

การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อ
แรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก



นายสุชาติ แซ่แต้

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

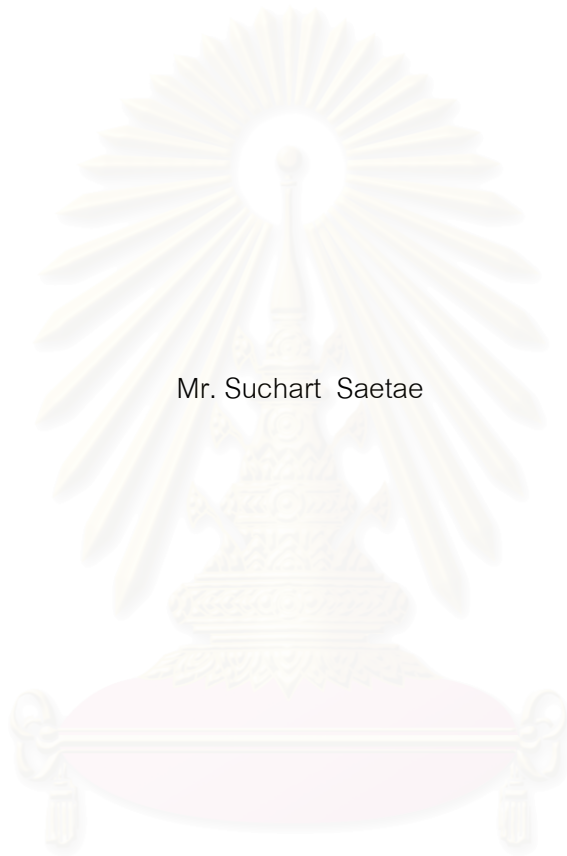
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-3706-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MANUFACTURING PROCESS IMPROVEMENT BY ANALYSIS FACTORS THAT
INFLUENCING ON THE CARTON'S FRICTION

Mr. Suchart Saetae



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 2005

ISBN 974-17-3706-8


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก

โดย นายสุชาติ แซ่แต้

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้แก่นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัญศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา)

ปวีณา วัฒนวงศ์
..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เขาวลิตรงศ์)

สุชาติ แซ่แต้ : การปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานของ
กล่องกระดาษลูกฟูก (MANUFACTURING PROCESS IMPROVEMENT BY ANALYSIS
FACTORS THAT INFLUENCING ON THE CARTON'S FRICTION) อ. ที่ปรึกษา: ศ. ดร. ศิริจันทร์
ทองประเสริฐ , 170 หน้า. ISBN 974-17-3706-8

การวิจัยนี้เป็นความต้องการทางอุตสาหกรรมและมีจุดมุ่งหมายในการปรับปรุงกระบวนการผลิตของ
กล่องกระดาษลูกฟูกเพื่อปรับปรุงแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกให้ดีขึ้นและลดการสูญเสียแรงเสียดทาน
ให้น้อยที่สุด โดยใช้แนวทางของการออกแบบการทดลองอันเนื่องมาจากมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแรงเสียดทาน
หลายปัจจัย จากประสบการณ์จึงได้เลือกปัญหาดังกล่าวมาทำการวิจัยในครั้งนี้ ดังนั้นจึงได้มีการนำหลักการ
ทางสถิติและการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มี
อิทธิพลต่อแรงเสียดทาน (Friction) ของกล่องกระดาษลูกฟูก ซึ่งเป็นข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้าและหา
เงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ค่าแรงเสียดทานดีขึ้นซึ่งเกิดขึ้นก่อนการปรับปรุงมี
ปริมาณของเสียเกิดขึ้น 889×10^3 DPPM (Defect Part per Million) และมีความสามารถของกระบวนการการ
ผลิต (Cpk) เป็น (-0.51)

ขั้นตอนการวิจัยจะดำเนินตามขั้นตอนการออกแบบการทดลอง ทั้ง 7 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการนิยาม
ปัญหาการนิยามปัญหาด้วยผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) การเลือกปัจจัย ระดับและการเลือกตัว
แปรตอบสนองคือแรงเสียดทาน การเลือกการออกแบบการทดลอง การดำเนินการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูล
เชิงสถิติ การสรุปผลและการทดสอบเพื่อยืนยันผลประกอบด้วย การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองและการ
ควบคุมกระบวนการผลิตจริง

ผลลัพธ์ของการทดลอง คือ สามารถกำหนดค่าของระดับของแต่ละปัจจัยที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อ
ค่าแรงเสียดทาน (Friction) ของกล่องกระดาษลูกฟูกในกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก โดยใช้วิธีการ
ออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design Resolution IV ในขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ
ผลิตแล้วนำไปวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องนั้น เพื่อทำให้ได้ค่าแรงเสียดทาน
(Friction) ของกล่องกระดาษลูกฟูกไม่ต่ำกว่าข้อกำหนดของลูกค้า คือ 26 องศา โดยการกำหนดระยะกดของ
Print Roll Gap เท่ากับ 7 มม. ค่าน้ำยวานิช (Anti Slip) ประเภท B ความหนืดของหมึกพิมพ์ (Ink Viscosity)
เท่ากับ 12.5 วินาที และระยะกดของ Feed Belt Gap เท่ากับ 8.5 มม. แล้วทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลก่อน
นำไปใช้ในการผลิตจริง จากนั้นทำการควบคุมปัจจัยที่สำคัญทั้งสี่ด้วยกระบวนการเชิงสถิติ

ผลหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต มีปริมาณของเสียเกิดขึ้น เพียง 11.20 DPPM และ
ความสามารถของกระบวนการ (Cpk) มีค่าเท่ากับ 1.34

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ.....

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ.....

ปีการศึกษา2548.....

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

4671467821 : MAJOR INDUSTRY ENGINEERING

KEY WORD : DESIGN OF EXPERIMENT / DEFECT PART PER MILLION / PROCESS CAPABILITY/
 2^{k-p} FRACTION FACTORIAL DESIGN / STATISTICAL PROCESS CONTROL

SUCHART SAETAE: MANUFACTURING PROCESS IMPROVEMENT BY ANALYSIS
 FACTORS THAT INFLUENCING ON THE CARTON'S FRICTION. APPROACH THESIS
 ADVISOR: PROF. SIRICHAN THONGPRASERT, Ph.D., 170 pp. ISBN 974-17-3706-8

The objective of this research to improve the manufacturing process of corrugating cartons by increasing the friction force of the corrugating cartons and minimizing the loss of friction force. Applied statistical principles and the theory of Design of Experiment (DOE) are used investigating the factors influencing the friction of corrugating cartons according to product specification limit and identifying the appropriate operative conditions for defects reduction. Before improvement the defect is about 889×10^3 DPPM (Defect Part per Million) and Process Capability (Cpk) of (-0.51).

The research was conducted according to the seven steps of Design of Experiment methodology. The process began with problem identification by cause and effect diagram, choice of factor levels and range, response variable identification (friction force), experimental design, experiment execution, data analysis using statistics, Conclusion and confirmation.

The result of the experiment is the degree of relation of each significant factor on the friction of corrugating cartons in the manufacturing process. The algorithm used is derived from the Design of Experiment with 2^{k-p} Fraction Factorial design Resolution IV. Finally, the appropriate levels of factors were determined, leading to their appropriate level of adjustment. The experiment also achieved the required friction stated by the customer using Print Roll Gap of 7 mm., Type B Anti Slip substance, Printing ink with viscosity of 12.5 seconds and Feed Belt Gap of 8.5 mm. Lastly, confirmation was performed before the actual implementation. During the manufacturing process, the four factors were controlled using Statistical Process Control (SPC).

The result of this process improvement significantly showed level of defected product of only 11.20 DPPM and the Process Capability (Cpk) of 1.34.

Department of Industrial Engineering..... Student' s signature
 Field of studyIndustrial Engineering..... Advisor' s signature
 Academic year2005.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ที่ให้คำปรึกษา ทั้งทฤษฎีและหลักการที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานจริงในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุตติมา กรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์ กรรมการ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ประโยชน์และความดีอันพึงเกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ บิดา มารดา พี่น้อง เพื่อนนิสิตและเพื่อนร่วมงาน นอกจากนั้นขอขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้ ที่กรุณาให้ความร่วมมือช่วยเหลือ และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	9
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	9
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัยดำเนินงาน.....	10
1.5 ระยะเวลาดำเนินงานวิจัย	11
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	11
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.1 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์การทดลองเชิงสถิติ.....	13
2.2 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง.....	15
2.3 แนวทางในการออกแบบการทดลอง.....	16
2.4 การเลือกแบบการทดลอง.....	18
2.5 การเพิ่มจุดศูนย์กลางให้แก่การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2k.....	25
2.6 พื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodlogy, RSM)	27
2.7 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล.....	31
2.8 การทดสอบสมมติฐาน Hypothesis Testing.....	32
2.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA).....	34
2.10 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (FMEA).....	38

2.11 การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis)	40
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	46
บทที่ 3 ศึกษากระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก.....	56
3.1 กระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก.....	56
3.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา.....	57
บทที่ 4 การดำเนินงานวิจัย.....	85
4.1 การค้นหาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปัญหา.....	85
4.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA).....	91
4.3 การเลือกปัจจัยเพื่อทำการทดลอง.....	102
4.4 การวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล.....	105
4.5 การวิเคราะห์ห้อการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA).....	109
4.6 การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis).....	115
4.7 การออกแบบการทดลอง 2^{k-p} Fraction Factorial design.....	123
4.8 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง.....	138
4.9 การควบคุมกระบวนการผลิต.....	139
4.10 สรุปผลการหลังการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการผลิต.....	145
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	146
5.1 บทนำ.....	146
5.2 สรุปผลจากการค้นหาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพสาเหตุและผล.....	146
5.3 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด.....	147
5.4 สรุปผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix).....	147
5.5 สรุปผลการวิเคราะห์ห้อการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA).....	147
5.6 สรุปผลการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis).....	148
5.7 สรุปผลการออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design.....	148
5.8 สรุปผลการควบคุมกระบวนการผลิต.....	149
5.9 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย.....	149

5.10	ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้.....	150
5.11	ข้อเสนอแนะ.....	150
รายการอ้างอิง		151
ภาคผนวก		153
ภาคผนวก ก	ข้อมูลค่าแรงเสียดทานของกระดาษที่เกรดต่างกันและมาจากผู้ผลิตกระดาษที่ต่างกัน 5 เกรด	154
ภาคผนวก ข	แบบฟอร์มการให้คะแนนเพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล(Cause & Effect Matrix).....	160
ภาคผนวก ค	ตารางแสดงการเกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของการเกิดปัญหาการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูก	161
ภาคผนวก ง	เกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดของการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูก.....	162
ภาคผนวก จ	เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับการเกิดปัญหาการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูก	163
ภาคผนวก ฉ	ค่าผลการการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis).....	164
ภาคผนวก ช	ผลการทบทวนระบบการวัด Friction.....	165
ภาคผนวก ซ	ผลการวัด Friction ในการวิเคราะห์ความแม่นยำหลังทำ MSA.....	166
ภาคผนวก ฌ	การออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design.....	167
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์		170

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.0	แสดงผลการทดสอบแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก.....	7
1.1	แสดงผลการทดสอบแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกประเภท C.....	8
1.2	ระยะเวลาดำเนินงานวิจัย.....	11
2.1	การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน	33
2.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ One-Way- ANOVA.....	35
2.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อก	36
2.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two-Fixed Effect Model.....	38
2.5	แสดงการจับกลุ่มปัจจัยด้วย Factor Analysis.....	42
4.1	ผลการวัด Friction ในการวิเคราะห์ความแม่นยำก่อนการปรับปรุงระบบการวัด.....	92
4.2	ผลการวัด Friction ในการวิเคราะห์ความแม่นยำหลังปรับปรุงระบบการวัด.....	99
4.3	สรุปความต้องการของลูกค้าและความต้องการเชิงเทคนิค.....	105
4.4	การสรุปผลวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix).....	107
4.5	FMEA สำหรับกระบวนการ.....	111
4.6	สรุปผลการวิเคราะห์ FMEA.....	112
4.7	Descriptive Statistics.....	116
4.8	Correlation Matrix	117
4.9	Communalities	117
4.10	Total Variance Explained.....	118
4.11	แสดง Component Matrix.....	121
4.12	Rotated Component Matrix.....	121
4.13	ระดับของของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลอง.....	123
4.14	แผนและลำดับของการทดลอง.....	127
4.15	แสดงผลการทดลอง.....	128
4.16	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบแฟคตอเรียล.....	134
4.17	Effects และ Coefficients สำหรับค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก แบบ Coded Unit.....	134

4.18	Interaction Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก.....	136
4.19	Main Effects Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก.....	136
4.20	ระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกมากที่สุด...	137
5.1	ระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกมากที่สุด...	148



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แสดงปริมาณยอดขายผลิตภัณฑ์กล่อง BEER.....	2
1.2	กราฟพาเรโตแสดงมูลค่าสินค้าค้ำปีประจำปี 2547	3
1.3	กราฟ Normal Probability Plot.....	4
1.4	แสดงความสามารถของกระบวนการผลิตสำหรับคุณสมบัติด้านแรงเสียดทานของกล่อง.....	5
2.1	แสดงปัจจัย และพารามิเตอร์ของกระบวนการ	14
2.2	การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (ไม่มีอันตรกิริยา).....	23
2.3	การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (มีอันตรกิริยา).....	23
2.4	พื้นผิวตอบแบบสามมิติ	27
2.5	กราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวตอบ	28
2.6	วิธีการอย่างมีลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบ	29
2.7	พื้นผิวตอบกำลังหนึ่งและเส้นทางป็นขึ้นด้วยทางขึ้นที่ขั้นที่สุด	30
3.0	ผังโรงงาน	58
3.1	ผังการบริหารงาน	59
3.2	ชนิดของลอนลูกฟูก	61
3.3	ตัวอย่างกล่อง RSC (Regular Slotted Container).....	61
3.4	ตัวอย่างกล่อง HSC (Half Slotted Container).....	62
3.5	ตัวอย่างกล่อง FOL (Full Overlap).....	62
3.6	ตัวอย่างกล่อง Partial Overlap Slotted Container.....	63
3.7	ตัวอย่างกล่องได้คัท	63
3.8	ตัวอย่างส่วนประกอบกล่อง	63
3.9	ส่วนต่างๆ ของกล่องแบบสล๊อต (Slotted Containers).....	64
3.10	แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิต	65
3.11	ขั้นตอนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก	66
3.12	การพิมพ์กล่อง RSC ของเครื่อง Flexo Folder Gluer (FFG)	67
3.13	ส่วนประกอบของเครื่องพิมพ์	68
3.14	ชุดพีรีฟีดเดอร์ (PREFEEDER).....	69
3.15	ชุดฟีดหรือชุดป้อนกระดาษ (FEED).....	69

รูปที่	หน้า
3.16 ชุดป้อนกระดาษแบบคิกเกอร์ (KICKER FEEDER).....	70
3.17 ชุดป้อนกระดาษแบบสายพาน (BELT FEEDER).....	71
3.18 ชุดฟีด (ชุดป้อนกระดาษ) (FEED SECTION).....	72
3.19 ระบบการพิมพ์	73
3.20 ส่วนประกอบชุดพิมพ์ (PRINT SECTION).....	74
3.21 อนิล็อกซ์โรล (ANILOX ROLL).....	75
3.22 ฟรินท์ไซลินเดอร์ & อิมเพรสชั่นไซลินเดอร์.....	76
3.23 ระบบการรีดหมึกแบบ ทุ-โรล (Two roll system).....	77
3.24 ระบบใบมีดปาดหมึกแบบรีเวอร์สแองเกิ้ล (Reverse angle doctor blade system).....	78
3.25 ใบมีดปาดหมึกแบบแชมเบอร์ (Chamber blade system).....	78
3.26 ระบบพิมพ์บน (Top Print).....	79
3.27 ระบบพิมพ์ล่าง (Bottom Print).....	80
3.28 ชุดทับรอย (Creaser).....	80
3.29 ชุดเจาะร่อง (Slotter).....	81
3.30 ชุดโรตารี ไคคัท	81
3.31 ชุดทาลิ้นกาว (GLUE LAP UNIT).....	82
3.32 ชุดวางพับกล่อง (FOLDING SECTION).....	82
3.33 ชุดสแควร์ริง (Squaring).....	83
3.34 ชุดเคาน์เตอร์และอีเจคเตอร์ (Counter & Ejector).....	83
3.35 ชุดเครื่องมัด (TYING MACHINE).....	84
3.36 ชุดโหลดฟอร์มเมอร์ (LOAD FORMER).....	84
4.1 แผนภาพเหตุและผลแสดงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการลิ้นของกล่องกระดาษลูกฟูก	85
4.2 ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัดโดยวิธี Nested ANOVA.....	92
4.3 ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัดในส่วนของ Session โดยวิธี Nested ANOVA.....	93
4.4 แสดงตำแหน่งในการตัดชิ้นงานมาทดสอบ	95
4.5 แสดงการทดสอบโดยใช้เครื่อง Friction Test ตามแนว MD.....	98

รูปที่	หน้า
4.6 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของวิธี Nested ANOVA.....	99
4.7 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดในส่วน Session ของวิธี Nested ANOVA.....	100
4.8 แผนภาพแสดงกระบวนการคัดเลือกปัจจัยเพื่อดำเนินการออกแบบการทดลอง	102
4.9 แผนภูมิพาเรโตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ด้วย	108
4.10 ผังพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของค่า RPN.....	113
4.11 แสดง Scree Plot.....	120
4.12 Pareto Chart แสดงผลของปัจจัยในการทดลองแบบแฟคตอเรียล	129
4.13 Normal Probability Plot แสดงผลของปัจจัยในการทดลองแบบแฟคตอเรียล.....	129
4.14 กราฟแสดงการวิเคราะห์ตกค้างของผลการทดลอง	130
4.15 กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Residuals Versus the Order of the Data.....	131
4.16 กราฟแสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง.....	132
4.17 กราฟแสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าฟิต.....	133
4.18 การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการสำหรับค่า Friction ของกล่องกระดาษ ลูกฟูก.....	138
4.19 ขั้นตอนการแก้ไขและป้องกัน สำหรับค่า Friction ที่ออกนอกการควบคุม.....	143
4.20 กราฟแสดง \bar{X} และ R Chart ของค่า Friction.....	144
4.21 แสดงความสามารถของกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต.....	145

บทที่ 1

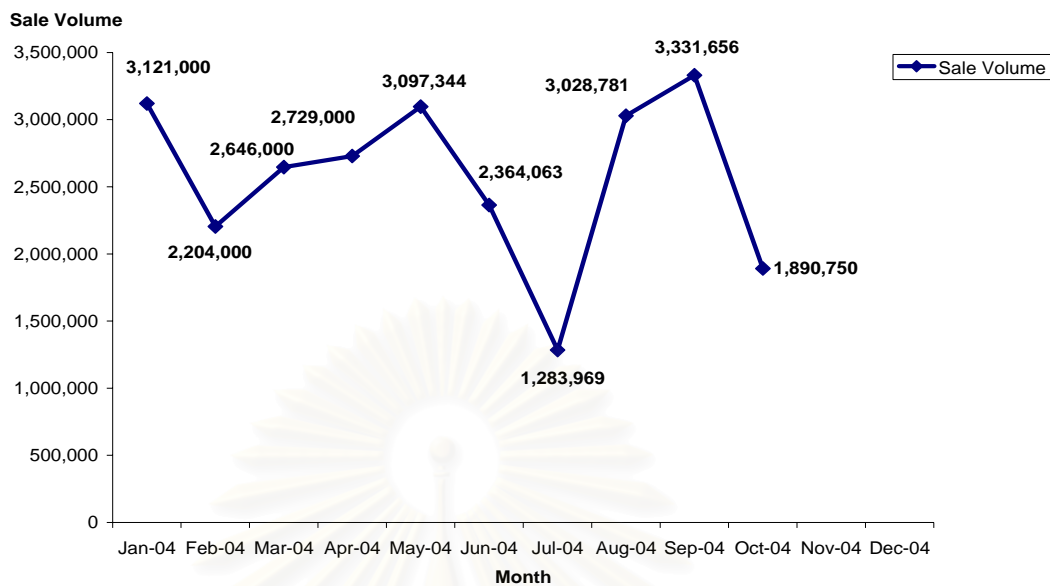
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในธุรกิจการผลิตบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูกประเภท RSC (Regular Slotted Carton) คุณสมบัติด้านความเสียดทาน (friction) ของกล่อง ถือเป็นหัวใจสำคัญประการหนึ่งที่ถูกค่าให้ความสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากการในการเคลื่อนย้ายสินค้าของลูกค้าที่บรรจุสินค้าลงในกล่องกระดาษลูกฟูกแล้ว ต้องมีการเคลื่อนย้ายโดยรถฟอร์คลิฟท์ (Forklift) จากกระบวนการผลิตมาเก็บยังคลังสินค้าหรือการเคลื่อนย้ายไปยังรถขนส่งสินค้าขณะเคลื่อนย้ายต้องนำกล่องมาเรียงบนกระบะ ซึ่งกล่องกระดาษลูกฟูกต้องมีคุณสมบัติด้านแรงเสียดทานค่อนข้างสูงเพื่อไม่ให้กล่องเกิดการลื่นตกมาเสียหายเพราะจะทำให้สินค้าลูกค้าเสียหายด้วย และขณะจัดเก็บไว้ในคลังสินค้าของลูกค้าถ้ากล่องมีคุณสมบัติด้านแรงเสียดทานน้อยก็ทำให้กล่องเกิดการแยกตัวลื่นออกมาจากที่ได้จัดเรียงซึ่งอาจทำให้สินค้าลื่นตกมาเสียหายได้

ดังนั้นในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกประเภท RSC ดังกล่าว จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมคุณสมบัติด้านแรงเสียดทานของกล่อง มิให้ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ซึ่งปกติจะกำหนดไว้ต้องไม่ต่ำกว่า 26 องศา

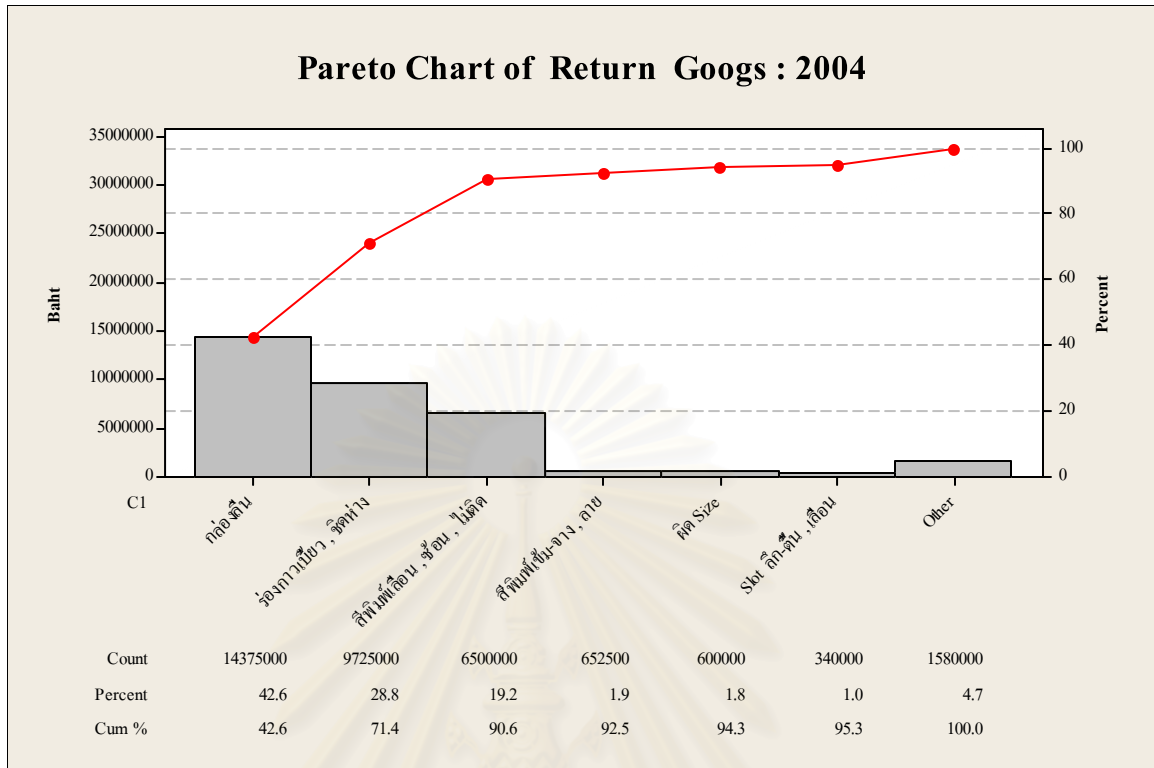
เนื่องจากกล่องประเภท RSC นี้มีการผลิตอยู่หลายรายการ (Product Code) มาก ซึ่งแต่ละรายการจะมีความแตกต่างกันในหลายลักษณะ เช่น ระยะเวลาตีต่างๆ, ชนิดของเกรดกระดาษ, ชนิดของลอนลูกฟูก, รูปแบบการพิมพ์ เป็นต้น ผู้วิจัยร่วมกับทางโรงงานจึงได้คัดเลือกกล่องประเภท RSC มา 1 รายการ เพื่อนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาต้นแบบสำหรับการแก้ปัญหาตามแนวทางของการออกแบบการทดลอง ซึ่งจากการพิจารณาร่วมกันดังกล่าว จึงเห็นควรให้เลือก “กล่อง BEER” (ชื่อสมมติ) มาใช้ในโครงการวิจัยฉบับนี้ ด้วยเหตุผล ดังนี้



รูปที่ 1.1 แสดงปริมาณยอดขายผลิตภัณฑ์ก่ล่ง BEER

1. เป็นสินค้าของลูกค้าที่มีความสำคัญต่อบริษัทฯ มากเนื่องจากมีปริมาณการสั่งซื้อมากที่สุด
2. ได้รับข้อร้องเรียนและสินค้าคืนมาจากลูกค้า
3. ต้องเสียค่าใช้จ่ายในเรื่องน้ำยา Anti Slip

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



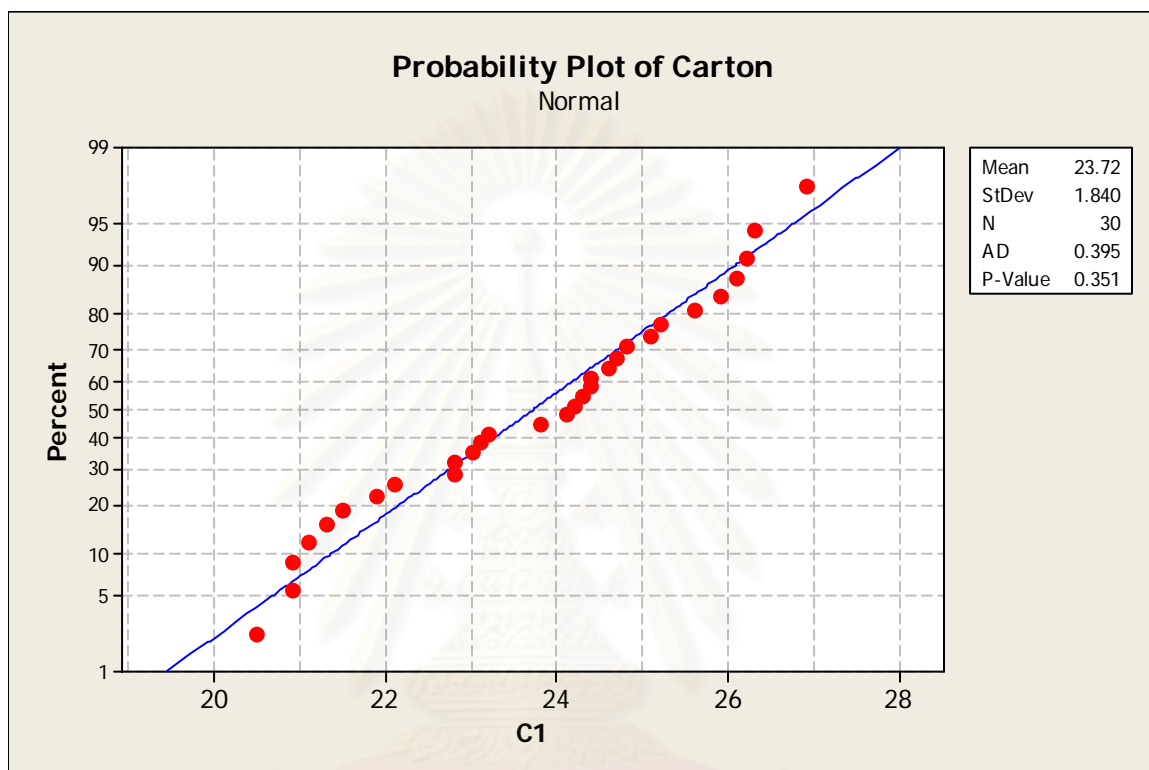
รูปที่ 1.2 กราฟพาเรโตแสดงมูลค่าสินค้าคืนประจำปี 2547

ทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการทดลองข้อมูลที่ได้ว่ามีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่
2. นำข้อมูลที่แจกแจงแบบปกติมาทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

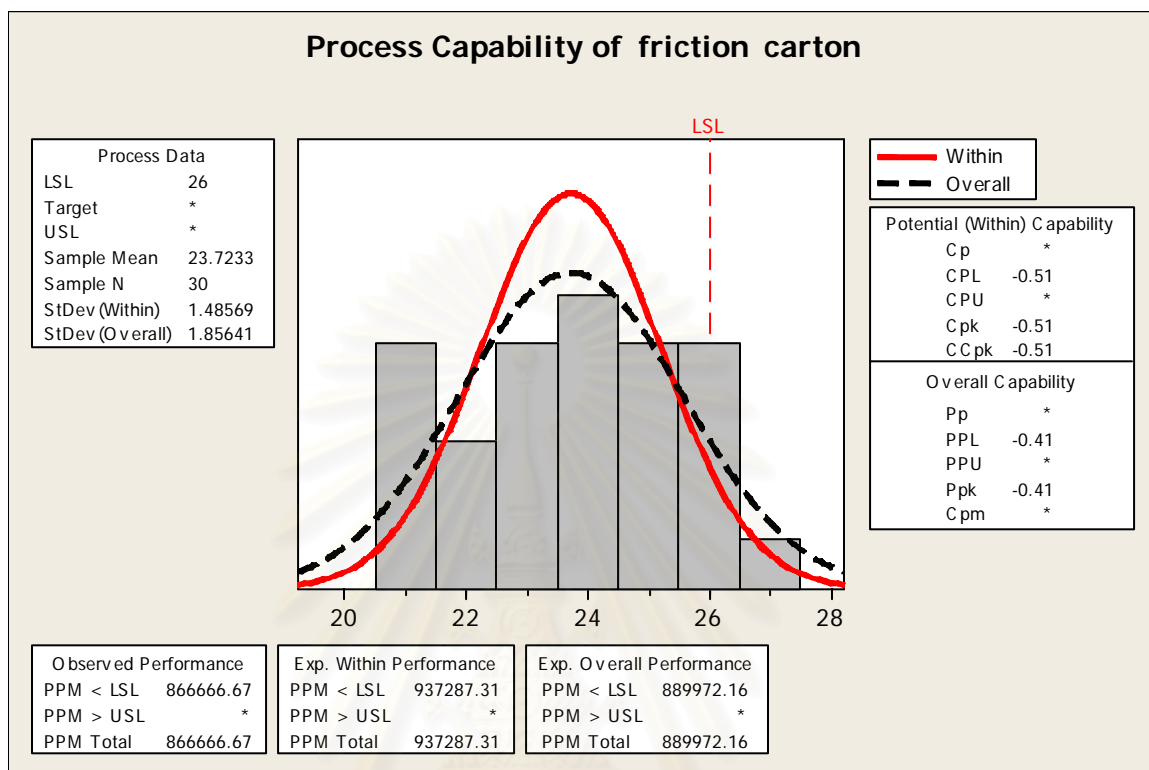
1. ทำการทดลองข้อมูลที่ได้ว่ามีการกระจายปกติหรือไม่ โดยใช้ Minitab ตรวจสอบของข้อมูลว่ามีการกระจายแบบปกติ (NOPP) หรือไม่



รูปที่ 1.3 กราฟ Normal Probability Plot

ผลจากการตรวจสอบพบข้อมูล ค่า P-Value มีค่า 0.351 แสดงว่ามีค่าสูง (เทียบกับค่า 0.05) หมายความว่าตัวสถิติทดสอบ A-Squared 0.395 มีค่าต่ำ แสดงว่าข้อมูลที่แสดงด้วยจุดในกราฟมีความแตกต่างจากการแจกแจงแบบปกติที่แสดงด้วยเส้นตรงอย่างไม่นัยสำคัญ แสดงว่าข้อมูลที่ตรวจสอบมีการแจกแจงแบบปกติ

2. นำข้อมูลที่แจกแจงแบบปกติมาทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต



รูปที่ 1.4 แสดงความสามารถของกระบวนการผลิตสำหรับคุณสมบัติด้านแรงเสียดทานของกล่อง

สรุปผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตสำหรับคุณสมบัติด้านแรงเสียดทานของกล่องที่เคลือบน้ำยากันสนิม

- ข้อกำหนดของลูกค้าต้องมีค่าแรงเสียดทานไม่ต่ำกว่า 26 องศา
- ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ (Mean) เท่ากับ 23.723 องศา
- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของกระบวนการระยะสั้น เท่ากับ 1.49 องศา และ ระยะยาว เท่ากับ 1.86 องศา
- ความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) เท่ากับ (-0.51)
- มีปริมาณของเสียของเสียเกิดขึ้น 889×10^3 DPPM (Defect Part Per Million)

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

$$C_p = \frac{0 - 26}{6X1.49} = -2.908$$

$$CPU = \frac{USL - \bar{X}}{3X \sigma_{within}}$$

$$Pp = \frac{USL - LSL}{6X \sigma_{overall}}$$

$$Pp = \frac{0 - 26}{6X1.86} = -2.329$$

$$PPU = \frac{USL - \bar{X}}{3X \sigma_{overall}}$$

$$PPU = \frac{0 - 23.723}{3X1.86} = -4.25$$

$$CPM = LSL \text{ or } USL = *$$

Cp, CPU, Pp, PPU, CPM = * เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ LSL (Lower Specification Limit) เพียงข้างเดียว

จากผลการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตกล่อง Beer นี้มีปัญหาด้านความสามารถของกระบวนการ กล่าวคือ มีค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (C_{pk}) น้อยกว่า 1.00 แสดงว่ากระบวนการมีโอกาสทำให้เกิดของเสียมาก

ทำการวิเคราะห์เบื้องต้นโดยนำกระดาษที่เกรดต่างกันและมาจากผู้ผลิตกระดาษที่ต่างกัน 5 เกรด ดังนี้

1. กระดาษเกรด WT S140 จาก Sweden
2. กระดาษเกรด KA125 จาก HS
3. กระดาษเกรด KE165 จาก SKIC
4. กระดาษเกรด KS170 จาก SKIC
5. กระดาษเกรด LK170 จาก LK170

จุดเก็บตัวอย่าง เกรดกระดาษ		Corrugator Process		Converting Process	
		กระดาษม้วน		Sheet board	กล่อง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
		เข้าเครื่องลูกฟูก	เข้าเครื่องลูกฟูก	เข้าเครื่องพิมพ์	เข้าเครื่องพิมพ์
1	WT S140 Sweden	28.3	28.5	26.4	22.7
2	KA125 (HS)	29.4	29.2	28.0	21.6
3	KE165 (SKIC)	27.0	26.6	26.6	21.4
4	KS170 (SKIC)	27.9	27.6	27.8	21.2
5	LK170 (TCP)	24.1	24.4	25.0	20.9

ตารางที่ 1.0 แสดงผลการทดสอบแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุดเก็บตัวอย่าง เกรดกระดาษ		Corrugator Process		Converting Process	
		กระดาษม้วน		Sheet board	กล่อง
		ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
		เข้าเครื่องลูกฟูก	เข้าเครื่องลูกฟูก	เข้าเครื่องพิมพ์	เข้าเครื่องพิมพ์
1	WT S1140 Sweden	27.9	27.3	26.9	23.5
2	KA125 (HS)	28.4	27.9	27.2	22.5
3	KE165 (SKIC)	27.7	26.6	26.3	21.9
4	KS170 (SKIC)	28.2	27.6	27.2	22.2
5	LK170 (TCP)	26.9	26.4	25.9	21.5

ตารางที่ 1.1 แสดงผลการทดสอบแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกประเภท C

จากผลการทดสอบแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกดังตารางที่ 1.0 ซึ่งจากการนำเกรดกระดาษที่ต่างกันและมาจากผู้ผลิตกระดาษที่ต่างกัน ในขณะที่เป็นกระดาษม้วนก่อนเข้าเครื่องผลิตแผ่นลูกฟูก กระดาษม้วนแต่ละเกรดจะมีแรงเสียดทานที่แตกต่างกัน แต่ในขณะที่น่ากระดาษม้วนมาผ่านกระบวนการผลิตแผ่นลูกฟูกที่เครื่องลูกฟูกพบว่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกลดลงแต่ไม่มากนัก เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกระบวนการพิมพ์โดยนำแผ่นกระดาษลูกฟูกมาผ่านกระบวนการพิมพ์ค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกลดลงอย่างมาก และตารางที่ 1.1 ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์กล่อง C ซึ่งเป็นกล่องอีกประเภทที่มีลักษณะใกล้เคียงกับกล่อง Beer ซึ่งก็ได้ผลออกมาในขณะที่น่ากระดาษม้วนมาผ่านกระบวนการผลิตแผ่นลูกฟูกที่เครื่องลูกฟูกพบว่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกลดลงแต่ไม่มากนัก เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกระบวนการพิมพ์โดยนำแผ่นกระดาษลูกฟูกมาผ่านกระบวนการพิมพ์ค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกลดลงอย่างมาก ผู้วิจัยได้ทำการปรึกษากับทีมงานเพื่อหาข้อสรุปในการทำวิจัย จึงได้มุ่งเน้นไปที่กระบวนการพิมพ์เป็นหลัก

การวิจัยในโครงการนี้จึงมุ่งเน้นไปในลักษณะของการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกที่มีอิทธิพลต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก เพื่อหาแนวทางการแก้ไขและปรับปรุงกระบวนการผลิตที่เหมาะสมที่ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตกล่องที่เหมาะสมในการลดปัญหาการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ทำการศึกษาเฉพาะปัญหาด้านแรงเสียดทานที่มีผลต่อความลื่นของกล่องประเภท RSC

1.3.2 ทำการศึกษาและปรับเปลี่ยนค่าต่าง ๆ ของกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกดังนี้

1.3.2.1 ชุดป้อนแผ่น (Feed Unit)

1.3.2.2 ชุดทำการพิมพ์ (Printer Unit)

1.3.2.3 ชุดพับกล่อง (Folder Unit)

1.3.2.4 ชุดแควร์ริง (Squaring unit)

1.3.2.5 ชุดเคาน์เตอร์และอีเจคเตอร์ (Counter & Ejector)

1.3.2.6 ชุดเครื่องมัด (TYING MACHINE)

1.3.2.7 ความเร็วในการเดินเครื่องพิมพ์

1.3.2.8 มิติด้านขนาดของกล่อง (Sheet Dimension)

1.3.2.9 น้ำยากันลื่น (Anti Slip)

1.3.3 ทำการพิตค่าของวัตถุดิบและกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกดังนี้

1.3.3.1 ทำการพิตค่าของกระดาษม้วนเป็นกระดาษที่มาจากแหล่งผลิต A (ชื่อสมมติ)แห่งเดียวเท่านั้น

1.3.3.2 ทำการพิเคราะห์สภาพและคุณภาพของกระดาษลูกฟูกที่มาจากกระบวนการผลิตแผ่นลูกฟูกว่ามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงเสียดทานของกล่องน้อยกว่ากระบวนการพิมพ์ จึงทำการศึกษาเฉพาะกระบวนการพิมพ์เท่านั้น

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัยดำเนินงาน

- 1.4.1 สำนักรงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 ศึกษากระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกและปัญหาการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูก
- 1.4.3 วิเคราะห์ระบบการวัดค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก
- 1.4.4 วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตกล่องที่มีผลต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก การเลือกระดับและช่วงของปัจจัย
- 1.4.5 การเลือกตัวแปรตอบสนอง
- 1.4.6 การเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมแต่ละปัจจัย
- 1.4.7 การดำเนินการทดลองตามแผนการทดลอง
- 1.4.8 วิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ
- 1.4.9 นำตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดความลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูกมาปรับปรุงเพื่อลดความลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูก
- 1.4.10 ติดตามผลและตรวจสอบหลังการปรับปรุง
- 1.4.11 สรุปผลการออกแบบการทดลอง และข้อเสนอแนะ
- 1.4.12 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ระยะเวลาดำเนินงานวิจัย

ลำดับ	ขั้นตอนระยะเวลา	ระยะเวลา													
		ก.ย.47	ค.ค.47	พ.ย.47	ธ.ค.47	ม.ค.48	ก.พ.48	มี.ค.48	เม.ย.48	พ.ค.48	มิ.ย.48	ก.ค.48			
1	สำรวจงานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	■													
2	ศึกษากระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกและปัญหาการสิ้นของกล่องกระดาษลูกฟูก			■											
3	วิเคราะห์ระบบการวัดค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก				■										
4	วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตกล่องที่มีผลต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก การเลือกกระดืบและช่วงของปัจจัย					■									
5	การเลือกตัวแปรตอบสนอง						■								
6	การเลือกการออกแบบการทดลองที่เหมาะสมแต่ละปัจจัย							■							
7	การดำเนินการทดลองตามแผนการทดลอง								■						
8	วิเคราะห์ผลการทดลองเชิงสถิติ									■					
9	นำตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดความสิ้นของกล่องกระดาษลูกฟูกมาปรับปรุง เพื่อลดความสิ้นของกล่องกระดาษลูกฟูก										■				
10	ติดตามผลและตรวจสอบหลังการปรับปรุง											■			
11	สรุปผลการออกแบบการทดลอง และข้อเสนอแนะ												■		
12	จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์													■	

ตารางที่ 1.2 ระยะเวลาดำเนินงานวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทำให้ทราบถึงสาเหตุและปัจจัยที่มีผลกระทบต่อแรงเสียดทานที่มีผลทำให้กล่องกระดาษลูกฟูกเกิดการสิ้น รวมถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาค่าที่ทำการวิจัย

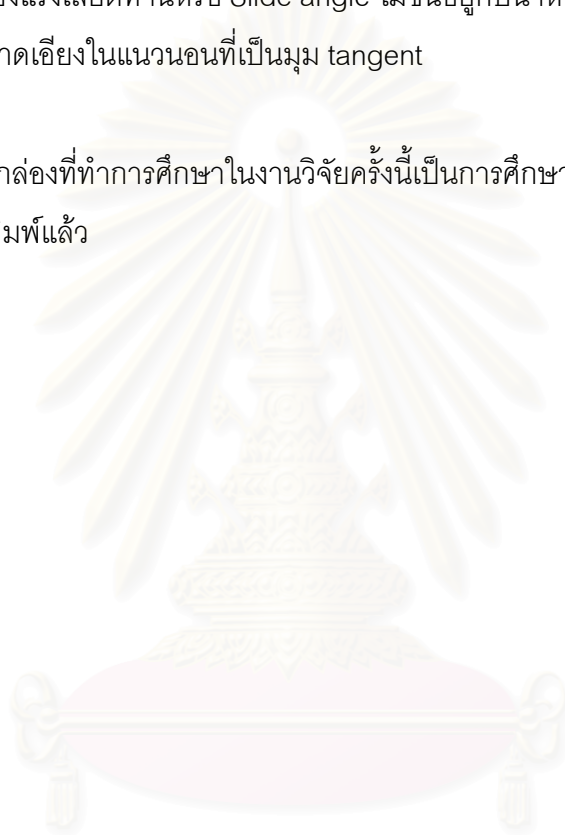
1.6.2 สามารถนำผลการศึกษาค้นคว้าวิจัยในครั้งนี้ไปใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตดังกล่าวให้ดียิ่งขึ้น รวมถึงการนำไปใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาอื่นๆ ที่มีลักษณะปัญหาใกล้เคียงกันต่อไป

1.6.3 สามารถเพิ่มความสามารถของกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกที่มีผลต่อแรงเสียดทาน ซึ่งจะส่งผลทำให้สามารถลดความไม่พึงพอใจของลูกค้าได้

คำจำกัดความของการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูก

สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานหรือความลื่น (ตามมาตรฐาน T815 om-95) เป็นอัตราของแรงต้านที่เกิดจากการเสียดทานในการต้านการเคลื่อนที่ของผิวกระดาษ ระหว่างผิวสองผิวที่ต้านการเคลื่อนที่ของ Sheet หนึ่งกับอีก Sheet หนึ่ง เมื่อวางบนอีก Sheet หนึ่ง ด้วยคุณสมบัติที่เหมือนกัน ดังนั้นสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานหรือ Slide angle ไม่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักของกล่องและสิ่งของที่บรรจุอยู่ วัตต์เป็นมุมจากการลาดเอียงในแนวนอนที่เป็นมุม tangent

การลื่นของกล่องที่ทำการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษากรณีที่เป็นแผ่นกระดาษลูกฟูกที่ผ่านกระบวนการพิมพ์แล้ว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ปัจจัยในการทำงานของสิ่งใดสิ่งหนึ่ง จำเป็นจะต้องอาศัยทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง นำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาที่ทำการศึกษานั้น ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์และการออกแบบการทดลอง

2.1 การออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์การทดลองเชิงสถิติ

2.1.1 การออกแบบทดลอง (Design of Experiment)

หมายถึง การออกแบบทดลองเพื่อตรวจสอบดูว่า ปัจจัย (Factor) ใดๆ หรือตัวแปร (Input Variable) ใดที่มีผลต่อสิ่งๆ หนึ่งที่มีความสำคัญในผลิตภัณฑ์ที่ออกมา โดยมีจุดมุ่งหมายดังนี้

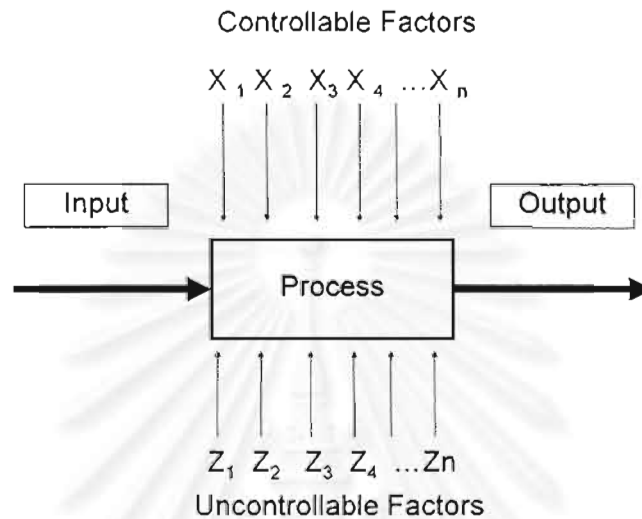
1. เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อจากประสบการณ์หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต
2. เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

2.1.2 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของการทดลอง

1. ทรีทเมนต์ (Treatment) คือ สิ่งหรือวิธีที่เราปฏิบัติต่อสิ่งทดลอง เพื่อวัดผลเปรียบเทียบกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง
2. หน่วยทดลอง (Experiment Unit) เป็นมาตราหรือหน่วยซึ่งใช้วัดอิทธิพลของทรีทเมนต์ซึ่งโดยคำจำกัดความแล้ว หมายถึง สิ่งหนึ่งหรือกลุ่มหนึ่งของการทดลอง ซึ่งได้รับจากทรีทเมนต์เดียวกันในการกระทำครั้งใดครั้งหนึ่ง หน่วยทดลองมีขนาดไม่จำกัด อาจผันแปรไปได้จากการทดลองหนึ่งไปสู่อีกการทดลองหนึ่ง แม้ว่าจะใช้สิ่งทดลองเหมือนกันก็ตาม ในการทำการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องให้คำจำกัดความของหน่วยทดลองให้ชัดเจน

3. ปัจจัย (Factor) ได้แก่ กลุ่มของทรีทเมนต์ทั้งหลายที่มีความเกี่ยวข้องกัน

(A Particular Class of Related Treatment) อาจใช้คำว่าตัวแปรอิสระก็ได้ ปัจจัยนั้นอาจเป็นได้ทั้งข้อมูลเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ



รูปที่ 2.1 แสดงปัจจัย และพารามิเตอร์ของกระบวนการ

ปัจจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น

3.1 ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการดำเนินการทดลอง

3.2 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ อาจเนื่องมาจากมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีและต้นทุน ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ แบ่งออกเป็น

3.2.1 ตัวแปรรบกวน (Noise Variable) หรือ Background Variable หรือตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) ในการทดลองแต่ไม่ใช่ปัจจัยที่เรากำลังทำการศึกษ ส่วนใหญ่มัก ได้แก่ เวลา หรือเครื่องมืออุปกรณ์ เป็นต้น

3.2.2 Nuisance Variable คือ ตัวแปรที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแต่เราไม่ทราบมาก่อน เราสามารถกำจัดอิทธิพลของ Nuisance Variable ได้โดยการสุ่ม

4. ตัวแปรตอบสนอง (Response Variable) คือ ตัวแปรที่ถูกสังเกตหรือวัดค่าในการทดลอง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ตัวแปร ซึ่งเป็นตัวแปรที่สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของตัวแปรอิสระนั่นเอง ในการทดลองหนึ่งๆ อาจวัดค่าตัวแปรตามมากกว่า 1 ก็ได้ การเลือกตัวแปรตามที่ดี

ควรพิจารณาจากความไว (Sensitivity) ความเชื่อถือได้ (Reliability) การแจกแจงของตัวแปรนั้น และความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ ในการเลือกตัวแปรตามจะต้องพิจารณาว่า ค่าสังเกตที่ได้รับจากทริทเมนต์หนึ่ง ๆ ควรมีการแจกแจงแบบปกติโดยประมาณ ซึ่งข้อสมมติฐานในเรื่องความเป็นปกติ (Normality) นี้ เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบการทดลอง ซึ่งอาจจะใช้การแปลงข้อมูล (Transformation) ค่าสังเกตที่มีการแจกแจงไม่ปกติเป็นแบบปกติ

วัตถุประสงค์ของการทดลองอาจจะเกี่ยวข้องกับประเด็นต่างๆ ดังนี้

1. หาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลตอบ y (Response)
2. หาวิธีการตั้งค่าของ x (Input) ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y (Response) เพื่อให้ผลตอบ y มีค่าตามที่ต้องการ
3. หาวิธีการตั้งค่าของ x (Input) ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y (Response) เพื่อให้ผลตอบ y มีค่าน้อยที่สุด
4. หาวิธีการตั้งค่าของ x (Input) ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y (Response) เพื่อให้ผลตอบที่ไม่สามารถควบคุมได้ $Z_1, Z_2, Z_3, \dots, Z_n$ ค่าน้อยที่สุด

2.2 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง

หลักการพื้นฐาน 3 ประการสำหรับการออกแบบการทดลอง มีดังนี้

1. เปรียบเทียบ (Replication) หมายถึง การทำการทดลองซ้ำ ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรกเปรียบเทียบทำให้สามารถหาค่าประมาณของความผิดพลาดในการทดลองได้ หน่วยวัดขั้นพื้นฐานสำหรับการพิจารณา ความแตกต่างสำหรับข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นมีความแตกต่างกันในเชิงสถิติหรือไม่ และประการที่สองถ้าค่าเฉลี่ยถูกนำมาใช้เพื่อประมาณผลที่เกิดจากปัจจัยหนึ่งในการทดลอง เปรียบเทียบทำให้สามารถหาตัวประมาณที่ถูกต้องยิ่งขึ้นในการประมาณผลกระทบ

2. แรมดอมไมเซชัน (Randomization) หมายถึง การทดลองที่มีทั้งวัสดุที่ใช้ในการทดลองและลำดับของการทดลองแต่ละครั้งเป็นแบบสุ่ม วิธีการเชิงสถิติกำหนดข้อมูล (หรือความผิดพลาด) จะต้องเป็นตัวแปรแบบสุ่มที่มีการกระจายแบบอิสระ แรมดอมไมเซชันจะทำให้สมมติฐานนี้เป็นจริง การแรมดอมไมเซชันการทดลอง ทำให้สามารถลดผลของปัจจัยภายนอกที่อาจจะปรากฏในการทดลองได้

3. บล็อกกิง (Blocking) เป็นเทคนิคที่ใช้สำหรับเพิ่มความเที่ยงตรง (Precision) ให้แก่การทดลอง บล็อกอันหนึ่งอาจจะหมายถึงส่วนหนึ่งของวัสดุที่ใช้ในการทดลองที่ควรจะมีความเป็นอันเดียวกันมากกว่าเซตทั้งหมดของวัสดุ การเปรียบเทียบเงื่อนไขที่น่าสนใจต่าง ๆ ภายในแต่ละบล็อกจะเกิดจากการทำบล็อกกิง

2.3 แนวทางในการออกแบบการทดลอง

การใช้วิธีการเชิงสถิติในการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง มีความจำเป็นที่ต้องเข้าใจอย่างถ่องแท้ล่วงหน้าว่า กำลังศึกษาอะไรอยู่ จะเก็บข้อมูลได้อย่างไร และจะวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บได้นั้นอย่างไร ขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

2.3.1 การนิยามปัญหา (Recognition of and Statement of the Problem)

เป็นการระบุว่าคุณต้องการในการผลิตคืออะไร และต้องการรู้อะไรบ้างในการผลิตซึ่งการนิยามปัญหานี้ผู้ทดลองต้องทำความเข้าใจต่อสภาพของปัญหาที่จะเกี่ยวโยงไปถึงวัตถุประสงค์ของการทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการวางแผน และดำเนินการทดลองต่อไป

2.3.2 การเลือกปัจจัย ระดับ และขอบเขตของปัจจัย (Choice of Factors and Levels)

เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎี และประสบการณ์จากงานวิจัยต่างๆ เพื่อระบุว่าปัจจัยใดบ้างที่น่าจะมีผลต่อการทดลอง และในแต่ละปัจจัยนั้น ควรจะมีช่วงในการทดลองอย่างไร สุดท้ายคือ ระบุว่าที่ใช้เป็นแบบกำหนดตายตัว (Fixed effect) แบบสุ่ม (Random Effect) หรือแบบผสม ซึ่งสามารถอธิบายได้พอเป็นสังเขปดังนี้

1. แบบกำหนดตายตัว (Fixed Effect) หมายถึงระดับของปัจจัยที่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าได้แน่นอน
2. แบบสุ่ม (Random Effect) หมายถึง ระดับของปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดค่าของปัจจัยได้แน่นอน
3. แบบผสม Mixed Effect หมายถึง การผสมระดับของปัจจัยที่เป็นทั้งแบบกำหนดตายตัวและแบบสุ่ม

