จึงใช้วิธีการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ดังตารางที่ 4.4 เพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ เพื่อให้การทดลองมีโอกาสความน่าจะเป็นที่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยรบกวนเท่าๆกัน และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อให้ผลการทดลองมีความถูกต้องมากขึ้น สรุปแผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น ดังตารางที่ 4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 แผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

แผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

1. **วัตถุประสงค์**

เพื่อตัดปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าระยะห่างร่องกาวออกไป ซึ่งไม่สามารถทำการทดลองทุกค่าของแต่ละปัจจัยได้ เนื่องจากการในการทดลองมีเวลาและทรัพยากรที่ใช้อย่างจำกัด

2. **ข้อมูลพื้นฐาน**

พบว่าเกิดของเสียประเภทระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด ในกระบวนการผลิตเป็นประจำ จึงทำให้มีปริมาณของเสียที่ต้องนำมาซ่อมแซมแก้ไขใหม่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดความสูญเสียท้งในแง่ เวลาสูญเปล่า ค่าใช้จ่ายแรงงาน ในปัจจุบันมีการปรับต้งค่าตัวแปรต่างๆแบบลองผิดลองถูก ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของพนักงานเสียส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงต้องนำเทคนิคการออกแบบทำการทดลอง และการวิเคราะห์เชิงสถิติ มาประยุกต์ใช้เพื่อทราบว่าตัวแปรใดเป็นสาเหตุของการเกิดปัญหาดังกล่าวอย่างแท้จริง

3. **ตัวแปรในการทดลอง**

3.1 **ตัวแปรตอบสนอง** คือ ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน และค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

3.2 **ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง**	**ระดับปัจจัย**	
	(-) **ต่ำ**	(+) **สูง**
3.2.1 ความเร็วเครื่องจักร (กล่อง/นาที)	80	120
3.2.2 ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (มิลลิเมตร)	1.8	3.2
3.2.3 ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (มิลลิเมตร)	1.5	2.2
3.2.4 ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ กับลูกกลิ้งกดชุดที 1 (มิลลิเมตร)	1.5	2.2
3.2.5 ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ กับลูกกลิ้งกดชุดที 2 (มิลลิเมตร)	1.0	2.8
3.2.6 .ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ กับลูกกลิ้งกดชุดที 3 (มิลลิเมตร)	1.0	2.0
3.2.7 ระยะกดชุดทับรอยชุดที 1 (มิลลิเมตร)	1.5	2.5
3.2.8 ระยะกดชุดทับรอยชุดที 2 (มิลลิเมตร)	1.7	3.0
3.2.9 ระยะเบียงรางพับด้านซ้าย (มิลลิเมตร)	323	333
3.2.10 ระยะเบียงรางพับด้านขวา (มิลลิเมตร)	387	407
3.2.11 ความเร็วรางพับด้านซ้าย (เท่า)	0.0	0.5
3.2.12 ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (มิลลิเมตร)	10	17
3.2.13 ระยะต้งก้นท้าย (มิลลิเมตร)	696	714

ตารางที่ 4.2 แผนการออกแบบการทดลองเบื้องต้น (ต่อ)

3.3 ตัวแปรควบคุม	**การควบคุม**
3.3.1 ตำแหน่งตัวตบข้าง (มิลลิเมตร)	963
3.3.2 สภาพล้อป้อนกระดาษ	สภาพดี ไม่สึก
3.3.3 แรงลมดูดในชุดป้อนกระดาษ (บาร์)	5
3.3.4 ความขนานของรางพับ	ขนาน
3.3.5 ระยะกดล้อกาว (มิลลิเมตร)	976.0
3.3.6 ความตึงสายพานพับกล่อง	ขนาน
3.3.7 ความตึงสายพานประคองข้าง	ขนาน
3.3.8 แรงลมดูดใต้สายพานพับกล่องเส้นล่าง	ขนาน
3.3.9 ความโค้งงอกระดาษลูกฟูก	กระดาษเรียบ/ไม่งอ
3.3.10 เกรดกระดาษลูกฟูก	A
3.3.11 ชนิดลอนลูกฟูก	ลอน C
3.3.12 ขนาดกล่องกระดาษลูกฟูก	ใหญ่

4. การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการทากูชิ (Taguchi Method) โดยใช้ ตาราง Orthogonal Array $L_{16}(2^{13})$ การทดลอง 16 run จำนวน 13 ปัจจัย แต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง จำนวนการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง

5. เมตริกการออกแบบการทดลอง

เมตริกการออกแบบการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.3

6. วิธีการสุ่ม

การสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomization) แสดงดังตารางที่ 4.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 Orthogonal Array $L_{16}(2^{13})$ ที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น

Taguchi Method Orthogonal Array L16 (2^{13})													
Run	Factors												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
3	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+
4	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
5	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
6	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+
7	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+
8	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-
9	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
10*	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-
11	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-
12	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+
13	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+
14	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-
15	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-
16	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+

หมายเหตุ เครื่องหมาย (-) แทนระดับต่ำของปัจจัย

เครื่องหมาย (+) แทนระดับสูงของปัจจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 การสุ่มอย่างสมบูรณ์ในการทดลองเบื้องต้น

Run	**หมายเลขลำดับที**	Run	**หมายเลขลำดับที**	Run	**หมายเลขลำดับที**
1	14	12	9	23	26
2	12	13	24	24	32
3	11	14	27	25	2
4	15	15	3	26	21
5	1	16	4	27	25
6	16	17	10	28	6
7	5	18	23	29	30
8	20	19	7	30	28
9	31	20	17	31	19
*10	8	21	22	32	29
11	13	22	18		

ตัวอย่างคำอธิบายในตารางที่ 4.4 การทดลองที่ 10 มีหมายเลขลำดับที่ 8 หมายความว่า การปรับตั้งระดับปัจจัยก่อนเดินเครื่องจักร ดังนี้

ปัจจัย A คือ ความเร็วของเครื่องจักร ทีระดับสูง

ปัจจัย B ระยะกดของลูกกลิ้งป้อนกระดาษ ทีระดับต่ำ

ปัจจัย C ระยะกดของลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น ทีระดับสูง

ปัจจัย D ระยะกดของลูกกลิ้งพิมพ์ กับลูกกลิ้งกดชุดที 1 ทีระดับต่ำ

ปัจจัย E ระยะกดของลูกกลิ้งพิมพ์ กับลูกกลิ้งกดชุดที 2 ทีระดับสูง

ปัจจัย F ระยะกดของลูกกลิ้งพิมพ์ กับลูกกลิ้งกดชุดที 3 ทีระดับต่ำ

ปัจจัย G ระยะกดของชุดทับรอยชุดที 1 ทีระดับสูง

ปัจจัย H ระยะกดของชุดทับรอยชุดที 2 ทีระดับสูง

ปัจจัย J ระยะเบียงของรางพับด้านซ้าย ทีระดับต่ำ

ปัจจัย K ระยะเบียงของรางพับด้านขวา ทีระดับสูง

ปัจจัย L ความเร็วรางพับด้านซ้าย ทีระดับต่ำ

ปัจจัย M ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ ทีระดับสูง

ปัจจัย N ระยะของตั้งกั้นท้าย ทีระดับต่ำ

ในบทที่ 4 ได้ทำการศึกษารายละเอียดขั้นตอนการผลิตเฉพาะส่วนกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก และการกำหนดระดับปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลองเบื้องต้นออกเป็น 2 ระดับของปัจจัยที่จะนำมาใช้ในการทดลอง รวมถึงแผนการออกแบบการทดลองเพื่อพิสูจน์สมมติฐานว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าระยะห่างร่องกาวในการทดลองเบื้องต้น ซึ่งการวิเคราะห์ผลการทดลองจะอยู่ในบทถัดไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การคำนวณและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในขั้นตอนต่อไปที่จะกล่าวถึงในบทนี้ เป็นการนำปัจจัยมาทำการทดลอง เพื่อพิสูจน์สมมติฐานว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าระยะห่างร่องกาวจากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการทางสถิติ ซึ่งจะทำให้ทราบว่าปัจจัยใดมีอิทธิพล เพื่อใช้สำหรับการออกแบบการทดลองในขั้นตอนการหาสภาวะระดับปัจจัยที่เหมาะสมแล้วทำการยืนยันผลโดยทำการผลิตจริง

5.1 วิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นของระยะห่างร่องกาว

ในส่วนของการทดลองเบื้องต้นนั้น ใช้ตาราง Orthogonal Array $L_{16}(2^{13})$ คือทำการทดลอง 16 การทดลอง จำนวน 13 ปัจจัย แต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง จำนวนการทดลองทั้งหมด 32 การทดลอง ดังตารางที่ 4.3 หลังจากที่ได้ดำเนินการทดลอง ถัดมาจะเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของอิทธิพลแต่ละปัจจัย

5.1.1 วิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นของระยะห่างร่องกาวฝาบน

นำกล่องกระดาษลูกฟูกมาทำการวัดค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน โดยค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง แสดงในตาราง 5.1 จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล เพื่อทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือ และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าความผันแปรระยะห่างร่องกาว และความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาบนมีรายละเอียด ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.1 ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ

การทดลอง	ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น													ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบน (มิลลิเมตร)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.9	7.0
2	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	9.4	9.6
3	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	5.0	4.5
4	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	10.3	10.1
5	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	8.7	9.2
6	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	4.8	4.9
7	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	8.9	8.9
8	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	5.3	4.6
9	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	4.2	3.9
10	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-	8.5	8.2
11	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	4.7	5.4
12	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	5.5	5.8
13	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	3.3	2.9
14	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	6.5	6.8
15	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	3.8	3.9
16	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	4.1	4.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ ในตารางที่ 5.1 หาค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวและค่าเบียงเบนมาตรฐานได้และค่าดังกล่าวจะถูกนำมาแปลงค่าให้อยู่ในรูปของอัตราส่วน Signal to Noise (S/N Ratio) ชนิด Norminal the best type problem ก่อนที่จะวิเคราะห์หาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าอัตราส่วน Signal to Noise (S/N Ratio) ของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน

การทดลอง	ค่าเฉลีย	ส่วนเบียงเบนมาตรฐาน	ค่า S/N Ratio
1	7.46	0.61	4.32
2	9.50	0.13	17.44
3	4.72	0.38	8.36
4	10.19	0.12	18.40
5	8.97	0.35	9.21
6	4.85	0.13	17.44
7	8.91	0.02	33.47
8	4.92	0.49	6.11
9	4.03	0.19	14.38
10	8.31	0.23	12.91
11	5.06	0.52	5.63
12	5.66	0.25	12.13
13	3.11	0.26	11.65
14	6.64	0.17	15.41
15	3.80	0.07	23.01
16	4.49	0.50	5.99

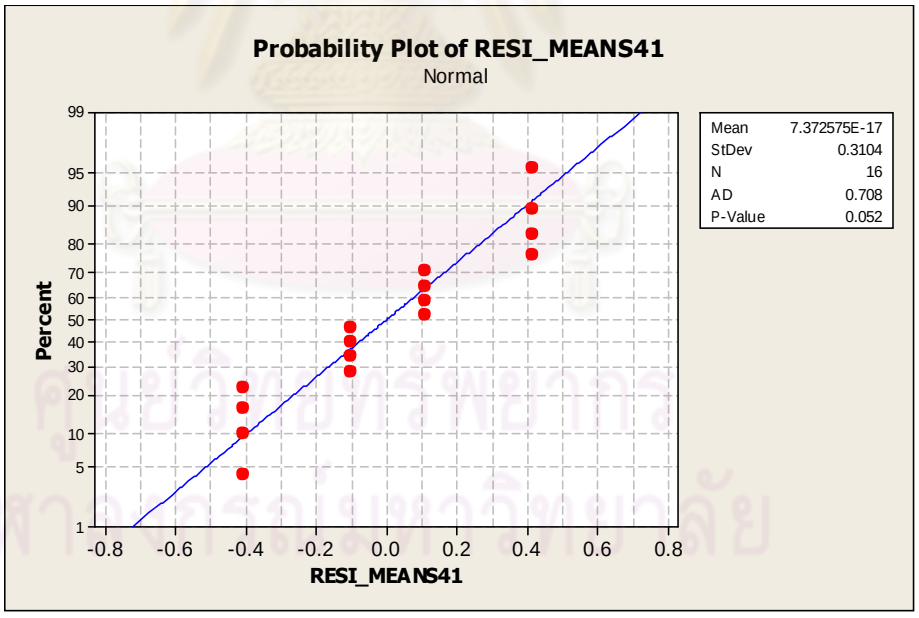
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบเป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามหลักการทางสถิติโดยการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบของความผิดพลาดตามสมมติฐาน 3 ข้อก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนี้

1) การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล

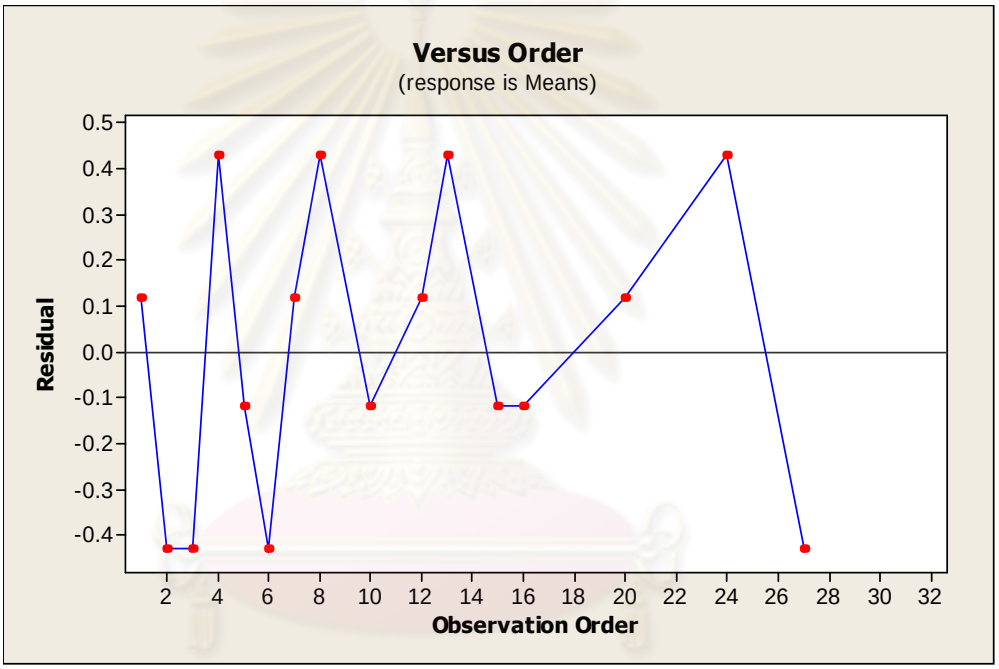
การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) หรือไม่ โดยการพิจารณา Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) ที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กับค่าความน่าจะเป็นสะสม หากมีการกระจายแบบปกติจริง กราฟดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่อพิจารณา Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 5.1 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 5.1 การทดสอบความเป็นปกติของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการทดลองเบื้องต้น

2) **การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล**

เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันหรือไม่ เป็นการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้าง (Residual) กับลำดับเวลาของการทดลองของชุดทดลองทั้งหมดเมื่อพิจารณาผลการทดสอบความสุ่ม Residual Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.2 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูล เนื่องจากส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นแบบไร้รูปแบบ สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

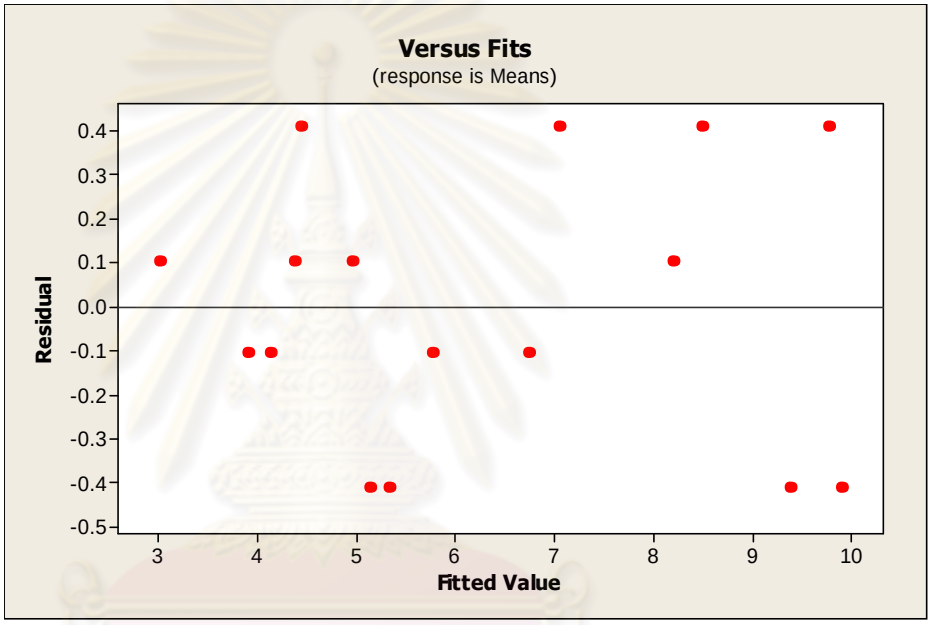


รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการทดลองเบื้องต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าส่วนตกค้าง (Residual) และค่าที่ถูกฟิต (Fitted Value) ในที่นี้คือค่าคาดหมายของผลตอบสนอง ซึ่งแผนภาพควรมีการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ ไม่เป็นแนวโน้มใดๆ เมื่อพิจารณาผลการทดสอบดังรูปที่ 5.3 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน สรุปได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีความเสถียร



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตผลตอบสนองของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการทดลองเบื้องต้น

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking) ของตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนของกล่องกระดาษลูกฟูก พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และค่าความแปรแปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID (0, σ^2) 3 ข้อ ดังนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลการออกแบบการทดลองได้

5.1.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าความผันแปรระยะห่างร่องกาวฝาบน

นำค่าอัตราส่วน Signal to Noise (S/N Ratio) จากตารางที่ 5.2 วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) เพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ เพื่อยืนยันว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหากมีปัจจัยใดที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ จะต้องทำการควบคุมปัจจัยดังกล่าวเพื่อให้มีความไวน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยรบกวน

ตารางที่ 5.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความผันแปรของระยะห่างร่อง กาวฝาบน

Analysis of Variance for SN ratios					
Factors	Sum of square	DF	Mean Square	F	P
ความเร็วเครื่องจักร (A)	11.636	1	11.636	0.10	0.783
ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (B)	51.486	1	51.486	0.44	0.576
ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C)	2.802	1	2.802	0.02	0.892
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที 1 (D)	6.695	1	6.695	0.06	0.834
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที 2 (E)	40.754	1	40.754	0.35	0.616
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที 3 (F)	23.535	1	23.535	0.20	0.699
ระยะกดชุดทับรอยชุดที 1 (G)	0.789	1	0.789	0.01	0.942
ระยะกดชุดทับรอยชุดที 2 (H)	1.110	1	1.110	0.01	0.932
ระยะเบียงรางพับด้านซ้าย (J)	9.396	1	9.396	0.08	0.804
ระยะเบียงรางพับด้านขวา (K)	229.351	1	229.351	1.95	0.298
ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L)	35.975	1	35.975	0.31	0.636
ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M)	165.575	1	165.575	1.41	0.358
ระยะตั้งกั้นท้าย (N)	41.791	1	41.791	0.35	0.612
Residual Error	235.553	2	117.776		
Total	856.447	15			

การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้น จากโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนอย่างมีนัยสำคัญ จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) ได้จากตารางที่ 5.3 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของระยะร่องกาวฝาบน เนื่องจากค่าสถิติทดสอบ F ของทุกปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ ($F_{0.05,1,2}$ = 18.51) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยต่างๆดังนี้

1) ความเร็วเครื่องจักร (A) มีค่า F เท่ากับ 0.10
2) ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (B) มีค่า F เท่ากับ 0.44
3) ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C) มีค่า F เท่ากับ 0.02
4) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (D) มีค่า F เท่ากับ 0.06
5) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (E) มีค่า F เท่ากับ 0.35
6) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (F) มีค่า F เท่ากับ 0.20
7) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (G) มีค่า F เท่ากับ 0.01
8) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (H) มีค่า F เท่ากับ 0.01
9) ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย (J) มีค่า F เท่ากับ 0.08
10) ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (K) มีค่า F เท่ากับ 1.95
11) ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L) มีค่า F เท่ากับ 0.31
12) ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M) มีค่า F เท่ากับ 1.41
13) ระยะตั้งกั้นท้าย (N) มีค่า F เท่ากับ 0.35

สรุปได้ว่าไม่มีปัจจัยใดที่ต้องควบคุม เพื่อให้มีความไวน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยรบกวน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.1.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาบน

ค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นนั้นสามารถนำมาสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) เพื่อยืนยันว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าเฉลียของระยะห่างร่องกาวฝาบนอย่างมีนัยสำคัญดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาบน

Analysis of Variance for Means					
Factors	Sum of square	DF	Mean Square	F	P
ความเร็วเครื่องจักร (A)	21.1945	1	21.1945	29.33	0.032
ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (B)	5.3419	1	5.3419	7.39	0.113
ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C)	0.0395	1	0.0395	0.05	0.837
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (D)	1.6352	1	1.6352	2.26	0.271
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (E)	0.0683	1	0.0683	0.09	0.788
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (F)	0.3094	1	0.3094	0.43	0.580
ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (G)	0.2268	1	0.2268	0.31	0.632
ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (H)	4.5103	1	4.5103	6.24	0.130
ระยะเบียงรางพับด้านซ้าย (J)	5.8867	1	5.8867	8.15	0.104
ระยะเบียงรางพับด้านขวา(K)	16.5344	1	16.5344	22.88	0.041
ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L)	13.9596	1	13.9596	19.32	0.048
ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M)	0.5532	1	0.5532	0.77	0.474
ระยะตั้งกั้นท้าย(N)	6.3819	1	6.3819	8.83	0.097
Residual Error	1.4453	2	0.7227		
Total	78.0870	15			

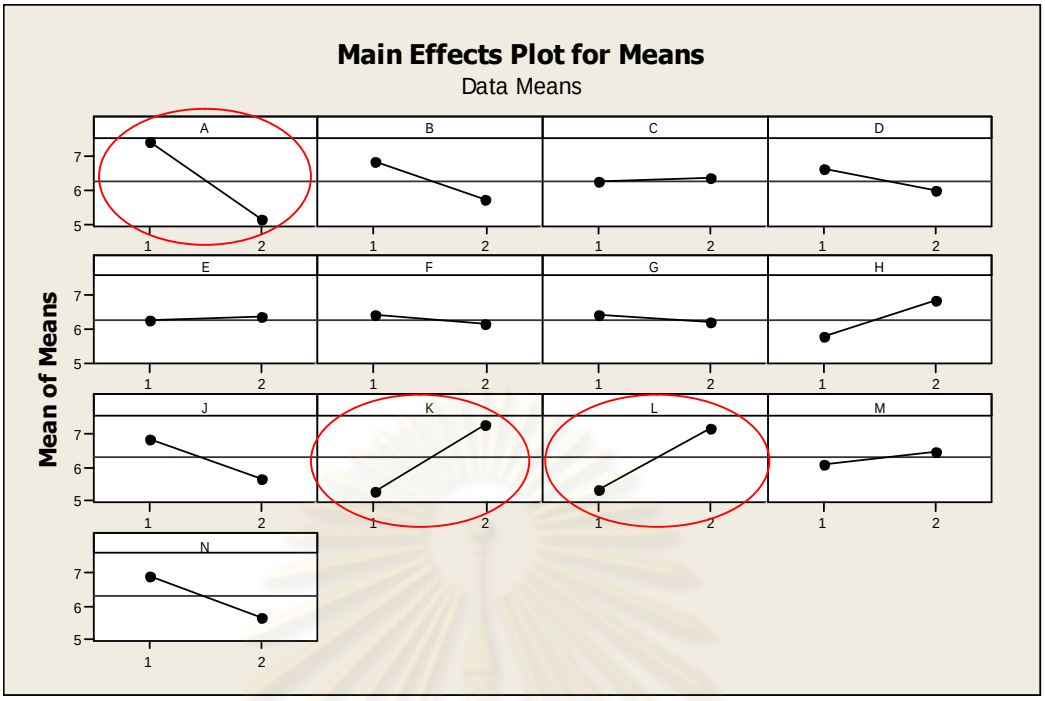
การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้น จากโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาปัจจัยใดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของระยะห่างร่องกาวฝาบน อย่างมีนัยสำคัญ จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) ได้จากตารางที่ 5.4พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบนที่มีค่าสถิติทดสอบ F ของปัจจัยมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ ($F_{0.05,1,15}$ = 4.54) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และวิเคราะห์ผลการทดลองจากรูปที่ 5.1 ประกอบการพิจารณาดังนี้

1) ความเร็วเครื่องจักร (A) มีค่า F เท่ากับ 29.33
2) ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (K) มีค่า F เท่ากับ 22.88
3) ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L) มีค่า F เท่ากับ 19.32

ส่วนปัจจัยที่เหลือไม่มีผลพอที่จะสรุปว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน เนื่องจากค่าสถิติทดสอบ F ของทุกปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ ($F_{0.05,1,15}$ = 4.54) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1) ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (B) มีค่า F เท่ากับ 7.39
2) ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C) มีค่า F เท่ากับ 0.05
3) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (D) มีค่า F เท่ากับ 2.26
4) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (E) มีค่า F เท่ากับ 0.09
5) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (F) มีค่า F เท่ากับ 0.43
6) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (G) มีค่า F เท่ากับ 0.31
7) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (H) มีค่า F เท่ากับ 6.24
8) ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย (J) มีค่า F เท่ากับ 8.15
9) ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M) มีค่า F เท่ากับ 0.77
10) ระยะตั้งกั้นท้าย (N) มีค่า F เท่ากับ 8.83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.4 ค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาบนของแต่ละระดับปัจจัย

การออกแบบการทดลองวิธีการ Taguchi ได้กล่าวไว้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลียแต่มีผลกระทบต่อค่า S/N ratio น้อยแสดงว่าปัจจัยนั้นมีไว้เพื่อที่จะใช้ในการปรับค่าให้อยู่ที่ค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ จากการทดลองเบื้องต้นสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยความเร็วเครื่องจักร ปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวา และปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้าย จะนำไปทำการทดลองในขั้นตอนถัดไปเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อลดความเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก

สำหรับปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่มีผลกระทบต่อค่า S/N ratio และค่าเฉลีย แสดงว่าปัจจัยนั้นไม่มีผลกระทบต่อระยะห่างร่องกาวฝาบน ได้แก่ ปัจจัยระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ ปัจจัยระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น ปัจจัยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดชุดที่ 1, 2 และ 3 ปัจจัยระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 และ 2 ปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านซ้าย ปัจจัยระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ และปัจจัยระยะตั้งกั้นท้าย ซึงปัจจัยดังกล่าวจะให้มีค่าคงที่ในการทดลองต่อไป

5.1.2 วิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

นำกล่องกระดาษลูกฟูกมาทำการวัดค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง โดยค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองแสดงในตาราง 5.5 จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล เพื่อทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือ และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าความผันแปรระยะห่างร่องกาว และความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบนมีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 5.5 ค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ

การทดลอง	ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเบื้องต้น													ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง (มิลลิเมตร)	
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.7	4.5
2	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	9.8	9.9
3	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	6.1	5.9
4	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	9.7	9.5
5	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	7.2	7.5
6	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	2.3	2.8
7	-	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	10.1	9.8
8	-	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	4.3	4.6
9	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	4.7	4.4
10	+	-	+	-	+	-	+	+	-	+	-	+	-	8.2	8.1
11	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	4.1	4.3
12	+	-	+	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	3.1	3.4
13	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-	+	4.3	4.5
14	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	+	-	5.4	5.5
15	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	-	4.2	4.7
16	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	+	4.6	4.2

ค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น โดยใช้เทคนิคทากูชิที่วัดได้ในตารางที่ 5.5 หาค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้และค่าดังกล่าวจะถูกนำมาแปลงค่าให้อยู่ในรูปของอัตราส่วน Signal to Noise (S/N Ratio) ชนิด Norminal the best type problem ก่อนที่จะวิเคราะห์หาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ค่าอัตราส่วน Signal to Noise (S/N Ratio) ของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

การทดลอง	**ค่าเฉลี่ย**	**ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน**	**ค่า S/N Ratio**
1	4.60	0.14	16.99
2	9.85	0.07	23.01
3	6.00	0.14	16.99
4	9.60	0.14	16.99
5	7.35	0.21	13.47
6	2.55	0.35	9.03
7	9.95	0.21	13.47
8	4.45	0.21	13.47
9	4.55	0.21	13.47
10	8.15	0.07	23.01
11	4.20	0.14	16.99
12	3.25	0.21	13.47
13	4.40	0.14	16.99
14	5.45	0.07	23.01
15	4.45	0.35	9.03
16	4.40	0.28	10.97

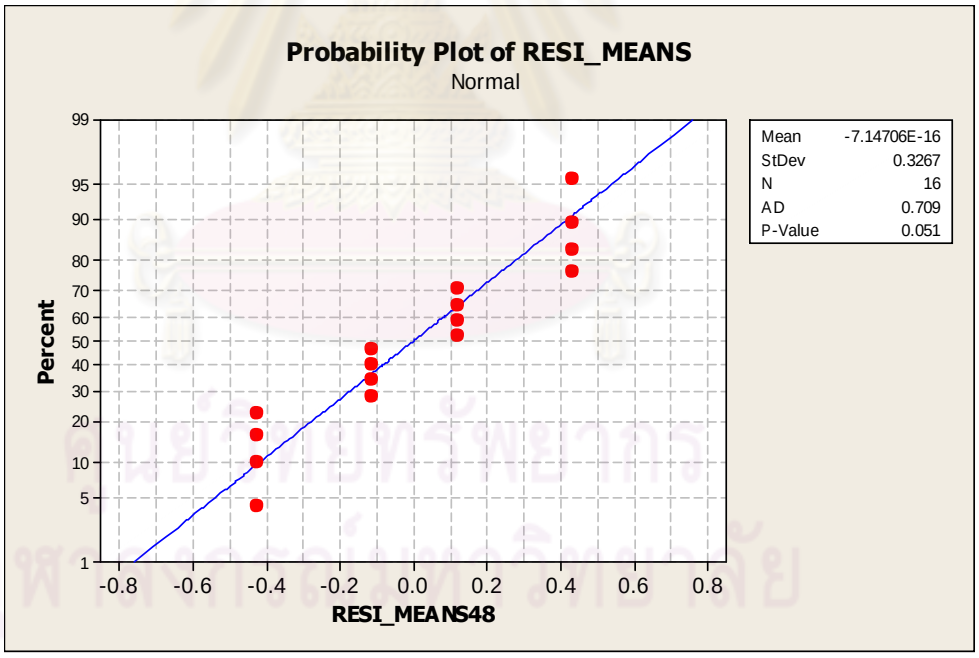
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบเป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามหลักการทางสถิติโดยการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบของความผิดพลาดตามสมมติฐาน 3 ข้อก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนี้

1) การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล

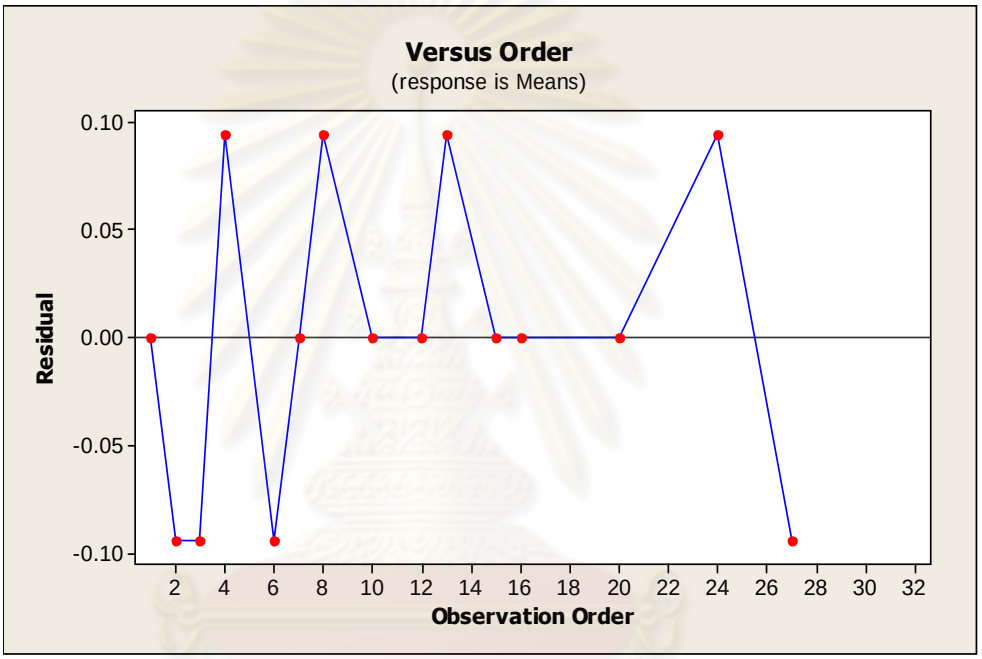
การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยการพิจารณา Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้างที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กับค่าความน่าจะเป็นสะสม หากมีการกระจายแบบปกติจริง กราฟดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่อพิจารณา Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 5.5 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 5.5 การทดสอบความเป็นปกติของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการทดลองเบื้องต้น

2) **การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล**

เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันหรือไม่ เป็นการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการทดลองของชุดทดลองทั้งหมด เมื่อพิจารณาผลการทดสอบความสุ่ม Residual Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.6 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูล เนื่องจากส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นแบบไร้รูปแบบ สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

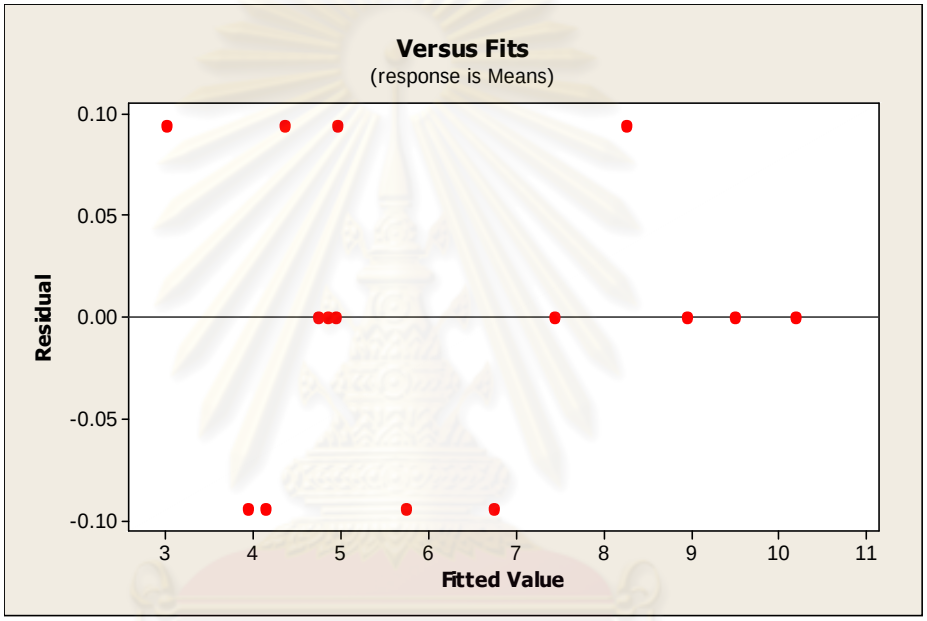


รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการทดลองเบื้องต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) **การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล**

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต ในที่นี้คือค่าคาดหมายของผลตอบสนองซึ่งแผนภาพควรมีการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ ไม่เป็นแนวโน้มใดๆ เมื่อพิจารณาผลการทดสอบดังรูปที่ 5.7 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอนซึ่งสรุปได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีความเสถียร



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตผลตอบสนองของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการทดลองเบื้องต้น

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบของตัวแปรตอบสนองคือค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างของกล่องกระดาษลูกฟูก พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และค่าความแปรแปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID (0, σ^2) ทั้ง 3 ข้อ ดังนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลการออกแบบการทดลองได้

5.1.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าความผันแปรระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

นำค่าอัตราส่วน Signal to Noise (S/N Ratio) จากตารางที่ 5.6 วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) เพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆเพื่อยืนยันว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหากมีปัจจัยใดที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ จะต้องทำการควบคุมปัจจัยดังกล่าว เพื่อให้มีความไวน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยรบกวน

ตารางที่ 5.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความผันแปรของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

Analysis of Variance for SN ratios					
Factors	Sum of square	DF	Mean Square	F	P
ความเร็วเครื่องจักร (A)	0.775	1	0.7752	0.07	0.822
ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ(B)	61.939	1	61.9394	5.21	0.150
ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C)	19.380	1	19.3801	1.63	0.330
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (D)	47.625	1	47.6246	4.01	0.183
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (E)	37.323	1	37.3229	3.14	0.218
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (F)	0.775	1	0.7752	0.07	0.822
ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (G)	37.323	1	37.3229	3.14	0.218
ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (H)	15.138	1	15.1380	1.27	0.376
ระยะเบียงรางพับด้านซ้าย (J)	9.603	1	9.6035	0.81	0.463
ระยะเบียงรางพับด้านขวา (K)	4.536	1	4.5362	0.38	0.600
ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L)	9.603	1	9.6035	0.81	0.463
ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M)	21.926	1	21.9264	1.85	0.307
ระยะตั้งกั้นท้าย (N)	15.138	1	15.1380	1.27	0.376
Residual Error	23.754	2	11.8772		
Total	304.840	15			

การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้น จากโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างอย่างมีนัยสำคัญ จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) ได้จากตารางที่ 5.7 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีอิทธิพลต่อค่าความผันแปรของระยะร่องกาวฝาล่าง เนื่องจากค่าสถิติทดสอบ F ของทุกปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ ($F_{0.05,1,2}$ = 18.51) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1) ความเร็วเครื่องจักร (A) มีค่า F เท่ากับ 0.07
2) ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (B) มีค่า F เท่ากับ 5.21
3) ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C) มีค่า F เท่ากับ 1.63
4) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (D) มีค่า F เท่ากับ 4.01
5) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (E) มีค่า F เท่ากับ 3.14
6) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (F) มีค่า F เท่ากับ 0.07
7) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (G) มีค่า F เท่ากับ 3.14
8) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (H) มีค่า F เท่ากับ 1.27
9) ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย (J) มีค่า F เท่ากับ 0.81
10) ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (K) มีค่า Fเท่ากับ 0.38
11) ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L) มีค่า F เท่ากับ 0.81
12) ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M) มีค่า F เท่ากับ 1.85
13) ระยะตั้งกั้นท้าย (N) มีค่า F เท่ากับ 1.27

สรุปได้ว่าไม่มีปัจจัยใดที่ต้องควบคุมเพื่อให้มีความไวน้อยต่อการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยรบกวน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทราบอิทธิพลต่อค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

ค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นนั้นสามารถนำมาสร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) เพื่อยืนยันว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อค่าเฉลียของระยะห่างร่องกาวฝาล่างอย่างมีนัยสำคัญดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

Analysis of Variance for Means					
Factors	Sum of square	DF	Mean Square	F	P
ความเร็วเครื่องจักร (A)	15.0156	1	15.0156	18.76	0.049
ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ(B)	3.2400	1	3.2400	4.05	0.182
ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C)	1.1556	1	1.1556	1.44	0.352
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที 1 (D)	0.0225	1	0.0225	0.03	0.882
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที 2 (E)	8.8506	1	8.8506	11.06	0.080
ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที 3 (F)	3.6100	1	3.6100	4.51	0.168
ระยะกดชุดทับรอยชุดที 1 (G)	0.0506	1	0.0506	0.06	0.825
ระยะกดชุดทับรอยชุดที 2 (H)	0.3025	1	0.3025	0.38	0.601
ระยะเบียงรางพับด้านซ้าย (J)	1.6256	1	1.6256	2.03	0.290
ระยะเบียงรางพับด้านขวา (K)	27.0400	1	27.0400	33.79	0.028
ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L)	19.1406	1	19.1406	23.92	0.039
ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M)	4.0000	1	4.0000	5.00	0.155
ระยะตั้งกั้นท้าย (N)	0.6806	1	0.6806	0.85	0.454
Residual Error	1.6006	2	0.8003		
Total	86.3350	15			

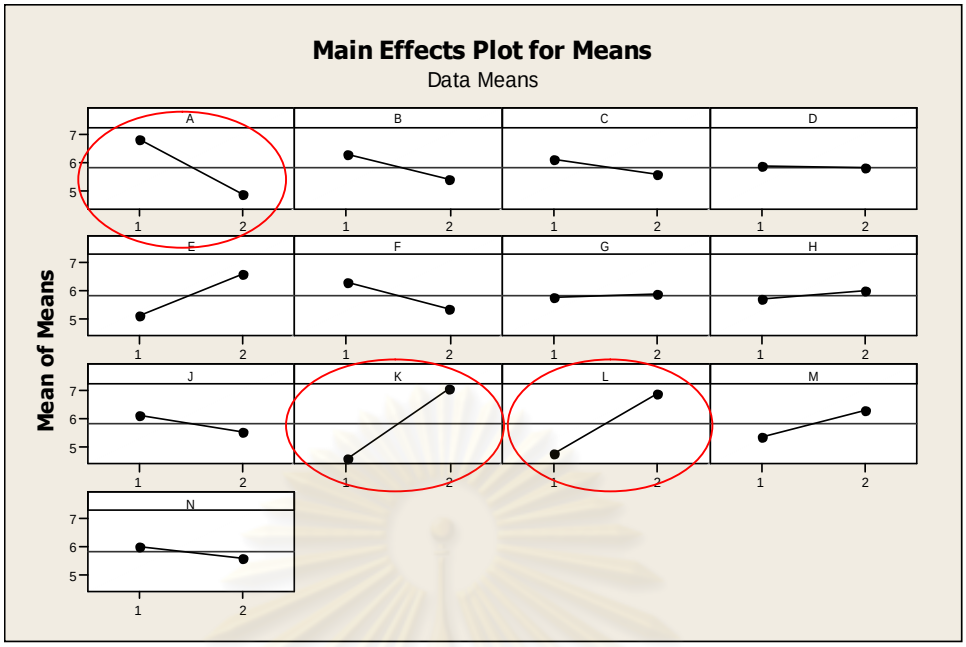
การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้น จากโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาปัจจัยใดปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลียของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง อย่างมีนัยสำคัญ จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance , ANOVA) ได้จากตารางที่ 5.8พบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาล่างที่มีค่าสถิติทดสอบ F ของปัจจัยมีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ ($F_{0.05,1,15}$ = 4.54) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และวิเคราะห์ผลการทดลองจากรูปที่ 5.8 ประกอบการพิจารณาดังนี้

1) ความเร็วเครื่องจักร (A) มีค่า F เท่ากับ 18.76
2) ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (K) มีค่า F เท่ากับ 33.79
3) ความเร็วรางพับด้านซ้าย (L) มีค่า F เท่ากับ 23.92

ส่วนปัจจัยที่เหลือไม่มีผลพอที่จะสรุปว่าเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าเฉลียของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง เนื่องจากค่าสถิติทดสอบ F ของทุกปัจจัยใดมีค่าน้อยกว่าค่าวิกฤติ ($F_{0.05,1,15}$ = 4.54) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยต่างๆดังนี้

1) ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (B) มีค่า F เท่ากับ 4.05
2) ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (C) มีค่า F เท่ากับ 1.44
3) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (D) มีค่า F เท่ากับ 0.03
4) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (E) มีค่า F เท่ากับ 11.06
5) ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์ลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (F) มีค่า F เท่ากับ 4.51
6) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (G) มีค่า F เท่ากับ 0.06
7) ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (H) มีค่า F เท่ากับ 0.38
8) ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย (J) มีค่า F เท่ากับ 2.03
9) ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (M) มีค่า F เท่ากับ 5.00
10) ระยะตั้งกั้นท้าย (N) มีค่า F เท่ากับ 0.85

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.8 ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่างของแต่ละระดับปัจจัย

การออกแบบการทดลองวิธีการ Taguchi ได้กล่าวไว้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยแต่มีผลกระทบต่อค่า S/N ratio น้อยแสดงว่าปัจจัยนั้นมีไว้เพื่อที่จะใช้ในการปรับค่าให้อยู่ที่ค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ จากการทดลองเบื้องต้นสามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยความเร็วเครื่องจักร ปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวา และปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้าย จะนำไปทำการทดลองในขั้นตอนถัดไป เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักร เพื่อลดความเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก

สำหรับปัจจัยอื่นๆที่ไม่มีผลกระทบต่อค่า S/N ratio และค่าเฉลี่ย แสดงว่าปัจจัยนั้นไม่มีผลกระทบต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ได้แก่ ปัจจัยระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ ปัจจัยระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น ปัจจัยระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดชุดที่ 1, 2 และ 3 ปัจจัยระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 และ 2 ปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านซ้าย ปัจจัยระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ และปัจจัยระยะตั้งกั้นท้าย ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะให้มีค่าคงที่ในการทดลองต่อไป

5.2 แผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

จากการผลการวิเคราะห์การทดลองเบื้องต้นปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่นำมาทำการทดลองมี 3 ปัจจัย คือ ความเร็วเครื่องจักร ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา และความเร็วรางพับด้านซ้าย โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบการทดลอง ดำเนินการทดลอง ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ซึ่งจะใช้แผนการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Design) ประกอบไปด้วย 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ โดยทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้งและการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เพื่อลดผลกระทบจากปัจจัยภายนอก โดยมีตัวแปรตอบสนองคือ ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน และค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง สรุปแผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 แผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

แผนการออกแบบการทดลอง			
1. **วัตถุประสงค์** หาสภาวะในการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อลดค่าความเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก			
2. **ข้อมูลพื้นฐาน** ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าระยะห่างร่องกาวอย่างมีนัยสำคัญ ในการทดลองเบื้องต้น			
3. **ตัวแปรในการทดลอง** 3.1 **ตัวแปรตอบสนอง** คือ ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน และค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง			
3.2 **ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง**	**ระดับปัจจัย**		
	(-) **ต่ำ**	(0) **กลาง**	(+) **สูง**
3.2.1 ความเร็วเครื่องจักร (กล่อง/นาที)	80	100	120
3.2.2 ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (มิลลิเมตร)	387	397	407
3.2.3 ความเร็วรางพับด้านซ้าย (เท่า)	0.0	0.25	0.5

ตารางที่ 5.9 แผนการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม (ต่อ)

3.3 ตัวแปรควบคุม	**การควบคุม**
3.3.1 ตำแหน่งตัวตบข้าง (มิลลิเมตร)	963
3.3.2 สภาพล้อป้อนกระดาษ	สภาพดี ไม่สึก
3.3.3 แรงลมดูดในชุดป้อนกระดาษ (บาร์)	5
3.3.4 ความขนานรางพับ	ขนาน
3.3.5 ระยะกดล้อกาว (มิลลิเมตร)	976.0
3.3.6 ความตึงสายพานพับกล่อง	ขนาน
3.3.7 ความตึงสายพานประคองข้าง	ขนาน
3.3.8 แรงลมดูดใต้สายพานพับกล่องเส้นล่าง	ขนาน
3.3.9 ความโค้งงอกระดาษลูกฟูก	กระดาษเรียบ/ไม่งอ
3.3.10 เกรดกระดาษลูกฟูก	A
3.3.11 ชนิดลอนลูกฟูก	ลอน C
3.3.12 ขนาดกล่องกระดาษลูกฟูก	ใหญ่
3.3.13 ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (มิลลิเมตร)	2.2
3.3.14ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (มิลลิเมตร)	2.0
3.3.15 ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดชุดที่ 1 (มิลลิเมตร)	1.8
3.3.16 ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดชุดที่ 2 (มิลลิเมตร)	1.8
3.3.17 ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดชุดที่ 3 (มิลลิเมตร)	1.7
3.3.18 ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 (มิลลิเมตร)	1.8
3.3.19 ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 2 (มิลลิเมตร)	1.7
3.3.20 ระยะเบียงรางพับด้านซ้าย (มิลลิเมตร)	328.2
3.3.21 ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (มิลลิเมตร)	10
3.3.22 ระยะตั้งก้นท้าย (มิลลิเมตร)	704
4. การออกแบบการทดลอง	
3^k Factorial Design ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ทั้งหมด 3x3x3x2 = 54 การทดลอง	
5. เมตริกซ์การออกแบบการทดลอง ดังตารางที่ 5.10	
6. วิธีการสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Complete Randomization) ดังตารางที่ 5.11	

ตารางที่ 5.10 เมตริกซ์การออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

A	B								
	-			0			+		
	C			C			C		
	-	0	+	-	0	+	-	0	+
-	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	28	29	30	31	32	33	34	35	36
0	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	37	38	39	40	41	42	43	44	45
+	19	20	21	22	23	24	25	26	27
	46	47	48	49	50	51	52	53	54

เครื่องหมาย (-) หมายถึง ระดับปัจจัยระดับต่ำ

เครื่องหมาย (0) หมายถึง ระดับปัจจัยระดับกลาง

เครื่องหมาย (+) หมายถึง ระดับปัจจัยระดับสูง

สัญลักษณ์ A หมายถึง ความเร็วเครื่องจักร (Running Speed)

สัญลักษณ์ B หมายถึง ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (Folding Beam DR Register)

สัญลักษณ์ C หมายถึง ความเร็วรางพับด้านซ้าย (Speed OP Register)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.11 ลำดับที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ลำดับทดลอง	การทดลอง	ลำดับทดลอง	การทดลอง	ลำดับทดลอง	การทดลอง
1	53	21	16	41	33
2	19	22	4	42	11
3	34	23	9	43	44
4	28	24	13	44	21
5	25	25	6	45	52
6	31	26	26	46	15
7	20	27	45	47	54
8	51	28	18	48	17
9	38	29	23	49	37
10	22	30	5	50	24
11	3	31	49	51	1
12	50	32	12	52	46
13	8	33	30	53	29
14	39	34	32	54	41
15	10	35	7		
16	35	36	14		
17	42	37	48		
18	43	38	27		
19	36	39	2		
20	47	40	40		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 การวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง การวิเคราะห์ผลการทดลอง และการหาระดับที่เหมาะในการปรับตั้งเครื่องจักร มีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน

จากการดำเนินการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก โดยปัจจัยที่ทำการทดลองได้แก่ ความเร็วเครื่องจักร ระยะเบียงรางพับด้านขวา และความเร็วรางพับด้านซ้าย ผลการทดลองของค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาบน ดังตาราง 5.12 มีดังนี้

ตาราง 5.12 ค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาบนในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ลำดับทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาบน (มิลลิเมตร)
		ความเร็วเครื่องจักร (กล่อง/นาที)	ระยะเบียงรางพับด้านขวา (มิลลิเมตร)	ความเร็วรางพับด้านซ้าย (เท่า)	
1	53	120	407	0.25	8.0
2	19	120	387	0.0	6.2
3	34	80	407	0.0	8.8
4	28	80	387	0.0	7.7
5	25	120	407	0.0	6.8
6	31	80	397	0.0	9.0
7	20	120	387	0.25	6.8
8	51	120	397	0.5	7.6
9	38	100	387	0.25	8.3
10	22	120	397	0.0	7.2
11	3	80	387	0.5	9.1

ตาราง 5.12 ค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาบนในการออกแบบการทดลองเพือหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม (ต่อ)

ลำดับทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาบน (มิลลิเมตร)
		ความเร็วเครืองจักร (กล่อง/นาที)	ระยะเบียงรางพับด้านขวา (มิลลิเมตร)	ความเร็วรางพับด้านซ้าย (เท่า)	
12	50	120	397	0.25	7.7
13	8	80	407	0.25	8.8
14	39	100	387	0.5	8.4
15	10	100	387	0.0	7.9
16	35	80	407	0.25	9.0
17	42	100	397	0.5	8.6
18	43	100	407	0.0	8.8
19	36	80	407	0.5	9.1
20	47	120	387	0.25	7.1
21	16	100	407	0.0	8.6
22	4	80	397	0.0	8.7
23	9	80	407	0.5	9.3
24	13	100	397	0.0	8.2
25	6	80	397	0.5	9.0
26	26	120	407	0.25	8.2
27	45	100	407	0.5	8.6
28	18	100	407	0.5	9.3
29	23	120	397	0.25	7.6
30	5	80	397	0.25	8.7
31	49	120	397	0.0	8.1
32	12	100	387	0.5	8.2
33	30	80	387	0.5	8.9

ตาราง 5.12 ค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาบนในการออกแบบการทดลองเพือหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม (ต่อ)

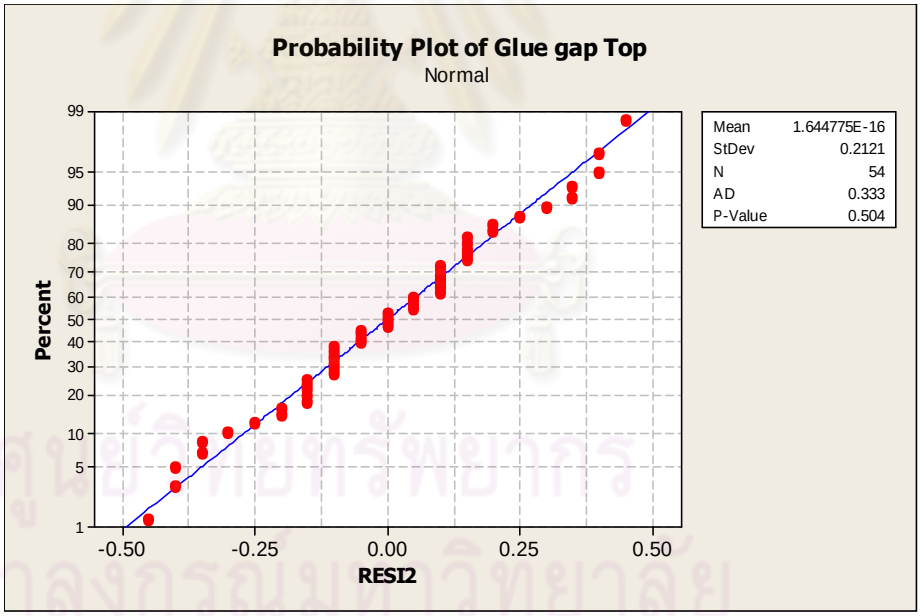
ลำดับทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาบน (มิลลิเมตร)
		ความเร็วเครืองจักร (กล่อง/นาที)	ระยะเบียงรางพับด้านขวา (มิลลิเมตร)	ความเร็วรางพับด้านซ้าย (เท่า)	
34	32	80	397	0.25	8.6
35	7	80	407	0.0	8.7
36	14	100	397	0.25	8.6
37	48	120	387	0.5	8.0
38	27	120	407	0.5	8.1
39	2	80	387	0.25	9.0
40	40	100	397	0.0	8.2
41	33	80	397	0.5	8.7
42	11	100	387	0.25	9.1
43	44	100	407	0.25	8.7
44	21	120	387	0.5	7.6
45	52	120	407	0.0	7.4
46	15	100	397	0.5	9.0
47	54	120	407	0.5	8.8
48	17	100	407	0.25	9.2
49	37	100	387	0.0	7.8
50	24	120	397	0.5	7.8
51	1	80	387	0.0	8.5
52	46	120	387	0.0	5.9
53	29	80	387	0.25	9.0
54	41	100	397	0.25	8.3

5.3.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบระยะห่างร่องกาวฝาบน

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามหลักการทางสถิติโดยการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบของความผิดพลาดตามสมมติฐาน 3 ข้อ ก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนี้

1) การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล

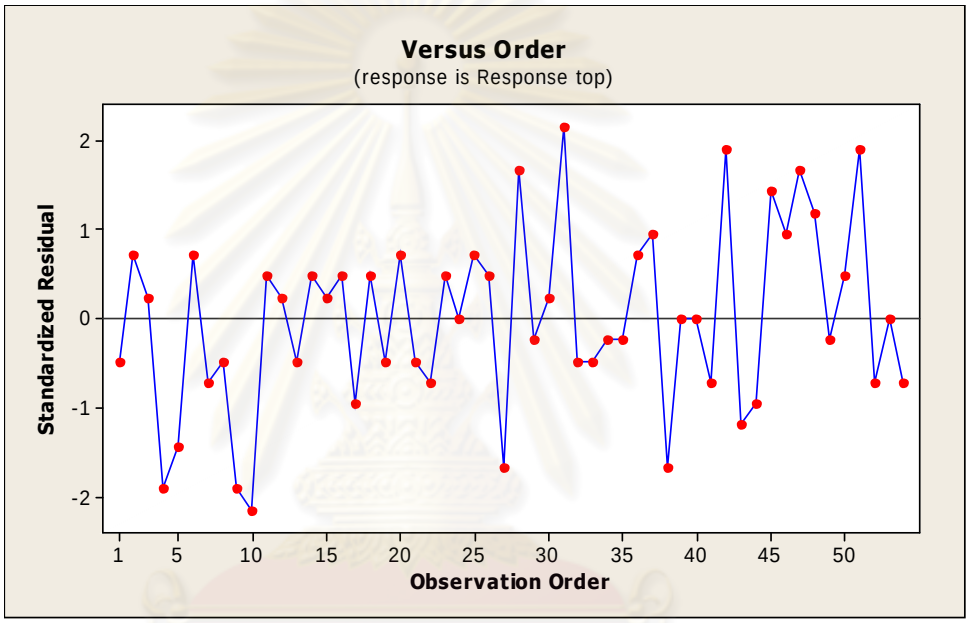
การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยการพิจารณา Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้างที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กับค่าความน่าจะเป็นสะสม หากมีการกระจายแบบปกติจริง กราฟดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่อพิจารณา Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 5.9 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 5.9 การทดสอบความเป็นปกติของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการ ออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

2) **การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล**

เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันหรือไม่ เป็นการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการทดลองของชุดทดลองทั้งหมด เมื่อพิจารณาผลการทดสอบความสุ่ม Residual Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.10 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูล เนื่องจากส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นแบบไร้รูปแบบ สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

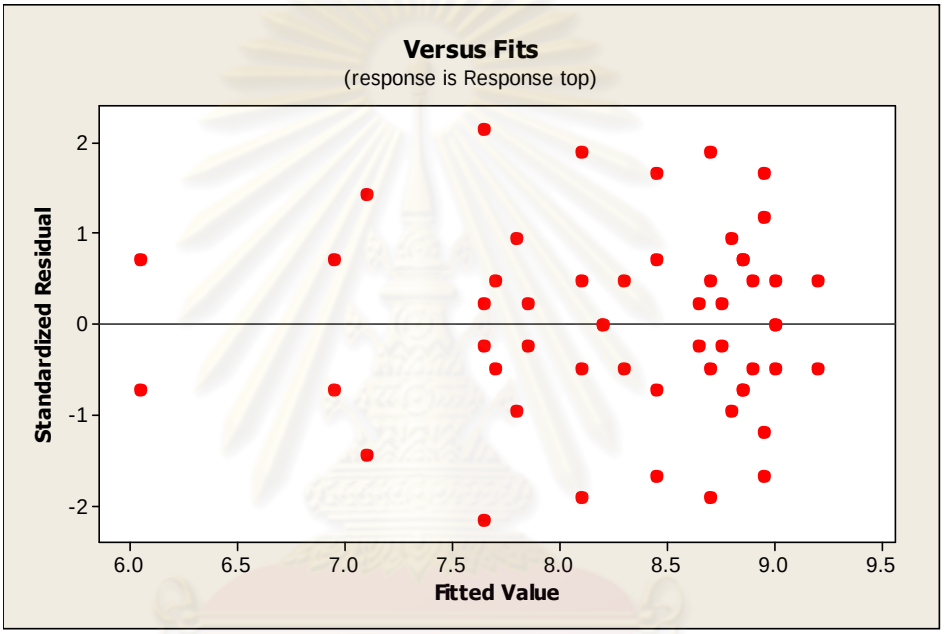


รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) **การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล**

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต ในที่นี้คือค่าคาดหมายของผลตอบสนองซึ่งแผนภาพควรมีการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ ไม่เป็นแนวโน้มใดๆเมื่อพิจารณาผลการทดสอบดังรูปที่ 5.11 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอนซึ่งสรุปได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีความเสถียร



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของระยะห่างร่องกาวฝาบนในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของตัวแปรตอบสนอง คือ ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนของกล่องกระดาษลูกฟูก พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และค่าความแปรแปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID (0, σ^2) ทั้ง 3 ข้อ ดังนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลการออกแบบการทดลองได้

5.3.1.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของระยะห่างร่องกาวฝาบน

เมื่อข้อมูลได้ทำการการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบแล้ว จากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม สำหรับการปรับตั้งเครื่องจักรด้วยโปรแกรม Minitab วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ได้ดังตาราง 5.13

ตารางที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของระยะห่างร่องกาวฝาบน

Source	Sum of square	DF	Mean Square	F	P
A	17.4433	2	8.7217	98.74	0.000
B	3.2011	2	1.6006	18.12	0.000
C	3.9511	2	1.9756	22.36	0.000
A*B	1.0222	4	0.2556	2.89	0.041
A*C	0.8056	4	0.2014	2.28	0.087
B*C	1.4278	4	0.3569	4.04	0.011
A*B*C	1.3589	8	0.1699	1.92	0.098
Error	2.3850	27	0.0883		
Total	31.5950	53			

สัญลักษณ์ A หมายถึง ความเร็วเครื่องจักร (Running Speed)

สัญลักษณ์ B หมายถึง ระยะเบียงรางพับด้านขวา (Folding Beam DR Register)

สัญลักษณ์ C หมายถึง ความเร็วรางพับด้านซ้าย (Speed OP Register)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 5.13 สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบปัจจัยที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ระดับนัยสำคัญที่ α = 0.05 ได้ดังนี้

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก

H_0 : Main Effect ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

H_1 : Main Effect มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

พิจารณาค่า P-Value ของ Main Effects ในตารางที่ 5.13 สรุปผลได้ดังนี้

1) พบว่า Main Effect A มีค่า F-Ratio เท่ากับ 98.74 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 3.35 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเร็วเครื่องจักร มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
2) พบว่า Main Effect B มีค่า F-Ratio เท่ากับ 18.12 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 3.35 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวามีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
3) พบว่า Main Effect C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 22.36 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 3.35 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเร็วรางพับด้านซ้าย มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบน ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

การทดสอบสมมติฐานของอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย

H_0 : Interaction Effect ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

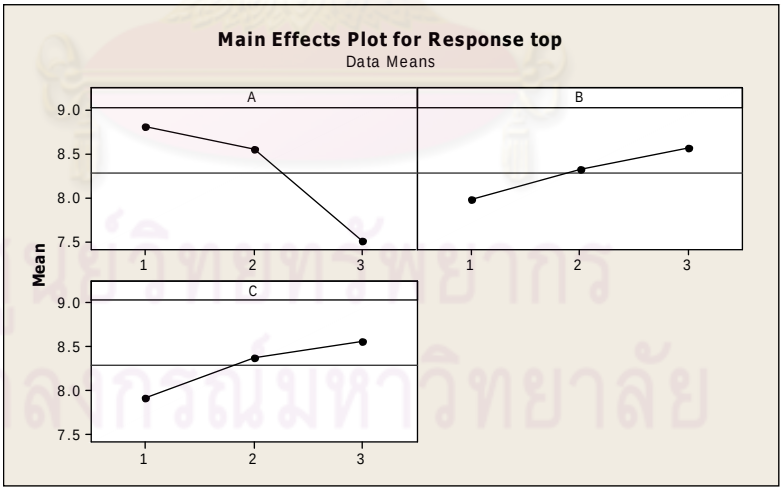
H_1 : Interaction Effect มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

พิจารณาค่า P-Value ของ Interactions ในตารางที่ 5.13 สรุปผลได้ดังนี้

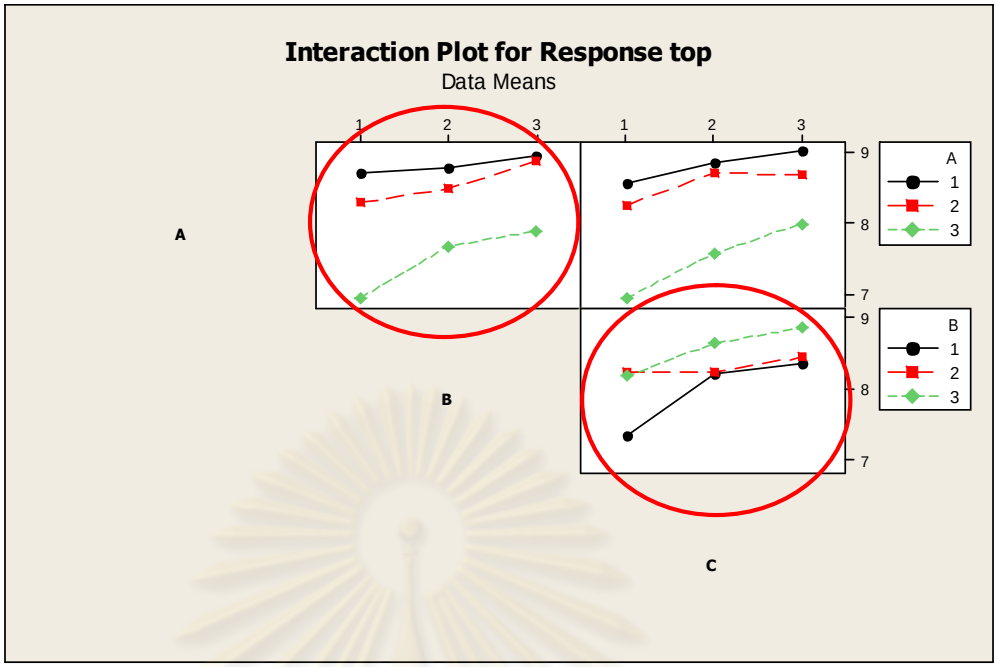
1) พบว่า Interaction Effect A*B มีค่า F-Ratio เท่ากับ 2.89 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.73 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักรกับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
2) พบว่า Interaction Effect A*C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 0.77 ซึ่งน้อยกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.73 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักรกับความเร็วรางพับด้านซ้ายไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
3) พบว่า Interaction Effect B*C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 2.28 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 4.04 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างระยะเบี่ยงรางพับด้านขวากับความเร็วรางพับด้านซ้ายมีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

4) พบว่า Interaction Effect A*B*C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 1.92 ซึ่งน้อยกว่าค่า F วิกฤติ เท่ากับ 2.31 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักร ระยะเบียงรางพับด้านขวา และความเร็วรางพับด้านซ้าย ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.12 และรูปที่ 5.13 เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยหลัก พบว่าปัจจัยความเร็วเครื่องจักร (A) ที่ 120 กล่อง/นาที ซึ่งปัจจัยจัดอยู่ในระดับสูง จะทำให้มีค่าเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนน้อยที่สุด ในส่วนปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวา (B) ที่ 387 มิลลิเมตร ซึ่งปัจจัยจัดอยู่ในระดับต่ำ จะทำให้มีค่าเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนน้อยที่สุด และปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้าย (C) ที่ 0.0 เท่า ซึ่งปัจจัยจัดอยู่ในระดับต่ำ จะทำให้มีค่าเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนน้อยที่สุด แต่เนื่องจากมีผลของอันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักร (A) กับ ระยะเบียงรางพับด้านขวา (B) และอันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างระยะเบียงรางพับด้านขวา (B) กับความเร็วรางพับด้านซ้าย (C) มีอิทธิพลต่อค่าความเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบน ซึ่งจะใช้วิธีการทดสอบพหุพิสัยของดันแคน (Duncan's Multiple Range Test) เพื่อทราบลักษณะความสัมพันธ์ของอันตรกริยาของปัจจัยที่มีผลต่อกัน มีรายละเอียดการคำนวณและการวิเคราะห์ดังนี้



รูปที่ 5.12 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าเบียงเบนระยะห่างร่องกาวฝาบน



รูปที่ 5.13 อันตรกิริยาของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อค่าเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาบน

หมายเหตุ ในรูปที่ 5.12 และ 5.13

หมายเลข 1 แทนระดับต่ำของปัจจัย

หมายเลข 2 แทนระดับกลางของปัจจัย

หมายเลข 3 แทนระดับสูงของปัจจัย

สัญลักษณ์ A หมายถึง ความเร็วเครื่องจักร (Running Speed)

สัญลักษณ์ B หมายถึง ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (Folding Beam DR Register)

สัญลักษณ์ C หมายถึง ความเร็วรางพับด้านซ้าย (Speed OP Register)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.1.3 การทดสอบพหุพิสัยของดันแคนระยะห่างร่องกาวฝ่าบน

วิธีการทดสอบพหุพิสัยของดันแคน เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ยองอันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักร กับ ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา และ อันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา กับ ความเร็วรางพับด้านซ้าย ทีแต่ละระดับปัจจัยว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ รายละเอียดการคำนวณ มีดังต่อไปนี้

5.3.1.3.1 การทดสอบพหุพิสัยดันแคนระหว่างความเร็วเครื่องจักรกับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา

1) การเปรียบเทียบความเร็วเครื่องจักรระดับสูงที 120 กล่อง/นาที

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ความเร็วเครื่องจักรสัมพันธ์กับระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.13 (MS_E = 0.0883 , N=54, n=6) ซึ่งความเร็วเครื่องจักรที 120 กล่อง/นาที กับระยะเบี่ยงของรางพับด้านขวาที่ระดับต่างๆ แสดงการคำนวณดังนี้

ค่า Standard Error ของค่าเฉลียการทดลอง (Treatment Mean) ดังต่อไปนี้

$$S_{\overline{YB}} = \sqrt{\frac{MS_E}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.0883}{6}}$$

$$= 0.1213$$

หาค่า Least Significant Range ได้ดังต่อไปนี้ โดยที เปิดตาราง Significant Ranges for Duncan's Multiple Range Test หา $r_{0.05(2,27)}$= 2.91, $r_{0.05(3,27)}$ =3.06

$$R_2 = r_{0.05(2,27)} \; S_{\overline{YB}}$$

$$= (2.91)(0.1213) = 0.3530$$

$$R_3 = r_{0.05(3,27)} \; S_{\overline{YB}}$$

$$= (3.06)(0.1213) = 0.3712$$

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(=6.2+6.8+7.1+8+7.6+5.9)}{6} = 6.93 \quad (1)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(7.6+7.2+7.7+7.6+8.1+7.8)}{6} = 7.67 \quad (2)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(8+6.8+8.2+8.1+7.4+8.8)}{6} = 7.88 \quad (3)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (3) VS (1) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทีระดับความ เชือมัน 95% เนืองจาก

(3) VS (1) : 7.88 – 6.93 = 0.95 > 0.3712 (R_3)

สรุปได้ว่าความเร็วเครืองจักรทีระดับสูงกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาทีระดับสูงให้ผลต่อค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (3) VS (2) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทีระดับความเชือมัน 95% เนืองจาก

(3) VS (2) : 7.88 – 7.67= 0.22 < 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครืองจักรทีระดับสูงกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาทีระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (2) VS (1) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทีระดับความเชือมัน 95% เนืองจาก

(2) VS (1) : 7.67– 6.93 = 0.73 > 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครืองจักรทีระดับสูงกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาทีระดับตำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) การเปรียบเทียบความเร็วเครื่องจักรระดับกลางที 100 กล่อง/นาที

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ความเร็วของเครื่องจักรสัมพันธ์กับระยะเบียงรางพับด้านขวาทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.13 (MS_E = 0.0869) ซึ่งความเร็วเครื่องจักรที 100 กล่อง/นาที กับระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับต่างๆ แสดงการคำนวณดังนี้

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(8.3+8.4+7.9+8.2+9.1+7.8)}{6} = 8.82 \quad (4)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(8.6+8.2+8.6+8.2+9+8.3)}{6} = 8.48 \quad (5)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(8.8+8.6+8.6+9.3+8.7+9.2)}{6} = 8.87 \quad (6)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (6) VS (4) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชือมัน 95% เนืองจาก

(6) VS (4) : 8.87- 8.82 = 0.58 > 0.3712 (R_3)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับสูงให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (6) VS (5) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชือมัน 95% เนืองจาก

(6) VS (5) : 8.87- 8.48 = 0.38 > 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (5) VS (4) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชือมัน 95% เนืองจาก

(5) VS (4) : 8.48 – 8.82 = 0.20 < 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

3) การเปรียบเทียบความเร็วเครื่องจักรระดับต่ำที 80 กล่อง/นาที

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ความเร็วเครื่องจักรสัมพันธ์กับระยะเบียงรางพับด้านขวาทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.13 (MS_E = 0.0869) ซึ่งความเร็วเครื่องจักรที 80 กล่อง/นาที กับระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับต่างๆ ดังนี้

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(7.7+9.1+8.9+9+8.5+9)}{6} = 8.70 \qquad (7)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(9+8.7+9+8.7+8.6+8.7)}{6} = 8.78 \qquad (8)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(8.8+8.8+9+9.1+9.3+8.7)}{6} = 8.95 \qquad (9)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (9) VS (7) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชือมัน 95% เนืองจาก

(9) VS (7) : 8.95 - 8.70 = 0.25 < 0.3712 (R_3)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับตำกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับสูงให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (9) VS (8) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชือมัน 95% เนืองจาก

(9) VS (8) : 8.95 - 8.78 = 0.17 < 0.3530 (R_2)

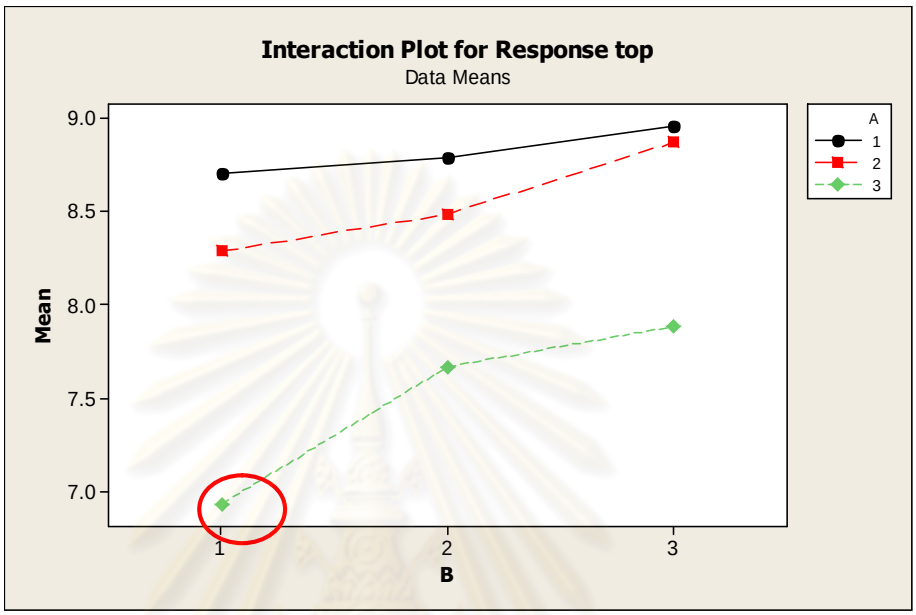
สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับตำกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (8) VS (7) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชือมัน 95% เนืองจาก

(8) VS (7) : 8.78 – 8.70 = 0.08 < 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับตำกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับตำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

พิจารณาจากดังรูปที่ 5.14 พบว่าปัจจัยความเร็วเครื่องจักร (A) ที่ระดับสูง อัตรา120 กล่อง/นาที และปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวา (B) ที่ระดับต่ำ 387 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนน้อยที่สุด



รูปที่ 5.14 ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักรและระยะเบียงรางพับด้านขวาที่มีผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบน

5.3.1.3.2 การทดสอบพหุพิสัยดันแคนระหว่างระยะเบียงรางพับด้านขวากับความเร็วรางพับด้านซ้าย

1) การเปรียบเทียบระยะเบียงรางพับด้านขวาระดับสูงที่ 407 มิลลิเมตร

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ระยะเบียงรางพับด้านขวาสัมพันธ์กับความเร็วรางพับด้านซ้ายทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.13 (MS_E = 0.0869) ซึ่งระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับสูง 407 มิลลิเมตร กับความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับต่างๆ แสดงการคำนวณดังนี้

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(8.8+8.8+9+9.1+9.3+8.7)}{6} = 8.18 \quad (10)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(8+8.8+9+8.2+8.7+9.2)}{6} = 8.65 \quad (11)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(9.1+9.3+8.6+9.3+8.1+8.8)}{6} = 8.87 \quad (12)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (12) VS (10) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที ระดับความเชือมัน 95% เนืองจาก

(12) VS (10) : 8.87- 8.18 = 0.68 > 0.3712 (R_3)

สรุปได้ว่าระยะเบียงรางพับด้านขวาทีระดับสูงกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายทีระดับสูงให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (12) VS (11) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทีระดับความเชือมัน 95% เนืองจาก

(12) VS (11) : 8.87- 8.65 = 0.22 < 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าระยะเบียงรางพับด้านขวาทีระดับสูงกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายทีระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (11) VS (10) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทีระดับความเชือมัน 95% เนืองจาก

(11) VS (10) : 8.65 - 8.18= 0.47 > 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าระยะเบียงรางพับด้านขวาทีระดับสูงกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายทีระดับตำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

2) การเปรียบเทียบระยะเบียงรางพับด้านขวาระดับกลางที 397 มิลลิเมตร

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ระยะเบียงรางพับด้านขวาสัมพันธ์กับความเร็วรางพับด้านซ้ายทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที 5.13 (MS_E = 0.0869) ซึ่งระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับสูง 397 มิลลิเมตร กับความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับต่างๆ แสดงการคำนวณดังนี้

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(9+7.2+8.7+8.2+8.1+8.2)}{6} = 8.23 \quad (13)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(7.7+7.6+8.7+8.6+8.6+8.3)}{6} = 8.25 \quad (14)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(7.6+8.6+9+8.7+9+7.8)}{6} = 8.45 \quad (15)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (15) VS (13) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(15) VS (13) : 8.45 - 8.23 = 0.22 < 0.3712 (R_3)

สรุปได้ว่าระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับสูงให้ผลต่อระยะร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (15) VS (14) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(15) VS (14) : 8.45 - 8.25 = 0.20 < 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (14) VS (13) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(14) VS (13) : 8.25 – 8.23 = 0.02 < 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับต่ำให้ผลต่อระยะร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

3) การเปรียบเทียบระยะเบียงรางพับด้านขวาระดับสูงที 387 มิลลิเมตร

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ระยะเบียงรางพับด้านขวาสัมพันธ์กับความเร็วรางพับด้านซ้ายทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที 5.13 (MS_E = 0.0869) ซึ่งระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับสูง 387 มิลลิเมตร กับความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับต่างๆ แสดงการคำนวณดังนี้

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(6.2+7.7+7.9+7.8+8.5+5.9)}{6} = 7.33 \quad (16)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(6.8+8.3+7.1+9+9.1+9)}{6} = 8.22 \quad (17)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(9.1+8.4+8.2+8.9+8+7.6)}{6} = 8.37 \quad (18)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (18) VS (16) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(18) VS (16) : 8.37- 7.33 = 1.03 > 0.3712 (R_3)

สรุปได้ว่าระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับสูงให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (18) VS (17) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(18) VS (17) : 8.37 - 8.22 = 0.15 < 0.3530 (R_2)

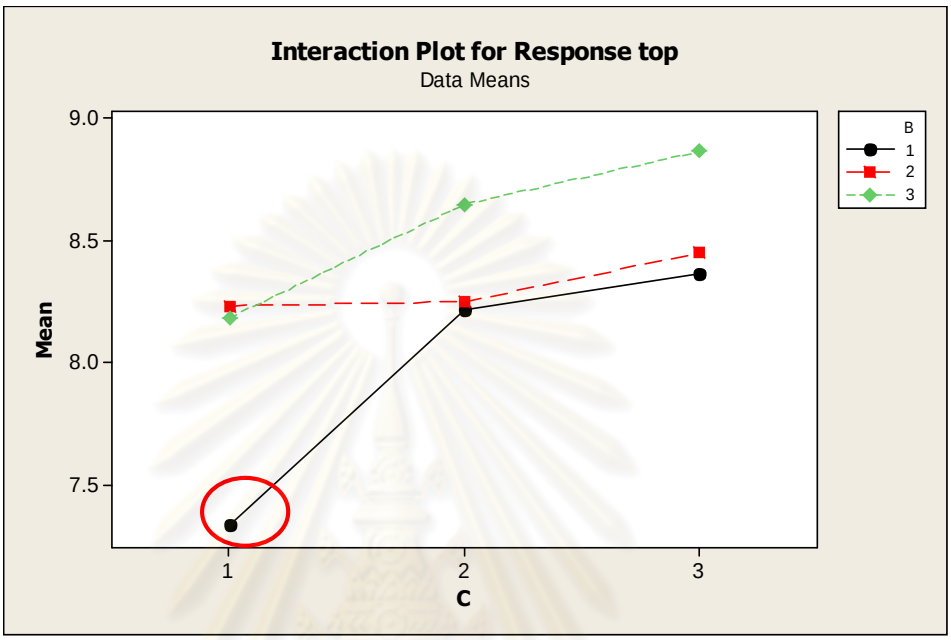
สรุปได้ว่าระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (17) VS (16) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(17) VS (16) : 8.22 – 7.33 = 0.88 > 0.3530 (R_2)

สรุปได้ว่าระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำกับระดับปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ระดับต่ำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบนแตกต่างกัน

พิจารณาจากดังรูปที่ 5.15 พบว่าปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวา (B) ที่ระดับต่ำ 387 มิลลิเมตร และปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้าย (C) ที่ระดับต่ำ 0.0 เท่าของรางพับด้านขวา จะทำให้ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนน้อยที่สุด



รูปที่ 5.15 ปัจจัยร่วมระหว่างระยะเบียงรางพับด้านขวาและความเร็วรางพับด้านซ้ายที่มีผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาบน

ดังนั้นค่าปรับตั้งระดับปัจจัยที่เหมาะสม ที่จะทำให้ค่าเบียงเบนระยะห่างร่องกาวฝาบนลดลงในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก ดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนน้อยที่สุด

ปัจจัย	ระดับ	ค่าปรับตั้ง	หน่วย
ความเร็วเครื่องจักร	สูง (+)	120	กล่อง/นาที
ระยะเบียงรางพับด้านขวา	ต่ำ (-)	387	มิลลิเมตร
ความเร็วรางพับด้านซ้าย	ต่ำ (-)	0.0	เท่า

5.3.2 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

จากการดำเนินการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก โดยปัจจัยที่ทำการทดลองได้แก่ ความเร็วเครื่องจักร ระยะเบียงรางพับด้านขวา และความเร็วรางพับด้านซ้าย ผลการทดลองของค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ดังตาราง 5.15 มีดังนี้

ตาราง 5.15 ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ลำดับทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง (มิลลิเมตร)
		ความเร็วเครื่องจักร (กล่อง/นาที)	ระยะเบียงรางพับด้านขวา (มิลลิเมตร)	ความเร็วรางพับด้านซ้าย (เท่า)	
1	53	120	407	0.25	7.2
2	19	120	387	0.0	5.8
3	34	80	407	0.0	9.5
4	28	80	387	0.0	7.9
5	25	120	407	0.0	5.8
6	31	80	397	0.0	8.5
7	20	120	387	0.25	5.3
8	51	120	397	0.5	6.2
9	38	100	387	0.25	7.8
10	22	120	397	0.0	6.5
11	3	80	387	0.5	8.7
12	50	120	397	0.25	6.9
13	8	80	407	0.25	9.7
14	39	100	387	0.5	8.0
15	10	100	387	0.0	7.5
16	35	80	407	0.25	9.8

ตาราง 5.15 ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม (ต่อ)

ลำดับทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง (มิลลิเมตร)
		ความเร็วเครื่องจักร (กล่อง/นาที)	ระยะเบียงรางพับด้านขวา (มิลลิเมตร)	ความเร็วรางพับด้านซ้าย (เท่า)	
17	42	100	397	0.5	8.2
18	43	100	407	0.0	8.5
19	36	80	407	0.5	10.8
20	47	120	387	0.25	6.2
21	16	100	407	0.0	7.8
22	4	80	397	0.0	9.0
23	9	80	407	0.5	9.8
24	13	100	397	0.0	7.6
25	6	80	397	0.5	9.5
26	26	120	407	0.25	7.9
27	45	100	407	0.5	8.2
28	18	100	407	0.5	7.8
29	23	120	397	0.25	6.5
30	5	80	397	0.25	9.3
31	49	120	397	0.0	7.7
32	12	100	387	0.5	7.7
33	30	80	387	0.5	8.6
34	32	80	397	0.25	9.2
35	7	80	407	0.0	9.2
36	14	100	397	0.25	8.4
37	48	120	387	0.5	7.8
38	27	120	407	0.5	7.6

ตาราง 5.15 ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม (ต่อ)

ลำดับทดลอง	การทดลอง	ปัจจัย			ค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง (มิลลิเมตร)
		ความเร็วเครื่องจักร (กล่อง/นาที)	ระยะเบียงรางพับด้านขวา (มิลลิเมตร)	ความเร็วรางพับด้านซ้าย (เท่า)	
39	2	80	387	0.25	6.2
40	40	100	397	0.0	7.8
41	33	80	397	0.5	7.5
42	11	100	387	0.25	8.7
43	44	100	407	0.25	6.2
44	21	120	387	0.5	6.9
45	52	120	407	0.0	6.7
46	15	100	397	0.5	8.3
47	54	120	407	0.5	8.1
48	17	100	407	0.25	8.5
49	37	100	387	0.0	7.1
50	24	120	397	0.5	8.3
51	1	80	387	0.0	6.2
52	46	120	387	0.0	5.7
53	29	80	387	0.25	8.3
54	41	100	397	0.25	7.6

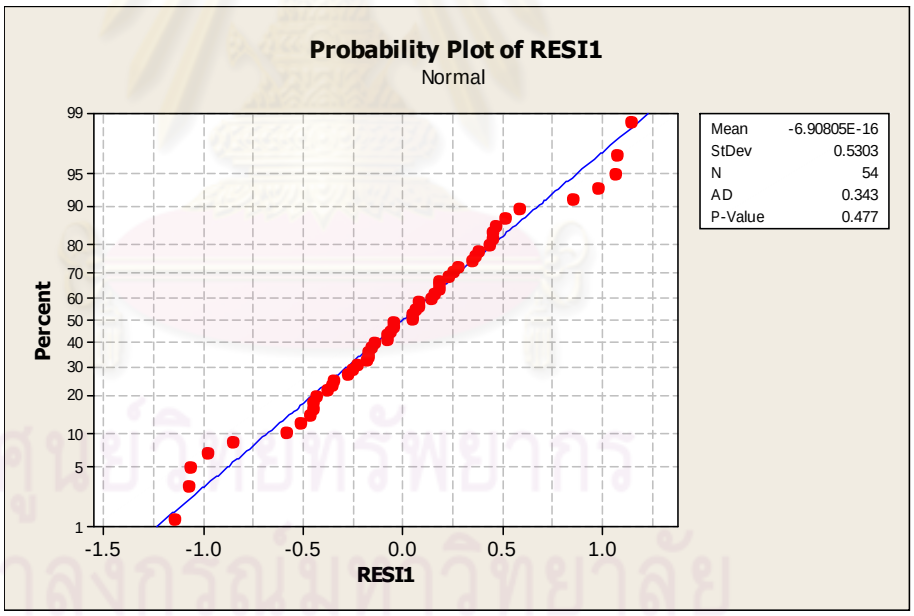
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ เป็นวิธีการตรวจสอบที่ทำให้ทราบว่าผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนมีความน่าเชื่อถือเป็นไปตามหลักการทางสถิติโดยการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบของความผิดพลาดตามสมมติฐาน 3 ข้อก่อนที่จะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังนี้

1) การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล

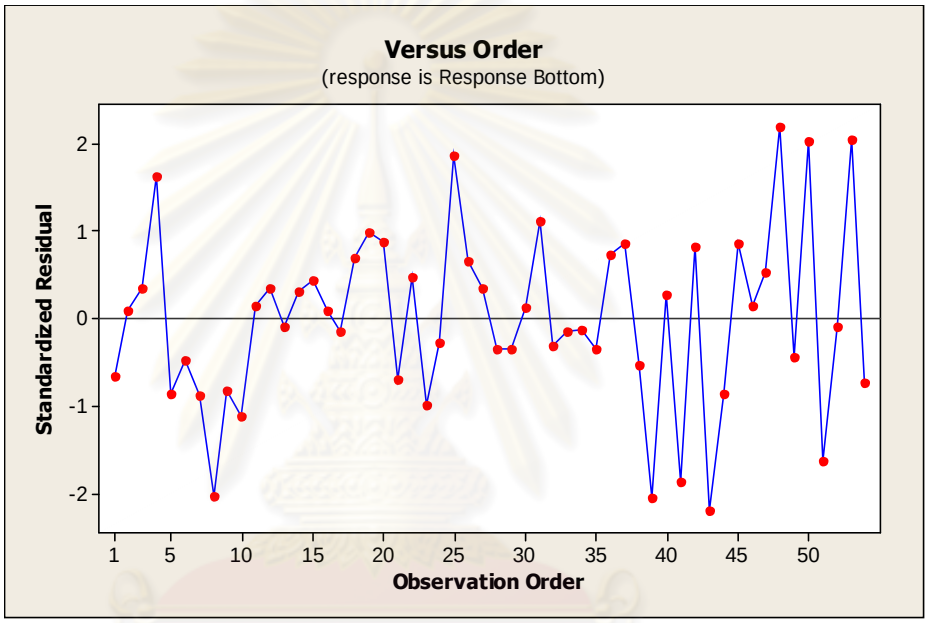
การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูลว่าเป็นการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ โดยการพิจารณา Normal Probability Plot ของค่าส่วนตกค้างที่ถูกเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก กับค่าความน่าจะเป็นสะสม หากมีการกระจายแบบปกติจริง กราฟดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงเมื่อพิจารณา Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 5.16 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง สรุปได้ว่าข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 5.16 การทดสอบความเป็นปกติของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

2) **การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล**

เป็นการตรวจสอบข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระซึ่งกันและกันหรือไม่ เป็นการทดสอบถึงความสัมพันธ์ของค่าส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของการทดลองของชุดทดลองทั้งหมด เมื่อพิจารณาผลการทดสอบความสุ่ม Residual Versus the Order of the Data ในรูปที่ 5.17 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูล เนื่องจากส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นแบบไร้รูปแบบ สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน

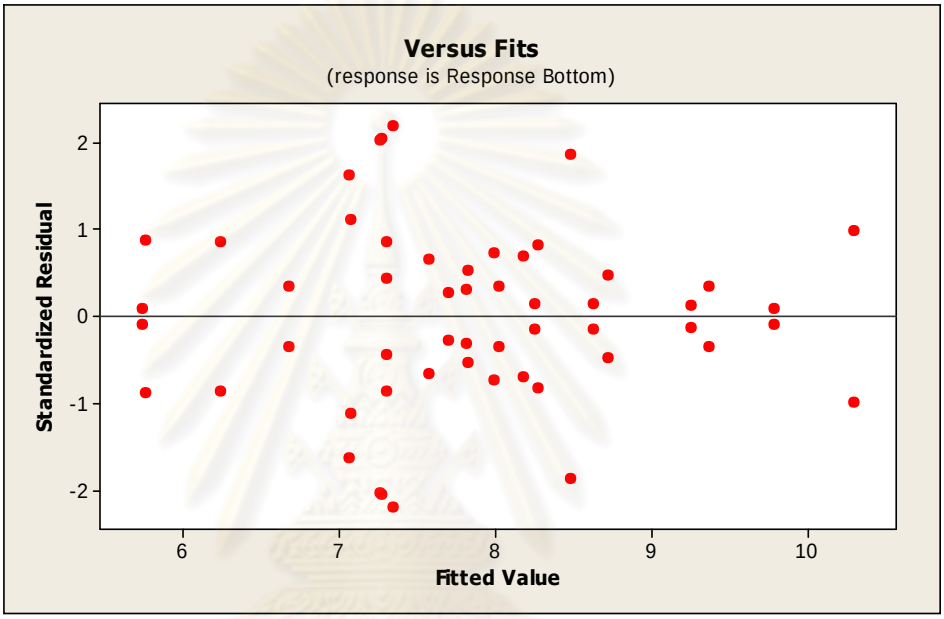


รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับเวลาของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) **การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวนของข้อมูล**

เป็นการทดสอบความสม่ำเสมอของการกระจายของข้อมูล โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิต ซึ่งแผนภาพควรมีการกระจายตัวแบบไร้รูปแบบ ไม่เป็นแนวโน้มใดๆ เมื่อพิจารณาผลการทดสอบดังรูปที่ 5.18 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบแน่นอน สรุปได้ว่าความแปรปรวนของข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีความเสถียร



รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าที่ถูกฟิตของระยะห่างร่องกาวฝาล่างในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้อง ของตัวแปรตอบสนอง คือค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างของกล่องกระดาษลูกฟูก พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และค่าความแปรแปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID (0, σ^2) ทั้ง 3 ข้อ ดังนั้นจึงนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลการออกแบบการทดลองได้

5.3.2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

เมื่อข้อมูลได้ทำการการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ แล้วจากนั้นจะเป็นการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม สำหรับการปรับตั้งเครื่องจักร ด้วยโปรแกรม Minitab วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ได้ดังตาราง 5.16

ตารางที่ 5.16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

Source	Sum of square	DF	Mean Square	F	P
A	33.5409	2	16.7705	30.38	0.000
B	10.2525	2	5.1263	9.29	0.001
C	4.7375	2	2.3687	4.29	0.024
A*B	6.7726	4	1.6932	3.07	0.033
A*C	1.1408	4	0.2852	0.52	0.724
B*C	1.8147	4	0.4537	0.82	0.523
A*B*C	5.1906	8	0.6488	1.18	0.349
Error	14.9061	27	0.5521		
Total	78.3557	53			

สัญลักษณ์ A หมายถึง ความเร็วเครื่องจักร (Running Speed)

สัญลักษณ์ B หมายถึง ระยะเบียงรางพับด้านขวา (Folding Beam DR Register)

สัญลักษณ์ C หมายถึง ความเร็วรางพับด้านซ้าย (Speed OP Register)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 5.16 สามารถวิเคราะห์ผลการทดสอบความมีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ที่ระดับนัยสำคัญที่ α = 0.05 ได้ดังนี้

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยหลัก

H_0 : Main Effect ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

H_1 : Main Effect มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

พิจารณาค่า P-Value ของ Main Effects ในตารางที่ 5.16 สรุปผลได้ดังนี้

1) พบว่า Main Effect A มีค่า F-Ratio เท่ากับ 30.38 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 3.35 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเร็วเครื่องจักรมีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
2) พบว่า Main Effect B มีค่า F-Ratio เท่ากับ 10.71 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 9.29 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวามีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
3) พบว่า Main Effect C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 4.29 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 3.35 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ความเร็วรางพับด้านซ้ายมีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยอันตรกิริยาของแต่ละปัจจัย

H_0 : Interaction Effect ไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

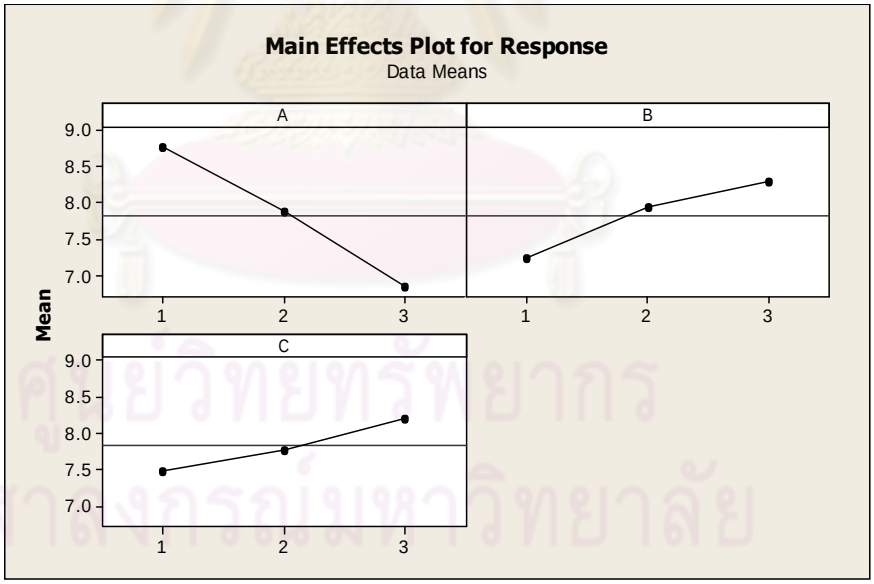
H_1 : Interaction Effect มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาว

พิจารณาค่า P-Value ของ Interactions ในตารางที่ 5.16 สรุปผลได้ดังนี้

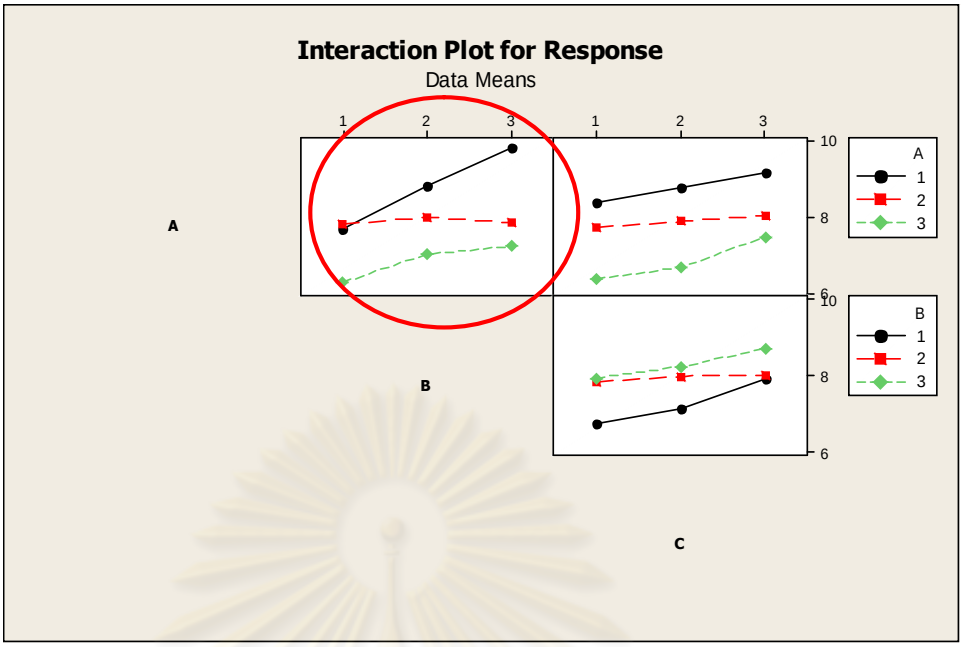
1) พบว่า Interaction Effect A*B มีค่า F-Ratio เท่ากับ 3.07 ซึ่งมากกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.73 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักรและระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะร่องกาวฝาล่าง ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
2) พบว่า Interaction Effect A*C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 0.52 ซึ่งน้อยกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.73 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักรและความเร็วรางพับด้านซ้ายไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะร่องกาวฝาล่างที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05
3) พบว่า Interaction Effect B*C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 0.82 ซึ่งน้อยกว่าค่า F วิกฤติเท่ากับ 2.73 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่างระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาและความเร็วรางพับด้านซ้ายไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาล่างที่ระดับนัยสำคัญα = 0.05

4) พบว่า Interaction Effect A*B*C มีค่า F-Ratio เท่ากับ 1.18 ซึ่งน้อยกว่าค่า F วิกฤติ เท่ากับ 2.31 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า ปัจจัยร่วมระหว่าง ความเร็วเครื่องจักร ระยะเบียงรางพับด้านขวาและความเร็วรางพับด้านซ้ายไม่มีอิทธิพลต่อค่าเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.19 และรูปที่ 5.20 เมื่อพิจารณาผลของปัจจัยหลัก พบว่าปัจจัยความเร็วเครื่องจักร (A) ที่ 120 กล่อง/นาที ซึ่งปัจจัยจัดอยู่ในระดับสูง จะทำให้มีค่าเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่างน้อยที่สุด ในส่วนปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวา (B) ที่ 387 มิลลิเมตร ซึ่งปัจจัยจัดอยู่ในระดับต่ำ จะทำให้มีค่าเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่างน้อยที่สุด และปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้าย (C) ที่ 0.0 เท่า ซึ่งปัจจัยจัดอยู่ในระดับต่ำ จะทำให้มีค่าเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่างน้อยที่สุด แต่เนื่องจากมีผลของอันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักร (A) กับ ระยะเบียงรางพับด้านขวา (B) มีอิทธิพลต่อค่าความเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง ซึ่งจะใช้วิธีการทดสอบพหุพิสัยของดันแคน เพื่อทราบลักษณะความสัมพันธ์ของอันตรกริยาของปัจจัยที่มีผลต่อกัน มีรายละเอียดการคำนวณและการวิเคราะห์ดังนี้



รูปที่ 5.19 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าเบียงเบนระยะห่างร่องกาวฝาล่าง



รูปที่ 5.20 อันตรกิริยาของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อค่าเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาบน

หมายเหตุ ในรูปที่ 5.19 และ 5.20

หมายเลข 1 แทนระดับต่ำของปัจจัย

หมายเลข 2 แทนระดับกลางของปัจจัย

หมายเลข 3 แทนระดับสูงของปัจจัย

สัญลักษณ์ A หมายถึง ความเร็วเครื่องจักร (Running Speed)

สัญลักษณ์ B หมายถึง ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (Folding Beam DR Register)

สัญลักษณ์ C หมายถึง ความเร็วรางพับด้านซ้าย (Speed OP Register)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.2.3 การทดสอบพหุพิสัยดันแคนของระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

วิธีการทดสอบพหุพิสัยดันแคน เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของอันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักรกับระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ส่งผลต่อค่า ทีแต่ละระดับปัจจัยว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ รายละเอียดการคำนวณ มีดังต่อไปนี้

5.2.2.3.1 ทดสอบพหุพิสัยดันแคนระหว่างความเร็วเครื่องจักรกับระยะเบียงรางพับด้านขวา

1) การเปรียบเทียบความเครื่องจักรทีระดับสูง 120 กล่อง/นาที

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ความเร็วเครื่องจักรสัมพันธ์กับระยะเบียงรางพับด้านขวาทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.16 (MS_E = 0.5676, N=54, n=6) ซึ่งความเร็วเครื่องจักรที 120 กล่อง/นาที กับระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับต่างๆ แสดงการคำนวณดังนี้ ค่า Standard Error ของค่าเฉลี่ยการทดลอง (Treatment Mean)

$$S_{\overline{YB}} = \sqrt{\frac{MS_E}{n}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.5521}{6}}$$

$$= 0.3033$$

หาค่า Least Significant Range ได้ดังต่อไปนี้โดยที เปิดตาราง Significant Ranges for Duncan's Multiple Range Test หา $r_{0.05(2,27)}$= 2.91, $r_{0.05(3,27)}$=3.06

$$R_2 = r_{0.05(2,27)} \; S_{\overline{YB}}$$

$$= (2.91)(0.3033) = 0.8827$$

$$R_3 = r_{0.05(3,27)} \; S_{\overline{YB}}$$

$$= (3.06)(0.3033) = 0.9282$$

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(5.8+5.3+6.2+7.8+6.9+5.7)}{6} = 6.28 \quad (19)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(6.2+6.5+6.9+6.5+7.7+8.3)}{6} = 7.02 \quad (20)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(7.2+5.8+7.9+7.6+6.7+8.1)}{6} = 7.22 \quad (21)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (21) VS (19) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(21) VS (19) : $7.22 - 6.28 = 0.93 > 0.9282$ (R_3)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับสูงกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับสูงให้ผลต่อค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (21) VS (20) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(21) VS (20) : $7.22 - 7.02 = 0.20 < 0.8827$ (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับสูงกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (20) VS (19) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(20) VS (19) : $7.02 - 6.28 = 0.73 < 0.8827$ (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับสูงกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างไม่แตกต่างกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) การเปรียบเทียบความเครื่องจักรทีระดับกลาง 100 กล่อง/นาที

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ความเร็วเครื่องจักรสัมพันธ์กับระยะเบียงรางพับด้านขวาทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.16 (MS_E = 0.5676) ซึ่งความเร็วเครื่องจักรที่ 100 กล่อง/นาที กับระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับต่างๆ แสดงการคำนวณดังนี้

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(7.8+8+7.5+7.7+8.7+7.1)}{6} = 7.80 \quad (22)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(8.2+7.6+8.4+7.8+8.3+7.6)}{6} = 7.98 \quad (23)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(8.5+7.8+8.2+7.8+6.2+8.5)}{6} = 7.83 \quad (24)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (24) VS (22) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(24) VS (22) : 7.83 - 7.80 = 0.03 < 0.9282 (R_3)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับสูงให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (24) VS (23) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(24) VS (23) : 7.98 - 7.83 = 0.13 < 0.8827 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างไม่แตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลีย (23) VS (22) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(23) VS (22) : 7.98 – 7.80 = 0.18 < 0.8827 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับกลางกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างไม่แตกต่างกัน

3) การเปรียบเทียบความเครื่องจักรที่ระดับต่ำ 80 กล่อง/นาที

นำค่าผลตอบสนองจากการทดลองที่ความเร็วเครื่องจักรสัมพันธ์กับระยะเบียงรางพับด้านขวาทั้ง 3 ระดับมาเรียงจากมากไปน้อย โดยมีสมมติฐานว่ามี Error Variance เท่ากันใน Treatment Combination และจากตารางที่ 5.16 (MS_E = 0.5676) ซึ่งความเร็วเครื่องจักรที่ 80 กล่อง/นาที กับระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับต่างๆ ดังนี้

$$\bar{Y}_{B1} = \frac{(7.9+8.7+8.6+6.2+6.2+8.3)}{6} = 7.65 \qquad (25)$$

$$\bar{Y}_{B2} = \frac{(8.5+9+9.5+9.3+9.2+7.5)}{6} = 8.83 \qquad (26)$$

$$\bar{Y}_{B3} = \frac{(9.5+9.7+9.8+10.8+9.8+9.2)}{6} = 9.80 \qquad (27)$$

จากข้อมูลข้างต้นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ดังต่อไปนี้

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (27) VS (25) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(27) VS (25) : 9.80 – 7.65 = 2.15 > 0.9282 (R_3)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับต่ำกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับสูงให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (27) VS (26) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(27) VS (26) : 9.80 – 8.83 = 0.97 > 0.8827 (R_2)

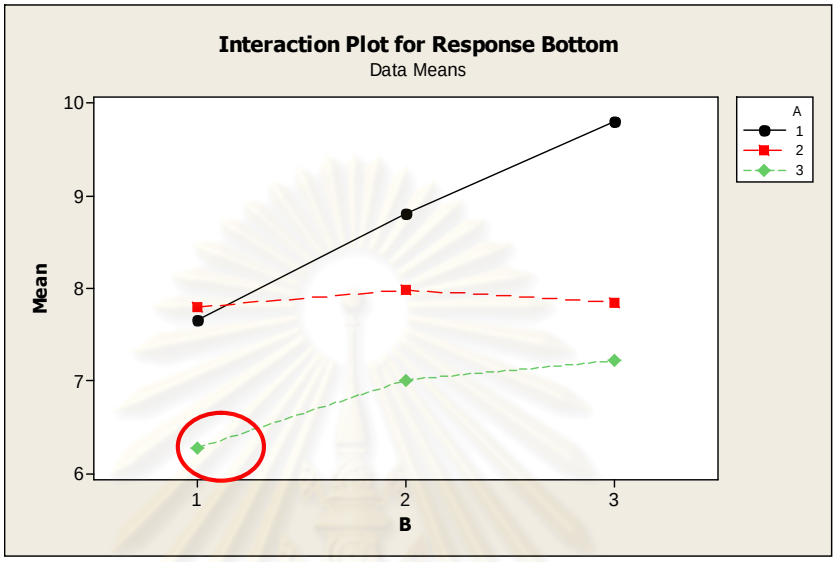
สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับต่ำกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับกลางให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างแตกต่างกัน

- จากการวิเคราะห์พบว่าคู่ของค่าเฉลี่ย (26) VS (25) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจาก

(26) VS (25) : 8.83 – 7.65 = 1.18 > 0.8827 (R_2)

สรุปได้ว่าความเร็วเครื่องจักรที่ระดับต่ำกับระดับปัจจัยระยะเบียงรางพับด้านขวาที่ระดับต่ำให้ผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่างแตกต่างกัน

พิจารณาจากดังรูปที่ 5.21 พบว่าปัจจัยความเร็วเครื่องจักร (A) ที่ระดับสูง อัตรา 120 กล่อง/นาที และปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา (B) ที่ระดับต่ำ 387 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างน้อยที่สุด



รูปที่ 5.21 ปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักรและระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่มีผลต่อระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

ดังนั้นค่าปรับตั้งระดับปัจจัยที่เหมาะสม ที่จะทำให้ค่าเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาล่างลดลงในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก ดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างน้อยที่สุด

ปัจจัย	ระดับ	ค่าปรับตั้ง	หน่วย
ความเร็วเครื่องจักร	สูง (+)	120	กล่อง/นาที
ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา	ต่ำ (-)	387	มิลลิเมตร
ความเร็วรางพับด้านซ้าย	ต่ำ (-)	0.0	เท่า

5.4 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองของปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความเร็วเครื่องจักรระยะเบียงรางพับด้านขวา และความเร็วรางพับด้านซ้าย โดยจะทำการปรับตั้งค่าปัจจัยนำเข้าตามที่ได้กำหนดค่าไว้ ดังตารางที่ 5.17 เพื่อตรวจสอบว่าค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนและฝาล่างมีค่าความเบียงเบนลดลง และ ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะสั้น (C_p) และความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) หลังปรับปรุงอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมหรือไม่

5.4.1 การเตรียมการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

ขั้นตอนการเตรียมการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองมีดังนี้

1) **การเตรียมการทดลอง**

ใช้ผลิตภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก รหัส A ทำการทดลองที่สภาวะการปฏิบัติงานจริงของการผลิต โดยใช้เครื่องเครื่องขึ้นรูปกล่องอัตโนมัติที่เครื่องจักร B ประเภท Flexo Folder Gluler

2) **ขั้นตอนการทดสอบ**

นำกล่องกระดาษลูกฟูกที่เตรียมไว้ ผ่านเข้าเครื่องจักรทำการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูกตามสภาพการปฏิบัติงานจริงของกระบวนการผลิต และทำการเก็บข้อมูลของค่าระยะห่างร่องกาวทั้งฝาบนและฝาล่างของกล่องกระดาษลูกฟูกจากกระบวนการผลิต ที่ได้จากการปรับค่าปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัยที่ได้กำหนดค่าไว้แล้ว ทำการทดลองและบันทึกผลตามแผนที่วางไว้ และนำข้อมูลการทดลองที่ได้วิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab รายละเอียดขั้นตอนการทดสอบดังรูปที่ 5.22

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.22 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเพื่อยืนยันผล

ในวิเคราะห์ผลการทดสอบทางสถิติเพื่อยืนยันผล แบ่งออก 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน และค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง มีรายละเอียดดังนี้

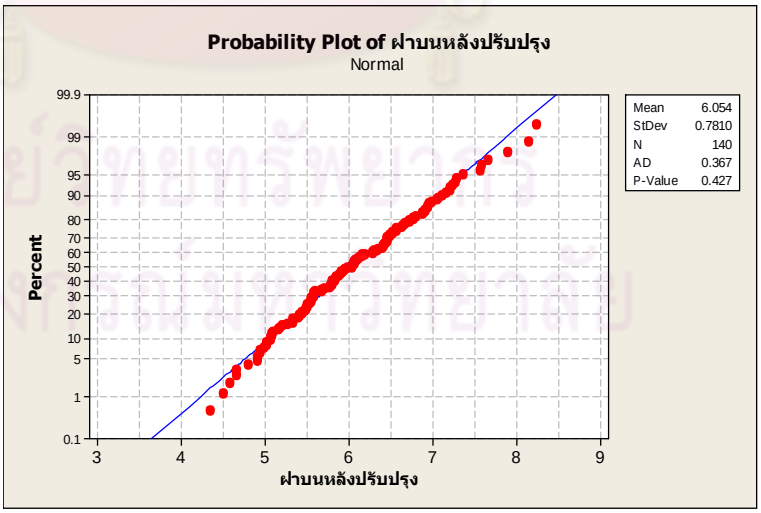
5.4.2.1 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเพื่อยืนยันผลของค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน

เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองที่ได้จากการพิจารณาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ที่มีอิทธิพลต่อค่าระยะห่างร่องกาวในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก โดยทำการปรับตั้งเครื่องจักรระดับปัจจัยตามที่ได้จากตารางที่ 5.17 จากนั้นทำการผลิตจริง และนำค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนที่ได้มาทดสอบ Normality เพื่อเป็นการทดสอบว่าข้อมูลที่เก็บมีการกระจายแบบปกติหรือไม่ ใช้โปรแกรม minitab เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ ซึ่งมีสมมติฐานว่า

H_0 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

H_a : ข้อมูลไม่เป็นการกระจายแบบปกติ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าระยะห่างร่องกาวของฝาบน ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติเ นื่องจากมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือ ข้อมูลกระจายแบบปกติดังรูปที่ 5.23

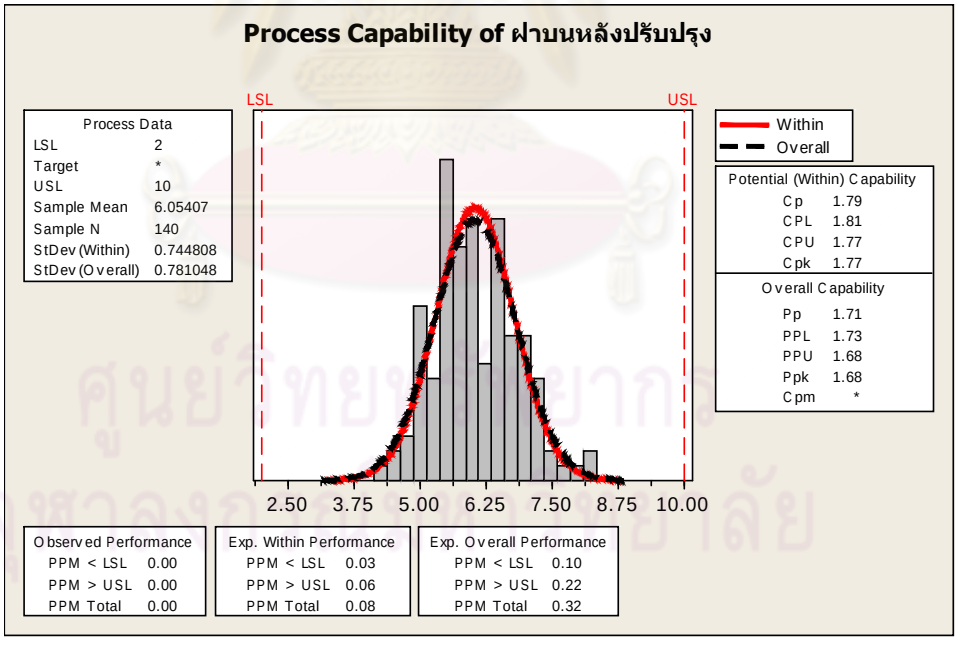


รูปที่ 5.23 ความเป็นปกติข้อมูลระยะห่างร่องกาวฝาบนหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 5.24 ผลการทดสอบทางสถิติหลังการปรับปรุงค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน มีดังนี้

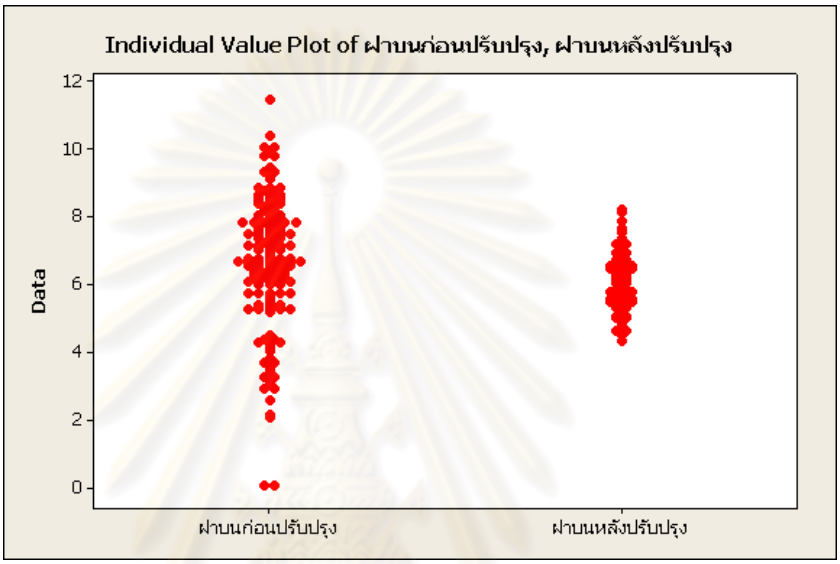
1. ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เท่ากับ 6.05 มิลลิเมตร
2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการระยะสั้น เท่ากับ 0.74 มิลลิเมตร
3. ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะสั้น (C_p) เท่ากับ 1.79
4. ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 1.77

การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองจากการปรับตั้งเครื่องจักรโดยใช้ระดับปัจจัยที่เหมาะสม พบว่าสามารถลดค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนได้จริง โดยค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาบน หลังการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 6.05±0.74 มิลลิเมตร จะเห็นว่าค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิตมีค่าเป็น 6.61±1.69 มิลลิเมตร และความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) มีค่าเท่ากับ 1.77 ซึ่งอยู่เกณฑ์ที่ดีมีความเหมาะสม สำหรับเกณฑ์ทั่วไปความสามารถของกระบวนการควรมีค่า $C_{pk} \geq 1.33$



รูปที่ 5.24 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนหลังปรับปรุง

จากการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกจำนวน 140 กล่อง พบว่าเกิดของเสียประเภทระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด ที่ออกนอกช่วงระหว่าง 2-10 มิลลิเมตร หรือ 6±4 มิลลิเมตร ก่อนปรับปรุงมีจำนวน 4 กล่อง หลังปรับปรุงไม่พบจำนวนของเสีย จากรูปที่ 5.25 พบว่าค่าความเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาบนหลังการปรับปรุงมีการกระการกระจายตัวลดลงและใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุง



รูปที่ 5.25 เปรียบเทียบการกระจายตัวค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนก่อนและหลังปรับปรุง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

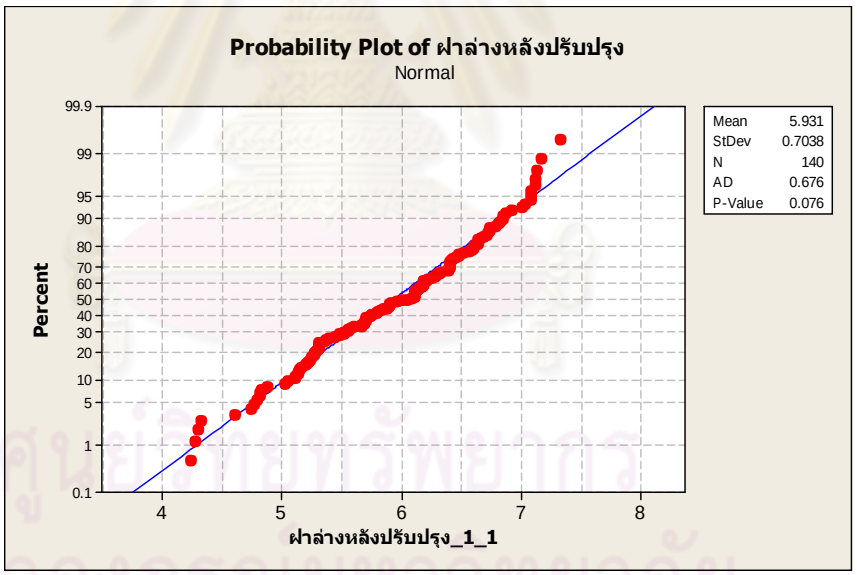
5.4.2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติเพื่อยืนยันผลของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองที่ได้จากการพิจารณาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ที่มีอิทธิพลต่อค่าระยะห่างร่องกาวในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก โดยทำการปรับตั้งเครื่องจักรระดับปัจจัยตามที่ได้จากตารางที่ 5.17 จากนั้นทำการผลิตจริง และนำค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างที่ได้มาทดสอบ Normality เพื่อเป็นการทดสอบว่าข้อมูลที่เก็บมีการกระจายแบบปกติหรือไม่ ใช้โปรแกรม minitab เพื่อวิเคราะห์ผลทางสถิติ ซึ่งมีสมมติฐานว่า

H_0 : ข้อมูลเป็นการกระจายแบบปกติ

H_a : ข้อมูลไม่เป็นการกระจายแบบปกติ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าระยะห่างร่องกาวของฝาล่าง ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติเ นื่องจากมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 นั่นคือข้อมูลกระจายแบบปกติดังรูปที่ 5.26

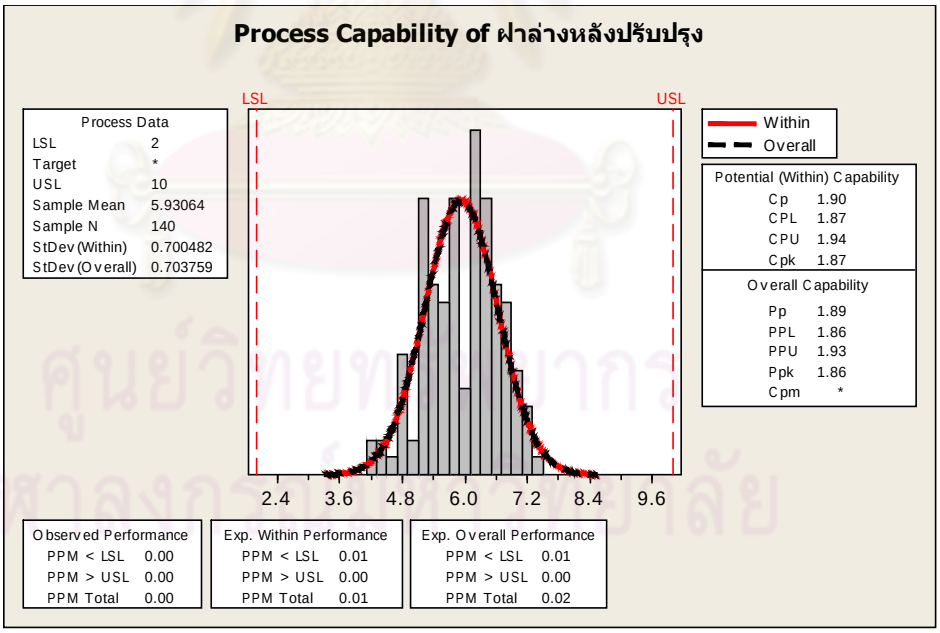


รูปที่ 5.26 ความเป็นปกติข้อมูลระยะห่างร่องกาวฝาล่างหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 5.27 ผลการทดสอบทางสถิติหลังการปรับปรุงของค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง มีดังนี้

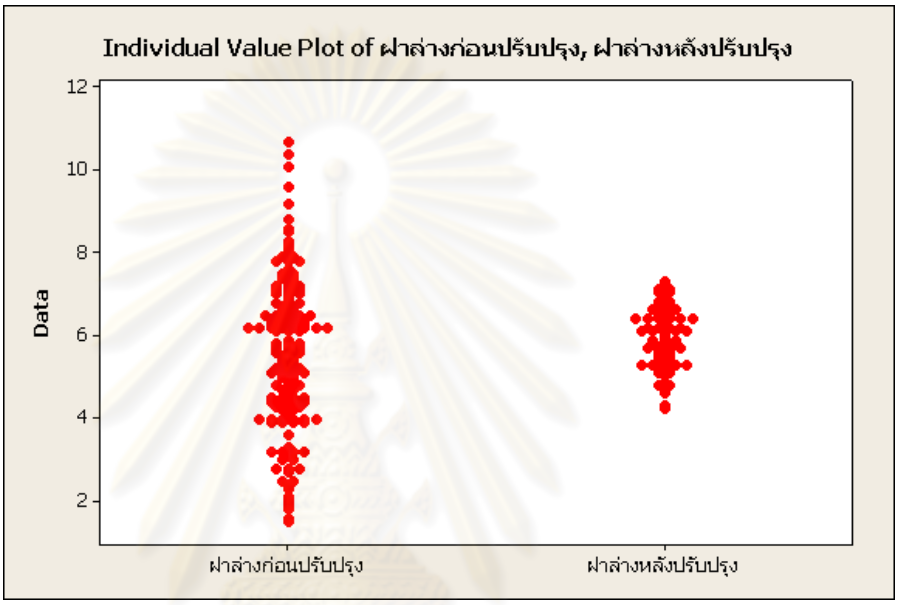
1. ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เท่ากับ 5.93 มิลลิเมตร
2. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการระยะสั้น เท่ากับ 0.70 มิลลิเมตร
3. ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะสั้น (C_p) เท่ากับ 1.90
4. ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 1.87

การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองจากการปรับตั้งเครื่องจักรโดยใช้ระดับปัจจัยที่เหมาะสม พบว่าสามารถลดค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่างได้จริง โดยค่าเฉลี่ยระยะห่างร่องกาวฝาล่างหลังการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 5.93±0.70 มิลลิเมตร จะเห็นว่าค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาล่างมีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิตมีค่าเป็น 5.50±1.40 มิลลิเมตร และความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) มีค่าเท่ากับ 1.87 ซึ่งอยู่เกณฑ์ที่ดีมีความเหมาะสม สำหรับเกณฑ์ทั่วไปความสามารถของกระบวนการควรมีค่า $C_{pk} \geq 1.33$



รูปที่ 5.27 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างหลังปรับปรุง

จากการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกจำนวน 140 กล่อง พบว่าเกิดของเสียประเภทระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนด ที่ออกนอกช่วงระหว่าง 2-10 มิลลิเมตร หรือ 6±4 มิลลิเมตร ก่อนปรับปรุงมีจำนวน 7 กล่อง หลังปรับปรุงไม่พบจำนวนของเสีย จากรูปที่ 5.28พบว่าค่าความเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวฝาล่างหลังการปรับปรุงมีการกระการกระจายตัวลดลงและใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายมากขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุง



รูปที่ 5.28 เปรียบเทียบการกระจายตัวค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างก่อนและหลังปรับปรุง

ระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักร สำหรับปัจจัยนำเข้าทั้ง 3 ปัจจัย คือ ความเร็วเครื่องจักร 120 กล่อง/นาที ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา 387 มิลลิเมตร และความเร็วรางพับด้านซ้าย 0.0 เท่าของรางพับด้านขวา จากการยืนยันผลการทดลองโดยทำการผลิตจริง พบว่าค่าระดับปัจจัยดังกล่าวทำให้ค่าความเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวลดลง และสามารถเพิ่มดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิตระยะสั้นได้ จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปภาพรวมของผลการวิจัย เพื่อหาปัจจัยและระดับปัจจัยที่เหมาะสม ที่สามารถลดความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวได้ รวมทั้งอุปสรรค ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

เริ่มตั้งแต่การค้นหาปัจจัย การคัดเลือกปัจจัย ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นและผลการออกแบบการทดลองในการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยสามารถสรุปผลการวิจัยดังนี้

6.1.1 สรุปผลการวิจัยในการคัดเลือกปัจจัย

จากการพิจารณาหาปัจจัยที่มีผลต่อความเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวในเบื้องต้น จะใช้การระดมสมองจากผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ที่เกี่ยวข้อง โดยอ้างอิงตามหลักการทางวิศวกรรม และข้อมูลจากการทดลองในอดีต ซึ่งใช้แผนภาพสาเหตุและผลพิจารณาปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมดตามส่วนการทำงานต่างๆ ของเครื่องจักร พบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 33 ปัจจัย จากนั้นจำแนกชนิดของปัจจัยเพื่อที่จะสามารถตัดบางปัจจัยออกจากการทดลองได้ โดยจะเลือกเฉพาะปัจจัยควบคุมได้ที่ปรับเปลี่ยนค่าได้ นำไปทำการออกแบบการทดลองเบื้องต้นเพื่อคัดกรองปัจจัย มี 13 ปัจจัย ได้แก่ ความเร็วเครื่องจักร ระยะกดลูกกลิ้งป้อนกระดาษ ระยะกดลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น ระยะกดลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกดชุดที่ 1, 2 และ 3 ระยะกดชุดทับรอยชุดที่ 1 และ 2 ระยะเบี่ยงรางพับด้านซ้าย ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา ความเร็วรางพับด้านซ้าย ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ และระยะตั้งก้นท้าย ส่วนปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้หรือไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ จะกำหนดให้คงที่ไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่ง

6.1.2 สรุปผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ

จากการคัดเลือกปัจจัย พบว่ามีปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 13 ปัจจัย เพื่อเป็นการประหยัดทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด ทั้งในแง่วัตถุดิบ และเวลาที่ใช้ในการทดลอง การออกแบบการทดลองโดยใช้เทคนิคทากูชิ (Taguchi Method) จึงถูกเลือกเพื่อใช้ทำการทดลองเพื่อหาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าระยะห่างร่องกาวของกล่องกระดาษลูกฟูกอย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้ตาราง Orthogonal Array $L_{16}(2^{13})$ คือ ทำการทดลอง 16 ครั้ง จำนวน 13 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ โดยทำการทดลองทำซ้ำ 2 ครั้ง รวมทั้งหมด 32 การทดลอง ซึ่งจากผลการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ สรุปได้ว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนและฝาล่าง ดังนี้

1) ปัจจัยความเร็วเครื่องจักร
2) ปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา
3) ปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้าย

สำหรับปัจจัยอื่น ๆ ที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความเบี่ยงเบนระยะห่างร่องกาวจะถูกตั้งค่าควบคุมปัจจัยให้คงที่ตายตัว

6.1.3 สรุปผลการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลสามระดับ (3^k Factorial Design)

ในการพิจารณาหาสภาวะในการปรับตั้งเครื่องจักรสำหรับลดค่าความเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก จะใช้การออกแบบการทดลองแบบ 3^k Factorial design มาประยุกต์ใช้เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม ปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมี 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ โดยทำการทดลองทำซ้ำ 2 ครั้ง รวมทั้งหมด 54 การทดลอง จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบของตัวแปรตอบสนอง (ค่าระยะห่างร่องกาวของกล่องกระดาษลูกฟูก) พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และค่าความแปรแปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID $(0, \sigma^2)$ แล้ววิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) พบว่าปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนและฝาล่าง ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ได้แก่ ปัจจัยความเร็วเครื่องจักร ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา และความเร็วรางพับด้านซ้าย และอันตรกิริยาปัจจัยร่วมระหว่างความเร็วเครื่องจักร กับ ระยะเบี่ยงรางพับด้านขวา มีอิทธิพลต่อค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนและฝาล่าง ส่วนอันตรกิริยาปัจจัยร่วม

ระหว่างระยะเบียงรางพับด้านขวา กับ ความเร็วรางพับด้านซ้าย มีอิทธิพลต่อค่าเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวฝาบนเท่านั้น จากนั้นจึงใช้วิธีการทดสอบพหุพิสัยดันแคน เพื่อทราบลักษณะความสัมพันธ์ของอันตรกริยาของปัจจัยที่มีผลต่อกัน สามารถสรุประดับปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานจริงในการปรับตั้งเครื่องจักรที่ทำให้ค่าเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวทั้งฝาบนและฝาล่างลดลงได้ ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อลดค่าความเบียงเบนของระยะห่างร่องกาว

ปัจจัย	ระดับ	ค่าปรับตั้ง	หน่วย
ความเร็วเครื่องจักร	สูง (+)	120	กล่อง/นาที
ระยะเบียงรางพับด้านขวา	ต่ำ (-)	387	มิลลิเมตร
ความเร็วรางพับด้านซ้าย	ต่ำ (-)	0.0	เท่า

6.1.4 สรุปการยืนยันผลการทดลองโดยทำการผลิตจริง

หลังจากที่ได้ระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าความเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวลดลง จึงทำการผลิตจริงและสรุปผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลได้ ดังนี้

ผลการทดสอบทางสถิติหลังการปรับปรุงค่าระยะห่างร่องกาวฝาบน

- ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เท่ากับ 6.05 มิลลิเมตร
- ค่าเบียงเบนมาตรฐานกระบวนการระยะสั้น เท่ากับ 0.74 มิลลิเมตร
- ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะสั้น (C_p) เท่ากับ 1.79
- ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 1.77

ผลการทดสอบทางสถิติหลังการปรับปรุงค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่าง

- ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เท่ากับ 5.93 มิลลิเมตร
- ค่าเบียงเบนมาตรฐานกระบวนการระยะสั้น เท่ากับ 0.70 มิลลิเมตร
- ความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการระยะสั้น (C_p) เท่ากับ 1.90
- ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการระยะสั้น (C_{pk}) เท่ากับ 1.87

จากการยืนยันผลการทดลองโดยทำการผลิตจริงสามารถเปรียบเทียบสภาวะก่อนและหลังปรับปรุงได้ ดังนี้

1) ค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาบน หลังปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่าค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาบน มีค่าเป็น 6.05±0.74 มิลลิเมตร จะเห็นว่าค่าความเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวมีค่าลดลง เทียบกับก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิต มีค่าเป็น 6.61±1.69 มิลลิเมตร จากการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกจำนวน 140 กล่อง พบว่าเกิดของเสียประเภทระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนดในช่วงระหว่าง 2-10 มิลลิเมตร หรือ 6±4 มิลลิเมตร ก่อนปรับปรุงมีจำนวน 4 กล่อง หลังปรับปรุงไม่พบจำนวนของเสีย
2) ค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาล่าง หลังปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่าค่าเฉลียระยะห่างร่องกาวฝาล่าง มีค่าเป็น 5.93±0.70 มิลลิเมตร จะเห็นว่าค่าความเบียงเบนของระยะห่างร่องกาวลดลง เทียบกับก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิต มีค่าเป็น 5.50±1.40 มิลลิเมตร จากการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกจำนวน 140 กล่อง พบว่าเกิดของเสียประเภทระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนดในช่วงระหว่าง 2-10 มิลลิเมตร หรือ 6±4 มิลลิเมตร ก่อนปรับปรุงมีจำนวน 7 กล่อง หลังปรับปรุงไม่พบจำนวนของเสีย
3) ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการผลิตระยะสั้น (C_{pk}) หลังปรับปรุงกระบวนการผลิตของฝาบนและฝาล่าง มีค่าเป็น 1.77 และ 1.87 มีค่าเพิมขึ้นเมือเทียบกับก่อนปรับปรุงกระบวนการผลิตของฝาบนและฝาล่าง มีค่าเป็น 0.67 และ 0.84 ซึงหลังปรับปรุงมีค่าอยู่เกณฑ์ทีดีมีความเหมาะสม สำหรับเกณฑ์ทั่วไปความสามารถของกระบวนการควรมีค่า $C_{pk} \geq 1.33$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.2 ปัญหาและอุปสรรคการวิจัย

ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำงานวิจัยมีดังนี้

1) ปัญหากระดาษโค้งงอในการทดลองนั้น ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากความโค้งงอของกระดาษ ต้องไปแก้ไขที่เครื่องจักรในกระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก และการจัดเก็บพัสดุคงคลัง ซึ่งอยู่นอกเหนือการควบคุมของแผนกขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก แต่ในการทดลองนั้นสามารถคัดเลือกกล่องได้โดยตรวจสอบแผ่นกระดาษก่อนนำเข้าเครื่องจักร จากการสอบถามพนักงานปรับตั้งเครื่องจักร พบว่าในกรณีที่มีกระดาษโค้งงอเกิดขึ้นทั้งล็อต อาจต้องนำเข้าเครื่องจักรทั้งหมด แล้วทำการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าในการปรับตั้งเครื่องจักร
2) ปัจจัยที่เกียวข้องส่วนใหญ่ ที่ส่งผลต่อระยะห่างร่องกาวจะเป็นปัจจัยประเภทเครื่องจักร ซึ่งในการวิจัยนั้นไม่สามารถศึกษาในส่วนประกอบย่อยๆของเครื่องจักรได้ทั้งหมด ดังนั้นปัจจัยบางส่วนที่ซ่อนเร้นอาจถูกละเลยไป

6.3 ข้อจำกัดของการวิจัย

ข้อจำกัดของการวิจัยนี้มีดังนี้

1) จากแผนภาพสาเหตุและผลที่ส่งผลต่อการเกิดระยะห่างร่องกาวในกระบวนการขึ้นรูปกล่องกระดาษลูกฟูก มีปัจจัยที่เกียวข้องทั้งหมด 33 ปัจจัย เนื่องจากปัจจัยมีจำนวนมากเกินไป ไม่สามารถทำการทดลองทั้งหมดได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาเพื่อตัดบางปัจจัยออกจากการทดลอง ให้เหมาะสมกับจำนวนกล่องกระดาษที่ใช้เป็นตัวอย่างในการทดลอง เนื่องจากกล่องที่ทำการทดลองแล้ว ไม่สามารถนำไปใช้งานต่อได้ ดังนั้นในการทดลองเสร็จ กล่องกระดาษทั้งหมดจะถูกนำไปทิ้ง และข้อจำกัดเวลาในการทดลองเนื่องใช้เครื่องจักรที่ผลิตจริง มีลำดับคิวการผลิตอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเครื่องจักรไม่มีเวลามากพอในการทดลอง
2) ความชื้นในกระดาษเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะห่างร่องกาว ซึ่งส่งผลต่อตำแหน่งระยะกด และการแห้งตัวของกาวช้า ซึ่งไม่สามารถควบคุมให้แน่นอนได้ เนื่องจากขาดเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความชื้นกล่องกระดาษก่อนนำไปผลิต

6.4 ข้อเสนอแนะ

สำหรับผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับการค้นหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องและการออกแบบการทดลองเพื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับปรับปรุงกระบวนการผลิต ผู้วิจัยขอเสนอแนะดังนี้

1) ในการคัดเลือกปัจจัยสำหรับการทดลองเบื้องต้นนั้น อาจจะนำปัจจัยดังหัวข้อ 6.1.1 ทั้งหมด 13 ปัจจัย มาทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือสาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysys : FMEA) หรือ การประเมินอิทธิพล โดยผู้เชี่ยวชาญมาประยุกต์ใช้ได้ เพื่อลดจำนวนปัจจัยในการทดลอง
2) ในการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสม อาจจะใช้การออกแบบการทดลองโดยวิธีผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology) มาประยุกต์ใช้เพื่อค้นหาระดับที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัยได้
3) ในการออกแบบการทดลองนั้น สามารถนำปัญหาสล็อตเลื่อนมาวิเคราะห์ปัจจัยร่วมกับปัญหาระยะห่างร่องกาวได้ เนื่องจากในการคัดกรองปัจจัยจะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องร่วมกันดังนั้น อาจจะเพิ่มตัวแปรตอบสนองในการทดลอง
4) ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระยะห่างร่องกาว สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาระยะห่างร่องกาวไม่เป็นไปตามที่กำหนดสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้
5) ในการติดตามผลที่ได้หลังจากการปรับต้งระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าเบี่ยงเบนของระยะห่างร่องกาวลดลง เมื่อค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับต้งเครื่องจักรสำหรับปัจจัยนำเข้าท้ง 3 ปัจจัย คือ ปัจจัยความเร็วเครื่องจักรที่อัตรา 120 กล่อง/นาที ปัจจัยระยะเบี่ยงรางพับด้านขวาที่ระยะ 387 มิลลิเมตร และปัจจัยความเร็วรางพับด้านซ้ายที่ 0.0 เท่าของรางพับด้านขวา พิจารณาผลการทดลอง โดยทำการสุ่มตัวอย่างที่ผลิตในแต่ละล็อตขึ้นมาและใช้แผนภูมิควบคุม $\overline{X}$ and R chart เพื่อติดตามตรวจสอบเพื่อดูแนวโน้มของกระบวนการผลิตอยู่ในการควบคุมหรือไม่ ซึ่งหากมีข้อมูลที่ออกนอกการควบคุม จึงทำการแก้ไขกระบวนการควบคุมต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติกร ฤทธิ์สิงห์ และ เลอศักดิ์ สุมาลย์. การปรับปรุงคุณภาพงานหล่อนิกเกิล - อลูมิเนียม บรอนซ์โดยวิธีการของทากูชิ. สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

ไกรกุล ลิกจะไชย. ลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษโดยการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ทรงพล พิเชษฐ์วัฒนา. การประยุกต์การออกแบบการทดลองในการปรับปรุงคุณภาพของแรงดึงของหัวอ่านเขียนข้อมูลในฮาร์ดดิสต์ไดร์ฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

เปมิกา สุวรรณมณี. การศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการพ่นสีเฟอร์นิเจอร์ไม้โดยการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548.

มะลิ แซ่อึ้ง. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความหนาของผิวเคลือบในกระบวนการ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

ลำปาง แสนจันทร์. การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่: โรงพิมพ์สถานบริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2549.

วิชาญ วรรณา. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเหล็กปลายสัน สำหรับกระบวนการหล่อเหล็กแบบต่อเนื่องโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

สรียา กสิกพันธุ์. การนำเศษแผ่นพาร์ทิเคิลจากการตัดริมมาเป็นส่วนผสมในการผลิตแผ่นพาร์ทิเคิลวิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

สุรพล สุรบรรเจิดพร. การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมดีบุก–ตะกั่วบนแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติโดยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

อลงกต กาญจนคช. ปรับปรุงความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

ภาษาอังกฤษ

Montgomery, D. C. Design and Analysis of Experiment. 6th ed. New York : John Wiley and Sons, 2005.

Ross, J. Taguchi Techniques for Quality Engineering. New York : McGraw-Hill Book Company, 1988.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

แบบสอบถามที่ใช้ประเมินอิทธิพลปัจจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประเมินการเลือก/ไม่เลือกปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย และแจกแจงประเภทของปัจจัย

(C = Controllable factors, N=Noise factors, X=Experimental factors)

ลำดับ	ปัจจัยที่มีผล	ประเภทปัจจัย	เลือก/ไม่เลือก	เหตุผล
1	พนักงานปรับตั้งเครื่องจักร			
2	ความเร็วของเครื่องจักร (Running Speed)			
3	ระยะกดของลูกกลิ้งป้อนกระดาษ (Feed Roll Gap)			
4	ตำแหน่งของตัวตบข้าง (Side Gauge Register)			
5	สภาพของล้อป้อนกระดาษ (Feed Wheel)			
6	แรงลมดูดในชุดป้อนกระดาษ (Vacuum Holddown)			
7	ระยะกดของลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (Pull Roll Gap)			
8	ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งพิมพ์กับลูกกลิ้งกด (Print Roll Gap)			
9	ระยะกดของชุดทับรอยชุดที่ 1 (precreaser)			
10	ระยะกดของชุดทับรอยชุดที่ 2 (creaser)			
11	ตำแหน่งมีดทับรอยชุดที่ 1 (Creasing Register 1)			

ประเมินการเลือก/ไม่เลือกปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย และแจกแจงประเภทของปัจจัย (ต่อ)

(C = Controllable factors, N=Noise factors, X=Experimental factors)

ลำดับ	ปัจจัยที่มีผล	ประเภทปัจจัย	เลือก/ไม่เลือก	เหตุผล
12	ตำแหน่งมีดทับรอยชุดที่ 2 (Creasing Register 2)			
13	ตำแหน่งของชุดเซาะร่อง (Slotter Register)			
14	ตำแหน่งของมีดตัดเศษท้าย (Slitter Register)			
15	ระยะเบี่ยงของรางพับด้านซ้าย			
16	ระยะเบี่ยงของรางพับด้านขวา			
17	ความเร็วของสายพานรางพับด้านซ้าย (Speed OP Register)			
18	ความเร็วของสายพานรางพับด้านขวา (Speed DR Register)			
19	ความขนานของรางพับ (Parallel of Folding Beam)			
20	ตำแหน่งของสายพานประคองข้าง (Squaring Belt Register)			
21	ระยะกดล้อกาว (Glue Wheel Gap)			

ประเมินการเลือก/ไม่เลือกปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย และแจกแจงประเภทของปัจจัย (ต่อ)

(C = Controllable factors, N=Noise factors, X=Experimental factors)

ลำดับ	ปัจจัยที่มีผล	ประเภทปัจจัย	เลือก/ไม่เลือก	เหตุผล
22	ความตึงของสายพานพับกล่อง (Upper &Lower Folding Belt Tension)			
23	ความตึงของสายพานประคองข้าง (Squaring Belt Tension)			
24	แรงลมดูดใต้สายพานพับกล่องเส้นล่าง (Suction Force of Lower Belt)			
25	ระยะกดสายพานป้อนเข้าชุดนับ (Feed Belt Gap)			
26	จังหวะในการตบของตัวตบฉาก (Timing of Squaring Bar)			
27	ระยะของตั้งก้นท้าย (Back Stop Register)			
28	ความโค้งงอของกระดาษลูกฟูก (Warp Sheet)			
29	ปริมาณความชื้นในกระดาษลูกฟูก (Moisture Content)			
30	ความหนืดของกาว (Glue Viscosity)			
31	ระยะเวลาแห้งตัวของกาว (Setting Time of Glue)			
32	เกรดกระดาษลูกฟูก (Board Combination)			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประเมินการเลือก/ไม่เลือกปัจจัยที่ใช้ในการวิจัย และแจกแจงประเภทของปัจจัย (ต่อ)

(C = Controllable factors, N=Noise factors, X=Experimental factors)

ลำดับ	ปัจจัยที่มีผล	ประเภทปัจจัย	เลือก/ไม่เลือก	เหตุผล
33	ชนิดลอนลูกฟูก (Flute Type)			
34	ขนาดกล่องกระดาษลูกฟูก (Sheet Dimension)			
35	กระดาษแตก			

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ผลทางสถิติของการออกแบบการทดลองเบื้องต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการวิเคราะห์ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนจากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ

Taguchi Analysis: GlueGap versus A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N

Linear Model Analysis: SN ratios versus A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N

Estimated Model Coefficients for SN ratios

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	13.4894	2.713	4.972	0.038
A 1	0.8528	2.713	0.314	0.783
B 1	-1.7938	2.713	-0.661	0.576
C 1	-0.4185	2.713	-0.154	0.892
D 1	-0.6469	2.713	-0.238	0.834
E 1	-1.5960	2.713	-0.588	0.616
F 1	1.2128	2.713	0.447	0.699
G 1	-0.2220	2.713	-0.082	0.942
H 1	0.2634	2.713	0.097	0.932
J 1	-0.7663	2.713	-0.282	0.804
K 1	-3.7861	2.713	-1.395	0.298
L 1	-1.4995	2.713	-0.553	0.636
M 1	-3.2169	2.713	-1.186	0.358
N 1	-1.6162	2.713	-0.596	0.612

S = 10.85 R-Sq = 72.5% R-Sq(adj) = 0.0%

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	1	11.636	11.636	11.636	0.10	0.783
B	1	51.486	51.486	51.486	0.44	0.576
C	1	2.802	2.802	2.802	0.02	0.892
D	1	6.695	6.695	6.695	0.06	0.834
E	1	40.754	40.754	40.754	0.35	0.616
F	1	23.535	23.535	23.535	0.20	0.699
G	1	0.789	0.789	0.789	0.01	0.942
H	1	1.110	1.110	1.110	0.01	0.932
J	1	9.396	9.396	9.396	0.08	0.804
K	1	229.351	229.351	229.351	1.95	0.298
L	1	35.975	35.975	35.975	0.31	0.636
M	1	165.575	165.575	165.575	1.41	0.358
N	1	41.791	41.791	41.791	0.35	0.612
Residual Error	2	235.553	235.553	117.776		
Total	15	856.447				

ผลการวิเคราะห์ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนจากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ

Linear Model Analysis: Means versus A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N

Estimated Model Coefficients for Means

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	6.28594	0.2125	29.578	0.001
A 1	1.15094	0.2125	5.416	0.032
B 1	0.57781	0.2125	2.719	0.113
C 1	-0.04969	0.2125	-0.234	0.837
D 1	0.31969	0.2125	1.504	0.271
E 1	-0.06531	0.2125	-0.307	0.788
F 1	0.13906	0.2125	0.654	0.580
G 1	0.11906	0.2125	0.560	0.632
H 1	-0.53094	0.2125	-2.498	0.130
J 1	0.60656	0.2125	2.854	0.104
K 1	-1.01656	0.2125	-4.783	0.041
L 1	-0.93406	0.2125	-4.395	0.048
M 1	-0.18594	0.2125	-0.875	0.474
N 1	0.63156	0.2125	2.972	0.097

S = 0.8501 R-Sq = 98.1% R-Sq(adj) = 86.1%

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	1	21.1945	21.1945	21.1945	29.33	0.032
B	1	5.3419	5.3419	5.3419	7.39	0.113
C	1	0.0395	0.0395	0.0395	0.05	0.837
D	1	1.6352	1.6352	1.6352	2.26	0.271
E	1	0.0683	0.0683	0.0683	0.09	0.788
F	1	0.3094	0.3094	0.3094	0.43	0.580
G	1	0.2268	0.2268	0.2268	0.31	0.632
H	1	4.5103	4.5103	4.5103	6.24	0.130
J	1	5.8867	5.8867	5.8867	8.15	0.104
K	1	16.5344	16.5344	16.5344	22.88	0.041
L	1	13.9596	13.9596	13.9596	19.32	0.048
M	1	0.5532	0.5532	0.5532	0.77	0.474
N	1	6.3819	6.3819	6.3819	8.83	0.097
Residual Error	2	1.4453	1.4453	0.7227		
Total	15	78.0870				

ผลการวิเคราะห์ค่าระยะห่างร่องกาวฝาบนจากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ

Response Table for Signal to Noise Ratios

Nominal is best (-10*Log10(s**2))

Level	A	B	C	D	E	F	G	H	J
1	14.342	11.696	13.071	12.842	11.893	14.702	13.267	13.753	12.723
2	12.637	15.283	13.908	14.136	15.085	12.277	13.711	13.226	14.256
Delta	1.706	3.588	0.837	1.294	3.192	2.426	0.444	0.527	1.533
Rank	8	3	11	10	5	7	13	12	9

Level	K	L	M	N
1	9.703	11.990	10.272	11.873
2	17.275	14.989	16.706	15.106
Delta	7.572	2.999	6.434	3.232
Rank	1	6	2	4

Response Table for Means

Level	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
1	7.437	6.864	6.236	6.606	6.221	6.425	6.405	5.755	6.893	5.269
2	5.135	5.708	6.336	5.966	6.351	6.147	6.167	6.817	5.679	7.303
Delta	2.302	1.156	0.099	0.639	0.131	0.278	0.238	1.062	1.213	2.033
Rank	1	6	13	8	12	10	11	7	5	2

Level	L	M	N
1	5.352	6.100	6.918
2	7.220	6.472	5.654
Delta	1.868	0.372	1.263
Rank	3	9	4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการวิเคราะห์ค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างจากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ

Taguchi Analysis: GlueGap versus A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N

Linear Model Analysis: SN ratios versus A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N

Estimated Model Coefficients for SN ratios

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	15.6469	0.8616	18.161	0.003
A 1	-0.2201	0.8616	-0.255	0.822
B 1	1.9675	0.8616	2.284	0.150
C 1	1.1006	0.8616	1.277	0.330
D 1	1.7253	0.8616	2.002	0.183
E 1	-1.5273	0.8616	-1.773	0.218
F 1	-0.2201	0.8616	-0.255	0.822
G 1	1.5273	0.8616	1.773	0.218
H 1	-0.9727	0.8616	-1.129	0.376
J 1	0.7747	0.8616	0.899	0.463
K 1	-0.5325	0.8616	-0.618	0.600
L 1	-0.7747	0.8616	-0.899	0.463
M 1	-1.1706	0.8616	-1.359	0.307
N 1	0.9727	0.8616	1.129	0.376

S = 3.446 R-Sq = 92.2% R-Sq(adj) = 41.6%

Analysis of Variance for SN ratios

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	1	0.775	0.7752	0.7752	0.07	0.822
B	1	61.939	61.9394	61.9394	5.21	0.150
C	1	19.380	19.3801	19.3801	1.63	0.330
D	1	47.625	47.6246	47.6246	4.01	0.183
E	1	37.323	37.3229	37.3229	3.14	0.218
F	1	0.775	0.7752	0.7752	0.07	0.822
G	1	37.323	37.3229	37.3229	3.14	0.218
H	1	15.138	15.1380	15.1380	1.27	0.376
J	1	9.603	9.6035	9.6035	0.81	0.463
K	1	4.536	4.5362	4.5362	0.38	0.600
L	1	9.603	9.6035	9.6035	0.81	0.463
M	1	21.926	21.9264	21.9264	1.85	0.307
N	1	15.138	15.1380	15.1380	1.27	0.376
Residual Error	2	23.754	23.7543	11.8772		
Total	15	304.840				

ผลการวิเคราะห์ค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างจากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ

Linear Model Analysis: Means versus A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, L, M, N

Estimated Model Coefficients for Means

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	5.82500	0.2237	26.045	0.001
A 1	0.96875	0.2237	4.332	0.049
B 1	0.45000	0.2237	2.012	0.182
C 1	0.26875	0.2237	1.202	0.352
D 1	0.03750	0.2237	0.168	0.882
E 1	-0.74375	0.2237	-3.326	0.080
F 1	0.47500	0.2237	2.124	0.168
G 1	-0.05625	0.2237	-0.252	0.825
H 1	-0.13750	0.2237	-0.615	0.601
J 1	0.31875	0.2237	1.425	0.290
K 1	-1.30000	0.2237	-5.813	0.028
L 1	-1.09375	0.2237	-4.890	0.039
M 1	-0.50000	0.2237	-2.236	0.155
N 1	0.20625	0.2237	0.922	0.454

S = 0.8946 R-Sq = 98.1% R-Sq(adj) = 86.1%

Analysis of Variance for Means

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A	1	15.0156	15.0156	15.0156	18.76	0.049
B	1	3.2400	3.2400	3.2400	4.05	0.182
C	1	1.1556	1.1556	1.1556	1.44	0.352
D	1	0.0225	0.0225	0.0225	0.03	0.882
E	1	8.8506	8.8506	8.8506	11.06	0.080
F	1	3.6100	3.6100	3.6100	4.51	0.168
G	1	0.0506	0.0506	0.0506	0.06	0.825
H	1	0.3025	0.3025	0.3025	0.38	0.601
J	1	1.6256	1.6256	1.6256	2.03	0.290
K	1	27.0400	27.0400	27.0400	33.79	0.028
L	1	19.1406	19.1406	19.1406	23.92	0.039
M	1	4.0000	4.0000	4.0000	5.00	0.155
N	1	0.6806	0.6806	0.6806	0.85	0.454
Residual Error	2	1.6006	1.6006	0.8003		
Total	15	86.3350				

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการวิเคราะห์ค่าระยะห่างร่องกาวฝาล่างจากการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เทคนิคทากูชิ

Response Table for Signal to Noise Ratios

Nominal is best (-10*Log10(s**2))

Level	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
1	15.43	17.61	16.75	17.37	14.12	15.43	17.17	14.67	16.42	15.11
2	15.87	13.68	14.55	13.92	17.17	15.87	14.12	16.62	14.87	16.18
Delta	0.44	3.94	2.20	3.45	3.05	0.44	3.05	1.95	1.55	1.06
Rank	13	1	6	2	3	12	4	7	9.5	11

Level	L	M	N
1	14.87	14.48	16.62
2	16.42	16.82	14.67
Delta	1.55	2.34	1.95
Rank	9.5	5	8

Response Table for Means

Level	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
1	6.794	6.275	6.094	5.863	5.081	6.300	5.769	5.688	6.144	4.525
2	4.856	5.375	5.556	5.787	6.569	5.350	5.881	5.963	5.506	7.125
Delta	1.937	0.900	0.538	0.075	1.487	0.950	0.112	0.275	0.637	2.600
Rank	3	7	9	13	4	6	12	11	8	1

Level	L	M	N
1	4.731	5.325	6.031
2	6.919	6.325	5.619
Delta	2.188	1.000	0.412
Rank	2	5	10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปาริชาติ นาทะสัน เกิดเมื่อวันที่ 4 มกราคม 2529 ที่จังหวัดยะลา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต จากคณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550 และได้ศึกษาต่อ ในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย