

# อภิธาน์ทนาการ

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์



สำนักหอสมุด

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษสาสำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหย

Investigation of Physical Properties of a Mulberry Paper for Evaporative Cooling System

หัวหน้าโครงการวิจัย : ดร. สมชาย มณีวรรณ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ผู้ร่วมวิจัย : ดร.อนุสรณ์ วรสิงห์ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ผู้ร่วมวิจัย : นางสาวนิตยา อายูเย็น ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ผู้ร่วมวิจัย : นางสาวประไพ เปรมปรีดิ์ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ผู้ร่วมวิจัย : นางวิชุดา สุดเทศ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร  
วันลงทะเบียน..... 5. III. 2011.....  
เลขทะเบียน..... 15648190 ๔3.....  
เลขเรียกหนังสือ..... อ 7H.....  
7684  
งคสว  
๒๕๕๐

สนับสนุนโดยงบประมาณรายได้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ 2550

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากงบประมาณรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
สาขาฟิสิกส์ ประจำปีงบประมาณ 2550



## การศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษสาสำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหย

### บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก แต่เนื่องจากปัจจุบันนี้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อเกษตรกรรม จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้นำระบบทำความเย็นแบบระเหยมาประยุกต์ใช้ในเกษตรอุตสาหกรรม อาทิเช่น โรงเรือนเลี้ยงไก่ โรงเรือนกล้วยไม้ โดยใช้แผ่นม่านน้ำในการทำ ความเย็น ซึ่งปัจจุบันม่านน้ำต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาค่อนข้างแพง จึงทำให้เกิดแนวคิดในการ นำกระดาษสาพัฒนาเพื่อนำมาใช้แทนม่านน้ำ เนื่องจากสมบัติทางกายภาพของกระดาษสาก็คือเดียวกับ ม่านน้ำที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษสาตามมาตรฐาน ISO 3781 : 1983, ISO 534 : 1988, ISO 535 : 1991, และ ISO 536 : 1995 เพื่อจัดทำมาตรฐานกระดาษสาของพื้นที่ ภาคเหนือ และเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการออกแบบ CelPad สำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหยต่อไป โดยทำการศึกษา ความสามารถในการดูดซึมน้ำ ค่าความต้านแรงดึงขาด น้ำหนักมาตรฐาน ค่าความหนา และค่าความหนาแน่นของกระดาษสา โดยใช้กระดาษสาจาก 3 แหล่ง คือ บ้านนาเหลือง อำเภอยางตลาด จังหวัดน่าน(A), บ้านสะเนียน อำเภอมือจก จังหวัดน่าน(B) และ บ้านแยง อำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก (C)

จากการศึกษา พบว่า ค่าความต้านแรงดึงขณะแห้งสูงสุดมีค่าเท่ากับ 16.811 kN/m ค่าความต้านแรงดึงขณะเปียกสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.089 kN/m ค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำสูงสุดเท่ากับ 3.4537 กรัม หรือคิดเป็น 475.21 % ดังนั้นกระดาษสาจึงมีสมบัติที่เหมาะสมสามารถนำมาผลิตเป็นม่านน้ำใช้แทนม่านน้ำที่นำเข้าจากต่างประเทศในปัจจุบันได้

## Investigation of Physical Properties of a Mulberry Paper for Evaporative Cooling System

### Abstract

Thailand is an agriculture country. Present, world's average ambient temperature is high and influence to agriculture. That is a reason to application evaporative cooling for agroindustrial such as chicken farm ,orchid building, ect. We used cooling pad for cool building. At the present, we imported the celpad, which is expensive. Therefore, this is an idea develop mulbury paper represent celpad. The reason is physical properties of mulbury paper, which are neighbouring celpad and low cost.

The objectives of this project are to study the physical properties of mulbury paper according to ISO3781:1983, ISO534:1988, ISO535:1991 and ISO536:1995 to prepare a standard of mulbury paper in the nortg part of Thailand and to design celpad from mulbury paper for using in evaporative cooling system. We studied water absorptiveness, tensile strength, basis weight (gramage), thickness and density. The mulbury papers were form Naloaeng Wiangsa Nan(A), Sanian Moaeng Nan(B) and Yang Nachornthai Pitsanuloke(C).

The results reported that maximum tensile strength was 16.811 kN/m, maximum tensile strength after immersion in water was 1.089 kN/m, water absorptiveness was 3.4537 g or 475.21%. Hence, mulbury paper had physical properties appropriate for cooling pad produce.

# สารบัญ

	หน้า
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ของงานวิจัย.....	3
<b>บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี</b> .....	4
2.1 ระบบการทำความเย็นแบบระเหย.....	4
2.2 หลักการทำความเย็นแบบระเหย.....	5
2.3 พัฒนาการของระบบทำความเย็นแบบระเหย.....	6
2.4 คุณภูมิเฉลี่ยของประเทศไทย.....	7
2.5 ระบบทำความเย็นแบบระเหยกับการประยุกต์ใช้.....	8
2.6 ลักษณะของเส้นใยกระดาษ.....	10
2.7 กระดาษสา.....	11
2.8 สมบัติที่สำคัญของวัสดุดิบในด้านเยื่อกระดาษ.....	20
2.9 วิธีการทดสอบสมบัติทางโครงสร้างของกระดาษ.....	21
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
<b>บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง</b> .....	36
3.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	36
3.2 วิธีการทดสอบสมบัติต่าง ๆ.....	39
3.3 การพิจารณาโครงสร้างของกระดาษด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	52
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล</b> .....	54
4.1 ศักยภาพและแหล่งการผลิตกระดาษสา.....	54
4.2 คำน้่าน้ำหนักมาตรฐาน ค่าความหนา และความหนาแน่นของกระดาษสา.....	55
4.3 สมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาษสา.....	56

## สารบัญ (ต่อ)

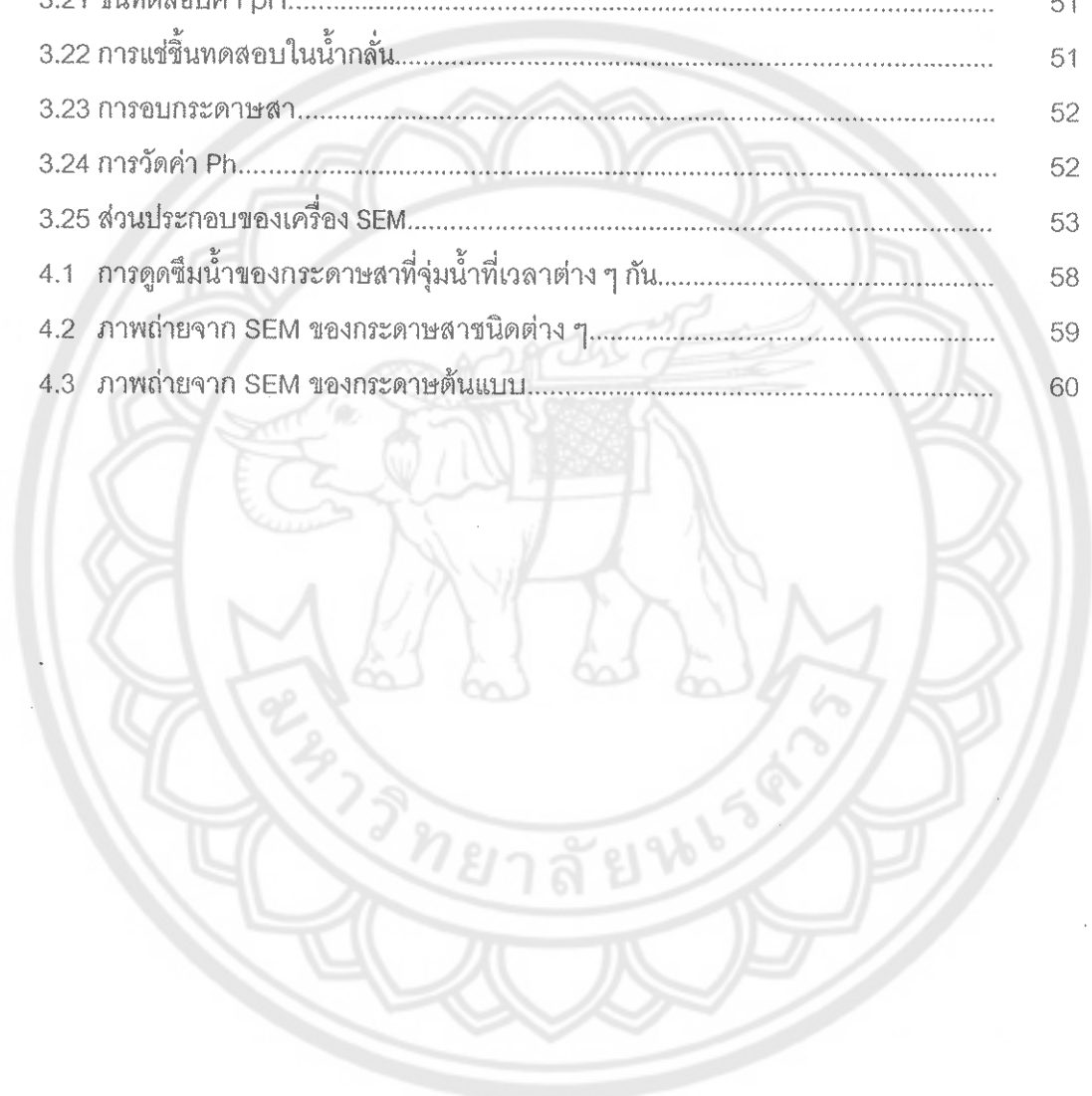
	หน้า
4.4 ลักษณะเส้นใยของกระดาษโดยใช้ SEM.....	59
4.5 ค่าความต้านแรงดึงขาดของกระดาษสา.....	61
4.6 ค่า pH เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 25-45 °C.....	62
4.7 การจัดมาตรฐานของกระดาษสา.....	62
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	65
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	66
บรรณานุกรม.....	67
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก การทดสอบทางกายภาพของกระดาษสา.....	74
ภาคผนวก ข รูปถ่ายลักษณะเส้นใยจากเครื่อง SEM.....	95

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 อุณหภูมิเฉลี่ยของโลก.....	1
2.1 หลักการทำความเข้าใจแบบระเหย.....	5
2.2 โรงเรือนเลี้ยงโคนม.....	9
2.3 โรงเรือนเลี้ยงไก่.....	10
2.4 โรงเรือนเลี้ยงกล้วยไม้.....	10
2.5 การตีเยื่อเยื่อปอสาด้วยเครื่องตีเยื่อ.....	15
2.6 การทำแผ่นกระดาษแบบซ้อนหรือดัก.....	16
2.7 การตากกระดาษ.....	18
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	35
3.2 กระดาษสาตัวอย่าง.....	36
3.3 เครื่องซังกระดาษสา.....	37
3.4 เครื่องวัดความหนา.....	37
3.5 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ.....	38
3.6 เครื่อง pH tester.....	38
3.7 เครื่องทดสอบค่าความต้านแรงดึงขาด.....	39
3.8 ขั้นตอนการทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน.....	39
3.9 กระดาษสา.....	41
3.10 ขั้นตอนการทดสอบความหนาและความหนาแน่น.....	41
3.11 การวัดความหนา.....	43
3.12 ตำแหน่งของการวัดความหนา.....	43
3.13 ขั้นตอนการทดสอบความต้านแรงดึงขาด.....	44
3.14 ขั้นตอนทดสอบแรงดึงขาด.....	46
3.15 การจุ่มขึ้นทดสอบในน้ำกลั่น.....	46
3.16 การติดตั้งขึ้นทดสอบ.....	46
3.17 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ.....	47
3.18 ขั้นตอนทดสอบการดูดซึมน้ำ.....	49

## สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.19 การแช่ขึ้นทดสอบในน้ำกลั่น.....	49
3.20 ขั้นตอนการทดสอบค่า pH.....	50
3.21 ขึ้นทดสอบค่า pH.....	51
3.22 การแช่ขึ้นทดสอบในน้ำกลั่น.....	51
3.23 การอบกระดาษสา.....	52
3.24 การวัดค่า Ph.....	52
3.25 ส่วนประกอบของเครื่อง SEM.....	53
4.1 การดูดัชนีน้ำของกระดาษสาที่จุ่มน้ำที่เวลาต่าง ๆ กัน.....	58
4.2 ภาพถ่ายจาก SEM ของกระดาษสาชนิดต่าง ๆ.....	59
4.3 ภาพถ่ายจาก SEM ของกระดาษต้นแบบ.....	60





## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่	
2.1 อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี จำแนกตามภาค พ.ศ. 2538 – 2547.....	7
2.2 แหล่งผลิตกระดาษสาในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	13
4.1 จังหวัดที่มีการผลิตกระดาษสาในเขตภาคเหนือ .....	55
4.2 แสดงค่าน้ำหนักมาตรฐาน ค่าความหนา และความหนาแน่นของกระดาษสา.....	56
4.3 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสาที่เวลาต่าง ๆ.....	57
4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของกระดาษชนิดต่าง ๆ.....	58
4.5 ผลการทดสอบค่าความต้านแรงดึงขาดของกระดาษชนิดต่าง ๆ ในสภาวะแห้ง และเปียก.....	61
4.6 ผลการทดสอบค่า pH ของกระดาษที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	62
4.7 มาตรฐานกระดาษ A1.....	63
4.8 มาตรฐานกระดาษ A2.....	63
4.9 มาตรฐานกระดาษ A3.....	63
4.10 มาตรฐานกระดาษ B0.....	64
4.11 มาตรฐานกระดาษ B1.....	64
4.12 มาตรฐานกระดาษ B2.....	64
4.13 มาตรฐานกระดาษ C1.....	65
4.14 มาตรฐานกระดาษ C2.....	65
5.1 สรุปมาตรฐานของกระดาษสาจากแหล่งต่าง ๆ.....	67

## รายการสัญลักษณ์

### ลำดับ

1	กระดาษต้นแบบ 1	กระดาษจาก CelPad ที่ผ่านการใช้งานแล้ว
2	กระดาษต้นแบบ 2	กระดาษจาก CelPad ที่ยังไม่ได้ใช้งาน
3	A1	กระดาษสาจากบ้านนาเหลือง ขนาดเบอร์ 1
4	A2	กระดาษสาจากบ้านนาเหลือง ขนาดเบอร์ 2
5	A3	กระดาษสาจากบ้านนาเหลือง ขนาดเบอร์ 3
6	B0	กระดาษสาจากบ้านสะเนียน ขนาดเบอร์ 0
7	B1	กระดาษสาจากบ้านสะเนียน ขนาดเบอร์ 1
8	B2	กระดาษสาจากบ้านสะเนียน ขนาดเบอร์ 2
9	C1	กระดาษสาจากบ้านแยง ขนาดเบอร์ 1
10	C2	กระดาษสาจากบ้านแยง ขนาดเบอร์ 2
11	m	เมตร
12	m <sup>2</sup>	ตารางเมตร
13	cm	เซนติเมตร
14	cm <sup>2</sup>	ตารางเซนติเมตร
15	cm <sup>3</sup>	ลูกบาศก์เซนติเมตร
16	mm	มิลลิเมตร
17	g	กรัม
18	kg	กิโลกรัม
19	mg	มิลลิกรัม
20	g/m	กรัมต่อเมตร
21	g/m <sup>2</sup>	กรัมต่อตารางเมตร
22	kg/m <sup>3</sup>	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
23	kN	กิโลนิวตัน
24	kN/m	กิโลนิวตันต่อเมตร
25	ml	มิลลิลิตร
26	L	ความหนา
27	g	น้ำหนักมาตรฐาน
28	$\rho$	ความหนาแน่น
29	A	ความสามารถการดูดซึมน้ำ

## รายการสัญลักษณ์

ลำดับ

30

$S_1$

ความต้านแรงดึงขนาดที่สภาวะแห้ง

31

$S_2$

ความต้านแรงดึงขนาดที่สภาวะเปียก

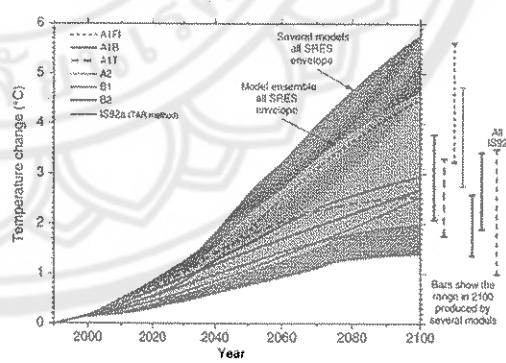
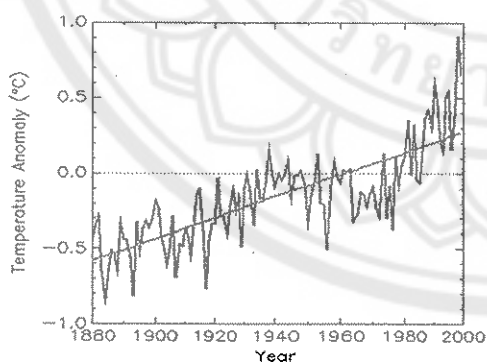


# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ซึ่งรายได้ของประเทศส่วนใหญ่ได้มาจากการส่งออกผลผลิตทางการเกษตร และเนื่องจากปัจจุบันนี้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น และในปี ค.ศ. 2100 คาดว่าอุณหภูมิของโลกจะสูงขึ้นประมาณ 1 °C (วารสารโลกพลังงาน, 2544) อีกทั้งประเทศไทยตั้งอยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตร จึงทำให้มีอากาศร้อนขึ้นตลอดเกือบทั้งปี อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปี 27 °C และฤดูร้อนมีอุณหภูมิสูงถึง 38 °C (อุณหภูมิของประเทศไทย,online, 2548) ส่งผลกระทบต่อการเกษตรกรรม เช่น การเลี้ยงสัตว์ต่าง ๆ ทำให้ปริมาณและคุณภาพลดลง โดยเฉพาะการเลี้ยงไก่ไข่ ซึ่งต้องการอุณหภูมิในช่วง 13-27 °C และความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 50%RH (ปิยธิดา วิไลจิตต์ และ สุชีรา ขยาย, 2542) เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวนี้เองจึงได้มีการนำระบบทำความเย็นแบบระเหย (Evaporative Cooling System) มาใช้ในโรงเรือนเลี้ยงไก่ โรงเรือนเลี้ยงกบด้วยไม้ และทางด้านเกษตรกรรมมากขึ้น ระบบดังกล่าวเริ่มจากใช้น้ำฉีดพ่นผ่านม่านน้ำ (Cooling Pad : CelPad) จากนั้นให้อากาศจึงผ่านม่านน้ำโดยน้ำจะดึงความร้อนจากอากาศมาใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวให้เป็นไอที่มีความดันต่ำ ทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดลงและไม่ส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศ (International Greenhouse Company, 2005) เนื่องจากใช้น้ำเป็นสารตัวกลางและยังช่วยระบายอากาศเสียภายในโรงเรือนอีกด้วย



ก. อุณหภูมิเฉลี่ยของโลก

ข. คาดการณ์อุณหภูมิของโลกที่เพิ่มขึ้น

รูปที่ 1.1 อุณหภูมิของโลก

ม่านน้ำ (CelPad) ที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่นำเข้ามาจากต่างประเทศทำให้มีราคาค่อนข้างสูงส่งผลให้ต้นทุนในการสร้างระบบสูงตามไปด้วย (Munters The Humidity Expert, online, 2548) จึงทำให้เกิดแนวคิดในการนำกระดาษสาพัฒนาเพื่อนำมาใช้แทนม่านน้ำจากต่างประเทศ เนื่องจากสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) ของกระดาษสา มีความเหนียว คงทน รักษาสภาพเก็บไว้ได้นาน มีความสามารถในการดูดซึมน้ำและสามารถให้ประโยชน์ได้มากมาย ค่าต่าง ๆ เหล่านี้ยังไม่มีมีการจัดระบบเป็นมาตรฐานที่แน่นอน

ดังนั้นจึงมีแนวคิดในการศึกษาลักษณะทางกายภาพของกระดาษสาเพื่อจัดทำมาตรฐานของกระดาษสาจากแหล่งการผลิตต่าง ๆ และนำมาใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบ CelPad สำหรับระบบทำความเย็นแบบระเหยต่อไป และคาดว่าลักษณะทางกายภาพของกระดาษสาจะมีสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาแปรรูปเป็น CelPad สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมการทำความเย็นแบบระเหยได้ ซึ่งสามารถใช้แทน CelPad ที่มีราคาแพงได้โดยที่มีคุณภาพใกล้เคียงกัน และเพื่อเป็นการส่งเสริมให้มีการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของกระดาษสาเพื่อเพิ่มมูลค่าของกระดาษสาให้สูงขึ้น และเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาศักยภาพและแหล่งผลิตกระดาษสาในพื้นที่ภาคเหนือ
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา
3. จัดมาตรฐานของกระดาษสาเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบ CelPad
4. ศึกษาความเป็นไปได้ของการนำกระดาษสามาใช้เป็น CelPad ในระบบทำความเย็นแบบระเหย

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาศักยภาพและแหล่งผลิตกระดาษสาของกลุ่มสตรีสหกรณ์กระดาษสา 689 หมู่ 4 บ้านเข็กใหญ่ ต.บ้านแยง อ.นครไทย จ.พิษณุโลก 65120, กลุ่มแม่บ้านบ้านสะเนียน 126 หมู่ 2 บ้านสะเนียน ต.สะเนียน อ.เมือง จ.น่าน 55000, กลุ่มกระดาษสาและผลิตภัณฑ์จากกระดาษสา 159 หมู่ 1 บ้านนาเหลียงใน ต.นาเหลียง อ.เวียงสา จ.น่าน
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษสาตามมาตรฐาน ISO โดยทำการศึกษาค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้
  - 2.1 ศึกษาน้ำหนักมาตรฐาน
  - 2.2 ศึกษาค่าความหนาและความหนาแน่นของกระดาษสา
  - 2.3 ศึกษาค่าความต้านแรงดึงของกระดาษสา

- 2.4 ศึกษาความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water absorptiveness) ของกระดาษสา
- 2.5 ศึกษาค่า pH ของกระดาษเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิน้ำระหว่าง 25-40 °C

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา และตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถในการทำความเย็นแบบระเหยของการนำกระดาษสามาใช้ในระบบทำความเย็นแบบระเหย เช่น ความสามารถในการดูดซึมน้ำของกระดาษสา, น้ำหนักมาตรฐาน, ค่าความหนา, ความหนาแน่นของกระดาษสา, และค่าความต้านแรงดึงของกระดาษสา รวมทั้งยังได้จัดมาตรฐานของกระดาษสาที่ผลิตตามท้องถิ่นให้มีมาตรฐานที่แน่นอนเพื่อเป็นข้อมูลในการผลิตกระดาษสาต่อไป นอกจากนี้แล้วยังทำให้ทราบถึงกระบวนการผลิตและราคาของกระดาษสาในท้องตลาด สามารถเพิ่มมูลค่าและสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกร



## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎี

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีต่าง ๆ โดยจะแบ่งออกเป็นหัวข้อหลัก ๆ ได้แก่ การทำงานของระบบทำความเย็นแบบระเหย วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางผิวเปียกทั่วไปและสมบัติต่าง ๆ ของตัวกลางผิวเปียก วัสดุที่จะนำมาศึกษาเพื่อใช้เป็นตัวกลางผิวเปียกและสมบัติต่าง ๆ ซึ่งจะกล่าวเรียงตามลำดับที่กล่าวมาข้างต้นดังต่อไปนี้

#### 2.1 ระบบทำความเย็นแบบระเหย(Evaporative cooling system)

การทำงานของระบบนี้จะใช้น้ำเป็นสารทำความเย็นเมื่ออากาศไหลผ่านผิวเปียก จะทำให้น้ำบางส่วนระเหยรวมกับกระแสอากาศจึงทำให้อุณหภูมิของอากาศลดลงระบบการทำความเย็นแบบระเหยแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่คือ

##### 2.1.1 ระบบการทำความเย็นที่อากาศสัมผัสน้ำโดยตรง (Direct Evaporative Cooling)

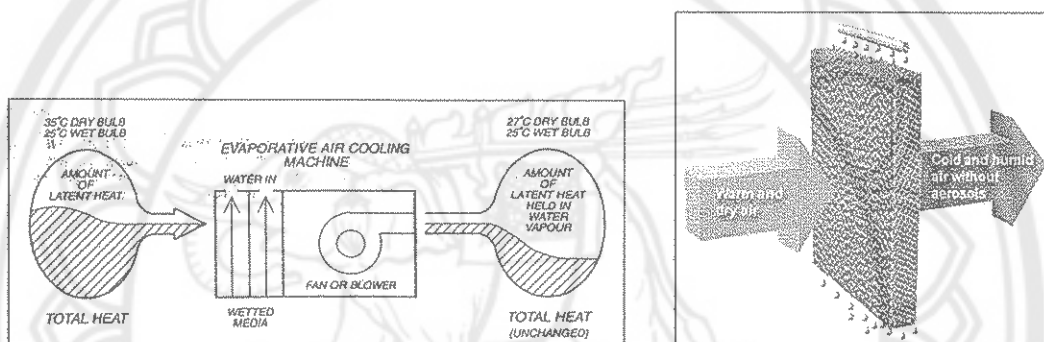
เป็นหลักการของการถ่ายเทความร้อนแฝงในการที่น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นก๊าซ จะดูดความร้อนที่เรียกว่า ความร้อนแฝง ทำให้อากาศบริเวณรอบๆ นั้นมีอุณหภูมิลดลง หมายถึงทำให้อากาศเย็นลง ดังนั้น ยิ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะของน้ำนี้มากเท่าไร ก็ยิ่งทำให้เกิดความเย็นมากขึ้นเท่านั้น โดยทั่วไปในโรงเรือนที่ใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหย อากาศในโรงเรือนจะเย็นลงได้โดยอาศัยพัดลมที่อยู่ท้ายโรงเรือนดูดอากาศภายในโรงเรือนออกไป อากาศภายนอกจะเข้ามาแทนที่โดยผ่านทางหัวโรงเรือนที่มีแผ่นทำความเย็นที่ชุ่มด้วยน้ำอยู่ เมื่ออากาศร้อนผ่านแผ่นรังผึ้งซึ่งมีน้ำหล่อเลี้ยงตลอดเวลา อุณหภูมิของอากาศร้อนจะทำให้น้ำระเหย ทำให้อากาศที่ผ่านเข้ามาในโรงเรือนเย็นลงขณะเดียวกันก็มีความชื้นสูงขึ้น

##### 2.1.2 ระบบการทำความเย็นโดยอากาศผ่านตัวกลางไม่สัมผัสกับน้ำโดยตรง (Indirect Evaporative Cooling)

อาศัยหลักการถ่ายเทความร้อน เมื่ออากาศร้อนจากนอกโรงเรือนเมื่อผ่านแผ่นรังผึ้งหรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีน้ำเย็นหล่ออยู่ ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากอากาศไปยังน้ำเย็น ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น (โดยไม่ระเหยกลายเป็นไอ) ส่วนอากาศที่ผ่านเข้ามาในโรงเรือนจะมีอุณหภูมิลดลงโดยความชื้นไม่สูงขึ้น

## 2.2 หลักการทำความเย็นแบบระเหย (Koca R.W., et al., 1991)

ระบบการทำความเย็นแบบระเหย เป็นระบบที่มีความเหมาะสมที่จะใช้ในสภาวะอุณหภูมิอากาศแบบร้อนแห้ง ทำงานโดยอาศัยอากาศภายนอกซึ่งมีอุณหภูมิปานกลาง (Evaporative Media) อาจจะเป็นม่านน้ำหรือน้ำโดยตรง ดังรูปที่ 2.1 อากาศจากภายนอกซึ่งเป็นอากาศร้อน เมื่ออากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านม่านน้ำ น้ำก็จะดึงความร้อนออกจากอากาศ น้ำส่วนหนึ่งก็จะระเหย และอีกส่วนหนึ่งก็จะตกลงไปยังถาดรองรับน้ำหรือถังเก็บ และน้ำที่ถังเก็บก็จะถูกหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่โดยปั๊ม (Pump) ผลที่ได้คืออุณหภูมิของอากาศที่ผ่านม่านน้ำแล้วจะมีอุณหภูมิลดลงเพื่อนำไปใช้ในการทำความเย็นหรือปรับอากาศต่อไป โดยกระบวนการทำความเย็นสามารถแบ่งการทำงานเป็น 2 แบบ คือ แบบพ่นฝอยและแบบผิวเปียก



รูปที่ 2.1 หลักการทำความเย็นแบบระเหย

1. แบบพ่นฝอย (Spray type humidifiers) เป็นแบบที่ทำให้มีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างน้ำกับอากาศ โดยทำให้น้ำถูกฉีดเป็นละอองขนาดเล็ก เพื่อให้เกิดการระเหยได้ดี มีข้อดีคือ ไม่มีปัญหาในเรื่องการอุดตันการเคลื่อนที่ของอากาศ ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการลดอุณหภูมิอากาศของระบบ
2. แบบผิวเปียก (Wetted media evaporative humidifiers) โดยการให้น้ำไหลผ่านตัวกลาง ที่ออกแบบให้เป็นช่องที่สามารถทำให้เกิดการระเหย และความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี โดยตัวกลางที่มีใช้อยู่ 2 แบบ (Dowdy J.A, 1986) คือ
  - Aspen fiber ซึ่งทำจาก Aspen wood นำมาตัดเป็นชิ้น ๆ ใส่ไว้ในถาดตาข่ายและจะทำการเคลือบสารเพิ่มความเปียก (Wetability additives) โดยผิวเปียกชนิดนี้มีข้อเสียคือสามารถเกิดสาหร่ายได้ง่ายและยากต่อการบำรุงรักษาจึงไม่เป็นที่นิยมมากนัก



- Rigid cellulose ทำจากกระดาษเหนียว (Kraft) ที่ผ่านการเคลือบสารเคมีให้มีความแข็งแรง เมื่อใช้งานในขณะเปียกและนำมาขึ้นรูปเป็นลอนและรวมเป็นก้อนหนาซึ่งเชื่อมต่อกันแต่ละชั้นด้วยกาว ผิวเปียกชนิดนี้อากาศสามารถเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างลอนทำให้ความดันตกที่ผิวเปียกจะน้อยลง ผิวเปียกชนิดนี้นิยมนำมาใช้กับโรงเรือนเกษตรกรรมในประเทศไทยค่อนข้างมาก เช่น โรงเรือนเลี้ยงไก่ แต่มีข้อเสียคือมีราคาสูง

ข้อดีของผิวเปียก Rigid cellulose เมื่อเทียบกับ Aapan fiber คือ

1. ไม่ต้องใช้โครงครอบในแนวตั้ง เนื่องจากกระดาษประกอบเป็นกลุ่มก้อนสำเร็จ และเพียงนำมาเรียงต่อกันเพื่อใช้เป็นตัวกลางผิวเปียกในโรงเรือน โดยอาศัยเพียงโครงยึดจับด้านบนเท่านั้น
2. ไม่มีปัญหาเรื่องการหลุดของเส้นใย และมีอายุการใช้งานนานกว่าเพราะมีการเคลือบด้วยสารเคมีให้มีความสามารถในการคงสภาพได้ดี
3. ง่ายต่อการบำรุงรักษา และสามารถควบคุมการเกิดตะไคร่ได้ง่ายกว่าเนื่องจากมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน โปร่ง และโล่งกว้าง ทำให้ทำความสะอาดได้ง่าย

### 2.3 พัฒนาการของระบบทำความเย็นแบบระเหย

ปี ค.ศ. 1982 Cummins ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของระบบ Indirect Evaporative Cooling พบว่าความสามารถในการลดอุณหภูมิ จะขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำในอากาศ สำหรับระบบ Direct Evaporative Cooling และ Single State Indirect Evaporative Cooling นั้นจะสามารถลดอุณหภูมิของอากาศได้ไม่เกินอุณหภูมิกะเปาะเปียกของอากาศที่ทางเข้าระบบและระบบ Multistage Indirect Evaporative Cooling จะสามารถลดอุณหภูมิของอากาศไม่เกินอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศที่ทางเข้าระบบ

ปี ค.ศ. 1985 Chem, Qin และ Huang ได้ทำการทดสอบระบบทำความเย็นแบบระเหยระบบ Indirect evaporative cooling ที่ใช้ท่อ (Tube-Type) เปรียบเทียบกับระบบที่ใช้แผ่น (Plate-type) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเอนทัลปี (Enthalpy effectiveness) พบว่า Plate-type จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ Tube-type ประมาณ 15% โดยทั้งสองแบบจะมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อมีอัตราการไหลของอากาศเข้าระบบ 907 kg/hr ที่อุณหภูมิกะเปาะแห้ง 42 °C และอุณหภูมิกะเปาะเปียก 35 °C โดยมีสภาวะภายในห้องดังนี้ ความชื้นสัมพัทธ์ 60% อุณหภูมิกะเปาะแห้ง 27 °C และอุณหภูมิกะเปาะเปียก 21.3 °C

