

## บทที่ 3

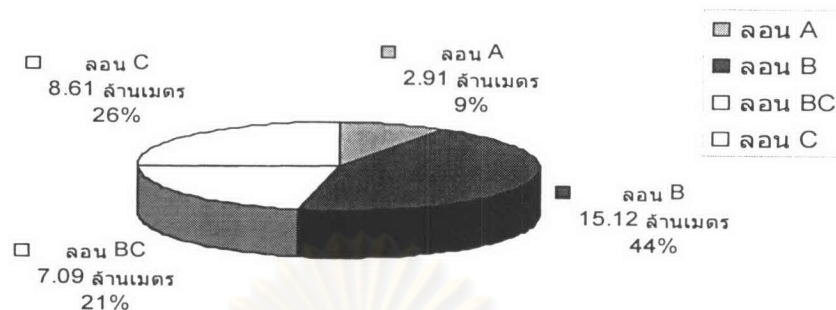
### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากการแข่งขันกันในกลุ่มธุรกิจบรรจุกภัณฑ์ในปัจจุบันมีอัตราการแข่งขันที่ค่อนข้างสูง จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นเพื่อเพิ่มศักยภาพและขีดความสามารถในการแข่งขันกันในกลุ่มธุรกิจนี้ซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมาก โดยการปรับปรุงนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงต้นทุนในการผลิตควบคู่ไปด้วย ซึ่งเป้าหมายในการปรับปรุงก็คือการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้นและสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า แต่ยังคงไว้ซึ่งต้นทุนการผลิตที่ต่ำ และความต้องการที่มีความสำคัญมากสำหรับผลิตภัณฑ์กล่องลูกฟูก นอกเหนือจากความสวยงามด้านรูปลักษณะภายนอกของกล่อง เช่น สีสนที่พิมพ์ลงบนกล่อง ที่จะเป็นส่วนช่วยในการดึงดูดให้ซื้อสินค้าแล้วนั้น ยังมีลักษณะที่ลูกค้าต้องการจากผลิตภัณฑ์กล่องลูกฟูกที่มีความสำคัญมาก คือความแข็งแรงของกล่องลูกฟูก ซึ่งลักษณะที่สำคัญข้อนี้จะส่งผลอย่างมากต่อการบรรจุสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะในการขนส่งและจัดเก็บ

ส่วนที่สำคัญที่สุดที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของกล่องกระดาษลูกฟูกโดยตรงนั้นเป็นผลมาจาก แผ่นกระดาษลูกฟูก นั้นเอง ถ้าแผ่นกระดาษลูกฟูกมีความแข็งแรงก็จะส่งผลทำให้กล่องกระดาษลูกฟูกมีความแข็งแรง ทนทาน แต่ถ้าแผ่นกระดาษลูกฟูกมีความแข็งแรงต่ำก็จะส่งผลให้กล่องกระดาษลูกฟูกในขณะที่น่าไปใช้งานมีความทนทานและสามารถรับแรงได้น้อย จะเห็นได้ว่าความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกนั้นจะส่งผลโดยตรงต่อกล่องกระดาษลูกฟูก นอกจากนี้แล้วความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูก ยังส่งผลต่อความสามารถในการการพิมพ์สีและขึ้นรูปกล่องซึ่งเป็นกระบวนการต่อจากการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกอีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแผ่นกระดาษลูกฟูกโดยเฉพาะความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกที่ได้จากเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก (Corrugators Machine) โดยผลิตภัณฑ์กล่องลูกฟูกที่บริษัทผลิตนั้นมีทั้งหมด 4 กลุ่ม คือ กล่องกระดาษลูกฟูกชั้นเดียวประเภทลอน A กล่องกระดาษลูกฟูกชั้นเดียวประเภทลอน B กล่องกระดาษลูกฟูกชั้นเดียวประเภทลอน C และกล่องกระดาษลูกฟูกสองชั้นประเภทลอน B กับ ลอน C จากปริมาณการผลิตของกล่องกระดาษลูกฟูกที่ผลิตตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงเดือน มิถุนายน พ.ศ. 2546 สามารถแสดงให้เห็นแนวโน้มและปริมาณของความต้องการของลูกค้าสำหรับกล่องกระดาษลูกฟูกกลุ่มต่างๆได้ ดังรูปที่ 3.1

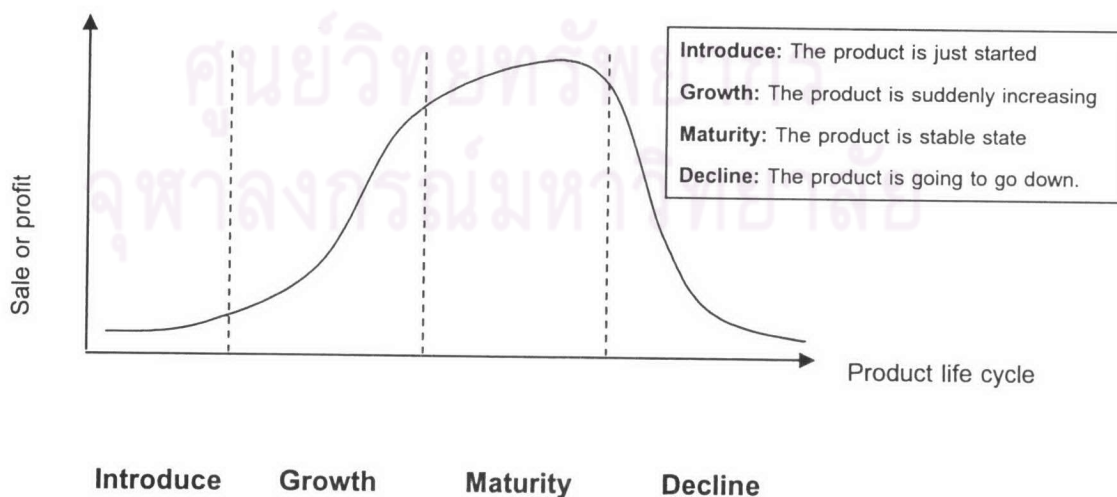
ปริมาณการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก ตั้งแต่เดือน  
มกราคม - มิถุนายน 2546



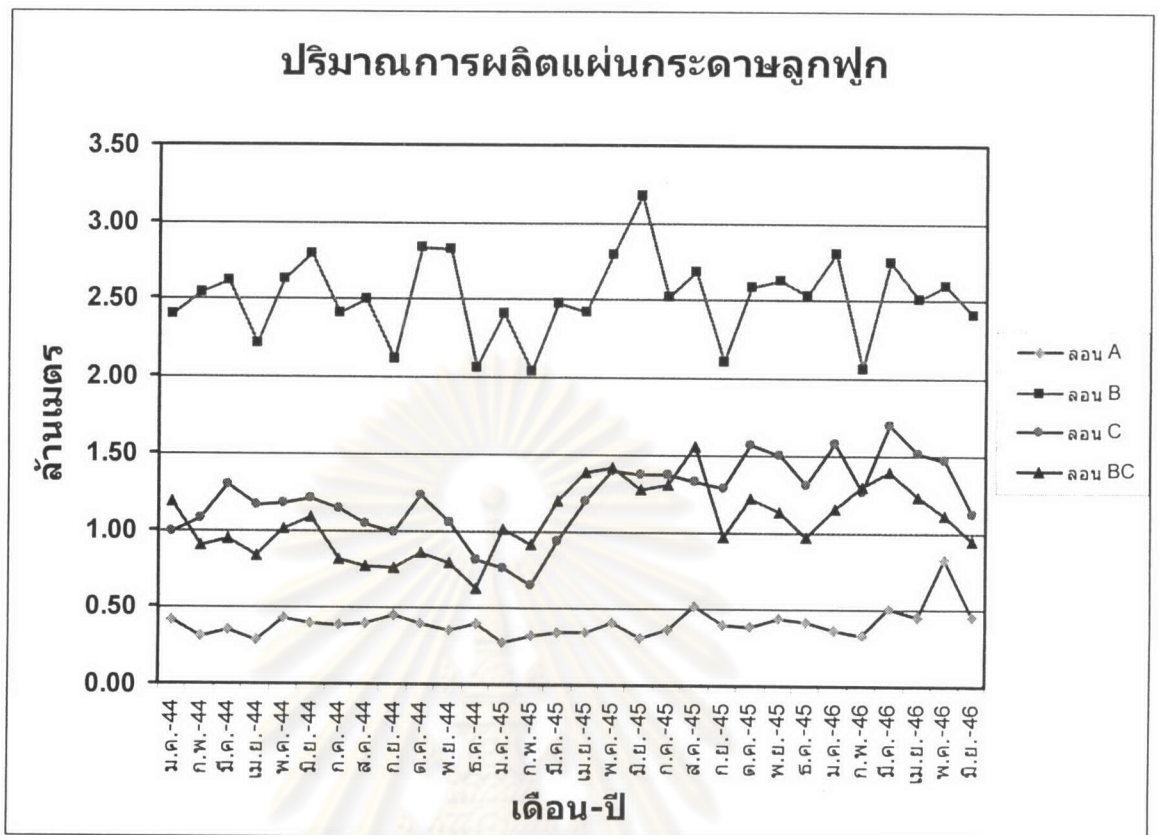
รูปที่ 3.1 ปริมาณการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก

จากแผนภูมิวงกลมข้างต้นนั้นแสดงให้เห็นว่า ปริมาณความต้องการของกล่องกระดาษลูกฟูกในกลุ่มของกล่องกระดาษลูกฟูกชั้นเดียวประเภทลอน B มีปริมาณที่สูงที่สุด แล้วลอน B ยังเป็นส่วนหนึ่งในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกสองชั้นประเภทลอน B กับ ลอน C อีกด้วย จึงเหมาะสมที่จะนำแผ่นกระดาษลูกฟูกประเภทลอน B มาทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงคุณภาพในการเพิ่มความแข็งแรงของกล่องกระดาษลูกฟูก เนื่องจากมีปริมาณการผลิตสูงและง่ายต่อการเก็บข้อมูลรวมถึงผลลัพธ์ที่จากจากการปรับปรุงคุณภาพนั้นจะส่งผลโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ซึ่งจะกล่าวต่อไปในส่วนของขอบเขตการศึกษางานวิจัย

การเลือกผลิตภัณฑ์ที่จะนำมาศึกษาได้ทำการวิเคราะห์จากส่วนทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ (Product Life Cycle) ที่สำคัญดังรูปที่ 3.2 คือ



รูปที่ 3.2 ความต้องการทางการตลาด



รูปที่ 3.3 ปริมาณการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกชนิดต่างๆ

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงส่วนทางการตลาดของผลิตภัณฑ์แผ่นกระดาษลูกฟูก  
(Product Life Cycle)

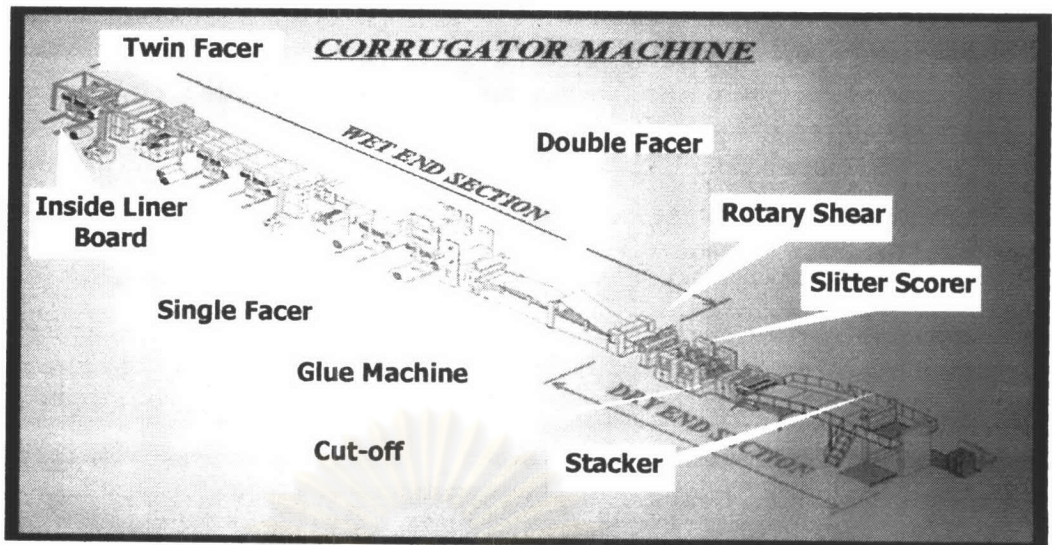
Product	Market Demand	% Production
ลอน A	Maturity	7.68%
ลอน B	Maturity	48.43%
ลอน C	Maturity	23.36%
ลอน BC	Maturity	20.54%

จากการวิเคราะห์จากปริมาณการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกชนิดต่างๆ และส่วนทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และตารางที่ 3.1 พบว่าแผ่นกระดาษลูกฟูกทุกชนิดอยู่ในช่วงคงตัว (Maturity) จะเห็นได้ว่าแผ่นกระดาษลูกฟูกชนิดลอน B มีสัดส่วนปริมาณการผลิตมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกระดาษลูกฟูกชนิดอื่นๆ จึงเหมาะสมที่จะนำแผ่นกระดาษลูกฟูกชนิดลอน B มาทำการวิจัยเนื่องจากง่ายต่อการเก็บข้อมูลและส่งผลประโยชน์ต่อผลิตภัณฑ์โดยรวมของบริษัท

### 3.2 การศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน

ในการศึกษาสภาพปัญหาของกระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกปัจจุบันพบว่ากระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกนั้นมีรายละเอียดและความซับซ้อนของกระบวนการค่อนข้างมาก เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีสายการผลิตที่ค่อนข้างยาว ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งอาจจะมีปัจจัยหลายปัจจัยที่ซ่อนเร้นอยู่ในกระบวนการที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของกระดาษลูกฟูก (Corrugated Board) และทำให้ความสามารถในการผลิตเกิดความผันแปร ซึ่งตัวชี้วัดความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกที่มีความสำคัญมาก คือ ความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush Resistance) โดยค่านี้เป็นค่าที่สำคัญที่ลูกค้าใช้พิจารณาในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ประเภทบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษลูกฟูก ที่นอกเหนือจากความสวยงามจากการพิมพ์สีของผิวกล่องด้านนอก เนื่องด้วยเหตุผลถ้าแผ่นกระดาษลูกฟูกมีความแข็งแรงกล่าวคือมีความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูกที่สูงแล้วก็จะส่งผลให้กล่องรับแรงและน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่บรรจุได้ดี รวมทั้งส่งผลดีกับกระบวนการพิมพ์สีกล่องอีกด้วย โดยมาตรฐานต่ำสุดที่ใช้เป็นเกณฑ์ตรวจสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แผ่นกระดาษลูกฟูกเกี่ยวกับความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush Resistance) ในปัจจุบัน คือ  $720 \text{ kg}/33.2 \text{ cm}^2$  ซึ่งเป็นลักษณะที่พิกัดกำหนดเฉพาะแบบด้านเดียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

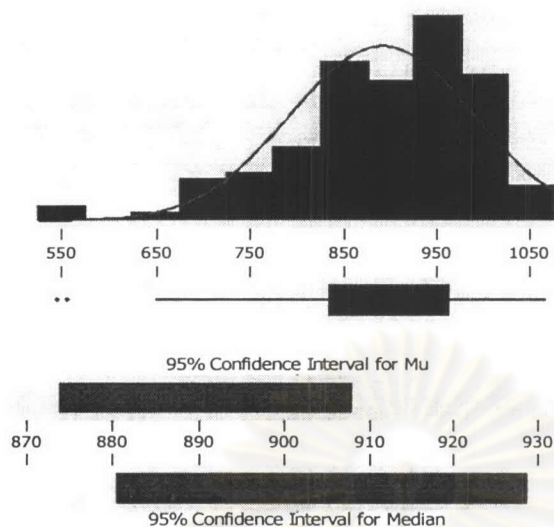


รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบของเครื่องผลิตกระดาษลูกฟูก

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush Resistance) เบื้องต้นดังรูปที่ 3.5 พบว่ามีการกระจายไม่เป็นการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 โดยแสดงข้อมูลไว้ในภาคผนวก ก (ตารางที่ ก.1) จึงทำการแปลงรูปข้อมูลโดยวิธี Box-Cox (The Box-Cox Transforms Method) แสดงข้อมูลไว้ในภาคผนวก ก (ตารางที่ ก.2) ดังรูปที่ 3.6 หลังจากการการแปลงรูปข้อมูลด้วยค่า  $\lambda = 3.596$  แล้วตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล (Normality Checking) ดังรูปที่ 3.7 พบว่าข้อมูลที่ผ่านการแปลงรูปข้อมูลโดยวิธี Box-Cox แล้วนั้นมีการกระจายแบบปกติ ด้วยค่า P-value เท่ากับ 0.339 จึงสามารถทำการวิเคราะห์หาความสามารถของกระบวนการผลิตแผ่นลูกฟูกได้โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการแปลงรูปข้อมูลโดยวิธี Box-Cox

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Descriptive Statistics



Variable: Flat Crush

Anderson-Darling Normality Test

A-Squared: 1.783  
P-Value: 0.000

Mean 890.822  
StDev 98.038  
Variance 9611.45  
Skewness -9.6E-01  
Kurtosis 1.14637  
N 130

Minimum 546.20  
1st Quartile 834.88  
Median 914.15  
3rd Quartile 962.48  
Maximum 1067.10

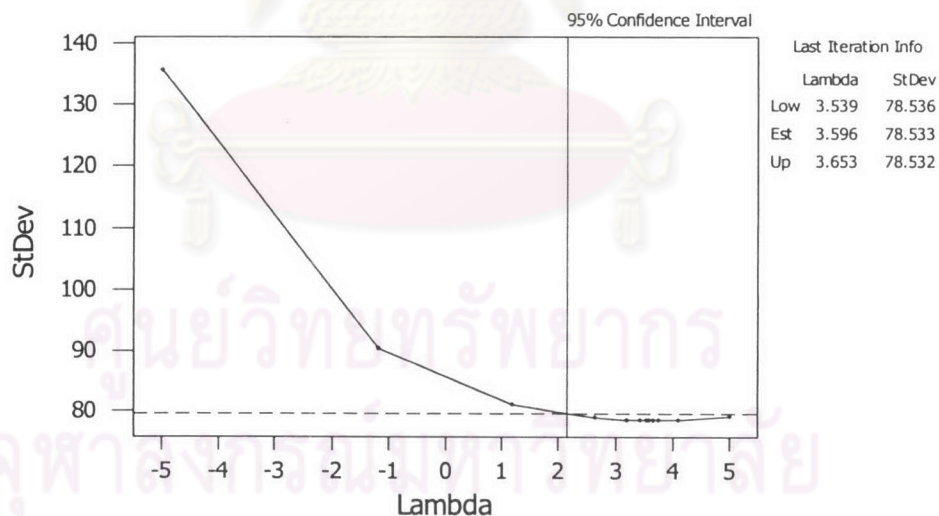
95% Confidence Interval for Mu  
873.81 907.83

95% Confidence Interval for Sigma  
87.40 111.66

95% Confidence Interval for Median  
880.62 928.60

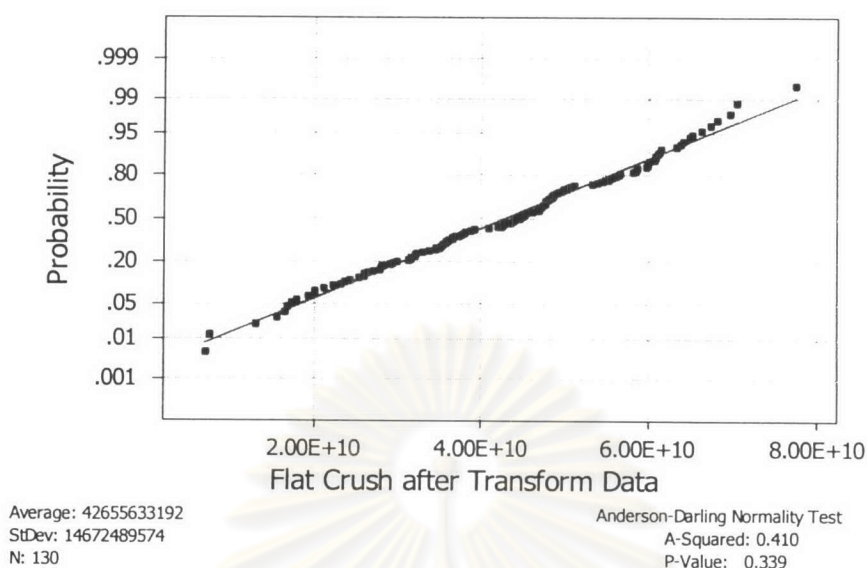
รูปที่ 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush Resistance)

## Box-Cox Plot for Flat Crush



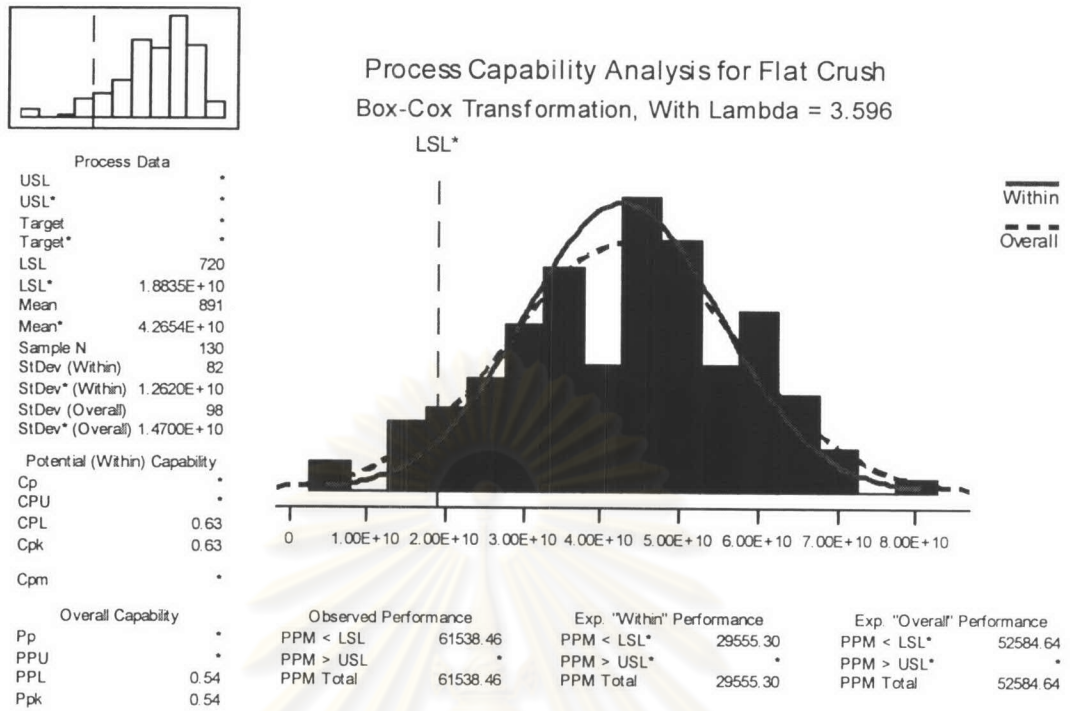
รูปที่ 3.6 การแปลงรูปข้อมูลโดยวิธี Box-Cox (The Box-Cox Transforms Method)

### Nomality Checking of Flat Crush



**รูปที่ 3.7 การตรวจสอบความเป็นปกติของข้อมูล**  
(Normality Checking)

จากข้อมูลที่ได้จากการแปลงรูปข้อมูลโดยวิธี Box-Cox สามารถหาความสามารถของกระบวนการผลิต (Process Capability) ของกระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกได้ ค่าดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะสั้น ( $C_{pk}$ ) เท่ากับ 0.63 และค่าดัชนีความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะยาว ( $p_{pk}$ ) เท่ากับ 0.54 แสดงให้เห็นว่าความสามารถของกระบวนการอยู่ในเกณฑ์ที่ไม่ดี ดังตารางที่ 3.2 โดยค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะสั้น ( $C_{pk}$ ) ที่เป็นค่าแนะนำที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกซึ่งอยู่ในประเภทของกระบวนการทั่วไป (ใช้งานอยู่) ที่มีข้อกำหนดเฉพาะแบบพิกัดด้านเดียว คือ  $C_{pk}$  เท่ากับ 1.25 ตามตารางที่ 3.3 ซึ่งค่าความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะสั้น ( $C_{pk}$ ) ที่ได้จากกระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกปัจจุบันนั้นมีค่าน้อยและมีความแตกต่างจากเกณฑ์ที่เหมาะสมมาก ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ความสามารถของกระบวนการผลิต (Process Capability)

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงลำดับของความสามารถด้านสมรรถนะของกระบวนการแบบระยะสั้น ( $C_{pk}$ ) (ที่มา : กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2544. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ.)

ค่าดัชนี $C_{pk}$	ลำดับของความสามารถของกระบวนการ
$2.00 \leq C_{pk}$	ดีเหลือเชื่อ
$1.67 \leq C_{pk} < 2.00$	ดีเลิศ
$1.33 \leq C_{pk} < 1.67$	ดี
$1.00 \leq C_{pk} < 1.33$	พอใช้
$0.67 \leq C_{pk} < 1.00$	ไม่ดี
$C_{pk} < 0.67$	ไม่ดีมาก



ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงค่าแนะนำสำหรับค่าที่ต่ำที่สุดของดัชนี ( $C_{pk}$ )  
(ที่มา : กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2544. การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ.)

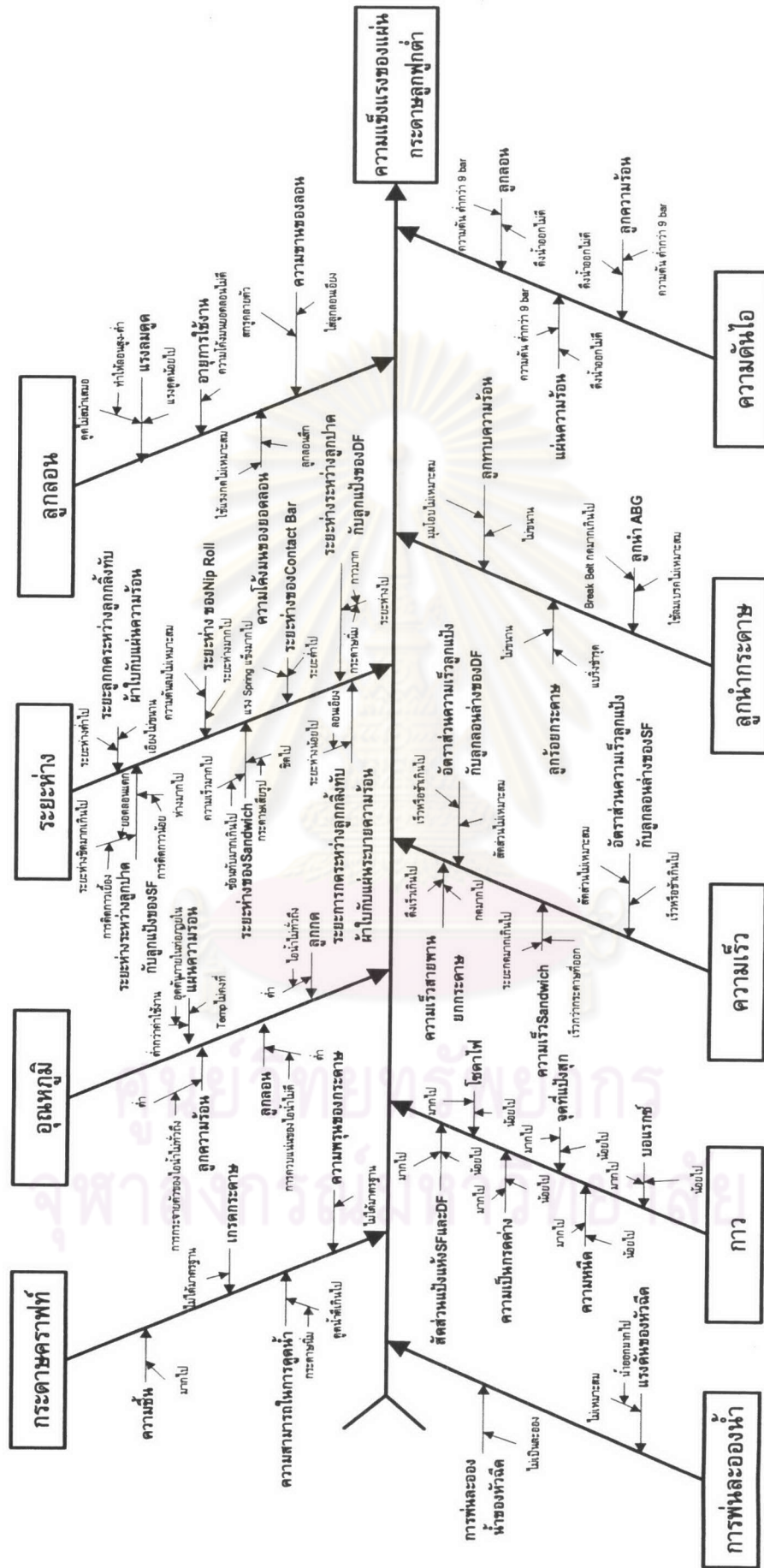
ประเภทของกระบวนการ	ค่าดัชนีที่ต่ำที่สุดสำหรับ $C_{pk}$		ระดับคุณภาพ (ระยะสั้น)
	แบบพิกัดด้านเดียว	แบบพิกัดสองด้าน	
กระบวนการทั่วไป (ใช้งานอยู่)	1.25	1.33	4s
กระบวนการทั่วไปใหม่ (ใหม่)	1.45	1.50	4.5s
กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยหรือพารามิเตอร์วิกฤต (ใช้งานอยู่)	1.45	1.50	4.5s
กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยหรือพารามิเตอร์วิกฤต (ใหม่)	1.60	1.67	5s

จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและความสามารถของกระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกเบื้องต้นนั้น บ่งชี้ให้ทราบถึงสถานะของการดำเนินการผลิตและความสามารถของกระบวนการ ซึ่งอยู่ในสถานะหรือเกณฑ์ที่ควรปรับปรุงโดยแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกให้ได้แผ่นกระดาษลูกฟูกที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นนั้น จำเป็นต้องวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาหรือปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกที่มีความแข็งแรงค่อนข้างต่ำ ด้วยการวิเคราะห์โดยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) เพื่อที่จะหาสาเหตุหรือปัจจัยที่ซ่อนเร้นอยู่ในกระบวนการ (Hidden Factory) ทั้งหมดที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกนั้น จากการระดมความคิดของพนักงานประจำเครื่องผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกหัวหน้ากะและวิศวกรฝ่ายผลิต โดยแสดงไว้ในรูปที่ 3.9 และ 3.10 จากนั้นรวบรวมความคิดเข้าด้วยกันให้เป็นหมวดหมู่เพื่อให้เห็นภาพรวมและความใกล้ชิดของความคิดต่างๆ ได้อย่างชัดเจนด้วยผังกลุ่มความคิด (Affinity Diagram) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.11

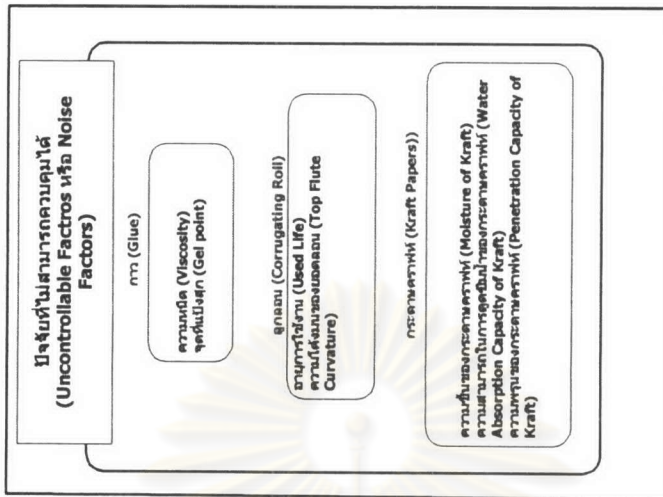
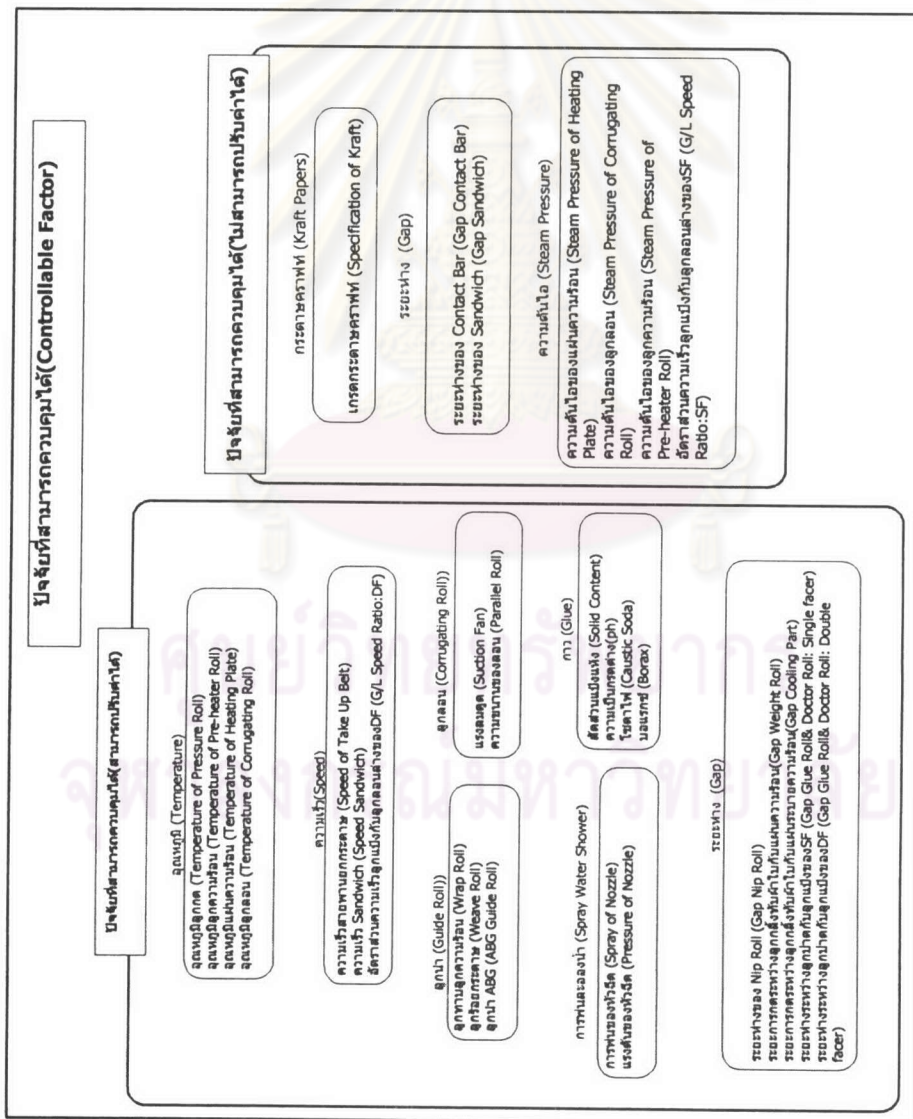
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภาพวิเคราะห์สาเหตุและผล (Cause & Effects Diagram: รายละเอียด)



รูปที่ 3.10 แผนภาพสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) ของกระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก (รายละเอียดของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูก)



รูปที่ 3.11 ผังกลุ่มความคิด (Affinity Diagram) ของกระบวนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก

### 3.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองของแผ่นกระดาษลูกฟูก

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูก ด้วยการระดมความคิดจากวิศวกรแผนกผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก หัวหน้ากะแผนกผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกทั้ง 3 กระทั่งพนักงานประจำเครื่อง ด้วยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) แล้วนำมาจัดกลุ่มปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกด้วยผังกลุ่มความคิด (Affinity Diagram) ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งจำแนกเป็นกลุ่มของปัจจัย 2 กลุ่มหลักคือ ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Factors) กับปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Factors; Noise) สำหรับขั้นตอนนี้จะเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองของแผ่นกระดาษลูกฟูก โดยปัจจัยที่จะนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์นั้นเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และสามารถปรับค่าได้เท่านั้น ในส่วนของตัวแปรตอบสนองประกอบด้วย ค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ค่าความสามารถในการติดกาวของลอนลูกฟูก (Pin Adhesion) ค่าความสามารถในการต้านทานแรงดันทะลุของลูกฟูก (Bursting Strength) ค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดกล่องกระดาษลูกฟูก (Box Compression) ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของลอนลูกฟูก (Edge Crush) ซึ่งการให้คะแนนความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองเป็นคะแนนที่ได้จากการระดมความคิดจากวิศวกรแผนกผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก หัวหน้ากะแผนกผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกทั้ง 3 กระทั่งพนักงานประจำเครื่อง โดยมีหลักเกณฑ์การให้คะแนนของความสัมพันธ์มีดังนี้

- 0 = ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนอง
- 1 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองน้อย
- 4 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองปานกลาง
- 9 = มีความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนั้นกับตัวแปรตอบสนองมาก

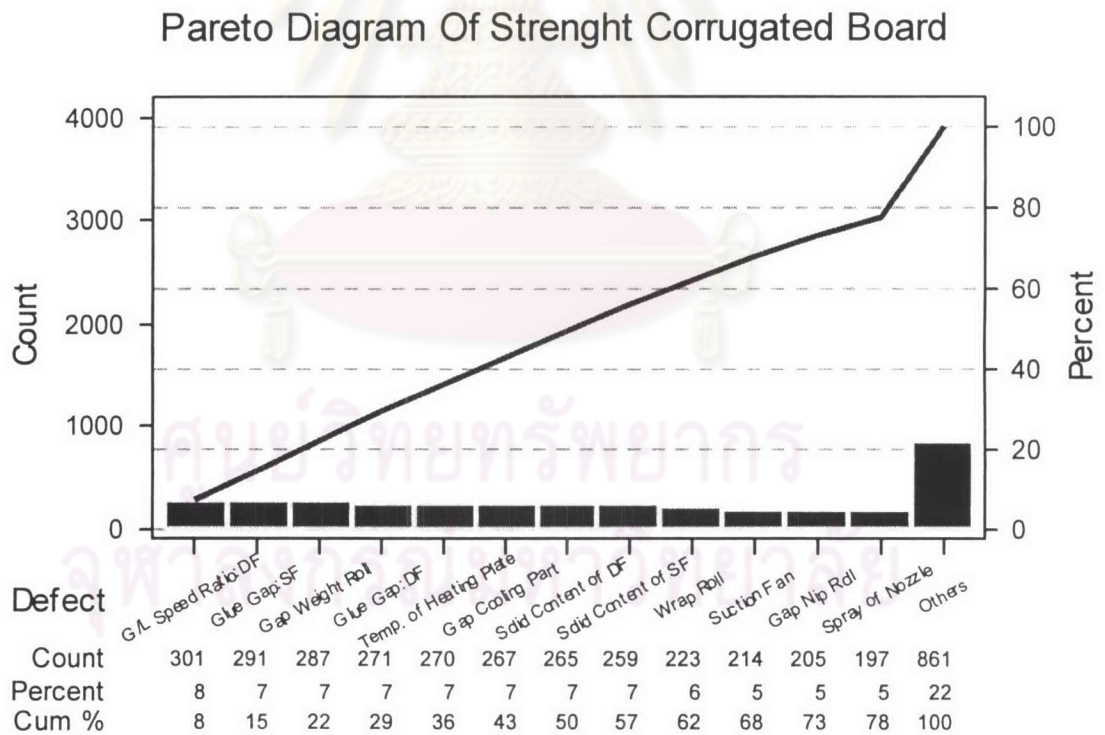
ทั้งนี้การให้คะแนนอาจจะเป็นตัวเลขอื่นตั้งแต่ 0-10 ที่นอกเหนือจากตัวอย่างเกณฑ์ข้างต้นก็ได้ขึ้นกับความรู้ความชำนาญและประสบการณ์ของแต่ละบุคคล ซึ่งผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองของแผ่นกระดาษลูกฟูก สามารถแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองของแผ่นกระดาษลูกฟูก

กลุ่มของปัจจัย	น้ำหนักความสำคัญของลูกค้า		9	8	6	6	8	รวม
	หมายเลขตัวแปรตอบสนอง		1	2	3	4	5	
	ปัจจัยต่าง ๆ		Flat Crush	Pin Adhesion	Burst Strength	Compression	Edge Crush	
อุณหภูมิ	1	อุณหภูมิลูกกด	6	1	0	1	1	76
	2	อุณหภูมิลูกความร้อน	6	1	0	0	2	78
	3	อุณหภูมิแผ่นความร้อน	8	7	6	7	8	270
	4	อุณหภูมิลูกลอน	6	1	0	1	1	76
ระยะห่าง	5	ระยะห่างของ Nip Roll	7	6	4	5	5	205
	6	ระยะการกดระหว่างลูกกลิ้งทับผ้าใบกับแผ่นความร้อน	9	8	5	8	8	287
	7	ระยะการกดระหว่างลูกกลิ้งทับผ้าใบกับแผ่นระบายความร้อน	9	7	4	7	8	267
	8	ระยะห่างระหว่างลูกปาดกับลูกแบ่งของSF	9	7	7	8	8	291
	9	ระยะห่างระหว่างลูกปาดกับลูกแบ่งของDF	9	8	4	5	9	271
ลูกลอน	10	แรงลมดูด	8	4	6	7	4	214
	11	ความขนานของลอน	6	1	1	0	1	76
การพัน ละองหน้า	12	การพันของหัวฉีด	7	4	4	5	6	197
	13	แรงดันของหัวฉีด	7	0	1	0	1	77
กาว	14	สัดส่วนแบ่งแห้ง SF	9	6	5	6	8	259
	15	สัดส่วนแบ่งแห้ง DF	9	7	6	6	7	265
	16	ความเป็นกรดต่าง	5	1	1	1	1	73
	17	โซดาไฟ	5	1	0	2	1	73
	18	บอแรกซ์	5	1	1	0	2	75
ลูกหน้า	19	ลูกทาบลูกความร้อน	7	7	7	5	4	223
	20	ลูกร้อยกระดาษ	3	2	1	0	3	73
	21	ลูกนำ ABG	2	1	0	0	3	50
ลูกหน้า	22	ความเร็วสายพานยกกระดาษ	3	1	1	2	3	77
	23	ความเร็ว Sandwich	1	2	1	3	1	57
	24	อัตราส่วนความเร็วลูกแบ่งกับลูกลอนล่างของDF	9	8	7	7	9	301
<b>Total</b>			<b>1260</b>	<b>640</b>	<b>378</b>	<b>444</b>	<b>704</b>	

### 3.4 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram)

ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับตัวแปรตอบสนองของแผ่นกระดาษลูกฟูก พบว่าค่าผลรวมคะแนนของปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และสามารถปรับค่าได้นั้นมีความแตกต่างกันค่อนข้างสูง เพื่อที่จะจำแนกว่าปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกนั้นสามารถวิเคราะห์ได้จากแผนภูมิพาเรโต โดยการนำผลรวมของคะแนนในแต่ละปัจจัยมาคำนวณและแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์และเปอร์เซ็นต์สะสม ซึ่งหลักในการพิจารณาอันดับผลกระทบของแหล่งที่มาของปัญหาคือ หลัก 20:80 กล่าวคือลักษณะปัญหาของกระบวนการผลิตจะมีประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ (Vital Few) ที่เป็นแหล่งที่มาของปัญหาที่มีผลกระทบเป็นส่วนมากต่อปัญหาทางคุณภาพที่ทำการศึกษา ในขณะที่จำนวนลักษณะปัญหาของกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จำนวน 80 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ (Trivial Many) จะเป็นแหล่งที่มาของปัญหาที่มีผลกระทบเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่าต่อปัญหาที่ทำการศึกษา และจากการวิเคราะห์ปัจจัยทั้งหมดที่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกด้วยแผนภูมิพาเรโต พบว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญที่อยู่ในกลุ่มของ 20 เปอร์เซ็นต์แรกนั้นมีทั้งหมด 12 ปัจจัย ดังแสดงได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 แผนภูมิพาเรโต

จากการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิพาเรโตข้างต้นพบว่า ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกตามเปอร์เซ็นต์ของคะแนนรวมในกลุ่ม 20 เปอร์เซนต์แรก ประกอบด้วยปัจจัยตามลำดับดังต่อไปนี้

- อัตราส่วนความเร็วลูกแปรงกับลูกลอนล่างของDF (G/L Speed Ratio:DF)
- ระยะห่างระหว่างลูกปาดกับลูกแปรงของSF (Gap Glue Roll& Doctor Roll: Single facer)
- ระยะการกดระหว่างลูกกลิ้งทับผ้าใบกับแผ่นความร้อน(Gap Weight Roll)
- ระยะห่างระหว่างลูกปาดกับลูกแปรงของDF (Gap Glue Roll& Doctor Roll: Double facer)
- อุณหภูมิแผ่นความร้อน (Temperature of Heating Plate)
- ระยะการกดระหว่างลูกกลิ้งทับผ้าใบกับแผ่นระบายความร้อน(Gap Cooling Part)
- สัดส่วนแป้งแห้งDF (Solid Content of DF)
- สัดส่วนแป้งแห้งSF (Solid Content of SF)
- ลูกทาบลูกความร้อน (Wrap Roll)
- แรงแลมดูด (Suction Fan)
- ระยะห่างของ Nip Roll (Gap Nip Roll)
- การพ่นน้ำของหัวฉีด (Spray of Nozzle)

ปัจจัยที่สำคัญทั้งหมด 12 ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นเป็นปัจจัยที่การผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกในปัจจุบันนั้นสามารถควบคุมและปรับค่าได้ ดังนั้น ในการที่จะนำปัจจัยทั้งหมดเหล่านี้ไปทำการออกแบบการทดลองนั้นมีความยุ่งยากในหลายด้าน อาทิ ทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการทดลอง หรือผลลัพธ์ที่ได้ไม่คุ้มค่ากับสิ่งที่ลงทุนและทุ่มเทลงไปในการทดลอง เนื่องด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ จึงได้ทำการถ่วงน้ำหนักปัจจัยจากทั้งหมด 12 ปัจจัย ด้วยการทดสอบสมมติฐาน โดยทำการเลือกปัจจัยจากผังพาเรโตที่มีเปอร์เซ็นต์คะแนนรวมเรียงลำดับจากเปอร์เซ็นต์คะแนนรวมน้อยที่สุด 4 อันดับแรกจากทั้งหมด 12 ปัจจัย ได้แก่

- ลูกทาบลูกความร้อน (Wrap Roll)
- แรงแลมดูด (Suction Fan)
- ระยะห่างของ Nip Roll (Gap Nip Roll)
- การพ่นของหัวฉีด (Spray of Nozzle)

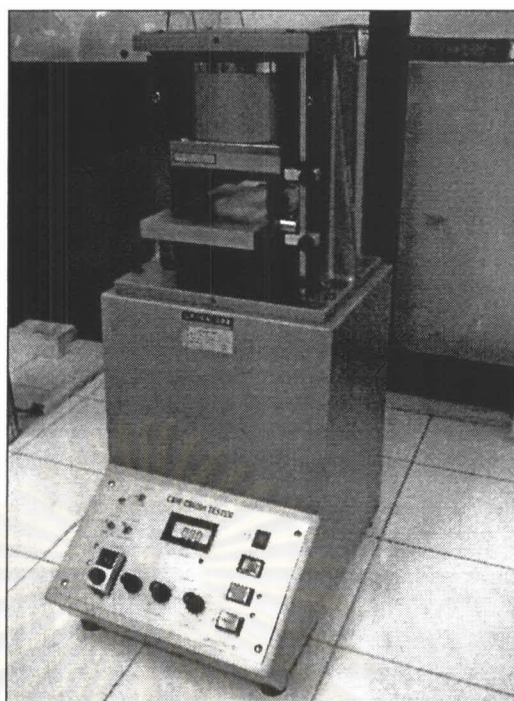


การเลือกปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยนี้ไปทำการทดสอบสมมติฐานนั้น เนื่องจากเป็นปัจจัยที่น่าจะมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่นที่เหลือจากการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) และแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) ตามลำดับ ในส่วนของตัวแปรตอบสนอง (Response) ที่มีความสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูกมากที่สุดนั้น คือ ค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) เพราะเป็นค่าที่มีคะแนนรวมของตัวแปรตอบสนองมากกว่าตัวแปรตอบสนองตัวอื่นจากการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพสาเหตุและผล (Cause & Effect Diagram) ซึ่งในการทดสอบสมมติฐานนั้น จะใช้ค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ในการวัดผลและวิเคราะห์

### 3.5 การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis: MSA) ของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก

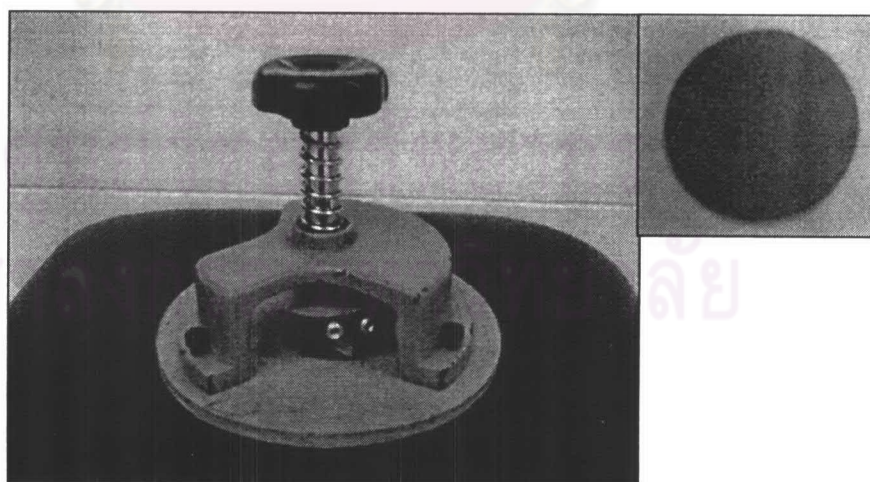
การวิเคราะห์ระบบการวัดมีความสำคัญมากในทุกกระบวนการผลิต เนื่องจากระบบการวัดเปรียบเสมือนกลไกในการควบคุมผลิตภัณฑ์และกระบวนการ เพื่อเป็นการประกันคุณภาพสู่ลูกค้า กระบวนการวัดมีองค์ประกอบหลักๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัดซึ่งมีสาเหตุมาจากทักษะ ความชำนาญและระดับการฝึกฝน วิธีการวัด ชี้นำงานที่วัด สิ่งแวดล้อมในการวัดที่มีสาเหตุมาจากอุณหภูมิ ความชื้น และธรรมชาติ เนื่องจากแต่ละองค์ประกอบมีความไม่เท่ากันจึงเกิดความผันแปรในระบบการวัด และในการแก้ปัญหาทางด้านคุณภาพหรือการป้องกันปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นต้องมีความมั่นใจในความเสถียรของเครื่องมือวัด ซึ่งการวิเคราะห์ระบบการวัดมีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดในกระบวนการผลิตว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่โดยการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดเพื่อทำการแยกแหล่งความผันแปรออกเป็นชิ้นงาน (Part – to – Part Variation) พนักงานวัด (Appraiser Variation) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation)

ในการวิเคราะห์ระบบการวัดของงานวิจัยเป็นการพิจารณาและวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างเนื่องจากการวัดโดยใช้ชิ้นงานเดียวกันเครื่องมือวัดเดียวกัน และพนักงานเดียวกัน (Repeatability) รวมถึงการหาค่าความแตกต่างของการวัดโดยใช้พนักงานแตกต่างกันแต่ชิ้นงานและเครื่องมือวัดเดียวกัน (Reproducibility) เพื่อที่จะยืนยันผลของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush Test) ว่ามีความถูกต้องแม่นยำ และน่าเชื่อถือ โดยมีส่วนประกอบในการวิเคราะห์ ดังนี้



รูปที่ 3.13 ภาพเครื่องมือวัดค่าความสามารถในการ  
ต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Crush Tester)

- เครื่องมือวัด : เครื่องมือวัดค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Crush Tester) ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ได้รับการสอบเทียบ (Calibration) ตามมาตรฐานการสอบเทียบเครื่องมือวัดเป็นประจำ โดยหน่วยที่ใช้ในการวัดคือ  $\text{kg}/33.2\text{cm}^2$



รูปที่ 3.14 ภาพของ CIRCULAR CUTTER และแผ่นกระดาษลูกฟูกวงกลม  
พื้นที่หน้าตัด  $33.2\text{cm}^2$  สำหรับทดสอบค่าความสามารถในการต้านทาน  
แรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush)

- **วิธีการวัด :** สุ่มชิ้นงานแผ่นกระดาษลูกฟูกทั้งหมด 15 แผ่น แล้วทำการตัดแผ่นกระดาษลูกฟูกเป็นวงกลมมีพื้นที่หน้าตัด  $33.2 \text{ cm}^2$  ด้วย CIRCULAR CUTTER ดังแสดงในรูปที่ 3.14 โดยทำการตัดแผ่นวงกลมทั้งหมด 10 วง/แผ่น สำหรับการวัดหนึ่งครั้งของพนักงานวัด 1 คน ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ย เนื่องจากการวัดค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush Test) นี้เป็นการทดสอบค่าแบบทำลาย (Destructive Testing) ในการวัดซ้ำทุกครั้งของทุกแผ่นจำเป็นต้องวัดค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush Test) จากแผ่นกระดาษลูกฟูกของชิ้นงานเดิมที่ตัดขึ้นใหม่
- **พนักงานวัด :** โดยสุ่มพนักงานที่มีประสบการณ์การทำงานอยู่ในแผนกประกันคุณภาพซึ่งเกี่ยวข้องกับ การทดสอบค่าต่างๆของแผ่นกระดาษลูกฟูกมาหลายปี จำนวน 2 คน
- **จำนวนครั้งในการวัดซ้ำ :** ในการวัดซ้ำสำหรับแผ่นกระดาษลูกฟูกตัวอย่างแต่ละแผ่นกำหนดให้พนักงานวัดแต่ละคนมีการวัดซ้ำคนละ 2 ครั้ง
- **สิ่งแวดล้อมในการวัด :** ในการวัดพบว่าความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ นั้นมีความไวต่อระบบการวัดค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush Test) จึงมีการกำหนดสภาวะการทดสอบค่าเพื่อเป็นมาตรฐานเดียวกัน คือ ความชื้นสัมพัทธ์ ที่  $65 \pm 5\%$  และ อุณหภูมิ ที่  $27 \pm 2^\circ\text{C}$
- **การดำเนินการทดลอง :** ใช้การทดลองแบบบล็อก (Randomized Block Design – RBD) โดยมีพนักงานวัดเป็นปัจจัยที่ทำการศึกษา และแผ่นกระดาษลูกฟูกคือบล็อก ซึ่งลำดับในการทดลองเป็นไปอย่างสุ่ม และได้ผลการทดลองดังแสดงในภาคผนวก ก ตารางที่
- **วิธีการประเมินผล :** ใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อแยกความผันแปรออกเป็นความผันแปรย่อยๆ ตามแหล่งที่มาของความผันแปรนั้น ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 3.15

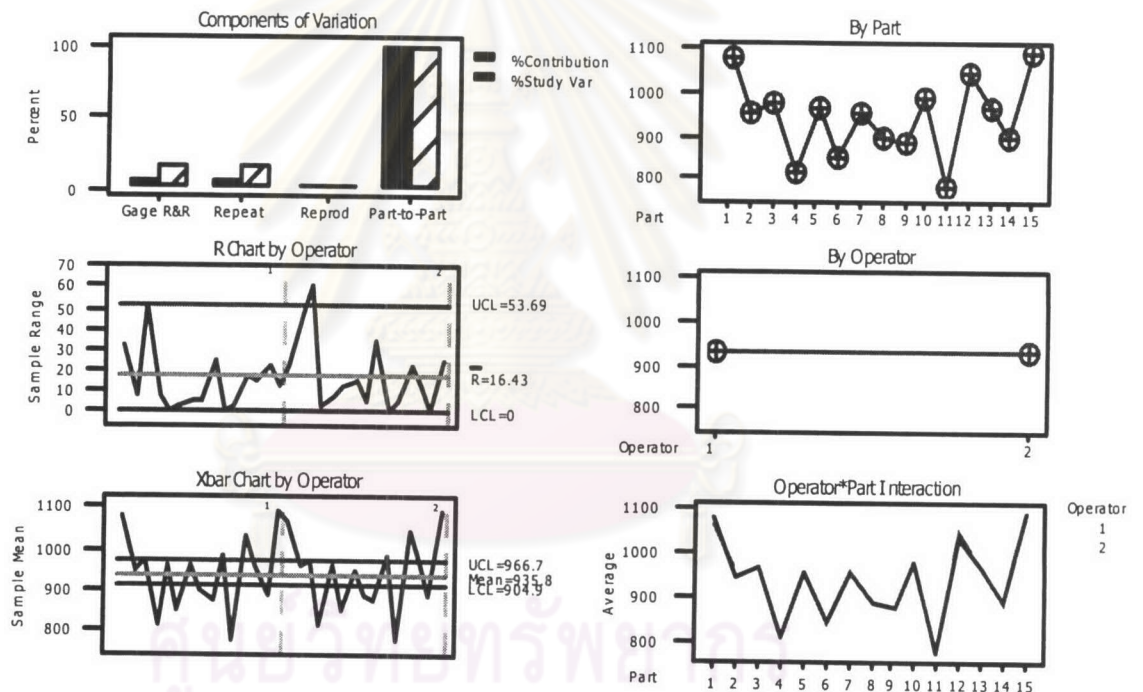
#### การวิเคราะห์ความถูกต้อง (Accuracy) ของระบบการวัด

ได้ทำการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องมือวัดค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Crush Tester) ตามช่วงเวลาที่กำหนดอย่างสม่ำเสมอ มาใช้เป็นเครื่องมือวัดค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush Test) เพื่อให้มีคุณสมบัติด้านความถูกต้องของเครื่องมือวัดครบทั้ง 3 ประการ คือ ด้านไบอัส (Bias) ด้านเสถียรภาพ (Stability) และคุณสมบัติเชิงเส้นตรง (Linearity)

### การวิเคราะห์ความแม่นยำ (Precision) ของระบบการวัด

การวิเคราะห์ความแม่นยำนี้ จะพิจารณาใน 2 ประเด็นหลัก คือ คุณสมบัติเชิงสถิติของค่าวัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัดหรืออุปกรณ์การวัดหรือไม่ และระบบการวัดมีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของกระบวนการผลิตนี้หรือไม่ โดยในส่วนของคุณสมบัติด้านความแม่นยำนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) และ ความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) ซึ่งการประเมินผลความแม่นยำดังกล่าวจะพิจารณาดัชนีที่เรียกว่า GR&R (Gage Repeatability and Reproducibility)

### Gage R&R (ANOVA) for Flat Crush Tester



รูปที่ 3.15 ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด

เมื่อวิเคราะห์ R Chart by Operator ในรูปที่ 3.15 จะเห็นได้ว่า มีค่าพิสัย (Range – R) มากกว่า 3 ค่า ที่อยู่ในพิสัยควบคุม (Control Limit) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบการวัดมีความสามารถในการแยกความแตกต่าง (Resolution) ของข้อมูลวัดได้ อีกทั้งค่าพิสัยเกือบทั้งหมดอยู่ในพิสัยควบคุม (Control Limit) แสดงว่ากระบวนการวัดมีความสม่ำเสมอ (Consistency) ฉะนั้นจึงสรุปว่าข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองมีคุณภาพเพียงพอที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ในส่วนของ Xbar Chart by Operator นั้นพบว่าค่า Xbar โดยส่วนใหญ่อยู่นอกพิสัยควบคุม แสดงว่าความผันแปรส่วนใหญ่มาจากความแตกต่างระหว่างแผ่นกระดาษลูกฟูกตัวอย่าง และชี้ให้เห็นว่าระบบการวัดสามารถตรวจจับความแตกต่างระหว่างแผ่นกระดาษลูกฟูกตัวอย่างได้ จึงสรุปได้ว่าแผ่นกระดาษลูกฟูกตัวอย่างที่เลือกมามีความเหมาะสมต่อการนำมาทดลองเพื่อประเมินความแม่นยำของระบบการวัดค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush Test) ซึ่งมีตารางการวิเคราะห์ระบบการวัดของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูกไว้ในภาคผนวก ก (ตารางที่ ก.3)

เมื่อพบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีคุณภาพเพียงพอ และกล่องตัวอย่างที่เลือกมาใช้ในการทดลองมีความเหมาะสมแล้วทำการวิเคราะห์ระบบการวัดโดยวิธี ANOVA ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ตาราง ANOVA สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด

Two-Way ANOVA Table with Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Part	14	484934	34638.1	908.569	0.00000
Operator	1	6	6.0	0.158	0.69716
Operator*Part	14	534	38.1	0.145	0.99979
Repeatability	30	7913	263.8		
Total	59	493387			

เมื่อพิจารณาค่า P-Value ของอันตรกิริยา(Interaction) ระหว่างพนักงานวัดกับแผ่นกระดาษลูกฟูกตัวอย่าง (Operator\*Part) ใน ตารางที่ 3.5 พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.99979 (มากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05) และค่าสถิติทดสอบ F ซึ่งเท่ากับ 0.145 มีค่าน้อยกว่าค่า Fวิกฤต สรุปว่าอันตรกิริยาระหว่างพนักงานวัดกับแผ่นกระดาษลูกฟูกตัวอย่างไม่มีนัยสำคัญ ฉะนั้นจึงทำการรวมค่าความผันแปรของอันตรกิริยาดังกล่าวเข้ากับ Repeatability เพื่อเพิ่มองศาความอิสระ (Degree of Freedom) ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ตาราง ANOVA สำหรับการวิเคราะห์ระบบการวัด เมื่ออันตรกิริยาไม่มีนัยสำคัญ

Two-Way ANOVA Table without Interaction					
Source	DF	SS	MS	F	P
Part	14	484934	34638.1	180.423	0.00000
Operator	1	6	6.0	0.031	0.86030
Repeatability	44	8447	192.0		
Total	59	493387			

จากการพิจารณาในตารางที่ 3.6 ค่า P-Value ของพนักงานวัด (Operator) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.86030 (มากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ 0.05) แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F ซึ่งเท่ากับ 0.031 มีค่าน้อยกว่าค่า F วิกฤต หมายความว่าอิทธิพลจากพนักงานวัดไม่มีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาค่า P-Value ของแผ่นกระดาษลูกฟูกตัวอย่าง (Part) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.00 (น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05) แสดงว่าค่าสถิติทดสอบ F ซึ่งเท่ากับ 180.423 มีค่ามากกว่า F วิกฤต จึงสรุปว่าความผันแปรที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบการวัดมีแหล่งที่มาจากความผันแปรจากแผ่นกระดาษลูกฟูกตัวอย่างเท่านั้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และในระบบการวัดดังกล่าวนี้ สามารถประมาณค่าความผันแปรจากแหล่งต่างๆ ได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ค่าความผันแปรจากแหล่งต่างๆ ของระบบการวัด (Gage R&R)

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)	
Total Gage R&R	192.0	2.18	
Repeatability	192.0	2.18	
Reproducibility	0.0	0.00	
Operator	0.0	0.00	
Part-To-Part	8611.5	97.82	
Total Variation	8803.5	100.00	

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	13.8558	71.357	14.77
Repeatability	13.8558	71.357	14.77
Reproducibility	0.0000	0.000	0.00
Operator	0.0000	0.000	0.00
Part-To-Part	92.7984	477.912	98.90
Total Variation	93.8271	483.209	100.00

**Number of Distinct Categories = 9**

จากตารางที่ 3.7 ข้างต้นสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ระบบการวัดของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush Test) ได้ดังนี้

ค่าระบบการวัด (Total Gage R&R)	2.18	เปอร์เซ็นต์
ค่าแปรผันมาจากเครื่องมือวัด (Repeatability)	2.18	เปอร์เซ็นต์
ค่าแปรผันมาจากผู้ทำการทดลอง (Reproducibility)	0.00	เปอร์เซ็นต์
ค่าความแปรผันจากชิ้นงาน (Part-To-Part)	97.82	เปอร์เซ็นต์

สามารถสรุปผลได้ว่า ค่าความแปรปรวนที่เกิดจากระบบการวัดทั้งสิ้น (Total Gage R&R) เพียง 2.18เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 10 ตามเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ระบบการวัดนี้ยังมีความสามารถในการแยกความแตกต่างของข้อมูล (Number of Distinct Categories) ได้เท่ากับ 9 โดยที่เกณฑ์มาตรฐานของความสามารถในการแยกความแตกต่างของข้อมูลจะที่มีค่าเท่ากับ 5 (ที่มา: กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2546. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) ประมวลผลด้วย MINITAB.) สรุปได้ว่าระบบการวัดนี้มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของค่าวัดได้ค่อนข้างละเอียด แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush Test) มีความถูกต้องและแม่นยำน่าเชื่อถือ เหมาะสมสำหรับการทดสอบค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush Test) ของงานวิจัย

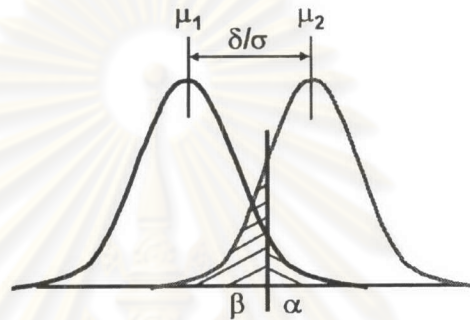
### 3.6 การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยที่ไม่น่าจะมีผลกระทบต่อความแข็งแรงของแผ่นกระดาษลูกฟูก

สาเหตุที่นำปัจจัยเพียง 4 ปัจจัยมาทดสอบสมมติฐาน เนื่องจากปัจจัยที่กลั่นกรองมาจากขั้นตอนของผิวพาเรโตนั้นพบว่าผลรวมของคะแนน 20 เปอร์เซ็นต์แรกที่มีค่าคะแนนรวมของปัจจัยที่มีปัจจัยทั้งหมด 12 ปัจจัย แต่เนื่องจากการที่จะทดสอบสมมติฐานให้ครบทุกปัจจัยนั้นมีข้อจำกัดหลายด้าน อาทิเช่น ข้อจำกัดในเรื่องของเวลาและค่าใช้จ่ายต่างๆที่เกิดขึ้นสำหรับการทดสอบสมมติฐานให้ครบทั้ง 12 ปัจจัย ในการทดสอบสมมติฐานจึงเลือกมาเพียง 4 ปัจจัยซึ่งปัจจัยที่เลือกนั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์รวมอยู่ในกลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุดเมื่อพิจารณาโดยรวมทั้ง 12 ปัจจัยซึ่งปัจจัยที่น่ามาทดสอบสมมติฐานประกอบด้วยปัจจัยดังนี้คือ

1. การทาบลูกความร้อน (Wrap Roll)
  2. แรงลมดูด (Suction Fan)
  3. ระยะห่างของ Nip Roll (Gap Nip Roll)
  4. การพ่นน้ำหัวฉีด (Spray of Nozzle)
- ซึ่งมีขั้นตอนในการทดสอบสมมติฐานดังต่อไปนี้

## การคำนวณสิ่งตัวอย่าง

เป็นการวิเคราะห์เพื่อกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการดำเนินการทดสอบสมมติฐานว่ามีความเพียงพอที่จะยอมรับได้ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์หรือไม่ โดยกำหนดค่าอัตราส่วนของ  $\delta/\sigma$  เท่ากับ 1 เนื่องจากค่าของอัตราส่วนนี้มีประสิทธิภาพและสามารถจำแนกความแตกต่างในกรณีที่ค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 กลุ่มตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกันมากได้อย่างมีความเชื่อมั่นค่อนข้างสูง ซึ่งโดยปกติแล้วในอุตสาหกรรมใช้ค่าอัตราส่วนของ  $\delta/\sigma$  เท่ากับ 1.5 ในการพิจารณาการคำนวณสิ่งตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.16 สำหรับการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 4 ปัจจัยนั้น จะใช้จำนวนตัวอย่างดังแสดงต่อไปนี้



รูปที่ 3.16 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของ  $\delta/\sigma$  ที่ใช้ในการคำนวณสิ่งตัวอย่าง

### Power and Sample Size

#### 2-Sample t Test

Testing mean 1 = mean 2 (versus not =)

Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference

Alpha = 0.05 Sigma = 1

Sample

Difference	Size	Power
1	50	0.9986

สรุปว่า ระดับความเชื่อมั่น 95% จะใช้จำนวนตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานเท่ากับ 50 ตัวอย่างและจะมีค่ากำลังในการทดสอบ (Power of Test:  $1 - \beta$ ) มากกว่า 95 % ดังนั้น จึงกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐานของทั้ง 4 ปัจจัย มีจำนวนเท่ากับ 50 ตัวอย่างและแสดงผลของค่าที่ได้จากการทดสอบสมมติฐานไว้ในภาคผนวก ก (ตารางที่ ก.4) และสำหรับการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยดังกล่าวจะใช้การทดสอบสมมติฐานทั้งหมด 2 ระดับ เนื่องจากมีข้อจำกัดในการทดลองและข้อจำกัดของเวลาที่ใช้สำหรับทดสอบปัจจัยแต่ละปัจจัยซึ่งต้องใช้เวลาานาน โดยในการวิเคราะห์ผลนั้นจะทดสอบเปรียบเทียบระดับของปัจจัยที่จำนวนตัวอย่างดังกล่าว ซึ่งการวิเคราะห์ผลนั้นจะพิจารณาจากจำนวนตัวอย่าง 50 ตัวอย่างรวมทั้งค่าที่อยู่นอกพิสัย (Out-lier) ด้วย

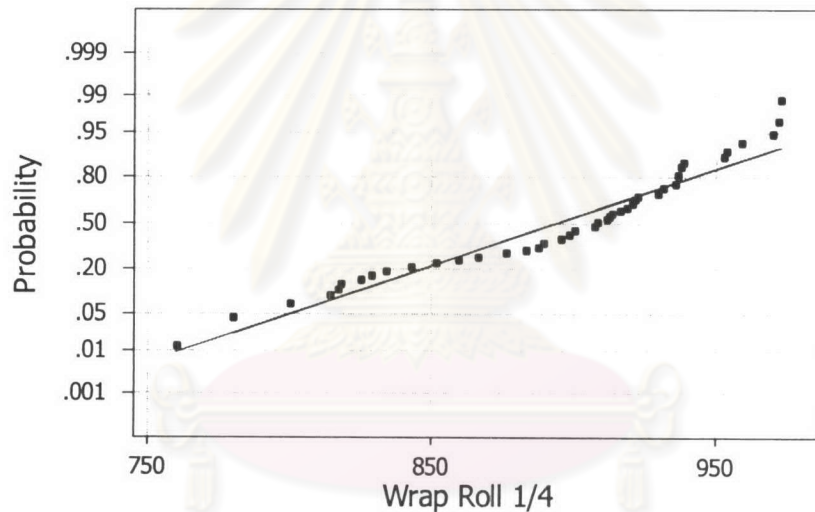


### 3.6.1 การวิเคราะห์สมมติฐานของการทาบลูกความร้อน (Wrap Roll) ที่มีผลต่อค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush)

#### 3.6.1.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่าข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด Wrap Roll 1/4 คือ ค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4 ส่วนของลูกความร้อน และ Wrap Roll 3/4 คือ ค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4 ส่วนของลูกความร้อน ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 3.17 และ รูปที่ 3.18

#### Normality Checking of Wrap Roll 1/4

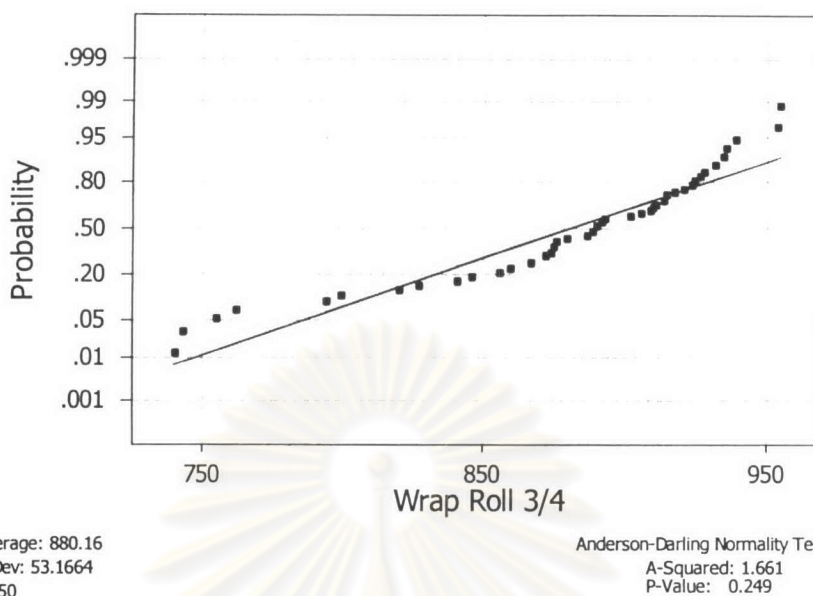


Average: 893.78  
StDev: 53.6589  
N: 50

Anderson-Darling Normality Test  
A-Squared: 1.335  
P-Value: 0.374

รูปที่ 3.17 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4 ส่วนของลูกความร้อน

### Normality Checking of Wrap Roll 3/4



**รูปที่ 3.18** กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4 ส่วนของลูกความร้อน

#### 3.6.1.2 การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานเบื้องต้นต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4 กับการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4 ส่วนของลูกความร้อนว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นการพิจารณาเลือกวิธีในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4 กับการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4 ส่วนของลูกความร้อน ต่อไป จะทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยแบบที่มีความแปรปรวนเท่ากันหรือจะทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยแบบที่มีความแปรปรวนไม่เท่ากัน โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

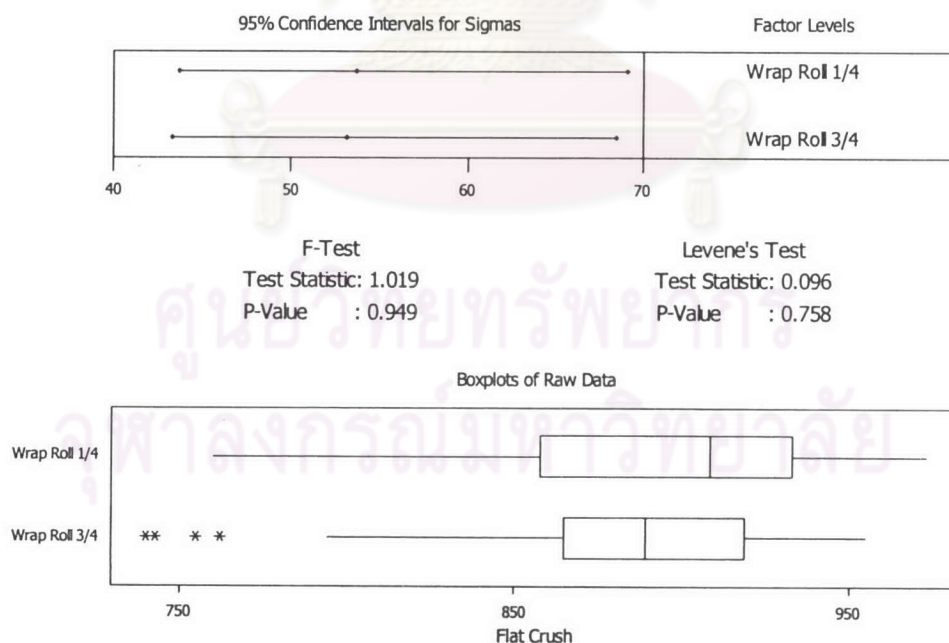
$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดยกำหนดให้  $\sigma_1^2$  แทนค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4 ส่วนและกำหนด  $\sigma_2^2$  แทนค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4 ส่วน ดังแสดงในตารางที่ 3.8 และกราฟการทดสอบความแปรปรวนแสดงดังรูปที่ 3.19

**ตารางที่ 3.8** ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4 กับการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4 ส่วนของลูกความร้อน

Test for Equal Variances				
Response	Flat Crush			
Factors	Wrap Roll			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
43.7193	53.6589	69.1174	50	Wrap Roll 1/4
43.3181	53.1664	68.4830	50	Wrap Roll 3/4
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 1.019				
P-Value : 0.949				
Levene's Test (any continuous distribution)				
Test Statistic: 0.096				
P-Value : 0.758				

### Test for Equal Variances of Wrap Roll



**รูปที่ 3.19** กราฟความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4 กับการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4 ส่วนของลูกความร้อน

จากผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) พบว่า ค่า P-Value (F-Test) มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ของแผ่นกระดาษลูกฟูกทั้ง 2 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ในขั้นต่อไปคือการทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4 กับการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4 ส่วนของลูกความร้อน โดยวิธีการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยเป็นแบบที่มีความแปรปรวนเท่ากัน ซึ่งแสดงดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้  $\mu_1$  แทนค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4 และกำหนด  $\mu_2$  แทนค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4 ดังแสดงในตารางที่ 3.9 และกราฟแบบสี่เหลี่ยม (Box Plot) ดังรูปที่ 3.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4 กับ ค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4 ส่วนของลูกความร้อน

**ตารางที่ 3.9** ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4 กับการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4

#### Results for: Wrap Roll

Two-Sample T-Test and CI: Wrap Roll 1/4, Wrap Roll 3/4

Two-sample T for Wrap Roll 1/4 vs Wrap Roll 3/4

	N	Mean	StDev	SE Mean
Wrap Roll 1/4	50	893.8	53.7	7.6
Wrap Roll 3/4	50	880.2	53.2	7.5

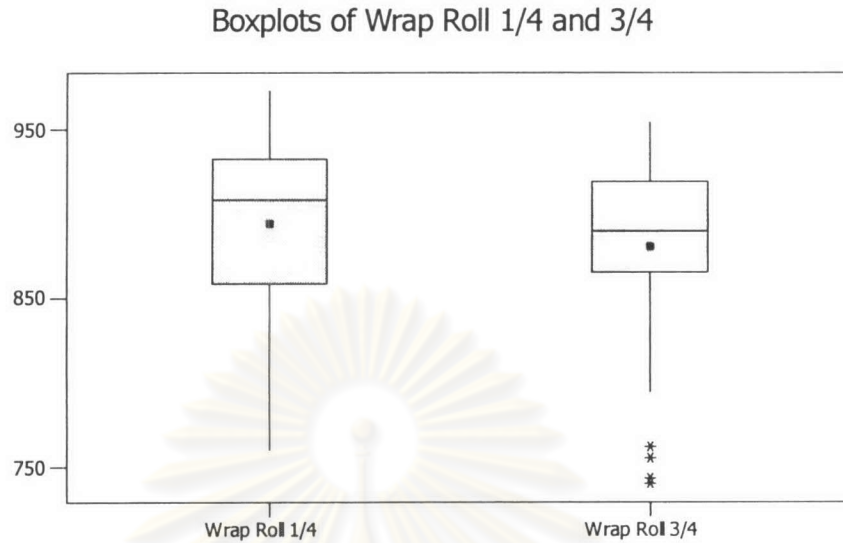
Difference = mu Wrap Roll 1/4 - mu Wrap Roll 3/4

Estimate for difference: 13.6

95% CI for difference: (-7.6, 34.8)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.27 P-Value = 0.205 DF = 98

Both use Pooled StDev = 53.4



**รูปที่ 3.20** แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการโอบลูกความร้อน 1 ใน 4 กับการโอบลูกความร้อน 3 ใน 4

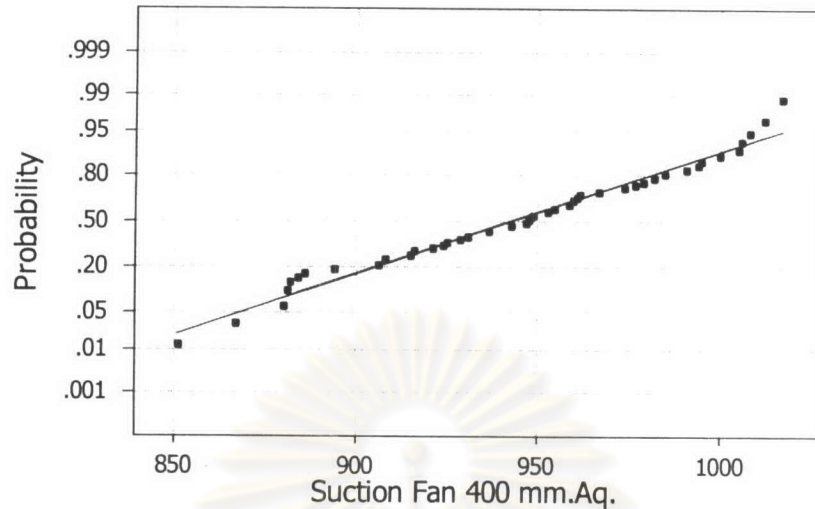
จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าแผ่นกระดาษลูกฟูกทั้ง 2 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สรุปว่าการทาบลูกความร้อนไม่มีผลต่อค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก

### 3.6.2 การวิเคราะห์สมมติฐานของแรงลมดูด (Suction Fan) ที่มีผลต่อค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush)

#### 3.6.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่าข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด Suction Fan 400 mm.Aq. คือ ค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq. และ Suction Fan 500 mm.Aq. คือ ค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 500 mm.Aq. ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 3.21 และ รูปที่ 3.22

### Normality Checking of Suction Fan 400 mm.Aq.

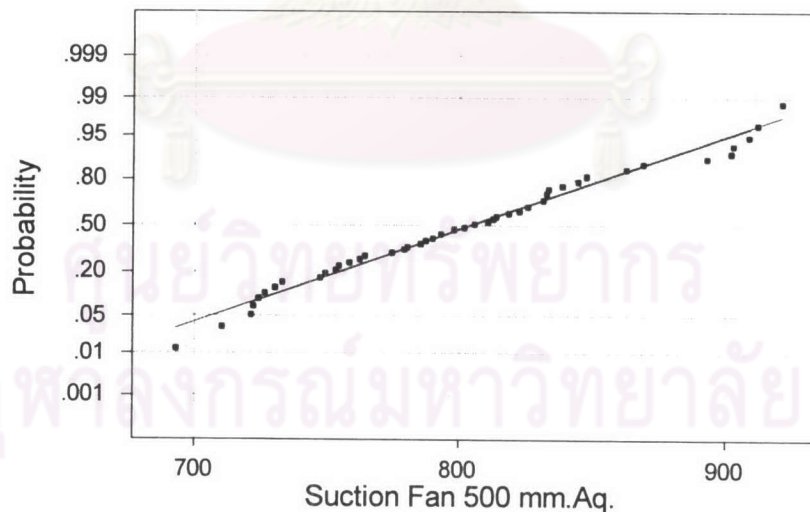


Average: 942.34  
StDev: 43.3060  
N: 50

Anderson-Darling Normality Test  
A-Squared: 0.381  
P-Value: 0.389

รูปที่ 3.21 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq.

### Normality Checking of Suction Fan 500 mm.Aq.



Average: 803.62  
StDev: 57.4942  
N: 50

Anderson-Darling Normality Test  
A-Squared: 0.298  
P-Value: 0.576

รูปที่ 3.22 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 500 mm.Aq.

### 3.6.2.2 การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานเบื้องต้นต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq. กับที่มีแรงลมดูด 500 mm.Aq. มีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นการพิจารณาเลือกวิธีในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq กับแรงลมดูด 500 mm.Aq ต่อไป จะทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยแบบที่มีความแปรปรวนเท่ากันหรือจะทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยแบบที่มีความแปรปรวนไม่เท่ากัน โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

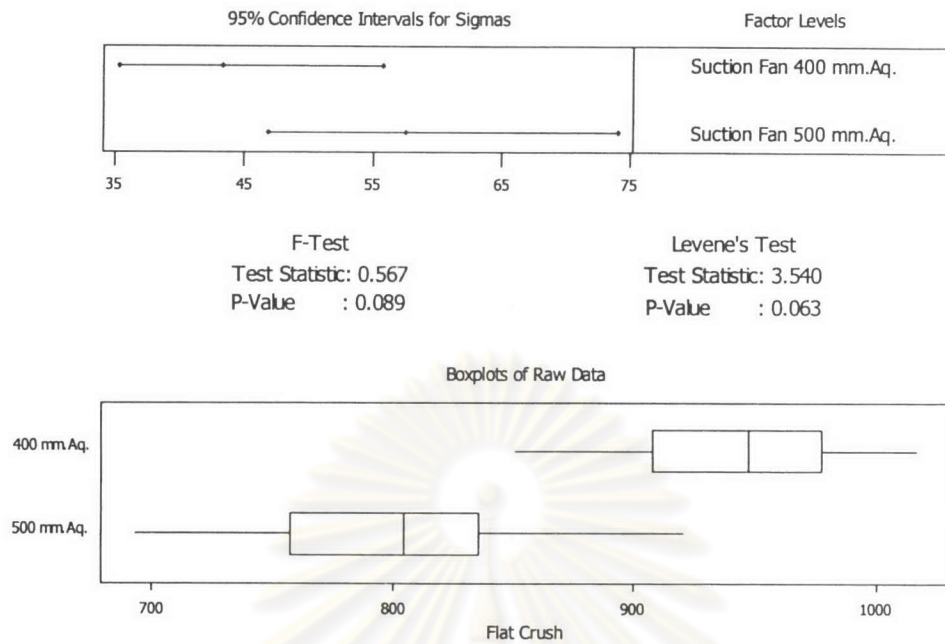
$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดยกำหนดให้  $\sigma_1^2$  แทนค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq. และกำหนด  $\sigma_2^2$  แทนค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 500 mm.Aq. ดังแสดงในตารางที่ 3.10 และกราฟการทดสอบความแปรปรวนแสดงดังรูปที่ 3.23

**ตารางที่ 3.10** ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq. กับแรงลมดูด 500 mm.Aq

Test for Equal Variances				
Response	Flat Crush			
Factors	Suction Fan			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
35.2842	43.3060	55.7820	50	Suction Fan 400 mm.Aq.
46.8442	57.4942	74.0576	50	Suction Fan 500 mm.Aq.
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 0.567				
P-Value	: 0.089			
Levene's Test (any continuous distribution)				
Test Statistic: 3.540				
P-Value	: 0.063			

## Test for Equal Variances of Suction Fan



รูปที่ 3.23 กราฟความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq. กับแรงลมดูด 500 mm.Aq

จากผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) พบว่า ค่า P-Value (F-Test) มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ของแผ่นกระดาษลูกฟูกทั้ง 2 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ในขั้นต่อไปคือการทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq. กับแรงลมดูด 500 mm.Aq. โดยวิธีการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยเป็นแบบที่มีความแปรปรวนเท่ากัน ซึ่งแสดงดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$



โดยกำหนดให้  $\mu_1$  แทนค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq. และกำหนด  $\mu_2$  แทนค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 500 mm.Aq. ดังแสดงในตารางที่ 3.11 และกราฟแบบสี่เหลี่ยม (Box Plot) ดังรูปที่ 3.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq. กับแรงลมดูด 500 mm.Aq.

**ตารางที่ 3.11** ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq. กับแรงลมดูด 500 mm.Aq.

**Results for: Suction Fan**

Two-Sample T-Test and CI: Suction Fan 400 mm.Aq., Suction Fan 500 mm.Aq.

Two-sample T for Suction Fan 400 mm.Aq. vs Suction Fan 500 mm.Aq.

	N	Mean	StDev	SE Mean
Suction Fan 400 mm.Aq.	50	942.3	43.3	6.1
Suction Fan 500 mm.Aq.	50	803.6	57.5	8.1

Difference =  $\mu$  Suction Fan 400 mm.Aq. -  $\mu$  Suction Fan 500 mm.Aq.

Estimate for difference: 138.7

95% CI for difference: (118.5, 158.9)

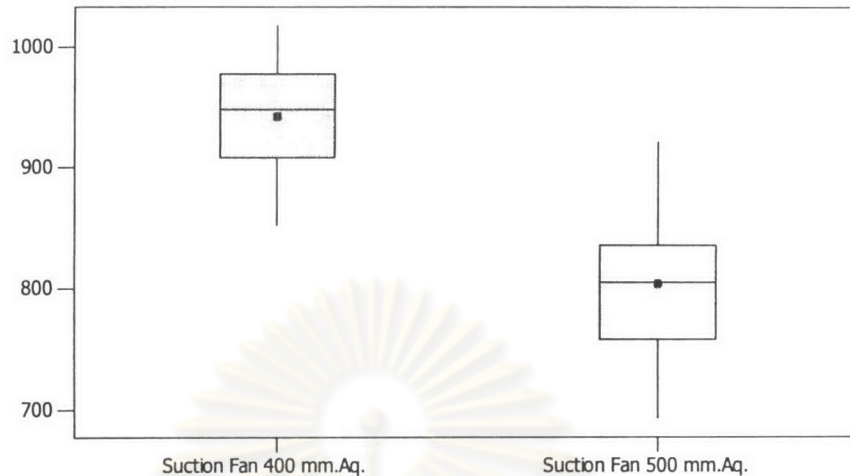
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 13.63

**P-Value = 0.000** DF = 98

Both use Pooled StDev = 50.9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Boxplots of Suction Fan 400 mm.Aq. and 500 mm.Aq.



**รูปที่ 3.24** แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีแรงลมดูด 400 mm.Aq. กับ แรงลมดูด 500 mm.Aq.

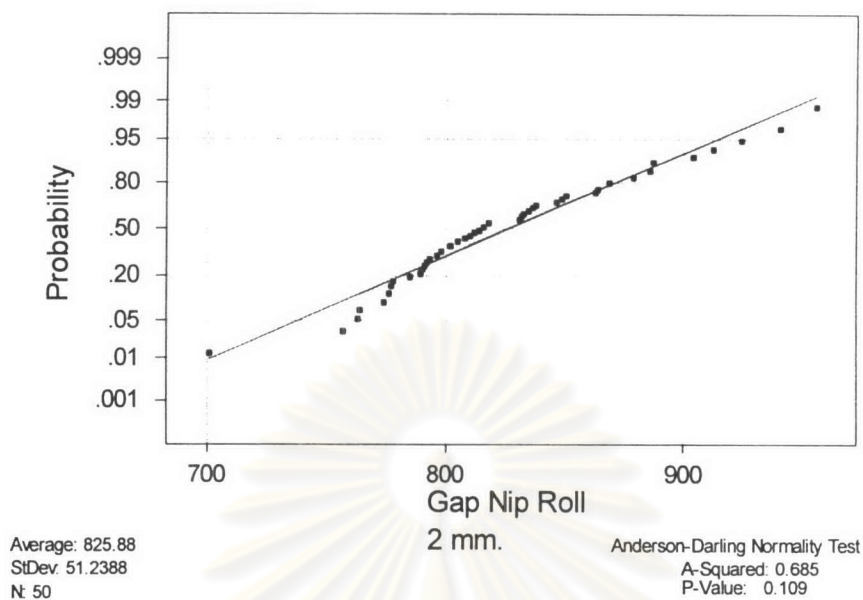
จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าแผ่นกระดาษลูกฟูกทั้ง 2 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่าแรงลมดูดมีผลต่อค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก

### 3.6.3 การวิเคราะห์สมมติฐานของระยะห่างของ Nip Roll (Gap Nip Roll) ที่มีผลต่อค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush)

#### 3.6.3.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

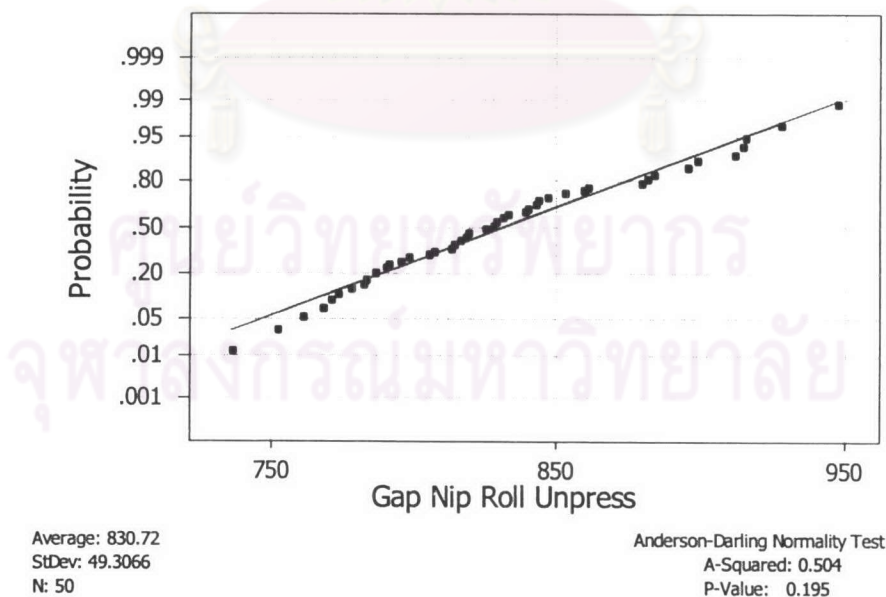
เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่าข้อมูลที่น่ามาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด Gap Nip Roll 2 mm. คือ ค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีระยะห่างของ Nip Roll 2 มิลลิเมตร และ Gap Nip Unpress คือ ค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการกดของ Nip Roll ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 3.25 และ รูปที่ 3.26

### Normality Checking of Gap Nip Roll 2 mm.



รูปที่ 3.25 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีระยะห่างของ Nip Roll 2 มิลลิเมตร

### Normality Checking of Gap Nip Unpress



รูปที่ 3.26 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการกดของ Nip Roll

### 3.6.3.2 การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานเบื้องต้นต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีระยะห่างของ Nip Roll 2 มิลลิเมตรกับที่ไม่มี การกดของ Nip Roll มีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นการพิจารณาเลือกวิธีในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีระยะห่างของ Nip Roll 2 มิลลิเมตรกับที่ไม่มี การกดของ Nip Roll ต่อไป จะทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยแบบที่มีความแปรปรวนเท่ากันหรือจะทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยแบบที่มีความแปรปรวนไม่เท่ากัน โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

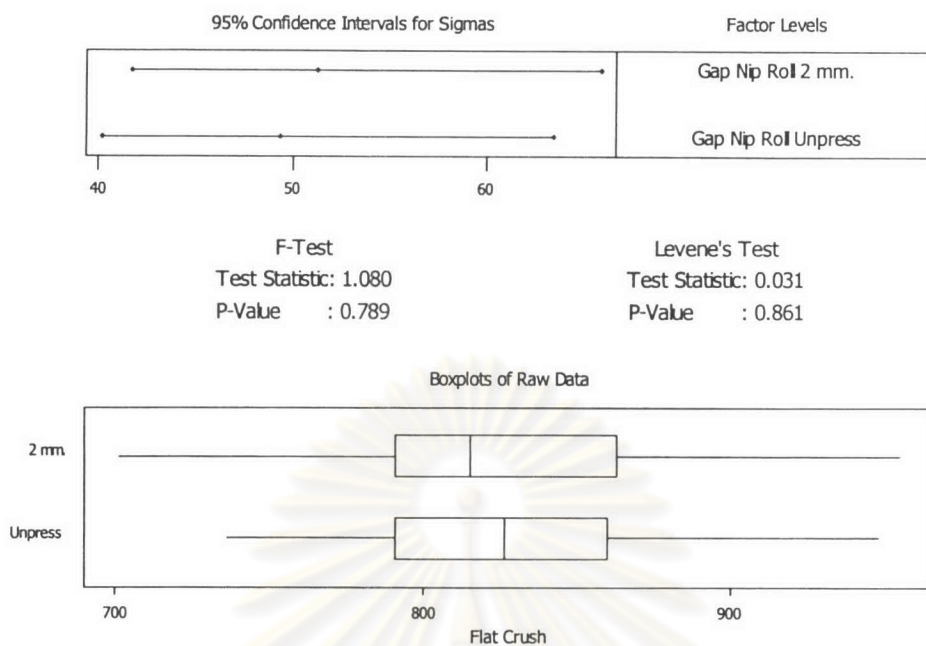
$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดยกำหนดให้  $\sigma_1^2$  แทนค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีระยะห่างของ Nip Roll 2 มิลลิเมตรและกำหนด  $\sigma_2^2$  แทนค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มี การกดของ Nip Roll ดังแสดงในตารางที่ 3.12 และกราฟการทดสอบความแปรปรวนแสดงดังรูปที่ 3.27

**ตารางที่ 3.12** ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีระยะห่างของ Nip Roll 2 มิลลิเมตรกับไม่มี การกดของ Nip Roll

Test for Equal Variances				
Response	Flat Crush			
Factors	Gap Nip Roll			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
41.7475	51.2388	66.0001	50	Gap Nip Roll 2 mm.
40.1733	49.3066	63.5113	50	Gap Nip Roll Unpress
F-Test (normal distribution)				
Statistic: 1.080				
P-Value : 0.789				
Levene's Test (any continuous distribution)				
Test Statistic: 0.031				
P-Value : 0.861				
Levene's Test (any continuous distribution)				
Test Statistic: 0.031				
P-Value : 0.861				

## Test for Equal Variances of Gap Nip Roll



**รูปที่ 3.27** กราฟความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีระยะห่างของ Nip Roll 2 มิลลิเมตรกับไม่มีการกดของ Nip Roll

จากผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) พบว่า ค่า P-Value (F-Test) มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ของแผ่นกระดาษลูกฟูกทั้ง 2 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ในขั้นต่อไปคือการทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีระยะห่างของ Nip Roll 2 มิลลิเมตรกับไม่มีการกดของ Nip Roll โดยวิธีการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยเป็นแบบที่มีความแปรปรวนเท่ากัน ซึ่งแสดงดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้  $\mu_1$  แทนค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีระยะห่างของ Nip Roll 2 มิลลิเมตร และกำหนด  $\mu_2$  แทนค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการกดของ Nip Roll ดังแสดงในตารางที่ 3.13 และกราฟแบบสี่เหลี่ยม (Box Plot) ดังรูปที่ 3.28 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ระยะห่างของ Nip Roll 2 มิลลิเมตรกับไม่มีการกดของ Nip Roll

**ตารางที่ 3.13** ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีระยะห่างของ Nip Roll 2 มิลลิเมตรกับไม่มีการกดของ Nip Roll

#### Results for: Gap Nip Roll

Two-Sample T-Test and CI: Gap Nip Roll 2 mm., Gap Nip Roll Unpress

Two-sample T for Gap Nip Roll 2 mm. vs Gap Nip Roll Unpress

	N	Mean	StDev	SE Mean
Gap Nip 0.2 mm.	50	825.9	51.2	7.2
Gap Nip Unpress	50	830.7	49.3	7.0

Difference = mu Gap Nip Roll 2 mm. - mu Gap Nip Roll Unpress

Estimate for difference: -4.8

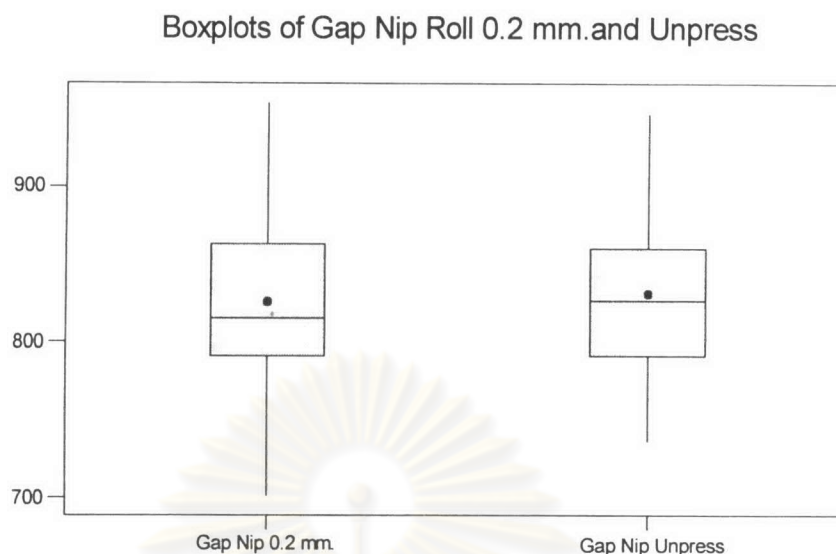
95% CI for difference: (-24.8, 15.1)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -0.48

**P-Value = 0.631** DF = 98

Both use Pooled StDev = 50.3

ศูนย์วิทยพัชกร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



**รูปที่ 3.28** แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีระยะห่างของ Nip Roll 2 มิลลิเมตร กับไม่มีการกดของ Nip Roll

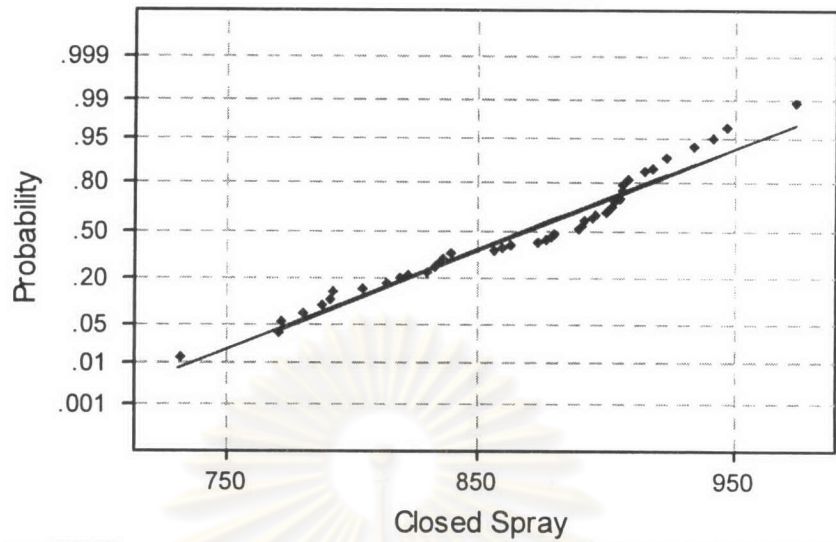
จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่า แผ่นกระดาษลูกฟูกทั้ง 2 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่าระยะห่างของ Nip Roll ไม่มีผลต่อค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก

### 3.6.4 การวิเคราะห์สมมติฐานของการพ่นน้ำของหัวฉีด (Spray of Nozzle) ที่มีผลต่อค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush)

#### 3.6.4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบ

เพื่อทดสอบข้อกำหนดที่ว่าข้อมูลที่นำมาทดสอบทั้งสองระดับมีการกระจายเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยกำหนด Closed Spray คือ ค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการพ่นน้ำของหัวฉีด และ Opened Spray คือ ค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการพ่นน้ำของหัวฉีด ได้ผลการทดสอบการกระจายเป็นแบบปกติ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังรูปที่ 3.29 และรูปที่ 3.30

### Normality Checking of Closed Spray

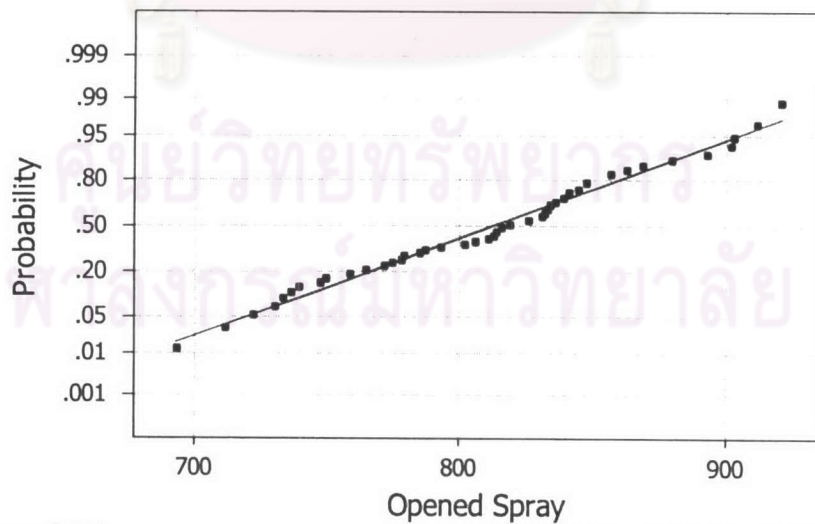


Average: 868.76  
StDev: 53.6993  
N: 50

Anderson-Darling Normality Test  
A-Squared: 1.161  
P-Value: 0.095

รูปที่ 3.29 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการพ่นน้ำของหัวฉีด

### Normality Checking of Opened Spray



Average: 812.06  
StDev: 54.3862  
N: 50

Anderson-Darling Normality Test  
A-Squared: 0.371  
P-Value: 0.411

รูปที่ 3.30 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการพ่นน้ำของหัวฉีด



### 3.6.4.2 การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานเบื้องต้นต้องพิจารณาค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการพ่นน้ำของหัวฉีดกับการพ่นน้ำที่หัวฉีดมีค่าเท่ากันหรือไม่ เพื่อเป็นการพิจารณาเลือกวิธีในการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการพ่นน้ำของหัวฉีดกับการพ่นน้ำของหัวฉีด ต่อไปจะทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยแบบที่มีความแปรปรวนเท่ากัน หรือจะทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยแบบที่มีความแปรปรวนไม่เท่ากัน โดยสมมติฐานในการทดสอบความแปรปรวนเป็นดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$$

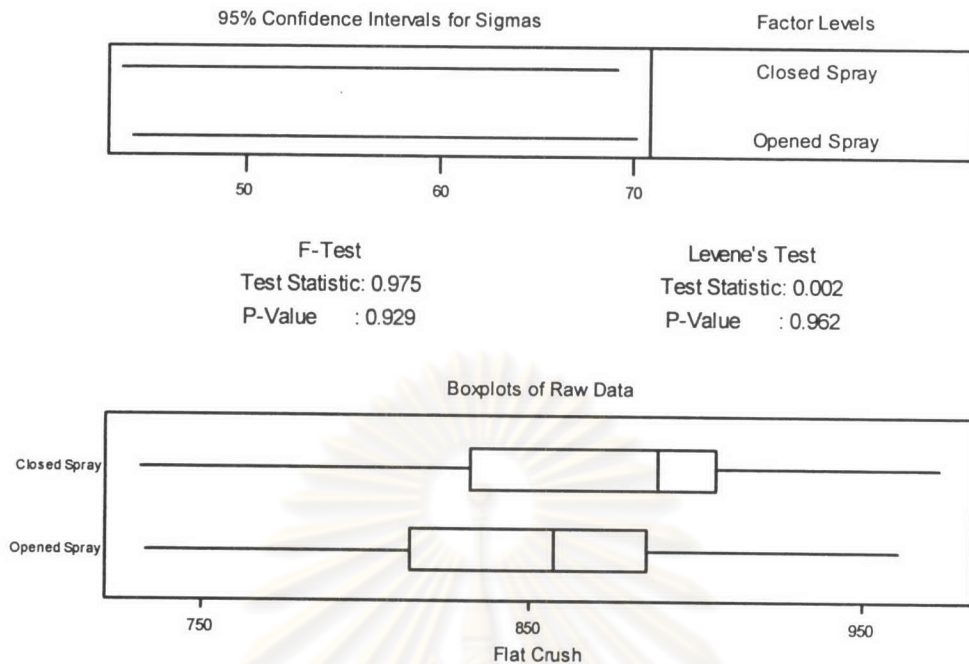
$$H_1 : \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

โดยกำหนดให้  $\sigma_1^2$  แทนค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการพ่นน้ำของหัวฉีดและกำหนด  $\sigma_2^2$  แทนค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการพ่นน้ำของหัวฉีด ดังแสดงในตารางที่ 3.14 และกราฟการทดสอบความแปรปรวนแสดงดังรูปที่ 3.31

**ตารางที่ 3.14** ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการพ่นน้ำของหัวฉีดกับการพ่นน้ำของหัวฉีด

Test for Equal Variances				
Response	Flat Crush			
Factors	Spray of Nozzle			
ConfLvl	95.0000			
Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
Lower	Sigma	Upper	N	Factor Levels
43.7522	53.6993	69.1694	50	Closed Spray
44.3119	54.3862	70.0542	50	Opened Spray
F-Test (normal distribution)				
Test Statistic: 0.975				
P-Value : 0.929				
Levene's Test (any continuous distribution)				
Test Statistic: 0.002				
P-Value : 0.962				

### Test for Equal Variances for Flat Crush



**รูปที่ 3.31** กราฟความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการพ่นน้ำของหัวฉีดกับมีการพ่นน้ำของหัวฉีด

จากผลการทดสอบความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) พบว่า ค่า P-Value (F-Test) มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าค่าความแปรปรวนของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ของแผ่นกระดาดลูกฟูกทั้ง 2 กลุ่มมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ในขั้นต่อไปคือการทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการพ่นน้ำของหัวฉีดกับมีการพ่นน้ำที่หัวฉีด โดยวิธีการทดสอบสมมติฐานของค่าเฉลี่ยเป็นแบบที่มีความแปรปรวนเท่ากัน ซึ่งแสดงดังนี้

สมมติฐานที่ต้องการทดสอบคือ

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

โดยกำหนดให้  $\mu_1$  แทนค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการพ่นน้ำของหัวฉีดและกำหนด  $\mu_2$  แทนค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่มีการพ่นน้ำของหัวฉีดดังแสดงในตารางที่ 3.15 และกราฟแบบสี่เหลี่ยม (Box Plot) ดังรูปที่ 3.32 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการพ่นน้ำของหัวฉีดกับการพ่นน้ำที่หัวฉีด

**ตารางที่ 3.15** ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการพ่นน้ำของหัวฉีดกับการพ่นน้ำที่หัวฉีด

**Results for: Spray of Nozzle**

Two-Sample T-Test and CI: Closed Spray vs Opened Spray

Two-sample T for Closed Spray vs Opened Spray

	N	Mean	StDev	SE Mean
Closed Spray	50	868.8	53.7	7.6
Opened Spray	50	852.1	54.4	7.7

Difference =  $\mu$  Closed Spray -  $\mu$  Opened Spray

Estimate for difference: 16.7

95% CI for difference: (-4.7, 38.1)

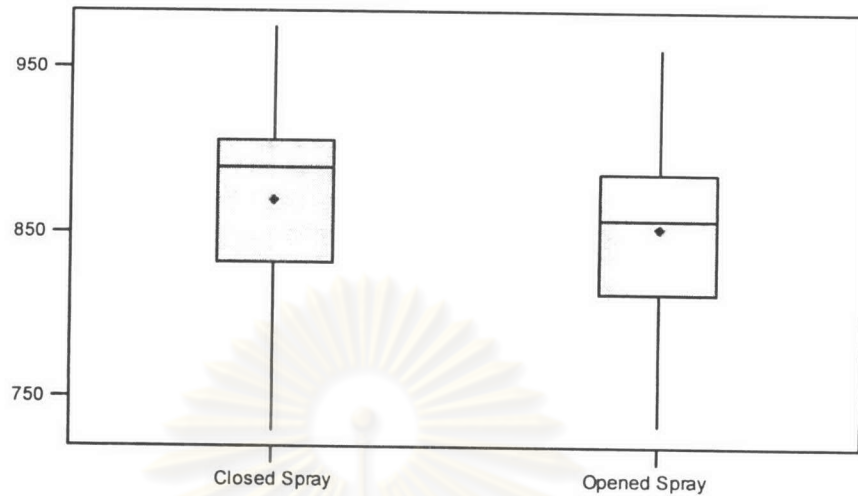
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.55

**P-Value = 0.126** DF = 98

Both use Pooled StDev = 54.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Boxplots of Closed Spray and Opened Spray



รูปที่ 3.32 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ที่ไม่มีการพ่นน้ำของหัวฉีดกับการพ่นน้ำที่หัวฉีด

จากผลการทดสอบสมมติฐานพบว่า ค่า P-Value มากกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าแผ่นกระดาดลูกฟูกทั้ง 2 กลุ่มมีค่าเฉลี่ยของค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่า การพ่นน้ำของหัวฉีดน้ำไม่มีผลต่อค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก

### 3.7 สรุปปัจจัยที่จะนำไปทำการออกแบบการทดลอง

จากการวิเคราะห์หากลั่นกรองปัจจัยด้วยเครื่องมือที่ผ่านมามากแล้วตามลำดับ พบว่า ในการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยที่คาดว่าจะไม่น่าจะมีนัยสำคัญหรือผลกระทบต่อค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) พบว่า มี 1 ใน 4 ของปัจจัยนั้นมีนัยสำคัญคือ แรงลมดูด (Suction Fan) จึงนำปัจจัยนี้ไปทำการออกแบบการทดลองร่วมกับปัจจัยอื่นๆซึ่งสามารถสรุปปัจจัยที่จะนำไปทำการออกแบบการทดลองในขั้นตอนของการออกแบบการทดลองเพื่อกรองปัจจัยดังนี้

1. สัดส่วนแบ่งแห้งSF (Solid Content of SF)
2. สัดส่วนแบ่งแห้งDF (Solid Content of DF)
3. แรงลมดูด (Suction Fan)
4. ระยะห่างระหว่างลูกปาดกับลูกแบ่งของSF (Gap Glue Roll & Doctor Roll: Single Facer)
5. ระยะห่างระหว่างลูกปาดกับลูกแบ่งของDF (Gap Glue Roll & Doctor Roll: Double Facer)
6. อัตราส่วนความเร็วลูกแบ่งกับลูกกลอนล่างของDF (G/L Speed Ratio :DF)
7. อุณหภูมิแผ่นความร้อน (Temperature of Heating Plate)
8. ระยะการกดระหว่างลูกกลิ้งทับผ้าใบกับแผ่นความร้อน (Gap Weight Roll)
9. ระยะการกดระหว่างลูกกลิ้งทับผ้าใบกับแผ่นระบายความร้อน (Gap Cooling Part)

โดยปัจจัยทั้งหมดทั้ง 9 ปัจจัยนี้จะนำไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อกรองปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความสามารถในการต้านทานแรงกดลอนลูกฟูก (Flat Crush) ในบทต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย