TA403
B196
2549

354194

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย เรื่อง

กระดาษทำมือจากต้นกล้วย

Handmade Paper from Banana Plant

14 ส.ค. 2552

โดย

นายชยาภาส ทับทอง หัวหน้าโครงการ

กันยายน 2549

สัญญาเลขที่ 011/2549

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย เรื่อง "กระดาษทำมือจากต้นกล้วย"

Handmade Paper from Banana Plant

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. นายชยาภาส ทับทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปี 2549

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตกระดาษทำมือจากต้นกล้วย การทดลองทำโดยแช่กาบกล้วยแห้งในสารละลาย KOH 25% เป็นเวลา 17 ชั่วโมงอัตราส่วนของสารละลาย KOH ความเข้มข้น 25 % ต่อน้ำหนักกาบกล้วยแห้ง เท่ากับ 25 : 1 ก่อนจะทำการต้มที่ 100 ^{0}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และฟอกสีด้วยวิธี CEDED กระดาษจากต้นกล้วยจะถูกทดสอบหาดัชนีความต้านแรงดึง (Tensile Index) ดัชนีดัชนีความต้านแรงดันทะลุ (Burst Index) และดัชนีความต้านแรงฉีกขาด (Tearing Index) พบว่ามีค่าเท่ากับ 64.86 kN.m/kg, 2.76 kPa.m^2/g และ 15.22 mN. m^2/g ตามลำดับ

คำสำคัญ : กระดาษ ต้นกล้วย

ABSTRACT

The objectives of this work to study the production of handmade paper using banana plant as raw material. The experiment was conducted by firstly soaking the dry banana plant in 25% KOH solution for 17 hr. The ratio of 25% KOH : dry banana plant was 25 : 1 wt/wt. then, boiling at the temperature of 100 °C for 3 hr., and finally decoloring by CEDED method. The banana paper was tested to evaluate tensile Index, bursting Index and tearing Index which were 64.86 kN.m/kg, 2.76 kPa.m^2/g and 15.22 mN. m^2/g, respectively.

Keywords : Paper, Banana

ประกาศคุณูปการ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดินมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปี 2549 และผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่อนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
ประกาศคุณูปการ	จ
สารบัญ	ฉ
บัญชีตาราง	ฌ
บัญชีภาพประกอบ	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง	2
1.6 แผนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ประวัติความเป็นมาของกระดาษ	3
2.2 แหล่งที่มาของเส้นใยพืชในการผลิตเยื่อกระดาษ	4
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของไม้	6
2.4 กล้วยน้ำว้า	7
2.5 กระบวนการผลิตกระดาษ	8
2.6 คุณสมบัติของกระดาษ	11
2.7 การใช้สาร KOH ในการต้มเยื่อ	12
2.8 ค่า Kappa No. ต่อการฟอกเยื่อ	13
2.9 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 วัตถุดิบและสารเคมี	16
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาบกล้วยสด 17

3.3.2 การหาสภาวะในการต้มเยื่อสำหรับกาบกล้วย 17

3.3.3 การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาบกล้วยแห้ง 18

3.3.4 การหาสภาวะในการต้มเยื่อสำหรับกาบกล้วยแห้ง 18

3.3.5 การหาค่า Kappa Number 19

3.3.6 การฟอกด้วยวิธีการ CEDED 21

3.3.7 การหาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำต้มเยื่อ 23

3.3.8 การทำแผ่นกระดาษทดสอบ 24

3.3.9 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นกระดาษ 24

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาบกล้วยสด 25

4.2 การหาสภาวะในการต้มเยื่อสำหรับกาบกล้วยสด 25

4.3 การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาบกล้วยแห้ง 27

4.4 การหาสภาวะในการต้มเยื่อสำหรับกาบกล้วยแห้ง 27

4.5 การหาค่า Kappa Number 32

4.6 การฟอกด้วยวิธีการ CEDED 34

4.7 การหาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำต้มเยื่อ 36

4.8 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นกระดาษ 37

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 38

5.2 ข้อเสนอแนะ 38

บรรณานุกรม 39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ 40

ภาคผนวก ข รูปเครื่องมือและอุปกรณ์ 46

ภาคผนวก ค ตารางค่า d ในการหาค่า Kappa Number 57

ประวัติย่อผู้วิจัย 59

บัญชีตาราง

	หน้า
2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อในประเทศไทย	5
2.2 ความต้องการกระดาษและเยื่อกระดาษของประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ. 2536 - 2541	5
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน	7
2.4 สารเคมี สัญลักษณ์ และชื่อขั้นตอนการฟอกกระดาษ	10
4.1 สภาวะในการต้มเยื่อสำหรับกาบกล้วยสด	26
4.2 สภาวะในการต้มเยื่อสำหรับกาบกล้วยแห้ง	28
4.3 ค่า Kappa Number	32
4.4 สมบัติทางกายภาพของกระดาษจากต้นกล้วยเทียบกับกระดาษชนิดอื่น	37
ก.1 ตัวอย่างการหาความชื้นและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของกาบกล้วยสด	41
ก.2 ตัวอย่างการหาความชื้นและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของกาบกล้วยแห้ง	41
ก.3 ค่า Kappa Number	42
ก.4 การหาปริมาณ KOH ที่เหลือในน้ำ	44
ค.1 ค่า d	58

บัญชีภาพประกอบ

	หน้า
2.1 ต้นกล้วยน้ำว้า	8
3.1 ขั้นตอนการหา Kappa Number	21
4.1 การเปรียบเทียบค่า Kappa number และเปอร์เซ็นต์ Yield ของกาบกล้วยแห้ง	33
4.2 เยื่อที่ยังไม่ได้ผ่านการฟอก	34
4.3 เยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยวิธี C	34
4.4 เยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยวิธี CE	35
4.5 เยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยวิธี CED	35
4.6 เยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยวิธี CEDED	36
ข1 ถังต้มแสตนเลสพร้อมฝาปิดสนิท	47
ข2 ตะแกรงล้างเยื่อ	47
ข3 ตะแกรงขึ้นแผ่น	48
ข4 อ่างช้อนเยื่อ	48
ข5 เครื่องตีเยื่อ	49
ข6 เครื่องขึ้นแผ่นทดสอบ	50
ข7 ลูกกลิ้งรีดแผ่นทดสอบ	51
ข8 เครื่องอบแผ่นทดสอบ(DRYER)	51
ข9 เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิในห้องทดสอบ	52
ข10 ลักษณะของแผ่นทดสอบ	52
ข11 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงขาด (Schopper Type Paper Tensile Strength Tester)	53
ข12 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด (Elmendorf Type Tearing Strength Tester)	53
ข13 เครื่องทดสอบความขาวสว่างและทึบแสง(Photo volt Type Reflectometer)	54
ข14 แสดงเครื่องวัดความหนา (Shopper Type Thickness Gauge)	55
ข15 เครื่องวัดการต้านทานแรงดันทะลุ(Mullein Type Bursting Strength Tester)	56

คำอธิบายสัญลักษณ์ คำย่อและคำศัพท์

สัญลักษณ์, คำย่อ	ความหมาย
C	การฟอกขั้นคลอริเนชัน (Chlorination stage)
E	การฟอกขั้นแอกแทรกชัน (Extraction stage)
H	การฟอกขั้นไฮโปคลอไรท์ (Hypo chlorine stage)
D	การฟอกขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine dioxide stage)
P	การฟอกขั้นเปอร์ออกไซด์ (Peroxide stage)
O	การฟอกขั้นออกซิเจน (Oxygen stage)
Z	การฟอกขั้นโอโซน (Ozone stage)
A	การฟอกขั้นกรด (Acid stage)
b	ปริมาณ titrant ที่ใช้ในการทำ blank
c	ปริมาณ titrant ที่ใช้ในการไทเทรตสารตัวอย่าง
m	น้ำหนักเยื่อแห้งที่ใช้ในการหาค่า Kappa Number
BN	Banana

คำศัพท์	ความหมาย
stock preparation	การเตรียมน้ำเยื่อ
consistency	การควบคุมความข้นของน้ำเยื่อ
yield	ปริมาณเยื่อที่เหลือ
Tensile	แรงดึง
Tearing	แรงฉีก
Kappa Number	ตัวเลขบอกปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณสารคลอรีนที่จะใช้ฟอก

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

กล้วยจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศ มีพื้นที่ปลูกมากเป็นอันดับ 1 ในพืชจำพวกไม้ผล และมีการปลูกกระจายตัวทั่วทั้งประเทศ เนื่องจากปลูกและดูแลง่าย ให้ผลผลิตเร็ว จากการประมาณการ พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วยในปี 2545 ประมาณ 668,422 ไร่ แบ่งเป็นกล้วยน้ำว้า 518,578 ไร่ กล้วยไข่ 44,088 ไร่ และกล้วยหอม 105,756 ไร่ ผลผลิตที่ได้เกษตรกรจะขายเป็นผลไม้สดโดยตรง หรือรวมกลุ่มกันเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปจากกล้วย เป็นสินค้า OTOP เช่น กล้วยตากของกลุ่มแม่บ้านทางพระ จ.อ่างทอง และกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรไทยน้อย จ. พระนครศรีอยุธยา กล้วยอบของกลุ่มสตรีศรีวิเชียร จ.พระนครศรีอยุธยา และกลุ่มอาชีพสตรี จ. ปทุมธานี กล้วยฉาบของกลุ่มแม่บ้านพัฒนาอาชีพก้าวหน้า กลุ่มแม่บ้านเจ็ดสาวน้อย จ.สระบุรี กล้วยกวนของกลุ่มแม่บ้านบางกร่าง อ.เมือง จ.นนทบุรี และข้าวเกรียบกล้วย ต.ลำไทร อ.ลำลูกกา จ.ปทุมธานี เป็นต้น โดยหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตเกษตรกรมักจะโค่นต้นกล้วยทิ้งโดยไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่าต้นกล้วยเป็นพืชที่มีความเหมาะสมในการผลิตกระดาษ เนื่องจากมีเส้นใยที่เหนียวและยาว มีการปลูกทั่วไปทั้งประเทศ ราคาถูก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการนำต้นกล้วยเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ โดยหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษเพื่อให้ได้กระดาษทำมือจากต้นกล้วยที่มีคุณภาพ เป็นทางเลือกใหม่สำหรับผลิตภัณฑ์กระดาษทำมือสามารถนำมาประยุกต์ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ ของที่ระลึกต่างๆ เช่น กรอบรูป โคมไฟ ปกสมุด เป็นต้น และนอกจากนี้ยังช่วยให้เกษตรกรและกลุ่มแม่บ้านมีรายได้เพิ่มขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาการนำต้นกล้วยเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษทำมือ โดยหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษ

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อ
   1.1 ผลของความเข้มข้นของ KOH ที่ใช้ในการต้มเยื่อ
   1.2 ผลของระยะเวลาในการต้มเยื่อ

2. ศึกษาการฟอกสีโดยวิธี CEDED
3. ศึกษาผลผลิตเยื่อที่ได้ และค่า Kappa Number
4. ทดสอบกระดาษจากต้นกล้วยทางด้านกายภาพ
   4.1 ดัชนีความต้านแรงดึง (Tensile Index)
   4.2 ดัชนีดัชนีความต้านแรงดันทะลุ (Burst Index)
   4.3 ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด (Tearing Index)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้กระดาษทำมือจากต้นกล้วยที่มีคุณภาพ เป็นทางเลือกใหม่สำหรับผลิตภัณฑ์กระดาษทำมือ
2. เกษตรกรผู้ปลูกกล้วยและกลุ่มแม่บ้านมีรายได้เพิ่มขึ้นจากการผลิตกระดาษขาย

1.5 ระยะเวลาที่ทำการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย 1 ปี นับจากวันที่รับทุนวิจัย โดยทำการทดลองที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์

1.6 แผนการดำเนินงาน

รวมระยะเวลาในการทำงาน 1 ปี

ลำดับที่	กิจกรรม	เดือน					
		1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
1	ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อ						
2	ศึกษาการฟอกสีโดยวิธี CEDED						
3	ขึ้นรูปแผ่นกระดาษและทดสอบทางด้านกายภาพ						
4	เขียนรายงานฉบับสมบูรณ์						

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติความเป็นมาของกระดาษ

กระดาษได้ถูกนำมาใช้งานมาเป็นเวลานานแล้วตั้งแต่ก่อนคริสตกาล ชาวอียิปต์ได้บันทึกเรื่องรางแผ่นวัสดุทำจากพืชที่เรียกว่า papyrus ลักษณะเนื้อเยื่อที่ใช้เขียนเป็นเยื่อบาง ๆ ของกกชนิดหนึ่ง ในปี ค.ศ.105 ชาวจีนชื่อ Ts Ailun เป็นบุคคลแรกที่ค้นพบวิธีทำกระดาษ โดยนำเปลือกต้น mulberry ทำเป็นชิ้นเล็ก ๆ มาผสมกับเศษผ้านำไปบดหรือตีในน้ำจนกระจายตัวเป็นเส้นใย แล้วนำตะแกรงซึ่งทำด้วยไม้ไผ่ไปช้อนเส้นใยที่แขวนลอยนำไปผึ่งแดดให้แห้ง ซึ่งจะได้แผ่นกระดาษ สมัยก่อนมีความต้องการใช้กระดาษน้อย แต่เพิ่มขึ้นเมื่อ Johann Gutenberg นักประดิษฐ์ชาวเยอรมันประดิษฐ์เครื่องพิมพ์ได้สำเร็จ ทำให้การพิมพ์สะดวก รวดเร็ว ความต้องการใช้กระดาษสูงขึ้น มีการค้นคว้าวิธีการผลิตเยื่อกระดาษทั้งขบวนการผลิตแบบเชิงกล (mechanical process) และแบบเคมี (chemical process) ขึ้นมา ต่อมาความเจริญทางด้านประดิษฐกรรมนี้ได้แพร่หลายมาเป็นเยื่อกระดาษที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้

กระดาษ (paper) หมายถึง แผ่นวัสดุบางซึ่งทำจากเส้นใย (fiber) ผสมกับสารเติมแต่ง (additive) ต่าง ๆ ตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป ซึ่งสารเติมแต่งนี้อาจเติมก่อนการขึ้นแผ่น (sheet format) หรือหลังการขึ้นแผ่นแล้วก็ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติกระดาษที่ต้องการ กระดาษที่ผลิตทั่วไปจะมีขนาดน้ำหนักมาตรฐานตั้งแต่ระดับสูงกว่า 35 – 225 กรัมต่อตารางเมตร กระดาษที่ผลิตระดับสูงกว่า 225 กรัมต่อตารางเมตรขึ้นไปจะถือว่าเป็นกระดาษแข็ง

สำหรับประเทศไทย สันนิษฐานว่ากระดาษนำเข้ามาครั้งแรกโดยชาวโปรตุเกส คำว่ากระดาษเป็นคำที่เพี้ยนมาจากภาษาโปรตุเกสว่า Cartas ซึ่งแปลว่า กระดาษ การทำกระดาษของไทยไม่มีหลักฐานแน่นอนว่าเริ่มมาตั้งแต่สมัยใด แต่ก็มีหลักฐานพบว่าไทยมีกระดาษใช้แล้วตั้งแต่สมัยอยุธยา คือ พงศาวดาร ฉบับหลวงประเสริฐ ซึ่งเป็นหนังสือเก่าแก่ที่สุดเป็นกระดาษข่อย สีดำตัวอักษรสีขาว ขณะนี้เก็บรักษาไว้ที่พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติ จึงนับว่า กระดาษข่อยเป็นกระดาษชนิดแรกที่คนไทยผลิตใช้เอง การผลิตกระดาษได้มีการพัฒนามาตามลำดับ มีการเปลี่ยนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต เช่น ใบลาน ต้นปอสา เป็นต้น

ในส่วนของอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษไทย เกิดขึ้นครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2466 ส่วนการผลิตเยื่อกระดาษเริ่มผลิตเมื่อปี 2478 โดยทำการผลิตจากเยื่อไม้ไผ่ และมีการพัฒนากระบวนการผลิตตลอดจนการเปลี่ยนแปลงวัตถุดิบเรื่อยมาจนถึงทุกวันนี้

2.2 แหล่งที่มาของเส้นใยพืชในการผลิตเยื่อกระดาษ

เส้นใยที่ใช้ในการผลิตกระดาษอาจเป็นเส้นใยสัตว์ เส้นใยพืช เส้นใยแร่ หรือเส้นใยสังเคราะห์ก็ได้ อย่างไรก็ตามเส้นใยพืชจัดเป็นวัตถุดิบสำคัญที่สุดในการทำเยื่อกระดาษ (paper pulp) พืชเกือบทุกชนิดสามารถนำมาทำเป็นเยื่อกระดาษได้ ซึ่งสามารถจำแนกตามแหล่งที่มาออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ พืชยืนต้น (wood) และพืชล้มลุก (non–wood)

2.2.1 พืชยืนต้น แหล่งเส้นใยแบ่งตามขนาดความยาวของเส้นใยได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ไม้เนื้ออ่อน (soft wood) เป็นพืชยืนต้นพวกไม้ผลัดใบ (coniferous) โดยทั่วไปมีใบเป็นรูปเข็ม เช่น พวกต้นสนสปรูซ (spruce) ไพน์ (pine) และเฟอ (fir) ในประเทศไทยมีเพียง 2 ชนิด คือ สนสองใบ และสนสามใบ เส้นใยที่ได้จากไม้เนื้ออ่อนจะมีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3 มิลลิเมตร เยื่อที่ผลิตได้จากไม้เนื้ออ่อนเป็นเยื่อใยยาว และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร " N " (needle) นำหน้า เช่น NBKP (needle bleach kraft pulp) เพื่อระบุว่าเป็นเยื่อใยยาว

2. ไม้เนื้อแข็ง (hard wood) เป็นพืชยืนต้นพวกไม้ผลัดใบ (deciduous) ซึ่งโดยทั่วไปมีใบกว้าง เช่น ยูคาลิปตัส (eucalyptus) เบิร์ช (birch) และใบไม้กว้างต่าง ๆ ในประเทศไทยยกเว้นไม้บางชนิดในเขตอบอุ่น เช่น สนทะเล เยื่อที่ได้จากไม้เนื้อแข็งเป็นเยื่อใยสั้น มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 1 – 2 มิลลิเมตร และการเรียกชื่อทางการค้ามักมีอักษร " L " (leaved) นำหน้า เช่น LBKP (leaved bleached kraft pulp) เพื่อบ่งชี้ว่าเป็นเยื่อจากไม้เนื้อแข็ง

2.2.2 ไม้ non–wood แหล่งเส้นใยจากพืชล้มลุก สามารถแยกย่อยได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. ส่วนที่เหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย
2. พืชที่ปลูกขึ้นหรือเกิดขึ้นเอง เช่น ต้นไผ่ ต้นหญ้าขจรจบ ผักตบชวา
3. เส้นใยจากพืชผลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกันมีดังนี้
   - จากเปลือกและต้น เช่น ปอสา กล้วย เป็นต้น
   - จากใบ เช่น สับปะรด

ตารางที่ 2.1 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเยื่อในประเทศไทย

ประเภทของวัตถุดิบ	ผู้ผลิต	ราคา , บาท/ตัน	ปริมาณ , ตัน/ปี
ไม้ยูคาลิปตัส Eucalyptus	Phoenix Pulp & Paper Advance Agro Panjapol Siam Cellulose	765 - 820	5,000,000 (+252,000)
ชานอ้อย Bagasse	Siam Pulp & Paper (Thai Pulp & Paper)	200 300 - 400	45,500 (+100,000)
ไม้ไผ่ Bamboo	Phoenix Pulp & Paper	810 - 925	40,000
ปอ Kenaf	Phoenix Pulp & Paper	1,550	
ฟางข้าว Rice straw	Bang - Pa - In	1,000	not in production
ปอสา Paper mulberry	โรงทำกระดาษด้วยมือ โรงงานผลิตกระดาษสา	22,000	4,700

ตารางที่ 2.2 ความต้องการกระดาษและเยื่อกระดาษของประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ. 2536-2541

	2536	2537	2538	2539	2540	2541
เยื่อกระดาษ (ตัน)						
- ความต้องการ	415	466	523	586	659	740
- กำลังผลิต	209	284	309	509	509	509
กระดาษ (ตัน)						
- ความต้องการ	1,699	1,876	2,104	2,361	2,649	2,970
- กำลังผลิต	1,842	2,473	2,565	2,765	3,103	3,154
- ปริมาณการบริโภค * ก.ก./คน/ปี	28.3	31.5	34.9	38.7	42.9	47.5

2.3 องค์ประกอบทางเคมีของไม้

องค์ประกอบทางเคมีของไม้นั้นประกอบด้วย 4 อย่างด้วยกัน คือ

2.3.1 เซลลูโลส (Cellulose) เป็นโฮโมโพลีเมอร์ของหน่วย d – Glucose จับตัวต่อกันตามยาวด้วย 1 – 4 β – glucosidic bond มีความยาวตามธรรมชาติประมาณ 10,000 หน่วย ซึ่งในระหว่างแถวมีการยึดเหนี่ยวกันด้วย H – bond จนเป็นเส้นโตประมาณ 35 ^{0}A เรียกว่า Elementary fibril อันเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดที่ปรากฏเป็นเอกเทศตามธรรมชาติ เซลลูโลส มีความเป็นผลึกร้อยละ 60 – 80 ทนทานต่อสารเคมี โดยที่มีสารเคมีละลายเซลลูโลสได้ไม่กี่ชนิด เช่น กรดกำมะถัน (เข้มข้นมากกว่า 68%) กรดเกลือ (เข้มข้นมากกว่า 41%) สังกะสีคลอไรด์ Quarternary ammonium compounds และ Complex agents บางตัว เช่น $CuO - NH_3$ H_2O และ CuO – ethylene – diamine – H_2O

2.3.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) เป็น Heteropolymer ของหน่วยกลูโคส แมนโนส ไซโลส และอราบิโนส เฉลี่ยประมาณ 200 หน่วย มีหมู่กรด เช่น อะเซตีล และยูโรนิค จับอยู่ เฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้างอสัณฐาน สามารถอมน้ำได้ พองตัวได้ดี คุณสมบัตินี้มีความสำคัญยิ่งต่อการทำกระดาษในไม้เนื้ออ่อน (Soft wood) เฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่เป็น กลูโคแมนแนน (Glucomannan) ส่วนในไม้เนื้อแข็งเป็นไซแลน (Xylan)

2.3.3 ลิกนิน (Lignin) เป็นโพลีเมอร์อสัณฐาน (Amorphous polymer) ประกอบด้วย phenyl propane unit เฉลี่ยประมาณ 2,500 หน่วย จับตัวกันเป็นโครงร่างข่ายสามมิติยึดด้วย Ether bond ส่วนใหญ่เป็น phenyl – o – aryl bond และ C – C bond ลิกนินมีความเข้มข้นสูงสุดในส่วนเชื่อมต่อระหว่างเส้นใย (Middle lamella) ทำหน้าที่การยึดเส้นใยให้ติดอยู่ด้วยกัน ลิกนินมีคุณสมบัติเป็น เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) อุณหภูมิที่อ่อนตัว (120 200 ^{0}C) ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น

2.3.4 สารสกัด (Extractives) ประกอบด้วยสารจำพวก Resin acid , Free fatty acid , Volatile oil, Turphenoid comp. และ phenolic comp. เป็นต้น ซึ่งละลายออกมาได้กับตัวทำละลายสารประเภทอินทรีย์ เช่น อะซีโตน (Acetone) อัลกอฮอล์ (Alcohol) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane) คลอโรฟอล์ม (Chloroform) การสกัดถ้ามีอนินทรีย์สารวัตถุบางอย่างในพืชละลายปนออกมาไม่ถือว่าเป็นสารสกัด สารสกัดบางอย่างมีผลเสียต่อการผลิตเยื่อหากสภาวะการผลิตไม่เหมาะสม

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเยื่อไม้เนื้อแข็ง และไม้เนื้ออ่อน

องค์ประกอบทางเคมี	ไม้เนื้ออ่อน (softwood)	ไม้เนื้อแข็ง (hardwood)
เซลลูโลส (Cellulose)	~ 45	~ 43
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	5 - 20	15 - 30
ลิกนิน (Lignin)	24 - 32	17 - 25
สารสกัดได้ (Extractive)	~ 3.4	~ 2.0

2.4 กล้วยน้ำว้า

ชื่อสามัญ (Common Name) : Banana

ชื่อพฤกศาสตร์ (Scientific Name) : Musa sapientum,L.

ชื่อวงศ์ (Family Name) : Musaceae

ลักษณะทั่วไป

กล้วยเป็นพืชล้มลุก ลำต้นอยู่ใต้ดิน เรียกว่า "เหง้า" ส่วนที่พ้นพื้นดินคล้ายลำต้น เป็นกาบใบหุ้มซ้อนกันแน่น ก้านใบกลมหนา ด้านบนเป็นร่องลึก ตัวเป็นรูปขอบขนาน ปลายเรียวเล็กน้อย ดอกออกเป็นช่อ มีกาบหุ้มดอกเป็นกลีบประดับ เรียกว่า "ปลี" เมื่อติดผล จะเรียกช่อผลว่า "เครือ" แต่ละช่อย่อยเรียกว่า "หวี" ผลมีลักษณะกลมยาว เนื้อสีเหลืองครีม

การขยายพันธุ์

ใช้เหง้าหรือหน่อปลูก

สรรพคุณทางยา

ผลดิบรักษาอาการท้องเดิน แผลในกระเพาะอาหาร

ผลสุกเป็นยาระบายอ่อน

หัวปลีแก้โรคโลหิตจาง ลดน้ำตาลในเลือด

รูปที่ 2.1 ต้นกล้วยน้ำว้า

2.5 กระบวนการผลิตกระดาษ

การผลิตกระดาษในเชิงอุตสาหกรรมแบ่งเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

2.5.1 การเตรียมวัตถุดิบ ไม้ที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อต้องนำไปตัดเป็นท่อน ๆ ก่อนแล้วจึงนำท่อนไม้ (log) ที่ได้ไปปลอกเปลือกออก หลังจากนั้นนำไปสับทำให้เป็นชิ้นไม้เล็ก ๆ (chip) ที่มีขนาดประมาณ 2.5 X 3.5 X 0.5 ซ.ม. ชิ้นไม้เล็กๆ จะถูกคัดเลือกโดยผ่านตะแกรงร่อนเพื่อคัดขนาดให้ได้ขนาดใกล้เคียงกัน แล้วจึงนำชิ้นไม้เล็กๆ เหล่านี้เข้าหน่วยผลิตเยื่อ

2.5.2 การผลิตเยื่อ (pulping) เป็นขั้นตอนที่ชิ้นไม้จะถูกนำมาทำเป็นเยื่อกระดาษ กรรมวิธีการผลิตเยื่อกระดาษสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีด้วยกัน คือ

2.5.2.1 การผลิตเยื่อเชิงกล (Mechanical pulping process) การผลิตเยื่อเชิงกลหมายถึง กระบวนการผลิตเยื่อโดยการใช้พลังงานกลช่วยให้เส้นใยแตกหลุดจากกันเป็นอิสระ กล่าวคือ ไม้ทั้งท่อนจะได้รับการตัดออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วบดด้วยลูกหิน (Ground wood, GW) หรือบดด้วยจาน (refiner) จนละเอียดเป็นเยื่อไม้ จึงให้ผลผลิตเยื่อสูงตั้งแต่ร้อยละ 85 ขึ้นไป เยื่อที่ผลิตด้วยวิธีนี้ได้แก่เยื่อ PGWP (pressurized ground wood pulp) เยื่อ TMP (thermo mechanical pulp) เยื่อ RMP (refiner mechanical pulp) และเยื่อ CTMP (chemi thermo nechanical pulp) เยื่อไม้ที่ผลิตได้จากการผลิตเยื่อวิธีนี้ จะมีส่วนผสมของลิกนินเกือบทั้งหมดปนอยู่ด้วยและค่อนข้างหยาบและกระด้าง เส้นใยที่ได้จากเยื่อชนิดนี้ส่วนใหญ่จะมีการฉีกขาดและตัดเป็นท่อน ๆ ไม่แยกเป็นเส้นใยสมบูรณ์แต่ละเส้น นอกจากนี้ยังมีชิ้นไม้เล็ก ๆ หรือกลุ่มของเส้นใย (bundle of fiber) ปนอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากเส้นใยแต่ละเส้นไม่สามารถแยกเป็นเส้นใยสมบูรณ์และยังคงมี

ลิกนินในปริมาณสูงมาก เยื่อเชิงกล เมื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ จะมีคุณสมบัติทางด้านความทึบแสงสูง แต่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใยต่ำ จึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในการผลิตเยื่อกระดาษประเภทรับแรงสูง เยื่อชนิดนี้มีราคาค่อนข้างถูก จึงนำไปผลิตกระดาษที่ราคาถูกแต่คุณภาพต่ำ เช่น กระดาษหนังสือพิมพ์ กระดาษห่อของ เป็นต้น

2.5.2.2 การผลิตเยื่อกึ่งเคมี (semi–chemical pulping process) หมายถึง กระบวนการผลิตเยื่อที่ต้องอาศัยทั้งพลังงานกลเช่นเดียวกับการผลิตเยื่อเชิงกลและการใช้สารเคมีเข้ามาช่วยให้เส้นใยแยกตัวเป็นอิสระง่ายขึ้น สารเคมีที่ใช้ ได้แก่ โซเดียวซัลไฟท์ชนิดที่เป็นกลาง (neutral sodium sulfite) โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) เยื่อที่ผลิตได้ ได้แก่ NSSC (neutral sulfite semichemical) ซึ่งยังคงมีปริมาณลิกนินอยู่บ้างแต่น้อยกว่าปริมาณลิกนินในเยื่อเชิงกล เยื่อชนิดนี้นำไปผลิตกระดาษพิมพ์ดีด หรือกระดาษสมุดนักเรียน

2.5.2.3 การผลิตเยื่อเคมี (chemical pulping process) เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้พลังงานความร้อนและสารเคมีละลายลิกนิน ซึ่งเชื่อมระหว่างเส้นใยออกมา เส้นใยที่ได้จากเยื่อเคมีทุกชนิดจะสามารถแยกตัวเป็นเส้นใยแต่ละเส้นได้อย่างสมบูรณ์ แตกต่างจากเส้นใยที่ได้จาการผลิตเยื่อเชิงกล ไม่มีลักษณะของไม้ซึ่งเป็นการจับกลุ่มของเส้นใยเหลืออยู่จึงเป็นที่มาของคำว่า เยื่อปลอดไม้ (wood–free pulp) การเรียกชื่อเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีนี้จะเรียกชื่อตามระบบสารเคมีที่ใช้ เช่น ถ้าใช้โซดาไฟในการผลิต จะเรียกเยื่อโซดา (soda pulp) เป็นต้น เยื่อเคมีจัดเป็นเยื่อที่มีการผลิตในลำดับสูงสุดในอุตสาหกรรมกระดาษและมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเยื่อชนิดนี้สามารถนำไปพัฒนาสมบัติกายภาพของเส้นใยได้ดีตามความเหมาะสม เช่น เพื่อจะนำไปใช้สำหรับบรรจุหีบห่อ ได้แก่ กระดาษผิวกล่อง หรือเพื่อการพิมพ์และเขียน เช่น กระดาษออฟเซต กระดาษอาร์ต เป็นต้น

2.5.3 ขั้นตอนการฟอกเยื่อ เป็นการทำให้เยื่อมีสีขาวเหมาะกับการใช้พิมพ์ การฟอกเยื่อมี 2 วิธี คือ

2.5.3.1 วิธีฟอกเยื่อเพื่อกำจัดลิกนินออกไป

2.5.3.2 วิธีฟอกเพื่อเปลี่ยนสีของลิกนินให้อยู่ในรูปที่ไม่มีสี

เยื่อเคมีจะฟอกโดยวิธีกำจัดลิกนินออกโดยใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับลิกนินแล้วกำจัดออกไป การฟอกแบบนี้มีขั้นตอนการฟอกซึ่งมีชื่อเรียกตามสารเคมีที่ใช้ฟอก และเรียงตามลำดับตัวอักษรตัวแรกของแต่ละขั้นตอน

การฟอกเยื่อมีหลายวิธีที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น

วิธีการฟอกโดยใช้กรรมวิธี CEDED

วิธีการฟอกโดยใช้กรรมวิธี ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

วิธีการฟอกโดยใช้กรรมวิธี Single bleach

ตารางที่ 2.4 สารเคมี สัญลักษณ์ และชื่อขั้นตอนการฟอกกระดาษ

สารเคมี	สัญลักษณ์	ชื่อเรียกขั้นตอนการฟอก
คลอรีน (Cl_2)	C	ขั้นคลอริเนชั่น (Chlorination stage)
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	E	ขั้นแอกแทรกชัน (Extraction stage)
แคลเซียมไฮโปคลอไรท์	H	ขั้นไฮโปคลอไรท์ (Hypo chlorine stage)
คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2)	D	ขั้นคลอรีนไดออกไซด์ (Chlorine dioxide stage)
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)	P	ขั้นเปอร์ออกไซด์ (Peroxide stage)
ออกซิเจน (O_2)	O	ขั้นออกซิเจน (Oxygen stage)
โอโซน (O_3)	Z	ขั้นโอโซน (Ozone stage)
กรด (Acid)	A	ขั้นกรด (Acid stage)

หมายเหตุ โดยทั่วไปจะมีตั้งแต่ 3 – 6 ขั้นตอน เพื่อให้ได้ความขาวสว่างตามต้องการ

2.5.4 การเตรียมน้ำเยื่อ (stock preparation) มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นใยให้เหมาะแก่การเดินแผ่นและเพื่อให้ได้กระดาษที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการผลิต โดยการบดเยื่อและผสมสารปรับแต่งต่างๆ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การตีเยื่อให้กระจายในน้ำ (pulping or defibering) โดยใช้อุปกรณ์ตีเยื่อ (hydrapulper) เพื่อให้เส้นใยแยกจากกันและกระจายในน้ำอย่างสม่ำเสมอ
- การบดเยื่อ (beation or refining) เพื่อเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเส้นใย
- การผสมน้ำเยื่อกับสารปรับแต่ง เช่น สารกันซึม สารเติมแต่ง เป็นต้น (blending of furnish ingredients) เพื่อปรับแต่งคุณสมบัติของน้ำเยื่อให้ถูกต้องตรงกับชนิดของกระดาษที่จะผลิต
- การทำความสะอาดน้ำเยื่อ (cleaning) เพื่อแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำเยื่อ
- การควบคุมความเข้นของน้ำเยื่อ (consistency) เพื่อให้น้ำเยื่อมีคุณสมบัติคงที่

2.5.5 การทำแผ่นกระดาษ ขั้นตอนการทำกระดาษให้เป็นแผ่นบนเครื่องจักรผลิตกระดาษ (paper machine) มีส่วนประกอบของเครื่องทำหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

- ถังจ่ายน้ำเยื่อ (headbox) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่ทำหน้าที่ในการจ่ายน้ำเยื่อลงบนสายพานตะแกรงลวดอย่างสม่ำเสมอตลอดหน้ากว้าง
- ส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่น (wire section หรือ forming section) น้ำเยื่อเมื่อปล่อยออกจากถังจ่ายน้ำเยื่อแล้วจะตกลงบนส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่นซึ่งทำจากบรอนซ์ หรือพลาสติกเป็นสายพานยาว ส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่นจะทำหน้าที่สำคัญสองประการ คือ การก่อ-

ตัวเป็นแผ่นด้วยกระบวนการกรอง (sheet forming by filtration process) และการแยกน้ำออก (dewatering)

- ส่วนกดกระดาษ (press section) เมื่อแผ่นเปียกของกระดาษซึ่งมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 80 ออกจากส่วนตะแกรงลวดเดินแผ่น จะมีผ้าสักหลาดเป็นตัวพามายังส่วนกดกระดาษ กระดาษที่ออกจากส่วนลูกกด จะมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 55 60 การบีบกระดาษด้วยส่วนลูกกดให้เหลือน้ำในกระดาษน้อยกว่านี้ อาจทำให้แผ่นกระดาษขาดได้ จึงต้องทำให้แห้งโดยอาศัยความร้อนในขั้นต่อไป

- ส่วนอบกระดาษ (dryer section) ในส่วนประกอบนี้ประกอบด้วยลูกอบหลายลูก โดยแต่ละลูกมีลักษณะเป็นโลหะทรงกระบอกขนาดใหญ่ ภายในมีไอน้ำร้อนไหลอยู่ แผ่นกระดาษจะวิ่งไปตามลูกอบซึ่งหมุนพากระดาษไป ลูกอบต้องมีจำนวนมากพอ หรือมีพื้นที่มากพอที่จะทำให้กระดาษแห้ง กระดาษแห้งจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 4 – 8

