

เอกสารผลงานที่เสนอประเมิน  
เพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่งนักวิทยาศาสตร์ 8 ว

ของ

นายดำรงศักดิ์ เหล่าแสงธรรม  
นักวิทยาศาสตร์ 7 ว

เรื่อง

การผลิตกระดาษสา - กาแฟ :  
ตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี, ขนาดของเส้นใย  
และสมบัติทางกายภาพ

กลุ่มวิจัยและพัฒนา 3  
กองการวิจัย  
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

การศึกษา

เรื่อง

การผลิตกระดาษสา - กาแฟ :

ตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี, ขนาดของเส้นใย

และสมบัติทางกายภาพ

|            |               |
|------------|---------------|
| เลขหมู่    | วศ ๓๖         |
|            | ๑๑ ๕๓         |
| เลขทะเบียน | ๑๒๓๐๘         |
| วันที่     | ๑๗ / ๕-๓ / ๕๕ |

|                 |
|-----------------|
| ด้วยอภิเนตนาการ |
| จาก             |
| ..... น.ศ. .... |

โดย

นายดำรงศักดิ์ เหล่าแสงธรรม

กลุ่มวิจัยและพัฒนา 3

กองการวิจัย

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

**การศึกษา**

**เรื่อง**

**การผลิตกระดาษสา - กาแฟ :**

**ตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี, ขนาดของเส้นใย  
และสมบัติทางกายภาพ**

**โดย**

**นายดำรงศักดิ์ เหล่าแสงธรรม**

**กลุ่มวิจัยและพัฒนา 3**

**กองการวิจัย**

**กรมวิทยาศาสตร์บริการ**

## บทคัดย่อ

การศึกษาการผลิตกระดาษสา-กาแฟ ตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ขนาดของเส้นใย และสมบัติทางกายภาพ ในโครงการวิจัยและพัฒนาสาเพื่อผลิตกระดาษในระบบปลูกพืชเพื่อผลิตเป็นการค้า เป็นการศึกษาวิจัยและพัฒนาให้กระดาษเชิงหัตถกรรมมีคุณภาพ และลดต้นทุนในการผลิตกระดาษหัตถกรรม โดยทำการศึกษาจากวัตถุดิบจำนวน 5 ตัวอย่าง ได้แก่เปลือกสลา 4 ตัวอย่าง (ซึ่งเปลือกสลาถูกจัดกลุ่มเป็นตัวอย่างหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 เรียงตามความหนา ดังนี้ 0.25, 0.75, 1.0 และ 1.25 มิลลิเมตรของความหนาเปลือกสลา ตามลำดับ) และเปลือกผลกาแฟ 1 ตัวอย่าง ผลจากการศึกษาวิจัย พบว่า

เปลือกสลาทั้ง 4 ตัวอย่างและเปลือกผลกาแฟมีองค์ประกอบทางเคมี ลิกนิน (lignin) ปริมาณ ร้อยละ 5.2, 5.5, 5.8, 6.5 และ 9.4 ตามลำดับ เมื่อนำไปผลิตเยื่อ เปลือกสลาหมายเลข 1 – 4 ให้ผลผลิต เยื่อเท่ากับ ร้อยละ 61.4, 59.4, 57.2, 54.7 ตามลำดับ และเปลือกผลกาแฟให้ผลผลิตเยื่อเท่ากับ ร้อยละ 72.0 ขนาดของเส้นใยของเยื่อสาจะมีความยาว 6.2-8.1 มิลลิเมตร ในการผลิตกระดาษสา-กาแฟ ที่นำเยื่อกาแฟมาผสมกับเยื่อสา ร้อยละ 25, 50, 75 ตามลำดับ พบว่า กระดาษสา-กาแฟมีสมบัติด้านการใช้งานที่ดี มีค่าดัชนีความต้านแรงดึงระหว่าง 21.0-64.4 กิโลนิวตัน.เมตรต่อกิโลกรัม ดัชนีความต้านแรงฉีกขาดระหว่าง 12.1-69.8 นิวตัน.ตารางเมตรต่อกิโลกรัม และความต้านแรงคั้นทะลุระหว่าง 2.4-6.8 กิโลพาสคัล.ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งค่าความแข็งแรงที่ได้ชี้ให้เห็นว่าสามารถผลิตกระดาษสา-กาแฟโดยใช้เยื่อกาแฟมาผสมได้สูงถึง ร้อยละ 75 ของเยื่อกระดาษ

ถึงแม้สมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟจะไม่สูงนัก แต่การนำเยื่อกาแฟมาผสมจะส่งผลดีที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ตามส่วนที่นำเยื่อกาแฟมาผสม และจะส่งผลถึงลักษณะของกระดาษที่มีสีและลวดลายในโทนสีธรรมชาติและจะเข้มข้นตามส่วนผสมของเยื่อกาแฟที่เพิ่มขึ้น จึงจัดเป็นกระดาษประเภทสวยงามที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวชนิดใหม่ สามารถนำไปใช้ในงานหัตถกรรมต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการความแข็งแรงของกระดาษสูง เช่น กรอบรูป ภาพและหรือดอกไม้ประดิษฐ์ เป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ด้วย

## ก

### สารบัญ

#### หน้า

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| บทคัดย่อ                                            |    |
| สารบัญ .....                                        | ก  |
| สารบัญตาราง .....                                   | ค  |
| สารบัญภาพ .....                                     | ง  |
| บทที่ 1 บทนำ .....                                  | 1  |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของการศึกษาวิจัย .....         | 1  |
| 1.2 วัตถุประสงค์ .....                              | 2  |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย .....                    | 2  |
| 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ .....                         | 2  |
| 1.5 ระยะเวลาการศึกษาวิจัย .....                     | 2  |
| บทที่ 2 ความเป็นมาของวัตถุดิบ .....                 | 3  |
| 2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสา .....                  | 3  |
| 2.2 การนำสามาใช้ผลิตกระดาษ .....                    | 3  |
| 2.3 การผลิตกระดาษสา .....                           | 5  |
| 2.4 ที่มาของเปลือกผลกาแฟ .....                      | 5  |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการ .....                         | 6  |
| 3.1 วัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์ และสารเคมี .....  | 6  |
| 3.1.1 วัตถุดิบ .....                                | 6  |
| 3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....                     | 7  |
| 3.1.3 สารเคมี .....                                 | 7  |
| 3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ .....                   | 8  |
| 3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี .....           | 8  |
| 3.2.2 การตรวจและวัดขนาดเส้นใย .....                 | 8  |
| 3.2.3 การผลิตเยื่อสาและเยื่อกาแฟ .....              | 9  |
| 3.2.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟ ..... | 10 |

## ข

### สารบัญ (ต่อ)

|                                                     | หน้า |
|-----------------------------------------------------|------|
| บทที่ 4 ผลการทดลอง .....                            | 11   |
| 4.1 ผลการวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมี .....        | 11   |
| 4.2 ผลการตรวจและวัดขนาดเส้นใย .....                 | 12   |
| 4.3 ผลการผลิตเยื่อสาและเยื่อกาแฟ .....              | 13   |
| 4.4 ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟ ..... | 13   |
| บทที่ 5 วิจัยนัผลการทดลอง .....                     | 21   |
| 5.1 การวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมี .....          | 21   |
| 5.2 การตรวจและวัดขนาดเส้นใย .....                   | 21   |
| 5.3 การผลิตเยื่อสาและเยื่อกาแฟ .....                | 21   |
| 5.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟ .....   | 22   |
| บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ .....           | 24   |
| 6.1 สรุปผลการทดลอง .....                            | 24   |
| 6.2 ข้อเสนอแนะ .....                                | 24   |
| เอกสารอ้างอิง .....                                 | 25   |
| ภาคผนวก .....                                       | 26   |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                                                        | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1. แสดงผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างเปลือกสาและเปลือกผลกาแฟ .....                     | 11   |
| 2. แสดงผลการตรวจและวัดขนาดเส้นใยของเปลือกสา .....                                               | 12   |
| 3. แสดงผลผลิตเชื้อสา เชื้อกาแฟ และความสิ้นเปลืองของปริมาณ โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ .....         | 13   |
| 4. แสดงส่วนผสมของกระดาษสา-กาแฟ .....                                                            | 14   |
| 5. ผลทดสอบสมบัติทางกายภาพกระดาษสา-กาแฟ ของเชื้อสาดตัวอย่างที่ 1 ผสมกับเชื้อกาแฟ .....           | 14   |
| 6. ผลทดสอบสมบัติทางกายภาพกระดาษสา-กาแฟ ของเชื้อสาดตัวอย่างที่ 2 ผสมกับเชื้อกาแฟ .....           | 15   |
| 7. ผลทดสอบสมบัติทางกายภาพกระดาษสา-กาแฟ ของเชื้อสาดตัวอย่างที่ 3 ผสมกับเชื้อกาแฟ .....           | 15   |
| 8. ผลทดสอบสมบัติทางกายภาพกระดาษสา-กาแฟ ของเชื้อสาดตัวอย่างที่ 4 ผสมกับเชื้อกาแฟ .....           | 16   |
| 9. แสดงผลทดสอบเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงดึงของตัวอย่างกระดาษสา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง              | 16   |
| 10. แสดงผลทดสอบเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของตัวอย่างกระดาษสา-กาแฟ 4<br>ตัวอย่าง ..... | 17   |
| 11. แสดงผลทดสอบเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของตัวอย่างกระดาษสา-กาแฟ 4<br>ตัวอย่าง ..... | 18   |
| 12. แสดงผลทดสอบเปรียบเทียบค่าความขาวสว่างของตัวอย่างกระดาษสา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง .....              | 19   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                                            | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1. แสดงลักษณะของเชื้อกาแฟ .....                                                   | 12   |
| 2. เปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงดึงของตัวอย่างกระดาษสา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง .....     | 17   |
| 3. เปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของตัวอย่างกระดาษสา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง .....  | 18   |
| 4. เปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของตัวอย่างกระดาษสา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง .....  | 19   |
| 5. เปรียบเทียบค่าความขาวสว่างของตัวอย่างกระดาษสา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง .....            | 20   |
| 6. แสดงตัวอย่าง เปลือกสา หมายเลข 1 .....                                          | 27   |
| 7. แสดงตัวอย่าง เปลือกสา หมายเลข 2 .....                                          | 28   |
| 8. แสดงตัวอย่าง เปลือกสา หมายเลข 3 .....                                          | 29   |
| 9. แสดงตัวอย่าง เปลือกสา หมายเลข 4 .....                                          | 30   |
| 10. แสดงตัวอย่าง เปลือกผลกาแฟ .....                                               | 31   |
| 11. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10 เท่า แสดงลักษณะเส้นใยของเชื้อสา ..... | 32   |
| 12. ตัวอย่างกระดาษสา-กาแฟ .....                                                   | 33   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1) ความสำคัญและที่มาของการศึกษาวิจัย

การผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมของประเทศไทยในปัจจุบันนี้ จำเป็นต้องผลิตในเชิงการค้าที่จะต้องแข่งขันกันทั้งต้นทุนและความต้องการของตลาด ทำให้ต้องมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาเพื่อนำมาวางแผนตั้งแต่การผลิตวัตถุดิบ เช่น การศึกษาหาวัตถุดิบชนิดใหม่ที่มีภายในประเทศ การลดการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ การเพิ่มคุณภาพหรือใช้วัตถุดิบที่มีอยู่ในปัจจุบันให้เกิดประโยชน์สูงสุด การพัฒนากระบวนการผลิต การใช้เทคโนโลยีสะอาดและการนำกลับมาใช้ใหม่ และ การตลาด เช่น การลดต้นทุน รูปแบบและความต้องการของตลาด จากปัจจัยดังกล่าวจึงทำให้เกิดความร่วมมือระหว่างหน่วยงานของรัฐด้วยกันและผู้ประกอบการภาคเอกชน จัดทำโครงการวิจัยขึ้นที่ กรมวิชาการเกษตร สถาบันวิจัยพืชไร่ ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ ได้เชิญกรมวิทยาศาสตร์บริการ กองการวิจัย กลุ่มวิจัยและพัฒนา 3 และผู้ประกอบการภาคเอกชน ร่วมเป็นคณะผู้วิจัย ในชื่อโครงการ “ โครงการวิจัยพัฒนาสาเพื่อผลิตกระดาษในระบบปลูกพืชเพื่อผลิตเป็นการค้า ” อันเป็นโครงการใหญ่ ที่มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาแบบครบวงจร และในโครงการนี้ได้แยกเป็นโครงการย่อยอีก 2 โครงการ คือ

โครงการย่อยที่ 1. โครงการศึกษาการผลิตกระดาษสา-กาแฟ : การผลิตที่เหมาะสมในการทำกระดาษสา-กาแฟระบบครัวเรือน โครงการจะมุ่งเน้นการศึกษาในพื้นที่ ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบ การผลิตในรูปแบบชาวบ้านและการตลาด มีศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่เป็นแกนหลักในการดำเนินการ

โครงการย่อยที่ 2. โครงการศึกษาการผลิตกระดาษสา-กาแฟ : การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีขนาดของเส้นใย และสมบัติทางกายภาพ โครงการจะมุ่งเน้นการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ในด้านวัตถุดิบ การผลิตและการทดสอบสมบัติทางกายภาพในห้องปฏิบัติการ มีกรมวิทยาศาสตร์บริการเป็นแกนหลักในการดำเนินงาน

จากการศึกษาในเบื้องต้นของโครงการนี้ พบว่า มีการปลูกสารร่วมกับกาแฟ ซึ่งกาแฟมีความต้องการเพียงเมล็ดกาแฟ จึงทำให้มีเปลือกผลกาแฟที่จัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกาแฟไม่ต่ำกว่าปีละ 40,000 ตัน และจากการที่สาเป็นพืชที่เหมาะสมในการผลิตเป็นวัตถุดิบผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรม ทั้งในตัวของสาเองและการนำวัสดุอื่นเข้ามาผสม ประกอบกับความต้องการและความสนใจของตลาดในการใช้กระดาษในปัจจุบัน ที่มีความต้องการให้นำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์จึงก่อให้เกิดให้มีการศึกษาวิจัยการผลิตกระดาษสา-กาแฟขึ้น

สำหรับในรายงานการศึกษาวิจัยฉบับนี้ จะเป็นการรายงานผลการศึกษาของโครงการย่อยที่ 2. เฉพาะตอนที่อยู่ในการดำเนินการของกลุ่มวิจัยและพัฒนา 3 กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ ซึ่งจะให้ผลเฉพาะตอนวิจัย และจะเกิดประโยชน์สูงสุดในภาพรวมของการศึกษาวิจัย เมื่อนำผลการศึกษาวิจัยในทุกตอนมารวมกันเป็นรายงานผลวิจัยของโครงการใหญ่

## 1.2) วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาหองค์ประกอบทางเคมี ขนาดของเส้นใยของสาและเปลือกผลกาแฟที่จะนำมาผลิตกระดาษสา-กาแฟ

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟ

## 1.3) ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

1.3.1 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ขนาดของเส้นใย ของสา 4 ตัวอย่าง และเปลือกผลกาแฟ 1 ตัวอย่าง

1.3.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟ ที่นำเปลือกสาทั้ง 4 ตัวอย่าง มาผลิตเป็นเชื้อสา แล้วนำเปลือกผลกาแฟมาผลิตเป็นเชื้อกาแฟผสม ร้อยละ 25 50 และ 75 ตามลำดับ

## 1.4) ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 เป็นการนำทรัพยากรภายในประเทศมาใช้อย่างคุ้มค่าโดยเฉพาะเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์

1.4.2 เพื่อเป็นแนวทางส่งเสริมและสร้างงานในชนบท

1.4.3 เพื่อส่งเสริมงานวิจัยภายในประเทศ

1.4.4 ข้อมูลจากการศึกษาวิจัยจะนำไปใช้เป็นเอกสารอ้างอิงทางวิชาการ

## 1.5) ระยะเวลาการศึกษาวิจัย

ระยะเวลาการดำเนินการตลอดโครงการ / กิจกรรม 1 ปี มกราคม 2544 ถึง ธันวาคม 2544

## บทที่ 2

### ความเป็นมาของวัตถุดิบ

#### 2.1) ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสา

สา มีชื่อสามัญว่า Paper Mulberry อยู่ในตระกูล Moraceae ซึ่งเป็นตระกูลเดียวกับหม่อน มีชื่อทาง วิทยาศาสตร์ว่า Broussonetia papyrifera (L.) Vent เป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลางชนิดผลัดใบ จัดเป็นไม้เนื้ออ่อน เจริญเติบโตได้รวดเร็วตามริมรั้วและบริเวณที่มีความชุ่มชื้น และสามารถเจริญเติบโต ในพื้นที่ที่ค่อนข้างแห้งแล้งได้ ในประเทศไทยสามารถพบสาได้ในหลายพื้นที่และจะมีการเรียกชื่อตามท้อง ที่ต่างๆของประเทศแตกต่างกันออกไป เช่น ในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เรียกว่า สา ส่วน ภาคตะวันตก เรียกว่า หมกพี หรือ หมกพี ที่จังหวัดนครสวรรค์ เรียกว่า ชำสา และที่จังหวัดนครราชสีมา เรียกว่า ฉำฉา สำหรับในต่างประเทศก็สามารถพบสาได้ เช่น อินเดีย ญี่ปุ่น เกาหลี อินโดนีเซีย พม่า และลาว

สาพันธุ์พื้นเมืองของไทยลำต้นจะมีลักษณะกลม สีน้ำตาลคล้ำ เมื่ออายุมากขึ้นจะเปลี่ยนเป็น สีดำลายน้ำตาล เมื่อตัดต้นหรือกิ่งจะมีน้ำยางสีขาวข้นไหลออกมาระหว่างเปลือกกับแกนต้น ใบของต้น สามีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดใบหยัก มี 3 - 4 แฉก (palmately leaf) และใบมน (single leaf) โดยปกติ แล้วใบทั้ง 2 ชนิดนี้จะแยกต้นกันอยู่ แต่ก็มีความเป็นไปได้ที่พบว่ามีใบทั้ง 2 ลักษณะคละกันอยู่ (จากการสังเกต พบว่า ใบสาที่มีอายุมากขึ้นจะมีใบมนมากกว่า ใบหยัก) ใบจะมีขนาดกว้างประมาณ 6 - 12 เซนติเมตร ยาวประมาณ 8 - 18 เซนติเมตร ปลายใบแหลม ฐานใบโค้งเข้าคล้ายรูปหัวใจ ใบมีขนปกคลุม ขอบใบ หยักคล้ายฟันเลื่อย หลังใบมีสีเขียวแก่ ท้องใบ สีเขียวอ่อนออกเทา มีขนอ่อนสีขาว ก้านใบยาวประมาณ 3-10 เซนติเมตร

ในประเทศไทย มีการตรวจพบสาที่ปลูกกันอยู่ตามภาคต่างๆ รวมทั้งหมด 4 species และมีการนำ มาใช้ประโยชน์ ดังนี้ B. papyrifera (สาไทย) พบว่ามีการนำมาใช้ทำเป็นกระดาษนานนับพันปีมาแล้ว B.kurzi (สะแล) ใบอ่อนและดอกอ่อนใช้ทำเป็นอาหารประเภทแกงของทางภาคเหนือ, B. kazinoki และ B. Kaempferi (สาญี่ปุ่น) เป็นสาที่มีถิ่นกำเนิดเดิมในประเทศญี่ปุ่น และได้มีการนำมาปลูกในประเทศไทย ตั้งแต่ปี 2522 และ 2523 ตามลำดับ สำหรับ B. kazinoki เป็นสาสายพันธุ์ญี่ปุ่นที่นำมาปลูกในประเทศไทย มีลำต้นสีน้ำตาลอมม่วง พื้นน้ำตาลลายน้ำตาลอมม่วง ลักษณะแผ่นใบเป็นรูปไข่ ขอบใบมีการหยักเหมือน สาไทยและมีลักษณะเช่นเดียวกับสาไทย คือ การมี serration หรือ double-serrate แต่ความลึกของ หยักมากกว่าส่วนปลาย (apex) และจะเรียวแหลมกว่าสาไทย

#### 2.2) การนำสามาใช้ผลิตกระดาษ

การผลิตกระดาษสา จะใช้ต้นสาหรือกิ่งสาที่ถูกตัดเพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับทำกระดาษสา ซึ่ง สามารถแยกได้เป็น 4 ส่วน ด้วยกัน คือ ส่วนเปลือกใน ส่วนเปลือกนอก ส่วนเปลือกนอกและเปลือกใน และส่วนแกน

2.2.1 ส่วนเปลือกใน (inner bark หรือ white bark + green bark) คือ ส่วนของเปลือกที่อยู่ชั้นในสุด ที่ติดกับเนื้อไม้ มักมีสีขาวหรือครีมอมขาว บนผิวของเปลือกในสีขาวนี้จะมีชั้นของเปลือกในสีเขียวติดอยู่ด้วย เปลือกในสีเขียวกับเปลือกในสีขาวสามารถแยกออกจากกันได้เมื่อผ่านการลอก เปลือกในนี้เมื่อนำไปทำเป็นเยื่อกระดาษจะจัดเป็นเส้นใยประเภทเยื่อใยขาว ที่มีความยาวเฉลี่ยของเส้นใยประมาณ 8 มิลลิเมตร และมีความหนาของผนังเส้นใยประมาณ 5.5 ไมโครเมตร ตามภาษาพฤกษศาสตร์จะเรียกว่า collenchyma เป็นที่นิยมของการทำ กระดาษสาแบบทำด้วยมือ

2.2.2 ส่วนเปลือกนอก (outer bark หรือ black bark) คือ ส่วนเปลือกที่อยู่ชั้นนอกสุด เป็นชั้นบางๆ ซึ่งตามภาษาทางพฤกษศาสตร์ คือชั้นของ Epidermis ในการลอกเปลือกนอกกับเปลือกในออกจากกัน ถ้าลอกเปลือกนอกหนามากเกินไปจะมีส่วนของเปลือกที่เป็นชนิดเปลือกเขียว (green bark) ติดมาด้วย เปลือกนอกนี้สามารถทำกระดาษสาประเภททำด้วยมือได้เช่นกัน แต่จะมีความเหนียวหรือทนทานสู้เปลือกในไม่ได้ นอกจากจะทำกระดาษได้แล้วยังมีการนำเปลือกนอกไปตากแห้งและนำมาป่นให้เป็นผงเล็กๆ ใช้ทำเป็นลายของกระดาษสา ซึ่งเรียกลายกระดาษสาที่ได้จากการใช้เปลือกนอกว่า ลายไข่นกกระทา

2.2.3 ส่วนเปลือกนอกและเปลือกใน (outer bark and inner bark) คือ เปลือกที่ลอกจากต้นสาเพียงครั้งเดียว โดยไม่แยกเปลือกนอกและเปลือกในออกจากกัน เปลือกที่ลอกออกมานี้จะประกอบด้วยส่วนของเปลือก 3 ส่วน คือ เปลือกในสีขาว (white bark) เปลือกในสีเขียว (green bark) และเปลือกนอก (black bark) เปลือกประเภทนี้สามารถทำกระดาษสาได้ดี มีความเหนียวทนทานเช่นกัน แต่จะมีความทนทานน้อยกว่ากระดาษสาที่ใช้เฉพาะส่วนของเปลือกในอย่างเดียว และจะมีความทนทานมากกว่ากระดาษสาที่ใช้เปลือกนอกอย่างเดียว การใช้เปลือกในลักษณะที่ใช้เปลือกในและเปลือกนอกรวมกัน เพื่อทำกระดาษสาประเภททำด้วยมือ แม้จะไม่ได้กระดาษสาที่มีคุณภาพเยี่ยมทนทานสูงเท่ากับการใช้เปลือกใน แต่ก็จัดเป็นกระดาษที่มีคุณภาพดี ผิวของกระดาษจะมีความเรียบละเอียดกว่าใช้เปลือกในอย่างเดียว นอกจากนี้สามารถลดปัญหาหรือลดต้นทุนการลอกสาได้ถึง 50-80 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายในการลอก ซึ่งเมื่อคิดเป็นมูลค่าลดค่าใช้จ่ายในการลอกเปลือกสาได้ประมาณ 700-1,000 บาทต่อไร่

2.2.4 ส่วนแกน (core หรือ woody ) หรือส่วนที่เป็นเนื้อไม้ เป็นเส้นใยประเภทเยื่อใยสั้น การใช้ประโยชน์จากแกนเพื่อการทำกระดาษแบบทำด้วยมือยังไม่มีกรรมวิธีที่เหมาะสม แต่สามารถเป็นเยื่อกระดาษได้โดยใช้การผลิตแบบโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับคุณภาพของเยื่อกระดาษจากแกนนี้จัดอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำเทียบเท่ากับเยื่อที่ได้จากไม้ยูคาลิปตัส ซึ่งจะพบว่าสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบทางด้านระยะเวลาการตัดนั้น สาจะใช้เวลาการตัดสั้นกว่า คือในระยะเวลา 6-12 เดือน จะได้เยื่อกระดาษประมาณ 450-600 กิโลกรัมต่อไร่ และยังได้เปลือกที่ใช้ผลิตเป็นเปลือกแห้งประมาณ 300-600 กิโลกรัมต่อไร่

### 2.3) การผลิตกระดาษ

การผลิตกระดาษแบบทำด้วยมือจากเปลือกสาที่มีใช้กันอย่างแพร่หลาย ทำได้โดยนำมาผ่านกระบวนการผลิตเชื่อมด้วยกระบวนการโซดาใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารเคมีในการต้มเยื่อ และกระบวนการฟอกเยื่อจะมีการใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรด์หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นการฟอกแบบขั้นตอนเดียว ในปัจจุบันเลือกใช้การฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารเคมีหลัก โดยมีโซเดียมซัลเฟต โซเดียมไฮดรอกไซด์และแมกนีเซียมซัลเฟต เป็นสารช่วยปรับสภาวะการฟอกให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะไม่ก่อให้เกิดสารพิษและยังช่วยลดการกลับสีของเยื่อที่ผ่านการฟอกได้อีกด้วย (การกลับสีของเยื่อฟอกน้อย จะได้เยื่อที่มีความขาวคงทนกว่า) ถ้าใช้สารประกอบคลอรีนในการฟอกเยื่อ เช่น แคลเซียมไฮโปคลอไรด์จะก่อให้เกิดสารพิษประเภท absorbable organic halogen compound และเกิดการกลับสีของเยื่อฟอกมากกว่าการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

### 2.4) ที่มาของเปลือกผลกาแฟ

ในกระบวนการผลิตกาแฟ จะเริ่มจากการปลุกต้นกาแฟ เมื่อกาแฟให้ผลผลิตจะทำการเก็บผลกาแฟ มาทำการแยกเอาเฉพาะเมล็ดกาแฟ เพื่อนำไปการคั่วบดสำหรับจำหน่าย ส่วนเปลือกและเนื้อของผลกาแฟที่จัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต ที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าจะถูกนำไปทิ้ง ปัจจุบันมีการส่งเสริมการปลุกกาแฟมากขึ้น ทำให้มีเปลือกผลกาแฟเหลือทิ้งจำนวนมากปีละไม่ต่ำกว่า 40,000 ตัน

เปลือกผลกาแฟที่จัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกาแฟนี้ หากปล่อยทิ้งไว้ก็จะไม่มีประโยชน์เกิดขึ้น โครงการศึกษาวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งนี้ โดยมีแนวคิดที่จะนำเปลือกผลกาแฟมาใช้เป็นวัตถุดิบผลิตเป็นกระดาษเชิงหัตถกรรม ประกอบกับปัจจุบันมีความต้องการและความสนใจของตลาดในการใช้กระดาษที่นำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์ จึงก่อให้เกิดให้มีการศึกษาวิจัยนี้ขึ้น

และเพื่อให้ง่ายและกระชับในการเขียนรายงานฉบับนี้ ต่อไปจะเรียก เปลือกและเนื้อของผลกาแฟว่า เปลือกผลกาแฟ

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการ

#### 3.1) วัตถุดิบ เครื่องมือและอุปกรณ์ และสารเคมี

การนำเปลือกสาและเปลือกผลกาแฟ โดยเฉพาะเปลือกผลกาแฟที่นำมาจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกาแฟ นำมาทำการศึกษาวิจัยในห้องปฏิบัติการ เพื่อผลิตเป็นเชื้อกระดาษและกระดาษสา-กาแฟในเชิงหัตถกรรมแบบพื้นบ้าน ทั้งนี้โดยมี วัตถุดิบ เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี ที่นำมาใช้ในการศึกษา ดังนี้

##### 3.1.1 วัตถุดิบ

3.1.1.1 เปลือกสา ตัวอย่างเปลือกสาที่ส่งมาจากศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ จำนวน 4 ตัวอย่าง คือ

- ตัวอย่างเปลือกสา หมายเลข 1 มีลักษณะทั่วไปเป็นตัวอย่างเปลือกสาที่ลอก (ขูด) ผิวชั้นนอกแล้ว มีลักษณะกายภาพเฉลี่ย ความหนา 0.25 มิลลิเมตร ความกว้าง 1.0 เซนติเมตร ความยาว 80 เซนติเมตร ตัวอย่างจะม้วนตัวตามแนวกว้าง ความกว้างและความหนาในแต่ละเส้นของเปลือกสาจะไม่เท่ากัน โดยปลายด้านหนึ่งของเปลือกสาจะมีความหนาและความกว้างมากกว่าปลายอีกด้านหนึ่ง (สันนิษฐานว่าเป็นด้านใกล้โคนลำต้นกับด้านทางปลายลำต้น) ดังแสดงในภาพที่ 6. ในภาคผนวก

- ตัวอย่างเปลือกสา หมายเลข 2 มีลักษณะทั่วไปเป็นตัวอย่างเปลือกสาที่ลอก (ขูด) ผิวชั้นนอกแล้ว มีลักษณะกายภาพเฉลี่ย ความหนา 0.75 มิลลิเมตร ความกว้าง 1.5 เซนติเมตร ความยาว 110 เซนติเมตร ตัวอย่างจะม้วนตัวตามแนวกว้าง ความกว้างและความหนาจะใกล้เคียงกันทั้งเส้นของเปลือกสา ดังแสดงในภาพที่ 7. ในภาคผนวก

- ตัวอย่างเปลือกสา หมายเลข 3 มีลักษณะทั่วไปเป็นตัวอย่างเปลือกสาที่ลอก (ขูด) ผิวชั้นนอกแล้ว มีลักษณะกายภาพเฉลี่ย ความหนา 1.0 มิลลิเมตร ความกว้าง 2.0 เซนติเมตร ความยาว 110 เซนติเมตร ตัวอย่างจะม้วนตัวตามแนวกว้าง ความกว้างและความหนาจะใกล้เคียงกันทั้งเส้นของเปลือกสา ดังแสดงในภาพที่ 8. ในภาคผนวก

- ตัวอย่างเปลือกสา หมายเลข 4 มีลักษณะทั่วไปเป็นตัวอย่างเปลือกสาที่ลอก (ขูด) ผิวชั้นนอกแล้ว มีลักษณะกายภาพเฉลี่ย ความหนา 1.25 มิลลิเมตร ความกว้าง 2.5 เซนติเมตร ความยาว 110 เซนติเมตร ตัวอย่างจะม้วนตัวตามแนวกว้าง ความกว้างและความหนาจะใกล้เคียงกันทั้งเส้นของเปลือกสา ดังแสดงในภาพที่ 9. ในภาคผนวก

3.1.1.2 เปลือกผลกาแฟ จำนวน 1 ตัวอย่างที่ส่งมาจากศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่ มีลักษณะทั่วไป เป็นตัวอย่างเปลือกผลกาแฟอาราบิก้า พันธุ์คาร์ติมอร์ มีลักษณะกายภาพคล้ายกะลามะพร้าวผ่าครึ่งขนาดเล็กเป็นครึ่งวงรีขนาดเฉลี่ย ความกว้าง 0.8 ซม. ความยาว 1.0 ซม. สีสน้ำตาลเข้มถึงดำ ดังแสดง ในภาพที่ 10. ในภาคผนวก

### 3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.1.2.1 หม้อต้มแอสคนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 65 และลึก 60 เซนติเมตร
- 3.1.2.2 เครื่องบดเยื่อ ที่สร้างขึ้นตามแบบเครื่องบดเยื่อชนิด Valley beater
- 3.1.2.3 เคาแก๊สพร้อมแก๊สหุงต้ม ( Liquid Petroleum Gas, LPG )
- 3.1.2.4 ตะแกรงทำแผ่นขนาด 30 X 35 และขนาด 65 X 90 เซนติเมตร
- 3.1.2.5 เครื่องบดละเอียด ( Wiley – mill )
- 3.1.2.6 แร้ง (Sieve) ขนาด 40 และ 60 เมช (mesh)
- 3.1.2.7 ตู้อบ (Oven)
- 3.1.2.8 เครื่องสกัดสาร ( Extraction Apparatus )
- 3.1.2.9 เครื่องกวนแบบแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
- 3.1.2.10 ปัมสุญญากาศ (Vacuum pump)
- 3.1.2.11 กล้องจุลทรรศน์ ( Microscope ) พร้อม Micrometer Eyepiece
- 3.1.2.12 เครื่องทดสอบแรงดึง ( Tensile tester )
- 3.1.2.13 เครื่องทดสอบแรงฉีกขาด ( Tear tester )
- 3.1.2.14 เครื่องทดสอบแรงดันทะลุ ( Burst tester )
- 3.1.2.15 เครื่องชั่งน้ำหนัก (Electronic balance )

### 3.1.3 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในโครงการนี้เป็นชั้นคุณภาพ Analytical reagents (AR ) ประกอบด้วย

- 3.1.3.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( Sodium hydroxide, NaOH )
- 3.1.3.2 โซเดียมซิลิเกต ( Sodium silicate,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  )
- 3.1.3.3 โซเดียมซัลไฟต์ ( Sodium sulfite,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  )
- 3.1.3.4 โซเดียมไธโอซัลเฟต ( Sodium thiosulfate,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  )
- 3.1.3.5 โซเดียมไบคาร์บอเนต ( Sodium bicarbonate,  $\text{NaHCO}_3$  )
- 3.1.3.6 โซเดียมออกซาเลต ( Sodium oxalate,  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  )
- 3.1.3.7 โซเดียมคลอไรต์ ( Sodium chlorite,  $\text{NaClO}_2$  )
- 3.1.3.8 โพแทสเซียมไดโครเมต ( Potassium dichromate,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  )
- 3.1.3.9 โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ( Potassium permanganate,  $\text{KMnO}_4$  )
- 3.1.3.10 โพแทสเซียมไอโอไดด์ ( Potassium iodide, KI )
- 3.1.3.11 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( Hydrogen peroxide,  $\text{H}_2\text{O}_2$  )
- 3.1.3.12 กรดซัลฟิวริก ( Sulfuric acid,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  )

### 3.2) ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ

ในการนำเปลือกสาและเปลือกผลกาแฟมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษ และกระดาษสา-กาแฟ ได้แบ่งการดำเนินการออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี การตรวจและวัดขนาดเส้นใย การผลิตเยื่อกระดาษ และการทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟ ซึ่งในแต่ละขั้นดังกล่าวสามารถอธิบายวิธีการได้ดังต่อไปนี้

#### 3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี จะต้องเตรียมตัวอย่างเปลือกสาและเปลือกผลกาแฟสำหรับการวิเคราะห์ตามวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน Tappi test methods โดยนำเปลือกสาและเปลือกผลกาแฟแห้งไปบดด้วยเครื่อง บด Wiley-mill จนเป็นผงละเอียด แล้วนำมา

3.2.1.1 ร่อนผ่านแรงขนาด 40 เมช (mesh) นำส่วนที่ร่อนผ่านแรงมาวิเคราะห์หา

- ปริมาณเถ้า ( Ash ) ตาม Tappi T 211 om – 93
- สารสกัดด้วยตัวทำละลายผสมแอลกอฮอล์เบนซีน ( Alcohol – benzene solubility )

ตาม Tappi T 204 om – 88

- สารสกัดด้วยน้ำร้อน ( Hot - water solubility ) ตาม Tappi T 207 om - 93
- สารสกัดด้วยด่างร้อยละ 1 ( 1% NaOH ) ตาม Tappi T212 om-83
- ปริมาณเพนโตซาน ( Pentosans ) ตาม Tappi T 223 om – 84
- ปริมาณลิกนิน ( Lignin ) ตาม Tappi T 222 om – 88

3.2.1.2 นำผงไม้ที่ร่อนผ่านแรงขนาด 40 เมช มาร่อนผ่านแรงขนาด 60 เมช ใช้ผงไม้ส่วนที่ค้างบนแรงขนาด 60 เมช มาวิเคราะห์หา

- ปริมาณโฮโลเซลลูโลส ( holocellulose ) ตามวิธี Cross and Bevan method
- ปริมาณอัลฟาเซลลูโลส ( Alpha – cellulose ) ตาม Tappi T 203 om – 93
- ปริมาณเบต้าเซลลูโลส ( Beta – cellulose ) ตาม Tappi T 203 om – 93
- ปริมาณแกมมาเซลลูโลส ( Gamma – cellulose ) ตาม Tappi T 203 om – 93

การวิเคราะห์องค์ประกอบเคมีตามรายการดังกล่าวจะรายงานผลโดยคำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักอบแห้งที่อุณหภูมิ  $105 \pm 2$  องศาเซลเซียส

#### 3.2.2 การตรวจและวัดขนาดเส้นใย

การตรวจและวัดขนาดเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscope) เริ่มจากเตรียมเส้นใยทำสไลด์ (slide) ตรวจสอบคุณลักษณะโดยทั่วไปของเส้นใย วัดขนาดความยาว ความกว้างและความหนาของผนังเส้นใยด้วย Micrometer Eyepiece ซึ่งในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้เตรียมเส้นใย 2 วิธี ดังนี้

3.2.2.1 วิธีต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยเริ่มจากขังตัวอย่างจำนวน 30 กรัม น้ำหนักอบแห้ง แล้วนำมาต้มด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยให้มีปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์คิดเป็นร้อยละ 15 ของน้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง ปริมาณน้ำที่ใช้คิดเป็นอัตราส่วนไม้ต่อน้ำ ( wood : liquor ratio ) เท่ากับ 1 ต่อ 15 ต้มเคี่ยวจนประมาณ 3 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่เปื่อยยุ่ยมาล้างน้ำค้างออกให้หมด แล้วมากระจายด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็ก จนเส้นใยกระจายตัวแยกจากกันเป็นเส้นใยเดี่ยว จึงนำไปทำสไลด์

3.2.2.2 วิธีต้มด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยเริ่มจากขังตัวอย่างจำนวน 30 กรัม น้ำหนักอบแห้ง แล้วนำมาต้มในสารละลายร้อยละ 30 ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต่อกรดอะซิติก เท่ากับ 1 ต่อ 1 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่เปื่อยยุ่ยมาล้างน้ำค้างออกให้หมด แล้วมากระจายด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็ก จนเส้นใยกระจายตัวแยกจากกันเป็นเส้นใยเดี่ยว จึงนำไปทำสไลด์

### 3.2.3 การผลิตเยื่อสาและเยื่อกาแฟ

#### 3.2.3.1 การผลิตเยื่อสาและเยื่อกาแฟ

3.2.3.1.1 นำวัตถุดิบตัวอย่างเปลือกสาทั้ง 4 ตัวอย่างและเปลือกผลกาแฟ มาผลิตเป็นเยื่อกระดาษด้วยกระบวนการโซดา (Soda process) โดยเริ่มจากนำวัตถุดิบตัวอย่างละ 200 กรัม น้ำหนักอบแห้ง แช่น้ำ 12 ชั่วโมงแล้วนำมาบรรจุในหม้อต้มที่ทำด้วยเหล็กไร้สนิมขนาดความจุ 5 ลิตร เทส่วนผสมของน้ำยาต้มตามสภาวะที่กำหนด ดังนี้

| สภาวะการผลิตเยื่อสา                                      |        |
|----------------------------------------------------------|--------|
| เปลือกสา, กรัม น้ำหนักอบแห้ง                             | 200    |
| ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), ร้อยละของน้ำหนักเปลือกสา | 8      |
| เวลาที่ใช้ในการปรับอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส, นาที    | 60     |
| เวลาที่ใช้ในการต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส, นาที     | 120    |
| อัตราส่วนระหว่างเปลือกสาต่อน้ำ (น้ำหนัก/น้ำหนัก)         | 1 : 10 |

| สภาวะการผลิตเยื่อกาแฟ                                        |        |
|--------------------------------------------------------------|--------|
| เปลือกผลกาแฟ, กรัม น้ำหนักอบแห้ง                             | 200    |
| ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), ร้อยละของน้ำหนักเปลือกผลกาแฟ | 3      |
| เวลาที่ใช้ในการปรับอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส, นาที        | 60     |
| เวลาที่ใช้ในการต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส, นาที         | 120    |
| อัตราส่วนระหว่างเปลือกผลกาแฟต่อน้ำ (น้ำหนัก/น้ำหนัก)         | 1 : 10 |

3.2.3.1.2 ครบกำหนดเวลาแล้ว เทน้ำคั่วออกจากหม้อต้ม เก็บน้ำคั่วเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกใช้ไป

3.2.3.1.3 นำเยื่อที่ได้ไปล้างด้วยน้ำจนสะอาดหมดน้ำยาเคมี นำไปวิเคราะห์หาสมบัติของเยื่อ ดังนี้

- ผลผลิตเยื่อ (Pulp yield)
- Kappa number ตาม Tappi T 236 om-85
- ความขาวสว่าง (Brightness) ตาม Scan C 11-75 และ ISO 2470

และเพื่อให้ง่ายและกระชับในการเขียนรายงาน ต่อไปนี้จะเรียกเยื่อที่ได้จากเปลือกสาและเปลือกผลกาแฟ เป็นเยื่อสาและเยื่อกาแฟ ตามลำดับ

#### 3.2.4 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟ

นำเยื่อมาบดด้วยเครื่องบดเยื่อที่สร้างขึ้นตามแบบเครื่อง Valley beater เยื่อสาใช้เวลาบด 30 นาที และบดเป็นเวลา 10 นาทีสำหรับเยื่อกาแฟ เยื่อที่ผ่านการบดจะพร้อมนำไปทำเป็นแผ่นกระดาษได้ต่อไป

3.2.4.1 ทำแผ่นทดสอบกระดาษสา-กาแฟ ที่น้ำหนักมาตรฐาน 90 กรัมต่อตารางเมตร โดยผสมเยื่อกาแฟในอัตราส่วนร้อยละ 25 50 และ 75 ตามลำดับกับเยื่อสาทั้ง 4 ตัวอย่าง และทำแผ่นกระดาษสา จากเยื่อสาทั้ง 4 ตัวอย่าง

#### 3.2.4.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟ

นำตัวอย่างกระดาษสา-กาแฟ มาทดสอบสมบัติทางกายภาพโดยมีการทดสอบ ดังนี้

- น้ำหนักมาตรฐาน (grammage) ทดสอบตาม Tappi T 410 om-88
- ความต้านแรงดึง (tensile strength) ทดสอบตาม Tappi T 494 om-87
- ความต้านแรงฉีกขาด (tear strength) ทดสอบตาม Tappi T 414 om-88
- และ - ความต้านแรงดันทะลุ(bursting strength) ทดสอบตาม Tappi T 403 om-85

แล้วนำผลทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟที่ได้มาคำนวณเป็นค่าดัชนี

#### 3.2.4.3 เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟ

นำค่าดัชนีของสมบัติทางกายภาพที่ได้ จากข้อ 3.2.4.2 มาศึกษาเปรียบเทียบ

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

การนำเปลือกสาและเปลือกผลกาแฟ มาผลิตเป็นเชื้อกระดาษและผลิตเป็นกระดาษสา-กาแฟ มีผลการทดลอง ดังนี้

#### 4.1) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกสา 4 ตัวอย่างและเปลือกผลกาแฟ มีผลการวิเคราะห์ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 1.

ตารางที่ 1. แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างเปลือกสาและเปลือกผลกาแฟ

| องค์ประกอบทางเคมี                    | ร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง |      |      |      |      |
|--------------------------------------|------------------------|------|------|------|------|
|                                      | สา 1                   | สา 2 | สา 3 | สา 4 | กาแฟ |
| เถ้า                                 | 5.3                    | 5.8  | 6.2  | 6.5  | 8.1  |
| สารสกัดด้วยตัวทำละลายแอลกอฮอล์เบนซิน | 7.2                    | 8.4  | 8.7  | 9.2  | 6.3  |
| สารสกัดด้วยน้ำร้อน                   | 12.4                   | 14.8 | 15.3 | 18.1 | 21.8 |
| สารสกัดด้วยด่างร้อยละ 1 (1% NaOH )   | 29.4                   | 29.9 | 31.7 | 32.8 | 49.3 |
| เพนโตซาน                             | 11.6                   | 12.0 | 14.8 | 15.9 | 10.8 |
| ลิกนิน                               | 5.2                    | 5.5  | 5.8  | 6.5  | 9.4  |
| ไฮโดรเซลลูโลส                        | 72.1                   | 71.5 | 70.5 | 68.9 | -    |
| อัลฟาเซลลูโลส                        | 61.6                   | 59.6 | 57.5 | 54.8 | -    |
| เบต้าเซลลูโลส                        | 3.2                    | 3.8  | 4.2  | 5.0  | -    |
| แกมมาเซลลูโลส                        | 7.5                    | 8.1  | 8.8  | 9.1  | -    |

ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ในตารางที่ 1. พบว่า เปลือกสาทั้ง 4 ตัวอย่าง มีปริมาณอัลฟาเซลลูโลสสูงถึงร้อยละ 61.6, 59.6, 57.5 และ 54.8 ของน้ำหนักเปลือกสาอบแห้งตามลำดับ และมีปริมาณของลิกนิน (lignin) ที่วิเคราะห์ได้ ร้อยละ 5.2, 5.5, 5.8 และ 6.5 ของน้ำหนักเปลือกสาอบแห้งตามลำดับ ซึ่งเป็นปริมาณ ค่อนข้างต่ำ จึงเหมาะสมที่จะใช้สภาวะการต้มที่มีฤทธิ์อ่อน (mild conditions) ได้ เช่น กระบวนการโซดา (Soda process, NaOH) และกระบวนการโมโนซัลไฟต์ (Monosulfite process, Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>)

#### 4.2) ผลการตรวจและวัดขนาดเส้นใย

การตรวจและวัดขนาดเส้นใยของเปลือกสาตัวอย่างหมายเลข 1, 2, 3, 4 และเปลือกผลกาแฟ มีผลการวิเคราะห์ ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 2.

ตารางที่ 2. แสดงผลการตรวจและวัดขนาดเส้นใยของเปลือกสา

| ขนาดของเส้นใย                       | ตัวอย่างสา หมายเลข |      |      |      |
|-------------------------------------|--------------------|------|------|------|
|                                     | สา 1               | สา 2 | สา 3 | สา 4 |
| ความยาว, มิลลิเมตร                  | 6.2                | 6.8  | 7.2  | 8.1  |
| ความกว้าง, ไมครอน                   | 17.4               | 18.5 | 18.7 | 19.2 |
| ความหนาของผนังเส้นใย, ไมครอน        | 3.9                | 4.1  | 4.2  | 5.4  |
| อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้าง | 356                | 368  | 385  | 422  |

ผลการวัดขนาดเส้นใยของเปลือกสา พบว่าเส้นใยของเปลือกสามีลักษณะค่อนข้างเรียวยาว มีความยาวเฉลี่ย 6.2, 6.8, 7.2 และ 8.1 มิลลิเมตร และผนังเส้นใยค่อนข้างบาง มีความหนาเฉลี่ย 3.9, 4.1, 4.2 และ 5.4 ไมครอนตามลำดับ โดยที่มีความยาวของเส้นใยสาเฉลี่ยเกิน 3 มิลลิเมตร จึงพิจารณาได้ว่าเส้นใยสาเป็นเส้นใยประเภทใยยาว หรือเรียกว่า เยื่อใยยาว

สำหรับเปลือกผลกาแฟหลังจากผ่านการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำสไลด์ด้วยวิธีต้มด้วยสารละลายไฮเดียมไฮดรอกไซด์ และวิธีต้มด้วยสารละลายไฮโครเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์จะพบส่วนที่มีลักษณะ amorphous และ parenchyma cell แต่ไม่พบเซลล์ที่มีลักษณะ เส้นใย (fiber)



ภาพที่ 1. แสดงลักษณะของเยื่อกาแฟ ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่เป็น amorphous และ parenchyma cell ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 40 เท่า

#### 4.3) ผลการผลิตเชื้อสาและเชื้อกาแฟ

การผลิตเชื้อสาของเปลือกสาตัวอย่างหมายเลข 1, 2, 3, 4 และเชื้อกาแฟของเปลือกผลกาแฟ มีผลผลิต ดังแสดงอยู่ในตารางที่ 3.

ตารางที่ 3. แสดงผลการผลิตเชื้อสา เชื้อกาแฟ และความสิ้นเปลืองของปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้

| ผลการผลิตเชื้อ                                                           | สา 1 | สา 2 | สา 3 | สา 4 | กาแฟ |
|--------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ต้มเชื้อ, ร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง         | 8    | 8    | 8    | 8    | 3    |
| ผลผลิตเชื้อ, ร้อยละของน้ำหนักอบแห้ง                                      | 61.4 | 59.4 | 57.2 | 54.7 | 72.0 |
| ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกใช้ไป, ร้อยละของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เดิม | 88.4 | 88.5 | 88.7 | 89.0 | 97.3 |
| ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ถูกใช้ไป, กิโลกรัม/ตันน้ำหนักอบแห้ง         | 70.7 | 70.8 | 71.0 | 71.2 | 29.1 |
| ความขาวสว่าง, ร้อยละ                                                     | 47.0 | 46.9 | 45.2 | 44.6 | 9.1  |
| Kappa number, หน่วย                                                      | 18.5 | 18.7 | 19.1 | 19.9 | 50.6 |

ในการต้มเชื้อสาจะใช้ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 8 ของน้ำหนักอบแห้ง โดยที่เปลือกสาที่ใช้มีการแช่น้ำอย่างน้อย 12 ชั่วโมง จะทำให้สิ้นเปลืองโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 70.7, 70.8, 71.0 และ 71.2 กิโลกรัมต่อตันเปลือกสาอบแห้ง ตามลำดับ ทำให้ได้ผลผลิตเชื้อสาเท่ากับ ร้อย ละ 61.4, 59.4, 57.2 และ 54.7 ของน้ำหนักเปลือกสาอบแห้ง และค่า Kappa number ของเชื้อสาที่ได้ เท่ากับ 18.5, 18.7, 19.1 และ 19.9 หน่วย ตามลำดับ

สำหรับในการต้มเชื้อกาแฟจะใช้ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 3 ของ น้ำหนักอบแห้ง โดยที่เปลือกผลกาแฟที่ใช้มีการแช่น้ำอย่างน้อย 12 ชั่วโมง จะทำให้สิ้นเปลือง โซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 29.1 กิโลกรัมต่อตันเปลือกผลกาแฟอบแห้ง ได้ผลผลิตเชื้อกาแฟเท่ากับร้อยละ 72.0 ของน้ำหนักเปลือกผล กาแฟอบแห้ง และค่า Kappa number ของเชื้อกาแฟ เท่ากับ 50.6 หน่วย

#### 4.4) ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟ

##### 4.4.1 การทำแผ่นทดสอบกระดาษสา-กาแฟ

ทำแผ่นทดสอบกระดาษสา-กาแฟ ที่น้ำหนักมาตรฐาน 90 กรัมต่อตารางเมตร โดยผสม เชื้อกาแฟ ร้อยละ 25, 50 และ 75 ตามลำดับ กับเชื้อสาทั้ง 4 ตัวอย่าง และทำแผ่นกระดาษสา จาก เชื้อสาทั้ง 4 ตัวอย่าง คือ เชื้อสาตัวอย่างหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4. แสดงส่วนผสมของกระดาษสา-กาแฟ

| เยื่อสา : เยื่อกาแฟ | ส่วนผสม, ร้อยละ |           |
|---------------------|-----------------|-----------|
|                     | เยื่อสา         | เยื่อกาแฟ |
| 100 : 0             | 100             | 0         |
| 75 : 25             | 75              | 25        |
| 50 : 50             | 50              | 50        |
| 25 : 75             | 25              | 75        |

จากตารางที่ 4 แสดงส่วนผสมของกระดาษสา-กาแฟ โดยตัวเลขชุดแรก หมายถึง ส่วนผสมของเยื่อสาเป็น ร้อยละตามตัวเลข และตัวเลขชุดที่สอง หมายถึง ส่วนผสมของเยื่อกาแฟเป็นร้อยละตามตัวเลข จะได้ตัวอย่างกระดาษสา-กาแฟ จำนวน 4 ชุด ชุดละ 4 ระดับส่วนผสม

#### 4.4.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟ

นำตัวอย่างกระดาษสา-กาแฟที่ได้จากข้อ 4.4.1 รวม 4 ชุด ชุดละ 4 ระดับส่วนผสมมาทดสอบหาสมบัติทางกายภาพจะได้ผลทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5 ถึงตารางที่ 8 ดังนี้

ตารางที่ 5. ผลทดสอบสมบัติทางกายภาพกระดาษสา-กาแฟ ของเยื่อสาตัวอย่างที่ 1 ผสมกับเยื่อกาแฟ

| สมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟ                       | เยื่อสาตัวอย่างที่ 1 : เยื่อกาแฟ |         |         |         |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------|---------|---------|---------|
|                                                       | 100 : 0                          | 75 : 25 | 50 : 50 | 25 : 75 |
| ดัชนีความต้านแรงดึง,<br>กิโลนิวตัน.เมตร/กิโลกรัม      | 60.5                             | 52.1    | 36.4    | 21.0    |
| ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด,<br>นิวตัน.ตารางเมตร/กิโลกรัม  | 65.4                             | 46.0    | 28.7    | 12.1    |
| ดัชนีความต้านแรงฉีกทะลุ,<br>กิโลพาสคัล.ตารางเมตร/กรัม | 6.3                              | 5.5     | 3.7     | 2.4     |
| ความขาวสว่าง, ร้อยละ                                  | 47.0                             | 40.8    | 32.6    | 19.4    |

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพกระดาษสา-กาแฟ ของเยื่อสาตัวอย่างที่ 1 ผสมกับเยื่อกาแฟ พบว่า มีค่าดัชนีความต้านแรงดึง 60.5, 52.1, 36.4 และ 21.0 กิโลนิวตัน.เมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาด 65.4, 46.0, 28.7 และ 12.1 นิวตัน.ตารางเมตร/กิโลกรัม ตามลำดับ ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกทะลุ 6.3, 5.5, 3.7 และ 2.4 กิโลพาสคัล.ตารางเมตร/กรัม ตามลำดับ และค่าความขาวสว่าง ร้อยละ 47.0, 40.8, 32.6 และ 19.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 6. ผลทดสอบสมบัติทางกายภาพกระดาษสา-กาแฟ ของเยื่อสาตัวอย่างที่ 2 ผสมกับเยื่อกาแฟ

| สมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟ                       | เยื่อสาตัวอย่างที่ 2 : เยื่อกาแฟ |         |         |         |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------|---------|---------|---------|
|                                                       | 100 : 0                          | 75 : 25 | 50 : 50 | 25 : 75 |
| ดัชนีความต้านแรงดึง,<br>กิโลนิวตัน.เมตร/กิโลกรัม      | 61.6                             | 53.5    | 37.4    | 21.6    |
| ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด,<br>นิวตัน.ตารางเมตร/กิโลกรัม  | 67.0                             | 51.6    | 32.8    | 14.7    |
| ดัชนีความต้านแรงฉีกทะลุ,<br>กิโลพาสคัล.ตารางเมตร/กรัม | 6.4                              | 5.8     | 3.7     | 2.5     |
| ความขาวสว่าง, ร้อยละ                                  | 46.9                             | 40.2    | 31.8    | 18.8    |

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพกระดาษสา-กาแฟ ของเยื่อสาตัวอย่างที่ 2 ผสมกับเยื่อกาแฟ พบว่ามีค่าดัชนีความต้านแรงดึง 61.6, 53.5, 37.4 และ 21.6 กิโลนิวตัน.เมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาด 67.0, 51.6, 32.8 และ 14.7 นิวตัน.ตารางเมตร/กิโลกรัม ตามลำดับ ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกทะลุ 6.4, 5.8, 3.7 และ 2.5 กิโลพาสคัล.ตารางเมตร/กรัม ตามลำดับ และค่าความขาวสว่าง ร้อยละ 46.9, 40.2, 31.8 และ 18.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 7. ผลทดสอบสมบัติทางกายภาพกระดาษสา-กาแฟ ของเยื่อสาตัวอย่างที่ 3 ผสมกับเยื่อกาแฟ

| สมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟ                       | เยื่อสาตัวอย่างที่ 3 : เยื่อกาแฟ |         |         |         |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------|---------|---------|---------|
|                                                       | 100 : 0                          | 75 : 25 | 50 : 50 | 25 : 75 |
| ดัชนีความต้านแรงดึง,<br>กิโลนิวตัน.เมตร/กิโลกรัม      | 62.8                             | 54.4    | 38.0    | 22.8    |
| ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด,<br>นิวตัน.ตารางเมตร/กิโลกรัม  | 68.0                             | 52.3    | 34.6    | 15.2    |
| ดัชนีความต้านแรงฉีกทะลุ,<br>กิโลพาสคัล.ตารางเมตร/กรัม | 6.6                              | 5.9     | 3.8     | 2.5     |
| ความขาวสว่าง, ร้อยละ                                  | 45.2                             | 39.9    | 31.0    | 18.2    |

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพกระดาษสา-กาแฟ ของเยื่อสาตัวอย่างที่ 3 ผสมกับเยื่อกาแฟ พบว่ามีค่าดัชนีความต้านแรงดึง 62.8, 54.4, 38.0 และ 22.8 กิโลนิวตัน.เมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาด 68.0, 52.3, 34.6 และ 15.2 นิวตัน.ตารางเมตร/กิโลกรัม ตามลำดับ ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกทะลุ 6.6, 5.9, 3.8 และ 2.5 กิโลพาสคัล.ตารางเมตร/กรัม ตามลำดับ และค่าความขาวสว่าง ร้อยละ 45.2, 39.9, 31.0 และ 18.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 8. ผลทดสอบสมบัติทางกายภาพกระดาศา-กาแฟ ของเชื้อสาตัวอย่างที่ 4 ผสมกับเชื้อกาแฟ

| สมบัติทางกายภาพของกระดาศา-กาแฟ                        | เชื้อสาตัวอย่างที่ 4 : เชื้อกาแฟ |         |         |         |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------|---------|---------|---------|
|                                                       | 100 : 0                          | 75 : 25 | 50 : 50 | 25 : 75 |
| ดัชนีความต้านแรงดึง,<br>กิโลนิวตัน.เมตร/กิโลกรัม      | 64.4                             | 55.0    | 38.8    | 22.9    |
| ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด,<br>นิวตัน.ตารางเมตร/กิโลกรัม  | 69.8                             | 53.4    | 35.0    | 16.5    |
| ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ,<br>กิโลพาสคัล.ตารางเมตร/กรัม | 6.8                              | 6.1     | 4.0     | 2.6     |
| ความขาวสว่าง, ร้อยละ                                  | 44.6                             | 38.8    | 30.1    | 17.4    |

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพกระดาศา-กาแฟ ของเชื้อสาตัวอย่างที่ 4 ผสมกับเชื้อกาแฟ พบว่ามีค่าดัชนีความต้านแรงดึง 64.4, 55.0, 38.8 และ 22.9 กิโลนิวตัน.เมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาด 69.8, 53.4, 35.0 และ 16.5 นิวตัน.ตารางเมตร/กิโลกรัม ตามลำดับ ค่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุ 6.8, 6.1, 4.0 และ 2.6 กิโลพาสคัล.ตารางเมตร/กรัม ตามลำดับ และค่าความขาวสว่าง ร้อยละ 44.6, 38.8, 30.1 และ 17.4 ตามลำดับ

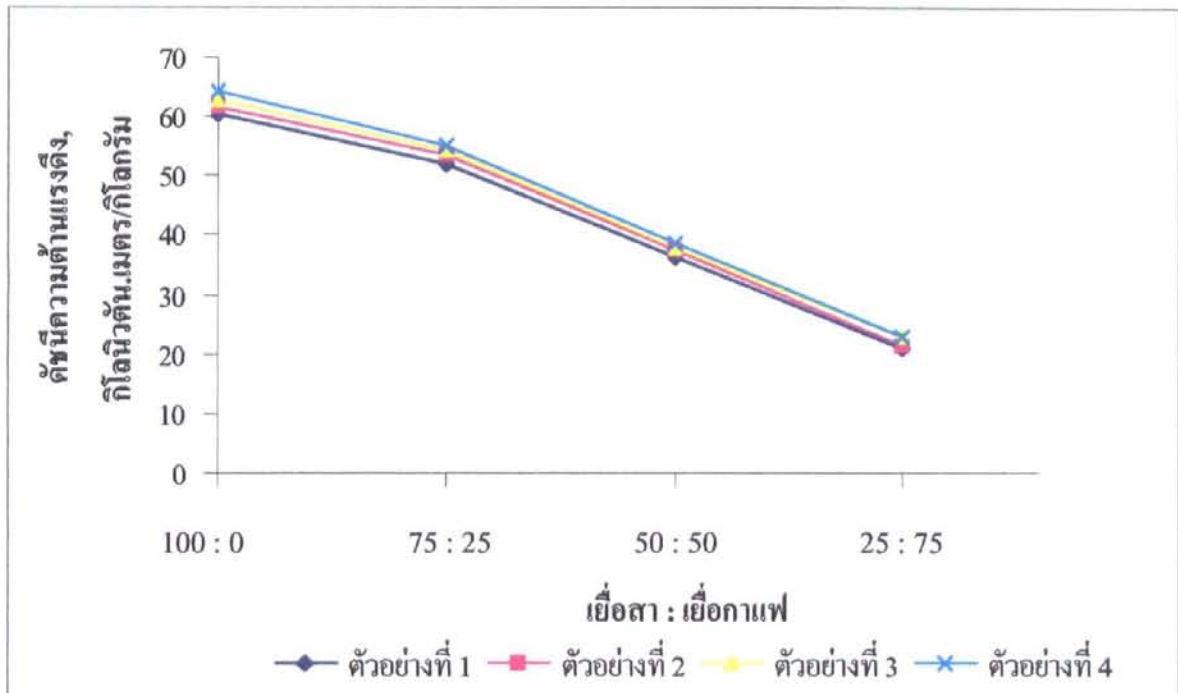
#### 4.4.3 เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของกระดาศา-กาแฟ

นำผลทดสอบสมบัติทางกายภาพ ของตัวอย่างกระดาศา-กาแฟที่ได้จากข้อ 4.4.2 มาศึกษาเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงดึง ดัชนีความต้านแรงฉีกขาด และดัชนีความต้านแรงดันทะลุ ดังแสดงในตารางที่ 9 ถึงตารางที่ 11 ดังนี้

ตารางที่ 9. แสดงผลทดสอบเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงดึงของตัวอย่างกระดาศา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง

| เชื้อสา : เชื้อกาแฟ | ดัชนีความต้านแรงดึง,<br>กิโลนิวตัน.เมตร/กิโลกรัม |               |               |               |
|---------------------|--------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                     | ตัวอย่างที่ 1                                    | ตัวอย่างที่ 2 | ตัวอย่างที่ 3 | ตัวอย่างที่ 4 |
| 100 : 0             | 60.5                                             | 61.6          | 62.8          | 64.4          |
| 75 : 25             | 52.1                                             | 53.5          | 54.4          | 55.0          |
| 50 : 50             | 36.4                                             | 37.4          | 38.0          | 38.8          |
| 25 : 75             | 21.0                                             | 21.6          | 22.8          | 22.9          |

ผลทดสอบในตารางที่ 9 พบว่า เมื่อผสมเชื้อกาแฟในกระดาศา-กาแฟมากขึ้น ค่าดัชนีความต้านแรงดึงลดลงและความแข็งแรงของกระดาศา-กาแฟลดลงด้วยทั้ง 4 ตัวอย่าง



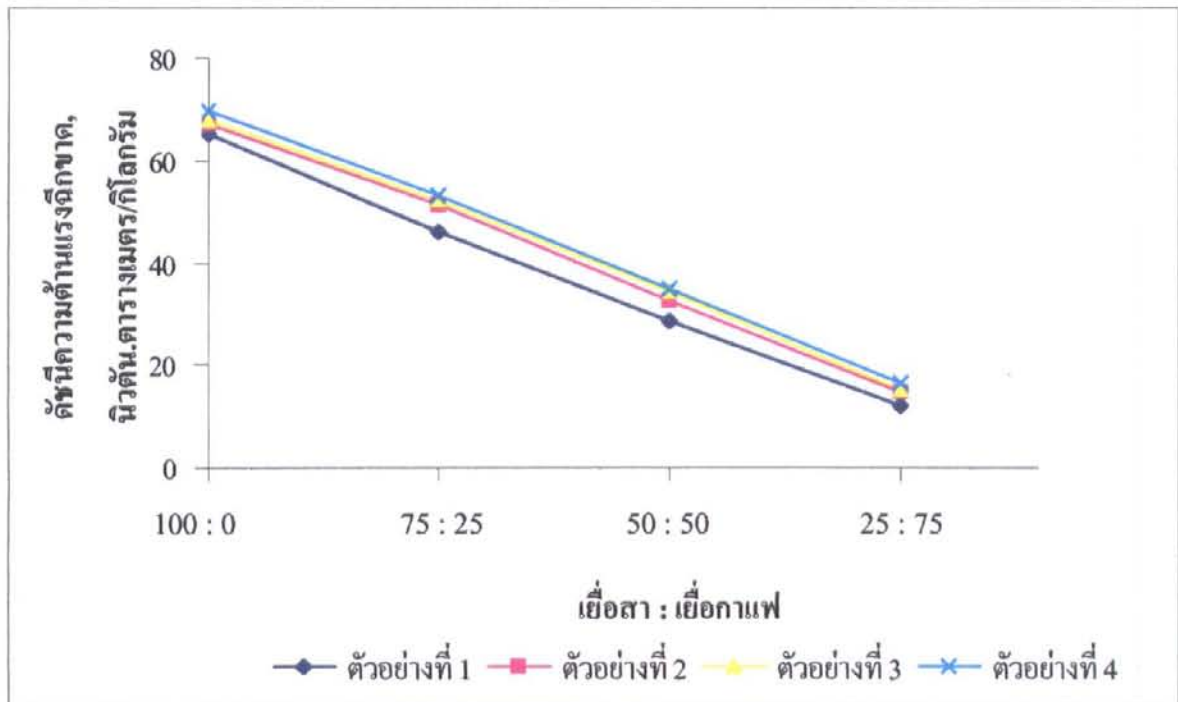
ภาพที่ 2. เปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงดึงของตัวอย่างกระดาศสา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง

จากผลทดสอบในตารางที่ 9 มาสร้างกราฟเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงดึงของตัวอย่างกระดาศสา-กาแฟ 4 ตัวอย่างในภาพที่ 2. พบว่า เมื่อผสมเชื้อกาแฟในกระดาศสา-กาแฟมากขึ้น ค่าดัชนีความต้านแรงดึงลดลงทำให้ความแข็งแรงของกระดาศลดลงด้วย

ตารางที่ 10. แสดงผลทดสอบเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงดึงของตัวอย่างกระดาศสา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง

| เชื้อสา : เชื้อกาแฟ | ค่าดัชนีความต้านแรงดึง, นิวตัน.ตารางเมตร/กิโลกรัม |               |               |               |
|---------------------|---------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                     | ตัวอย่างที่ 1                                     | ตัวอย่างที่ 2 | ตัวอย่างที่ 3 | ตัวอย่างที่ 4 |
| 100 : 0             | 65.4                                              | 67.0          | 68.0          | 69.8          |
| 75 : 25             | 46.0                                              | 51.6          | 52.3          | 53.4          |
| 50 : 50             | 28.7                                              | 32.8          | 34.6          | 35.0          |
| 25 : 75             | 12.1                                              | 14.7          | 15.2          | 16.5          |

ผลทดสอบในตารางที่ 10 พบว่า ค่าดัชนีความต้านแรงดึงของตัวอย่างกระดาศสาทั้ง 4 ตัวอย่างลดลง เมื่อผสมเชื้อกาแฟมากขึ้น ทำให้ความแข็งแรงของกระดาศลดลงด้วย



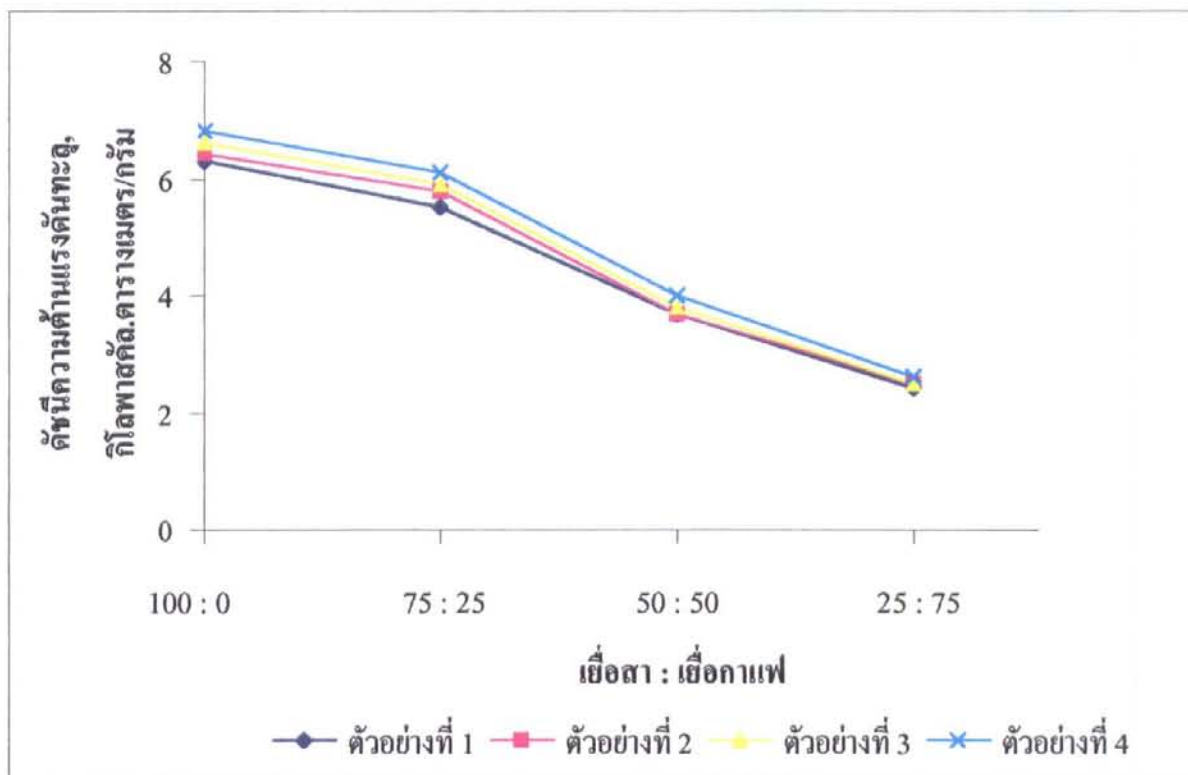
ภาพที่ 3. เปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของตัวอย่างกระดาศสา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง

จากผลทดสอบในตารางที่ 10 มาสร้างกราฟเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของตัวอย่างกระดาศสา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง ในภาพที่ 3. พบว่า เมื่อนำเยื่อกาแฟมาผสมในกระดาศสา-กาแฟมากขึ้น ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดลดลงและความแข็งแรงของกระดาศลดลงด้วย

ตารางที่ 11. เปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของตัวอย่างกระดาศสา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง

| เยื่อสา : เยื่อกาแฟ | ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาด, กิโลพาสคัล.ตารางเมตร/กรัม |               |               |               |
|---------------------|------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                     | ตัวอย่างที่ 1                                        | ตัวอย่างที่ 2 | ตัวอย่างที่ 3 | ตัวอย่างที่ 4 |
| 100 : 0             | 6.3                                                  | 6.4           | 6.6           | 6.8           |
| 75 : 25             | 5.5                                                  | 5.8           | 5.9           | 6.1           |
| 50 : 50             | 3.7                                                  | 3.7           | 3.8           | 4.0           |
| 25 : 75             | 2.4                                                  | 2.5           | 2.5           | 2.6           |

ผลทดสอบในตารางที่ 11 พบว่า เมื่อผสมเยื่อกาแฟในกระดาศสา-กาแฟมากขึ้น ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาดของกระดาศสา-กาแฟทั้ง 4 ตัวอย่างลดลงทำให้ความแข็งแรงของกระดาศลดลงด้วย



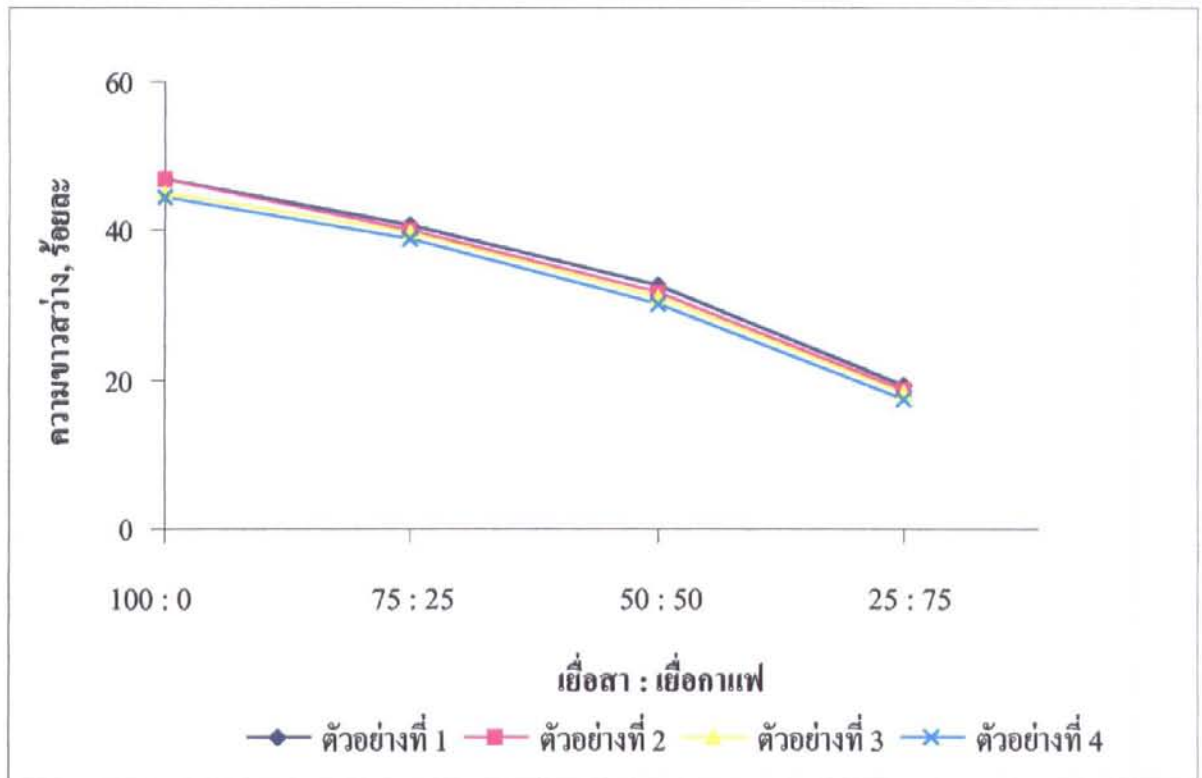
ภาพที่ 4. เปรียบเทียบค่าดัชนีความความต้านแรงดันทะลุของตัวอย่างกระดาสา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง

จากผลทดสอบในตารางที่ 11 มาสร้างกราฟเปรียบเทียบค่าดัชนีความความต้านแรงดันทะลุของตัวอย่างกระดาสา-กาแฟ 4 ตัวอย่างในภาพที่ 4. พบว่า ค่าดัชนีความต้านแรงดันทะลุลดลง เมื่อผสมเชื้อกาแฟในกระดาสา-กาแฟมากขึ้น ทำให้ความแข็งแรงของกระดาสลดลงด้วย

ตารางที่ 12. แสดงผลทดสอบเปรียบเทียบค่าความขาวสว่างของตัวอย่างกระดาสา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง

| เชื้อสา : เชื้อกาแฟ | ความขาวสว่าง, ร้อยละ |               |               |               |
|---------------------|----------------------|---------------|---------------|---------------|
|                     | ตัวอย่างที่ 1        | ตัวอย่างที่ 2 | ตัวอย่างที่ 3 | ตัวอย่างที่ 4 |
| 100 : 0             | 47.0                 | 46.9          | 45.2          | 44.6          |
| 75 : 25             | 40.8                 | 40.2          | 39.9          | 38.8          |
| 50 : 50             | 32.6                 | 31.8          | 31.0          | 30.1          |
| 25 : 75             | 19.4                 | 18.8          | 18.2          | 17.4          |

ผลทดสอบในตารางที่ 12 พบว่า เมื่อผสมเชื้อกาแฟในกระดาสา-กาแฟมากขึ้น ทำให้ค่าความขาวสว่างลดลงและความขาวสว่างของกระดาสา-กาแฟทั้ง 4 ตัวอย่างลดลงด้วย



ภาพที่ 5. เปรียบเทียบค่าความขาวสว่างของตัวอย่างกระดาศสา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง

จากผลทดสอบในตารางที่ 12 มาสร้างกราฟเปรียบเทียบค่าความขาวสว่างของตัวอย่างกระดาศสา-กาแฟ 4 ตัวอย่าง ในภาพที่ 5. พบว่า ค่าความขาวสว่างของกระดาศสา-กาแฟทั้ง 4 ตัวอย่างลดลง เมื่อนำเยื่อกากแฟมาผสมมากขึ้นในกระดาศสา-กาแฟ ทำให้ความขาวสว่างของกระดาศสา-กาแฟทั้ง 4 ตัวอย่างลดลงด้วย

## บทที่ 5

### วิจารณ์ผลการทดลอง

#### 5.1) การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่า ค่าของลิกนิน (lignin) ที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างเปลือกสาทั้ง 4 ตัวอย่าง มีค่าค่อนข้างต่ำและใกล้เคียงกัน คือ ร้อยละ 5.2, 5.5, 5.8 และ 6.5 ของน้ำหนักเปลือกสาอบแห้ง ตามลำดับ และค่าของลิกนินที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างเปลือกผลกาแฟก็มีค่าที่อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำเช่นกันที่ร้อยละ 9.4 ของน้ำหนักเปลือกผลกาแฟอบแห้ง ซึ่งในไม้ทั่วไปจะมีค่าลิกนินอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 20-25 ในไม้เนื้อแข็ง (hardwood) และประมาณร้อยละ 25-35 ในไม้เนื้ออ่อน (softwood) ซึ่งค่าลิกนินนี้จะเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญค่าหนึ่งในการพิจารณาหาสถานะการต้มเยื่อที่เหมาะสม

ดังนั้นเมื่อนำค่าลิกนินที่ได้ค่อนข้างต่ำ นำมาใช้เป็นข้อมูลพิจารณาเลือกสภาวะการต้มที่เหมาะสม จะพบว่า สภาวะที่ใช้ในการต้มควรเป็นสภาวะที่มีฤทธิ์อ่อน (mild conditions) ไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิสูงนัก (100 องศาเซลเซียส) เช่น กระบวนการโซดา (Soda process, NaOH) กระบวนการโมโนซัลไฟต์ (Monosulfite process,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )

และจากค่าที่ได้จากการสกัดด้วยด่างร้อยละ 1 (1% NaOH) ของเปลือกสา ค่อนข้างสูง คือ 29.4, 29.9, 31.7 และ 32.8 ของน้ำหนักเปลือกสาอบแห้งตามลำดับ ค่าดังกล่าวเป็นตัวบ่งชี้ว่า เปลือกสามีการเสื่อมสลายตัวอย่างรวดเร็วเมื่อทิ้งไว้ตามธรรมชาติ ซึ่งนับว่าเป็นข้อด้อย จึงควรมีความระมัดระวังในการเก็บรักษา เพื่อจะได้ยืดอายุการเสื่อมสลายออกไป

#### 5.2) การตรวจและวัดขนาดเส้นใย

ผลการวัดขนาดเส้นใยของเปลือกสาตัวอย่างหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 พบว่า มีค่าความยาวเฉลี่ย 6.2, 6.8, 7.2 และ 8.1 มิลลิเมตร ความกว้างเฉลี่ย 17.4, 18.5, 18.7 และ 19.2 ไมครอน และมีความหนาของผนังเส้นใยเฉลี่ย 3.9, 4.1, 4.2 และ 5.4 ไมครอนตามลำดับ โดยที่มีความยาวของเส้นใยสายยาวเฉลี่ยเกิน 3 มิลลิเมตร จึงพิจารณาได้ว่าเส้นใยสาเป็นเส้นใยประเภท ไยยาว หรือเรียกว่าเยื่อใยยาว

จากการที่สามีสันใยที่ยาวมากจะพบทั้งข้อดีและข้อเสีย คือ ข้อดีเส้นใยที่ยาวจะเหมาะสมในการผลิตเป็นกระดาษที่มีความแข็งแรงสูงสามารถรับแรงกระทำต่าง ๆ ได้ดี และในข้อเสีย คือ เส้นใยที่ยาวมากจะเกิดการเกี่ยวพันกัน เป็นกลุ่มก้อนเส้นใย จึงทำให้กระดาษที่ได้มีเนื้อกระดาษที่ไม่เรียบสม่ำเสมอ (wild formation) หากต้องการทำให้เนื้อกระดาษเรียบสม่ำเสมอจะต้องเพิ่มการบดตัดเส้นใยมากขึ้น ซึ่งต้องใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นด้วย

สำหรับเปลือกผลกาแฟในการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า มีลักษณะเป็น amorphous และ parenchyma cell จำนวนมาก และไม่พบเซลล์ที่มีลักษณะเส้นใย (fiber) ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะนำมาผลิตเป็นเยื่อกระดาษโดยใช้เฉพาะเปลือกกาแฟร้อยละ 100 ซึ่งต่างจากเปลือกสาที่มีเส้นใยแบบใยยาว

### 5.3) การผลิตเยื่อสาและเยื่อกาแฟ

ผลการต้มเยื่อสาตัวอย่างหมายเลข 1, 2, 3 และ 4 ที่ใช้ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 8 ของน้ำหนักอบแห้ง พบว่า มีความเปลี่ยนแปลงของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 70.7, 70.8, 71.0 และ 71.2 กิโลกรัมต่อตันเปลือกสาอบแห้ง ตามลำดับ และให้ผลผลิตเยื่อสาเท่ากับ ร้อยละ 61.4, 59.4, 57.2 และ 54.7 ของน้ำหนักเปลือกสาอบแห้ง

ความเปลี่ยนแปลงของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการต้มเยื่อและผลผลิตของเยื่อสาที่ได้ทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่า ผลของความเปลี่ยนแปลงของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการต้มเยื่อ จะเปลี่ยนแปลงมากขึ้นตามลำดับความหนาของตัวอย่างเปลือกสา โดยทั่วไปเปลือกสาจะมีความหนาเพิ่มขึ้นตามอายุ และจะมีปริมาณลิกนินที่มากขึ้นด้วย

ส่วนค่า Kappa number หรือค่าดัชนีบ่งชี้ปริมาณของลิกนินที่มีอยู่หรือเหลืออยู่ในเยื่อ ของเยื่อสาที่ได้เท่ากับ 18.5, 18.7, 19.1 และ 19.9 หน่วย ตามลำดับ จะมีความสอดคล้องกับปริมาณร้อยละของลิกนินที่ได้จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของลิกนิน

สำหรับในการต้มเยื่อกาแฟที่ใช้ปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 3 ของน้ำหนักอบแห้ง โดยที่เปลือกผลกาแฟที่ใช้มีการแช่น้ำอย่างน้อย 12 ชั่วโมง จะทำให้เปลี่ยนแปลงโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่ากับ 29.1 กิโลกรัมต่อตันเปลือกผลกาแฟอบแห้ง ได้ผลผลิตเยื่อกาแฟเท่ากับร้อยละ 72.0 ของน้ำหนักเปลือกผลกาแฟอบแห้ง และค่า Kappa number ของเยื่อกาแฟเท่ากับ 50.6 หน่วย

### 5.4) การทดสอบสมบัติทางกายภาพกระดาษสา-กาแฟ

ในการนำเยื่อกาแฟร้อยละ 25, 50 และ 75 มาผสมกับเยื่อสาทั้ง 4 ตัวอย่าง เพื่อทำเป็นกระดาษสา-กาแฟ เมื่อนำกระดาษ สา-กาแฟมาทดสอบสมบัติทางกายภาพดังแสดงผลทดสอบในตารางที่ 5 ถึง ตารางที่ 8 นั้น พบว่า เมื่อนำเยื่อกาแฟมาผสมมากขึ้น ค่าดัชนีความต้านแรงดึง ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาด ค่าดัชนีความต้านแรงฉีกทะลุ และค่าความขาวสว่าง จะลดลงตามลำดับ หรืออาจกล่าวได้ว่า ตัวอย่างกระดาษสา-กาแฟทุกตัวอย่าง ที่ผสมเยื่อกาแฟมากขึ้นจะมีสมบัติทางกายภาพลดลงตามลำดับในทิศทางเดียวกัน

นำสมบัติทางกายภาพที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 9 ถึงตารางที่ 11 มาแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบในภาพที่ 2 ถึงภาพที่ 4 พบว่า สมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟที่ใช้เปลือกสา ตัวอย่างหมายเลข 1, 2 และ 3 มีสมบัติทางกายภาพต่ำกว่าเปลือกสาตัวอย่างหมายเลข 4 เช่น ที่ระดับการนำเยื่อกาแฟมาผสมร้อยละ 75 กับเยื่อสาตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ในตารางที่ 9 แสดงผลทดสอบเปรียบเทียบ ค่าดัชนีความต้านแรงดึง 21.0, 21.6, 22.8 และ 22.9 กิโลนิวตัน.เมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในตารางที่ 10 แสดงผลทดสอบเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงฉีกขาด 12.1, 14.7, 15.2 และ 16.5 นิวตัน.ตารางเมตรต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ในตารางที่ 11 แสดงผลทดสอบเปรียบเทียบค่าดัชนีความต้านแรงฉีกทะลุ 2.4, 2.5, 2.5 และ 2.6 กิโลพาสคัล.ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเปลือกสาตัวอย่างหมายเลข 4 ที่นำเยื่อกาแฟมาผสมร้อยละ 75 จะให้ความแข็งแรงของกระดาษมากกว่าเปลือกสาตัวอย่างหมายเลข 1, 2 และ 3

แต่เมื่อนำผลทดสอบความขาวสว่างที่ได้จากตารางที่ 12 มาแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบ ในภาพที่ 5 พบว่า ค่าความขาวสว่างของกระดาษสา-กาแฟที่ใช้เปลือกสา ตัวอย่างหมายเลข 1 จะให้ค่าความขาวสว่างสูงกว่าตัวอย่างหมายเลข 2, 3 และ 4

จากการตรวจสอบตัวอย่างเปลือกสาจะพบว่า เปลือกสาตัวอย่างหมายเลข 4 ที่มีความหนามากที่สุด และถ้านำความหนาของเปลือกสามาพิจารณาเปรียบเทียบกับเปลือกสาที่มีขายทั่วไป เปลือกสาตัวอย่างหมายเลข 4 ที่มีความหนาเฉลี่ย 1.25 มิลลิเมตรจะเป็นสาที่มีอายุประมาณ 2-3 ปี จึงทำให้เส้นใยที่ได้มีความแข็งแรงและให้สมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าเปลือกสาหมายเลข 3 หมายเลข 2 และเปลือกสาหมายเลข 1 ที่มีความหนาเฉลี่ย 0.75 มิลลิเมตรซึ่งจะเป็นสาที่มีอายุประมาณ 1 ปี

ในการพิจารณาค้นทุนของวัตถุดิบเปลือกสา จะพบว่า เปลือกสาตัวอย่างหมายเลข 4 จะมีต้นทุนที่สูง ซึ่งจะเป็นไปตามระยะเวลาในการปลูก โดยทั่วไปเปลือกสาจะมีความหนาเพิ่มขึ้นตามอายุ

และในกรณีที่นำเยื่อกาแฟมาผสมกับเยื่อสาผลิตเป็นกระดาษสา-กาแฟ พบว่า เยื่อกาแฟที่นำมาผสมนั้นจะมีลักษณะเป็น amorphous, parenchyma cell และไม่พบเซลล์ที่มีลักษณะเส้นใย จึงไม่ส่งผลให้กระดาษสา-กาแฟมีสมบัติทางกายภาพสูงขึ้นแต่กลับทำให้สมบัติทางกายภาพลดลงตามปริมาณเยื่อกาแฟที่ผสม อย่างไรก็ตามสามารถผสมเยื่อกาแฟได้สูงถึงร้อยละ 75 ของเยื่อกระดาษ โดยที่กระดาษยังมีความแข็งแรงในระดับที่สามารถนำไปใช้ผลิต เป็นผลิตภัณฑ์ในงานหัตถกรรมต่าง ๆ ที่ไม่ต้อง การความแข็งแรงของกระดาษสูง เช่น กรอบรูป ภาพและหรือ ดอกไม้ประดิษฐ์ เป็นการเพิ่มมูลค่าของกระดาษอีกทางหนึ่งด้วย ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตกระดาษหัตถกรรมที่เคยใช้แต่เยื่อสาล้วนลงได้ถึง ร้อยละ 75 ของเยื่อกระดาษ นอกจากนี้ยังเป็นการผลิตสินค้าชนิดใหม่ที่มีเอกลักษณ์ความงาม ทั้งด้านลวดลายและสีสรรเฉพาะตัวอีกด้วย

## บทที่ 6

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการทดลอง

การนำเอาเปลือกสาและเปลือกผลกาแฟที่จัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกาแฟทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ วิเคราะห์และทดลองผลิตเป็นกระดาษสา-กาแฟสามารถสรุปผลได้ ดังนี้

การผลิตกระดาษสา-กาแฟที่นำเยื่อสาและเยื่อกาแฟมาผสมกัน แล้วนำไปผลิตเป็นกระดาษ โดยใช้เยื่อกาแฟผสมลงไปเยื่อสาร้อยละ 25, 50 และ 75 ตามลำดับนั้น พบว่า สมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟที่ผลิตได้จะมีค่าลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของเยื่อกาแฟที่ใช้เป็นส่วนผสม

ถึงแม้สมบัติทางกายภาพของกระดาษสา-กาแฟจะไม่สูงนัก แต่การนำเยื่อกาแฟมาผสมจะส่งผลดีที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตได้ตามส่วนที่นำเยื่อกาแฟมาผสม และจะส่งผลถึงลักษณะของกระดาษที่มีสีและลวดลายในโทนสีธรรมชาติและจะเข้มข้นตามส่วนผสมของเยื่อกาแฟที่เพิ่มขึ้น จึงจัดเป็นกระดาษประเภทสวยงามที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวชนิดใหม่ สามารถนำไปใช้ในงานหัตถกรรมต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการความแข็งแรงของกระดาษสูง เช่น กรอบรูป ภาพและหรือดอกไม้ประดิษฐ์ เป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ด้วย

และผลประโยชน์ที่ได้อย่างชัดเจนชัด คือ การนำวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตกาแฟมาใช้พร้อมทำให้เกิดมูลค่าขึ้น ด้วยการนำเปลือกผลกาแฟมาผลิตเป็นเยื่อกาแฟ แล้วนำเยื่อกาแฟที่ได้มาผสมกับเยื่อสาผลิตเป็นกระดาษสา-กาแฟ อันจะทำให้ประชาชนผู้สนใจได้มีกระดาษให้เลือกได้มากขึ้น และเลือกใช้กระดาษได้ตามความแตกต่างความสวยงามและสมบัติของกระดาษที่เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน

#### 6.2 ข้อเสนอแนะ

การนำเปลือกและเนื้อของผลกาแฟที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการผลิตกาแฟมาผสมกับสาผลิตเป็นกระดาษ มีผลเด่นชัด ได้แก่ ในด้านสีของกระดาษที่จะให้โทนสีธรรมชาติและจะเข้มข้นตามส่วนที่นำเยื่อกาแฟมาผสม

ในด้านต้นทุน การใช้เยื่อกาแฟผสม ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ตามส่วนที่นำเยื่อกาแฟมาผสมทดแทนเยื่อสา

ในการใช้งานควรพิจารณาเลือกใช้ตามความเหมาะสม เนื่องจากกระดาษสา-กาแฟมีสมบัติทางกายภาพหรือความแข็งแรงไม่มากพอที่จะนำไปใช้กับงานบรรจุภัณฑ์ เช่น ถุง โดยทั่วไปจึงควรเลือกใช้ในงานหัตถกรรมหรืองานที่ไม่ต้องการความแข็งแรงของ กระดาษสูงหรือกับความต้องการใช้งาน

## เอกสารอ้างอิง

1. ดำรงค์ดี เหล่าแสงธรรม การผลิตเชื้อกระดาษจากหญ้าแฝก. รายงานการวิจัย กองการวิจัย  
กรมวิทยาศาสตร์บริการ, ธันวาคม 2537, 16 หน้า
2. ดำรงค์ดี เหล่าแสงธรรม การผลิตเชื้อกระดาษจากหญ้าแฝกเชิงอุตสาหกรรมและหัตถกรรม.  
รายงานการวิจัย กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ, ตุลาคม 2531, 71 หน้า
3. เพิ่มศักดิ์ สุภาพรเหมินทร์ และคณะ เทคโนโลยีการผลิตปอสาและกระดาษสา. ศูนย์วิจัยพืชไร่เชียงใหม่  
กรมวิชาการเกษตร 2538
4. รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ และคณะ การผลิตเยื่อปอสาคุณภาพสูงเพื่อใช้ในงานหัตถกรรม, รายงานการวิจัย  
กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2542, 43 หน้า
5. รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ ผลการใช้ AMS ในการต้มเยื่อขานอ้อยด้วยกระบวนการโซดา. รายงานการวิจัย  
กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ, กุมภาพันธ์ 2527, หน้า 4
6. สมชาติ รุ่งอินทร์, รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์ การศึกษาหญ้าจระจกและฟางข้าวคุณสมบัติในการทำ  
เยื่อและกระดาษ. รายงานการวิจัย กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ,  
กรกฎาคม 2522,
7. สมชาติ รุ่งอินทร์ ความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับงานวิเคราะห์ทดสอบและคำอธิบายศัพท์ที่ใช้ในงาน  
วิเคราะห์ทดสอบ. ห้องปฏิบัติการเยื่อกระดาษ กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ,  
กรกฎาคม 2528, 37 หน้า
8. สมศักดิ์ ไชยมงคล และคณะ การปลูกสาสำหรับอุตสาหกรรมกระดาษสา. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และ  
เทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2537
9. วันทนี สาตราคม ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเยื่อกระดาษและกระดาษ. รายงานการวิจัย กองการวิจัย  
กรมวิทยาศาสตร์บริการ, ธันวาคม 2516, 11 หน้า
10. วันทนี สาตราคม นิโบล เดชาดิวงส์ และรุ่งอรุณ ศิริพันธุ์ การศึกษาเกี่ยวกับการทำเยื่อกระดาษจาก  
ปอกระสา. กองการวิจัย กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2517
11. Arber, A. The Gramineae, a study of cereal, bamboo and grass. New York : Wheldon &  
Wesley, 1965, 480 p.
12. Miller, J.C. and Miller, J.N. Statistics for analytical chemistry. England : Ellis horwood, 1988,  
p. 216

**ภาคผนวก**

ภาพที่ 6 แสดงตัวอย่าง เปลือกสา หมายเลข 1



ตัวอย่างเปลือกสา หมายเลข 1 และภาพขยายลักษณะตัวอย่าง

ลักษณะทั่วไป ของตัวอย่าง เปลือกสา หมายเลข 1

เป็นตัวอย่างเปลือกสาคือลอก (ชุด) ผิวชั้นนอกแล้ว มีลักษณะกายภาพเฉลี่ย ความหนา 0.25 มิลลิเมตร ความกว้าง 1.0 เซนติเมตร. ความยาว 80 เซนติเมตร. ตัวอย่างจะม้วนตัวตามแนวกว้าง ความกว้างและความหนา ในแต่ละเส้นของเปลือกสาจะไม่เท่ากัน โดยปลายด้านหนึ่งของเปลือกสาจะมีความหนาและความกว้างมากกว่าปลายอีกด้านหนึ่ง (สันนิษฐานว่าเป็นด้านใกล้โคนลำต้นกับด้านทางปลายลำต้น) ตัวอย่างถูกมัดรวมมีน้ำหนักแห้ง (Air dry) ประมาณ 5 กิโลกรัม

ภาพที่ 7 แสดงตัวอย่าง เปลือกสา หมายเลข 2



ตัวอย่างเปลือกสา หมายเลข 2 และภาพขยายลักษณะตัวอย่าง

ลักษณะทั่วไป ของตัวอย่างเปลือกสา หมายเลข 2

เป็นตัวอย่างเปลือกสาคูที่ลอก (ชุด) ผิวชั้นนอกแล้ว มีลักษณะกายภาพเฉลี่ย ความหนา 0.75 มิลลิเมตร ความกว้าง 1.5 เซนติเมตร. ความยาว 110 เซนติเมตร ตัวอย่างจะม้วนตัวตามแนวกว้าง ความกว้างและความหนาจะใกล้เคียงกันทั้งเส้นของเปลือกสาคู ตัวอย่างถูกม้วนด้วยมีดคม (Air dry) ประมาณ 5 กิโลกรัม

ภาพที่ 8 แสดงตัวอย่าง เปลือกสา หมายเลข 3



ลักษณะทั่วไป ของตัวอย่างเปลือกสา หมายเลข 3

เป็นตัวอย่างเปลือกสาคือลอก (ชุด) ผิวชั้นนอกแล้ว มีลักษณะกายภาพเฉลี่ย ความหนา 1.0 มิลลิเมตร ความกว้าง 2.0 เซนติเมตร. ความยาว 110 เซนติเมตร. ตัวอย่างจะม้วนตัวตามแนวกว้าง ความกว้างและความหนาจะ ไกลเคียงกันทั้งเส้นของเปลือกสา ตัวอย่างถูกมัดรวมมีน้ำหนักแห้ง (Air dry) ประมาณ 5 กิโลกรัม

ภาพที่ 9 แสดงตัวอย่าง เปลือกสา หมายเลข 4



ตัวอย่างเปลือกสา หมายเลข 4 และภาพขยายลักษณะตัวอย่าง

ลักษณะทั่วไป ของตัวอย่างเปลือกสา หมายเลข 4

เป็นตัวอย่างเปลือกสาคูที่ลอก (ชุด) ผิวชั้นนอกแล้ว มีลักษณะกายภาพเฉลี่ย ความหนา 1.25 มิลลิเมตร ความกว้าง 2.5 เซนติเมตร. ความยาว 110 เซนติเมตร. ตัวอย่างจะม้วนตัวตามแนวกว้าง ความกว้างและความหนาจะใกล้เคียงกันทั้งเส้นของเปลือกสา ตัวอย่างถูกม้วนด้วยมีน้ำหนักแห้ง (Air dry) ประมาณ 5 กิโลกรัม

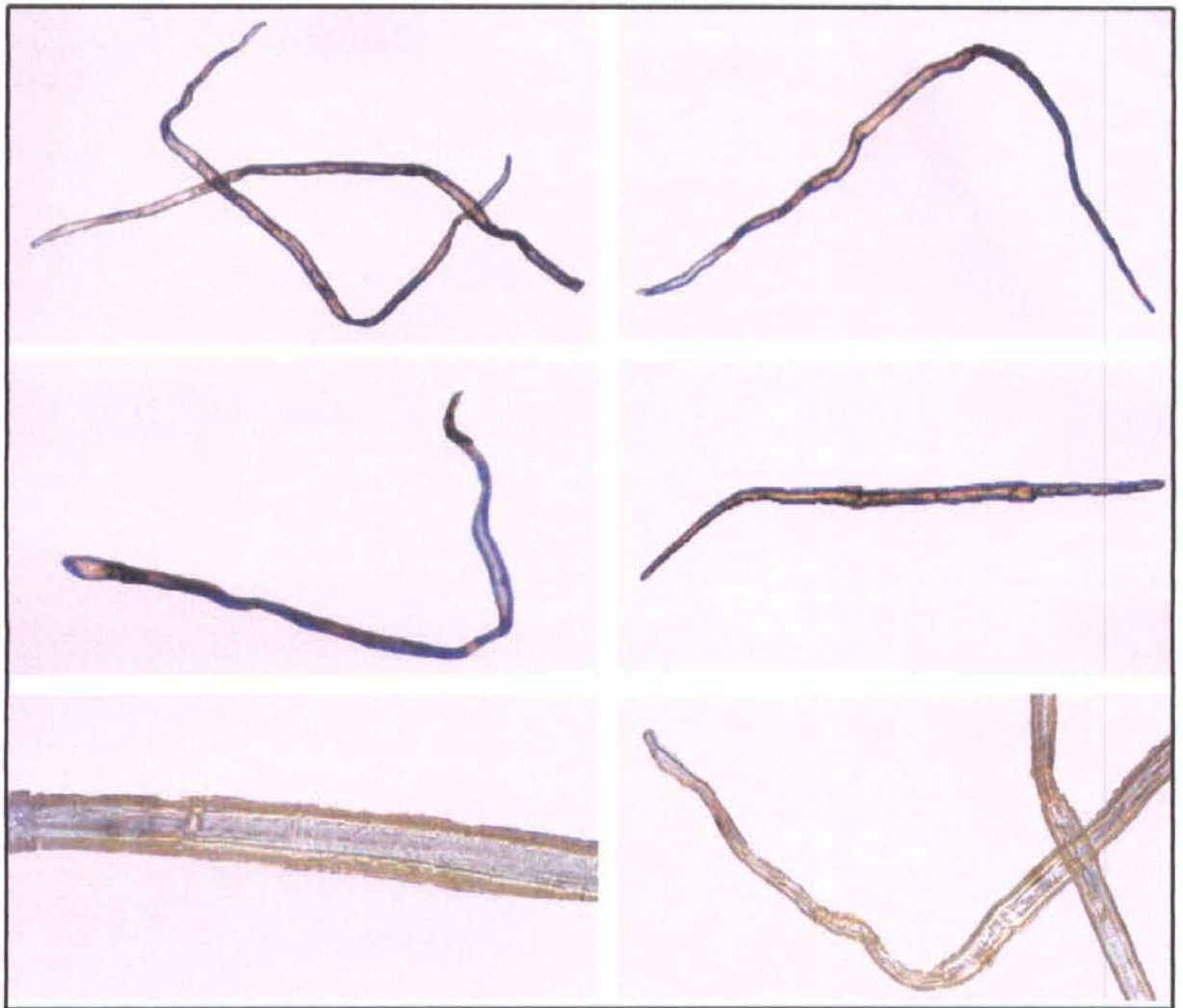
ภาพที่ 10 แสดงตัวอย่าง เปลือกผลกาแฟ



ลักษณะทั่วไป ของตัวอย่างเปลือกผลกาแฟ

เป็นตัวอย่างเปลือกผลกาแฟ สีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีลักษณะกายภาพคล้ายกะลามะพร้าวผ่าครึ่งขนาดเล็กเป็นครึ่งวงรีเฉลี่ย ความกว้าง 0.8 เซนติเมตร. ความยาว 1.0 เซนติเมตร. ตัวอย่างถูกบรรจุในถุงตาข่ายไนล่อน จำนวน 2 ถุง มีน้ำหนักแห้ง (Air dry) รวมประมาณ 5 กิโลกรัม

ภาพที่ 11. ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ ที่กำลังขยาย 10 เท่า แสดงลักษณะเส้นใยของเห็ดสา



ภาพที่ 12 ตัวอย่างกระดาษสา-กาแฟ