ปี ค.ศ. 1988 Peterson และ Hunn ได้ทำการทดสอบระบบ Indirect evaporative cooling โดยการปรับอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าระบบกับอากาศที่ออกจากระบบ ซึ่งกำหนดให้อากาศเข้าระบบที่ 2667 cfm และอุณหภูมิของอากาศ 35 °C และปรับอัตราการไหลของอากาศที่ระบายออกด้วยอัตรา 500 cfm ถึง 2,000 cfm จะทำให้อุณหภูมิลดลงอยู่ในช่วง 23 – 29 °C

ปี ค.ศ. 1996 Giabaklou และ Ballinger ทำการทดลองที่เมืองนิวยอร์ก ซึ่งใช้ห้องขนาด 10 m x 10 m x 2.8 m โดยที่ด้านทิศเหนือมีพื้นที่หน้าต่าง 11.2 m<sup>2</sup> และทิศใต้มีพื้นที่หน้าต่าง 2.8 m<sup>2</sup> ที่หน้าต่างทิศเหนือใช้ ม่านน้ำซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 mm และแต่ละเส้นห่างกัน 9 mm พบว่าที่ความเร็วลม 2.8 m/s สามารถลดอุณหภูมิในห้องลงได้สูงสุดประมาณ 12 °C โดยภายในห้องมีความชื้น 73.2%

ปี ค.ศ. 1999 ศิริชัย เทพา ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการทำความเย็นแบบระเหยสำหรับโรงเรือนเพาะเห็ดหอม โดยการใช้ฝิวเปียก พบว่าความสามารถในการลดอุณหภูมิขึ้นอยู่กักระยะทางที่ไหลผ่านฝิวเปียกยิ่งระยะทางมาก ยิ่งช่วยลดอุณหภูมิลงได้มาก โดยจากการทดลองพบว่า จะลดอุณหภูมิลงได้ประมาณ 5 °C

## 2.4 อุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทย

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี จำแนกตามภาค พ.ศ. 2538 – 2547 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2548)

หน่วย : องศาเซลเซียส

ภาค	2538			2539			2540			2541		
	เฉลี่ย สูงสุด	เฉลี่ย	เฉลี่ย ต่ำสุด	เฉลี่ย สูงสุด	เฉลี่ย	เฉลี่ย ต่ำสุด	เฉลี่ย สูงสุด	เฉลี่ย	เฉลี่ย ต่ำสุด	เฉลี่ย สูงสุด	เฉลี่ย	เฉลี่ย ต่ำสุด
ทั่วราชอาณาจักร	32.7	27.3	23.2	32.4	27	23.1	33	27.5	23.3	33.6	28.1	23.8
เหนือ	33	26.3	21.2	32.5	25.9	21	33.2	26.3	21.1	34.1	27.1	21.7
กลาง	33.4	28	23.9	33.2	27.8	23.8	34.2	28.5	24.3	34.3	28.9	24.6
ตะวันออก	32.8	27.9	24.2	32.5	27.6	23.9	33.3	28.3	24.3	33.6	28.7	24.8
ตะวันออกเฉียงเหนือ	32.7	26.8	22	32	26.3	22.2	32.9	26.9	22.1	33.9	27.8	23
ใต้ฝั่งตะวันออก	31.9	27.4	23.8	31.6	27.1	23.7	32	27.5	23.9	32.7	28	24.1
ใต้ฝั่งตะวันตก	32.5	27.5	23.7	32.3	27.4	23.9	32.7	27.7	23.9	33.1	28.1	24.4

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ภาค	2542			2543			2544		
	เฉลี่ย สูงสุด	เฉลี่ย	เฉลี่ย ต่ำสุด	เฉลี่ย สูงสุด	เฉลี่ย	เฉลี่ย ต่ำสุด	เฉลี่ย สูงสุด	เฉลี่ย	เฉลี่ย ต่ำสุด
ทั่วราชอาณาจักร	32.2	27.0	23.1	32.4	27.1	23.1	32.7	27.4	23.4
เหนือ	32.3	26.0	21.4	32.5	26.0	21.1	32.7	26.3	21.6
กลาง	32.7	27.5	23.8	33.1	27.7	24.0	33.5	28.1	24.3
ตะวันออก	32.4	27.6	23.9	32.7	27.8	24.1	32.8	28.1	24.4
ตะวันออกเฉียงเหนือ	32.0	26.4	22.1	32.3	26.5	22.0	32.7	27.0	22.5
ใต้ฝั่งตะวันออก	31.6	27.1	23.4	31.8	27.2	23.4	32.1	27.4	23.7
ใต้ฝั่งตะวันตก	31.8	27.2	23.9	32.0	27.4	23.8	32.2	27.6	23.8

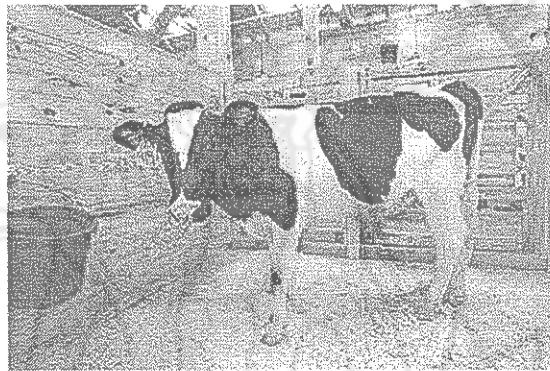
ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ภาค	2545			2546			2547		
	เฉลี่ย สูงสุด	เฉลี่ย	เฉลี่ย ต่ำสุด	เฉลี่ย สูงสุด	เฉลี่ย	เฉลี่ย ต่ำสุด	เฉลี่ย สูงสุด	เฉลี่ย	เฉลี่ย ต่ำสุด
ทั่วราชอาณาจักร	32.9	27.6	23.5	32.9	27.5	23.2	33.0	27.5	43.5
เหนือ	32.8	26.4	21.5	33.0	26.3	21.2	33.1	26.2	20.9
กลาง	33.5	28.4	24.5	33.5	28.2	24.1	33.7	28.3	24.1
ตะวันออก	33.0	28.3	24.6	32.9	28.1	24.0	33.0	28.1	24.0
ตะวันออกเฉียงเหนือ	32.9	27.1	22.6	33.0	27.0	22.2	32.8	26.7	21.9
ใต้ฝั่งตะวันออก	32.5	27.6	23.7	32.3	27.4	23.7	32.4	27.4	23.7
ใต้ฝั่งตะวันตก	32.9	28.0	24.2	32.5	27.9	24.1	32.8	27.9	24.2

## 2.5 ระบบทำความเย็นแบบระเหยกับการประยุกต์ใช้

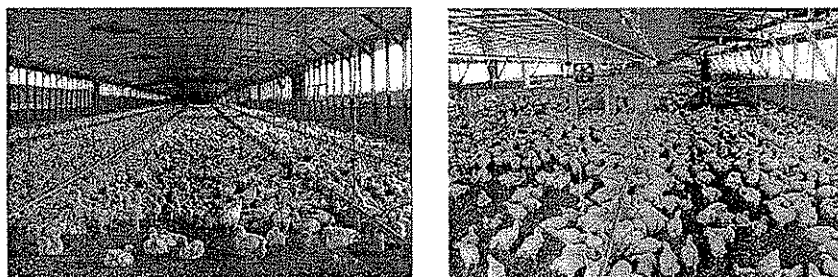
2.5.1 โรงเรือนเลี้ยงโคนม ในกรณีที่มีการเกี่ยวข้องกับความร้อนและความชื้นแวดล้อม มีส่วนทำให้การเลี้ยงโคนมได้รับผลกระทบจากความร้อนสูงมาก ทำให้ปริมาณน้ำนมที่ได้ลดลงและการเพาะพันธุ์ด้วยประสิทธิภาพลง ปริมาณน้ำนมลดลง 20-30% ตามความร้อนที่เกิดขึ้น ความชื้นที่ลดลงเป็นเรื่องผิดปกติในการให้ผลผลิตสูงสุดของสัตว์เลี้ยงที่ปราศจากการที่มีความเย็นมาช่วยบรรเทา โค

นมเป็นสัตว์ที่มีความร้อนภายในเหมือนเครื่องยนต์ ทำให้ต้องการปลดปล่อยความร้อนจากเมตาโบลิคเป็นจำนวนมากตลอดเวลาเพื่อที่จะป้องกันการที่มีความร้อนมากเกินไปและการที่ร่างกายมีความร้อนสูงขึ้นทำให้เกิดการไม่สบายขึ้น ซึ่งตัวโคนมเองก็มี 2 วิธีที่สำคัญเพื่อที่จะถ่ายเทความร้อนจากร่างกายสู่อุณหภูมิแวดล้อม คือ การระเหยที่ผิวภายนอกร่างกายและการหายใจที่ขึ้น ส่วนวิธีการลดความร้อนโดยภายนอกที่ได้ผลอย่างหนึ่งคือการใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหย โดยการทำให้ผิวโคนมมีความชื้นตลอดโดยการเป่าลมเหนียว ความชื้นที่ผิวนั้นทำให้มีการนำความร้อนมากขึ้นโดยการระเหยเป็นไอจากพื้นผิวที่เปียกและเหนียว ทำให้ผิวแห้งเย็นลงและสามารถรับความร้อนจากร่างกายส่วนอื่นๆ ได้ ใอน้ำจะเคลื่อนที่ผ่านขนโดยการแพร่ (กระบวนการช้า) ภายใต้สภาวะอากาศที่มีในขณะนั้นและโดยการพาความร้อน (กระบวนการเร็ว) เมื่อเป่าอากาศเหนือขนโคนม ทำให้มีความชื้นผ่านเข้าไปได้ทำให้มีการระเหยขึ้นจากพื้นผิวที่เปียกและชั้นผิวโคนม เมื่ออากาศชื้น



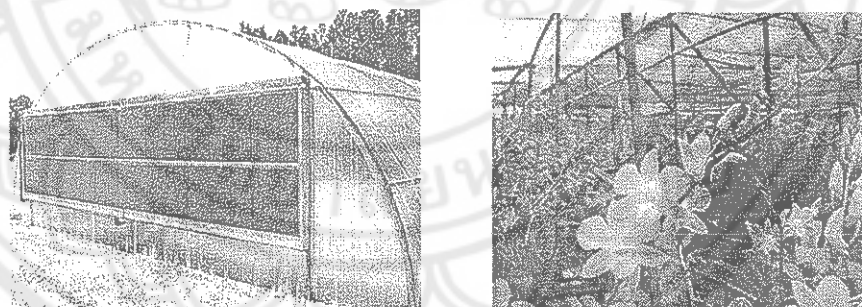
รูปที่ 2.2 โรงเรือนเลี้ยงโคนม

2.5.2 โรงเรือนเลี้ยงไก่ (ปิยธิดา และ สุชีรา, 2542) ไก่นับเป็นสัตว์เศรษฐกิจที่สำคัญเนื่องจากต้องนำไปเป็นอาหารที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์ ซึ่งจะนำทั้งเนื้อและไข่มาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นอาหาร นอกจากนี้ยังใช้ขนทำเป็นเครื่องใช้ต่าง ๆ และมีหลายแห่งที่เลี้ยงไก่ไว้เพื่อความเพลิดเพลินและกีฬา ความชื้นนับเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดอีกประการหนึ่งในการเลี้ยงไก่ในประเทศไทยและขึ้นอย่างประเทศไทย ซึ่งมีความชื้นภายในอากาศค่อนข้างสูงตลอดทั้งปี เนื่องจากไก่เป็นสัตว์ที่ไม่มีต่อมเหงื่อตามผิวหนัง การระบายความร้อนของร่างกายทางผิวหนังจึงมีน้อยมาก ระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับไก่คือ อยู่ระหว่าง 50 – 80% หรือโดยเฉลี่ยประมาณ 60% ถ้าความชื้นสูงหรือต่ำเกินไปจะก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพไก่ ถ้าอากาศร้อนและมีความชื้นสูงจะทำให้การระบายความร้อนออกจากตัวไก่ทำได้ลำบาก ดังนั้นระบบทำความเย็นแบบระเหยจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของโรงเรือนให้เหมาะสมได้



รูปที่ 2.3 โรงเรือนเลี้ยงโก

2.5.3 โรงเรือนเลี้ยงกล้วยไม้ กล้วยไม้ที่เรานำมาปลูกเลี้ยงส่วนใหญ่ไม่ได้เจริญอยู่บนพื้นดินในที่กลางแจ้งเหมือนกับพืชไร่ พืชผักและไม้ผลทั่วไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจัดสภาพแวดล้อมบางอย่างให้เหมาะสมหรืออาจเรียกได้ว่าสร้างบ้านที่เหมาะสมสำหรับกล้วยไม้ เพื่อให้กล้วยไม้เจริญงอกงามได้ดี สภาพแวดล้อมส่วนใหญ่ที่กล่าวถึงสำหรับกล้วยไม้ในประเทศไทยได้แก่ แสงแดด 50-60% อุณหภูมิ 25-35 °C ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 60-80% การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศที่ดีในวัสดุปลูก (planting materials) และการหมุนเวียนของอากาศ (air movement) หรือลมที่พัดผ่านอ่อน ๆ รอบต้นและรากกล้วยไม้ การปลูกเลี้ยงกล้วยไม้สามารถที่จะกระทำได้ที่ทั้งภายในอาคารบ้านเรือนภายนอกอาคารบ้านเรือน และภายในโรงเรือนที่ใช้ปลูกเลี้ยงกล้วยไม้โดยเฉพาะ การปลูกกล้วยไม้จำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะต้องมีความรู้และความเข้าใจที่เหมาะสมและคงที่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้ระบบทำความเย็นแบบระเหยกับโรงเรือนเลี้ยงกล้วยไม้กันมากขึ้น



รูปที่ 2.4 โรงเรือนเลี้ยงกล้วยไม้

## 2.6 ลักษณะของเส้นใยกระดาษ (Ronald G. Macdonald & John N. Franklin, 1969)

โดยทั่วไปนั้นเส้นใยกระดาษนั้นมีโครงสร้างเป็น Cellulose โดยถือว่าเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ (Natural polymer) ชนิดหนึ่ง เส้นใย Cellulose สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ ๆ คือ เส้นใยยาว

(Long fiber) และ เส้นใยสั้น (Short fiber) โดยทั้งสองกลุ่มนั้นสามารถแยกแยะด้วยขนาดความยาวเส้นใยเป็นหลัก

### 2.6.1 เส้นใยาว (Long fiber)

เส้นใยาวเป็นเส้นใยที่มีความยาวตั้งแต่ 2-4 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย 0.02-0.04 mm เส้นใย่นี้ได้จากต้นไม้จำพวกไม้เนื้ออ่อนยืนต้น (Softwood) เช่น ต้นสน ต้นปอสา ซึ่งเป็นต้นไม้ที่สามารถปลูกในเขตเมืองหนาวเท่านั้น

### 2.6.2 เส้นใยสั้น (Short fiber)

เส้นใยสั้นเป็นเส้นใยที่มีความยาว 1.1-1.2 mm และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย 0.0014-0.004 mm เส้นใยชนิดนี้ได้จากต้นไม้เนื้อแข็งยืนต้น (Hardwood) เช่น Birch, Acacia และ Eucalyptus ซึ่งเป็นต้นไม้ที่สามารถปลูกได้ทั่วไป

## 2.7 กระดาษสา

### 2.7.1 ประวัติความเป็นมาของกระดาษ (ศ.ดร.สุทัศน์ , 2005)

จีนเป็นชาติแรกที่ประดิษฐ์คิดค้นกระดาษขึ้นมาใช้ในชีวิตประจำวัน เชื่อกันว่าจีนประดิษฐ์กระดาษได้ในสมัยจักรพรรดิโฮตี ซึ่งตรงกับปี ค.ศ.105 ผู้ประดิษฐ์กระดาษคนแรกมีชื่อว่า ไช่ลุน (Ts'ai Lun) เป็นข้าราชการในสำนักของจักรพรรดิ ยุคแรกกระดาษทำจากไม้ไผ่ ต่อมาได้วิวัฒนาการโดยใช้เปลือกไม้ชนิดอื่นทำให้ได้กระดาษที่มีคุณภาพดีขึ้น มีสีส่น เพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้ ปัจจุบัน ประเทศที่ผลิตกระดาษเป็นสินค้าออกมีมากมาย เช่น แคนาดา สาธารณรัฐประชาชนจีน อเมริการวมทั้งประเทศไทย

### 2.7.2 ประโยชน์ของกระดาษ

ในสมัยโบราณจีนและญี่ปุ่นใช้กระดาษสำหรับที่อยู่อาศัย ฝาบ้านแบบของญี่ปุ่นทำด้วยกระดาษ ต่อมามนุษย์ใช้กระดาษสำหรับงานพิมพ์และเขียนโดยเปลี่ยนจากการบันทึกลงบนแผ่นหินและแผ่นไม้ไผ่ ปัจจุบันบทบาทของกระดาษมิใช่จำกัดอยู่เพียงงานพิมพ์เท่านั้น หากแต่มนุษย์ได้นำกระดาษมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ อีกมากมาย เช่น กล่องกระดาษบรรจุสิ่งของ ถุง หรือซองกระดาษต่าง ๆ รวมไปถึงเครื่องใช้ เครื่องประดับหลายชนิด

### 2.7.3 ลักษณะพิเศษของกระดาษ ในการประดิษฐ์และสร้างสรรค์

- กระดาษเป็นวัสดุไร้ค่าที่หาง่าย พบเห็นได้โดยทั่วไป
- กระดาษมีสีสันทันอยู่ในตัวเอง และอาจจะมีสีสันทันจากการพิมพ์ สามารถนำมาใช้แทนค่าสีต่าง ๆ ตามต้องการ
- กระดาษมีความบาง ฉีก ตัดหรือทำให้เป็นรูปร่างรูปทรงต่าง ๆ ได้ง่าย
- กระดาษมีมากมายหลายชนิดและมากมายหลายสี ทั้งที่หาซื้อจากท้องตลาดและเลือกเก็บจากสิ่งของไร้ค่า ช่วยให้สามารถเลือกมาใช้งานได้ตามต้องการ
- กระดาษเมื่อรวมกันทำให้เกิดปริมาตร นำมาสร้างสรรค์แบบ 3 มิติได้
- กระดาษมีความคงทน ถาวรสามารถเก็บรักษาไว้ได้ในระยะเวลานาน
- กระดาษมีน้ำหนักเบา เชื่อมต่อกันได้ด้วยสิ่งของหลายอย่างเช่น แป้งเปียก กาว หรือ วัสดุและสารเคมีที่มีความเหนียวอื่น ๆ

### 2.7.4 การปลูกปอสา (ปอสาและการทำกระดาษสา, 2535)

ปอสาเป็นพืชเส้นใยชนิดหนึ่ง อยู่ในตระกูลเดียวกับหม่อนและขนุน มีชื่อเรียกกันหลายชื่อแล้วแต่ท้องถิ่น เช่น ภาคเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือ เรียก ปอสา ปอกระสา ภาคตะวันตก เรียก หมอผี หมกผี ภาคใต้เรียก ปอฝ้าย เป็นต้น เส้นใยปอสาส่วนใหญ่ได้จากเปลือกของลำต้นใช้เป็นวัตถุดิบคุณภาพดี ในการผลิตกระดาษชนิดต่าง ๆ กระดาษสามีสัมบัติดี คือ ทนทานไม่กรอบเปื่อยยุ่ย เก็บรักษาได้นาน หากใช้ทำหนังสือตัวหนังสือจะไม่ซีดจางอยู่ได้นานกว่าร้อยปี ปัจจุบันผลผลิตปอสาส่วนใหญ่ ใช้ทำกระดาษด้วยมือ (handmade paper) ทำประโยชน์ได้มากมาย ได้แก่ กระดาษทำร่ม ดอกไม้ประดิษฐ์ โคมไฟ หัตถ์ ว้าว บัตรอวยพรต่าง ๆ ตัดชุดแต่งงานกระดาษวาดภาพ กระดาษห่อสารเคมีบรรจุในก้อนถ่านไฟฉาย และใช้ประโยชน์ต่าง ๆ ในโรงพยาบาล เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสรรพคุณเป็นพืชสมุนไพรในการรักษาโรคต่าง ๆ เช่น ใบใช้ขับปัสสาวะ แก้พิษแมลงกัดต่อย กลากเกลื้อน ผลสุก ใช้บำรุงไต แก้อ่อนเพลีย เปลือกลำต้นใช้ห้ามเลือด รากแก้ไข้ อาเจียร น้ำยางจากลำต้นใช้แก้การบวมน้ำและแมลงกัดต่อยด้วย

2.7.4.1 ลักษณะทั่วไป ปอสาเป็นพืชยืนต้นขนาดกลาง มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศจีน คาบสมุทรมลายู และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในประเทศไทยส่วนใหญ่พบขึ้นเองตามธรรมชาติ เจริญเติบโตได้ดีในสภาพดินร่วนซุย มีความชื้นสูง โดยเฉพาะบริเวณใกล้แหล่งน้ำ ริมลำธาร ตามซอกเขา มีอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย พบมากในจังหวัดต่าง ๆ ทางภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันตก

2.7.4.2 สภาพพื้นที่และแหล่งผลิต ปอสาเจริญเติบโตได้ดีและรวดเร็วในสภาพพื้นที่ และสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม คือ พื้นที่ดินร่วนซุยมีความอุดมสมบูรณ์สูง สภาพอากาศมีความชื้นสูง เนื่องจากปากใบปอสามีขนาดค่อนข้างใหญ่ มีอัตราการคายน้ำสูง อย่างไรก็ตามในสภาพความชื้นต่ำ ปอสาก็เจริญเติบโตอยู่ได้ แต่ใบจะมีขนาดเล็กลง และเจริญเติบโตช้า แหล่งผลิตปอสา โดยทั่วไปส่วนใหญ่เป็นการตัดเก็บเกี่ยวจากต้นที่ขึ้นเองอยู่ตามธรรมชาติแหล่งที่มีการตัดและลอกเปลือกปอสาจำนวนมากอยู่ทางภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แหล่งผลิตกระดาษสาในเขตภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ภาค	จังหวัด	อำเภอ
เหนือ	แม่ฮ่องสอน	เมือง ขุนยวม แม่สะเรียง แม่ลาน้อย ปาย กิ่งอ.สบเมย และกิ่ง อ.ปางมะผ้า
	น่าน	เมือง แม่จรม เชียงกลาง ท่าวังผา เวียงสา สันติสุข
	ลำปาง	วังเหนือ แม่ทะ สบปราบ และแม่เกาะ
	เชียงราย	เมือง แม่จัน แม่สาย พญาเม็งราย พาน แม่สรวย
	พะเยา	เมือง
	ลำพูน	ดู่ และกิ่ง อ.ทุ่งช้าง
	แพร่	เมือง เด่นชัย ลอง และวังชิ้น
	พิษณุโลก	ชาติตระการ และนครไทย
	สุโขทัย	ศรีสำราญ สวรรคโลก ทุ่งเสลี่ยม
	เชียงใหม่	แม่สาย ฝาง สะเมิง เชียงดาว แม่ริม พร้าว ดอยสะเก็ด สันกำแพง
ตะวันออกเฉียงเหนือ	ขอนแก่น	สีชมพู
	เลย	เมือง ท่าลี่ นาด้วง นาแห้ว ปากชม ภูกระดึง วังสะพุง เชียงคาน
	นครราชสีมา	ปากช่อง ปักธงชัย
	ชัยภูมิ	หนองบัวแดง กิ่ง อ.ภักดีชุมพล ภูเขียว



## 2.7.5 การแปรรูปปอสา

การแปรรูปเปลือกปอสาส่วนใหญ่เป็นการทำกระดาษสาด้วยมือ มีขั้นตอนหลัก 6 ขั้นตอน คือ

### 2.7.5.1 การเตรียมวัตถุดิบ

### 2.7.5.2 การเตรียมเยื่อหรือการตีเยื่อ

### 2.7.5.3 การทำแผ่นกระดาษ

### 2.7.5.4 การทำให้กระดาษแห้ง

### 2.7.5.5 การลอกแผ่นกระดาษ

### 2.7.5.6 การคัดเลือกและบรรจุกระดาษ

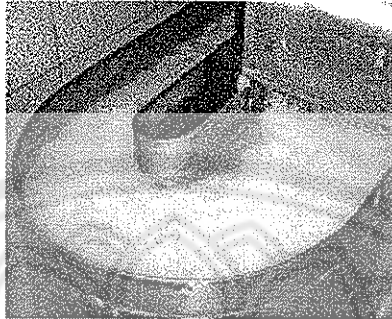
2.7.5.1 การเตรียมวัตถุดิบ คัดเลือกเปลือกปอสาที่อ่อนและแก่แยกจากกัน นำไปแช่น้ำประมาณ 3 ชั่วโมงขึ้นไป แต่ไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง การแช่น้ำจะช่วยให้เปลือกปอสาอ่อนตัว จากนั้นนำไปใส่ภาชนะต้ม ใส่โซดาไฟหรือน้ำด่างจากขี้เถ้า เพื่อช่วยให้โครงสร้างของเปลือกปอสาเปื่อยและแยกจากกันเร็วขึ้น ถ้าต้มปอสาอ่อนใช้โซดาไฟน้อย ต้มเปลือกแก่ ต้องใช้มากขึ้น การต้มแต่ละครั้งใช้โซดาไฟ ประมาณ 10-15% ของน้ำหนัก ถ้าใช้มากไปจะทำให้เยื่อถูกทำลายมากในระหว่างต้ม ต้มนานประมาณ 2-3 ชั่วโมง เมื่อต้มเสร็จแล้วนำปอสาล้างน้ำจนหมดด่าง

### 2.7.5.2 การเตรียมเยื่อหรือการตีเยื่อ การเตรียมเยื่อมีวิธีเตรียม 2 อย่าง คือ

1. การทุบโดยใช้แรงคน เป็นวิธีการซึ่งปฏิบัติกันมาตั้งแต่โบราณ วิธีการนี้ในปัจจุบันมีการปฏิบัติกันน้อยมาก เนื่องจากมีการนำเครื่องจักรเข้ามาแทนที่เป็นวิธีที่ซ้ำมาก จากการทุบปอจำนวน 2 กิโลกรัม ต้องใช้เวลาถึง 5 ชั่วโมงการทุบวิธีนี้ ปฏิบัติโดยนำเปลือกปอที่ผ่านการต้มและล้างสะอาดแล้วนำมาทุบบนแท่นไม้ โดยทั่วไปจะใช้ท่อนไม้ทึบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 cm จากการทุบเปลือกแต่ละครั้งโดยประมาณ อาจทุบครั้งละ 100 g หรือ 1 ชีด ทุบไปเรื่อย ๆ โดยไม่ใช้แรงมากนัก จนกระทั่งละเอียด การทดสอบว่าละเอียดหรือไม่ โดยการนำไปละลายในน้ำดู ถ้าหากเยื่อกระจายเป็นเส้นเล็ก ๆ เหมือนนุ่นสำลี ไม่มีเส้นใหญ่ให้เห็น และเยื่อไม่เกาะกัน แสดงว่าใช้ได้ การเตรียมเยื่อโดยวิธีนี้จะได้เยื่อไม่ค่อยสะอาด จึงมีการทุบก่อนการฟอก ถ้าฟอกก่อนจะทุบได้เยื่อไม่สะอาดจึงควรทุบก่อนฟอกดังกล่าวแล้ว หลังจากได้เยื่อตามต้องการก็นำไปเก็บไว้เตรียมทำแผ่นต่อไป

## 2. การตีด้วยเครื่องตีเยื่อ

### 2.1 เครื่องตีเยื่อปอสา



#### รูปที่ 2.5 การตีเยื่อเยื่อปอสาด้วยเครื่องตีเยื่อ

- หน้าที่ เป็นเครื่องทุ่นแรงหรือเครื่องมือใช้ในการตีเยื่อเส้นใยหรือเปลือกปอสาให้ละเอียดเพื่อให้เยื่อในการทำกระดาษ

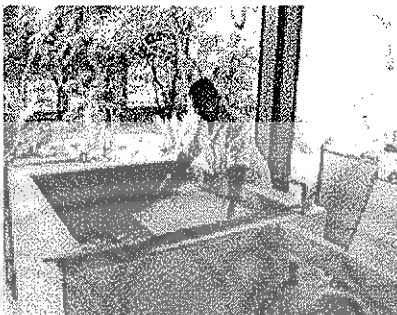
- ส่วนประกอบของเครื่อง เครื่องที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมระดับครอบครัวทั่ว ๆ ไป ในเขตภาคเหนือออกแบบและพัฒนาโดยกองอุตสาหกรรมในครอบครัว กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม ร่วมกับสถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยและมีเอกชนได้นำไปเป็นต้นแบบผลิตจำหน่ายอยู่ในปัจจุบัน ส่วนประกอบของตัวเครื่องทำด้วยเหล็กหนา 3 mm โดยมีโครงเครื่องทำด้วยเหล็กฉาก ถึงรองรับลักษณะกลมยาว มีขนาดความกว้างยาวแตกต่างกันไป มีมอเตอร์ขนาด 0.5-2 แรงม้าใช้ไฟฟ้าระบบ 2 สาย 220 V มีลูกตีเยื่อปอสาสามารถปรับได้และแบบปรับไม่ได้ มีที่ครอบมอเตอร์ สายพาน และลูกตี

- ความสามารถในการทำงาน ตีเยื่อได้ 2.5-7 kg ต่อครั้ง ขึ้นอยู่กับขนาดแรงม้าของมอเตอร์ และความโตของถังรองรับเยื่อหรือเปลือกปอสาสำหรับตี

2.2 วิธีกรตีเยื่อ ทำการเติมน้ำในถังรองรับเปลือกปอสาให้อยู่ในระดับเดียวกับลูกตีเยื่อ หรือวัดจากขอบถึงบนประมาณ 3 นิ้ว ทำการเปิดเครื่องให้ทำงาน ค่อย ๆ เติมเยื่อลงไปพอประมาณ ในระหว่างการเติมเยื่อช่วยฉีกเยื่อออกเป็นชิ้น ๆ ทำให้เครื่องตีได้ง่ายขึ้น อย่าใส่เยื่อหรือเปลือกลงไปทันทีที่เดียวจำนวนมากเช่น 2 kg หรือ 5 kg เป็นต้น เครื่องจะตีเยื่อไม่ทัน เครื่องตีเยื่อจะทำงานโดยใช้ระบบหมุนเวียนไปกับน้ำ น้ำจะไหลวนมา เมื่อผ่านลูกตีเยื่อหรือลูกกลมหมุนวนไปเรื่อยจนกระทั่งเยื่อละเอียด โดยปกติเยื่อ 2-3 kg ใช้เวลาประมาณ 30-40 นาที เยื่อจะละเอียดทำกระดาษได้

### 2.7.5.3 การทำแผ่นกระดาษ มีวิธีการทำ 3 แบบ คือ

#### 1. แบบซ้อนหรือแบบดัก



รูปที่ 2.6 การทำแผ่นกระดาษแบบซ้อนหรือดัก

#### อุปกรณ์ที่สำคัญในการทำกระดาษแบบซ้อน

1.1 ถังสำหรับซ้อนกระดาษ เป็นถังไม้หรือบ่อคอนกรีต แต่ปัจจุบันจะเป็นบ่อคอนกรีต ถังไม้จึงไม่นิยมกันแล้ว ขนาดกว้างของบ่อประมาณ 0.80-1.20 m ยาวประมาณ 1-2 m

1.2 ตะแกรงซ้อนแผ่นกระดาษ เป็นตะแกรงขอบทำด้วยไม้รูปสี่เหลี่ยมกรวยด้วยลวดมุ้งตาถี่หรือข่ายในลอน ขนาดของตะแกรงขึ้นอยู่กับการต้องการของตลาด เช่น ขนาด 60x80 cm<sup>2</sup> และขนาด 46x56 cm<sup>2</sup>

1.3 วิธีการซ้อน นำน้ำใส่ในถังซ้อนจนเกือบเต็มถัง หรือบ่อคอนกรีตให้ระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าขอบบ่อประมาณ 4-5 นิ้ว จากนั้นนำเยื่อปอสาที่ดีให้ละเอียดเรียบร้อยแล้วใส่ในถังพอประมาณ ถ้าต้องการแผ่นบางก็ใส่แต่่น้อย หากต้องการหนาก็ใส่มากตามมาตรฐานการใส่เยื่อมักจะใส่ตามความเข้มข้นประมาณ 0.3% ของน้ำที่ใส่แล้วคนด้วยไม้พายให้กระจายทั่วไป บางคนจะตีเยื่อด้วยไม้ ลักษณะแบบไม้ปั่นนุ่น หรือใช้มือตีในถังน้ำเล็ก ๆ ก่อน แล้วจึงเทลงในบ่อคอนกรีตสำหรับซ้อน นอกจากนี้แล้วการช่วยเยื่อกระจายและลอยอยู่ได้ดีมีการใส่สารเมือกธรรมชาติที่ได้จากพืช ในประเทศไทย สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยแนะนำให้ใช้อย่างจากฝักกระเจี๊ยบซึ่งหาได้ง่ายในประเทศไทย โดยทั่วไปจะใส่ยางกระเจี๊ยบลงไปประมาณ 1:30 ของเยื่อโดยประมาณ การใส่ยางกระเจี๊ยบควรใส่พร้อมกับเยื่อปอสา เมื่อคนกระจายทั่วแล้ว ทำการดักซ้อนโดยใช้มือทั้งสองข้างจับของตะแกรงดักลงไปในถังซ้อน โดยให้ดักเข้าหาตัวแล้วยกตะแกรงขึ้นตรง ๆ แล้วเทออกไปข้างหน้าโดยเร็ว การจับตะแกรงเมื่อซ้อนนั้นต้องให้ตะแกรงขนานกับถัง จะทำให้ได้กระดาษสม่ำเสมอขึ้นดี เมื่อยกขึ้นมาเหนือผิวน้ำแล้ว ให้นำไปตากแดด คอยจนกระทั่งแห้งเพื่อทำการลอกมาใช้ต่อไป สำหรับการใส่สาร

เมื่อกรรมชาติแม้จะมีประโยชน์มาก และเป็นวิธีการที่ดี การปฏิบัติของผู้ทำกระดาษทั่วไปยังปฏิบัติกันน้อย การพัฒนากระดาษให้มีคุณภาพควรพิจารณานำสารเมื่อกรรมชาติมาใช้ทำกระดาษ ด้วยการทำกระดาษแบบซ้อนกันหนึ่ง ๆ ทำได้หลายร้อยแผ่นต่อวัน มากน้อยขึ้นอยู่กับความชำนาญ

## 2. แบบแตะ

### 2.1 อุปกรณ์ที่จำเป็น ได้แก่

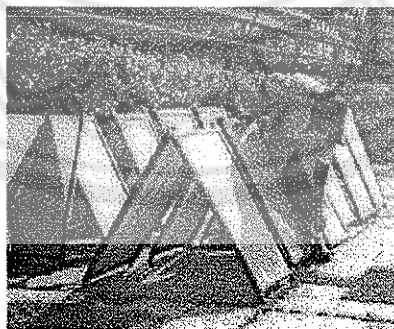
- เครื่องชั่งเยื่อปอสา
- ตะแกรงสำหรับแตะ ซึ่งบุด้วยผ้าขาวบางหรือผ้าสาหลูมีหลายขนาด เช่น ขนาด  $55 \times 60 \text{ cm}^2$ ,  $65 \times 75 \text{ cm}^2$ ,  $80 \times 100 \text{ cm}^2$ ,  $63 \times 132 \text{ cm}^2$
- กะบะสังกะสีสำหรับแตะกระดาษ ขนาด  $100 \times 150 \times 10 \text{ cm}^3$

2.2 วิธีการทำ ทำการชั่งเยื่อปอสาเปียกเป็นก้อน น้ำหนักขึ้นอยู่กับความต้องการ เช่น 150, 200, 250, และ 300 g (เมื่อเป็นกระดาษจะเรียกเบอร์ 1.5, 2, 2.5 และ 3 ตามลำดับ) การชั่งน้ำหนักเยื่อปอสามีความจำเป็นมาก เพราะจะได้กระดาษที่มีมาตรฐานสำหรับเบอร์ หรือน้ำหนักดังกล่าว มักจะได้เป็นมาตรฐานกับกระดาษขนาด  $55 \times 80 \text{ cm}$ . หากขนาดโตขึ้นต้องเพิ่มน้ำหนักตามส่วน เมื่อชั่งปอสาตามต้องการแล้วนำก้อนเยื่อปอสาไปวางบนตะแกรงสำหรับแตะ ซึ่งวางไว้บนกะบะสำหรับแตะและบรรจุน้ำไว้เกินครึ่งของตะแกรง การกระจายเยื่อมี 4 ขั้นตอน คือ

- ดึงเยื่อออกจากก้อนเยื่อปอสา ดึงกระจายให้มากจากตะแกรงก่อนหรือให้กระจายไปทั่วตะแกรง ก็ได้
- ทำการกระจายเยื่อให้ละเอียดแยกจากก้อนเล็ก ๆ โดยใช้นิ้วมือ 10 นิ้ว ทั้งสองมือ โดยโค้งนิ้วมือตีเยื่อให้กระจายไปทั่วตะแกรงให้แตกสม่ำเสมอ
- หากกระจายไม่สม่ำเสมอ จะเห็นว่าบางจุดจะมองเห็นมีช่องโหว่ก็ให้ใช้นิ้วมือโค้งเหมือนขั้นตอนที่ผ่านมา จุ่มดึงเยื่อที่แน่น ๆ ใกล้เคียงช่องโหว่ให้มาอยู่ที่ช่องโหว่
- ใช้หลังมือตีเยื่อที่กระจายอยู่ให้สม่ำเสมอ ในจุดที่ยังมีช่องโหว่เล็ก ๆ ให้เยื่อกลมกลืนกันไปหรือที่เป็นกระจุกเล็ก ๆ ลอยเหนือน้ำให้เยื่อกระจายกลมกลืนกันไม่มีช่องโหว่ และเรียบ แล้วยกตะแกรงไปตากแดดให้แห้งเพื่อลอกออกมาใช้ต่อไป การทำกระดาษแบบแตะ ผู้ปฏิบัติจะทำได้ตั้งแต่ 50-120 แผ่นแล้วแต่ความชำนาญ

3. แบบซ้อนตะ การทำกระดาษแบบนี้ประยุกต์ใช้วิธีการแบบซ้อนและแบบตะเข้าด้วยกัน โดยนำเยื่อปอสาไปกระจายในบ่อสำหรับซ้อน การคำนวณเยื่อที่ใส่ลงไป เช่น เบอร์ 1.5 ถ้าหากซ้อนเยื่อหมดใน 10 ครั้ง ก็ใส่ลงไปอีกโลกรัมครึ่ง หรือ 1,500 g กรรมวิธีการกระจายเหมือนแบบซ้อนและการซ้อนทำเช่นเดียวกันแต่เมื่อซ้อนขึ้นมาให้ลอยอยู่เหนือน้ำ แล้วใช้ฝ่ามือทั้งด้านหน้าหรือด้านหลังแล้วแต่สะดวก เพื่อให้ลายเยื่อสม่ำเสมอทั่ว ๆ ตะแกรงเหมือนวิธีตะ เมื่อเยื่อสม่ำเสมอดีตามต้องการแล้ว วิธีการนี้จะรวดเร็วกว่าวิธีตะมากกระดาษที่ได้จะหนาและสม่ำเสมอกว่าวิธีซ้อน วิธีซ้อนกระดาษจะมีมาตรฐานต่ำกว่าวิธีตะ โดยเฉพาะเรื่องน้ำหนักของกระดาษแต่ละแผ่นมักไม่เท่ากัน การทำลวดลายของกระดาษสา ขึ้นอยู่กับความต้องการ เช่น ต้องการสีหลายสีในแผ่นเดียวกัน เราก็ซึ่งเยื่อสีต่าง ๆ ที่ต้องการตามอัตรา แล้วนำมาผสมกัน การรวมกันอาจรวมบนตะแกรงสำหรับตะและกระจายด้วยมือให้เข้ากันเหมือนวิธีตะทั่วไป อีกวิธีการหนึ่งอาจใช้เยื่อผสมกันในถังก่อน ใส่น้ำพอควร แล้วตีเยื่อให้เข้ากันด้วยไม้ตีเยื่อ แล้วนำไปใส่ในตะแกรง อาจเป็นการตะหรือซ้อนตะก็ได้ นอกจากนี้มี การทำลวดลายดอกไม้บนกระดาษสา เช่น ใช้ดอกไม้ฟ้ายา ใบสน ใบไม้ ดอกกุหลาบ ดาวกระจาย ฯลฯ การทำลวดลายดอกไม้ให้นำกลีบดอกไม้สดใส่ในกระดาษแบบตะ หรือซ้อนตะ ขั้นตอนสุดท้ายหลังจากใช้มือตะเยื่อสาให้สม่ำเสมอแล้ว การวางดอกไม้ ใบไม้ ให้วางไปตามรูปแบบที่ต้องการ แล้วกดให้จมและเชยเยื่อสาให้คลุมส่วนดอกไม้บาง ๆ ใช้หลังมือตะให้สม่ำเสมอเบา ๆ นำไปตากเพื่อให้แห้ง ใช้ประโยชน์ได้ การใช้ลวดลายดอกไม้ ใบไม้ ในปัจจุบันใช้ชนิดสดกัน เมื่อเก็บไว้นาน ๆ สีของพืชจะเปลี่ยนไป อันที่จริงแล้วเราควรดำเนินการพิทักษ์สีของพืชไม่ให้เปลี่ยน อาจโดยวิธีการใช้สารเคมีบางอย่าง หรือการอัดแห้ง ซึ่งวิชาการเหล่านี้ยังไม่มีคำแนะนำจากหน่วยราชการของรัฐ หรือจากผู้รู้ให้ทราบกัน

#### 2.7.5.4 การทำให้กระดาษแห้ง



รูปที่ 2.7 การตากกระดาษ

1. การตากกระดาษโดยการตากแดด หลังจากที่ทำการตากผ่านชั้นตอนซ้อนหรือตะแล้ว การทำการตากโดยวิธีที่ปฏิบัติทั่วไปไม่เพิ่มต้นทุน คือ การตากแดดในกลางแจ้ง โดยวางให้ตะแกรงฟังกไม่ให้เกิดการฟังกกันอาจจะเป็น 2 ตะแกรง หรือ 4 ตะแกรง ในการตากแห้งเร็วขึ้น นอกจากความเข้มของแสงแดดที่เราควบคุมไม่ได้แล้ว ยังมีปัจจัยที่ควบคุมได้ ซึ่งช่วยให้แห้งเร็วขึ้น คือ การวางมุมตะแกรงในการตาก ความสำคัญของการทำมุมตะแกรง วางตะแกรงทำมุม 70 องศา ทำให้กระดาษแห้งเร็วที่สุด เหตุที่แห้งเร็วเพราะน้ำที่อยู่ในกระดาษไหลเร็วกว่าตะแกรงที่วางนอน ๆ เพราะฉะนั้นการตากกระดาษควรวางแนวตั้ง ๆ จะแห้งเร็วกว่าแนวนอน กระดาษแบบตะก็เช่นเดียวกัน จะแห้งช้ากว่าแบบซ้อน เพราะความหนามากกว่ากระดาษแบบตะ แต่ละแผ่นจะแห้งตั้งแต่ 2-4 ชั่วโมงแล้วแต่ความหนาของกระดาษ

2. ใช้เครื่องอบหรือเครื่องตากกระดาษ เครื่องอบกระดาษเป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการใช้ความร้อนส่งไปยังวัสดุที่มีพื้นที่ผิวเรียบให้มีความร้อน 40-60 °C แล้วจะได้แผ่นผิวเรียบที่ให้ความร้อนนั้น ความร้อนที่ใช้ได้จากไฟฟ้า ก๊าซ ถ่าน หรือไอน้ำ

2.7.5.5 การลอกแผ่นกระดาษ ในการทำการตากแบบของไทย โดยวิธีทำให้แห้งโดยการตากแดด จะทำการลอกเมื่อกระดาษแห้งดีแล้ว ซึ่งโดยทั่วไปแต่ละแผ่นจะใช้เวลาในการตาก 2-4 ชั่วโมง (ในสภาพแดดจัด) วิธีการลอกให้ตะแกรงที่มีกระดาษหันออกนอกตัว และใช้แกะขอบที่มุมออกให้ขอบด้านบนหลุดออกเป็นแนวประมาณ 2 นิ้ว ใช้มือซ้ายจับตะแกรงไว้ ใช้ฝ่ามือขวาแกะไป (ในกรณีถนัดขวา) ตามแนวของกระดาษเข้ากับผ้าแบบของตะแกรงไปเรื่อย ๆ ก็จะได้กระดาษที่เรียบร้อยไม่ขาดนำไปเก็บไว้เป็นชุด ๆ โดยเก็บไว้ในถุงพลาสติกหรือวางไว้เป็นมัด ๆ ตามแต่ทุนทรัพย์ในญี่ปุ่นนอกจากจะใช้วิธีการลอกแบบที่ไทยทำแล้ว ยังใช้กรรมวิธีลอกแผ่นเปียกออกจากตะแกรง วางซ้อนกันแล้วบีบน้ำให้หมาด แล้วลอกทีละแผ่นตากแห้งด้วยเครื่องอบแผ่น

2.7.5.6 การคัดเลือกและบรรจุกระดาษ หลังจากลอกกระดาษแล้ว จะได้กระดาษที่มีคุณภาพต่างกันนอกจากได้กระดาษที่ดีแล้ว บางแผ่นจะฉีกขาดบ้างหรือบางแผ่นจะมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ บางจุดจะบางไป หรือมีสิ่งสกปรกติดอยู่ไม่สะอาด กระดาษที่ไม่ดีเหล่านี้ต้องคัดออกนำไปใช้ประโยชน์ในงานอื่นๆ ที่รองลงไป ในกรณีที่ต้องจำหน่ายต้องคัดเฉพาะที่มีคุณภาพดี และเก็บไว้เป็นมัด ๆ โดยมีมัดละ 50 หรือ 100 แผ่น เป็นต้น และเก็บไว้ในถุงพลาสติกขนาดใหญ่ ในการบรรจุกระดาษถุงใหญ่ ๆ ถุงหนึ่งบรรจุได้ประมาณ 500-600 แผ่น ในการขายส่งภายในประเทศ ถ้าพาหนะในการขนส่งสะดวกอาจใช้ถุงพลาสติกแบบหนาห่อได้ กระดาษสามีความทนทานมาก ไม่ค่อยมีปัญหา แต่หากการขนส่งไปต่างประเทศต้องบรรจุลังกระดาษให้มีมาตรฐาน

## 2.8 สมบัติที่สำคัญของวัตถุดิบในด้านเยื่อกระดาษ

เมื่อผ่านการพิจารณาเบื้องต้นเพื่อคัดเลือกวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษแล้ว การประเมินคุณภาพที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตกระดาษจะใช้วิธีการศึกษาคุณสมบัติทางด้านเส้นใยของวัตถุดิบ ประกอบกับการทดสอบคุณภาพของเยื่อกระดาษที่ทดลองผลิตจากวัตถุดิบนั้น ๆ ดังนี้

### 2.8.1 สมบัติด้านเส้นใยของวัตถุดิบ

ทำโดยการนำวัตถุดิบมาย่อยให้เส้นใยกระจายตัวออกจากกัน แล้ววัดหาความยาวของเส้นใย (Fiber length, L) ความกว้างของเส้นใย (Fiber width, D) ความหนาของผนังเซลล์ (Cell wall thickness, W) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แล้วคำนวณหาความกว้างของช่องเซลล์ (Lumen width, I) เพื่อใช้ในการหาค่าที่จำเป็นในการพิจารณาคุณสมบัติของวัตถุดิบสำหรับเยื่อกระดาษดังนี้

$$\text{Slenderness ratio} = \frac{\text{ความยาวของเส้นใย (L), มิลลิเมตร}}{\text{ความกว้างของเส้นใย (D), ไมครอน}} \quad (2.1)$$

ถ้าค่าที่ได้สูงจะทำให้เยื่อความต้านทานแรงฉีกขาดสูง (Tearing resistance)

$$\text{Flexibility coefficient} = \frac{\text{ความกว้างของช่องเซลล์ (I), มิลลิเมตร}}{\text{ความกว้างของช่องเซลล์ (D), ไมครอน}} \quad (2.3)$$

ถ้าค่าที่ได้สูงจะทำให้ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) และค่าความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting Strength) สูงด้วย

### 2.8.2 สมบัติด้านเยื่อกระดาษวัตถุดิบ

วิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพของเยื่อกระดาษ ตามวิธีมาตรฐานของ TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry) และ SCAN ได้แก่

1 Kappa Number of pulp แสดงถึงปริมาณลิกนินที่หลงเหลือในเยื่อหลังผ่านกระบวนการ

2 Alkali-Resistance of pulp แสดงถึงความสามารถในการทนทานต่อสภาพแวดล้อม

ได้

### 3 Viscosity of cellulose in Cupriethylenediamine solution (CED)

4 Brightness of pulp บอกถึงค่าความขาวของเยื่อกระดาษเยื่อที่ผลิตได้เส้นใยจะมีลักษณะเรียบและกระด้าง จำเป็นต้องช่วยทำให้เส้นใยมีลักษณะยืดหยุ่นและเกิดแรงเกาะเกี่ยวระหว่างเส้นใยเพิ่มขึ้น ด้วยการตีเยื่อ (Beating) การตีเยื่อนี้จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางด้านการต้านแรงดึง แรงหักพับ (Folding endurance) และความหนาแน่น (Sheet density) ในขณะที่คุณสมบัติด้านความขาวสว่าง (Brightness) และความทึบแสง (Opacity) จะลดลง ส่วนคุณสมบัติทางด้านการต้านแรงฉีกขาดนั้นจะต่างออกไป คือเพิ่มขึ้นในระยะแรกของการตีเยื่อ แต่เมื่อตีไปนานๆ คุณสมบัติด้านนี้จะตกอย่างมาก การตีเยื่อจึงจำเป็นต้องมีระยะเวลาการตีที่เหมาะสม นอกจากนี้การตีเยื่อยังทำให้เยื่อมีคุณสมบัติการอุ้มน้ำมากขึ้นทำให้กระดาษแห้งช้า โดยทั่วไปแล้วนั้นจะมีการเปรียบเทียบคุณภาพของเยื่อกระดาษที่ค่าการตีเยื่อวัดได้ 40 °SR เยื่อที่ตีได้แล้วนั้น จะถูกนำไปทำแผ่นทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพตามมาตรฐานของ TAPPI ต่อไป

## 2.9 สมบัติทางโครงสร้างของกระดาษ (Structural Properties)

2.9.1 น้ำหนักมาตรฐาน (ตามมาตรฐาน ISO 536:1995) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เล่ม 1, 2541) หมายถึง น้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่เก็บในสภาวะอุณหภูมิและความชื้นที่ได้มีการควบคุมตามมาตรฐานกำหนด น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็นประโยชน์ในด้านการควบคุมการผลิตกระดาษ โดยจะควบคุมปริมาณเนื้อกระดาษที่ใช้ หน่วยที่ใช้วัดน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็น  $g/m^2$  ตามระบบสากลทั่วไป แต่บางประเทศจะมีการใช้เป็นหน่วย  $p/ft^2$  หรือปอนด์ต่อ  $3,000 ft^2$  ในปัจจุบันมาตรฐานของ International standard organization (ISO) และ TAPPI ซึ่งเป็นมาตรฐานในการทดสอบกระดาษให้ใช้คำว่า "แกรมเมจ" (grammage) แทนน้ำหนักมาตรฐาน น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษนอกจากใช้เป็นเกณฑ์ในการซื้อขายกระดาษแล้ว ยังสามารถเปรียบเทียบสมบัติอื่น ๆ ของกระดาษได้ด้วย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกระดาษประเภทเดียวกันที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยสภาวะต่าง ๆ เหมือนกัน กระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานมากกว่าจะมีความแข็งแรง ความหนา และความทึบแสงมากกว่ากระดาษที่มีน้ำหนักมาตรฐานต่ำกว่า

### 2.9.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์



1. เครื่องตัดกระดาษ เครื่องตัดกระดาษสามารถที่จะตัดขึ้นทดสอบได้อย่าง สะอาดและทำซ้ำ ๆ ได้ ซึ่งต้องใช้ตัดผิดพลาดได้ไม่เกิน  $\pm 1\%$  ของพื้นที่ที่เราใช้งาน มีความถูกต้อง แม่นยำสูง

2. เครื่องชั่ง เครื่องชั่งต้องมีความละเอียดสูง สามารถใช้ชั่งที่อยู่ในช่วง มากกว่า  $0.5\%$  ของสิ่งที่ต้องการชั่ง มีการตอบสนองอย่างเพียงพอมีการเปลี่ยนแปลงค่าแค่  $\pm 0.2\%$  ในมวลที่เรานำมาชั่งน้ำหนัก ถ้าเป็นเครื่องชั่งแบบอ่านโดยตรงที่แบ่งเป็นขีด ๆ ควรจะอ่านให้เที่ยงตรง ที่สุด ถ้าเป็นเครื่องชั่งน้ำหนักแบบพิเศษ ควรออกแบบขึ้นทดสอบให้มีขนาดที่เหมาะสมซึ่งสามารถ คำนวณค่าน้ำหนักออกมาได้ และเครื่องชั่งควรมีกระจกป้องกันลมรอบด้านด้วย พื้นที่ที่ใช้ทดสอบควร ไม่น้อยกว่า  $500 \text{ cm}^2$  และไม่เกิน  $1000 \text{ cm}^2$

2.9.1.2 วิธีทดสอบ ให้เตรียมและชั่งในสภาวะความดันบรรยากาศรวมทั้งสภาวะโดย ทัว ๆ ไปของขึ้นทดสอบ ด้วยใช้ขึ้นทดสอบอย่างน้อย 20 ชิ้นจากทั้งหมด และหากว่าไม่สามารถทำ ได้ก็ควรเป็น 5 ชิ้น ถ้าเป็นไปได้ควรที่จะทดสอบจากทุก ๆ ชั้นที่มีเลย อย่างไรก็ตามถ้าเป็นไปได้ควรให้ มีพื้นที่อย่างน้อย  $500 \text{ cm}^2$  ( $20 \times 250 \text{ cm}^2$ ) และควรไม่เกิน  $1000 \text{ cm}^2$  ถ้าจำเป็นควรจะ ประกอบด้วยหลาย ๆ แผ่นเล็ก ๆ ให้คำนวณพื้นที่ในแต่ละชั้นทดสอบโดยการคำนวณจากเครื่องมือควร ที่จะมีค่าใกล้เคียงกันที่สุดต่างกันไม่เกิน  $0.5 \text{ mm}$  ซึ่งน้ำหนักแต่ละแผ่นในเครื่องชั่ง ถ้าให้ดีควรมีเลข นัยสำคัญ 3 ตำแหน่ง

### 2.9.1.3 การรายงานผล

สมการการหาค่าน้ำหนักมาตรฐาน

$$g = \frac{m}{A} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $g$  = น้ำหนักมาตรฐาน ( $\text{g} / \text{m}^2$ )

$m$  = มวลของขึ้นทดสอบ (g)

$A$  = พื้นที่ของขึ้นทดสอบ ( $\text{m}^2$ )

อีกแบบหนึ่งที่สามารถคำนวณน้ำหนักได้

$$g = \frac{\bar{m}}{A} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \bar{m} &= \text{มวลเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ (g)} \\ \bar{A} &= \text{พื้นที่เฉลี่ยของชิ้นทดสอบ (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

ถ้าเป็นเครื่องชั่งน้ำหนักแบบพิเศษ คำนวณน้ำหนัก (g) ได้จากสมการ

$$g = \frac{A_1}{A} \times g_1 \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } g_1 &= \text{ค่าน้ำหนักเฉพาะ ของชิ้นทดสอบ (g)} \\ A_1 &= \text{พื้นที่มาตรฐานของชิ้นทดสอบสำหรับเครื่องชั่งแบบพิเศษ (m}^2\text{)} \\ A &= \text{พื้นที่ของชิ้นทดสอบที่ชั่งแล้ว (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

การรายงานผลต้องสอดคล้องกับข้อมูลต่อไปนี้

1. วันที่และสถานที่ทำการทดสอบ
2. ให้ความดันบรรยากาศ
3. ทุกข้อมูลมีความสำคัญต่อการทดสอบตัวอย่าง
4. ใช้พื้นที่ของชิ้นทดสอบ
5. จำนวนของชิ้นทดสอบ
6. ถ้าชิ้นตัวอย่างมาจากที่ต่าง ๆ กัน ควรจะแยกการรายงานผล
7. การเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมมีผลต่อการทดสอบ

2.9.2 ความหนาและความหนาแน่นของกระดาษ (ตามมาตรฐาน ISO 534:1988) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เล่ม 7, 2541) หมายถึง ระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระดาษภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด หน่วยที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาจะระบุเป็นนิ้ว (inches) หรือมิล (mil) ในระบบ SI จะวัดเป็นหน่วยไมโครเมตร (micrometer) แต่ส่วนใหญ่จะวัดเป็นมิลลิเมตร (mm) ความหนาของกระดาษจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ น้ำหนักมาตรฐาน แรงกดของลูกกลิ้งขณะเดินแผ่น การบดเยื่อและชนิดของเยื่อที่ใช้ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดวิธีหาความหนาและความหนาแน่นของกระดาษไว้ 2 วิธี

1. วิธีวัดความหนาโดยใช้กระดาษหรือกระดาษแข็งแผ่นเดียว (single sheet thickness)

2. วิธีวัดความหนาโดยใช้กระดาษหลายแผ่นซึ่งมัดเป็นห่อและมีน้ำหนักมาตรฐานรวมของกระดาษในหนึ่งมัดไม่เกิน  $224 \text{ g/m}^2$  (bulking thickness) วิธีนี้ไม่เหมาะกับกระดาษลูกฟูก และกระดาษที่มีความอ่อน เช่น กระดาษทิชชู

2.9.2.1 วิธีทดสอบ เตรียมชิ้นทดสอบที่ความดันบรรยากาศ หลีกเลียงไม่ให้อุ่นทดสอบเกิดการพับหรือมีรอยต่าง ๆ ตัดชิ้นทดสอบให้มีขนาด  $20 \times 25 \text{ cm}^2$  วัดความหนาของแผ่นเดียวหรือหลายแผ่นภายใต้สภาวะหนึ่งโดยไม่โครมิเตอร์ที่มีความแม่นยำสูงแสดงผลในรูปแบบของความหนาของแผ่นเดียวหรือความหนาแน่นต่อจำนวนกระดาษสอดคล้องตามข้อกำหนดการทดสอบ คำนวณค่าความหนาแน่นหรือความหนาแน่นแผ่นเดียวของกระดาษหรือกระดาษแข็งจากค่าที่ได้ในน้ำหนักมาตรฐานและความหนา

#### 2.9.2.2 การรายงานผล

การรายงานผลควรสอดคล้องกับข้อมูลต่อไปนี้

1. วันที่ทำการทดสอบ
2. ใช้ความดันบรรยากาศ
3. จำนวนของชิ้นทดสอบ
4. ในการหาความหนาแน่นต้องมีจำนวนของชิ้นทดสอบที่ทำการทดสอบด้วย
5. จำนวนของการอ่านแต่ละครั้ง
6. น้ำหนักมาตรฐาน

2.9.3 ความต้านแรงดึงเมื่อเปียก (ตามมาตรฐาน ISO 3781:1983) (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เล่ม 16, 2541) แรงสูงสุดที่กระดาษหรือกระดาษแข็งที่เปียก ที่สามารถรับได้ก่อนที่จะขาดในสภาวะที่กำหนด

2.9.3.1 วิธีการทดสอบ นำชิ้นทดสอบไปแช่น้ำแล้วนำไปทดสอบหาค่าความต้านแรงดึงเมื่อเปียก ให้แช่ชิ้นทดสอบในน้ำกลั่น 1 ชั่วโมง โดยแช่ในจานก้นตื้น ถ้าหากต้องการทดสอบชิ้นทดสอบที่ใหญ่ก็ควรแช่ที่ 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าจะพอใจ หรือจนกว่าจะชุ่มน้ำหลังจากแช่แล้วให้นำชิ้นทดสอบออกจากจานชับน้ำเบา ๆ และรีดน้ำส่วนเกินออกและทดสอบโดยทันทีทันใด สำหรับกระดาษที่มีค่าความต้านแรงดึงต่ำ ควรที่จะทบทหลาย ๆ ชิ้น และบันทึกจำนวนชิ้นที่ทบทด้วย แล้วหาค่าเฉลี่ย

#### 2.9.3.2 การรายงานผล

1. วิธีแบบทั่วไป หรือการดึงโดยตรง



คำนวณค่าความต้านทานแรงดึง  $S$  (kN/m) โดยใช้สมการ

- 5 JUL 2011  
(2.6)

$$S = \frac{X}{W}$$

เมื่อ  $S$  = ความต้านทานแรงดึง (kN/m)  
 $W$  = ความกว้างของชั้นทดสอบ (m)  
 $X$  = ค่าสเกลที่อ่านได้ (kN)

2. วิธีแบบฟินช์ บันทึกค่าความต้านทานแรงดึงโดยวิธีแบบฟินช์เป็น 2 เท่า  
ของวิธีธรรมดาคำนวณค่าความต้านทานแรงดึง  $S$  (kN/m) โดยใช้สมการ

$$S = \frac{0.5X}{W} \quad (2.7)$$

เมื่อ  $W$  = ความกว้างของชั้นทดสอบ (m)  
 $X$  = ค่าสเกลที่อ่านได้ (kN)

การรายงานผลควรที่จะสอดคล้องกับข้อมูลต่อไปนี้

1. อ้างอิงจากมาตรฐานสากล
2. เวลาที่จุ่มหรือแช่น้ำ (ไม่ควรมากกว่า 1 ชั่วโมง)
3. ชนิดของเครื่องทดสอบวัดความต้านทานแรงดึง
4. ความยาวและความกว้างของชั้นทดสอบ
5. จำนวนของชั้นทดสอบ
6. ต้องมีค่าความเชื่อมั่น 95%

2.9.4 การดูดซึมน้ำโดยวิธีของคอบบี้ (ตามมาตรฐาน ISO 535:1991) (มาตรฐาน  
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เล่ม 8, 2541) กลไกการดูด การดูดซึมน้ำของกระดาษขึ้นอยู่กับหลาย  
ปัจจัย เช่น โครงสร้างเส้นใยของกระดาษ (Sheet structure) และความพรุน (Porosity) ของผิว  
กระดาษ โครงสร้างเส้นใยของกระดาษนั้นสามารถควบคุมได้ด้วยการตีและบดเยื่อ (Refining) ให้มี  
ลักษณะพื้นผิวตามกายภาพตามต้องการ โดยเมื่อทำการตีหรือบดเยื่อมากนั้นจะทำกระดาษเกิด

การสร้างพันธะกันมากขึ้น เส้นใยย่อย (Fibril) สามารถเกิดได้มากและมีความน่าจะเป็นที่จะเกิดการเกาะเกี่ยวระหว่างเส้นใยที่มากขึ้น และเยื่อกระดาษจะละเอียดมากขึ้นทำให้กระดาษที่ได้มีความเรียบสูงขึ้น จึงทำให้ความพรุนของกระดาษลดต่ำลง ดังนั้นในการปรับปรุงสมบัติทางพื้นผิวของกระดาษเบื้องต้นสามารถทำได้โดยการควบคุมการตีและบดเยื่อ ทั้งนี้ต้องพิจารณารวมไปถึงชนิดของเส้นใยด้วย ในบางกรณีอาจคำนึงถึง Surface energy ของผิวกระดาษและพิจารณาถึงความเปียกผิว (Surface wetting) และ Capillary pore penetration ถ้าน้ำหยดลงสู่กระดาษเรียบจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างของแข็งและของเหลว ซึ่งจะมากกว่าค่าแรงยึดเหนี่ยวของของเหลว ดังนั้นของเหลวจึงสามารถกระจายตัวลงบนผิวของแข็ง และสามารถเปียกผิวได้ถ้าแรงแรงยึดเหนี่ยวระหว่างของเหลวเท่ากับแรงหลักของของแข็งกับของเหลวจะทำให้ของเหลวเป็นก้อนบนผิวของแข็ง

#### 2.9.4.1 อุปกรณ์เครื่องมือ

##### 1. เครื่องทดสอบการดูดซึมน้ำ

สำหรับเครื่องทดสอบการดูดซึมน้ำควรมีสมบัติดังนี้

- สามารถนำกระดาษแช่น้ำแล้วชั่งหรือทดสอบทันทีได้
- สามารถนำกระดาษออกทันทีที่ไม่สามารถดูดซึมน้ำได้อีกแล้ว
- สามารถนำกระดาษออกทันทีและไม่เสี่ยงกับน้ำที่อยู่ด้านนอกพื้นที่ทดลอง

##### 2. ลูกกลิ้งเหล็ก

ลูกกลิ้งเหล็กมีพื้นผิวราบเรียบ กว้าง 200 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง 90 mm  $\pm$  10 mm และมีน้ำหนัก 10 kg  $\pm$  0.5 kg

##### 3. เครื่องชั่ง มีความแม่นยำ 1 mg

2.9.4.2 วิธีทดสอบ ให้เตรียมชิ้นทดสอบที่ความดันบรรยากาศ หลีกการสัมผัสมือจับ ให้ตัดชิ้นทดสอบอย่างน้อยจำนวน 10 ชิ้น ป้องกันไม่ให้พื้นที่ทดสอบเกิดการหักพับหรือรอยร้าวเกิดขึ้น ชั่งน้ำหนักชิ้นทดสอบโดยทันทีก่อนการให้กระดาษสัมผัสกับน้ำ หลังจากผิวกระดาษสัมผัสกับน้ำภายในระยะเวลาที่กำหนด นำกระดาษออกมาชั่งน้ำส่วนเกินออกแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง ผลที่ได้คือมวลที่เพิ่มขึ้นของชิ้นตัวอย่างมีหน่วยเป็น  $g/m^2$  การชั่งชิ้นทดสอบไม่ควรคลาดเคลื่อนเกิน 1 mg ควรใช้เวลา 45 วินาทีในการกำจัดน้ำ ระวังไม่ให้โดนน้ำที่อยู่ข้างนอกของพื้นที่ทดสอบ ย้ายชิ้นทดสอบออกและวางไว้ที่แผ่นกระดาษซับ ที่วางในแผ่นเหล็กหนาราบเรียบ และ 60 วินาทีต่อมาให้วางแผ่นซับอีกแผ่นไว้ข้างบน และรีดน้ำออกโดยใช้ลูกกลิ้งเหล็ก โดยรีด 2 รอบ ทั้งไปและกลับ โดยการไม่ให้มีความดันที่ลูกกลิ้ง

## 2.9.4.3 การรายงานผล

คำนวณการดูดซับน้ำของกระดาษในหน่วย  $g/m^2$  โดยใช้สมการ

$$A = (m_2 - m_1)/F \quad (2.8)$$

เมื่อ  $m_1$  = มวลแห้งของชิ้นทดสอบ (g)

$m_2$  = มวลเปียกของชิ้นทดสอบ (g)

$F$  = พื้นที่ทดสอบ ( $m^2$ )

การรายงานผลควรจะต้องคล้องกับข้อมูลดังต่อไปนี้

1. อ้างอิงมาตรฐานสากล
2. ทุกข้อมูลจำเป็นต่อผลการทดสอบ
3. วันที่ทำการทดสอบ
4. ความดันบรรยากาศ
5. พื้นที่ทดสอบไม่ควรน้อยกว่า  $100 \text{ cm}^2$
6. จำนวนชิ้นทดสอบ

2.9.5 ค่า pH ของกระดาษ ค่า pH เป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดความเป็นกรดและเบสของสารหรือสสารต่างซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วง 1-14 ค่าที่อยู่ในช่วง 1-6.9 แสดงว่ามีสถานะเป็นกรด ช่วง 7.1-14 แสดงว่ามีสถานะเป็นเบส และเป็นกลางเมื่อมีค่าเท่ากับ 7

2.9.5.1 วิธีการทดสอบ กรณีตัวอย่างเป็นของแข็งให้นำไปแช่น้ำแล้วนำไปทดสอบหา  
ค่า pH

## 2.9.5.2 การรายงานผล

1. วันที่ทำการทดสอบ
2. เวลาในการจุ่มหรือแช่น้ำ
3. ชนิดของเครื่องทดสอบ
4. ขนาดของชิ้นทดสอบ

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีผู้วิจัยมาแล้วก่อนหน้านี้ ทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบทำความเย็นแบบระเหย ซึ่งจะชี้ให้เห็นว่ากระทำความเย็นแบบระเหยนั้นมีความนิยมกันอย่างแพร่หลายทั้งในด้านการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ตลอดจนงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาและการผลิตกระดาษสา

### 2.10.1 งานวิจัยทางด้านระบบทำความเย็นแบบระเหย

วิวัฒน์ ขวนะนิกุล (วิวัฒน์ , ไม่ปรากฏวันเดือนปีที่เผยแพร่) ทำการศึกษาระบบทำความเย็นแบบระเหยที่ใช้ในฟาร์มสุกรโดยใช้แผ่นทำความเย็น(CelPad)เป็นกระดาษชนิดพิเศษ มุ่งผลผลิตกึ่งเลี้ยง พบว่าที่พื้นที่หน้าตัดเท่ากัน กระดาษชนิดพิเศษมีประสิทธิภาพในการทำความเย็นที่ดีกว่าแผ่นทำความเย็นแบบอื่นแต่มีราคาแพงและอายุใช้งานสั้นกว่าแผ่นทำความเย็นแบบอื่นๆ

ธีรยุทธ อัครเมฆิน และ ปาริฉัตร วิเศษจรณา (ธีรยุทธ และ ปาริฉัตร , ไม่ปรากฏวันเดือนปีที่เผยแพร่) ทำการศึกษาระบบระบายความร้อนภายในโรงเรือน ด้วยระบบทำความเย็นแบบระเหย ได้ทำการทดลองในช่วงเดือนกันยายน พ.ศ.2538 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ.2539 พบว่า ระบบทำความเย็นแบบระเหยสามารถลดอุณหภูมิโรงเรือนลงมาให้อยู่ที่ระดับอุณหภูมิภายนอก หรือต่ำกว่าระดับอุณหภูมิภายนอกได้ และสามารถควบคุมระดับของอุณหภูมิภายในโรงเรือน ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม อีกทั้งยังสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศให้สูงขึ้นในระดับที่ต้องการ โดยพบว่าถ้าเปิดเฉพาะพัดลมระบายอากาศ ทั้ง 2 เครื่อง อุณหภูมิภายในจะลดลงมา แต่อยู่ในระดับที่สูงกว่าอุณหภูมิภายนอกเล็กน้อย ประมาณ 1-2 °C ความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดได้ ในขณะนั้น คือ 65% RH และถ้าเปิดระบบทำความเย็นแบบระเหย อุณหภูมิภายในโรงเรือนจะลดต่ำลงอีก จนอยู่ในระดับที่เท่ากับหรือต่ำกว่าอุณหภูมิภายนอก วัดค่าความชื้นได้ประมาณ 76% RH ทั้งนี้ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของระบบจะขึ้นกับช่วงอุณหภูมิสูงสุดในแต่ละวัน และความชื้นสัมพัทธ์ในขณะนั้นด้วย หรืออาจกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่า ประสิทธิภาพของระบบ จะเพิ่มสูงขึ้นในวันที่อุณหภูมิสูง และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ นอกจากนี้ระบบทำความเย็นแบบระเหยนี้ ยังสามารถรักษาระดับอุณหภูมิได้โดยอัตโนมัติจากการติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ คือ เทอร์โมสตาร์ท และวงจรจ่ายไฟแบบอัตโนมัติ จากการศึกษาทดลอง พบว่าระดับความสูงจากพื้นดินมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิภายในโรงเรือน คือ เมื่อความสูงเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้คาดว่าประสิทธิภาพของระบบ ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอีกหลายอย่าง

เช่น ความหนา และขนาดของแผ่น CellPad, วัสดุที่ใช้ทำโรงเรือน, อุณหภูมิอากาศ, ความชื้นสัมพัทธ์, ประสิทธิภาพของเครื่องปั้มน้ำ, แสงแดด, ประสิทธิภาพของพัดลม (ความแรงของพัดลม) เป็นต้น

ศิริชัย เทพา (ศิริชัย, 2540) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการทำความเย็นแบบระเหย สำหรับโรงเรือนเพาะเห็ดหอม โดยการใช้ฝิวเปียก พบว่าความสามารถในการลดอุณหภูมิขึ้นอยู่กับระยะทางที่ไหลผ่านฝิวเปียกยิ่งระยะทางมากยิ่งช่วยลดอุณหภูมิลงได้มากโดยจากการทดลองพบว่า จะลดอุณหภูมิลงได้ประมาณ  $5^{\circ}\text{C}$

S.B. Riffat และ J. Zhu ( S.B. Riffat and Jie Zhu, 2003) ทำการศึกษารูปแบบทางคณิตศาสตร์ของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยแบบอาศัยตัวกลางโดยใช้ เซรามิคแบบพรุน และ ท่อความร้อน โดยใช้เซรามิคแบบพรุนเป็นแหล่งทำความเย็นและท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อน ซึ่งทำให้สามารถพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนและมวลเพื่อจำลองสมบัติของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยแบบอาศัยตัวกลาง ผลที่ได้จากการทดลอง ทำให้ทราบว่ารูปแบบทางทฤษฎีสามารถนำไปใช้ในการทำนายหาสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นแบบระเหยโดยทางอ้อม

S. Onmura, M. matsumoto และ S. Hokoi ( S. Onmura, et al, 2000) ทำการศึกษาผลของการทำความเย็นแบบระเหยต่อหลังคาของสนามหญ้าในช่วงฤดูร้อน ซึ่งปรากฏว่า สามารถลดอุณหภูมิจาก  $60^{\circ}\text{C}$  เป็น  $30^{\circ}\text{C}$  และลดฟลักซ์ความร้อนได้ 50% ค่าดูดซับรังสีแสงอาทิตย์ของสนามหญ้าอยู่ที่ 0.78

ปิยธิดา วิไลจิตต์ และ สุชีรา ขยาย ( ปิยธิดา และ สุชีรา, 2542) ทำการศึกษาเปรียบเทียบโรงเรือนเลี้ยงไก่ระบบเปิดและโรงเรือนระบบปิด โดยทำการวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการปลดไซ้ของโรงเรือนระบบปิดและระบบเปิดเมื่อมีการเปรียบเทียบโรงเรือนระบบปิดกับโรงเรือนระบบเปิด พบว่า โรงเรือนระบบปิดมีค่าพีสัยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่าโรงเรือนระบบเปิด ส่วนอัตราการปลดไซ้เฉลี่ยของโรงเรือนระบบปิดและโรงเรือนระบบเปิดมีค่าใกล้เคียงกันจากการศึกษาภายในโรงเรือนระบบปิด พบว่าอุณหภูมิบริเวณด้านหลัง กลาง และหน้าโรงเรือนมีค่าเท่ากับ  $24.69^{\circ}\text{C}$ ,  $24.20^{\circ}\text{C}$  และ  $23.64^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ส่วนความชื้นสัมพัทธ์และอัตราการปลดไซ้บริเวณด้านหลัง กลาง และหน้ามีค่าเท่ากับ 77.62%, 80.20% และ 81.38% ตามลำดับ ส่วนอัตราการปลดไซ้เท่ากับบริเวณด้านหลัง กลาง และหน้ามีค่าเท่ากับ 14.02, 14.11 และ 14.21 ฟอง/ตัว/15 วัน ตามลำดับ



### 2.10.2 งานวิจัยทางด้านระบบทำความเย็นแบบระเหย

วุฒินันท์ คงทัต และคณะ (วุฒินันท์, ไม่ปรากฏวันเดือนปีที่เผยแพร่) ทำการศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ของกระดาษสาผสมฟางข้าวที่ทำด้วยมือแบบไทยเพื่องานหัตถกรรมและบรรจุภัณฑ์ จากการศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของกระดาษสาผสมเยื่อฟางข้าวที่ทำด้วยมือแบบไทยในอัตราส่วนเยื่อปอสาต่อเยื่อฟางข้าว 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 10:90 และ 0:100 โดยเตรียมตัวอย่างกระดาษและวัดคุณสมบัติของกระดาษตามมาตรฐานของ Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากระดาษที่ได้จากเยื่อปอสาต่อเยื่อฟางข้าวในอัตราส่วน 70:30 สามารถใช้ในงานหัตถกรรมแทนกระดาษสาได้และมีความสมบัติทางฟิสิกส์ที่ดีดังต่อไปนี้ น้ำหนักมาตรฐาน  $64.23 \text{ g/m}^2$  ความหนา  $0.286 \text{ mm}$  ความหนาแน่น  $0.224 \text{ g/cm}^3$  ความขาวสว่าง  $78.88\%$  ความต้านทานแรงดึง  $27.76 \text{ Nm}^2/\text{g}$  การยืด  $3.63\%$  ความเรียบ  $11.38 \text{ sec}$  ความต้านทานการหักพับ 112 ครั้ง ความต้านทานแรงดันทะลุ  $3.08 \text{ kPa}\cdot\text{m}^2/\text{g}$  และความต้านทานแรงฉีกขาด  $588.22 \text{ mN}\cdot\text{m}^2/\text{g}$

เจษฎา สุวรรณ (เจษฎา, 2538) ทำการศึกษาอิทธิพลของคลอรีนที่มีต่อค่าความขาวสว่างและการต้านทานแรงดึงของกระดาษสาในภาคเหนือ ศึกษาอิทธิพลของคลอรีนที่มีผลต่อความขาวสว่าง และการต้านทานแรงดึงของกระดาษสา โดยการเปรียบเทียบวิธีการฟอกขาวชนิดฟอกเย็น และฟอกขาวชนิดฟอกร้อน ผลการวิจัยพบว่า การฟอกขาวชนิดฟอกเย็นกับการฟอกขาวชนิดฟอกร้อน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยการฟอกขาวชนิดฟอกร้อนให้ค่าเฉลี่ยความขาวสว่าง  $71.76\%$  สูงกว่าการฟอกขาวชนิดฟอกเย็นที่ให้ค่าเฉลี่ยความขาวสว่าง  $68.22\%$  ส่วนการต้านทานแรงดึงการฟอกขาวชนิดฟอกเย็นให้ค่าเฉลี่ย  $1.08 \text{ kN/m}$  สูงกว่าการฟอกขาวชนิดร้อนซึ่งให้ค่าเฉลี่ย  $0.86 \text{ kN/m}$  การเพิ่มปริมาณคลอรีนให้สูงขึ้นในการฟอกขาวควรใช้ในปริมาณไม่เกิน  $4\%$  โดยน้ำหนัก หรือประมาณ 1 ซ้อนโต๊ะต่อน้ำ 1 ลิตร โดยการฟอกขาวชนิดฟอกร้อน โดยใช้อุณหภูมิระหว่าง  $45-60 \text{ }^\circ\text{C}$  ขณะทำการฟอกขาวต้องปิดภาชนะ และในขั้นตอนการซักเยื่อต้องใช้น้ำสะอาด มีการเปลี่ยนน้ำบ่อยขึ้นจึงจะได้กระดาษที่มีความขาวสว่างตามความต้องการของผู้ซื้อ

วิมล ไสยสมบัติ และ ชมนาด สวาสดิ์มิตร (วิมล และ ชมนาด, 2000) ทำการศึกษาถึงกลไกของสารเคมีที่มีต่อเปลือกสาและทราบถึงวิธีการที่เหมาะสมในการเตรียมเยื่อสา อาจช่วยย่นระยะเวลาในการเตรียม สามารถเตรียมเยื่อที่มีความสมบัติเหมาะสมสำหรับการนำไปเตรียมกระดาษที่มีความคุณภาพ และอาจช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ นอกจากนี้อาจมีการเติมสารบางชนิดเพื่อเพิ่มความเหนียว ความแข็งแรง และการทนไฟ ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีจุดมุ่งหมายจะนำผลจากการศึกษาครั้งนี้ไป

ประยุกต์ใช้กับการทำกระดาษสาแบบพื้นบ้าน มากกว่าที่จะเน้นการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ จึงพยายามเลือกใช้สารเคมีที่มีราคาถูก และชาวบ้านสามารถหาซื้อได้ ซึ่งทางผู้วิจัยได้ศึกษาถึงการพัฒนาวีธีการเตรียมเยื่อสาโดยใช้เอนไซม์ทดแทนสารเคมี เพื่อลดมลภาวะที่เกิดจากการต้มเปลือกสาก นอกจากนี้จะดำเนินการวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำต้มเปลือกสาก เพื่อเป็นแนวทางการบำบัดน้ำต้มเปลือกสาก ขณะนี้สามารถเตรียมเยื่อสาโดยใช้อัลคาไลน์เปอร์ออกไซด์ ซึ่งช่วยลดเวลาในการเตรียมเยื่อสา จากเดิมที่ต้องใช้เวลานานถึง 10-15 ชั่วโมง เหลือเวลาที่ใช้เตรียมเพียง 4 ชั่วโมง นอกจากนี้ได้ทำการบำบัดน้ำทิ้งจากการต้มเปลือกสากขั้นต้น โดยการใช้สารจับก้อน แต่ยังไม่เป็นที่น่าพอใจนัก ยังคงอยู่ในระหว่างดำเนินการศึกษาต่อไป

เสกสรร พาป้อง (เสกสรร, 2544)ทำการศึกษาเทคโนโลยีสะอาดในการผลิตเยื่อกระดาษ การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำหลักการของเทคโนโลยีสะอาดเข้ามาประยุกต์ใช้ในการผลิตเยื่อและกระดาษ โดยการตรวจประเมินกระบวนการผลิต และเสนอแนะในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีของเสียน้อยที่สุด ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดวัตถุดิบ น้ำ สารเคมี พลังงาน และเพิ่มผลผลิต อันจะส่งผลให้ลดต้นทุนการผลิต และลดของเสียให้อยู่ในระดับที่บำบัดได้ง่ายอีกด้วย จากกรณีศึกษาโรงงานตัวอย่างในจังหวัดแพร่ที่มีกำลังการผลิตกระดาษสา 1,000 แผ่น/วัน หรือ 6.87 ตัน/ปี พบว่า มีปริมาณการใช้วัตถุดิบ 2.911 ตัน/ตันกระดาษ ปริมาณการใช้น้ำ 451 m<sup>3</sup>/ตันกระดาษ ปริมาณการใช้สารเคมี 414 kg/ตันกระดาษ ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงและไฟฟ้าทั้งหมดคิดเป็น 42.89 กิกะจูล/ตันกระดาษ และ 567 กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตันกระดาษ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า กระบวนการต้มเยื่อ กระบวนการชักฟอกเยื่อ และกระบวนการล้างเยื่อชักฟอก มีการสูญเสียเยื่อ 7,890 kg/ปี 2,680 kg/ปี และ 224 kg/ปี ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นมูลค่าการสูญเสียเป็น 150,000 บาท/ปี 107,000 บาท/ปี และ 35,000 บาท/ปี ตามลำดับ ข้อเสนอเทคโนโลยีสะอาดในการปรับปรุงกระบวนการฟอกเยื่อ โดยการใช้ถังสแตนเลสในการฟอกเยื่อ ทำให้ลดการใช้สารเคมีได้ 86 kg/ตันกระดาษ หรือคิดเป็น 20.8% และการปรับปรุงสภาวะในการฟอกเยื่อ ลดสารเคมีได้ 49 kg/ตันกระดาษ หรือคิดเป็น 11.8% ส่วนกระบวนการต้มเยื่อ เมื่อใช้การแช่เปลือกด้วยน้ำต้มเยื่อแทนน้ำ สามารถลดการใช้สารเคมีได้ 57 kg/ตันกระดาษ หรือคิดเป็น 13.8% สำหรับกระบวนการล้างเยื่อ คำนวณปริมาณน้ำล้างเยื่อโดยใช้ระบบการล้างเยื่อแบบน้ำล้นไหลสวนทาง สามารถลดการใช้น้ำได้ 233 m<sup>3</sup>/ตันกระดาษ คิดเป็น 51.7% และการจัดฝั้งการล้างเยื่อใหม่ สามารถลดการใช้น้ำได้ 120 m<sup>3</sup>/ตันกระดาษ หรือคิดเป็น 26.5%

ระบบทำความเย็นแบบระเหยจะมีประสิทธิภาพสูงสุดและสามารถปรับปรุงการออกแบบให้เหมาะสมทำให้ต้นทุนต่ำ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายเริ่มต้นได้ สิ่งที่ส่งผลกระทบต่อระบบทำความเย็น

แบบระเหยอีกอย่างหนึ่งก็คือ ตัวกลางผิวเปียก (Wetted media or evaporative pad) โดยวัสดุนี้จะถูกออกแบบมาให้เพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำกับอากาศ เพื่อให้อากาศสามารถถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำได้มากที่สุด ดังนั้นวัสดุที่จะนำมาทำเป็นผิวเปียกแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการลดอุณหภูมิได้ต่างกัน เช่น วัสดุชนิดเดียวกันแต่มีความหนาต่างกัน วัสดุที่หนากว่าจะมีความสามารถในการลดอุณหภูมิได้ดีกว่า เพราะมีพื้นที่ผิวสัมผัสกับน้ำที่มากกว่าทำให้เกิดการถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างน้ำและอากาศได้มากกว่า (Koca R.W., et al., 1991 and Dowdy J.A., 1986)

นักวิจัยจำนวนมากจึงได้ศึกษาและพัฒนาาระบบทำความเย็นแบบระเหย รวมทั้งปรับปรุงตัวกลางที่ใช้เป็นผิวเปียกในระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อให้สามารถนำระบบทำความเย็นแบบระเหยไปประยุกต์กับสภาวะการใช้งานและสถานที่ต่างๆได้อย่างเหมาะสม (Hunn B.D. & John L. Peterson., 1996) ส่วนตัวกลางที่นิยมใช้จะมีอยู่ 2 ชนิดหลักคือ Aspen fiber เป็นตัวกลางผิวเปียกที่ใช้มาแต่เดิม มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนของ Cellulose fiber ที่รวมกันอยู่ในถุงตาข่าย ซึ่งมีข้อเสียอยู่ตรงที่สามารถเกิดสาหร่ายได้ง่าย ยากต่อการบำรุงรักษาและอายุการใช้งานต่ำ (Brian R. Strobel., 2005) ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาขึ้นมาเป็น corrugated rigid cellulose คือ จะเป็น Cellulose wood fiber ซึ่งอยู่ในรูปของกระดาษที่ทำเป็นลอนเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับผิวเปียกเพื่อการดูดซับน้ำที่ผ่านเข้ามา โดยจะทำการชุบด้วยสารเคมี เพื่อเพิ่มสมบัติในการต้านทานการย่อยสลายและฝุ่นจากน้ำและอากาศ ซึ่งตัวกลางผิวเปียกที่ทำจากกระดาษ Cellulose นี้มีราคาแพงแต่บำรุงรักษาได้ง่าย ให้ผลในการดูดซับน้ำที่สูงกว่า และมีอายุการใช้งานที่นานกว่าคืออาจสูงถึง 10 ปี และกระดาษชนิดนี้ต้องการการไหลของและน้ำที่มากกว่า Aspen fiber (CELdek and use.online, 2005)

สมบัติที่ต้องการของตัวกลางผิวเปียกในระบบทำความเย็นแบบระเหย คือ ต้องมีการดูดซับน้ำได้มาก มีความคงทนต่อการย่อยสลาย ไม่เกิดตะไคร่น้ำ ทนการฝุ่นจากสภาวะแวดล้อมจากน้ำและอากาศ และสามารถบำรุงรักษาได้ง่าย พบว่าพื้นที่ผิวและลักษณะการวางตัวของตัวกลางที่แตกต่างกัน จะมีผลต่อประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิของระบบ ( Sullerey,R.K., 1989) การศึกษามลของอุณหภูมิต่อความสามารถของตัวกลางในการทำงานของตัวกลางที่เป็น Rigid cellulose ซึ่งใช้เป็นผิวเปียกในระบบทำความเย็นแบบระเหย พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำที่เข้าโดยให้อัตราการไหลของน้ำต่ออัตราการไหลของอากาศคงที่ จากการทดลองสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการลดอุณหภูมิของตัวกลางกับอุณหภูมิของน้ำเข้าได้ ทำให้สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ในการเลือกตัวกลางที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานต่างๆกันได้ (Dowdy J.A., 1986) จากวัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางผิวเปียกที่นิยมคือ Rigid cellulose มีการค้นคว้าถึงการทำให้วัสดุมีการคงรูปอยู่ได้แม้จะเปียก และคงทนต่อสภาพแวดล้อมที่มีผลทำให้เกิดการย่อยสลายฝุ่นได้ มีการใช้สารป้องกันเชื้อราและแบคทีเรียหลาย

ชนิด (R. A. Bucklin, et al., 2004) เช่น Zinc dimethyl dithiocarbamate (Susan Bundavari, 1996), sodium hyper chlorite (bleach) , bromine (Agribrom), quaternary ammonium chloride salts และ benzalkonium chloride (Physan20) โดยงานวิจัยที่ศึกษาการปรับปรุงให้กระดาษ cellulose สามารถคงรูปได้นั้น ได้ทำการปรับปรุงด้วยพอลิเมอร์บางชนิด เช่น พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) หรือ พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (Low density Polypropylene) (A.K. Bledzki & J. Gassan, 1999) เป็นการเพิ่มสมบัติทางกล ลดการเปื่อยสลาย ยืดหยุ่นได้ และมีความหนาแน่นต่ำ โดยการนำกระดาษที่เป็นเส้นใย Cellulose จุ่มลงในสารละลายพอลิเมอร์ที่เตรียมไว้ แล้วนำไปทดสอบทางด้านกายภาพได้ผลว่าสามารถเพิ่มสมบัติเชิงกลสูงขึ้น และการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีการจุ่มลงบนสารละลายพอลิเมอร์พบว่าเกิดการกระจายตัวของพอลิเมอร์ได้ดีทั่วทั้งผิวกระดาษ ส่วนการเพิ่มสมบัติทางกลของกระดาษเมื่อการใช้งานในขณะเปียกนั้นสามารถทำได้โดยใช้พอลิเอไมด์ จำพวกเทอร์โมเซตติง คือ ยูเรียฟอรัมาดีไฮด์เรซิน (Ureaformadehide resin) เมลามีนฟอรัมาดีไฮด์ (Melameneformadehide) และ พอลิเอพริโคลไฮดรินเรซิน (Polyapriclohidrin resin) (H.P. Wohnsiedler, 1944 and G.I. Keim., 1960) โดยเรซินดังกล่าวสามารถเพิ่มสมบัติทางกล เช่น ค่าทนแรงดึงขาด (Tensile breaking strength) ค่าแรงดันทะลุ (Bursting test) ให้กับกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติซึ่งเรียกว่า Wet strengthen paper ซึ่งทำได้โดยการเติมสารเคมีดังกล่าวในขั้นตอนของการผลิตน้ำเยื่อ (Stock preparation) หรือนำเรซินเจือจางมาเติมในช่วงของการผลิตแผ่นกระดาษ (Papermaking) ซึ่งเรียกว่า Size press ซึ่งวิธีที่เหมาะสมสำหรับการเสริมแรงกระดาษด้วยเรซินจำพวกนี้จะได้ผลดีก็ต่อเมื่อเติมสารเคมีที่ช่วงของการเตรียมน้ำเยื่อ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเยื่อกระดาษที่ใช้ และการปรับสภาวะการเป็นกรดต่างที่เหมาะสม รวมไปถึง Mixing time ของเรซินกับกระดาษด้วย

ในประเทศไทยได้นำระบบทำความเย็นแบบระเหยมาประยุกต์ใช้ในโรงเรือนเพาะเห็ดหอมซึ่งได้ผลดี และโรงเรือนเลี้ยงสัตว์ ( เอกสารคู่มือสินค้า แผ่น cooling pad CELdek ของบริษัท Munters. 2005) เช่น ฟาร์มไก่เนื้อ โรงเรือนสุกร ลักษณะของโรงเรือนเป็นโรงเรือนแบบปิด ด้านหนึ่งของโรงเรือนจะมีพัดลมดูดอากาศ และแผ่นทำความเย็นโดยใช้ทำความเย็น (cooling pad) หรือ rigid cellulose ซึ่งในปัจจุบันต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศทำให้มีราคาแพง ตัวอย่างเช่น Cooling pad ภายใต้เครื่องหมายการค้าของ CELdek (ASHRAE Handbook., 1999) ที่ขนาดกว้าง 60 cm. สูง 180 cm. หนา 10 cm. มีราคา 990 บาท และที่ขนาดความหนา 15 cm. มีราคา 1500 บาท ดังนั้นจึงควรศึกษาหาวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายในประเทศมาทดแทนวัสดุเดิมที่ใช้กันอยู่ ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตให้กับเกษตรกร

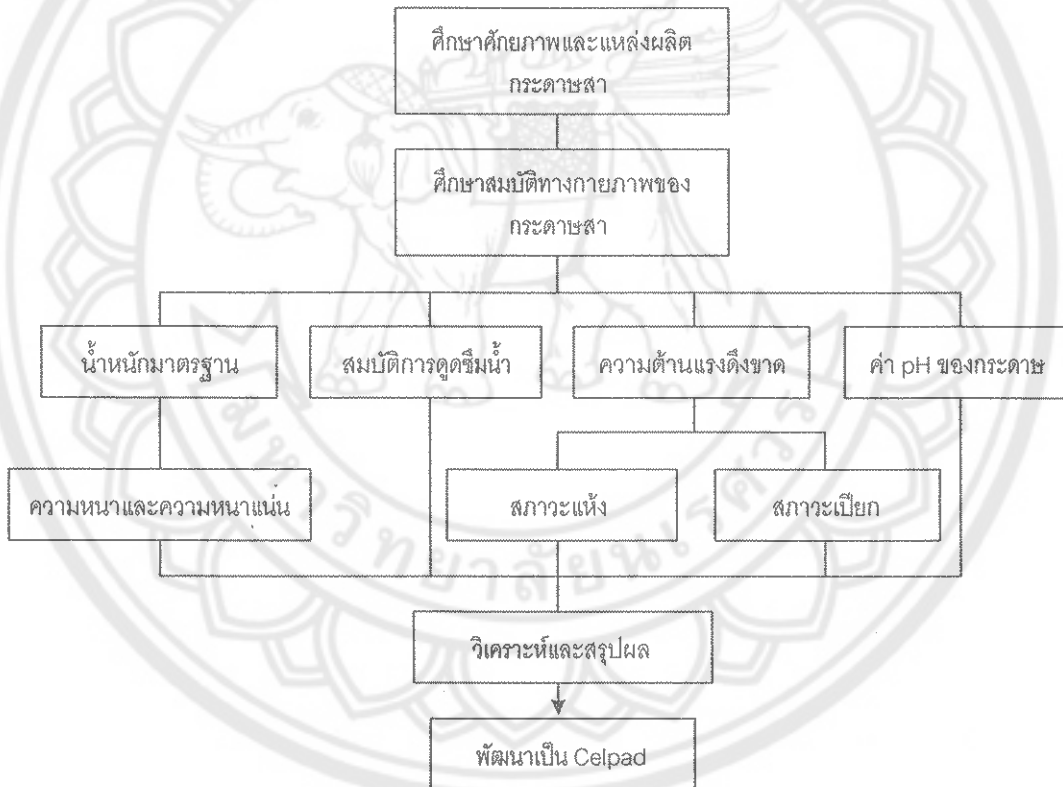
จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าระบบทำความเย็นแบบระเหยนั้น มีประโยชน์อย่างมากในการนำไปใช้งานในลักษณะต่างๆ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้งาน คือต้องพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อระบบ ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ณ บริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะสามารถลดอุณหภูมิของอากาศได้น้อย นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงขนาดของวัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวกลางผิวเปียก ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นแบบระเหย ดังนั้น เพื่อเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรที่มีอยู่ และเป็นการลดต้นทุนในการนำระบบทำความเย็นแบบระเหยมาใช้ให้แพร่หลาย โดยการนำกระดาษหนังสือพิมพ์มาทดลองทำเป็นตัวกลางผิวเปียกในระบบทำความเย็นแบบระเหย ซึ่งกระดาษหนังสือพิมพ์ก็มีโครงสร้างเป็น Cellulose เช่นเดียวกัน



### บทที่ 3

#### อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ในบทนี้ได้กล่าวถึงวัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการดำเนินงานวิจัยซึ่งประกอบไปด้วยการเตรียมอุปกรณ์การทดสอบและการเตรียมชิ้นทดสอบตัวอย่าง เพื่อทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐาน ISO 535:1991, ISO 3781:1983, ISO 536:1995, ISO 534:1988 ซึ่งประกอบด้วย การทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำ ค่าความต้านแรงดึงขาด ค่าน้ำหนักมาตรฐาน ค่าความหนาและความหนาแน่น และค่า pH ของกระดาษ ตลอดจนศึกษาแหล่งผลิต ปริมาณการผลิตกระดาษ และราคาของกระดาษตามท้องตลาด โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 3.1



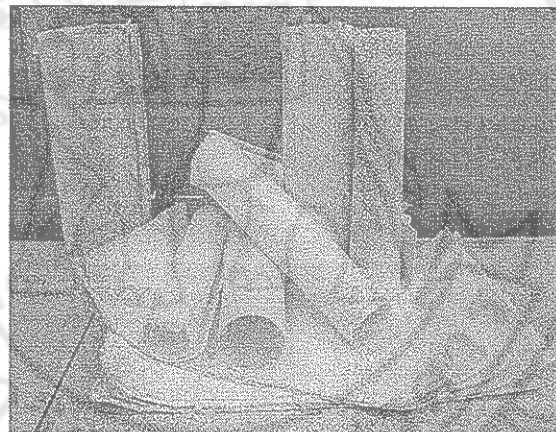
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.1.1 วัสดุกระดาษสา

กระดาษสานำมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ นั้นได้จากการสุ่มตัวอย่างจากแหล่งการผลิตกระดาษสาที่มีขนาดปานกลางไปจนถึงขนาดใหญ่ กระดาษสาที่จะนำมาทดสอบเป็นกระดาษที่เป็นที่ต้องการของตลาดโดยแบ่งเป็นเบอร์ต่าง ๆ โดยได้กระดาษสาจาก 3 แหล่ง คือ

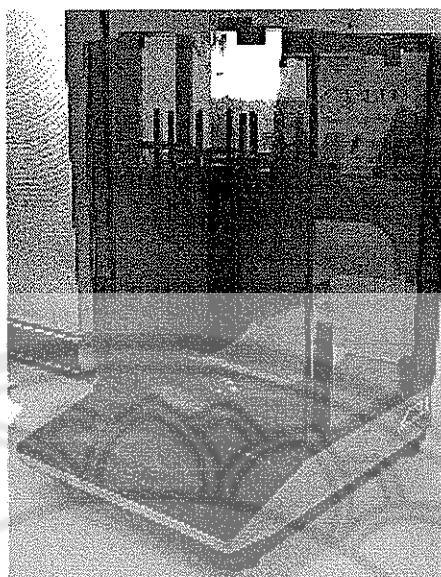
1. กลุ่มกระดาษสาและผลิตภัณฑ์จากกระดาษสา 159 หมู่ 1 บ้านนาเหลืองใน ต.นาเหลือง อ.เวียงสา จ.น่าน โดยแบ่งเป็นเบอร์ดังนี้ เบอร์ 1 (A1), เบอร์ 2 (A2), เบอร์ 3 (A3)
2. กลุ่มแม่บ้านบ้านสระเนียน 126 หมู่ 2 บ้านสระเนียน ต.สระเนียน อ.เมือง จ.น่าน โดยแบ่งเป็นเบอร์ดังนี้ เบอร์ 0 (B0), เบอร์ 1 (B1), เบอร์ 2 (B2)
3. กลุ่มสหกรณ์กระดาษสาบ้านเข็กใหญ่ 689 หมู่ 4 บ้านเข็กใหญ่ ต.บ้านแยง อ.นครไทย จ.พิษณุโลก โดยแบ่งเป็นเบอร์ดังนี้ เบอร์ 1 (C1), เบอร์ 2 (C2)



รูปที่ 3.2 กระดาษสาตัวอย่าง

#### 3.1.2 อุปกรณ์วัดน้ำหนักของกระดาษ

เครื่องชั่งแบบดิจิตอล (เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง รุ่น Ae 2105 พิกัด 210 kg) ที่ใช้ในการชั่งน้ำหนักของกระดาษสาควรเป็นเครื่องชั่งที่มีความละเอียดสูงทางที่ดีควรเป็นเครื่องที่มีฝาครอบปิดทุกด้านเนื่องจากกระดาษสาที่จะนำมาชั่งมีขนาดเล็กมากและต้องการความแม่นยำสูง มีค่าความผิดพลาด 0.01%



รูปที่ 3.3 เครื่องชั่งกระดาษ

### 3.1.3 อุปกรณ์วัดความหนาของกระดาษ

ไมโครมิเตอร์ (รุ่น 17-421 ค่าความถูกต้อง 0.01 mm พิกัด 0-25 mm) ใช้ในการวัดความหนาของกระดาษ

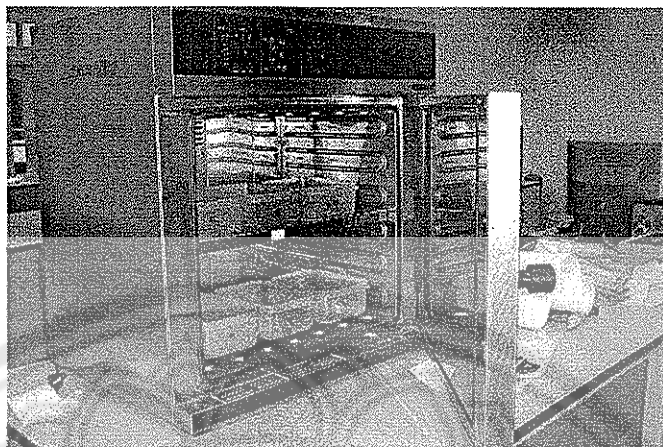


รูปที่ 3.4 เครื่องวัดความหนา

### 3.1.4 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Oven)

ตู้ควบคุมอุณหภูมิใช้ออบกระดาษเพื่อหาค่า pH ของกระดาษที่มีการควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 25-40 °C

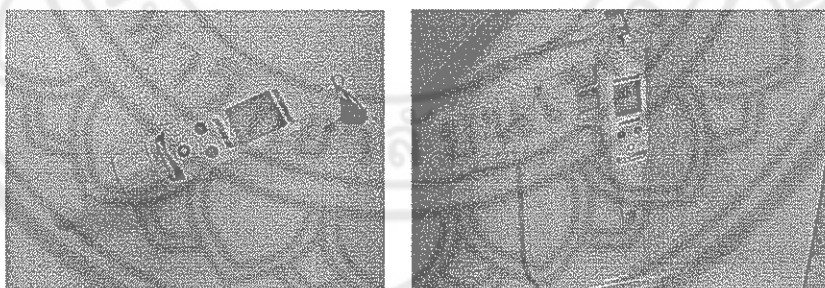




รูปที่ 3.5 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ

### 3.1.5 อุปกรณ์วัดค่า pH

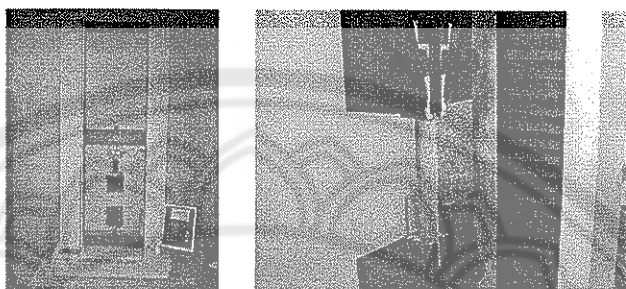
เครื่อง pH meter (รุ่น pH tester 30 ค่าความละเอียด 0.01 ค่าความถูกต้อง 0.01) เป็นเครื่องที่ใช้ในการวัดสภาพความเป็น กรด-เบส ของกระดาษสาในสภาวะที่เปียกน้ำที่มีการควบคุมอุณหภูมิระหว่าง 25-45 °C เครื่อง pH tester ต้องมีการคาลิเบรทค่า ทุก ๆ ครั้งก่อนการทดสอบหรือมีการคาลิเบรททุก ๆ อาทิตย์การวัดค่าต้องจุ่มอิเล็กโทรดลงในน้ำลึกประมาณ 2-3 cm แล้วรอนจนประมาณ 1 นาที หรือรอจนค่าจะนิ่งแล้วจึงอ่านค่า



รูปที่ 3.6 เครื่อง pH meter

### 3.1.6 อุปกรณ์วัดความต้านแรงดึงขาด

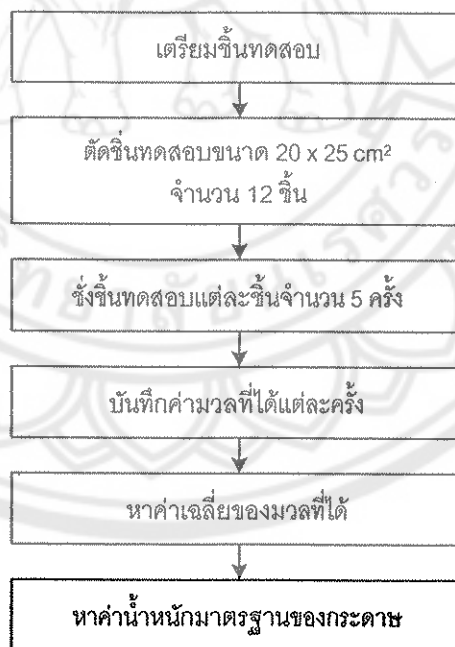
Tensile Tester (HOUNSFIELD รุ่น H50K-S) ใช้ในการวัดค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะแห้งและสภาวะเปียกของกระดาษสาทางที่ดีควรเป็นเครื่องที่มีความละเอียดสูงสามารถวัดค่าความต้านแรงดึงขาดของวัสดุที่มีความต้านแรงดึงน้อยมากได้



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบค่าความต้านแรงดึงขาด

### 3.2 วิธีการทดสอบสมบัติต่าง ๆ

#### 3.2.1 น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษสา (ตามมาตรฐาน ISO 536:1995) ขั้นตอนการทดสอบ



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน

1. ตัดกระดาษสาที่จะใช้ในการทดสอบ

ให้เตรียมและตัดกระดาษในสภาวะความดันบรรยากาศโดยใช้อุปกรณ์การตัด ตัดชิ้นทดสอบจำนวน 12 ชิ้น โดยให้มีพื้นที่อย่างน้อย  $500 \text{ cm}^2$  ( $20 \times 25 \text{ cm}^2$ )

ดังรูปที่ 3.9

2. ซั่งกระดาษสาบนเครื่องซั่งดิจิตอลที่มีความละเอียดสูง

ซั่งชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นจำนวน 5 ครั้ง

3. บันทึกค่า

- ค่ามวลที่ได้
- วันที่ทำการทดสอบ
- จำนวนและขนาดของชิ้นทดสอบ

4. หาค่าเฉลี่ยของมวลที่ได้

จากสมการ (3.1)

$$\bar{m} = \frac{\Sigma m}{n} \quad (3.1)$$

เมื่อ  $\bar{m}$  = มวลเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ (g)

$$\Sigma m = m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n$$

$m$  = มวลของชิ้นทดสอบ (g)

$n$  = จำนวนครั้งในการทดสอบ

2. คำนวณค่าน้ำหนักมาตรฐาน

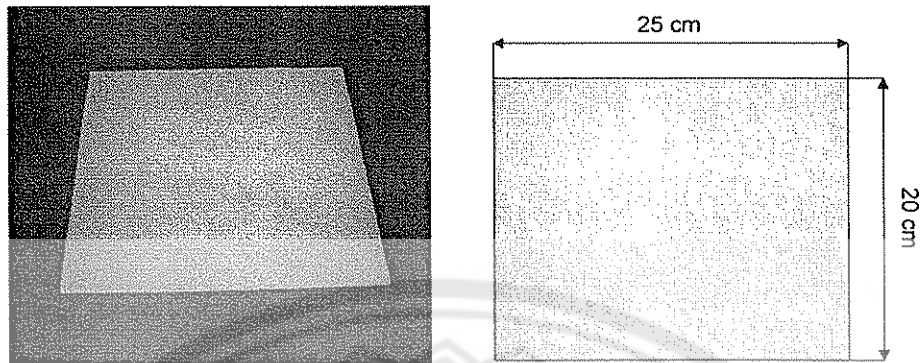
จากสมการ (3.2)

$$g = \frac{\bar{m}}{A} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $g$  = น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษสา ( $\text{g} / \text{m}^2$ )

$\bar{m}$  = มวลเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ (g)

$A$  = พื้นที่เฉลี่ยของชิ้นทดสอบ ( $\text{m}^2$ )

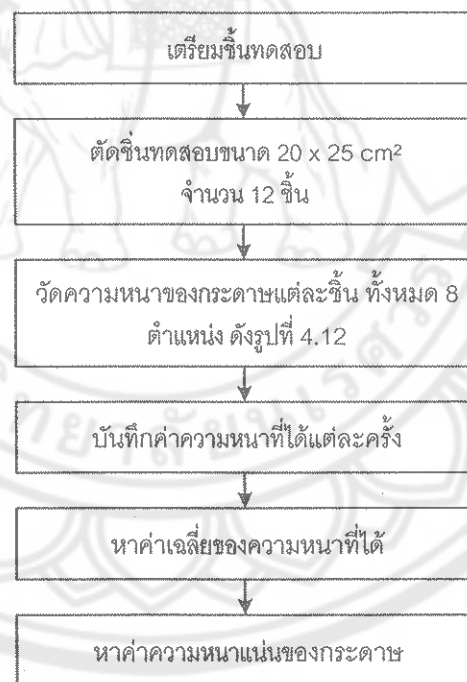


ก. กระดาษตัวอย่าง

ข. ขนาดของกระดาษ

รูปที่ 3.9 กระดาษ

### 3.2.2 ความหนาและความหนาแน่นของกระดาษ (ตามมาตรฐาน ISO 534:1988) ขั้นตอนการทดสอบ



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการทดสอบความหนาและความหนาแน่น

ในการทดสอบครั้งนี้จะใช้วิธีการวัดกระดาษหรือกระดาษแข็งแผ่นเดียวชุดเดียวกับการทดสอบน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ

1. เตรียมชิ้นทดสอบที่ความดันบรรยากาศ หลีกเลียงไม่ให้ชิ้นทดสอบเกิดการพับหรือมีรอยต่างๆ ตัดชิ้นทดสอบให้มีขนาด  $20 \times 25 \text{ cm}^2$  จำนวน 12 ชิ้น (ชิ้นทดสอบชุดเดียวกับการทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน)
2. วัดความหนาของกระดาษโดยใช้ไมโครมิเตอร์ โดยมีการวัดทั้งหมด 8 ตำแหน่งคือ  $t_1, t_2, t_3, \dots, t_8$  ดังรูปที่ 3.12
3. บันทึกค่า

- ค่าความหนาที่ได้ในแต่ละครั้ง
- วันที่ทำการทดสอบ
- จำนวนและขนาดของชิ้นทดสอบ
- จำนวนครั้งในการทดสอบ

4. หาค่าเฉลี่ยของความหนาที่ได้

จากสมการ (3.3)

$$\bar{L} = \frac{\sum x}{n} \quad (3.3)$$

เมื่อ  $\bar{L}$  = ความหนาเฉลี่ย (m)

$$\sum x = x_{t1} + x_{t2} + x_{t3} + \dots + x_{tn}$$

$x$  = ความหนาของกระดาษ (m)

$n$  = จำนวนครั้งในการทดสอบ

5. คำนวณหาค่าความหนาแน่นของกระดาษ

คำนวณหาค่าความหนาแน่นของกระดาษจากค่าน้ำหนักมาตรฐานและความหนาที่วัดได้

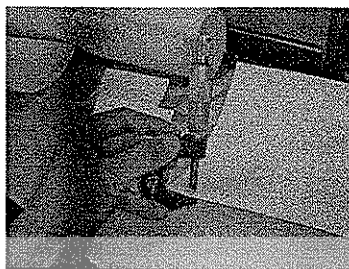
จากสมการ

$$\rho = \frac{g}{L} \quad (3.4)$$

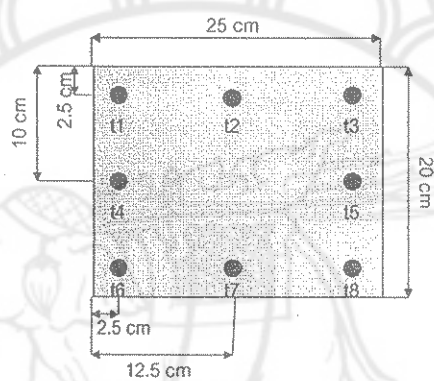
เมื่อ  $\rho$  = ความหนาแน่น ( $\text{g} / \text{m}^3$ )

$g$  = น้ำหนักมาตรฐานของกระดาษ ( $\text{g} / \text{m}^2$ )

$\bar{L}$  = ความหนาเฉลี่ย (m)



รูปที่ 3.11 การวัดความหนา

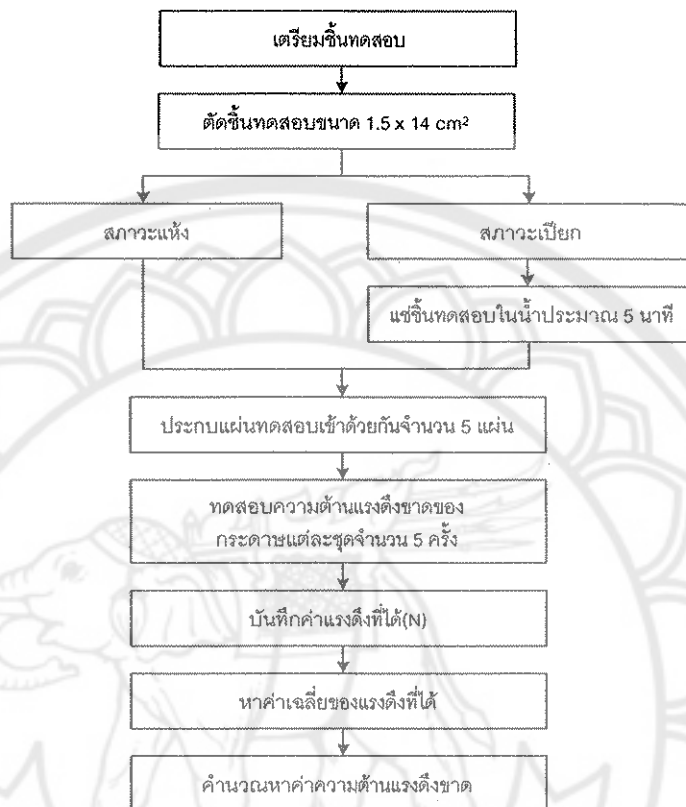


รูป 3.12 ตำแหน่งของการวัดความหนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

### 3.2.3 ค่าความต้านแรงดึงที่สภาวะแห้งและสภาวะเปียกของกระดาษสา (ตามมาตรฐาน ISO 3781:1983)

#### ขั้นตอนการทดสอบ



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการทดสอบความต้านแรงดึงขาด

1. ตัดกระดาษหรือชิ้นทดสอบให้มีขนาด  $1.5 \times 14 \text{ cm}^2$  ดังรูปที่ 3.14
2. แช่ชิ้นทดสอบในน้ำ 5 นาที ( ถ้าทดสอบเมื่อแห้งไม่ต้องนำไปแช่น้ำ )
3. เนื่องจากชิ้นทดสอบมีค่าต้านแรงดึงน้อยมากดังนั้นจึงทดสอบโดยการประกบแผ่นทดสอบจำนวน 5 ชิ้น
4. บันทึกค่า
  - ค่าสเกลที่อ่านได้จากเครื่องวัดค่าต้านทานแรงดึง
  - วันที่ทำการทดสอบ
  - เวลาที่จุ่มหรือแช่น้ำ ( ไม่ควรมากกว่า 1 ชั่วโมง )
  - ความยาวและความกว้างของชิ้นทดสอบ
  - จำนวนของชิ้นทดสอบ

## 5. หาค่าแรงดึงเฉลี่ยของกระดาด

จากสมการ (3.5)

$$\bar{F} = \frac{\sum F}{n} \quad (3.5)$$

เมื่อ  $\bar{F}$  = ค่าแรงดึงเฉลี่ย (kN)

$$\sum F = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n$$

 $F$  = ค่าแรงดึงที่อ่านได้จากสเกล (kN) $n$  = จำนวนครั้งในการทดสอบ

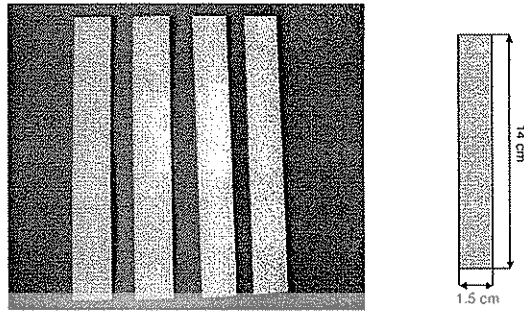
## 6. หาค่าต้านทานแรงดึงโดยเครื่องวัดค่าต้านทานแรงดึง

จากสมการ (3.6)

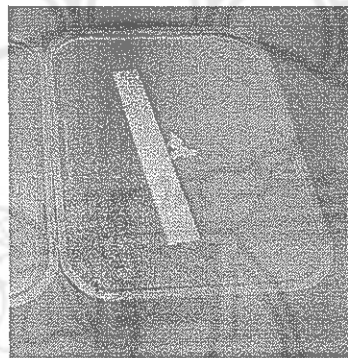
$$S = \frac{\bar{F}}{W} \quad (3.6)$$

เมื่อ  $S$  = ความต้านทานแรงดึง (kN/m) $W$  = ความกว้างของชิ้นทดสอบ (m) $\bar{F}$  = ค่าแรงดึงเฉลี่ย (kN)

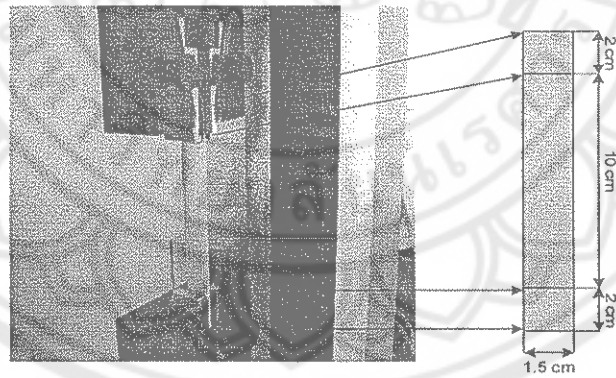




รูปที่ 3.14 ชิ้นทดสอบแรงดึงขนาด

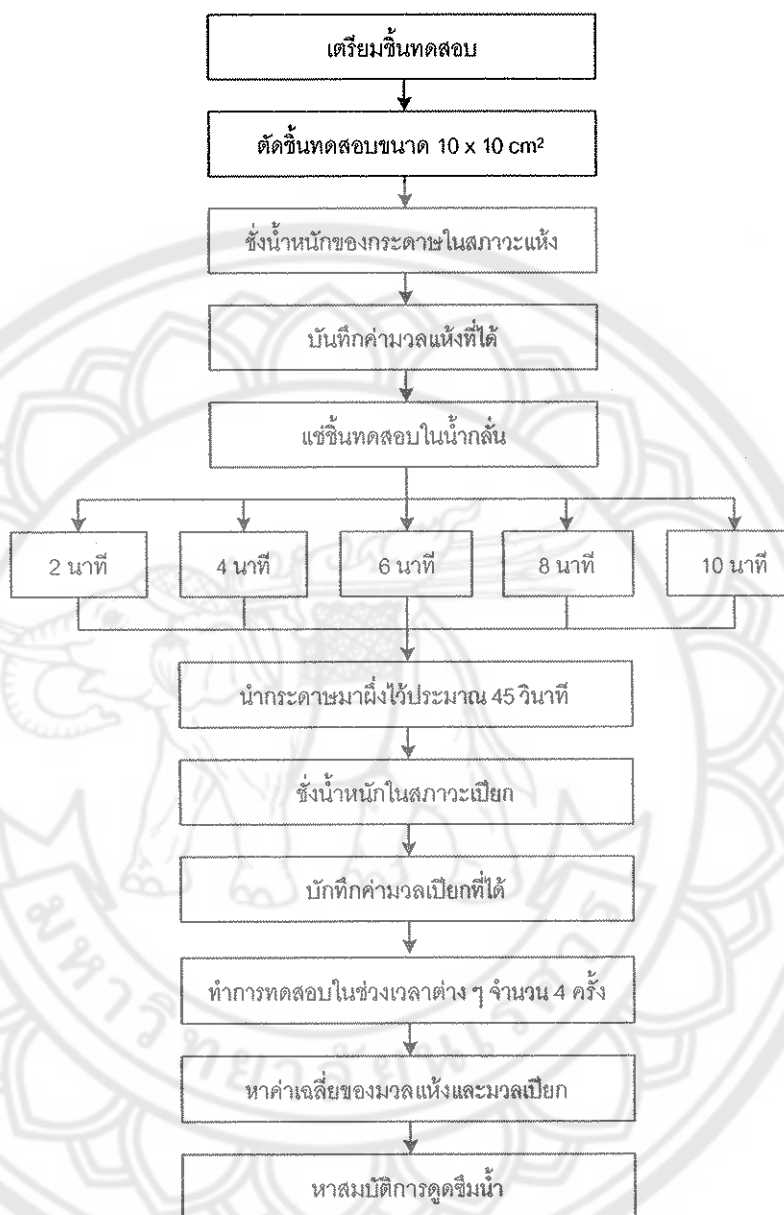


รูปที่ 3.15 การจุ่มชิ้นทดสอบในน้ำกลั่น



รูปที่ 3.16 การติดตั้งชิ้นทดสอบ

### 3.2.4 การดูซึม้ำของกระดาษสาโดยวิธีของคอบบี้ ขั้นตอนการทดสอบ



รูปที่ 3.17 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติการดูดซึม้ำ

1. เตรียมขึ้นทดสอบที่ความดันบรรยากาศ หลีกเลี่ยงไม่ให้ขึ้นทดสอบเกิดการพับหรือมีรอยต่าง ๆ ตัดขึ้นทดสอบให้มีขนาด  $10 \times 10 \text{ cm}^2$
2. ชั่งขึ้นทดสอบขณะแห้งในเครื่องชั่งที่มีความละเอียดสูงแล้วบันทึกค่าที่อ่านได้
3. แช่ขึ้นทดสอบในน้ำกลั่นเป็นเวลา 2 นาที

4. นำชิ้นทดสอบขึ้นจากน้ำแล้วผึ่งไว้ประมาณ 45 วินาที
5. ชั่งชิ้นทดสอบขณะเปียกในเครื่องชั่งอีกครั้ง
6. เปลี่ยนชิ้นทดสอบใหม่แล้วแช่ชิ้นทดสอบในน้ำกลั่นเป็นเวลา 4, 6, 8, 10 นาทีตามลำดับ
7. ทำการทดลองซ้ำ ข้อ 2. ถึง ข้อ 6. ซีก 3 ครั้ง
8. บันทึกค่า

- มวลแห้งและมวลเปียกของกระดาษ
- วันที่และเวลาที่ทำการทดสอบ
- พื้นที่ทดสอบไม่ควรน้อยกว่า  $100 \text{ cm}^2$
- จำนวนชิ้นทดสอบ

9. หาค่าเฉลี่ยของมวลแห้งและมวลเปียกของกระดาษจากสมการ (3.7)

$$\bar{m} = \frac{\sum m}{n} \quad (3.7)$$

เมื่อ  $\bar{m}$  = มวลเฉลี่ย (g)

$$\sum m = m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n$$

$m$  = มวลของชิ้นทดสอบ (g)

$n$  = จำนวนครั้งในการทดสอบ (จำนวนชิ้นทดสอบ)

10. คำนวณค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษ

จากสมการ (4.8)

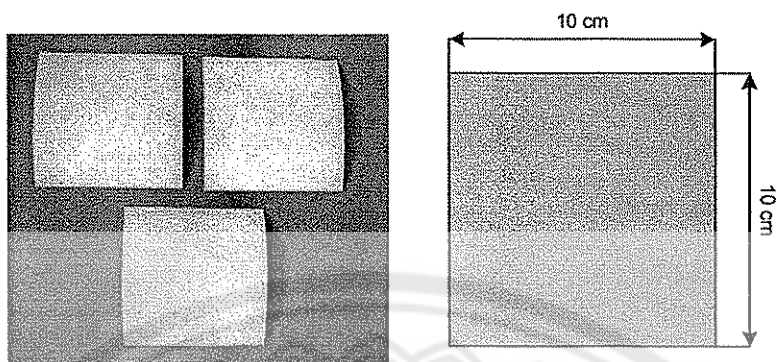
$$A = \frac{(m_2 - m_1)}{F} \quad (3.8)$$

เมื่อ  $A$  = ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษ ( $\text{g/m}^2$ )

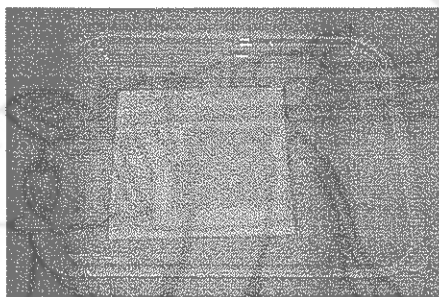
$m_1$  = มวลแห้งเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ (g)

$m_2$  = มวลเปียกเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ (g)

$F$  = พื้นที่ทดสอบ ( $\text{m}^2$ )

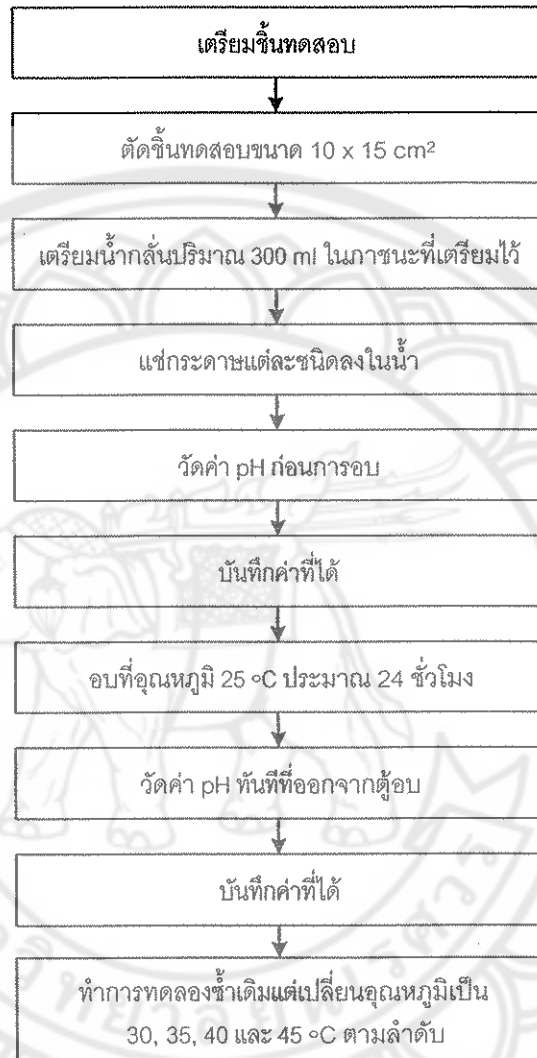


รูปที่ 3.18 ชั้นทดสอบการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 3.19 การแปรชั้นทดสอบในน้ำกลั่น

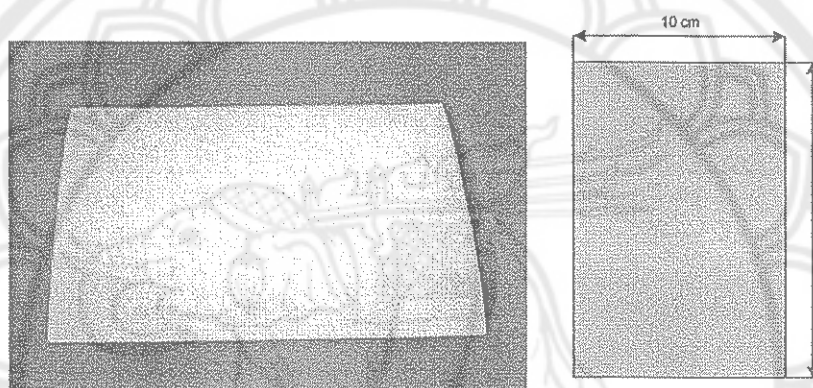
### 3.2.5 ค่า pH ของกระดาษสาที่อุณหภูมิระหว่าง 25 – 45 °C ขั้นตอนการทดสอบ



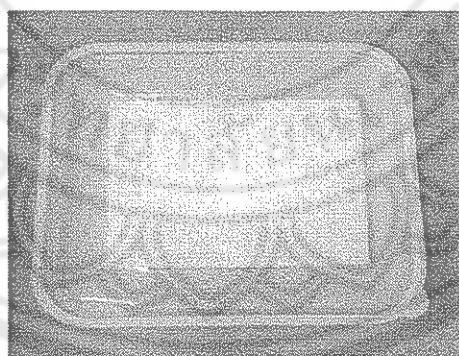
รูปที่ 3.20 ขั้นตอนการทดสอบค่า pH

1. ตัดชิ้นทดสอบขนาด 10 x 15 cm<sup>2</sup> ดังรูปที่ 4.18
2. เตรียมน้ำกลั่นในภาชนะ (ขนาดพอดีกับชิ้นทดสอบหรือใหญ่กว่าเล็กน้อย) โดยมีปริมาณน้ำ 300 ml
3. แช่ชิ้นทดสอบในภาชนะที่เตรียมไว้ ดังรูปที่ 4.19
4. วัดค่า pH ก่อนเข้าตู้อบ

5. นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 25 , 30 , 35 , 40 , 45 °C ตามลำดับ (โดยมีการเปลี่ยนชั้นทดสอบทุกครั้งเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิในการอบ ) อบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
6. วัดค่า pH ทันทีหลังจากเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง
7. บันทึกค่า
  - ค่า pH ที่อ่านค่าได้ก่อนและหลังการอบ
  - วันที่ทำการทดสอบ
  - เวลาที่ใช้ในการอบ
  - ขนาดของชั้นทดสอบ
  - จำนวนของชั้นทดสอบ



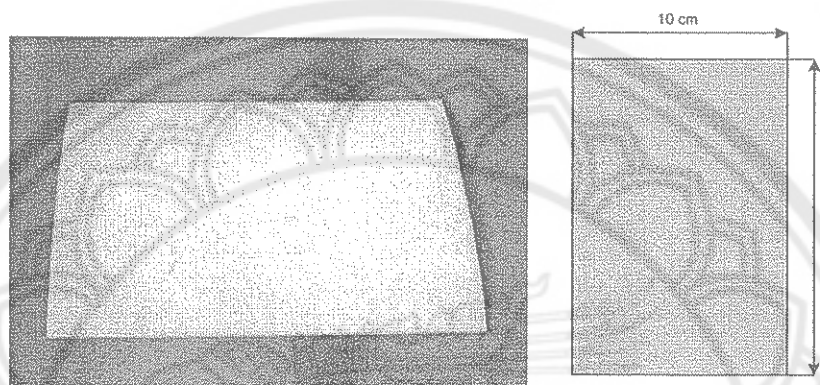
รูปที่ 3.21 ชั้นทดสอบค่า pH



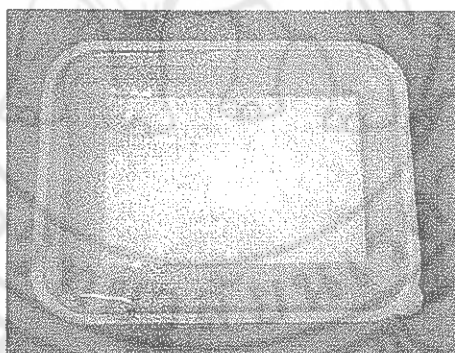
รูปที่ 3.22 การแช่ชั้นทดสอบในน้ำกลั่น

### 7. บันทึกค่า

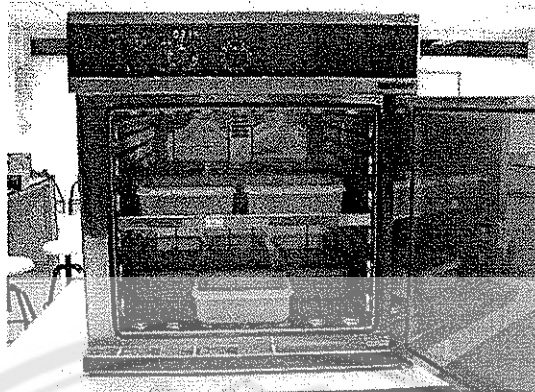
- ค่า pH ที่อ่านค่าได้ก่อนและหลังการอบ
- วันที่ทำการทดสอบ
- เวลาที่ใช้ในการอบ
- ขนาดของชิ้นทดสอบ
- จำนวนของชิ้นทดสอบ



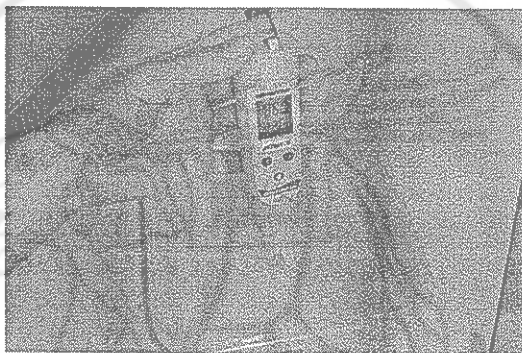
รูปที่ 3.21 ชิ้นทดสอบค่า pH



รูปที่ 3.22 การแช่ชิ้นทดสอบในน้ำกลั่น



รูปที่ 3.23 การอบกระดาศา



รูปที่ 3.24 การวัดค่า pH

### 3.3 การพิจารณาโครงสร้างของกระดาศาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

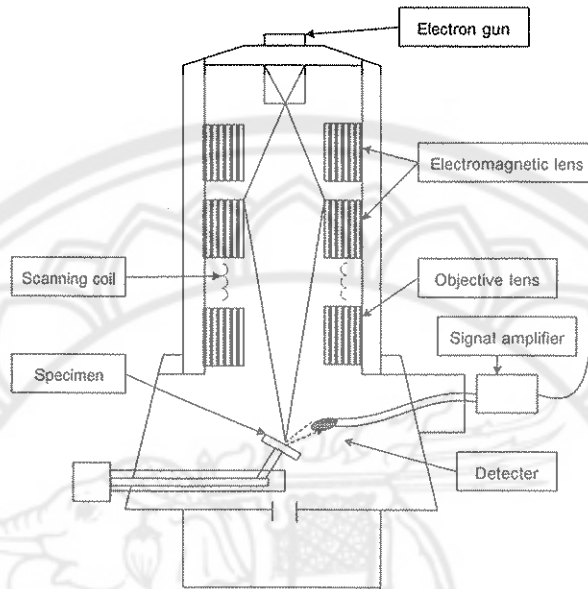
เป็นการดูโครงสร้างของเส้นใยและพื้นผิวของกระดาศาโดยการใช้สัญญาณภาพที่เกิดจากการใช้ตัวตรวจจับอิเล็กตรอนทุติยภูมิ มาจับสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิที่เกิดขึ้น หรือใช้ตัวตรวจจับอิเล็กตรอนกระเจิงกลับมาจับสัญญาณที่เกิดขึ้น

ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง

1. แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron gun)
2. Condenser electromagnetic lens ทำหน้าที่ปรับลำอิเล็กตรอนให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเป็นการเพิ่มความเข้มของลำอิเล็กตรอน
3. Objective lens ทำหน้าที่ปรับลำอิเล็กตรอนให้มีโฟกัสบนผิวตัวอย่างพอดี



4. Scanning generator ทำหน้าที่ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของลำอิเล็กตรอนบนผิวตัวอย่าง
5. Detector ทำหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณอิเล็กตรอนที่ปลดปล่อยออกมาจากผิวตัวอย่าง



รูปที่ 3.25 ส่วนประกอบของเครื่อง SEM

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองของงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วย การศึกษาค่านำหนักมาตรฐานของกระดาศา ค่าความหนาและความหนาแน่น สมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาศา ลักษณะเส้นใยของกระดาศาโดยใช้ SEM ค่าความต้านแรงดึงขาดของกระดาศา และค่า pH เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 25-45 °C

#### 4.1 ศักยภาพและแหล่งการผลิต

ในการทดลองครั้งนี้จะศึกษาแหล่งผลิตกระดาศาเฉพาะในพื้นที่ภาคเหนือเท่านั้นโดยทำการเลือกแหล่งผลิตที่จะศึกษาจากกลุ่มที่มีขนาดปานกลางถึงขนาดใหญ่ แหล่งผลิตที่จะทำการศึกษาคือ

1. กลุ่มกระดาศาและผลิตภัณฑ์จากกระดาศา 159 หมู่ 1 บ้านนาเหลียงใน ต.นาเหลียง อ.เวียงสา จ.น่าน โดยมีความสามารถในการผลิตกระดาศาได้ 20,000 แผ่นต่อเดือน ราคาขายจะขึ้นอยู่กับขนาดของและลวดลายของกระดาศาซึ่งมีราคาตั้งแต่ 5 บาท ถึง 20 บาทต่อแผ่น
2. กลุ่มกระดาศาและผลิตภัณฑ์จากกระดาศา 159 หมู่ 1 บ้านนาเหลียงใน ต.นาเหลียง อ.เวียงสา จ.น่าน มีความสามารถในการผลิตกระดาศาได้ 40,000 แผ่นต่อเดือน ราคาขายจะขึ้นอยู่กับขนาดของและลวดลายของกระดาศาซึ่งมีราคาตั้งแต่ 6 บาทต่อแผ่นขึ้นไป
3. กลุ่มสหกรณ์กระดาศา 689 หมู่ 4 บ้านเข็กใหญ่ ต.บ้านแยง อ.นครไทย จ.พิษณุโลก มีความสามารถในการผลิตกระดาศาได้ 10,000 แผ่นต่อเดือน ราคาขายจะขึ้นอยู่กับขนาดของและลวดลายของกระดาศาเช่นกันซึ่งมีราคาตั้งแต่ 6 บาทต่อแผ่นขึ้นไป

ตารางที่ 4.1 จังหวัดที่มีการผลิตกระดาษสาในเขตภาคเหนือ

จังหวัด	อำเภอ
แม่ฮ่องสอน	เมือง ขุนยวม แม่สะเรียง แม่ลาน้อย ปาย กิ่งอ.สบเมย และกิ่ง อ.ปางมะผ้า
น่าน	เมือง แม่จิม เชียงกลาง ทำวังผา เวียงสา สันติสุข
ลำปาง	วังเหนือ แม่ทะ สบปราบ และแม่เกาะ
เชียงราย	เมือง แม่จัน แม่สาย พญาเม็งราย พาน แม่สรวย
พะเยา	เมือง
ลำพูน	ลี้ และกิ่ง อ.ทุ่งช้าง
แพร่	เมือง เด่นชัย ลอง และวังชิ้น
พิษณุโลก	ชาติตระการ และนครไทย
สุโขทัย	ศรีสำราญ สวรรคโลก ทุ่งเสลี่ยม
เชียงใหม่	แม่ฮาย ฝาง สะเมิง เชียงดาว แม่ริม พร้าว ดอยสะเก็ด สันกำแพง

#### 4.2 ค่าน้ำหนักมาตรฐาน ค่าความหนา และความหนาแน่นของกระดาษสา

การศึกษาค่าน้ำหนักมาตรฐาน ค่าความหนา และความหนาแน่นของกระดาษสา โดยใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 1353 (ISO 536:1995, ISO 534:1988) และ TAPPI ทำการทดสอบการเก็บข้อมูลจากกระดาษสาตัวอย่างแต่ละชนิดจำนวน 12 ชิ้น ในการศึกษาค่าน้ำหนักมาตรฐานขึ้นทดสอบแต่ละชิ้นจะถูกทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อหาค่าน้ำหนักที่แน่นอน ส่วนค่าความหนาของกระดาษนั้นจะใช้กระดาษชุดเดียวกันในการทดสอบน้ำหนักมาตรฐาน โดยการทดลองจะวัดค่าความหนาของกระดาษในตำแหน่งต่าง ๆ ทั้งหมด 8 ตำแหน่ง ดังที่กล่าวไปแล้วในรูปที่ 4.12 โดยใช้ไมโครมิเตอร์ในการวัด แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อความแม่นยำเนื่องจากกระดาษเป็นกระดาษที่ทำด้วยมือ จึงทำให้ผิวหน้าของกระดาษไม่ค่อยสม่ำเสมอ ค่าที่ได้จาก น้ำหนักมาตรฐาน และค่าความหนา นำมาคำนวณหาความหนาแน่นของกระดาษสา ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าน้ำหนักมาตรฐาน ค่าความหนา และความหนาแน่นของกระดาษสา

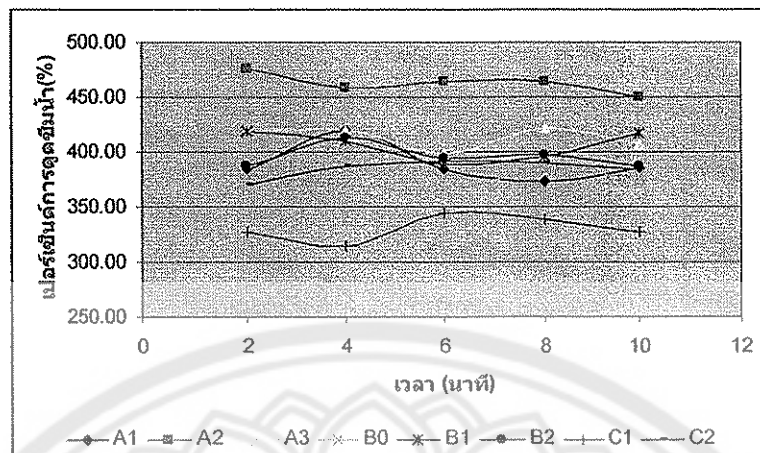
ชนิดของกระดาษ	ความหนาเฉลี่ยของกระดาษ (mm)	น้ำหนักมาตรฐาน (g / m <sup>2</sup> )	ความหนาแน่นของกระดาษ (kg/m <sup>3</sup> )
A1	0.358	117.480	328.16
A2	0.263	84.380	320.84
A3	0.150	51.160	341.07
B0	0.361	127.600	353.46
B1	0.360	125.600	348.89
B2	0.372	124.720	335.27
C1	0.346	132.800	383.82
C2	0.210	75.920	361.52

#### 4.3 สมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาษสา

การศึกษาสมบัติการดูดซึมน้ำของกระดาษสาโดยใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 1353 (ISO 3781:1983) และ TAPPI ทำการทดลองโดยใช้ชิ้นทดสอบจากกระดาษแต่ละชนิดจำนวน 4 ชิ้น เพื่อศึกษาความสามารถในการดูดซึมน้ำของกระดาษแต่ละชนิดที่เวลาต่าง ๆ ทำการเก็บข้อมูลจากมวลแห้งและมวลเปียกของกระดาษแต่ละชนิด ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสาที่เวลาต่าง ๆ

ชนิดของ กระดาษ	ค่าการดูดซึมน้ำที่เวลาต่าง ๆ									
	2 นาที		4 นาที		6 นาที		8 นาที		10 นาที	
	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
A1	5.0	383.2	4.10	420.4	4.3	384.9	4.9	372.8	4.4	386.4
	1	5		3		4		9		3
A2	3.4	475.2	3.54	458.9	3.5	464.0	3.6	464.5	3.2	450.5
	5	1		3		6		0		8
A3	2.9	418.0	3.09	419.8	3.1	399.0	2.8	421.9	3.1	406.4
	6	9		7		0		2		9
B0	5.4	378.0	5.22	370.3	5.1	365.0	5.1	382.7	5.5	377.8
	4	8		4		9		8		4
B1	6.4	418.0	6.30	409.4	5.3	388.4	5.9	396.1	5.9	417.8
	1	2		1		7		5		6
B2	4.9	387.0	5.40	413.3	4.7	393.8	4.9	397.3	4.4	386.6
	2	9		4		8		0		1
C1	4.5	327.5	4.64	314.5	4.8	343.8	4.7	338.4	4.8	326.4
	9	5		5		4		9		0
C2	2.9	369.7	3.10	387.8	3.2	391.9	2.9	390.1	2.9	384.6
	8	2		5		3		5		5



รูปที่ 4.1 การดูดซึมน้ำของกระดาษที่จุ่มน้ำที่เวลาต่าง ๆ กัน

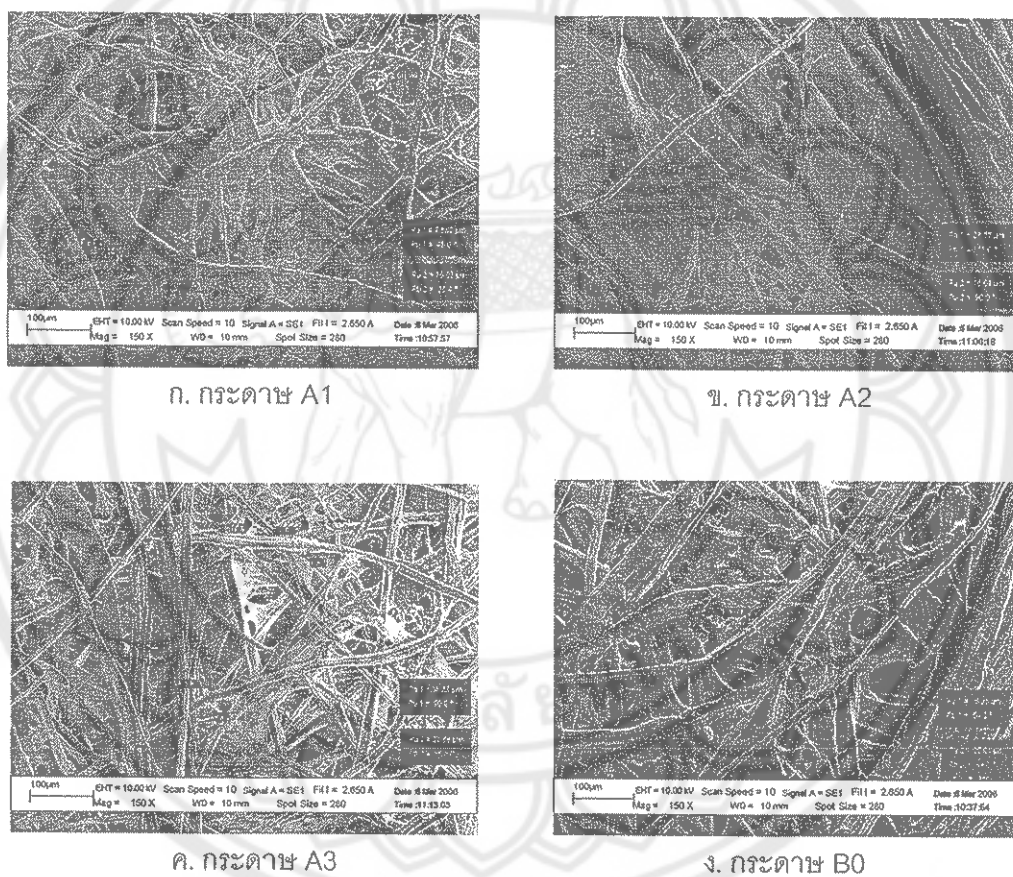
จากรูปที่ 4.1 พบว่าการดูดซึมน้ำของกระดาษมีค่าคงที่ตั้งแต่ นาทีที่ 2 เป็นต้นไปหรือน้อยกว่า นั้น ซึ่งสามารถสรุปค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของกระดาษชนิดต่าง ๆ

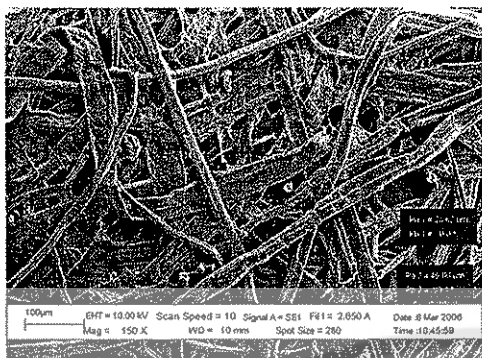
ชนิดกระดาษ	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)
Corrugated rigid cellulose[38]	60%
กระดาษหนังสือพิมพ์ (พิมพ์สีเต็ม 2 ด้าน) [38]	140%
กระดาษหนังสือพิมพ์ (หมึกพิมพ์ปกติ) [38]	150%
A1	389%
A2	462%
A3	413%
B0	374%
B1	405%
B2	395%
C1	330%
C2	384%

จากตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 พบว่ากระดาษที่มีความหนาแน่นน้อยจะสามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่ากระดาษที่มีความหนาแน่นมาก และกระดาษที่มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้มากกว่ากระดาษต้นแบบและกระดาษหนังสือพิมพ์ทั้งสองแบบ ทั้งนี้อาจเนื่องจากกระดาษที่มีความหนาแน่นน้อยกว่ากระดาษต้นแบบและกระดาษหนังสือพิมพ์ ทำให้น้ำสามารถแทรกตัวเข้าสู่รังผึ้งกับอะตอมของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเส้นใยได้มากขึ้น นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่ากระดาษต้นแบบเป็นกระดาษที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติไปบางส่วน จึงทำให้สูญเสียสมบัติการดูดซึมน้ำ

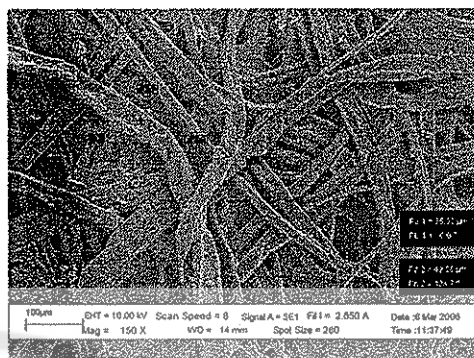
#### 4.4 ลักษณะเส้นใยของกระดาษโดยใช้ SEM



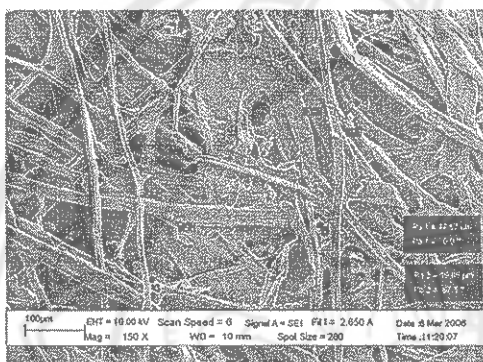
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายจาก SEM ของกระดาษชนิดต่าง ๆ



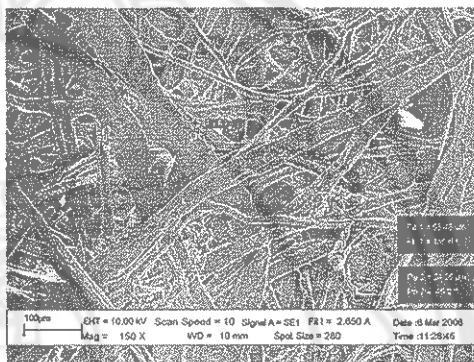
จ. กระดาษ B1



ด. กระดาษ B2

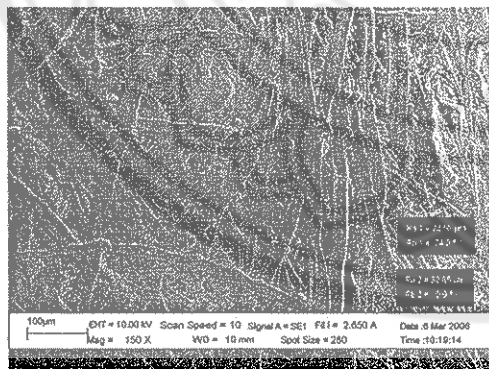


ข. กระดาษ C1

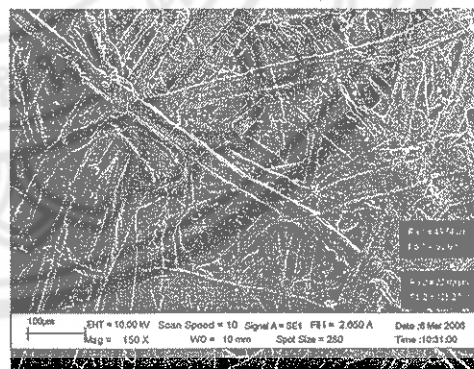


ค. กระดาษ C2

รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายจาก SEM ของกระดาษสาชนิดต่าง ๆ (ต่อ)



ก. กระดาษต้นแบบ 1



ข. กระดาษต้นแบบ 2

รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายจาก SEM ของกระดาษต้นแบบ



จากรูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3 ลักษณะเส้นใยของกระดาษต้นแบบและกระดาษสากระดาษเป็นเส้นใยแบบยาวทั้งคู่ กระดาษต้นแบบทั้งสองได้มีการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพไปบางส่วนแล้วและมีความหนาแน่นของเส้นใยมาก ส่วนกระดาษสายังไม่ได้มีการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพจะเห็นว่าลักษณะการวางตัวของเส้นใยจะไม่ค่อยหนาแน่นมากนัก ด้วยสาเหตุนี้เองอาจจะทำให้กระดาษสาที่มีสมบัติการดูดซึมน้ำได้ดีกว่า กระดาษที่มีขนาดความกว้างของเส้นใยใหญ่กว่าจะมีค่าความต้านแรงดึงขนาดมากกว่า จากลักษณะภาพรวมของเส้นใยแล้วจะเห็นว่าลักษณะของเส้นใยกระดาษสาและกระดาษต้นแบบมีความคล้ายกันมากดังนั้นกระดาษสาเมื่อนำไปปรับปรุงสมบัติทางกายภาพแล้วก็จะสามารถนำมาผลิตเป็น CellPad ได้โดยมีสมบัติที่ใกล้เคียงกับ CellPad ที่ใช้กันในปัจจุบัน

#### 4.5 ค่าความต้านแรงดึงขนาดของกระดาษสา

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบค่าความต้านแรงดึงขนาดของกระดาษสาชนิดต่าง ๆ ในสภาวะแห้งและเปียก

ชนิดของกระดาษ	ค่าความต้านแรงดึงขนาด (kN/m)	
	สภาวะแห้ง	สภาวะเปียก
A1	11.758	0.780
A2	8.693	0.633
A3	7.944	0.422
B0	16.516	0.744
B1	16.811	1.089
B2	12.616	0.767
C1	13.860	0.978
C2	6.789	0.478

จากตารางที่ 4.5 พบว่ากระดาษสาที่สภาวะแห้งจะมีการยึดติดกันระหว่างเส้นใย (Interfiber bonding) ด้วยพันธะไฮโดรเจน ของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเส้นใย หมู่ไฮดรอกซิลจะเป็นตัวดึงดูดน้ำทำให้มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดี ดังนั้นเมื่อกะดาษเปียกน้ำจะเข้ามาแทรกระหว่างพันธะของเส้นใยทำให้เกิดการบวมตัว (Swelling) และเมื่อมีการบวมตัวมากพอที่จะชนะพันธะไฮโดรเจนของเส้นใยจึงแยกออกได้โดยง่ายเมื่อมีแรงมากกระทำ จึงทำให้ความสามารถต้านแรงดึงขนาดของกระดาษลดลง (J. Anthony Bristow & Petter Kolseth, 1986) เป็นผลให้ไม่สามารถวัดค่าความต้านแรงดึง

ขาดแบบแผ่นเดียวได้ ดังนั้นในการทดสอบครั้งนี้จึงทำการทดสอบแบบประกบชั้นทดสอบทีละ 5 ชั้น แล้วทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงขาด

#### 4.6 ค่า pH เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 25-45 °C

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบค่า pH ของกระดาษที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ชนิดของกระดาษ	ค่า pH ของกระดาษสาที่อุณหภูมิ				
	อุณหภูมิ 25 °C	อุณหภูมิ 30 °C	อุณหภูมิ 35 °C	อุณหภูมิ 40 °C	อุณหภูมิ 45 °C
A1	8.44	8.15	8.46	8.51	8.83
A2	8.47	8.10	8.41	8.56	8.63
A3	8.45	8.23	8.58	8.53	8.65
B0	8.42	7.91	8.46	8.35	8.72
B1	8.42	8.04	8.41	8.57	8.66
B2	8.44	8.03	8.35	8.41	8.42
C1	8.33	8.01	8.38	8.53	8.60
C2	8.35	8.30	8.50	8.52	8.63
น้ำเปล่า	8.44	8.31	8.46	8.51	8.59

#### 4.7 การจัดทำมาตรฐานของกระดาษสา

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาและทดสอบมาในข้างต้นนี้สามารถจัดทำมาตรฐานทางฟิสิกส์ของกระดาษสาจากแหล่งผลิตต่าง ๆ เพื่อนำผลที่ได้ไปเป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ CelPad ต่อไป นอกจากนี้ ข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้สามารถส่งกลับไปยังกลุ่มผู้ผลิตกระดาษสาเพื่อจะได้ใช้เป็นมาตรฐานในการผลิตกระดาษที่แน่นอนและเป็นข้อมูลประกอบสินค้าหรือผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจซื้อสินค้าของผู้บริโภคต่อไปได้

ตารางที่ 4.7 มาตรฐานกระดาษ A1

ความหนา (mm)	0.358
น้ำหนักมาตรฐาน ( $g/m^2$ )	117.480
ความหนาแน่น ( $kg/m^3$ )	328.16
การดูดซึมน้ำ (g,(%))	4.56,(389%)
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะแห้ง (kN/m)	11.758
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะเปียก (kN/m)	0.780
ราคา (บาท/แผ่น)	8

ตารางที่ 4.8 มาตรฐานกระดาษ A2

ความหนา (mm)	0.263
น้ำหนักมาตรฐาน ( $g/m^2$ )	84.380
ความหนาแน่น ( $kg/m^3$ )	320.84
การดูดซึมน้ำ (g,(%))	3.50,(462%)
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะแห้ง (kN/m)	8.693
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะเปียก (kN/m)	0.633
ราคา (บาท/แผ่น)	7

ตารางที่ 4.9 มาตรฐานกระดาษ A3

ความหนา (mm)	0.150
น้ำหนักมาตรฐาน ( $g/m^2$ )	51.160
ความหนาแน่น ( $kg/m^3$ )	341.07
การดูดซึมน้ำ (g,(%))	3.04,(413%)
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะแห้ง (kN/m)	7.944
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะเปียก (kN/m)	0.422
ราคา (บาท/แผ่น)	6

ตารางที่ 4.10 มาตรฐานกระดาษ B0

ความหนา (mm)	0.361
น้ำหนักมาตรฐาน ( $g/m^2$ )	127.600
ความหนาแน่น ( $kg/m^3$ )	353.46
การดูดซึมน้ำ (g,(%))	5.31,(374%)
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะแห้ง (kN/m)	16.516
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะเปียก (kN/m)	0.744
ราคา (บาท)	9

ตารางที่ 4.11 มาตรฐานกระดาษ B1

ความหนา (mm)	0.360
น้ำหนักมาตรฐาน ( $g/m^2$ )	125.600
ความหนาแน่น ( $kg/m^3$ )	348.89
การดูดซึมน้ำ (g,(%))	6.00,(405%)
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะแห้ง (kN/m)	16.811
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะเปียก (kN/m)	1.089
ราคา (บาท/แผ่น)	8.5

ตารางที่ 4.12 มาตรฐานกระดาษ B2

ความหนา (mm)	0.372
น้ำหนักมาตรฐาน ( $g/m^2$ )	124.720
ความหนาแน่น ( $kg/m^3$ )	335.27
การดูดซึมน้ำ (g,(%))	4.89,(395%)
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะแห้ง (kN/m)	12.616
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะเปียก (kN/m)	0.767
ราคา (บาท/แผ่น)	7

ตารางที่ 4.13 มาตรฐานกระดาษ C1

ความหนา (mm)	0.346
น้ำหนักมาตรฐาน ( $g / m^2$ )	132.800
ความหนาแน่น ( $kg/m^3$ )	383.82
การดูดซึมน้ำ (g,(%))	4.72,(330%)
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะแห้ง (kN/m)	13.860
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะเปียก (kN/m)	0.978
ราคา (บาท/แผ่น)	9

ตารางที่ 4.14 มาตรฐานกระดาษ C2

ความหนา (mm)	0.210
น้ำหนักมาตรฐาน ( $g / m^2$ )	75.920
ความหนาแน่น ( $kg/m^3$ )	361.52
การดูดซึมน้ำ (g,(%))	3.05,(395%)
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะแห้ง (kN/m)	6.789
ค่าความต้านแรงดึงขาดในสภาวะเปียก (kN/m)	0.478
ราคา (บาท/แผ่น)	8

## สรุปผลและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ปัจจุบันนี้การทำความเข้าใจแบบระเหยได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง ทั้งในงานทางด้านเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม การเลือกชนิดของกระดาษและสมบัติของกระดาษให้มีความเหมาะสมที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความเข้าใจแบบระเหย ฉะนั้นการศึกษาสมบัติของกระดาษก่อนนำมาแปรรูปเป็น CelPad สำหรับระบบทำความเข้าใจแบบระเหยจึงจำเป็นอย่างยิ่งจากการทดสอบสมบัติของกระดาษทั้ง 8 ชนิด พบว่า

1. กระดาษสามีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้มากกว่ากระดาษ Cellulos ต้นแบบ และกระดาษหนังสือพิมพ์
  2. กระดาษ B1 มีค่าความต้านแรงดึงขาดสูงที่สุดทั้งสภาวะแห้ง (16.811 kN/m) และสภาวะเปียก (1.089 kN/m)
  3. กระดาษ A2 มีสมบัติการดูดซึมน้ำมากที่สุด (3.50 g คิดเป็น 462%) รองลงมาเป็น A3 (3.04 g คิดเป็น 413%) และ B1 (6.00 g หรือ 405%) ตามลำดับ
  4. สมบัติความเป็น กรด-เบส ของกระดาษในแต่ละชนิดไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 25-45 °C ซึ่งเป็นอุณหภูมิแวดล้อมโดยทั่วไปของประเทศไทย
  5. ลักษณะเส้นใยของกระดาษสามีความคล้ายคลึงกับกระดาษต้นแบบมาก ดังนั้นจึงสามารถนำกระดาษสามาปรับปรุงสมบัติบางประการแล้วแปรรูปเป็น CelPad ได้
- นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำไปเป็นข้อมูลประกอบการผลิตสินค้ากระดาษสาของแหล่งผลิตนั้น ๆ ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปมาตรฐานของกระดาษสาจากแหล่งต่าง ๆ

ชนิดของ กระดาษ	L (mm)	g (g/m <sup>2</sup> )	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	A (g,(%))	$S_1$ (kN/m)	$S_2$ (kN/m)	ราคา (บาท/ แผ่น)
A1	0.358	117.480	328.16	4.56,(389%)	11.758	0.780	8
A2	0.263	84.380	320.84	3.50,(462%)	8.693	0.633	7
A3	0.150	51.160	341.07	3.04,(413%)	7.944	0.422	6
B0	0.361	127.600	353.46	5.31,(374%)	16.516	0.744	9
B1	0.360	125.600	348.89	6.00,(405%)	16.811	1.089	8.5
B2	0.372	124.720	335.27	4.89,(395%)	12.616	0.767	7
C1	0.346	132.800	383.82	4.72,(330%)	13.860	0.978	9
C2	0.210	75.920	361.52	3.05,(395%)	6.789	0.478	8

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. กระดาษสาเป็นกระดาษที่ทำด้วยมือดังนั้นข้อมูลที่ทดสอบได้สามารถใช้อ้างอิงได้เฉพาะแหล่งผลิตนั้น ๆ ไม่สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานของแหล่งอื่น ๆ ได้ ฉะนั้นถ้าจะนำกระดาษสามาแปรรูปเป็น CelPad ควรมีการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ก่อน
2. กระดาษสาเมื่อมีความชื้นจะทำให้เกิดเชื้อราและไม่สามารถคงรูปอยู่ได้นาน ดังนั้นก่อนแปรรูปเป็น CelPad ควรทำการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพบางอย่างเสียก่อน
3. ในการศึกษาวัสดุที่จะนำมาแปรรูปเป็น CelPad ควรมีการศึกษาวัสดุที่แตกต่างกันหลาย ๆ ชนิด เพื่อจะได้ข้อมูลของวัสดุที่มีความเหมาะสมมากที่สุด
4. เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ต้องเป็นเครื่องมือมีความเหมาะสมกับงานเพื่อจะทำให้ผลที่ได้มีความถูกต้องมากที่สุด





## บรรณานุกรม

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2548). **อุณหภูมิเฉลี่ยรายปี จำแนกตามภาค พ.ศ. 2538 – 2547.**  
กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยา สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ.2548 จาก:  
<http://www.tmd.go.th>
- เชษฐา สุวรรณ. (2538). **การศึกษาอิทธิพลของคลอรีนที่มีต่อค่าความขาวสว่าง และการ  
ต้านทานแรงดึงของกระดาษสาในภาคเหนือ.** เชียงราย: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏเชียงราย
- ธีรยุทธ อัสวเมธิน และ ปาริฉัตร วิเศษจรณา. (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่เผยแพร่). **การศึกษา  
ทดลอง ระบบระบายความร้อนภายในโรงเรือน ด้วยระบบ Evaporative cooling  
system.** (ไม่ปรากฏสถานที่พิมพ์)
- ปัทมรัตน์ ศาสตรสาระ. (2547). **“การพัฒนาแผ่นทำความเย็นแบบระเหยจากกระดาษ  
หนังสือพิมพ์”** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ,
- ปิยธิดา วิไลจิตต์ และ สุชีรา ขยาย. (2542). **การศึกษาโรงเรือนเลี้ยงไก่โดยใช้ระบบทำความ  
เย็นจากการระเหยน้ำ.** เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เล่ม 1 **การทดสอบกระดาษและกระดาษแข็ง.** (2541). **การ  
หาน้ำหนักมาตรฐาน** กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เล่ม 7 **การทดสอบกระดาษและกระดาษแข็ง.** (2541). **วิธีหา  
ความหนาและความหนาแน่นปรากฏของกระดาษ** กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐาน  
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เล่ม 8 **การทดสอบกระดาษและกระดาษแข็ง.** (2541). **วิธีหา  
การดูดซึมน้ำโดยวิธีของคอปป์.** กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐาน  
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เล่ม 16 **การทดสอบกระดาษและกระดาษแข็ง.** (2542). **วิธี  
หาความต้านแรงดึงเมื่อเปียก.** กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
- วารสารโลกพลังงาน( Energy Wolrd Journal). (2544). **ภาวะโลกร้อน** เชียงใหม่:  
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- วิมลไสยสมบัติ และ ชมนาด สวาสต์มิตร. (2000). **งานวิจัยกระดาษสา.** เชียงใหม่: หน่วยวิจัย  
กระดาษ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

จิวัฒน์ ชวนะนิกุล. (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่เผยแพร่). ระบบทำความเย็นด้วยการระเหยของน้ำ  
ในโรงเรือนปิด. กรุงเทพฯ: ภาควิชาสัตวบาล คณะสัตวแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย

วุฒินันท์ คงทัด. (ไม่ปรากฏวันที่ เดือน ปีที่เผยแพร่). คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของกระดาษสาผสม  
ฟางข้าวที่ทำด้วยมือแบบไทยเพื่องานหัตถกรรมและบรรจุภัณฑ์. กรุงเทพฯ: สถาบัน  
ค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เสกสรร พาป้อง. (2544). เทคโนโลยีสะอาดในการผลิตเชื้อและกระดาษจากสา กรุงเทพฯ:  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศ.ดร.สุทัศน์ ยกส้าน. (2005). กระดาษกับการอนุรักษ์. กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอน  
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สืบค้นเมื่อวันที่ 19 ธันวาคม พ.ศ.2548 จาก:  
[http://www.ipst.ac.th/ThaiVersion/publications/in\\_sci/kepaper.pdf](http://www.ipst.ac.th/ThaiVersion/publications/in_sci/kepaper.pdf)

ศิริชัย เทพา. (2540). การศึกษาความเป็นไปได้ในการทำระบบความเย็นแบบระเหยสำหรับ  
โรงเรือนเพาะเห็ด. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ASHRAE Handbook. (1999). Evaporative Cooling Application. USA: American society of  
Heating Refrigeration and Air Conditioning Engineers Inc. pp. 458-490

A.K. Bledzki & J. Gassan. (1999). "Composites reinforced with cellulose base fibres"  
USA: Prog. Polym. Sci.24 pp. 221-274

Brian R. Strobel. (2005). Evaporative Cooling Pads: Use in Lowering Indoor Air  
Temperature. USA: Ohio State University. สืบค้นเมื่อวันที่ 19 พฤศจิกายน  
พ.ศ.2548 จาก: [www.ag.ohio-state.edu/~ohioline/aex-fact/0127.html](http://www.ag.ohio-state.edu/~ohioline/aex-fact/0127.html)

Dowdy J.A. (1986). "Experimental determination of heat and mass transfer coefficients in  
rigid impregnated cellulose evaporative media" USA: ASHRAE  
Transactions.No.3078 pp.382-394

G.I. Keim. (1960). (ไม่ปรากฏชื่อเรื่อง). USA: U.S. PatentNo.2926116 and 2926154

H.P. Wohnsiedler. (1944). (ไม่ปรากฏชื่อเรื่อง). USA: U.S. Patent No.2345543

Hunn B.D. & John L. Peterson. (1996). "Cost-effectiveness of Indirect Evaporative  
Cooling for Commercial Buildings in Texas" USA: ASHREA Transactions.  
Pp.434-447

International Greenhouse Company. (2005). (ไม่ปรากฏชื่อเรื่อง). (ไม่ปรากฏสถานที่พิมพ์)  
สืบค้นวันที่ 10 พฤศจิกายน พ.ศ.2548 จาก:

- [39] J. Anthony Bristow & Petter Kolseth. (1986). "Paper Structure and Properties" Marcel Dekker, Inc., pp183-199
- [15] Koca R.W., et al. (1991). "Evaporative cooling pads; test procedure and evaluation" USA: Applied Engineering in Agriculture. Pp. 458-490
- [31] Ronald G. Macdonald & John N. Franklin. (1969). "Pulp and Paper Manufacture, Control, Secondary Fiber, Structural Board, Coating" 2<sup>nd</sup> edition. McGraw-Hill, pp.528-532
- [21] R. A. Bucklin, et al. (2004). Fan and Pad Greenhouse Evaporative Cooling Systems. USA: University of Florida สืบค้นเมื่อวันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ.2548 จาก:  
<http://edis.ifas.ufl.edu/AE069>
- [10] S. Onmura, et al. (2000). Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens. Japan: Technical Research Institute, Asanuma corporation, 3-24-1 Otsuka-cho, Takatsuki-shi, Osaka.
- [9] S.B. Riffat and Jie Zhu. (2003). Mathematical model of indirect evaporative cooler using porous ceramic and heat pipe. USA: School of the Built Environment, Institute of Building Technology
- [20] Sullerey, R.K. (1989). "Evaporative cooling system with sliding pin transmission" India: Mechanical Engineering Division, Part ME. Pp. 128-131
- [22] Susan Bundavari. (1996). "The Merck Index, An encyclopedia of chemicals, drugs, and biologicals" USA: MERCK & CO., Inc. pp. 10307
- [2] (ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง). (2005). อุณหภูมิของประเทศไทย. กรุงเทพฯ: (ไม่ปรากฏเอกสารที่พิมพ์)  
สืบค้นเมื่อวันที่ 9 พฤศจิกายน พ.ศ. 2548 จาก:  
<http://128.192.110.246/pthomas/hs440.web/lectures/13/lec13.pdf>  
[www.igcusa.com/greenhouse\\_cooling\\_information.htm](http://www.igcusa.com/greenhouse_cooling_information.htm)
- [5] (ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง). (2005). (ไม่ปรากฏชื่อเรื่อง). USA: Munters The Humidity Expert. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน พ.ศ.2548 จาก:  
[www.munters.com/products.nsf/ByKey/OHAA-55GSWH](http://www.munters.com/products.nsf/ByKey/OHAA-55GSWH)
- [19] (ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง). (2005). CELdek and use. South Africa: Air – Dale engineering CO.(PTY)LTD. สืบค้นเมื่อวันที่ 5 พฤศจิกายน พ.ศ.2548 จาก:

[www.coolbreeze.co.za/celdekvs.html](http://www.coolbreeze.co.za/celdekvs.html)

[26] (ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง). (2005). เอกสารคู่มือสินค้า แผ่น cooling pad CELdek ของบริษัท Munters. USA: Munters The Humidity Expert.

[33] (ไม่ปรากฏชื่อผู้แต่ง). (2535). ปอสาและการทำกระดาษสา. กรุงเทพฯ: สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์





ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบทางกายภาพของการดาษา

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ภาคผนวก ก

การทดสอบทางกายภาพของกระดาษสา

ตารางที่ 1 ค่า pH ของกระดาษสาก่อนและหลังการอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ชนิด	ค่า pH									
	อุณหภูมิ 25 C		อุณหภูมิ 30 C		อุณหภูมิ 35 C		อุณหภูมิ 40 C		อุณหภูมิ 45 C	
	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ	ก่อนอบ	หลังอบ
A1	8.28	8.44	7.91	8.15	8.27	8.46	7.91	8.51	7.94	8.83
A2	8.3	8.47	7.93	8.10	8.27	8.41	7.92	8.56	7.93	8.63
A3	8.3	8.45	7.94	8.23	8.27	8.58	7.94	8.53	7.95	8.65
B0	8.29	8.42	7.90	7.91	8.28	8.46	7.91	8.35	7.91	8.72
B1	8.27	8.42	7.93	8.04	8.27	8.41	7.93	8.57	7.95	8.66
B2	8.28	8.44	7.93	8.03	8.28	8.35	7.92	8.41	7.94	8.42
C1	8.18	8.33	7.83	8.01	8.09	8.38	7.85	8.53	7.86	8.60
C2	8.19	8.35	7.84	8.30	8.13	8.50	7.83	8.52	7.89	8.63
น้ำเปล่า	8.22	8.44	7.91	8.31	8.18	8.46	7.93	8.51	7.90	8.59

ตารางที่ 2 ค่าความหนาของกระดาษ A1

แผ่นที่	ตำแหน่งที่								เฉลี่ย
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	
1	0.350	0.340	0.200	0.300	0.400	0.360	0.370	0.330	0.331
2	0.450	0.340	0.360	0.270	0.290	0.370	0.380	0.460	0.365
3	0.420	0.400	0.320	0.360	0.320	0.420	0.430	0.460	0.391
4	0.410	0.400	0.320	0.360	0.320	0.420	0.430	0.460	0.390
5	0.210	0.330	0.400	0.390	0.360	0.370	0.290	0.310	0.333
6	0.440	0.370	0.360	0.220	0.260	0.370	0.470	0.420	0.364
7	0.410	0.360	0.360	0.340	0.320	0.400	0.360	0.310	0.358
8	0.300	0.340	0.440	0.410	0.440	0.400	0.250	0.260	0.355
9	0.340	0.390	0.340	0.310	0.320	0.320	0.270	0.440	0.341
10	0.350	0.320	0.400	0.320	0.400	0.300	0.430	0.450	0.371
11	0.300	0.280	0.330	0.340	0.290	0.340	0.340	0.370	0.324
12	0.430	0.310	0.390	0.410	0.280	0.420	0.360	0.400	0.375

ตารางที่ 3 ค่าความหนาของกระดาษ A2

แผ่นที่	ตำแหน่งที่								เฉลี่ย
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	
1	0.260	0.250	0.300	0.230	0.290	0.300	0.230	0.220	0.260
2	0.290	0.240	0.240	0.240	0.250	0.220	0.240	0.220	0.243
3	0.270	0.280	0.310	0.300	0.300	0.270	0.200	0.260	0.274
4	0.370	0.230	0.300	0.250	0.330	0.390	0.280	0.230	0.298
5	0.200	0.240	0.260	0.260	0.280	0.260	0.240	0.210	0.244
6	0.320	0.340	0.340	0.300	0.330	0.310	0.270	0.260	0.309
7	0.220	0.220	0.220	0.240	0.240	0.260	0.260	0.210	0.234
8	0.280	0.210	0.270	0.270	0.300	0.280	0.190	0.250	0.256
9	0.260	0.240	0.280	0.260	0.240	0.290	0.260	0.260	0.261
10	0.240	0.270	0.270	0.300	0.290	0.300	0.280	0.290	0.280
11	0.260	0.260	0.230	0.230	0.250	0.280	0.270	0.290	0.259
12	0.220	0.250	0.220	0.240	0.260	0.210	0.260	0.260	0.240

0.263

ตารางที่ 4 ค่าความหนาของกระดาษ A3

แผ่นที่	ตำแหน่งที่								เฉลี่ย
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	
1	0.140	0.150	0.170	0.160	0.210	0.160	0.170	0.200	0.170
2	0.150	0.170	0.140	0.150	0.180	0.150	0.160	0.180	0.160
3	0.140	0.120	0.110	0.130	0.140	0.110	0.120	0.130	0.125
4	0.150	0.160	0.130	0.120	0.140	0.150	0.130	0.160	0.143
5	0.110	0.130	0.120	0.130	0.160	0.150	0.140	0.120	0.133
6	0.160	0.140	0.160	0.170	0.140	0.150	0.180	0.170	0.159
7	0.170	0.150	0.140	0.130	0.160	0.120	0.170	0.160	0.150
8	0.130	0.160	0.160	0.190	0.140	0.160	0.140	0.150	0.154
9	0.130	0.120	0.120	0.110	0.100	0.120	0.140	0.120	0.120
10	0.140	0.180	0.170	0.170	0.160	0.140	0.120	0.130	0.151
11	0.150	0.160	0.200	0.160	0.140	0.130	0.210	0.170	0.165
12	0.200	0.170	0.114	0.180	0.170	0.190	0.160	0.180	0.171

0.150

ตารางที่ 5 ค่าความหนาของกระดาษ B0

แผ่น ที่	ตำแหน่งที่								เฉลี่ย
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	
1	0.200	0.380	0.380	0.430	0.390	0.330	0.260	0.380	0.344
2	0.400	0.380	0.340	0.340	0.330	0.430	0.330	0.330	0.360
3	0.310	0.310	0.350	0.350	0.300	0.370	0.280	0.350	0.328
4	0.370	0.390	0.280	0.310	0.270	0.290	0.350	0.370	0.329
5	0.350	0.310	0.270	0.350	0.320	0.330	0.360	0.310	0.325
6	0.290	0.290	0.270	0.350	0.320	0.330	0.360	0.310	0.315
7	0.390	0.360	0.370	0.350	0.370	0.510	0.440	0.350	0.393
8	0.340	0.450	0.420	0.350	0.300	0.390	0.400	0.310	0.370
9	0.390	0.430	0.350	0.320	0.360	0.430	0.740	0.410	0.429
10	0.330	0.380	0.400	0.360	0.390	0.400	0.360	0.410	0.379
11	0.410	0.370	0.320	0.420	0.360	0.360	0.400	0.410	0.381
12	0.320	0.380	0.410	0.360	0.360	0.390	0.460	0.350	0.379

ตารางที่ 6 ค่าความหนาของกระดาษ B1

แผ่น ที่	ตำแหน่งที่								เฉลี่ย
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	
1	0.330	0.310	0.310	0.320	0.340	0.380	0.360	0.470	0.353
2	0.360	0.430	0.360	0.350	0.360	0.420	0.400	0.380	0.383
3	0.370	0.410	0.280	0.350	0.360	0.390	0.340	0.340	0.355
4	0.360	0.340	0.330	0.460	0.400	0.330	0.420	0.400	0.380
5	0.360	0.350	0.320	0.270	0.310	0.300	0.360	0.350	0.328
6	0.370	0.360	0.270	0.330	0.420	0.350	0.370	0.440	0.364
7	0.280	0.450	0.410	0.300	0.370	0.380	0.420	0.300	0.364
8	0.310	0.400	0.390	0.320	0.400	0.310	0.310	0.420	0.358
9	0.380	0.350	0.510	0.350	0.420	0.460	0.350	0.380	0.400
10	0.330	0.330	0.360	0.350	0.300	0.350	0.280	0.330	0.329
11	0.350	0.410	0.300	0.300	0.430	0.360	0.380	0.350	0.360
12	0.350	0.370	0.420	0.310	0.360	0.340	0.360	0.320	0.354



ตารางที่ 7 ค่าความหนาของกระดาษ B2

แผ่น ที่	ตำแหน่งที่								เฉลี่ย
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	
1	0.350	0.320	0.410	0.400	0.430	0.310	0.440	0.420	0.385
2	0.400	0.380	0.440	0.370	0.280	0.200	0.370	0.370	0.351
3	0.400	0.370	0.370	0.350	0.370	0.360	0.300	0.300	0.353
4	0.360	0.350	0.410	0.320	0.370	0.460	0.380	0.460	0.389
5	0.350	0.230	0.240	0.180	0.230	0.240	0.420	0.320	0.276
6	0.320	0.470	0.570	0.490	0.360	0.440	0.390	0.350	0.424
7	0.370	0.530	0.370	0.490	0.360	0.440	0.380	0.350	0.411
8	0.320	0.300	0.330	0.330	0.330	0.210	0.250	0.270	0.293
9	0.290	0.370	0.350	0.410	0.360	0.380	0.300	0.270	0.341
10	0.420	0.410	0.520	0.520	0.420	0.500	0.360	0.420	0.446
11	0.320	0.340	0.360	0.380	0.380	0.340	0.320	0.300	0.343
12	0.410	0.420	0.400	0.500	0.460	0.530	0.500	0.380	0.450

0.372

ตารางที่ 8 ค่าความหนาของกระดาษ C1

แผ่น ที่	ตำแหน่งที่								เฉลี่ย
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	
1	0.330	0.320	0.260	0.310	0.350	0.290	0.360	0.350	0.321
2	0.320	0.310	0.380	0.410	0.400	0.280	0.260	0.250	0.326
3	0.410	0.390	0.420	0.400	0.460	0.380	0.370	0.400	0.404
4	0.370	0.360	0.370	0.440	0.400	0.420	0.430	0.410	0.400
5	0.340	0.420	0.410	0.360	0.430	0.410	0.380	0.350	0.388
6	0.270	0.240	0.350	0.370	0.400	0.360	0.320	0.360	0.334
7	0.360	0.380	0.400	0.480	0.410	0.430	0.420	0.370	0.406
8	0.360	0.420	0.440	0.390	0.330	0.360	0.270	0.470	0.380
9	0.350	0.300	0.310	0.370	0.330	0.280	0.300	0.330	0.321
10	0.300	0.360	0.340	0.340	0.290	0.270	0.290	0.360	0.319
11	0.270	0.300	0.340	0.240	0.240	0.230	0.250	0.230	0.263
12	0.200	0.250	0.270	0.350	0.360	0.330	0.340	0.230	0.291

0.346

ตารางที่ 9 ค่าความหนาของกระดาษ C2

แผ่น ที่	ตำแหน่งที่								เฉลี่ย
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	
1	0.160	0.170	0.140	0.130	0.190	0.270	0.140	0.130	0.166
2	0.210	0.220	0.220	0.200	0.210	0.230	0.220	0.240	0.219
3	0.150	0.210	0.140	0.200	0.190	0.180	0.150	0.210	0.179
4	0.200	0.180	0.220	0.230	0.240	0.210	0.180	0.190	0.206
5	0.120	0.160	0.200	0.200	0.150	0.220	0.150	0.170	0.171
6	0.200	0.260	0.170	0.190	0.200	0.210	0.270	0.260	0.220
7	0.150	0.170	0.510	0.200	0.190	0.150	0.140	0.140	0.206
8	0.250	0.200	0.220	0.180	0.250	0.210	0.220	0.210	0.218
9	0.240	0.170	0.150	0.160	0.130	0.200	0.190	0.140	0.173
10	0.200	0.225	0.220	0.170	0.220	0.240	0.200	0.230	0.213
11	0.210	0.190	0.250	0.190	0.140	0.200	0.160	0.180	0.190
12	0.200	0.190	0.210	0.180	0.200	0.190	0.200	0.160	0.191

0.196

ตารางที่ 10 มวลของกระดาษสา A1

ชั้นที่	ครั้งที่					เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
1	5.660	5.653	5.646	5.648	5.647	5.651
2	6.321	6.327	6.329	6.331	6.334	6.328
3	6.699	6.691	6.691	6.692	6.692	6.693
4	5.962	5.960	5.960	5.961	5.961	5.961
5	5.979	5.979	5.977	5.977	5.977	5.978
6	5.365	5.440	5.440	5.439	5.439	5.425
7	5.997	5.997	5.997	5.996	5.996	5.997
8	5.619	5.619	5.618	5.618	5.618	5.618
9	5.694	5.693	5.693	5.693	5.692	5.693
10	5.521	5.521	5.519	5.518	5.518	5.519
11	5.390	5.390	5.390	5.387	5.387	5.389
12	6.234	6.233	6.233	6.232	6.231	6.233

5.874

ตารางที่ 11 มวลของกระดาษ A2

ชั้นที่	ครั้งที่					เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
1	3.756	3.756	3.756	3.755	3.756	3.756
2	4.253	4.253	4.253	4.253	4.252	4.253
3	4.068	4.068	4.068	4.068	4.067	4.068
4	4.733	4.732	4.729	4.728	4.727	4.730
5	3.976	3.974	3.972	3.971	3.971	3.973
6	4.896	4.893	4.891	4.89	4.89	4.892
7	3.747	3.746	3.746	3.746	3.745	3.746
8	4.1	4.099	4.097	4.097	4.096	4.098
9	3.776	3.775	3.774	3.773	3.773	3.774
10	4.438	4.437	4.436	4.436	4.435	4.436
11	3.942	3.942	3.941	3.939	3.939	3.941
12	4.956	4.956	4.958	4.957	4.958	4.957

4.219

ตารางที่ 12 มวลของกระดาษ A3

ชั้นที่	ครั้งที่					เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
1	2.884	2.883	2.883	2.882	2.882	2.883
2	2.802	2.801	2.801	2.801	2.800	2.801
3	2.571	2.570	2.570	2.570	2.569	2.570
4	2.222	2.221	2.221	2.220	2.221	2.221
5	2.609	2.608	2.607	2.607	2.607	2.608
6	2.233	2.233	2.233	2.234	2.232	2.233
7	2.701	2.701	2.700	2.700	2.700	2.700
8	2.731	2.731	2.730	2.730	2.730	2.730
9	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698	2.698
10	2.575	2.575	2.575	2.575	2.575	2.575
11	2.595	2.594	2.594	2.594	2.595	2.594
12	2.078	2.079	2.079	2.078	2.078	2.078

2.558

ตารางที่ 13 มวลของกระดาษ B0

ชั้นที่	ครั้งที่					เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
1	6.010	6.012	6.013	6.101	6.012	6.030
2	6.180	6.180	6.179	6.177	6.176	6.178
3	5.750	5.780	5.745	5.745	5.746	5.753
4	5.422	5.422	5.454	5.422	5.450	5.434
5	5.462	5.458	5.459	5.455	5.473	5.461
6	5.499	5.497	5.497	5.497	5.497	5.497
7	6.823	6.762	6.838	6.824	6.819	6.813
8	6.800	6.802	6.800	6.810	6.800	6.802
9	7.091	7.069	7.069	7.070	7.068	7.073
10	7.098	7.096	7.098	7.096	7.097	7.097
11	7.340	7.367	7.340	7.340	7.341	7.346
12	7.067	7.071	7.071	7.069	7.070	7.070

6.380

ตารางที่ 14 มวลของกระดาษ B1

ชั้นที่	ครั้งที่					เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
1	6.003	6.002	6.003	6.002	6.002	6.002
2	6.550	6.551	6.549	6.529	6.550	6.546
3	5.692	5.693	5.693	5.694	5.694	5.693
4	6.556	6.554	6.555	6.556	6.553	6.555
5	5.713	5.712	5.678	5.712	5.712	5.705
6	6.117	6.118	6.116	6.115	6.121	6.117
7	6.357	6.357	6.356	6.356	6.354	6.356
8	6.063	6.062	6.061	6.061	6.058	6.061
9	6.639	6.637	6.639	6.639	6.639	6.639
10	6.131	6.131	6.130	6.131	6.131	6.131
11	6.294	6.293	6.293	6.294	6.295	6.294
12	6.031	6.031	6.030	6.030	6.029	6.030

6.177

ตารางที่ 15 มวลของกระดาศา B2

ชั้นที่	ครั้งที่					เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
1	6.688	6.867	6.685	6.688	6.684	6.722
2	5.658	5.656	5.653	5.653	5.652	5.654
3	5.947	5.946	5.946	5.945	5.945	5.946
4	6.688	6.685	6.684	6.686	6.684	6.685
5	4.496	4.496	4.495	4.495	4.494	4.495
6	6.988	6.987	6.988	6.987	6.987	6.987
7	6.948	6.946	6.945	6.944	6.943	6.945
8	5.350	3.349	3.349	3.344	3.348	3.748
9	5.715	5.705	5.714	5.715	5.715	5.713
10	7.882	7.880	7.878	7.879	7.878	7.879
11	5.843	5.842	5.842	5.841	5.841	5.842
12	8.213	8.212	8.211	8.212	8.207	8.211

6.236

ตารางที่ 16 มวลของกระดาศา C1

ชั้นที่	ครั้งที่					เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
1	6.494	6.492	6.492	6.492	6.491	6.492
2	5.426	5.423	5.421	5.420	5.421	5.422
3	8.019	8.016	8.014	8.012	8.009	8.014
4	6.910	6.907	6.900	6.901	6.901	6.904
5	7.473	7.471	7.470	7.468	7.468	7.470
6	5.556	5.555	5.553	5.551	5.558	5.555
7	7.171	7.169	7.168	7.166	7.164	7.168
8	7.505	7.551	7.505	7.505	7.504	7.514
9	6.486	6.753	6.753	6.754	6.754	6.700
10	7.507	7.506	7.307	7.503	7.501	7.465
11	5.113	5.112	5.110	5.119	5.111	5.113
12	5.863	5.863	5.864	5.864	5.865	5.864

6.640

ตารางที่ 17 มวลของกระดาษสา C2

ชนิดที่	ครั้งที่					เฉลี่ย	
	1	2	3	4	5		
1	4.169	4.169	4.168	4.169	4.168	4.169	3.796
2	3.602	3.603	3.603	3.603	3.604	3.603	
3	3.471	3.464	3.463	3.463	3.462	3.465	
4	4.004	3.999	4.001	4.003	4.001	4.002	
5	3.274	3.273	3.273	3.273	3.273	3.273	
6	4.339	4.335	4.336	4.335	4.334	4.336	
7	3.291	3.289	3.287	3.286	2.385	3.108	
8	4.551	4.548	4.547	4.546	4.547	4.548	
9	3.136	3.095	3.094	3.119	3.095	3.108	
10	4.439	4.359	4.435	4.435	4.434	4.420	
11	3.496	3.494	3.492	3.490	3.489	3.492	
12	4.017	4.016	4.017	4.017	4.054	4.024	

ตารางที่ 18 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา A1 เวลาที่จุ่มน้ำ 2 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.0430	5.1452	4.1022	5.0099
2	1.3849	6.3933	5.0084	
3	1.3191	6.4640	5.1449	
4	1.4818	7.2660	5.7842	

ตารางที่ 19 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา A1 เวลาที่จุ่มน้ำ 4 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.9141	4.1700	3.2559	4.1005
2	0.8514	4.7498	3.8984	
3	1.1320	5.9229	4.7909	
4	1.0037	5.4603	4.4566	

ตารางที่ 20 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา A1 เวลาที่จุ่มน้ำ 6 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.1015	5.5725	4.4710	4.3361
2	1.0616	5.5741	4.5125	
3	0.9982	5.0979	4.0997	
4	1.3439	5.6049	4.2610	

ตารางที่ 21 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา A1 เวลาที่จุ่มน้ำ 8 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.3036	6.1212	4.8176	4.9253
2	0.9731	4.8239	3.8508	
3	1.5766	7.4573	5.8807	
4	1.4303	6.5825	5.1522	

ตารางที่ 22 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา A1 เวลาที่จุ่มน้ำ 10 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.9344	4.7355	3.8011	4.4344
2	1.3408	6.4580	5.1172	
3	1.2404	5.8422	4.6018	
4	1.0746	5.2920	4.2174	

ตารางที่ 23 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา A2 เวลาที่จุ่มน้ำ 2 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.8200	4.6962	3.8762	3.4537
2	0.6056	3.2888	2.6832	
3	0.7416	4.4316	3.6900	
4	0.7399	4.3052	3.5653	

ตารางที่ 24 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา A2 เวลาที่จุ่มน้ำ 4 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.7705	4.5112	3.7407	3.5358
2	0.7785	4.3340	3.5555	
3	0.7785	4.3171	3.5386	
4	0.7543	4.0627	3.3084	

ตารางที่ 25 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา A2 เวลาที่จุ่มน้ำ 6 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.7614	4.4159	3.6545	3.5596
2	0.7869	4.4561	3.6692	
3	0.7921	4.3984	3.6063	
4	0.7282	4.0366	3.3084	

ตารางที่ 26 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา A2 เวลาที่จุ่มน้ำ 8 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.3036	6.1212	4.8176	4.9253
2	0.9731	4.8239	3.8508	
3	1.5766	7.4573	5.8807	
4	1.4303	6.5825	5.1522	

ตารางที่ 27 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา A2 เวลาที่จุ่มน้ำ 10 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.7660	4.1357	3.3697	3.2585
2	0.7488	4.2163	3.4675	
3	0.6829	3.7564	3.0735	
4	0.6950	3.8182	3.1232	

ตารางที่ 28 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา A3 เวลาที่จุ่มน้ำ 2 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.7416	3.8859	3.1443	2.9601
2	0.6585	3.2854	2.6269	
3	0.6720	3.4314	2.7594	
4	0.7599	4.0695	3.3096	



ตารางที่ 29 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา A3 เวลาที่จุ่มน้ำ 4 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.7954	3.9834	3.1880	3.0898
2	0.7777	4.0289	3.2512	
3	0.6459	3.5543	2.9084	
4	0.7246	3.7360	3.0114	

ตารางที่ 30 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา A3 เวลาที่จุ่มน้ำ 6 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.7723	3.8310	3.0587	3.1026
2	0.7857	3.9088	3.1231	
3	0.7437	3.7672	3.0235	
4	0.8085	4.0137	3.2052	

ตารางที่ 31 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา A3 เวลาที่จุ่มน้ำ 8 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.6820	3.6899	3.0079	2.8923
2	0.7167	3.7420	3.0253	
3	0.7484	3.7562	3.0078	
4	0.5946	3.1227	2.5281	

ตารางที่ 32 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา A3 เวลาที่จุ่มน้ำ 10 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.8042	4.1069	3.3027	3.1650
2	0.7552	3.9521	3.1969	
3	0.7896	4.0105	3.2209	
4	0.7659	3.7054	2.9395	

ตารางที่ 33 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา B0 เวลาที่จุ่มน้ำ 2 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.4321	6.6199	5.1878	5.4428
2	1.4917	6.9632	5.4715	
3	1.3922	6.4192	5.0270	
4	1.4424	7.5272	6.0848	

ตารางที่ 34 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา B0 เวลาที่จุ่มน้ำ 4 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.4895	7.0431	5.5536	5.2158
2	1.4687	7.1349	5.6662	
3	1.4311	6.5035	5.0724	
4	1.2443	5.8154	4.5711	

ตารางที่ 35 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา B0 เวลาที่จุ่มน้ำ 6 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.2880	5.8694	4.5814	5.1934
2	1.3208	6.0640	4.7432	
3	1.4317	6.8109	5.3792	
4	1.6496	7.7192	6.0696	

ตารางที่ 36 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา B0 เวลาที่จุ่มน้ำ 8 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.3793	6.2714	4.9921	5.1407
2	1.2907	6.7508	5.4601	
3	1.3360	6.7225	5.3865	
4	1.3668	6.0907	4.7239	

ตารางที่ 37 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา B0 เวลาที่จุ่มน้ำ 10 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.4836	7.6269	6.1433	5.5666
2	1.4243	6.4514	5.0271	
3	1.4513	6.7972	5.3459	
4	1.5343	7.2842	5.7499	

ตารางที่ 38 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา B1 เวลาที่จุ่มน้ำ 2 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.4604	7.6458	6.1854	6.4120
2	1.6230	8.2549	6.6319	
3	1.4975	7.9082	6.4107	
4	1.5547	7.9747	6.4200	

ตารางที่ 39 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา B1 เวลาที่จุ่มน้ำ 4 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.4894	7.1771	5.6877	6.2974
2	1.5980	8.1656	6.5676	
3	1.5688	8.3307	6.7619	
4	1.4964	7.6687	6.1723	

ตารางที่ 40 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา B1 เวลาที่จุ่มน้ำ 6 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.2022	5.7100	4.5078	5.3706
2	1.2698	6.2076	4.9378	
3	1.3830	6.4409	5.0579	
4	1.6753	8.6541	6.9788	

ตารางที่ 41 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา B1 เวลาที่จุ่มน้ำ 8 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.4234	7.2888	5.8654	5.9594
2	1.5675	7.7580	6.1905	
3	1.4633	7.1490	5.6857	
4	1.5629	7.6589	6.0960	

ตารางที่ 42 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา B1 เวลาที่จุ่มน้ำ 10 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.4862	7.4427	5.9565	5.9036
2	1.3240	6.8299	5.5059	
3	1.3605	6.9635	5.6030	
4	1.4810	8.0301	6.5491	

ตารางที่ 43 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา B2 เวลาที่จุ่มน้ำ 2 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.1818	5.8274	4.6456	4.9209
2	1.3815	6.6335	5.2520	
3	1.2451	6.0116	4.7665	
4	1.2766	6.2960	5.0194	

ตารางที่ 44 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา B2 เวลาที่จุ่มน้ำ 4 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.3669	6.8858	5.5189	5.4039
2	1.2393	6.2530	5.0137	
3	1.2636	6.5727	5.3091	
4	1.3597	7.1336	5.7739	

ตารางที่ 45 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา B2 เวลาที่จุ่มน้ำ 6 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.1997	5.8198	4.6201	4.7798
2	1.2132	6.0917	4.8785	
3	1.1096	5.9891	4.8795	
4	1.3326	6.0738	4.7412	

ตารางที่ 46 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา B2 เวลาที่จุ่มน้ำ 8 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.1518	5.5774	4.4256	4.9087
2	1.1615	5.4767	4.3152	
3	1.2884	6.8051	5.5167	
4	1.3399	6.7171	5.3772	

ตารางที่ 47 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา B2 เวลาที่จุ่มน้ำ 10 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.2927	6.5333	5.2406	4.4177
2	1.0437	4.9045	3.8608	
3	1.0344	4.9622	3.9278	
4	1.1989	5.8403	4.6414	

ตารางที่ 48 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา C1 เวลาที่จุ่มน้ำ 2 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.2876	5.5890	4.3014	4.5881
2	1.4223	6.2276	4.8053	
3	1.4064	5.6878	4.2814	
4	1.4866	6.4510	4.9644	

ตารางที่ 49 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา C1 เวลาที่จุ่มน้ำ 4 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.2331	5.2423	4.0092	4.6351
2	1.5163	6.6980	5.1817	
3	1.5401	6.1079	4.5678	
4	1.6047	6.3865	4.7818	

ตารางที่ 50 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา C1 เวลาที่จุ่มน้ำ 6 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.1159	5.3988	4.2829	4.8353
2	1.3443	6.0954	4.7511	
3	1.6687	6.8471	5.1784	
4	1.4954	6.6243	5.1289	

ตารางที่ 51 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา C1 เวลาที่จุ่มน้ำ 8 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.3046	5.5667	4.2621	4.7000
2	1.5219	6.2950	4.7731	
3	1.4617	6.5770	5.1153	
4	1.2667	5.9161	4.6494	

ตารางที่ 52 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา C1 เวลาที่จุ่มน้ำ 10 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	1.6282	6.7663	5.1381	4.8499
2	1.4503	6.2156	4.7653	
3	1.2499	5.5819	4.3320	
4	1.6136	6.7776	5.1640	

ตารางที่ 53 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา C2 เวลาที่จุ่มน้ำ 2 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.7836	3.7673	2.9837	2.9815
2	0.7523	3.5758	2.8235	
3	0.7900	3.6004	2.8104	
4	0.8998	4.2081	3.3083	

ตารางที่ 54 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา C2 ที่ใช้เวลา 4 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.8229	3.8762	3.0533	3.0970
2	0.9497	4.6189	3.6692	
3	0.5991	3.2080	2.6089	
4	0.8223	3.8788	3.0565	

ตารางที่ 55 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา C2 เวลาที่จุ่มน้ำ 6 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.8647	4.1179	3.2532	3.2276
2	0.7326	3.8027	3.0701	
3	0.9075	4.4474	3.5399	
4	0.7891	3.8363	3.0472	

ตารางที่ 56 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา C2 เวลาที่จุ่มน้ำ 8 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.7642	3.7120	2.9478	2.9456
2	0.7676	3.8586	3.0910	
3	0.5633	2.8660	2.3027	
4	0.9248	4.3658	3.4410	

ตารางที่ 57 ค่าการดูดซึมน้ำของกระดาษสา C2 เวลาที่จุ่มน้ำ 10 นาที

ตัวอย่างที่	น้ำหนักแห้ง (กรัม)	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม)	เฉลี่ย (กรัม)
1	0.7822	3.9389	3.1567	2.9747
2	0.7445	3.5916	2.8471	
3	0.8251	3.9153	3.0902	
4	0.7419	3.5467	2.8048	

ตารางที่ 58 ค่าความต้านแรงดึงขณะเปียกของกระดาษสา A1

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	10.333	11.666	10.000	11.666	8.333	15.000	13.333	10.000	15.000	11.666	11.700
ระยะขาด (cm)	13.844	13.204	11.800	14.855	16.816	15.199	14.866	15.257	14.338	15.661	14.584
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	0.780										

ตารางที่ 59 ค่าความต้านแรงดึงขณะเปียกของกระดาษสา A2

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	11.666	10.000	8.333	10.000	6.666	6.666	10.000	10.000	11.666	10.000	9.500
ระยะขาด (cm)	16.694	12.907	14.776	10.723	11.731	13.762	14.069	12.019	15.700	12.628	13.501
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	0.633										

ตารางที่ 60 ค่าความต้านแรงดึงขณะเปียกของกระดาษสา A3

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	6.666	5.000	3.333	5.000	8.333	6.666	6.666	8.333	6.666	6.666	6.333
ระยะขาด (cm)	12.251	11.903	14.603	10.875	11.364	12.173	9.461	10.566	9.931	10.125	11.325
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	0.422										

ตารางที่ 61 ค่าความต้านแรงดึงขณะเปียกของกระดาษสา B0

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	11.666	11.666	8.333	10.000	13.333	10.000	13.333	11.666	10.000	11.666	11.166
ระยะขาด (cm)	11.127	11.518	10.453	10.939	11.559	10.696	12.153	11.592	9.461	11.587	11.109
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	0.744										

ตารางที่ 62 ค่าความต้านแรงดึงขณะเปียกของกระดาษสา B1

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	13.333	15.000	16.666	16.666	16.666	16.666	15.000	20.000	15.000	18.333	16.333
ระยะขาด (cm)	9.774	12.474	11.065	14.256	12.957	14.010	11.875	14.567	11.403	12.637	12.502
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	1.089										

ตารางที่ 63 ค่าความต้านแรงดึงขณะเปียกของกระดาษสา B2

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	8.333	11.666	11.666	13.333	8.333	13.333	10.000	15.000	11.666	11.666	11.500
ระยะขาด (cm)	11.980	10.397	9.136	8.470	12.470	11.296	12.404	10.517	9.167	9.375	10.521
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	0.767										

ตารางที่ 64 ค่าความต้านแรงดึงขณะเปียกของกระดาษสา C1

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	13.333	13.333	18.333	18.333	13.333	13.333	15.000	13.333	15.000	13.333	14.666
ระยะขาด (cm)	9.977	12.676	12.285	13.882	8.050	11.900	13.909	10.304	10.304	10.482	11.377
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	0.978										

ตารางที่ 65 ค่าความต้านแรงดึงขณะเปียกของกระดาษสา C2

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	8.333	6.666	6.666	6.666	10.000	6.666	8.333	6.666	6.666	5.000	7.166
ระยะขาด (cm)	11.205	10.558	8.517	9.052	7.561	9.676	11.322	11.220	12.112	9.869	10.109
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	0.478										

ตารางที่ 66 ค่าความต้านแรงดึงขณะแห้งของกระดาษสา A1

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	168.333	160.000	170.000	206.666	168.333	135.000	158.333	221.666	190.000	185.333	176.366
ระยะขาด (cm)	9.408	10.825	7.362	8.647	8.688	10.965	11.196	10.164	10.349	10.356	9.796
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	11.758										



ตารางที่ 67 ค่าความต้านแรงดึงขณะแห้งของกระดาษสา A2

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	150.000	143.333	165.000	153.333	125.000	93.333	98.333	96.666	133.333	145.666	130.400
ระยะขาด (cm)	8.337	9.952	8.184	8.818	7.997	10.692	9.189	10.553	7.649	8.526	8.990
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	8.693										

ตารางที่ 68 ค่าความต้านแรงดึงขณะแห้งของกระดาษสา A3

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	203.333	128.333	120.000	105.000	121.666	98.333	100.000	150.000	85.000	80.000	119.167
ระยะขาด (cm)	8.672	8.655	7.900	6.606	7.166	9.935	11.389	12.231	7.211	9.256	8.902
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	7.944										

ตารางที่ 69 ค่าความต้านแรงดึงขณะแห้งของกระดาษสา B0

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	216.666	248.333	250.000	328.333	270.000	255.000	200.000	236.666	220.000	252.333	247.733
ระยะขาด (cm)	6.302	9.607	8.065	10.540	10.275	9.540	11.104	11.370	10.075	9.254	9.613
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	16.516										

ตารางที่ 70 ค่าความต้านแรงดึงขณะแห้งของกระดาษสา B1

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	231.666	206.666	280.000	165.000	253.333	250.000	286.666	281.666	266.666	300.000	252.166
ระยะขาด (cm)	7.140	7.554	9.327	6.745	8.473	18.666	13.118	17.231	18.716	10.659	11.763
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	16.811										

ตารางที่ 71 ค่าความต้านแรงดึงขณะแห้งของกระดาษสา B2

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	175.000	155.000	158.333	226.666	231.666	220.000	203.333	186.666	170.000	165.666	189.233
ระยะขาด (cm)	8.391	5.730	7.339	6.450	7.583	12.963	11.751	11.651	10.224	9.875	9.196
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	12.616										

ตารางที่ 72 ค่าความต้านแรงดึงขณะแห้งของกระดาษสา C1

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	260.000	233.333	200.000	215.000	206.666	163.333	215.000	200.000	190.000	195.666	207.900
ระยะขาด (cm)	8.658	7.295	7.493	8.323	7.843	10.776	13.925	10.209	15.790	8.254	9.857
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	13.860										

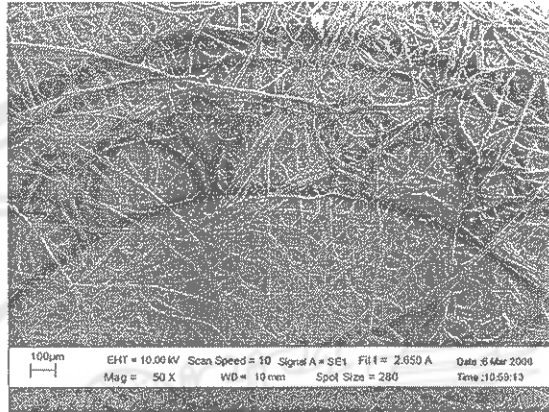
ตารางที่ 73 ค่าความต้านแรงดึงขณะแห้งของกระดาษสา C2

แผ่นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	เฉลี่ย
แรง (N)	108.333	120.000	133.333	98.333	95.000	95.000	81.666	91.666	95.000	100.000	101.833
ระยะขาด (cm)	6.952	6.874	6.658	6.987	6.699	10.941	15.384	10.185	10.300	12.356	9.334
ค่าความต้านแรงดึง (kgN/m)	6.789										

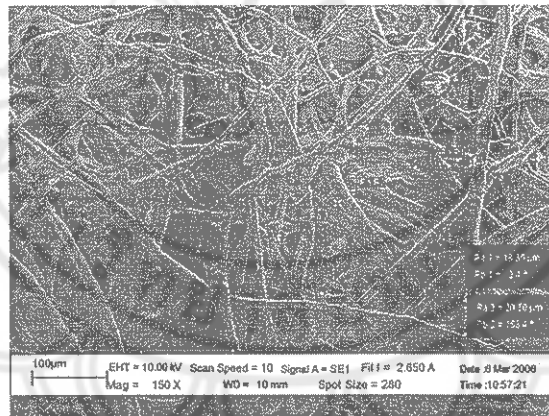


## ภาคผนวก ข

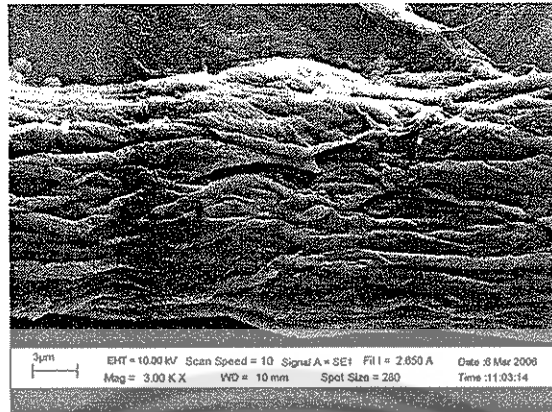
### รูปถ่ายลักษณะเส้นใยจากเครื่อง SEM



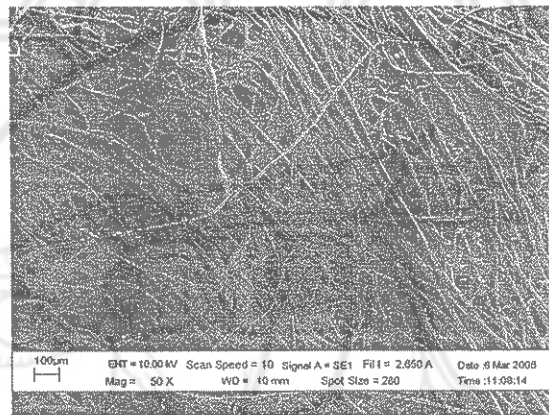
รูปที่ 1 ลักษณะของเส้นใยกระดาษสา A1



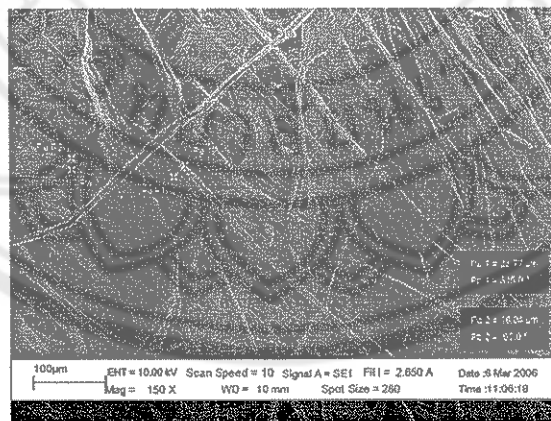
รูปที่ 2 ความกว้างของเส้นใยกระดาษสา A1



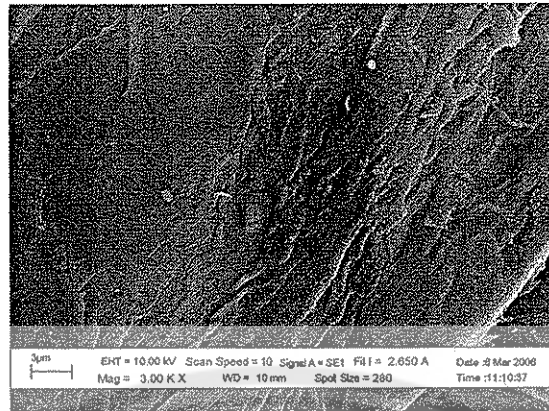
รูปที่ 3 ลักษณะของพื้นผิวกระดาษสา A1



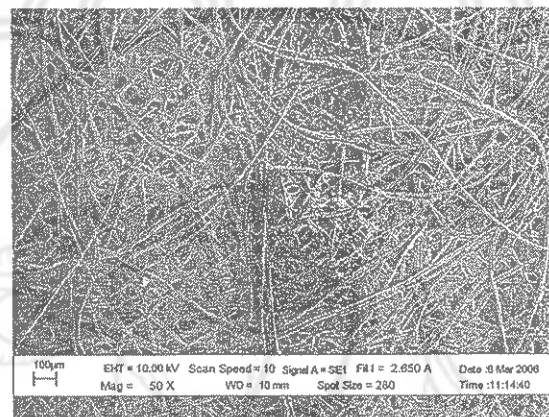
รูปที่ 4 ลักษณะของเส้นใยกระดาษสา A2



รูปที่ 5 ความกว้างของเส้นใยกระดาษสา A2



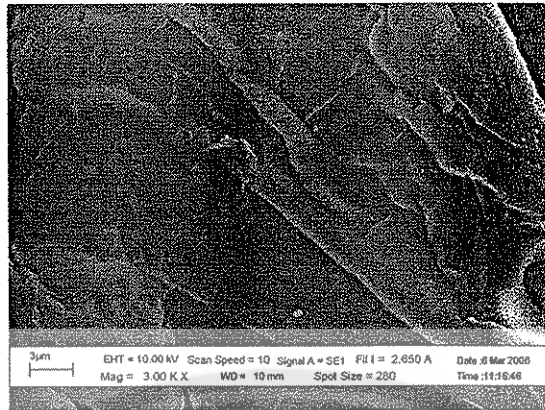
รูปที่ 6 ลักษณะของพื้นผิวกระดาษสา A2



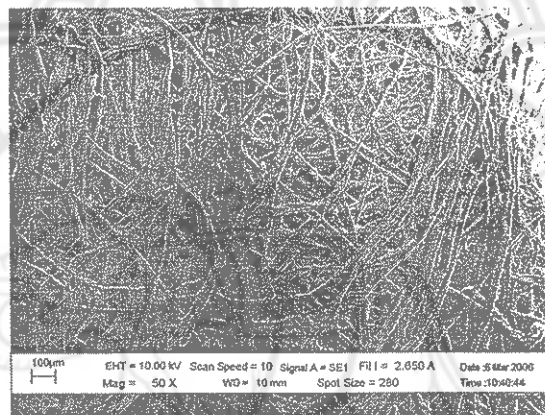
รูปที่ 7 ลักษณะของเส้นใยกระดาษสา A3



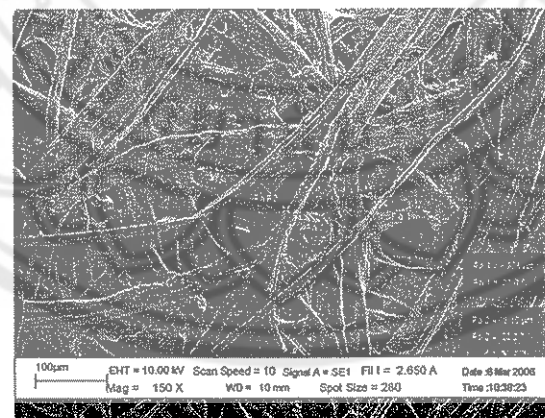
รูปที่ 8 ความกว้างของเส้นใยกระดาษสา A3



รูปที่ 9 ลักษณะของพื้นผิวกระดาษสา A3

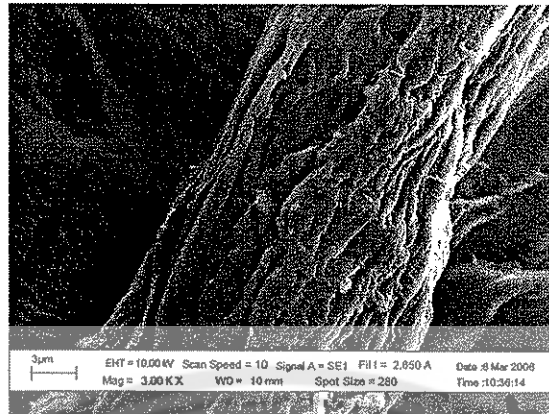


รูปที่ 10 ลักษณะของเส้นใยกระดาษสา B0

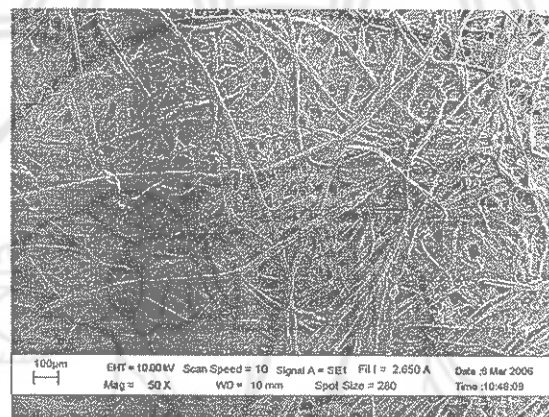


รูปที่ 11 ความกว้างของเส้นใยกระดาษสา B0

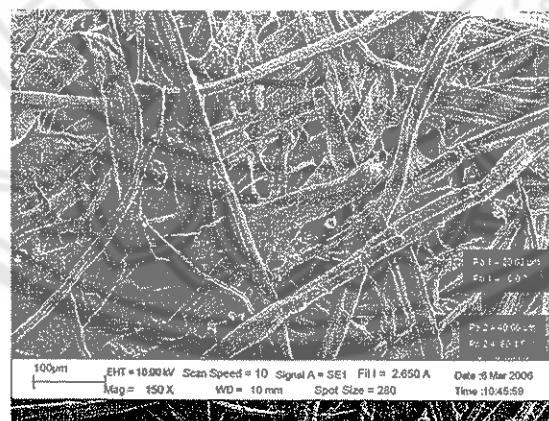




รูปที่ 12 ลักษณะของพื้นผิวกระดาษสา B0

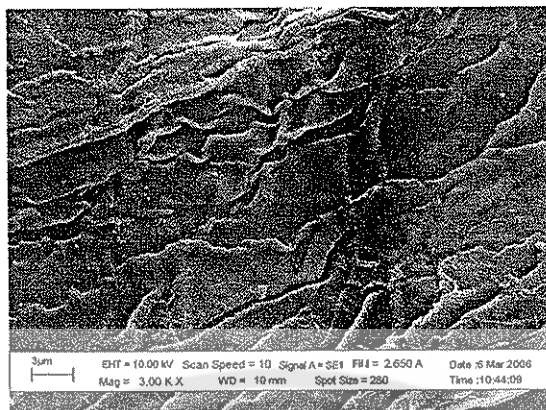


รูปที่ 13 ลักษณะของเส้นใยกระดาษสา B1

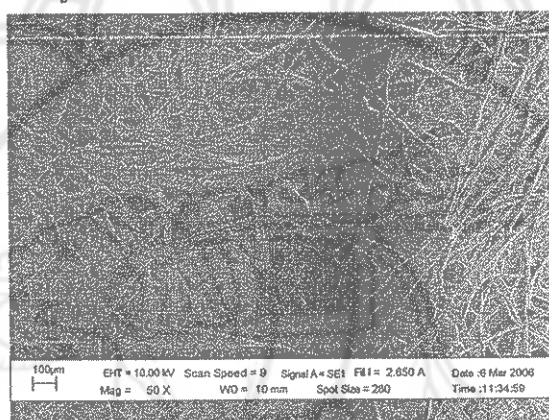


รูปที่ 14 ความกว้างของเส้นใยกระดาษสา B1

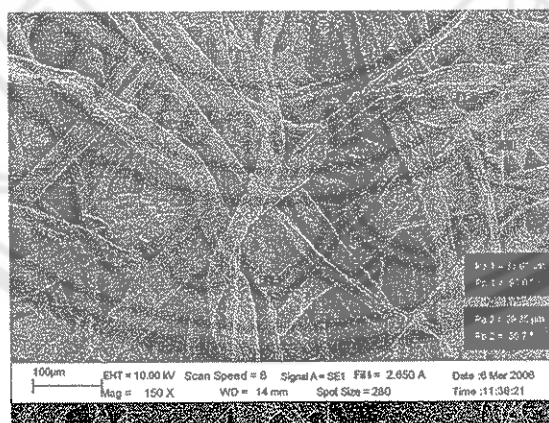




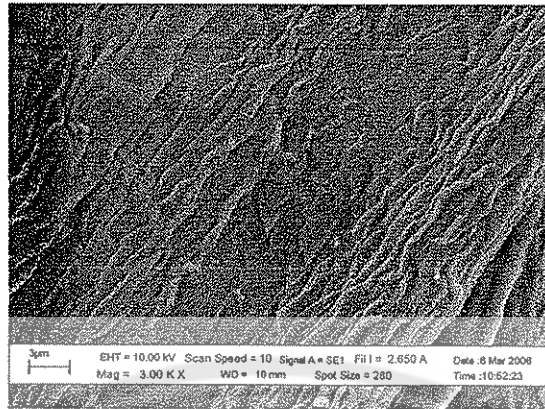
รูปที่ 15 ลักษณะของพื้นผิวกระดาษสา B1



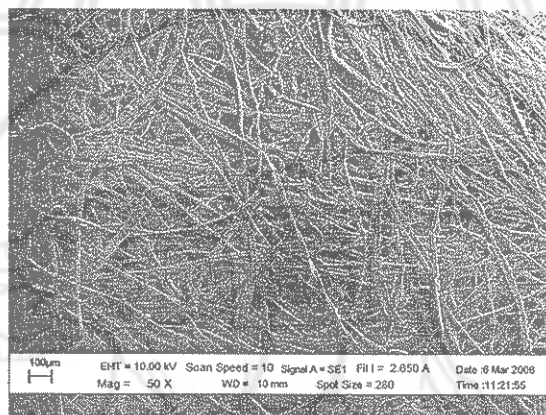
รูปที่ 16 ลักษณะของเส้นใยกระดาษสา B2



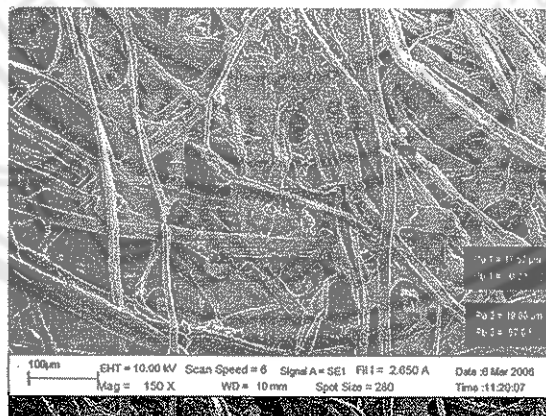
รูปที่ 17 ความกว้างของเส้นใยกระดาษสา B2



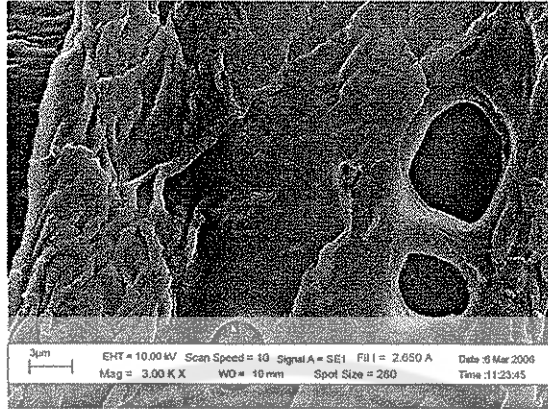
รูปที่ 18 ลักษณะของพื้นผิวกระดาษสา B2



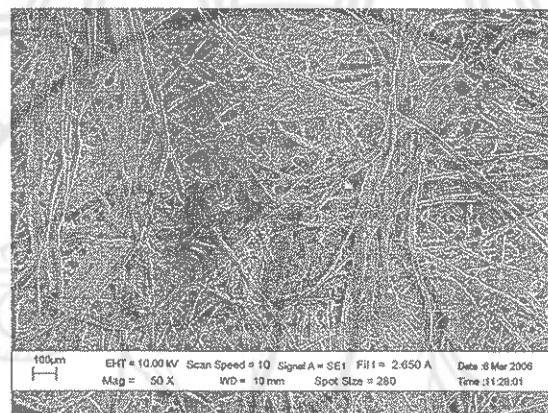
รูปที่ 19 ลักษณะของเส้นใยกระดาษสา C1



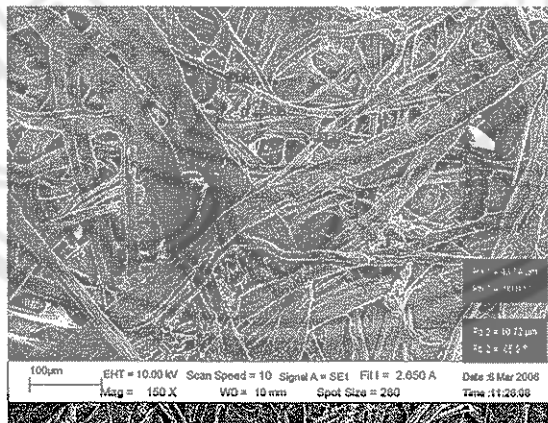
รูปที่ 20 ความกว้างของเส้นใยกระดาษสา C1



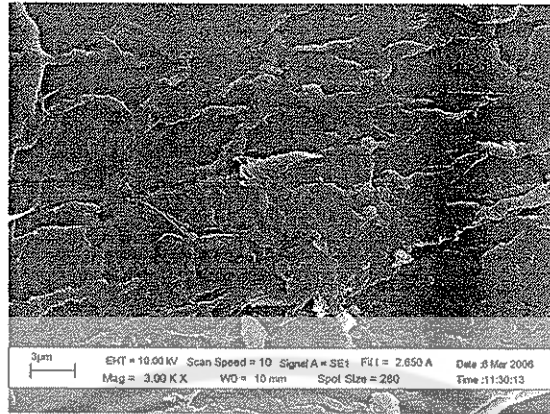
รูปที่ 21 ลักษณะของพื้นผิวกระดาษสา C1



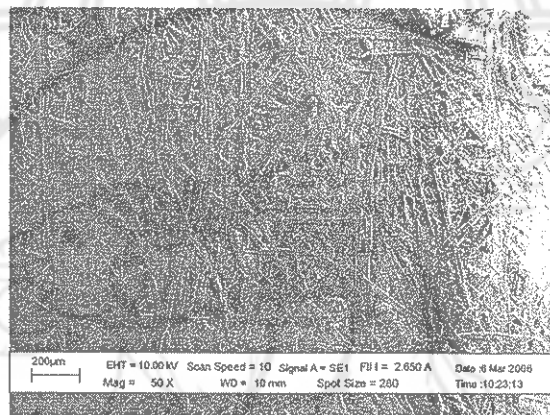
รูปที่ 22 ลักษณะของเส้นใยกระดาษสา C2



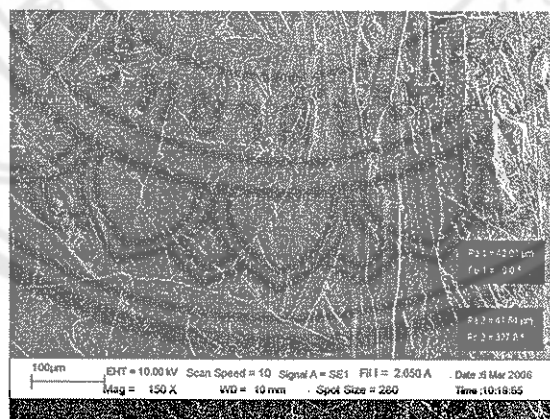
รูปที่ 23 ความกว้างของเส้นใยกระดาษสา C2



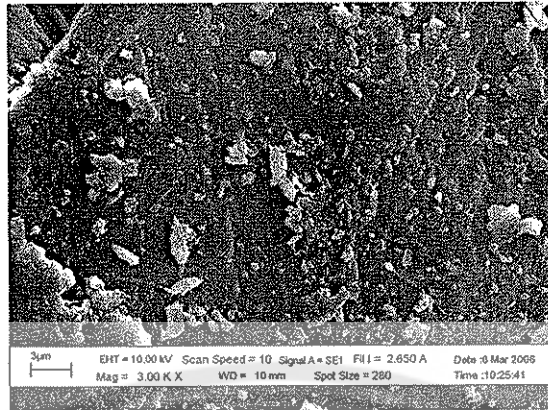
รูปที่ 24 ลักษณะของพื้นผิวกระดาษสา C2



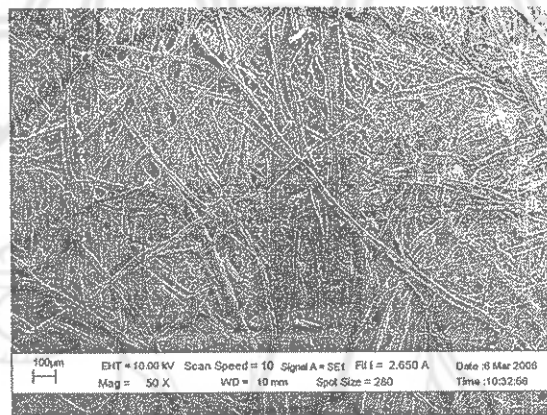
รูปที่ 25 ลักษณะของเส้นใยกระดาษต้นแบบ 1



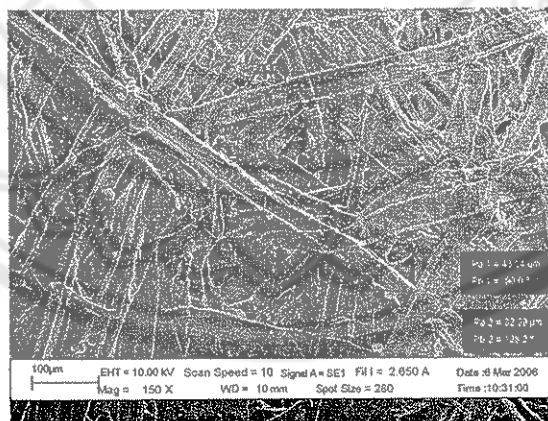
รูปที่ 26 ความกว้างของเส้นใยกระดาษต้นแบบ 1



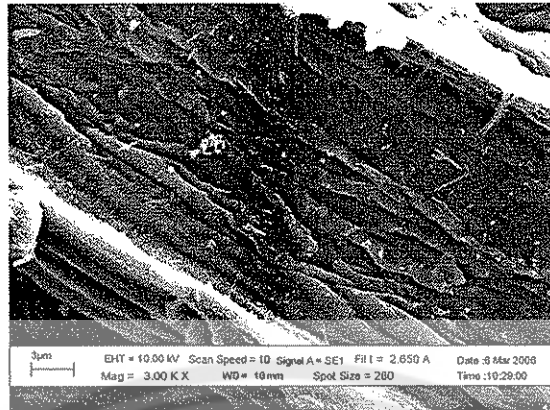
รูปที่ 27 ลักษณะของพื้นผิวกระดาษต้นแบบ 1



รูปที่ 28 ลักษณะของเส้นใยกระดาษต้นแบบ 2



รูปที่ 29 ความกว้างของเส้นใยกระดาษต้นแบบ 2



รูปที่ 30 ลักษณะของพื้นผิวกระดาษต้นแบบ 2