- ส่วนรีดกระดาษ (calender) ประกอบด้วยลูกรีดหลายลูก ทำหน้าที่ปรับแผ่นให้สม่ำเสมอขึ้น กระดาษบางประเภทที่ไม่ต้องการผิวเรียบอาจเข้าม้วนโดยไม่ผ่านลูกรีด แต่กระดาษพิมพ์และเขียนรวมทั้งกระดาษที่ต้องการผิวเรียบต้องผ่านลูกรีดก่อนเข้าพันเป็นม้วน

- ส่วนพันกระดาษเข้าม้วน (winder) หลังจากที่ผ่านส่วนอบกระดาษหรือส่วนรีดกระดาษแล้ว กระดาษจะผ่านเข้าส่วนพันกระดาษเข้าม้วน ซึ่งเป็นอุปกรณ์สุดท้ายของการผลิตกระดาษด้วยเครื่องจักร

- ขั้นตอนสุดท้าย เป็นการทดสอบคุณภาพเพื่อนำไปจำหน่าย

2.6 คุณสมบัติของกระดาษ

เนื่องจากผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ทำมากจากกระดาษมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดย่อมต้องการกระดาษที่มีสมบัติแตกต่างกันไป สมบัติของกระดาษใช้กำหนดประเภทของกระดาษให้เหมาะสมกับงานและยังใช้บ่งชี้ถึงความเหมือนและความแตกต่างกันของกระดาษได้ด้วย สมบัติของกระดาษแบ่งออกเป็น 4 ด้าน ดังนี้

2.6.1 ลักษณะโครงสร้างของกระดาษ ประกอบขึ้นจากการสานตัวของเส้นใยและมีสารเติมแต่งอุดช่องว่างระหว่างเส้นใย ลักษณะทางโครงสร้างของกระดาษจึงเป็นตัวบ่งชี้การจัดเรียงตัวขององค์ประกอบต่างๆ ภายในเนื้อกระดาษ เช่น การกระจายตัวของเส้นใย ทิศทางการเรียงตัวในแนวขนานเครื่องของเส้นใย ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติอื่นๆ ของกระดาษด้วย ลักษณะทางโครงสร้างของเส้นใย ได้แก่ น้ำหนักมาตรฐาน (basic weight หรือ grammage) ความหนา ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (formation) ทิศทางของเส้นใย (directionality) ความแตกต่างของผิวกระดาษสองด้าน (two–sideness) ความพรุน (porosity) และความเรียบของผิวกระดาษ (smoothness)

2.6.2 สมบัติทางเชิงกลของกระดาษ เป็นตัวบ่งชี้ถึงศักยภาพในการใช้งานของกระดาษ ซึ่งหมายถึงการที่กระดาษมีความทนทานต่อการใช้งาน (durability) และความสามารถในการต้านทางแรงที่ทำให้กระดาษโค้งงอ ซึ่งแรงเหล่านี้มีอยู่หลายขั้นตอนตั้งแต่การผลิตกระดาษ การแปรรูป จนถึงการใช้งาน กระดาษจะตอบสนองแรงที่มากระทำเหล่านี้ได้มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของกระดาษ ซึ่งสามารถวัดออกมาได้ในรูปสมบัติเชิงกลได้ สมบัติเชิงกลของกระดาษได้แก่ ความต้านแรงดึง และการยืดตัว ความต้านแรงดันทะลุ ความต้านแรงฉีกขาด ความทนต่อการพับขาด ความทรงรูป

2.6.3 สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษ หมายถึง สมบัติทางแสงของกระดาษที่ปรากฏแก่สายตา ได้แก่ ความขาวสว่าง (brightness) ความทึบแสง (opacity) ความขาว ความมันวาว (gloss) สมบัติเหล่านี้ไม่สามารถวัดค่าออกมาโดยอาศัยหลักการทางฟิสิกส์เพียงอย่างเดียวได้ แต่จะต้องประกอบด้วยหลักการทางจิตวิทยาร่วมด้วย ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับการมองเห็นของสายตามนุษย์ซึ่งต้องอาศัยดวงตาในการสังเกต และสมองตัดสินการรับรู้การมองเห็นอีกครั้ง ดังนั้นในการวัดค่าเกี่ยวกับสมบัติทางด้านทัศนศาสตร์จึงต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ในการพิจารณา คือ แหล่งกำเนิดแสง กระดาษที่ถูกส่องสว่าง และดวงตามนุษย์ หรือ เครื่องวัดแสงที่ทำหน้าที่สังเกตการณ์และแปลผลของการสะท้อนแสง หรือการส่องผ่านของแสงที่กระทำต่อกระดาษ

2.6.4 สมบัติด้านการกีดกั้นและด้านการต้านทางของกระดาษ สมบัติด้านการกีดกั้น (barrier property) หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการป้องกันการซึมทะลุผ่านของสารใด ๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษ สมบัติด้านการต้านทาน (resistance property) หมายถึง ความสามารถของกระดาษในการต้านทานการซึมทะลุผ่านของสารใด ๆ เข้าไปในเนื้อกระดาษ กระดาษหลายชนิดที่ใช้เพื่อการสื่อสารและการบรรจุภัณฑ์ ต้องมีสมบัติด้านการต้านทาน เช่น กระดาษออฟเซต กระดาษทำถุง ต้องมีความต้านทานการดูดซึมน้ำสูง และกระดาษกันไขมัน (greaseproof paper) ต้องมีความต้านทานการดูดซึมไขมันสูง สำหรับกระดาษเพื่อการบรรจุภัณฑ์ ต้องมีสมบัติด้านการกีดกั้นสูงต่อของเหลว ไอน้ำ อากาศ ไขมัน และออกซิเจน เพื่อปกป้องสินค้าที่บรรจุอยู่ภายใน

2.7 การใช้สาร KOH ในการต้มเยื่อ

การที่ใช้ NaOH ในการต้มเยื่อนั้น NaOH จะทำปฏิกิริยากับตัวเยื่อโดยจะทำการชะลิกนินออกมาจากเยื่อ น้ำต้มเยื่อหนังผ่านการต้มเยื่อต้องนำมาทำการ Recover ใหม่ ซึ่งบางโรงงานได้มีการปล่อยน้ำต้มเยื่อลงในแหล่งน้ำ สารลิกนินที่อยู่ในน้ำต้มเยื่อทำปฏิกิริยากับคลอไรด์จะก่อให้เกิดสารไดออกซินซึ่งเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง ดังนั้นเพื่อเป็นการสะดวกต่อการทำงาน การลดมลภาวะของสิ่งแวดล้อม และเป็นการประหยัดต่อการผลิต จึงได้ทำการใช้สาร KOH ในการต้มเยื่อแทนที่ NaOH

เนื่องจาก KOH มีองค์ประกอบของปุ๋ยอยู่ คือ โพแทสเซียม เมื่อได้น้ำจากการต้มเยื่อแล้วสามารถนำไปทำเป็นปุ๋ย หรือรดน้ำต้นไม้ได้

ถึงแม้ว่า KOH จะมีราคาสูงกว่า NaOH แต่เมื่อเทียบกับราคาในกระบวนการ Recover ยังคุ้มค่ากว่า

2.8 ค่า Kappa Number ต่อการฟอกเยื่อ

การคำนวณ Kappa Number

$$KappaNumber = \frac{afd}{m}$$

a = 2(b–c)

b = ml of titrant of blank

c = ml of titrant of sample

d = หาจากตาราง ค.1 โดยใช้ค่าของ a

m = mass of sample

f = 1 + 0.013 (25 t)

ค่า Kappa No. ที่เหมาะสมในการทดลองควรอยู่ในช่วง 25 – 30

2.9 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 รายงานการวิจัยเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษจากใบสับปะรด โดย นักวิจัยระดับปฏิบัติการ รุ่นที่ 4 กลุ่มงานฝึกอบรมการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

จากพื้นที่การศึกษา อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ มีพื้นที่ปลูกสับปะรดประมาณ 600,000 ไร่ จะมีใบสับปะรดที่เป็นวัตถุดิบเหลือทิ้งปีละประมาณ 8 ล้านตัน ซึ่งถ้านำวัตถุดิบเหลือทิ้งนี้มาผลิตเป็นกระดาษ น่าจะทำให้ชาวบ้านมีรายได้เพิ่มมากขึ้น โดยใช้วิธีวิจัยและพัฒนา เพื่อค้นหากระบวนการผลิตให้มีรูปแบบการผลิตที่เหมาะสม มีคุณภาพสูง ซึ่งมีกรรมวิธีดังนี้ คือ นำใบสับปะรดมาล้างและผึ่งแดดให้แห้ง ต้มใบสับปะรดกับสารละลายโซดาไฟในที่หม้อมีฝาปิดมิดชิด หลังจากนั้นนำมาบีบให้แห้งและล้างน้ำ การฟอกเยื่อทำโดยการฟอกกับสารละลายไฮโดรเจนเปอออกไซด์และโซเดียมซิลิเกต การตีเยื่อต้องทำในเครื่องตีเยื่อเพื่อทำการตีให้เยื่อแตกกระจายสม่ำเสมอ การทำแผ่น นำเยื่อที่ได้มาใส่ในอ่างน้ำด้วยความเข้มข้นที่พอเหมาะ แล้วใช้ตะแกรงลวดช้อนเยื่อขึ้นมาให้เรียบสม่ำเสมอ การทำแห้ง นำตะแกรงลวดมาผึ่งแดดและเมื่อลอกออกจากตะแกรง จะได้เป็นแผ่นกระดาษตามต้องการ

2.9.2 รายงานการวิจัยเรื่อง การปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตกระดาษสา โดย นัยนา นิยมวัน ; ลิขิต หาญจางสิทธิ์ ; สุเพ็ญ จงวัฒนา ; สมชาย ยะกาศคะนอง ; บุญชู ลีลาขจรจิต ; ไพโรจน์ ชัยจันทึก สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

- <u>สาเหตุที่เลือกใช้กระดาษสา</u>

เนื่องจากทางสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ได้ทำโครงการร่วมมือกับทางสถาบันวิจัย ชิโกกุ ประเทศญี่ปุ่น เรื่องการใช้ประโยชน์พืชเมืองร้อนเป็นวัตถุดิบ สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ระหว่างปี 2521 - 2524

- <u>การศึกษาความเหมาะสมของเส้นใยสาในแง่ของการใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ</u>

เนื่องจากเปลือกสาเป็นวัตถุดิบท้องถิ่นที่น่าสนใจ ที่จะใช้ประโยชน์สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษได้ ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติของเส้นใยสาทางด้านฟิสิกส์และเคมีจะพบว่า มีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ ทั้งจากเปลือกสา แกนไม้สา หรือสารทั้งต้น

การทดลองผลิตเยื่อกระดาษจากเปลือกสา ไม้สารทั้งต้น และแกนไม้ โดยกรรมวิธีทางเคมีเพื่อประเมินผลสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษนั้น พบว่าไม้สารทั้งต้นและแกนไม้มีคุณสมบัติทางด้านเยื่อกระดาษเหนือกว่าไม้ยูคาลิปตัส แต่เยื่อกระดาษจากเปลือกสาล้วนไม่สามารถจะทำแผ่นทดสอบได้เลย เนื่องจากเปลือกสามีเส้นใยยาวและเรียวมาก มีความเหนียวและเกาะกันแน่น สมควรจะได้รับการพิจารณานำเปลือกสาไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตกระดาษด้วยมือ โดยที่ไม่ใช้เครื่องจักรในการทำแผ่นซึ่งจะทำให้ได้กระดาษที่มีลักษณะพิเศษทำได้บางมาก มีความเหนียวสูง ไม่ขาดเมื่อเปียกน้ำและสามารถย้อมสีได้แบบผ้า เหมาะสำหรับนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่มีค่าและต้องการคุณสมบัติเฉพาะ เพื่อเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบ

- <u>ปัญหาของกระดาษสาไทย</u>

1. วัตถุดิบมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ ทำให้มีความแตกต่างกันในเรื่องของความหนาของเปลือกความกระด้างของเส้นใย ทำให้เยื่อที่ต้มออกมาสุกไม่เท่ากัน

2. ลักษณะของกระดาษไม่สม่ำเสมอเนื่องจาก ต้มสุกไม่ทั่วกัน การระดีเยื่อให้นุ่มและการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอกัน

3. การเกิดรอยตะแกรงบนแผ่นกระดาษ เนื่องจากกระบวนการผลิตกระดาษสาไทยใช้วิธีการตักกระดาษให้แห้งบนตะแกรงตักแผ่น

- <u>กรรมวิธีการผลิตกระดาษสา</u>

- การต้มเยื่อ

การเตรียมวัตถุดิบ ใช้เปลือกสาแห้ง 40 กิโลกรัม ล้างน้ำทำความสะอาดฝุ่น สภาวะการต้มเยื่อ ใช้อุณหภูมิต้มสุกที่ 100 องศาเซลเซียส ไม่ต้องต้มภายใต้ความดัน อัตราส่วนของน้ำที่ใช้ต้มเยื่อต่อน้ำหนักเปลือกสาแห้งคือ 10 : 1 ได้ทดลองแปรค่าปริมาณของโซดาไฟตั้งแต่ 7-10% ของน้ำหนักแห้งวัตถุดิบ เลือกเวลาของการต้มเยื่อเฉลี่ย 8% ของน้ำหนักวัตถุดิบ 3 ค่า คือ 3, 4, 5 ชั่วโมง

- การล้างเยื่อหลังต้ม

นำเยื่อมาล้างออกให้หมดด่าง แล้วบีบน้ำออกมาที่สุดเท่าที่จะมากได้ ประมาณความชื้นของเยื่อไม่ฟอกราว 30%

- การฟอกเยื่อ

นำเยื่อสามาหาปริมาณคลอรีนด้วยวิธีหาค่า Kappa number ตามมาตรฐาน TAPPI ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ ตัวอย่างเช่นต้มเปลือกสาด้วย 10%โซดาไฟของน้ำหนักเปลือกสาแห้งเป็นเวลา 5 ชั่วโมงจะได้ค่า Kappa เท่ากับ 22 ซึ่งเมื่อคำนวณปริมาณคลอรีนที่ใช้ในการฟอกเท่ากับ 4.8% แต่เนื่องจากคลอรีนเป็นก๊าซระเหยง่ายจึงใช้คลอรีนประมาณ 5% ใช้น้ำต่อน้ำหนักเยื่อแห้ง 10% ใช้อุณหภูมิฟอกที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ฟอก 3 ชั่วโมง หลังจากฟอกแล้วล้างคลอรีนออกให้หมด

- การบดเยื่อ

เยื่อที่ฟอกขาวและล้างสะอาดจำนวน 3 กิโลกรัมโดยมีน้ำหนักแห้งประมาณ 33% จึงคิดเป็นน้ำหนักแห้งของเยื่อสาได้ 1 กิโลกรัม นำเยื่อใส่ลงไปในเครื่องตีเยื่อมีน้ำ 80 ลิตรเดินเครื่อง 20 นาที นำเยื่อที่ได้ไปช้อนในตะแกรงขึ้นรูป

2.9.3 รายงานการวิจัยเรื่อง การทำกระดาษจากฟางข้าว โดย วีระศักดิ์ ศรีอ่อน

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตข้าวรายใหญ่ของโลก จึงมีฟางข้าวที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบสำคัญในการผลิตกระดาษอย่างเหลือเฟือ ประกอบกับขณะนี้ปริมาณกระดาษภายในประเทศมีปริมาณที่ไม่เพียงพอต้องนำเข้าจากต่างประเทศปีละมากๆมาใช้ ซึ่งวิธีการผลิตนั้นมีกรรมวิธี ดังนี้ คือ ตัดฟางข้าวและนำไปล้าง นำฟางข้าวไปต้มกับน้ำและโซดาไฟจนเปื่อย นำไปล้างและตำให้ละเอียด กรองส่วนที่เป็นของเหลวออก คั้นให้แห้ง นำฟางข้าวที่ได้มาใส่แป้ง ยางสน สารส้มชนิดผงและน้ำกระเจี๊ยบ คนให้เข้ากัน จากนั้นนำตะแกรงไปช้อนเนื้อฟางข้าว รอให้แห้งและนำไปรีดด้วยลูกกลิ้ง จากนั้นจึงนำไปตากแดด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

1. วัตถุดิบ
   - กาบกล้วยน้ำว้า
2. สารเคมี
   - โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 85 % โดยน้ำหนัก
   - น้ำแป้ง
   - กรดซัลฟูริก 4 N
   - โพแทสเซียมไอโอไดด์ 1 N
   - โซเดียมไทโอซัลเฟต 0.2 N
   - โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.1 N
   - คลอรีน
   - ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
   - กรดไฮโดรคลอริก

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ถังต้มแสตนเลสพร้อมฝาปิดสนิท
2. กระดาษฟอยล์
3. เตาไฟฟ้า
4. ช้อนตักสาร
5. เครื่องแก้ว
6. เครื่องชั่งความละเอียด 2 ตำแหน่ง
7. เตาแก๊ส
8. เทอร์โมมิเตอร์
9. นาฬิกาจับเวลา
10. เครื่องปั่น

11. ตะแกรงล้างเยื่อ
12. ตะแกรงขึ้นแผ่น
13. เครื่องตีเยื่อ
14. อ่างช้อนเยื่อ
15. เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงขาด
    (Schopper Type Paper Tensile Strength Tester)
16. เครื่องทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด
    (Elmendorf Type Tearing Strength Tester)
17. เครื่องทดสอบความขาวสว่างและทึบแสง
    (Photovolt Type Reflectometer)
18. เครื่องวัดการต้านทานแรงดันทะลุ
    (Mullein Type Bursting Strength Tester)
22. เครื่องวัดความหนาของแผ่นทดสอบ

3.3 วิธีการวิจัย

3.3.1 การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาบกล้วยสด

1. นำกาบกล้วยมาตัดเป็นท่อน ยาว 5 cm
2. นำกาบกล้วยส่วนหนึ่งมาหาความชื้น โดยวิธีการดังนี้
   - ชั่งภาชนะที่จะใช้ใส่กาบกล้วย บันทึกผล
   - ชั่งน้ำหนักของกาบกล้วยสดและภาชนะ บันทึกผล
   - นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C ทิ้งไว้ 4 – 6 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้นจนกาบกล้วยและภาชนะเย็นลง
   - ชั่งน้ำหนักของกาบกล้วยแห้งและภาชนะ บันทึกผล เพื่อนำไปคำนวณค่าความชื้น

3.3.2 การหาสภาวะในการต้มเยื่อสำหรับกาบกล้วยสด

1. ตวงน้ำปริมาตร 50 เท่าของน้ำหนักแห้งของกาบกล้วยสดที่ใช้ (50 : 1) ใส่ลงในถังต้มแสตนเลส ชั่ง KOH ปริมาณ 10% ของน้ำหนักกาบกล้วยแห้ง ใส่ลงไปในน้ำคนให้ละลายจนหมด
3. นำกาบกล้วยปริมาณ 100 g แห้ง (g.o.d) นำมาล้างด้วยน้ำเปล่า แล้วทำการใส่ลงไปในสารละลาย นำไปต้มที่อุณหภูมิบรรยากาศ จับเวลาตั้งแต่ต้มจนเดือด บันทึกเวลา (Time to temp.) หลังจากเดือดแล้ว ให้ทำการต้มต่อเป็นเวลา 3

ชั่วโมง (Time at temp.) จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำเปล่าให้หมดสารเคมี โดยล้างจนน้ำเยื่อมีฤทธิ์เป็นกลางต่อกระดาษลิตมัส

4. จากนั้นนำเยื่อที่ได้ไปเข้าเครื่องตีเยื่อ จนเยื่อมีลักษณะที่เป็นเส้น ๆ ไม่เกาะติดกัน แล้วจึงนำไปล้างน้ำเปล่า บีบให้แห้ง และนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผล
5. นำเยื่อมาจำนวนหนึ่งเพื่อหาความชื้น โดยวิธีเช่นเดียวกับตอนที่ 1
6. คำนวณหาผลผลิตเยื่อที่ได้ (Yield)
7. จากนั้นทำซ้ำจากข้อ 1 – 6 โดยเปลี่ยนเวลาในการต้มเยื่อเป็น 5 ชั่วโมง
8. จากนั้นเปลี่ยนความเข้มข้นของ KOH ในการต้มเป็น 20 % ของน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบ โดยที่ปริมาณน้ำที่ใช้ในการต้มเป็น 50 เท่าของน้ำหนักกาบกล้วยที่ใช้เช่นเดิม
9. นำเยื่อที่ต้มได้ไปเข้าเครื่องตีเยื่อเป็นเวลา 5 นาที บีบให้แห้ง

3.3.3 การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาบกล้วยแห้ง

1. นำกาบกล้วยแห้งมาตัดเป็นท่อน ยาว 5 cm
2. นำกาบกล้วยแห้งส่วนหนึ่งมาหาความชื้น โดยวิธีการดังนี้
   - ชั่งภาชนะที่จะใช้ใส่กาบกล้วยแห้ง บันทึกผล
   - ชั่งน้ำหนักของกาบกล้วยแห้งและภาชนะ บันทึกผล
   - นำไปอบที่อุณหภูมิ 105 ^{0}C ทิ้งไว้ 4 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปใส่ไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccators) จนกาบกล้วยแห้งและภาชนะเย็นลง
   - ชั่งน้ำหนักของกาบกล้วยแห้งและภาชนะ (แห้ง) บันทึกผล เพื่อนำไปคำนวณค่าความชื้น

3.3.4 การหาสภาวะในการต้มเยื่อสำหรับกาบกล้วยแห้ง

1. ตวงน้ำปริมาตร 50 เท่าของน้ำหนักแห้งของกาบกล้วยแห้งที่ใช้ (50 : 1) ใส่ลงในถังต้มแสตนเลส ชั่ง KOH ปริมาณ 14 % ของน้ำหนักกาบกล้วยแห้ง ใส่ลงไปในน้ำคนให้ละลายจนหมด
2. นำกาบกล้วยแห้งปริมาณ 100 g แห้ง (g.o.d) นำมาล้างด้วยน้ำเปล่า แล้วทำการใส่ลงไปในสารละลาย นำไปต้มที่อุณหภูมิบรรยากาศ จับเวลาตั้งแต่ต้มจนเดือด บันทึกเวลา (Time to temp.) หลังจากเดือดแล้ว ให้ทำการต้มต่อเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (Time at temp.) จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำเปล่าให้หมดสารเคมี โดยล้างจนน้ำเยื่อมีฤทธิ์เป็นกลางต่อกระดาษลิตมัส

3. จากนั้นนำเยื่อที่ได้ไปเข้าเครื่องตีเยื่อเป็นเวลา 5 นาที จนเยื่อมีลักษณะที่เป็นเส้น ๆ ไม่เกาะติดกันและขาดจากกัน แล้วจึงนำไปล้างน้ำเปล่า บีบให้แห้ง และนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผล
4. นำเยื่อมาจำนวนหนึ่งเพื่อหาความชื้น โดยวิธีเช่นเดียวกับตอนที่ 1
5. คำนวณหาผลผลิตเยื่อที่ได้ (Yield)
6. จากนั้นทำซ้ำจากข้อ 1 5 โดยใช้สารเคมี KOH ในการต้มเป็น 14 % ของน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบ โดยเปลี่ยนปริมาณน้ำที่ใช้ในการต้มเป็น 1 : 40 , 1 : 30 , 1 : 25 โดยความเข้มข้นของ KOH คงที่ และทำซ้ำจากข้อ 2 – 5
7. เปลี่ยนสารเคมี KOH ในการต้มเป็น 16 % ของน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบ และเปลี่ยนปริมาณน้ำที่ใช้ในการต้มเป็น 1 : 50 , 1 : 40 , 1 : 30 , 1 : 30 (แช่ 17 ชม.) , 1 : 25 , 1 : 25 (แช่ 17 ชม.) โดยความเข้มข้นของ KOH คงที่ และทำซ้ำจากข้อ 2 – 5
8. เปลี่ยนสารเคมี KOH ในการต้มเป็น 18 % ของน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบ และเปลี่ยนปริมาณน้ำที่ใช้ในการต้มเป็น 1 : 25 , 1 : 25 (แช่ 17 ชม.) โดยความเข้มข้นของ KOH คงที่ และทำซ้ำจากข้อ 2 – 5
10. เปลี่ยนสารเคมี KOH ในการต้มเป็น 20 % ของน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบ และเปลี่ยนปริมาณน้ำที่ใช้ในการต้มเป็น 1 : 25 , 1 : 25 (แช่ 17 ชม.) โดยความเข้มข้นของ KOH คงที่ และทำซ้ำจากข้อ 2 – 5
11. เปลี่ยนสารเคมี KOH ในการต้มเป็น 22 % ของน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบ และเปลี่ยนปริมาณน้ำที่ใช้ในการต้มเป็น 1 : 25 (แช่ 17 ชม.) และทำซ้ำจากข้อ 2 – 5
12. จากข้อ 11 ที่ทำการเปลี่ยนสารเคมี KOH ในการต้มเป็น 22 % ของน้ำหนักแห้งของวัตถุดิบ (ปริมาณ KOH ที่ใช้ เท่ากับ 129.4 กรัม) และเปลี่ยนปริมาณน้ำที่ใช้ในการต้มเป็น 1 : 25 (แช่ 17 ชม.) จะเห็นว่าเยื่อสามารถตีให้ขาดได้ และค่า Kappa number ที่ได้อยู่ในช่วง 25 – 30 จึงเพิ่มปริมาณการต้มเป็น 500 กรัมแห้ง โดยใช้ความเข้มข้นของ KOH และสัดส่วนน้ำที่ใช้ในการต้มเท่าเดิม (สัดส่วนน้ำ 1 : 25 จะได้ว่า ใช้เยื่อ 500 กรัมแห้ง จะต้องเติมน้ำ 12,500 cm^3)

3.3.5 การหาค่า Kappa Number

1. นำเยื่อที่ผ่านการบดแล้วมากระจายเป็นชิ้นเล็กๆทำการหาความชื้นของเยื่อหลังผ่านการตีเยื่อเพื่อนำค่าความชื้นที่ได้มาคำนวณหาปริมาณเยื่อที่ต้องใช้ในการหาค่า Kappa Number
2. เตรียมBlank ในการทดลองหาค่าปริมาณ Kappa Number โดยการตวงน้ำปริมาณ 800 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร แล้วกวนด้วย magnetic stirrer

อยู่ตลอดเวลาจากนั้น ตวง 4 โมลต่อลิตร H_2SO_4 100 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในน้ำ ดังแสดงดังรูปที่ 3.1(ก)

3. ปิเปต 0.1 โมลต่อลิตร $KMnO_4$ 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ จับเวลาตั้งแต่หยดแรกของ $KMnO_4$ ดังแสดงดังรูปที่ 3.1 (ข) ลงในบีกเกอร์และทำการวัดอุณหภูมิที่เวลา 5 นาที ดังแสดงดังรูปที่ 3.1 (ค) หลังจากรอ 10 นาทีใส่ KI 1 โมลต่อลิตร 20 มิลลิลิตร หยดน้ำแป้ง 10 หยดดังแสดงดังรูปที่ 3.1 (ง) ทำการไตรเตรตกับ $Na_2S_2O_3$ 0.2 โมลต่อลิตร จนสารละลายกลายเป็นไม่มีสีดังแสดงดังรูปที่ 3.1 (จ) และ (ฉ) ตามลำดับบันทึกปริมาณ $Na_2S_2O_3$ ที่ใช้ทำการทดลองอีกจนได้ค่าใกล้เคียงกัน
4. หาปริมาณไตรเตรต ของการไตรเตรตสารตัวอย่าง โดยนำเยื่อที่ผ่านการตีเยื่อแล้วมาปั่นด้วยเครื่องปั่นก่อนจะทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อหาค่า Kappa Number นำค่าที่ได้คำนวณหาปริมาณ Kappa Number ซึ่งค่า Kappa Number ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ 25 ถึง 30 และนำค่า Kappa Number ที่ได้มาคำนวณหาปริมาณคลอรีนที่ใช้ในการฟอก

<u>การคำนวณ Kappa Number</u>

$$KappaNumber = \frac{afd}{m}$$

a = 2(b–c)

b = ml of titrant of blank

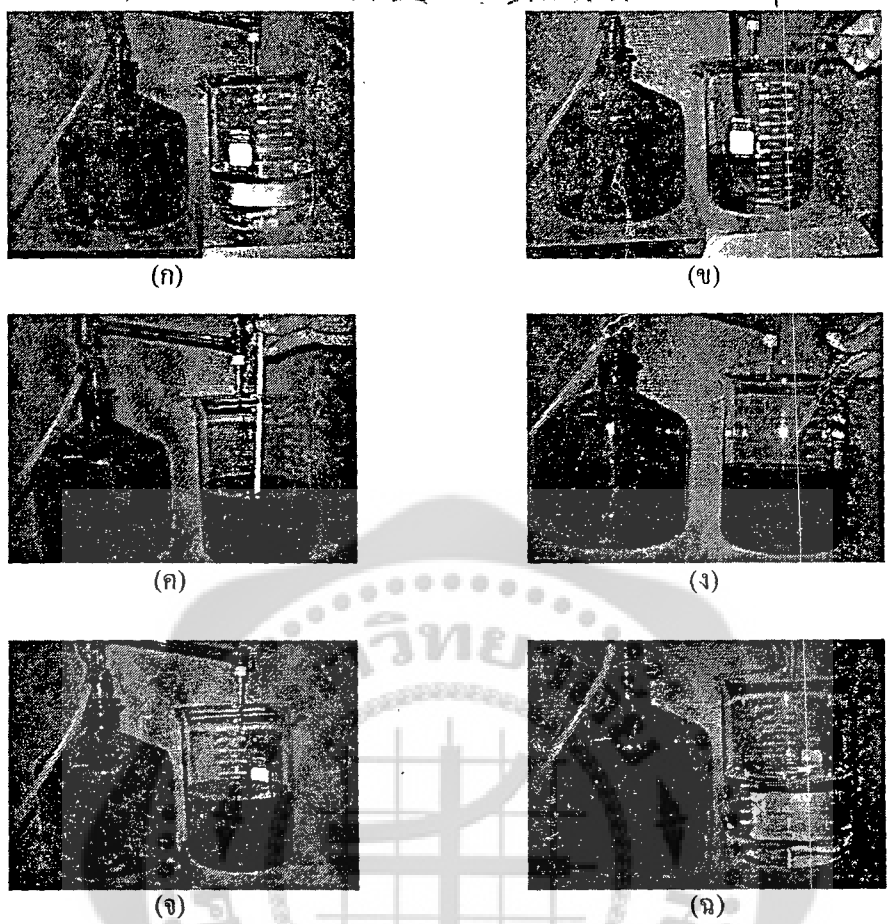
c = ml of titrant of sample

d = หาจากตาราง ค.1 โดยใช้ค่าของ a

m = mass of sample

f = 1 + 0.013 (25 t)

หอสมุด มรว องครักษ์
http://oklib.swu.ac.th



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการ หาค่า Kappa Number การเตรียมอุปกรณ์ (ก) ภาพการเติม $KMnO_4$ และ H_2SO_4 (ข) ขั้นตอนการวัดอุณหภูมิ (ค) ขั้นตอนการเติมน้ำแป้งเป็นอินดิเคเตอร์ (ง) ภาพการไตเตรตสารละลายกับ $Na_2S_2O_3$ (จ) และจุดยุติสารละลายใสไม่มีสี (ฉ)

3.3.6 การฟอกด้วยวิธีการ CEDED

ใช้วิธีการฟอกแบบ CEDED

- C = Chlorination
- E = Extraction
- D = Chlorine Dioxide
- E = Extraction
- D = Chlorine Dioxide

โดยมีวิธีการ ดังนี้

1) Chlorination ในกระบวนการนี้จะใช้ 3 % consistency , % Cl_2 ที่คำนวณได้) จากค่า Kappa No. , ใช้เวลา 30 นาที และค่า pH = 1.8 ที่อุณหภูมิห้อง

วิธีทำ

- นำเยื่อ 100 กรัมแห้ง (g.o.d) โดยต้องเทียบจากความชื้นของเยื่อที่หาได้หลังจากผ่านการตีเยื่อ ใส่ลงในถังสำหรับการฟอก
- ในการเติมน้ำคำนวณจาก 3 % consistency หมายความว่า ในน้ำเยื่อ 100 cm^3 จะต้องมีเยื่ออยู่ 3 กรัม

จะได้ว่า เยื่อ 3 กรัมแห้ง จะต้องเติมน้ำจนครบ 100 cm^3

ถ้าเยื่อ 100 กรัมแห้ง จะต้องเติมน้ำจนครบ = (100 X 100)/3 = 3,333.33

- % Cl_2 ที่คำนวณได้จากค่า Kappa No. นำมาคำนวณหาปริมาณ Cl_2 ที่ต้องใช้ในการฟอก
- ปรับ pH ให้ได้ 1.8 โดยการเติม HCl
- ดังนั้นเติมน้ำในการฟอก = 3,333.33 – (เยื่อ + ความชื้น) – (ปริมาณ Cl_2)
- จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที
- เมื่อครบ 30 นาที นำออกจากถังฟอก ล้างให้สะอาด บีบให้แห้ง แล้วจึงนำมากระจายให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักของเยื่อหลังขั้นตอน Chlorination

2) Extraction ในกระบวนการนี้ใช้ 6 % consistency , 2 %NaOH , ใช้เวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 70 ^0C

วิธีทำ

- นำเยื่อที่ได้จากกระบวนการ Chlorination ใส่ลงในถังสำหรับการฟอก
- ในการเติมน้ำคำนวณจาก 6 % consistency หมายความว่า ในน้ำเยื่อ 100 กรัม จะต้องมีเยื่ออยู่ 6 กรัม จะได้ว่า

เยื่อ 6 กรัมแห้ง จะต้องเติมน้ำจนครบ 100 cm^3

ถ้าเยื่อ 100 กรัมแห้ง จะต้องเติมน้ำจนครบ = (100 X 100)/6 = 1,666.67

- ใช้ 2 %NaOH ซึ่ง NaOH ที่ใช้ Active 98 %
- ดังนั้นเติมน้ำในการฟอก = 1,666.67 – (เยื่อ + ความชื้น) – (ปริมาณ NaOH)
- จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 70 ^0C เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งเริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิใน water bath เท่ากับ 70 ^0C

- เมื่อครบ 30 นาที นำออกจากถังฟอก ล้างให้สะอาด บีบให้แห้ง แล้วจึงนำมากระจายให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักของเยื่อหลังขั้นตอน Extraction

3) Chlorine dioxide ในกระบวนการนี้ใช้ 6 %consistency , 0.5 %$NaClO_2$, pH = 4 , ใช้เวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 75 °C

- นำเยื่อที่ได้จากกระบวนการ Extraction ใส่ลงในถังสำหรับการฟอก

- ในการเติมน้ำคำนวณจาก 6 % consistency หมายความว่า ในน้ำเยื่อ 100 กรัม จะต้องมีเยื่ออยู่ 6 กรัม

จะได้ว่า เยื่อ 6 กรัมแห้ง จะต้องเติมน้ำจนครบ 100 cm^3

ถ้าเยื่อ 100 กรัมแห้ง จะต้องเติมน้ำจนครบ = (100 X 100)/6 = 1,666.67

- ใช้ 0.5 %$NaClO_2$ ซึ่ง $NaClO_2$ ที่ใช้ Active 80 %

- ดังนั้นเติมน้ำในการฟอก = 1,666.67 – (เยื่อ + ความชื้น) - (ปริมาณ NaOH)

- จากนั้นตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ซึ่งเริ่มจับเวลาเมื่ออุณหภูมิใน water bath เท่ากับ 75 °C

- เมื่อครบ 3 ชั่วโมง นำออกจากถังฟอก ล้างให้สะอาด บีบให้แห้ง แล้วจึงนำมากระจายให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักของเยื่อหลังขั้นตอน Chlorine dioxide

4) ทำซ้ำขั้นตอน Extraction และ Chlorine dioxide อีกครั้งเพื่อให้เยื่อมีความขาวยิ่งขึ้น

5) Acid Wash กระบวนการนี้ใช้ 6 %consistency , 2 %$NaHSO_3$, ใช้เวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

- นำเยื่อแช่ลงในถังฟอก 30 นาที

- นำเยื่อที่ฟอกเสร็จไปล้างด้วยน้ำเปล่าให้สะอาด แล้วนำไปขึ้นรูปด้วยตะแกรงลวด นำไปตากไว้ให้แห้ง

3.3.7 การหาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำต้มเยื่อ

1. เมื่อได้สภาวะในการต้มเยื่อแล้ว นำน้ำต้มเยื่อที่ได้มาปรับค่า pH โดยการเติม HCl ลงไป แล้วใช้ pH meter ทดสอบค่า pH จนได้ค่าประมาณ 6.8 - 7.0
2. นำน้ำต้มเยื่อมาหาปริมาณ K ในน้ำโดยวิธีการไตเตรตกับสารละลาย HCl ดังสมการ

$$KOH + HCl \longrightarrow KCl + H_2O$$

โดยทำการไตเตรตจนเป็นกลาง บันทึกปริมาณ HCl ที่ใช้ คำนวณหาค่า K จาก KOH

จาก $N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2$

โดย N_1 คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไตเตรต (mol / l)

V_1 คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ทำการไตเตรต (ml)

N_2 คือ ความเข้มข้นของ KOH ในน้ำต้มเยื่อ (mol / l)

V_2 คือ ปริมาตรของน้ำต้มเยื่อที่ใช้ในการไตเตรต (ml)

3.3.8 การทำแผ่นกระดาษทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักเยื่อมา 1 กรัมแห้งทำการผสมน้ำให้เยื่อกระจายออก
2. จากนั้นเทลงในเครื่องขึ้นแผ่น ใช้กระดาษแข็งทับกับเยื่อกระดาษ ใช้ลูกกลิ้งทับไปบนกระดาษประมาณ 20 รอบ เพื่อเป็นการรีดน้ำออกและทำให้เยื่อติดกับกระดาษ
3. นำกระดาษที่มีเยื่อติดอยู่ไปเข้าเครื่อง dryer เพื่อทำการกำจัดน้ำออกจากเยื่อกระดาษ เพื่อที่จะได้ทำให้เยื่อกระดาษหลุดร่อนออกมา

3.3.9 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นกระดาษ

การทดสอบแผ่นกระดาษทางกายภาพทำตามวิธีมาตรฐาน โดย

1. ทดสอบการต้านทานแรงดึงขาด โดยเครื่อง Chopper Type Paper Tensile Strength Tester
2. ทดสอบการต้านทานแรงฉีกขาด โดยเครื่อง Elmendorf Type Tearing Strength Tester
3. ทดสอบการต้านทานแรงดันทะลุ โดยเครื่อง Mullein Type Bursting Strength Tester
4. ทดสอบความขาวสว่างและทึบแสง โดยเครื่อง Photovolt Type Reflectometer

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาบกล้วยสด

จากการหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาบกล้วยสดได้ผลดังนี้

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของกาบกล้วยสด = 3.61%

เปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาบกล้วยสด = 96.39%

เมื่อได้เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้งแล้ว นำมาคำนวณหาปริมาณกาบกล้วยที่ต้องใช้เมื่อต้องการกระดาษหนัก 100 กรัม ซึ่งคำนวณดังนี้

จากเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง 3.61 หมายความว่า น้ำหนักแห้งของกาบกล้วยเท่ากับ 3.61 กรัม จากน้ำหนักสดของกาบกล้วย 100 กรัม

ดังนั้นถ้าต้องการน้ำหนักแห้งของกาบกล้วยเท่ากับ 100 กรัม จะต้องใช้น้ำหนักสดของกาบกล้วยเท่ากับ (100 x 100) / 3.61 = 2770.08 กรัม

จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งมีค่าน้อยกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาก ซึ่งหมายความว่ากาบกล้วยสดมีน้ำอยู่เป็นปริมาณมาก ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการต้มเยื่อต้องลบปริมาณน้ำที่มีอยู่ในกาบกล้วยออกเป็นปริมาณมาก ซึ่งอาจทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ในการต้มเยื่อไม่ท่วมกาบกล้วย ทำให้เยื่อสัมผัสสารเคมีไม่ทั่วถึงกัน

4.2 การหาสภาวะในการต้มเยื่อสำหรับกาบกล้วยสด

ตัวแปรควบคุม :
1. ชนิดของกาบกล้วย (จากสิ่งแวดล้อมเดียวกัน)
2. ขนาดของกาบกล้วย

ตัวแปรต้น :
1. เวลาในการต้มเยื่อ
2. ความเข้มข้นของ KOH ที่ใช้ในการต้มเยื่อ
3. เวลาในการตีเยื่อ

ตัวแปรตาม :
1. เวลาและความเข้มข้นของ KOH ที่ใช้ในการต้มเยื่อสามารถทำให้เยื่อมีความเปื่อยมากพอสำหรับนำเข้าเครื่องตีเยื่อได้ และได้ค่า Kappa No. อยู่ในช่วงที่ต้องการ
2. เยื่อที่ได้มีความเหมาะสมในการทำ Handmade Paper คือมี

ลักษณะไม่ละเอียดจนเกินไป และกระดาษที่ได้มีความทนทาน

สำหรับการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อนั้น ได้ทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต้น 3 ตัว สำหรับกาบกล้วยคือ Sample No. BN 001 – BN 003

ตารางที่ 4.1 สภาวะในการต้มเยื่อสำหรับกาบกล้วยสด

Sample No.	Condition					Time to beat (min)	Kappa No.	% Yield	หมายเหตุ
	% KOH	Liqour ratio	Temp.	Time to temp. (min)	Time at temp. (hr.)				
BN 001	10	1 : 50	100	15	3	5	-	-	-เยื่อที่ได้มีลักษณะเปื่อยน้อยมาก เมื่อนำไปเข้าเครื่องตีเยื่อเยื่อจึงไม่ขาดเท่าที่ควร
BN 002	10	1 : 50	100	15	5	5	-	-	-เยื่อที่ได้มีลักษณะเปื่อยน้อยมาก เมื่อนำไปเข้าเครื่องตีเยื่อเยื่อจึงไม่ขาดเท่าที่ควร
BN 003	20	1 : 50	100	15	3	5	-	-	-เยื่อที่ได้มีลักษณะเปื่อยน้อยมาก เมื่อนำไปเข้าเครื่องตีเยื่อเยื่อจึงไม่ขาดเท่าที่ควร

จากตัวอย่าง BN 001 – BN 003 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ KOH ต้มกาบกล้วย ที่ความเข้มข้น 10 % และใช้เวลาในการต้ม 3 ชั่วโมง และ 5 ชั่วโมง เมื่อนำเข้าเครื่องตีเยื่อไม่สามารถตีเยื่อให้ขาดได้ จึงเพิ่มความเข้มข้นของ KOH เป็น 20 % และใช้เวลาในการต้ม 3 ชั่วโมง แต่เยื่อที่ได้ก็ยังไม่สามารถตีให้ขาดได้เมื่อนำเข้าเครื่องตีเยื่อ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากเยื่อโดยส่วนใหญ่ยังมีลักษณะเป็นเส้นใยที่มีความเหนียว ถ้าในสภาวะต่อไปจะทำการเพิ่มความเข้มข้นของ KOH คาดว่าจะต้องใช้ความเข้มข้นในปริมาณที่สูงมากในการทำให้เยื่อสามารถถูกตีให้ขาดได้ ซึ่งเป็นการใช้ความเข้มข้นของสารเคมีมากเกินความจำเป็น และถ้าจะทำการลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการต้มจะทำให้ปริมาณน้ำไม่ท่วมพอดีกับปริมาณเยื่อที่ทำการต้ม อาจทำให้ให้เยื่อสัมผัสสารเคมีไม่ทั่วถึงกัน

การใช้กาบกล้วยสดผลิตกระดาษจะต้องใช้ความเข้มข้นของ KOH ในการต้มสูงมากเพื่อให้เยื่อสามารถถูกตีด้วยเครื่องตีเยื่อให้ขาดได้ และมีปัญหาในการจัดเก็บ เนื่องจากกาบกล้วยสดเกิดการเน่าเสียได้ง่ายจึงต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเพื่อชะลอการเน่าเสีย จึงสรุปได้ว่ากาบกล้วยสดไม่เหมาะสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษทำมือ ดั้งนั้นในการดำเนินการวิจัยต่อไปจึงทดลองใช้กาบกล้วยแห้งเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษ

4.3 การหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาบกล้วยแห้ง

จากระเบียบวิธีวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้ว ในขั้นตอนของการหาเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกาบกล้วยแห้งได้ผลการทดลองดังนี้

เปอร์เซ็นต์ น้ำหนักแห้ง = 94.14

เปอร์เซ็นต์ความชื้น = 5.86

จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่า ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งมีค่ามากกว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นอยู่มาก ซึ่งหมายความว่า กาบกล้วยแห้งมีน้ำอยู่เป็นปริมาณน้อย ดังนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในการต้มเยื่อลบปริมาณน้ำที่มีอยู่ในกาบกล้วยแห้งออกในปริมาณน้อย จึงทำให้สามารถเติมน้ำให้ท่วมเยื่อได้

เนื่องกาบกล้วยแห้งมีความชื้นต่ำ จึงไม่มีปัญหาในการเก็บรักษาเมื่อต้องเก็บไว้เป็นเวลานาน แต่ต้องทำการเก็บรักษาไว้ในภาชนะปิดเพื่อรักษาให้ความชื้นของกาบกล้วยคงที่

4.4 สภาวะในการต้มเยื่อสำหรับกาบกล้วยแห้ง

ตัวแปรควบคุม :
1. ชนิดของกาบกล้วยแห้ง (จากสิ่งแวดล้อมเดียวกัน)
2. ขนาดของกาบกล้วยแห้ง

ตัวแปรต้น :
1. เวลาในการต้มเยื่อ
2. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการต้มเยื่อ
3. ความเข้มข้นของ KOH ที่ใช้ในการต้มเยื่อ
4. เวลาในการตีเยื่อ

ตัวแปรตาม : 1. เวลาและความเข้มข้นของ KOH ที่ใช้ในการต้มเยื่อสามารถทำให้เยื่อมีความเปื่อยมากพอสำหรับนำเข้าเครื่องตีเยื่อได้ และได้ค่า Kappa No. อยู่ในช่วงที่ต้องการ คือ 25 - 30

2. เยื่อที่ได้มีความเหมาะสมในการทำ Handmade Paper คือมีลักษณะไม่ละเอียดจนเกินไป และกระดาษที่ได้มีความทนทาน มีพื้นผิวที่สวยงาม

สำหรับการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อนั้น ได้ทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต้น 4 ตัว สำหรับกาบกล้วยแห้ง คือ Sample No. BN 004 - BN 023 โดยการกำหนดค่าเริ่มต้นนั้น อ้างอิงมาจากการผลิตกระดาษจากใบสับปะรด ซึ่งดำเนินการดังนี้

ตารางที่ 4.2 สภาวะในการต้มเยื่อสำหรับกาบกล้วยแห้ง

Sample No.	Condition					Time to beat (min)	Kappa No.	% Yield	หมายเหตุ
	% KOH	Liqour ratio	Temp.	Time to temp. (min)	Time at temp. (hr.)				
BN 004	14	1 : 50	100	12	3	5	-	-	-เมื่อนำเข้าเครื่องตีเยื่อไม่สามารถตีเยื่อให้ขาดได้
BN 005	14	1 : 40	100	10	3	5	-	-	-เมื่อนำเข้าเครื่องตีเยื่อไม่สามารถตีเยื่อให้ขาดได้
BN 006	14	1 : 30	100	9	3	5	-	-	-เมื่อนำเข้าเครื่องตีเยื่อไม่สามารถตีเยื่อให้ขาดได้
BN 007	14	1 : 25	100	7	3	5	-	-	-เมื่อนำเข้าเครื่องตีเยื่อไม่สามารถตีเยื่อให้ขาดได้

Sample No.	Condition					Time to beat (min)	Kappa No.	% Yield	หมายเหตุ
	% KOH	Liqour ratio	Temp. (°C)	Time to temp. (min)	Time at temp. (hr.)				
BN 008	16	1 : 50	100	9	3	5	-	-	-เมื่อนำเข้าเครื่องตีเยื่อไม่สามารถตีเยื่อให้ขาดได้
BN 009	16	1 : 40	100	10	3	5	-	-	-เมื่อนำเข้าเครื่องตีเยื่อไม่สามารถตีเยื่อให้ขาดได้
BN 010	16	1 : 30	100	10	3	5	58.33	48.53	-เมื่อนำเข้าเครื่องตีเยื่อสามารถตีเยื่อให้ขาดได้ แต่เมื่อนำมาหาค่า Kappa No. ค่าที่ได้มีค่าสูงกว่าช่วงที่ต้องการมาก
BN 011	16	1 : 30 แช่ 17 ชม.	100	10	3	5	51.00	46.92	-จากการแช่กาบกล้วยแห้งก่อนการต้มทำให้ต้มได้เปื่อยมากขึ้น แต่ค่า Kappa No.ที่ได้ยังมีค่าที่สูง
BN 012	16	1 : 25	100	10	3	5	58.06	48.13	-เมื่อลดปริมาณน้ำในการต้มลงเป็น 1 : 25 ทำให้ค่า Kappa No. ลดลง แต่ยังเป็นค่าที่สูงกว่าช่วงที่ต้องการมาก

Sample No.	Condition					Time to beat (min)	Kappa No.	% Yield	หมายเหตุ
	% KOH	Liqour ratio	Temp. (°C)	Time to temp. (min)	Time at temp. (hr.)				
BN 013	16	1 : 25 แช่ 17 ชม.	100	10	3	5	50.71	46.39	-เมื่อแช่กาบกล้วยแห้งก่อนต้ม ทำให้ค่า Kappa No. ที่ได้ลดลงเพียงเล็กน้อย และเป็นค่าที่สูงมาก
BN 014	18	1 : 25	100	10	3	5	63.46	50.45	-เกิดความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการหา Kappa No. จึงทดลองที่สภาวะเดิมอีกครั้ง
BN 015	18	1 : 25	100	10	3	5	51.26	46.92	-เมื่อทำการต้มที่สภาวะเดิมอีกครั้งทำให้ได้ค่า Kappa No. ลดลง แต่ยังใช้ไม่ได้เนื่องจากมีค่ามากกว่าช่วงที่ต้องการ
BN 016	18	1 : 25 แช่ 17 ชม.	100	10	3	5	44.67	45.07	-เมื่อแช่กาบกล้วยแห้งก่อนต้มทำให้ค่า Kappa No. ที่ได้ลดลงและมีค่าใกล้เคียงกับช่วงที่ต้องการมากขึ้น ในสภาวะต่อไปจึงเพิ่มความเข้มข้นของ KOH เพื่อให้ค่า Kappa No. ลดลงอีก

Sample No.	Condition					Time to beat (min)	Kappa No.	% Yield	หมายเหตุ
	% KOH	Liqour ratio	Temp. (°C)	Time to temp. (min)	Time at temp. (hr.)				
BN 017	20	1 : 25	100	10	3	5	41.31	44.97	- ค่า Kappa number สูงมากกว่าช่วงที่ต้องการ
BN 018	20	1 : 25	100	10	3	5	40.89	44.68	- ค่า Kappa number สูงมากกว่าช่วงที่ต้องการ
BN 019	20	1 : 25 แช่ 17 ชม.	100	10	3	5	34.87	42.04	- ค่า Kappa number สูงมากกว่าช่วงที่ต้องการ
BN 020	20	1 : 25 แช่ 17 ชม.	100	10	3	5	34.22	43.11	- ค่า Kappa number สูงมากกว่าช่วงที่ต้องการ
BN 021	22	1 : 25 แช่ 17 ชม.	100	10	3	5	29.37	41.51	- ค่า Kappa No. อยู่ในช่วงที่ต้องการ จึงใช้สภาวะนี้ในการต้มกาบกล้วยแห้ง
BN 022	22	1 : 25 แช่ 17 ชม.	100	10	3	5	29.44	41.74	- ค่า Kappa No. อยู่ในช่วงที่ต้องการ จึงใช้สภาวะนี้ในการต้มกาบกล้วยแห้ง
BN 023	22	1 : 25 แช่ 17 ชม.	100	10	3	5	29.64	41.62	- ค่า Kappa No. อยู่ในช่วงที่ต้องการ จึงใช้สภาวะนี้ในการต้มกาบกล้วยแห้ง

จากผลการวิจัย พบว่า

ตัวอย่าง BN 004 – BN 009 เมื่อทำการต้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และทำการตีเป็นเวลา 5 นาที ไม่สามารถตีเยื่อให้ขาดได้เนื่องจากเยื่อยังมีความเหนียว และเยื่อไปพันกับมอเตอร์ของเครื่องตีอยู่เป็นจำนวนมากทำให้เยื่อบางส่วนยังมีลักษณะเป็นเส้นอยู่ สำหรับตัวอย่าง

ตัวอย่าง BN 010 – BN 020 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ KOH ต้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และตีเยื่อเป็นเวลา 5 นาที จะเห็นว่าเมื่อนำเยื่อเข้าเครื่องตีเยื่อ สามารถตีเยื่อให้ขาดได้ แต่เมื่อนำมาหาค่า Kappa number พบว่ายังมีค่าสูงกว่าช่วงที่เหมาะสม จึงทำการเพิ่มความเข้มข้นของ KOH ให้มากขึ้นในตัวอย่างต่อไป

ตัวอย่าง BN 021 – BN 023 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ KOH เป็น 22% แช่กาบกล้วยแห้งก่อนต้ม 17 ชั่วโมง ต้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และตีเยื่อเป็นเวลา 5 นาที เยื่อที่ได้มีค่า Kappa number ต่ำลง เท่ากับ 29.49 ซึ่งค่าที่ได้อยู่ในช่วง Kappa number ที่ต้องการ คือ ระหว่าง 25-30

4.5 การหาค่า Kappa Number

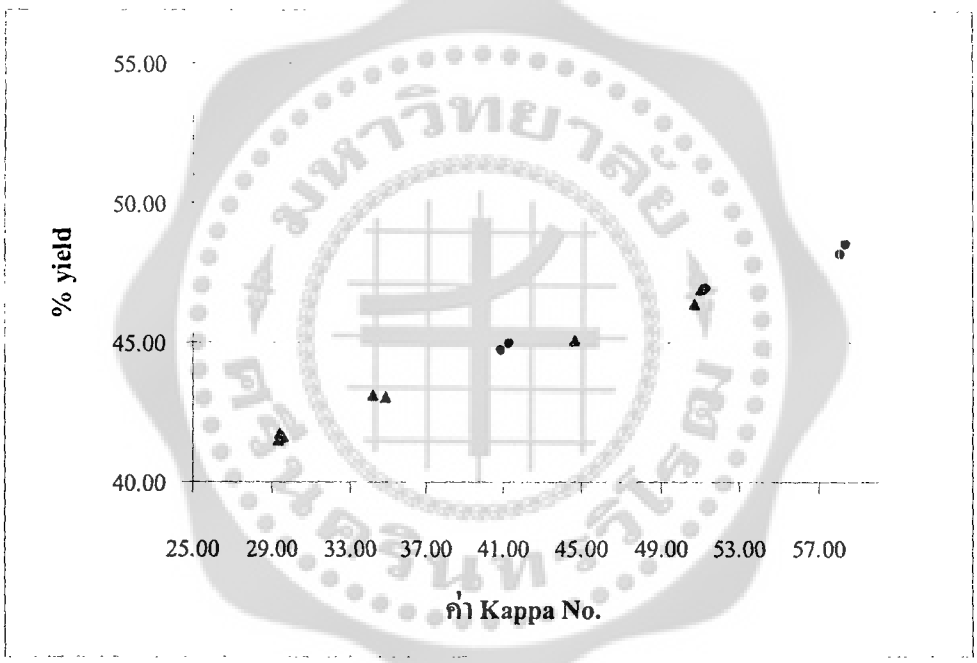
จากการวิเคราะห์ค่า Kappa Number ของกาบกล้วยแห้ง มีค่าแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่า Kappa Number

ตัวอย่างที่	Kappa. No.	%Yeild
BN 010	58.33	-
BN 011	51.00	-
BN 012	58.06	48.53
BN 013	50.72	46.39
BN 014	63.46	50.45
BN 015	51.26	46.92
BN 016	44.68	45.07
BN 017	41.32	44.97
BN 018	40.90	44.68
BN 019	34.87	42.04
BN 020	34.22	43.11
BN 021	29.38	41.51
BN 022	29.44	41.74
BN 023	29.65	41.62

จากการหาค่า Kappa Number จะเห็นว่าในการต้มเยื่อที่ตัวอย่าง BN 010 – BN 020 ได้ค่า Kappa Number สูงกว่าค่า Kappa Number ในช่วงที่ต้องการมากเนื่องจากปริมาณลิกนินในกาบกล้วยแห้งถูกสกัดออกมาได้น้อย แต่เมื่อต้มเยื่อที่ตัวอย่าง BN 021 – BN 023 โดยใช้สารเคมี KOH มีความเข้มข้นสูงขึ้น จะได้ค่า Kappa Number อยู่ในช่วงที่ต้องการ คือ ช่วง 25 – 30 ซึ่งแสดงว่าปริมาณลิกนินในกาบกล้วยแห้งถูกสกัดออกมาได้มาก

จากการหาค่า Kappa Number จะสรุปได้ว่าที่ความเข้มข้นของ KOH 22 % จะได้ค่า Kappa Number เท่ากับ 29.49 แสดงว่าลิกนินเหลืออยู่ในเยื่อเป็นปริมาณน้อย จึงทำให้ค่า Kappa Number น้อยลงด้วย และเป็นค่าที่อยู่ในช่วงค่า Kappa Number ที่ต้องการระหว่าง 25-30



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่า Kappa number และเปอร์เซ็นต์ Yield ของกาบกล้วยแห้ง

▲ คือ กาบกล้วยแห้งที่แช่ KOH ก่อนต้มเป็นเวลา 17 ชั่วโมง

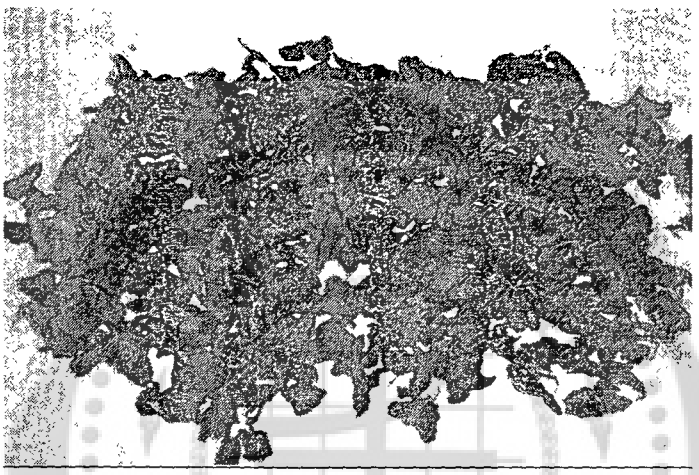
● คือ กาบกล้วยแห้งที่ไม่ได้แช่ KOH ก่อนต้ม

จากรูปที่ 4.1 พบว่าจะเห็นว่า ค่า Kappa number และเปอร์เซ็นต์ Yield ของกาบกล้วยแห้งที่แช่ KOH ก่อนต้มเป็นเวลา 17 ชั่วโมง และกาบกล้วยสด มีความสัมพันธ์ในทางเดียวกัน คือเมื่อมีการใช้ KOH มากขึ้น จะทำให้ค่า Kappa number และเปอร์เซ็นต์เยื่อที่ได้ลดลง

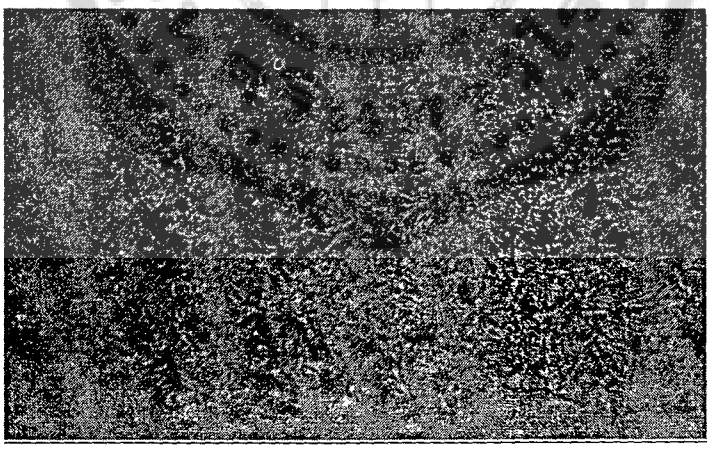
จากการใช้กาบกล้วยแห้งเป็นวัตถุดิบในการทำกระดาษ สภาวะในการต้มเยื่อที่เหมาะสมคือ ใช้ความเข้มข้นของ KOH เท่ากับ 22 % และแช่กาบกล้วยแห้งก่อนต้ม 17 ชั่วโมง ต้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และตีเยื่อเป็นเวลา 5 นาที ซึ่งเยื่อที่ได้จากการต้มที่สภาวะนี้มีลักษณะเปื่อย สามารถตีให้เยื่อให้โดยไม่พันกับมอเตอร์ของเครื่องตีเยื่อ และมีค่า Kappa number จะได้ค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

4.6 การฟอกด้วยวิธีการ CEDED

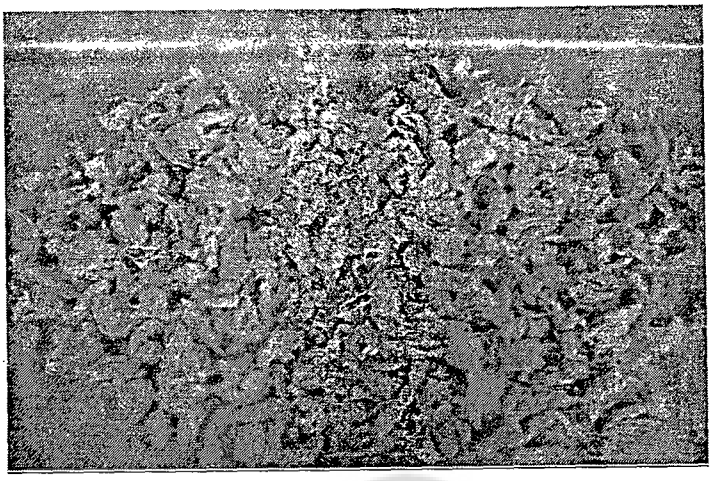
ในการฟอกด้วยวิธีการ CEDED จะทำให้เยื่อมีความขาวมากขึ้น แสดงดังรูป 4.2-4.6



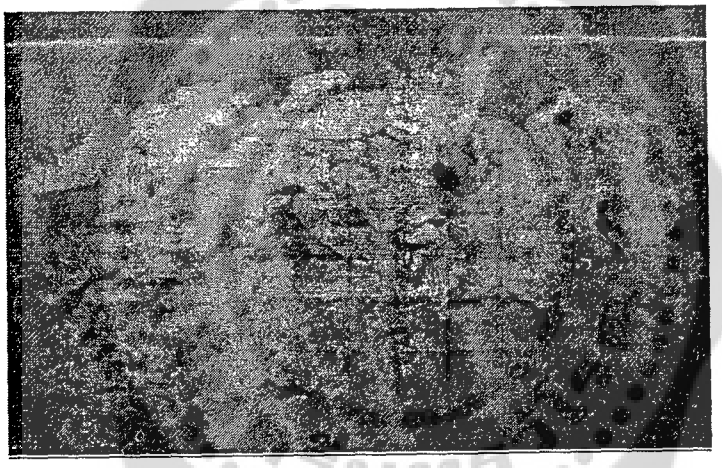
รูปที่ 4.2 เยื่อที่ยังไม่ได้ผ่านการฟอก



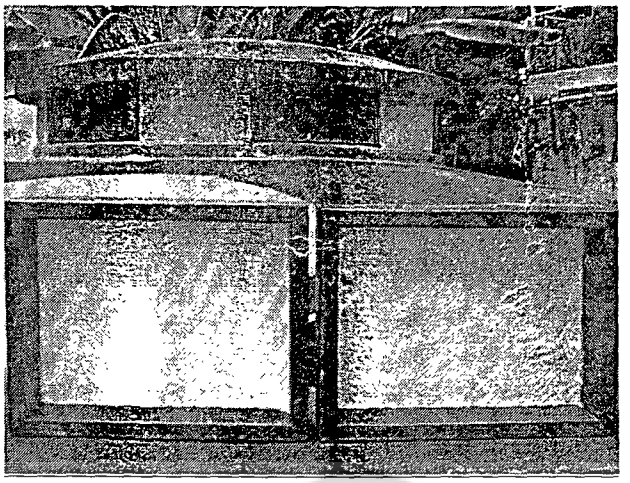
รูปที่ 4.3 เยื่อผ่านการฟอกด้วยวิธี C



รูปที่ 4.4 เยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยวิธี CE



รูปที่ 4.5 เยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยวิธี CED



รูปที่ 4.6 เยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยวิธี CEDED ซึ่งมีค่า Kappa Number ต่างกัน
โดย ซ้าย : ความเข้มข้นของ KOH 22 %
ขวา : ความเข้มข้นของ KOH 20 %

จากรูปจะเห็นได้ว่าเยื่อที่ผ่านการฟอกด้วยวิธี CEDED จะมีสีจางลงและมีความขาวสว่างมากขึ้น ซึ่งวิธีการนี้เป็นการเพิ่มคุณค่าให้เยื่อกระดาษ ทำให้กระดาษที่ผ่านการฟอกมีความขาว น่าใช้ และเพิ่มความสวยงามให้กับเยื่อกระดาษ

4.7 การหาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำต้มเยื่อ

ปริมาณ KOH ที่อยู่ในน้ำต้มเยื่อเริ่มต้นคือ 0.19 mol / l
ปริมาณ KOH ที่เหลือทั้งหมด = 0.03 mol / l
ดังนั้น % KOH ที่เหลือคือ (0.03/0.19) x 100 = 15.79 %

จากผลการทดลองเห็นได้ว่ามีปริมาณ KOH ที่เหลืออยู่ในน้ำต้มเยื่อมี 15.79 %จากปริมาณเดิม การการต้มเยื่อที่ 22% KOH จะมีปริมาณ KOH เหลืออยู่ 1.140 กรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อคิดเทียบกับสาร KOH ที่ใช้ตอนเริ่มต้นแล้วมีค่าเท่ากับ 15.79% ซึ่งสาร KOH ที่เหลือเป็นสารเคมีที่มากเกินพอ ซึ่งจะนำค่าไปคำนวณหาปริมาณสาร KOH ที่จะมาเติมเพื่อนำไปใช้ในการต้มครั้งต่อไป หรือกรณีที่จะนำไปใช้ในทางเกษตรกรรมก็สามารถนำไปใช้ได้โดยปรับค่า pH ให้มีค่าเป็นกลาง

4.8 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของแผ่นกระดาษ

จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษจากต้นกล้วยในด้านต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางกายภาพของกระดาษจากต้นกล้วยเทียบกับกระดาษชนิดอื่น

สมบัติทางกายภาพ	กระดาษจากต้นกล้วย	กระดาษจากใบสับปะรด	กระดาษสา
น้ำหนักมาตรฐาน, g/m^2	51.80	70.91	80.0
ความหนา, mm	0.164	0.176	0.100
ดัชนีความต้านแรงดึง (Tensile Index), kN. m/kg	64.86	27.50	35.8
ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ (Burst Index), kPa. m^2/g	2.76	1.78	3.20
ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด (Tearing Index), mN. m^2/g	15.22	13.27	24.3

จากตารางที่ 4.4 จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษจากต้นกล้วย มีน้ำหนักมาตรฐาน 51.80 g/m^2 ความหนา 0.164 mm ค่าดัชนีความต้านแรงดึง (Tensile Index) เท่ากับ 64.86 kN.m/kg ซึ่งสูงกว่ากระดาษจากใบสับปะรด และกระดาษสา ดัชนีดัชนีความต้านแรงดันทะลุ (Burst Index) มีค่า 2.76 kPa.m^2/g ซึ่งสูงกว่ากระดาษกระดาษจากใบสับปะรด แต่ต่ำกว่ากระดาษสา และดัชนีความต้านแรงฉีกขาด (Tearing Index) มีค่า 15.22 mN. m^2/g ซึ่งสูงกว่ากระดาษกระดาษจากใบสับปะรด แต่ต่ำกว่ากระดาษสา

ภาคผนวก ก

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัย สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 กาบกล้วยสดไม่เหมาะที่จะใช้เป็นวตถุดิบในการผลิตกระดาษทำมือ เนื่องจากใช้ความเข้มข้นของ KOH ในการต้มสูงมากเพื่อให้เยื่อสามารถถูกตีด้วยเครื่องตีเยื่อให้ขาดได้ และมีปัญหาในการจัดเก็บ เนื่องจากกาบกล้วยสดเกิดการเน่าเสียได้ง่ายจึงต้องเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำเพื่อชะลอการเน่าเสีย

5.1.2 กาบกล้วยแห้งเหมาะที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษทำมือ สภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อ ความเข้มข้นของ KOH เท่ากับ 22 % แช่กาบกล้วยแห้งก่อนต้ม 17 ชั่วโมง ต้มเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และตีเยื่อเป็นเวลา 5 นาที เยื่อที่ได้จากการต้มที่สภาวะนี้มีลักษณะเปื่อย สามารถตีเยื่อให้ขาดได้ด้วยเครื่องตีเยื่อได้โดยไม่พันกับมอเตอร์ของเครื่องตีเยื่อ และมีค่า Kappa number อยู่ในช่วงที่ต้องการระหว่าง 25-30

5.1.3 การฟอกเยื่อด้วยวิธี CEDED สามารถทำให้เยื่อมีสีจางลงและมีความขาวสว่างมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าให้เยื่อกระดาษ มีความขาว น่าใช้ และเพิ่มความสวยงามให้กับเยื่อกระดาษ

5.1.4 สมบัติทางกายภาพของกระดาษจากต้นกล้วย มีน้ำหนักมาตรฐาน 51.80 g/m^2 ความหนา 0.164 mm ค่าดัชนีความต้านแรงดึง (Tensile Index) เท่ากับ 64.86 kN.m/kg ดัชนีดัชนีความต้านแรงดันทะลุ (Burst Index) มีค่า 2.76 $kPa.m^2/g$ และดัชนีความต้านแรงฉีกขาด (Tearing Index) มีค่า 15.22 $mN. m^2/g$

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาการเติมเส้นใยชนิดอื่นลงไปผสมกับเยื่อกาบกล้วยแห้ง เพื่อเพิ่มสมบัติทางกายภาพของกระดาษให้ดีขึ้น

5.2.2 ควรศึกษาการนำสารละลาย KOH หลังผ่านการต้มเยื่อ กลับไปใช้ในการต้มเยื่อใหม่อีกครั้ง

บรรณานุกรม

1. Grace, T. M. and Malcom, E. W., 1990, **Pulp and Paper Manufacture** : Volume 5, The Joint Text book Committee of the paper Industry
2. Scott, W. E., 1991, **Properties of Paper : An Introduction** , Stanley Trosset, USA
3. Grace, T. M. and Malcom, E. W., 1991, **TAPPI test Method** : Volume 1, Fibrous Materials and Pulp Testing T1 – T270 , Paper and Paperboard Testing T400 – T550, L & W Inc., USA
4. รมณีย์ หวังดีธรรม, 2546, โครงการปรับปรุงคุณภาพวัสดุเส้นใยเพื่องานหัตถกรรม, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. กรุงเทพฯ.
5. นัยนา นิยมวัน, 2538, การปรับปรุงกรรมวิธีการผลิตกระดาษ, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
6. นักวิจัยระดับปฏิบัติการ รุ่นที่ 4, 2537, การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษจากใบสับปะรด, สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
7. วีระศักดิ์ ศรีอ่อน, 2538, การทำกระดาษจากฟางข้าว, สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

ภาคผนวก ก

ตาราง ก1 ตัวอย่างการหาความชื้นและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของกาบกล้วยสด

ถ้วยที่	น้ำหนักถ้วย	น้ำหนักกาบกล้วยสด + ถ้วย	น้ำหนักกาบกล้วยแห้ง + ถ้วย	น้ำหนักกาบกล้วยสด	น้ำหนักกาบกล้วยแห้ง	% dry weight	% ความชื้น
1	76.43	86.17	76.76	9.74	0.33	3.39	96.61
2	78.04	87.56	78.40	9.52	0.42	4.41	95.59
3	74.63	87.47	75.02	12.84	0.39	3.04	96.96
เฉลี่ย						3.61	96.39

ตัวอย่างวิธีการคำนวณ % น้ำหนักแห้ง และ % ความชื้น

ถ้วยที่ 1 : % dry weight = (0.33 x 100) / 9.74 = 3.39

% ความชื้น = [(9.74 – 0.33) / 9.74] x 100 = 96.39

เมื่อได้เปอร์เซ็นต์ dry weight แล้ว นำมาคำนวณหาปริมาณกาบกล้วยแห้งที่ต้องใช้เมื่อต้องการกระดาษหนัก 500 กรัม ซึ่งคำนวณดังนี้

จากเปอร์เซ็นต์ dry weight 94.14 หมายความว่า น้ำหนักแห้งของกาบกล้วยแห้งเท่ากับ 94.14 กรัม จากน้ำหนักสดของกาบกล้วยแห้ง 100 กรัม

ดังนั้นถ้าน้ำหนักแห้งของกาบกล้วยแห้งเท่ากับ 500 กรัม จะต้องใช้น้ำหนักสดของกาบกล้วยแห้งเท่ากับ (500 x 100) / 94.14 = 531.12 กรัม

ตาราง ก2 ตัวอย่างการหาความชื้นและเปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้งของกาบกล้วยแห้ง

ถ้วยที่	น้ำหนักถ้วย	น้ำหนักกาบกล้วยแห้งสด + ถ้วย	น้ำหนักกาบกล้วยแห้งแห้ง + ถ้วย	น้ำหนักกาบกล้วยแห้งสด	น้ำหนักกาบกล้วยแห้งแห้ง	% dry weight	% ความชื้น
1	76.44	86.30	85.83	9.86	9.39	95.23	4.77
2	78.03	87.76	87.12	9.73	9.09	93.42	6.58
3	74.61	84.89	84.25	10.28	9.64	93.77	6.23
เฉลี่ย						94.14	5.86

ตัวอย่างวิธีการคำนวณ % น้ำหนักแห้ง และ % ความชื้น

<u>ถ้วยที่ 1</u> : % dry weight = (9.39 x 100) / 9.86 = 95.23

% ความชื้น = [(9.86 – 9.39) / 9.86] x 100 = 4.77

ตารางที่ ก3 ค่า Kappa Number

	T	b	c	a	f	d	m	Kappa. No.
blank	25.00	49.95						
BN 010	23.60		21.70	56.50	1.02	1.01	1.00	58.33
BN 011	24.00		24.80	50.30	1.01	1.00	1.00	51.00
BN 012	22.50		22.00	55.90	1.03	1.01	1.00	58.47
BN 013	23.00		25.21	49.48	1.03	1.00	1.00	50.72
BN 014	23.90		19.40	61.10	1.01	1.02	1.00	63.46
BN 015	22.90		25.00	49.90	1.03	1.00	1.00	51.26
BN 016	23.40		27.80	44.30	1.02	0.99	1.00	44.68
BN 017	24.20		29.15	41.60	1.01	0.98	1.00	41.32
BN 018	23.90		29.40	41.10	1.01	0.98	1.00	40.90
BN 019	23.90		32.21	35.48	1.01	0.97	1.00	34.87
BN 020	24.00		32.50	34.90	1.01	0.97	1.00	34.22
BN 021	23.50		34.91	30.08	1.02	0.96	1.00	29.38
BN 022	23.90		34.80	30.30	1.01	0.96	1.00	29.44
BN 023	23.10		34.85	30.20	1.02	0.96	1.00	29.65

การคำนวณหาค่า Kappa Number

<u>**พิจารณาตัวอย่างการคำนวณจาก BN 021 , BN 022 , BN 023**</u>

- **% น้ำหนักแห้ง และ % ความชื้นของเยื่อหลังผ่านการตีเยื่อ**

จากการทำตามขั้นตอนการหา % น้ำหนักแห้ง และ % ความชื้น

สำหรับ BN 021 เยื่อหลังจากผ่านการตีมีค่า % น้ำหนักแห้ง = **17.31**

% ความชื้น = 100 – 17.31 = 82.69

สำหรับ BN 022 เยื่อหลังจากผ่านการตีมีค่า % น้ำหนักแห้ง = **16.67**

% ความชื้น = 100 – 16.67 = 83.33

สำหรับ BN 023 เยื่อหลังจากผ่านการตีมีค่า % น้ำหนักแห้ง = **17.05**

- **ในการหาค่า Kappa Number จะต้องใช้เยื่อ 1 กรัมแห้ง**

สำหรับ BN 021

จากค่า % น้ำหนักแห้ง = 17.31

จะได้ว่า มีเยื่อแห้ง 17.31 กรัม ในเยื่อสด 100 กรัม

ถ้าต้องการเยื่อแห้ง 1 กรัม จะต้องใช้เยื่อสด = 100 / 17.31

= **5.777 กรัม**

สำหรับ BN 022

จากค่า % น้ำหนักแห้ง = 16.67

จะได้ว่า มีเยื่อแห้ง 16.67 กรัม ในเยื่อสด 100 กรัม

ถ้าต้องการเยื่อแห้ง 1 กรัม จะต้องใช้เยื่อสด = 100 / 16.67

= **5.999 กรัม**

สำหรับ BN 023

จากค่า % น้ำหนักแห้ง = 17.05

จะได้ว่า มีเยื่อแห้ง 17.05 กรัม ในเยื่อสด 100 กรัม

ถ้าต้องการเยื่อแห้ง 1 กรัม จะต้องใช้เยื่อสด = 100 / 17.05

= **5.865 กรัม**

<u>ตัวอย่างการคำนวณ Kappa Number</u>

a = 2(49.94 – 23.10) = 30.20

d = เปิด table โดยใช้ค่าของ a = 0.96

m = 1.0 กรัมแห้ง

f = 1 + 0.013 (25 – 23.10) = 1.00

$$\text{Kappa Number} = \frac{afd}{M}$$

= 29.65

<u>ตัวอย่างการคำนวณการหาปริมาณโพแทสเซียมในน้ำต้มเยื่อ</u>

ในการไตเตรตหาปริมาณโพแทสเซียมที่เหลืออยู่ในน้ำต้มเยื่อ จะใช้

- กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น (N_1) = 0.1 mol / l
- ใช้ปริมาตรของน้ำต้มเยื่อ (V_2) = 1 , 2 , 5 ml
- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (K) มีมวลโมเลกุล = 56 g / mol

<u>พิจารณาที่ BN 021 (ความเข้มข้นของ KOH 22 %)</u>

ตารางที่ ก4 การหาปริมาณ KOH ที่เหลือในน้ำ

V_2 ปริมาตรของน้ำต้มเยื่อ (ml)	V_1 ปริมาตรของ HCl ที่ใช้ในการไตเตรต (ml)	N_2 ความเข้มข้นของ KOH ในน้ำต้มเยื่อ (mol / l)
1.00	0.30	0.03
2.00	0.57	0.03
5.00	1.45	0.03

- ปริมาตรของน้ำต้มเยื่อที่ใช้ในการไตเตรต (V_2) = 1 ml
- จะได้ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ทำการไตเตรต = 0.30 ml

จะได้ว่า $N_2 = (N_1 \times V_1) / V_2$

$= (0.1 \times 0.30) / 1$

$= 0.030$ mol / l

- จะได้ความเข้มข้นของ KOH ในน้ำต้มเยื่อ เท่ากับ 0.030 mol / l

ปริมาณ KOH ที่อยู่ในน้ำต้มเยื่อเริ่มต้นคือ 0.19 mol / l

ปริมาณ KOH ที่เหลือทั้งหมด = 0.03 mol / l

ดังนั้น % KOH ที่เหลือคือ (0.03/0.19) x 100 = 15.79

ตัวอย่างการคำนวณค่า Consistency

6 % consistency, 2 % NaOH, ใช้เวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 70 °C

6 % consistency หมายถึง เยื่อแห้งปริมาณ 6 กรัม เติมน้ำให้ครบ 100 ml

ถ้าเยื่อแห้งปริมาณ 100 กรัม เติมน้ำให้ครบ $\frac{100 \times 100}{6}$

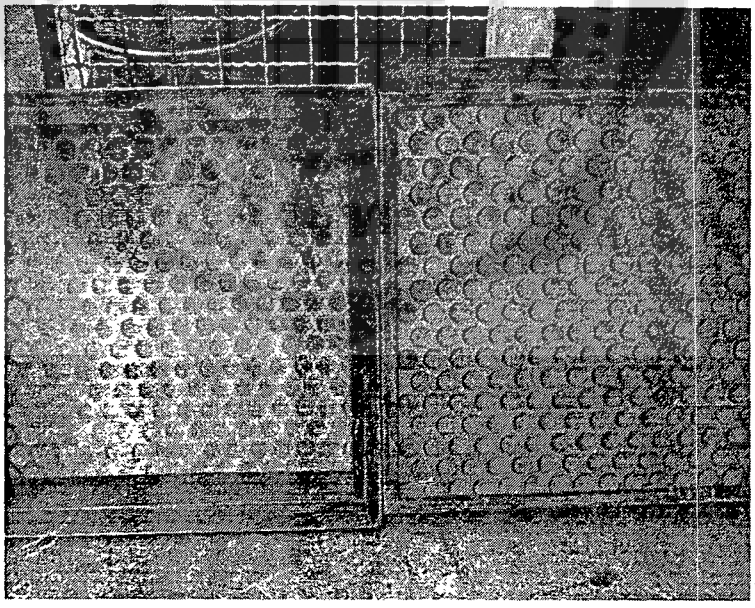
$= 1333.33$ ml

ต้องเติมน้ำปริมาณ = (1333.33 - เยื่อ+ความชื้น - ปริมาณ NaOH)

ภาคผนวก ข

รูปแสดงอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

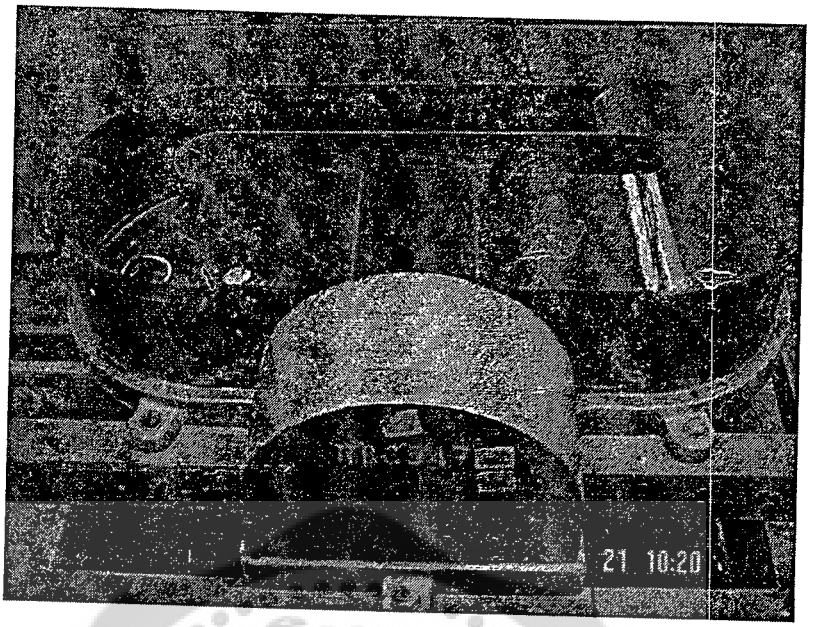
รูปภาคผนวก ข1 ถังต้มแสตนเลสพร้อมฝาปิดสนิท

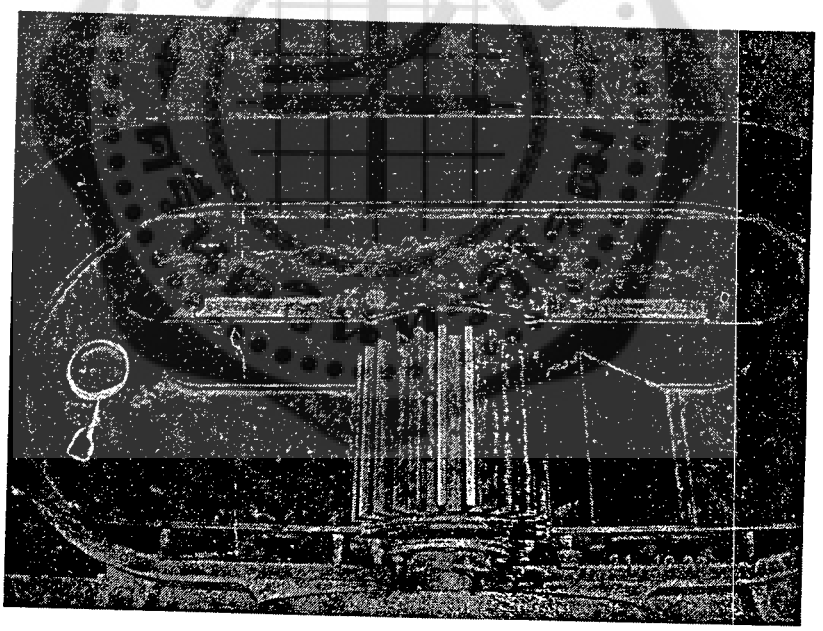


รูปภาคผนวก ข2 ตะแกรงล้างเยื่อ

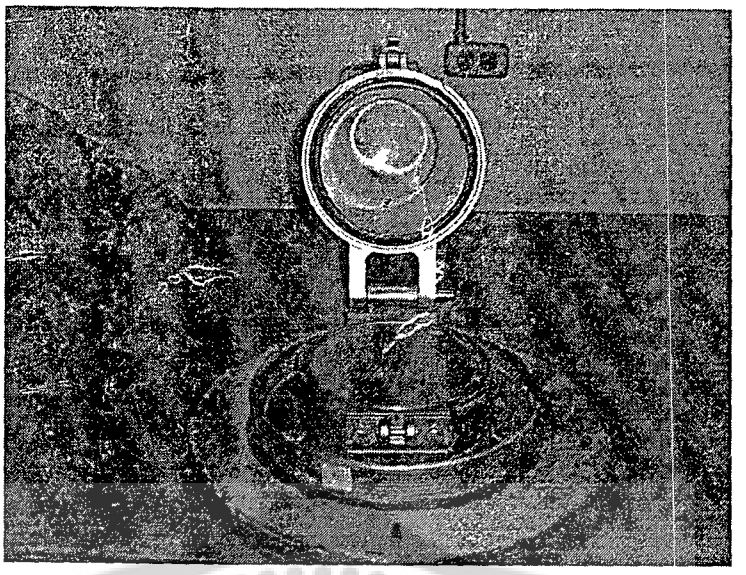
รูปภาคผนวก ข3 ตะแกรงขึ้นแผ่น

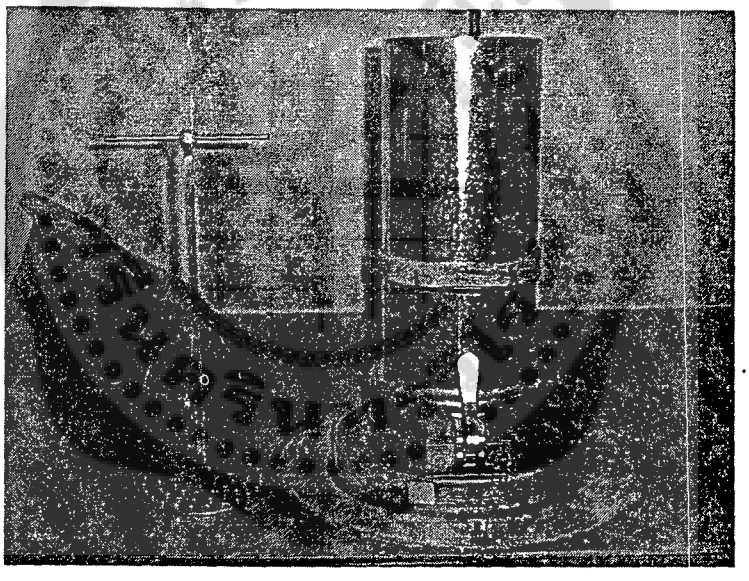
รูปภาคผนวก ข4 อ่างซ้อนเยื่อ



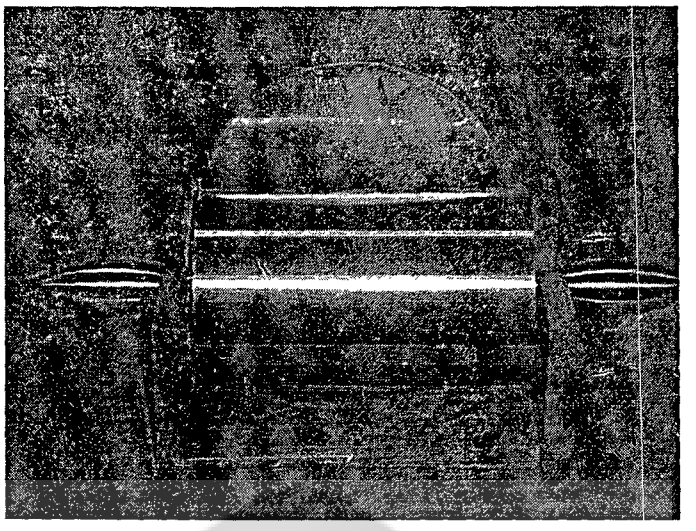


รูปภาคผนวก ข5 เครื่องตีเยื่อ

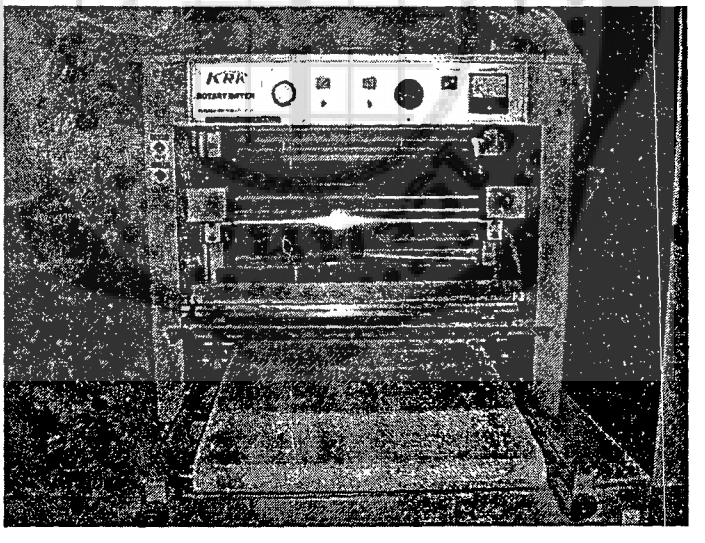




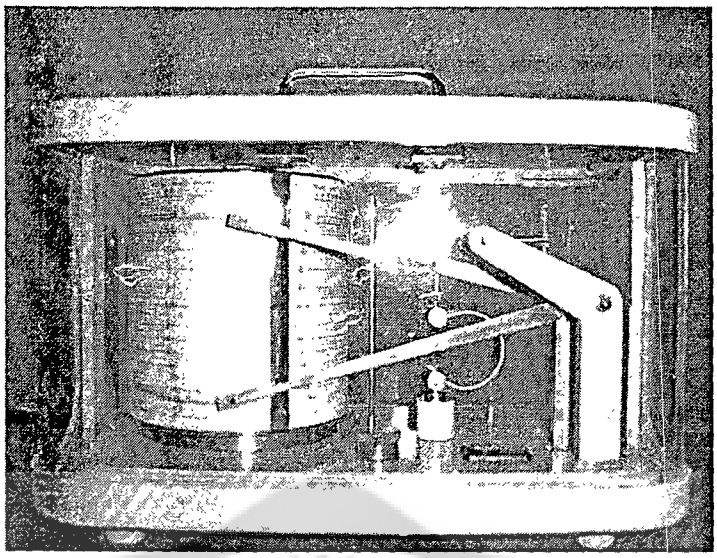
รูปภาคผนวก ข6 เครื่องขึ้นแผ่นทดสอบ



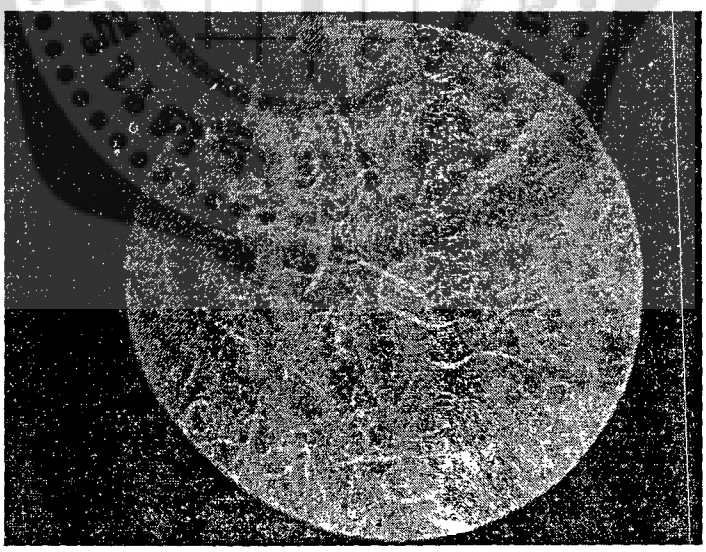
รูปภาคผนวก ข7 ลูกกลิ้งรีดแผ่นทดสอบ



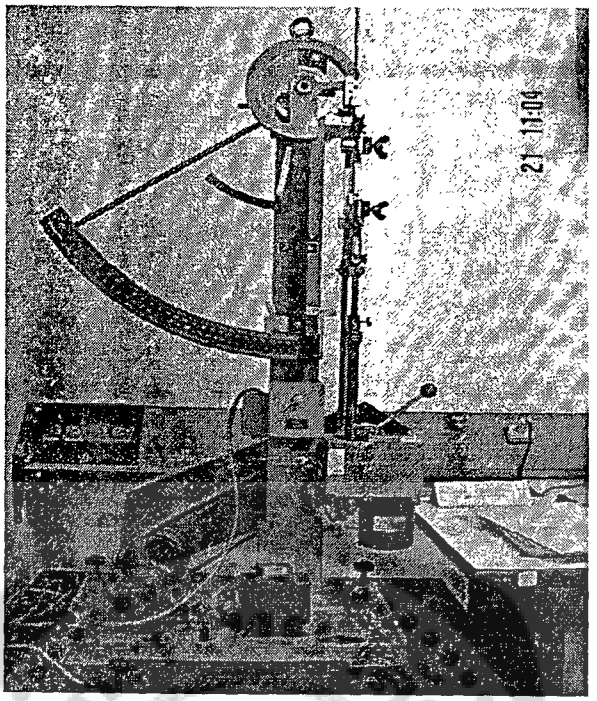
รูปภาคผนวก ข8 เครื่องอบแผ่นทดสอบ(DRYER)



รูปภาคผนวก ข9 เครื่องวัดความชื้นและอุณหภูมิในห้องทดสอบ

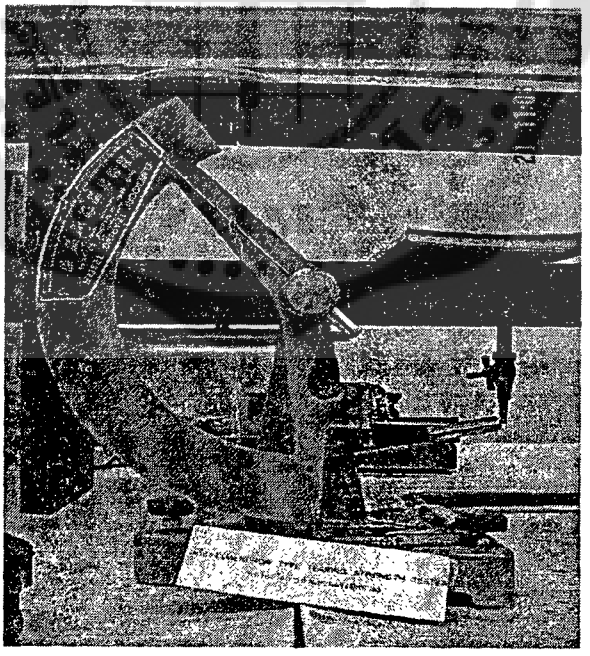


รูปภาคผนวก ข10 ลักษณะของแผ่นทดสอบ



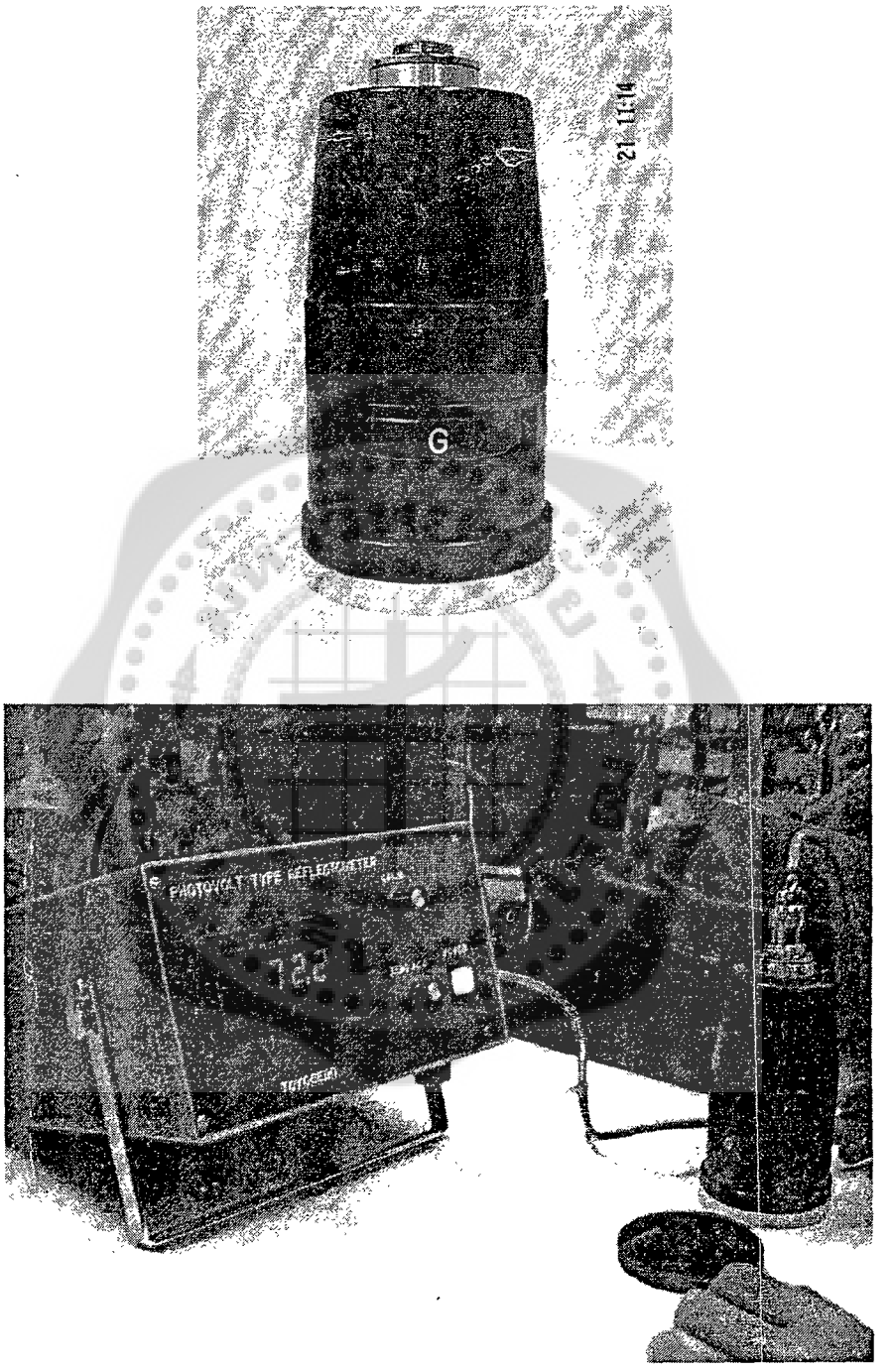
รูปภาคผนวก ข11 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึงขาด

(Schopper Type Paper Tensile Strength Tester)



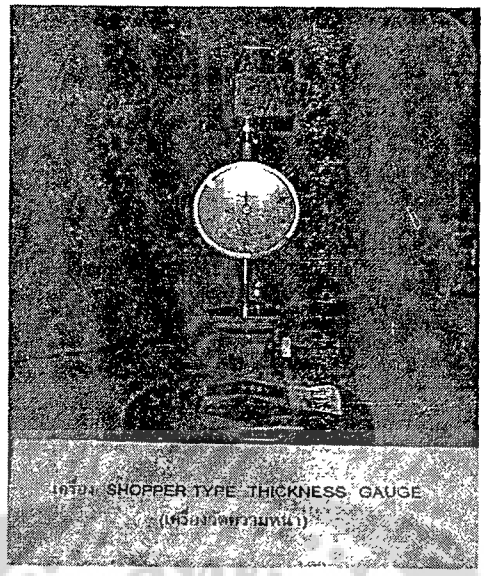
รูปภาคผนวก ข12 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด

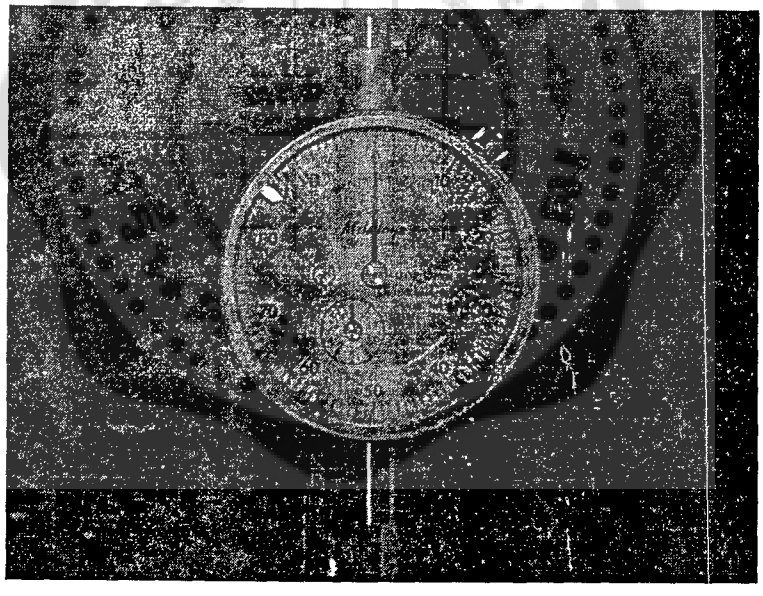
(Elmendorf Type Tearing Strength Tester)



รูปภาคผนวก ข13 เครื่องทดสอบความขาวสว่างและทึบแสง

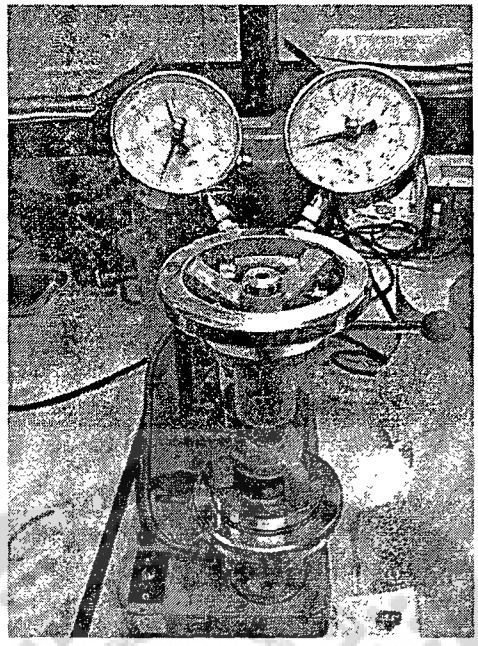
(Photovolt Type Reflectometer)





รูปภาคผนวก ข14 แสดงเครื่องวัดความหนา

(Shopper Type Thickness Gauge)



รูปภาคผนวก ข15 เครื่องวัดการต้านทานแรงดันทะลุ

(Mullein Type Bursting Strength Tester)

ภาคผนวก ค

ตาราง ค.1 ค่า d (Factors d to correct for different percentages of permanganate used)

a	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
30.000	0.958	0.960	0.962	0.964	0.966	0.968	0.970	0.973	0.975	0.977
40.000	0.979	0.981	0.983	0.985	0.987	0.989	0.991	0.994	0.996	0.998
50.000	1.000	1.002	1.004	1.006	1.009	1.011	1.013	1.015	1.017	1.019
60.000	1.022	1.024	1.026	1.028	1.030	1.033	1.035	1.037	1.039	1.042
70.000	1.044									

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล

ชื่อ (ภาษาไทย) นายชยาภาส ทับทอง

ชื่อ (ภาษาอังกฤษ) Mr.CHAYAPHAS THABTHONG

วัน เดือน ปีเกิด 5 ธันวาคม 2513

ที่อยู่ที่ติดต่อได้

นายชยาภาส ทับทอง

63 หมู่ 7 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ถนน รังสิต-นครนายก ตำบล องครักษ์ อำเภอ องครักษ์ จังหวัด นครนายก 26120

โทรศัพท์ 0-2664-1000 ต่อ 2069, 2076

โทรสาร 0-3732-2608 e-mail address : thabthong_c@yahoo.com

ประวัติการศึกษา

ปริญญาโท วศ.ม.(วิศวกรรมเคมี) ปี พ.ศ.2542 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปริญญาตรี วท.บ.(เทคโนโลยีชีวภาพ) ปี พ.ศ. 2537 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2542-ปัจจุบัน	อาจารย์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2542	อาจารย์พิเศษ	มหาวิทยาลัยเจ้าพระยา
พ.ศ. 2537	ผู้ควบคุมระบบน้ำ และไอน้ำ	บ.ไฮคิวผลิตภัณฑ์อาหาร จำกัด

งานวิจัย

	ตำแหน่ง	ชื่อโครงการวิจัย	แหล่งทุน	ปีงบประมาณ
1	หัวหน้าโครงการ	กระดาษจากต้นทานตะวัน	เครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนบน ปีงบประมาณ 2548	เม.ย. 2548 – มี.ค. 2549
2	หัวหน้าโครงการ	การกำจัดไอออนโลหะหนักจากน้ำเสียด้วยเปลือกหอย	งบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2548	ต.ค. 2547 - ก.ย. 2548
3	ผู้ร่วมวิจัย	การพัฒนาปุ๋ยหมักชีวภาพด้วยสมุนไพร	เครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนบน ปีงบประมาณ 2547	มิ.ย. 2547 – มี.ค. 2548

งานบริการวิชาการ

	ตำแหน่ง-หน้าที่	หลักสูตร	หน่วยงาน	ปี พ.ศ.
1	ผู้ช่วย ผู้เชี่ยวชาญ	การอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม	กรมอนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย	ตุลาคม 2548 – กันยายน 2549
2	วิทยากร ฝึกอบรม	หลักสูตรผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	เมษายน 2546 – เมษายน 2548

ผลงานวิจัยและวิชาการ

1. บทความวิจัย

1.1 วารสารวิจัยระดับประเทศ

	คณะผู้วิจัย	เรื่อง	วารสาร	ปี พ.ศ.
1	**ชยาภาส ทับทอง**	การกำจัดไอออนตะกั่วจากน้ำเสียด้วยตะกอนจุลินทรีย์	วารสารวิจัยสภาวะแวดล้อม ปีที่ 28 เล่มที่ 1	2549
2	**ชยาภาส ทับทอง**	การกำจัดไอออนแคดเมียมจากน้ำเสียด้วยตะกอนจุลินทรีย์	วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ปีที่ 20 ฉบับที่ 1	2549

1.2 การประชุมวิชาการระดับประเทศ

	คณะผู้วิจัย	เรื่อง	การประชุมวิชาการ	ปี พ.ศ.
1	**ชยาภาส ทับทอง**	การกำจัดไอออนสังกะสีด้วยตะกอนจุลินทรีย์	การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15	2548
2	**ชยาภาส ทับทอง**, รมณีย์ หวังดีธรรม, ชมพูนุช ชุ่มเกษร, บุรินทร์ หทัยเกียรติกุล และณรงค์วิทย์ นันทวนิช	กระดาษจากต้นกล้วย	การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14	2547

3	**ธีรวิทย์ ทับทอง**, มีชัย มีดา และวิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา	การตรึงกากตะกอนเร่งด้วยพอลิเมอร์เพื่อดูดซับโลหะหนักในน้ำเสีย	การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8	2541
4	วิโรจน์ บุญอำนวยวิทยา และ**ธีรวิทย์ ทับทอง**	การดูดซับโลหะหนักโดยกากวัสดุชีวมวลเหลือทิ้ง	การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7	2540
5	สุนีย์ นิธิสินประเสริฐ, **ธีรวิทย์ ทับทอง**, สุรชัย แซ่เล้า, วิชัย ตุรงค์พันธ์ และอำนาจ เจรีรัตน์	การคัดเลือกสารพันธุ์แบคทีเรียแลคติคเพื่อใช้ในการปรับปรุงการทำ Silage	การประชุมเทคโนโลยีชีวภาพกับความหลากหลายทางชีวภาพ	2537

2. บทความวิชาการ

	ผู้เขียน	เรื่อง	การประชุมวิชาการ	ปี พ.ศ.
1	**ชยาภาส ทับทอง**	โปรไบโอติกในโยเกิร์ต	หนังสือ 12 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	2547