ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ กว
อว 19

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 8 ว
ของ

นายจรวย ธงไชย

การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความต้านแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

โดย
นายจรวย ธงไชย
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ
กลุ่มวิจัยและพัฒนา 3
กองการวิจัย
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
พ.ศ. 2540

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 8 ว
ของ

นายจรวย ธงไชย

เลขหมู่ วศ 676
จ0 19
เลขทะเบียน 11575
วันที่ 16 / ธ.ค. / 46

การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความต้านแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

โดย
นายจรวย ธงไชย
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
.....วศ.....

ห้องปฏิบัติการเยื่อและกระดาษ
กลุ่มวิจัยและพัฒนา 3
กองการวิจัย
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
พ.ศ. 2540

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

รายงานวิจัยนี้เสนอผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความต้านแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

ผลจากการศึกษาวิจัย พบว่า

น้ำหนักมาตรฐาน ความหนาแน่นเสมือน และปริมาณความชื้นของกระดาษ ความเร็วของแท่นกดของเครื่องทดสอบแรงกด อุณหภูมิของเครื่องทำลอนลูกฟูก อุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบ และความกว้างของร่องอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ รวมทั้งความชื้นสัมพัทธ์ของสภาวะการทดสอบ มีผลต่อความต้านแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูกโดย

ความหนาแน่นเสมือนและน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าดัชนีความต้านแรงกดวงแหวน และดัชนีความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกเพิ่มขึ้น แต่สำหรับดัชนีความต้านแรงกดระยะสั้นจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นน้อยมาก เมื่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักมาตรฐานเพิ่มขึ้น

ความขนานของแท่นกดบน/ล่าง ความเร็วของแท่นกดชิ้นทดสอบจะมีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก และความต้านแรงกดลอนลูกฟูก โดนเมื่อความขนานของแท่นกดบน/ล่างมีความแตกต่างกันสูงเกิน 0.05 มิลลิเมตรต่อ 50 มิลลิเมตร ค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกจะมีค่าลดลงต่ำกว่าความเป็นจริง ส่วนความต้านแรงกดลอนลูกฟูกจะมีการล้มของลอนลูกฟูกในขณะทดสอบซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ไม่ถูกต้อง

ความเร็วของแท่นกดชิ้นทดสอบ เมื่อเพิ่มความเร็วของแท่นกดชิ้นทดสอบให้สูงขึ้น ค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก และความต้านแรงกดลอนลูกฟูกจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจะน้อยมากในช่วงความเร็วของแท่นกด 10 ถึง 14 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับเครื่องทดสอบที่มีความขนานถูกต้องตามที่มาตรฐานกำหนด (แตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.05 มิลลิเมตรต่อ50มิลลิเมตร) ส่วนเครื่องทดสอบที่มีความขนานไม่ถูกต้องตามที่มาตรฐานกำหนด (แตกต่างกันไม่เกินร้อยละ 0.05 มิลลิเมตรต่อ 50 มิลลิเมตร) การเพิ่มความเร็วของแท่นกดชิ้นทดสอบจะทำให้ค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก มีค่าลดลงต่ำกว่าความเป็นจริง ความต้านแรงกดลอนลูกฟูกจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่การล้มของลอนลูกฟูกก็จะสูงมากถึงร้อยละ 60

อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นลอนลูกฟูกของการทดสอบความต้านแรงกดลอนลูกฟูกที่เพิ่มมากขึ้น ค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกจะสูงขึ้นด้วย การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นจะน้อยมากในช่วงของอุณหภูมิของการขึ้นลอน 175 $\pm$ 8 ^{o}C ตามที่มาตรฐานกำหนด และสามารถวางชิ้นทดสอบบนแท่นกดล่างของเครื่องทดสอบโดยตรงหรือวางบนอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบที่มั่นคงแข็งแรง ผิวเรียบเสมอกัน และทดสอบด้วยเครื่องทดสอบที่มีความขนานถูกต้องตามมาตรฐานกำหนดจะให้ผลการทดสอบที่ไม่แตกต่างกัน และถูกต้องตรงตามความเป็นจริง

สารบัญ

บทคัดย่อ หน้า

สารบัญตาราง ..... ก

สารบัญภาพ ..... ข-ง

บทที่1 บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 ระยะเวลาในการศึกษาวิจัย..... 3

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 3

บทที่ 2 คุณลักษณะของเครื่องทดสอบและหลักการทดสอบ

2.1 **คุณลักษณะของเครื่องทดสอบ**

2.1.1. เครื่องทดสอบแรงกด (Crush tester)..... 4

2.1.1.1 เครื่องทดสอบแรงกดชนิดแท่นกดบนหรือล่างเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่... 4-6

2.1.1.2 เครื่องทดสอบแรงกดชนิดแท่นกดเคลื่อนที่กดด้วยอัตราการเพิ่มแรงกดคงที่ 4,7

2.1.1.3มาตรฐานที่กำหนดในการทดสอบของเครื่องทดสอบแรงกด..... 8

2.1.2 เครื่องทดสอบแรงกดระยะสั้น (Short span Compression tester)..... 9

2.2 **หลักการทดสอบ**

2.2.1ความต้านแรงกดวงแหวน..... 10-11

2.2.2ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก..... 12-13

2.2.3 ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก..... 14-15

2.2.4ความต้านแรงกดระยะสั้น..... 16

บทที่ 3 การดำเนินการทดสอบ

3.1 วัตถุดิบ..... 17

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์..... 17

3.3 การเตรียมตัวอย่างและชิ้นทดสอบ..... 18

3.4 วิธีการทดสอบ..... 18

3.5 สภาวะการทดสอบ..... 18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดสอบ การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความต้านแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

4.1.1 การศึกษาผลของน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก และความต้านแรงกดระยะสั้น.... 19

4.1.2 การศึกษาผลของความหนาแน่นเสมือนของกระดาษต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก และความต้านแรงกดระยะสั้น..... 20-21

4.1.3 การศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณความชื้นในกระดาษต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน..... 21-22

4.1.4 การศึกษาผลของความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก..... 23-27

4.1.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกและอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบ ต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก..... 28

4.1.5.1.การศึกษาผลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก..... 28-29

4.1.5.2.การศึกษาผลของอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก..... 30

4.1.6 การศึกษาผลของความเร็วของแท่นกดชิ้นทดสอบและความขนานของแท่นกดต่อค่าแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูก..... 31-40

บทที่ 5 วิจารณ์ผลการทดสอบ 41-59

บทที่ 6 สรุปผลการทดสอบ 60-62

คำขอบคุณ 63

เอกสารอ้างอิง 64

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงคุณลักษณะที่สำคัญของเครื่องทดสอบแรงกด.....	8
2	แสดงสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบ.....	17
3	ผลของน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษต่อค่าดัชนีความต้านแรงกดกระดาษ	19
4	ผลของความหนาแน่นเสมือนของกระดาษต่อค่าดัชนีความต้านแรงกดกระดาษ ...	20
5	แสดงผลของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณความชื้นในกระดาษต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน ของกระดาษทำกล่องลูกฟูก	21-22
6	แสดงผลของความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก	23-26
7	แสดงผลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก.....	28-29
8	แสดงผลของอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก	30
9	แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก.....	31-33
10	แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก.....	34-36
11	แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก.....	37-39

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แสดงเครื่องทดสอบแรงกดชนิดแท่นกดบนเคลื่อนที่กดชิ้นทดสอบด้วยความเร็วคงที่....	5
2	แสดงเครื่องทดสอบแรงกดชนิดแท่นกดล่างเคลื่อนที่กดชิ้นทดสอบด้วยความเร็วคงที่...	6
3	แสดงเครื่องทดสอบแรงกดชนิดแท่นกดบนเคลื่อนที่กดชิ้นทดสอบด้วยอัตราการเพิ่มแรงกดคงที่.....	7
4	แสดงเครื่องทดสอบแรงกดระยะสั้น	9
5	แสดงการทดสอบความต้านแรงกดวงแหวน.....	10
6	แสดงชุดอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ	11
7	แสดงทิศทางการกดชิ้นทดสอบของแท่นกดขณะทำการทดสอบความต้านแรงกดวงแหวน.....	11
8	แสดงการทดสอบความต้านแรงกดลอนลูกฟูก.....	12
9	แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบที่ผ่านการทำลอนลูกฟูก (A) การใส่ชิ้นทดสอบในอุปกรณ์เสริม (B).....	13
10	แสดงทิศทางของการทดสอบ	13
11	แสดงการทดสอบความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก.....	14
12	แสดงอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบที่ผ่านการทำลอนลูกฟูก	15
13	แสดงทิศทางของการทดสอบ	15
14	แสดงชิ้นทดสอบที่วางในระหว่างปากจับชิ้นทดสอบและการทดสอบความต้านแรงกดระยะสั้น.....	16
15	แสดงอิทธิพลของน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษต่อค่าดัชนีความต้านแรงกด.....	41
16	แสดงอิทธิพลของความหนาแน่นเสมือนของกระดาษต่อค่าดัชนีความต้านแรงกดวงแหวน.....	42
17	แสดงอิทธิพลของความหนาแน่นเสมือนของกระดาษต่อค่าดัชนีความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก.....	43
18	แสดงอิทธิพลของความหนาแน่นเสมือนของกระดาษต่อค่าดัชนีความต้านแรงกดระยะสั้น.....	44
19	แสดงอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อปริมาณความชื้นในกระดาษ.....	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
20	แสดงอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน (แนวขนานเครื่อง)	46
21	แสดงอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน (แนวขวางเครื่อง)	47
22	แสดงอิทธิพลของความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน (แนวขนานเครื่อง).....	49
23	แสดงอิทธิพลของความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน (แนวขวางเครื่อง).....	49
24	แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูก (แนวขนานเครื่อง).....	50
25	แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูก (แนวขวางเครื่อง).....	51
26	แสดงผลของอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (แนวขนานเครื่อง).....	52
27	แสดงผลของอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (แนวขวางเครื่อง).....	52
28	แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.05 มิลลิเมตร/50 มิลลิเมตร) (แนวขนานเครื่อง).....	54
29	แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.059 มิลลิเมตร/50 มิลลิเมตร) แนวขนานเครื่อง.....	54
30	แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.05 มิลลิเมตร/50 มิลลิเมตร) แนวขวางเครื่อง.....	55
31	แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.059 มิลลิเมตร/50 มิลลิเมตร) แนวขวางเครื่อง	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่		
32	แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.05 มิลลิเมตร/50 มิลลิเมตร) แนวขนานเครื่อง.....	56
33	แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.059 มิลลิเมตร/50 มิลลิเมตร) แนวขนานเครื่อง.....	56
34	แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.05 มิลลิเมตร/50 มิลลิเมตร) แนวขวางเครื่อง.....	57
35	แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.059 มิลลิเมตร/50 มิลลิเมตร) แนวขวางเครื่อง	57
36	แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.05 มิลลิเมตร/50 มิลลิเมตร) แนวขนานเครื่อง	58
37	แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.059 มิลลิเมตร/50 มิลลิเมตร) แนวขนานเครื่อง	58
38	แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.05 มิลลิเมตร/50 มิลลิเมตร) แนวขวางเครื่อง	59
39	แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.059 มิลลิเมตร/50 มิลลิเมตร) แนวขวางเครื่อง	59

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของการวิจัย

กระดาษสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ได้หลายแบบนับตั้งแต่การผลิตเพื่อใช้เป็นถุงหิ้วหรือกล่องกระดาษลูกฟูกเพื่อการขนส่ง ซองจดหมาย เป็นต้น โดยที่กระดาษสามารถนำมาใช้งานได้หลายรูปแบบ จึงทำให้กระดาษเป็นวัตถุดิบที่นิยมใช้มากที่สุดประเภทหนึ่งในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ มีปริมาณการใช้งานสูงมากถึงร้อยละ 40 ของวัตถุดิบทั้งหมดที่ใช้ในอุตสาหกรรมนี้

กระดาษที่ใช้ในการบรรจุภัณฑ์สามารถแบ่งได้ 5 ชนิด ตามสภาพการใช้งาน คือ แผ่นกระดาษลูกฟูก (corrugated board) กระดาษกล่อง (cartonboard or boxboard) กระดาษกล่องแข็ง (solid board) กระดาษสำหรับบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อน (flexible packaging paper) และฉลากสินค้า (labelling) ซึ่งจะเห็นว่ากระดาษสามารถตอบสนองได้อย่างครบวงจร โดยเฉพาะแผ่นกระดาษลูกฟูกจะมีปริมาณการใช้สูงมากกว่ากระดาษบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่น ดังนั้นเมื่อนำแผ่นกระดาษลูกฟูกมาทำกล่องกระดาษลูกฟูกแล้วจะต้องมีสมบัติต่างๆ เพื่อให้สามารถตอบสนองการใช้งานได้ดี ในทำนองเดียวกันก่อนการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูกต้องนำกระดาษทำลูกฟูก (corrugating medium) มาทำลอนลูกฟูกแล้วประกับติดกับกระดาษผิวกล่อง (linerboard) ถึงจะได้แผ่นกระดาษลูกฟูก ดังนั้นทั้งกระดาษทำลูกฟูก (corrugating medium) และกระดาษผิวกล่อง (linerboard) จะต้องมีสมบัติต่างๆ เพื่อให้ตอบสนองในการใช้งานอย่างเดียวกัน เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางแสง สมบัติด้านการต้านทาน เป็นต้น โดยเฉพาะสมบัติเชิงกลของกระดาษทำกล่องลูกฟูกจะเป็นตัวบ่งชี้ศักยภาพการใช้งานของกระดาษทำกล่องลูกฟูกว่าจะมีความทนทานต่อการใช้งานและมีความสามารถที่จะต้านทานแรงที่มากระทำในลักษณะต่างๆมากน้อยเพียงใด แรงกระทำเหล่านี้ ได้แก่ แรงดึง แรงเฉือน หรือแรงที่ทำให้กระดาษโค้งงอ ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างการแปรรูปหรือขณะใช้งาน สมบัติทางเชิงกลที่สำคัญ ๆ ได้แก่ ความทรงรูป ความต้านแรงฉีกขาด แรงยึดระหว่างชั้น การต้านการโค้งงอ ความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูกและความต้านแรงกดขอบ เป็นต้น

สมบัติความต้านแรงกด (Compression strength) ของกระดาษทำกล่องลูกฟูกจึงเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของกระดาษที่สามารถบ่งชี้ถึงความทนทานต่อแรงกดเมื่อถูกน้ำหนักกดทับและสมบัติด้านแรงกดต่างๆ เช่น ความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดด้านข้างลอนลูกฟูก และความต้านแรงกดระยะสั้นจะเป็นสมบัติพื้นฐานของกระดาษทำกล่องลูกฟูกที่จะนำมาประกอบการพิจารณาก่อนที่จะนำมาทำเป็นแผ่นกระกระดาษลูกฟูก แล้วนำแผ่นกระดาษลูกฟูกมาแปรรูปเป็นกล่องกระดาษลูกฟูกต่อไป ซึ่งสมบัติต่าง ๆ ดังที่กล่าวมายังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ที่จะทำให้ค่าความต้านแรงกดสูงขึ้นหรือลดลงได้ เช่น น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ ความหนาแน่นเสมือน อุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูก ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศและปริมาณความชื้นในกระดาษ เป็นต้น

กระดาษที่มีความต้านแรงกดดังกล่าวมาแล้วข้างต้นมีค่าสูงมาก เมื่อนำมาทำเป็นแผ่นกระดาษลูกฟูกแล้วก็จะสามารถที่จะบ่งบอกได้ว่าแผ่นกระดาษลูกฟูกมีค่าความแข็งแรงมากน้อยเพียงใด และเมื่อนำกระดาษมาผลิต

เป็นแผ่นกระดาษลูกฟูกก็จำเป็นที่จะต้องมีการประเมินคุณภาพด้านความแข็งแรงในรูปของความต้านแรงกดที่ขอบและความต้านแรงกดแผ่นกระดาษลูกฟูก อีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะนำแผ่นกระดาษลูกฟูกมาผลิตเป็นกล่องกระดาษลูกฟูก และเมื่อนำแผ่นกระดาษลูกฟูกมาผลิตเป็นกล่องลูกฟูกแล้วก็จะมีการประเมินความแข็งแรงในรูปของแรงกด คือ ความต้านแรงกดกล่อง ที่จะแสดงถึงความแข็งแรงของกล่องลูกฟูกอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งถือว่าเป็นขั้นสุดท้าย

ดังนั้นในการทดสอบสมบัติด้านความแข็งแรงในรูปของแรงกดของกล่องลูกฟูกจะกระทำใน 3 ขั้นตอน คือ

1.1.1.ขั้นตอนที่ยังเป็นแผ่นกระดาษได้แก่กระดาษทำลูกฟูก และกระดาษผิวกล่อง

1.1.2.ขั้นตอนที่เป็นแผ่นกระดาษลูกฟูก และ

1.1.3.ขั้นตอนที่เป็นกล่องลูกฟูกแล้ว

ซึ่งการจะเลือกทดสอบสมบัติด้านความต้านแรงกดในขั้นตอนใดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้นำวัตถุดิบไปใช้ เช่น ถ้าต้องการนำกระดาษผิวกล่อง และกระดาษทำลูกฟูกมาผลิตเป็นแผ่นกระดาษลูกฟูกก็ควรจะต้องทดสอบความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก การเลือกใช้กระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานที่เหมาะสม เป็นต้น และจากการที่ได้ออกปฏิบัติหน้าที่ในการสอบเทียบปรับตั้งเครื่องมือทดสอบกระดาษในห้องปฏิบัติการทั้งของภาครัฐและเอกชนในส่วนของการผลิตแผ่นกระดาษลูกฟูก และกล่องลูกฟูก ทำให้ทราบถึงปัญหาของการทดสอบว่ายังไม่ได้ปฏิบัติตามมาตรฐานวิธีการทดสอบเท่าที่ควร และขาดความระมัดระวังในบางเรื่องที่จำเป็น เช่น การวางชิ้นทดสอบไม่ขนานกับการรับแรงของแท่นกด การใช้อุปกรณ์จับชิ้นทดสอบแรงกดวงแหวนที่มีความกว้างของร่องวงแหวนแตกต่างกัน ความขนานของแท่นกด/แท่นรับชิ้นทดสอบ ความเร็วของแท่นกดชิ้นทดสอบของเครื่องทดสอบแรงกดแตกต่างกัน อุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูกแตกต่างกันการทดสอบสมบัติกระดาษโดยไม่คำนึงถึงสภาวะการทดสอบ เป็นต้น ดังนั้นทางกลุ่มวิจัยและพัฒนา 3 จึงเล็งเห็นถึงปัญหาดังกล่าว จึงได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ อาทิเช่น น้ำหนักมาตรฐาน ปริมาณความชื้นในกระดาษ ความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ และอุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูก เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะมีอิทธิพลต่อสมบัติด้านแรงกดของกระดาษทำลูกฟูก กระดาษผิวกล่อง แผ่นกระดาษลูกฟูกและกล่องลูกฟูกด้วย ซึ่งข้อมูลที่ได้จะสามารถนำมาสรุปเพื่อชี้แนะ สนับสนุน และกระตุ้นให้ห้องปฏิบัติการดังกล่าวเกิดความระมัดระวังและตระหนักถึงความสำคัญของการปฏิบัติตามมาตรฐานของวิธีการทดสอบ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปร ต่างๆที่มีต่อสมบัติด้านแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูก เช่น น้ำหนักมาตรฐาน ความหนาแน่นเสมือน ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณความชื้นในกระดาษ ความกว้างของร่องวงแหวนของอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ อุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูก อุปกรณ์จับวางชิ้นทดสอบ ความเร็วของแท่นกดชิ้นทดสอบ และความขนานของแท่นกดและแท่นรับชิ้นทดสอบ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อให้การศึกษาเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้จึงได้วางแนวทางการดำเนินงาน ดังนี้

1.3.1.ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติด้านแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูก ดังนี้

1.3.1.1.น้ำหนักมาตรฐาน

1.3.1.2.ความหนาแน่นเสมือน

1.3.1.3.ความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณความชื้นในกระดาษ

1.3.1.4.ความกว้างของร่องวงแหวนของอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ

1.3.1.5.อุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูกและอุปกรณ์จับวางชิ้นทดสอบ

1.3.1.6.ความเร็วของแท่นกดชิ้นทดสอบและความขนานของแท่นกดและแท่นรับชิ้นทดสอบ โดยใช้กระดาษทำลอนลูกฟูก กระดาษผิวกล่อง และเยื่อใยยาวซัลเฟตไม่ฟอก

1.3.2.ศึกษาสมบัติด้านแรงกด เช่น ความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดด้านข้างลอนลูกฟูก และความต้านแรงกดระยะสั้น โดยใช้กระดาษทำลูกฟูก กระดาษผิวกล่อง และเยื่อใยยาวซัลเฟตไม่ฟอก

1.3.3.เปรียบเทียบผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อสมบัติด้านแรงกด

1.4 ระยะเวลาในการศึกษาวิจัย ตุลาคม พ.ศ. 2539 – กันยายน พ.ศ. 2540

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1.สามารถใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนเพื่อลดปัญหาข้อโต้แย้งการทดสอบสมบัติความต้านแรงกดระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายกระดาษกล่อง

1.5.2.เพื่อสนับสนุนและใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาวิธีการทดสอบ ตรวจสอบ สมบัติความต้านแรงกด

บทที่ 2
คุณลักษณะของเครื่องทดสอบและหลักการทดสอบ

ในการทดสอบความต้านแรงกดวงแหวน (Ring crush resistance) ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก (Concora or Flat crush resistance) ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก (Fluted edge crush of corrugating medium) ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงกด (Crush tester) และ ความต้านแรงกดระยะสั้น (Short span compression) ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงกดระยะสั้น (Short span compression tester) โดยมีหลักการทำงานของเครื่องทดสอบดังนี้

2.1. คุณลักษณะของเครื่องทดสอบ

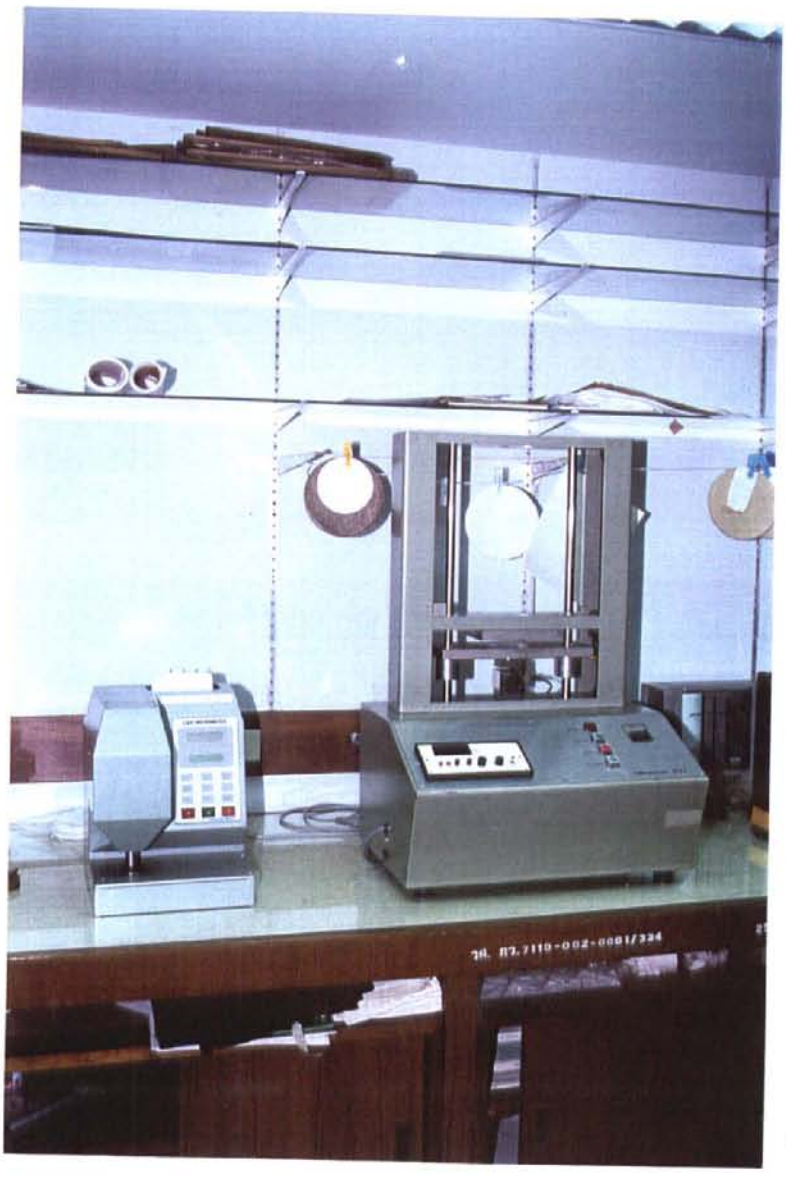
2.1.1 เครื่องทดสอบแรงกด

ในการทดสอบความต้านแรงกดของกระดาษ มาตรฐานการทดสอบได้กำหนดให้ใช้เครื่องทดสอบแรงกดที่มีคุณลักษณะ ดังนี้

2.1.1.1 **เครื่องทดสอบแรงกดชนิดแท่นกดบนหรือล่างเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่** เครื่องทดสอบชนิดนี้

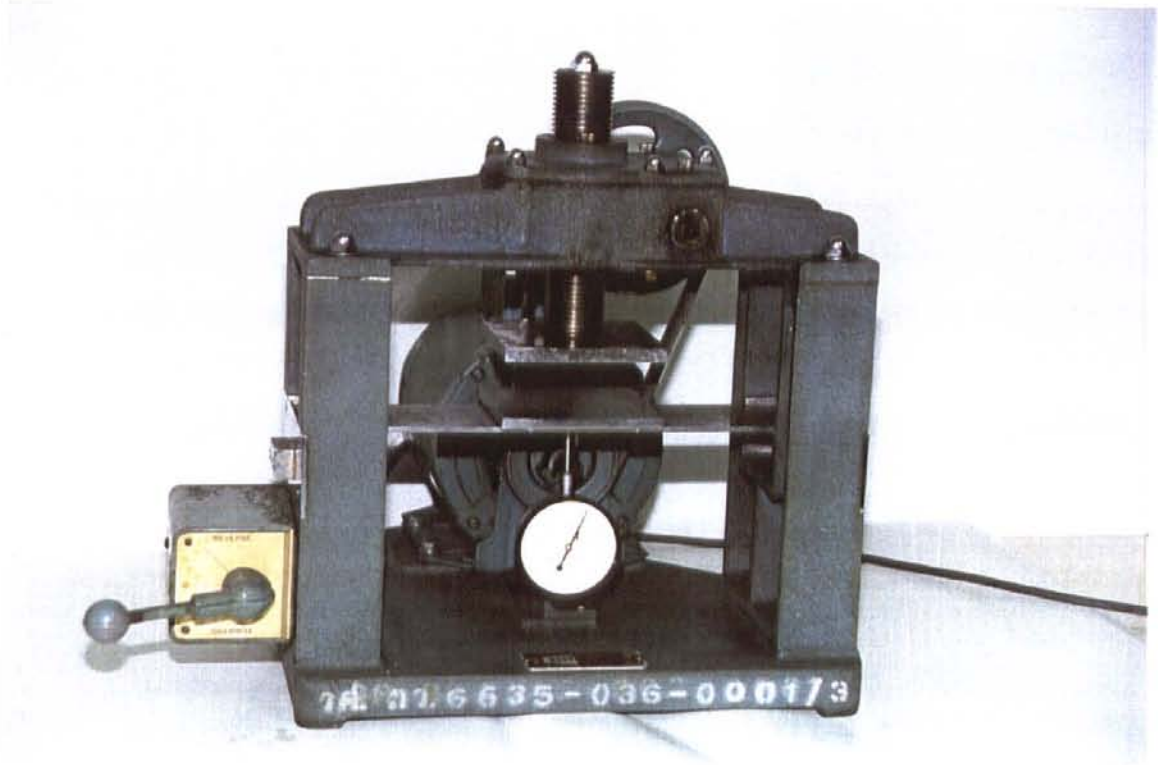
ประกอบด้วยแท่นกดซึ่งเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงในแนวดิ่ง การกดชิ้นทดสอบด้วยความเร็วคงที่หนึ่งแท่นกด ซึ่งอาจจะเป็นแท่นกดบนหรือแท่นกดล่างก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้ผลิตเครื่องทดสอบ และแท่นกดที่ไม่เคลื่อนที่จะติดกับโลดเซล (Load cell) รับแรงกดแล้วส่งถ่ายแรงกดไปยังชุดอ่านค่าที่เป็นตัวเลข(digital) ดังภาพที่ 1 และ 2

2.1.1.2 **เครื่องทดสอบแรงกดชนิดแท่นกดบนเคลื่อนที่กดด้วยอัตราการเพิ่มแรงกดคงที่** จะประกอบด้วยแท่นกดบนและแท่นกดล่าง ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ในแนวดิ่ง แท่นกดบนจะเคลื่อนที่กดชิ้นทดสอบที่วางอยู่บนแท่นกดล่างแล้วส่งถ่ายแรงไปยังมาตรวัดแรงกด โดยผ่านแผ่นเหล็กรับแรงกดมาตรฐาน (การยืดตัว โค้งงอคงที่) ด้วยอัตราการเพิ่มแรงกดคงที่ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 1 เครื่องทดสอบแรงกดซนิดแท่นกดบนเคลื่อนที่กดชิ้นทดสอบด้วยความเร็วคงที่

ภาพที่ 2 เครื่องทดสอบแรงกดชนิดแท่นกดล่างเคลื่อนที่กดชิ้นทดสอบด้วยความเร็วคงที่



ภาพที่ 3 เครื่องทดสอบแรงกดชนิดแท่นกดบนเคลื่อนที่กดชิ้นทดสอบด้วยอัตราการเพิ่มแรงกดคงที่

2.1.1.3 มาตรฐานที่กำหนดในการทดสอบของเครื่องทดสอบแรงกด

เครื่องทดสอบแรงกดทั้ง 2 แบบ มาตรฐานการทดสอบกำหนดให้ใช้ทดสอบได้ โดยกำหนดรายละเอียด ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของเครื่องทดสอบแรงกด นอกจากนี้ยังได้กำหนดขนาดของชิ้นทดสอบ แสดงในตารางที่1

ตารางที่1 แสดงคุณลักษณะที่สำคัญของเครื่องทดสอบแรงกด

สมบัติที่ต้องการทดสอบ	คุณลักษณะที่สำคัญของเครื่องทดสอบแรงกด (Crush tester)				
	อัตราการกดของแท่นกดชิ้นทดสอบ		ความขนานของแท่นกดชิ้นทดสอบบนกับแท่นรับชิ้นทดสอบ	ขนาดของชิ้นทดสอบ กว้างxยาว, , มิลลิเมตร	มาตรฐาน
	ความเร็วคงที่ ,มิลลิเมตรต่อนาที	การเพิ่มแรงคงที่, นิวตันต่อวินาที			
ความต้านแรงกดวงแหวน	10 ±0.2		เมื่อวัดทะแยงจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 1 ใน 2000 ส่วนหรือ 0.0005 นิ้วต่อนิ้ว หรือ 50 ไมโครเมตรต่อ 100 มิลลิเมตร	12.7 + 0 - 0.025 x 152.4 + 0 - 0.025	Tappi T 822 om-93
		111 ±22	เมื่อวัดทะแยงจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 1 ใน 2000	12.7 + 0 - 0.025 x 152.4 + 0 - 0.025	Tappi T 818 cm-97
ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก	10.0 ±0.25	111±22	เมื่อวัดทะแยงจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 1 ใน 2000	12.7x 152.4	Tappi T 809 om-93
	12.5 ±0.25	110±23	เมื่อวัดทะแยงจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 1 ใน 1000	12.7± 0 1 x 152.4	ISO 7263
ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก	-	111±22	เมื่อวัดทะแยงจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 1 ใน 2000	12.7x 152.4	Tappi T 824 om-93

หมายเหตุ 1. แท่นกดบน (กดชิ้นทดสอบบน) และแท่นรับชิ้นทดสอบ ต้องเรียบและขนานกันตลอด ไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวนอน ระยะระหว่างแท่นกดทั้งสอง เมื่อวัดทแยงจะคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินที่เกณฑ์กำหนดในตารางข้างบน

2. อุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูก (ลอน A) เท่ากับ 177 ± 8 องศาเซลเซียส ตาม Tappi T 809 om-93 และเท่ากับ 175 ± 8 องศาเซลเซียส ตาม ISO 7263

2.1.2 เครื่องทดสอบแรงกดระยะสั้น

ในการทดสอบความต้านแรงกดระยะสั้นของกระดาษ มาตรฐานการทดสอบได้กำหนดให้ใช้เครื่องทดสอบแรงกดระยะสั้นที่มีคุณลักษณะ ดังนี้

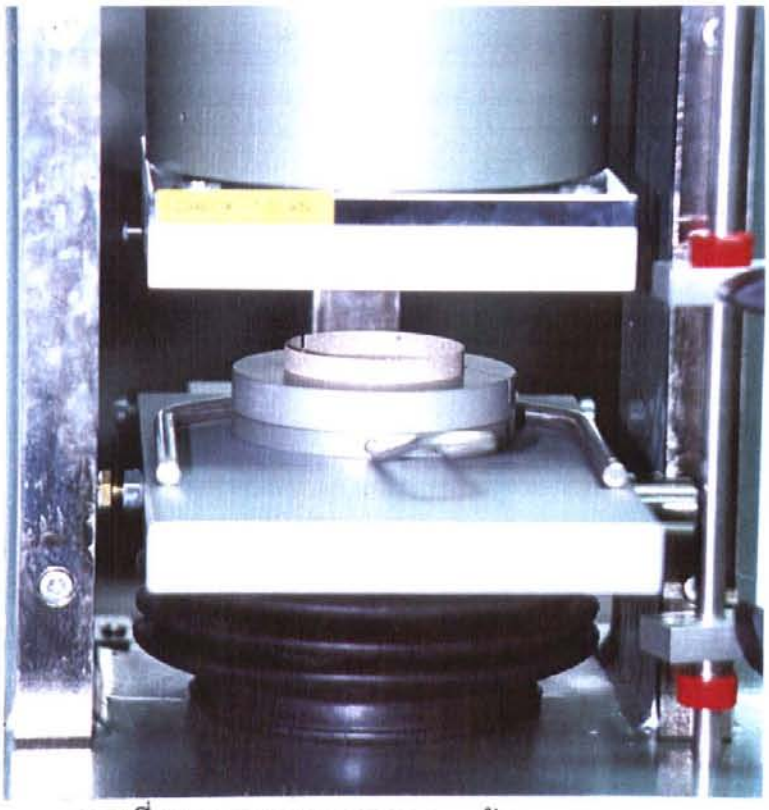
เครื่องทดสอบแรงกดระยะสั้น ประกอบด้วย ชุดปากจับชิ้นทดสอบ 2 ชุด ชุดแรกเมื่อจับชิ้นทดสอบแล้วจะไม่เคลื่อนที่ ชุดที่สอง เมื่อจับชิ้นทดสอบแล้วจะเคลื่อนที่เข้าหาปากจับชุดแรก เพื่อกดชิ้นทดสอบด้วยความเร็วในการกด 3 ± 1 มิลลิเมตรต่อนาที แนวของปากจับชิ้นทดสอบจะต้องอยู่ในแนวระนาบ และขนานกัน ผิวหน้าของปากจับต้องเรียบเสมอกัน จับชิ้นทดสอบได้แน่น ในขณะทำการทดสอบ ชิ้นทดสอบต้องไม่เลื่อน และสามารถจับชิ้นทดสอบที่มีความกว้าง 1.5 มิลลิเมตรได้เต็มหน้าของปากจับอย่างสม่ำเสมอด้วยแรงกดของปากจับเท่ากับ 2300 $\pm$ 500 นิวตัน โดยมีระยะเริ่มต้นของการทดสอบเท่ากับ 0.70 $\pm$ 0.05 มิลลิเมตร การวัดค่าแรงกดเมื่อโลดเซล ซึ่งติดกับปากจับชุดที่ไม่เคลื่อนที่ (ชุดแรก) ได้รับแรงกดจากชุดปากจับ (ชุดที่สอง) ที่เคลื่อนที่กดชิ้นทดสอบจะส่งสัญญาณค่าแรงกดที่สูงสุดก่อนการยุบตัวของชิ้นทดสอบไปยังชุดแสดงผลซึ่งเป็นตัวเลข ในหน่วยกิโลนิวตันต่อเมตร ดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 เครื่องทดสอบแรงกดระยะสั้น

2.2.หลักการทดสอบ

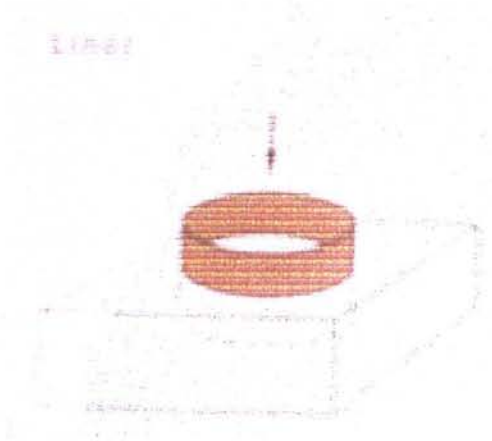
ในการทดสอบความต้านแรงกดกวงแหวน, ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก, ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก และความต้านแรงกดระยะสั้น มีหลักการการทดสอบ ดังนี้

2.2.1 **ความต้านแรงกดวงแหวน** เป็นความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกดที่กระทำบนขอบกระดาษจนกระดาษยุบตัว การทดสอบโดยนำชิ้นทดสอบที่มีขนาดกว้าง 12.7 + 0 (- 0.025 มิลลิเมตร) ยาว 154.2 + 0 (- 0.250 มิลลิเมตร) ใส่ในอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ ซึ่งประกอบด้วยแป้นวงกลมนอกเจาะเป็นรูปทรงกระบอกลึก 6.35 ±0.25 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางของรูปทรงกระบอก 49.276±0.025 มิลลิเมตร พื้นล่างของรูปทรงกระบอกขนานกับฐานของแป้นวงกลมนอกภายใน ±0.0127 มิลลิเมตร และผนังของรูปทรงกระบอกที่เจาะตั้งฉากกับฐานของแป้นวงกลมตัวนอก แป้นวงกลมตัวในวางอยู่ในหลุมรูปทรงกระบอกที่มีความหนาเท่ากับความลึกของหลุม ยึดอยู่กับที่โดยมีจุดศูนย์กลางร่วมกับหลุมรูปทรงกระบอก และสามารถหมุนรอบตัวเองได้อย่างอิสระ ร่องวงแหวนที่เกิดขึ้นระหว่างแป้นวงกลมตัวในกับผนังของรูปทรงกระบอกมีความกว้างสม่ำเสมอ โดยตลอด และสามารถปรับให้กว้างมากน้อยได้โดยการเลือกใช้แป้นวงกลมตัวในที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ กัน การทดสอบให้เลือกขนาดของแป้นวงกลมตัวในที่ทำให้เกิดร่องกว้างเป็นร้อยละ 150 ถึง 175 ของความหนาของชิ้นทดสอบ ร่องนำชิ้นทดสอบอยู่ในแนวเส้นสัมผัสของร่องวงแหวน มีความลึกเท่ากับร่องวงแหวน มีความยาวถึงขอบนอกของแป้นวงกลมตัวนอก และมีความกว้างที่จุดสัมผัส ไม่มากกว่า 1.28 มิลลิเมตร ซึ่งการใส่ชิ้นทดสอบต้องสวมถุงมือ ก่อนจับชิ้นทดสอบสอดเข้าไปในร่องนำชิ้นทดสอบที่ละชิ้น โดยให้ครึ่งหนึ่งของจำนวนชิ้นทดสอบทั้งหมด หันด้านสักหลาดเข้าด้านใน และอีกครึ่งหนึ่งหันด้านสักหลาดออกด้านนอกแล้ววางอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบลงบนส่วนกลางของแท่นกดตัวล่าง (แท่นรับชิ้นทดสอบ) เดินเครื่องจนกระทั่งส่วนขอบของชิ้นทดสอบที่อยู่เหนือที่จับหักพับยุบตัวลง บันทึกค่าแรงสูงสุดที่ใช้ เป็นค่าความต้านแรงกดวงแหวน มีหน่วยเป็น นิวตัน ดังภาพที่ 5 การทดสอบปฏิบัติตามตาม Tappi standard test method T 822



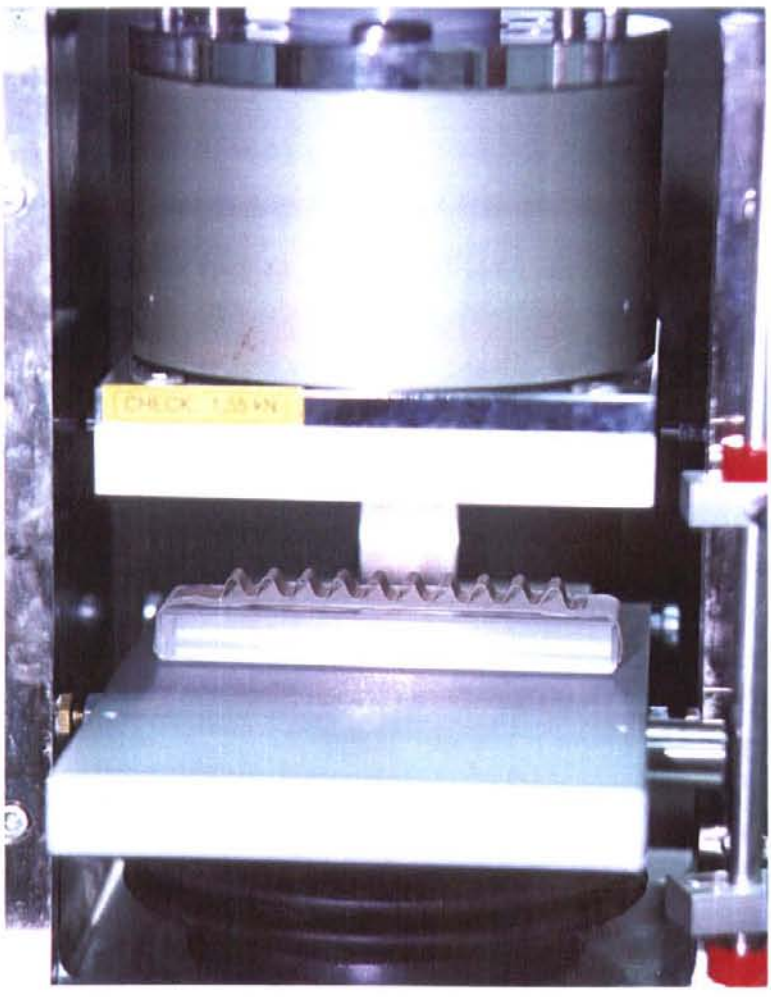
ภาพที่ 5 แสดงการทดสอบความต้านแรงกดวงแหวน

ภาพที่ 6 แสดงชุดอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ

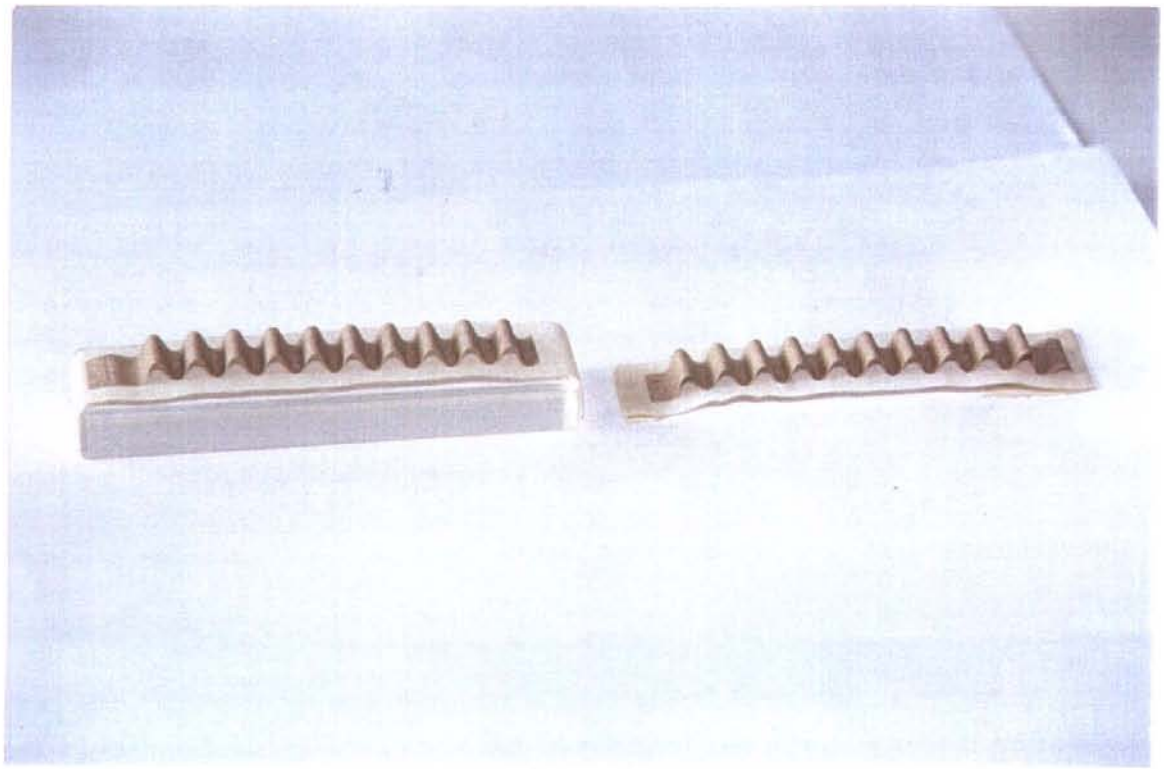


ภาพที่ 7 แสดงทิศทางการกดชิ้นทดสอบของแท่นกด ขณะทำการทดสอบความต้านแรงกดวงแหวน

2.2.2 **ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก** เป็นความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกดลอนลูกฟูกที่กระทำบนลอนลูกฟูกจนยุบตัววิธีการทดสอบทำโดยนำชิ้นทดสอบที่มีขนาดกว้าง 12.7 + 0 (- 0.025 มิลลิเมตร) ยาว 154.2 + 0 (- 0.250 มิลลิเมตร) ไปทำลอนลูกฟูกด้วยเครื่องทำลอน ชนิดลอน A ที่กำหนด นำชิ้นทดสอบที่ทำลอนแล้วออกมาวางบนชุดวางลอนลูกฟูก ซึ่งมีลักษณะเป็นเฟืองหวี นำฟันเฟืองกดทับบนชิ้นทดสอบที่ทำลอนแล้วโดยวางให้เข้ากันสนิทพอดี ตัดแถบกาวยาวประมาณ130 มิลลิเมตร วางทาบบนชุดวางลอนที่มีชิ้นทดสอบแล้วอย่างระมัดระวัง ใช้มือลูบให้แถบกาวติดกับส่วนยอดของลอนลูกฟูก ดึงฟันเฟืองออกจากชุดวางลอนในแนวระนาบ นำชิ้นทดสอบที่ติดกับแถบการออกจากเฟืองหวี แล้วนำไปวางที่แท่นกดล่าง (แท่นรับชิ้นทดสอบ) ของเครื่องกด โดยหันด้านที่เป็นลอนลูกฟูกขึ้นด้านบน เดินเครื่องทดสอบแรงกดให้มีแรงมากระทำบนลอนลูกฟูกด้วยอัตราที่กำหนด แล้วบันทึกค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกที่ใช้ เมื่อลอนลูกฟูกยุบตัวจนแบน มีหน่วยเป็นนิวตัน ดังภาพที่ 8 การทดสอบปฏิบัติตามตาม Tappi standard test method T 809

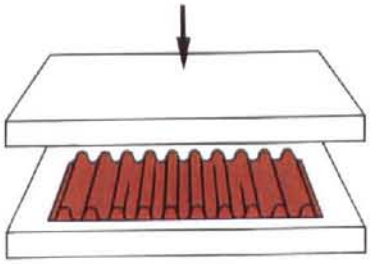


ภาพที่ 8 แสดงการทดสอบความต้านแรงกดลอนลูกฟูก



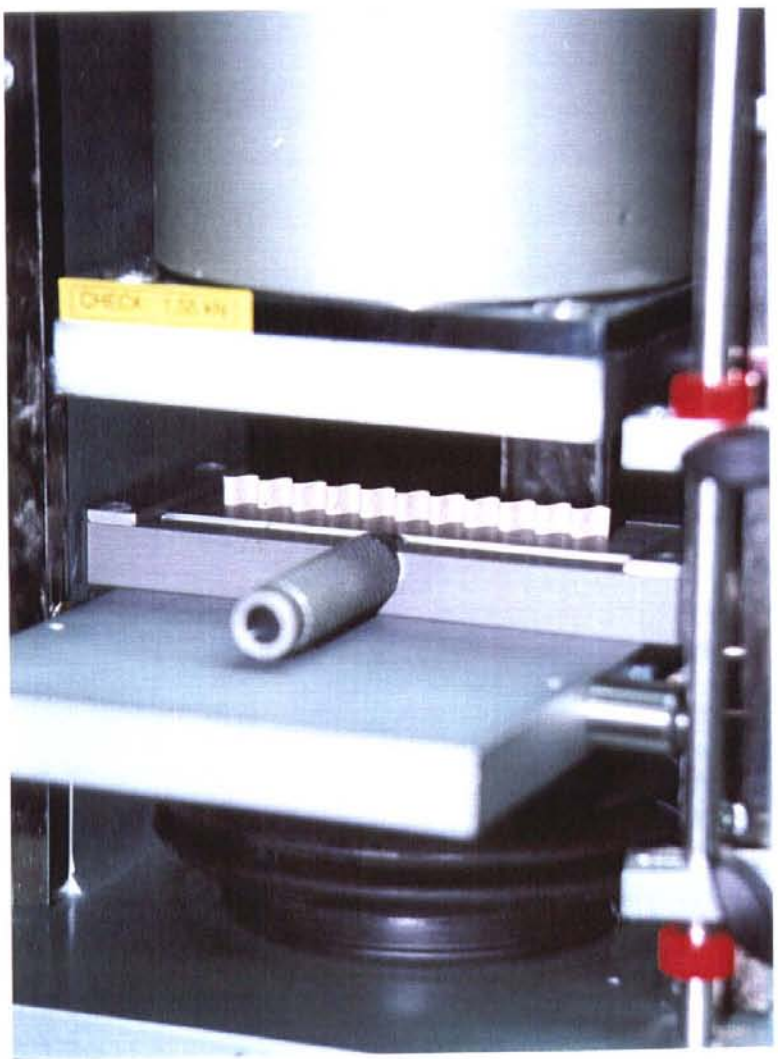
(B) (A)

ภาพที่ 9 แสดงลักษณะของชิ้นทดสอบที่ผ่านการทำลอนลูกฟูก (A) การใส่ชิ้นทดสอบในอุปกรณ์เสริม (B)

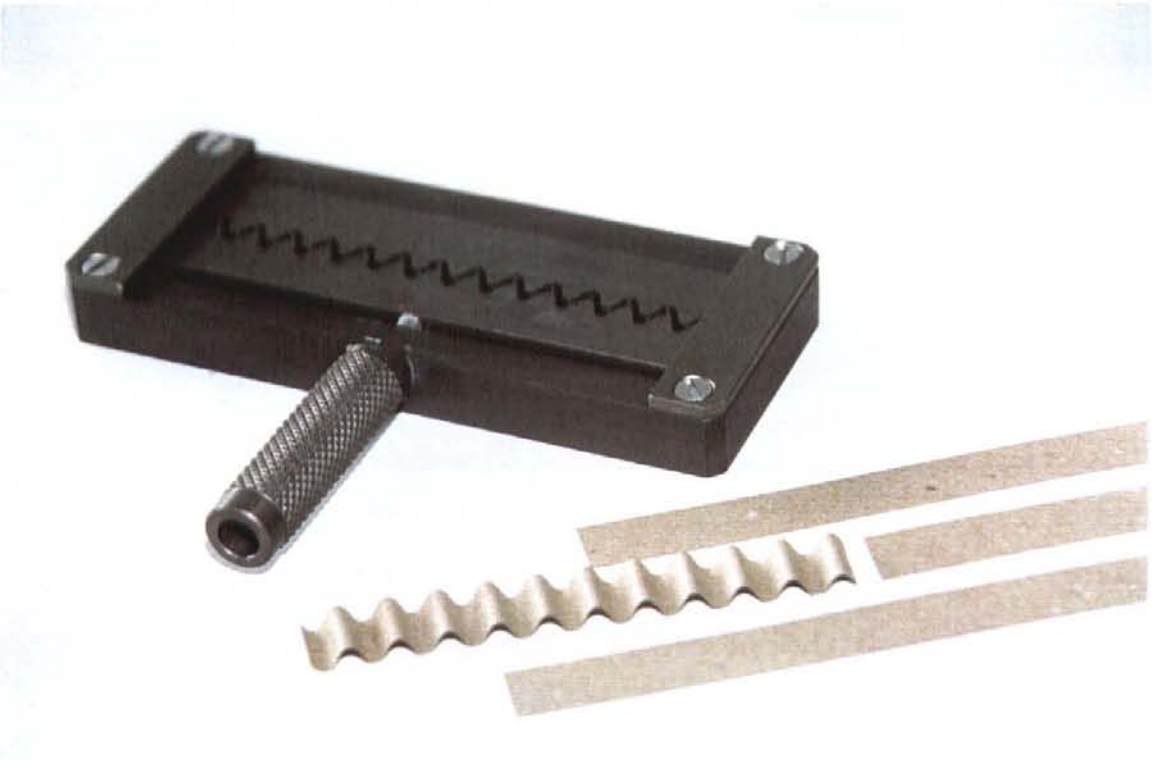


ภาพที่ 10 แสดงทิศทางของการทดสอบ

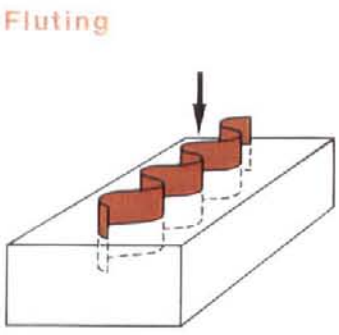
2.2.3 **ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก** เป็นความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกดที่กระทำบนขอบลอนลูกฟูกของกระดาษจนกระดาษยุบตัว โดยนำชิ้นทดสอบที่มีขนาดกว้าง 12.7 + 0 (- 0.025 มิลลิเมตร) ยาว 154.2 + 0 (- 0.250 มิลลิเมตร) ไปทำลอนลูกฟูกด้วยเครื่องทำลอน ชนิดลอน A ที่กำหนด นำชิ้นทดสอบที่ทำลอนแล้วมาใส่ในอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบทีละชิ้น แล้ววางอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบให้อยู่ตรงกลางของแท่นกดตัวล่าง (แท่นรับชิ้นทดสอบ) เดินเครื่องจนกระทั่งส่วนขอบของชิ้นทดสอบที่อยู่เหนือที่จับหักพับยุบตัวลง บันทึกค่าแรงสูงสุดที่ใช้เป็นค่าความต้านแรงกด มีหน่วยเป็นนิวตันดังภาพที่ 11, 12, 13 การทดสอบปฏิบัติตาม Tappi standard test method T 824



ภาพที่ 11 แสดงการทดสอบความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก



ภาพที่ 12 แสดงชุดอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบที่ผ่านการทำลอนลูกฟูก



ภาพที่ 13 แสดงทิศทางของการทดสอบ

ภรมวิทยาศาสตร์บริการ

2.2.4 **ความต้านแรงกดระยะสั้น** เป็นความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกดที่กระทำบนชิ้นทดสอบในด้านกว้างของชิ้นทดสอบในช่วงระยะกดสั้น ๆ ประมาณ 0.70 ± 0.05 มิลลิเมตร (ระยะห่างของปากจับเริ่มต้น) จนกระดาษยุบตัว โดยนำชิ้นทดสอบที่มีขนาดกว้าง 15± 0.1 มิลลิเมตร ยาวอย่างน้อย 70 มิลลิเมตรใส่ในปากจับชิ้นทดสอบทั้งสองของเครื่อง แล้วยึดให้แน่น (ครั้งละ 1 ชิ้นทดสอบ) เดินเครื่องกดชิ้นทดสอบด้วยความเร็วในการกด 3 ± 1 มิลลิเมตรต่อนาที จนกระทั่งส่วนของชิ้นทดสอบในระหว่างปากจับทั้งสองยุบตัวลง บันทึกค่าแรงสูงสุดที่ใช้เป็นค่าความต้านแรงกดระยะสั้น มีหน่วยเป็น กิโลนิวตันต่อเมตร ดังภาพที่ 14 การทดสอบปฏิบัติตาม Tappi standard test method T 826

ภาพที่ 14 แสดงชิ้นทดสอบที่วางในระหว่างปากจับชิ้นทดสอบและการทดสอบความต้านแรงกดระยะสั้น

บทที่3
การดำเนินการทดสอบ

3.1 วัตถุดิบ

ในการทดสอบสมบัติความต้านแรงกดดังกล่าว ได้ใช้วัตถุดิบ 3 ประเภท ดังนี้

3.1.1 เยื่อใยยาวซัลเฟตชนิดไม่ฟอก (Unbleached Pulp)

3.1.2 กระดาษผิวกล่อง (Liner board)

3.1.3 กระดาษทำลูกฟูก (Corrugating medium)

ซึ่งวัตถุดิบดังกล่าวได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทสยามคราฟท์อุตสาหกรรม จำกัดและบริษัทสยามบรรจุภัณฑ์ราชบุรี จำกัด มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่2

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบ

ชนิดตัวอย่าง	หมายเลขตัวอย่าง	น้ำหนักมาตรฐาน, กรัมต่อตารางเมตร	ความหนา, มิลลิเมตร
เยื่อใยยาวซัลเฟตชนิดไม่ฟอก	-	-	-
กระดาษผิวกล่อง	KI 125	125	0.183
	KI 150	150	0.217
	KI 185	185	0.264
	KI 230	230	0.292
กระดาษทำลูกฟูก	CA 105	105	0.185
	CA 125	125	0.227
	CS 125	125	0.238

3.2เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องชั่งละเอียด

3.2.2 เครื่องทดสอบความหนา

3.2.3 เครื่องทดสอบความต้านแรงกด

3.2.4 เครื่องทดสอบความต้านแรงกดระยะสั้น

3.2.5 เครื่องทำลอนลูกฟูก

3.2.6 อุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ

3.2.7 อุปกรณ์จับชิ้นทดสอบที่ทำลอนลูกฟูกแล้ว

3.2.8 เครื่องตัดชิ้นทดสอบ ขนาด 12.7 $\pm$0.25 มิลลิเมตร x 152.4 $\pm$0.2 มิลลิเมตร

3.2.9 แถบกาวชนิด 2 หน้า กว้างประมาณ 20 มิลลิเมตร

3.3 การเตรียมตัวอย่างและชิ้นทดสอบ

3.3.1 นำเยื่อใยยาวซัลเฟตชนิดไม่ฟอก มาทำแผ่นทดสอบมาตรฐานขนาด 100, 200, และ 300 กรัมต่อตารางเมตร โดยเครื่องทำแผ่นทดสอบมาตรฐาน ตาม Tappi Standard T 205

3.3.2 นำแผ่นทดสอบมาตรฐานที่ได้จากเยื่อใยยาว จากข้อ 3.3.1 ชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณหาน้ำหนักมาตรฐานของแผ่นทดสอบตาม Tappi Standard T 205

3.3.3 นำกระดาษผิวกล่อง กระดาษทำลูกฟูก ตัดชิ้นทดสอบขนาด 20x 25 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณหาน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ ตาม ISO 536

3.3.4 นำกระดาษผิวกล่อง กระดาษทำลูกฟูก และแผ่นทดสอบมาตรฐานจากข้อ 3.3.2 มาเตรียมชิ้นทดสอบขนาดกว้างx ยาว เท่ากับ 12.7 x 152.4 มิลลิเมตร สำหรับทดสอบความต้านแรงกดวงแหวน และ ความต้านแรงกดระยะสั้น สำหรับการทดสอบความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก ต้องนำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้ไปทำลอนลูกฟูกด้วยเครื่องทำลอนลูกฟูกก่อนแล้วจึงดำเนินการทดสอบ

3.3.5 นำกระดาษผิวกล่อง กระดาษทำลูกฟูก มาเตรียมชิ้นทดสอบขนาดกว้างx ยาว เท่ากับ 12.7 x 152.4 มิลลิเมตร แล้วเก็บไว้ในสภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส เดียวกัน แต่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 50, 60, 65, 70 และ 80 ตามลำดับ โดยเก็บชิ้นทดสอบดังกล่าวไว้ที่สภาวะการควบคุมทุกระดับนาน 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ แล้ววิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในกระดาษที่สภาวะการควบคุมต่าง ๆ ตามที่กำหนดและทดสอบความต้านแรงกดวงแหวน

3.4 วิธีการทดสอบ

3.4.1 นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.4 ทดสอบความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก ด้วยเครื่องทดสอบแรงกด และทดสอบความต้านแรงกดระยะสั้น ด้วยเครื่องทดสอบแรงกดระยะสั้น ตามลำดับ

3.4.3 นำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้จากข้อ 3.3.5 ทดสอบความต้านแรงกดวงแหวน ที่สภาวะการทดสอบข้อ 3.5.2

3.5 สภาวะการทดสอบ

3.5.1 ก่อนการทดสอบต้องเก็บชิ้นทดสอบไว้ที่สภาวะควบคุมการทดสอบที่

อุณหภูมิ, องศาเซลเซียส	27 $\pm$1
ความชื้นสัมพัทธ์, ร้อยละ	65$\pm$2

เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ

3.5.2 เก็บชิ้นทดสอบไว้ที่สภาวะควบคุมการทดสอบที่ อุณหภูมิ 27 $\pm$1 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50, 60, 65, 70 และ 80 ตามลำดับ เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบ (เฉพาะตัวอย่างที่ต้องการศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อค่าความต้านแรงกด)

บทที่ 4
ผลการทดสอบ

4.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความต้านแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

4.1.1 การศึกษาผลของน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก และความต้านแรงกดระยะสั้นของกระดาษ โดยใช้แผ่นทดสอบมาตรฐานที่ได้มาจากเยื่อใยยาวซัลเฟตไม่ฟอก จากข้อ 3.3.4 ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลของน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษต่อค่าดัชนีความต้านแรงกดกระดาษ

หน่วย : กิโลนิวตัน.เมตร^{2}ต่อกิโลกรัม	น้ำหนักมาตรฐาน,กรัมต่อตารางเมตร		
	97.5 (95.0-100)	197.5 (195-200)	296.5 (293-300)
ดัชนีความต้านแรงกดวงแหวน	9.6	12.8	14.9
ดัชนีความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก	14.8	18.8	20.0
ดัชนีความต้านแรงกดระยะสั้นของกระดาษ	27.3	27.6	27.8

ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่าดัชนีความต้านแรงกดของกระดาษในรูปของดัชนีความต้านแรงกดวงแหวน ดัชนีความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกมีค่าสูงขึ้นด้วย โดยที่ระดับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่ 97.5, 197.5 และ 296.5 กรัมต่อตารางเมตร ค่าดัชนีความต้านแรงกดวงแหวนจะมีค่าเท่ากับ 9.6, 12.8 และ 14.9 กิโลนิวตัน.ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันค่าดัชนีความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกมีค่าเท่ากับ 14.8, 18.8, 20.0 กิโลนิวตัน.ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ส่วนดัชนีความต้านแรงกดระยะสั้นของกระดาษมีค่าเท่ากับ 27.3, 27.6 และ 27.8 กิโลนิวตันตารางเมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรือมีแนวโน้มเกือบคงที่

4.1.2 การศึกษาผลของความหนาแน่นเสมือนของกระดาษต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก และความต้านแรงกดระยะสั้นของกระดาษ โดยใช้แผ่นทดสอบมาตรฐานที่ได้มาจากเยื่อใยยาวซัลเฟตไม่ฟอก จากข้อ 3.3.4 ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลของความหนาแน่นเสมือนของกระดาษต่อค่าดัชนีความต้านแรงกดกระดาษ

น้ำหนักมาตรฐาน, กรัมต่อตารางเมตร	ความหนาแน่นเสมือน, กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร	หน่วย : กิโลนิวตัน.ตารางเมตรต่อกิโลกรัม		
		ความต้านแรงกดวงแหวน	ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก	ความต้านแรงกดระยะสั้น
97.5	590	9.0	14.8	27.3
	750	9.6	17.0	30.0
	895	10.5	18.0	32.2
197.5	600	12.8	18.8	27.6
	770	16.7	20.8	29.3
	910	17.5	21.0	32.0
296.5	595	14.9	20.0	27.0
	800	16.9	21.2	28.5
	965	19.0	23.0	31.0

ผลการทดสอบแสดงว่า

1. ค่าดัชนีความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระดาษมีความหนาแน่นเสมือนเพิ่มขึ้น เช่น ที่ระดับน้ำหนักมาตรฐาน 197.5 และ 296.5 กรัมต่อตารางเมตรกระดาษมีความหนาแน่นเสมือนเท่ากับ 600, 770, 910 และ 595, 800, 965 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าดัชนีความต้านแรงกดวงแหวนมีค่าเท่ากับ 12.8, 16.7, 17.5 และ 14.9, 16.9 และ 19.0 กิโลนิวตัน.ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่ที่ระดับน้ำหนักมาตรฐาน 97.5 กรัมต่อ ตารางเมตรกระดาษมีความหนาแน่นเสมือนเท่ากับ 590, 750 และ 895 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าดัชนีความต้าน แรงกดวงแหวนมีค่าเท่ากับ 9.0, 9.6 และ 10.5 กิโลนิวตัน.ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษน้อยๆ มวล(เนื้อของกระดาษ) ในการรับความต้านแรงกดวงแหวนมีน้อยค่าดัชนีความต้านแรงกดวงแหวนจึงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

2. ที่ทุกระดับน้ำหนักมาตรฐาน ค่าดัชนีความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกของกระดาษมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อกระดาษมีความหนาแน่นเสมือนเพิ่มขึ้น ที่ระดับน้ำหนักมาตรฐาน 97.5, 197.5 และ 296.5 กรัมต่อตารางเมตร กระดาษมีความหนาแน่นเสมือนเท่ากับ 590, 750, 895 600, 770, 910 และ 595, 800, 965 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าดัชนีความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกมีค่าเท่ากับ 14.8, 17.0, 18.0 18.8, 20.8, 21.0 และ 20.0, 21.2 และ 23.0 กิโลนิวตัน.ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

3. ที่ทุกระดับน้ำหนักมาตรฐาน ค่าดัชนีความต้านแรงกดระยะสั้นของกระดาษมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระดาษมีความหนาแน่นเสมือนเพิ่มขึ้น ที่ระดับน้ำหนักมาตรฐาน 97.5, 197.5 และ 296.5 กรัมต่อตารางเมตรกระดาษมีความหนาแน่นเสมือนเท่ากับ 590, 750, 895 600, 770, 910 และ 595, 800, 965 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าดัชนีความต้านแรงกดระยะสั้นมีค่าเท่ากับ 27.3, 30.0, 32.2 27.6, 29.3, 32.0 และ 27.0, 28.5 และ 31.0 กิโลนิวตัน.ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ

4.1.3 การศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณความชื้นในกระดาษต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษกล่องลูกฟูก โดยใช้ชิ้นทดสอบจากข้อ 3.3.5 ที่เตรียมไว้ทั้งแนวขนานเครื่องและแนวขวางเครื่อง โดยควบคุมสภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส เดียวกัน แต่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 50, 60, 65, 70 และ 80 ตามลำดับ โดยเก็บชิ้นทดสอบดังกล่าวไว้ที่สภาวะการควบคุมทุกระดับนาน 24 ชั่วโมงก่อนการทดสอบผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงผลของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณความชื้นในกระดาษต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

ประเภทของกระดาษ	ความชื้นสัมพัทธ์, ร้อยละ	ปริมาณความชื้นในกระดาษ, ร้อยละ	ความต้านแรงกดวงแหวน,นิวตัน	
			แนวขนานเครื่อง	แนวขวางเครื่อง
กระดาษทำลูกฟูก CA 105	50	6.0	160	98
	60	7.7	150	92
	65	9.0	146	84
	70	9.5	143	77
	80	10.0	123	70
กระดาษทำลูกฟูก CA 125	50	6.3	243	161
	60	7.5	235	150
	65	9.0	214	141
	70	9.7	193	125
	80	10.5	180	123
กระดาษทำลูกฟูก CS 125	50	6.5	224	159
	60	7.8	220	154
	65	9.0	210	150
	70	9.7	180	138
	80	10.3	173	133
กระดาษผิวกล่อง KI 125	50	6.2	219	146
	60	7.5	212	136
	65	9.0	194	129
	70	9.7	190	115
	80	10.2	179	111

ตารางที่ 5 แสดงผลของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณความชื้นในกระดาษต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ต่อ)

ประเภทของกระดาษ	ความชื้นสัมพัทธ์, ร้อยละ	ปริมาณความชื้นในกระดาษ, ร้อยละ	ความต้านแรงกดวงแหวน,นิวตัน	
			แนวขนานเครื่อง	แนวขวางเครื่อง
กระดาษผิวกล่อง KI 150	50	6.5	298	191
	60	7.7	285	186
	65	9.0	261	167
	70	9.8	258	162
	80	10.3	247	155
กระดาษผิวกล่อง KI 185	50	6..4	381	268
	60	7.8	352	254
	65	9.1	322	226
	70	9.7	301	214
	80	10.5	293	201
กระดาษผิวกล่อง KI 230	50	6.1	498	374
	60	7.3	483	350
	65	8.9	463	334
	70	9.6	450	323
	80	10.2	438	309

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า กระดาษที่ทดสอบทุกชนิดและทุกระดับน้ำหนักมาตรฐานและทั้งสองแนวค่าความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษมีค่าลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในการควบคุมสภาวะของกระดาษก่อนการทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณความชื้นในกระดาษที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงจะมีมากกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ เพราะปริมาณความชื้นในกระดาษที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความต้านแรงกดวงแหวนลดลง เช่น ปริมาณความชื้นในกระดาษผิวกล่อง KI230 ร้อยละ 6.1, 7.3, 8.9, 9.6, และ 10.2 ต่อความต้านแรงกดวงแหวนจะมีค่า 498, 483, 463, 450 และ 438 นิวตัน (ในแนวขนานเครื่อง) และ 374, 350, 334, 323. และ 309 นิวตัน (ในแนวขวางเครื่อง) เป็นต้น

4.1.4 การศึกษาผลของความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

การศึกษาผลของความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ ซึ่งการทดสอบความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษ โดยใช้เ ครื่องทดสอบแรงกดต้องมีอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบที่สามารถปรับความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบได้ในช่วงตั้งแต่ 0.210 ถึง 1.585 มิลลิเมตร คือ ที่ระดับความกว้างของร่องวงแหวน 0.210, 0.275, 0.320, 0.380, 0.445, 0.580, 0.710, 0.760, 0.895, 1.035, 1.160, 1.308 และ 1.585 มิลลิเมตร รวมทั้งหมด 13 ระดับ และใช้ชิ้นทดสอบ จากข้อ 3.3.4 ที่เตรียมไว้ของกระดาษผิวกล่อง และกระดาษทำลูกฟูก ทำการทดสอบทั้งแนวขนานเครื่องและแนวขวางเครื่อง ซึ่งในการเลือกใช้ชุดอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบที่มีความกว้างของร่องวงแหวนต่างๆ กันหลายระดับในการทดสอบ เมื่อใส่ชิ้นทดสอบลงในชุดอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบแล้ว จะเหลือความกว้างของร่องวงแหวนในอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ เนื่องจากความหนาของกระดาษที่ใช้ทดสอบไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงต้องเลือกอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบสำหรับใส่ชิ้นทดสอบที่มีร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบต่างๆ กัน วัดความกว้างของร่องวงแหวนก่อนและหลังใส่ชิ้นทดสอบที่มีความหนาต่าง ๆกันแล้วบันทึกความกว้างของร่องวงแหวน ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงผลของความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

ประเภทของกระดาษ	ความหนา, มิลลิเมตร	ความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ, มิลลิเมตร	อัตราส่วนระหว่างความกว้างของร่องวงแหวนต่อความหนาชิ้นทดสอบ×100	ความต้านแรงกดวงแหวน,นิวตัน	
				แนวขนานเครื่อง	แนวขวางเครื่อง
กระดาษทำลูกฟูก CA 105	0.185	0.210	114	136	84.2
		0.275	149	148	89.1
		0.320	173	142	91.0
		0.380	205	135	92.0
		0.445	241	132	88.4
		0.580	314	124	87.6
		0.710	384	121	82.7
		0.760	411	116	82.2
		0.895	484	109	79.4
		1.035	559	**	**
		1.160	627	**	**
		1.380	746	**	**
		1.585	857	**	**

** ชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบมาก การจับยึดชิ้นทดสอบได้ไม่ดี จึงไม่ได้ทำการทดสอบ

ตารางที่ 6 แสดงผลของความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ต่อ)

ประเภทของกระดาษ	ความหนา, มิลลิเมตร	ความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ, มิลลิเมตร	อัตราส่วนระหว่างความกว้างของร่องวงแหวนต่อความหนาชิ้นทดสอบ ×100	ความต้านแรงกดวงแหวน,นิวตัน	
				แนวขนานเครื่อง	แนวขวางเครื่อง
กระดาษทำลูกฟูก CA 125	0.227	0.210	93	*	*
		0.275	121	204	141
		0.320	141	213	146
		0.380	167	212	144
		0.445	196	207	144
		0.580	256	201	144
		0.710	313	200	142
		0.760	334	197	136
		0.895	394	190	134
		1.035	456	179	131
		1.160	511	**	**
		1.380	608	**	**
		1.585	698	**	**
กระดาษทำลูกฟูก CS 125	0.238	0.210	88	*	*
		0.275	116	201	150
		0.320	134	208	158
		0.380	160	209	157
		0.445	187	204	152
		0.580	244	200	151
		0.710	298	198	149
		0.760	319	194	134
		0.895	376	190	133
		1.035	435	**	**
		1.160	487	**	**
		1.380	580	**	**
		1.585	666	**	**

* ทดสอบไม่ได้เนื่องจากชิ้นทดสอบมีความหนามากกว่าความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ

**ชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบมาก การจับยึดชิ้นทดสอบได้ไม่ดีจึงไม่ได้ทำการทดสอบ

ตารางที่ 6 แสดงผลของความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ต่อ)

ประเภทของกระดาษ	ความหนา, มิลลิเมตร	ความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ, มิลลิเมตร	อัตราส่วนระหว่างความกว้างของร่องวงแหวนต่อความหนาชิ้นทดสอบ ×100	ความต้านแรงกดวงแหวน,นิวตัน	
				แนวขนานเครื่อง	แนวขวางเครื่อง
กระดาษผิวกล่อง KI 125	0.183	0.210	115	190	122
		0.275	150	194	124
		0.320	175	190	123
		0.380	208	188	123
		0.445	243	186	123
		0.580	317	180	121
		0.710	388	180	120
		0.760	415	179	120
		0.895	489	**	**
		1.035	566	**	**
		1.160	634	**	**
		1.380	754	**	**
		1.585	866	**	**
กระดาษผิวกล่อง KI 150	0.217	0.210	97	*	*
	265	0.275	127	265	169
	262	0.320	147	262	168
	258	0.380	175	258	165
	257	0.445	205	257	167
	250	0.580	267	250	164
	251	0.710	327	251	163
	247	0.760	350	247	162
		0.895	412	**	**
		1.035	477	**	**
		1.160	535	**	**
		1.380	636	**	**
		1.585	730	**	**

*ทดสอบไม่ได้เนื่องจากชิ้นทดสอบมีความหนามากกว่าความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ

**ชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ มาก การจับยึดชิ้นทดสอบได้ไม่ดี จึงไม่ได้ทำการทดสอบ

ตารางที่ 6 แสดงผลของความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ต่อ)

ประเภทของกระดาษ	ความหนา, มิลลิเมตร	ความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ, มิลลิเมตร	อัตราส่วนระหว่างความกว้างของร่องวงแหวนต่อความหนาชิ้นทดสอบ ×100	ความต้านแรงกดวงแหวน,นิวตัน	
				แนวขนานเครื่อง	แนวขวางเครื่อง
กระดาษผิวกล่อง KI 185	0.264	0.210	80	*	*
		0.275	104	320	221
		0.320	121	323	226
		0.380	144	325	225
		0.445	169	322	224
		0.580	220	319	222
		0.710	269	313	209
		0.760	288	315	210
		0.895	339	314	208
		1.035	392	312	200
		1.160	439	**	**
		1.380	523	**	**
		1.585	600	**	**
กระดาษผิวกล่อง KI 230	0.292	0.210	72	*	*
		0.275	94	452	330
		0.320	110	469	335
		0.380	130	463	334
		0.445	152	454	332
		0.580	199	450	330
		0.710	243	441	329
		0.760	260	439	329
		0.895	307	439	328
		1.035	354	438	327
		1.160	397	**	**
		1.380	473	**	**
		1.585	543	**	**

*ทดสอบไม่ได้เนื่องจากชิ้นทดสอบมีความหนามากกว่าความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ

**ชิ้นทดสอบมีความหนาน้อยกว่าความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบมาก การจับยึดชิ้นทดสอบได้ไม่ดี จึงไม่ได้ทำการทดสอบ

ในการทดสอบความต้านแรงกดวงแหวนทั้งในแนวขนานเครื่องและแนวขวางเครื่องของกระดาษทำลูกฟูกและกระดาษผิวกล่อง การเลือกใช้ชุดอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วนความกว้างของร่องวงแหวนต่อความหนาชิ้นทดสอบต่างๆกัน จะพบว่าค่าความต้านแรงกดวงแหวนจะมีความแตกต่างกันโดยรวม3ลักษณะคือ

1.ที่อัตราส่วนความกว้างของร่องวงแหวนต่อความหนาชิ้นทดสอบน้อยกว่าร้อยละ 150 เป็นอัตราส่วนที่การใส่ชิ้นทดสอบลงในอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบกระทำได้ยากต้องใช้แรงดันชิ้นทดสอบเข้าไปเรียกว่าการใส่ชิ้นทดสอบที่คับเกินไป

2.ที่อัตราส่วนความกว้างของร่องวงแหวนต่อความหนาชิ้นทดสอบอยู่ระหว่างร้อยละ 150 ถึง 175 เป็นอัตราส่วนที่การใส่ชิ้นทดสอบลงในอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบกระทำได้ง่ายและสะดวกสามารถหมุน อุปกรณ์จับชิ้นทดสอบให้ชิ้นทดสอบเข้าไปง่ายเรียกว่าการใส่ชิ้นทดสอบที่พอดีพอเหมาะ

3.ที่อัตราส่วนความกว้างของร่องวงแหวนต่อความหนาชิ้นทดสอบมากกว่าร้อยละ 175 ขึ้นไป เป็นอัตราส่วนที่การใส่ชิ้นทดสอบลงในอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ ต้องประคองชิ้นทดสอบเข้าไปเรียกว่าการใส่ชิ้นทดสอบที่หลวมเกินไป

จากการใช้อัตราส่วนความสัมพันธ์และการใส่ชิ้นทดสอบใน3ลักษณะดังกล่าวพบว่าการเลือกใช้อัตราส่วนความสัมพันธ์น้อยกว่าร้อยละ 150 หรือการใส่ชิ้นทดสอบที่คับเกินไป และการเลือกใช้อัตราส่วนความสัมพันธ์มากกว่าร้อยละ 175 หรือการใส่ชิ้นทดสอบที่หลวมเกินไปจะมีค่าความต้านแรงกดวงแหวนต่ำกว่าการเลือกใช้อัตราส่วนความสัมพันธ์อยู่ระหว่างร้อยละ 150 ถึง 175 หรือการใส่ชิ้นทดสอบที่พอดีพอเหมาะ เช่น ที่การทดสอบกระดาษทำลูกฟูก CS 125 ในแนวขนานเครื่องที่อัตราส่วนความกว้างของร่องวงแหวนต่อต่อความหนาชิ้นทดสอบ น้อยกว่าร้อยละ 150 (การใส่ชิ้นทดสอบที่คับเกินไป) มีค่าความต้านแรงกดวงแหวนเท่ากับ 201 และ 208 นิวตันตามลำดับอัตราส่วนความสัมพันธ์ และที่อัตราส่วนความสัมพันธ์มากกว่าร้อยละ 175 (การใส่ชิ้นทดสอบที่หลวมเกินไป) มีค่าความต้านแรงกดวงแหวนเท่ากับ 204 200 198 194 และ 190 นิวตันตามลำดับอัตราส่วนความสัมพันธ์ แต่ที่อัตราส่วนความสัมพันธ์อยู่ระหว่างร้อยละ 150 และ 175 (การใส่ชิ้นทดสอบที่พอดีพอเหมาะ) มีค่าความต้านแรงกดวงแหวนเท่ากับ 209 นิวตันเป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากการใส่ชิ้นทดสอบที่คับเกินไปต้องใช้แรงช่วยดันให้ชิ้นทดสอบเข้าไปในอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบอาจทำให้แรงกดทับที่สันกระดาษมีค่าน้อยกว่าควรจะเป็น ส่วนในกรณีที่การใส่ชิ้นทดสอบที่หลวมเกินไปผิวหน้าของชิ้นทดสอบจะไม่สัมผัสกับผนังของร่องวงแหวนเมื่อทำการทดสอบขณะกดทับกระดาษ กระดาษจะเคลื่อนตัวได้ ทำให้แรงกดทับน้อยกว่าที่ควรจะเป็นเช่นกัน

4.1.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกและอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

4.1.5.1การศึกษาผลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

การศึกษาผลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกใช้ชิ้นทดสอบจากข้อ 3.3.4 ที่เตรียมไว้ทั้งแนวขนานเครื่องและแนวขวางเครื่อง ทำลอนลูกฟูก ชนิด ลอน A จากเครื่องทำลอนลูกฟูก โดยใช้อุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูก 5 ระดับ คือ 150, 160, 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แล้วทดสอบความต้านแรงกดลอนลูกฟูกด้วยเครื่องทดสอบความต้านแรงกด ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 7 แสดงผลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

ประเภทของกระดาษ	อุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูก, องศาเซลเซียส	ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก,นิวตัน			
		แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากการทำลอนที่อุณหภูมิ 170 °C,ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากการทำลอนที่อุณหภูมิ 170 °C,ร้อยละ
กระดาษทำลูกฟูก CA 105	150	170	-10.5	80	-11.1
	160	187	-1.6	89	-1.1
	170	190	0.0	90	0.0
	180	193	1.6	92	2.0
	190	204	7.4	101	12.2
กระดาษทำลูกฟูก CA 125	150	263	-8.4	128	-8.6
	160	283	-1.4	137	-2.1
	170	287	0.0	140	0.0
	180	290	1.0	143	2.1
	190	300	4.5	151	7.9
กระดาษทำลูกฟูก CS 125	150	259	-21.5	162	-12.4
	160	326	-1.2	180	-3.2
	170	330	0.0	186	0.0
	180	334	1.2	188	1.1
	190	348	5.5	194	4.3
กระดาษผิวกล่อง KI 125	150	240	-8.4	100	-10.7
	160	256	-2.3	109	-2.6
	170	262	0.0	112	0.0
	180	265	1.1	116	3.6
	190	277	5.7	124	10.7

ตารางที่ 7 แสดงผลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ต่อ)

ประเภทของกระดาษ	อุณหภูมิของการทำลอน ลูกฟูก, องศาเซลเซียส	ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก,นิวตัน			
		แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากการทำลอนที่อุณหภูมิ 170 °C,ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากการทำลอนที่อุณหภูมิ 170 °C,ร้อยละ
กระดาษผิวกล่อง KI 150	150	330	-3.2	140	-9.1
	160	338	-8.8	150	-2.6
	170	341	0.0	154	0.0
	180	342	0.3	156	1.3
	190	350	2.6	160	3.9
กระดาษผิวกล่อง KI 185	150	325	-4.1	163	-13.8
	160	334	-1.5	183	-3.2
	170	339	0.0	189	0.0
	180	342	0.9	190	0.5
	190	350	3.2	204	7.9
กระดาษผิวกล่อง KI 230	150	326	-4.1	216	-10.7
	160	335	-1.5	238	-1.7
	170	340	0.0	242	0.0
	180	342	0.6	245	1.2
	190	352	3.5	251	3.7

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำลูกฟูก และกระดาษผิวกล่องทั้งในแนวขนานเครื่องและแนวขวางเครื่องจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูกที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราการเพิ่มของค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกจะไม่เท่ากันในแต่ละช่วงของอุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูก และอัตราการเพิ่มขึ้นน้อยมากในช่วงอุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูก 160 องศาเซลเซียส ถึง 170 องศาเซลเซียส และ 170 องศาเซลเซียส ถึง 180 องศาเซลเซียส เช่นกระดาษผิวกล่อง KI 230 เมื่ออุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูกเพิ่มจาก 160 องศาเซลเซียสถึง 170 องศาเซลเซียส และ 170องศาเซลเซียสถึง 180 องศาเซลเซียส ความต้านแรงกดลอนลูกฟูกในแนวขนานเครื่องจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.5 และ 0.6 ตามลำดับ ในแนวขวางเครื่องจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.7 และ 1.2 ตามลำดับ เป็นต้น

หมายเหตุ ความแตกต่างของความต้านแรงกดลอนลูกฟูกที่อุณหภูมิต่างๆเปรียบเทียบกับค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกที่อุณหภูมิทำลอนลูกฟูก 170 องศาเซลเซียส

4.1.5.2 การศึกษาผลของอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

การศึกษาผลของอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบ ใช้ชิ้นทดสอบจากข้อ 3.3.4 ที่เตรียมไว้ทั้งแนวขนานเครื่องและแนวขวางเครื่อง ทำลอนลูกฟูก ชนิด ลอน A จากเครื่องทำลอนลูกฟูก โดยใช้อุณหภูมิของการทำลอน ลูกฟูกที่ 175 $\pm$ 8 องศาเซลเซียส แล้วทดสอบความต้านแรงกดลอนลูกฟูกด้วยเครื่องทดสอบความต้านแรงกด

โดยวางชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบดังนี้

1. วางชิ้นทดสอบบนแท่นกดล่างของเครื่องทดสอบ
2. วางชิ้นทดสอบบนอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบ แล้วนำไปวางที่แท่นกดล่าง

ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงผลของอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

ประเภทของกระดาษ	ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก,นิวตัน			
	ชิ้นทดสอบอยู่บนอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบ		ชิ้นทดสอบอยู่บนแท่นกดล่าง	
	แนวขนานเครื่อง	แนวขวางเครื่อง	แนวขนานเครื่อง	แนวขวางเครื่อง
กระดาษทำลูกฟูก				
CA 105	189	90	189	91
CA 125	286	138	288	138
CS 125	328	184	329	186
กระดาษผิวกล่อง				
KI 125	261	111	262	112
KI 150	342	153	341	154
KI 185	339	190	339	189
KI 230	341	240	340	242

ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการทดสอบค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกที่ใช้อุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบ ให้ผลการทดสอบไม่แตกต่างจากการวางชิ้นทดสอบบนแท่นกดล่างของเครื่องทดสอบที่ทุกระดับน้ำหนักของกระดาษทั้งสองแนว แนวขนานเครื่องและแนวขวางเครื่อง เช่น ผลการทดสอบกระดาษทำลูกฟูก CA 125 ค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกในแนวขนานเครื่องที่ใช้อุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบ และวางไว้บนแท่นกดมีค่าเท่ากับ 286 และ 288 นิวตัน ตามลำดับ ซึ่งผลการทดสอบไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามการใช้อุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบจะช่วยให้การวางชิ้นทดสอบได้สะดวกขึ้น

4.1.6 การศึกษาผลของความเร็วของแท่นกดชิ้นทดสอบและความขนานของแท่นกดต่อค่าแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

การศึกษาผลของความเร็วของแท่นกดชิ้นทดสอบและความขนานของแท่นกด ใช้ชิ้นทดสอบจากข้อ 3.3.4 ที่เตรียมไว้ทั้งแนวขนานเครื่องและแนวขวางเครื่อง แล้วทดสอบความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก โดยใช้เครื่องทดสอบความต้านแรงกดที่สามารถปรับความเร็วได้ 6 ระดับ คือ 6, 8, 10, 12, 14 และ 16 มิลลิเมตรต่อนาที และสามารถปรับระดับของความขนานของแท่นกดได้ 2 ระดับ คือ

1. ความขนานที่เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด คือ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.050 มิลลิเมตรต่อ 50 มิลลิเมตร
2. ความขนานที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐานกำหนด คือ มากกว่า 0.050 มิลลิเมตรต่อ 50 มิลลิเมตร ในการศึกษาทดลองนี้ใช้ความขนานที่ 0.059 มิลลิเมตรต่อ 50 มิลลิเมตร

และในการทดสอบความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดด้านข้างลอนลูกฟูก ทำลอนลูกฟูก ชนิด ลอน A จากเครื่องทำลอนลูกฟูก โดยใช้อุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูกที่ 175 ± 8 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 9, 10 และ 11 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

ประเภทของกระดาษ	ความเร็วของแท่นกด, มิลลิเมตร/นาที	ความต้านแรงกดวงแหวน,นิวตัน							
		ความขนานที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร				ความขนานที่ 0.059/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร			
		แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ
กระดาษทำลูกฟูก CA 105	6	158	-4.8	99	-5.7	150	1.4	100	3.1
	8	163	-1.8	101	-3.8	150	1.4	99	2.1
	10	166	0.0	103	-1.9	149	0.7	98	1.0
	12	166	0.0	105	0.0	148	0.0	97	0.0
	14	167	0.6	107	1.9	146	-1.4	95	-2.1
	16	168	1.2	108	2.9	140	-5.4	93	-4.1

ตารางที่ 9 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ต่อ)

ประเภทของกระดาษ	ความเร็วของแท่นกด, มิลลิเมตร/นาที	ความต้านแรงกดวงแหวน,นิวตัน							
		ความขนานที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร				ความขนานที่ 0.059/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร			
		แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ
กระดาษ	6	200	-1.5	110	-4.3	204	1.0	109	3.8
ทำลูกฟูก	8	202	-0.5	113	-1.7	203	0.5	108	2.9
CA 125	10	203	0.0	114	-0.9	202	0.0	107	1.9
	12	203	0.0	115	0.0	202	0.0	105	0.0
	14	204	0.5	116	0.9	200	-1.0	103	-1.9
	16	205	1.0	117	1.7	197	-2.5	100	-4.8
กระดาษ	6	234	-2.9	170	-6.6	220	2.3	129	0.7
ทำลูกฟูก	8	240	-0.4	178	-2.2	220	2.3	129	0.7
CS 125	10	241	0.0	180	-1.1	219	1.9	128	0.0
	12	241	0.0	182	0.0	215	0.0	128	0.0
	14	242	0.4	182	0.0	212	-1.4	126	-1.6
	16	242	0.4	183	0.5	206	-4.2	120	-6.3
กระดาษ	6	210	-4.1	151	-4.4	209	2.0	150	1.4
ผิวกล่อง	8	215	-1.8	155	-1.9	208	1.5	150	1.4
KI 125	10	218	-0.5	157	-0.6	207	1.0	148	0.0
	12	219	0.0	158	0.0	205	0.0	148	0.0
	14	222	1.4	159	0.6	203	-1.0	146	-1.4
	16	224	2.3	159	0.6	200	-2.4	142	-4.0

ตารางที่ 9 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ต่อ)

ประเภทของกระดาษ	ความเร็วของแท่นกด, มิลลิเมตร/นาที	ความต้านแรงกดวงแหวน,นิวตัน							
		ความขนานที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร				ความขนานที่ 0.059/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร			
		แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ
กระดาษ	6	305	-3.2	202	-2.9	311	1.6	208	1.5
ผิวกล่อง	8	311	-1.3	207	-0.5	311	1.6	207	1.0
KI 150	10	313	-0.6	208	0.0	310	1.3	207	1.0
	12	315	0.0	208	0.0	306	0.0	205	0.0
	14	317	0.6	209	0.5	303	-1.0	203	-1.0
	16	317	0.6	210	1.0	300	-2.0	200	-2.4
กระดาษ	6	435	-1.6	284	-3.7	435	1.2	282	1.8
ผิวกล่อง	8	440	-0.5	290	-1.7	434	1.2	282	1.8
KI 185	10	442	0.0	293	-0.8	433	0.9	278	0.4
	12	442	0.0	295	0.0	430	0.0	277	0.0
	14	443	0.2	297	0.7	427	-0.9	275	-0.7
	16	443	0.2	299	1.3	424	-1.2	270	-2.5
กระดาษ	6	550	-4.0	402	-2.7	568	0.4	412	1.7
ผิวกล่อง	8	560	-2.3	410	-0.7	568	0.4	411	1.5
KI 230	10	569	-0.7	413	-0.7	567	0.2	409	1.0
	12	573	0.0	413	0.0	566	0.0	405	0.0
	14	579	1.0	415	0.5	562	-0.7	405	0.0
	16	583	1.7	417	1.0	555	-1.9	401	-1.0

หมายเหตุ การคำนวณค่าความแตกต่างของความต้านแรงกดวงแหวนที่ความเร็วของแท่นกดระดับต่างๆเปรียบเทียบกับค่าความต้านแรงกดวงแหวนที่ความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตรต่อนาที

ตารางที่ 10 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

ประเภทของกระดาษ	ความเร็วของแท่นกด, มิลลิเมตร/นาที	ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก,นิวตัน							
		ความขนานที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร				ความขนานที่ 0.059/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร			
		แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ
กระดาษ	6	174	-8.4	76	-15.6	121	-10.4	59	-13.2
ทำลูกฟูก	8	180	-5.3	83	-7.8	126	-6.7	62	-8.8
CA 105	10	187	-1.6	88	-2.2	131	-3.0	66	-2.9
	12	190	0.0	90	0.0	135	0.0	68	0.0
	14	190	0.0	91	1.1	136	0.7	69	1.5
	16	191	0.5	91	1.1	137	1.5	69	1.5
กระดาษ	6	212	-2.8	120	-2.4	148	-2.6	90	-2.2
ทำลูกฟูก	8	215	-1.4	122	-0.8	150	-1.3	91	-1.1
CA 125	10	217	-0.5	122	-0.8	151	-0.7	92	0.0
	12	218	0.0	123	0.0	152	0.0	92	0.0
	14	219	0.5	125	1.6	153	0.7	93	1.1
	16	221	1.4	126	2.4	154	1.3	94	2.2
กระดาษ	6	272	-5.2	125	-10.7	190	0.5	93	11.4
ทำลูกฟูก	8	276	-3.8	130	-7.1	193	3.5	97	7.6
CS 125	10	281	-2.1	136	-2.9	196	2.0	102	2.9
	12	287	0.0	140	0.0	200	0.0	105	0.0
	14	287	0.0	140	0.0	201	-0.5	106	-1.0
	16	288	0.3	141	0.7	201	-0.5	106	-1.0

ตารางที่ 10 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ต่อ)

ประเภทของกระดาษ	ความเร็วของแท่นกด, มิลลิเมตร/นาที	ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก,นิวตัน							
		ความขนานที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร				ความขนานที่ 0.059/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร			
		แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ
กระดาษผิวกล่อง KI 125	6	236	-9.9	110	-5.2	165	-9.8	82	-4.7
	8	243	-7.3	113	-2.6	170	-7.1	84	-2.3
	10	256	-2.3	114	-1.7	179	-2.2	85	-1.2
	12	262	0.0	116	0.0	183	0.0	86	0.0
	14	267	1.9	116	0.0	187	2.2	87	1.3
	16	272	3.8	118	1.7	190	3.8	88	2.3
กระดาษผิวกล่อง KI 150	6	224	-2.6	124	-4.6	157	-2.5	93	-4.1
	8	225	-2.2	126	-3.1	158	-1.9	94	-3.1
	10	229	-0.4	128	-1.5	160	-0.6	96	-1.0
	12	230	0.0	130	0.0	161	0.0	97	0.0
	14	234	1.7	132	1.5	163	1.2	99	2.1
	16	236	2.6	135	3.8	164	1.9	99	2.1
กระดาษผิวกล่อง KI 185	6	307	-9.4	181	-4.2	214	-9.7	135	-3.6
	8	336	-0.9	186	-1.6	235	-.08	138	-1.4
	10	338	-0.3	187	-1.1	236	-0.4	139	-0.7
	12	339	0.0	189	0.0	237	0.0	140	0.0
	14	347	2.3	190	0.5	242	2.1	141	0.7
	16	347	2.3	195	3.2	243	2.5	142	1.4

ตารางที่10 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ต่อ)

ประเภทของกระดาษ	ความเร็วของแท่นกด, มิลลิเมตร/นาที	ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก,นิวตัน							
		ความขนานที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร				ความขนานที่ 0.059/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร			
		แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ
กระดาษ	6	318	-6.4	237	-2.1	222	-5.5	177	-2.2
ผิวกล่อง	8	329	-3.3	239	-1.2	230	-2.1	179	-1.1
KI 230	10	335	-1.5	240	-0.8	234	-0.4	180	-0.6
	12	340	0.0	242	0.0	235	0.0	181	0.0
	14	349	2.6	250	3.3	237	0.9	182	0.6
	16	352	3.5	252	4.1	239	1.7	183	1.1

ตารางที่ 11 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

ประเภทของกระดาษ	ความเร็วของแท่นกด, มิลลิเมตร/นาที	ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก,นิวตัน							
		ความขนานที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร				ความขนานที่ 0.059/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร			
		แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ
กระดาษทำลูกฟูก CA 105	6	279	-1.1	193	-1.0	270	5.9	195	6.0
	8	280	-0.7	194	-0.5	263	3.1	190	3.3
	10	281	-0.4	195	0.0	258	1.2	187	1.6
	12	282	0.0	195	0.0	255	0.0	184	0.0
	14	283	0.4	196	0.5	250	-2.0	182	-1.1
	16	283	0.4	196	0.5	249	-2.4	179	-2.7
กระดาษทำลูกฟูก CA 125	6	320	-1.5	234	-2.5	322	1.6	235	2.2
	8	322	-0.9	236	-1.7	320	0.9	232	0.9
	10	323	-0.6	238	-0.8	318	0.3	231	0.4
	12	325	0.0	240	0.0	317	0.0	230	0.0
	14	327	0.6	242	0.8	315	-0.6	228	-0.9
	16	329	1.2	243	1.3	310	-2.2	225	-2.2
กระดาษทำลูกฟูก CS 125	6	362	-1.4	277	-1.1	366	2.8	275	3.0
	8	363	-1.1	278	-0.7	362	1.7	270	0.7
	10	365	-0.5	279	-0.4	358	0.6	268	0.4
	12	367	0.0	280	0.0	356	0.0	267	0.0
	14	368	0.3	282	0.7	350	-2.0	265	-0.7
	16	370	0.8	283	1.1	345	-3.1	264	-1.1

ตารางที่ 11 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ต่อ)

ประเภทของกระดาษ	ความเร็วของแท่นกด, มิลลิเมตร/นาที	ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก,นิวตัน							
		ความขนานที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร				ความขนานที่ 0.059/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร			
		แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ
กระดาษผิวกล่อง KI 125	6	419	-0.5	269	-2.2	418	3.0	271	2.3
	8	419	-0.5	270	-1.8	418	3.0	270	1.9
	10	420	-0.2	273	-0.7	409	0.7	268	1.1
	12	421	0.0	275	0.0	406	0.0	265	0.0
	14	423	0.5	278	1.1	402	-1.0	264	-0.4
	16	424	0.7	278	1.1	394	-3.0	263	-0.8
กระดาษผิวกล่อง KI 150	6	430	-1.4	300	-2.9	429	0.9	300	2.7
	8	433	-0.7	302	-2.3	428	0.7	296	1.4
	10	435	-0.2	305	-1.3	426	0.2	295	1.0
	12	436	0.0	309	0.0	425	0.0	292	0.0
	14	438	0.5	311	0.6	423	-0.5	291	0.3
	16	440	0.9	313	0.6	420	-1.2	290	0.7
กระดาษผิวกล่อง KI 185	6	580	-0.3	417	-1.2	580	3.0	419	1.2
	8	581	-0.2	420	-0.5	579	2.8	418	1.0
	10	582	0.0	421	-0.2	569	1.1	416	0.5
	12	582	0.0	422	0.0	563	0.0	414	0.0
	14	583	0.2	423	0.2	562	-1.8	413	-0.2
	16	584	0.3	423	0.2	561	-0.4	409	-1.2

ตารางที่ 11 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ต่อ)

ประเภทของกระดาษ	ความเร็วของแท่นกด, มิลลิเมตร/นาที	ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก,นิวตัน							
		ความขนานที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร				ความขนานที่ 0.059/50 มิลลิเมตร/ มิลลิเมตร			
		แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขนานเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ	แนวขวางเครื่อง	ความแตกต่างจากความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตร/นาที, ร้อยละ
กระดาษ	6	762	-1.0	589	-1.0	760	0.9	589	1.2
ผิวกล่อง	8	766	-0.5	590	-0.8	758	0.7	586	0.7
KI 230	10	768	-0.3	593	-0.3	755	0.3	584	0.3
	12	770	0.0	595	0.0	753	0.0	582	0.0
	14	774	0.5	599	0.7	752	-0.1	582	0.0
	16	776	0.8	601	1.0	748	-0.7	579	-0.5

ผลการทดสอบตามตารางที่ 9, 10 และ 11 แสดงให้เห็นว่า

1. ความเร็วของแท่นที่เพิ่มขึ้นจาก 6 ถึง 16 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร ทั้งค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก จะเพิ่มขึ้น ตามลำดับ แต่ถ้าความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่ 0.059/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร ทั้งค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกจะมีค่าลดลง ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเร็วของแท่นกด ส่วนความต้านแรงกดลอนลูกฟูกจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเร็วของแท่นกด แต่จำนวนชิ้นทดสอบในแต่ละระดับ ความเร็วของแท่นกดจะชำรุด เนื่องจากการล้มของลอนลูกฟูกสูงถึงร้อยละ 60 ของชิ้นทดสอบที่ใช้ในการทดสอบ

2. ที่ระดับของการเพิ่มความเร็วของแท่นกดเดียวกัน ที่ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่ 0.059/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร ทั้งค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก จะมีค่าน้อยกว่าที่การทดสอบโดยใช้ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร (แท่นกดขนานกัน) ทั้งนี้เนื่องจากแท่นกดที่ไม่ขนานกัน (ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่ 0.059/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตรในทางปฏิบัติถือว่าไม่ขนานกัน) จะทำให้กระดาษรับแรงได้ไม่สม่ำเสมอค่าแรงที่ได้จึงมีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

3. การทดสอบที่ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร ที่ระดับการเพิ่มความเร็วในช่วงต่ำ ๆ (6-10 มิลลิเมตรต่อนาที) ทั้งค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก มีความแตกต่างของการทดสอบมากกว่าที่ระดับการเพิ่มความเร็วในช่วงสูงๆ (10-16 มิลลิเมตรต่อนาที)

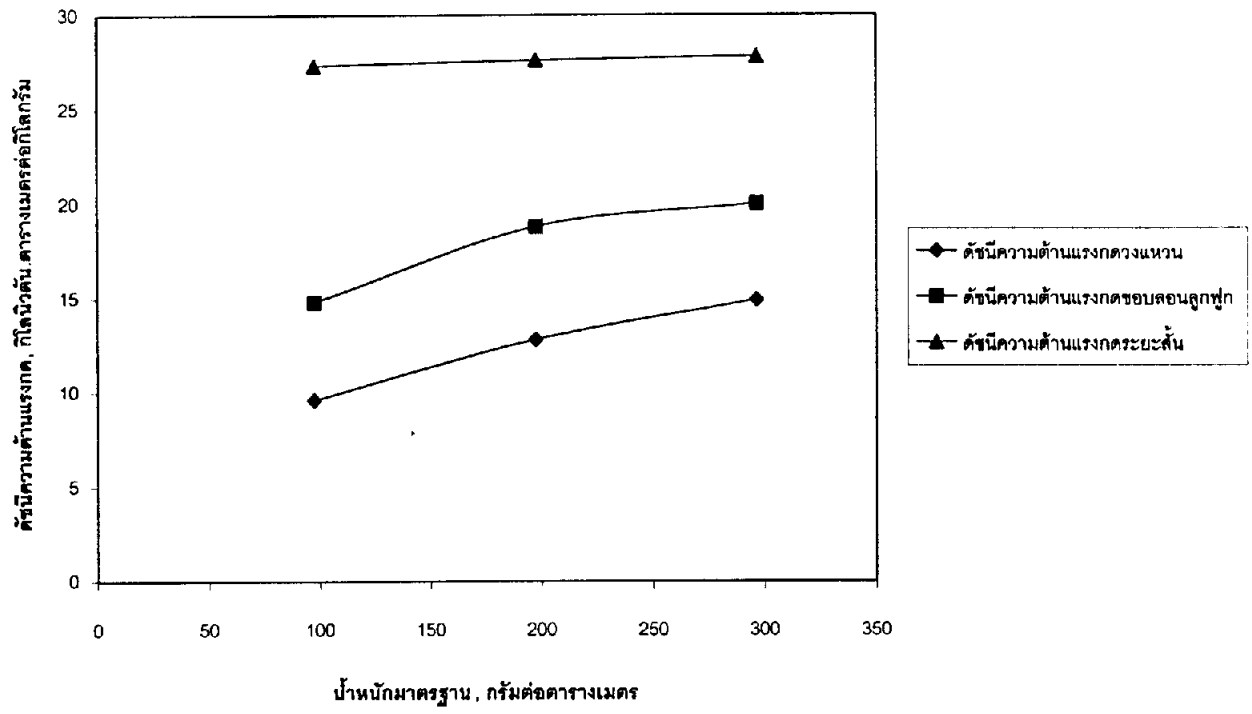
4. การทดสอบที่ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่ 0.059/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร ที่ระดับการเพิ่มความเร็วในช่วงต่ำ ๆ (6-10 มิลลิเมตรต่อนาที) ทั้งค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก มีความแตกต่างของการทดสอบน้อยกว่าที่ระดับการเพิ่มความเร็วในช่วงสูงๆ (10-16 มิลลิเมตรต่อนาที)

หมายเหตุ การคำนวณค่าความแตกต่างของความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก และความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก ที่ระดับความเร็วของแท่นกดต่างๆกัน เปรียบเทียบกับค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก และความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก ที่ระดับความเร็วของแท่นกด 12 มิลลิเมตรต่อนาที

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดสอบ

5.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติด้านแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

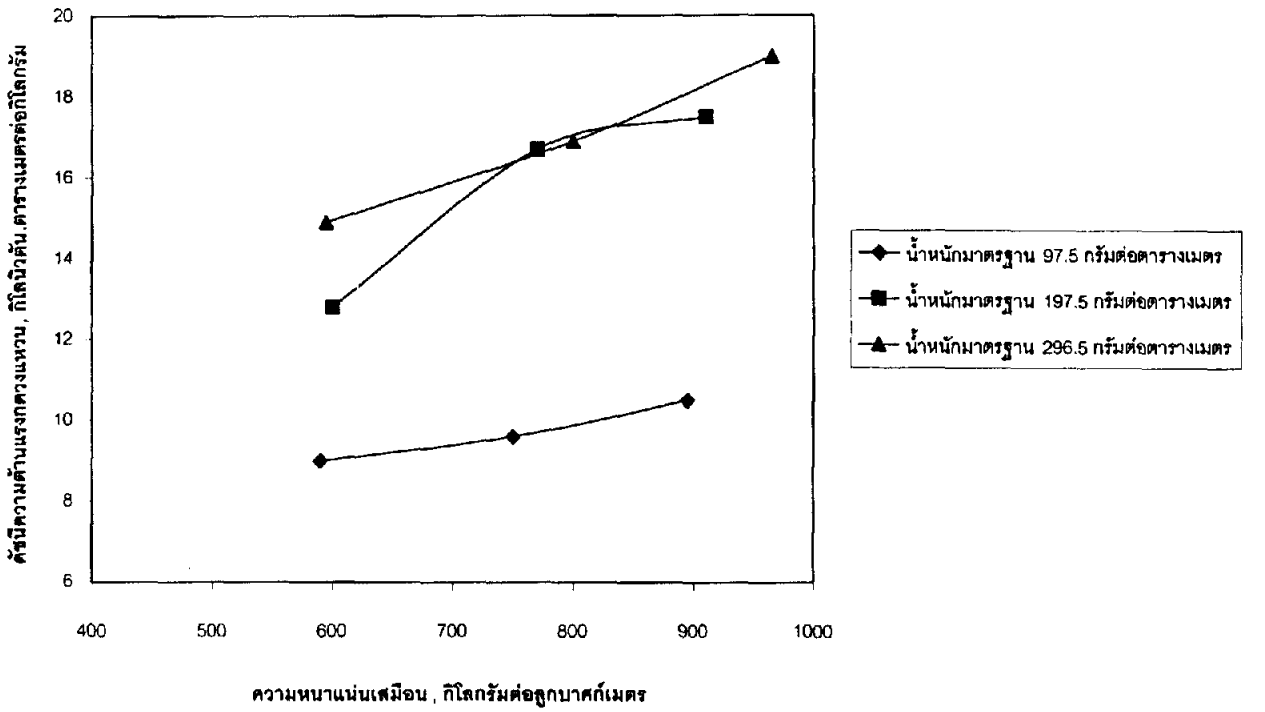
5.1.1 การศึกษาผลของน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกและความต้านแรงกดระยะสั้นของกระดาษ ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่เพิ่มขึ้นสูงขึ้นจะทำให้ค่าดัชนีความต้านแรงกดของกระดาษในรูปของดัชนีความต้านแรงกดวงแหวนดัชนีความต้านแรงกดด้านข้างลอนลูกฟูกมีค่าสูงขึ้นด้วย ส่วนดัชนีความต้านแรงกดระยะสั้นของกระดาษจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหรือมีแนวโน้มเกือบคงที่ ตามตารางที่ 3 ภาพที่ 15



ภาพที่ 15 อิทธิพลของน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษต่อค่าดัชนีความต้านแรงกด

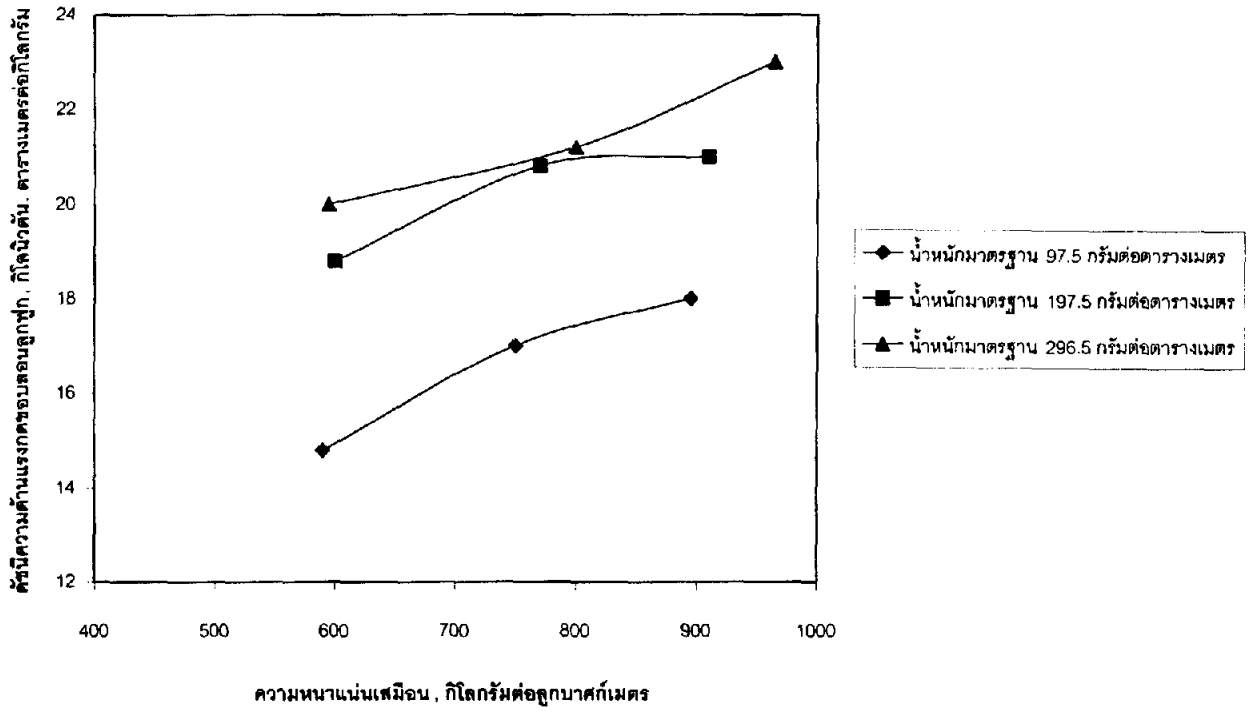
5.1.2 การศึกษาผลของความหนาแน่นเสมือนของกระดาษต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก และความต้านแรงกดระยะสั้นของกระดาษ ตามตารางที่ 4 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า

5.1.2.1 ค่าดัชนีความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระดาษมีความหนาแน่นเสมือนเพิ่มขึ้น เช่น ที่ระดับน้ำหนักมาตรฐาน 197.5 และ 296.5 กรัมต่อตารางเมตร กระดาษมีความหนาแน่นเสมือนเท่ากับ 600 , 770 , 910 และ 595 , 800 , 965 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าดัชนีความต้านแรงกดวงแหวนมีค่าเท่ากับ 12.8 , 16.7 , 17.5 และ 14.9 , 16.9 และ 19.0 กิโลนิวตัน.ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ แต่ที่ระดับน้ำหนักมาตรฐาน 97.5 กรัมต่อตารางเมตร กระดาษมีความหนาแน่นเสมือนเท่ากับ 590 , 750 และ 895 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าดัชนีความต้านแรงกดวงแหวนมีค่าเท่ากับ 9.0 , 9.6 และ 10.5 กิโลนิวตัน.ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษต่ำๆ มวลในการรับแรงจะมีน้อย ส่งผลให้ค่าดัชนีความต้านแรงกดวงแหวนมีค่าต่ำดังแสดงในภาพที่ 16



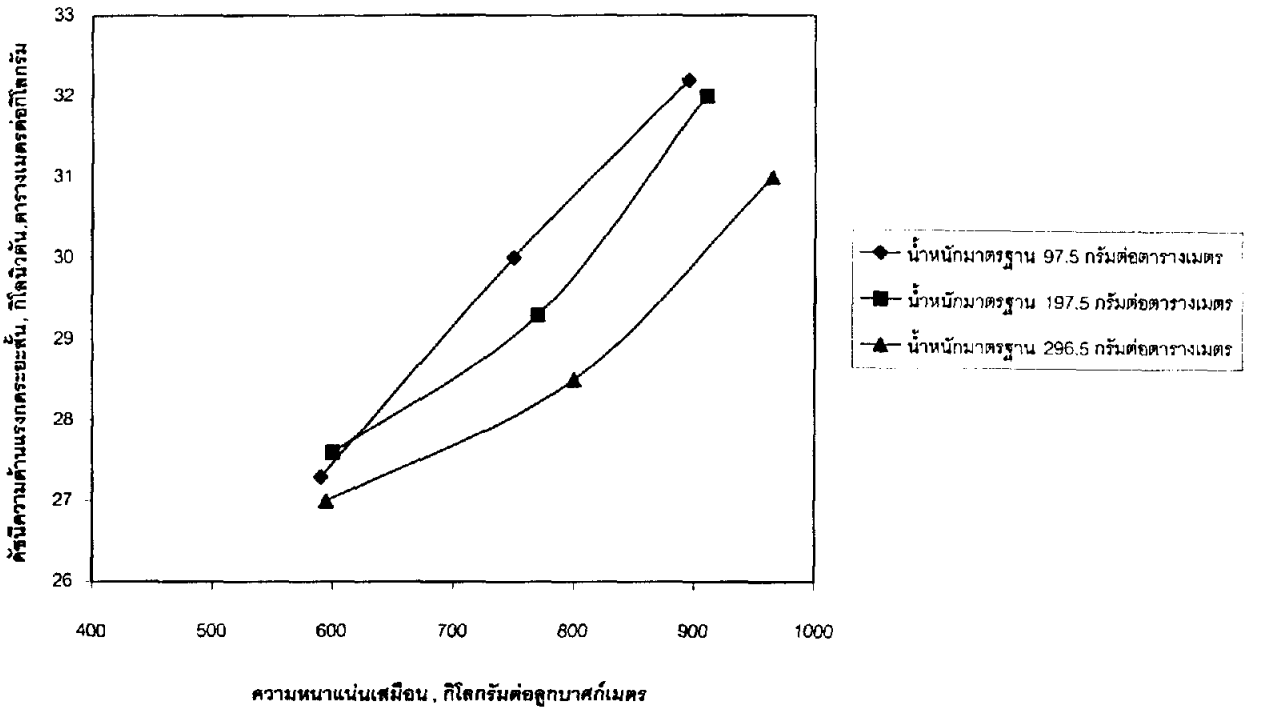
ภาพที่ 16 อิทธิพลของความหนาแน่นเสมือนของกระดาษต่อค่าดัชนีความต้านแรงกดวงแหวน

5.1.2.2 ที่ทุกระดับน้ำหนักมาตรฐาน เมื่อกระดาษมีความหนาแน่นเสมือนเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกของกระดาษมีค่าเพิ่มขึ้น เช่น ที่ระดับน้ำหนักมาตรฐาน 97.5 , 197.5 และ 296.5 กรัมต่อตารางเมตร กระดาษมีความหนาแน่นเสมือนเท่ากับ 590 , 750 , 895 , 600 , 770 , 910 และ 595 , 800 , 965 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าดัชนีความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกมีค่าเท่ากับ 14.8 , 17.0 , 18.0 , 18.8 , 20.8 , 21.0 และ 20.0 , 21.2 และ 23.0 กิโลนิวตัน.ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 อิทธิพลของความหนาแน่นเสมือนของกระดาษต่อค่าดัชนีความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก

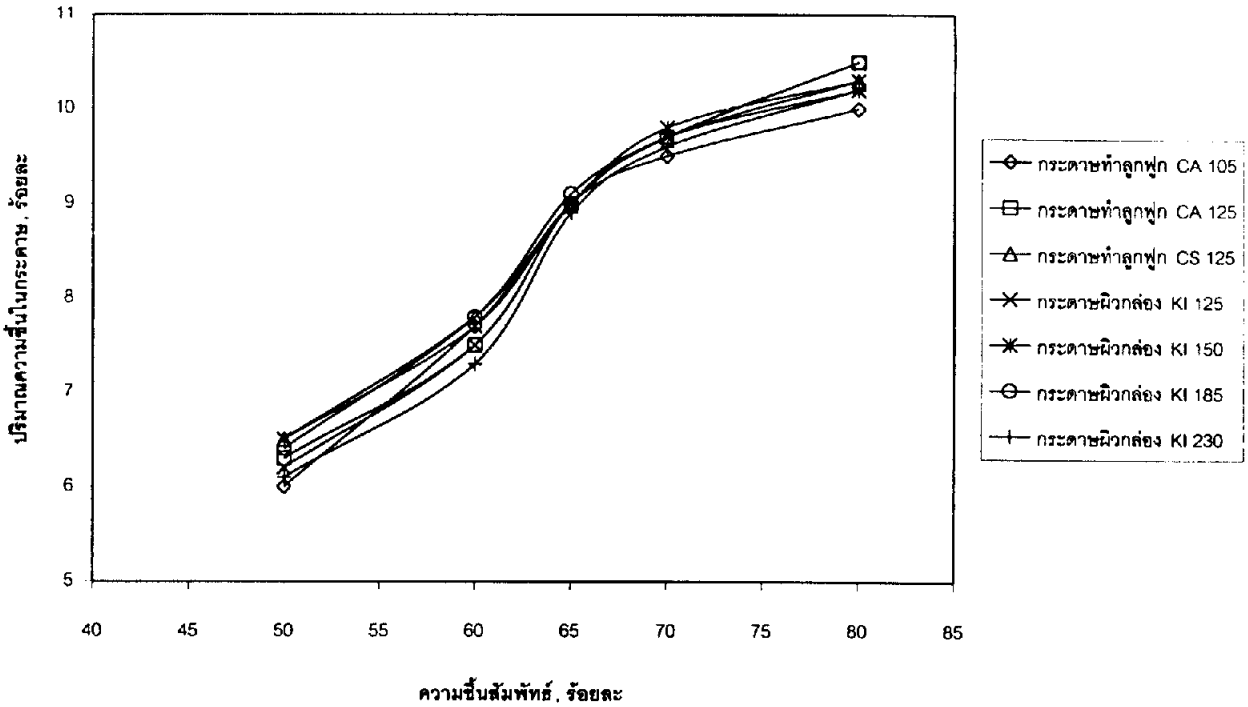
5.1.2.3 ที่ทุกระดับน้ำหนักมาตรฐานเมื่อกระดาษมีความหนาแน่นเสมือนเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีความต้านแรงกดระยะสั้นของกระดาษมีค่าเพิ่มขึ้น ที่ระดับน้ำหนักมาตรฐาน 97.5 , 197.5 และ 296.5 กรัมต่อตารางเมตร กระดาษมีความหนาแน่นเสมือนเท่ากับ 590 , 750 , 895 600 , 770 , 910 และ 595 , 800 , 965 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าดัชนีความต้านแรงกดระยะสั้นมีค่าเท่ากับ 27.3 , 30.0 , 32.2 , 27.6 , 29.3 , 32.0 และ 27.0 , 28.5 และ 31.0 กิโลนิวตัน.ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 อิทธิพลของความหนาแน่นเสมือนของกระดาษต่อค่าดัชนีความต้านแรงกดระยะสั้น

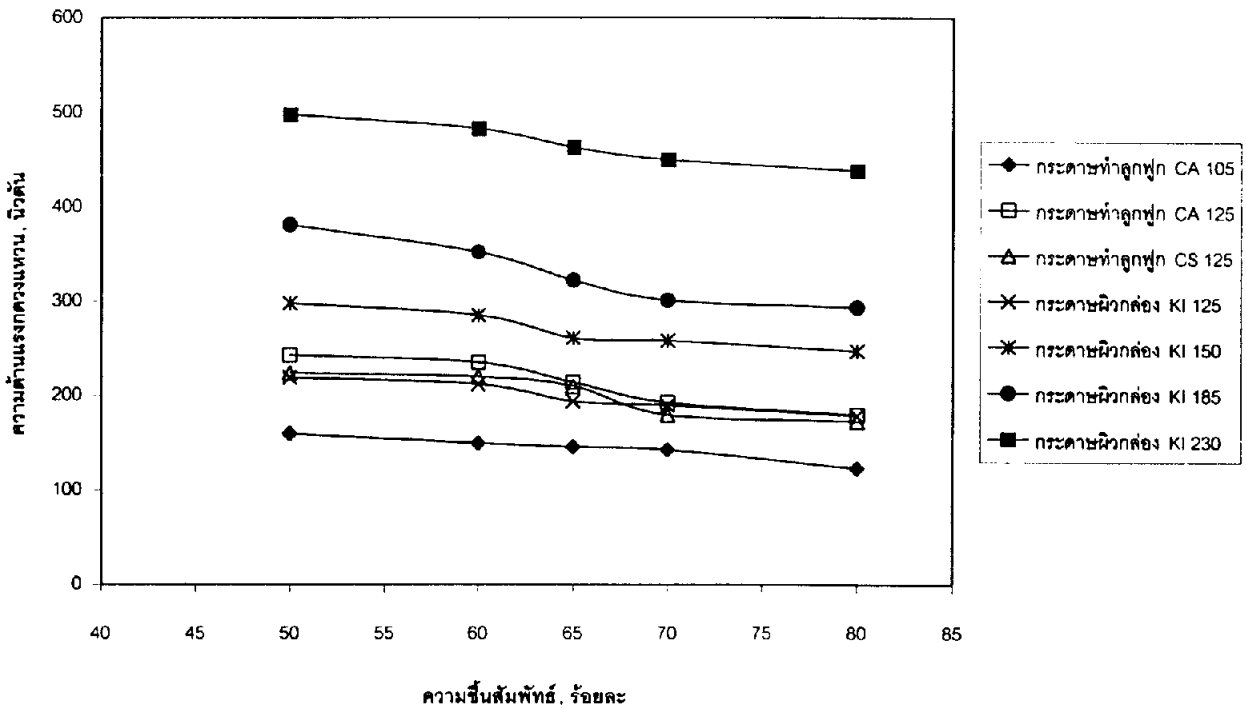
5.1.3การศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณความชื้นในกระดาษต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษกล่องลูกฟูก โดยควบคุมสภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส เดียวกัน แต่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 50, 60, 65, 70 และ 80 ตามลำดับ ตามตารางที่ 5 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า

5.1.3.1กระดาษที่ทดสอบทุกชนิดและทุกระดับน้ำหนักมาตรฐานจะมีปริมาณความชื้นในกระดาษ มากขึ้นเมื่อเก็บกระดาษไว้ที่ความชื้นสัมพัทธ์ในการควบคุมสภาวะของกระดาษก่อนการทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในภาพที่ 19

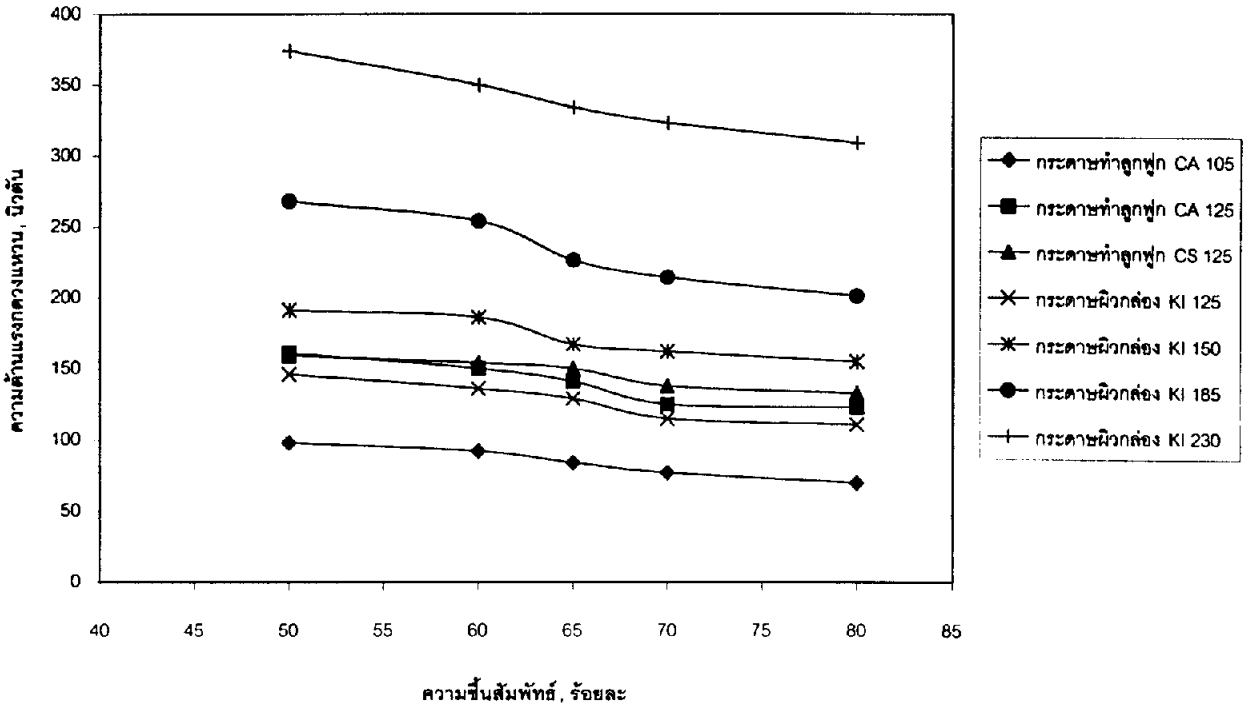


ภาพที่ 19 อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อปริมาณความชื้นในกระดาษ

5.1.3.2 กระดาษที่ทดสอบทุกชนิดและทุกระดับน้ำหนักมาตรฐานค่าความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษมีค่าลดลง เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในการควบคุมสภาวะของกระดาษก่อนการทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณความชื้นในกระดาษที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงจะมีมากกว่าที่ความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ทำให้ค่าแรงกดที่ได้มีค่าลดลง ภาพที่ 20,21 จะเห็นว่าสภาวะการทดสอบกระดาษที่อุณหภูมิเดียวกัน แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ต่างกัน ผลการทดสอบที่ได้จะมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นถ้าจำเป็นจะต้องมีการเปรียบเทียบผลการทดสอบเพื่อตกลงในกรณีที่มีการจัดซื้อจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเก็บตัวอย่างกระดาษไว้ที่สภาวะการทดสอบเดียวกันและยิ่งไปกว่านั้นผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ามีความจำเป็นที่ต้องควบคุมสภาวะการทดสอบไว้ตามที่กำหนด



ภาพที่ 20 อิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน (แนวขนานเครื่อง)



ภาพที่ 21 อิทธิพลความชื้นสัมพัทธ์ต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน (แนวขวางเครื่อง)

5.1.4 การศึกษาผลของความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

การศึกษาผลของความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน โดยใช้อุปกรณ์จับชิ้นทดสอบที่มีความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบในช่วงตั้งแต่ 0.210 ถึง 1.585 มิลลิเมตร ผลการทดสอบตามตารางที่ 6 ภาพที่ 22 และ 23 แสดงให้เห็นว่า

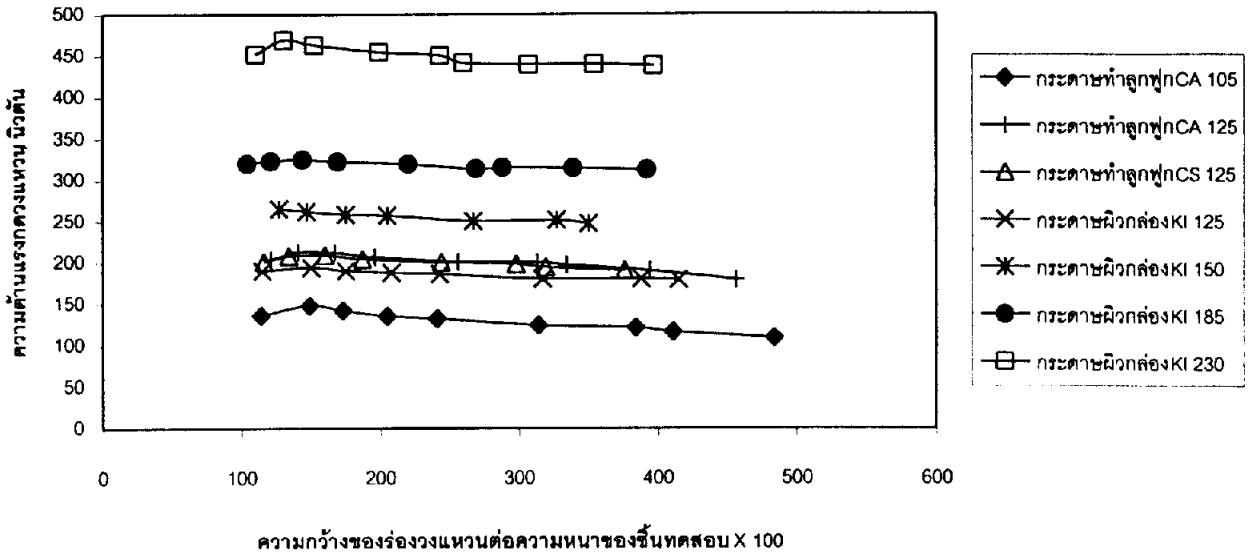
5.1.4.1.ที่อัตราส่วนความกว้างของร่องวงแหวนต่อความหนาชิ้นทดสอบน้อยกว่าร้อยละ 150 เป็นอัตราส่วนที่การใส่ชิ้นทดสอบลงในอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบกระทำได้ยากต้องใช้แรงดันชิ้นทดสอบเข้าไปเรียกว่าการใส่ชิ้นทดสอบที่คับเกินไป

5.1.4.2. ที่อัตราส่วนความกว้างของร่องวงแหวนต่อความหนาชิ้นทดสอบอยู่ระหว่างร้อยละ 150 ถึง 175 เป็นอัตราส่วนที่การใส่ชิ้นทดสอบลงในอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบกระทำได้ง่ายและสะดวกสามารถหมุนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบให้ชิ้นทดสอบเข้าไปง่ายเรียกว่าการใส่ชิ้นทดสอบที่พอดีพอเหมาะ

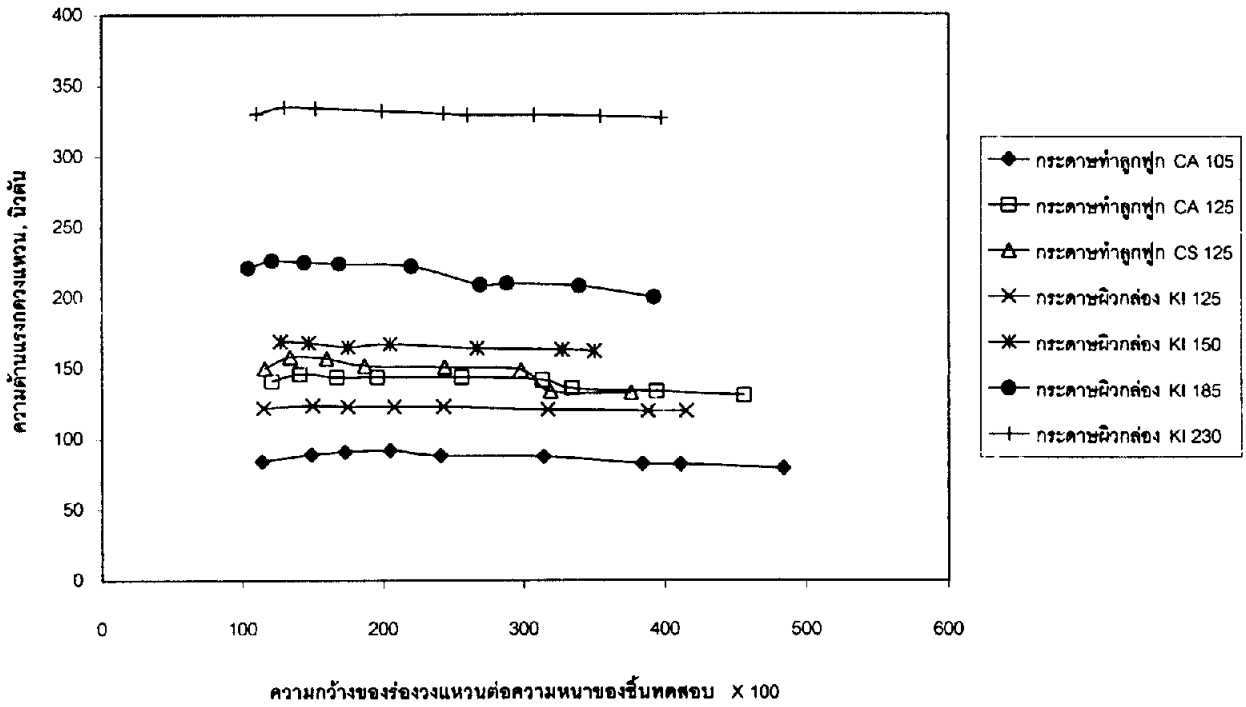
5.1.4.3.ที่อัตราส่วนความกว้างของร่องวงแหวนต่อความหนาชิ้นทดสอบมากกว่าร้อยละ 175 ขึ้นไป เป็นอัตราส่วนที่การใส่ชิ้นทดสอบลงในอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบกระทำได้ง่ายมาก ต้องประคองให้ชิ้นทดสอบเข้าไปเรียกว่าการใส่ชิ้นทดสอบที่หลวมเกินไป

จากการใช้อัตราส่วนความสัมพันธ์และการใส่ชิ้นทดสอบใน3ลักษณะดังกล่าวพบว่าการเลือกใช้อัตราส่วนความสัมพันธ์น้อยกว่าร้อยละ 150 หรือการใส่ชิ้นทดสอบที่คับเกินไป และการเลือกใช้อัตราส่วนความสัมพันธ์มากกว่าร้อยละ 175 หรือการใส่ชิ้นทดสอบที่หลวมเกินไป จะมีค่าความต้านแรงกดวงแหวนต่ำกว่า

การเลือกใช้อัตราส่วนความสัมพันธ์อยู่ระหว่างร้อยละ 150 ถึง 175 หรือการใส่ชิ้นทดสอบที่พอดีพอเหมาะ ทั้งนี้เนื่องมาจากการใส่ชิ้นทดสอบที่คับเกินไปต้องใช้แรงช่วยดันให้ชิ้นทดสอบเข้าไปในอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบอาจทำให้ชิ้นทดสอบเสียหายถ้าไม่ระมัดระวังในการใส่ทำให้แรงกดทับที่สันกระดาษมีค่าน้อยกว่าควรจะเป็น ส่วนในกรณีที่หลวมเกินไปผิวหน้าของชิ้นทดสอบจะไม่สัมผัสกับผนังของร่องวงแหวนเมื่อทำการทดสอบขณะกดทับกระดาษ กระดาษจะเคลื่อนตัวได้ ทำให้แรงกดทับน้อยกว่าที่ควรจะเป็นเช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าไม่ปฏิบัติตามมาตรฐานกำหนด ไม่เลือกใช้อุปกรณ์จับชิ้นทดสอบที่มีร่องวงแหวนเหมาะสมกับความหนาชิ้นทดสอบแล้วจะทำให้ผลการทดสอบเกิดความคลาดเคลื่อนได้



ภาพที่ 22 อิทธิพลของความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน (แนวขนานเครื่อง)

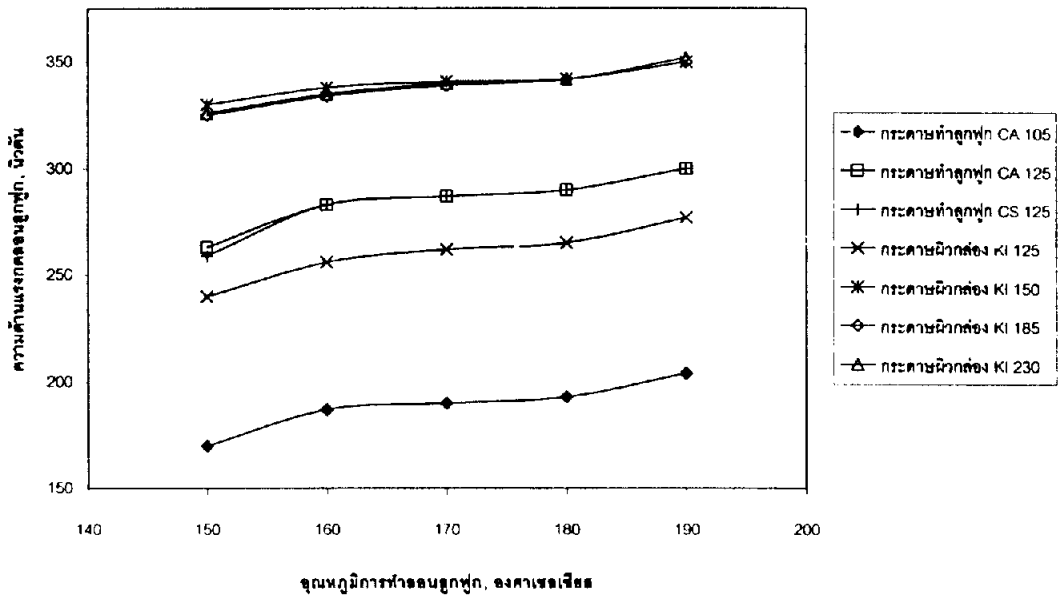


ภาพที่ 23 อิทธิพลของความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน (แนวขวางเครื่อง)

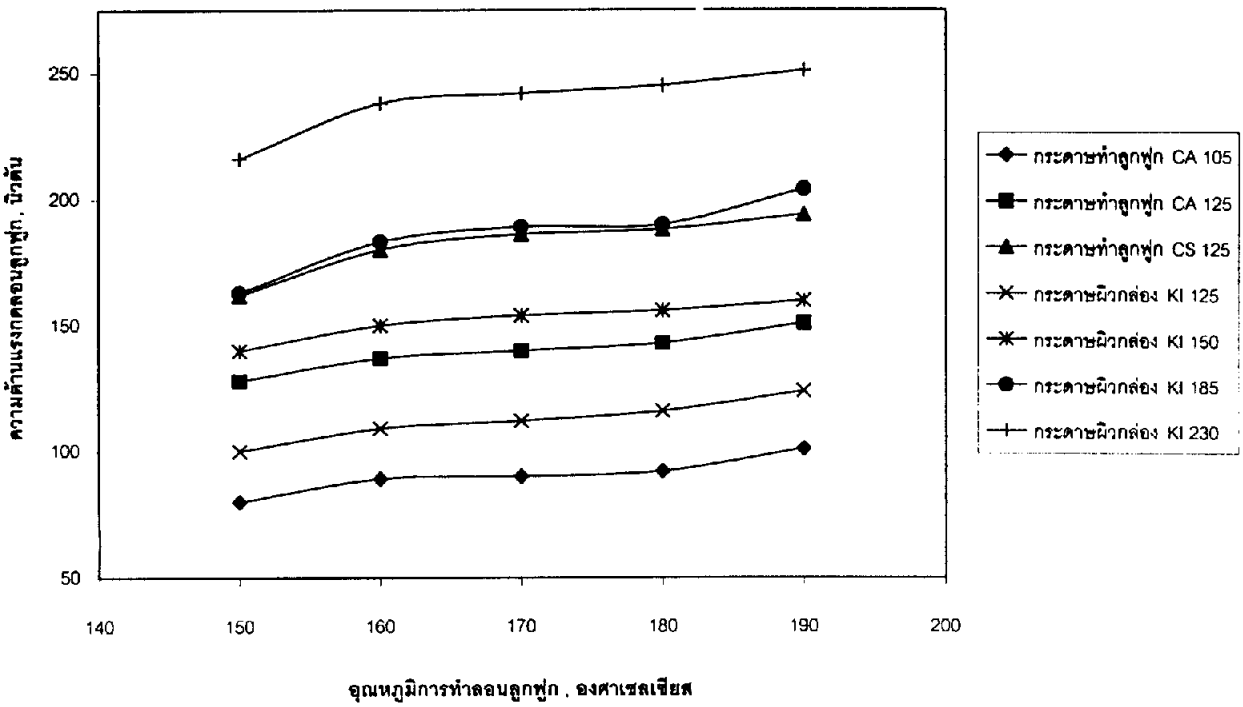
5.1.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกและอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

5.1.5.1การศึกษาผลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

การศึกษาผลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูก ชนิดลอน A จากเครื่องลอนทำลูกฟูกและใช้อุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูก 5 ระดับ คือ 150, 160, 170, 180 และ 190 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ผลการทดสอบตามตารางที่ 7 พบว่าค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำลูกฟูกและกระดาษผิวกล่องทั้งในแนวขนานเครื่องและแนวขวางเครื่องจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูกที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราการเพิ่มของค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกจะไม่เท่ากันในแต่ละช่วงของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูก ทั้งนี้เนื่องมาจากความร้อนที่เพิ่มขึ้นขณะ ทำลอนลูกฟูกทำให้ปริมาณความชื้นในกระดาษมีค่าลดลง ส่งผลให้ค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกมีค่าสูงขึ้น และอัตราการเพิ่มขึ้นน้อยมากในช่วงอุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูก 160 องศาเซลเซียส ถึง 170 องศาเซลเซียส และ 170 องศาเซลเซียส ถึง 180 องศาเซลเซียส ภาพที่ 24, 25 เช่น กระดาษผิวกล่อง KI 230 เมื่ออุณหภูมิของการทำกระดาษลอนลูกฟูกเพิ่มขึ้นจาก 160 องศาเซลเซียสเป็น 170 องศาเซลเซียสและ 170 องศาเซลเซียสเป็น 180องศาเซลเซียส ความต้านแรงกดลอนลูกฟูกในแนวขนานเครื่อง จะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.5 และ 0.6 ตามลำดับในแนวขวางเครื่องจะเปลี่ยนแปลงร้อยละ 1.7 และ 1.2 ตามลำดับ ดังนั้นการทำลอนลูกฟูกต้องควบคุมอุฯณหภูมิของเครื่องทำลอนลูกฟูกให้เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งกำหนดไว้ที่ 175 $\pm$ 8 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 24 อิทธิพลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูก (แนวขนานเครื่อง)

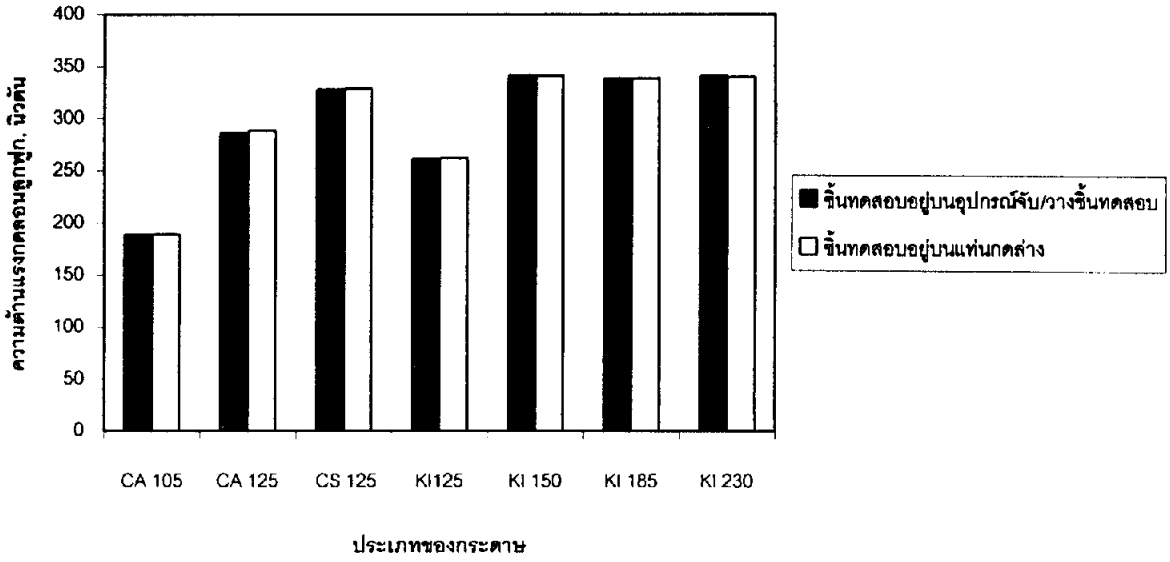


ภาพที่ 25 อิทธิพลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูก (แนวขวางเครื่อง)

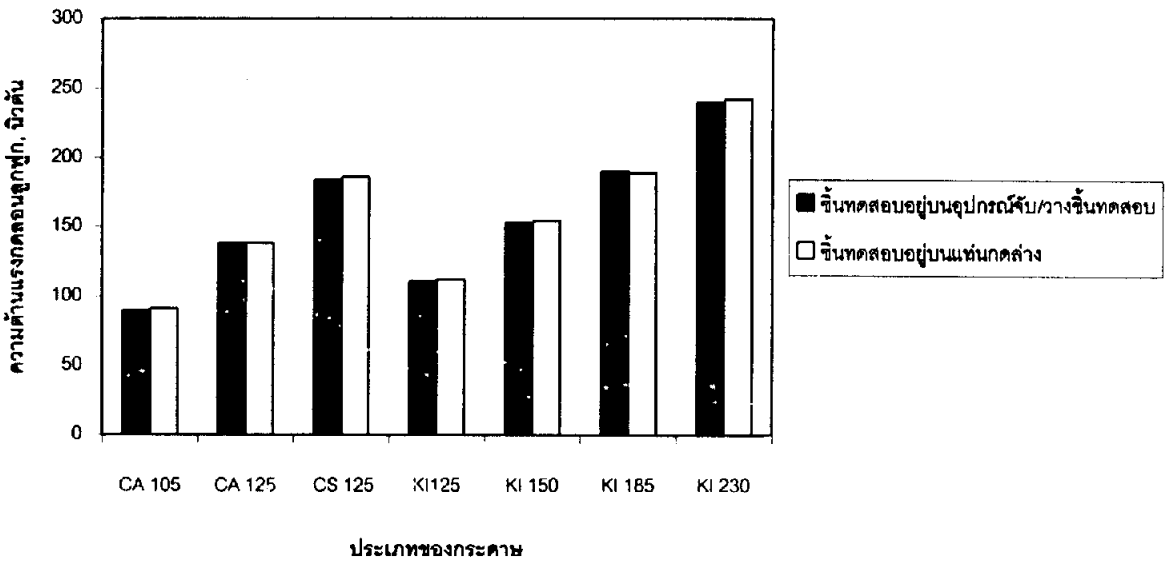
5.1.5.2การศึกษาผลของอุปกรณ์จับวางชิ้นทดสอบต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

การศึกษาผลของอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูก โดยทำลอนลูกฟูกชนิดลอนA จากเครื่องทำลอนลูกฟูกและใช้อุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูกที่ 175$\pm$8 องศา-เซลเซียส

ผลการทดสอบตามตารางที่ 8 พบว่าการทดสอบค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกที่ใช้อุปกรณ์จับวางชิ้นทดสอบให้ผลการทดสอบไม่แตกต่างจากการวางชิ้นทดสอบบนแท่นกดล่างของเครื่องทดสอบที่ทุกระดับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ และแนวของกระดาษทั้งสองแนว (แนวขนานเครื่อง และแนวขวางเครื่อง)เช่นผลการทดสอบกระดาษทำลูกฟูก CA 125 ค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกในแนวขนานเครื่องที่ใช้อุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบและวางไว้บนแท่นกดมีค่าเท่ากับ 286 และ 288 นิวตัน ตามลำดับ ผลการทดสอบไม่แตกต่างกัน ภาพที่ 26 และ 27 ดังนั้นสามารถใช้อุปกรณ์จับวางชิ้นทดสอบช่วยในการทดสอบได้ เพราะจะทำให้วางชิ้นทดสอบได้สะดวกขึ้นกว่าการวางชิ้นทดสอบไว้ที่แท่นกด



ภาพที่ 26 แสดงผลของอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก แนวขนานเครื่อง



ภาพที่ 27 แสดงผลของอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก แนวขวางเครื่อง

5.1.6การศึกษาผลของความเร็วของแท่นกดชิ้นทดสอบและความขนานของแท่นกดต่อค่าแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

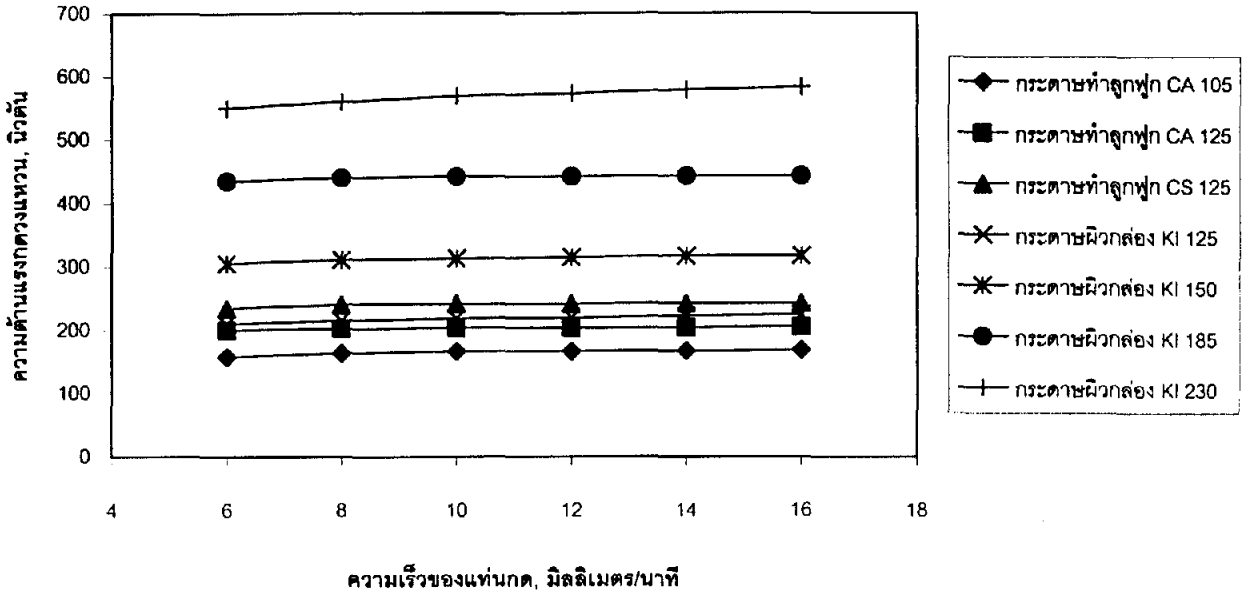
ในการทดสอบความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก ทำลอนลูกฟูกชนิดลอน A จากเครื่องทำลอนลูกฟูก โดยใช้อุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูกที่ 175 $\pm$ 8 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบตามตารางที่ 9,10 และ 11 ภาพที่ 28-39 พบว่าที่ทุกระดับน้ำหนักของกระดาษและแนวของกระดาษทั้งสองแนว (แนวขนานเครื่องและแนวขวางเครื่อง) ผลการทดสอบดังนี้

5.1.6.1 ความเร็วของแท่นกดเพิ่มขึ้นจาก 6 ถึง 16 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร ทั้งค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่ถ้าความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่ 0.059/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร ทั้งค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก จะมีค่าลดลงตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเร็วของแท่นกด ส่วนค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูก จะเพิ่มขึ้น ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเร็วของแท่นกดแต่จำนวนชิ้นทดสอบในแต่ละระดับ ความเร็วของแท่นกดจะชำรุด เนื่องจากการล้มของลอนลูกฟูกสูงถึงร้อยละ 60 ของชิ้นทดสอบที่ใช้ในการทดสอบ

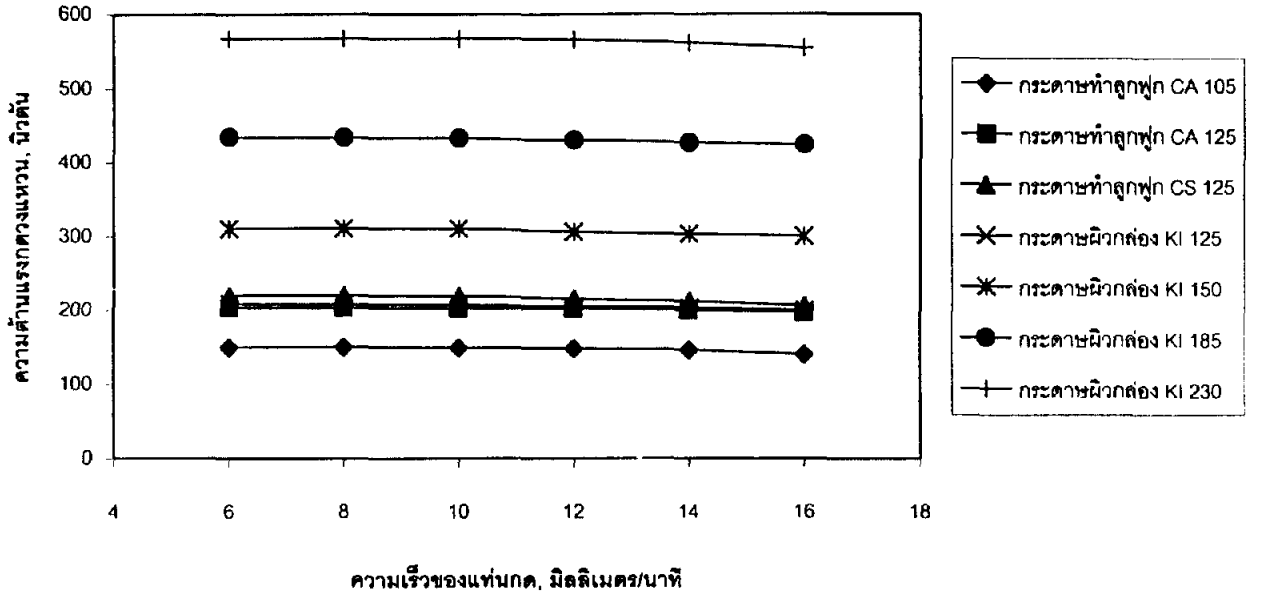
5.1.6.2 ที่ระดับของการเพิ่มความเร็วของแท่นกดเดียวกัน ที่ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่ 0.059/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร ทั้งค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก จะมีค่าน้อยกว่าที่การทดสอบโดยใช้ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร (แท่นกดขนานกัน) ทั้งนี้เนื่องจากแท่นกดที่ไม่ขนานกัน (ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่ 0.059/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตรในทางปฏิบัติถือว่าไม่ขนานกัน) จะทำให้กระดาษรับแรงได้ไม่สม่ำเสมอทำให้ค่าแรงที่ได้มีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

5.1.6.3 การทดสอบที่ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร ที่ระดับการเพิ่มความเร็วในช่วงต่ำๆ (6-10 มิลลิเมตรต่อนาที) ทั้งค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก มีความแตกต่างของการทดสอบมากกว่าที่ระดับการเพิ่มความเร็วในช่วงสูงๆ (10-16 มิลลิเมตรต่อนาที)

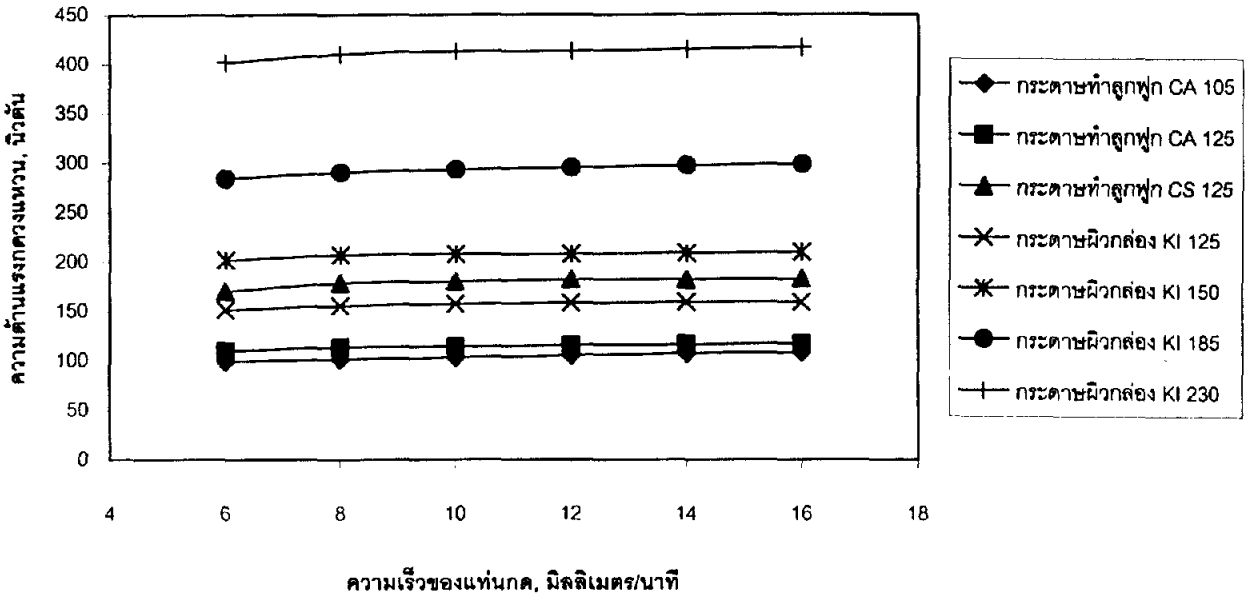
5.1.6.4 การทดสอบที่ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร ที่ระดับการเพิ่มความเร็วในช่วงต่ำๆ (6-10 มิลลิเมตรต่อนาที) ทั้งค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก มีความแตกต่างของการทดสอบน้อยกว่าที่ระดับการเพิ่มความเร็วในช่วงสูงๆ (10-16 มิลลิเมตรต่อนาที)



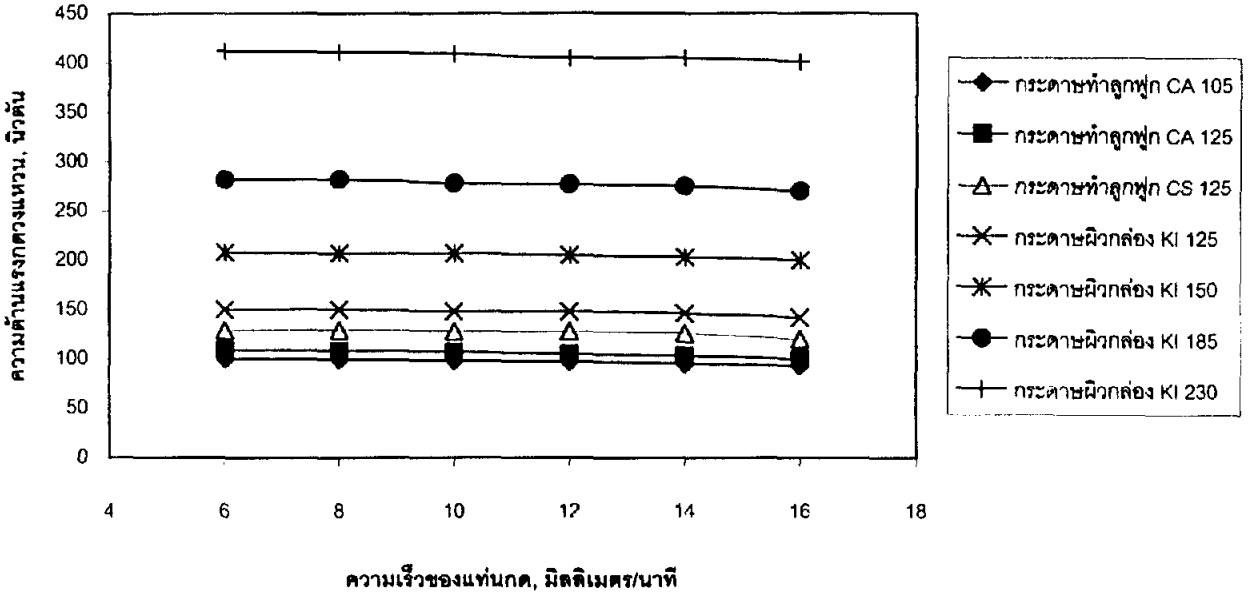
ภาพที่ 28 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.050 มิลลิเมตร / 50 มิลลิเมตร) แนวขนานเครื่อง



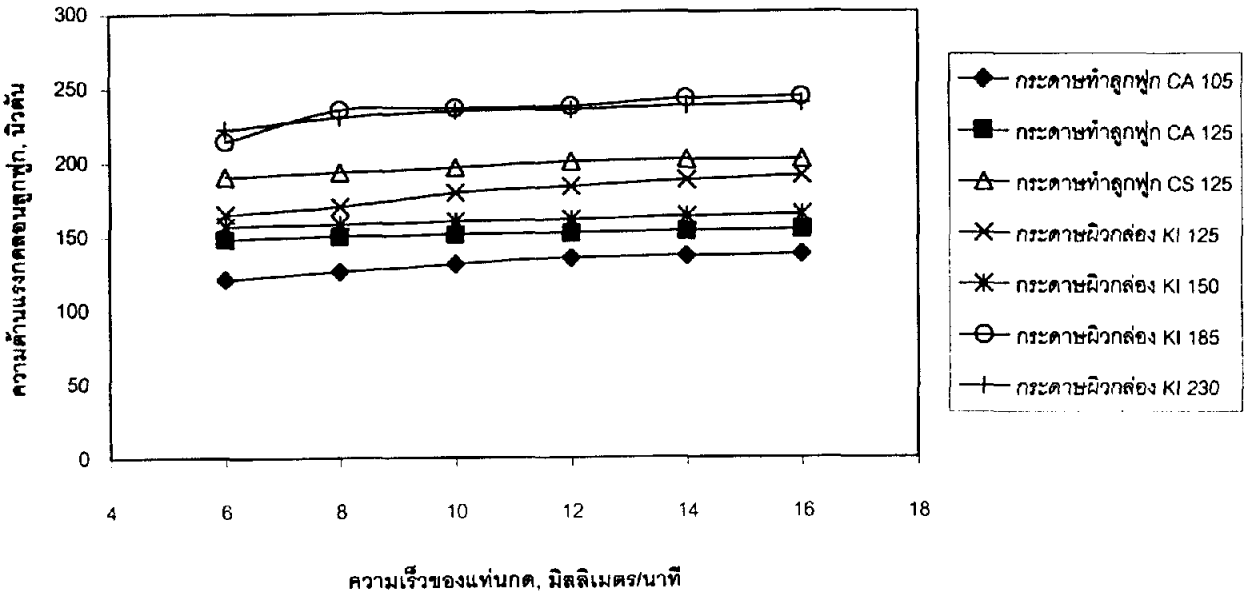
ภาพที่ 29 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.059 มิลลิเมตร / 50 มิลลิเมตร) แนวขนานเครื่อง



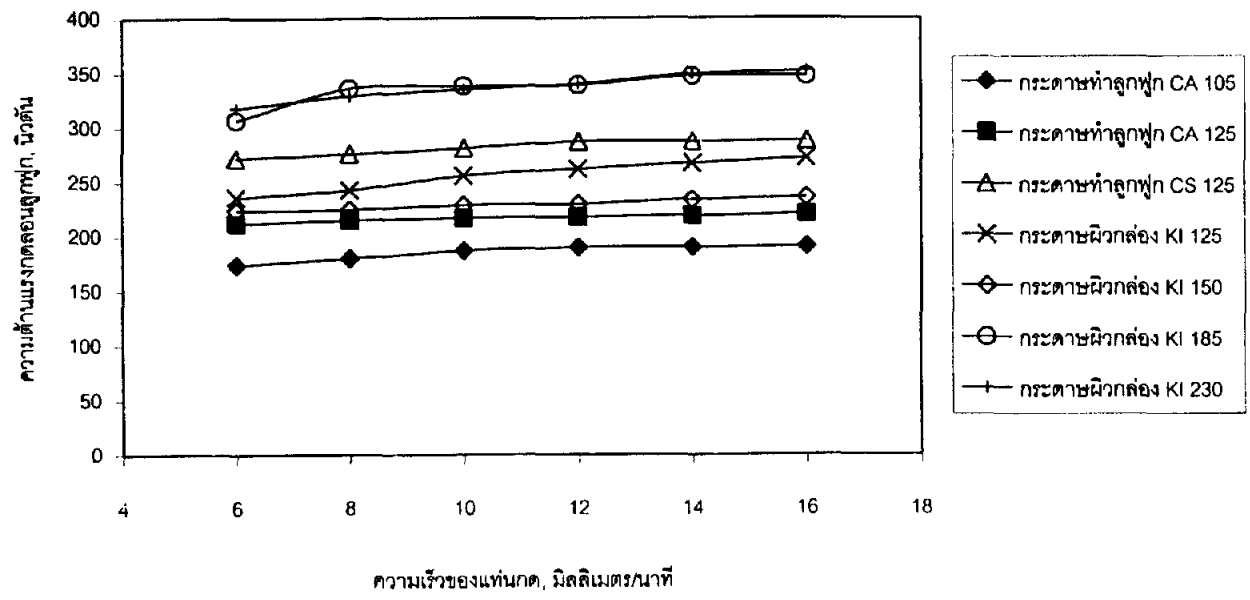
ภาพที่ 30 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.050 มิลลิเมตร / 50 มิลลิเมตร แนวขวางเครื่อง)



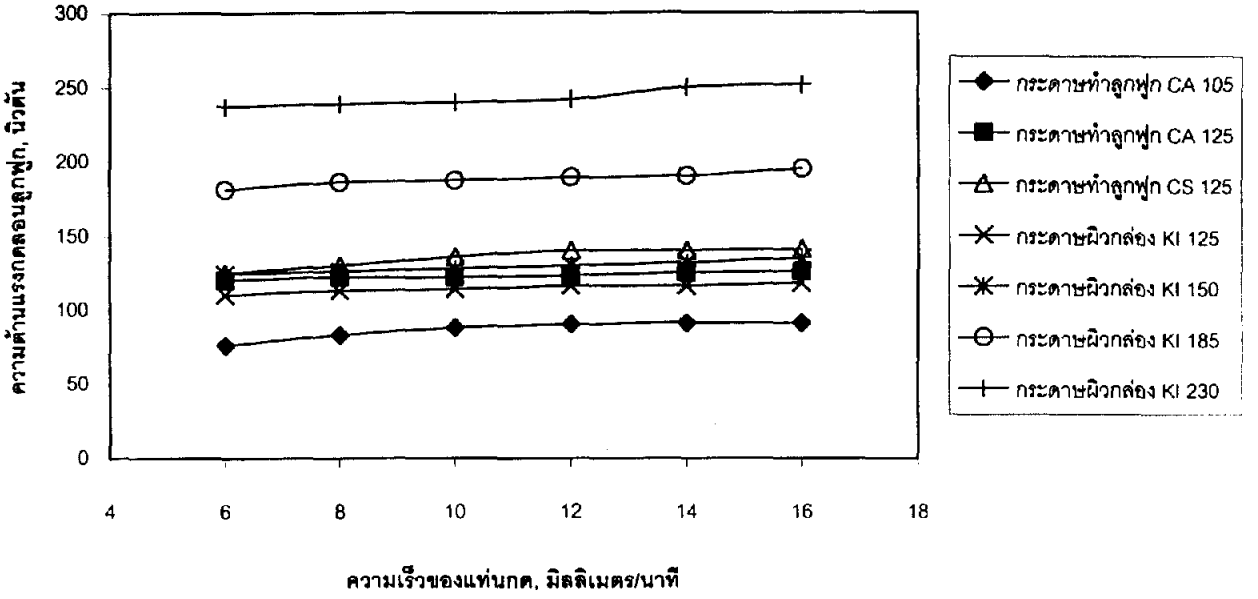
ภาพที่ 31 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.059 มิลลิเมตร / 50 มิลลิเมตร แนวขวางเครื่อง)



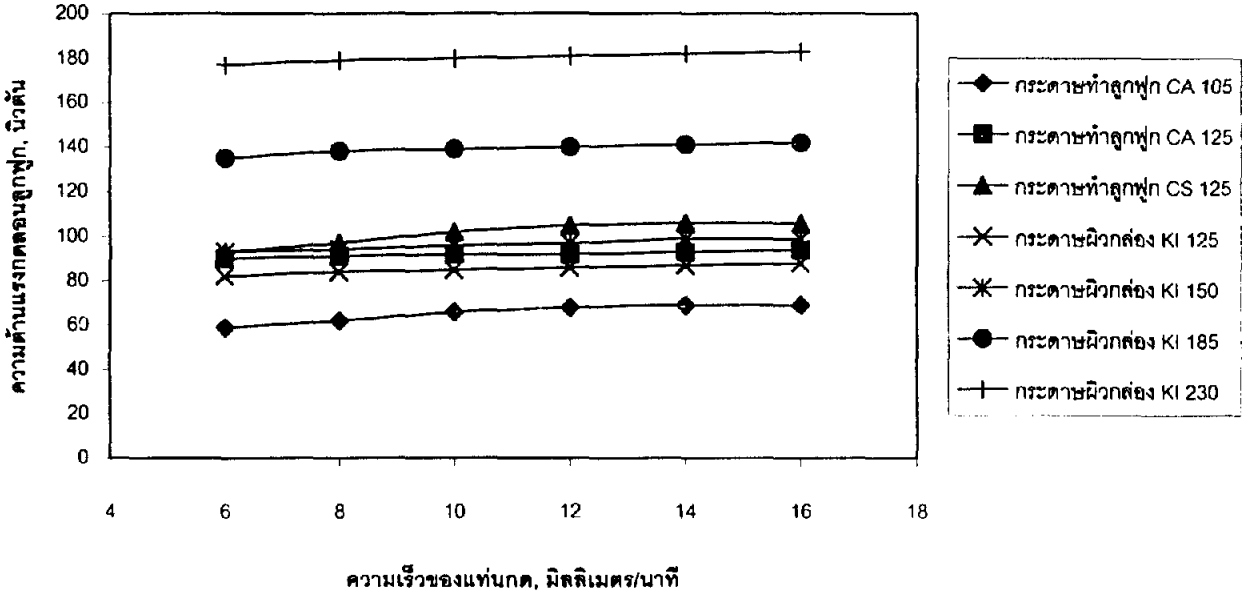
ภาพที่ 32 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.050 มิลลิเมตร / 50 มิลลิเมตร) แนวขนานเครื่อง



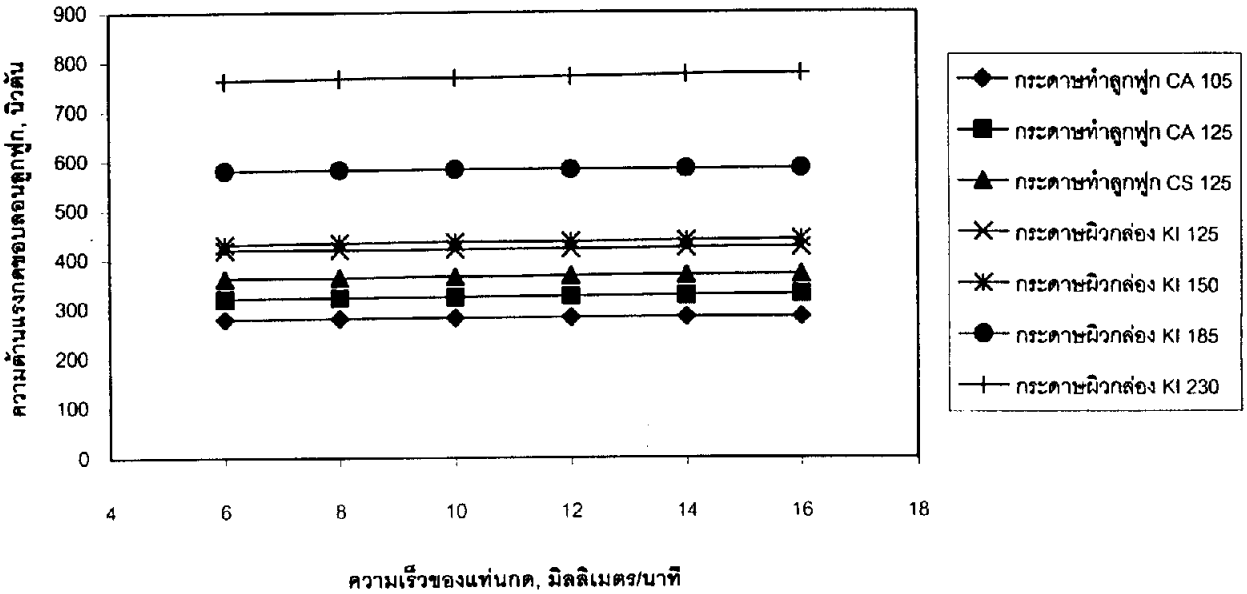
ภาพที่ 33 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.059 มิลลิเมตร / 50 มิลลิเมตร) แนวขนานเครื่อง



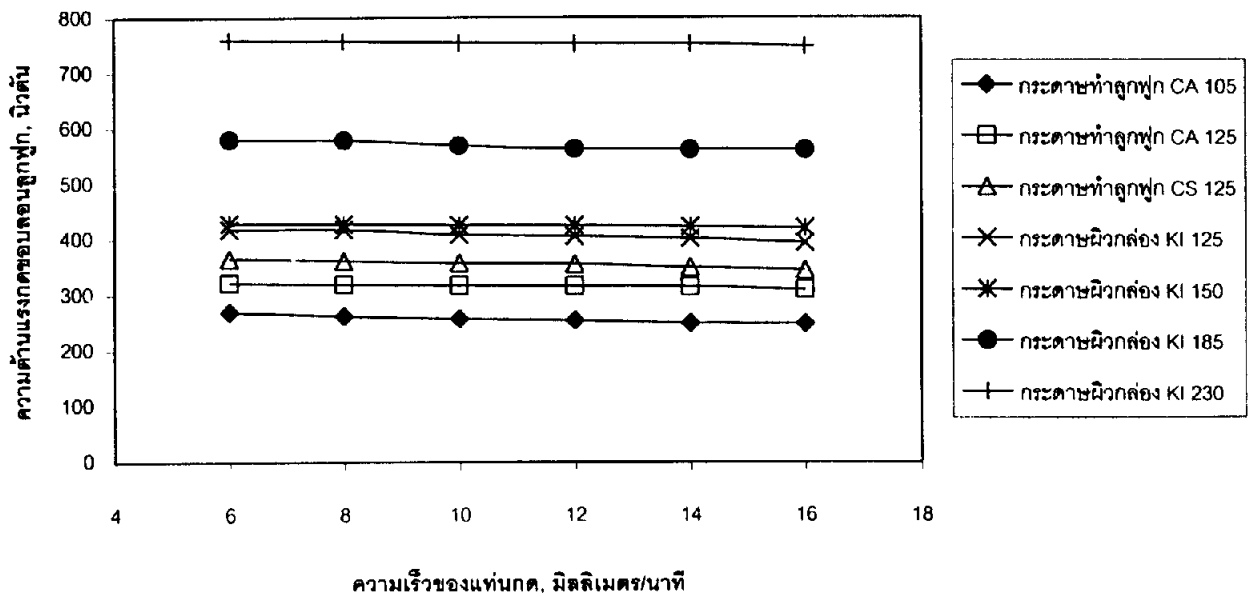
ภาพที่ 34 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.050 มิลลิเมตร / 50 มิลลิเมตร) แนวขวางเครื่อง



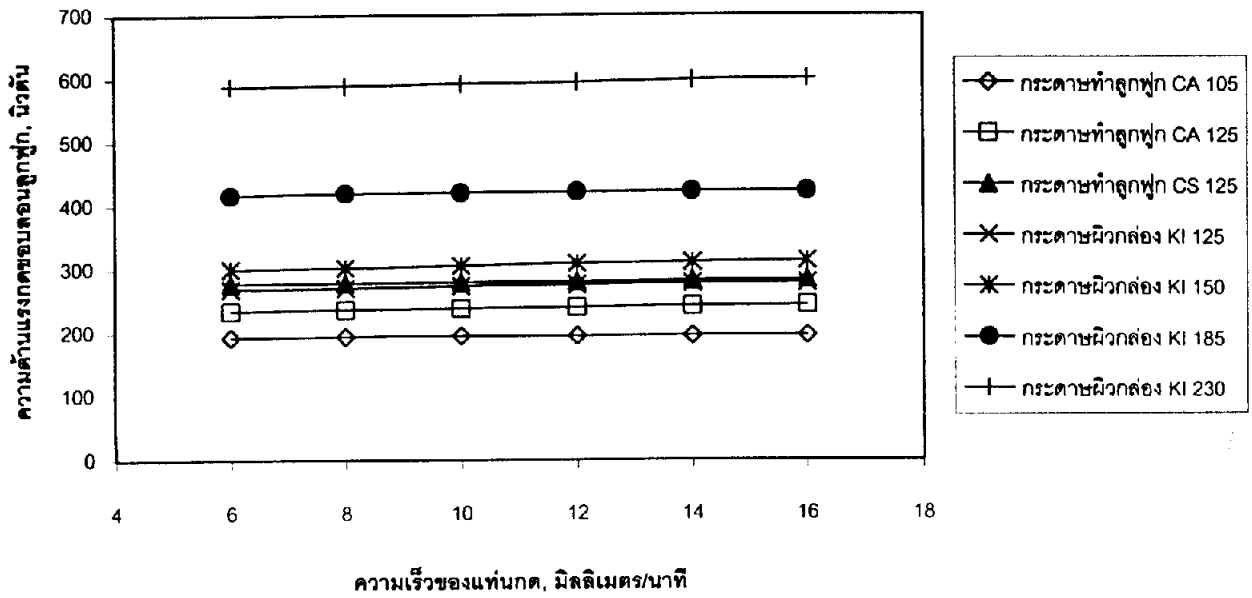
ภาพที่ 35 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.059 มิลลิเมตร / 50 มิลลิเมตร) แนวขวางเครื่อง



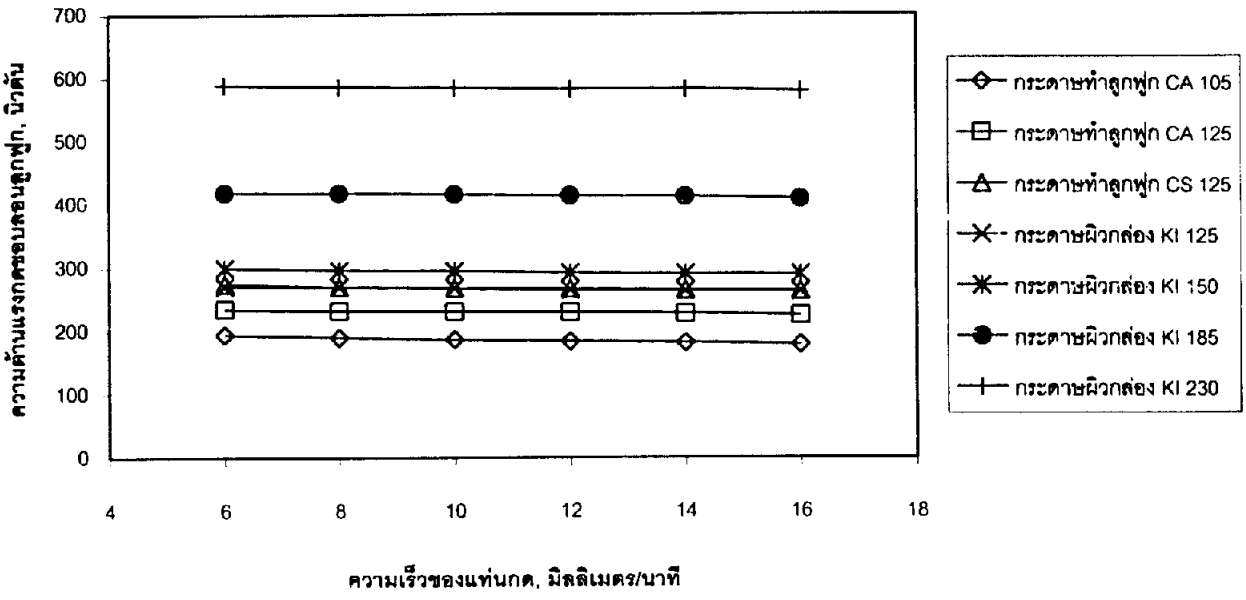
ภาพที่ 36 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.050 มิลลิเมตร / 50 มิลลิเมตร) แนวขนานเครื่อง



ภาพที่ 37 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.059 มิลลิเมตร / 50 มิลลิเมตร) แนวขนานเครื่อง



ภาพที่ 38 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.050 มิลลิเมตร / 50 มิลลิเมตร) แนวขวางเครื่อง



ภาพที่ 39 แสดงผลของความเร็วและความขนานของแท่นกดต่อความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก (ความขนาน 0.059 มิลลิเมตร / 50 มิลลิเมตร) แนวขวางเครื่อง

บทที่ 6
สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

6.1 การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อความต้านแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

6.1.1. การศึกษาผลของน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษต่อค่าความต้านแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูก ผลจากการทดสอบพบว่าน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่าดัชนีความต้านแรงกดของกระดาษในรูปของดัชนีความต้านแรงกดวงแหวน ดัชนีความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก มีค่าสูงขึ้นด้วย ส่วนดัชนีความต้านแรงกดระยะสั้นของกระดาษจะมีแนวโน้มเกือบคงที่

6.1.2 .การศึกษาผลของความหนาแน่นเสมือนของกระดาษต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก และความต้านแรงกดระยะสั้น ตามตารางที่ 4 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า

6.1.2.1.ค่าดัชนีความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกระดาษมความหนาแน่นเสมือนเพิ่มขึ้น แต่ค่าดัชนีความต้านแรงกดวงแหวนจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ที่ระดับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษต่ำๆ (97.5 กรัมต่อตารางเมตร) ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษต่ำ ๆ มวล (เนื้อกระดาษ) ในการรับแรงมีน้อยค่าที่ได้จึงเพิ่มขึ้นไม่มาก

6.1.2.2.ที่ทุกระดับน้ำหนักมาตรฐานเมื่อกระดาษมีความหนาแน่นเสมือนเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกและค่าดัชนีความต้านแรงกดระยะสั้นของกระดาษมีค่าเพิ่มขึ้น

6.1.3 .การศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์และปริมาณความชื้นในกระดาษต่อค่าความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก โดยควบคุมสภาวะการทดสอบที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียสเดียวกัน แต่ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 50, 60, 65, 70 และ 80 ตามลำดับ

6.1.3.1.กระดาษจะมีปริมาณความชื้นในกระดาษมากขึ้น เมื่อเก็บกระดาษไว้ที่ ความชื้นสัมพัทธ์ในการควบคุมสภาวะของกระดาษก่อนการทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้น

6.1.3.2.ที่ทุกระดับน้ำหนักมาตรฐานค่าความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษมีค่าลดลงเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในการควบคุมสภาวะของกระดาษก่อนการทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้น

6.1.4 .การศึกษาผลของความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบต่อความต้านแรงกดวงแหวนของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

ผลการศึกษาความกว้างของร่องวงแหวนอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบ จะเห็นได้ว่าค่าความต้านแรงกดวงแหวนของการใส่ชิ้นทดสอบที่คับเกินไปและการใส่ชิ้นทดสอบที่หลวมเกินไปมีค่าต่ำกว่าที่การใส่ชิ้นทดสอบที่พอดีพอเหมาะ เนื่องจากการใส่ชิ้นทดสอบที่คับเกินไปต้องใช้แรงช่วยดันให้ชิ้นทดสอบเข้าไปในอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบทำให้ชิ้นทดสอบเสียหายและถ้าไม่ระมัดระวังในการใส่ชิ้นทดสอบสันกระดาษจะไม่เรียบเสมอกันจะทำให้แรงกดทับที่สันกระดาษมีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็นและ เมื่อมีการใส่ชิ้นทดสอบที่หลวมเกินไปผิวหน้าของชิ้นทดสอบจะไม่สัมผัสกับผนังของร่องวงแหวน เมื่อทำการทดสอบขณะกดทับกระดาษ กระดาษจะเคลื่อนตัวได้ ทำให้แรงกดทับน้อยกว่าที่เป็นควรจะเป็นเช่นกัน ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปฏิบัติตามมาตรฐานที่กำหนด คือต้องเลือกอุปกรณ์จับชิ้นทดสอบให้เหมาะสมกับความหนาของชิ้นทดสอบด้วย

6.1.5. การศึกษาผลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกและอุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

6.1.5.1.การศึกษาผลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูกต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

ผลของอุณหภูมิการทำลอนลูกฟูก เมื่อใช้อุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูกสูงขึ้น ค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำลูกฟูก และกระดาษผิวกล่องทั้งในแนวขนานเครื่องและแนวขวางเครื่องจะมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่ออุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูกที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราการเพิ่มของค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกจะไม่เท่ากันในแต่ละช่วงของอุณหภูมิของการทำลอนลูกฟูก

6.1.5.2.การศึกษาผลของอุปกรณ์จับวางชิ้นทดสอบต่อค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

เมื่อใช้อุปกรณ์จับ/วางชิ้นทดสอบค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกไม่แตกต่างจากการวางชิ้นทดสอบบนแท่นกดล่างของเครื่องทดสอบ ดังนั้นสามารถใช้อุปกรณ์จับวางชิ้นทดสอบช่วยในการทดสอบได้ เพราะจะทำให้วางชิ้นทดสอบได้สะดวกขึ้นกว่าการวางชิ้นทดสอบไว้ที่แท่นกดโดยตรง

6.1.6. การศึกษาผลของความเร็วของแท่นกดชิ้นทดสอบและความขนานของแท่นกดต่อค่าแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูก

ผลของความเร็วของแท่นกดชิ้นทดสอบและความขนานของแท่นกด

6.1.6.1.ความเร็วของแท่นกดที่เพิ่มขึ้นจาก 6 ถึง 16 มิลลิเมตรต่อนาที ที่ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่น้อย กว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร ค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ถ้าความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่ 0.059/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร ค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกจะมีค่าลดลง ส่วนค่าความต้านแรงกดลอนลูกฟูกจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเร็วของแท่นกด แต่จำนวนชิ้นทดสอบในแต่ละระดับความเร็วของแท่นกดจะชำรุด เนื่องจากการล้มของลอนลูกฟูกสูงถึง ร้อยละ 60 ของชิ้นทดสอบที่ใช้ในการทดสอบ

6.1.6.2.ที่ระดับของการเพิ่มความเร็วของแท่นกดเดียวกัน (ระดับความเร็วเดียวกัน) ที่ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่ 0.059/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร ค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกจะมีค่าน้อยกว่าที่การทดสอบโดยใช้ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตร

6.1.6.3 การทดสอบที่ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.05/50 มิลลิเมตรต่อมิลลิเมตรที่ระดับการเพิ่มความเร็วในช่วงต่ำ ๆ (6-10 มิลลิเมตรต่อนาที) ค่าความต้านแรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูก จะมีความแตกต่างของผลการทดสอบมากกว่าที่ระดับการเพิ่มความเร็วในช่วงสูงๆ (10-16 มิลลิเมตรต่อนาที) และการทดสอบที่ความขนานของแท่นกดบน/ล่างที่

แรงกดวงแหวน ความต้านแรงกดลอนลูกฟูก ความต้านแรงกดขอบลอนลูกฟูกจะมีความแตกต่างของผลการทดสอบน้อยกว่าที่ระดับการเพิ่มความเร็วในช่วงสูงๆ (10-16 มิลลิเมตรต่อนาที)

6.1.7 จากผลของการศึกษาอิทธิพลตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อความต้านแรงกดของกระดาษทำกล่องลูกฟูกดังกล่าวข้างต้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปฏิบัติตามมาตรฐานการทดสอบที่อ้างถึง เพราะจะทำให้ได้ผลการทดสอบ ถูกต้องตรงความจริง และสามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการต่างๆ กันได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น

คำขอบคุณ

การศึกษาวิจัยเรื่องนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงตรงตามวัตถุประสงค์เป็นอย่างดี มิได้เกิดขึ้นเนื่องจากผู้วิจัยโดยลำพังแต่เพียงผู้เดียว แต่ได้รับความอนุเคราะห์และร่วมมือจากภาคเอกชน ผู้วิจัยใคร่ขอแสดงคำขอบคุณต่อผู้มีส่วนเกี่ยวข้องดังนี้

1.บริษัทสยามคราฟท์อุตสาหกรรม จำกัด ที่อนุเคราะห์กระดาษผิวกล่อง กระดาษทำลูกฟูก ในการวิจัย

2.บริษัทอุตสาหกรรมกระดาษคราฟ์ทไทย จำกัด ที่อนุเคราะห์กระดาษผิวกล่อง กระดาษทำลูกฟูก ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระดาษทำลูกฟูก (Standard for corrugating medium) " มอก. 321-25 กระทรวงอุตสาหกรรม
2. Tappi Test Methods " Ring crush of paperboard (rigid support method)." Tappi T 822 om –93
3. Tappi Test Methods " Ring crush of paperboard." Tappi T 818 cm –97
4. Tappi Test Methods " Flat crush of corrugating medium (CMT test)." Tappi T 809 om –93
5. Tappi Test Methods " Edgewise compressive Strength of corrugated fiberboard (short column test)." Tappi T 811 om –95
6. Tappi Test Methods " Flat crush test of corrugated board (rigid support method)." Tappi T 825 om –96
7. Tappi Test Methods " Flat crush test of corrugated board (flexible beam method)." Tappi T 808 om –97
8. Tappi Test Methods " Fluted edge crush of corrugating medium ." Tappi T 824 om –93
9. International Organization for Standardization " ISO standard Determination of the flat crush resistance after laboratory fluting ." ISO 7263-1985
10. International Organization for Standardization " ISO standard Determination of flat crush resistance ." ISO 3035-1982 (E)
11. International Organization for Standardization " ISO standard Determination of edgewise crush resistance ." ISO 3037-1982 (E)