และกำหนดระดับของปัจจัยที่ต้องทำการปรับในการทดลอง รวมถึงต้องทราบวิธีการควบคุม และการวัดค่าระดับของปัจจัยดังกล่าวนี้ด้วย

2.3.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Choice of Response Variable)

ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทดลองต้องแน่ใจว่าตัวแปรตอบสนองนี้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการทดลอง ซึ่งมักจะเป็นค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ และเป็นไปได้ว่าในการทดลองหนึ่งอาจมีตัวแปรตอบสนองหลายตัว จึงจำเป็นต้องกำหนดว่า อะไรบ้างคือตัวแปรตอบสนองและสามารถวัดค่าดังกล่าวได้อย่างไร ก่อนเริ่มดำเนินการทดลองควรมีการวิเคราะห์ระบบการวัดค่าตัวแปรตอบสนองนั้น เพื่อให้มั่นใจได้ว่าระบบการวัดดังกล่าวสามารถใช้กับการทดลองได้

2.3.4 การเลือกการออกแบบการทดลอง (Choice of Experimental Design)

การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับกำหนดยุทธศาสตร์ของสิ่งตัวอย่าง (Replications) การเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล การเลือกให้หลักการพื้นฐานใดบ้างในการออกแบบ ซึ่งในการเลือกการออกแบบจำเป็นต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองตลอดเวลา

2.3.5 การดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment)

การดำเนินการทดลองเป็นกรทำตามแผนการทดลองที่ออกแบบ ซึ่งจำเป็นต้องติดตามกระบวนการดำเนินการอย่างระมัดระวัง เนื่องจากหากมีสิ่งผิดพลาดเกิดขึ้นจะทำให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ต่อได้

2.3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ (Statistical Analysis of data)

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะนำวิธีการทางสถิติมาใช้ เพื่อพิจารณาว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลองหรือไม่ ทั้งนี้ในการวิเคราะห์ควรใช้ความรู้ทางวิศวกรรมหรือความรู้เกี่ยวกับกระบวนการประกอบด้วย เพื่อให้ได้ข้อสรุปที่มีเหตุผล และมีความน่าเชื่อถือ

2.3.7 การสรุปผลและการทดสอบเพื่อยืนยันผล (Conclusions and Recommendations)

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ผู้ทดลองต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติของกระบวนการ

ที่เกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้ควรนำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วยในการนำเสนอข้อมูล นอกจากนี้แล้วควรทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลรูปอีกครั้งด้วย

2.4 การเลือกแบบการทดลอง

2.4.1 การออกแบบทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD)

เป็นแผนการทดลองแบบง่ายที่สุด เหมาะสมกับการทดลองที่ไม่สามารถแยกได้ว่าหน่วยทดลองที่นำมาใช้นั้นมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไรก่อนการทดลอง การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับแผนการทดลองนี้จะแยกสาเหตุของความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดว่า เนื่องจากอิทธิพลของทรีทเมนต์แต่เพียงอย่างเดียว ไม่มีสาเหตุจากปัจจัยอื่น จึงเรียกข้อมูลนี้ว่า ข้อมูลแบบแจกแจงทางเดียว One-Way Classification

ตามแผนการทดลองนี้แสดงว่า เมื่อหน่วยทดลองได้รับทรีทเมนต์ที่ต้องการทดสอบแล้ว ความแตกต่างของข้อมูลที่เก็บได้จากแต่ละหน่วยทดลองจะต้องเกิดจากอิทธิพลของทรีทเมนต์ที่แตกต่างกันเท่านั้น ดังนั้น เพื่อให้แผนการทดลองนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด หน่วยทดลองที่นำมาใช้จึงควรมีลักษณะที่สม่ำเสมอหรือคล้ายคลึงกันมากที่สุด (Homogenous) หรือมีความผันแปรระหว่างหน่วยทดลองที่น้อยที่สุด หลักสำคัญของแผนการทดลองนี้คือ การจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองหรือจัดหน่วยทดลองให้แก่ ทรีทเมนต์จะต้องเป็นไปโดยสุ่ม ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการสุ่ม

2.4.1.1 ข้อดีและข้อเสีย

ข้อดี

1. เป็นแผนการทดลองที่จัดง่าย
2. ให้ค่าองศาความเป็นอิสระของความคลาดเคลื่อน (Degree of Freedom for Error) สูงสุด
3. วิธีการวิเคราะห์ที่ง่ายที่สุดในบรรดาแผนการทดลองทั้งหลาย
4. ในแต่ละทรีทเมนต์ ถึงแม้จะมีจำนวนซ้ำไม่เท่ากัน ก็ไม่ทำให้การวิเคราะห์มีความซับซ้อนแต่อย่างใด

ข้อเสีย

1. มีข้อจำกัดว่าจะช่วยได้อย่างเหมาะสมเมื่อมีจำนวนทรีทเมนต์น้อย ๆ หากทรีทเมนต์จำนวนมากแล้ว จำเป็นต้องใช้หน่วยทดลองมากขึ้นอาจไม่สามารถกระทำได้
2. ใช้กับหน่วยทดลองที่มีความสม่ำเสมอ
3. ไม่สามารถตรวจสอบอิทธิพลของกิริยาร่วมได้ (Interaction Effect)

2.4.1.2 โครงรูปข้อมูล

สมมติให้ การทดลองมี a ทรีทเมนต์ (หรือ a ระดับ)

n คือจำนวนค่าสังเกตในแต่ละทรีทเมนต์

Y_{ij} คือค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

	Treatment						
	1	2	...	i	...	a	
	Y_{11}	Y_{21}		Y_{i1}		Y_{a1}	
	Y_{12}	Y_{22}		Y_{i2}		Y_{a2}	
	Y_{13}	Y_{23}		Y_{i3}		Y_{a3}	
	
	
	
	Y_{1n}	Y_{2n}		Y_{in}		Y_{an}	
Totals	$Y_{.1}$	$Y_{.2}$		$Y_{.i}$		$Y_{.a}$	$y_{..} = \text{Grand Total}$
Sample means	$Y_{.1}$	$Y_{.2}$		$Y_{.i}$		$Y_{.a}$	$y_{..} = \text{Grand mean}$

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้ คือ

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, n \end{array}$$

โดยที่ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

2.4.2 การออกแบบการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCB)

ในบางการทดลองอาจประสบปัญหาเกี่ยวกับหน่วยทดลองที่ใช้ไม่มีความสม่ำเสมอ ทำให้การใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอดไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากความผันแปรของข้อมูลจะไม่ใช่ว่าผลของทรีทเมนต์เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีความผันแปรที่เกิดจากหน่วยทดลองรวมอยู่ด้วย ซึ่งความผันแปร ส่วนหลังนี้จะไปรวมอยู่กับความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ทำให้ยอดรวมของผลบวกของกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าสูงขึ้น มีผลต่อการทดสอบทำให้ผิดพลาดได้ ดังนั้นจึงต้องพยายามแยกผลอันเกิดจากอิทธิพลอื่น ที่ไม่ใช่ทรีทเมนต์ออกจากความแปรปรวนทั้งหมด เพื่อให้แน่ใจว่าผลที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นอิทธิพลของทรีทเมนต์ (Treatment Effect) แต่เพียงอย่างเดียว

แผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก เป็นวิธีการหนึ่งในหลาย ๆ วิธีของการจำแนกแบบ 2 ทาง (Two-way Classification) จะใช้เมื่อหน่วยทดลองมีความแตกต่างกัน 2 ลักษณะ คือ ทางแนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column) มีหลักการ คือ พยายามจัดหน่วยทดลองที่มีความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งจะเรียกว่า บล็อก ดังนั้นความแปรปรวนระหว่างหน่วยทดลองในบล็อกเดียวกันจึงมีค่าต่ำ และให้ความแตกต่างระหว่างบล็อกมีค่าสูง ในแต่ละบล็อกกระทำโดยสุ่ม กรณีนี้จะทำให้เราแยกความแตกต่างระหว่างบล็อกออกมาจากยอดรวมของผลบวกของกำลังสองได้

2.4.2.1 ข้อดีและข้อเสีย

ข้อดี

1. มีความเที่ยงตรงสูงกว่า แผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์
2. ไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนทรีทเมนต์หรือบล็อก
3. ถ้าหากจำเป็นที่จะต้องมีซ้ำสำหรับทรีทเมนต์ใดก็อาจเพิ่มหน่วยทดลองเป็นสองหรือมากกว่านั้นในแต่ละบล็อก
4. กรณีข้อมูลในบล็อกใดหรือทรีทเมนต์ใดใช้ไม่ได้หรือสูญหายไป สามารถละเว้นได้โดยไม่ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการคำนวณวิเคราะห์สำหรับส่วนข้อมูลที่เหลือ

ข้อเสีย

ถ้าหน่วยทดลองในแต่ละบล็อกมีความผันแปรมาก ความผันแปรที่เกิดขึ้นจากการทดลองย่อมมากตาม กรณีนี้มักเกิดขึ้นถ้าไม่สามารถควบคุมหน่วยทดลองภายในบล็อกให้สม่ำเสมอได้

2.4.2.2 โครงรูปข้อมูล

สมมติให้การทดลองมี a ทรีทเมนต์และ b บล็อก ตามแผนภาพจะเห็นว่า มีค่าสังเกต 1 ค่าต่อ 1 ทรีทเมนต์ในแต่ละบล็อก

Block 1	Block 2	Block b
Y_{11}	Y_{12}	Y_{1b}
Y_{21}	Y_{22}	Y_{2b}
Y_{31}	Y_{32}	Y_{3b}
.	.	.
.	.	.
.	.	.
Y_{a1}	Y_{a2}	Y_{ab}

ตัวแบบทางสถิติของแผนการทดลองนี้

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, a$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

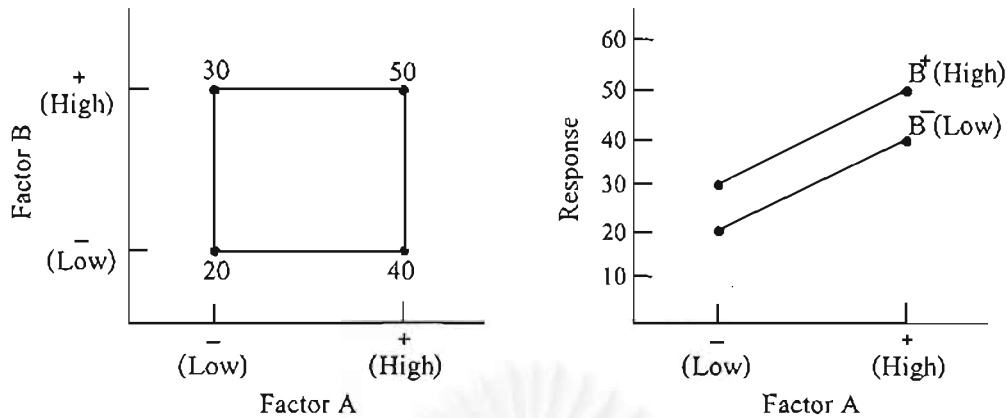
โดยที่

Y_{ij}	คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i
μ	คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร
τ_i	คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i
β_j	คือ อิทธิพลอันเกิดจากบล็อกที่ j
ε_{ij}	คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

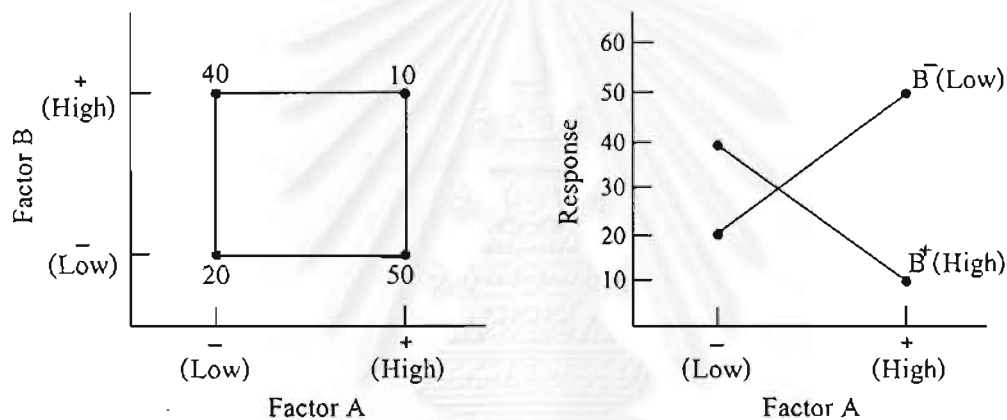
2.4.3 การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Design)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design) เป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ในกรณีที่มีปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป โดยทุก ๆ Treatment combination ของปัจจัยทุกตัวที่ศึกษา จะถูกพิจารณาไปพร้อม ๆ กัน

ผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยหนึ่ง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบ (Response) ที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยนั้น ๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) ในการทดลองที่มีผลแตกต่างของผลตอบที่เกิดขึ้นบนระดับต่าง ๆ ของปัจจัยหนึ่งมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับอื่น ๆ ทั้งหมดของปัจจัยอื่น ซึ่งหมายถึง ผลตอบของปัจจัยหนึ่งขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยอื่น ๆ นั่นเอง เรียกเหตุการณ์นี้ว่า การมีอันตรกิริยา (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยค่าที่จุดต่างๆ คือตัวแปรตอบสนอง เมื่อมีปัจจัย 2 ตัวคือ A และ B โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ คือ - หรือ Low และ + หรือ High



รูปที่ 2.2 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (ไม่มีอันตรกิริยา)



รูปที่ 2.3 การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัย (มีอันตรกิริยา)

ประโยชน์ของการทดลองแบบแฟคทอเรียล คือมีจำนวนการทดลองน้อยกว่าการทดลองแบบอื่น และยังให้ผลที่เกี่ยวกับ Interaction Effect ซึ่งมีความสำคัญมาก และไม่สามารถหาค่าได้จากได้ การทดลองแบบเปรียบเทียบอย่างง่ายและการทดลองที่ละปัจจัย ทั้งนี้หากมีการละเลยผลของ Interaction อาจทำให้ข้อสรุปผิดพลาด

2.4.4 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k (2^k Factorial Design)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลที่มีความสำคัญที่สุดคือ กรณีที่มีปัจจัย k ปัจจัยซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้ อาจเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรือเวลา เป็นต้น หรืออาจเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพก็ได้ เช่น เครื่องจักร หรือคนงาน เป็นต้น และใน 2 ระดับจะแทนด้วยระดับ "สูง" หรือ "ต่ำ" ของปัจจัยหนึ่ง ๆ หรือการ "มี" หรือ "ไม่มี" ของปัจจัยนั้น ๆ ก็ได้ ใน 1 เพลทเคทที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบ ประกอบด้วย ข้อมูลทั้งสิ้น $2 \times 2 \times 2 \times \dots \times 2 = 2^k$ ข้อมูล เรียกการออกแบบลักษณะนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k โดยมีสมมติว่า

1. ปัจจัยทั้งหมดมีค่าตายตัว
2. การออกแบบเป็นแบบเชิงสุ่มบริบูรณ์ (Completely Randomized)
3. สมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นปกติเป็นที่ยอมรับได้

2.4.5 การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (Two-Level Fractional Factorial Design)

เมื่อจำนวนปัจจัยในการออกแบบ 2^k เพิ่มขึ้น โดยมากแล้วจำนวนการทดลองสำหรับเรขาคณิตที่บริบูรณ์จะเพิ่มขึ้นมากเกินกว่าที่ทรัพยากร (เช่น เวลา ค่าใช้จ่าย เป็นต้น) ที่มีอยู่จะรองรับได้ ถ้าผู้ทดลองสามารถตั้งสมมติฐานอย่างมีเหตุผลได้ว่า อันตรกิริยาชั้นสูงบางตัวสามารถละเลยได้ในกรณีเช่นนี้ข่าวสารเกี่ยวกับปัจจัยหลักและอันตรกิริยาชั้นต่ำอาจจะหาได้โดยการทดลองเพียงแค่เศษส่วนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียลอย่างบริบูรณ์

การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล (Fractional Factorial Design) ถูกนำมาใช้กันมากในการกรองเพื่อหาปัจจัยที่มีผล กล่าวคือในการทดลองหนึ่งอาจจะมีปัจจัยมากมายที่กำลังอยู่ในความสนใจ สามารถใช้การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลเพื่อค้นหาว่าปัจจัยใดบ้าง (ถ้ามี) เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองเพื่อกรองปัจจัยนี้ส่วนมากจะใช้ในตอนเริ่มต้นโครงการ เนื่องจากโดยมากแล้วในขณะนั้นมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่มีแนวโน้มจะเป็นปัจจัยที่มีผลน้อยหรือไม่มีผลต่อผลตอบที่กำลังพิจารณาอยู่ หลังจากการทดลองเพื่อกรองปัจจัยเสร็จสิ้นแล้ว ปัจจัยที่มีผลจะถูกนำไปทำการทดลองอย่างละเอียดในการทดลองต่อไป ความสำเร็จของการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลขึ้นอยู่กับแนวคิดที่สำคัญ 3 ประการคือ

1. หลักการที่ว่าปัจจัยจำนวนน้อยที่มีผล เมื่อมีตัวแปรหลายตัว การดำเนินการต่างๆ ของระบบหรือกระบวนการมีแนวโน้มที่จะถูกกำหนดโดยปัจจัยหลักและอันตรกิริยาชั้นต่ำเพียงบางตัวเท่านั้น
2. คุณสมบัตินิการฉายการออกแบบ การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลสามารถถูกฉายไปสู่การออกแบบที่ดีกว่า (ใหญ่กว่า) ในเขตย่อยของปัจจัยที่มีผล
3. การทดลองต่อเนื่อง เป็นไปได้ที่จะรวมการทดลองเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล 2 การทดลองหรือมากกว่าเข้าด้วยกัน เพื่อที่จะทำการให้เกิดการทดลองอย่างต่อเนื่องที่มีการออกแบบที่ใหญ่กว่าและสามารถประมาณผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่อยู่ในความสนใจได้ดียิ่งขึ้น

มติการออกแบบ

เนื่องจากการออกแบบที่มีมติ III , IV , V มีความสำคัญซึ่งให้นิยามและตัวอย่างสำหรับการออกแบบได้ดังนี้

การออกแบบมติ III (Resolution III) การออกแบบเหล่านี้จะไม่มีผลหลักใด ๆ ที่จะคู่แฝดแฝงกับผลหลักตัวอื่น ๆ แต่ผลหลักจะคู่แฝดแฝงกับอันตรกิริยาสองปัจจัย และอันตรกิริยาสองปัจจัยอาจจะคู่แฝดแฝงซึ่งกันและกันได้

การออกแบบมติ IV (Resolution IV) การออกแบบเหล่านี้จะไม่มีผลหลักใด ๆ ที่จะคู่แฝดแฝงกับผลหลักตัวอื่น ๆ แต่อันตรกิริยาสองปัจจัยจะคู่แฝดแฝงซึ่งกันและกัน

การออกแบบมติ V (Resolution V) การออกแบบเหล่านี้จะไม่มีผลหลักหรืออันตรกิริยาสองปัจจัยใด ๆ ที่จะคู่แฝดแฝงกับผลหลักตัวอื่น ๆ หรืออันตรกิริยาสองปัจจัยตัวอื่น ๆ แต่อันตรกิริยาสองปัจจัยจะคู่แฝดแฝงกับอันตรกิริยาสองปัจจัย

การออกแบบยังมีมติสูงก็ยังมีข้อจำกัดน้อยลงในเรื่องสมมติฐานเกี่ยวกับว่า อันตรกิริยาใดจะถูกละเลยได้เพื่อที่จะได้มาซึ่งการตีความหมายข้อมูลอย่างถูกต้อง

2.5 การเพิ่มจุดศูนย์กลางให้แก่การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2^k

ประการสำคัญในการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2 ระดับ คือสมมติฐานเกี่ยวกับความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ของผลที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆ ถ้าพจน์ของอันตรกิริยาถูกเติมเข้าไปในผลหลักหรือแบบจำลองขั้นแรก (First-Order Model) นั่นคือ

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

ดังนั้นแบบจำลองที่สามารถแสดงส่วนโค้งบางประการในฟังก์ชันของผลตอบ ส่วนโค้งที่เกิดจากการบิดเบี้ยวของระนาบ Plane ที่ถูกทำให้เกิดขึ้นจากผลของอันตรกิริยา $\beta_{ij} x_i x_j$ มีบางกรณีที่ส่วนโค้งในฟังก์ชันผลตอบไม่เพียงพอที่จะสร้างสมการจำลองตามแบบสมการข้างต้นได้ จึงเหมาะสมที่จะใช้แบบจำลองนี้มากกว่า

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_j^2 + \varepsilon$$

โดยที่ β_{ij} จะแสดงถึงผลขั้นที่สอง (Second-Order Model) หรือผลแบบควอดราติก (Quadratic Effect) และสมการนี้เรียกว่า แบบจำลองพื้นผิวของผลตอบขั้นที่สอง (Second-order Response Surface Model)

ในการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ จะใช้สมการจำลองขั้นแรกมากกว่าแต่มีความเป็นไปได้ที่บางครั้งแบบจำลองขั้นที่สองมีความเหมาะสมมากกว่า กรณีเช่นนี้วิธีการเพลิกเคต การทดลองบางจุดในแฟคทอเรียล 2^k ที่จะป้องกันส่วนโค้งที่เกิดจากผลขั้นที่สองนี้และสามารถที่จะหาค่าประมาณของความผิดพลาดได้อย่างอิสระโดยการเติมจุดศูนย์กลางให้แก่การออกแบบ 2^k ซึ่งทำการทดลองจำนวน n เพลิกเคตที่จุด $x_i = 0 (i = 1, 2, \dots, k)$ เหตุผลของการเติมการทดลองเช่นนี้เข้าไปคือ จุดศูนย์กลางที่เติมเข้าไป โดยให้ปัจจัยทั้ง k ตัวนี้เป็นข้อมูลเชิงปริมาณ

เพื่อแสดงการพิจารณาการออกแบบ 2^2 ที่มีข้อมูล 1 ตัว ที่แต่ละจุดของแฟคทอเรียล (-,-), (+,-), (-,+) และ (+,+) และที่มีข้อมูลที่มีจุดศูนย์กลาง (0,0) อยู่ n_c กำหนดให้ \bar{y}_F เป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 4 ค่า ที่จุดทั้ง 4 ของแฟคทอเรียล และกำหนด ให้ \bar{y}_C เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูล n_c ที่จุดกึ่งกลาง ถ้าผลต่างระหว่าง $\bar{y}_F - \bar{y}_C$ มีค่าน้อยจุดศูนย์กลางนี้อยู่บนหรือใกล้กับระนาบที่ผ่านจุดของแฟคทอเรียลแล้วจะไม่มีส่วนโค้งแบบควอดราติก ค่าผลรวมของกำลังสองสำหรับส่วนโค้งแบบควอดราติกบริสุทธิ์ (pure quadratic curvature) ซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ 1 หาได้จาก

$$SS_{\text{pure Quadratic}} = \frac{n_F n_C \left(\bar{y}_F - \bar{y}_C \right)^2}{n_F + n_C}$$

โดยที่ n_F คือจำนวนของจุดในการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล ค่านี้อาจถูกนำมาใช้เพื่อเปรียบเทียบกับค่าผิดพลาดของกำลังสองเฉลี่ยเพื่อที่จะทดสอบความเป็นส่วนโค้งแบบบริสุทธิ์ ยิ่งกว่านั้นเมื่อมีการเติมจุดเข้าไปที่จุดศูนย์กลางของการออกแบบ 2^k การทดสอบส่วนโค้งดังสมการข้างต้นคือ การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับ

$$H_0: \sum_{j=1}^k \beta_{jj} = 0$$

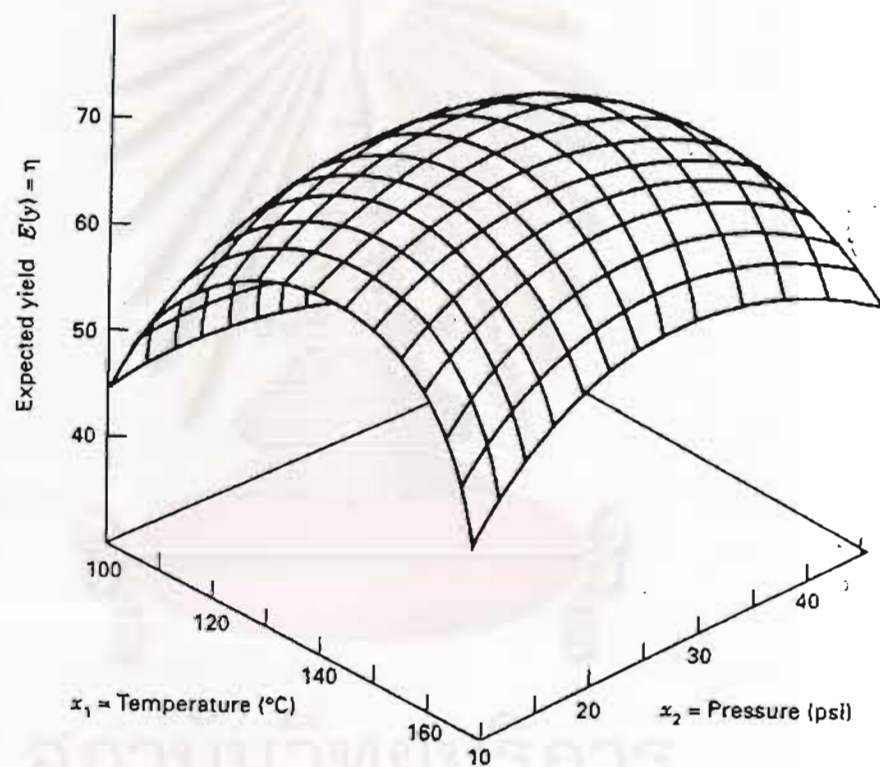
$$H_1: \sum_{j=1}^k \beta_{jj} \neq 0$$

ยิ่งกว่านั้นถ้าจุดแฟคทอเรียลในการออกแบบไม่มีเพลิกเคต สามารถใช้จุดศูนย์กลาง n_c นี้ในการสร้างตัวประมาณของความผิดพลาดซึ่งมีระดับขั้นความเสรีเท่ากับ $n_c - 1$ ขึ้นได้อีกด้วย

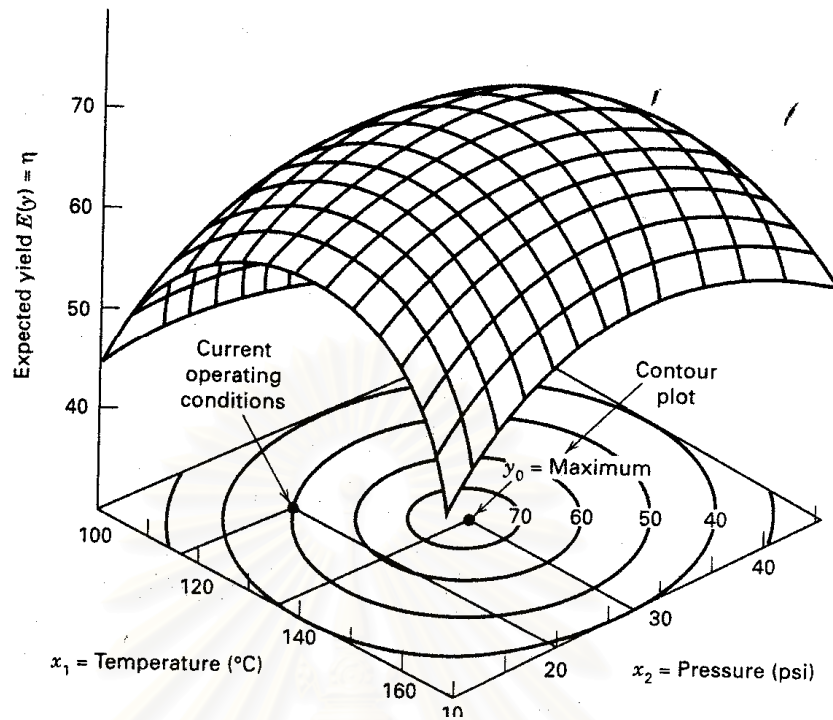
2.6 พื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology, RSM)

วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Methodology, RSM) เป็นการรวบรวมเอาเทคนิคทางคณิตศาสตร์และทางสถิติที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหา โดยผลที่สนใจขึ้นอยู่กับหลายตัวแปร และมีวัตถุประสงค์ที่จะหาค่าที่ดีที่สุดของผลตอบนี้

พื้นผิวตอบในรูปแบบของกราฟฟิค ดังรูปที่ 2.4 ช่วยให้เห็นรูปร่างของพื้นผิวตอบได้ดียิ่งขึ้น โดยมากแล้วจะพล็อตเส้นโครงร่าง (Contour Plot) ของพื้นผิวตอบดังแสดง ดังรูปที่ 2.5 สร้างเส้นโครงร่างเช่นนี้ เส้นที่มีค่าของผลตอบคงที่จะถูกวาดอยู่บนระนาบ X_1 และ X_2 แต่ละเส้นจะมีความสูงของพื้นผิวตอบที่เท่ากันค่าหนึ่ง



รูปที่ 2.4 พื้นผิวตอบแบบสามมิติ



รูปที่ 2.5 กราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวตอบ

ในปัญหาเกี่ยวกับพื้นที่ผิวตอบส่วนมาก จะไม่สามารถทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบและตัวแปรอิสระ ดังนั้น ขั้นตอนแรก ต้องหาตัวประมาณที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และเซตของตัวแปรอิสระ ซึ่งตามปกติแล้วจะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังต่ำ ๆ ที่อยู่ภายใต้อาณาเขตบางส่วนของตัวแปรอิสระ ถ้าแบบจำลองของผลตอบมีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นกับตัวแปรอิสระ ฟังก์ชันที่จะใช้ในการประมาณความสัมพันธ์ก็คือ แบบจำลองกำลังหนึ่ง

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon$$

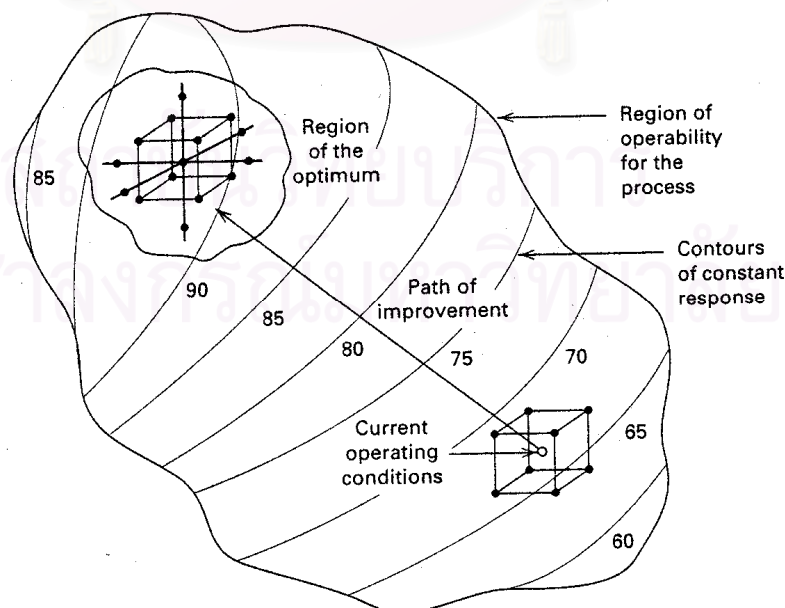
แต่ถ้ามีส่วนโค้งเข้ามาเกี่ยวข้องในระบบ จะใช้ฟังก์ชันพหุนามที่มีกำลังสูงขึ้น เช่น พหุนามกำลังสอง

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon$$

ปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวตอบส่วนมากจะใช้แบบจำลองหนึ่งในสองแบบที่กล่าวมา แน่แน่นอนว่าแบบจำลองพหุนามที่กล่าวมานี้จะไม่สามารถใช้ประมาณความสัมพันธ์ตลอดพื้นผิวทั้งหมดของตัวแปรอิสระ แต่ทว่าถ้าพื้นผิวที่สนใจอยู่นั้นมีขนาดค่อนข้างเล็กแล้ว แบบจำลองเหล่านี้จะใช้งานได้ดีพอสมควร

วิธีการกำลังสองน้อยสุด (Least Square Method) จะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองพหุนาม การวิเคราะห์พื้นผิวตอบจะเกิดขึ้นกับพื้นผิวที่สร้างขึ้นนี้ ถ้าพื้นผิวที่สร้างขึ้นสามารถใช้ประมาณฟังก์ชันผลตอบได้อย่างดีเพียงพอ ดังนั้นการวิเคราะห์พื้นผิวที่ถูกสร้างขึ้นมาจะสามารถใช้ประมาณได้เหมือนกับการวิเคราะห์ระบบจริง พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองสามารถประมาณได้เป็นอย่างดี ถ้าทำการออกแบบการทดลองเพื่อที่จะเก็บค่าได้อย่างเหมาะสม การออกแบบสำหรับการสร้างพื้นผิวตอบเรียกว่า การออกแบบพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Design)

การวิเคราะห์พื้นผิวเป็นวิธีการแบบมีลำดับขั้นตอน บ่อยครั้งจุดบนพื้นผิวตอบที่ห่างไกลออกไปจากจุดที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 2.6 พบว่าผลตอบของระบบนี้ไม่ค่อยเป็นส่วนโค้งและแบบจำลองกำลังหนึ่งก็พอเพียงในการสร้างแบบจำลอง วัตถุประสงค์ของการทดลองเพื่อปรับปรุงให้มากที่สุดและมีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อที่จะไปใกล้จุดที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็วที่สุด และเมื่อพบอาณาเขตของค่าที่ดีที่สุดแล้ว ให้นำแบบจำลองที่ซับซ้อนขึ้น เช่น แบบจำลองกำลังสอง เข้ามาวิเคราะห์และการทดลองเพื่อที่จะให้สามารถหาจุดที่ดีที่สุดได้ จุดประสงค์สุดท้ายของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบ คือ การหาเงื่อนไขในการทำงานที่ดีที่สุดสำหรับระบบ หรือเพื่อที่จะหาอาณาเขตของปัจจัยก่อให้เกิดการทำงานที่น่าพอใจ



รูปที่ 2.6 วิธีการอย่างมีลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวตอบ

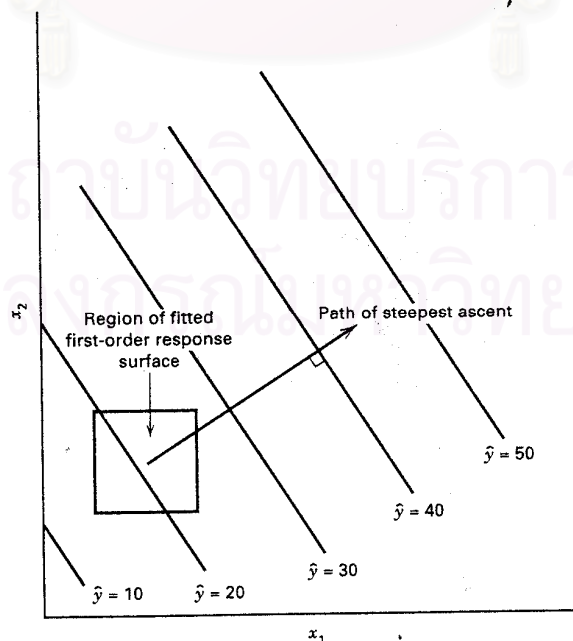
การป็นขึ้นด้วยทางชันที่สุด

การประมาณค่าเงื่อนไขการทำงานที่ดีที่สุดเบื้องต้นสำหรับระบบที่กำลังศึกษานั้นจะอยู่ห่างไกลจากจุดที่ดีที่สุดตัวจริง ในกรณีเช่นนั้นวัตถุประสงค์ของผู้ทำการทดลอง คือ การเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วจากจุดตั้งต้นไปสู่บริเวณใกล้กับจุดที่ดีที่สุด วิธีการที่ใช้ควรเป็นวิธีการที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ เมื่ออยู่ห่างไกลจากจุดที่ดีที่สุด โดยมากจะสมมติแบบจำลองกำลังหนึ่งนั้นเป็นแบบจำลองที่สามารถประมาณพื้นผิวที่แท้จริงสำหรับบริเวณเล็ก ๆ ของตัวแปร X

วิธีการป็นขึ้นด้วยทางชันที่สุด (Steepest Ascent) เป็นวิธีการที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่อย่างเป็นอันดับบนเส้นทางที่มีความชันมากที่สุด กล่าวคือ ในทิศทางที่มีการเพิ่มขึ้นของผลตอบสูงที่สุดแน่นอนถ้าต้องการหาค่าที่ต่ำที่สุดแทน เรียกว่าวิธีการป็นลงด้วยทางชันที่สุด (Steepest Descent) แบบจำลองกำลังหนึ่งที่ถูกสร้างขึ้นมาก็คือ

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i x_i$$

และพื้นผิวดอกกำลังหนึ่ง (First-Order Response Surface) จะเป็นเส้นโครงร่างของ \hat{y} ซึ่งเป็นอันดับเส้นขนาน ดังรูปที่ 2.7 ทิศทางของการป็นขึ้นด้วยทางชันที่สุดคือทิศทางที่ค่า \hat{y} มีค่าเพิ่มขึ้นรวดเร็วที่สุด ทิศทางนี้คือเส้นที่ขนานกับเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวที่ถูกสร้างขึ้นมา เส้นทางที่ผ่านจุดศูนย์กลางของอาณาเขตที่กำลังสนใจและตั้งฉากกับพื้นผิวที่สร้างขึ้นมาเป็นเส้นทางในการป็นขึ้นที่มีความชันสูงสุด ดังนั้น การก้าววาง (Step) บนเส้นทางเดินนี้จะเป็นส่วนหนึ่งกับสัมประสิทธิ์การถดถอย $\{\hat{\beta}_i\}$ ขนาดที่แท้จริงของก้าววางจะหาได้จากประสบการณ์กับกระบวนการของผู้ทำการทดลองหรือข้อพิจารณาทางปฏิบัติอื่น ๆ



รูปที่ 2.7 พื้นผิวดอกกำลังหนึ่งและเส้นทางป็นขึ้นด้วยทางชันที่ชันที่สุด

การทดลองจะมีการทำขึ้นบนเส้นทางที่มีความชันมากที่สุดจนกระทั่งค่าของผลตอบไม่ สามารถที่จะเพิ่มขึ้นอีกได้ หลังจากนั้นแบบจำลองกำลังหนึ่งตัวใหม่จะถูกสร้างขึ้นมา ต้องมีการ หาเส้นทางที่มีความชันสูงสุดขึ้นมาใหม่ และกระบวนการดังกล่าวที่กล่าวมาข้างต้นจะเกิดขึ้นอีก ครั้ง ในที่สุดก็จะมาสู่จุดที่อยู่ใกล้กับจุดที่มีค่าดีที่สุด ซึ่งจะถูกลบทิ้งโดยดูจาก Lack of Fit ของ แบบจำลองกำลังหนึ่ง เมื่อถึงตอนนั้นการทดลองเพิ่มเติมจะถูกดำเนินการขึ้นเพื่อหาตัวประมาณ ของค่าที่ดีที่สุด

2.7 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

2.7.1 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ R-Square

เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลองที่ความเหมาะสมเพียงใดซึ่งใน การทดลองทุกครั้งจะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained Variable) หรือความคลาด เคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดี จะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ให้น้อย ที่สุด

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

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ต่ำสามารถแก้ไขได้โดย

1. เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง
2. ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องแล้วออกแบบการทดลองใหม่
3. ทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square) ยังต่ำอยู่ แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise Factor) มีมาก ต้องทำการบล็อกกิง (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน

2.7.2 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ (Model Adequacy Checking)

$$\text{จากสมการ } y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

ซึ่ง μ คือ ค่าเฉลี่ย

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจากปัจจัย

ε คือ ความคลาดเคลื่อน

ในการออกแบบการทดลองส่วนใหญ่ มักตั้งสมมติฐานในการวิเคราะห์จากกรณีที่ y ตัวแปร มีการกระจายแบบแจกปกติ (Normal Distribution) ดังนั้น y จะมีการกระจายแบบนี้ได้ต้องให้ ε มีการกระจายแบบปกติด้วย และต้องเป็นการกระจายที่เป็นอิสระ $\varepsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$

การตรวจสอบ ε_{ij} มี 3 ขั้นตอน คือ

1. การตรวจสอบการกระจายว่าเป็นแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) หรือ ไม่ โดยใช้

- การทดสอบแบบไคร้สแควร์ (χ^2 – Goodness of Fit Test)
- การทดสอบแบบโคโมโกรอฟ-สเมอร์นอฟ (Kolmogorov-Smirnov Test)
- การทดสอบโดยใช้กระดาษตรวจสอบการแจกแจงปกติ (NOPP)

2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิ ว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่

3. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัย ถ้ารูปร่างของการกระจายของข้อมูลที่ออกมาไม่เป็นลักษณะของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของความแปรปรวน (Megaphone) แสดงว่าข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน

2.8 การทดสอบสมมติฐาน Hypothesis Testing

การทดสอบสมมติฐานเชิงสถิติ เป็นถ้อยแถลงที่เกี่ยวกับความน่าจะเป็นของตัวแปรแบบสุ่มที่มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ที่มากกว่าหรือเท่ากับหนึ่งค่าพารามิเตอร์โดยสมมติฐานแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

1. สมมติฐานที่กำหนด (Null Hypothesis) เป็นข้อสงสัยหรือข้อสมมติเกี่ยวกับลักษณะต่างๆในประชากรที่ต้องการพิสูจน์ว่าจริงหรือไม่ โดยใช้สัญลักษณ์ H_0

2. สมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis) เป็นข้อความหรือความคิดเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่หวังว่าจะเป็นโดยจะต้องมีความหมายที่แย้งกับสมมติฐานที่กำหนดโดยชัดเจน โดยใช้สัญลักษณ์ H_1 โดยโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะทำการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด (Reject H_0) จะถูกกำหนดโดยระดับนัยสำคัญ ซึ่งเป็นโอกาสหรือความน่าจะเป็นที่น้อยมากที่

ค่าพารามิเตอร์จะตกอยู่ในช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานเป็นจริง โดยทั่วไปมักจะทำการเปลี่ยนช่วงของการปฏิเสธสมมติฐานหรือระดับความมีนัยสำคัญเป็นค่าวิกฤติ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบหรือใช้ในการเปรียบเทียบหรือใช้ในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนดการตัดสินใจที่ยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนดอาจเกิดความผิดพลาดได้ 2 กรณี คือ

กรณี 1 ความผิดพลาดที่เกิดจากการปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้องหรือมีความเป็นจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 1 (Type I Error) ซึ่งความผิดพลาดนี้คือ ระดับความมีนัยสำคัญในการตรวจสอบสมมติฐาน

กรณี 2 ความผิดพลาดที่เกิดจากเกิดการยอมรับสมมติฐานที่กำหนด โดยที่สมมติฐานที่กำหนดมีความไม่ถูกต้องหรือไม่มีความจริง เรียกว่า ความผิดพลาดแบบที่ 2 (Type II Error) ซึ่งสามารถสรุปได้ดัง ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การตัดสินใจในการทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐานที่กำหนด	สมมติฐานที่กำหนดมีความถูกต้อง	สมมติฐานที่กำหนดไม่มีความถูกต้อง
ยอมรับ	การตัดสินใจถูกต้อง	ความผิดพลาดแบบที่ 2
ปฏิเสธ	ความผิดพลาดแบบที่ 1	การตัดสินใจที่ถูกต้อง

โอกาสหรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดความผิดพลาดแบบที่ 1 และแบบที่ 2 สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\alpha = P(\text{ความผิดพลาดแบบที่ 1})$$

$$= P(\text{ความปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง})$$

$$\beta = P(\text{ความผิดพลาดแบบที่ 2})$$

$$= P(\text{การยอมรับสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดไม่ถูกต้อง})$$

โดย $1 - \beta$ = อำนาจของการทดสอบ

$$= P(\text{การปฏิเสธสมมติฐานที่กำหนด: สมมติฐานที่กำหนดถูกต้อง})$$

2.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)

ภายหลังจากที่ได้ออกแบบการทดลอง และทำการทดลองแล้ว งานขั้นต่อไปก็คือ การนำข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติหรือหาแนวโน้มต่อไปโดยใช้หลักการของ ANOVA หรือ การถดถอย

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นวิธีการคำนวณแบบเลขคณิต โดยการแยกผลรวมกำลังสองทั้งหมด (Total Sum of Square: SS_T) ออกเป็นส่วนต่าง ๆ ตามแหล่งกำเนิดหรือสาเหตุ โดยจะวิเคราะห์ว่าปัจจัยใดมีอิทธิพลต่อการทดลองโดยพิจารณาความแตกต่าง โดยวัดความแตกต่างรวมออกมาในรูปของความแปรปรวนแล้วแตกออกมาเป็นแตกต่างย่อย ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างย่อยเหล่านั้น หากความแตกต่างใดมีค่ามากกว่า แสดงปัจจัยนั้นทำให้เกิดความแตกต่าง โดยมีผลต่อค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square; MS) ซึ่งเป็นตัวที่ประมาณค่าความแปรปรวนที่ดีที่สุด ซึ่ง

$$MS = \frac{SS}{df}$$

เมื่อ SS คือ ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)

df คือ ขั้นตอนของความอิสระ (Degree of Freedom)

สามารถอธิบายการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแต่ละแบบการทดสอบได้ดังนี้

1. การทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized อิทธิพล Design : CRD)

สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 2 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ที่รื้อถอนต่างกัน และความแปรปรวนเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่

(Fixed Effect Model)

$$\text{ตัวแบบ : } y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad i = 1, 2, \dots, a$$

$$; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

คือ y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับที่รื้อถอน i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากที่รื้อถอน i

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรให้ทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังสองทั้งหมด (The Total Sum of Squares) SS_T โดยที่

$$SS_T = \left(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 \right) - (y_{...}^2 / N)$$

$$SS_{Tr} = \left(\sum_{i=1}^a y_{i..}^2 / n \right) - (y_{..}^2 / N)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr}$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.2 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha, v1, v2}$ แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ One-Way- ANOVA

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of freedom (df)	Mean Squares (MS)	F_0
Treatment	SS_{Tr}	a-1	MS_{Tr}	MS_{Tr} / MS_E
Error	SS_E	N-a	MS_E	
Total	SS_T	N-1		

2. การทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCB)

สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็น 3 ส่วน คือ ความแปรปรวนเนื่องจากการให้ที่รีทเมนต์ต่างกัน ความแปรปรวนเนื่องจากการบล็อก และความแปรปรวนเนื่องจากการทดลองคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่

(Fixed Effect Model)

$$\begin{aligned} \text{ตัวแบบ : } y_{ijk} &= \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} & ; i = 1, 2, \dots, a \\ & & ; j = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

คือ y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j เมื่อได้รับทรีทเมนต์ i

μ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของทุกประชากร

τ_i คือ อิทธิพลอันเกิดจากทรีทเมนต์ i

β_j คือ อิทธิพลอันเกิดจากบล็อกที่ j

ε_{ij} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

ในการวิเคราะห์จะทำการแบ่งความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตออกเป็นส่วนๆ โดยจะกำหนดความผันแปรทั้งหมดของค่าสังเกตในรูปของผลรวมกำลังทั้งหมด (The Total Sum of Squares) SS_T โดยที่

$$SS_T = \left(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij}^2 \right) - (y_{\dots}^2 / N)$$

$$SS_{Tr} = \left(\sum_{i=1}^a y_{i.}^2 / n \right) - (y_{..}^2 / N)$$

$$SS_B = \left(\sum_{j=1}^b y_{.j}^2 / a \right) - (y_{..}^2 / N)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tr} - SS_B$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ของผลรวมกำลังของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.3 โดยที่ถ้าหากค่า $F_0 \leq F_{\alpha, v_1, v_2}$ แล้ว ถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับการทดลองแบบสุ่มในบล็อก

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of freedom (df)	Mean Squares (MS)	F_0
Treatment	SS_{Tr}	a-1	MS_{Tr}	MS_{Tr} / MS_E MS_B / MS_E
Block	SS_B	b-1	MS_B	
Error	SS_E	(a-1)(b-1)	MS_E	
Total	SS_T	N-1		

3. การทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial Experiment)

สามารถแยกความแปรปรวนทั้งหมดออกเป็นความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัย ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

ตัวอย่างการสร้างตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนกรณีที่มีตัวแปร 2 ตัว ของตัวแปรแบบที่มีอิทธิพลเป็นค่าคงที่(Fixed Effect Mode)

$$\text{ตัวแบบ } Y_{ijkl} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

$$\text{โดย } i = 1, 2, \dots, a$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

$$k = 1, 2, \dots, n$$

เมื่อ Y_{ij} คือ ค่าสังเกตที่ j ในทรีทเมนต์ที่ i

μ คือ พารามิเตอร์ คือ ค่าเฉลี่ยของค่าสังเกตทั้งหมด

τ_i คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ i

β_j คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ j

$(\tau\beta)_{ij}$ คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย A ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ i และปัจจัย B ที่เกิดจากทรีทเมนต์ที่ j

ϵ_{ijk} คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่ม

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$SS_A = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a y_{i..}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$SS_B = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b y_{.j.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$SS_{subtotals} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y_{ij.}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$$

$$SS_{AB} = SS_{Subtotals} - SS_A - SS_B$$

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B$$

ซึ่งรายละเอียดต่างๆของผลรวมกำลังสองของแต่ละตัวได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4 โดยที่ถ้า

หาก $F_0 \leq F_{\alpha, v_1, v_2}$ แล้วถือว่าปัจจัยนั้นไม่มีผล สามารถยอมรับ Null Hypothesis ได้

ตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวน สำหรับ Two-Fixed Effect Model

Source of Variation (SOV)	Sum of Squares (SS)	Degree of Freedom (df)	Mean Squares (MS)	F_0
A	SS_A	a-1	MS_A	MS_A/M_{SE}
B	SS_B	b-1	MS_B	MS_B/M_{SE}
AB	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	MS_{AB}	MS_{AB}/M_{SE}
Error	SS_E	ab(n-1)	M_{SE}	
Total	SS_T	Abn-1		

2.10 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต (Failure Mode and Effect Analysis)

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) เป็นการศึกษาถึงความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้น เพื่อจะระบุผลของมัน จุดประสงค์หลักของ FMEA คือเพื่อกำหนดแ่งมุมของการออกแบบผลิตภัณฑ์ การผลิตหรือการปฏิบัติงาน ซึ่งมีความวิกฤตต่อการเกิดความล้มเหลวในรูปแบบต่างๆ เพื่อที่จะลดความล้มเหลวนั้น

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) หรือการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบเป็นเทคนิคทางวิศวกรรมตัวหนึ่ง ที่ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษา วิเคราะห์ถึงข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นแล้ว เพื่อ

1. ระบุถึงผลกระทบ และความรุนแรงของข้อบกพร่องเหล่านั้น จะนำไปสู่การบ่งชี้และสาเหตุของข้อบกพร่องเหล่านั้น รวมถึงการพิจารณาอัตราการเกิดขึ้นของสาเหตุเหล่านั้น
2. ตรวจสอบการควบคุมในปัจจุบันว่า มีการควบคุมหรือป้องกันไม่ให้เกิดเหตุที่ถูกระบุว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร มีประสิทธิภาพในการควบคุม ตรวจสอบและป้องกันได้ดีเพียงไร
3. จัดลำดับความสำคัญและเร่งด่วนในการแก้ปัญหา
4. ทำการแก้ปัญหา(Corrective Action) สำหรับปัญหาและสาเหตุที่วิกฤต
5. รวบรวมแนวทางในการแก้ปัญหาโดยจัดเก็บเป็นลักษณะเอกสาร เพื่อให้สามารถนำมาศึกษาถึงแนวทางการปฏิบัติที่ผ่านมาจุดประสงค์หลักของ FMEA คือ การลดข้อบกพร่องต่างๆที่อาจเกิดขึ้น หรือเกิดขึ้นในการผลิตหรือการปฏิบัติงาน ซึ่งจำเป็นจะต้องใช้ประสบการณ์ ความสามารถและความเชี่ยวชาญจากแผนกต่าง ๆ เพื่อที่จะได้มาประชุมร่วมกันเพื่อระบุถึง

1. ข้อบกพร่อง
2. ผลกระทบและความรุนแรง
3. สาเหตุและอัตราการเกิด
4. วิธีการควบคุมและประสิทธิภาพในการควบคุม
5. แนวทางแก้ไข

FMEA มีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่น

1. Design FMEA เป็นการวิเคราะห์ลักษณะความล้มเหลวและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความล้มเหลวนั้นในการใช้งานผลิตภัณฑ์ โดยผู้ออกแบบ (Design) จะต้องคำนึงว่าในการใช้งานจริงนั้น จะเกิดความล้มเหลว (Failure) แบบใดขึ้นบ้าง และจะส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนอื่นๆ อย่างไร

2. Process FMEA เป็นการวิเคราะห์ลักษณะความล้มเหลวและผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการการผลิต หรือกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์

นอกจากนั้น ยังมีประเภทอื่นอีก เช่น Product FMEA หรือ System FMEA เป็นต้น ขึ้นตอนในการวิเคราะห์ FMEA

1. ระบุผลิตภัณฑ์หรือองค์ประกอบของระบบหรือส่วนของกระบวนการ
2. ทำรายการ Mode ของความล้มเหลวแต่ละส่วนนั้น
3. กำหนดผลที่แต่ละ Mode ของความล้มเหลวจะมีต่อส่วนต่างๆ ในข้อ 1.
4. ทำรายการสาเหตุที่เป็นไปได้ของแต่ละ Mode ของความล้มเหลว
5. ให้ประเมิน Mode ของความล้มเหลวนั้นเป็นตัวเลข มีสเกล 1-10 อาจจะใช้

ประสบการณ์หรือข้อมูลความเชื่อถืออื่นใด ร่วมกับวิจารณ์ญาณเพื่อกำหนดค่าดังกล่าวให้กับ

O : โอกาสในการเกิดความล้มเหลว (1=low, 10=high)

S : ความร้ายแรงหรือความวิกฤตของความล้มเหลวนั้น (1=low, 10=high)

D : ความยากลำบากในการค้นพบความเสียหายนั้นก่อนที่จะถึงมือลูกค้า

(1 = ง่าย 10 = ยาก)

6. คำนวณผลคูณของ O X S X D ซึ่งจะเรียกค่านี้ว่า RPN (Risk Priority Number) ทำให้การคำนวณทุก Mode ของความล้มเหลว ค่า RPN จะแสดงถึงความเร่งด่วนเมื่อเทียบกับ Mode อื่นๆ

7. ให้ระบุดำเนินการแก้ไข

2.11 การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis)

Factor Analysis หรือ การวิเคราะห์ปัจจัย หรือบางครั้งเรียกว่าการวิเคราะห์ตัวประกอบ เป็นเทคนิคที่จะจับกลุ่มหรือรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มหรือ Factor เดียวกัน ตัวแปรที่อยู่ใน Factor เดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันมาก โดยความสัมพันธ์นั้นอาจจะเป็นไปในทิศทางบวก (ไปในทางเดียวกัน) หรือทิศทางลบ (ไปในทางตรงกันข้าม) ก็ได้ ส่วนตัวแปรที่อยู่คนละ Factor จะไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

2.11.1 วัตถุประสงค์ของเทคนิค Factor Analysis

1. เพื่อลดจำนวนตัวแปรโดยรวมตัวแปรหลาย ๆ ตัวให้อยู่ในกลุ่ม หรือปัจจัย (Factor) เดียวกันโดยที่จำนวนปัจจัยจะน้อยกว่าจำนวนตัวแปร โดยการนำตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในปัจจัยเดียวกัน เช่น งานวิจัยเรื่องหนึ่งมีตัวแปร 15 ตัว (X_1, X_2, \dots, X_{15}) เมื่อใช้เทคนิค Factor Analysis แล้วอาจจะเหลือเพียง 3 ปัจจัยคือ

Factor ที่ 1 ประกอบด้วย $X_1, X_3, X_4, X_9, X_{10}, X_{13}, X_{14}, X_{15}$

Factor ที่ 2 ประกอบด้วย X_2, X_7, X_8, X_{12}

Factor ที่ 3 ประกอบด้วย X_5, X_6, X_{11}

กำหนดชื่อปัจจัยที่แสดงถึงความหมายของตัวแปรต่าง ๆ ที่อยู่ในปัจจัยนั้น เช่น คำถามเกี่ยวกับข้อมูลส่วนบุคคล ซึ่งอาจประกอบด้วย รายได้ อายุ และรายจ่าย เมื่อวิเคราะห์แล้วพบว่าตัวแปรทั้ง 3 ตัว ดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันมาก จะรวมอยู่ในปัจจัยเดียวกัน และอาจเรียกชื่อปัจจัยว่าฐานะทางสังคม (Social Class) ก็ได้

2. เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง (Confirmatory) ในงานวิจัยบางเรื่อง ผู้วิจัยต้องกำหนดความสำคัญหรือนำหนักให้กับตัวแปร เช่น ถ้าต้องการสร้างดัชนีวัดประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งจะพิจารณาจากตัวแปรหลาย ๆ ตัวเช่น ผลงาน (X_1), ระยะเวลาปฏิบัติงาน (X_2), จำนวนวันลา (X_3) โดยที่สมการแสดงความสัมพันธ์คือ

$$P = W_1X_1 + W_2X_2 + W_3X_3$$

โดยที่ P = ประสิทธิภาพการทำงาน
 W_1, W_2, W_3 เป็นน้ำหนักของตัวแปร X_1, X_2, X_3 ตามลำดับ

กรณีที่ผู้วิจัยกำหนดค่า W_1, W_2, W_3 เองอาจจะไม่ถูกต้องนัก ผู้วิจัยสามารถใช้เทคนิค Factor Analysis ในการตรวจสอบความถูกต้องของค่าดังกล่าวได้

2.11.2 ประโยชน์ของเทคนิค Factor Analysis

1. ลดจำนวนตัวแปร โดยการรวมตัวแปรหลาย ๆ ตัวให้อยู่ในปัจจัยเดียวกัน โดยถือว่าปัจจัยใหม่ที่เกิดขึ้นเป็นตัวแปรใหม่ ที่สามารถหาค่าของปัจจัยที่สร้างขึ้นได้ เรียกว่า Factor Score จึงสามารถนำปัจจัยดังกล่าวไปเป็นตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป เช่น

- การวิเคราะห์ความถดถอย และสหสัมพันธ์ (Regression and Correlation Analysis)
- การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)
- การทดสอบสมมติฐาน t-test , Z-test
- การวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant Analysis) เป็นต้น

2. ใช้ในการแก้ปัญหาการที่ตัวแปรอิสระของเทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยมีความสัมพันธ์กัน (Multicollinearity) วิธีการอย่างหนึ่งในการแก้ปัญหา Multicollinearity คือ การรวมตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กันไว้ด้วยกัน โดยการสร้างเป็นตัวแปรใหม่ หรือเรียกว่าปัจจัย โดยใช้เทคนิค Factor Analysis แล้วนำปัจจัยดังกล่าวไปเป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ความถดถอยต่อไป เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวจะไม่มีความสัมพันธ์กัน จึงเป็นการแก้ปัญหา Multicollinearity

3. ทำให้เห็นโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา เนื่องจากเทคนิค Factor Analysis จะหาสัมประสิทธิ์สัมพันธ์ (Correlation) ของตัวแปรทีละคู่แล้วรวมตัวแปรที่สัมพันธ์กันมากไว้ในปัจจัยเดียวกัน จึงสามารถวิเคราะห์ถึงโครงสร้างที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ที่อยู่ในปัจจัยเดียวกันได้

4. ทำให้สามารถอธิบายความหมายของแต่ละปัจจัยได้ ตามความหมายของตัวแปรต่าง ๆ ที่อยู่ในปัจจัยนั้น ทำให้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนได้ เช่น ในการศึกษาถึงปัจจัยหรือตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ ผู้วิจัยได้พิจารณาถึงตัวแปรที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อ 14 ตัว ดังนี้

X1 : ค่าใช้จ่ายในการซ่อม	X8 : ความสะดวกสบาย
X2 : มีสีให้เลือกมาก	X9 :ขนาดของเครื่องยนต์
X3 : พื้นที่ภายในรถ	X10 :ความเพริ้วของรถยนต์
X4 : การประหยัดน้ำมัน	X11:ความยาก/ง่ายในการขับ
X5 : การดูแล	X12 :รูปทรงสะดุดตา
X6 : รูปทรงทันสมัย	X13 : พื้นที่เก็บของ
X7 : ราคาขายต่อ	X14 :จอดง่าย

แล้วให้กลุ่มตัวอย่างให้คะแนนความสำคัญแก่แต่ละตัวแปร โดยคะแนนอยู่ในช่วง 1-10 คะแนน ถ้าให้คะแนน 1 หมายถึง ให้ความสำคัญน้อยที่สุด และคะแนน 10 หมายถึง ให้ความสำคัญมากที่สุด เมื่อใช้เทคนิค Factor Analysis แล้วปรากฏว่าสามารถแบ่งได้เป็น 4 ปัจจัย ดังนี้

ตารางที่ 2.5 แสดงการจับกลุ่มปัจจัยด้วย Factor Analysis

Factor ที่ 1	Factor ที่ 2	Factor ที่ 3	Factor ที่ 4
X3 : พื้นที่ภายในรถ	X1 : ค่าใช้จ่ายในการซ่อม	X2 : มีสีให้เลือกมาก	X11:ความยาก/ง่ายในการขับ
X8 : ความสะดวกสบาย	X4 : การประหยัดน้ำมัน	X6 : รูปทรงทันสมัย	X14 :จอดง่าย
X13 : พื้นที่เก็บของ	X7 : ราคาขายต่อ	X10 :ความเพริ้วของรถยนต์	
	X9 :ขนาดของเครื่องยนต์	X12 :รูปทรงสะดุดตา	

และถ้าจากผลของการวิเคราะห์พบว่า Factor ที่ 1 มีความสำคัญมากที่สุดต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ รองลงมาเป็น Factor ที่ 2 , 3 และ 4 ตามลำดับ ในที่นี้จะกำหนดชื่อ Factor ที่ 1-4 ให้สอดคล้องกับตัวแปรที่อยู่ใน Factor นั้น ๆ ดังนี้

Factor ที่ 1 คือ ปัจจัยด้านความสะดวกสบายของรถยนต์ (Comfortability)

Factor ที่ 2 คือ ปัจจัยด้านค่าใช้จ่าย (Cost efficiency)

Factor ที่ 3 คือ ปัจจัยด้านรูปร่าง, รูปทรงของรถยนต์ (Stylishness)

Factor ที่ 4 คือ ปัจจัยด้านความสะดวกในการขับขี่ (Ease of handling)

2.11.3 หลักเกณฑ์ของเทคนิค Factor Analysis

เทคนิค Factor Analysis ใช้ในการลดจำนวนตัวแปร หรือกล่าวได้ว่าเป็นเทคนิคที่ใช้ในการเปลี่ยนตัวแปรเดิมที่มีความสัมพันธ์กันให้เป็นตัวแปร หรือปัจจัยใหม่ที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยที่ปัจจัยที่ได้เป็น Linear combination ของตัวแปรเดิม โดยจะพยายามนำรายละเอียดจากตัวแปรเดิมต่าง ๆ มาไว้ในปัจจัยให้มากที่สุด เช่น จากตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อรถยนต์ ซึ่งปัจจัยที่ 1 ประกอบด้วยตัวแปร 3 ตัวคือ X_3 , X_8 และ X_{13} นั้นหมายความว่าตัวแปร X_3 , X_8 และ X_{13} มีความสัมพันธ์กันมาก และสามารถนำรายละเอียดจาก X_3 , X_8 และ X_{13} มาไว้ใน Factor 1 ได้มากที่สุด โดยที่เขียนสมการเชิงเส้นแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$F1 = W_3X_3 + W_8X_8 + W_{13}X_{13} + e$$

สำหรับการวัดปริมาณรายละเอียดของแต่ละ Factor จะวัดจากค่าแปรปรวน (Variance) ของปัจจัยนั้น ๆ

สำหรับสมการที่ใช้ในการประมาณค่าปัจจัยที่ j คือ

$$F_j = W_{j1}X_1 + W_{j2}X_2 + \dots + W_{jp}X_p + e$$

โดยที่

$$X_j = \text{ตัวแปรที่ } j$$

$$W_j = \text{สัมประสิทธิ์ของตัวแปรที่ } j$$

นอกจากนั้น ยังสามารถแสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวแปร X_i ซึ่งเป็น Linear combination ของ Factor ต่าง ๆ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= L_{11} F_1 + L_{12} F_2 + \dots L_{1m} F_m + e_1 \\
 Z_2 &= L_{21} F_1 + L_{22} F_2 + \dots L_{2m} F_m + e_2 \\
 &\vdots \\
 Z_3 &= L_{31} F_1 + L_{32} F_2 + \dots L_{3m} F_m + e_p \\
 \text{โดยที่} \quad Z_i &= \text{ตัวแปร } X_j \text{ ที่ทำการ Standardized แล้ว ; } j = 1, 2, \dots, p \\
 P &= \text{จำนวนตัวแปร} \\
 m &= \text{จำนวน Factor ; } m < p \\
 F_1, \dots, F_m &= \text{Common Factors} \\
 e &= \text{Unique Factor = error} \\
 L_{ij} &= \text{ค่าสัมประสิทธิ์ หรือเรียกว่า Factor loading}
 \end{aligned}$$

Factor loading หรือสัมประสิทธิ์ เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เนื่องจากตัวแปร X_j s ได้ถูก Standardized เป็น Z_j แล้วซึ่งทำให้ค่า Factor loading มีค่าระหว่าง -1 ถึง +1 ค่า Factor loading จะใช้ในการพิจารณาว่าตัวแปรแต่ละตัวอยู่ใน Factor ไต

2.11.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ของเทคนิค Factor Analysis

การนำเทคนิค Factor Analysis ไปวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจัดกลุ่ม หรือจำแนกกลุ่มตัวแปร แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 : การตรวจสอบว่าตัวแปรต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กันหรือไม่

ถ้าตัวแปรมีความสัมพันธ์กันมาก หรือมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญจะสามารถใช้เทคนิค Factor Analysis ได้ ถ้าตัวแปรไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือมีความสัมพันธ์กันน้อยไม่ควรใช้เทคนิค Factor Analysis

ขั้นที่ 2 : การสกัดปัจจัย (Factor Extraction)

เป็นขั้นตอนย่อยของเทคนิค Factor Analysis วัตถุประสงค์ของการสกัดปัจจัย คือ การหาจำนวน Factor ที่สามารถใช้แทนตัวแปรทั้งหมดทุกตัวได้ หรือเป็นการดึงรายละเอียดจากตัว

แปรมาไว้ใน Factor วิธีการสกัดปัจจัยมีหลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวถึง Principal Component Analysis หรือ PCA ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด

Principal Component Analysis ในที่นี้เรียกย่อ ๆ ว่า PCA เป็นเทคนิคที่มีวัตถุประสงค์ที่จะนำรายละเอียดของตัวแปรที่มีจำนวนตัวแปรมาก ๆ มาไว้ในปัจจัยที่มีเพียงไม่กี่ปัจจัย โดยจะพิจารณาจากรายละเอียดทั้งหมดจากแต่ละตัวแปร

ในการวิเคราะห์ Principal Component Analysis จะสร้าง Linear combination ของตัวแปร โดยที่

- Factor ที่ 1 จะเป็น Linear combination แรกและมีรายละเอียดจากตัวแปรทั้งหมดมากที่สุด หรือกล่าวได้ว่ามีค่าแปรปรวนสูงสุด
- Factor ที่ 2 จะเป็น Linear combination ของตัวแปร เช่นกัน และสามารถนำรายละเอียดที่เหลือจาก Factor ที่ 1 โดยพยายามนำรายละเอียดจากที่เหลือมาใส่ใน Factor ที่ 2 ให้มากที่สุด โดยที่ Factor ที่ 2 จะต้องตั้งฉาก (Orthogonal) กับ Factor แรก หรือกล่าวได้ว่า Factor ที่ 2 ไม่มีความสัมพันธ์กับ Factor ที่ 1 ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาการเกิด Multicollinearity
- Factor ที่ 3 เป็น Linear combination ของตัวแปรเช่นกัน ไม่มีความสัมพันธ์กับ Factor ที่ 1 และ 2 และสามารถนำ Information ที่เหลือจากตัวแปรให้มากที่สุด
- ในทำนองเดียวกัน การสร้าง ที่ Factor 4 , 5 , ... ก็ใช้หลักเกณฑ์ดังกล่าวข้างต้น

ในขั้นที่ 2 นี้จะทำให้สามารถประมาณค่า Factor loading ได้โดยที่ค่า Factor loading จะเป็นค่าที่ใช้ในการพิจารณาว่ามีตัวแปรใดบ้างที่ควรจะมีอยู่ใน Factor เดียวกัน ในแต่ละ Factor ให้พิจารณาค่า Factor loading ของตัวแปรใดมีค่ามาก (เข้าสู่ +1 หรือ -1) ควรจัดตัวแปรนั้นอยู่ใน Factor ดังกล่าว ในบางกรณีค่า Factor loading มีค่ากลาง ๆ เช่น ถ้ามี 2 Factor แล้วพบว่า Factor loading ของตัวแปร X5 ใน Factor ที่ 1 เป็น 0.42 และใน Factor ที่ 2 เป็น 0.51 ทำให้ไม่แน่ใจว่าควรจัดตัวแปร X5 อยู่ใน Factor ที่ 1 หรือ 2 ก็ควรจะทำ การหมุนแกน

ขั้นที่ 3 การหมุนแกนปัจจัย (Factor Rotation)

กรณีที่ค่า Factor loading มีค่ากลาง ๆ ทำให้ไม่สามารถจัดตัวแปรว่าควรอยู่ใน Factor ใดได้นั้น จะต้องทำการหมุนแกน ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการหมุนแกนปัจจัยคือเพื่อทำให้ค่า

Factor loading ของตัวแปร มีค่ามากขึ้นหรือลดลงจนกระทั่งทำให้ทราบว่าตัวแปรนั้นควรอยู่ใน Factor ไດ หรือไม่ควรอยู่ใน Factor ไດ

วิธีหมุนแกนปัจจัย

วิธีการหมุนแกนปัจจัยมี 2 วิธีใหญ่ ๆ คือ

1.Orthogonal Rotation

เป็นการหมุนแกนปัจจัยไปแล้วยังคงทำให้ Factor ตั้งฉากกัน หรือเป็นอิสระกันแต่ทำให้ค่า Factor loading เพิ่มขึ้นหรือลดลง

2.Oblique Rotation

เป็นการหมุนแกนปัจจัยไปในลักษณะที่ Factor ไม่ตั้งฉากกัน หรือ Factor ไม่เป็นอิสระกันนั่นเอง แต่ทำให้ค่า Factor loading มากขึ้นหรือลดลง

ขั้นที่ 4 การคำนวณค่า Factor Score

เมื่อสามารถจัดตัวแปรที่มีอยู่จำนวนมากเหลือเป็นกลุ่มตัวแปรไม่กี่กลุ่ม สามารถคำนวณหาค่า Factor score ของแต่ละ case ได้ เช่น ถ้ามี 2 Factor ก็สามารถคำนวณหา ค่า Factor score ของทั้ง 2 Factor ได้ และถือว่าทั้ง 2 Factor เป็นตัวแปรที่นำไปวิเคราะห์ต่อได้

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.12.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระดาษ

1. Niklas Garoff , (2003)

ได้พิสูจน์ว่าการเติมสารหล่อลื่นในกระดาษกรอง (Filter paper) ไม่มีผลกระทบต่อ Friction hysteresis ซึ่งแสดงถึงแรงเสียดทานที่ส่งเสริมซึ่งกันและกันจะถูกครอบคลุมด้วยปัจจัยทางเครื่องกลมากกว่าปัจจัยทางผิวด้านเคมี กระดาษต่างเกรดกันจะมี Friction hysteresis ที่ต่างกัน ความแข็งจะมีความสัมพันธ์ระหว่าง Friction hysteresis และแนวโน้มของเยื่อกระดาษ Friction hysteresis เพิ่มขึ้นจะปรากฏว่าความเค้นปกติก็เพิ่มขึ้นด้วย Friction hysteresis มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกับทิศทางการลื่น

วิธีการหา Friction hysteresis

$$FH(\%) = 100 \times \frac{1}{5} \sum_{n=1}^5 \frac{\bar{F}_{n,\max} - \bar{F}_{n,\min}}{\bar{F}_{n,\max}}$$

n = จำนวนของลำดับ

\bar{F}_{\max} = ค่าเฉลี่ยที่บันทึกในทิศทางตรงข้ามกับ Slide

\bar{F}_{\min} = ค่าเฉลี่ยที่บันทึกในทิศทาง Sliding direction

2. วรพงศ์ นาวารกุล , (2546)

ได้เสนอการลดความแปรปรวนของน้ำหนักกระดาษเกรด 75 g/m² โดยก่อนการปรับปรุงของน้ำหนักมาตรฐานกระดาษคือ 1.98 g/m² และดัชนีสมรรถนะรวมของกระบวนการคือ 0.71 ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัย 2 ปัจจัย (Two Factor Analysis of Variance) พบว่าความแตกต่างของน้ำหนักมาตรฐานในแนวตามยาวเครื่องและในแนวตามขวางเครื่องอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าปัจจัยทางด้านแนวตามขวางเครื่องมีผลกระทบต่อน้ำหนักมาตรฐานมากกว่า และผลของอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยในแนวตามยาวและแนวตามขวางไม่มีผลต่อน้ำหนักมาตรฐาน

3. ชนัตต์ โรจนะบุรานนท์ , (2546)

นำหลักการของการออกแบบการทดลองมาทำการวิเคราะห์เพื่อลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการพิมพ์ออฟเซต 4 สี โดยการปรับค่าความเปรียบต่างสี เนื่องจากค่า Print contrast มีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพ และการเกิดปัญหาต่าง ๆ ของงานพิมพ์ โดยมีปัจจัยที่มีความสำคัญ ดังนี้ คือ ปริมาณหมึกของ Ink key รอบการจ่ายหมึกและรอบการจ่ายน้ำ รวมทั้งมีอิทธิพลร่วมของของ ปริมาณหมึกของ Ink key และรอบการจ่ายหมึก ปริมาณหมึกของ Ink key และรอบการจ่ายน้ำ รอบการจ่ายหมึกและรอบการจ่ายน้ำ ผลจากการปรับปรุงกระบวนการผลิต สามารถปรับปรุงความเปรียบต่างสีให้สูงขึ้นทำให้ความสูญเสียเปล่าลดลงตามวัตถุประสงค์ ก่อนปรับปรุงมีค่าความสามารถของกระบวนการ Cpk ของ สีดำ (Black) อยู่ที่ 0.22 สีฟ้า (Cyan) อยู่ที่ 0.74 สีแดง (Magenta) อยู่ที่ 0.43 สีเหลือง (Yellow) 0.51 และหลังปรับปรุงมีค่าความสามารถของกระบวนการ Cpk ของ สีดำ (Black) อยู่ที่ 1.44 สีฟ้า (Cyan) อยู่ที่ 1.24 สีแดง (Magenta) อยู่ที่ 1.41 สีเหลือง (Yellow) 1.13

4. รเมศ สโมสร, (2545)

ได้นำหลักการออกแบบการทดลองมาทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านความแกร่งคือ ปริมาณแป้ง CATO ปริมาณหินปูน J/W ratio แรงกดของเครื่องกด แรงกดของเครื่องขัดกระดาษ คุณสมบัติของเครื่องขัดกระดาษ ปริมาณความชื้นของกระดาษ รวมทั้งชนิดสัดส่วน และน้ำหนักของเยื่อกระดาษในแต่ละชั้น โดยมีดัชนีความแกร่งของกระดาษดูเพล็กซ์บอร์ด

เป็นตัวแปรตอบสนอง จากการวิเคราะห์พบว่า ชนิด สัดส่วนและน้ำหนักของเยื่อกระดาษในแต่ละชั้น เป็นสาเหตุหรือปัจจัยแห่งความผันแปรที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติด้านความแกร่งของกระดาษดูเพล็กซ์

5. ลัดดา เรียงเลิศ (2538)

ทำการศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการพิมพ์สี ในโรงงานผลิตพื้นยางนีโอไลท์ อุปกรณ์สำคัญที่ต้องใช้ในการวิจัยคือ เครื่องพิมพ์ระบบกราฟเวียร์ และเครื่องวัดการสะท้อนแสงของสี (Chroma meter) วิธีการที่นำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัยคือ 1. การจัดทำค่าอ้างอิงของสี 2. การจัดทำระบบการทดสอบหมึกพิมพ์ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิต 3. การปรับตั้งค่าของเครื่องพิมพ์ให้เป็นแบบคงที่ โดยการทดสอบปัจจัยที่สำคัญของเครื่องพิมพ์ที่คาดว่าจะมีผลต่อการปรับตั้งเครื่อง 4. การปรับเปลี่ยนขั้นตอนของการทำงานใหม่ ผลการวิจัยที่ได้พบว่าหลังจากการปรับปรุงกระบวนการพิมพ์แล้ว ทำให้เวลาที่ใช้ในการปรับตั้งกระบวนการ (Set up Time) ลดลงจากเดิม 74.70% ซึ่งหมายถึงว่า เวลาที่ใช้ในการผลิต (Production Time) มีค่าเพิ่มขึ้น โดยวัดผลจากปริมาณของผลผลิตที่ได้ ทำการเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการ รวมถึงการเปรียบเทียบเกรดของผลิตภัณฑ์ที่ได้ก่อนและหลังการปรับปรุงกระบวนการด้วย ซึ่งถือเป็นการเปรียบเทียบทางด้านคุณภาพ จากผลสรุปที่ได้ของการวิจัยในครั้งนี้ พบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเมื่อวัดจากปริมาณผลผลิตที่ได้หลังการปรับปรุงมีค่าเพิ่มขึ้น 74.08% และเกรด A ของผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้น 13.6%

2.12.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคนิคทางด้านการออกแบบการทดลอง

1. กฤษดา อัสวรุ่งแสงกุล , (2542)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ กล่าวถึงการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดรอยบิ่นและรอยร้าวในกระบวนการตัดขั้นตอนสุดท้ายของการตัดหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์และหาเงื่อนไขหรือวิธีการปรับปรุงที่เหมาะสมในกระบวนการตัดหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ทำการกรองปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาดังกล่าวได้ 5 ปัจจัย คือ ความเร็วรอบในการตัด อัตราการป้อนตัด จำนวนครั้งในการเดินลับใบมีด ความลึกของใบมีดในการตัดและทิศทางการตัด โดยทำการออกแบบการทดลองแบบ $\frac{1}{2}$ ของ 2^k แฟคทอเรียล (One-Half Fraction of the 2^k design) ผลจากการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวอย่างมีนัยสำคัญคือ ความเร็วรอบในการตัดและทิศทางการตัด สภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้ปัญหาดังกล่าวลดลง คือ ตั้งความเร็วรอบในการตัดที่ 8, 500 รอบต่อนาที และทิศทางการตัดเริ่มตั้งจากด้าน Pole สู่ด้าน Taper

แต่พอนำไปใช้งานจริงปรากฏว่าปัญหาจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวไม่ลดลง จึงทำการหาปัจจัยเพิ่มคือความถี่ในการลับมีดระหว่างการตัด แล้วจึงทำการยืนยันผลการทดลองอีกผลปรากฏว่าปัญหาจำนวนจำนวนรอยบิ่นและรอยร้าวลดลงเป็นที่น่าพอใจในการทำงานปัจจุบัน

2. ชวลิต ต่อประสิทธิ์กุล , (2545)

วิทยานิพนธ์นี้ กล่าวถึงการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพการพ่นสีของอุปกรณ์หัวพ่นสีแบบระฆัง (Bell Cup) ที่ใช้ในปืนพ่นสีอัตโนมัติ (Bell Gun) เพื่อนำมาใช้ในการปรับปรุงหัวพ่นสีแบบระฆังที่ชำรุดและนำกลับมาใช้ใหม่ ทำการหาปัจจัยโดยศึกษาจากคู่มือการใช้งานของปืนพ่นสีอัตโนมัติแบบ Bell Gun สอบถามข้อมูลจากผู้ผลิตอุปกรณ์หัวพ่นสีและโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้งานปืนพ่นสีอัตโนมัติแบบ Bell Gun ถึงวิธีการดูแลรักษาและการซ่อมบำรุง, ศึกษาข้อมูลจากหน่วยงานซ่อมและทำการประชุมระดมสมองจากหัวหน้าคนงาน พนักงานวิศวกร และผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ ทำการกำหนดปัจจัยและระดับในการทดลอง ดังนี้

ปัจจัย	ระดับ	
	-	+
1. ความลึกของร่องรีดสี (หน่วย มม.)	0.05	0.1
2. จำนวนของร่องรีดสีบนหัวพ่นสี (หน่วย จำนวนร่อง)	760	800
3. ความเร็วรอบการหมุนเวลาทำการพ่นสี (หน่วย รอบ/นาที)	30,000	33,000
4. ความเร็วรอบการหมุนของมีดกัด (หน่วย รอบ/นาที)	300	350

ทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k สรุปผลการทดลองได้ว่าปัจจัยที่มีผลกระทบมากที่สุด คือ จำนวนร่องรีดสี ความเร็วรอบการหมุนเวลาพ่นสีและความลึกของร่องรีดสีตามลำดับ หลังจากได้ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของหัวพ่นสีแล้ว จึงกำหนดขั้นตอนการปรับปรุงหัวพ่นสีให้สามารถทำงานได้โดยไม่เกิดปัญหาคุณภาพ คือ การทำความสะอาดหัวพ่นสีที่ชำรุดและการขึ้นรูปร่องสีใหม่ นอกจากนี้ยังทำการวิเคราะห์สาเหตุของการชำรุดของหัวพ่นสีและกำหนดวิธีการป้องกันเพื่อลดปัญหาการชำรุดของการพ่นสีโดยใช้เทคนิค FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)

3. Douglas C. Montgomery, (1999)

บทความนี้ได้กล่าวถึง สถิติการออกแบบการทดลองถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง ประกอบด้วยการออกแบบและพัฒนากระบวนการผลิต กระบวนการผลิตประกอบด้วย วัตถุดิบ คน เครื่องมืออุปกรณ์และกระบวนการ ฯลฯ

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. หาดัชนีแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลตอบ y
2. หาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y เพื่อให้ y อยู่ในค่าที่ต้องการ
3. หาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y เพื่อให้ y มีค่าน้อย
4. หาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y เพื่อให้ผลของตัวแปรที่เราไม่สามารถควบคุมได้ Z_1, Z_2, \dots, Z_q

การออกแบบการทดลองบนพื้นฐานกลยุทธ์สำหรับการพัฒนากระบวนการ ประกอบด้วย 3 เฟส

- การแสดงลักษณะเฉพาะ (Characterization)
- การควบคุม (Control)
- ความเหมาะสมที่สุด (Optimization)

การแสดงลักษณะเฉพาะ (Characterization) พิจารณาถึงตัวแปรกระบวนการที่มีผลต่อตัวแปรผลตอบ บ่อยครั้งในสถานะเริ่มต้นของการพัฒนาและการออกแบบมีการอธิบายถึงตัวแปรมากมาย ซึ่งแสดงถึงมีความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมน้อย เพราะฉะนั้นเบื้องต้นของการซึ่งบ่งตัวแปรต้องเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญเพื่อให้การพัฒนากระบวนการประสบความสำเร็จ

บทความนี้กล่าวถึงการออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียลใช้กันมากในระบบการแสดงผลลักษณะเฉพาะ (Characterization) ในทางปฏิบัติใช้การออกแบบ 2^k และ 2^{k-p} รวมทั้งจุดที่อยู่ศูนย์กลาง โดยปกติสถิติมีหลายอย่างที่ใช้ในการรองรับปัจจัย มีการใช้ 2^k ด้วยจุดที่อยู่ศูนย์กลางในการประเมินผลกระทบกำลังหนึ่งและป้องกันอีกครั้งด้วย Pure quadratic curvature

การควบคุม (Control) กล่าวถึงความมั่นคงของกระบวนการหรือการพิจารณาการทำงาน ของระบบ ให้ความสำคัญของ Taguchi ได้สังเกตถึงผลกระทบของมัชฌิมของตัวแปรตอบสนอง ประกอบด้วย ตำแหน่ง การกระจายและลำดับของผลกระทบ

ความเหมาะสมที่สุด (Optimization) เกี่ยวกับการหาการตั้งตัวแปรที่สำคัญของกระบวนการ ที่ให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขการทำงานสำหรับกระบวนการ กล่าวถึง RSM เป็นพื้นฐานที่มีประสิทธิภาพในการหาความเหมาะสมที่สุดของกระบวนการหรือการออกแบบ Taguchi's robust design

การสร้างของการออกแบบการทดลอง

ในงานวิจัยศึกษาถึงปริมาณของการบัดกรีตามเป้าหมายที่ตั้งไว้และความแปรปรวนของกระบวนการ โดยมีการกรองปัจจัยจากกระบวนการผลิตแผ่นฉลุลูกการพิมพ์ ที่สำคัญ 5 ปัจจัยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ดังนี้

A - แรงดัน Squeegee ที่ระดับ 8 และ 16 lb/in²

B - ความเร็ว Squeegee ที่ระดับ 0.5 และ 3.0 lb/in²

C - Snapoff ที่ระดับ - 0.01 และ 0.04 in

D - ความเร็ว Snapoff ที่ระดับ - 1 และ + 1

E - Downstop ที่ระดับ 0.03 และ 0.08 in

ในการทดลองมีปัจจัยอุณหภูมิและความชื้น เป็นปัจจัยที่รู้แต่ไม่สามารถควบคุมได้ (Nuisance) ดังนั้นในการทดลองจะทำการตั้งเป็นค่าคงที่ไป ในการทดลองออกแบบเลือกใช้การทดลองการทดลองเศษส่วน $\frac{1}{2}$ ของ 2^5 หรือ 2^{5-1} โดยนิยามให้ $F = ABCDE$ ใช้ Resolution V ตัวแปรผลตอบประกอบด้วย Y_1 เท่ากับปริมาณการเชื่อมและ Y_2 เท่ากับความผันแปรของการเชื่อม วิเคราะห์โดยสถิติและหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของต้นแบบกระบวนการ

การวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ระยะ การลดข้อมูลและการจัดระบบ คือ การวัดวัตถุดิบและผลผลิต การวิเคราะห์เบื้องต้น (Preliminary analysis) มีวัตถุประสงค์ที่คือการหาปัจจัยและอันตรกิริยาที่สำคัญ และความเหมาะสมที่สุดของกระบวนการ (Process optimization) ผลจากการทดลองมีผลทำให้ค่าเป้าหมายที่เหมาะสมของการบัดกรีเท่ากับ 7146 ความแปรปรวนเท่ากับ 257.852 เป็นที่น่าพอใจที่ 80.6 % ในทิศทางบวกของ Squeegee สำหรับทิศทางลบของ Squeegee ได้ค่าที่เหมาะสมของการบัดกรีเท่ากับ 7153 ความแปรปรวน 236.441 เป็นที่น่าพอใจ 82.6 % ทำการตั้งค่าของกระบวนการดังนี้

- A - แรงดัน Squeegee ที่ระดับ 16 lb/in^2
 B - ความเร็ว Squeegee ที่ระดับ $2.5 - 3.0 \text{ lb/in}^2$
 C - Snapoff ที่ระดับ $- 0.01 \text{ in}$
 D - ความเร็ว Snapoff ที่ระดับ $+ 1$
 E - Downstop ที่ระดับ 0.08 in (ไม่มีอิทธิพล)

4. Narinder Singh Sahni , (2001)

บทความนี้กล่าวถึงปัญหาการทดลองในอุตสาหกรรมถึงการนิยามปัญหา , การออกแบบการทดลองที่เหมาะสม, การวัดผลตอบที่เหมาะสมและการใช้เทคนิคอธิบายปรากฏการณ์ที่ศึกษา และการวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายโดยใช้เทคนิคหลายตัวแปร (Multivariate technique)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3 ประการ

1. การตรวจสอบความแตกต่างของลักษณะเฉพาะของผลตอบในระบบการที่เป็นจุดวิกฤตในการควบคุม
2. ศึกษาเกี่ยวกับการวัดผลตอบ Near-Infrared spectroscopy (NIRS)
3. การประเมินความสัมพันธ์ระหว่างการวัดผลตอบของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปและความยาวของคลื่นแม่เหล็ก NIR เกี่ยวกับความแตกต่างของการผสมตัวอย่างท่ามกลางสายการผลิต

คุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปขึ้นอยู่กับหลักเกณฑ์ 2 อย่าง คือ วัตถุประสงค์ และลักษณะทางกายภาพของกระบวนการ ในการวิจัยทำการออกแบบการทดลองโดยเลือกปัจจัยที่ศึกษา คือวัตถุประสงค์ 2 ปัจจัยและตัวแปรด้านกระบวนการผลิต 5 ตัวแปร ปัจจัยแป้งและกรดทำการทดลองโดยถือเป็นค่าคงที่ สรุปปัจจัยที่ทำการทดลองได้ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัตถุดิบ ตัวแปร	Unit	ระดับ	
		-	+
(A) Egg (C_{egg})	%	3.5	5
(B) Oil (C_{oil})	%	32	38.8

กระบวนการ ตัวแปร	Unit	ระดับ		
		-	C_p^a	+
(a) Heat exchanger (T_{vv})	$^{\circ}C$	78	82	86
(b) Cooler 1 (T_{coller})	$^{\circ}C$	15	17.5	20
(c) Emulsifying Cylinder (V_{eml})	rpm	700	850	1000
(d) Viscorotor (V_{visc})	rpm	280	340	380
(e) Flow (Q)	kg / h	35	40	45

C_p^a = Center point experiment

ทำการออกแบบ Split-plot design กำหนดตัวแปรของวัตถุดิบในทอม Whole-plot (WP) มี 2 ตัวแปร และกำหนดตัวแปรของกระบวนการในส่วนย่อยในทอมของ Sup-plot (SS) มี 4 ถ้าทำการออกแบบแฟคทอเรียลแบบสมบูรณ์ (Full factorial) 2^7 ต้องทำการทดลอง 128 ต้องใช้เวลาในการทดลองนานมาก ดังนั้นถ้าใช้การออกแบบเศษส่วนเชิงแฟคทอเรียล $2^{(2+5)-(0+2)}$ ทำการทดลองเพียง 32 การทดลอง ได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้ ANOVA Principal component และ NIRS ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้ ที่กระบวนการ Heat exchanger (T_{vv}) เป็นจุดควบคุมวิกฤตของกระบวนการ การวิจัยนี้เป็นแนวทางการวิเคราะห์กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อตรวจสอบความแตกต่างคุณลักษณะพื้นฐานของผลตอบและจุดควบคุมวิกฤตของกระบวนการ

5. A.L.D. Skury , G.S. Bobrovnichii , S.N. Monteiro , 2004

บทความนี้กล่าวถึง การวิเคราะห์การประยุกต์ใช้การหลอมละลายต่างในการทำเพชรให้บริสุทธิ์ที่เหมาะสม เพื่อแก้ปัญหาสิ่งเจือปนในเพชร โดยใช้ในการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Experiment factorial design) และวิธีการพื้นผิวตอบ (Response surface methodology) โดยมีปัจจัยที่ศึกษาร่วมกัน 4 ปัจจัย ไปแตนเซียมไนเตน (KNO_3) ไปแตนเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) อุณหภูมิและเวลา มีผิวของเพชรเป็นตัวแปรผลตอบ จากการทดลองพบว่าสรุปได้ว่าการตั้งค่าของปัจจัยที่ดีที่สุดในการทดลองคือ การตั้งอุณหภูมิที่ 475 C ใช้เวลา

70 นาที่ จำนวนโปแตสเซียมไนเตรต (KNO_3) เท่ากับ 142.5 กรัม และจำนวนโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เท่ากับ 244 กรัม

6. I.K. Craig , I. Koch , 2002

บทความนี้กล่าวถึง การใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองในภาคอุตสาหกรรม โดยข้อมูลที่ใช้การออกแบบการทดลอง ต้องไม่มีความลำเอียงและต้องยึดหลักความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตเมื่อใช้ควบคุมระบบอย่างชัดเจนด้วย การออกแบบการทดลองต้องอาศัยความรู้ในกระบวนการผลิตเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพราะอาจทำการสรุปผลการทดลองผิดได้

หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทำลอง ได้แก่ ความสุ่ม (Randomization) การทำการทดลองซ้ำ (Replication) และการบล็อก (Blocking) ได้ทำการอธิบายกระบวนการทดลองแรกที่มีปัญหาสิ่งเจือปน โดยกำหนดปัจจัยได้ 2 ตัว คือ ตัวแปรที่ควบคุมได้ A : เกรด $\sim N(m_{GP} = 0.5, S_A^2 = 0.1)$, ตัวแปรที่ควบคุมได้ B :: เกรด $\sim N(m_{GB} = 0.5, S_B^2 = 0.15)$ ผลจากการทดลองดังนี้

$$m_{RP} = 0.866, S^2 = 0,$$

$$m_{RA} = 0.8583, S^2 = 0.0033$$

$$m_{RB} = 0.8487, S^2 = 0.0075$$

การประเมินสมรรถนะด้านเศรษฐศาสตร์และการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองเป็นส่วนหนึ่งในขั้นตอนการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการควบคุมทางอุตสาหกรรมขั้นสูง

1. ขั้นตอนการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ การพิจารณาการลงทุนในการปรับปรุงโดยสามารถวัดได้จากสถิติที่ระดับนัยสำคัญ และหลังจากการปรับปรุงให้วัดผลในการนำไปใช้งานจากกระแสการเงินว่าเพิ่มขึ้นหรือไม่
2. การวิเคราะห์กระบวนการ
3. การกำเนิดของข้อมูลและการออกแบบการทดลอง ข้อมูลการผลิตทั่ว ๆ ไปที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง ต้องประกอบด้วยความลำเอียงของข้อมูลที่ต่ำ ยึดหลักความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตเมื่อใช้ควบคุมระบบอย่างชัดเจน การออกแบบการทดลองต้องมีการตรวจสอบให้แน่ใจก่อนทำไปปฏิบัติ

4. การทดสอบสมมติฐานและการวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์การกำเนิดของข้อมูลและการหาตัวอย่างสำหรับแต่ละกระบวนการ การยอมหรือปฏิเสธ เช่น การควบคุมระบบใหม่ดีกว่าเก่าหรือไม่ ประกอบสมมติฐานหลักและสมมติฐานรอง
5. ผลกำไร การประมาณผลกำไรประจำปีที่มีผลมาจากการควบคุมใหม่
6. การประเมินโครงการด้านเศรษฐศาสตร์ หาค่าคาดหวังรายได้ของการควบคุมแบบใหม่ว่ามากกว่าเดิมหรือไม่ การวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองที่ผิด

ในภาวะแวดล้อมอุตสาหกรรมมีตัวแปรหลายตัวที่มีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองแต่ไม่สามารถควบคุมได้ในการทดลองหรือมีผลน้อยมากหรือไม่รู้ว่า การทดลองที่ผิดที่เกิดจากช่วงเวลาที่ใช้ในการทดลองที่แตกต่างกันและความอิสระของตัวแปร

กล่าวถึงอ้างอิงบทความของ (Federer , 1955) ระบบการออกแบบการทดลองที่ขัดแย้งกับหลักความสุ่มของการทดลอง ได้กล่าวถึงระบบการออกแบบการทดลองต้องพิจารณาถึงความธรรมชาติก่อนที่จะพิจารณาถึงหลักความสุ่มในการทดลอง

การออกแบบการทดลองที่ถูก

กล่าวถึงการหาตัวอย่างที่พอเพียงในการใช้ทดสอบสมมติฐาน ข้อมูลในการทดลองต้องมีความสุ่ม ความอิสระและการแจกแจงแบบปกติ

การหาขนาดตัวอย่างและช่วงระยะเวลาการทดลอง

ในการหาขนาดตัวอย่างที่ต้องการความแตกต่างระหว่างตัวควบคุม 2 ตัว พิจารณาดังนี้

- ระดับของความแม่นยำ
- จำนวนของความแปรปรวนในการทดลองวัตถุ
- แหล่งทรัพยากรที่หาได้ในการทดลอง เช่น คน เครื่องมืออุปกรณ์และเวลา

โดยทั่วไปความแตกต่างน้อยต้องการข้อมูลที่มาก ดังนั้นระดับนัยสำคัญที่ประสบความสำเร็จขึ้นอยู่กับ การทดลองซ้ำ (Replication) ที่ใช้ การวางแผนของจำนวนตัวอย่างมี 2 แนวทาง คือ

- การควบคุมความกว้างของช่วงระดับความเชื่อมั่น
- การควบคุมความเสี่ยงของความผิดพลาดประเภท 1 และความผิดพลาดประเภท 2

ศึกษากระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก

3.1 กระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก

อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ เป็นอุตสาหกรรมที่มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องและการแข่งขันค่อนข้างสูง ดังนั้นการดำเนินธุรกิจในปัจจุบันต้องมีการปรับปรุงองค์ประกอบอย่างต่อเนื่องทั้งกระบวนการผลิตและการบริการการจัดการกระบวนการให้มีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผลซึ่งถือว่าเป็นส่วนสำคัญของการพัฒนาองค์กร ไม่เพียงขึ้นอยู่กับการวางแผน การควบคุมการผลิต และการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียหรือไม่ตรงกับความต้องการของลูกค้า ฯ ล ฯ องค์กรต้องเข้าใจว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์และการบริการตลอดจนการดำเนินงานขององค์กรทั้งหมดลูกค้าเป็นผู้ตัดสินใจว่าจะซื้อผลิตภัณฑ์หรือการรับบริการจากองค์กร

โรงงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูกรายใหญ่ของประเทศ โดยมีกำลังการผลิตอยู่ที่ประมาณ 72,000 ตันต่อปี ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ของบริษัท คือ กล่องกระดาษลูกฟูก ซึ่งมีทั้งประเภทกล่อง RSC (Regular slotted cartons) , Die- cut และแผ่นกระดาษลูกฟูก (Sheet Board) จากสภาพการผลิตจากอดีตจนถึงปัจจุบัน บริษัทฯ ประสบกับปัญหาที่สำคัญ คือ กล่องกระดาษลูกฟูกลื่น ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างเรื้อรัง (Chronic problem) มาโดยตลอด โดยมีผลทำให้เกิดปัญหาที่ลูกค้าเวลาจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้าและเวลาเคลื่อนย้ายสินค้าด้วยรถฟอร์คลิฟท์ (Forklift) กล่องเกิดการลื่นล้มและเกิดการแยกตัวออกของกล่องเวลาเรียงทำให้สินค้าของลูกค้าตกเสียหาย โดยปัจจุบันทางบริษัทแก้ปัญหาด้วยการพิมพ์น้ำยากันลื่น (Anti Slip) ที่ฝากล่อง แต่ก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มต้นทุนในการผลิตอีก ซึ่งปัจจุบันการตอบสนองของความพึงพอใจของลูกค้าเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จตัวหนึ่งที่สำคัญมากของการดำเนินธุรกิจ ดังนั้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกเพื่อแก้ไขปัญหากกล่องกระดาษลื่นจึงมีความสำคัญมากในธุรกิจบรรจุภัณฑ์กระดาษลูกฟูก หากปัญหาดังกล่าวนี้ยังไม่ได้รับการแก้ไขอย่างเหมาะสมก็อาจทำให้บริษัทฯ สูญเสียความเชื่อมั่นจากลูกค้ามากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังทำให้ต้นทุนในการผลิตสูงด้วย

3.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา

3.2.1 ข้อมูลเบื้องต้นของบริษัทฯ

บริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์ซึ่งเป็นกลุ่มบริษัทผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์ประเภทกล่องกระดาษลูกฟูกที่มีกำลังการผลิตและส่วนแบ่งการตลาดสูงที่สุดในประเทศไทย

ปัจจุบันมีกำลัง

กำลังการผลิต : 72,000 ตันต่อปี

จำนวนพนักงาน : 328 คน

พื้นที่โรงงาน : 52,800 ตารางเมตร

มีเครื่องจักร 13 เครื่อง

เครื่องผลิตแผ่นลูกฟูก (Corrugators) 2 เครื่อง

เครื่อง ISOWA

เครื่อง MHI

เครื่องพิมพ์ (Converting) 11 เครื่อง

เครื่องพิมพ์ F70

เครื่องพิมพ์ F109

เครื่องพิมพ์ F84

เครื่องพิมพ์ F113

เครื่องพิมพ์ F85

เครื่องพิมพ์ F115

เครื่องพิมพ์ F100

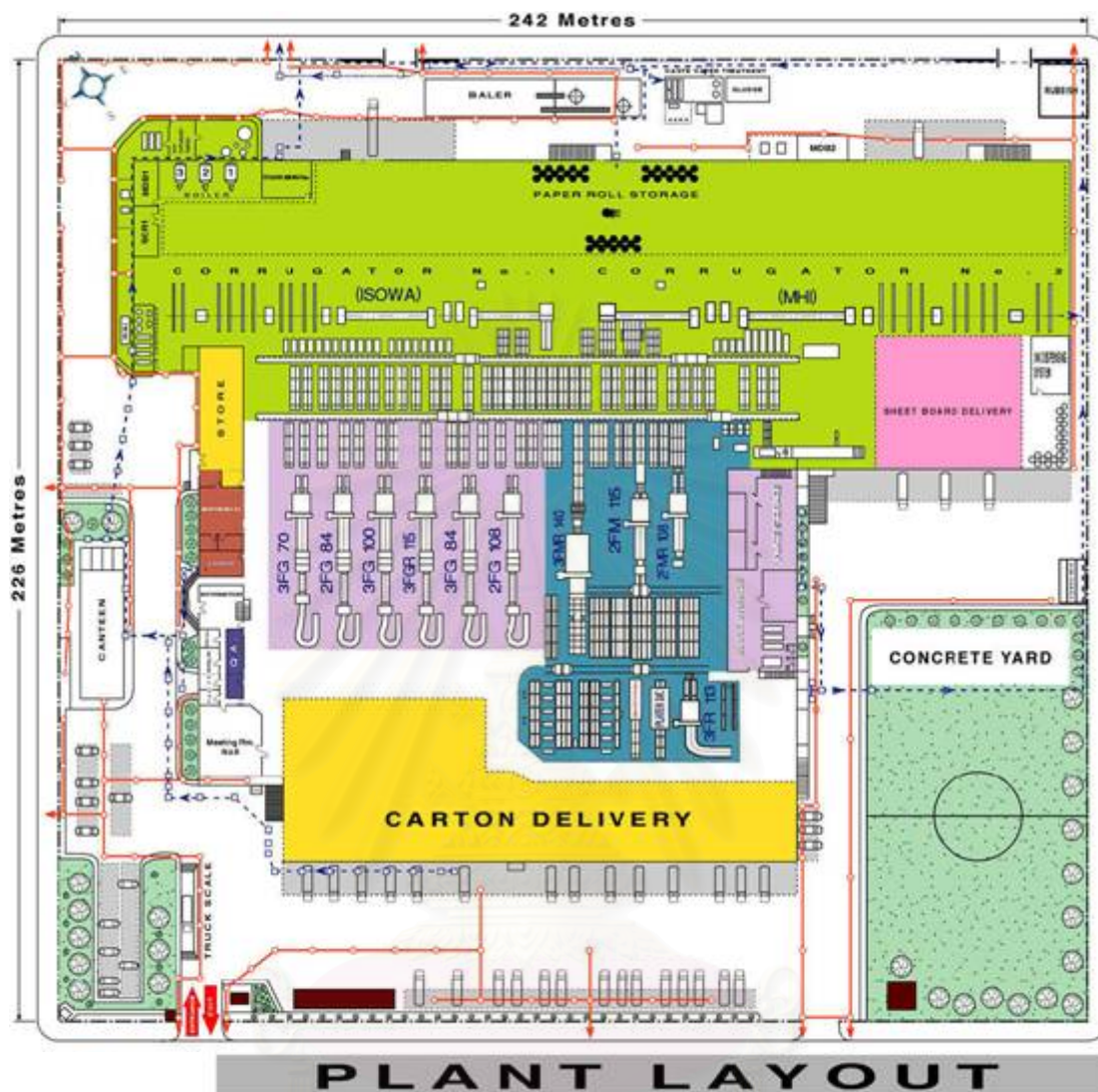
เครื่องพิมพ์ F140

เครื่องพิมพ์ F108

เครื่อง Die cut

เครื่องพิมพ์ F116

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

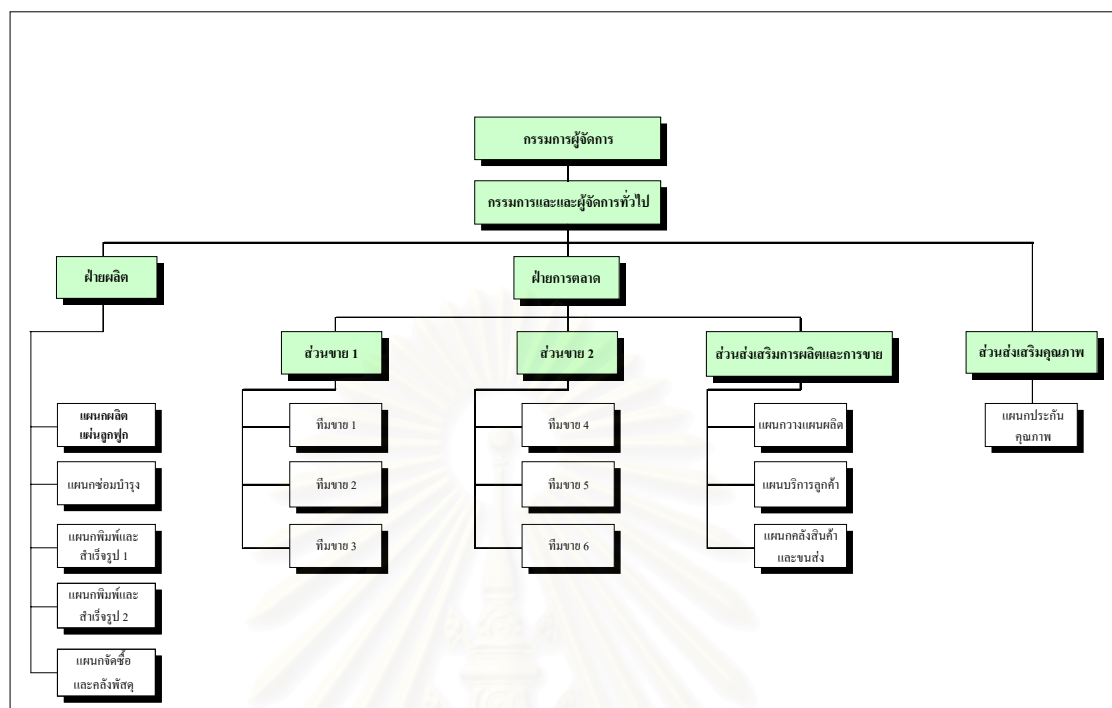


รูปที่ 3.0 ผังโรงงาน

แผนผังโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งถูกคำนวณใหญ่จะเป็นธุรกิจทางด้านที่เกี่ยวข้องกับสินค้า อาหาร เครื่องใช้ไฟฟ้า สินค้าอุปโภคบริโภค ฯลฯ

3.2.2 โครงสร้างองค์กร

บริษัทฯ ได้จัดแบ่งความรับผิดชอบการบริหารงานของหน่วยงานต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยมีกรรมการและผู้จัดการทั่วไป เป็นผู้รับผิดชอบในการบริหารและควบคุมการดำเนินงานของบริษัท



รูปที่ 3.1 ผังการบริหารงาน

ในที่นี้จะขออธิบายเฉพาะหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้เท่านั้น ดังนี้

1. แผนกผลิตแผ่นลูกฟูก

ทำหน้าที่จัดเก็บและจัดเตรียมกระดาษม้วนซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักของการผลิต และควบคุมการผสมกาวที่ใช้ติดระหว่างชั้นของกระดาษ, ทำการผลิตแผ่นลูกฟูกและตรวจสอบคุณภาพระหว่างการผลิต รวมถึงการบำรุงรักษาเครื่องจักรภายในแผนก

2. แผนกพิมพ์และสำเร็จรูป 1

ทำหน้าที่ผลิตและจัดเก็บบล็อกพิมพ์ที่ใช้ในการพิมพ์กล่อง รวมทั้งเพลทไดคัทที่ใช้ในการตัดรูปกล่องประเภทไดคัท, ควบคุมการผสมหมึกพิมพ์, นำแผ่นลูกฟูกมาทำการพิมพ์และขึ้นรูปเป็นกล่อง ตรวจสอบคุณภาพระหว่างการผลิต รวมถึงการบำรุงรักษาเครื่องจักรภายในแผนก

3. แผนกซ่อมบำรุง

ทำหน้าที่วางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและทำการซ่อมบำรุงเครื่องจักร, ควบคุมการผลิตไอน้ำ

4. แผนกประกันคุณภาพ

ทำหน้าที่ในการตรวจสอบและทดสอบวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ระหว่างการผลิตและสินค้าสำเร็จรูป

3.2.3 ผลิตภัณฑ์ของบริษัทฯ

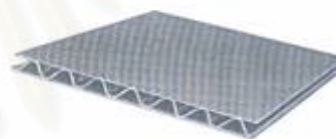
ทางบริษัทฯ ได้ทำการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อจำหน่ายทั้งสิ้น 3 กลุ่ม ดังนี้

3.2.3.1 แผ่นลูกฟูก แบ่งออก 4 ประเภทตามจำนวนชั้นของกระดาษ ดังนี้คือ ชนิดของแผ่นกระดาษลูกฟูก (Corrugated Board Type)

แผ่นกระดาษลูกฟูกหน้าเดียว
(Single-Faced Corrugated Board)



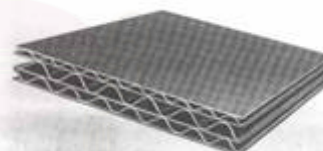
แผ่นกระดาษลูกฟูก 1 ชั้น
(Single-Wall Corrugated Board)



แผ่นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้น
(Double-Wall Corrugated Board)

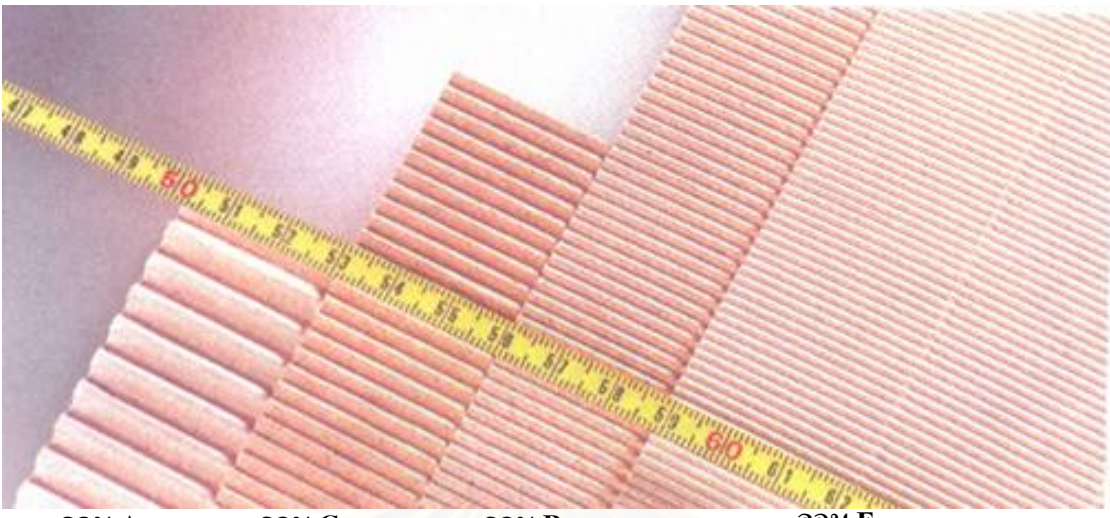


แผ่นกระดาษลูกฟูก 3 ชั้น
(Triple-Wall Corrugated Board)



โดยแต่ละประเภทจะมีชนิดของลอนลูกฟูก อยู่ 3 ชนิด ซึ่งแบ่งตามขนาดของลอน คือ

- ลอน A มีความสูงประมาณ 4.5 มม. และจะมีจำนวนประมาณ 170 ลอนต่อเมตร
- ลอน C มีความสูงประมาณ 3.6 มม. และจะมีจำนวนประมาณ 170 ลอนต่อเมตร
- ลอน B มีความสูงประมาณ 2.4 มม. และจะมีจำนวนประมาณ 140 ลอนต่อเมตร
- ลอน E มีความสูงประมาณ 1.2 มม. และจะมีจำนวนประมาณ 140 ลอนต่อเมตร



ลอน A (A-FLUTE) ลอน C (C-FLUTE) ลอน B (B-FLUTE) ลอน E (E-FLUTE)

รูปที่ 3.2 ชนิดของลอนลูกฟูก

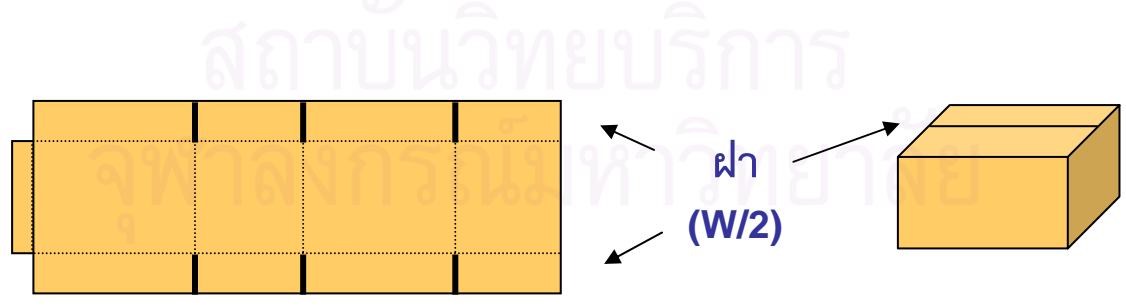
3.2.3.2 กล่องกระดาษลูกฟูก

ชนิดของกล่องกระดาษลูกฟูกสามารถแบ่งตามกระบวนการผลิตได้ดังนี้

- 1. กล่องแบบมีร่องสลิต (Slotted Containers) เป็นกล่องที่มีรูปทรง

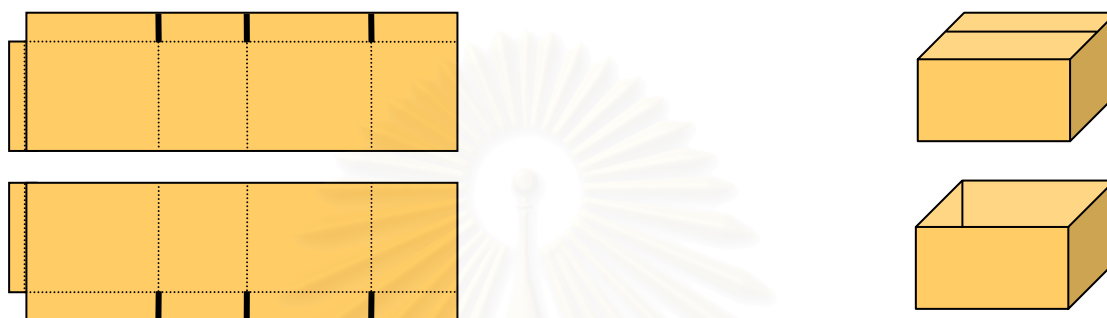
มาตรฐาน

- 1.1 อาร์ เอส ซี (RSC / Regular Slotted Container) เป็นกล่องที่ฝา มีความยาวเป็นครึ่งหนึ่งของด้านกว้าง และฝาทุกฝามีขนาดเท่ากันหมด ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างกล่อง RSC (Regular Slotted Container)

1.2 เฮซ ซี (HSC / Half Slotted Container) เป็นกล่องที่มีฝาเพียงด้านเดียว หากมีการใช้กล่องประเภทนี้โดยมีตัวและฝาครอบจะเรียกกล่องลักษณะนี้ว่า กล่องเทเลสโคป (TELESCOPE) ดังรูปที่ 3.4



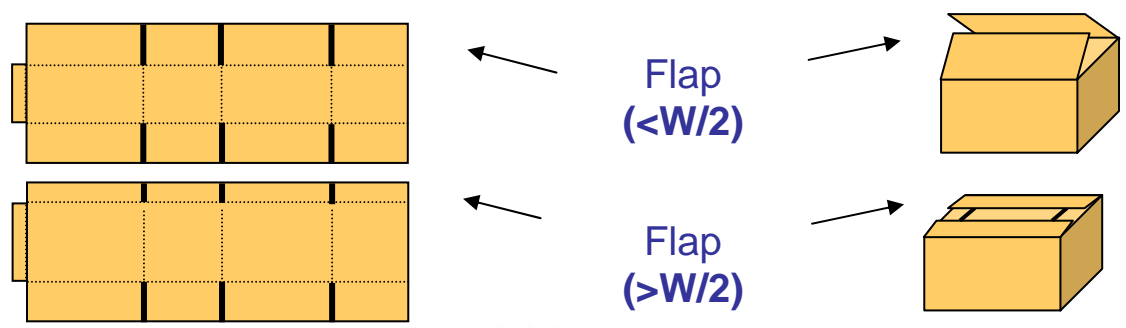
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างกล่อง HSC (Half Slotted Container)

1.3 ฟูลโอเวอร์แลป (FOL / Full Overlap) เป็นกล่องที่มีขนาดของฝาเท่ากับด้านกว้างของกล่อง ส่วนใหญ่มักเป็นกล่องที่มีความกว้างน้อย ดังรูปที่ 3.5



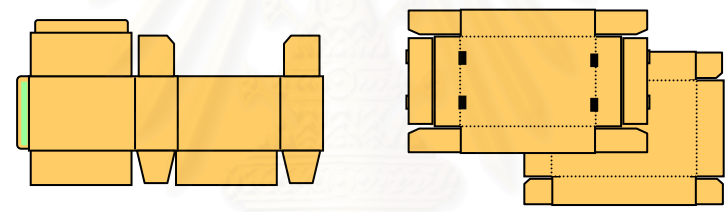
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างกล่อง FOL (Full Overlap)

1.4 พาเซียล โอเวอร์แลป (Partial Overlap Slotted Container) เป็นกล่องที่มีขนาดของฝาไม่เท่ากับครึ่งหนึ่งของด้านกว้าง ซึ่งอาจจะมากกว่า/น้อยกว่า ก็ได้ แต่ฝาทั้ง 4 มีขนาดเท่ากันหมด ดังรูปที่ 3.6



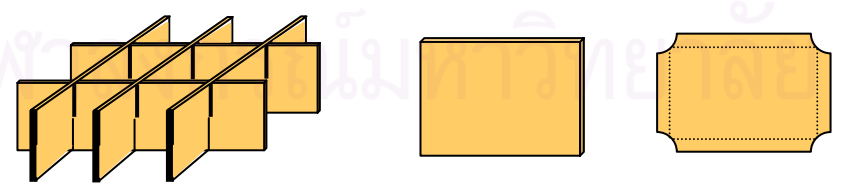
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างกล่อง Partial Overlap Slotted Container

2.กล่องไดคัท (Diecut Box) เป็นกล่องที่ไม่มีรูปทรงมาตรฐาน ขึ้นอยู่กับการออกแบบในการขึ้นรูป ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.7

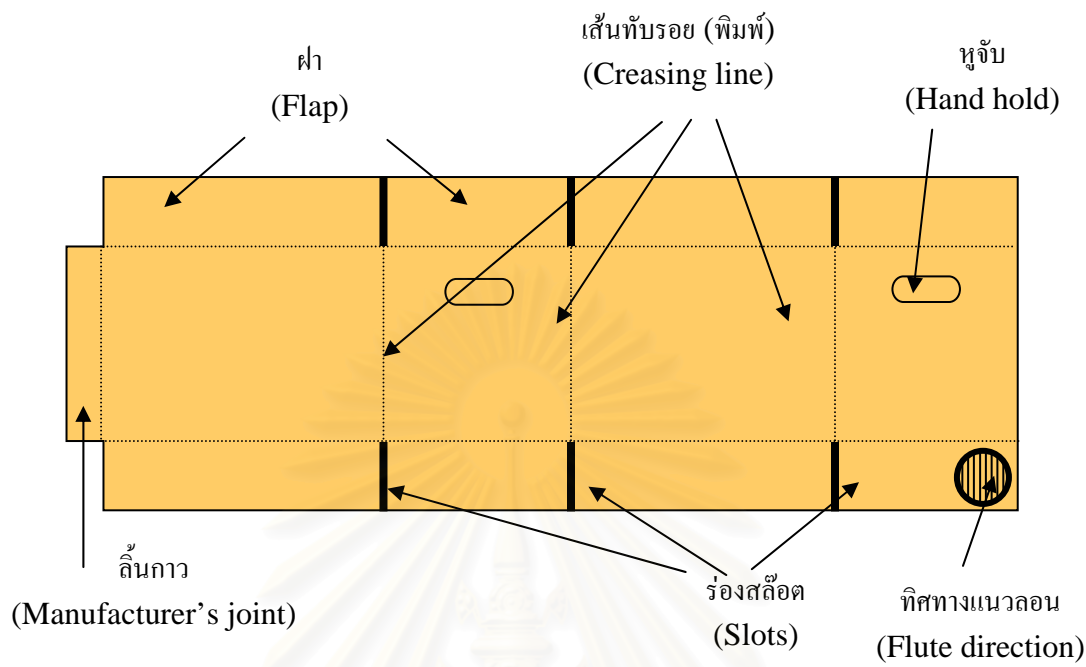


รูปที่ 3.7 ตัวอย่างกล่องไดคัท

3.ส่วนประกอบกล่อง (Accessories) เช่น ใส่พื้น แผ่นรอง แผ่นบุข้าง ทำหน้าที่เสริมความแข็งแรง และป้องกันการกระแทกของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุอยู่ภายในกล่อง ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ตัวอย่างส่วนประกอบกล่อง

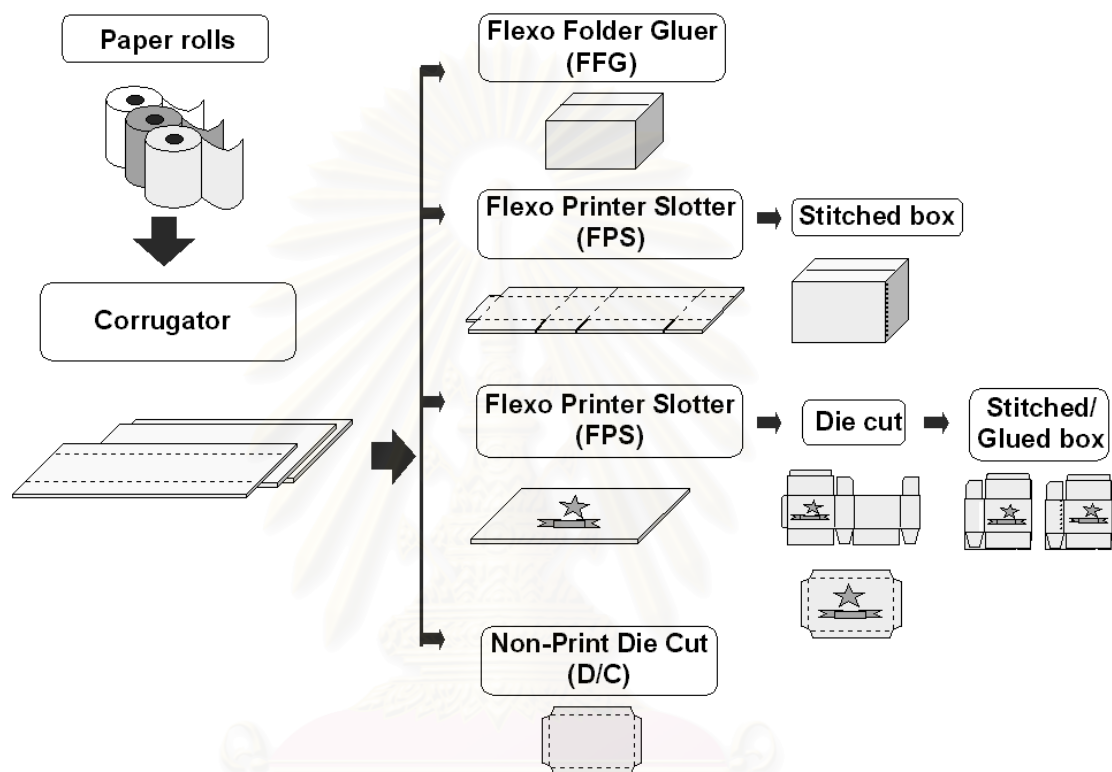


รูปที่ 3.9 ส่วนต่างๆ ของกล่องแบบสลิต (Slotted Containers)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

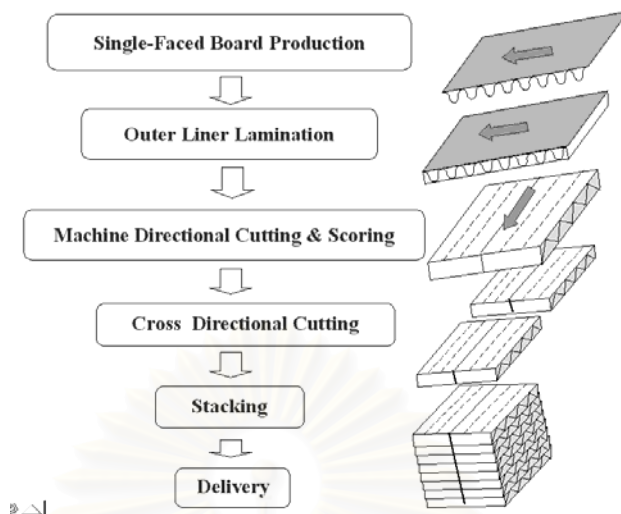
3.2.4 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และมีรายละเอียด ดังนี้



รูปที่ 3.10 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิต

3.2.4.1 การผลิตแผ่นลูกฟูก โดยการนำกระดาษมันแต่ละเกรดตามที่ลูกค้าต้องการมาป้อน เข้าเครื่อง Corrugator เพื่อทำลอนและปะกระดาษทำผิวกล่องด้านใน จะได้เป็นกระดาษลูกฟูก 2 ชั้นหรือ Single Facer หากต้องการทำแผ่นลูกฟูกชนิด 5 ชั้นจะต้องเริ่มจากการทำ Single Facer ขึ้นมา 2 ชุดก่อน จากนั้นจึงนำมาปะกระดาษทำผิวกล่องด้านนอก ผ่านชุดให้ความร้อนเพื่อให้กาวยแห้ง ผ่านเข้าสู่ชุดที่บรอยด้านความสูงกล่องและชอยแยกแผ่น แล้วจึงทำการตัดออกเป็นแผ่นตามความยาวที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก

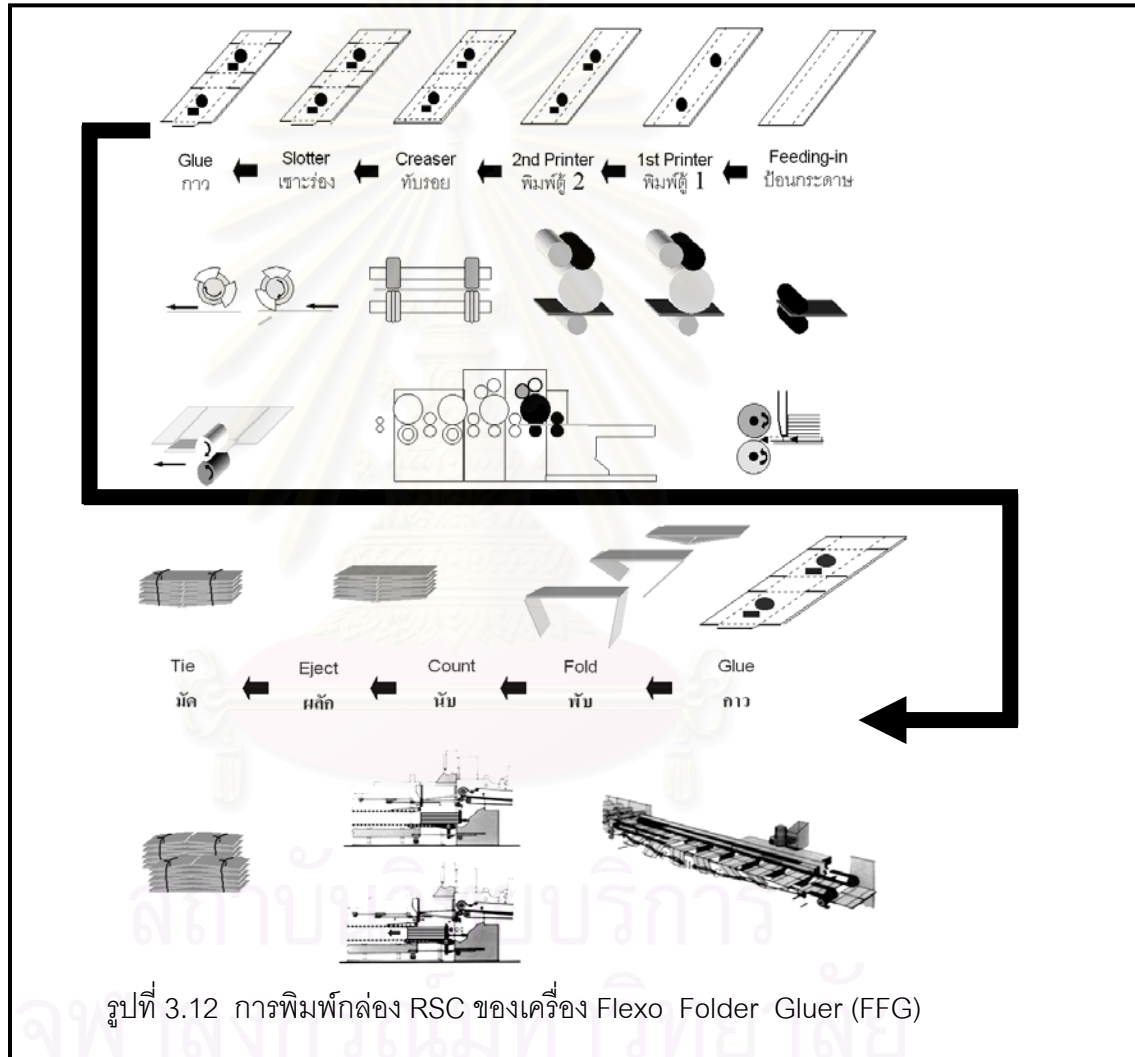
3.2.4.2 กระบวนการคอนเวิร์ตติ้ง (CONVERTING) ประกอบด้วย 2 หน่วยงานหลักได้แก่

1. การพิมพ์ (PRINTING) เป็นหน่วยงานที่ทำการพิมพ์ลงบนแผ่นกระดาษลูกฟูกโดยผลผลิตที่ได้มีทั้งที่เป็นกล่องสำเร็จรูป กล่องที่จะต้องนำไปขึ้นรูป และเป็นแผ่นที่จะต้องนำไปตัดด้วย Plate Die-cut

2. สำเร็จรูป (FINISHING) เป็นหน่วยงานที่ตัดแผ่นกระดาษลูกฟูกที่ผ่านการพิมพ์และไม่ผ่านการพิมพ์ให้เป็นกล่อง, ประกอบขึ้นรูปกล่องด้วยการติดกาวหรือเย็บลวด และผลิตได้และส่วนประกอบของกล่องการพิมพ์และตัดขึ้นรูป เป็นการนำแผ่นลูกฟูกจากกระบวนการแรก มาทำการพิมพ์และตัดขึ้นรูปตามที่ถูกคำสั่งการ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการใช้เครื่องจักรในการผลิตอยู่หลายประเภททั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต เช่น

- กล่อง RSC ที่มีรอยต่อเป็นกาว จะใช้เครื่อง Flexo Folder Gluer (FFG) เพียงขั้นตอนเดียว
- กล่อง RSC ที่มีรอยต่อเป็นลวดเย็บ จะใช้เครื่อง Flexo Printer Slotter (FPS) ทำการพิมพ์, ทับริย และ เซาะร่อง แล้วจึงนำไปต่อกด้วยเครื่อง Stitching Machine ต่อไป

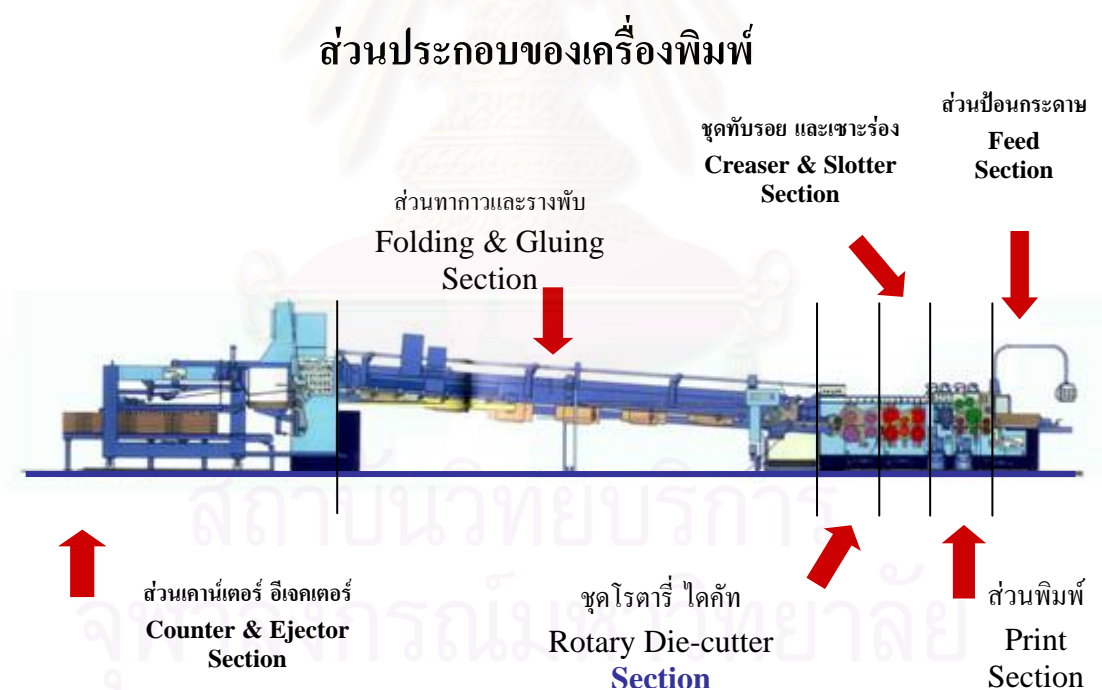
- กล่องไดคัทที่มีการพิมพ์ จะใช้เครื่อง FPS ทำการพิมพ์แล้วจึงทำการไดคัทด้วยชุด Rotary Die-Cutter ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในหรือนำไปไดคัทด้วยเครื่อง Platen Die-Cutter ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของผลิตภัณฑ์
- กล่องไดคัทและส่วนประกอบกล่องบางประเภทที่ไม่มีการพิมพ์ จะนำไปไดคัทด้วยเครื่อง Platen Die-Cutter



รูปที่ 3.12 การพิมพ์กล่อง RSC ของเครื่อง Flexo Folder Gluer (FFG)

3.2.5 ส่วนประกอบของเครื่องพิมพ์

- ฟรี ฟีดเดอร์ (PREFEEDER)
- ชุดฟีด (FEED SECTION)
- ชุดพิมพ์ (PRINTING SECTION)
- ชุดทับรอย และเจาะรู (CREASER & SLOTTER)
- ชุดโรตารี ไดคัท (IN-LINE DIE CUTTER)
- ชุดทาลิ้นกาว (GLUE LAP UNIT)
- ส่วนวางพับ (FOLDING SECTION)
- เคาน์เตอร์ อีเจกเตอร์ (COUNTER & EJECTOR)
- เครื่องมัด (TYING MACHINE)
- โหลด ฟอรั่มเมอร์ (LOAD FORMER)



รูปที่ 3.13 ส่วนประกอบของเครื่องพิมพ์

1. ชุดพรีฟีดเดอร์ (PREFEEDER)

ทำหน้าที่รับกองกระดาษจากคอนเวเยอร์ เพื่อส่งเข้าสู่ส่วนป้อนกระดาษให้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 3.14 ชุดพรีฟีดเดอร์ (PREFEEDER)

2. ชุดฟีดหรือชุดป้อนกระดาษ (FEED SECTION)

ชุดฟีดมีหน้าที่หลักในการส่งผ่านกระดาษจากฟีดเทเบิลเข้าสู่ชุดพิมพ์ที่ละ 1 แผ่น โดยกระดาษจะถูกส่งผ่านจากฟีดเทเบิล โดยอาศัยชุดฟีดเดอร์ ผลักกระดาษเข้าสู่ฟีดโรล ซึ่งเป็นลูกกลิ้งไชนเดอร์ 2 ลูก บน-ล่าง หมุนดึงกระดาษ ให้ถูกส่งต่อไป ยังชุดพิมพ์

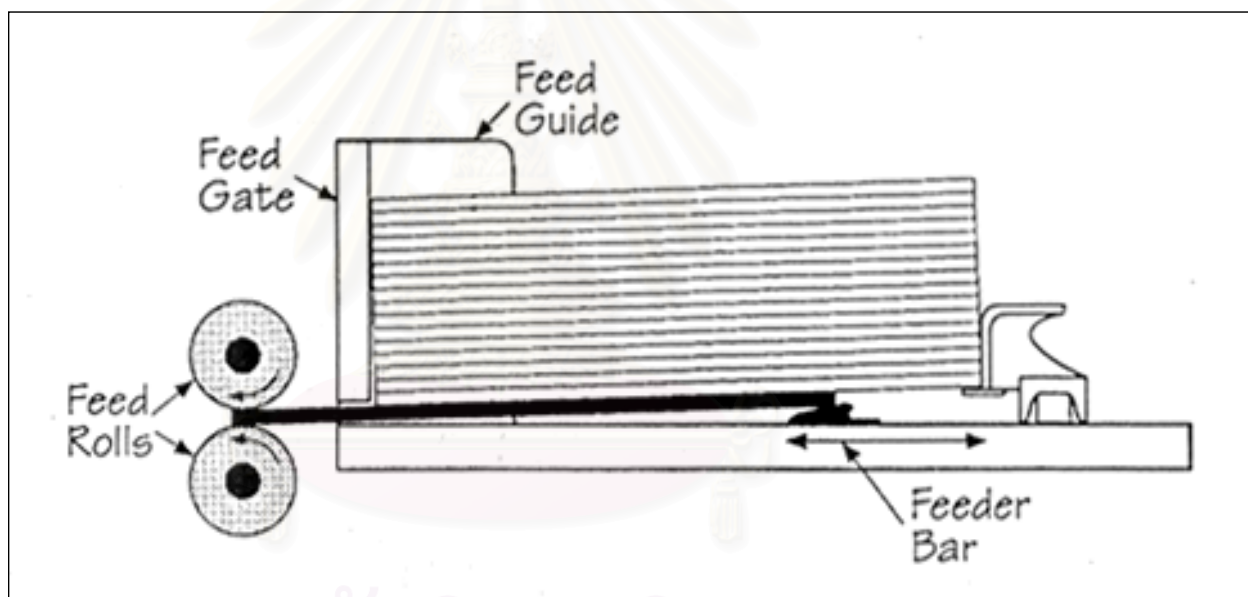


รูปที่ 3.15 ชุดฟีดหรือชุดป้อนกระดาษ (FEED SECTION)

ชุดป้อนกระดาษ (FEEDER)

1. ชุดป้อนกระดาษแบบคิกเกอร์ (Kicker Feeder)
2. Lead edge feeder
 - 2.1 Belt feeder
 - 2.2 Rotary feeder

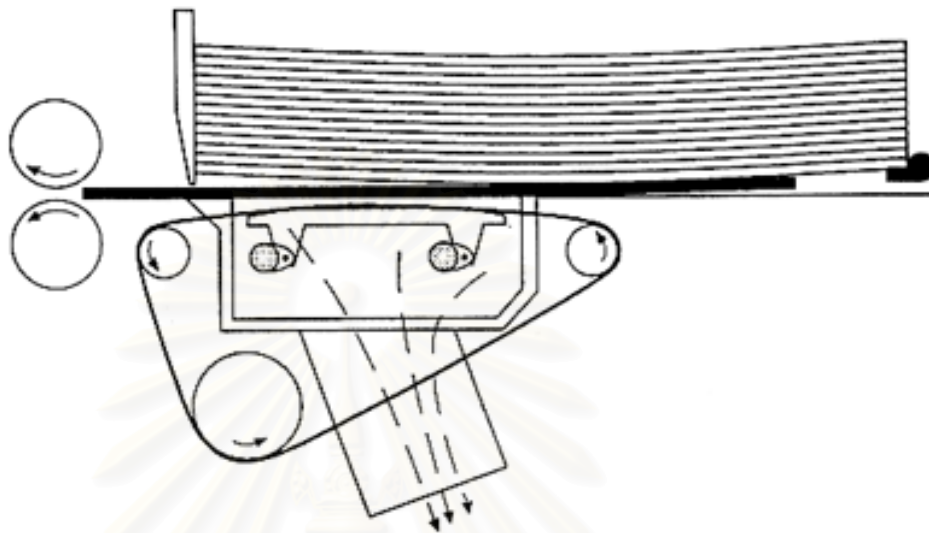
1.ชุดป้อนกระดาษแบบคิกเกอร์ (KICKER FEEDER) ระบบป้อนกระดาษโดยใช้ Feed bar เป็นตัวผลักกระดาษจากด้านหลัง ผ่าน Feed Gate เข้าสู่ Feed Roll



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

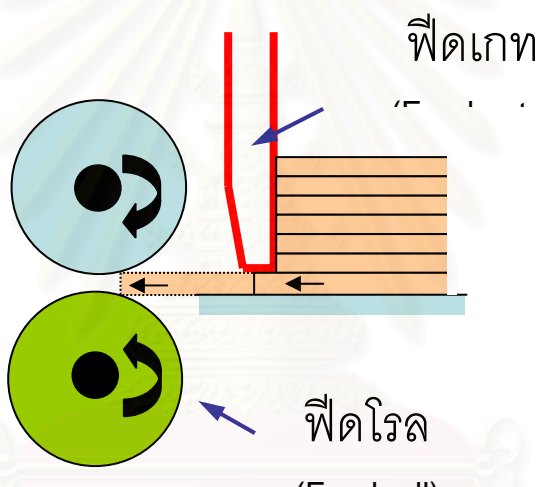
รูปที่ 3.16 ชุดป้อนกระดาษแบบคิกเกอร์ (KICKER FEEDER)

2. ชุดป้อนกระดาษแบบสายพาน (BELT FEEDER) มีชุดลมดูด ดูดกระดาษให้แนบกับสายพานที่มีความยืดเพื่อพากระดาษ เข้าสู่ Feed Roll



รูปที่ 3.17 ชุดป้อนกระดาษแบบสายพาน (BELT FEEDER)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.18 ชุดฟีด (ชุดป้อนกระดาษ) (FEED SECTION)

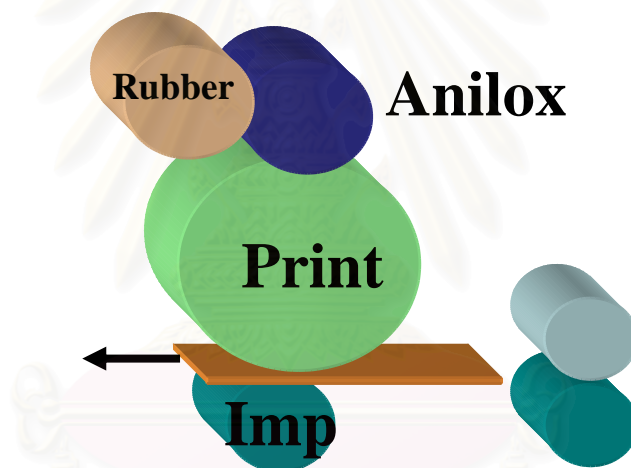
ส่วนประกอบชุดป้อนกระดาษ (FEED SECTION)

- ฟีด เทเบิล (FEED TABLE)
- ฟีดเดอร์ (FEEDER)
- ไซด์ไกด์ (SIDE GUIDES)
- ไซด์จ็อกกิ้ง (SIDE JOGGING)
- ฟีด เกท (FEED GATES)
- ฟีด โรล (FEED ROLLS)

3.ชุดพิมพ์ (PRINT SECTION)

ชุดพิมพ์ มีหน้าที่ในการถ่ายทอดลวดลายจากแม่พิมพ์ลงสู่กระดาษโดยหมึกพิมพ์จะถูกรีดหรือปาดหมึกให้ได้ฟิล์มของหมึกที่บางที่สุด ถ่ายทอดจากอนิล็อกซ์โรล มายังผิวหน้าของแม่พิมพ์และส่งผ่านต่อมายังแผ่นกระดาษที่ต้องการพิมพ์

การส่งผ่านกระดาษจากชุดพิมพ์ไปยังชุดทำงานถัดไปจะอาศัยการหมุนสวนทางของไซลินเดอร์ 2 ลูก คือ พรินท์ไซลินเดอร์ กับ อิมเพรสชั่นไซลินเดอร์ ในขณะที่ทำการพิมพ์เป็นหลัก และจะมีชุดของลูกกลิ้งพูลโรล และพูลคอลล่าร์ เป็นตัวช่วยเสริมในการประคองและดึงแผ่นกระดาษไปยังชุดทำงานถัดไป



รูปที่ 3.19 ระบบการพิมพ์

ส่วนประกอบชุดพิมพ์ (PRINT SECTION)

ประกอบด้วย

- . อนิล็อกซ์ โรล (Anilox roll)
- . อิมเพรสชั่น ไซลินเดอร์ (Impression Cylinder)
- . พรินท์ ไซลินเดอร์ (Print Cylinder)
- . ระบบรีดหมึก (Ink metering system)
- . พูลโรล (Pull Roll)

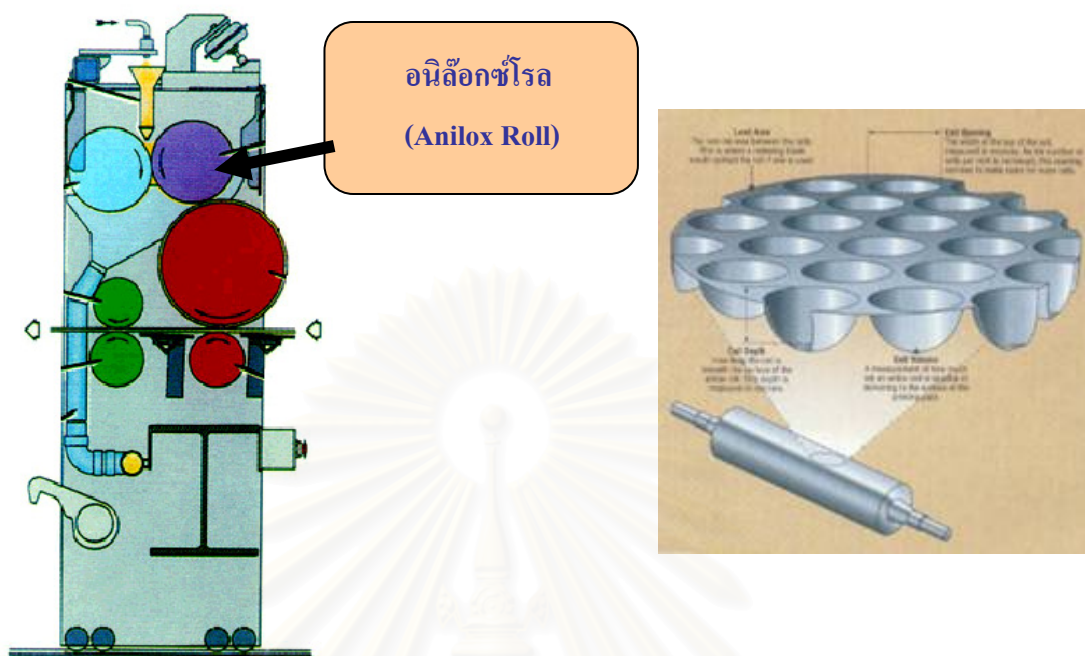


รูปที่ 3.20 ส่วนประกอบชุดพิมพ์ (PRINT SECTION)

1. อนิล็อกซ์โรล (ANILOX ROLL)

เป็นลูกกลิ้งซึ่งถูกเจาะรู (Engraved) ให้มีขนาด ความลึกและรูปร่างที่เหมาะสมตามคุณภาพการพิมพ์ที่ต้องการ อนิล็อกซ์โรลจะรับหมึกเข้าไปในเซลล์ (cell) และจ่ายออกเมื่อสัมผัสกับหน้าแม่พิมพ์ จากนั้นก็จะถ่ายทอดลงบนแผ่นกระดาษลูกฟูกอีกครั้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

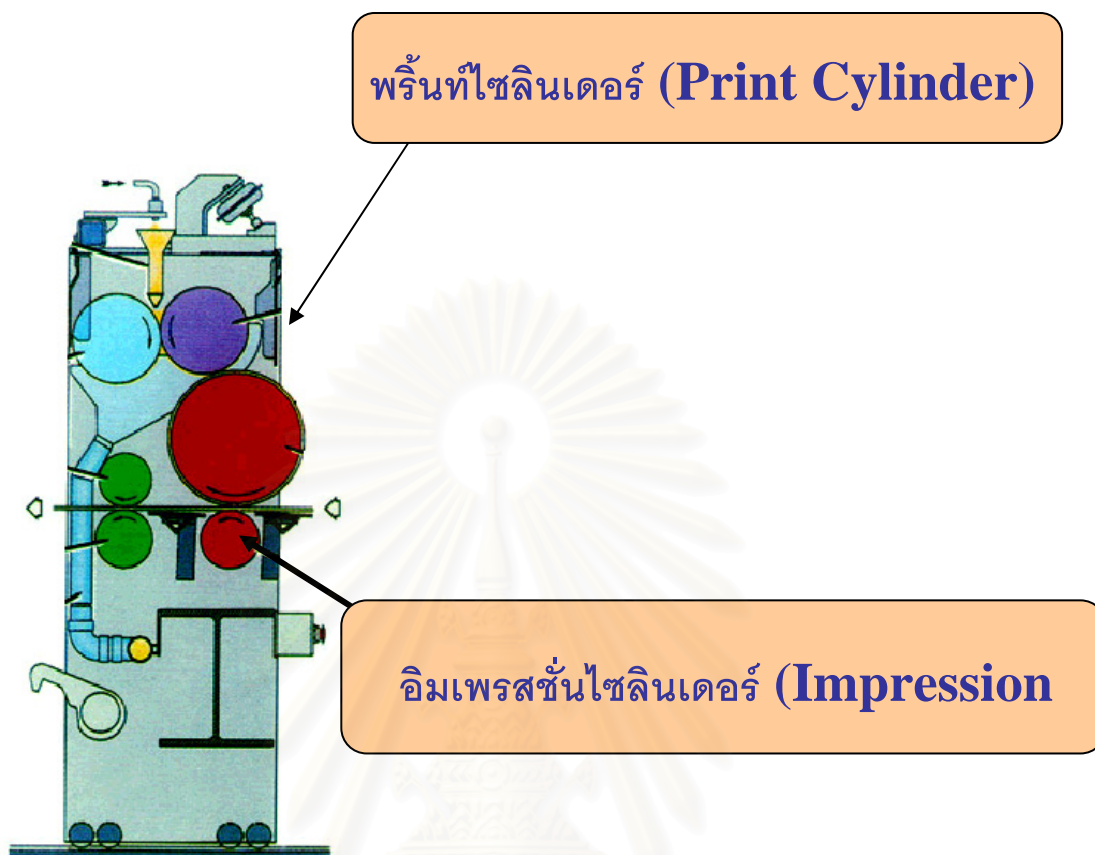


รูปที่ 3.21 อนิล็อกซ์โรล (ANILOX ROLL)

2. ปรินท์ไซลินเดอร์ & อิมเพรสชั่นไซลินเดอร์ (PRINT CYLINDER & IMPRESSION CYLINDER)

- ปรินท์ไซลินเดอร์ (Print Cylinder) เป็นลูกกลิ้งทำด้วยโลหะที่มีการเจาะร่องไว้สำหรับเก็บวอลุ่มของหมึก ซึ่งบดหมึกพิมพ์นี้จะรับหมึกพิมพ์จากอนิล็อกซ์โรลและถ่ายทอดลงบนแผ่นกระดาษลูกฟูก

- อิมเพรสชั่นไซลินเดอร์ (Impression Cylinder) เป็นลูกกลิ้งโลหะผิวมันทำหน้าที่กดกระดาษเพื่อให้หมึกพิมพ์สัมผัสกระดาษขณะพิมพ์



รูปที่ 3.22 พริ้นท์ไซลินเดอร์ & อิมเพรสชั่นไซลินเดอร์
(PRINT CYLINDER & IMPRESSION CYLINDER)

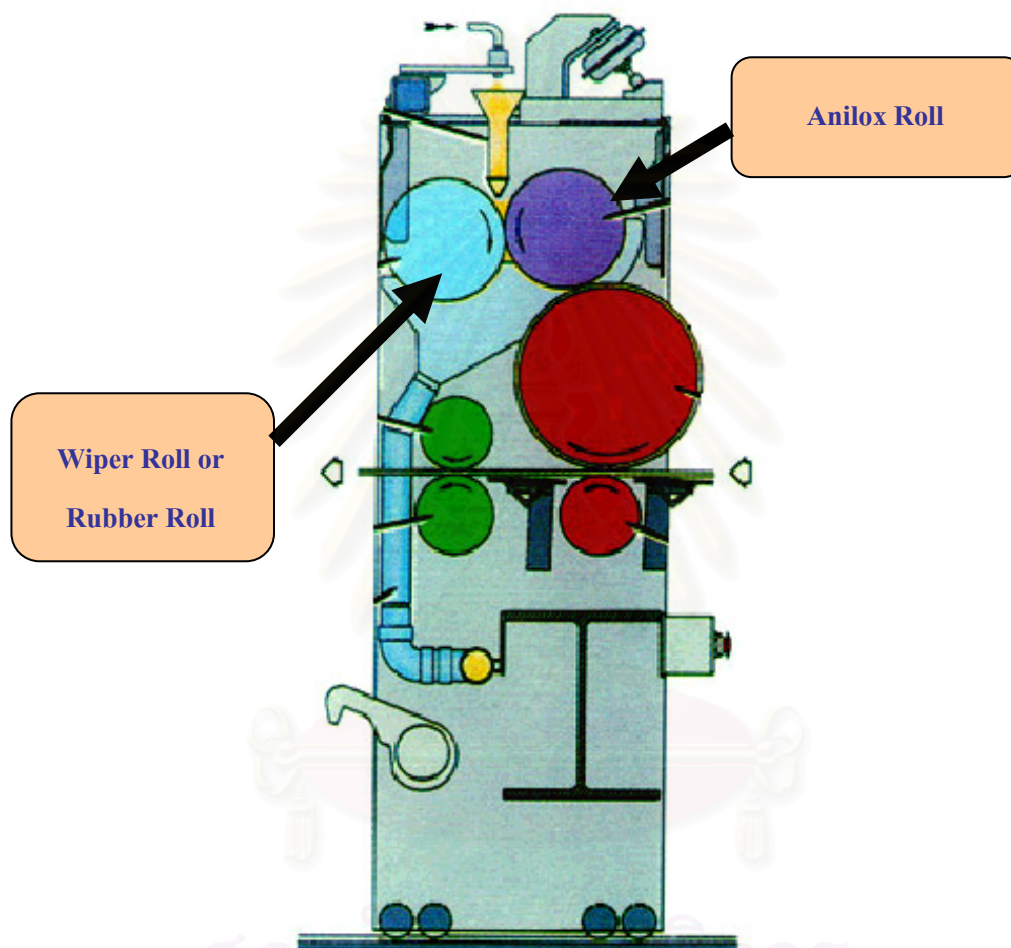
ระบบการวัดหมึกพิมพ์ (INK METERING SYSTEM)

ระบบการวัดหมึกพิมพ์ แบ่งออกได้ 3 ระบบเป็น

1. ระบบทู-โรล (Two-Roll)
2. ระบบใบมีดปาดหมึกแบบรีเวอร์สแองเกิ้ล
(Reverse angle doctor blade)
3. ระบบใบมีดปาดหมึกแบบแชมเบอร์ (Chamber blade)

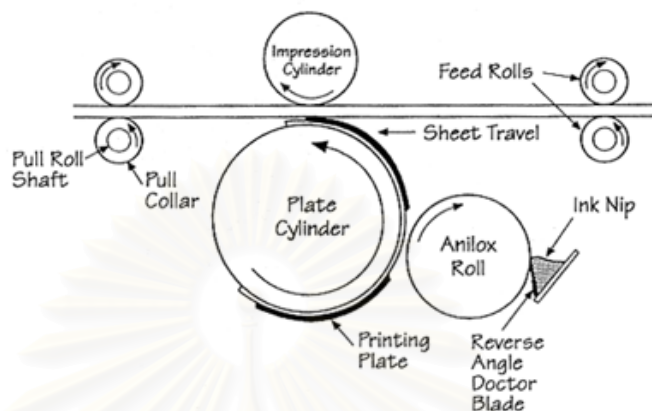
1. ระบบการรีดหมึกแบบ ทู-โรล (Two roll system)

จะมีลูกกลิ้งยาง (Wiper Roll) เป็นตัวปาดหมึกพิมพ์ที่อยู่บนอนิล็อกซ์โรล (Anilox Roll) เพื่อให้ถ่ายทอดหมึกพิมพ์ที่บางและสม่ำเสมอให้กับแม่พิมพ์ซึ่งติดอยู่ด้านบนของพรินท์ไซลินเดอร์



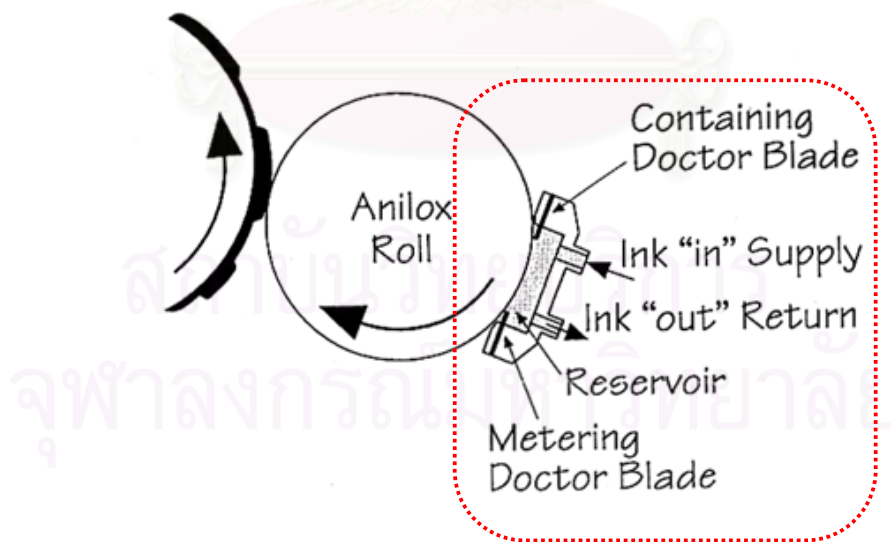
รูปที่ 3.23 ระบบการรีดหมึกแบบ ทู-โรล (Two roll system)

2. ระบบใบมีดปาดหมึกแบบรีเวอร์สแองเกิ้ล (Reverse angle doctor blade system) ระบบนี้มีใบมีดปาดหมึก โดยขอบใบมีด จะสัมผัสทำมุมกับ Anilox Roll



รูปที่ 3.24 ระบบใบมีดปาดหมึกแบบรีเวอร์สแองเกิ้ล (Reverse angle doctor blade system)

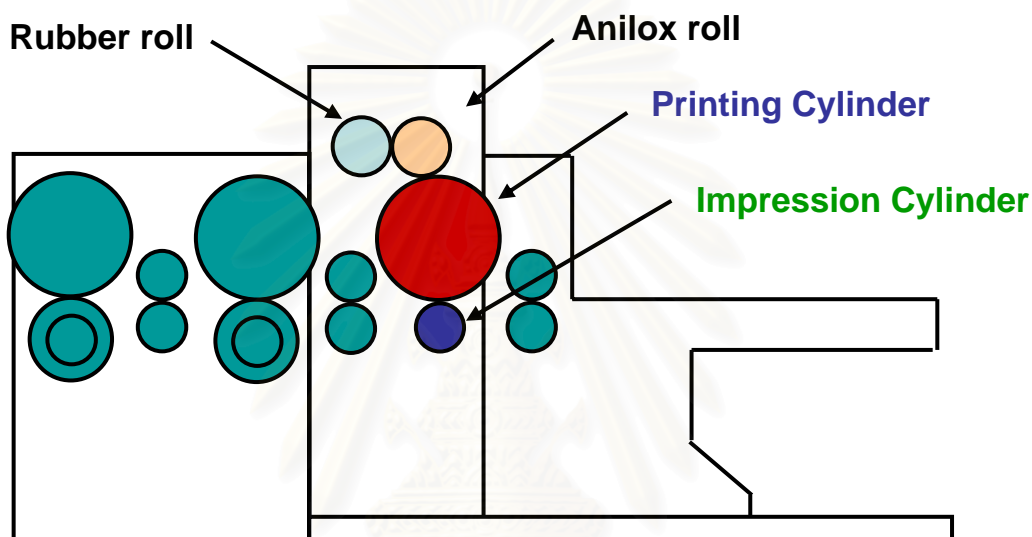
3. ใบมีดปาดหมึกแบบแชมเบอร์ (Chamber blade system) เป็นระบบปาดหมึกด้วยใบมีด 2 ชุด ที่อยู่ใน Chamber โดยหมึก เข้า-ออก ผ่านท่อส่งหมึก



รูปที่ 3.25 ใบมีดปาดหมึกแบบแชมเบอร์ (Chamber blade system)

ระบบการพิมพ์แบบ พิมพ์บนและพิมพ์ล่าง (Top print & Bottom print)

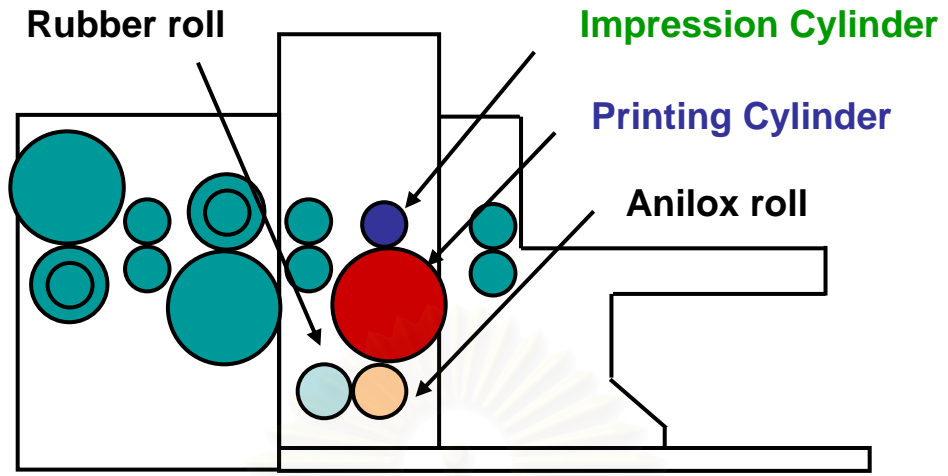
1. ระบบพิมพ์บน (Top Print) : เป็นรูปแบบการจัดวาง โครงสร้างของลูกกลิ้งต่างๆในชุดพิมพ์ โดยที่จะวางอนิล็อกซ์และลูกยางปาดหมึก (Wiper Roll) อยู่ในตำแหน่งสูงสุด ตามด้วยฟรินท์ไซลินเดอร์ และสุดท้ายคืออิมเพรสชั่นไซลินเดอร์ซึ่งเป็นการพิมพ์ที่ด้านพิมพ์จะอยู่ด้านบน จะสามารถตรวจสอบคุณภาพการพิมพ์ได้ทันที



รูปที่ 3.26 ระบบพิมพ์บน (Top Print)

2. ระบบพิมพ์ล่าง (Bottom Print) : เป็นรูปแบบการจัดวางโครงสร้างของลูกกลิ้งต่างๆในชุดพิมพ์ โดยที่จะวางสลับตำแหน่งกับระบบพิมพ์บนทั้งหมด คืออนิล็อกซ์โรล และลูกยางจะอยู่ในตำแหน่งต่ำสุดถัดขึ้นมาคือฟรินท์ไซลินเดอร์ และอิมเพรสชั่นไซลินเดอร์ จะอยู่ในตำแหน่งสูงสุด ซึ่งจะ ทำให้ด้านพิมพ์อยู่ด้านล่าง ค่อนข้างยากในการตรวจสอบคุณภาพการพิมพ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

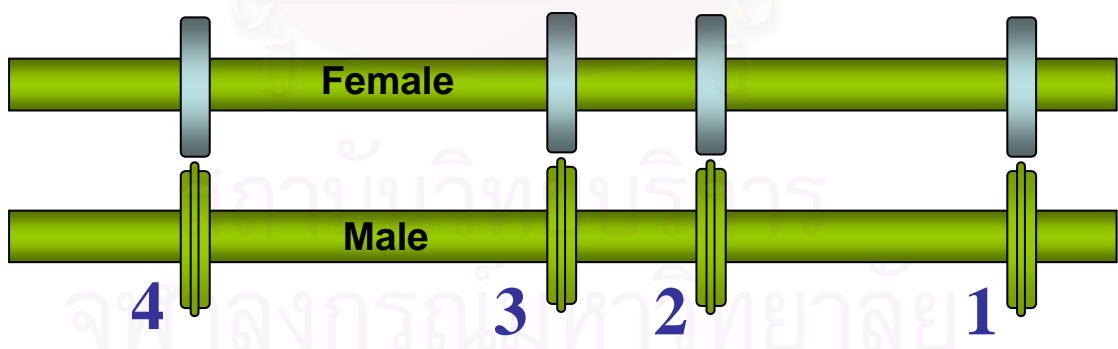


รูปที่ 3.27 ระบบพิมพ์ล่าง (Bottom Print)

4. ชุดพับรอย และเจาะร่อง (CREASER & SLOTTER)

4.1 ชุดพับรอย (Creaser)

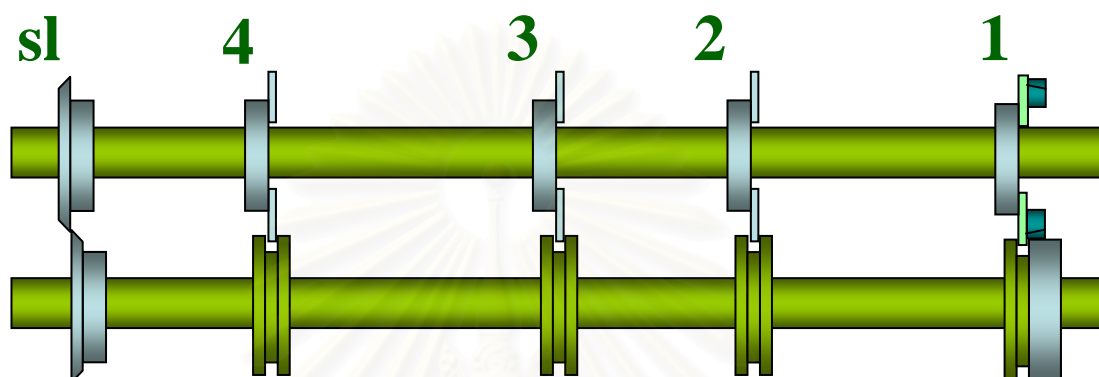
เป็นชุดลูกกลิ้งบน-ล่าง ที่ทำให้เกิดเส้นพับรอยด้านในของแผ่นกระดาษลูกฟูก ซึ่งจะพับรอยแบ่งแผ่นกระดาษที่ผ่านการพิมพ์เป็นแนวพับรอยด้านยาวและกว้างของกล่อง โดยลูกพับรอยตัวผู้จะมีลักษณะเป็นวงแหวนที่มีสันนูน บีบอัดกับพับรอยตัวเมีย ซึ่งเป็นวงแหวนที่หุ้มด้วยยางยูริเทรนเป็นตัวรองกด ทำให้เกิดแนวเส้นพับรอย



รูปที่ 3.28 ชุดพับรอย (Creaser)

4.2 ชุดเจาะร่อง (Slotter)

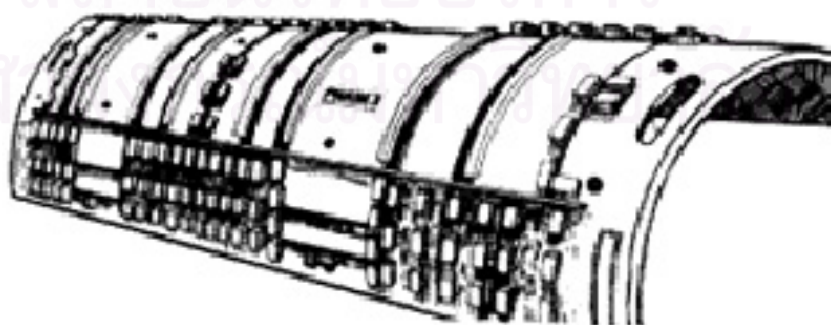
เป็นชุดไบมีดเจาะให้เก็ตร่องที่ด้านบนและล่างของเส้นที่บรอยทั้ง 4 เส้น แบ่งส่วนของแผ่นกระดาษเป็นส่วนฝากร่องบน-ล่าง ทั้งด้านยาวและด้านกว้างของกล่อง โดยที่ไบมีดชุดแรก จะมีไบมีดหัวไขกบประกบอยู่ ซึ่งจะทำหน้าที่ตัดกระดาษให้เป็นส่วนของลิ้นกาวกร่อง



รูปที่ 3.29 ชุดเจาะร่อง (Slotter)

5. ชุดโรตารี ไดคัท (IN-LINE DIE CUTTER)

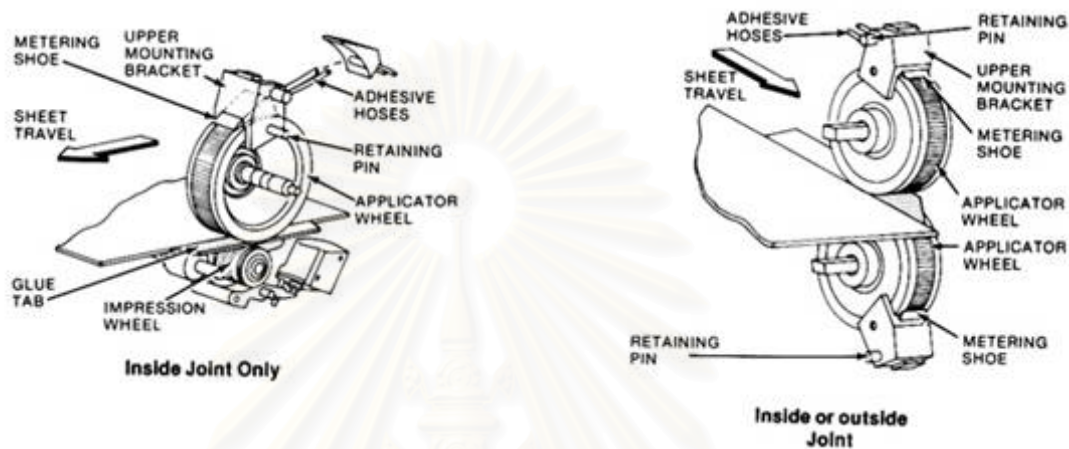
ชุดไบมีดไดคัท แบบเพลทโค้ง (In line rotary diecutter) เป็นชุดไบมีดไดคัทที่ติดบนเพลทโค้ง ซึ่งติดอยู่บนลูกกลิ้งถัดจากชุดพิมพ์ ชุดสุดท้าย ทำหน้าที่หลักในการตัดแผ่นกระดาษที่ผ่านจากชุดพิมพ์ ให้มีลักษณะเป็นช่องหรือรู ตามที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้เจาะรู หนูหัวในกล่องขนาดใหญ่หรือช่องระบายอากาศในกล่องใส่สินค้าประเภทผักและผลไม้



รูปที่ 3.30 ชุดโรตารี ไดคัท

6. ชุดทาลิ้นกาว (GLUE LAP UNIT)

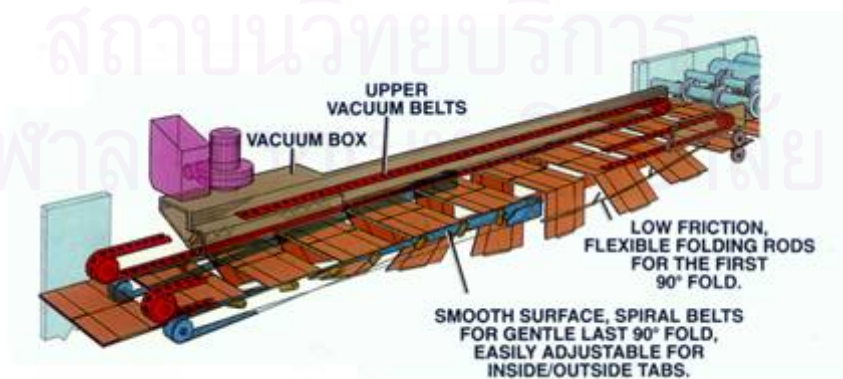
เป็นลูกกลิ้งบนล่างโดยมีลูกใดลูกหนึ่งทำหน้าที่ทากาวที่ลิ้นของกล่อง (ขึ้นอยู่กับว่าเป็นระบบพิมพ์บนหรือล่าง) และอีกลูกหนึ่งประกอง ขณะที่กระดาษผ่านระหว่างลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูก



รูปที่ 3.31 ชุดทาลิ้นกาว (GLUE LAP UNIT)

7. ชุดรางพับกล่อง (FOLDING SECTION)

ชุดรางพับกล่อง RSC อยู่ถัดจากลิ้นกาว ทำหน้าที่ในการประกองและพับกล่องให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยอาศัยสายพานบน-ล่าง เป็นตัวพากล่องให้เคลื่อนที่ไปบนรางพับ และมีโพลีดิ่งรอดเป็นตัวประกองให้เกิดการพับที่องศาต่างๆ กัน จนรอยต่อทั้ง 2 ด้าน เข้ามาประกบชิดกันพอดีในตำแหน่งลิ้นกาว



รูปที่ 3.32 ชุดรางพับกล่อง (FOLDING SECTION)

8 ชุดสแควร์ริง (Squaring)

เป็นชุดตบกระแทกกล่องที่มีการปรับขึ้นรูปแล้ว โดยมีหลักการที่จะต้องทำให้ด้านที่ 4 ที่พบบนที่ทับกับลิ้นกาวด้านที่ 1 มีแนวต่อเป็นเส้นตรงทั้งด้านบนและด้านล่างของตัวกล่อง



รูปที่ 3.33 ชุดสแควร์ริง (Squaring)

9. ชุดเคาน์เตอร์และอีเจคเตอร์ (Counter & Ejector)

เป็นชุดที่ทำกรนับกล่องซึ่งเมื่อครบตามจำนวนที่ตั้งไว้ กล่องกองนั้นก็จะถูกผลักออกมาและจะถูกส่งต่อไปยังชุดมัดซึ่งอยู่ถัดไป



รูปที่ 3.34 ชุดเคาน์เตอร์และอีเจคเตอร์ (Counter & Ejector)

10 .ชุดเครื่องมัด (TYING MACHINE)

ทำหน้าที่รัดกล่องเป็นมัดด้วยเชือก ตามจำนวนที่ถูกกำหนดมาจากชุดนับ เพื่อให้ง่ายต่อการขนถ่ายและตรวจสอบจำนวนสินค้าที่ผลิตขั้นสุดท้ายก่อนส่งถึงลูกค้า



รูปที่ 3.35 ชุดเครื่องมัด (TYING MACHINE)

11. ชุดโหลดฟอร์มเมอร์ (LOAD FORMER)

เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้การเรียงกล่องบนกระเบื้องเป็นไปได้อย่างสะดวก เรียบร้อย และง่าย เมื่อกองถูกเรียงจนครบตามจำนวนชั้นที่กำหนดก็จะถูกผลักออกมาจากลิฟต์คอนเวเยอร์



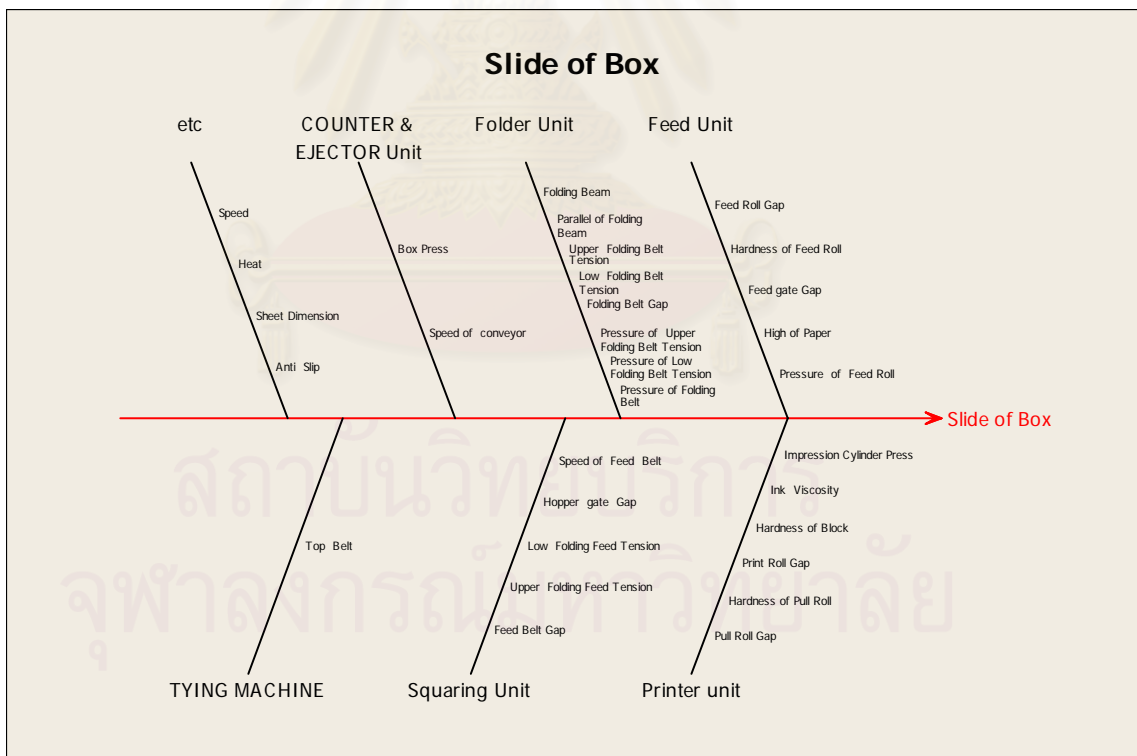
รูปที่ 3.36 ชุดโหลดฟอร์มเมอร์ (LOAD FORMER)

บทที่ 4

การดำเนินงานวิจัย

4.1 การค้นหาปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปัญหา

ในการค้นหาปัจจัยที่คาดว่าจะมีความผลต่อปัญหา กล้องกระดาษรีนมีความสำคัญมาก ผู้วิจัยได้จัดให้มีการประชุมเพื่อระดมสมอง (Brainstorming) ระหว่างผู้ที่มีความรู้ทางการผลิต เฉพาะด้าน (Intrinsic Technology) และมีประสบการณ์ในการเดินเครื่องจักร ซึ่งได้แก่ หัวหน้าแผนกประกันคุณภาพ หัวหน้าแผนกพิมพ์ หัวหน้ากะพิมพ์ ช่างซ่อมบำรุงเครื่องพิมพ์ และพนักงานเดินเครื่องพิมพ์ ซึ่งผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นผู้ประสานงานและสรุปผล โดยได้จัดทำเป็นแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ประเภทการกำหนดรายการสาเหตุ (Cause Enumeration) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพเหตุและผลแสดงปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการรีนของกล้องกระดาษลูกฟูก

พิจารณาจากแผนภาพเหตุและผลข้างต้น จะเห็นได้ว่าผู้วิจัยได้แบ่งก้างหลักตามส่วนการทำงานต่างๆ ของเครื่องจักร ซึ่งมีอยู่ 6 ส่วนหลักที่เกี่ยวข้องกับปัญหา คือ ชุดป้อนแผ่น (Feed Unit) ชุดทำการพิมพ์ (Printer Unit) ชุดพับกล่อง (Folder Unit) ชุดสแควร์ริง (Squaring) ชุดเคาน์เตอร์และอีเจคเตอร์ (Counter & Ejector) และชุดเครื่องมัด (TYING MACHINE) รวมถึงคุณลักษณะทางคุณภาพของวัตถุดิบ (Raw Material) ที่ใช้ในการผลิต และด้านอื่นๆ (Etc.) เช่น ความเร็วในการเดินเครื่องและความร้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายความเกี่ยวข้องกับปัญหาได้ ดังนี้

1. ชุดป้อนแผ่น (Feed Unit)

ชุดป้อนกระดาษมีหน้าที่หลักในการส่งผ่านกระดาษจากฟีดเทเบิลเข้าสู่ชุดพิมพ์ที่ละ 1 แผ่น โดยกระดาษจะถูกส่งผ่านจากฟีดเทเบิล โดยอาศัยชุดฟีดเดอร์ ผลักกระดาษเข้าสู่ฟีดโรล ซึ่งเป็นลูกกลิ้งไซลินเดอร์ 2 ลูก บน-ล่าง หมุนดึงกระดาษ ให้ถูกส่งต่อไป ยังชุดพิมพ์ เพื่อทำการพิมพ์ และขึ้นรูปกล่องต่อไป โดยมีปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปัญหา คือ

1.1 ระยะเวลาของลูกกลิ้งป้อนแผ่น (Feed Roll Gap) คือ Feed Roll คือชุดลูกกลิ้งที่ประกอบด้วย ลูกบนและล่าง อย่างละ 2 ลูก ทำหน้าที่ดึงแผ่นลูกฟูกที่ Kicker Plate ป้อนส่งมาให้ลำเลียงต่อไปยังชุดพิมพ์ ซึ่งหากระยะห่างระหว่างลูกบนกับลูกล่างไม่เหมาะสมแล้วอาจทำให้แผ่นกระดาษเกิดการยุบตัวและคุณสมบัติบางประการของกระดาษเสียไปได้

1.2 ความกระด้างของลูกกลิ้งป้อนแผ่น (Hardness of Feed Roll) กล่าวคือ หาก Feed Roll มีค่า Hardness ไม่เหมาะสมแล้วต้องออกแรงกดมากขึ้น อาจทำให้แผ่นกระดาษเกิดการยุบตัวและคุณสมบัติบางประการของกระดาษเสียไปได้

1.3 ระยะแผ่นกระดาษจะผ่านเข้าไปยังตู้ฟีด คือ (Feed gate Gap) ทำหน้าที่บังคับแผ่นกระดาษให้เข้าฟีดโรลที่ละแผ่น โดยสามารถปรับตั้งระยะความสูงของฟีดเกจได้ ตามชนิดของลอน ถ้าปรับระยะ Gap แคบไปอาจทำให้แผ่นกระดาษเกิดการยุบตัวและคุณสมบัติบางประการของกระดาษเสียไปได้

1.4 ความสูงในการตั้งกระดาษเพื่อเตรียมเข้าสู่ชุดฟีด High of Paper

1.5 แรงดันลมที่จ่ายให้แก่ชุดพืด Pressure of Feed Unit เพื่อบังคับให้กระดาษแนบติดกับพืดเทเบิล

2. ชุดทำการพิมพ์ (Printer Unit)

ชุดพิมพ์ มีหน้าที่ในการถ่ายทอดลดขนาดจากแม่พิมพ์ลงสู่กระดาษโดยหมึกพิมพ์จะถูกรีดหรือปาดหมึกให้ได้ฟิล์มของหมึกที่บางที่สุด ถ่ายทอดจากอนิล็อกซ์โรล มายังผิวหน้าของแม่พิมพ์ และส่งผ่านต่อมายังแผ่นกระดาษที่ต้องการพิมพ์ การส่งผ่านกระดาษจากชุดพิมพ์ไปยังชุดทำงานถัดไปจะอาศัยการหมุนสวนทางของไซลินเดอร์ 2 ลูก คือ ฟรันทไซลินเดอร์ กับ อิมเพรสชั่นไซลินเดอร์ ในขณะที่ทำการพิมพ์เป็นหลัก และจะมีชุดของลูกกลิ้งพูลโรล และพูลคอลลาร์ เป็นตัวช่วยเสริมในการประคองและดึงแผ่นกระดาษไปยังชุดทำงานถัดไป โดยมีปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปัญหา คือ

2.1 ระยะเวลาของลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (Pull Roll Gap) กล่าวคือ Pull Roll คือชุดลูกกลิ้งที่ประกอบด้วยลูกบนและล่าง อย่างละ 2 ลูก ทำหน้าที่ดึงแผ่นลูกฟูกจาก Feed Unit ป้อนเข้ามายังชุดพิมพ์ ซึ่งหากระยะห่างระหว่างลูกบนกับลูกล่างไม่เหมาะสมแล้ว อาจทำให้แผ่นกระดาษเกิดการยุบตัวและคุณสมบัติบางประการของกระดาษเสียไปได้

2.2 ความกระด้างของลูกกลิ้งลำเลียงแผ่น (Hardness of Pull Roll) กล่าวคือ หาก Pull Roll มีค่า Hardness ไม่เหมาะสมแล้ว อาจทำให้ไม่สามารถจับและลำเลียงแผ่นไปได้ ทำให้ต้องแผ่นกระดาษเกิดการยุบตัวและคุณสมบัติบางประการของกระดาษเสียไปได้

2.3 ระยะห่างของลูกกลิ้งพิมพ์ (Print Roll Gap) หมายถึง ระยะห่างระหว่าง Printing Roll ซึ่งใช้สำหรับติดตั้งบล็อกพิมพ์ กับ Impression Roll ซึ่งใช้สำหรับกดแผ่นลูกฟูกให้สัมผัสกับบล็อกพิมพ์ ทั้งนี้หากระยะดังกล่าวไม่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดปัญหาแผ่นกระดาษเกิดการยุบตัวและคุณสมบัติบางประการของกระดาษเสียไปได้

2.4 ความกระด้างของบล็อกพิมพ์ (Hardness of Block) กล่าวคือ หากบล็อกพิมพ์มีค่า Hardness ไม่เหมาะสมแล้ว อาจทำให้แผ่นกระดาษเกิดการยุบตัวและคุณสมบัติบางประการของกระดาษเสียไปได้

2.5 ความหนืดของหมึก (Ink Viscosity) คือ ความเข้มข้นของสีพิมพ์เมื่อพิมพ์

2.6 แรงกดของลูก (Impression Cylinder Press) คือ เป็นลูกกลิ้งโลหะผิวมันทำหน้าที่กดกระดาษเพื่อให้บล็อคพิมพ์สัมผัสกระดาษขณะพิมพ์

3. ชุดพับกล่อง (Folder Unit)

ชุดวางพับกล่อง RSC อยู่ถัดจากลิ้นกาว ทำหน้าที่ในการประกอบและพับกล่องให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยอาศัยสายพานบน-ล่าง เป็นตัวพากล่องให้เคลื่อนที่ไปบนรางพับ และมีโฟลด์ดิ้งรอดเป็นตัวประกอบให้เกิดการพับที่องศาต่างๆ กัน จนรอยต่อทั้ง 2 ด้าน เข้ามาประกบชิดกันพอดี ในตำแหน่งลิ้นกาว คือ การประกอบในระหว่างการเคลื่อนที่เพื่อให้เกิดการพับตัวที่แม่นยำที่สุด โดยมีปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปัญหา คือ

3.1 ระเบียบียงของวางพับด้านซ้ายและขวา (Folding Beam OP & DR Register)

กล่าวคือ Folding Beam เป็นองค์ประกอบสำคัญที่ก่อให้เกิดการพับตัวของกล่อง ฉะนั้นการกำหนดตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม อาจทำให้แผ่นกระดาษเกิดการยุบตัว การพับตัวคลาดเคลื่อนได้ และคุณสมบัติบางประการของกระดาษเสียไปได้

3.2 ความขนานของวางพับ (Parallel of Folding Beam) กล่าวคือ หากวางพับไม่ขนาน อาจเวลาพับตัวกล่องผิวกระดาษอาจเกิดความคลาดเคลื่อนในการพับ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านความเสียดทานของกล่องได้

3.3 ความตึงของสายพานพับกล่อง (Upper & Lower Folding Belt Tension) กล่าวคือ Folding Belt จะทำหน้าที่พากล่องเข้าสู่กระบวนการพับตัวและประกบกับลิ้นกาว ซึ่งหากมีความตึงไม่เหมาะสม เวลาขึ้นรูปพับตัวกล่องกระดาษอาจเกิดความคลาดเคลื่อนซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านความเสียดทานของกล่องได้

3.4 ระยะห่างของสายพานพับกล่องบน – ล่าง (Folding Belt Gap) หากมีความห่างไม่เหมาะสม เวลากล่องพับตัวขึ้นรูปอาจคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านความเสียดทานของกล่องได้

3.5 แรงดึงของสายพานพับกล่องบน-ล่าง (Pressure of Upper - Folding Belt Tension) คือ แรงดึงของสายพานด้านบนและด้านล่างในขณะที่ปากกล่องเคลื่อนไปยังชุด Squaring unit หากความตึงของสายพานไม่เหมาะสม อาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านความเสียดทานของกล่องได้

3.6 แรงกดของสายพานพับ (Pressure of Folding Belt) กล่าวคือ Pressure of Folding Belt จะเป็นสายพานที่มีลักษณะเป็นรูปเป็นช่วง และได้ Belt ดังกล่าวจะมีรางกดที่ทำหน้าที่กดกล่องที่กำลังลำเลียงผ่านไปให้แนบติดกับ Belt ฉะนั้นหากแรงกดดังกล่าวมีค่าไม่เหมาะสม เวลากล่องพับตัวขึ้นรูปอาจคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านความเสียดทานของกล่องได้

4. ชุดแควร์ริง (Squaring unit)

เป็นชุดตบกระแทกกล่องที่มีการพับขึ้นรูปแล้ว โดยมีหลักการที่จะต้องทำให้ด้านที่ 4 ที่พับมาทับกับล้นกาวด้านที่ 1 มีแนวต่อเป็นเส้นตรงทั้งด้านบนและด้านล่างของตัวกล่อง โดยมีปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปัญหา คือ

4.1 ระยะกคของสายพานป้อนเข้าชุดนับ (Feed Belt Gap) กล่าวคือ Feed Belt ทำหน้าที่ดึงกล่องต่อจาก Squaring Belt เพื่อป้อนเข้าสู่ชุด Squaring ฉะนั้นหากมีการตั้งระยะของการกคของสายพานชุดนี้ไม่เหมาะสม ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านความเสียดทานของกล่องได้

4.2 ความตึงของสายพานป้อนเข้าชุดนับเส้นบนและล่าง (Upper & Lower Feed Belt Tension) กล่าวคือหากค่าความตึงของสายพานชุดนี้ไม่เหมาะสม อาจส่งผลกระทบต่อ คุณสมบัติด้านความเสียดทานของกล่องได้

4.3 ระยะห่าง Hopper (Hopper gate Gap) คือ ระยะห่าง Hopper gate Gap ของกล่องที่ถูกพับขึ้นรูปแล้วผ่านแล้วส่งต่อไปยัง Counter & Ejector unit กล่าวคือหาก ระยะห่าง Hopper gate Gap ชุดนี้ไม่เหมาะสม อาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านความเสียดทานของกล่องได้

4.4 ความเร็วของสายพาน (Speed of Feed Belt) คือ ความเร็วของสายพานที่พากล่องเข้าสู่ชุดเคาน์เตอร์และอีเจคเตอร์ (Counter & Ejector) กล่าวคือถ้าความเร็วของสายพานไม่เหมาะสม อาจซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านความเสียดทานของกล่องได้

5.ชุดเคาน์เตอร์และอีเจคเตอร์ (Counter & Ejector)

เป็นชุดที่ทำการนับกล่องซึ่งเมื่อครบตามจำนวนที่ตั้งไว้ กล่องกองนั้นก็จะถูกผลักออกมาและจะถูกส่งต่อไปยังชุดมัดซึ่งอยู่ถัดไป โดยมีปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปัญหา ดังนี้

5.1 ความเร็วของคอนเวเยอร์ (Speed of Conveyor) คือ ความเร็วของConveyor ที่พากล่องเข้าสู่ชุดมัด (Tying Machine) กล่าวคือถ้าความเร็วของ Conveyor ไม่เหมาะสม อาจซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านความเสียดทานของกล่องได้

5.2 แรงกดกล่อง (Box Press) คือ แรงกดที่ใช้กดกล่องให้เกิดการเรียงตัวตั้งตามจำนวนที่ตั้งไว้ กล่าวคือตั้งแรงกดกล่อง (Box Press) ไม่เหมาะสม อาจซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านความเสียดทานของกล่องได้

6.ชุดเครื่องมัด (TYING MACHINE)

ทำหน้าที่รัดกล่องเป็นมัดด้วยเชือก ตามจำนวนที่ถูกกำหนดมาจากชุดนับ เพื่อให้ง่ายต่อการขนถ่ายและตรวจสอบจำนวนสินค้าที่ผลิตขั้นสุดท้ายก่อนส่งถึงลูกค้า โดยมีปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อปัญหา ดังนี้

6.1 สายพานบน (Top Belt) คือ สายพานบนที่ทำหน้าที่ประคองกล่องเวลามัด กล่าวคือถ้าตั้งแรงกด (Top Belt) ไม่เหมาะสม อาจซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านความเสียดทานของกล่องได้

7.อื่น ๆ

มีคุณลักษณะทางคุณสมบัติบางประการของกระบวนและวัตถุดิบ อาจมีผลต่อปัญหาแรงเสียดทานของ ดังนี้

7.1 ความโค้งงอของแผ่นลูกฟูก (Warp Sheet) กล่าวคือ หากแผ่นอยู่ในสภาพที่โค้งงอมากเกินไป อาจทำให้การพิมพ์ยากขึ้นซึ่งจะมีผลต่อแรงเสียดทานของกระดาษได้

7.2 มิติด้านขนาดของกล่อง (Sheet Dimension) กล่าวคือ หากกล่องมีขนาดของความกว้าง, ยาว, สูง แตกต่างกันอาจส่งผลต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษได้

7.3 ความเร็วในการเดินเครื่อง (Running Speed) กล่าวคือ หากเดินเครื่องด้วยความเร็วที่สูงเกินไป อาจส่งผลให้เกิดการลื่นไถล (Slip) ในระหว่างการลำเลียงโดย Roller และ Belt ต่างๆ ได้ แต่หากเดินเครื่องด้วยความเร็วที่ต่ำเกินไป จะทำให้สูญเสียกำลังการผลิต

7.4 ความร้อน (Heat) คือความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการการพิมพ์แต่ละจุด ซึ่งอาจมีผลต่อแรงเสียดทานได้

7.5 น้ำยากันลื่น (Anti Slip) คือน้ำยากันลื่นที่มีการพิมพ์เพิ่มที่ฝากล่องแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่าง ๆ กัน ทำให้มีราคาที่แตกต่างกันด้วย ซึ่งมีผลต่อการเพิ่มแรงเสียดทานโดยตรงต่อกล่อง

4.2 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis – MSA)

4.2.1 การทบทวนความเป็นมาตรฐาน (Standardization) ของระบบการวัด

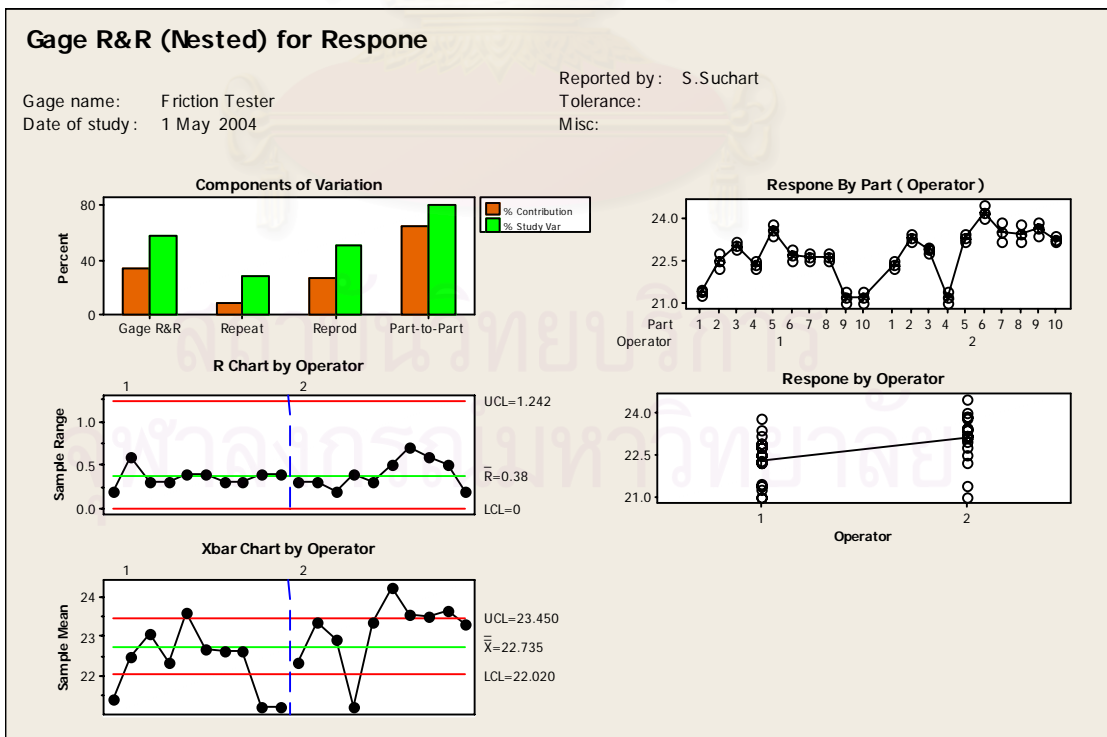
ในการดำเนินโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้มีการทบทวนระบบการวัดที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบันของโรงงาน โดยมีขั้นตอนในการทบทวนระบบการวัดดังนี้

1. ทำการสุ่มพนักงานประกันคุณภาพมา 2 คน
2. ทำการสุ่มจำนวนกล่องตัวอย่างที่ใช้วัด โดยกล่องที่ทำการผลิตมาจากกระบวนการผลิตที่มีค่าแรงเสียดทานที่มีค่าแตกต่างกันในช่วงของความผันแปรของกระบวนการผลิตมาทำการศึกษาทั้งสิ้น 20 กล่อง
3. กำหนดจำนวนวัดซ้ำ 2 ครั้ง
4. วิธีการประเมินผล: ใช้วิธีการวิเคราะห์ระบบการวัดโดยใช้วิธี Nested ANOVA เนื่องจากการวัดค่าแรงเสียดทานของกล่องไม่สามารถทำการวัดซ้ำในชิ้นงานเดียวกัน

ได้ เนื่องจากการวัดซ้ำที่ขึ้นงานเดียวกันมีผลทำให้ค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นต่ำลง และการวัดขึ้นงานเป็นแบบทำลายน

Part	Operator 1		Part	Operator 2	
	Measurement # 1	Measurement # 2		Measurement # 1	Measurement # 2
1	21.5	21.3	11	22.5	22.2
2	22.8	22.3	12	23.5	23.2
3	23.2	22.9	13	23.0	22.8
4	22.5	22.2	14	21.4	21.0
5	23.8	23.4	15	23.5	23.2
6	22.9	22.5	16	24.5	24.0
7	22.8	22.5	17	23.9	23.2
8	22.4	22.2	18	23.8	23.2
9	21.4	21.0	19	23.9	23.4
10	21.4	21.0	20	23.4	23.2

ตารางที่ 4.1 ผลการวัด Friction ในการวิเคราะห์ความแม่นยำก่อนการปรับปรุงระบบการวัด



รูปที่ 4.2 ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัดโดยวิธี Nested ANOVA

จากผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในรูปแบบที่ 4.2 สามารถตีความหมายได้ดังนี้

1. จากแผนภูมิควบคุม R Chart by Operator พบว่าพนักงานทั้ง 2 คนวัดค่าแรงเสียดทานของกล่องมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยพนักงานคนที่ 2 อาจจะทำให้ความผันแปรจากการวัดสูงกว่าพนักงานคนที่ 1

2. จากแผนภูมิควบคุม \bar{X} พบว่าความแปรปรวนจากระบบการวัดมีค่ามากเมื่อเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ เนื่องจากระบบการวัดยังไม่สามารถตรวจจับความแตกต่างของชิ้นงานได้อย่างดีพอ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดจะไม่มีคุณภาพอย่างเพียงพอในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการ

Gage R&R Study - Nested ANOVA

Gage R&R (Nested) for Response

Gage name: Friction Tester
 Date of study: 1 May 2004
 Reported by: S. Suchart
 Tolerance:
 Misc:

Gage R&R (Nested) for Response

Source	DF	SS	MS	F	P
Operator	1	6.561	6.56100	4.8125	0.042
Part (Operator)	18	24.540	1.36333	16.7280	0.000
Repeatability	20	1.630	0.08150		
Total	39	32.731			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.341383	34.75
Repeatability	0.081500	8.30
Reproducibility	0.259883	26.46
Part-To-Part	0.640917	65.25
Total Variation	0.982300	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.584280	3.50568	58.95
Repeatability	0.285482	1.71289	28.80
Reproducibility	0.509788	3.05873	51.44
Part-To-Part	0.800573	4.80344	80.78
Total Variation	0.991110	5.94666	100.00

Number of Distinct Categories = 1

รูปที่ 4.3 ผลการทบทวนความแม่นยำของระบบการวัดในส่วนของ Session
โดยวิธี Nested ANOVA

3. $ndc = 1$ แสดงว่าระบบการวัดที่ศึกษาทำการแยกข้อมูลที่วัดได้เพียง 1 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้ยังไม่สามารถนำมาในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดได้

4. ความผันแปรจากสิ่งตัวอย่าง จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทดลองทั้งหมดมีค่า 0.991110 องศา จะเป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชิ้นงานทดสอบ 0.800573 องศา และความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากระบบการวัด 0.584280 องศา

5. ความผันแปรที่ประมาณค่าได้ของระบบการวัด จะมีความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดมีค่า 5.94666 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากกระบวนการผลิต 4.80344 องศา และความผันแปรจากระบบการวัด 3.50568 องศา

6. เมื่อประเมินผลระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (TV) หรือ P/TV แล้วจะพบว่า ถ้าความผันแปรของกระบวนการผลิตที่ประเมินได้จากค่าวัดทั้งหมด (TV) มีค่าเท่ากับ 100 องศา จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการผลิต 80.78 องศา และความผันแปรจากระบบการวัด 58.95 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากสาเหตุ Repeatability 28.80 องศา และความผันแปรจากพนักงานหรือ Reproducibility 51.44 องศา

7. ค่า "VarComp" ที่หมายถึงองค์ประกอบของความแปรปรวนของการทดลองแบบตัวแบบสุ่ม จะพบว่าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 0.982300 องศา^2 จะมาจากความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต 0.640917 องศา^2 และความแปรปรวนจากระบบการวัด 0.341383 องศา^2 ซึ่งแบ่งออกเป็นความแปรปรวนจากสาเหตุด้าน Repeatability 0.081500 องศา^2 และสาเหตุด้าน Reproducibility 0.259883 องศา^2

8. จากองค์ประกอบของความแปรปรวนตามข้อ 7 เมื่อทำการเทียบเป็นค่าร้อยละแล้วจะพบว่า ถ้าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมดคือ 100 องศา^2 จะเป็นผลเนื่องจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิต 65.25 องศา^2 และความแปรปรวนของระบบการวัด 34.75 องศา^2 ซึ่งมาจากสาเหตุด้าน Repeatability 8.30 องศา^2 และสาเหตุด้าน Reproducibility 26.46 องศา^2

เนื่องจาก Total Gage R&R มีค่าเท่ากับ 34.75 % ซึ่งมากกว่า 10 % จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดที่ทำการวัดนี้ ยังไม่สามารถใช้ในการวัดค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกจากกระบวนการผลิตได้อย่างเหมาะสม

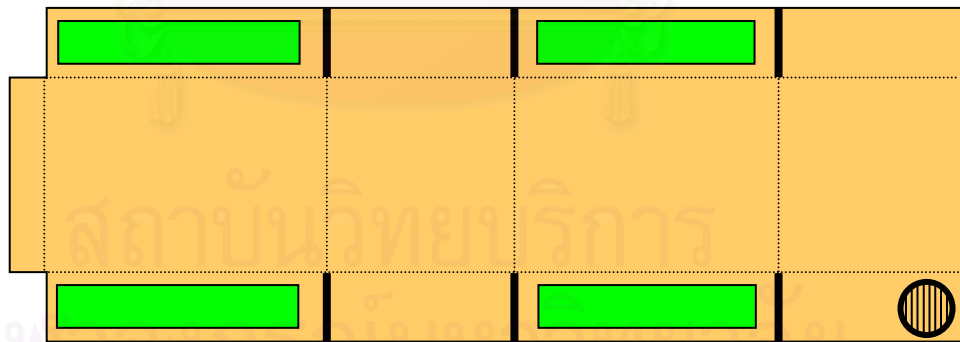
ผลจากการดำเนินโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้มีการทบทวนระบบการวัดที่มีการใช้อยู่ในปัจจุบันของโรงงาน พบประเด็นต่างๆ ที่สำคัญในระบบการวัด และได้มีการกำหนดมาตรฐานใหม่ในบางประเด็น เพื่อลดโอกาสของการเกิดความคลาดเคลื่อนของค่าวัด ดังนี้

1. เครื่องมือวัด: การใช้เครื่องทดสอบ Friction Tester

2.วิธีการวัด: พบว่าพนักงานที่ทำหน้าที่วัดค่า Friction Test ทำการตัดขนาดของกล่องที่ต้องการทดสอบที่แตกต่างกันและทำการวัดในตำแหน่งที่ไม่ตรงกัน เช่น บางคนตัดขนาด 100 X 100 มม. , บางคนตัดกระดาษเฉพาะที่ด้านบนฝากล่อง, บางคนตัดที่กึ่งกลางฝากล่อง ด้านบน เป็นต้น ซึ่งทำให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนมาก ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขนาดและตำแหน่งของกล่องที่ต้องการทดสอบดังนี้

2.1 กำหนดขนาดของชิ้นงานที่ต้องการทดสอบและทดสอบตามแนว MD (Machine Direction) ชิ้นที่ 1 = 60 x 100 mm. ส่วนชิ้นที่ 2 = 110 x 300 mm.

2.2 ตำแหน่งของชิ้นงานที่ต้องการทดสอบ โดยกำหนดตำแหน่งที่ฝากล่องด้านบนที่มีการพิมพ์ให้มี ขนาด 110 X 300 mm. และฝากล่องด้านด้านล่างมีขนาด 60 X 100 mm.



รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่งในการตัดชิ้นงานมาทดสอบ

3.พนักงานวัด: พบว่าพนักงานที่ทำหน้าที่วัดค่า Friction ในกะเช้ากับกะบ่ายจะเป็นคนละคน และเนื่องจากเครื่อง Friction Tester เป็นอุปกรณ์ที่เพิ่งซื้อเข้ามาใหม่ดังนั้นทำให้พนักงานที่ทำการวัดอาจจะยังไม่เกิดไม่ชำนาญ ผู้วิจัยจึงได้จัดฝึกอบรมขั้นตอนและวิธีการวัดที่ถูกต้อง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าพนักงานวัดสามารถอ่านค่าได้อย่างถูกต้อง

4. สิ่งแวดล้อมในการวัด: พบว่าระบบการวัดค่า Friction จะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของ ปัจจัยภายนอกต่างๆ เช่น อุณหภูมิ, แสงสว่าง, ความชื้น, ความสั่นสะเทือน เป็นต้น ผู้วิจัยจึงได้ กำหนด

4.1 ตัวอย่างเก็บไว้ในห้องทดสอบมากกว่า 8 ชม. ก่อนตัดมาทดสอบ

4.2 ตัวอย่างตัดโดยใช้ Sample cutter สำหรับ sheet board, กล่อง และลบขอบ ชี้นงานเพื่อไม่ให้เกิด Friction จากการตัดชิ้นงาน

4.3 พนักงานที่ห้องทดสอบ สวมใส่ถุงมือในการปฏิบัติงาน

4.2.2 การวิเคราะห์ความถูกต้อง (Accuracy) ของระบบการวัด

จากการทบทวนและกำหนดมาตรฐานของระบบการวัดขึ้นใหม่ตามขั้นตอนที่ 4.2.1 โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในประเด็นของการใช้เครื่อง Friction Tester ซึ่งได้ทำการสอบเทียบ (Calibration) ตามช่วงเวลาที่กำหนดอย่างสม่ำเสมอ มาใช้เป็นเครื่องมือวัดค่า Friction ของ กล่อง และในระหว่างดำเนินโครงการวิจัย เครื่องมือวัดดังกล่าวยังอยู่ในช่วงเวลารับรองผลความ ถูกต้อง ฉะนั้นผู้วิจัยจึงถือว่าระบบการวัดดังกล่าวมีคุณสมบัติด้านความถูกต้องของเครื่องมือวัด ครบทั้ง 3 ประการ คือ ด้านไบอัส (Bias), ด้านเสถียรภาพ (Stability) และคุณสมบัติเชิงเส้นตรง (Linearity)

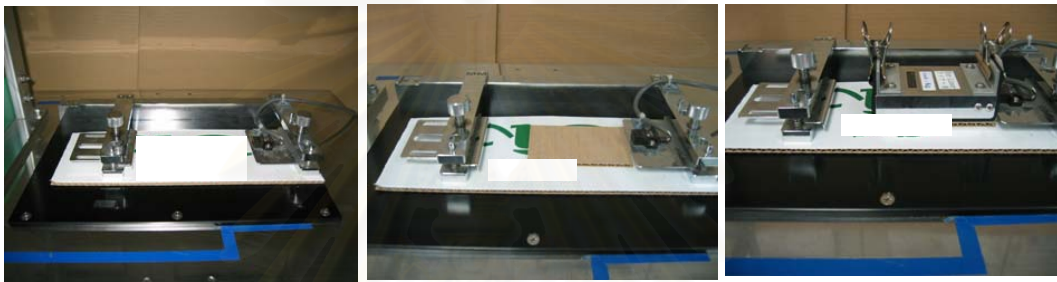
4.2.3 การวิเคราะห์ความแม่นยำ (Precision) ของระบบการวัด

ในการวิเคราะห์ความแม่นยำนี้ ผู้วิจัยมุ่งที่จะพิจารณาใน 2 ประเด็นหลัก คือ คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัดหรืออุปกรณ์การวัดหรือไม่ และ ระบบการวัดมี ความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการผลิตนี้หรือไม่ โดยในส่วนของ คุณสมบัติด้านความแม่นยำนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) และ ความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) ซึ่งการประเมินผลความ แม่นยำดังกล่าวจะพิจารณาดัชนีที่เรียกว่า GR&R (Gage Repeatability and Reproducibility)

ในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการวางแผนการศึกษาความแม่นยำในแต่ละประเด็น ดังนี้

1. เครื่องมือวัดที่ใช้: กำหนดให้มีการใช้เครื่อง Friction Tester ที่ผ่านการสอบเทียบ
2. จำนวนพนักงานวัดที่ใช้ : สุ่มพนักงานที่มีหน้าที่ในการวัดค่า Friction ที่ผ่านการฝึกอบรมในด้านการใช้เครื่องมือวัดมาทำการศึกษา 2 คน จากทั้งสิ้น 9 คน
3. จำนวนกล่องตัวอย่างที่ใช้วัด: ทำการคัดแยก (Sort) กล่องที่ทำการผลิตที่มีค่าแรงเสียดทานที่มีค่าแตกต่างกันในช่วงของความผันแปรของกระบวนการผลิตมาทำการศึกษาทั้งสิ้น 20 กล่อง
4. จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับกล่องตัวอย่างแต่ละใบ กำหนดให้พนักงานวัดแต่ละคนมีการวัดซ้ำคนละ 2 ครั้งต่อกล่อง
5. การดำเนินการทดลอง: ดำเนินการทดลองตามหลักการสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely randomized Design) โดยการทดลองจะต้องอยู่ภายใต้สถานะควบคุมเดียวกัน (หรือภายใน Block) โดยมีพนักงานวัดเป็นปัจจัยที่ทำการศึกษาและกล่อง ซึ่งลำดับในการทดลองเป็นไปอย่างสุ่ม และได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2
6. วิธีการประเมินผล: ใช้วิธีการวิเคราะห์หระบบการวัดโดยใช้วิธี Nested ANOVA เนื่องจากการวัดค่าแรงเสียดทานของกล่องไม่สามารถทำการวัดซ้ำในชิ้นงานเดียวกันได้ เนื่องจากการวัดซ้ำที่ชิ้นงานเดียวกันมีผลทำให้ค่าแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นต่ำลง เพื่อแยกความผันแปรออกเป็นความผันแปรย่อย ๆ ตามแหล่งที่มาของความผันแปรนั้น
7. วิธีการทดสอบ
 - ห้องทดสอบควบคุมความชื้นตาม TAPPI T402 (Standard Condition and testing)
 - ตัวอย่างเก็บไว้ในห้องทดสอบมากกว่า 8 ชม. ก่อนตัดมาทดสอบ
 - ตัวอย่างตัดโดยใช้ Sample cutter สำหรับ sheet board, กล่อง และลบบอบชิ้นงาน เพื่อไม่ให้เกิด Friction จากการตัดชิ้นงาน
 - พนักงานที่ห้องทดสอบ สวมใส่ถุงมือในการปฏิบัติงาน
 - เสียบปลั๊กไฟ, ปรับระดับของ table ให้ได้ระดับโดยดูจากสเกล

- เปิด switch on ที่ tester
- นำชิ้นงานที่ 2 ขนาด 110 x 300 mm. วางลงบนแผ่น black plate โดยหงายด้าน outer liner ขึ้น
- นำชิ้นงานที่ 1 ขนาด 60 x 100 mm. มายึดกับ sled (ก้อนน้ำหนัก 1 กก.) และวางลงบนกึ่งกลางแผ่นชิ้นงานที่ 2 ให้ด้านหนึ่งชิดกับ sensor
- เปิดปุ่ม test ตัวเครื่อง จะเริ่มทำงานยกชิ้นงานเอียงทำมุมจนกระทั่งชิ้นงานเคลื่อนตัวออกจาก sensor และ หยุด
- บันทึกค่าที่อ่านจาก digital indication
-

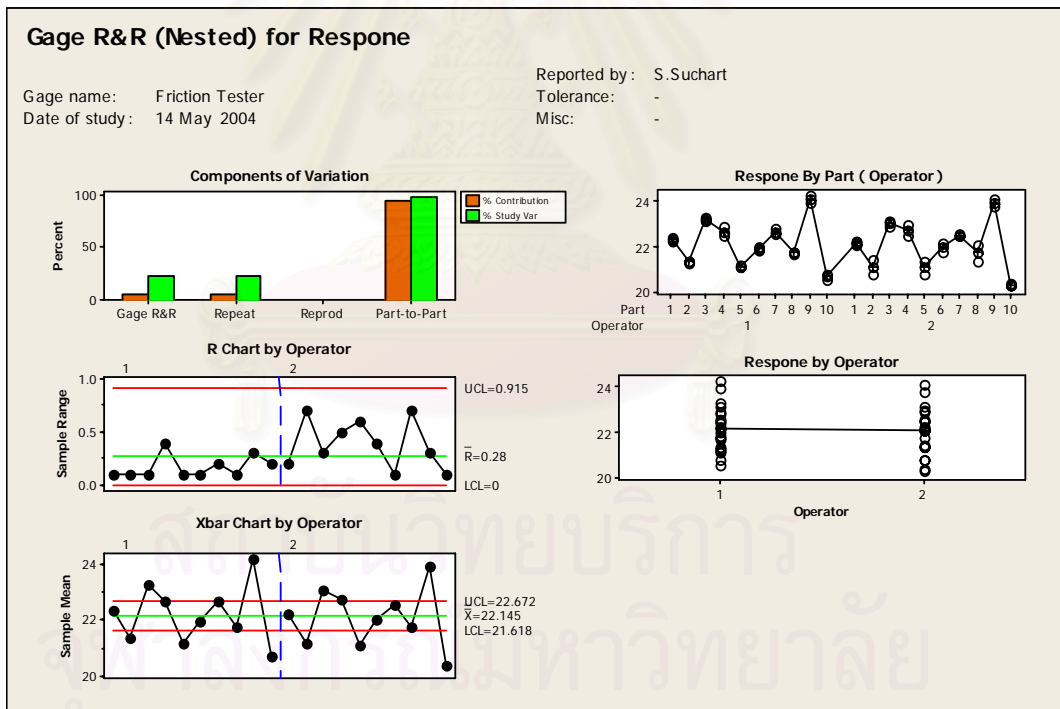


รูปที่ 4.5 แสดงการทดสอบโดยใช้เครื่อง Friction Test ตามแนวMD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Part	Operator 1		Part	Operator 2	
	Measurement # 1	Measurement # 2		Measurement # 1	Measurement # 2
1	22.3	22.4	11	22.1	22.3
2	21.4	21.3	12	21.5	20.8
3	23.3	23.2	13	23.2	22.9
4	22.5	22.9	14	22.5	23.0
5	21.2	21.1	15	21.4	20.8
6	22.0	21.9	16	21.8	22.2
7	22.6	22.8	17	22.5	22.6
8	21.7	21.8	18	21.4	22.1
9	24.3	24.0	19	23.8	24.1
10	20.6	20.8	20	20.3	20.4

ตารางที่ 4.2 ผลการวัด Friction ในการวิเคราะห์ความแม่นยำหลังปรับปรุงระบบการวัด



รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดของวิธี Nested ANOVA

จากผลลัพธ์ทางคอมพิวเตอร์ในรูปแบบที่ 4.6 สามารถตีความหมายได้ดังนี้

1. จากแผนภูมิควบคุม R Chart by Operator พบว่าพนักงานทั้ง 2 คนมีค่าวัดที่มีความสามารถสม่ำเสมอดีแต่พนักงานคนที่ 2 อาจจะทำให้ความผันแปรจากการวัดสูงกว่าพนักงานคนที่ 1

2. จากแผนภูมิควบคุม \bar{X} พบว่าความแปรปรวนจากระบบการวัดมีค่าไม่มากนักเมื่อเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการวัดจะมีคุณภาพอย่างเพียงพอในการประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการ

Gage R&R Study - Nested ANOVA
Gage R&R (Nested) for Response
Gage name: Friction Tester
Date of study: 14 May 2004
Reported by: S.Suchart
Tolerance: -
Misc: -

Gage R&R (Nested) for Response

Source	DF	SS	MS	F	P
Operator	1	0.144	0.1440	0.0654	0.801
Part (Operator)	18	39.645	2.2025	37.0168	0.000
Repeatability	20	1.190	0.0595		
Total	39	40.979			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0595	5.26
Repeatability	0.0595	5.26
Reproducibility	0.0000	0.00
Part-To-Part	1.0715	94.74
Total Variation	1.1310	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SU)
Total Gage R&R	0.24393	1.46356	22.94
Repeatability	0.24393	1.46356	22.94
Reproducibility	0.00000	0.00000	0.00
Part-To-Part	1.03513	6.21080	97.33
Total Variation	1.06348	6.38091	100.00

Number of Distinct Categories = 5

รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดในสัวน Session ของ

วิธี Nested ANOVA

3. $ndc = 5$ แสดงว่าระบบการวัดที่ศึกษาทำการแยกข้อมูลที่วัดได้ออกเป็น 5 ประเภทที่มีความแตกต่างกัน แสดงว่าข้อมูลที่ได้จะใช้ประมาณค่าความผันแปรของกระบวนการวัดได้

4. ความผันแปรจากสิ่งตัวอย่าง จะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทดลองทั้งหมดมีค่า 1.06348 องศา จะเป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากชิ้นงานทดสอบ 1.03513 องศา และความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากระบบการวัด 0.24393 องศา

5. ความผันแปรที่ประมาณค่าได้ของระบบการวัด จะมีความผันแปรของข้อมูลทั้งหมดมีค่า 6.38091 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากกระบวนการผลิต 6.21080 องศา และความผันแปรจากระบบการวัด 1.46356 องศา

6. เมื่อประเมินผลระบบการวัดเทียบกับความผันแปรของกระบวนการ (TV) หรือ P/TV แล้วจะพบว่า ถ้าความผันแปรของกระบวนการผลิตที่ประเมินได้จากค่าวัดทั้งหมด (TV) มีค่าเท่ากับ 100 องศา จะเป็นความผันแปรจากสาเหตุของกระบวนการผลิต 97.33 องศา และความผันแปรจากระบบการวัด 22.94 องศา ซึ่งแบ่งออกเป็นความผันแปรจากสาเหตุ Repeatability 22.94 องศา และความผันแปรจากพนักงานหรือ Reproducibility จะมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ Repeatability (ประมาณเท่ากับศูนย์)

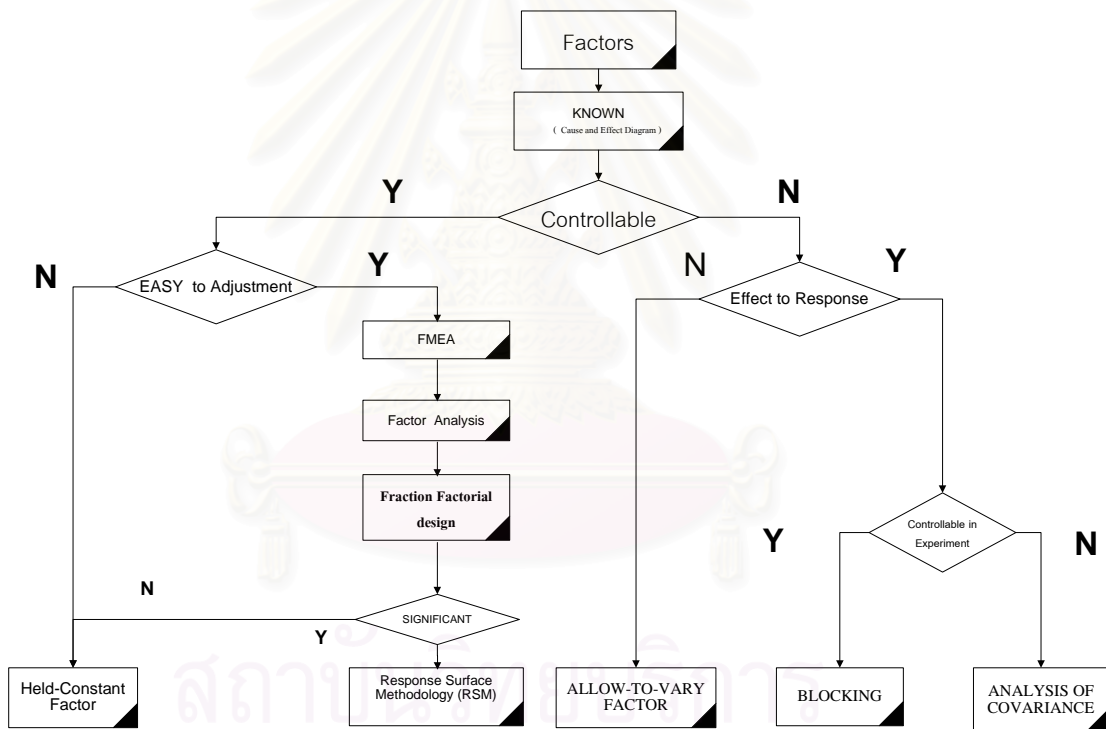
7. ค่า "VarComp" ที่หมายถึงองค์ประกอบของความแปรปรวนของการทดลองแบบตัวแบบสุ่ม จะพบว่าความแปรปรวนจากข้อมูลทั้งหมดมีค่า 1.1310 องศา² จะมาจากความแปรปรวนจากกระบวนการผลิต 1.0715 องศา² และความแปรปรวนจากระบบการวัด 0.0595 องศา² ซึ่งแบ่งออกเป็นความแปรปรวนจากสาเหตุด้าน Repeatability 0.0595 องศา² และสาเหตุด้าน Reproducibility จะมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ Repeatability (ประมาณเท่ากับศูนย์)

8. จากองค์ประกอบของความแปรปรวนตามข้อ 7 เมื่อทำการเทียบเป็นค่าร้อยละแล้วจะพบว่า ถ้าความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมดคือ 100 องศา² จะเป็นผลเนื่องมาจากความแปรปรวนของกระบวนการผลิต 94.74 องศา² และความแปรปรวนของระบบการวัด 5.26 องศา² ซึ่งมาจากสาเหตุสาเหตุด้าน Repeatability 5.26 องศา² และสาเหตุด้าน Reproducibility จะมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับ Repeatability (ประมาณเท่ากับศูนย์)

9. P-Value ของอิทธิพลของพนักงานวัดมีค่าเท่ากับ 0.801 มากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.10 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F ซึ่งเท่ากับ 0.0654 มีค่าน้อยกว่าค่า F วิฤติ สรุปว่าอิทธิพลพนักงานวัดไม่มีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาค่า P-Value ของชิ้นงาน (Box) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.000 น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.10 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F ซึ่งเท่ากับ 37.0168 มีค่ามากกว่า F วิฤติ จึงสรุปว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบการวัดมีแหล่งที่มาจากความผันแปรมาจากชิ้นงานเพียงอย่างเดียว ที่ระดับนัยสำคัญ 0.10

จึงสรุปได้ว่าระบบการวัดที่ทำการวัดนี้ สามารถใช้ในการวัดค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกจากกระบวนการผลิตได้อย่างเหมาะสม

4.3 การเลือกปัจจัยเพื่อทำการทดลอง



รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดงกระบวนการคัดเลือกปัจจัยเพื่อดำเนินการออกแบบการทดลอง

แนวทางการเลือกปัจจัยในแต่ละขั้นตอน ดังนี้

1. Know How : เป็นความรู้ทางเฉพาะในงานที่จะทำการศึกษาที่ต้องอาศัยทั้งประสบการณ์และความรู้ทางด้านวิศวกรรมเข้ามาใช้ในการกรองปัจจัยเบื้องต้นซึ่งอาจจะใช้เครื่องมือ 7 QC. : ผังก้างปลา , Why-Why Analysis ฯลฯ ซึ่งในการวิเคราะห์จะพบว่ามียังปัจจัยที่ผู้วิเคราะห์ห้รู้ถึงปัจจัยนั้นเป็นอย่างดีและปัจจัยที่ไม่ทราบเลย

2. Controllable : เป็นขั้นตอนการตัดสินใจว่าปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ในการผลิตปกติหรือไม่

3. Easy to Adjustment : เป็นขั้นตอนในการตัดสินใจว่าปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยที่สามารถทำการควบคุมได้ในการผลิตปกติ และสามารถทำการปรับเปลี่ยนค่าได้สะดวกและง่ายหรือไม่

3.1 ถ้าใช่ ให้นำปัจจัยดังกล่าวไปทำการกรองปัจจัยโดยการวิเคราะห์หาค่าการขาดข้องและผลกระทบ (FMEA) ต่อ และหลังจากการวิเคราะห์ด้วย FMEA แล้วให้ทำการวิเคราะห์ด้วย Factor Analysis ต่อเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบการทดลองขั้นต่อไป

3.2 ถ้าไม่ใช่ ให้ทำการกำหนดปัจจัยนั้นไว้เป็นค่าคงที่ใด ๆ ที่ใช้ในการผลิตปกติ (Held-Constant Factor)

4. Significant : หลังจากการกรองปัจจัยทั้งการวิเคราะห์ FMEA และ Factor Analysis แล้วพบว่าปัจจัยใดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรผลตอบหรือไม่

4.1 ถ้าใช่ ให้นำปัจจัยดังกล่าวไปทำการออกแบบการทดลอง Fraction Factorial design

4.2 ถ้าไม่ใช่ ให้ทำการกำหนดปัจจัยนั้นไว้เป็นค่าคงที่ใด ๆ ที่ใช้ในการผลิตปกติ (Held-Constant Factor)

5. Fraction Factorial design: หลังจากทำการทดลอง Fraction Factorial design แล้วพบว่าปัจจัยใดมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อตัวแปรผลตอบหรือไม่

5.1 ถ้าใช่ ให้นำปัจจัยดังกล่าวไปทำการออกแบบการทดลองในขั้นตอนการ
ยืนยันผล

5.2 ถ้าไม่ใช่ ให้ทำการกำหนดปัจจัยนั้นไว้เป็นค่าคงที่ใด ๆ ที่ใช้ในการผลิตปกติ
(Held-Constant Factor)

6. Response Surface Methodology (RSM): หลังจากทำการออกแบบการทดลอง
Fraction Factorial design แล้วถ้าพบว่าสมการมี Curvature จะต้องทำการหาจุดที่เหมาะสมที่สุด
ที่สุดของ Process ด้วยการทำ RSM ต่อ

7. Effect to Response: หลังจากทำการวิเคราะห์และตัดสินใจแล้วพบว่าปัจจัยดังกล่าว
ไม่สามารถควบคุมได้ในการผลิตปกติให้นำมาวิเคราะห์ต่อว่าปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อตัวแปร
ตอบสนองมากน้อยเพียงไร

7.1 ถ้าใช่ ให้นำปัจจัยดังกล่าวมาวิเคราะห์ต่อว่าถ้าสามารถทำการควบคุมได้ใน
การทดลอง

7.2 ถ้าไม่ใช่ ให้สามารถทำการละเว้นปัจจัยดังกล่าวไปได้ (ALLOW-TO-
VARY FACTOR) โดยถือว่าปัจจัยดังกล่าวเป็นปัจจัยรบกวนในระบบ (Noise)

8. Controllable in Experiment: เป็นขั้นตอนในการวิเคราะห์ต่อว่าปัจจัยที่ไม่สามารถ
ควบคุมได้ในการผลิตปกติและมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง มาวิเคราะห์ต่อว่าสามารถทำการ
ควบคุมได้ในการทดลองหรือไม่

8.1 ถ้าใช่ ให้ blocking นำปัจจัยดังกล่าวไปทำการ ในการออกแบบการทดลอง

8.2 ถ้าไม่ใช่ ให้ดำเนินการแบบการวิเคราะห์ตัวแปรปรวนร่วม (Analysis of
Covariance)

4.4 การวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) ได้มีการระดมความคิดเห็นจากทีมงานและการสำรวจหาความต้องการของลูกค้า โดยการสัมภาษณ์ลูกค้า โดยตั้งสมมติฐานถ้าทำการควบคุมความต้องการเชิงเทคนิคดังกล่าว จะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตอบสนองความต้องการของลูกค้าและความพึงพอใจของได้หรือไม่ สามารถสรุปความต้องการของลูกค้าและความต้องการเชิงเทคนิคได้ดังนี้

ความต้องการของลูกค้า	ความต้องการเชิงเทคนิค										Customer importance	Relative weight	
	แรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก	แรงดันแรงกดในแนวดิ่ง	แรงดันกดลอนลูกฟูก	ความหนาของแผ่นกระดาษลูกฟูก	แรงดันระบุของแผ่นกระดาษลูกฟูก	แรงดันทานแรงกดของกล่องกระดาษลูกฟูก	แรงดันแรงกดของแหวนของกระดาษหุ้ม	Productivity ในการผลิต	ค่าความเรียบในการพิมพ์	วัสดุดีบ			ต้นทุนในการผลิต
1 สามารถเคลื่อนสินค้าได้โดยสินค้าไม่ตกลงมาเสียหาย	10											10	0.11
2 สามารถจัดเก็บสินค้าได้โดยสินค้าไม่ตกลงมาเสียหาย	10				8							10	0.11
3 สามารถรองรับน้ำหนักของสินค้าที่บรรจุอยู่ภายในได้		6	7			8						10	0.11
4 แบบการพิมพ์ของกล่องถูกต้องตามแบบ								8				9	0.10
5 น้ำหนักของกล่องไม่เปลี่ยนแปลง				8								8	0.09
6 สามารถกันน้ำได้									7			8	0.09
7 สามารถเรียงซ้อนกันได้โดยกล่องไม่ยุบ	9					9	8					10	0.11
8 สามารถสอกลับได้กรณีเกิดข้อบกพร่อง								8				8	0.09
9 จัดส่งตรงเวลา								8				9	0.10
10 ราคาเหมาะสมกับคุณภาพ										8		9	0.10

Absolute importance	3.19	0.66	0.77	0.70	0.88	1.87	0.88	1.49	0.79	0.62	0.79	8.95	1.00
Relative importance	0.36	0.07	0.09	0.08	0.10	0.21	0.10	0.17	0.09	0.07	0.09	1.00	

ตารางที่ 4.3 สรุปความต้องการของลูกค้าและความต้องการเชิงเทคนิค

จากตารางที่ 4.3 สามารถสรุปความสัมพันธ์ของความต้องการของลูกค้าและความต้องการเชิงเทคนิคในการไปปรับปรุงค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกได้ดังนี้

1. การประเมินให้ใส่ช่วงตัวเลขระหว่าง 0-10 โดยมีรายละเอียดดังนี้

0 = ไม่มีผลต่อความต้องการของลูกค้า/ไม่มีผลต่อความต้องการเชิงเทคนิค

10 = ไม่มีผลต่อความต้องการของลูกค้า/ไม่มีผลต่อความต้องการเชิงเทคนิค

2. กำหนดความต้องการของลูกค้าว่ามีต่อเรื่องใดมากที่สุด โดยสามารถสรุปออกมาได้ 10 ความต้องการด้วยกัน จากนั้นทำการการสัมภาษณ์ลูกค้าว่าเรื่องใดมีความสำคัญ (Customer importance) มากน้อยต่างกันอย่างไร โดยใช้ตัวเลข 0-10 โดยมีรายละเอียดดังนี้

0 = ไม่มีความสำคัญต่อลูกค้า

10 = มีความสำคัญต่อลูกค้าอย่างยิ่ง

$$\text{แล้วทำการคำนวณหา Relative weight} = \frac{\text{Customer importance}}{\text{Total Customer importance}}$$

ดังตารางที่ 4.3

3. ทำการคำนวณหาค่า Absolute importance = Customer importance X คะแนนที่ประเมินในแต่ละช่อง ดังตารางที่ 4.3

$$4. \text{ ทำการคำนวณหาค่า Relative importance} = \frac{\text{Absolute importance}}{\text{Total Absolute importance}}$$

ดังตารางที่ 4.3

สามารถสรุปได้ว่าแรงเสียดทานของกล่องมีความสำคัญต่อลูกค้ามี Relative importance เท่ากับ 0.36 ดังนั้นจึงต้องมาทำการประเมินว่ามีปัจจัยในการผลิตใดบ้างที่ผลต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก จึงนำปัจจัยเหล่านั้นมาทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) โดยกำหนดให้อัตราส่วนความสำคัญต่อลูกค้ามีค่า 0 - 10 โดยที่

0 = ไม่มีความสำคัญต่อลูกค้า / ไม่มีผลต่อแรงเสียดทานของกล่อง

10 = มีความสำคัญต่อลูกค้าอย่างยิ่ง / มีผลต่อแรงเสียดทานของกล่องอย่างยิ่ง

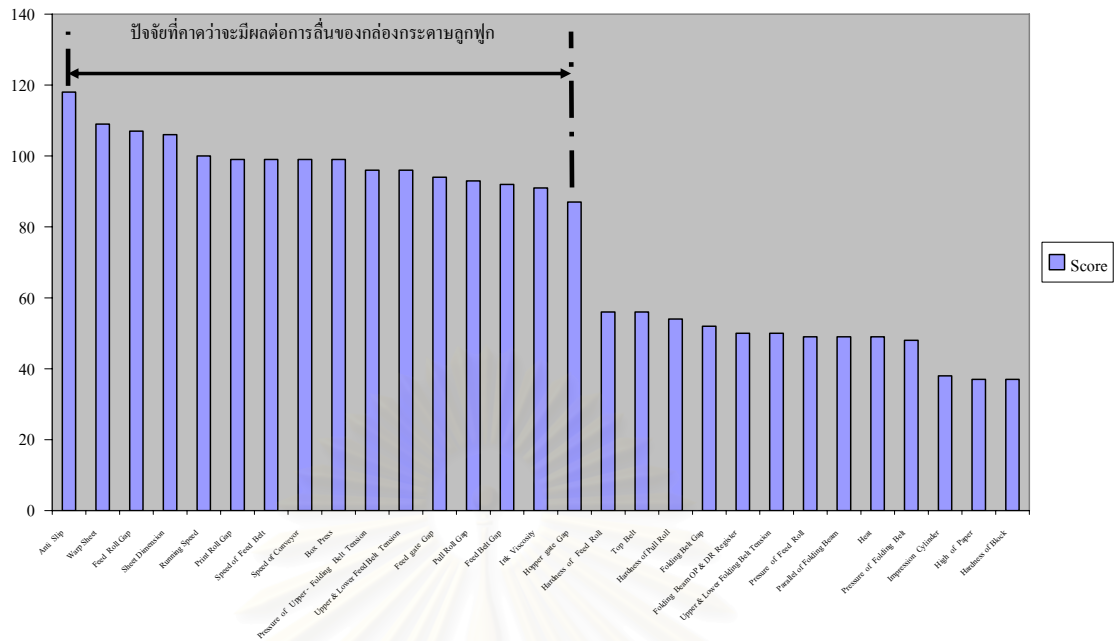
จากเกณฑ์คะแนน ได้ให้ทีมงานให้คะแนนปัจจัยที่มีผลกับตัวแปรตอบสนอง โดยให้ทีมงานแต่ละคนให้คะแนนในแบบสอบถาม ดังแบบฟอร์มภาคผนวก ข. แล้วนำคะแนนแต่ละคนมาวิเคราะห์ ต่อสามารถสรุปผลความสัมพันธ์ของสาเหตุและผลในตารางที่ 4.4 เมื่อคะแนนที่ได้จากการสรุปในที่ประชุมมาพล็อตเป็นพาเรโตไดอะแกรม จะทำให้สามารถคัดเลือกปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองได้ดังรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.4 การสรุปผลวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล
(Cause & Effect Matrix)

สรุปผลการคัดเลือกปัจจัยเบื้องต้น

ลำดับที่	จำแนกตาม Unit	ปัจจัยที่มีผล	อัตราความสำคัญต่อลูกค้าผลกระทบต่อแรงเสียดทานของดรัมลูกฟูก (0-10)														
			คนเดินเครื่อง	แรงเสียดทานการเดินเครื่อง	แรงเสียดทานลูกฟูก	หม.เหล็กเส้นลูกฟูก	หม.พิมพ์	หม. QA	หม.ซ่อม	หม. กิ่ง	Operator	ช่างซ่อม	หม.เหล็กกระดาษ Kra	บริการลูกฟูก	บริการพิมพ์	บริการ QA	รวม
1	Feed Unit	1 Feed Roll Gap	9	8	9	8	7	8	7	7	8	7	7	7	7	8	107
		2 Hardness of Feed Roll	5	4	4	3	4	4	5	3	4	3	4	5	4	4	56
		3 Feed gate Gap	7	8	7	6	6	7	6	7	6	7	8	7	6	6	94
		4 High of Paper	2	2	3	3	3	3	2	2	3	3	2	3	3	3	37
		5 Pressure of Feed Roll	4	5	4	4	3	3	2	3	4	3	4	4	3	3	49
2	Printing Unit	6 Pull Roll Gap	7	7	6	7	7	6	7	6	7	6	7	7	6	7	93
		7 Hardness of Pull Roll	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	4	5	4	4	54
		8 Print Roll Gap	6	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	6	6	7	99
		9 Hardness of Block	3	3	3	2	3	3	2	3	3	3	2	2	2	3	37
		10 Ink Viscosity	7	7	6	6	6	7	6	7	6	7	7	7	6	6	91
		11 Impression Cylinder	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	2	38
3	Folder Unit	12 Folding Beam OP & DR Register	4	4	3	2	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	50
		13 Parallel of Folding Beam	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	49
		14 Upper & Lower Folding Belt Tension	5	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	3	3	3	50
		15 Folding Belt Gap	4	4	4	4	3	3	4	4	4	3	3	4	4	4	52
		16 Pressure of Upper - Folding Belt Tension	8	7	8	7	7	7	6	6	7	7	6	6	7	7	96
		17 Pressure of Folding Belt	4	5	4	3	3	3	2	3	4	3	4	4	3	3	48
4	Squaring unit	18 Feed Belt Gap	6	6	6	7	7	7	7	6	6	7	7	7	7	6	92
		19 Upper & Lower Feed Belt Tension	7	7	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	96
		20 Hopper gate Gap	6	6	6	7	6	7	6	6	7	6	6	6	6	6	87
		21 Speed of Feed Belt	8	7	7	6	6	7	8	7	7	8	7	7	7	7	99
5	Counter & Ejector Unit	22 Speed of Conveyor	8	8	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	99	
		23 Box Press	8	7	7	8	8	8	7	7	8	7	8	8	8	8	99
6	TYING Unit	24 Top Belt	4	5	5	5	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	56
7	Other	25 Warp Sheet	8	7	8	8	8	7	8	8	7	8	8	8	8	8	109
		26 Sheet Dimension	8	8	8	7	8	8	8	7	7	7	7	8	7	8	106
		27 Running Speed	7	8	7	7	7	8	8	8	6	7	7	6	7	7	100
		28 Heat	5	5	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	2	2	49
		29 Anti Slip	9	9	8	9	9	8	8	9	9	8	8	8	8	8	118

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 แผนภูมิพาเรโตเรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ จากการวิเคราะห์ด้วย

(Cause & Effect Matrix)

จากผลการให้คะแนนตามความสำคัญของปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อแรงเสียดทานของกล่อง โดยทีมงานได้ทำการคัดเลือกปัจจัยโดยใช้หลักพาเรโต พบว่ามีปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อแรงเสียดทานกล่องกระดาษลูกฟูก 16 ปัจจัย เพื่อนำไปศึกษาต่อยด้วย FMEA ต่อไป โดยปัจจัยที่เลือกไว้มีดังต่อไปนี้

1. Anti Slip
2. Warp Sheet
3. Feed Roll Gap
4. Sheet Dimension
5. Running Speed
6. Print Roll Gap
7. Speed of Feed Belt
8. Speed of Conveyor
9. Box Press
10. Pressure of Upper - Folding Belt Tension
11. Upper & Lower Feed Belt Tension
12. Feed gate Gap

13. Pull Roll Gap
14. Feed Belt Gap
15. Ink Viscosity
16. Hopper gate Gap

4.5 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)

หลังจากได้พิจารณาเลือกปัจจัยที่สำคัญจากการพิจารณาด้วย Cause & Effect Matrix แล้ว จึงมาทำการกรองปัจจัยโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) เพื่อศึกษาถึงอาการขัดข้องและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อกระบวนการผลิต ในการวิเคราะห์เป็นการใช้ FMEA สำหรับกระบวนการผลิต ในการดำเนินการ FMEA ใหม่ประสิทธิภาพผลมากที่สุดนั้น จะต้องดำเนินการบนแนวคิดพื้นฐาน 3 ประการดังนี้

1. การดำเนินการโดยคณะทำงาน (Team)
2. การดำเนินการผ่านการวิเคราะห์หน้าที่ของกระบวนการ
3. การดำเนินการโดยเน้นการปรับปรุงไม่สิ้นสุด

การวิเคราะห์หน้าที่ของกระบวนการ และได้กำหนดถึงสาเหตุลักษณะข้อบกพร่อง ตลอดจนผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยการประเมินค่าความเสี่ยง (Risk) โดยอาศัยตัวเลขประเมินลำดับก่อนหลังของความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) คือ

S = ความรุนแรง (Severity) พิจารณาจากผลกระทบที่เกิดขึ้นแก่ลูกค้า
เกณฑ์การให้คะแนนคือ 1-10 โดย 1 คือความรุนแรงน้อยที่สุดของผลกระทบเมื่อเกิด ปัญหาขึ้น และ 10 คือความรุนแรงมากที่สุดของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหาขึ้น

O = โอกาสที่เกิดขึ้น (Occurrence) พิจารณาจากความเป็นไปได้ (likelihood) ในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง เกณฑ์การให้คะแนนคือ 1-10 โดย 1 คือความถี่น้อยที่สุดของการเกิดความล้มเหลว หรือความผิดพลาด และ 10 คือความถี่มากที่สุดของการเกิดความล้มเหลวหรือความผิดพลาด

D = ความสามารถในการตรวจจับ (Detection) โดยพิจารณาได้จากคุณสมบัติด้าน
ความสามารถของระบบการควบคุมที่ใช้ในปัจจุบัน เกณฑ์การให้คะแนนคือ 1-10
โดย 1 คือ ความสามารถในการตรวจจับปัญหาที่ดีที่สุด และ 10 คือ
ความสามารถในการตรวจสอบจับปัญหาที่แย่ที่สุด

เมื่อทำการวิเคราะห์ความเสี่ยง RPN ที่ลักษณะของข้อบกพร่องแต่ละตัวแล้วจะทำการ
พิจารณาเลือกลักษณะข้อบกพร่องที่มีค่าความเสี่ยงมาก ๆ แต่มีจำนวนไม่มากนัก (Vital few
failure modes) มาทำการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการออกแบบการทดลอง

หลักเกณฑ์ในการพิจารณาเพื่อเลือกข้อบกพร่องมาทำการแก้ไขนี้ จะเริ่มจากการ
พิจารณาถึงลักษณะข้อบกพร่องที่มีความรุนแรงมาก (S = 10 หรือ 9) โดยไม่สนใจค่า RPN
ว่าจะมีค่ามากน้อยเพียงไร จากนั้นจึงพิจารณาถึงลักษณะข้อบกพร่องที่มีค่า RPN สูงเพื่อนำ
ปัจจัยมาวิเคราะห์ต่อ และในกรณีที่ลักษณะข้อบกพร่องมีคะแนน RPN และ S เท่ากัน ให้
พิจารณาเลือกลักษณะข้อบกพร่องที่มีความเป็นไปได้ในการเกิดสาเหตุ (O) มากกว่ามา
ดำเนินการวิเคราะห์เป็นปัจจัยในขั้นต่อไป

ค่า O, S และ D นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นค่าระดับความ
เสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหาคือค่า RPN เท่ากับ 1 ซึ่งมาจาก $1 \times 1 \times 1$ หมายความว่าความถี่
ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยมากและความรุนแรงของผลกระทบเมื่อเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกัน
และสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้าอย่างสมบูรณ์

ในขณะที่ค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของการเกิดปัญหาคือค่า RPN เท่ากับ 1,000 ซึ่งมา
จาก $10 \times 10 \times 10$ หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมากและความรุนแรงของผลกระทบ
เมื่อเกิดปัญหานี้มีมากรวมถึงความสามารถในการตรวจจับปัญหามีต่ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 FMEA สำหรับกระบวนการ

POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (PROCESS FMEA)

FMEA Number FMAE-01-2005
Page 1 of 3
Prepared By FMAE Team Approved By : _____
FMEA Date (Orig.) 01/05/2005 Revision : _____
Effective date : 01/06/2005

Product Box Beer
Model Year(s)/Vehicle(s) Excellent Beer-2005

Core Team Corrugating Section Manager , Converting Section Manager , QA. Section Manager , Corrugating Eng. , Converting Eng. , QA. Eng. , Production Planning Eng.

Process Function	Potential Failure	SEV	Potential Cause(s)	Occur	Current Process	Detec	R.P.N	Recommended	Action Results				
Requirements	Mode		Mechanism(s) of Failure		Controls	Detection		Action(s)	Action Taken	Sev	Occ	Det	R.P.N
ระยะกดของลูก	ระยะในการกดกระดาษของลูกกด	8	มีข้อบกพร่องในการตั้งระยะกดของ	9	ทำการตรวจสอบระยะกดของ		8	576	ทำการทดลองเพื่อตั้งระยะ Feed Roll Gap				
Feed Roll Gap	กระดาษถูกชนกับลูกกดตั้งก่อนกระดาษเข้าไม่ถึง Unit พิมพ์		Feed Roll Gap ที่กว้างเกินไป		Feed Roll Gap ก่อนทำการพิมพ์			ตั้งระยะพิมพ์ที่ตีคู่สำหรับกรรพินท์					
การตั้งระยะ Feed gate	การตั้งระยะความสูงของ Feed gate	8	มีข้อบกพร่องในการตั้งระยะ Feed gate	9	ทำการตั้งระยะของ Feed gate Gap		7	504	ทำการทดลองเพื่อตั้งระยะ Feed Gate gape				
Gap	มีน้อยไปหรือมากเกินไป		Gap ไม่เหมาะสม		ตามสอน			ตั้งระยะพิมพ์ที่ตีคู่สุดในกาทำงาน					
การตั้งระยะ Pull Roll	การตั้งระยะความสูงของ Pull Roll	7	มีข้อบกพร่องในการตั้งระยะ Pull Roll	8	ทำการตั้งระยะของ Pull Roll Gap		7	392	ทำการทดลองเพื่อตั้งระยะ Pull Roll Gap				
Gap	มีน้อยไปหรือมากเกินไป		Gap ไม่เหมาะสม		ตามประสบการณ์การทำงาน			ตั้งระยะพิมพ์ที่ตีคู่สุดในกาทำงาน					
การตั้งระยะ Print Roll	การตั้งระยะความสูงของ Print Roll	7	มีข้อบกพร่องในการตั้งระยะ Print Roll	7	ทำการตั้งระยะของ Print Roll Gap		7	343	ทำการทดลองเพื่อตั้งระยะ Print Roll Gap				
Gap	มีน้อยไปหรือมากเกินไป		Gap ไม่เหมาะสม		ตามประสบการณ์การทำงาน			ตั้งระยะพิมพ์ที่ตีคู่สุดในกาทำงาน					
การผสม Ink Viscosity	ผสมหมึกพิมพ์มากเกินไปหรือมีน้อยไป	8	มีข้อบกพร่องในการผสมหมึกพิมพ์	7	ตรวจสอบค่าความหนืดของหมึกพิมพ์		7	392	ทำการทดลองผสมหมึกพิมพ์ที่แนะนำ				
	ไม่เหมาะสมกับการพิมพ์		น้อยไปหรือมากเกินไป		ก่อนพิมพ์			ที่ตีคู่สำหรับกรรพินท์					
การตั้ง Upper & Lower Feed Belt Tension	การตั้งค่าแรงดึงของสายพานไม่เหมาะสมกับการพิมพ์	5	มีข้อบกพร่องในการตั้งค่าแรงดึงของสายพานที่น้อยไปหรือมากเกินไป	4	ตรวจสอบค่าแรงดึงของสายพาน		3	60	ทำการตรวจสอบค่าแรงดึงของสายพาน				
					ทุก Shutdown			ทุกเช้าก่อนเดินเครื่องตามทำ TPM					
Rev	Date Revised	Content Of Revision		Checked	Approved	Rev	Date Revised			Checked	Approved		

POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (PROCESS FMEA)

FMEA Number FMAE-01-2005
Page 2 of 3
Prepared By FMAE Team Approved By : _____
FMEA Date (Orig.) 01/05/2005 Revision : _____
Effective date : 01/06/2005

Product Box Beer
Model Year(s)/Vehicle(s) Excellent Beer-2005

Core Team Corrugating Section Manager , Converting Section Manager , QA. Section Manager , Corrugating Eng. , Converting Eng. , QA. Eng. , Production Planning Eng.

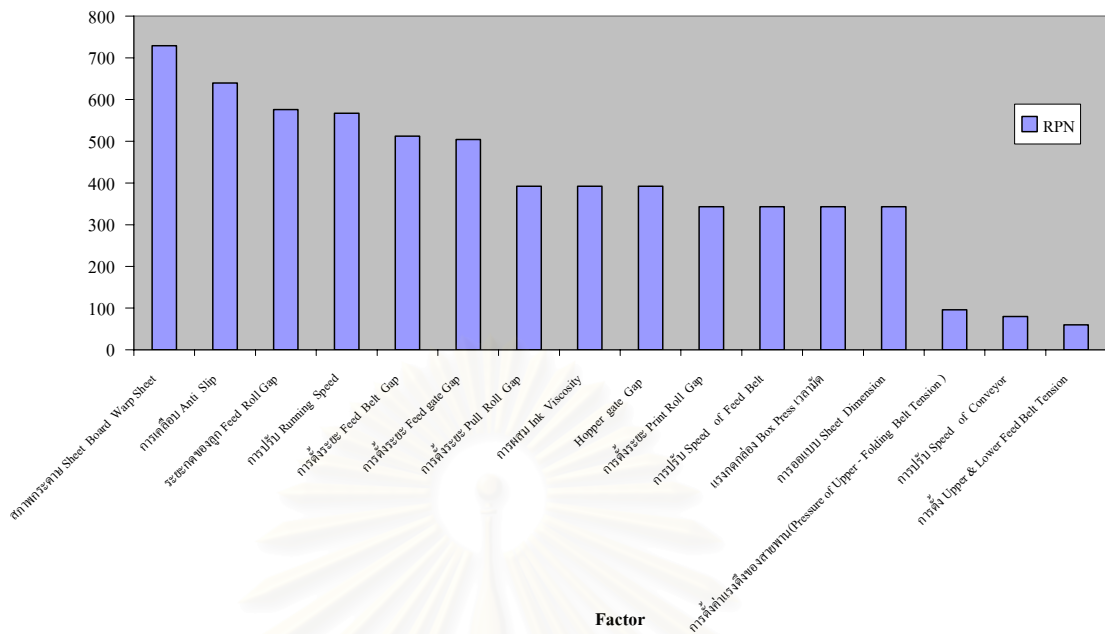
Process Function	Potential Failure	SEV	Potential Cause(s)	Occur	Current Process	Detec	R.P.N	Recommended	Action Results				
Requirements	Mode		Mechanism(s) of Failure		Controls	Detection		Action(s)	Action Taken	Sev	Occ	Det	R.P.N
การตั้งค่าแรงดึงของสายพาน(Pressure of Upper - Folding Belt Tension)	การตั้งค่าแรงดึงของสายพานไม่เหมาะสมกับการพิมพ์	6	มีข้อบกพร่องในการตั้งค่าแรงดึงของสายพานที่น้อยไปหรือมากเกินไป	4	ตรวจสอบค่าแรงดึงของสายพาน		4	96	ทำการตรวจสอบค่าแรงดึงของสายพาน				
					ทุก Shutdown			ทุกเช้าก่อนเดินเครื่องตามทำ TPM					
การตั้งระยะ Feed Belt Gap	การตั้งระยะไม่เหมาะสม Feed Belt Gap สมกับการพิมพ์	8	มีข้อบกพร่องในการตั้งระยะ Feed Belt Gap ที่น้อยไปหรือมากเกินไป	8	ตรวจสอบระยะของ Feed Belt		8	512	ทำการทดลองตั้งระยะ Feed Belt Gap				
					Gap ยื่นเดิน			แนะนำพิมพ์ที่ตีคู่สำหรับกรรพินท์					
Hopper gate Gap	การตั้งระยะ Hopper gate Gap ที่น้อยไปหรือมากเกินไป	8	มีข้อบกพร่องในการตั้งระยะ Hopper gate Gap ไม่เหมาะสม	7	ทำการตรวจสอบระยะกดของ		7	392	ทำการทดลองเพื่อตั้งระยะ Hopper gate Gap				
					Hopper gate Gap ก่อนทำการพิมพ์			ตั้งระยะพิมพ์ที่ตีคู่สำหรับกรรพินท์					
การปรับ Speed of Feed Belt	การปรับ Speed of Feed Belt ไม่เหมาะสมกับการพิมพ์	7	มีข้อบกพร่องในการปรับ Speed of Feed Belt ที่เร็วไปหรือช้าเกินไป	7	ไม่มี	ทำการปรับ Speed of Feed Belt	7	343	ทำการทดลองปรับ Speed of Feed Belt				
					จากประสบการณ์การทำงาน			แนะนำพิมพ์ที่ตีคู่สำหรับกรรพินท์					
การปรับ Speed of Conveyor	การปรับ Speed of Conveyor ไม่เหมาะสมกับการพิมพ์	4	มีข้อบกพร่องในการปรับ Speed of Conveyor ที่เร็วไปหรือช้าเกินไป	5	ทำการปรับ Speed of Conveyor		4	80	จัดทำระบบการ Control Speed				
					จากประสบการณ์การทำงาน			เพื่อนำมาใช้เป็นมาตรฐาน					
Rev	Date Revised	Content Of Revision		Checked	Approved	Rev	Date Revised			Checked	Approved		

ตารางที่ 4.5 FMEA สำหรับกระบวนการ (ต่อ)

POTENTIAL FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (PROCESS FMEA)			FMEA Number		FMAE-01-2005							
			Page		3 of 3							
			Prepared By		FMAE Team							
			Approved By :		Production Manager							
Product			FMEA Date (Orig.)		Revision :							
Box Beer			01/05/2005									
Model Year(s)/Vehicle(s)			Effective date :		01/06/2005							
Beer-2005												
Core Team			Corrugating Section Manager , Converting Section Manager , QA. Section Manager , Corrugating Eng. , Converting Eng. , QA. Eng. , Production Planning Eng.									
Process Function	Potential Failure Mode	SEV	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	Occur	Current Process	Dete: R.P.N.	Recommended Action(s)	Action Results				
Requirements					Controls Detection			Action Taken	Sev	Occ	Del	R.P.N.
แก๊งกดกล่อง Box Press	การตั้งแรงกดของ Box Press อาจมีแรง	7	มีข้อบกพร่องในการตั้งแรงกด Box Press	7	ทำการตรวจสอบแรงกดของ	7	343	ทำการตรวจสอบที่ตั้งแรงกด Box Press				
เวลามัด	กักที่น้อยไปหรือมากเกินไป		ไม่เหมาะสม		Box Press ก่อนทำการพิมพ์			ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำงานพิมพ์				
สภาพกระดาษ Sheet	กระดาษถูกทำให้งอขยับมีมดต่อแนว	9	สภาพกระดาษถูกทำให้เกิดการโค้งงอ	9	ทำการตรวจสอบสภาพกระดาษ Sheet Board	9	729	ทำการ Block ปรังจติในการทดสอบโดยทำ				
Board Warp Sheet	สีผานของกล่องกระดาษถูก		เป็นสิ่งที่ Control ได้ยากเนื่องจากมี		ก่อนเข้าเครื่องพิมพ์ ต้องมีสภาพไม่			การคัดเลือกกระดาษที่ตรงมาทำการทดสอบ				
	เนื่องจากต้องออกแรงกดมากเกินในแค		ปัจจัยหลายตัวมากที่มีผล เช่น สภาพ		โค้งงอ			ต้องอยู่ในสภาพที่ตรง โดยต้องมีสภาพการ				
	ละ Unit ของเครื่องพิมพ์		ความชื้นของอากาศ , ความชื้น ,					โค้งงอขึ้นหรือลงไม่เกิน 30 มม.				
			กระดาษ Kraft									
การเคลือบ Anti Slip	ผสมน้ำยา Anti Slip มากไปหรือน้อยไป	10	มีข้อบกพร่องในการผสมน้ำยา Anti Slip	8	ตรวจสอบค่าความหนืดของน้ำยา	8	640	ทำการทดสอบผสมน้ำยา Anti Slip				
	ไม่เหมาะสมกับการทำงานพิมพ์		ควรปรับไป		Anti Slip ระหว่างการผลิต			ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำงานพิมพ์				
การขอแบบ Sheet	ขนาดของกล่องที่มีขายในท้องไม่เหมาะสม	7	มีข้อบกพร่องในการขอแบบ Sheet	7	ค่า Drawing Specification	7	343	ทำการส่งตรวจสอบขนาดมิติภายในของ				
Dimension	กับการนำไปใช้งาน		Dimension ที่แตกต่างกันไป					กล่องทุกตัวถึงพิมพ์เสร็จ				
								เปลี่ยนขนาดมิติภายในของกล่องได้ยาก				
การปรับ Running Speed	การปรับ Running Speed ไม่เหมาะสม	9	มีข้อบกพร่องในการปรับ Running Speed	9	ทำการปรับ Running Speed	7	567	ทำการทดสอบปรับ Speed of Feed Belt				
Speed	สมกับการทำงานพิมพ์		ที่เร็วไปหรือช้าเกินไป		จากประสบการณ์การทำงานไม่ได้ผล			เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำงานพิมพ์				
					ผลิตมากที่สุด							
Rev	Date Revised	Content	Of Revision	Checked	Approved	Rev	Date Revised	Checked	Approved			

ตารางที่ 4.6 สรุปผลการวิเคราะห์ FMEA

No.	ปัจจัย	สาเหตุของปัญหา	RPN
1	สภาพกระดาษ Sheet Board Warp Sheet	สภาพกระดาษถูกทำให้เกิดการโค้งงอเป็นสิ่งที่ Control ได้ยากเนื่องจากมีปัจจัยหลายตัวมากที่มีผล เช่น สภาพความชื้นของอากาศ , ความชื้น , กระดาษ Kraft	729
2	การเคลือบ Anti Slip	มีข้อบกพร่องในการผสมน้ำยา Anti Slip ควรปรับไป	640
3	ระยะกดของลูก Feed Roll Gap	มีข้อบกพร่องในการตั้งระยะกดของ Feed Roll Gap ที่ควรปรับไป	576
4	การปรับ Running Speed	มีข้อบกพร่องในการปรับ Running Speed ที่เร็วไปหรือช้าเกินไป	567
5	การตั้งระยะ Feed Belt Gap	มีข้อบกพร่องในการตั้งระยะของ Feed Belt Gap ที่น้อยไปหรือมากเกินไป	512
6	การตั้งระยะ Feed gate Gap	มีข้อบกพร่องในการตั้งระยะ Feed gate Gap ไม่เหมาะสม	504
7	การตั้งระยะ Pull Roll Gap	มีข้อบกพร่องในการตั้งระยะ Pull Roll Gap ไม่เหมาะสม	392
8	การผสม Ink Viscosity	มีข้อบกพร่องในการผสมสีพิมพ์ที่น้อยไปหรือมากเกินไป	392
9	Hopper gate Gap	มีข้อบกพร่องในการตั้งระยะ Hopper gate Gap ไม่เหมาะสม	392
10	การตั้งระยะ Print Roll Gap	มีข้อบกพร่องในการตั้งระยะ Print Roll Gap ไม่เหมาะสม	343
11	การปรับ Speed of Feed Belt	มีข้อบกพร่องในการปรับ Speed of Feed Belt ที่เร็วไปหรือช้าเกินไป	343
12	แก๊งกดกล่อง Box Press เวลามัด	มีข้อบกพร่องในการตั้งแรงกด Box Press ไม่เหมาะสม	343
13	การขอแบบ Sheet Dimension	มีข้อบกพร่องในการขอแบบ Sheet Dimension ที่แตกต่างกันไป	343
14	การตั้งค่าแรงดึงของสายพาน(Pressure of Upper - Folding Belt Tension)	มีข้อบกพร่องในการตั้งค่าแรงดึงของสายพานที่น้อยไปหรือมากเกินไป	96
15	การปรับ Speed of Conveyor	มีข้อบกพร่องในการปรับ Speed of Conveyor ที่เร็วไปหรือช้าเกินไป	80
16	การตั้ง Upper & Lower Feed Belt Tension	มีข้อบกพร่องในการตั้งค่าความตึงของสายพานที่น้อยไปหรือมากเกินไป	60



รูปที่ 4.10 ผังพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของค่า RPN

จากผลการวิเคราะห์หาค่าการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) ได้นำผลคะแนน RPN มาจัดเรียงจากมากไปน้อยและพล็อตแผนภูมิพาเรโต เพื่อพิจารณาลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ดังรูปที่ 4.10 ทำการเลือกปัจจัยที่สำคัญเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อดังต่อไปนี้

- 1.สภาพกระดาษ Sheet Board Warp Sheet
- 2.การเคลือบ Anti Slip
- 3.ระยะกุดของลูก Feed Roll Gap
- 4.การปรับ Running Speed
- 5.การตั้งระยะ Feed Belt Gap
- 6.การตั้งระยะ Feed gate Gap
- 7.การตั้งระยะ Pull Roll Gap
- 8.การผสม Ink Viscosity
- 9.Hopper gate Gap
- 10.การตั้งระยะ Print Roll Gap
- 11.การปรับ Speed of Feed Belt
- 12.แรงกดกลอง Box Press เวลามัด
- 13.การออกแบบ Sheet Dimension

จากปัจจัยที่ทำการวิเคราะห์จาก FMEA พบว่ามีปัจจัยที่ทราบว่ามีผลกระทบต่อแรงเสียดทานของกล่องแต่สามารถทำการ Control ได้ในการทดลองจึงทำการ Block ปัจจัยนั้นคือ สภาพกระดาษ (Sheet Board Warp Sheet) และปัจจัยที่ทราบว่ามีผลแต่ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงหรือปรับได้เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของลูกค้ำ คือ ปัจจัยการออกแบบ Sheet Dimension จึงได้ทำการแบ่งปัจจัยที่จะทำการทดลองเป็น 2 ส่วน คือ

1. ปัจจัยที่สามารถควบคุมและปรับเปลี่ยนได้ถูกเลือกมาใช้ในการทดลอง

- 1.การเคลือบ Anti Slip
- 2.ระยะกตของลูก Feed Roll Gap
- 3.การปรับ Running Speed
- 4.การตั้งระยะ Feed Belt Gap
- 5.การตั้งระยะ Feed gate Gap
- 6.การตั้งระยะ Pull Roll Gap
- 7.การผสม Ink Viscosity
8. Hopper gate Gap
- 9.การตั้งระยะ Print Roll Gap
- 10.การปรับ Speed of Feed Belt
- 11.แรงกดกล่อง Box Press เวลามัด

2. ปัจจัยที่ต้องถูกควบคุมในการทดลอง (Blocking)

- 1.สภาพกระดาษ Sheet Board Warp Sheet
 - 2.การออกแบบ Sheet Dimension
- ปัจจัยที่ต้องถูกควบคุมในการทดลองเพิ่ม (Blocking)
1. พนักงานที่เดินเครื่อง
 2. ชนิดของกระดาษ
 3. เครื่องจักรที่เดิน

4.6 การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis)

นำตัวแปร(แทนปัจจัยที่หาได้เบื้องต้น) ที่หาได้ข้างต้น มาทำการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) เพื่อทำการจับกลุ่มหรือรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มหรือ Factor เดียวกัน โดยตัวแปรที่อยู่ใน Factor เดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันมาก โดยความสัมพันธ์นั้นอาจจะเป็นไปในทิศทางบวก (ไปในทางเดียวกัน) หรือทิศทางลบ (ไปในทางตรงข้าม) ก็ได้ ส่วนตัวแปรที่อยู่คนละ Factor จะไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก

4.6.1 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis)

ตามหลักการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) จำนวนข้อมูล (Case) ที่นำมาวิเคราะห์ควรมากกว่าจำนวนตัวแปร บางครั้งต้องการจำนวนข้อมูล (Case) มากกว่าจำนวนตัวแปรอย่างน้อย 10 เท่า แต่ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการหาจำนวน (Case) หรือจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมกับการทำงานจริงและต้นทุนที่จะเกิดขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจไว้ 2 ส่วน คือ

1. อำนาจของการทดสอบ (Power of test) ซึ่งจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.80 (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545, เล่ม 2)
2. ความไว (Sensitivity) ของการเพิ่มขึ้นของค่าอำนาจการทดสอบ ต่อการเพิ่มของจำนวนตัวอย่าง (Sample Size) ต้องไม่สูงมากนัก

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากการประเมินความสามารถของกระบวนการในขั้นตอนที่ 1.1 มาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการคำนวณหาค่าอำนาจการทดสอบ ดังนี้

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Sigma - σ) มีค่าประมาณ 1.49 องศา
- ค่าความแตกต่างสูงสุด (Maximum difference - D) ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้มีค่าประมาณ 2 องศา เนื่องจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ (Mean) มีค่าประมาณ 23.723 องศา กอปรกับข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ (Product Specification) มีค่าขีดจำกัดล่าง (Lower Specification Limit) อยู่ที่ 26 องศา เมื่อใช้ Minitab คำนวณค่าอำนาจการทดสอบ (Power of test) ของแต่ละจำนวนตัวอย่าง (Sample size) ดังนี้

Power and Sample Size

One-way ANOVA

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 1.4 Number of Levels = 2

SS Means	Sample Size	Power	Maximum Difference
2	5	0.510361	2
2	6	0.607739	2
2	7	0.689646	2
2	8	0.757137	2
2	9	0.811803	2
2	10	0.855441	2

The sample size is for each level.

ผู้วิจัยจึงเลือกใช้จำนวนตัวอย่างในการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) เท่ากับ 9 ตัวอย่าง เนื่องจากมีค่าอำนาจของการทดสอบมากกว่า 0.80 และข้อมูลไม่มีความไวมากนัก อีกทั้งเป็นการประหยัดทรัพยากรในการทดสอบ

ทำการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) ด้วยโปรแกรม SPSS สรุปผลการวิเคราะห์ปัจจัยได้ดังนี้

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	Analysis N
Anti_Slip	26.5222	.22791	9
Feed_Roll_Gap	21.2000	1.01612	9
Running_Speed	23.8667	.60000	9
Feed_Belt_Gap	19.0556	1.21049	9
Feed_gate_Gap	22.0222	.50936	9
Pull_Roll_Gap	20.8333	1.09087	9
Ink_Viscosity	25.3556	.92481	9
Hopper_gate_Gap	17.9778	1.07212	9
Print_Roll_Gap	20.5667	.91378	9
Speed_of_Feed_Belt	16.7111	.40139	9
Box_Press	17.7667	1.12250	9

ตารางที่ 4.7 Descriptive Statistics

จากข้อมูลในการทดลอง (Analysis N) เท่ากับ 9 ตัวอย่างของแต่ละตัวแปร, แสดงค่าเฉลี่ย (Mean) และความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Std. Deviation) ของแต่ละตัวแปร

ตารางที่ 4.8 Correlation Matrix

	Anti_Slip	Feed_Roll_Gap	Running_Speed	Feed_Belt_Gap	Feed_gate_Gap	Pull_Roll_Gap	Ink_Viscosity	Hopper_gate_Gap	Print_Roll_Gap	Speed_of_Feed_Belt	Box_Press	
Correlation	1.000	-.610	.088	.312	-.479	-.481	-.588	.437	-.302	-.399	.409	
Anti_Slip		1.000	-.146	-.122	.949	.968	.274	-.360	.718	-.070	-.419	
Feed_Roll_Gap			1.000	-.333	-.255	.038	-.107	.284	.080	-.465	.347	
Running_Speed				1.000	-.043	-.144	-.628	.603	.273	-.284	.563	
Feed_Belt_Gap					1.000	.919	.268	-.294	.654	.035	-.359	
Feed_gate_Gap						1.000	.228	-.301	.779	-.215	-.355	
Pull_Roll_Gap							1.000	-.781	-.193	.503	-.728	
Ink_Viscosity								1.000	.095	-.240	.992	
Hopper_gate_Gap									1.000	.095	-.240	
Print_Roll_Gap										1.000	-.285	
Speed_of_Feed_Belt											1.000	
Box_Press												1.000

a. This matrix is not positive definite.

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ในตารางที่ 4.8 เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของ Pearson (Pearson Correlation) เช่น ตัวแปร Feed gate Gap และ Feed Roll Gap มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.949 ดังนั้นตัวแปร Feed gate Gap และ Feed Roll Gap ควรจะอยู่ใน Factor เดียวกัน

ตารางที่ 4.9 Communalities

	Initial	Extraction
Anti_Slip	1.000	.552
Feed_Roll_Gap	1.000	.978
Running_Speed	1.000	.913
Feed_Belt_Gap	1.000	.858
Feed_gate_Gap	1.000	.903
Pull_Roll_Gap	1.000	.982
Ink_Viscosity	1.000	.842
Hopper_gate_Gap	1.000	.839
Print_Roll_Gap	1.000	.843
Speed_of_Feed_Belt	1.000	.642
Box_Press	1.000	.802

Extraction Method: Principal Component Analysis.

ตัวแปรแต่ละตัว จะมีค่า Initial Communalities และ Extraction Communalities เป็นค่าสัดส่วนของค่าความแปรปรวนของตัวแปรที่สามารถอธิบายได้โดย Common Factor (Factor ทั้งหมด F_1, F_2, \dots, F_m) หรือคือค่า (Multiple Correlation)² ของตัวแปรกับ Factors

โดยที่ $0 \leq \text{Community} \leq 1$

ถ้า Community = 0 แสดงว่า Common Factor ไม่สามารถอธิบายความผันแปร (ค่าแปรปรวน) ของตัวแปร แต่ถ้าค่า Community = 1 แสดงว่า Common Factor สามารถอธิบายความผันแปรได้ทั้งหมด

- Initial Commuality จากวิธี Principal Component Analysis จะทำให้ Initial Commuality ของตัวแปรทุกตัวเป็น 1 ซึ่งหมายถึงในตอนเริ่มต้นยังไม่ได้ทำการรวมตัวแปรต่าง ๆ ไว้ใน Factor
- Extraction Commuality เป็นค่า Commuality ของตัวแปรหลังจากที่ได้สกัดปัจจัยแล้ว พบว่าค่า Extraction Commuality ของตัวแปร Anti Slip มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.552 แต่ก็ยังไม่ต่ำมาก น่าจะสามารถจัดอยู่ใน Factor ใด Factor หนึ่งได้ชัดเจน

ตารางที่ 4.10 Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.681	42.551	42.551	4.681	42.551	42.551	3.825	34.776	34.776
2	2.990	27.184	69.735	2.990	27.184	69.735	3.644	33.127	67.904
3	1.483	13.484	83.219	1.483	13.484	83.219	1.685	15.315	83.219
4	.965	8.771	91.990						
5	.405	3.684	95.674						
6	.248	2.259	97.933						
7	.206	1.869	99.802						
8	.022	.198	100.000						
9	3.94E-016	3.58E-015	100.000						
10	2.53E-016	2.30E-015	100.000						
11	-1.1E-017	-9.76E-017	100.000						

Extraction Method: Principal Component Analysis.

จากตารางที่ 4.10 แสดงค่าสถิติสำหรับแต่ละ Factor ทั้งก่อนและหลังการสกัดปัจจัย โดยวิธี Principal Component Analysis ในการสกัดปัจจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

Component หมายถึง Factor หรือปัจจัยโดยทั่วไปจะสกัดให้มีจำนวนปัจจัยเท่ากับจำนวนตัวแปร ในการวิจัยนี้มี 11 ตัวแปร จึงมี 11 ปัจจัยหรือ 11 Component ส่วนการพิจารณาว่าควรเหลือกี่ปัจจัยอยู่ที่การพิจารณาของทีมงานและผู้วิจัย จากตารางที่ 4.10 อธิบายความหมายของค่าต่างๆดังนี้

Eigenvalues หมายถึง ค่าความผันแปร หรือความแปรปรวนทั้งหมดในตัวแปรเดิมที่สามารถอธิบายได้ โดย Factor หรือ Eigenvalue คือผลบวกค่า Factor loading ยกกำลังสองของแต่ละตัวแปรใน Factor หนึ่ง ๆ

ค่า Eigenvalues จะมีค่าต่ำสุดเป็น 0 และสูงสุดเท่ากับจำนวนตัวแปร กรณีที่ Factor ใดมีค่า Eigenvalue เป็น 0 แสดงว่า Factor นั้นไม่สามารถดึงรายละเอียดของข้อมูลจากตัวแปรได้

เลย และ Factor ใดมีค่า Eigenvalue น้อยกว่า 1 แสดงว่า Factor นั้นมีรายละเอียดของข้อมูล น้อยกว่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่ง

ดังนั้นจะไม่พิจารณา Factor ที่มีค่า Eigenvalue น้อยกว่า 1 จะพบว่ามีเพียง Factor หรือ Component ที่ 1-3 เท่านั้นที่มีค่า Eigenvalue มากกว่า 1 จึงควรมีเพียง 3 Factor เท่านั้น

% of Variance หมายถึงเปอร์เซ็นต์ที่แต่ละ Factor สามารถอธิบายความผันแปรได้ เนื่องจากเดิมมีตัวแปร 11 ตัว และจากตารางที่ 4.9 จะพบว่าแต่ละตัวแปรที่มีค่า Community เริ่มต้นเป็น 1 เสมอ หรือแต่ละตัวแปรมีความผันแปรเท่ากับ 1 จึงมีความผันแปรทั้งหมดเท่ากับ 11 เช่น % of Variance ของ Factor ที่ 1 เท่ากับ $(4.681 / 11) \times 100$ เท่ากับ 42.551 % หมายถึง Factor ที่ 1 สามารถอธิบายความผันแปรทั้งหมดได้ 42.551 %

Cumulative % หมายถึง ผลบวกสะสมของ % of Variance เช่น Cumulative % ของ 2 Factor แรก เท่ากับ $42.551 + 27.184$ เท่ากับ 69.735 หมายถึง Factor 1-2 อธิบายค่าความผันแปรของตัวแปรทั้ง 11 ตัวได้ 69.735 %

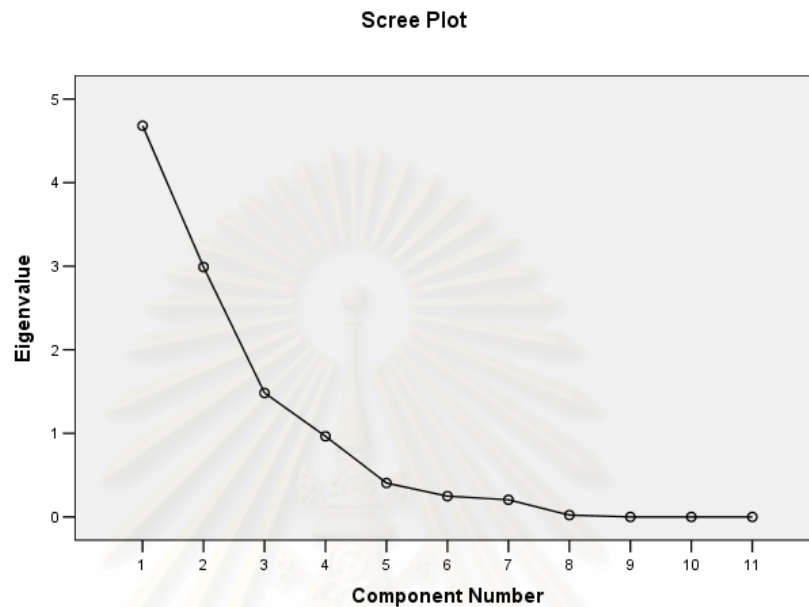
Extraction Sums of Squared Loading โดยวิธี Principal Component ค่า Initial Eigenvalue และ Extraction Sums of Squared Loading จะเท่ากันและจะแสดงเฉพาะ Factor ที่มีค่า Eigenvalue มากกว่า 1

Rotation Sums of Squared Loading จะหาค่า Eigenvalue % of Variance และ Cumulative % ของ Factor ต่าง ๆ เมื่อทำการหมุนแกนปัจจัยไปในลักษณะที่ปัจจัยต่าง ๆ ยังคง ตั้งฉากกัน หรือเป็นอิสระกันในตัวอย่างนี้เลือกวิธี Varimax เป็นวิธีการหมุนแกนปัจจัย จะพบว่า ค่า Eigenvalue % of Variance ของ Factor ที่ 1 เมื่อหมุนแกนมีค่าน้อยกว่าเมื่อยังไม่หมุนแกน ในขณะที่ของ Factor ที่ 2 และ 3 มีค่ามากกว่า Factor ที่ 1 แต่ Cumulative ของทั้ง 3 Factor ยังเท่าเดิม

สรุปจากตารางที่ 4.10 ได้ดังนี้

1. พบว่าควรมี Factor เพียง 3 Factor เนื่องจากเฉพาะ 3 Factor แรกเท่านั้นที่มีค่า Eigenvalue มากกว่า 1

2. Factor ที่มีความสำคัญมากที่สุดคือ Factor ที่ 1 เนื่องจากอธิบายหรือดึงความแปรปรวนของข้อมูลได้มากที่สุด เท่ากับ 34.776 % , Factor 2 เท่ากับ 33.127 % และ Factor 3 เท่ากับ 15.315 % จะสำคัญรองลงมา



รูปที่ 4.11 แสดง Scree Plot

Scree Plot แสดงค่า Eigenvalue ของแต่ละ Factor โดยเรียงจากมากไปน้อย สรุปผลได้ดังนี้ โดยพิจารณาจากค่า Eigenvalue ที่ลดลงอย่างรวดเร็ว ในงานวิจัยนี้มี Factor 3 ตัวที่มีค่า Eigenvalue มากกว่า 1 โดยค่า Eigenvalue ของ Factor ที่ 1 จะมีความมากที่สุด รองลงคือ Factor ที่ 2 และ Factor ที่ 3 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Component Matrix^a

	Component		
	1	2	3
Feed_Roll_Gap	.849	.507	
Feed_gate_Gap	.795	.491	
Pull_Roll_Gap	.786	.584	
Box_Press	-.777	.445	
Hopper_gate_Gap	-.756	.512	
Anti_Slip	-.740		
Ink_Viscosity	.700	-.585	
Print_Roll_Gap	.411	.821	
Speed_of_Feed_Belt	.249	-.577	.496
Running_Speed	-.231		-.911
Feed_Belt_Gap	-.461	.556	.580

Extraction Method: Principal Component Analysis.

a. 3 components extracted.

ตารางที่ 4.11 แสดง Component Matrix

ค่า Factor loading เป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรกับ Factor ทั้ง 3 Factor โดยที่ยังไม่มีการหมุนแกนปัจจัย ในการวิจัยนี้ใช้เทคนิค Principal Component Analysis ซึ่งทำให้ Factor ตั้งฉากกันหรือเป็นอิสระกัน ซึ่งทำให้ค่า Factor loading เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรกับ Factor เช่น ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรกับ Feed Roll Gap กับ Factor 1 เป็น 0.849

Rotated Component Matrix^a

	Component		
	1	2	3
Pull_Roll_Gap	.958	-.200	
Feed_Roll_Gap	.958	-.241	
Feed_gate_Gap	.918		
Print_Roll_Gap	.870	.260	
Ink_Viscosity		-.897	
Hopper_gate_Gap		.879	
Feed_Belt_Gap		.861	-.325
Box_Press	-.232	.834	.230
Anti_Slip	-.491	.525	
Running_Speed			.950
Speed_of_Feed_Belt	-.202	-.399	-.665

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

a. Rotation converged in 4 iterations.

ตารางที่ 4.12 Rotated Component Matrix

ค่า Factor Loading เมื่อหมุนแกนปัจจัยโดยมีวิธี Varimax สรุปผลได้ดังนี้

1. Factor 1 ประกอบด้วย Pull Roll Gap , Feed Roll Gap , Feed gate Gap , Print Roll Gap
2. Factor 2 ประกอบด้วย Ink Viscosity , Hopper gate Gap , Box Press , Feed Belt Gap และ Anti Slip
3. Factor 3 ประกอบด้วย Running Speed และ Speed of Feed Belt

จากผลลัพธ์ในตารางที่ 4.12 สรุปได้ว่า Factor ทั้ง 3 อธิบายความแปรปรวนของตัวแปรได้ 83.959 % เป็น Factor ที่ 1 อธิบายได้ 34.776 % , Factor ที่ 2 อธิบายได้ 33.127 % และ Factor ที่ 3 อธิบายได้ 15.315 %

จากผลการการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) สรุปได้ว่า

Factor ที่ 1 ที่ประกอบด้วย Pull Roll Gap, Feed Roll Gap, Feed gate Gap และ Print Roll Gap มีความแปรปรวน 34.776 % อธิบายได้ว่า การตั้งเครื่องของ Unit: Pull Roll Gap , Feed Roll Gap , Feed gate Gap และ Print Roll Gap ตามหลักการทำงานของเครื่องอยู่ใน Unit เดียวกัน

Factor ที่ 2 ที่ประกอบด้วย Ink Viscosity, Hopper gate Gap, Box Press, Feed Belt Gap และ Anti Slip มีความแปรปรวน 33.127 % เนื่องจาก Unit ของเครื่องแต่ละ Unit อยู่คนละจุดซึ่งแบ่งได้เป็น 2 Unit ใหญ่ด้วยกัน Unit แรกประกอบด้วย Ink Viscosity และ Anti Slip Unit ที่สองประกอบด้วย, Hopper gate Gap, Box Press และ Feed Belt Gap

Factor ที่ 3 ประกอบด้วย Running Speed และ Speed of Feed Belt มีความแปรปรวน 15.315 % เนื่องจากตามหลักการทำงานของเครื่องจักร การทำงานของ Speed เครื่องกับ Speed ของสายพาน อยู่คนละ unit กัน

4.7 การออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design

ซึ่งผลการวิเคราะห์ Factor Analysis ซึ่งเป็นการจับกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันอยู่ในกลุ่มเดียวกัน เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบการทดลองต่อไป เพื่อให้การออกแบบการทดลองทำได้ง่ายขึ้น ซึ่งในขั้นตอนการวิจัยขั้นต่อไปเป็นการนำปัจจัยไปทำการออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design ต่อไป เพื่อหาค่า setting ที่เหมาะสมที่สุดในการทำงานเพื่อให้ตัวแปรผลตอบ (Friction) มีค่าสูงสุด สามารถสรุประดับของปัจจัยที่สำคัญได้ดังนี้

ตารางที่ 4.13 ระดับของของแต่ละปัจจัยในการออกแบบการทดลอง

Group Factor	Code Factor	ปัจจัย	Level (Low)	Level (High)	หน่วย (Unit)
1	A	การตั้งระยะ Pull Roll Gap	3.5	4	มิลลิเมตร
	B	ระยะกดของลูก Feed Roll Gap	2.4	2.8	มิลลิเมตร
	C	การตั้งระยะ Feed gate Gap	4.5	4.8	มิลลิเมตร
	D	การตั้งระยะ Print Roll Gap	6.5	7	มิลลิเมตร
2	E	การเคลือบ Anti Slip	A	B	
	F	การผสม Ink Viscosity	11.5	12.5	วินาที
	G	Hopper gate Gap	10	11	มิลลิเมตร
	H	การตั้งระยะ Feed Belt Gap	7.5	8.5	มิลลิเมตร
	J	แรงกดกล่อง Box Press เวลามัด	Up	Down	
3	K	การปรับ Running Speed	200	250	แผ่น/นาที
	L	การปรับ Speed of Feed Belt	High	Low	แผ่น/นาที

4.7.1 ตัวแปรตอบสนอง

ค่าตัวแปรตอบสนองคือค่า Friction วัดหน่วยเป็นองศา สำหรับกระบวนการการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก โดยเป็นค่าที่ลูกค้าต้องการ โดยทางข้อกำหนดของลูกค้า (Product Specification) มี (Specification Limit) ขีดจำกัดล่างอยู่ที่ 26 องศา

4.7.2 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลองขั้นต่อไปจะใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design โดยที่ K คือจำนวนปัจจัยที่นำมาทดลองและ 2 คือจำนวนระดับของปัจจัยแต่ละปัจจัย และกำหนดให้แต่ละระดับของแต่ละปัจจัยเป็น ต่ำ (-) กับ สูง (+)

1. การทำซ้ำ (Replication)

ในการคำนวณเพื่อหาจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design นั้น ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจไว้ 2 ส่วน คือ

1.อำนาจของการทดสอบ (Power of test) ซึ่งจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.80 (กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545, เล่ม2)

2.ความไว (Sensitivity) ของการเพิ่มขึ้นของค่าอำนาจการทดสอบ ต่อการเพิ่มของจำนวนตัวอย่าง (Sample Size) ต้องไม่สูงมากนัก

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากการประเมินความสามารถของกระบวนการในขั้นตอนที่ 1.1 มาใช้เป็น ข้อมูลสำหรับการคำนวณหาอำนาจการทดสอบ ดังนี้

- ปัจจัยที่ต้องการนำมาทำการออกแบบการทดลอง 11 ปัจจัย
- ค่าความแตกต่างสูงสุด (Maximum difference – D) ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้มีค่าประมาณ 2 องศา
- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Sigma - σ) มีค่าประมาณ 1.49 องศา

เมื่อใช้ Minitab คำนวณค่าอำนาจการทดสอบ (Power of test) ของแต่ละจำนวนตัวอย่าง (Sample size) ดังนี้

Power and Sample Size

One-way ANOVA

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 1.49 Number of Levels = 2

SS Means	Sample Size	Power	Maximum Difference
2	2	0.129883	2
2	4	0.359175	2
2	6	0.555481	2
2	8	0.704476	2
2	10	0.810074	2
2	12	0.881283	2

The sample size is for each level.

จากผลการคำนวณ พบว่าที่จำนวนตัวอย่างเท่ากับ 10 มีค่าอำนาจการทดสอบสูงถึง 0.810074 ซึ่งถือว่าเพียงพอ แต่เนื่องจากใช้วิธี One-way ANOVA จึงต้องทำการคำนวณหาจำนวนความซ้ำในการเก็บ ตัวอย่างในแต่ละ Treatment Combination (Replicate - n) จาก $n = \text{Sample Size} / 2^{\text{Level} - 1} = 10 / 2^{11-1} = 9.7656 \times 10^{-3}$ จึงประมาณการทำซ้ำเท่ากับ 1 ข้อมูล ฉะนั้นตัวแบบที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ 2^{11-6} Fractional Factorial Design with Single Replication Resolution IV Design ซึ่งจะทำการทดลองทั้งสิ้น 64 รัน (Runs)

2. การสุ่ม (Randomization)

การสุ่มเป็นหลักการสำคัญในการใช้หลักการทางสถิติในการออกแบบการทดลอง โดยการสุ่มจะหมายถึงการจัดสรรหน่วยการทดลองลำดับการทดลองให้เป็นไปโดยสุ่ม ซึ่งทำให้ผลการทดลองตรงกับข้อกำหนดทางสถิติที่ว่า ค่าสังเกตจากการทดลองต้องมีความเป็นอิสระต่อกัน และการสุ่มยังสามารถที่จะเฉลี่ยความผันแปรภายนอกที่ไม่ได้เกิดขึ้นจากสาเหตุโดยธรรมชาติ ออกไปได้ ทำให้การวิเคราะห์ผลจากการทดลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

3. การบล็อก (Blocking)

ทั้งนี้ผู้วิจัยมีได้นำเอาหลักการบล็อก (Blocking) มาใช้ เนื่องด้วยเหตุผล 2 ประการ คือ

1. จากการศึกษาพร้อมกับเจ้าหน้าที่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องของทางโรงงานมีความเห็นว่า ปัจจัยอื่นที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable factor) ไม่น่าจะมีผลต่อค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก

2. ปริมาณของแผ่นลูกฟูก (Sheetboard) ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบสำคัญในการทดลองนี้มีเพียงพอ
3. ส่วนปัจจัยอื่นที่ไม่นำมาวิเคราะห์จะทำการปิดค่าคงที่ไว้ที่ค่า setting ในการทำงานปกติ

4.7.3 แผนและลำดับของการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design

การสุ่มลำดับการทดลองในการทดลองนี้จะใช้โปรแกรม MINITAB ซึ่งกำหนดพร้อมกับการสร้างเมตริกการออกแบบ (Design Matrix) โดยลำดับการทดลองได้จาก RunOrder ของตาราง รวมทั้งสิ้น 64 run และเลือกการออกแบบการทดลองแบบ Resolution IV Design 2^{11-5} Fraction Factorial design ดังแสดงในตารางที่ 4.14



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 แผนและลำดับของการทดลอง

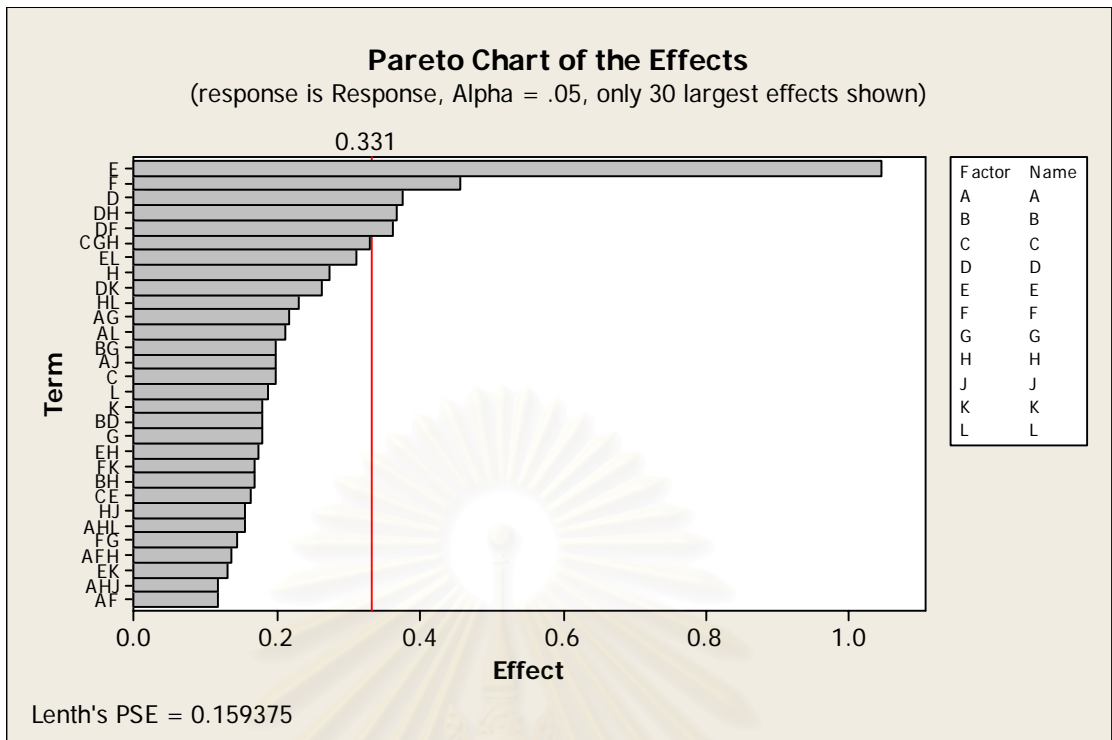
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L
15	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1
45	2	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	1
9	3	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1
20	4	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1
21	5	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
39	6	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	1	-1
54	7	1	1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1
3	8	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1
14	9	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1
32	10	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1
64	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	12	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
7	13	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1
55	14	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1
51	15	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
31	16	1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1
41	17	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	1
52	18	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1
53	19	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1
33	20	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1
60	21	1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1
25	22	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1
48	23	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1
44	24	1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1
47	25	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1
40	26	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	1
13	27	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1
24	28	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1
36	29	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1
16	30	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1
43	31	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1
1	32	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1
6	33	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
22	34	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	1
2	35	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1
23	36	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
62	37	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1
57	38	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1
37	39	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1
27	40	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
11	41	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	-1
34	42	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1
8	43	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1
10	44	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	1
49	45	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
12	46	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1
35	47	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
30	48	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1
28	49	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
56	50	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	-1
63	51	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1
42	52	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1
29	53	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1
18	54	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	1
19	55	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1
38	56	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1
26	57	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1
61	58	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1
5	59	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1
46	60	1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1
17	61	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1
58	62	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1
50	63	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1
59	64	1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1

4.7.4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

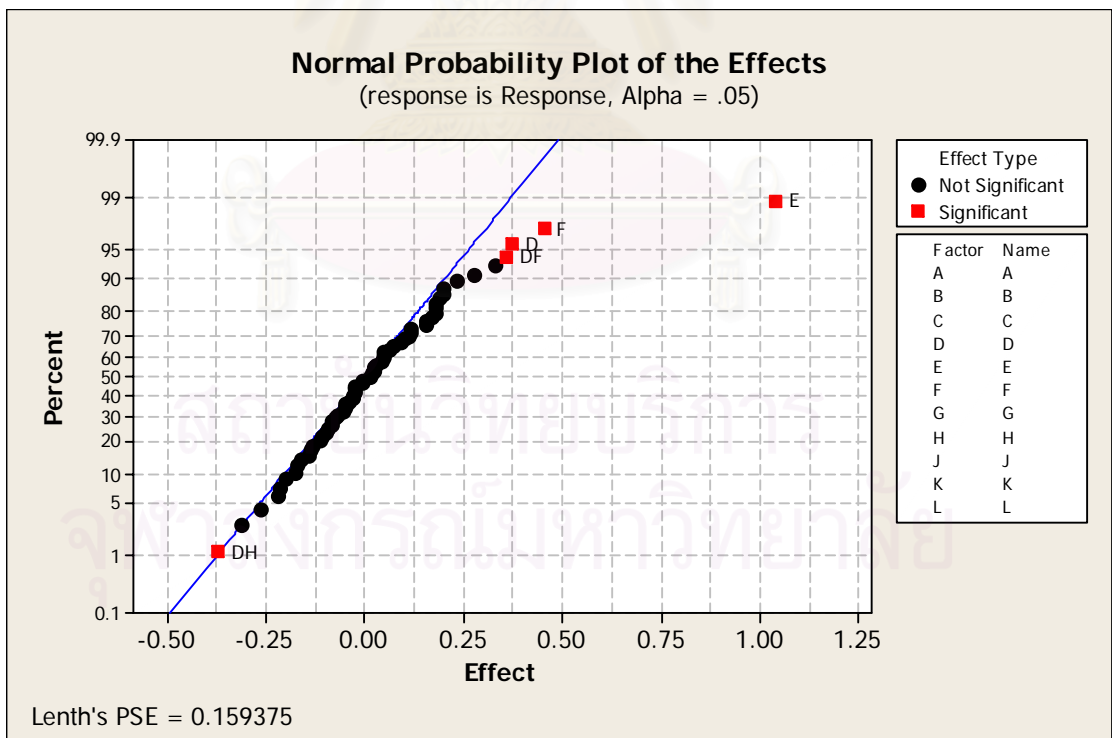
ในการทดลองแบบ 2^{11-5} Fraction Factorial design ได้ผลการทดลองซึ่งเรียงตามลำดับของการทดลอง(Run Order) ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการทดลอง

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	Response
15	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	26.7
45	2	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	1	1	1	27.4
9	3	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	26.9
20	4	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	27.6
21	5	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	27.1
39	6	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	27.5
54	7	1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	27.6
3	8	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	25.6
14	9	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	26.4
32	10	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	27.8
64	11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	28.4
4	12	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	25.6
7	13	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	1	27.4
55	14	1	1	-1	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	27.6
51	15	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	27.5
31	16	1	1	-1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	27.9
41	17	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	1	1	27.7
52	18	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	27.8
53	19	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	27.5
33	20	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	26.2
60	21	1	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	28.2
25	22	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	27.2
48	23	1	1	1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	27.8
44	24	1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	27.7
47	25	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	27.9
40	26	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	1	26
13	27	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	25.4
24	28	1	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	27.4
36	29	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	1	1	28.2
16	30	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	27.2
43	31	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	28
1	32	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	27.4
6	33	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	27.8
22	34	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	27.9
2	35	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	1	-1	25.8
23	36	1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	28
62	37	1	1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	28.4
57	38	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	28.2
37	39	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	25.9
27	40	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	27.8
11	41	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	26.3
34	42	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	26
8	43	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	25.7
10	44	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	26.7
49	45	1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	28
12	46	1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	26.1
35	47	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	25.6
30	48	1	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	1	-1	28
28	49	1	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	27.8
56	50	1	1	1	1	1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	28.2
63	51	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	28.3
42	52	1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	26.4
29	53	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	1	-1	1	1	27.8
18	54	1	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	27.4
19	55	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	27.7
38	56	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	27.4
26	57	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	27.9
61	58	1	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	28.2
5	59	1	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	1	27.7
46	60	1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	1	27.8
17	61	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	-1	27.6
58	62	1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	28.2
50	63	1	1	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	-1	28.2
59	64	1	1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	1	-1	28.4



รูปที่ 4.12 Pareto Chart แสดงผลของปัจจัยในการทดลองแบบแฟคตอเรียล



รูปที่ 4.13 Normal Probability Plot แสดงผลของปัจจัยในการทดลองแบบแฟคตอเรียล

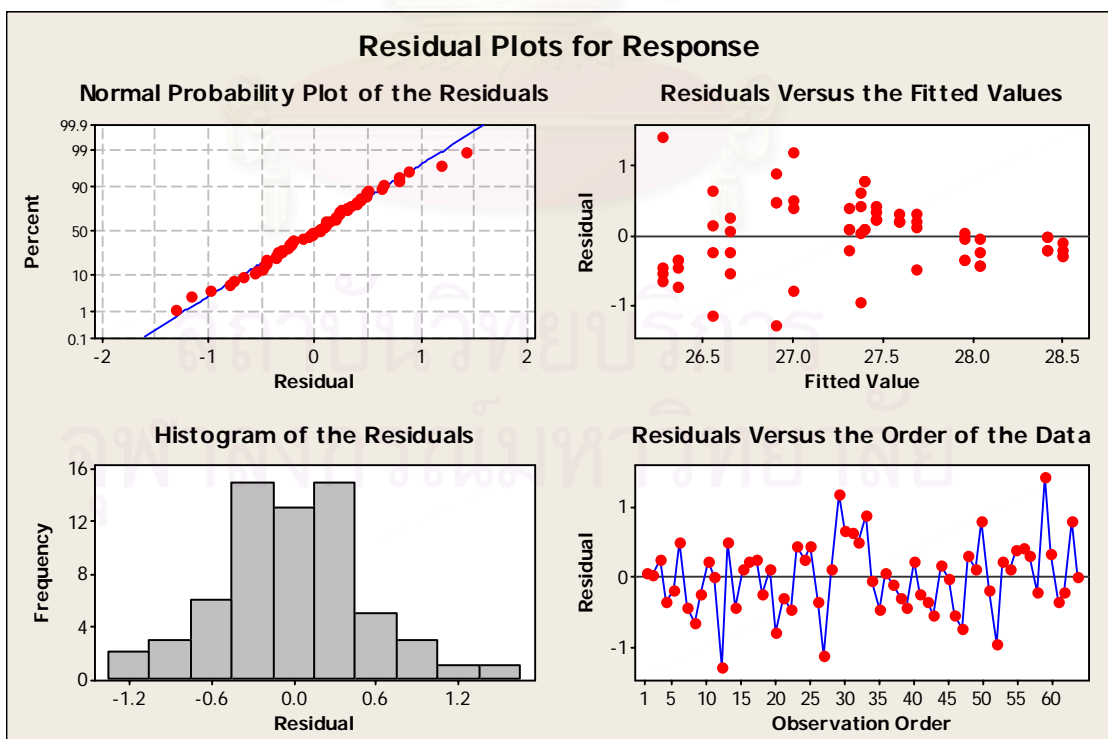
จากรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 พบว่าปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก (เหนื่อเส้นประ) มีดังนี้

- DF หมายถึง Interaction Effect ระหว่าง Print Roll Gap และ Ink Viscosity
- DH หมายถึง Interaction Effect ระหว่าง Print Roll Gap และ Feed Belt Gap
- D หมายถึง Main Effect ของ Print Roll Gap
- E หมายถึง Main Effect ของ Anti Slip
- F หมายถึง Main Effect ของ Ink Viscosity

จากนั้นจึงทำการยุบเทอมอื่นๆ ที่ไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ (ได้เส้นประ) ไปรวมกับ Error เพื่อเพิ่มค่าองศาอิสระ (Degree of Freedom – df) แล้วจึงวิเคราะห์ผลอีกครั้งด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งให้ผล ดังตารางที่ 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ

4.7.5 ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking)

ใช้หลักการของการวิเคราะห์ตกค้าง (Residual analysis) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.14

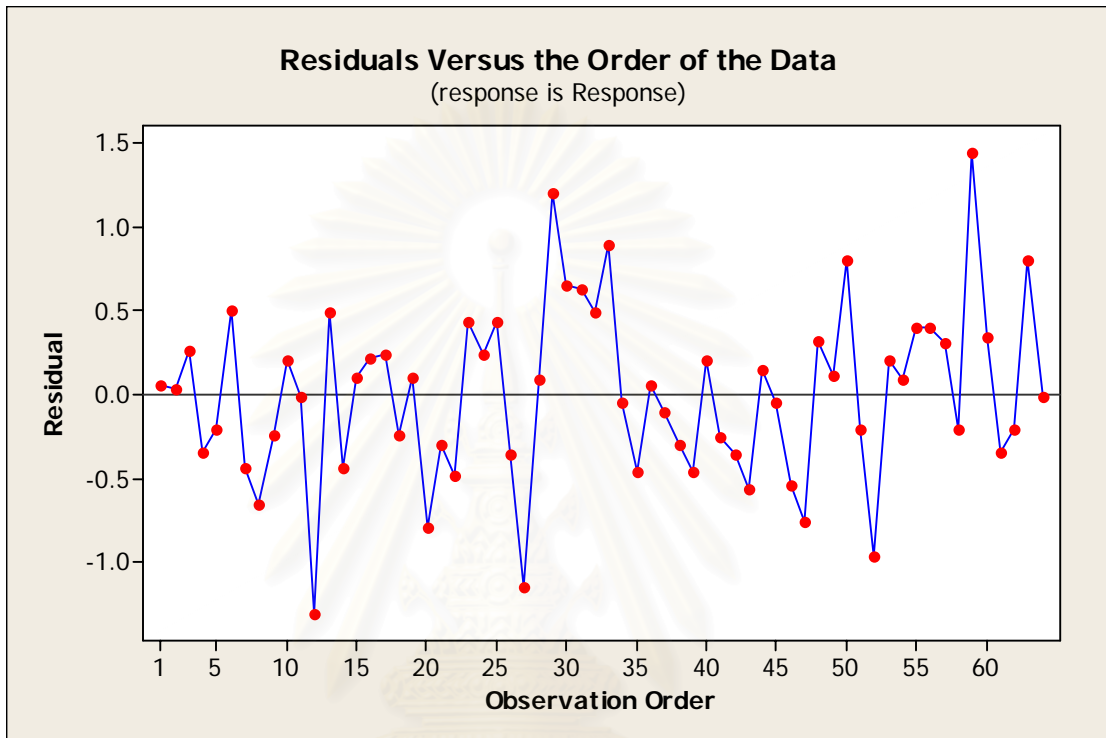


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการวิเคราะห์ตกค้างของผลการทดลอง

1. ทดสอบความสุ่มของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ลำดับของข้อมูลอยู่ภายใต้ความสุ่ม

H_1 : ลำดับของข้อมูลมิได้อยู่ภายใต้ความสุ่ม



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลการทดสอบความสุ่ม Residuals Versus the Order of the Data

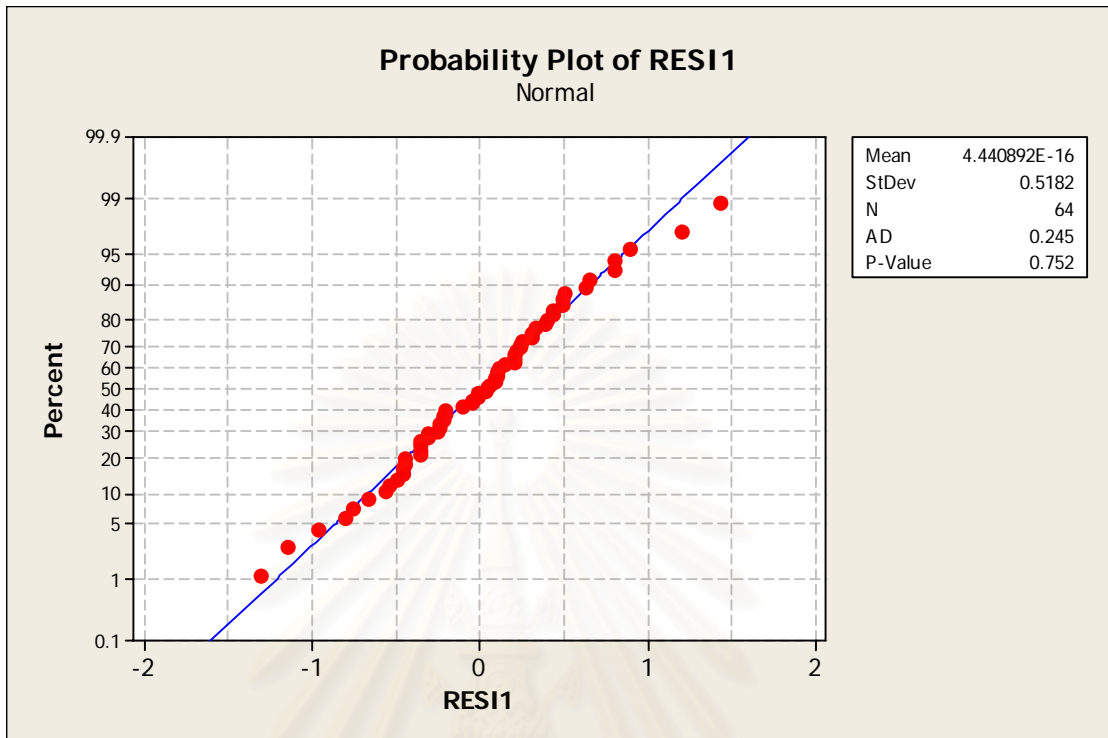
เมื่อพิจารณาจาก Residuals Versus the Order of the Data ในรูปที่ 4.15 พบว่าไม่มีความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความสุ่ม เนื่องจากส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบ ฉะนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ H_0 (Fail to reject H_0) สรุปได้ว่าลำดับของข้อมูลที่เกิดขึ้นมาจากการทดลองอยู่ภายใต้ความสุ่ม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2. ทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ข้อมูลมิได้มีการแจกแจงแบบปกติ

ดำเนินการทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality test) ได้ผลดังรูปที่ 4.16



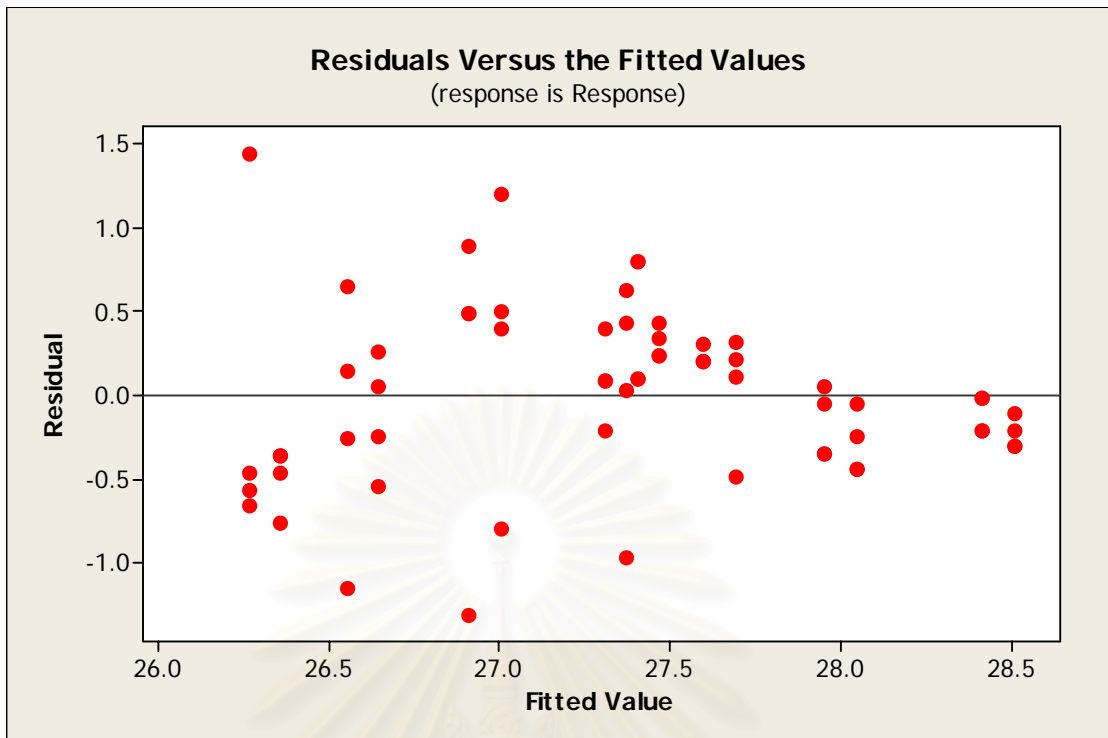
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงผลการทดสอบความเป็นปกติของผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาจาก Normal Plot of Residuals ในรูปที่ 4.16 พบว่าข้อมูลมีการเรียงตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง และจากผลการทดสอบความเป็นปกติ ในรูปที่ 4.16 พบว่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.752 ซึ่งมากกว่า 0.05 แสดงว่าตัวสถิติทดสอบ A-Squared ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.245 ดังกล่าวจึงถือว่ามีค่าน้อย เมื่อเทียบกับค่าวิกฤติ หมายความว่าจุดต่างๆที่แสดงถึงข้อมูลอยู่ห่างจากเส้นตรงที่แสดงความเป็นปกติน้อยด้วยเช่นกัน จะเห็นได้ว่าไม่พบความผิดปกติของข้อมูลซึ่งแสดงว่าขาดคุณสมบัติของความเป็นปกติ ฉะนั้นจึงไม่มีเหตุผลมากพอที่ปฏิเสธ H_0 (Fail to reject H_0) สรุปได้ว่า ข้อมูลที่เก็บมาจากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

3. ทดสอบความเสถียรของความแปรปรวน มีสมมติฐานในการทดสอบ คือ

H_0 : ความแปรปรวนของข้อมูลมีความเสถียร

H_1 : ความแปรปรวนของข้อมูลไม่มีความเสถียร



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและค่าฟิต

ความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน (Variance Stability) สามารถตรวจสอบได้โดยการสร้างแผนภาพการกระจายที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถดถอย แสดงในรูปที่ 4.17 ซึ่งแผนภาพการกระจายไม่ควรมีลักษณะของข้อมูลที่เป็นแนวโน้ม ควรจะการกระจายตัวที่ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน

จากรูปที่ 4.17 ส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบ สรุปได้ว่า ข้อมูลมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

สรุปผลจากการทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model adequacy checking) ของตัวแปรตอบสนอง (Friction) ที่นำมาทดลองนี้ พบว่าข้อมูลมีสมมติฐานตรงตามข้อกำหนดทั้ง 3 ข้อ คือ ความสุ่ม การแจกแจงแบบปกติและค่าความแปรปรวนมีความเสถียร ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง $NID(0, \sigma^2)$

ตารางที่ 4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบแฟคตอเรียล

Analysis of Variance for Response (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	4	24.221	24.221	6.0553	20.41	0.000
2-Way Interactions	2	4.278	4.278	2.1391	7.21	0.002
Residual Error	57	16.915	16.915	0.2968		
Lack of Fit	9	3.785	3.785	0.4206	1.54	0.162
Pure Error	48	13.130	13.130	0.2735		
Total	63	45.414				

ตารางที่ 4.17 Effects และ Coefficients สำหรับค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก แบบ Coded Unit

Factorial Fit: Response versus D, E, F, H

Estimated Effects and Coefficients for Response (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		27.3406	0.06809	401.51	0.000
D	0.3750	0.1875	0.06809	2.75	0.008
E	1.0438	0.5219	0.06809	7.66	0.000
F	0.4562	0.2281	0.06809	3.35	0.001
H	0.2750	0.1375	0.06809	2.02	0.048
D*F	0.3625	0.1813	0.06809	2.66	0.010
D*H	-0.3687	-0.1844	0.06809	-2.71	0.009

พิจารณาค่า P-Value ของ 2-Way Interactions ในตารางที่ 4.16 พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.002 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่าในการทดลองนี้มี 2-Way Interactions อย่างน้อย 1 ตัว ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก และเมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ 2 -Way Interactions ในตารางที่ 4.17 พบว่าทั้ง DF มีค่า P-Value 0.010 ต่ำกว่า 0.05 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า Interaction DF ระหว่าง Print Roll Gap และ Ink Viscosity มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

และ P-Value ของ 2 -Way Interactions DH มีค่า P-Value 0.009 ต่ำกว่า 0.05 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า Interaction ระหว่าง Print Roll Gap และ Feed Belt Gap มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

พิจารณาค่า P-Value ของ Main Effects ในตารางที่ 4.16 พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F มีค่ามากกว่าค่าวิกฤติ ซึ่งหมายความว่า ในการทดลองนี้มี Main Effects อย่างน้อย 1 ตัว ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก และเมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ Main Effects ในตารางที่ 4.17 สรุปผล Main Effects ได้ดังนี้

1. พบว่า Main Effect D มีค่า P-Value 0.008 ต่ำกว่า 0.05 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า Print Roll Gap มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก

2. พบว่า Main Effect E มีค่า P-Value 0.000 ต่ำกว่า 0.05 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า Anti Slip มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก

3. พบว่า Main Effect F มีค่า P-Value 0.001 ต่ำกว่า 0.05 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า Ink Viscosity มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก

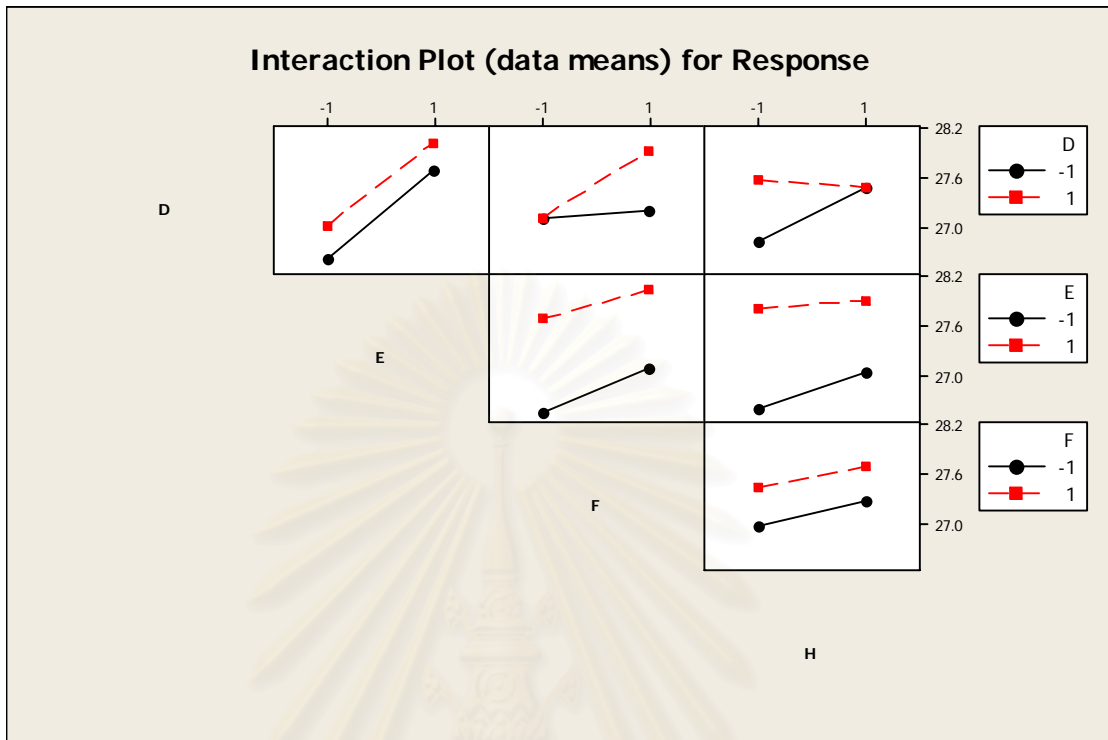
4. พบว่า Main Effect H มีค่า P-Value 0.048 ต่ำกว่า 0.05 ฉะนั้นจึงสรุปได้ว่า Feed Belt Gap มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าว สามารถนำมาแสดงในรูปของสมการได้ใน คือ Coded Unit ซึ่งต้องแทนค่าด้วย -1 สำหรับการปรับค่าไปที่ระดับล่าง (Low Level) และแทนค่าด้วย +1 สำหรับการปรับค่าไปที่ระดับบน (High Level) ของแต่ละปัจจัย

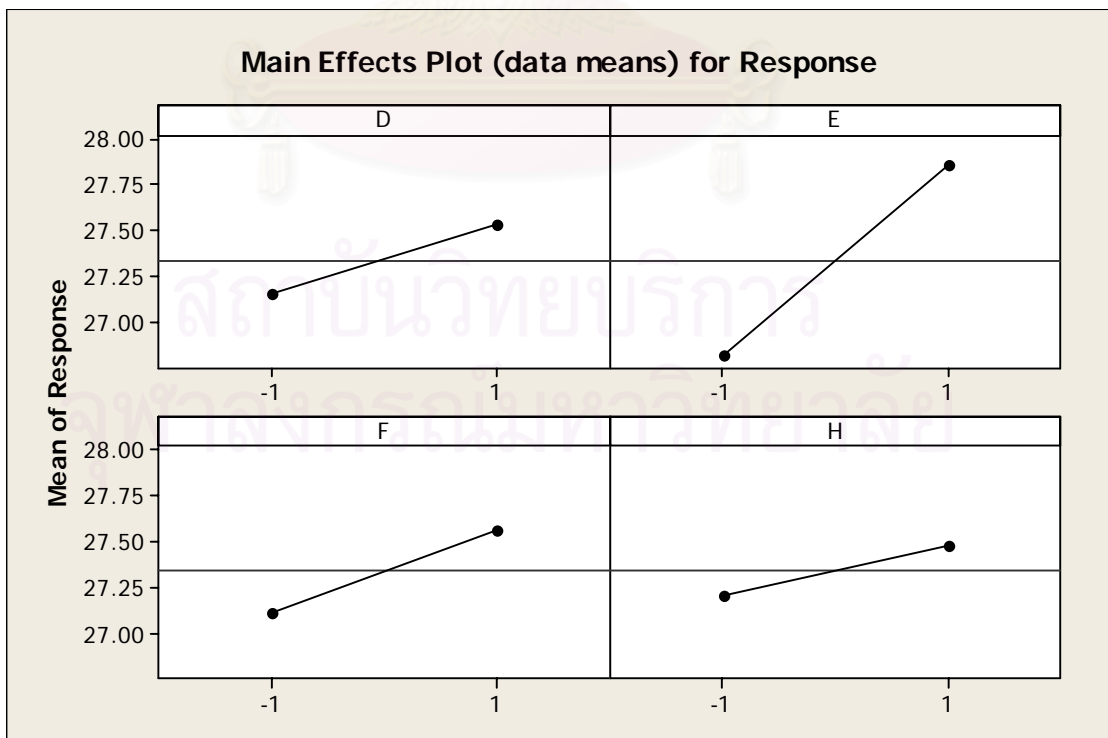
$$Y = 27.3406 + 0.1875 * (\text{Print Roll Gap}) + 0.5219 * (\text{Anti Slip}) + 0.2281 * (\text{Ink Viscosity}) + 0.1375 * (\text{Feed Belt Gap}) + 0.1813 * (\text{Print Roll Gap} * \text{Ink Viscosity}) - 0.1844 * (\text{Print Roll Gap} * \text{Feed Belt Gap})$$

ผู้วิจัยเลือกที่จะใช้วิธีการทางกราฟในการกำหนดค่าปรับตั้งของแต่ละปัจจัย เพื่อให้ได้ค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกมีค่าสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 4.18 และ 4.19

ตารางที่ 4.18 Interaction Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก



ตารางที่ 4.19 Main Effects Plot ของปัจจัยที่มีผลต่อค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก



พิจารณาจากกราฟพบว่าดังรูปที่ 4.18 และ 4.19 ค่าปรับตั้งที่เหมาะสมที่สุดในช่วงที่ใช้งานอยู่เดิม (Existing Condition) ของ แต่ละปัจจัย ควรเป็นดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ค่าแรงเสียดทานของกล่อง กระดาษลูกฟูกมากที่สุด

ปัจจัย	ระดับ	ค่าปรับตั้ง
D: Print Roll Gap	Low (+1)	7 มม.
E: Anti Slip	Low (+1)	B
F: Ink Viscosity	Low (+1)	12.5 วินาที
H: Feed Belt Gap	High (+1)	8.5 มม.

เมื่อนำค่าระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยไปแทนค่าในสมการ Coded Unit จะได้ ค่าประมาณการของค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกมากที่สุด ในช่วงการใช้งาน ปัจจุบัน ซึ่งมีค่าดังนี้

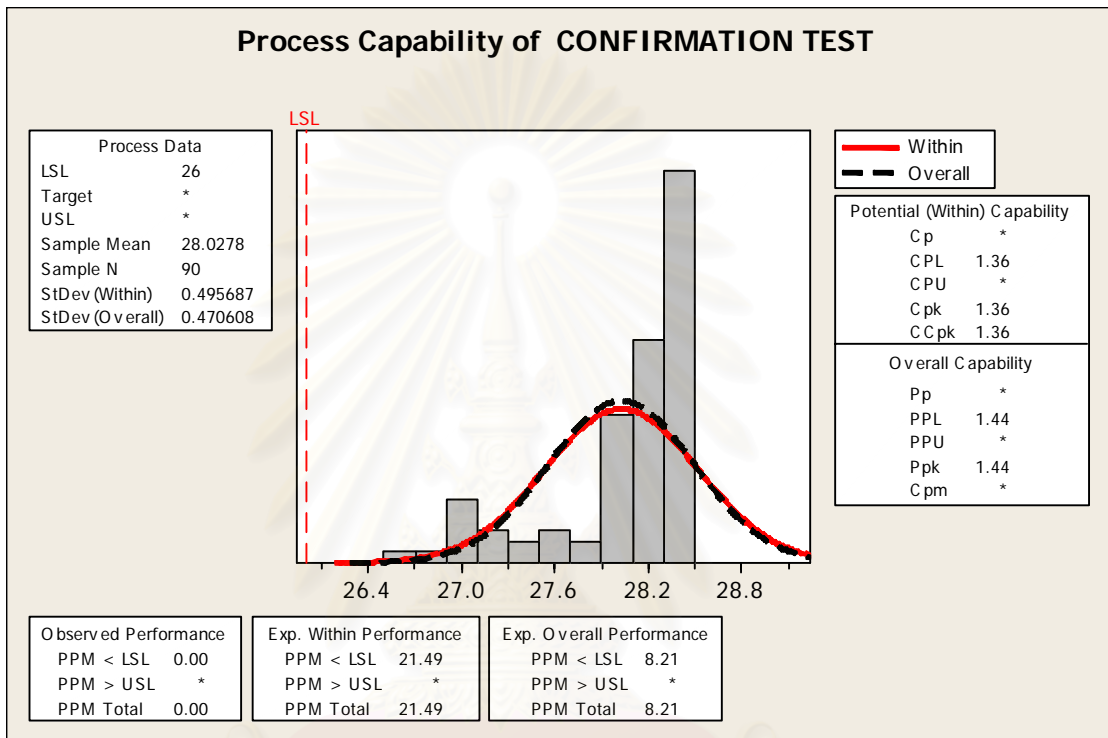
$$Y = 27.3406 + 0.1875 * (+1) + 0.5219 * (+1) + 0.2281 * (+1) + 0.1375 * (+1) + 0.1813 * (+1) * (+1) - 0.1844 * (+1) * (+1)$$

$$Y = 28.4125 \text{ องศา}$$

กล่าวคือ หากในกระบวนการผลิตจริงมีการปรับตั้งค่าของปัจจัยทั้ง 4 ตัวตามที่กำหนดใน ตารางที่ 4.20 และควบคุมปัจจัยที่ควบคุมได้ในด้านอื่นๆ ให้เป็นไปตามมาตรฐาน จะทำให้ค่าแรง เสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกเพิ่มขึ้นจากเดิม โดยเฉลี่ยค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษ ลูกฟูกที่ต้องการต้องไม่ต่ำกว่า 26 องศา หลังจากการทำการทดลองทำให้ค่าแรงเสียดทานของ กล่องกระดาษลูกฟูกมากขึ้นโดยเฉลี่ยประมาณ 28.4125 องศา

4.8 การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง

ผู้วิจัยร่วมกับคณะทำงานในการผลิตกล่อง Beer ในลักษณะของการผลิตตามคำสั่งซื้อปกติ โดยทำการปรับตั้งเครื่องตามแนวทาง ดังตารางที่ 4.20 เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลอง ได้ผลดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 การทดสอบเพื่อยืนยันความสามารถของกระบวนการสำหรับค่า Friction ของกล่องกระดาษลูกฟูก

จากรูปที่ 4.18 สามารถสรุปผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองได้ ดังนี้

- ข้อกำหนดของลูกค้าค่า Friction test ต้องไม่ต่ำกว่า 26 องศา
- ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของ Friction ของกล่องกระดาษลูกฟูก (Mean) เท่ากับ 28.0278 องศา
- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation) เท่ากับ 0.4956 องศา
- ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cpk) เท่ากับ 1.36 องศา
- มีปริมาณของเสียของเสียเกิดขึ้น 8.21 DPPM (Defect Part Per Million)

จะเห็นได้ว่า เมื่อทำการปรับค่าของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อปัญหาแรงเสียดทาน ตามแนวทางใน ตารางที่ 4.20 จะสามารถเพิ่มแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกได้จริง ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการคำนวณตามสมการ ซึ่งคาดว่าจะมีค่าแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกโดยเฉลี่ยประมาณ 28.0278 องศา

4.9 การควบคุมกระบวนการผลิต

หลังจากการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองซึ่งสรุปได้ว่าปัจจัยที่สำคัญดังกล่าวสามารถเพิ่มแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกได้ ขั้นตอนต่อไปคือการควบคุมกระบวนการผลิต เพื่อจุดประสงค์ในการตรวจสอบและควบคุมปัจจัยที่สำคัญที่ได้แก่ Print Roll Gap, Anti Slip, Ink Viscosity และ Feed Belt Gap ให้สามารถผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกที่มีแรงเสียดทานได้ตามข้อกำหนดของลูกค้า

4.9.1 แผนการควบคุมกระบวนการผลิต

4.9.1.1 ปัจจัยที่ควบคุม

หลังจากเลือกใช้น้ำยา Print Roll Gap, Anti Slip, การตั้งค่า Ink Viscosity และ Feed Belt Gap ตามที่กำหนดไว้สำหรับการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกในการผลิตจริง มีปัจจัยที่จะต้องทำการควบคุม

- คุณภาพของน้ำยา Anti Slip
- คุณภาพของ Ink
- คุณภาพของเครื่องจักรใน Unit ของ Print Roll Gap และ Feed Belt Gap
- มาตรฐานในการปฏิบัติงานของพนักงาน

4.9.1.2 การประยุกต์ใช้แผนภูมิควบคุมในการควบคุมกระบวนการผลิต

แผนการควบคุมของปัจจัยที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัยที่กำหนด หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อเป็นการควบคุมให้ปัจจัยทั้ง 4 นี้ อยู่ในค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง โดยได้ทำการปรับตั้งค่าที่เหมาะสมของปัจจัยทั้ง 4 ดังกล่าว และได้นำแผนภูมิควบคุมแบบ \bar{X} และ R มาใช้ในการตรวจสอบและควบคุมปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยอยู่ในสภาวะตามที่ต้องการหรือไม่

โดยพิจารณาจากค่าตัวแปรตอบสนองคือ ค่า Friction โดยรายละเอียดของแผนภูมิควบคุมที่
ประยุกต์ใช้มีดังนี้ คือ

● **ขนาดตัวอย่าง**

การกำหนดขนาดตัวอย่างในการตรวจสอบ ดังนั้นผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจไว้
2 ส่วน คือ

1. อำนาจของการทดสอบ (Power of test) ซึ่งจะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.80
(กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2545, เล่ม 2)

2. ความไว (Sensitivity) ของการเพิ่มขึ้นของค่าอำนาจการทดสอบ ต่อการเพิ่ม
ของจำนวนตัวอย่าง (Sample Size) ต้องไม่สูงมากนัก

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลจากการประเมินความสามารถของกระบวนการในขั้นตอนการ
ยืนยันผลขั้นตอนที่ 4.8 มาใช้เป็น ข้อมูลสำหรับการคำนวณหาอำนาจการทดสอบ ดังนี้

- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Sigma - σ) มีค่าประมาณ 0.4956 องศา
- ค่าความแตกต่างสูงสุด (Maximum difference - D) ที่ยอมให้เกิดขึ้นได้มีค่าประมาณ
2 องศา เนื่องจากค่าเฉลี่ยของกระบวนการ (Mean) มีค่าประมาณ 28.0278 องศา กอปรกับ
ข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ (Product Specification) มีค่าขีดจำกัดล่าง (Lower Specification
Limit) อยู่ที่ 26 องศา

Power and Sample Size

One-way ANOVA

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.4956 Number of Levels = 2

SS Means	Sample Size	Power	Maximum Difference
2	2	0.57053	2
2	3	0.95101	2
2	4	0.99656	2
2	5	0.99980	2
2	6	0.99999	2

The sample size is for each level.

ผู้วิจัยจึงเลือกใช้จำนวนตัวอย่างในการตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิต เท่ากับ 3
ตัวอย่าง เนื่องจากมีอำนาจการทดสอบมากกว่า 0.80 และข้อมูลไม่มีความไวมากนัก อีกทั้ง
เป็นการประหยัดทรัพยากรในการตรวจสอบและควบคุมกระบวนการผลิต

- **ความถี่ในการชักสิ่งตัวอย่าง**

เนื่องจากกระบวนการผลิตของโรงงานเป็นแบบ Make to Order ดังนั้นในการผลิต Order หนึ่ง ๆ ก็จะมีการตั้งเครื่องจักรใหม่ทุกครั้งที่มีการเดิน เพราะฉะนั้นความถี่ในการชักสิ่งตัวอย่าง คือให้ทำการชักตัวอย่างทุกครั้งที่มีการเดิน และให้ทำการชักตัวอย่างทุก 5,000 ไบ

- **วิธีการวัด**

ให้พนักงานที่เกี่ยวข้องทำการสุ่มกล่องจากกระบวนการผลิตตามปริมาณที่เดินตามที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นให้นำกล่องดังกล่าวไปวัดค่า Friction โดยเครื่องวัด Friction Tester

- **กฎการตัดสินใจ**

กฎในการตัดสินใจเกี่ยวกับลักษณะรูปแบบของข้อมูลในแผนภูมิควบคุมที่บ่งบอกถึงสถานะของกระบวนการผลิตที่มีแนวโน้มว่าจะออกนอกการควบคุม จะอ้างอิงกฎในการตัดสินใจ 3 ข้อดังนี้

1. **ความสุ่ม (Randomness)**

Run Pattern

- 7 จุดต่อเนื่องด้านใดด้านหนึ่งของ CL
- 10 ใน 11 จุดต่อเนื่องด้านใดด้านหนึ่งของ CL
- 12 ใน 14 จุดต่อเนื่องด้านใดด้านหนึ่งของ CL
- 16 ใน 20 จุดต่อเนื่องด้านใดด้านหนึ่งของ CL

2. **Trend Pattern**

- 7 จุดต่อเนื่องขึ้นหรือลง

3. **Cycle Pattern**

- ข้อมูลมีรูปแบบคล้ายกันภายใต้เวลาเท่ากัน

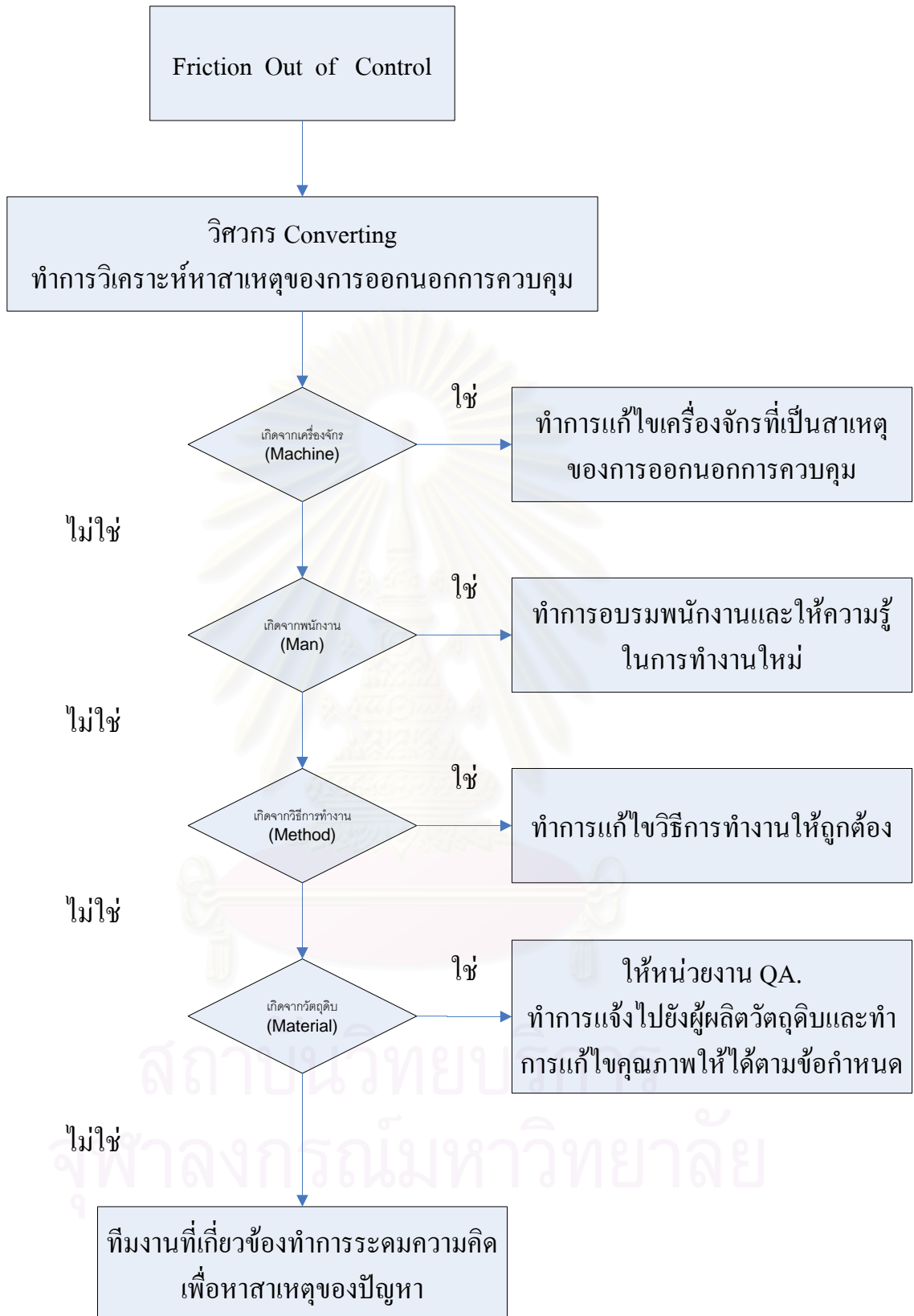
การวิเคราะห์ให้ทำการวิเคราะห์ที่แผนภูมิควบคุม R ก่อน แล้วค่อยมาทำการวิเคราะห์แผนภูมิ \bar{X} ต่อ แต่ถ้าข้อมูลของแผนภูมิ R เกิดลักษณะของข้อมูลดังกล่าวที่การตัดสินใจข้างต้นทั้ง ให้ทำการหยุดกระบวนการผลิตทันทีแล้วทำการตรวจสอบปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยใหม่

- **แผนการแก้ไขและป้องกันเมื่อเกิดสภาวะออกนอกการควบคุม**

นอกจากนี้ยังได้กำหนดขั้นตอนการปฏิบัติเพื่อที่จะกำจัดหรือป้องกันข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นเมื่อข้อมูลของในแผนภูมิควบคุม R และ \bar{X} เกิดสภาวะออกนอกการควบคุม (Out of Control) ซึ่งอ้างอิงจากกฎการตัดสินใจทั้ง 3 ข้อ ที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือการจัดทำแผนการแก้ไขและป้องกันเมื่อข้อมูลเกิดสภาวะออกนอกการควบคุม โดยขั้นตอนในการวินิจฉัยและแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เพื่อที่จะทำการแก้ไขปัจจัยทั้ง 4 เข้าสู่การควบคุมทางสถิติโดยเร็ว ซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติการแก้ไขและป้องกันดังรูปที่ 4.19



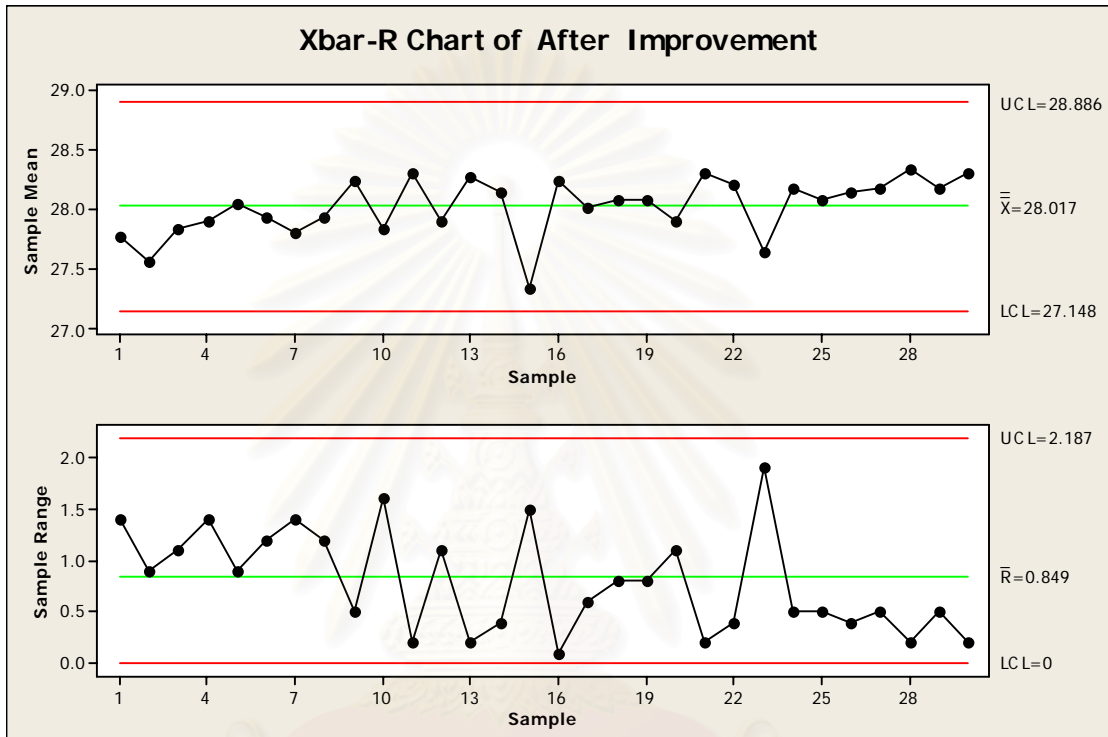
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.19 ขั้นตอนการแก้ไขและป้องกัน สำหรับค่า Friction ที่ออกนอกการควบคุม

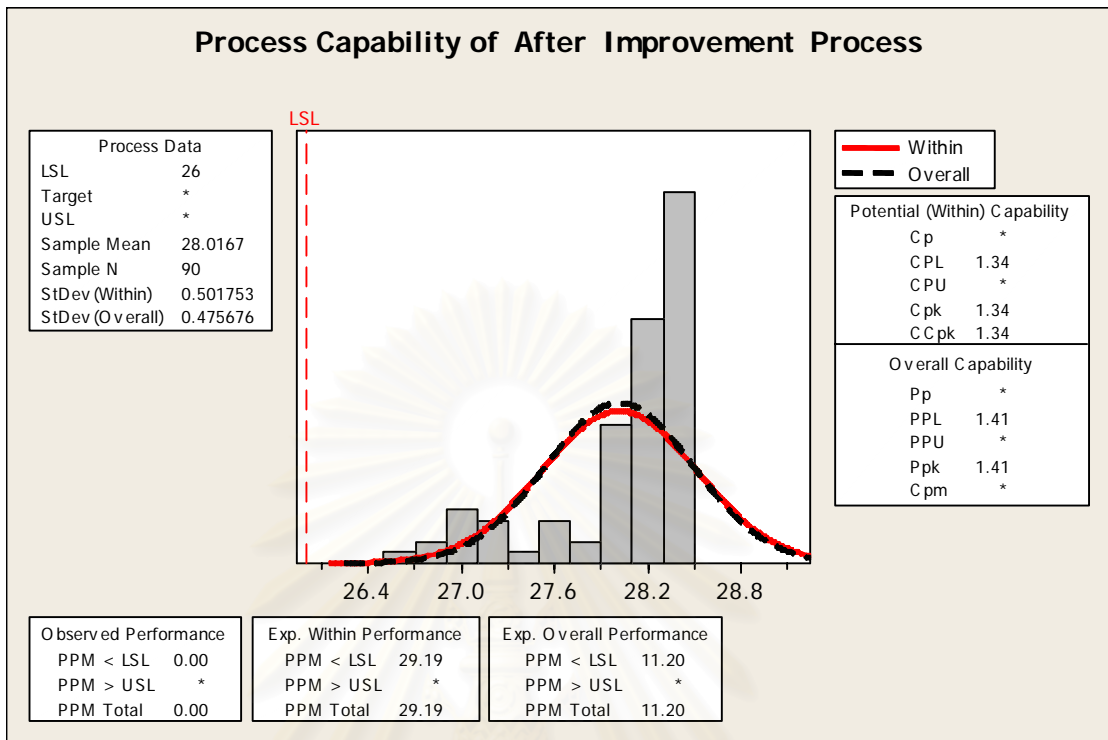
4.9.2 ข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

การควบคุมตัวแปรตอบสนอง Friction ให้อยู่ค่าภายใน Control Limit มากที่สุด ได้นำเทคนิคทางสถิติควบคุม Statistics Process Control มาประยุกต์ใช้โดยใช้แผนภูมิควบคุม \bar{X} และ R Chart โดยทำการเก็บข้อมูล 30 ข้อมูล (ค่าเฉลี่ยจากการวัดตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่าง) โดยสังเกตจากแผนภูมิควบคุม \bar{X} และ R Chart ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 กราฟแสดง \bar{X} และ R Chart ของค่า Friction

4.10 สรุปผลการหลังการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการผลิต



รูปที่ 4.21 แสดงความสามารถของกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต

จากการลองทำการผลิตจริงโดยควบคุมปัจจัยที่สำคัญทั้ง 4 ปัจจัยที่ระดับที่เหมาะสมและการควบคุมกระบวนการโดยใช้เทคนิคทางการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ เมื่อทำการวิเคราะห์ความสามารถหลังจากปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 1.34 ซึ่งเป็นค่าที่สูงเพิ่มขึ้น และเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า คือมากกว่า 1.33 และค่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นมีเพียง 11.20 DPPM ซึ่งคาดว่าจะสามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นจากเดิมได้จนถึงในระดับที่แทบไม่มีของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอีกได้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

จากงานวิจัย ที่ได้เสนอแนะแนวทางในการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีการออกแบบการทดลอง โดยขั้นตอนนั้นเริ่มตั้งแต่การนิยามปัญหาด้วยผังก้างปลา (Cause and Effect Diagram) การวิเคราะห์ระบบการวัด การวิเคราะห์การเลือกปัจจัยตั้งแต่ การวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) การวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) การออกแบบการทดลองแบบ การทำการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ การทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองและการควบคุมกระบวนการผลิตจริง เพื่อใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกในการลดการสูญเสียแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก ที่ส่งผลกระทบต่อข้อกำหนดและการนำไปใช้งานของลูกค้ำ ซึ่งค่า Friction เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากในการใช้งานของลูกค้ำ

ก่อนการปรับปรุงมีปริมาณของเสียเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากแรงเสียดทานของกล่องที่น้อยเกินไปทำให้สินค้าของลูกค้ำที่นำกล่องไปใช้งานเกิดการลื่นตกลงมาเสียหาย มีปริมาณของเสียของเสียเกิดขึ้น 889×10^3 DPPM (Defect Part Per Million) และมีความสามารถของกระบวนการการผลิต Cpk เป็น (-0.51) ผลหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่สามารถลดการสูญเสียแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกได้ สามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นจากค่า Friction ที่ไม่ได้ตามข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์จากลูกค้ำเหลือ 11.20 DPPM และมีความสามารถของกระบวนการการผลิต Cpk เพิ่มขึ้นเป็น 1.34

5.2 สรุปผลจากการค้นหาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ผู้วิจัยได้จัดให้มีการประชุมเพื่อระดมสมอง (Brainstorming) ระหว่างผู้ที่มีความรู้ทางการผลิตเฉพาะด้าน (Intrinsic Technology) และมีประสบการณ์ในการเดินเครื่องจักร ซึ่งได้แก่ หัวหน้าแผนกประกันคุณภาพ หัวหน้าแผนกพิมพ์ หัวหน้ากะพิมพ์ ช่างซ่อมบำรุงเครื่องพิมพ์ และพนักงานเดินเครื่องพิมพ์ ซึ่งผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นผู้ประสานงานและสรุปผล โดยได้จัดทำเป็นแผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ประเภทการกำหนดรายการสาเหตุ

(Cause Enumeration) ซึ่งสามารถหาสาเหตุของปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกได้ทั้งหมด 29 ปัจจัย

5.3 สรุปผลจากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

จากการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดที่มีค่า Friction ของกระบวนการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก พบว่าเครื่อง Friction Tester มีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการได้ดี โดยมีค่าระบบการวัด ค่าผันแปรจากเครื่องมือวัด ค่าแปรผันมาจากผู้ทำการทดลอง และค่าความแปรผันมาจากชิ้นงาน น้อยกว่า 10 % นั่นคือหากความผันแปรของกระบวนการมีค่า 100 หน่วย จะมีความแปรผันเนื่องจากระบบการวัดน้อยกว่า 10 หน่วย ซึ่งสามารถที่จะใช้ข้อมูลที่ได้จากระบบการวัดนี้ในการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่ทำการศึกษา

5.4 สรุปผลจากการวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix)

ได้นำปัจจัยทั้งหมด 29 ปัจจัยมาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างผลของกระบวนการและปัจจัยนำเข้า ด้วยตารางสาเหตุและผล (Cause & Effect Matrix) แล้วจัดเรียงลำดับคะแนนตามความสำคัญด้วยผังพาเรโต จึงเหลือปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองเพียง 16 ปัจจัย จากนั้นนำปัจจัยดังกล่าวไปทำการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) ต่อไป

5.5 สรุปผลการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)

จากการจัดลำดับความสำคัญด้วยผังพาเรโต ในขั้นตอนการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) พบว่าปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความแปรปรวนของค่าแรงเสียดทานมีทั้งสิ้น 13 ปัจจัย ซึ่งได้แก่ สภาพกระดาษ Sheet Board Warp Sheet การเคลือบ Anti Slip ระยะกอดของลูก Feed Roll Gap การปรับ Running Speed การตั้งระยะ Feed Belt Gap การตั้งระยะ Feed gate Gap การตั้งระยะ Pull Roll Gap, การผสม Ink Viscosity การตั้งระยะ Hopper gate Gap การตั้งระยะ Print Roll Gap การปรับ Speed of Feed Belt แรงกดกล่อง Box Press เวลามัด และการออกแบบ Sheet Dimension

5.6 สรุปผลการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis)

นำตัวแปร(แทนปัจจัยที่หาได้เบื้องต้น) ที่หาได้จากการการวิเคราะห์ FMEA มาทำการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) เพื่อทำการจับกลุ่มหรือรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มหรือ Factor เดียวกัน โดยตัวแปรที่อยู่ใน Factor เดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันมาก โดยความสัมพันธ์นั้นอาจจะเป็นไปในทิศทางบวก (ไปในทางเดียวกัน) หรือทิศทางลบ (ไปในทางตรงข้าม) ก็ได้ ส่วนตัวแปรที่อยู่คนละ Factor จะไม่มีความสัมพันธ์กัน หรือมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก โดยสามารถสรุปปัจจัยที่สำคัญได้ 3 ปัจจัยดังนี้

1. Factor 1 ประกอบด้วย Pull Roll Gap , Feed Roll Gap , Feed gate Gap และ Print Roll Gap
2. Factor 2 ประกอบด้วย Ink Viscosity , Hopper gate Gap , Box Press , Feed Belt Gap และ Anti Slip
3. Factor 3 ประกอบด้วย Running Speed และ Speed of Feed Belt

5.7 สรุปผลการออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design

เป็นการนำปัจจัยจากการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis) 3 ปัจจัยช่วยเป็นแนวทางในการทดลอง แล้วทำการทดลองแบบ Resolution IV Design 2^{11-5} Fraction Factorial design ซึ่งสามารถสรุปการทดลองได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อให้ค่าแรงเสียดทานของกล่อง
กระดาษลูกฟูกมากที่สุด

ปัจจัย	ระดับ	ค่าปรับตั้ง
D: Print Roll Gap	Low (+1)	7 มม.
E: Anti Slip	Low (+1)	B
F: Ink Viscosity	Low (+1)	12.5 วินาที
H: Feed Belt Gap	High (+1)	8.5 มม.

หลังจากได้ปัจจัยและระดับที่สำคัญ ผู้วิจัยร่วมกับคณะทำงานในการผลิตกล่อง Beer ในลักษณะ เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลอง สามารถสรุปผลการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองได้ ดังนี้

- ข้อกำหนดของลูกค้ำค่า Friction test ต้องไม่ต่ำกว่า 26 องศา
- ค่าเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยของ Friction ของกล่องกระดาษลูกฟูก (Mean) เท่ากับ 28.0278 องศา
- ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ (Standard Deviation) เท่ากับ 0.4956 องศา
- ความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการ (Cpk) เท่ากับ 1.36 องศา
- มีปริมาณของเสียของเสียเกิดขึ้น 8.21 DPPM (Defect Part Per Million)

5.8 สรุปผลการควบคุมกระบวนการผลิต

จากผลการทดสอบยืนยันผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าสามารถกำหนดค่าของปัจจัยที่ได้จากการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมและรวมถึงการควบคุมผลลัพธ์ของกระบวนการจึงได้ทำการควบคุมกระบวนการผลิตโดยใช้เทคนิคทางการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ เมื่อทำการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการหลังการปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 1.34 ซึ่งเป็นค่าที่สูงเพิ่มขึ้น และเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า คือมากกว่า 1.33 และค่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นมีเพียง 11.20 DPPM ซึ่งคาดว่าสามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นจากเดิมได้จนถึงในระดับที่แทบไม่มีของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอีกได้

5.9 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย

5.9.1 การเก็บข้อมูลเพื่อนำมาทำการทดลองมีข้อจำกัดในทำการตัดกระดาษลูกฟูกก่อนที่จะเข้าเครื่องพิมพ์ ต้องทำการคัดเลือกกระดาษที่มีความตรงหรือมีความโค้งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ซึ่งต้องใช้เวลาในการคัดแยกนานและใช้พื้นที่ในการกองเก็บมากทำให้ส่งผลกระทบต่อการผลิตงานประจำที่ทำการผลิตอยู่

5.9.2 ปัจจัยที่เลือกมาในการทดลองทั้ง 11 ปัจจัย ไม่สามารถทำการทดลองครั้งละปัจจัย (One-Factor-at-a-time) เพื่อทดสอบเบื้องต้นว่าปัจจัยแต่ละตัวนั้นมีอิทธิพลต่อแรงเสียดทานได้ เพราะเป็นข้อจำกัดของทางโรงงานเนื่องจากเครื่องจักรไม่มีเวลาเพียงพอในการทดลองและไม่สามารถใช้จำนวนตัวอย่างได้มาก

5.9.3 การวัดค่า Friction test ต้องใช้เวลานานในการเก็บวัดในห้องควบคุมอุณหภูมิก่อนที่จะทำการวัด ในการทำการทดลองสามารถทำได้แต่ในการประยุกต์ไปใช้งานจริงเพื่อวัดค่า Friction test ต้องมีการเผื่อเวลาในการวัด Friction test ไว้ในการวางแผนการผลิตด้วย

5.10 ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้

5.10.1 ทางคณะวิจัยนี้คิดว่ายังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับแรงเสียดทานอีกแต่ไม่สามารถนำมาทำการทดลองได้ เช่น อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเนื่องมาจากยังขาดอุปกรณ์ในการวัด

5.10.2 งานวิจัยนี้ทำการออกแบบการทดลองที่กระบวนการพิมพ์เท่านั้น

5.10.3 วัดคุณสมบัติกระดาษม้วนเป็นกระดาษที่มาจากแหล่งผลิตที่เดียวเท่านั้น

5.11 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยมีความเห็นว่าทางโรงงานควรมีการดำเนินการเพิ่มเติมในบางประเด็น ดังนี้

5.11.1 การทดลองนี้มุ่งเน้นให้ค่า Friction อยู่ไม่ต่ำกว่า 26 องศา เพื่อให้ลูกค่านำกล่องกระดาษไปใช้งานได้อย่างมั่นใจว่าจะไม่เกิดการลื่นของกล่องกระดาษ ซึ่งจากการทดลองเป็นการวิจัยในการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่กระบวนการพิมพ์ (Converting Process) ซึ่งในการวิจัยขั้นต่อไปควรมีทำการวิเคราะห์ในกระบวนการผลิตแผ่นลูกฟูก (Corrugating Process) และที่กระบวนการผลิตกระดาษที่เป็นวัตถุดิบที่สำคัญ เพื่อเป็นการลดการสูญเสียและเพิ่มแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกได้อย่างมั่นคงและยั่งยืนต่อไป

5.11.2 ควรมีการเข้าไปทำการศึกษากระบวนการผลิตและการใช้งานของลูกค้ำเพิ่มเติมเพื่อนำมาประกอบกับการวิเคราะห์ต่อไป

5.11.3 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าแรงเสียดทานมีผลต่อการใช้งานของลูกค้ำเป็นอย่างมาก ดังนั้นตั้งแต่การออกแบบผลิตภัณฑ์ควรมีการพิจารณาถึงแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูกด้วย

5.11.4 ผลของการปรับปรุงกระบวนการผลิตในการวิจัยนี้ สามารถจะนำผลไปประยุกต์ใช้ในการผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน แต่ควรมีการทดสอบเพื่อศึกษาผลกระทบต่อผลตอบตัวอื่นด้วยว่ามีผลกระทบหรือไม่ก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. ระบบการควบคุมคุณภาพที่หน้างาน คิวซีเซอร์เคิล (QC Circle).
กรุงเทพฯ : พิมพ์ครั้งที่ 3, เทคนิคอล แอปโพรช เคาน์เซลลิ่ง แอนด์ เทรนนิง, 2543
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ. กรุงเทพฯ : พิมพ์ครั้งที่ 1.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2544
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 1. กรุงเทพฯ : พิมพ์ครั้งที่ 3. สมาคม
ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2545
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่ม 2. กรุงเทพฯ : พิมพ์ครั้งที่ 2. สมาคม
ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2545
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA). กรุงเทพฯ : พิมพ์ครั้งที่ 3. สมาคม
ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2546
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ. กรุงเทพฯ : พิมพ์ครั้งที่ 1.
สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น), 2547
- กฤษฎดา อัครรุ่งแสงกุล. การปรับปรุงคุณภาพของหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์โดยประยุกต์ใช้
การออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542
- ชนันต์ โรจนะบุรานนท์. การลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการพิมพ์ออฟเซต 4 สี. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรมบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2546
- ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545
- รเมศ สโมสร. การปรับปรุงคุณสมบัติด้านความแกร่งของกระดาษ Duplex board.
โครงการวิจัยอุตสาหกรรมปริญญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมระบบการผลิต
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545

ลัดดา เรียงเลิศ .การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการพิมพ์สี ในโรงงานผลิตพื้นยางนี้โอไลท์.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2546

วรพงศ์ นาวารกุล. การลดความแปรปรวนของกระบวนการผลิตกระดาษ. วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
2546

วิรัช พานิชวงศ์ . การวิเคราะห์การถดถอย . กรุงเทพฯ :พิมพ์ครั้งที่ 2 . สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าพระนครเหนือ , 2546

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และจันทนา จันทโร . สถิติสำหรับงานวิศวกรรม . กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2536

ภาษาอังกฤษ

A.L.D. Skury , G.S. Bobrovnitchii , S.N. Monteiro . Experimental design methodology
applied to study a diamond purification process . (2004) : 1638-1644

Alvin C. Rencher . Methods of Multivariate Analysis. 2nd ed. John Wiley & Sons,
2002

Douglas C. Montgomery. Design and Analysis of Experiments. 5th ed. John Wiley &
Sons, 2001

Douglas C. Montgomery. Using statistically designed experiment for process
development and improvement : an application in electronics manufacturing .
(2000): 55-63

Jitendra Ganju . Randomized and random run order experiment. (2004): 199-210

K. Craig , I. Koch . Experiment design for the economic performance evaluation of
industrial controllers . (2003):57-66

Narinder Singh Sahni . The use of experiment design methodology and multivariate
analysis to determine critical control points in a process. (2001): 105-121

Niklas Garoff , Christer Fellers , Nils – Olof Nilvebrant . Friction hysteresis of paper .
(2004) : 190-196



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลค่าแรงเสียดทานของกระดาษที่เกรดต่างกันและมาจากผู้ผลิตกระดาษที่ต่างกัน 5 เกรด ดังนี้

1. กระดาษเกรด WT S140 จาก Sweden
2. กระดาษเกรด KA125 จาก HS
3. กระดาษเกรด KE165 จาก SKIC
4. กระดาษเกรด KS170 จาก SKIC
5. กระดาษเกรด LK170 จาก LK170

โดยกำหนดให้

BF = เป็นกระดาษม้วนก่อนเข้าเครื่องลูกฟูก

AF = เป็นกระดาษที่ผ่านกระบวนการผลิตที่เครื่องลูกฟูกโดยไม่ต้องขึ้นลอน

S/B = เป็นแผ่นกระดาษ Sheet Board ที่ผ่านกระบวนการผลิตที่เครื่องลูกฟูกก่อนเข้าเครื่องพิมพ์

C/E = เป็นกล่องกระดาษลูกฟูกที่ผ่านกระบวนการพิมพ์แล้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก (ต่อ)

1. กระดาษเกรด WT S140 จาก Sweden

No	WTS140-BF	WTS140-AF	WTS140-S/B	WTS140-CE
1	26.2	27.2	25.4	21.7
2	28.6	29.5	24.9	18.8
3	26	28.6	26.1	19.2
4	26.5	27.4	26.7	23.7
5	27	27.9	27.8	21
6	25	28.6	27.4	23
7	27.7	29.1	25.7	21.8
8	29	28.5	27.8	22.6
9	28.6	29.3	27.2	20.9
10	27.9	27.8	25.9	23.3
11	29.4	28.1	27.3	23.9
12	27.2	27.9	27.9	20.7
13	29.5	29.4	27.5	22
14	30.6	28.6	26.7	21.1
15	29.5	28.4	25.6	24.1
16	27.1	28.7	26.4	19.5
17	27.3	27.8	27.6	22.1
18	27.7	29.6	26.4	20.3
19	29.2	28.9	24.7	24.6
20	30.9	29.2	26.9	22.4
21	29.9	28.2	25.6	25.5
22	27.9	27.6	27.1	26
23	29.1	27.2	24.9	25.1
24	29.3	28.1	27.6	26.2
25	28	29.5	26.9	22.4
26	27.6	28.8	27.7	25.2
27	29.5	28.4	25.3	22.8
28	25.5	27.6	25.5	24.5
29	30.3	28.5	24.9	23.4
30	30.9	29.4	25.9	22.6

ภาคผนวก ก (ต่อ)

2. กระดาษเกรด KA125 จาก HS

No	KA125-BF	KA125-AF	KA125-S/B	KA125-CE
1	28.4	28.5	26.6	21.3
2	28.5	29.1	24.5	19.5
3	28.6	30.4	29.3	21
4	27.9	29.2	26.9	20.6
5	28.2	29.4	30.3	22.5
6	28.8	28.6	27.8	22
7	30.1	28.6	27.6	20
8	30.6	28.8	28.5	21.2
9	30.8	30.9	26.8	21.4
10	29.6	31.1	28.7	22.2
11	30	27.6	30.6	21.6
12	31.8	27.8	28.5	22.6
13	27.1	27.9	28.9	23.5
14	27.3	28.4	29.6	22.7
15	28.5	28.9	30.3	22.7
16	27.7	29.5	25.3	19.9
17	30	28.8	26.1	19.4
18	28.7	29.4	30.2	21.7
19	27	29.9	26.9	20.4
20	26.3	29.1	28.7	21.2
21	27.9	28.3	27.5	22.4
22	32.1	29.3	26.9	23.4
23	33	29.2	27.8	21.5
24	32.1	28.5	29.8	23
25	29	30.2	26.3	20.4
26	30.1	29.2	25.3	22.8
27	31.2	29.5	28.8	22.1
28	30.1	29.6	28.3	20.7
29	28.5	30.2	27.7	23.1
30	30.9	29.4	30.4	21.6

ภาคผนวก ก (ต่อ)

3.กระดาดษเกรด KE165 จาก SKIC

No	KE165-BF	KE165-AF	KE165-S/B	KE165-CE
1	26.4	25.6	26.5	20.2
2	26.1	26.2	25.4	21.4
3	24.2	27.5	27.8	21.4
4	29.4	26.4	26	20.9
5	29	25.9	27	21.1
6	26.3	27.8	28.2	21.6
7	29.5	26.6	26.3	23.6
8	27.7	27.2	28	23.1
9	28.2	25.8	29.1	19.5
10	28.4	26.5	25.71	21.3
11	26.1	26.8	26.9	22.7
12	26.4	25.3	26.3	23.3
13	27.1	27.1	25.2	22.7
14	27.6	26.7	25.3	22.1
15	28.4	27.8	25.9	19.4
16	28.5	25.6	25.4	21.6
17	27.1	26.6	26	21.8
18	25.1	27.4	27	22.2
19	24.5	27.1	25.7	20.4
20	27.4	27.8	25	20.5
21	27.8	26.6	27.3	22.6
22	28.9	26.5	26.5	20
23	26.3	25.3	26.2	20.7
24	25.2	27.5	26.7	21
25	27	26.7	27.5	21.8
26	25.7	26.8	26.2	22.1
27	26.2	26.7	28.3	22.3
28	25.3	27	27.1	19.4
29	25.6	26.3	27.2	19.6
30	27.3	25.7	27.5	21

ภาคผนวก ก (ต่อ)

4.กระดาษเกรด KS170 จาก SKIC

No	KS170-BF	KS170-AF	KS170-S/B	KS170-CE
1	27.6	26.9	26.3	22.1
2	27.6	28.4	27.6	21.5
3	28	27.3	29.6	20.2
4	26.1	28.5	29.5	19.9
5	26.8	27.5	28.4	21.7
6	27	27.6	29.4	22.1
7	25.2	26.7	25.7	20.8
8	28	28.3	28.3	19.9
9	28.3	28.5	26.3	21
10	28.8	26.9	25.9	20.3
11	27.7	26.7	26.9	21.5
12	28.5	27.5	25.3	22.5
13	28.8	27.8	27.6	21.1
14	26.1	28.2	30.3	20.9
15	27.3	28.4	29.3	22
16	27	26.6	26.8	20.5
17	25.7	28.1	27.3	21.2
18	27.2	27.4	27.5	21.3
19	28.2	27.9	29.2	21.9
20	28.8	28.1	30	21.3
21	27.1	27.6	28.5	23.2
22	29.9	28.2	26	22
23	29.1	27.1	28.8	21.1
24	28	26.8	28.5	21.8
25	27.2	27.3	29.8	21.2
26	29.3	28.3	28.5	19.2
27	30.9	26.7	28.2	20.6
28	27.2	27.5	27.6	19.5
29	29.1	28.5	24.9	22.4
30	29.3	27.7	26.7	22.5

ภาคผนวก ก (ต่อ)

5.กระดาศเกรต LK170 จาก LK170

No	LK170-BF	LK170-AF	LK170-S/B	LK170-CE
1	24.2	23.2	22.7	22
2	24	25.4	24.4	19.4
3	26.9	24.9	26.9	19.1
4	24.4	24.5	23.1	22.4
5	23	23.3	23.9	22.5
6	22.7	23.6	23.1	21
7	26	25	23.7	21.9
8	24.2	25.1	25	21.8
9	26.5	25.3	25.8	21.6
10	23.7	24.3	26	17.2
11	25.4	24.7	27.4	16.9
12	24.9	24.6	27.6	17.5
13	22.5	23.7	20.7	22
14	24	24.3	20.9	21.9
15	22.3	24.4	22.1	22.4
16	25.3	25.2	25.4	23.2
17	21.9	23.6	23.2	21.1
18	25.4	23.5	23.7	23.6
19	22.2	24.1	19.5	23.4
20	23	24.1	19.7	20.3
21	24.5	25.2	22.3	20.5
22	23.4	23.7	28.2	21.2
23	25.6	24.6	29.3	23
24	25.1	25.4	28.9	22.7
25	23.9	24.8	26.5	20.4
26	23.3	24.4	28.9	20.1
27	24.5	25.2	28.9	23.5
28	22.9	23.4	27.7	18.7
29	24.9	24.8	26.1	18.2
30	23.5	24.6	27.9	17.8

ภาคผนวก ข

แบบฟอร์มการให้คะแนนเพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล
(Cause & Effect Matrix)

แบบสอบถามการให้คะแนนปัจจัยที่มีผลต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก

0 = ไม่มีความสำคัญต่อลูกค้า / ไม่มีผลต่อแรงเสียดทานของกล่อง

ผู้ประเมิน

10 = มีความสำคัญต่อลูกค้าอย่างยิ่ง / มีผลต่อแรงเสียดทานของกล่องอย่างยิ่ง

วันที่

ลำดับที่	จำแนกตาม Unit	ปัจจัยที่มีผล	อัตราความสำคัญต่อลูกค้า/ผลกระทบต่อแรงเสียดทานของกล่องกระดาษลูกฟูก (0-10)										
1	Feed Unit	1 Feed Roll Gap	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		2 Hardness of Feed Roll	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		3 Feed gate Gap	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		4 High of Paper	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		5 Pressure of Feed Roll	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Printing Unit	6 Pull Roll Gap	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		7 Hardness of Pull Roll	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		8 Print Roll Gap	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		9 Hardness of Block	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		10 Ink Viscosity	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	Folder Unit	11 Impression Cylinder	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		12 Folding Beam OP & DR Register	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		13 Parallel of Folding Beam	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		14 Upper & Lower Folding Belt Tension	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		15 Folding Belt Gap	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4	Squaring unit	16 Pressure of Upper - Folding Belt Tension	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		17 Pressure of Folding Belt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		18 Feed Belt Gap	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		19 Upper & Lower Feed Belt Tension	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		20 Hopper gate Gap	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	Counter & Ejector Unit	21 Speed of Feed Belt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		22 Speed of Conveyor	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	TYING Unit	23 Box Press	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	Other	24 Top Belt	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		25 Warp Sheet	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		26 Sheet Dimension	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		27 Running Speed	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		28 Heat	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		29 Anti Slip	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงการเกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของการเกิดปัญหาการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูก
เกณฑ์การประเมินผลความรุนแรงของการเกิดปัญหาการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูก

ผลกระทบจากการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูก	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์	ความรุนแรงของผลกระทบที่มีต่อกระบวนการภายใน	คะแนน
เกิดอันตรายโดยไม่มีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้ หรือขัดต่อกฎหมายโดยไม่มี การเตือนล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อ การเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยไม่มี การเตือนล่วงหน้า	10
เกิดอันตรายโดยมีการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้ หรือขัดต่อกฎหมายโดยมีการเตือนล่วงหน้า	มีผลกระทบต่อ การเกิดอันตรายต่อพนักงาน (หรือเครื่องจักร) โดยมีการเตือนล่วงหน้า	9
ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากสูญเสียหน้าที่หลัก	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องถูกทำลาย หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	8
ผลกระทบสูง	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้แต่ระดับสมรรถนะลดลงจนทำให้ลูกค้าไม่พอใจมาก	อาจจะมีการตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบคัดเลือก (Sorting) และผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจถูกทำลาย หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	7
ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้ แต่ขาดความสะดวกสบายและทำให้ลูกค้าไม่พอใจ	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (น้อยกว่า 100%) อาจต้องถูกทำลายและไม่ต้องตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sort) หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	6
ผลกระทบต่ำ	ผลิตภัณฑ์นำไปใช้งานได้ด้วยความสะดวกสบาย แต่ระดับสมรรถนะลดลง	ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์ค หรือส่งเข้าซ่อมแซมที่หน่วยงานผลิต	5
ผลกระทบต่ำมาก	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก ลูกค้าสามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	ผลิตภัณฑ์อาจได้รับการตรวจสอบแบบคัดเลือก (Sorting) โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลายแต่บางส่วน	4
ผลกระทบเล็กน้อย	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก ลูกค้าประมาณครึ่งหนึ่งสามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์คในสายการผลิต โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย	3
เกือบไม่มีผลกระทบ	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก ลูกค้าประมาณ 25 % สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	ผลิตภัณฑ์บางส่วน (ต่ำกว่า 100%) อาจต้องได้รับการรีเวิร์คในสายการผลิต โดยไม่มีผลิตภัณฑ์ที่ต้องถูกทำลาย	2
ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตเห็นได้	อาจมีความไม่สะดวกสบายเล็กน้อยต่อการปฏิบัติงานหรือตัวพนักงานหรือไม่มีผลกระทบใด ๆ	1

ภาคผนวก ง

เกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดของการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูก

เกณฑ์การประเมินผลโอกาสการเกิดของการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูก

โอกาสการเกิดของการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูก	อัตราข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ (กล่อง)	Ppk	คะแนน
สูงมาก : เกิดปัญหาการลื่นเป็นประจำ	$\geq 200,000$ (หรือ 10 %)	< 0.55	10
	100,000 (หรือ 5 %)	≥ 0.55	9
สูง : เกิดปัญหาการลื่นบ่อย	50,000 (หรือ 2 %)	≥ 0.78	8
	25,000 (หรือ 1 %)	≥ 0.86	7
ปานกลาง : เกิดปัญหาการลื่นเป็นครั้งคราว	10,000 (หรือ 0.5 %)	≥ 0.94	6
	5,000 (หรือ 0.2 %)	≥ 1.00	5
	2,000 (หรือ 0.1 %)	≥ 1.10	4
ต่ำ : เกิดปัญหาการลื่นค่อนข้างน้อย	1000	≥ 1.20	3
	500	≥ 1.30	2
ห่างไกล : เกือบไม่มีโอกาสเกิดปัญหาการลื่นเลย	≤ 10	≥ 1.67	1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับการเกิดปัญหาการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูก

เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับการเกิดปัญหาการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูก

การตรวจจับ	กฎเกณฑ์	ประเภทการตรวจสอบ			ขอบเขตวิธีการตรวจจับ	คะแนน
		A	B	C		
เกือบเป็นไปได้	ไม่มีระบบการตรวจสอบใด ๆ			X	ไม่สามารถตรวจสอบจับหรือตรวจสอบได้	10
ห่างไกลมาก	มีระบบการควบคุม แต่ไม่สามารถตรวจจับการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูกได้			X	การควบคุมกระทำได้โดยทางอ้อมหรือเพียงการสุ่มตรวจเท่านั้น	9
ห่างไกล	มีระบบควบคุม แต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับการลื่นของกล่องกระดาษได้			X	การควบคุมกระทำได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า (Visual inspection) เท่านั้น	8
ต่ำมาก	มีระบบควบคุม แต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับการลื่นของกล่องกระดาษได้			X	การควบคุมกระทำได้ด้วยการตรวจสอบด้วยตาเปล่าสองครั้ง (Double Visual inspection) เท่านั้น	7
ต่ำ	มีระบบควบคุมและอาจจะตรวจจับการเกิดการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูกได้		X	X	การควบคุมกระทำได้ด้วยแผนภูมิ SPC	6
ปานกลาง	มีระบบควบคุมและอาจจะตรวจจับการเกิดการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูกได้		X		มีการควบคุมโดยใช้เครื่องมือวัด วัดชิ้นงานก่อนออกจากโรงงาน	5
ค่อนข้างสูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับการเกิดการลื่นของกล่องกระดาษได้	X	X		มีการตรวจจับการลื่นในกระบวนการถัดไป หรือมีการใช้เครื่องมือวัด วัดชิ้นงานชิ้นแรกในขั้นตอนการปรับตั้ง (Set-Up)	4
สูง	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับการเกิดการลื่นของกล่องกระดาษได้	X	X		มีการตรวจจับการลื่นที่จุดปฏิบัติงาน หรือมีการตรวจจับการลื่นของกล่องในกระบวนการถัดไป โดยการตรวจสอบเพื่อการยอมรับ	3
สูงมาก	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับการเกิดการลื่นของกล่องกระดาษได้	X	X		มีการตรวจจับการลื่นที่จุดปฏิบัติงาน หรือมีการตรวจจับการลื่นของกล่องด้วยเครื่องอัตโนมัติ ชิ้นงานบกพร่องไม่สามารถผ่านการตรวจสอบได้	2
สูงมาก	มีระบบควบคุม และมั่นใจได้ว่าสามารถตรวจจับการลื่นของกล่องกระดาษลูกฟูกได้	X			ไม่มีโอกาสเกิดผลิตภัณฑ์ที่ลื่น เพราะใช้ Poka-Yoke ในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์/กระบวนการ	1

หมายเหตุ : A = การป้องกันความผิดพลาด B = การใช้อุปกรณ์วัด C = ตรวจสอบโดยอาสาสมัคร

ภาคผนวก ฉ

ค่าผลการการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor Analysis)

No	Anti_Slip	Feed_Roll_Gap	Running_Speed	Feed_Belt_Gap	Feed_gate_Gap	Pull_Roll_Gap	Ink_Viscosity	Hopper_gate_Gap	Print_Roll_Gap	Speed_of_Feed_Belt	Box_Press
1	26.4	20	23	19	21.5	19	26.2	17.5	18.9	17.5	17.4
2	26.5	21	24.5	17.5	21.9	20.8	26.2	16.6	20	16.5	16.5
3	26.4	22	23.8	19	22.5	21.5	24.5	18.8	21.4	17	18.5
4	26.5	22.4	23.5	19.5	22.9	22.2	26.2	17.8	21	16.8	17.5
5	26.8	20	24	21.5	21.5	19.8	24	19.6	21.1	16.4	19.5
6	26.3	21.5	24.5	17.5	22	21.4	26.4	17.5	21.2	17	17.4
7	26.4	22.5	23	19.5	22.5	22	25.4	16.5	21.5	16.5	16
8	26.4	21.4	24.5	19.5	21.9	21	24.8	19	20.5	16.2	18.9
9	27	20	24	18.5	21.5	19.8	24.5	18.5	19.5	16.5	18.2



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช

ผลทบทวนระบบการวัด Friction

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Operator	Part	Response
10	1	1	1	2	5	23.5
5	2	1	1	1	3	23.2
28	3	1	1	2	4	21.4
29	4	1	1	1	5	23.8
27	5	1	1	1	4	22.5
31	6	1	1	1	6	22.9
34	7	1	1	2	7	23.9
11	8	1	1	1	6	22.5
18	9	1	1	2	9	23.9
37	10	1	1	1	9	21.4
16	11	1	1	2	8	23.8
6	12	1	1	2	3	23
36	13	1	1	2	8	23.2
14	14	1	1	2	7	23.2
24	15	1	1	2	2	23.5
25	16	1	1	1	3	22.9
26	17	1	1	2	3	22.8
22	18	1	1	2	1	22.5
35	19	1	1	1	8	22.8
32	20	1	1	2	6	24.5
19	21	1	1	1	10	21.4
17	22	1	1	1	9	21
30	23	1	1	2	5	23.2
4	24	1	1	2	2	23.2
9	25	1	1	1	5	23.4
20	26	1	1	2	10	23.4
39	27	1	1	1	10	21
40	28	1	1	2	10	23.2
38	29	1	1	2	9	23.4
23	30	1	1	1	2	22.2
8	31	1	1	2	4	21
13	32	1	1	1	7	22.5
15	33	1	1	1	8	22.5
2	34	1	1	2	1	22.2
33	35	1	1	1	7	22.8
7	36	1	1	1	4	22.2
1	37	1	1	1	1	21.5
12	38	1	1	2	6	24
3	39	1	1	1	2	22.8
21	40	1	1	1	1	21.3

ภาคผนวก ซ

ผลการวัด Friction ในการวิเคราะห์ความแม่นยำหลังทำ MSA

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Part	Operator	Response
40	1	1	1	10	2	20.3
20	2	1	1	10	2	20.4
39	3	1	1	10	1	20.6
22	4	1	1	1	2	22.1
28	5	1	1	4	2	22.5
38	6	1	1	9	2	23.8
24	7	1	1	2	2	21.5
26	8	1	1	3	2	23.2
8	9	1	1	4	2	23
32	10	1	1	6	2	21.8
11	11	1	1	6	1	22
7	12	1	1	4	1	22.5
34	13	1	1	7	2	22.5
18	14	1	1	9	2	24.1
12	15	1	1	6	2	22.2
17	16	1	1	9	1	24.3
35	17	1	1	8	1	21.7
25	18	1	1	3	1	23.3
30	19	1	1	5	2	21.4
31	20	1	1	6	1	21.9
27	21	1	1	4	1	22.9
36	22	1	1	8	2	21.4
3	23	1	1	2	1	21.4
10	24	1	1	5	2	20.8
15	25	1	1	8	1	21.8
6	26	1	1	3	2	22.9
29	27	1	1	5	1	21.2
23	28	1	1	2	1	21.3
19	29	1	1	10	1	20.8
37	30	1	1	9	1	24
1	31	1	1	1	1	22.3
5	32	1	1	3	1	23.2
13	33	1	1	7	1	22.6
4	34	1	1	2	2	20.8
14	35	1	1	7	2	22.6
16	36	1	1	8	2	22.1
2	37	1	1	1	2	22.3
9	38	1	1	5	1	21.1
33	39	1	1	7	1	22.8
21	40	1	1	1	1	22.4

ภาคผนวก ฉ

การออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design**Fractional Factorial Design**

Factors: 11 Base Design: 11, 64 Resolution: IV

Runs: 64 Replicates: 1 Fraction: 1/32

Blocks: 1 Center pts (total): 0

Design Generators: G = CDE, H = ABCD, J = ABF, K = BDEF, L = ADEF

Alias Structure (up to order 3)

I

A + BFJ + BKL

B + AFJ + AKL

C + DEG

D + CEG

E + CDG

F + ABJ + JKL

G + CDE

H

J + ABF + FKL

K + ABL + FJL

L + ABK + FJK

AB + FJ + KL + CDH + EGH

AC + BDH + FGL + GJK

AD + BCH + EFL + EJK

AE + BGH + DFL + DJK

AF + BJ + CGL + DEL

AG + BEH + CFL + CJK

AH + BCD + BEG

AJ + BF + CGK + DEK

AK + BL + CGJ + DEJ

AL + BK + CFG + DEF

BC + ADH + FGK + GJL

BD + ACH + EFK + EJL

BE + AGH + DFK + DJL

BG + AEH + CFK + CJL

ภาคผนวก ฅ (ต่อ)

การออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design

BH + ACD + AEG

CD + EG + ABH + FHJ + HKL

CE + DG

CF + AGL + BGK + DHJ

CG + DE + AFL + AJK + BFK + BJL

CH + ABD + DFJ + DKL

CJ + AGK + BGL + DFH

CK + AGJ + BFG + DHL

CL + AFG + BGJ + DHK

DF + AEL + BEK + CHJ

DH + ABC + CFJ + CKL

DJ + AEK + BEL + CFH

DK + AEJ + BEF + CHL

DL + AEF + BEJ + CHK

EF + ADL + BDK + GHJ

EH + ABG + FGJ + GKL

EJ + ADK + BDL + FGH

EK + ADJ + BDF + GHL

EL + ADF + BDJ + GHK

FG + ACL + BCK + EHJ

FH + CDJ + EGJ

FK + JL + BCG + BDE

FL + JK + ACG + ADE

GH + ABE + EFJ + EKL

GJ + ACK + BCL + EFH

GK + ACJ + BCF + EHL

GL + ACF + BCJ + EHK

HJ + CDF + EFG

HK + CDL + EGL

HL + CDK + EGK

ACE + ADG + FHK + HJL

AFH + BHJ + CEK + DGK

ภาคผนวก ฅ (ต่อ)

การออกแบบการทดลองแบบ 2^{k-p} Fraction Factorial design

AFK + AJL + BFL + BJK + CEH + DGH

AHJ + BFH + CEL + DGL

AHK + BHL + CEF + DFG

AHL + BHK + CEJ + DGJ

BCE + BDG + FHL + HJK

CGH + DEH



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุชาติ แซ่แต้ เกิดวันที่ 28 พฤศจิกายน ที่กรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญา
วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากสถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2542 และได้เข้าศึกษาต่อระดับ
บัณฑิตศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย ภาคปลายในปี พ.ศ. 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย