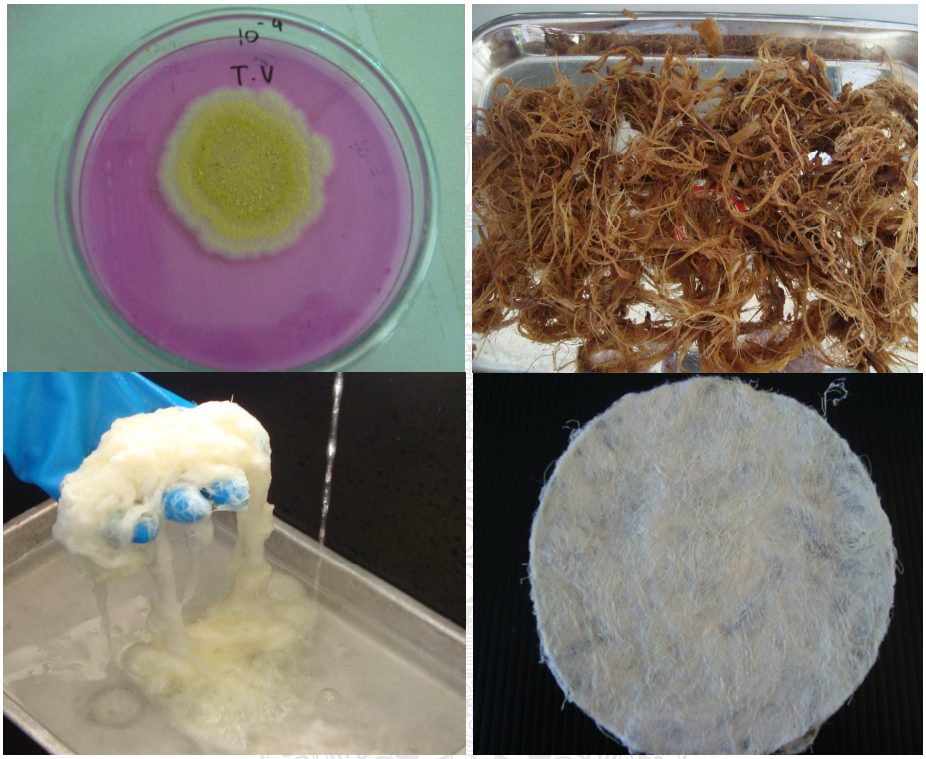
การผลิตเยื่อกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีทางชีวภาพโดยใช้ *Trichoderma viride*

Biopulping from Banana Psendo - Stem of Num-Wa by *Trichoderma viride*



สุจยา ฤทธิศร

สุกาญจน์ รัตนเลิศนุสรณ์

ศิริพร ลุนพรม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

งบรายได้ประจำปี 2554

บทคัดย่อ

จากการศึกษาการใช้รายอยลิกนินในการผลิตเยื่อกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยวิธีทางชีวภาพ พบว่า ปริมาณเชื้อรา *T. viride* ที่เพิ่มมากขึ้นไม่มีผลต่อค่า Kappa number และการย่อยลิกนินแต่ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง เมื่อนำเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 8 10 12 14 และ 16 ค่า Kappa number ภายหลังจากการฟอกของเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* มีค่าน้อยกว่าเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี จากการนำเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* และที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีมาผลิตเป็นกระดาษและนำไปศึกษาค่าความสว่างพบว่ากระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T.viride* ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกน้อยกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีแต่ได้ความขาวสว่างมากกว่าในทุกระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากการคัดเลือกกระดาษที่ผลิตด้วย *T. viride* ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 เปรียบเทียบกับกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 พบว่าคุณสมบัติด้านความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่ผลิตด้วย *T. viride* มีค่าน้อยกว่าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี โดยมีค่าเท่ากับ 3.3 และ 3.9 kg/cm^2 ตามลำดับ แต่ความต้านทานแรงฉีกขาดกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* มีค่ามากกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี โดยมีค่าเท่ากับ 24 .33 $mN.m^2/g$ และ 19.23 $mN.m^2/g$ ตามลำดับ

คำสำคัญ : ผลิตกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพ รายอยลิกนิน เยื่อจากกล้วยน้ำว้า

Abstract

Study in the application of ligninolytic fungi for biopulping from banana pseudo-stem of num-wa was found that the incremental of *T.viride* had no effect to Kappa number and lignin degradation but depend on cultured time. The banana pseudo-stem of num-wa biopulping by *T.viride* with varied hydrogen peroxide bleaching (i.e. 0, 8, 10, 12, 14 and 16%) had Kappa number lower than the product which was made from the chemical process. Paper produced from banana pseudo-stem of num-wa biopulping by *T.viride* used less hydrogen peroxide for bleaching than the chemical-made paper but yield more brightness in all level of hydrogen peroxide concentration. Comparison the selective paper produced from *T.viride* bleaching with 12% hydrogen peroxide to the selective paper produced from chemistry bleaching with 14% hydrogen peroxide found that bursting strength had lower valve by 3.3 and 3.9 kg/cm^2, respectively. However, tearing strength of paper produced from *T.viride* had higher than the paper produced from chemistry bleaching by 24.33 and 19.23 $mN.m^2/g$, respectively.

Keywords : biopulping, ligninolytic fungi, Banana psendo - stem of num-wa

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สารบาญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบาญ	ค
สารบาญตาราง	ง
สารบาญภาพ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร	3
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	19
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	29
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	49
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก	
ก	55
ข	59
ค	65

สารบาญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1 ค่าแฟกเตอร์ f สำหรับปรับค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของการใช้เปอร์แมงกาเนตที่ใช้ 25
2 ลักษณะสีและลวดลายของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าทั้งที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ 37
3 ลักษณะเส้นใยของกาบกล้วยน้ำว้าที่ได้จากกระบวนการผลิตเยื่อด้วยวิธีทางเคมี 56
4 ลักษณะเส้นใยของกาบกล้วยน้ำว้าที่ได้จากกระบวนการผลิตเยื่อด้วยวิธีทางชีวภาพ 58
5 ค่า Kappa number ที่เหลือจากการฟอกเยื่อกาบกล้วยน้ำว้าด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 60
6 ค่า Kappa number และการย่อยลิกนิน ที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride* 61
7 ค่า Kappa number ค่าการย่อยลิกนิน ค่าการย่อยเซลลูโลส และค่า Selection factor ที่ได้จากการย่อยสลายกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride* (A-1-5) 62
8 เปรียบเทียบค่า Kappa number ของเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีกับที่ผลิตด้วย *T. viride* (A-1-5) ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เท่ากัน 62
9 ความขาวสว่างและความหนาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า 63
10 ความต้านแรงดันทะลุและความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า 63
11 เปรียบเทียบคุณสมบัติของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 กับที่ผลิตด้วย *T. viride* ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 64

สารบาญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1 ต้นกล้วยน้ำว้า 6
2 โครงสร้างของลิกนิน 9
3 ขั้นตอนการทำกระดาษเชิงหัตถกรรมจากกล้วยน้ำว้า 27
4 ค่า Kappa number ที่เหลือจากการฟอกเยื่อกาบกล้วยน้ำว้าด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 29
5 ค่า Kappa number ที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride* 31
6 การย่อยลิกนินที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride* 32
7 การย่อยเซลลูโลสและค่า Selection factor ที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride* (A-1-5) 33
8 ค่า Kappa number ของเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกต่างกันของวิธีทางชีวภาพ 34
9 เปรียบเทียบค่า Kappa number ของเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีและที่ผลิตด้วย *T. viride* (A-1-5) ที่ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกต่างกัน 35
10 ความขาวสว่างของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า 40
11 ความหนาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า 40
12 ความต้านแรงดันทะลุของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า 41
13 ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า 41
14 กระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 กับกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* (A-1-5) ที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ12 ก. ความขาวสว่าง ข. ความหนา 46

สารบาญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

15 กระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 14 กับกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* (A-1-5) ที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ12 ก. ความต้านแรงดันทะลุ ข. ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด 47

16 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด (Tering Strength) 66

17 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting Strength) 66

18 เครื่องทดสอบหาความหนา (Thickness gate) 67

19 เครื่องวัดค่าสีบนสิ่งพิมพ์ และค่าความดำ (Spectro Densitometer) 67

บทที่ 1
บทนำและวัตถุประสงค์

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมจะใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ใช้ในการแช่และต้มเยื่อกระดาษ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ใช้ในการฟอกเยื่อกระดาษ สารเคมีทั้งสองจะเป็นตัวทำให้กระดาษที่ได้มีความขาวสว่าง เนื่องจากเกิดการทำปฏิกิริยากับลิกนิน ทำให้ปริมาณลิกนินในเยื่อกระดาษลดลง แต่การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ถึงแม้ว่าจะทำให้ปริมาณลิกนินในเยื่อลดลง ในทางกลับกันผลผลิตเยื่อที่ได้ก็จะมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน (วุฒินันท์, 2545) นอกจากนี้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการต้มเยื่อ น้ำทิ้งที่ได้จะมีส่วนประกอบของโซเดียมที่อยู่ในรูปเกลือต่างๆ สารประกอบคาร์โบไฮเดรต และลิกนิน สารต่างๆเหล่านี้จะส่งผลให้น้ำทิ้งมีค่าซีโอดี (COD ; Chemical oxygen demand) สูง ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (วิชชา, 2545) ส่วนปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อกระดาษ เป็นเพียงการทำให้ลิกนินที่ก่อให้เกิดสีแตกตัวเท่านั้น ไม่ใช่เป็นการกำจัดลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อ เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดการออกซิไดส์กลุ่มคาร์บอนิลในคาร์โบไฮเดรตให้เปลี่ยนเป็นกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งเป็นการทำให้สีของลิกนินที่เหลืออยู่ขาวขึ้น แต่จะกลับเป็นสีเหลืองได้ง่าย เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่สลายตัวง่าย แม้จะเก็บไว้โดยมิได้ทำปฏิกิริยากับสารอื่น จึงทำให้ลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อรวมตัวกันได้อีกครั้ง ความขาวของกระดาษจึงลดลง (วุฒินันท์, 2545) นอกจากนี้การผลิตกระดาษจากกล้วยด้วยวิธีทางเคมีจะมีผลทำให้คุณภาพของกระดาษที่ได้มีความแข็งกระด้าง หยาบ และไม่เรียบอีกด้วย (ทินกร, 2546)

ในระยะเวลาที่ผ่านมา ได้มีการริเริ่มการผลิตกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพขึ้น ซึ่งวิธีนี้จัดว่าเป็นวิธีการผลิตกระดาษที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมกำลังได้รับความนิยมและต่างประเทศได้ให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก การผลิตกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพ เป็นการใช้เชื้อจุลินทรีย์หมักกับวัตถุดิบ (พืช) เพื่อย่อยสลายลิกนินในพืช แทนการใช้สารเคมีพวกโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้สามารถเพิ่มคุณภาพของกระดาษให้ดีขึ้น และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากสารเคมี ซึ่งการผลิตกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพนี้ ยังคงมีการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมเพื่อค้นหาจุลินทรีย์และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมอยู่ต่อไป ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของมณี และคณะ (2545)

ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการฟอกเยื่อปอสาทางชีววิธีด้วยเชื้อราที่ย่อยสลายลิกนิน พบว่าการเติม PDB (Potato dextrose broth) หรือ Kirk's medium ลงในเยื่อกล้วยเพื่อเป็นอาหารเสริม ทำให้ประสิทธิภาพการฟอกเยื่อของเชื้อราสายพันธุ์ KPS45 และ RN25 ลดลง ส่วนอุณหภูมิและค่าความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมของเชื้อราสายพันธุ์ RN25 คือ 35 องศาเซลเซียส และ 7.2 ตามลำดับ ในขณะที่ KPS45 คือ 30-40 องศาเซลเซียส และ 7.2-8.5 ตามลำดับ และเชื้อราทั้งสองสายพันธุ์ สามารถฟอกเยื่อได้ดีที่สุดเมื่อใช้ปริมาณเยื่อปอสาที่เพิ่มขึ้น (Pulp consisteney) เท่ากับ 20 % ส่วนกัลยวัต (2546) ได้ศึกษาการใช้รายย่อยลิกนินในการผลิตเยื่อกระดาษจากชานอ้อย ใบสับปะรด และปอสา พบว่าการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และความเหนียวของเยื่อกระดาษที่ได้จากการใช้เชื้อรา YK179 NP3 และ NP4 ย่อยลิกนินก่อนวิธีการทางเคมี ให้อัตราส่วนการย่อยลิกนินต่อการย่อยเซลลูโลส (Selection factor) สูงกว่าไอโซเลทอื่นๆ คือ 0.019, 0.026 และ 0.028 ตามลำดับ และสามารถเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพ และความเหนียวให้กับกระดาษที่ได้จากชานอ้อย และใบสับปะรด และลดค่า Kappa number ในกระดาษที่ได้จากใบสับปะรด และปอสา

ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงได้ให้ความสนใจกับการผลิตกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพ เช่นเดียวกัน โดยใช้เชื้อรา *Trichoderma viride* ที่คัดแยกได้จากดินเลนบริเวณนากุ้งร้าง จังหวัดสมุทรสาคร (สุกาญจน์, 2553) มาย่อยสลายลิกนินออกจากกาบกล้วยน้ำว้าเพื่อพัฒนาคุณภาพกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของกระดาษทางเคมีที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพเปรียบเทียบกับกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี
2. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและด้านความเหนียวของกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพเปรียบเทียบกับกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เชื้อรา *T. viride* ในการผลิตเยื่อกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 ความรู้เกี่ยวกับกล้วย

กล้วยเป็นผลไม้เขตร้อนที่มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งในภูมิภาคดังกล่าว จากการศึกษาพบว่ากล้วยมีวิวัฒนาการถึง 50 ล้านปีมาแล้ว ดังนั้นจึงเป็นผลไม้ที่มนุษย์รู้จักบริโภคเป็นอาหารกันอย่างแพร่หลาย เชื่อกันว่ากล้วยเป็นผลไม้ชนิดแรกที่มีการปลูกเลี้ยงไว้ตามบ้าน และได้แพร่พันธุ์จากเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไปยังดินแดนอื่นๆ ในระยะเวลาต่อมา ในปัจจุบันประเทศอินเดียเป็นประเทศที่มีการปลูกกล้วยมากที่สุดในโลก และมีพันธุ์กล้วยหลายสายพันธุ์ ต่อมาได้มีหมอของจักพรรดิโรมันแห่งกรุงโรมชื่อว่า แอนโตนิอุส มูซา (Antonius Musa) ได้นำหน่อกล้วยจากอินเดียไปปลูกทางตอนเหนือของอียิปต์ เมื่อประมาณ 2,000 พันปีที่แล้ว หลังจากนั้นได้มีการแพร่ขยายพันธุ์กล้วยไปในดินแดนของแอฟริกาที่ชาวอาหรับเข้าไปค้าขายและพำนักอาศัย จนกระทั่งเมื่อประมาณ ค.ศ. 965 ได้มีการกล่าวถึงกล้วยว่าใช้ในการประกอบอาหารชนิดหนึ่งของชาวอาหรับ ซึ่งอร่อยและเป็นที่เลื่องลือมาก ชื่อว่ากาลาอีฟ (kalaif) เป็นอาหารที่ปรุงด้วยกล้วย เมล็ดอัลมอนด์ น้ำผึ้งผสมกับน้ำมันนัต (nut oil) ซึ่งสกัดจากผลไม้เปลือกแข็งชนิดหนึ่ง นอกจากใช้ประกอบอาหารแล้ว ชาวอาหรับยังใช้กล้วยทำยาอีกด้วย ชาวอาหรับเรียกกล้วยว่า “มูซา” ตามชื่อของหมอที่เป็นผู้นำกล้วยเข้ามาในอียิปต์เป็นครั้งแรก (เบญจมาศ, 2545)

ในช่วงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 15 ชาวโปรตุเกสได้เดินเรือไปค้าขายบริเวณชายฝั่งตะวันตกของทวีปแอฟริกา และได้นำกล้วยไปแพร่พันธุ์ที่หมู่เกาะคะแนรี ซึ่งตั้งอยู่นอกชายฝั่งตะวันตกเฉียงเหนือของทวีป หลังจากนั้นชาวสเปนจึงได้นำกล้วยจากหมู่เกาะคะแนรีเข้าไปปลูกในหมู่เกาะอินดีสตะวันตกอเมริกากลาง โดยเริ่มปลูกที่อาณานิคมซันโตโดมิงโก บนเกาะฮิสปันโยลาเป็นแห่งแรก แล้วขยายไปปลูกที่เกาะอื่นในเวลาต่อมา ส่งผลให้ดินแดนในอเมริกากลางมีการปลูกกล้วยเป็นพืชเศรษฐกิจกันอย่างแพร่หลาย และนับตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา ได้กลายเป็นแหล่งปลูกกล้วยเป็นสินค้าส่งออกมากที่สุดของโลก โดยปลูกมากในประเทศคอสตาริกา และประเทศฮอนดูรัส กล้วยจัดอยู่ในวงศ์ มูซาซิอี (musaceae) และแบ่งออกเป็น 2 สกุล (genus) ด้วยกันคือ (เบญจมาศ, 2545)

2.1.1 กล้วยแตกกอ (genus Musa) กล้วยในสกุลนี้มีการแตกกอ แตกหน่อแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

2.1.1.1 อูมูซา (eumusa) กล้วยในกลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่ใหญ่ และมีความสำคัญทางเศรษฐกิจมากที่สุด เป็นกล้วยที่ใช้ในการประกอบอาหารนอกจากนี้ก็ใช้ทำเส้นใยพบได้ทั่วไป ตามบริเวณเขตร้อนและเขตอบอุ่น

2.1.1.2 ออสเตรลิมูซา (australimusa) กล้วยกลุ่มนี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจน้อยกว่าพวกแรกที่สำคัญมีกล้วยป่านมนิลา (m. textilis) หรือบางทีเรียกอะบากา (abaca or manila hemp) มีมากในประเทศฟิลิปปินส์ นอกจากนี้กล้วย “ฟีไอ” (fei) เป็นกล้วยที่เป็นแป้งมาก ใช้เป็นอาหารคนแถวหมู่เกาะแปซิฟิก

2.1.1.3 คัลลิมูซา (cullimusa) ไม่ค่อยมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ส่วนใหญ่ใช้เป็นไม้ประดับ

2.1.1.4 โรโดคลามีส์ (rhodochlamys) ไม่ค่อยมีความสำคัญทางเศรษฐกิจส่วนใหญ่ ใช้เป็นไม้ประดับเช่นกัน

2.1.2 กล้วยโทน (genus Ensete) กล้วยในสกุลนี้ไม่มีการแตกกอ แต่ขึ้นเป็นต้นเดี่ยวๆ มีอายุราว 2 ปี หรือมากกว่า ต้นมักจะตายหลังจากให้เมล็ดแล้ว ผลรับประทานไม่ได้ กล้วยในสกุลนี้ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด บางชนิดใช้เป็นอาหารแป้ง เป็นผัก หรือเป็นเส้นใย ไม่ค่อยมีความสำคัญทางเศรษฐกิจ

2.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของกล้วย (เบญจมาศ, 2545)

2.2.1 ลำต้น กล้วยมีลำต้นอยู่ใต้ดินเรียกว่า หัว หรือเหง้า (rhizome) ที่หัวมีตา (bud) ซึ่งเจริญเป็นต้นเกิดหน่อ (Sucker) หลายหน่อเรียกว่า การแตกกอหน่อที่เกิดหรือต้นที่เห็นอยู่เหนือดิน ความจริงแล้วมิใช่ลำต้น เราเรียกว่า ลำต้นเทียม (pseudostem) ส่วนนี้เกิดจากการอัดแน่นของกาบใบที่เกิดจากจุดเจริญของลำต้นใต้ดิน กาบใบจะชูก้านใบ และใบ ที่จุดเจริญนี้จะมีการเจริญเป็นดอกตามขึ้นมาหลังจากสิ้นสุดการเจริญของใบ ใบสุดท้ายก่อนการเกิดดอก เรียกว่า ใบธง

2.2.2 ดอก ดอกของกล้วยออกเป็นช่อ (inflorescence) ในช่อดอกยังมีกลุ่มของช่อดอกย่อยเป็นกลุ่มๆ ระหว่างกลุ่มของช่อดอกย่อยแต่ละช่อจะมีกลีบประดับ หรือที่เราเรียกกันว่า กาบปลี (bract) มีสีม่วงแดงกั้นไว้ กลุ่มดอกเพศเมียอยู่ที่โคน และกลุ่มดอกเพศผู้อยู่ที่ปลาย เป็นส่วนที่เราเรียกว่า หัวปลี (male bud) ระหว่างกลุ่มดอกเพศเมียและดอกเพศผู้มีดอกกระเทย แต่บางพันธุ์ก็ไม่มี ในช่อดอกย่อยแต่ละช่อมีดอกเรียงซ้อนกันอยู่ 2 แถว ถ้าเป็นดอกเพศเมีย ดอกเหล่านี้จะเจริญไปเป็นผล

2.2.3 ผล ผลกล้วยเกิดจากดอกเพศเมีย ซึ่งอยู่ที่โคน กลุ่มดอกเพศเมีย 1 กลุ่ม เจริญเป็นผล เรียกว่า 1 หวี ช่อดอกเจริญเป็น 1 เครือ ดังนั้นกล้วย 1 เครืออาจมี 2-3 หวี หรือมากกว่า 10 หวี ทั้งนี้แล้วแต่พันธุ์กล้วยและการดูแล ผลของกล้วยมีการเจริญได้โดยไม่ต้องผสมพันธุ์ จึงทำให้กล้วยส่วนใหญ่ไม่มีเมล็ด

2.2.4 เมล็ด เมล็ดกล้วยมีลักษณะกลมเล็ก บางพันธุ์มีขนาดใหญ่ เปลือกหนา แข็ง มีสีดำ

2.2.5 ราก เป็นระบบรากฝอย แผ่ไปทางด้านกว้างมากกว่าทางแนวดิ่งลึก

2.2.6 ใบ ใบกล้วยมีลักษณะเป็นแผ่นใบใหญ่ มีความกว้างประมาณ 70-90 เซนติเมตร และความยาว 1.7-2.5 เมตร ปลายใบมน รูปใบขอบขนาน โคนใบมน และแผ่นใบมีสีเขียว

2.3 กล้วยน้ำว้า (musa (ABB group) 'Kluai Namwa') (เบญจมาศ, 2545)

กล้วยน้ำว้า (musa (ABB group)'Kluai Namwa') ชื่อสามัญ Pisang awak ชื่อวิทยาศาสตร์ *Musa sapientum Linn* ชื่ออื่นๆ กล้วยใต้ (เชียงใหม่และเชียงราย) กล้วยตานีอ่อง (อุบลราชธานี) กล้วยมะลิอ่อง (จันทบุรี) กล้วยอ่อง (ชัยภูมิ) กล้วยน้ำว้ามีลำต้นเทียมสูงไม่เกิน 3.5 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกและด้านในมีสีเขียวอ่อน ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบ เส้นกลางใบสีเขียวอมชมพู ก้านช่อดอกไม่มีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างป้อมม้วนงอขึ้นปลายมน ด้านบนสีแดงอมม่วง มีนวลด้านล่างสีแดงเข้ม ก้านของดอกตัวเมียตรง ดอกตัวเมียสีงาช้าง เกสรตัวผู้สีครีม เกสรตัวเมียยาวกว่าเกสรตัวผู้มาก ดอกตัวผู้หลุดล่วงหลังจากใบประดับหลุดแล้ว กลีบรวมใหญ่สีชมพูอ่อน ปลายสีเหลือง กลีบรวมเดี่ยวสีขาวใส มีรอยหยักที่ปลาย เครือห้อยลง เครือหนึ่งมี 7-10 หวี หวีหนึ่งมี 10-16 ผล ผลใหญ่กว่ากล้วยไข่ กว้าง 3-4 เซนติเมตร ยาว 11-13 เซนติเมตร มีเหลี่ยม ก้านผลยาว ผลมีความยาวใกล้เคียงกับกล้วยไข่ เปลือกหนากว่ากล้วยไข่ เมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองปนน้ำตาล เนื้อสีขาว รสหวาน ที่แกนกลางหรือไส้กลางมีสีเหลืองชมพูหรือขาว ซึ่งทำให้แบ่งออกได้เป็นกล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยน้ำว้าแดง กล้วยน้ำว้าขาว ส่วนกล้วยน้ำว้าดำมีเนื้อขาว รสหวาน เปลือกมีสีม่วงดำและแตกลายงาเป็นสีสนิม นอกจากนี้ยังมีกล้วยน้ำว้าที่ต้นเตี้ยกว่า 2.5 เมตร เรียกว่ากล้วยน้ำว้าค่อม กล้วยน้ำว้าเขียว ซึ่งเมื่อสุกจะมีสีเหลืองปนเขียว และกล้วยน้ำว้านวลเมื่อดิบจะมีสีเหลืองนวลหนา น้ำว้าลูกไส้ดำ จะมีแกนกลางสีค่อนข้างดำ ซึ่งเป็นส่วนของเมล็ดที่ไม่มีการพัฒนา

กล้วยน้ำว้าพบปลูกทั่วไปในประเทศไทย รับประทานกันมากในทุกๆ ภาค ในภาคกลางปลูกเป็นการค้าทั่วไป ภาคเหนือปลูกมากที่จังหวัดพิษณุโลก เรียกว่า พันธุ์มะลิอ่อง เนื้อกล้วยน้ำว้ามีคุณค่าทางอาหารมาก รับประทานสด และทำเป็นขนมหลายชนิด เช่น กล้วยทอด กล้วยตาก กล้วยบวชชี และกล้วยกวน โดยกล้วยตากเป็นสินค้าส่งออกไปขายต่างประเทศ

ภาพที่ 1 ต้นกล้วยน้ำว้า

ที่มา : http//www.bansuanporpeang.com/node/2490

2.4 การใช้ประโยชน์จากกล้วย

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2485 เป็นต้นมา ประเทศไทยมีการรวบรวมพันธุ์กล้วยไว้เพื่อไม่ให้สูญหาย และเพื่อใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงพันธุ์โดยรวบรวมไว้ได้ถึง 323 สายพันธุ์ ปัจจุบันมีการปลูกกล้วยพันธุ์ต่าง ๆ มากกว่า 50 ชนิดและกล้วยที่มากในเชิงเศรษฐกิจ ได้แก่ กล้วยหอม กล้วยไข่ กล้วยน้ำว้าและกล้วยหักมุก ผลผลิตกล้วยส่วนใหญ่ใช้ภายใน ประเทศในรูปของอาหารสดและอาหารแปรรูปได้ มีการแบ่งกลุ่มพันธุ์กล้วยและการใช้ประโยชน์ ได้แก่

2.4.1 ปลูกเพื่อใช้ใบ ได้แก่ กล้วยตานี กล้วยน้ำว้า กล้วยตานีเป็นกล้วยที่นิยมปลูกกันเพื่อใช้ใบมากกว่า เนื่องจากใบกล้วยตานีมีความเหนียวมากไม่ฉีกขาดง่าย สีเขียวเข้มเป็นเงา แหล่งที่ปลูกเพื่อตัดใบ ได้แก่จังหวัดสุโขทัย ใบกล้วยหรือใบตอง นิยมนำมาทำเป็นภาชนะห่ออาหารกันมาก่อนที่จะใช้พลาสติกเป็นภาชนะใส่อาหารในปัจจุบัน เนื่องจากใบตองมีคุณสมบัติเก็บความร้อนและทนความร้อนได้ดี แต่อย่างไรก็ตาม อาหารไทยและขนมไทยบางชนิด ยังนิยมใช้ใบตองทำเป็นภาชนะอยู่ เพื่อเพิ่มกลิ่นและรสชาติของอาหารซึ่งเกิดจากความร้อนจากการหุงต้มทำปฏิกิริยากับใบตองนั่นเอง ตัวอย่างเช่น ห่อหมก ขนมตาล ขนมใส่ไส้ เป็นต้น นอกจากนั้นยังนิยมนำใบตองมาใช้ตกแต่งงานศิลปะต่างๆ เช่น กระทง บายศรีสู่ขวัญ ซึ่งเป็นการดำรงไว้ในเอกลักษณ์ของความเป็นไทยอีกด้วย

2.4.2 ปลูกเพื่อรับประทานผลสด ได้แก่ กล้วยหอม กล้วยไข่ และกล้วยน้ำว้า จากการสำรวจพื้นที่การเพาะปลูกและปริมาณผลผลิตกล้วย ในปี พ.ศ. 2538 พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกกล้วยน้ำว้า 731,006 ไร่ ผลผลิต 1,180,465 ตัน กล้วยหอม 64,247 ไร่ ผลผลิต 112,036 ตัน และกล้วย 90,259 ไร่

ผลผลิต 154,365 ตัน ผลผลิตกล้วยส่วนใหญ่ใช้ภายในประเทศ ในปี พ.ศ. 2537 มีการส่งออกกล้วยเพียง 1,957 ตัน

2.4.3 ปลูกเพื่อใช้ผลทำอาหารหรือแปรรูป พันธุ์ที่นิยมกัน ได้แก่ กล้วยน้ำว้า กล้วยหักมุก กล้วยหิน กล้วยกลาย กล้วยงาช้าง กล้วยนางพญา กล้วยที่เหมาะสำหรับทำอาหารจะต้องเป็นกล้วยที่มีแป้งมาก เมื่อทำสุกโดยผ่านความร้อนจะให้รสหวานอร่อยกว่าทานผลสด ด้านการผลิตเป็นอาหาร ผลิตภัณฑ์จากกล้วยที่นิยมมากที่สุดโดยอาศัยทักษะที่มีอยู่เดิม เช่น กล้วยตาก กล้วยฉาบ และกล้วยกวน เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการทำกันมากที่สุดทั้งการทำเพื่อบริโภคในบ้านและจำหน่ายในชุมชนผลิตภัณฑ์บางชนิดได้รับความนิยมมาก สามารถนำมาจำหน่ายในตลาด กรุงเทพฯ ได้ผลิตภัณฑ์จากกล้วยบางชนิดเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูปเพื่อการส่งออก ได้ประมาณว่าในปี พ.ศ. 2539 มีการส่งออกกล้วยตากถึง 62 ตัน มูลค่า 10.3 ล้านบาท

2.4.4 ปลูกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ กล้วยนับเป็นสมุนไพรตัวหนึ่งที่มีคุณค่ามากมายอยู่คู่กับชีวิตคนไทยตลอด ทุกส่วนของกล้วยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกอุตสาหกรรมและเหตุผลที่นำกล้วยมาใช้ในเครื่องสำอางค์เนื่องจากมีสารสำคัญและเป็นประโยชน์ที่นำมาใช้คือ วิตามินบี 5 วิตามินซีสูงซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้ผมมีความนุ่มเป็นเงา

2.4.5 ปลูกเพื่อใช้เส้นใย ได้จากส่วนที่เรียกว่ากาบกล้วย โดยใช้ต้นกล้วยที่หักเครือแล้วนำมาลอกกาบกรีดเป็นเส้นใยและตากแห้ง พันธุ์กล้วยที่นิยมนำมาทำเป็นเชือก ที่เรียกว่า “เชือกกล้วย” คือ กล้วยตานี เนื่องจากมีความเหนียวกว่าเส้นใยกล้วยพันธุ์อื่น นอกจากนั้นยังได้มีการทดลองแยกเส้นใยจากส่วนที่เป็นกาบกล้วยด้วยวิธีการแยกแบบหัตถกรรมแล้วนำมาผลิตเป็นผืนผ้าด้วยเครื่องทอมือ อีกทั้งมีการทำกระดาษจากลำต้นกล้วย โดยนิยมใช้กาบกล้วยน้ำว้าทำเป็นกระดาษเชิงหัตถกรรม ซึ่งเส้นใยจากกาบกล้วยน้ำว้ามีลักษณะค่อนข้างผอมบางเรียวยาว มีความยาวเท่ากับ 3.15 มิลลิเมตร และมีความกว้างเท่ากับ 10.2 ไมโครเมตร มีความหนาของผนังเส้นใยเท่ากับ 2.6 ไมโครเมตร (ทินกร, 2546)

2.5 วัตถุดิบสำหรับการผลิตเยื่อและกระดาษ

2.5.1 ไม้ยืนต้น (wood) ไม้ยืนต้นแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

2.5.1.1 ไม้เนื้ออ่อน (softwood) เป็นไม้จำพวก coniferos หรือ gymnosperm มีใบรูปเข็ม ไม่ผลัดใบ เช่น ต้นสนในประเทศไทยมีเพียง 2 ชนิด คือ สนสองใบ และสนสามใบ เส้นใยของไม้ softwood มีความยาวเฉลี่ยประมาณ 3-5 มิลลิเมตร เยื่อที่ได้จาก softwood เรียกว่า เยื่อใยยาว

2.5.1.2 ไม้เนื้อแข็ง (hardwood) เป็นไม้จำพวก angiosperm โดยทั่วไปมีใบกว้าง (broad leaved) ยกเว้นไม้บางชนิด เช่น สนทะเล และสนประดิพัทธ์ในเขตอบอุ่น องค์ประกอบหลักของกระดาษที่ใช้

ในกระบวนการผลิตกระดาษสามารถแบ่งได้ เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเส้นใย ซึ่งเป็นโครงสร้างของแผ่นกระดาษ และส่วนที่ไม่ใช่เส้นใยซึ่งเป็นสารเติมแต่ง ส่วนมากเป็นสารเคมีที่ใช้เติมลงไปในส่วนเส้นใยเพื่อปรับปรุงสมบัติกระดาษให้ได้ตามวัตถุประสงค์การใช้งาน (ธีระ, 2539)

2.5.2 เส้นใย

2.5.2.1 ไม้ใยยาว (coniferous wood) เป็นเนื้อไม้อ่อน ได้แก่ สนสองใบ สนสามใบ และต้นเฟอร์ (Biermann, 1993) มีความยาวเส้นใย 2-4 มิลลิเมตร (ปิยะนันท์, 2539) ประเทศในแถบเมืองหนาวนิยมปลูกเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อใยยาวเป็นเยื่อซึ่งมีคุณสมบัติทำให้กระดาษเหนียวและมีความแข็งแรง (จิตรัตน์, 2542)

2.5.2.2 ไม้ใยสั้น (broad leaved wood) หรือพวกไม้ใบกว้าง เป็นไม้เบญจพรรณ (hard wood) ได้แก่ โอ๊ค ยูคาลิปตัส เมเปิ้ล อ้อย และ เบอร์รี่ (Biermann, 1993) และพืช non-wood ได้แก่ พวกฟางข้าวต่างๆ ทั้งข้าวสาลี ข้าวเจ้า ข้าวบาร์เลย์ พวกหญ้า เช่น ไม้ไผ่ Espato Pyparus ชานอ้อย (Bagasse) เปลือกข้าวโพด ปอกระเจา ใบหม่อน และฝ้าย (Biermann, 1993) มีความยาวเส้นใย 0.5-1.5 เยื่อใยสั้นมีคุณสมบัติทำให้กระดาษทึบแสง และหน้ากระดาษเรียบ (ปิยะนันท์, 2539 และ จิตรัตน์, 2542) ปัจจุบันใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษประมาณ 10% ของเส้นใยที่ทำกระดาษแต่ละปีซึ่งส่วนใหญ่มาจากพืช non-wood ได้แก่ พง ฟาง ชานอ้อย ไม้ไผ่ ฝ้าย และอื่นๆ (Atchison, 1988) เยื่อกระดาษจากไม้เยื่อใยสั้นทุกชนิดใช้ทำกระดาษได้โดยนำมาผสมกับเยื่อใยยาว หรือใช้ทำกระดาษได้มีการศึกษาพบว่า การหมักพืช non-wood ด้วยเชื้อราก่อนทำกระดาษทำให้แยกเยื่อมีประสิทธิภาพดี

2.6 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย มี 3 ส่วน คือ

2.6.1 เซลลูโลส (cellulose) เป็นสารคาร์โบไฮเดรตประเภท polysaccharide น้ำโมเลกุลสูงประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ กันของ β-D-glucopyanose ต่อกันเป็นพอลิเมอร์ มีสมบัติไม่ละลายน้ำ ตัวทำละลายอินทรีย์ทั่วไปและสารละลายด่าง สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) กับกรดได้ และที่สำคัญคือโครงสร้างเป็นไปได้ทั้งเรียงตัวเป็นระเบียบ (crystalline) และแบบไม่เป็นระเบียบ (amorphous) รวมกันในสัดส่วนต่างๆ กัน ซึ่งมีผลทำให้เซลลูโลสมีสมบัติในด้านการดูดซึม (absorption) ยืดหยุ่น (strees-strain) และการพองตัว (swelling) เป็นต้น

2.6.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นสารคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับเซลลูโลสแต่มีโครงสร้างส่วนใหญ่ไม่เป็นระเบียบดังนั้นจึงดูดซึมน้ำได้ดี ซึ่งมีผลช่วยให้เส้นใยพองตัวได้รวดเร็ว ง่ายต่อการตีเยื่อและยังช่วยให้เส้นใยมีคุณสมบัติยืดหยุ่นตัวเพิ่มขึ้นอีกด้วย นอกจากนั้นยังสามารถทำปฏิกิริยาได้ในสารละลายด่าง

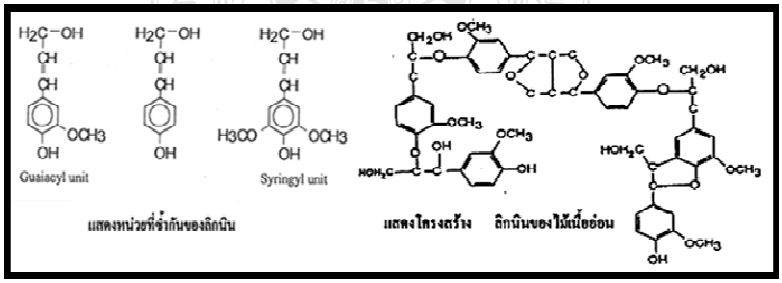
2.6.3 ลิกนิน (lignin) เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มักอยู่รวมกับเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนรวมกันเป็นหน่วยย่อยหลายชนิด ซึ่งเป็นสารอะโรมาติก ลิกนินไม่ละลายน้ำ ไม่มีสมบัติทางการยืดหยุ่น เพราะฉะนั้นจึงทำให้พืชที่มีลิกนินมากมีความแข็งแรงทนทาน เมื่อพืชตายลิกนินจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์ลิกเนส (lignase) หรือลิกนินเนส (ligninase) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในรากไม้แต่ละชนิด

2.7 ลิกนิน

ลิกนินเป็นชื่อที่ใช้ครั้งแรกในปี 1865 โดย Schulze ใช้เรียกสารที่มีคาร์บอนเป็นจำนวนมากและอยู่ใกล้ชิดกันในเนื้อไม้ ลิกนินเป็นสารประกอบที่มีอยู่มากในพืชรองลงมาจากเซลลูโลส (cellulose) และเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) มีอยู่ในผนังชั้นที่สองของผนังเซลล์ และใน middle lamella ห่อหุ้มเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสของพืช มีหน้าที่ช่วยให้ผนังเซลล์ของพืชแข็งแรง เซลล์ของพืชเกาะอยู่รวมกัน ลดการระเหยของน้ำที่อยู่ระหว่างเนื้อเยื่อไซเลม และผนังเซลล์ และป้องกันการทำลายเนื้อเยื่อของพืชโดยจุลินทรีย์ในพืชที่ยังอ่อนอยู่จะมีลิกนินน้อย และจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อแก่มากขึ้น (Kirk, 1971)

2.7.1 โครงสร้างของลิกนิน

ลิกนิน (lignin) เป็นสารประกอบโพลิเมอร์อะโรมาติก (aromatic polymer) มีหน่วยย่อย (monomer) คือ oxyphenlyropanoid ต่อกันด้วยพันธะ C-C และ C-O-C แบบต่างๆ ลิกนินเป็oโพลิเมอร์ที่มีลักษณะ heterogeneous ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ไม่ละลายน้ำ และมีโครงสร้างเป็นแบบสามมิติ



ภาพที่ 2 โครงสร้างของลิกนิน

ที่มา : Heinzkill and Messner (1997)

2.7.2 การสังเคราะห์ลิกนิน

ในการสังเคราะห์ลิกนิน พืชจะตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสงสำหรับสร้างคาร์โบไฮเดรต แล้วเข้าสู่วิถีการสังเคราะห์กรดอะมิโน อะโรมาติก ในกลุ่ม phenylpropane acid กรดอะมิโนจะเปลี่ยนเป็น cinnamic acid ferulic acid และในที่สุดเป็นลิกนิน

2.7.3 การย่อยสลายลิกนิน

ลิกนินเป็นสารประกอบ aromatic ซึ่งถูกทำลายหรือย่อยสลายได้ยาก ลิกนินไม่ละลายในน้ำ ไม่ละลายในกรด แต่ลิกนินสามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นด่างความเข้มข้นสูง และที่อุณหภูมิสูงประมาณ 130-280 องศาเซลเซียส ในการย่อยสลายลิกนินทางเคมีทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม (จิตรัตน์, 2539)

ถึงแม้ว่าโครงสร้างของลิกนินจะมีความซับซ้อนและยากต่อการย่อยสลายแต่ก็มีจุลินทรีย์บางชนิด ที่สามารถย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปลิกนินได้ ซึ่งจุลินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ เชื้อราที่ย่อยสลายเนื้อไม้หรือราที่ทำให้เนื้อไม้ผุพังเชื้อราในกลุ่มนี้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มย่อย ได้แก่ white-rot, brown-rot และ soft-rot fungi (Alexopoulos *et al*., 1996)

2.7.3.1 white-rot ได้แก่กลุ่มของราที่ย่อยสลายได้ทั้งเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินในพืชโดยสามารถย่อยสลายลิกนินและเฮมิเซลลูโลสได้เร็วกว่าเซลลูโลส นอกจากนั้นรากลุ่มนี้บางชนิดยังย่อยสลายลิกนินอย่างสมบูรณ์ได้ผลผลิตเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ การที่เชื้อราในกลุ่มนี้ถูกเรียกว่าราขาว หรือ White-rot นั้นเนื่องมาจากราในกลุ่มนี้จะย่อยสลายลิกนินและเฮมิเซลลูโลสก่อนและเหลือส่วนที่เป็นเซลลูโลสทำให้มีลักษณะเป็นชั้นของเส้นใยที่มีสีอ่อนจางลงกว่าเดิมคล้ายถูกฟอกสี (Kirk and Farrel, 1987) ตัวอย่างราในกลุ่ม white-rot ส่วนใหญ่เป็นเห็ดในกลุ่ม Basidiomycetes นอกจากนี้ยังมีเชื้อราในกลุ่ม Ascomycetes order Spheriales (Kirk, 1971) เช่น *Phanerochaete chrysosporium* เชื้อราในกลุ่ม Hyphomycetes order Hypocreales เช่น *Trichoderma sp.* ก็จัดอยู่ในพวก white-rot เช่นกัน และ *Trichoderma sp.* มีการเจริญสร้างเส้นใยสีขาวที่มีลักษณะคล้ายกำมะหยี่ ผงแป้งหรือปุยคล้ายขนสัตว์ได้อย่างรวดเร็ว มีผนังกั้นเซลล์ (septate hyphae) ผนังเส้นใยเรียบมีการแตกกิ่งก้านมากมาย และสร้างส่วนที่ขยายพันธุ์เรียกว่าสปอร์ ซึ่งเกิดจากการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ สร้างสปอร์สีเขียวได้เป็นจำนวนมาก พบได้ทั่วไปในดิน มูลสัตว์ และส่วนของพืชที่เน่าเปื่อย จากการศึกษาคัดแยก *Trichoderma sp.*จากดินเลนบริเวณนากุ้งร้าง ตำบลโคกขาม อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร ของสุกาญจน์ (2553) สามารถพบ *Trichoderma viride*, *T. harzianum* และ *T. hamatum* ที่มีความความสามารถในการผลิตเอนไซม์ peroxidase, laccase และ xylanase ได้ดี

2.7.3.2 brown-rot ราในกลุ่มนี้เป็นราที่ย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสได้ดีกว่าลิกนิน ดังนั้น เมื่อเจริญบนเนื้อไม้ได้ระยะหนึ่งจะทำให้เนื้อไม้มีสีน้ำตาลและมีลักษณะเป็นก้อนสีเหลี่ยมลูกบาศก์ที่ร่วนเปราะเนื่องจากส่วนของลิกนินเหลืออยู่ ตัวอย่างราในกลุ่มนี้ ได้แก่ ราชั้น Basidiomyces บางสกุล การย่อยสลายลิกนินของราในกลุ่มนี้เกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์และกลไกในการย่อยยังไม่เข้าใจกันดีนัก

2.7.3.3 soft-rot fungi รากลุ่มนี้หมายถึงราที่ย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสในเนื้อไม้ได้ สำหรับความสามารถในการย่อยสลายลิกนินรวมทั้งกลไกที่เกี่ยวข้อง และยังมีการศึกษากันน้อยมากแต่มีการรายงานว่าอัตราการย่อยสลายลิกนินโดยรากลุ่มนี้จะต่ำมาก ตัวอย่างของราพวก soft-rot fungi ได้แก่ราในชั้น Ascomycetes และ fungi imperfecti สกุลต่าง ๆ

2.8 การผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรม

กระดาษที่ใช้กันทั่วไปได้มาจากการผลิตในโรงงานทั้งสิ้น อย่างไรก็ตามยังมีวิธีการผลิตกระดาษชนิดต่างๆ ได้ด้วยวิธีง่ายๆ โดยใช้วัตถุดิบที่หาง่าย และอุปกรณ์ที่ราคาไม่แพงนัก เช่น การผลิตกระดาษสาที่ใช้สำหรับทำร่มที่เชียงใหม่ เป็นต้น การทำกระดาษด้วยมือเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากอาจจะฝึกหัดทำได้ในเวลาอันสั้น วัตถุดิบที่จะใช้สำหรับทำเยื่อก็หาได้ตามพื้นบ้านทุกแห่ง เช่น ปอ ฟางข้าว ต้นกก ผักตบชวา เป็นต้น ประการสำคัญวัตถุดิบที่จะนำไปทำกระดาษด้วยมือจะเป็นต้นไม้ หรือพืชพวกเส้นใยที่ต้มเปื่อยได้ง่าย เช่น ปอสา ปอแก้ว ฟางข้าว หญ้าคา เป็นต้น การเลือกใช้วัตถุดิบนี้แตกต่างกันออกไปแล้วแต่ความต้องการในด้านสมบัติของกระดาษ เพราะสมบัติของกระดาษขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยเป็นหลัก

2.8.1 กรรมวิธีในการทำกระดาษด้วยมือโดยทั่วไปใช้ได้กับวัตถุดิบที่เป็นเส้นใยทุกชนิด โดยเมื่อเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมกับการทำกระดาษได้แล้วก็ดำเนินการไปเป็นขั้นๆ ดังต่อไปนี้

2.8.1.1 การเตรียมในขั้นแรก ขั้นนี้อาจเรียกว่าเป็นขั้นตอนแยกเยื่อออกมาจากส่วนอื่นๆ ของพืช หรือเรียกว่าขั้นสกัดเยื่อ วัตถุดิบชนิดต่างๆ ก่อนที่จะนำเอาไปทำเป็นเยื่อกระดาษนั้นจะต้องทำการคัดเลือกเสียก่อนว่าวัตถุดิบที่ได้มานั้นมีความอ่อนแก่เพียงใด การคัดเลือกนี้ก็เพื่อจะได้คำนวณเคมีภัณฑ์ที่ใช้ในการต้มให้ถูกต้อง เมื่อคัดเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการทำกระดาษได้แล้วก็นำเอาไปต้มกับโซดาไฟหรือด่างขี้เถ้าจนกระทั่งเปื่อยและเส้นใยแยกออกจากกัน ยกตัวอย่างเช่นการต้มปอสา กับโซดาไฟประมาณ 10-15 % ของน้ำหนักแห้ง ใช้เวลาในการต้ม 2-3 ชั่วโมงก็ใช้ได้การต้มวัตถุดิบนี้ทำได้เพียงเล็กน้อยภายในครอบครัว ใช้ต้มด้วยปี๊บก็ได้ หลังจากการต้มแล้วนำเอาเยื่อไปล้างน้ำหลายๆ ครั้ง จนหมดน้ำด่างและนำเอาไปทำเยื่อกระดาษต่อไป

2.8.2 การทำให้เป็นเยื่อกระดาษ การทำเยื่อกระดาษนั้นมีอยู่ 2 วิธีคือ

2.8.2.1 การทำเยื่อด้วยมือ เป็นวิธีการซึ่งปฏิบัติกันมาตั้งแต่โบราณวิธีการนี้ในปัจจุบันมีการปฏิบัติกันน้อยมาก เนื่องจากมีการนำเครื่องจักรเข้ามาใช้แทนที่ซึ่งในทางการค้าการทุบและการบดเป็นวิธีการที่ช้ามาก ตัวอย่างเช่นการทุบปอสา จำนวน 2 กิโลกรัม โดยทั่วไปจะใช้ไม้ซุงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร จากการทุบแต่ละครั้งโดยประมาณ อาจทุบครั้งละ 100 กรัม หรือ 1 ขีด ทุบไปเรื่อยๆ โดยไม่ใช้แรงมากนัก จนกระทั่งละเอียด การทดสอบว่าละเอียดหรือไม่ โดยการนำตัวอย่างไปละลายในน้ำดู ถ้าหากเยื่อกระจายเป็นเส้นเล็กๆ เหมือนปุยสำลี ไม่มีเส้นใหญ่ให้เห็นและเยื่อไม่เกาะกัน แสดงว่าใช้ได้ แล้วจึงนำเอาเยื่อกระดาษที่เตรียมได้นี้ไปทำแผ่นกระดาษต่อไป

2.8.2.2 การทำเยื่อด้วยเครื่องเป็นการใช้เครื่องมือหรือเครื่องทุ่นแรงในการตีเยื่อให้ละเอียด วิธีการนี้จะสามารถตีเยื่อให้ละเอียดได้เร็วมาก โดยปกติเยื่อ 2-3 กิโลกรัม จะใช้เวลาตีเยื่อประมาณ 30-40 นาทีเท่านั้น เยื่อก็จะละเอียดนำไปทำแผ่นกระดาษต่อไป

2.8.3 การทำเป็นแผ่นกระดาษ อุปกรณ์ในการทำแผ่นกระดาษประกอบด้วย

2.8.3.1 ถังช้อนกระดาษ เป็นถังสี่เหลี่ยมและตะแกรงช้อนแผ่นกระดาษ ซึ่งเป็นตะแกรงสี่เหลี่ยม ขอบทำด้วยไม้กรุด้วยลวดมุ้งตาถี่ หรือตาข่ายไนลอน ตะแกรงช้อนแผ่นขนาด 20.6 x 29.2 เซนติเมตร ต่อจากนั้นก็เอาเยื่อกระดาษที่ได้เตรียมไว้แล้วใส่ลงไปในถังช้อน การใส่เยื่อลงในถังช้อนนี้มีกฎเกณฑ์อยู่ว่า ถ้าต้องการกระดาษหนาก็ใส่เยื่อลงไปในถังช้อนให้มาก หลังจากใส่เยื่อลงไปในถังช้อนแล้วก็ใช้ไม้กวนเยื่อในถุงให้เยื่อลงไปในถังให้เยื่อกระจายออกจากกันโดยทั่ว วิธีการช้อนแผ่นกระดาษโดยการใช้มือ 2 ข้างจับขอบตะแกรงช้อนแล้วตักลงไปในถังช้อนโดยการตักเข้ามาหาตัวแล้วยกตะแกรงช้อนขึ้นตรงๆ เทน้ำในตะแกรงออกไปข้างหน้าโดยเร็ว เมื่อยกตะแกรงขึ้นพ้นน้ำและเทน้ำในตะแกรงออกไปให้หมดแล้ว เยื่อกระดาษจะติดอยู่บนตะแกรงเป็นแผ่นกระดาษจากนั้นนำตะแกรงที่ซ้อนนี้ไปตากแดด แล้วจึงเอาตะแกรงอันใหม่มาทำการช้อนแผ่นกระดาษต่อไปอีก และช้อนไปเรื่อยๆ จนเห็นว่าเยื่อกระดาษในถังมีน้อยลง จึงเติมเยื่อลงในถังช้อนอีก เมื่อใส่เยื่อลงไปในถังช้อนแล้ว ให้ใช้ไม้กวนให้เยื่อกระจายออกจากกันเสียก่อนที่จะช้อนแผ่นต่อไป การช้อนแผ่นกระดาษด้วยวิธีนี้ต้องมีตะแกรงช้อนไว้เป็นจำนวนมาก

2.8.4 กรรมวิธีขั้นสุดท้าย ได้แก่การตากกระดาษและการลอกกระดาษ

2.8.4.1 การตากกระดาษ มีวิธีการ คือ นำตะแกรงช้อนที่ช้อนกระดาษแล้วไปวางพิงกันตากแดดในกลางแจ้งโดยการวางตากเป็นหมู่ๆ ละ 4 ตะแกรง และตากจนกว่ากระดาษจะแห้งสนิท

2.8.4.2 การลอกกระดาษ มีวิธีการคือ เมื่อกระดาษที่นำไปตากแดดแห้งสนิทแล้ว ก็เก็บเข้าในที่ร่มและทำการลอกเอาแผ่นกระดาษออกจากตะแกรงช้อนซึ่งจะลอกออกได้ง่าย เมื่อได้ลอกเอาแผ่นกระดาษออกจากตะแกรงช้อนแล้วก็นำเอาไปใช้ช้อนแผ่นกระดาษหมุนเวียนต่อไปอีก

2.9 ประโยชน์ของกระดาษที่ทำด้วยมือ

กระดาษที่ทำด้วยมือสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง ได้แก่

1. ทำเป็นกระดาษปิดร่ม
2. ทำเป็นกระดาษเช็ดมือตามร้านอาหาร
3. ทำเป็นกระดาษห่อของ
4. ทำเป็นกระดาษห่อผงเคมีภัณฑ์บรรจุในก้อนถ่านไฟฉาย
5. ทำพัดกระดาษแบบต่างๆ
6. ทำกระดาษลอกลายตามฝาผนัง
7. ทำกระดาษพิมพ์นามบัตร บัตรเชิญต่างๆ
8. ทำเป็น ส.ค.ส.
9. ทำเป็นกระดาษปิดว่าว
10. ทำกระดาษปิดฝาผนัง

2.10 ลักษณะทางโครงสร้างของกระดาษ (กานต์พิชชา และคณะ, 2552)

2.10.1 น้ำหนักมาตรฐาน (basic) หมายถึง น้ำหนักของกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ที่เก็บในสภาวะอุณหภูมิ และความชื้นที่ได้มีการควบคุม หน่วยที่ใช้วัดน้ำหนักมาตรฐานของกระดาษจะเป็นกรัมต่อตารางเมตรตามระบบสากลทั่วไป ในปัจจุบันมาตรฐานสากล (ISO) และ TAPPI ซึ่งเป็นมาตรฐานในการทดสอบกระดาษให้ใช้คำว่า “แกรมเมจ (grammage)” แทนน้ำหนักมาตรฐาน

2.10.2 ความหนา (thickness) หมายถึงระยะห่างที่ตั้งฉากกับผิวด้านบน และผิวด้านล่างของกระดาษภายใต้สภาวะการทดสอบที่กำหนด หน่วยที่ใช้วัดส่วนใหญ่จะเป็นมิลลิเมตร (millimeter) ความหนาของกระดาษจะมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับน้ำหนักมาตรฐาน แรงกดของลูกกลิ้งขณะเดินแผ่น การบดเยื่อและชนิดของเยื่อที่ใช้

2.10.3 ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษ (fromation) ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างยิ่ง เพราะถ้านำเนื้อกระดาษที่ไม่สม่ำเสมอกันไปพิมพ์จะทำให้งานที่ได้ไม่มีคุณภาพการตรวจสอบความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษทำได้โดย การยกขึ้นส่องกับแสงสว่าง ถ้ากระดาษมีความสม่ำเสมอต่ำ

(Poor fromation) จะเห็นการกระจายตัวของเนื้อกระดาษไม่เสมอกัน ปรากฏภาพเป็นดวงๆ เป็นทางๆ เป็นฝ้านม หรือมองดูคล้ายก้อนเมฆ

2.10.4 ทิศทางของเส้นใย (directionality) ในการผลิตกระดาษ เส้นใยจะเรียงตัวในแนวราบเป็นส่วนใหญ่ ถ้าแบ่งตามทิศทางของเครื่องจักรสามารถแบ่งได้ 2 แนว คือ แนวขนานเครื่อง (machine direction, MD) หรือแนวแกรน (grain direction) และแนวขวางเครื่อง (cross direction, CD) หรือแนวขวางแกรน (cross grain direction) โดยเส้นใยจะเรียงตัวตามแนวขนานเครื่อง (MD) มากกว่าแนวขวางเครื่อง (CD) การเรียงตัวของเส้นใยจะทำให้มีผลกระทบต่อการพับ การหักงอ การพิมพ์ การอัดสำเนา หรือการถ่ายเอกสาร

2.10.5 ความแตกต่างของผิวกระดาษทั้งสองด้าน (two–sideness) สองด้านของผิวกระดาษที่กล่าวถึง คือ ด้านตะแกรง (wire side, WS) และด้านสักหลาด (felt side, FS) ด้านตะแกรง หมายถึง ผิวของกระดาษที่สัมผัสกับตะแกรงลวดในเครื่องเดินแผ่น ด้านตะแกรงมักมีรอยตะแกรงปรากฏให้เห็นด้านสักหลาด หมายถึง ด้านที่อยู่ตรงข้ามกับด้านตะแกรงเป็นด้านบน (top side) เมื่อมองในทิศทางของ Z (Z-direction) หรือภาคตัดขวางของกระดาษทั้งแผ่น จะเห็นว่าผิวกระดาษทั้งสองด้านมีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ผิวกระดาษด้านตะแกรงจะหยาบกว่าด้านสักหลาด ความแตกต่างของผิวกระดาษทั้งสองด้าน จะมีผลต่อความเรียบ การดูดซึมน้ำ และน้ำมัน โดยเฉพาะในด้านการพิมพ์ ความแตกต่างของผิวกระดาษไม่ควรแตกต่างกันมากนัก

2.10.6 ความพรุนของกระดาษ (porosity) กระดาษโดยทั่วไปจะมีอากาศอยู่ประมาณร้อยละ50 โดยปริมาตรอัตราส่วนของปริมาตรรูพรุนของปริมาตรทั้งหมดของแผ่นกระดาษนั้น เรียกว่า ความพรุนของกระดาษ วิธีวัดความพรุนของกระดาษโดยตรงทำได้ค่อนข้างยาก โดยทั่วไปจะวัดเทียบกับค่าการยอมให้อากาศไหลผ่าน โดยวัดจากปริมาณอากาศ (total volume) ที่สามารถไหลผ่านกระดาษในหนึ่งหน่วยเวลา ในสภาวะการทดสอบมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที ความพรุนของกระดาษแสดงถึงความต้านทานอากาศที่สามารถผ่านได้ด้วย ถ้ากระดาษมีความพรุนมาก แสดงว่าความต้านทานอากาศจะน้อย

2.10.7 ความเรียบของผิวกระดาษ (smoothness) เป็นลักษณะผิวกระดาษที่สัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษและความเรียบหยาบของผิวกระดาษทั้งสองด้านความเรียบ มีความสำคัญ โดยเฉพาะทางด้านการพิมพ์ การวัดความเรียบใช้วิธีการวัดเช่นเดียวกับการวัดความพรุน ความราบของผิวกระดาษและการยุบตัวเมื่อได้รับแรงกด

2.11 สมบัติทางเชิงกลของกระดาษ (กานต์พิชชา และคณะ, 2552)

สมบัติทางเชิงกลของกระดาษเป็นตัวบ่งชี้ถึงศักยภาพในการใช้งานของกระดาษ หมายถึง การที่กระดาษมีความทนทานต่อการใช้งาน (Durability) และความสามารถในการต้านทานแรงที่มากระทำในลักษณะต่างๆ เช่น แรงดึง แรงเฉือน แรงบิด และแรงที่ทำให้กระดาษโค้งงอ ซึ่งสามารถวัดออกมาได้ในรูปสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงกลของกระดาษ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

2.11.1 สมบัติเชิงกลพื้นฐาน เป็นสมบัติเชิงกลที่บ่งบอกถึงพฤติกรรมของกระดาษที่เกิดขึ้นในขณะที่รับแรงดึง กระดาษแต่ละชนิดจะมีพฤติกรรมในลักษณะเดียวกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเค้น และความเครียด (stress-strain plot)

2.11.2 สมบัติเชิงกลประยุกต์ เป็นสมบัติเชิงกลของกระดาษ บ่งชี้ถึงค่าความต้านทานแรงที่มากระทำต่อกระดาษในหลายลักษณะจนกระดาษขาด ได้แก่ แรงดึง แรงฉีก และแรงเฉือน สมบัติทางเชิงกลของกระดาษที่ทดสอบโดยทั่วไป ได้แก่

2.11.2.1 ความต้านทานแรงดึงขาด (tensile strength) และการยืดตัวก่อนขาด (elongation) ความต้านทานแรงดึง หมายถึง ความสามารถในการปรับแรงดึงสูงสุดที่กระดาษจะทนได้ก่อนจะขาดออกจากกัน มีหน่วยเป็น แรงต่อความกว้างของกระดาษที่ใช้ทดสอบ เช่น กิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m) หรือปอนด์ต่อนิ้ว (Lb/in) ค่าที่วัดได้เป็นสิ่งที่บ่งชี้ให้เห็นถึงความทนทาน และศักยภาพในการใช้งานของกระดาษ ซึ่งรับแรงในขณะใช้งาน หลักการในการตรวจสอบความต้านทานแรงดึงขาด คือ นำกระดาษที่ได้รับการตัดแล้วตามมาตรฐานทดสอบ โดยยึดไว้ระหว่างปากจับชิ้นทั้งสอง เป็นการดึงให้กระดาษขาดด้วยอัตราการยืดตัวคงที่ (constant straining) ที่วัดค่าแรงด้วย load cell ปากจับข้างหนึ่งจนตึงนิ่งอยู่กับ load cell อีกข้างหนึ่งเคลื่อนที่ไปด้วยอัตราเร็วคงที่ เครื่องทดสอบแบบนี้ เรียกว่า เครื่องทดสอบแบบอิเล็กทรอนิกส์

2.11.2.2 ความต้านทานแรงดันทะลุ (burst strenght) หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่ทนแรงดันได้สูงสุด เมื่อได้รับการกระทำในทิศตั้งฉากต่อผิวหน้ากระดาษ มีหน่วยเป็นกิโลปาสคาล (k.Pa) หรือกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือปอนด์ต่อตารางนิ้ว กระดาษจำเป็นต้องมีความต้านแรงดันทะลุ โดยเฉพาะกระดาษที่เกี่ยวข้องกับการบรรจุภัณฑ์ต่างๆ หลักการในการตรวจสอบความต้านทานแรงดันทะลุ คือ วางชิ้นทดสอบระหว่างปากจับบนและล่าง ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นกลมมีช่องตรงกลาง แล้วเดินเครื่องทำงาน กลีเซอลินที่อยู่ภายในเครื่องจะดันแผ่นยางไดอะเฟรมจนโป่งขึ้น ดันกระดาษจนแตกทะลุ

2.11.2.3 ความต้านทานแรงฉีกขาด (tear resistance) หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านแรงกระทำซึ่งจะทำให้ชิ้นทดสอบหนึ่งชิ้นขาดออกจากรอยฉีกเดิม หน่วยที่ใช้วัดเป็นมิลลินิวตัน

(mN) หรือกรัม กระดาษที่จำเป็นจะต้องตรวจสอบความต้านทานแรงฉีกขาดได้แก่กระดาษทำถุง กระดาษพิมพ์และเขียน เป็นต้น หลักการในการตรวจสอบความต้านทานแรงฉีกขาด คือใช้ชิ้นทดสอบที่มีขนาดตามมาตรฐานกำหนด ในระหว่างปากจับบนแท่นเครื่อง และบน pendulum เคลื่อนที่ชิ้นทดสอบจะฉีกขาด

2.11.2.4 ความทนทานต่อการพับขาด (folding endurance) หมายถึง การพับไปพับมา (double folds) ของชิ้นทดสอบ จนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกันภายใต้แรงดึงที่กำหนด หน่วยที่ใช้เป็นจำนวนครั้งหรือ log 10 ในระบบ SI ความทนทานต่อการพับขาด จะเป็นการวัดที่รวมความต้านทานแรงดึงขาด การยืดตัว (stretch) การแยกชั้นของกระดาษ และความต้านทานแรงกดซึ่งจะชี้ให้เห็นถึงอายุการใช้งานของกระดาษ เช่น กระดาษปก เป็นต้น หลักการในการตรวจสอบความทนทานต่อการพับขาด จะทำได้โดยยึดปลายข้างหนึ่งของชิ้นทดสอบด้วยแรงคงที่ ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งถูกจับด้วยปลายจับแล้วพับไปมาด้วยความเร็วคงที่ และองศาตามมาตรฐานกำหนด จนกระทั่งชิ้นทดสอบขาด

2.11.2.5 ความทรงรูป (stiffiness) หมายถึง ความสามารถของกระดาษที่จะต้านทานแรงที่มากระทำให้กระดาษโค้งงอด้วยน้ำหนักกระดาษจากภายนอก หน่วยที่ใช้เป็นนิวตันเมตรหรือนิวตันหรือหน่วยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง หลักการในการตรวจสอบความทรงรูปคือใส่ชิ้นทดสอบลงไปในปากจับทำการทดสอบ โดยแรงกระทำจะทำให้กระดาษโค้งงอ (bended) ไปเป็นมุม 7.5 องศา หรือ 15 องศา แล้วแต่ชนิดกระดาษ

2.12 สมบัติด้านทัศนศาสตร์ของกระดาษ (กานต์พิชชา และคณะ, 2552)

2.12.1 ความขาวสว่าง (brightnees) หมายถึง ค่าการสะท้อนของแสงสีน้ำเงินที่ช่วงคลื่น457 นาโนเมตรเท่านั้น จุดประสงค์เดิมของการวัดความขาวสว่าง เพื่อดูผลการฟอกเยื่อเป็นสำคัญ เยื่อกระดาษที่ยังไม่ได้ฟอกจะมีสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีเหลืองอ่อน เนื่องจากลิกนินจะดูดซับแสงสีน้ำเงินไว้ทำให้ค่าการสะท้อนแสงที่ได้ในช่วงแสงสีน้ำเงินมีค่าต่ำ แต่เมื่อนำเยื่อไปฟอกโดยการขจัดลิกนินเยื่อฟอกขาวที่ได้จะให้ค่าการสะท้อนแสงที่ช่วงแสงสีน้ำเงินสูงขึ้นมาก

2.12.2 ความทึบแสง (opacity) ความทึบแสงของกระดาษเป็นคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับกระดาษพิมพ์และเขียน กระดาษจะต้องทึบแสงพอที่จะบังภาพ หรืออักษรที่อยู่ด้านหลังไม่ให้ปรากฏจนเกิดในการอ่าน และความชัดเจนของสิ่งพิมพ์ ความทึบแสงสามารถวัดได้โดยเปรียบเทียบค่าการสะท้อนแสงสีเขียวที่ช่วงคลื่น 557 นาโนเมตร ความทึบแสงและความขาวสว่างขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ การกระเจิงแสงและการดูดซับแสง กระดาษที่ใช้เยื่อที่มีความขาวสว่างสูงมากอาจมีปัญหาด้าน

ความทึบ แสง เพราะเยื่อจะมีความทึบแสงน้อยลง การใช้ตัวเติมเพื่อเพิ่มการกระเจิงแสงในเนื้อกระดาษจะช่วยปรับปรุงความทึบแสงให้ดียิ่งขึ้นได้

2.12.3 ความมันวาว (gloss) เป็นสมบัติด้านทัศนศาสตร์อย่างหนึ่งของกระดาษเคลือบผิว หรือกระดาษอาร์ต โดยหลักการความมันวาว หมายถึง ลักษณะของผิวกระดาษที่สะท้อนแสง ณ มุมที่กำหนด โดยมุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ สำหรับกระดาษนิยมใช้มุม 75 องศากับเส้นปกติ ถ้าแสงที่สะท้อนในเชิงมุม (speculaer) ดังกล่าว มีมากกว่าแสงที่สะท้อนแบบทั่วไปผิวกระดาษจะดูมันวาวมาก

2.12.4 ความขาว (whiteness) เป็นสมบัติที่แตกต่างจากความขาวสว่าง การใช้สารฟอกนวลในกระดาษ เป็นการช่วยให้กระดาษมีการสะท้อนแสงในช่วงคลื่นสีม่วง และสีน้ำเงินมากขึ้น กระดาษจึงดูขาวขึ้นเมื่อดูด้วยแสงแดด หรือแสงที่มีปริมาณรังสีอุลตราไวโอเลตใกล้เคียงกับแสงธรรมชาติในเวลากลางวัน (รุ่งอรุณ, 2547)

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิริโฉม (2542) ศึกษาการคัดเลือกเชื้อราที่มีกิจกรรมย่อยสลายลิกนินจากธรรมชาติ และนำมาตรวจวัดการย่อยสลายสี Poly R-478 ของเชื้อราที่เจริญในอาหารเหลวสูตรจำกัดไนโตรเจน ที่อุณหภูมิห้อง ในสภาวะที่ไม่มีการเขย่าสามารถคัดเลือกเชื้อรา คิดเป็นร้อยละ 17 ของราที่แยกได้ทั้งหมด จากการตรวจสอบการผลิตเอนไซม์ลิกนินเปอร์ออกซิเดส และเอนไซม์แลคเคส ในอาหารเหลวที่สภาวะเดิมพบเฉพาะกิจกรรมของแลคเคสในราที่ย่อยสลายสีได้ดีจำนวนไอโซเลท 8 แต่ตรวจไม่พบกิจกรรมของลิกนินเปอร์ออกซิเดสในราที่ย่อยสีได้

กัลยวัต (2546) ศึกษาการคัดเลือกราย่อยลิกนินที่แยกจากแหล่งต่างๆ ได้ 16 ไอโซเลทโดยดูการเกิดสีใน wood meal และ ABTS agar และศึกษากิจกรรมของเอนไซน์ย่อยลิกนินในอาหารเหลว การทดลองนำราทั้ง 16 ไอโซเลทที่แยกได้ไปเลี้ยงบนชานอ้อย ใบสับปะรด และปอสา เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าเชื้อรา YK179 NP3 และ NP4 ให้อัตราส่วนการย่อยลิกนินต่อการย่อยเซลลูโลส (Selection factor) สูงกว่าไอโซเลทอื่นๆ คือ 0.019 0.026 และ 0.028 ตามลำดับ

ทินกร (2546) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการใช้กาบกล้วยน้ำว้าและก้านกล้วยน้ำว้ามาผลิตเป็นกระดาษ พบว่าสามารถนำมาผลิตกระดาษในเชิงหัตถกรรมได้จะมีค่าน้อยกว่าผลผลิตจากก้านกล้วยน้ำว้า เมื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการต้มเยื่อกล้วยเพื่อทำเป็นกระดาษใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 5 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้ง อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมงครึ่ง โดยใช้ไฮโดเจนเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 14 ของน้ำหนักเยื่ออบแห้งมีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งจะให้ผลผลิตเยื่อและมีความขาวสว่างไม่ต่ำ

มากนัก ส่วนคุณสมบัติของกระดาษที่ได้จากกาบกล้วยน้ำว้า เมื่อเทียบกับกระดาษที่ได้จากก้านกล้วยน้ำว้า พบว่าค่าความต้านแรงดึง ค่าความต้านแรงฉีกขาด และค่าแรงดันทะลุ ระหว่างกระดาษทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน

ชยาภาส (2549) ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตกระดาษทำมือจากต้นกล้วย การทดลองทำโดยแช่กาบกล้วยแห้งในสารละลาย KOH 25 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 17 ชั่วโมง อัตราส่วนของสารละลาย KOH 25 เปอร์เซ็นต์ ต่อน้ำหนักแห้ง เท่ากับ 25 : 1 ก่อนทำการต้มที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง และการฟอกสีด้วยวิธี CEDED เมื่อทดสอบหาดัชนีความต้านแรงดึง ดัชนีความต้านแรงดันทะลุ และดัชนีความต้านแรงฉีกขาด พบว่ามีค่าเท่ากับ 64.86 kN.m/kg 2.76 kPa.m^2/g และ 15.22 mN. m^2/g ตามลำดับ

กานต์พิชชา และคณะ (2552) ศึกษาการผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมจากต้นกล้วยน้ำว้า พบว่ากาบกล้วยน้ำว้าชั้นนอกแห้งที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ9 โดยน้ำหนัก และใช้เวลาในการต้ม 150 นาที มีประสิทธิผลสูงสุด คือให้ปริมาณความเข้มข้นเยื่อเฉลี่ยร้อยละ 30.74 โดยน้ำหนัก และมีค่าคัปปาต่ำสุด 8.13 และจากการทดสอบสูตรฟอกขาวพบว่า ที่ความเข้มข้นสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ให้ค่าความขาวสว่างสูงสุด ที่ 86 และสมบัติทางกายภาพของกระดาษจากต้นกล้วยน้ำว้าพบว่า สมบัติด้านความต้านแรงดันทะลุ และความต้านแรงฉีกขาดแปรผันตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ สามารถผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ได้เช่นเดียวกับกระดาษเชิงหัตถกรรมทั่วไป

สุรชัย และคณะ (2552) ศึกษาลักษณะเยื่อ ปริมาณลิกนิน และสภาวะการต้มเยื่อที่เหมาะสมต่อการเตรียมกาบกล้วยน้ำว้า พบว่า กาบกล้วยน้ำว้าชนิดแห้งเหมาะกับวิธีการต้มเยื่อด้วยวิธีโซดามากกว่ากาบสด โดยมีค่าปริมาณความเข้มข้นเยื่อสูงสุด 44.75 เปอร์เซ็นต์ ในกาบแห้งที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 เปอร์เซ็นต์ ผลการตรวจสอบปริมาณลิกนินที่ตกค้างพบว่า กาบกล้วยในแห้ง และกาบนอก มีค่าปริมาณลิกนินเหลือน้อยที่สุด เมื่อใช้เวลาในการต้ม 150 นาที

สุกาญจน์ (2553) ได้ทำการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพเชื้อราดินเลนบริเวณนากุ้งร้างจังหวัดสมุทรสาคร พบเชื้อราดินเลนทั้งหมด 56 ไอโซเลต 2 สกุล 12 ชนิด ได้แก่ *Aspergillus carbonarius A. ficuum A. flavus A. foetidus A. fumigates A. japonicas A. niger A. tubingensis Trichoderma atroviride T. hamatum T. harzianum* และ *T. viride* เมื่อนำ *T. hamatum T. harzianum* และ *T. viride* มาทดสอบคุณสมบัติทางชีวเคมี เกี่ยวกับการผลิตเอนไซม์ peroxidase laccase และ xylanase พบว่า *T. viride* สามารถผลิตเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดได้ดีที่สุดจากเชื้อราดินเลนทั้งหมด รองลงมาได้แก่ *T. hamatum T. harzianum* ตามลำดับ

บทที่ 3
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

อุปกรณ์

1. กาบกล้วยน้ำว้า
2. กรวยกรอง
3. บิวเลท (bullet) ขนาด 50 มิลลิลิตร
4. ปิเปต (pipet) ขนาด 100 มิลลิลิตร
5. ดูแรน (duran) 250 มิลลิลิตร
6. *Trichoderma viride* ที่คัดแยกได้จากดินเลนบริเวณ นากุ้งร้าง ตำบลโคกขาม อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร
7. ตะแกรงขึ้นแผ่น ขนาด 20.6 x 29.2 เซนติเมตร
8. บีกเกอร์ (beaker)
9. กระบอกตวงสาร (cylinder)

สารเคมี

1. Hydrogen peroxide (H_2O_2)
2. Magnesium sulfate ($MgSO_4$)
3. Manganiese sulphate ($MnSO_4$)
4. Potassium iodide (KI)
5. Potassium phosphate (KPO_4)
6. Potassium permanganate ($KMnO_4$)
7. Sodium hydroxide (NaOH)
8. Sodium thiosulphate ($Na_2S_2O_3.5H_2O$)
9. Sodium siligate (Na_2SiO_3)
10. Sulfuric acid (H_2SO_4)

ครุภัณฑ์

1. เครื่องกวนสารละลายระบบแม่เหล็ก(Magnetic Stirrers), Yellow line OST 20 digital,Germany.
2. เครื่องวัดค่าสีบนสิ่งพิมพ์ และค่าความดำ (Spectro Densitometer), 500 Series, X-Rite, Incorporated 3100, U.S.A.
3. เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH meter), Water proof pH tester 10 (35634-10), Eutech Instruments, U.S.A.
4. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Mettler), PM1200, Mettler-Toledo AG, Switzerland.
5. เครื่องทดสอบหาความหนา (Thickness gate), US-22 B, Teclock, IDM Instruments, Japan
6. เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting Strength), PAP2056, PAP, TECH Engineer & associates, India.
7. เครื่องทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด (Tering Strength), 53983.f000, FRANG TEST, FRANK Prufgerate GmbH, Germany.
8. เครื่องอบลมร้อน (Hot air oven) Contherm Thermotec 2000 oven

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมกาบกล้วยน้ำว้า สำหรับใช้เป็นวัฤดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ

1.1 นำต้นกล้วยน้ำว้ามาตัดเอาเฉพาะส่วนลำต้นของกล้วยน้ำว้า จากนั้นตัดส่วนที่สกปรก เน่าเสีย และที่เป็นเชื้อราออก ผ่าและแกะกาบกล้วยแยกไว้ ส่วนหยวกกล้วยชั้นในให้แกะทิ้ง เนื่องจากเป็นส่วนที่ไม่มีเส้นใย

1.2 หั่นกาบกล้วยให้มีขนาด กว้าง 2 เซนติเมตร และยาว 5 เซนติเมตร โดยประมาณ เสร็จแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง หรือ 105 องศาเซลเซียส นาน 6 ชั่วโมง

2. การผลิตเยื่อกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า

2.1 การผลิตเยื่อกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าโดยวิธีทางเคมี มีวิธีการดังนี้

2.1.1 แช่กาบกล้วยน้ำว้าด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักเยื่อ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2.1.2 นำมาต้มในสารสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนักเยื่อ โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส นาน 150 นาที และคนกวนเยื่อกลับขึ้นลงทุกๆ 60 นาที เมื่อครบเวลายกลง

2.1.3 ทิ้งให้เย็นตัว โดยแช่เยื่อในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ต้มไว้ 24 ชั่วโมง

2.1.4 ล้างทำความสะอาดเยื่อด้วยน้ำให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกหมดหรือเยื่อหายลื่น บีบน้ำออกให้หมาด

2.1.5 นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 6 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักเยื่อแห้งที่ได้ด้วยเครื่องชั่งละเอียด

2.1.6 นำเยื่อกาบกล้วยไปหาค่า Kappa number

2.2 การผลิตเยื่อกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีทางชีวภาพโดยใช้ *T. viride* มีวิธีการดังนี้

2.2.1 ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อรา *T. viride* ลงบนอาหาร PDA (potato dextose agar) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน

2.2.2 เตรียมกาบกล้วยน้ำว้า 10 กรัม แช่น้ำกลั่น ประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นนำกาบกล้วยน้ำว้าใส่ลงในขวดทดลองขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที

2.2.3 ตัดชิ้นวุ้น PDA ที่มีเชื้อรา *T. viride* อายุ 7 วัน ด้วย cork borer เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ใส่ชิ้นวุ้นของแต่ละเชื้อลงบนกาบกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว บ่มที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส โดยแบ่งชุดการทดลอง ดังนี้

A-1-3 หมักด้วย *T. viride* ชิ้นวุ้น 1 ชิ้น นาน 3 สัปดาห์

A-1-4 หมักด้วย *T. viride* ชิ้นวุ้น 1 ชิ้น นาน 4 สัปดาห์

A-1-5 หมักด้วย *T. viride* ชิ้นวุ้น 1 ชิ้น นาน 5 สัปดาห์

A-2-3 หมักด้วย *T. viride* ชิ้นวุ้น 2 ชิ้น นาน 3 สัปดาห์

A-2-4 หมักด้วย *T. viride* ชิ้นวุ้น 2 ชิ้น นาน 4 สัปดาห์

A-2-5 หมักด้วย *T. viride* ชิ้นวุ้น 2 ชิ้น นาน 5 สัปดาห์

A-3-3 หมักด้วย *T. viride* ชิ้นวุ้น 3 ชิ้น นาน 3 สัปดาห์

A-3-4 หมักด้วย *T. viride* ชิ้นวุ้น 3 ชิ้น นาน 4 สัปดาห์

A-3-5 หมักด้วย *T. viride* ชิ้นวุ้น 3 ชิ้น นาน 5 สัปดาห์

2.2.4 นำเยื่อกาบกล้วยไปวิเคราะห์หาค่า Kappa number การย่อยลิกนิน จากนั้นเลือกชุดการทดลองที่เชื้อราสามารถย่อยสลายลิกนินได้ดีที่สุด โดยดูจากปริมาณชิ้นวุ้นและระยะเวลา

2.2.5 นำเยื่อกาบกล้วยจากชุดการทดลองที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.2.4 มาศึกษาการย่อยเซลลูโลส และค่า Selection factor

2.2.6 ผลิตเยื่อกระดาษจากกาบกล้วยโดยการนำกาบกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการย่อยลิกนิน จากชุดการทดลองที่เลือกไว้ในข้อ 2.2.4 ไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอที่ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที นำกาบกล้วยน้ำว้าไปต้มเพื่อทำเยื่อในน้ำกลั่น โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส นาน 150 นาที และนำเยื่อที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 6 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักเยื่อแห้งที่ได้ด้วยเครื่องชั่งละเอียด

3. ศึกษาปริมาณสารไฮโดรเจรเปอร์ออกไซด์ ในการฟอกเยื่อ

นำเยื่อกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี และที่ผลิตด้วยเชื้อราที่สามารถย่อยลิกนินได้ดีที่สุด ในข้อ 2.2.4 มาทำการศึกษาปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่เหมาะสมในการฟอกเยื่อ

3.1 ใช้ปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่แตกต่างกันดังนี้ ร้อยละ 8 10 12 14 และ16 ตามลำดับ เติมแมกนีเซียมซัลเฟตร้อยละ 0.05 และโซเดียมซิลิเกตร้อยละ 2 ใส่ลงในน้ำกลั่น โดยใช้อัตราส่วนน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตรต่อเยื่อ 25 กรัม คนให้เข้ากัน ถ้าสารใดเป็นของแข็งให้ละลายน้ำก่อน

3.2 ปรับความเป็นกรดด่างของสารละลายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้อยู่ในช่วง 10.5-11.0

3.3 ใส่เยื่อที่จะฟอก 25 กรัม ลงไปคนให้เยื่อเปียกสารละลาย

3.4 ต้มที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และคนทุกๆ 30 นาที หลังฟอกขาวปล่อยให้เย็นลงก่อนจึงล้างด้วยน้ำสะอาดจนสภาพน้ำล้างเป็นกลางโดยปกติล้างประมาณ 3 ครั้ง สังเกตจากไม่ลื่นมือ

3.5 นำเยื่อที่ผ่านการล้างมาแล้ว มาทุบให้เยื่อกระจายตัว

3.6 นำเยื่อที่ได้จากการผลิตด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ ไปหาค่า Kappa number

4. การขึ้นแผ่นกระดาษด้วยตะแกรง

4.1 นำเยื่อกระดาษที่ได้จากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยกระบวนการทางเคมี และที่ผลิตด้วยเชื้อรา มาชั่งน้ำหนักตามแกรมกระดาษ 80 แกรม ใช้เยื่อเปียก 31.62 กรัม ตะแกรงขึ้นแผ่นขนาด 20.6 x 29.2 เซนติเมตร

4.2 เปิดน้ำให้ท่วมอ่างน้ำ จากนั้นทำการกระจายเยื่อที่เตรียมไว้ลงในอ่างน้ำ แล้วจึงใช้ตะแกรงขึ้นแผ่นกระดาษช้อนเยื่อขึ้นมา

4.3 ใช้มือเกลี่ยเยื่อให้กระจายทั่วตะแกรง เพื่อให้เยื่อที่ความหนาเท่ากันทั้งแผ่น

4.4 เมื่อเยื่อกระจายตัวสม่ำเสมอดีแล้ว จึงยกตะแกรงเยื่อขึ้นจากอ่าง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 40-45 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง เมื่อแห้งแล้วจึงลอกแผ่นกระดาษออกจากตะแกรง

5. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและด้านความเหนียวของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าทั้งที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี และทางชีวภาพ

5.1 นำกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ มาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ความขาวสว่าง และด้านความเหนียว ได้แก่ ความหนา (thickness) ความต้านแรงดันทะลุ (bursting Strength) และความต้านแรงฉีกขาด (tearing Strength) ทำการคัดเลือกกระดาษที่ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเจนเปอร์ออกไซด์ที่ส่งผลให้กระดาษมีคุณสมบัติทางกายภาพ และความเหนียวที่ดีที่สุด

5.2 นำกระดาษที่ผ่านการคัดเลือกในข้อ 5.1 มาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ และด้านความเหนียว

6. วิเคราะห์ค่าทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS Version 11.5 ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตัวอย่างสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD) ตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DRMT)

การวิเคราะห์ค่า Kappa number

ศึกษาหาค่า Kappa number (ปริมาณลิกนินที่พบในพืช) ซึ่งค่า Kappa number เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry)ที่ T236 cm – 85 กำหนดโดยสถาบันมาตรฐานแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา หรือ ANSI (American National Standard Institute) มีวิธีการดังนี้

ก. ชั่งน้ำหนักเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า ที่อบแห้งแล้ว 1 กรัม ใส่ลงในเครื่องปั่นชนิดใบพาย เทน้ำกลั่นลงไป 250 มิลลิลิตร ปั่นให้เยื่อแยกออกจากกัน ใช้เวลาปั่นประมาณ 1 นาที จากนั้นเทน้ำที่เยื่อกระจายตัวแล้วลงในฟลาสก์ขนาด 1,000 มิลลิลิตรใช้น้ำกลั่น 125 มิลลิลิตรชะล้างเยื่อที่ติดค้างอยู่ในเครื่องปั่น แล้วเทลงฟลาสก์จนหมด

ข. นำฟลาสก์มาวางบนเครื่องกวนสารละลายระบบแม่เหล็ก (Magnetic Stirrers) กวนอย่างต่อเนื่องที่ความเร็วรอบไม่สูงมากนัก ให้เกิดลักษณะ vortex เล็กน้อย

ค. เทสารละลายกรดซัลฟิวริก 4.0 N 25 มิลลิลิตร และสารละลายโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต 0.1 N 25 มิลลิลิตร ลงไปในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร จากนั้นเทลงในฟลาสก์ขนาด 1,000 มิลลิลิตรที่บรรจุเยื่ออยู่และจับเวลาทันที เทน้ำกลั่นอีก 25 มิลลิลิตร ชะสารเคมีที่ติดอยู่ในบีกเกอร์ออกให้หมดแล้วจึงเทรวมลงไปในฟลาสก์ ดังนั้นในฟลาสก์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จะมีปริมาตรของสารละลายทั้งหมดจำนวน 500 มิลลิลิตร ปฏิกิริยากำหนดดำเนินไปเป็นเวลา 10 นาที

ง. เมื่อเวลาผ่านไปจนครบ 10 นาที เติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ 1.0 N ปริมาตร 5 มิลลิลิตร เพื่อหยุดปฏิกิริยาด้วย

จ. ไตเตรตทันทีด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.2 N เมื่อเข้าใกล้จุดยุติ (สารละลายมีสีเหลืองอ่อน) เติมอินดิเคเตอร์ (น้ำแป้ง ร้อยละ 0.2) เล็กน้อย จะได้สารละลายสีน้ำเงิน ไตเตรตต่อจนใสและบันทึกค่าสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ที่ใช้ไปทั้งหมด

ฉ. หาค่า Blank Test ด้วยวิธีการดังกล่าว แต่ไม่ต้องเติมเยื่อลงไปการคำนวณค่า Kappa number ได้จากสมการดังต่อไปนี้

สมการคำนวน

$$K = \frac{p \times f}{w}$$

$$p = \frac{(B-A)\ N}{0.1}$$

เมื่อ K คือ ค่าปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่

p คือ ปริมาตรของ 0.1 Nโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ที่ใช้โดยตัวอย่าง

f คือ แฟคเตอร์สำหรับการปรับค่า 50 เปอร์เซ็นต์ ของการใช้เปอร์แมงกาเนต (ตารางที่ 1)

w คือ น้ำหนักเยื่อแห้งของตัวอย่างเยื่อที่ใช้

N คือ ค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต

B คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ที่ถูกใช้ในการทำ Blank Test

A คือ ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ที่ถูกใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 1 ค่าแฟกเตอร์ f สำหรับปรับค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง ของการใช้เปอร์แมงกาเนตที่ใช้

% consumed	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.911	0.913	0.915	0.918	0.920	0.923	0.925	0.927	0.929	0.931
20	0.934	0.935	0.938	0.941	0.943	0.945	0.947	0.949	0.952	0.954
30	0.958	0.960	0.962	0.964	0.966	0.968	0.970	0.973	0.975	0.977
40	0.979	0.981	0.983	0.985	0.987	0.989	0.991	0.994	0.996	0.998
50	1.000	1.002	1.004	1.006	1.009	1.011	1.013	1.015	1.017	1.019
60	1.022	1.024	1.026	1.028	1.030	1.033	1.035	1.037	1.039	1.042
70	1.044									

ที่มา : ดัดแปลงจากกนิษฐ์ (2548)

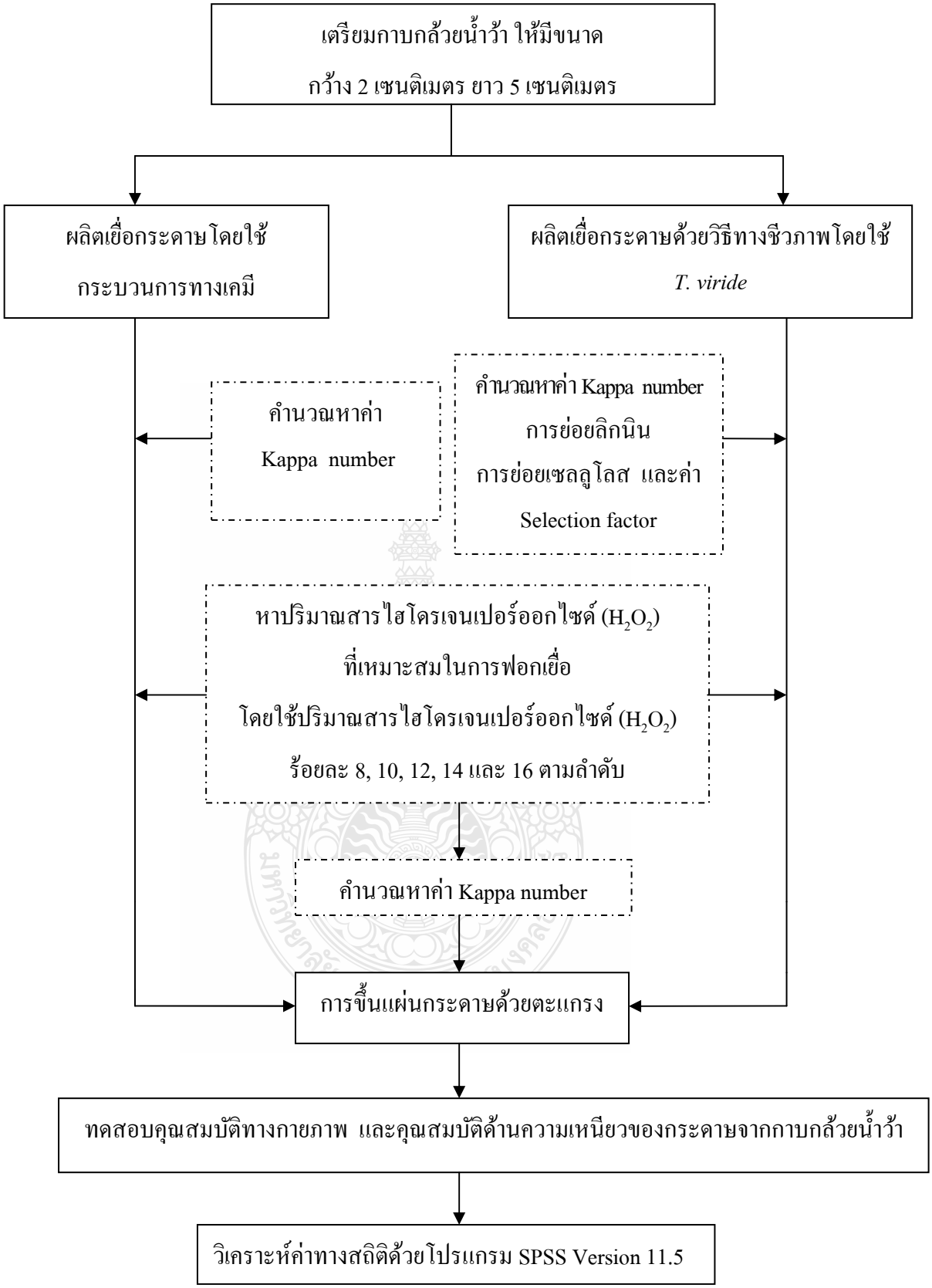
การนำค่า Kappa number มาคำนวณหาค่าการย่อยลิกนิน การย่อยเซลลูโลส และค่า Selection factor ดังนี้

$$\text{การย่อยลิกนิน (\% น้ำหนักแห้ง)} = \frac{\text{\% ลิกนินในตัวอย่างที่ไม่หมัก - \% ลิกนินในตัวอย่างที่หมัก}}{\text{\% ลิกนินในตัวอย่างที่ไม่หมัก}}$$

การย่อยเซลลูโลส (% น้ำหนักแห้ง) = % น้ำหนักแห้ง - % การย่อยลิกนิน

selection factor = $\frac{\text{การย่อยลิกนิน (\% น้ำหนักแห้ง)}}{\text{การย่อยเซลลูโลส (\% น้ำหนักแห้ง)}}$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการทำกระดาษเชิงหัตถกรรมจากกล้วยน้ำว้า

สถานที่ทำการทดลอง **:** สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
: สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

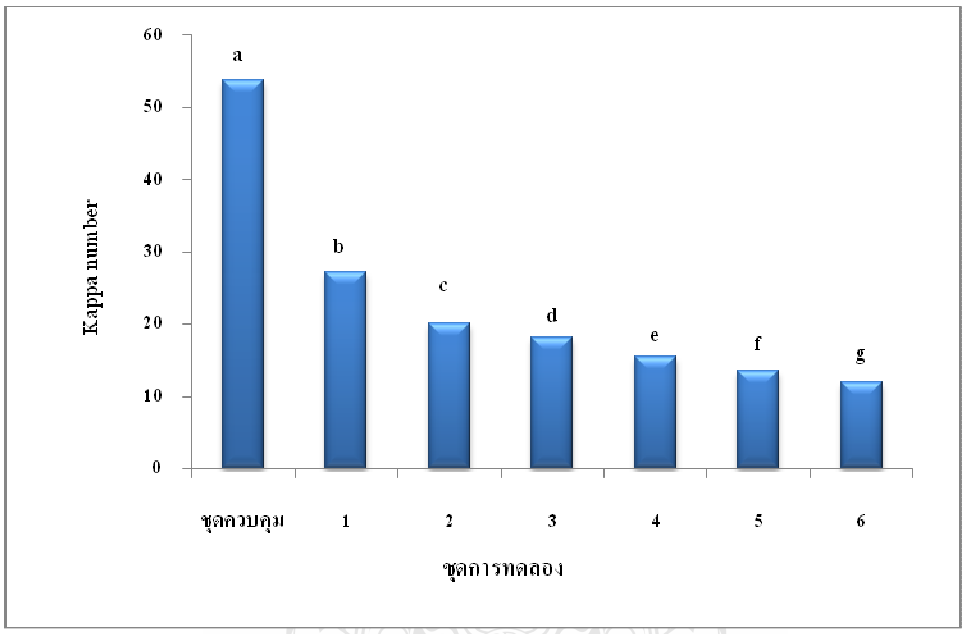
1. ทราบความแตกต่างของคุณสมบัติกระดาษทางเคมีที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ และที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี
2. ทราบความแตกต่างของคุณสมบัติด้านกายภาพ ความเหนียว ของกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพและทางเคมี
3. ทราบความเป็นไปได้ในการผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมจากกาบกล้วยน้ำว้า โดยใช้เชื้อรา *T.viride*

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้า

4.1.1 ค่า Kappa number ของเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี



ภาพที่ 4 ค่า Kappa number ที่เหลือจากการฟอกเยื่อกาบกล้วยน้ำว้าด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

หมายเหตุ ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ชุดควบคุม คือ กาบกล้วยน้ำว้าธรรมชาติ

ชุดการทดลองที่ 1 คือ ฟอกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0

ชุดการทดลองที่ 2 คือ ฟอกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8

ชุดการทดลองที่ 3 คือ ฟอกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10

ชุดการทดลองที่ 4 คือ ฟอกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12

ชุดการทดลองที่ 5 คือ ฟอกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14

ชุดการทดลองที่ 6 คือ ฟอกไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 16

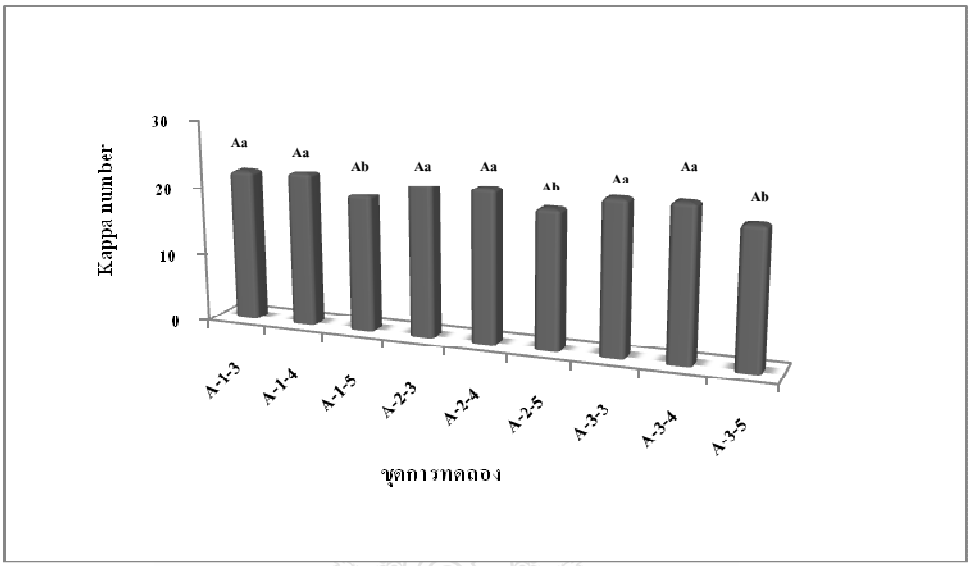
จากภาพที่ 4 (ตารางที่ 5) พบว่าเยื่อกล้วยน้ำว้าธรรมชาติมีค่า Kappa number (ปริมาณลิกนินที่เหลืออยู่) ในเยื่อกาบกล้วยน้ำว้าเท่ากับ 53.80 เมื่อนำเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าไปต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีผลทำให้ค่า Kappa number ลดลงเหลือ 27.25 ทั้งนี้เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แยกสารประกอบเชิงซ้อนพวกลิกนินออก และเกิดการสลายของลิกนิน (กนิษฐ์, 2548) เมื่อนำเยื่อกาบกล้วยน้ำว้าไปฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณที่ต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 ตามลำดับ พบว่าค่า Kappa number มีค่าแปรผกผันกับปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อ โดยเยื่อกาบกล้วยน้ำว้าที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 มีค่า Kappa number เท่ากับ 20.08 18.18 15.44 13.47 และ 11.95 ตามลำดับ ซึ่งการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่ใช่เป็นการกำจัดลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อ แต่เป็นเพียงการทำให้ลิกนินซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดสีแตกตัวเท่านั้น โดยปฏิกิริยาเกิดจากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับความเป็นกรดด่างในขณะทำการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้เกิดเปอร์ไฮดรอกซิลไอออน (OOH^-) ซึ่งเป็นสารที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นมาก (นิภาพร, 2546) ดังสมการ

$$H_2O_2 + OH^- \longrightarrow OOH^- + H_2O$$

ซึ่งเปอร์ไฮดรอกซิลไอออนจะทำปฏิกิริยากับลิกนินในเส้นใย ทำให้บางหน่วยของฟีนิลโพรเพนแตกออก เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของลิกนิน ลิกนินที่เหลืออยู่ในเส้นใยจึงมีสีขาวขึ้น ทำให้ค่าการสะท้อนแสงในช่วงที่มองเห็นเพิ่มขึ้น (นิภาพร, 2546) กระดาษจึงมีความขาวสว่างมาก และจากการเปรียบเทียบค่า Kappa number พบว่าทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

4.1.2 ค่า Kappa number การย่อยลิกนิน การย่อยเซลลูโลส และค่า Selection factor ของเยื่อกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ

4.1.2.1 ค่า Kappa number และการย่อยลิกนินของเยื่อกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ

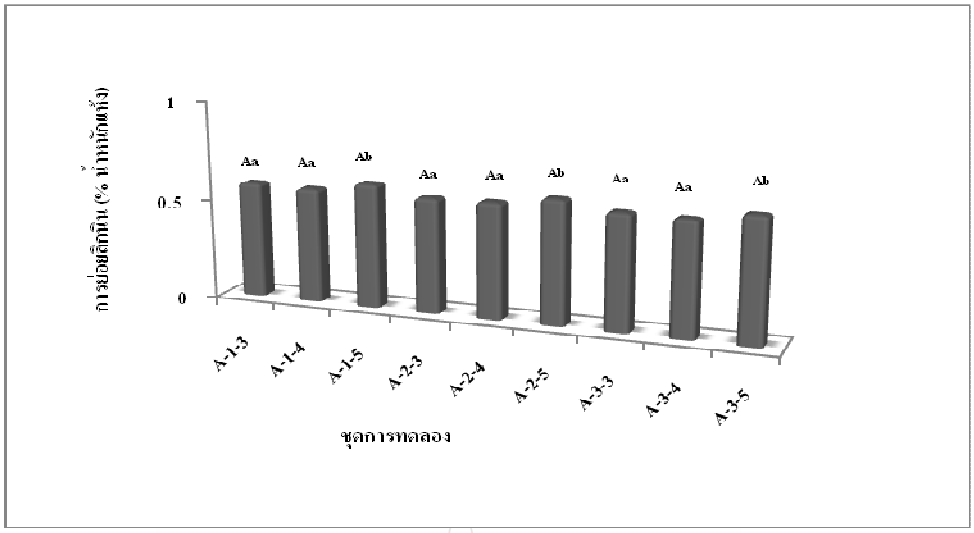


ภาพที่ 5 ค่า Kappa number ที่ได้จากการย่อยเยื่อกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride*

หมายเหตุ 1.ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง ใช้ปริมาณชิ้นวุ้นที่ต่างกัน คือ 1 2 และ 3 ชิ้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง ใช้เวลาในการเพาะเลี้ยงที่ต่างกัน คือ 3 4 และ 5 สัปดาห์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

3. สัญลักษณ์ A-x-y หมายถึง A แทน *T. viride,* x แทน จำนวนชิ้นวุ้นของเชื้อรา, y แทน จำนวนสัปดาห์ที่ทำการทดลอง



ภาพที่ 6 การย่อยลิกนินที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride*

หมายเหตุ 1.ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง ใช้ปริมาณชิ้นวุ้นที่ต่างกัน คือ 1 2 และ 3 ชิ้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

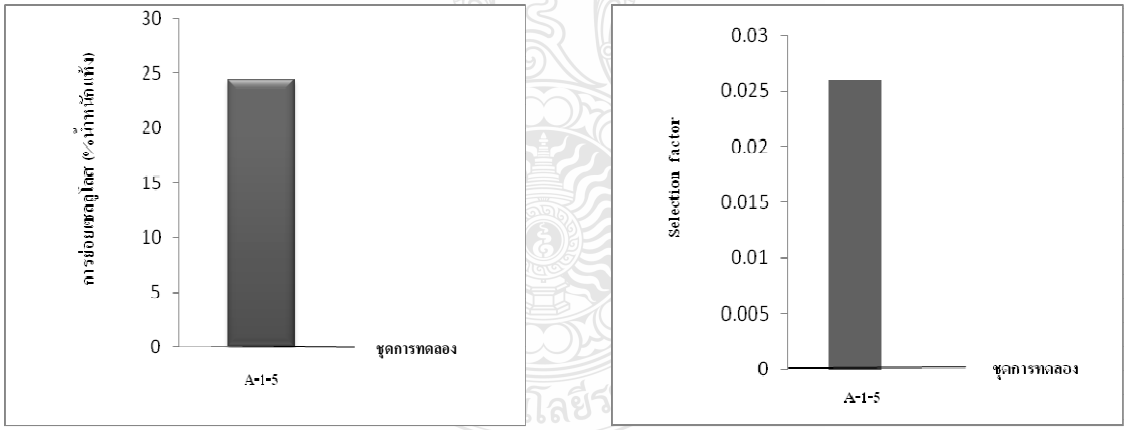
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง ใช้เวลาในการเพาะเลี้ยงที่ต่างกัน คือ 3 4 และ 5 สัปดาห์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

3. สัญลักษณ์ A-x-y หมายถึง A แทน *T. viride,* x แทน จำนวนชิ้นวุ้นของเชื้อรา, y แทน จำนวนสัปดาห์ที่ทำการทดลอง

จากภาพที่ 5 และภาพที่ 6 (ตารางที่ 6) พบว่าจำนวนชิ้นวุ้นที่แตกต่างกันของชุดการทดลองที่ใช้ *T. viride* (A-1-3 ถึง A-3-5) ของทุกชุดการทดลองไม่มีผลต่อค่า Kappa number และการย่อยลิกนินในกาบกล้วยน้ำว้า โดยทั้ง 2 ค่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าชุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 5 มีค่า Kappa number เหลือน้อยที่สุด และมีความสามารถในการย่อยลิกนินดีที่สุด เนื่องจาก *T. viride* จะผลิตเอนไซม์แลคเคส และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสซึ่งเป็นเอนไซม์กลุ่มที่สามารถย่อยสลายลิกนิน (สุกาญจน์ ,2553; Gochev and Krastanov, 2007) ที่อยู่ในเส้นใยของกล้วย ได้แก่ ชุดการทดลอง A-1-5, A-2-5 และ A-3-5 โดยมีค่า Kappa number เท่ากับ 20.26 20.42 และ 20.42 ตามลำดับ และการย่อยลิกนิน เท่ากับ 0.624 0.621 และ 0.621% น้ำหนักแห้งตามลำดับ แต่ค่า Kappa number และการย่อยลิกนินของชุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 5 มีความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 (ในสัปดาห์ที่ 3 ชุดการทดลอง A-1-3 มีค่า Kappa number เท่ากับ 22.39 A-2-3 มีค่า Kappa number เท่ากับ 22.74 และA-3-3 มีค่า Kappa number เท่ากับ 22.56 และชุดการทดลอง A-1-3 มีการย่อยลิกนิน เท่ากับ 0.584% น้ำหนักแห้ง A-2-3 มีการย่อยลิกนิน เท่ากับ 0.577% น้ำหนักแห้ง และ A-3-3 มีการย่อยลิกนิน เท่ากับ 0.581 % น้ำหนักแห้ง และสัปดาห์ที่ 4 ชุดการทดลอง A-1-4 มีค่า Kappa number เท่ากับ 22.77 A-2-4 มีค่า Kappa number เท่ากับ 22.56 และ A-3-4 มีค่า Kappa number เท่ากับ 22.74 และชุดการทดลอง A-1-4 มีการย่อยลิกนินเท่ากับ 0.577% น้ำหนักแห้ง A-2-4 มีการย่อยลิกนินเท่ากับ 0.581% น้ำหนักแห้ง และ A-3-4 มีการย่อยลิกนิน เท่ากับ 0.577% น้ำหนักแห้ง) แต่ชุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงเลือกชุดการทดลอง A-1-5 มาศึกษาการย่อยเซลลูโลส และค่า Selection factor ต่อไป

4.1.2.2 การย่อยเซลลูโลส และค่า Selection factor ของเยื่อกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ



ก. ข.

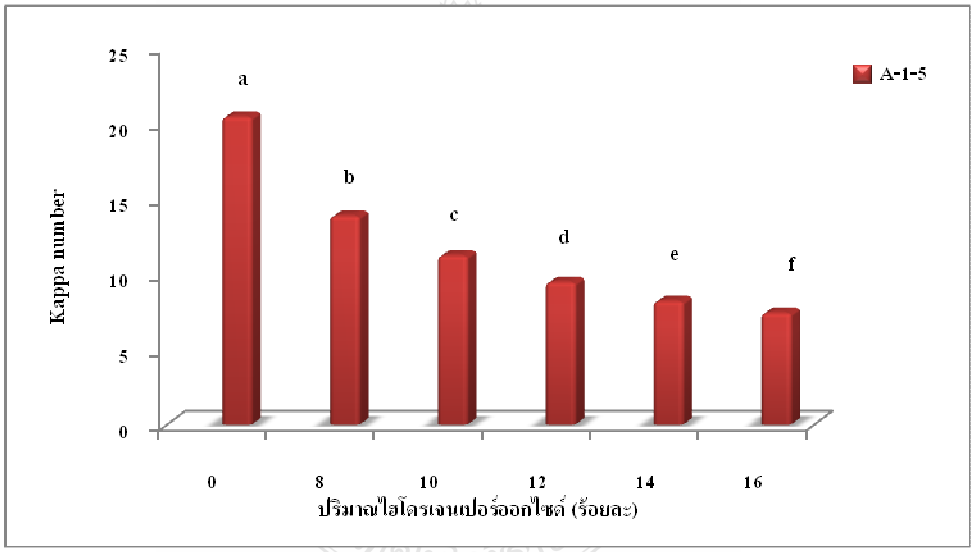
ภาพที่ 7 การย่อยเซลลูโลสและค่า Selection factor ที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride* (A-1-5)

ก.การย่อยเซลลูโลส ข.ค่า Selection factor

จากภาพที่ 7 (ตารางที่ 7) การย่อยเซลลูโลสและค่า Selection factor ของชุดการทดลอง *T. viride* (A-1-5) การย่อยเซลลูโลส มีค่าเท่ากับ 24.379% น้ำหนักแห้ง ลักษณะของเส้นใยยังคงมีลักษณะหนา

(ตารางที่ 4) โดยถ้าเส้นใยมีลักษณะบางจะส่งผลต่อคุณสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษ ทั้งความหนา ความต้านทานแรงดันทะลุ และความต้านทานแรงฉีกขาด ของกระดาษลดลง(ทินกร,2546) ส่วนค่า Selection factor พบว่ามีค่า เท่ากับ 0.026 ซึ่งตามปกติแล้วการผลิตกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพจะเลือกที่มีค่า Selection factor มาก เนื่องจากค่า Selection factor จะบ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายลิกนินและการย่อยสลายเซลลูโลสของเชื้อรานั้นว่าสามารย่อยสลายลิกนินได้มากกว่าการย่อยสลายเซลลูโลส (กัลยวัต, 2546)

4.1.3 ค่า Kappa number ของเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกต่างกันของวิธีทางชีวภาพ

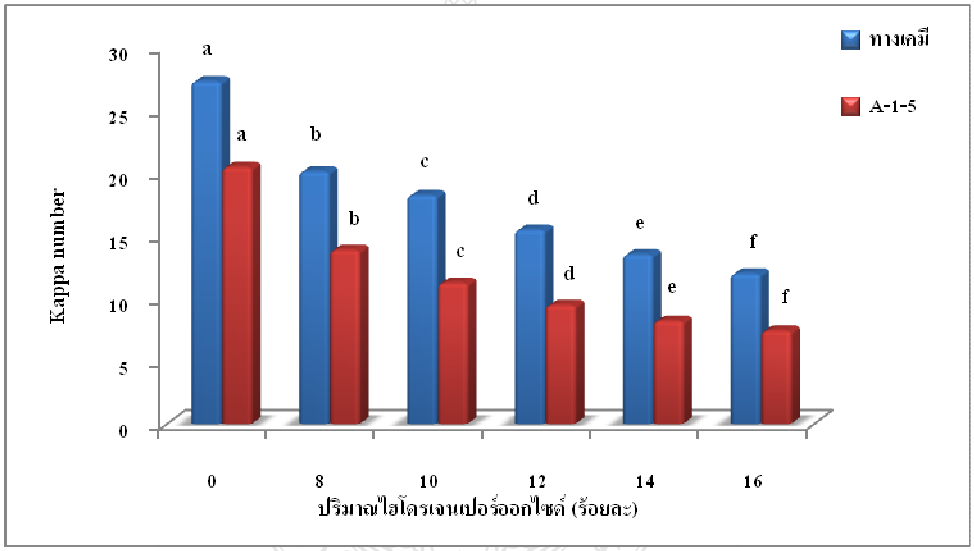


ภาพที่ 8 ค่า Kappa number ของเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกต่างกันของวิธีทางชีวภาพ

จากภาพที่ 8 (ตารางที่ 8) เยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ (*T. viride*) ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 8 10 12 14 และ 16 ค่า Kappa number มีค่าแปรผกผันกับปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อ จากการเปรียบเทียบค่า Kappa number พบว่าทุกชุด

การทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ลิกนินที่อยู่ในเยื่อกาบกล้วยน้ำว้าถูกย่อยสลายโดย *T. viride* ด้วยเอนไซม์แลคเคส และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสซึ่งเป็นเอนไซม์กลุ่มที่สามารถย่อยสลายลิกนินได้ (สุกาญจน์ รัตนเลิศนุสรณ์, 2553; Gochev and Krastanov, 2007) ทำให้ค่า Kappa number ลดลง เมื่อนำเยื่อมาฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าค่า Kappa number ของเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพจะแปรผกผันกับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เช่นเดียวกับเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี

4.2 เปรียบเทียบค่า Kappa number ของเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกต่างกันของวิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบค่า Kappa number ของเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีและที่ผลิตด้วย *T. viride* (A-1-5) ที่ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกต่างกัน

หมายเหตุ 1. ตัวอักษรพิมพ์ที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2. เป็นการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของวิธีการผลิตเดียวกันแต่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ต่างกัน

จากภาพที่ 9 (ตารางที่ 8) ค่า Kappa number ของเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 8 10 12 14 และ 16 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีค่าเท่ากับ 27.25 20.08 18.18 15.44 13.47 และ 11.95 ตามลำดับ และวิธีทางชีวภาพ *(T.*

viride (A-1-5)) ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 8 10 12 14 และ 16 พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เช่นเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ 20.42 13.84 11.21 9.45 8.19 และ 7.41 ตามลำดับ และพบว่าเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีมีค่า Kappa number มากกว่าเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* ในทุกระดับของการฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพจะใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกเยื่อน้อยกว่าเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี ทั้งนี้เนื่องจากลิกนินที่อยู่ในเยื่อกาบกล้วยน้ำว้าถูกย่อยสลายโดย *T. viride* ทำให้เยื่อที่นำมาฟอกใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์น้อยกว่าเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งก่อนฟอกจะแช่ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้สามารถลดปริมาณลิกนินในเยื่อกล้วยได้บางส่วน เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แยกสารประกอบเชิงซ้อนพวกลิกนินออก และเกิดการสลายของลิกนิน (กนิษฐ์, 2548)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

4.2 ลักษณะของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า

ตารางที่ 2 ลักษณะสีและลวดลายของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า ทั้งที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ร้อยละ)	กระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี	กระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* (A-1-5)
0		
8		
10		
12		

ตารางที่ 2 (ต่อ) ลักษณะสีและลวดลายของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า ทั้งที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีและทาง ชีวภาพ

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ร้อยละ)	กระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี	กระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* (A-1-5)
14		
16		

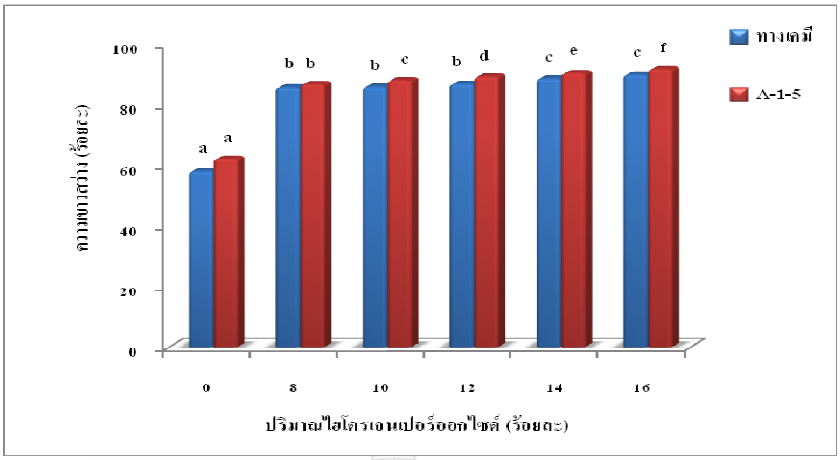
จากตารางที่ 2 กระดาษที่ผลิตจากกาบกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีทางเคมีที่ไม่ได้ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์การทุบกระจายเยื่อจะค่อนข้างยาก เมื่อนำมาขึ้นเป็นแผ่นกระดาษชนิด 80 แกรม ด้วยตะแกรง เยื่อจะจับตัวกันเป็นกลุ่ม ไม่ค่อยกระจาย แผ่นกระดาษที่ได้มีความหยาบและแข็งกระด้าง ส่วนกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 เมื่อนำมาขึ้นแผ่นด้วยตะแกรงเยื่อสามารถกระจายตัวได้ดีกว่าเยื่อกระดาษที่ไม่ได้ฟอก เนื่องเส้นใยมีขนาดบางลงเมื่อฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเส้นใยจะมีลักษณะบางขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกเยื่อ (ทินกร, 2546) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกานต์พิชชา (2552) ที่ทำการศึกษาการผลิตกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า พบว่าเยื่อกล้วยน้ำว้าชนิดฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถกระจายตัวในตะแกรงขึ้นแผ่นได้ดีกว่าเยื่อกระดาษที่ไม่ได้

ฟอกขาว และเมื่อกระดาษชนิดฟอกขาวแห้งตัวเป็นแผ่นกระดาษจะมีความนุ่มมากกว่ากระดาษชนิดที่ไม่ฟอกขาว

กระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยเชื้อรา *T. viride* (A-1-5) ที่ไม่ได้ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าการทุบกระจายเยื่อจะใช้เวลาน้อยกว่าการทุบเยื่อกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี เนื่องจากเส้นใยที่ได้จากการผลิตด้วยเชื่อราจะมีขนาดบางกว่าเส้นใยที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี เนื่องจากเชื้อราในกลุ่ม *Trichoderma sp.* สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสออกมาย่อยสลายเซลลูโลส (สุกาญจน์ ,2553; GOCHEV and Krastanov, 2007) นอกจากนี้กระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพและไม่ได้ฟอกเยื่อสภาวะการต้มเยื่อในอุณหภูมิที่ไม่คงที่จะมีผลทำให้เซลลูโลสพองตัวแยกออกเป็นเส้นเล็กๆ (กัลยวัต, 2546) ดังนั้นเมื่อนำมาขึ้นแผ่นกระดาษชนิด 80 แกรม ด้วยตะแกรงเยื่อจะกระจายแยกออกจากกันเป็นเส้นเดี่ยวๆ ไม่สานตัวกันระหว่างเส้นใย ทำให้ไม่สามารถเกลี่ยให้เยื่อกระจายสม่ำเสมอเต็มแผ่นตะแกรงได้ ส่วนกระดาษที่หมักด้วยเชื้อราและฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 เส้นใยเกิดการสานตัวกัน กระดาษจึงมีความสม่ำเสมอต่างกับกระดาษที่ไม่ได้ฟอกเยื่อ เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อจะกำจัดลิกนินในเยื่อพืชออกไปมากขึ้นทำให้เส้นใยสร้างพันธะต่อกันมากขึ้น รวมทั้งเส้นใยจะมีความหยุ่นตัวมากขึ้นจึงทำให้ได้กระดาษที่มีความหนาแน่นและมีความเรียบมากขึ้น (สุธิดา, 2551) เมื่อนำกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีมาเปรียบเทียบกับกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ พบว่ากระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ จะมีลักษณะเรียบ อ่อนนุ่ม และมีความขาวสว่างมากกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี แต่กระดาษที่ได้จะบางกว่ากระดาษทางเคมี

4.3 คุณสมบัติทางกายภาพและความเหนียวของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า

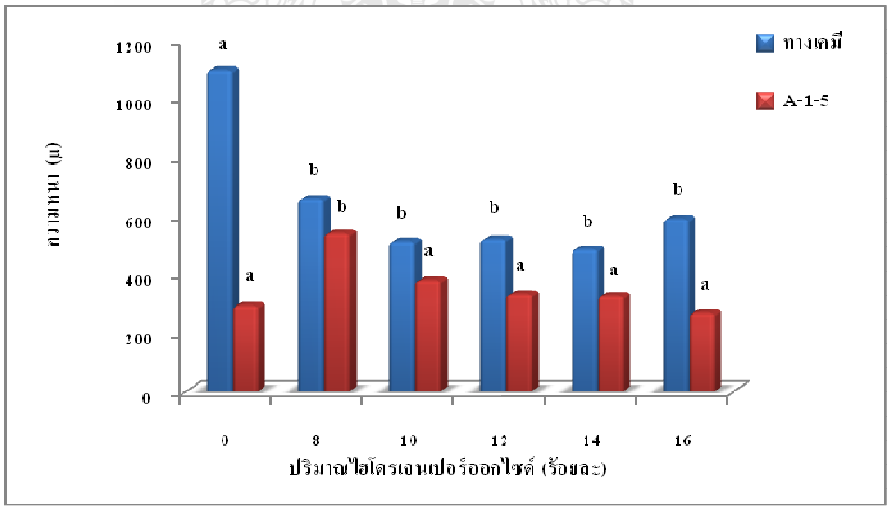
4.3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและความเหนียวของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 10 ความขาวสว่างของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า

หมายเหตุ 1. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

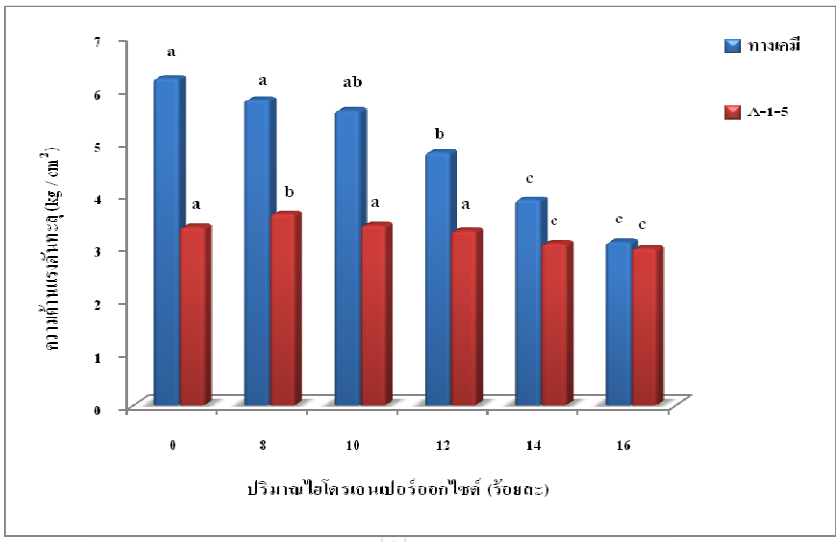
2. เป็นการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของวิธีการผลิตเดียวกันแต่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ต่างกัน



ภาพที่ 11 ความหนาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า

หมายเหตุ 1. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

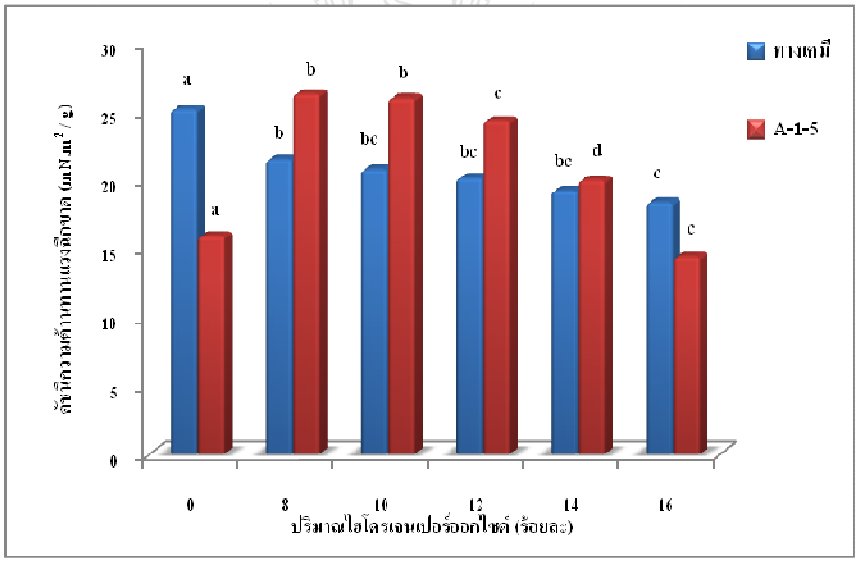
2. เป็นการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของวิธีการผลิตเดียวกันแต่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ต่างกัน



ภาพที่ 12 ความต้านแรงดันทะลุของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า

หมายเหตุ 1. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2. เป็นการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของวิธีการผลิตเดียวกันแต่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ต่างกัน



ภาพที่ 13 ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า

หมายเหตุ 1. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2. เป็นการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของวิธีการผลิตเดียวกันแต่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ต่างกัน

4.3.1.1 กระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี

จากการศึกษาค่าความขาวสว่าง(ตารางที่ 9, ภาพที่ 10) พบว่าความขาวสว่างของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้ามีค่าแปรผันตรงกับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อ และพบว่ากระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าทางเคมีที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 ส่วนเยื่อที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 และ 12 ค่าความขาวสว่างของกระดาษไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)กับเยื่อที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 และ 16 ส่วนเยื่อที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 และ 16 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 8 10 12 14 และ 16 มีความขาวสว่างอยู่ในช่วงร้อยละ 58.20 ถึง 90.16 โดยกระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 16 มีความขาวสว่างมากที่สุดมีค่าเท่ากับ 90.16 รองลงมาได้แก่ เยื่อที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ14 12 10 8 และ 0 มีค่าร้อยละเท่ากับ 88.90 87.09 86.14 85.97 และ 58.20 ตามลำดับ ความหนาของกระดาษ (ตารางที่ 9, ภาพที่ 11) ที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์-ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่ผ่านการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 แต่ความหนาของกระดาษที่ผ่านการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาของกระดาษมีค่าอยู่ในช่วง 485.00 ถึง 1,098.60 μ โดยกระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0 มีความหนาของกระดาษมากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 1,098.60 μ รองลงมาได้แก่ ที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8 16 12 10 และ 14 มีค่าเท่ากับ 657.20 589.40 520.20 512.40 และ 485.00 μ ตามลำดับ ความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษ (ตารางที่ 10, ภาพที่ 12) จากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 8 และ 10 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 และ 16 กระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ

10 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ12 ความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี มีค่าอยู่ในช่วง 3.1 ถึง 6.2 kg /cm^2 โดยกระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0 มีความต้านทานแรงดันทะลุได้ดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 6.2 kg /cm^2 รองลงมาได้แก่ ที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 มีค่าเท่ากับ 5.80 5.60 4.80 3.90 และ 3.10 kg /cm^2 ตามลำดับ สำหรับค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด (ตารางที่ 10, ภาพที่ 13) มีค่าแปรผกผันกับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อ และพบว่ากระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 ส่วนกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 และ 16 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 12 และ 14 แต่กระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 16 ความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี มีค่าอยู่ในช่วง 18.40 ถึง 25.17 $mN.m^2$ /g โดยกระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0 มีความต้านทานแรงฉีกขาดดีที่สุดมีค่าเท่ากับ 25.17 $mN.m^2$ / g รองลงมาได้แก่กระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 มีค่าเท่ากับ 21.54 20.78 20.15 19.23 และ 18.40 $mN.m^2$/g ตามลำดับ

จากการศึกษาปริมาณที่แตกต่างกันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกเยื่อกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี พบว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความขาวสว่างของกระดาษเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อกระดาษจะทำให้ลิกนินที่ก่อให้เกิดสีแตกตัวและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเกิดการออกซิไดส์กลุ่มคาร์บอนิลในคาร์โบไฮเดรตให้เปลี่ยนเป็นกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งเป็นการทำให้สีของลิกนินที่เหลืออยู่ขาวขึ้น (วุฒินันท์, 2545) โดยความขาวสว่างของกระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 มีความขาวสว่างมากกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับกระดาษพิมพ์ (ประเภทไม่เคลือบผิว) (มอก. 287, 2533) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2533) ที่กำหนดไว้ให้มีค่าความขาวสว่าง

(เฉพาะกระดาษขาว) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 แต่เมื่อดูด้วยสายตากระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 และ 12 ยังมีสีเหลืองเข้มและสีเหลืองอ่อนอยู่ ดังนั้นถ้าต้องการกระดาษที่มีความขาวสว่างสูงควรฟอกเยื่อกระดาษด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 16 แต่คุณสมบัติความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ16 กลับมีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 ในการฟอกเยื่อกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีมาเปรียบเทียบกับกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ เนื่องจากกระดาษที่ได้มีค่าความขาวสว่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกระดาษฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 16 แต่มีคุณสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษดีกว่า

4.3.1.2 กระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ

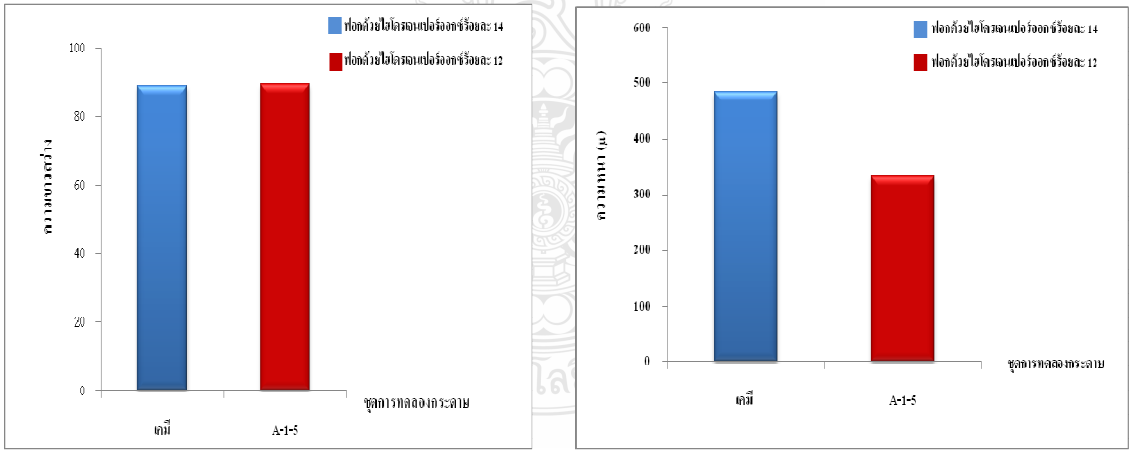
จากการศึกษากระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* (A-1-5) พบว่าความขาวสว่างของกระดาษ (ตารางที่ 9, ภาพที่ 10) ที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 8 10 12 14 และ 16 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ความสว่างของกระดาษมีค่าความสว่างในช่วงร้อยละ 62.34 ถึง 92.01 โดยกระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 16 มีความขาวสว่างมากที่สุด คือมีความขาวสว่างร้อยละ 92.01 รองลงมาคือ กระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 12 10 8 และ 0 คือ 90.66 89.52 88.32 87.03 และ 62.34 ตามลำดับ ความหนาของกระดาษ (ตารางที่ 9, ภาพที่ 11) พบว่ากระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์-ออกไซด์ร้อยละ 8 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 10 12 14 และ 16 แต่กระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์-ออกไซด์ร้อยละ 0 10 12 14 และ 16 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความหนาของกระดาษมีค่าอยู่ในช่วง 292.60 ถึง 540.10 μ โดยกระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 มีความหนามากที่สุด คือ 540.1 μ รองลงมาคือ กระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 12 14 16 และ 0 คือ 379.20 332.50 326.60 298.60 และ 292.60 μ ตามลำดับ ความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษ (ตารางที่ 10, ภาพที่ 12) พบว่ากระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 มี

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 10 12 14 และ 16 ส่วนกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 10 และ 12 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 และ 16 ส่วนกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 และ 16 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความต้านทานแรงดันทะลุมีค่าอยู่ในช่วง 2.97 ถึง 3.63 kg /cm^2 โดยกระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 มีความต้านทานแรงดันทะลุมากที่สุด คือ 3.63 kg /cm^2 รองลงมาคือ กระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 0 12 14 และ 16 คือ 3.40 3.37 3.30 3.07 และ 2.97 kg /cm^2 ตามลำดับ ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ (ตารางที่ 10, ภาพที่ 13) พบว่ากระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) กับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 ส่วนกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 และ 10 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 14 และ 16 และกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 14 และ 16 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษมีค่าอยู่ในช่วง 14.41 ถึง 26.31 mN.m^2/g โดยกระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจน-เปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 มีค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดมากที่สุด คือ 26.31 mN.m^2/g รองลงมาคือ กระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 12 14 0 และ 16 คือ 25.99 24.33 20.00 15.93 และ 14.41 mN.m^2/g ตามลำดับ

จากการศึกษาปริมาณที่แตกต่างกันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกเยื่อกระดาษที่ผลิตด้วย *T. viride* (ชุดการทดลอง A-1-5) พบว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความขาวสว่างของกระดาษเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อกระดาษจะทำให้ลิกนินที่ก่อให้เกิดสีแตกตัวและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเกิดการออกซิไดส์กลุ่มคาร์บอนิลในคาร์โบไฮเดรตให้เปลี่ยนเป็นกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งเป็นการทำให้สีของลิกนินที่เหลืออยู่ขาวขึ้น (วุฒินันท์, 2545)โดยความขาวสว่างของกระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 มีความขาวสว่างมากกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับกระดาษพิมพ์ (ประเภทไม่เคลือบผิว) (มอก. 287, 2533) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2533) ที่กำหนดไว้ให้มีค่าความขาวสว่าง (เฉพาะกระดาษขาว) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 แต่เมื่อดูด้วยสายตากระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 และ 10 ยังมีสีเหลืองเข้มและสีเหลืองอ่อนอยู่ ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 เนื่องจากกระดาษที่ได้มีค่าความขาวสว่างมากกว่า ถึงแม้ว่าเมื่อเทียบกับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 และ 16 จะมีค่าความขาวสว่างน้อยกว่าก็ตาม แต่คุณสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 และ 16 มีค่าน้อยกว่ากระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12

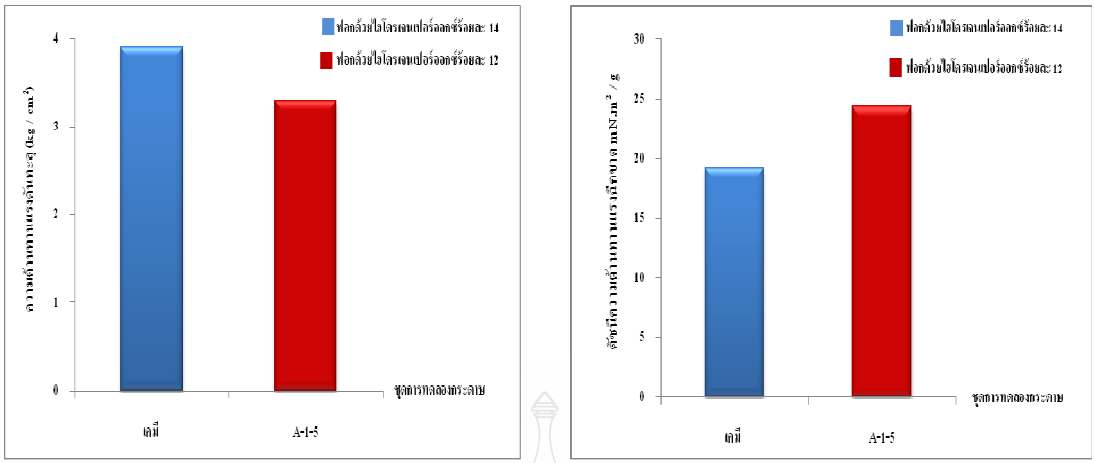
4.3.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและความเหนียวของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ



ก. ข.

ภาพที่ 14 กระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 กับกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* (A-1-5) ที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ12

ก. ความขาวสว่าง ข. ความหนา



ก. ข.

ภาพที่ 15 กระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 กับกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* (A-1-5) ที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ12

ก. ความต้านแรงดันทะลุ ข. ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด

จากการศึกษาพบว่าความขาวสว่างของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า (ตารางที่11, ภาพที่ 14) ที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ14 มีค่าน้อยกว่าความขาวสว่างของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* (A-1-5) ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 12 โดยมีค่าร้อยละของความขาวสว่างเท่ากับร้อยละ 88.90 และ 89.52 จะเห็นได้ว่ากระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T.viride* ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกน้อยกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีแต่ได้ความขาวสว่างมากกว่า ซึ่งกระดาษที่ผลิตจากทั้งสองวิธีมีความขาวสว่างมากกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับกระดาษพิมพ์ (ประเภทไม่เคลือบผิว) (มอก. 287, 2533) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2533) ที่กำหนดไว้ให้มีค่าความขาวสว่าง (เฉพาะกระดาษขาว) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 สำหรับความหนาของกระดาษ (ตารางที่ 11, ภาพที่14) พบว่ากระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ14 กระดาษมีความหนามากกว่ากระดาษ

จากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ12 โดยมีค่าเท่ากับ 485 μ และ 332.5 μ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุธิดา (2551) พบว่ากระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ จะมีลักษณะเรียบ อ่อนนุ่ม และมีความขาวสว่างมากกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี แต่กระดาษที่ได้จะบางกว่ากระดาษทางเคมี ส่วนความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษ (ตารางที่11, ภาพที่ 15) ที่ผลิตด้วย *T. viride* มีค่าเท่ากับ 3.3 kg /cm^2 และที่ผลิตทางเคมีมีค่าเท่ากับ 3.9 kg/cm^2 ซึ่งกระดาษที่ผลิตจากสองวิธีดังกล่าว มีความแข็งแรงเกินกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับกระดาษพิมพ์ (ประเภทไม่เคลือบผิว) (มอก. 287, 2533) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2533) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษเหนียวของกระดาษถุงชั้นเดียว (มอก. 170, 2550) ที่กำหนดไว้ให้มีค่าเท่ากับ 0.8 kg / cm^2 และ 1.5 kg /cm^2 ของน้ำหนักมาตรฐาน 80 g/m^2 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2550) ตามลำดับ ส่วนความต้านทานแรงฉีกขาดกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* (ตารางที่11, ภาพที่ 15) มีค่ามากกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี โดยมีค่าเท่ากับ 24 .33 $mN.m^2/g$ และ 19.23 $mN.m^2/g$ ซึ่งกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทั้งสองยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตกระดาษเหนียวเพราะมีค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดไว้ (มอก. 170, 2550) สำหรับถุงชั้นเดียว มีค่าอยู่ระหว่าง 630 ถึง 660 $mN.m^2$ /g ของน้ำหนักมาตรฐาน 80 g/m^2 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2550)

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 ค่า Kappa number ของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี จะแปรผันตามปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกเยื่อที่เพิ่มขึ้น ค่า Kappa number ในเยื่อกระดาษลดลง ส่งผลให้กระดาษมีความขาวสว่างเพิ่มขึ้น แต่คุณสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษลดลง

5.2 การย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride* พบว่าปริมาณชิ้นวุ้นที่ใช้เป็นหัวเชื้อเริ่มต้นไม่มีผลต่อค่า Kappa number และการย่อยลิกนิน แต่จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง โดยชุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 5 จะมีค่า Kappa number น้อยที่สุด และการย่อยลิกนินมากที่สุด ได้แก่ ชุดการทดลอง A-1-5 A-2-5 และ A-3-5 จากการคัดเลือกชุดการทดลอง A-1-5 มาศึกษาการย่อยเซลลูโลส และค่า Selection factor พบว่ามีค่าเท่ากับ 24.379%น้ำหนักแห้ง และ 0.026 ตามลำดับ

5.3 ลักษณะกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีจะแข็งกระด้าง ไม่ค่อยเรียบ แต่เห็นลวดลายของเส้นใยชัดเจน ถึงแม้ว่าจะฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แล้วกระดาษก็ยังแข็งกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ เนื่องจาก *T. viride* สามารถย่อยสลายลิกนินได้มากกว่า ทำให้เส้นใยสร้างพันธะต่อกันมากขึ้น รวมถึงเส้นใยมีความหยุ่นตัวมากขึ้น การทุบกระจายเยื่อเป็นไปได้ง่ายและเมื่อฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ยิ่งทำให้ปริมาณลิกนินที่เหลือ (ค่า Kappa number) ในเยื่อลดลง กระดาษที่ได้จึงมีความขาวสว่างสูง มีลักษณะเรียบและอ่อนนุ่ม แต่กระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพจะบางกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี เนื่องจากเกิดการสูญเสียเซลลูโลสที่ถูกย่อยสลายด้วยเชื้อรา

5.6 ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมสำหรับฟอกเยื่อกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าทั้งที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีและที่ผลิตด้วย *T. viride* คือ ร้อยละ 14 และ 12 ตามลำดับ เนื่องจากกระดาษที่ได้จะมีความขาวสว่าง และมีคุณสมบัติที่ดีในด้านความเหนียว

5.8 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและความเหนียวระหว่างกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี กับกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* พบว่ากระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า

ที่ผลิตด้วย *T. viride* ไม่มีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ และใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในการฟอกเยื่อน้อยกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี ความขาวสว่างของกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพมีค่ามากกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี ส่วนคุณสมบัติด้านความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษของกระดาษที่ผลิตด้วยทั้งสองวิธีมีความแข็งแรงเกินกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับกระดาษพิมพ์ (ประเภทไม่เคลือบผิว) (มอก. 287, 2533) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2533) และมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษเหนียวของกระดาษถุงชั้นเดียว (มอก. 170, 2550) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2550) แต่ความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทั้งสองยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตกระดาษเหนียวเพราะมีค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดไว้ (มอก. 170, 2550) สำหรับถุงชั้นเดียว มีค่าอยู่ระหว่าง 630 ถึง 660 $mN.m^2/g$ ของน้ำหนักมาตรฐาน 80 g/m^2 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2550)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการเติมสารบางชนิดเพื่อยับยั้งการผลิตเอนไซม์ย่อยเซลลูโลสของเชื้อรา *T. viride* เพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิตเยื่อ ทำให้กระดาษมีความหนาเพิ่มขึ้น

2. ควรมีการศึกษาการเติมสารบางชนิดเพื่อเพิ่มการผลิตเอนไซม์ย่อยลิกนินของเชื้อรา *T. viride* เพื่อทำให้กระดาษมีค่า Kappa number น้อย มีความขาวสว่างมาก

3. ควรมีการศึกษาสภาวะการต้มเยื่อกระดาษที่หมักด้วยเชื้อรา เนื่องจากอุณหภูมิที่ไม่คงที่ จะทำให้เซลลูโลสพองตัว แยกออกเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งส่งผลให้คุณสมบัติด้านความเหนียวของเยื่อต่ำลง

4. ควรมีการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มเยื่อ เพื่อไม่ให้เส้นใยถูกความร้อนทำให้สั้นลง เพราะอาจส่งผลทำให้คุณสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษลดลงได้

เอกสารอ้างอิง

กนิษฐ์ ตรีสุวรรณ. 2548. การผลิตเยื่อกระดาษจากใบสับปะรด. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษพิมพ์และกระดาษเขียน มอก.287-2533. สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. อ้างอิงใน วิขัณฑ์ อรรณพานุรักษ์ รัศมี บุญประดิษฐ์ และสมบูรณ์ ปลื้มปัญญา. 2544. คุณสมบัติกระดาษจากการผสมด้วยเยื่อฟางข้าวและกาบกล้วย. ในเอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ. หน้า 329-330.

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2550. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษเหนียว มอก. 170-2550. สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. 11 หน้า.

กัลยวัต พรสุรัตน์. 2546. การใช้รายย่อยสลายลิกนินในการผลิตเยื่อกระดาษจากชานอ้อย ใบสับปะรด และปอสาโดยวิธีทางชีวภาพ. วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษเศรษฐกิจ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กานต์พิชชา สุวรรณวัฒนเมธี คมสัน วิวัฒน์ชัยมณี และสุริยา ลีวิจิตร. 2552. การศึกษาและผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมจากต้นกล้วยน้ำว้า. เทคโนโลยีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการพิมพ์ คณะเทคโนโลยีสื่อสารมวลชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

จิตรัตน์ ศรีสุโขทัย. 2542. ผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อมจากการผลิตกระดาษสา. ในเอกสารประกอบการประชุมเชิงปฏิบัติการ. สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่. หน้า 57.

ชยาภาส ทับทอง. 2549. กระดาษทำมือจากต้นกล้วย. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ทินกร อัญชลีวิทยกุล. 2546. การผลิตกระดาษจากต้นกล้วยและการใช้ประโยชน์. ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์เพื่อการพัฒนาชุมชน คณะคหกรรม มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ธีระ ตั้งวิชาชาญ. 2539. องค์ประกอบของกระดาษ. ในเอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมธิราช, นนทบุรี. หน้า 14-25.

นิภาพร พันทอง และชัชวาลย์ ศรีกำพล. 2546. การผลิตกระดาษจากต้นข้าวโพด เปลือกข้าวโพด และซังข้าวโพด. วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2545. กล้วย. พิมพ์ครั้งที่ 3. มหาวิทยาลังเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. 357 หน้า.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2545. กล้วย [ออนไลน์]. ได้จาก : http://www.bansuanporpeang.com/node/2490

ปิยะนันท์ สุวรรณเมนะ. 2539. ลู่ทางและโอกาสการส่งออกและผลกระทบจากการมีขอบเขตการค้าเสรีอาเซียน (สำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ). ฝ่ายแผนงานเศรษฐกิจรายสาขา สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 101 หน้า.

พเยาว์ มากสิน. 2544. การประยุกต์ใช้กลุ่มเอนไซม์ไซลาเนสทนด่างจาก alkaliphilic *Bacillus firmus* K-1 ในกระบวนการฟอกสีเยื่อกระดาษคราฟท์. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

มณี ตันติรุ่งกิจ ศิริพร วิหคโต และอรวรรณ ชวนตระกูล. 2545. สภาวะที่เหมาะต่อการฟอกเยื่อปอสาโดยชีววิธีด้วยเชื้อราที่ย่อยสลายลิกนิน. ในเอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 40. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ. หน้า 173-179.

รุ่งอรุณ วัฒนวงศ์. 2539. การผลิตเยื่อปอสาคุณภาพสูง. ในเอกสารการสอนชุดวิชาวัสดุทางการพิมพ์. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, สุโขทัย. หน้า 5-45.

วุฒินันท์ คงทัต. 2545. กระดาษทำด้วยมือ. งานวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการผลิตและกระดาษจากปอสา. ในเอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร. หน้า 18-20.

วิขัณฑ์ อรรณพานุรักษ์, รัศมี บุญประดิษฐ์ และสมบูรณ์ ปลื้มปัญญา. 2544. คุณสมบัติกระดาษจากการผสมด้วยเยื่อฟางข้าวและกาบกล้วย. ในเอกสารการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 39. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ. หน้า 325-331.

วิชชา พิชัยณรงค์. 2545. การแยกลิกนินออกจากน้ำดำในกระบวนการทำเยื่อกระดาษจากยูคาลิปตัส. วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริโฉม ทุ่งแก้ว. 2542. การคัดเลือกเชื้อราที่มีกิจกรรมย่อยสลายลิกนินจากแหล่งธรรมชาติ.

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

สุกาญจน์ รัตนเลิศนุสรณ์. 2553. ความหลากหลายทางชีวภาพเชื้อราดินเลนนากุ้งร้างและการย่อยสลายฟางข้าวด้วยเชื้อรา. ในเอกสารการประชุมทางวิชาการนเรศวรวิจัย ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก. หน้า 331-345.

สุรชัย ขันแก้ว คมสันต์ วิวัฒน์ชัยมณี สุริยา ลีวิจิตร และกานต์พิชชา สุวรรณวัฒนเมธี. 2553. ลักษณะเยื่อ ค่าปริมาณลิกนิน และสภาวะการต้มเยื่อที่เหมาะสมต่อการเตรียมต้นกล้วยน้ำว้าที่แตกต่างกัน. ในเอกสารการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีครั้งที่ 8. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต, ปทุมธานี. หน้า 53.

สุธิดา มุลาลินน์. 2551. การผลิตเยื่อและการฟอกเยื่อด้วยไซแลนเนสของหญ้าคา *Imperata cylindrical* (L.) P Beauv. และหญ้าแฝก Vetiveria zizanioides (L.). วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Alexopoulos, C.J., Mims, C.W. and Blackwell, M. 1996. Phylum Basidiomycota : Order Aphyllophorales. In *Introductory Mycology*, 4th edition. John Wiley&Sons, Inc., New York. pp. 569-573. อ้างอิงใน ศิริโฉม ทุ่งแก้ว. 2542. การคัดเลือกเชื้อราที่มีกิจกรรมย่อยสลายลิกนินจากแหล่งธรรมชาติ. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. หน้า 43.

Atchison, J.E. 1988. World capacities for non-wood plant fiber pulping increasing faster than wood pulping capacities. In Proceeding of TAPPI Pulping Conference 1998. Book 1, New Orlans. pp. 25-45. อ้างอิงใน กัลยวัต พรสุรัตน์. 2546. การใช้รายย่อยสลายลิกนินในการผลิตเยื่อกระดาษจากชานอ้อย ใบสับปะรด และปอสาโดยวิธีทางชีวภาพ. วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษ์เศรษฐกิจ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 65.

Biermann, C.J. 1993. Essentials of Pulping and Papermaking. Department of Forest Products and Center for Advance Materials Ressearch, Oregon university. p. 472. อ้างอิงใน กัลยวัต พรสุรัตน์. 2546. การใช้รายย่อยสลายลิกนินในการผลิตเยื่อกระดาษจากชานอ้อย

ใบสับปะรด และปอสาโดยวิธีทางชีวภาพ. วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาพฤกษ์เศรษฐกิจ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 65.

Heinzkill and Messner. 1997. The ligninolytic system of fungi. In Fungal Biotechnology. Chapman & Hall, Weinheim. pp. 213-227. อ้างอิงใน ศิริโฉม ทุ่งแก้ว. 2542. การคัดเลือกเชื้อราที่มีกิจกรรมย่อยสลายลิกนินจากแหล่งธรรมชาติ. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. หน้า 3.

Kirk, T.K. and Farrell, R.L. 1987. Enzymatic “combustion”: the microbial degradation of lignin. Ann. Rev. Microbiol. 41:465-50. อ้างอิงใน ศิริโฉม ทุ่งแก้ว. 2542. การคัดเลือกเชื้อราที่มีกิจกรรมย่อยสลายลิกนินจากแหล่งธรรมชาติ. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา. หน้า 44.

Gochve, V.K. and Krastanov, A.I. 2007. Isolation of Laccase Producing *Trichoderma* spp. Biochemistry and Microbiology. University of Food Technologies, Bulgaria. pp. 171-176.

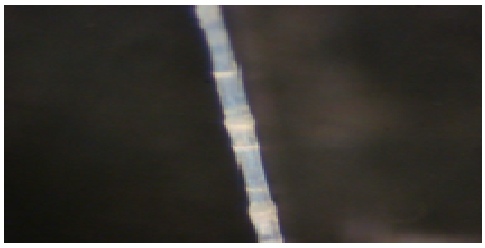
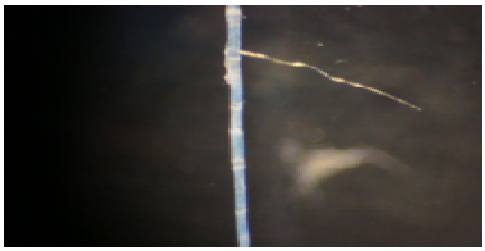
ภาคผนวก ก

ลักษณะของเส้นใยกาบกล้วยน้ำว้า

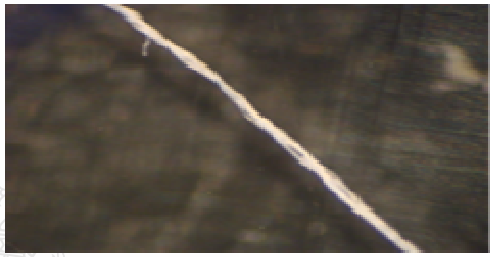
1. ลักษณะเส้นใยของกาบกล้วยน้ำว้า

1.1 ลักษณะเส้นใยของกาบกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีทางเคมี

ตารางที่ 3 ลักษณะเส้นใยของกาบกล้วยน้ำว้าที่ได้จากกระบวนการผลิตเยื่อด้วยวิธีทางเคมี

ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ร้อยละ)	ภาพเส้นใย
ชุดควบคุม	
8	
10	
12	

ตารางที่ 3 (ต่อ) ลักษณะเส้นใยของกาบกล้วยน้ำว้าที่ได้จากกระบวนการผลิตเยื่อด้วยวิธีทางเคมี

ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ร้อยละ)	ภาพเส้นใย
14	
16	

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ กาบกล้วยน้ำว้าธรรมชาติ

ชุดการทดลองที่ 1 คือ ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0

ชุดการทดลองที่ 2 คือ ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8

ชุดการทดลองที่ 3 คือ ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10

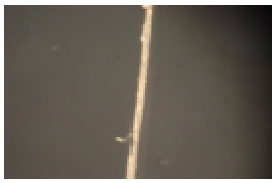
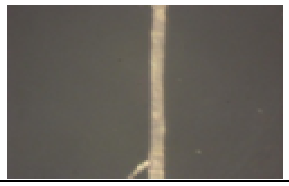
ชุดการทดลองที่ 4 คือ ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12

ชุดการทดลองที่ 5 คือ ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14

ชุดการทดลองที่ 6 คือ ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 16

1.2 ลักษณะเส้นใยของกาบกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีทางชีวภาพ

ตารางที่ 4 ลักษณะเส้นใยของกาบกล้วยน้ำว้าที่ได้จากกระบวนการผลิตเยื่อด้วยวิธีทางชีวภาพ

ชนิดของเชื้อรา	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ร้อยละ)	ภาพเส้นใย
Trichoderma viride	ชุดควบคุม	
	8	
	10	
	12	
	14	
	16	

ภาคผนวก ข

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า

2. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า

2.1 การผลิตกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีทางเคมี

ตารางที่ 5 ค่า Kappa number ที่เหลือจากการฟอกเยื่อกาบกล้วยน้ำว้าด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ชุดการทดลอง	Kappa number
ชุดควบคุม	53.80
ชุดการทดลองที่ 1	27.25 [a]
ชุดการทดลองที่ 2	20.08 [b]
ชุดการทดลองที่ 3	18.18 [c]
ชุดการทดลองที่ 4	15.44 [d]
ชุดการทดลองที่ 5	13.47 [e]
ชุดการทดลองที่ 6	11.95 [f]
CV (%)	9.30

ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

หมายเหตุ ชุดควบคุม คือ กาบกล้วยน้ำว้าธรรมชาติ

ชุดการทดลองที่ 1 คือ ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0

ชุดการทดลองที่ 2 คือ ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8

ชุดการทดลองที่ 3 คือ ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10

ชุดการทดลองที่ 4 คือ ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12

ชุดการทดลองที่ 5 คือ ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14

ชุดการทดลองที่ 6 คือ ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 16

2.2 การผลิตกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีทางชีวภาพ

ตารางที่ 6 ค่า Kappa number และการย่อยลิกนิน ที่ได้จากการย่อยกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride*

ชุดการทดลอง	Kappa number	การย่อยลิกนิน (% น้ำหนักแห้ง)
A-1-3	22.39^{Aa}	0.584^{Aa}
A-1-4	22.77^{Aa}	0.577^{Aa}
A-1-5	20.26^{Ab}	0.624^{Ab}
A-2-3	22.74^{Aa}	0.577^{Aa}
A-2-4	22.56^{Aa}	0.581^{Aa}
A-2-5	20.42^{Ab}	0.621^{Ab}
A-3-3	22.56^{Aa}	0.581^{Aa}
A-3-4	22.74^{Aa}	0.577^{Aa}
A-3-5	20.42^{Ab}	0.621^{Ab}
CV (%)	25.30	26.900

หมายเหตุ 1.ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง ใช้ปริมาณชิ้นวุ้นที่ต่างกัน คือ 1 2 และ 3 ชิ้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง ใช้เวลาในการเพาะเลี้ยงที่ต่างกัน คือ 3 4 และ 5 สัปดาห์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

3. สัญลักษณ์ A-x-y หมายถึง A แทน *T. viride,* x แทน จำนวนชิ้นวุ้นของเชื้อรา, y แทน จำนวนสัปดาห์ที่ทำการทดลอง

ตารางที่ 7 ค่า Kappa number ค่าการย่อยลิกนิน ค่าการย่อยเซลลูโลส และค่า Selection factor ที่ได้จากการย่อยสลายกาบกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride* (A-1-5)

ชุดการทดลอง	Kappa number	การย่อยลิกนิน (% น้ำหนักแห้ง)	การย่อยเซลลูโลส (% น้ำหนักแห้ง)	selection factor
A-1-5	20.420	0.621	24.379	0.026

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่า Kappa number ของเยื่อจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี กับที่ผลิตด้วย *T. viride* (A-1-5) ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เท่ากัน

ค่า Kappa number กระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ร้อยละ)						
	0	8	10	12	14	16	CV (%)
ทางเคมี	27.25 [a]	20.08 [b]	18.18 [c]	15.44 [d]	13.47 [e]	11.95 [f]	9.30
T. viride	20.42 [a]	13.84 [b]	11.21 [c]	9.45 [d]	8.19 [e]	7.41 [f]	0.89

หมายเหตุ 1. ตัวอักษรพิมพ์ที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2. เป็นการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของวิธีการผลิตเดียวกันแต่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ต่างกัน

ตารางที่ 9 ความขาวสว่างและความหนาของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า

ไฮโดรเจนเปอร์-ออกไซด์ (ร้อยละ)	ความขาวสว่าง (ร้อยละ) กระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า		ความหนา (µ) กระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า	
	ทางเคมี	*T. viride*	ทางเคมี	*T. viride*
0	58.20 [a]	62.34[a]	1098.60[a]	292.60[a]
8	85.97 [b]	87.03[b]	657.20[b]	540.10[b]
10	86.14 [b]	88.32[c]	512.40[b]	379.20[a]
12	87.09 [b]	89.52[d]	520.20[b]	332.50[a]
14	88.90 [c]	90.66[e]	485.00[b]	326.60[a]
16	90.16 [c]	92.01[f]	589.40[b]	298.60[a]
CV (%)	0.54	0.71	28.60	24.90

หมายเหตุ 1. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2. เป็นการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของวิธีการผลิตเดียวกันแต่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ต่างกัน

ตารางที่ 10 ความต้านแรงดันทะลุและความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า

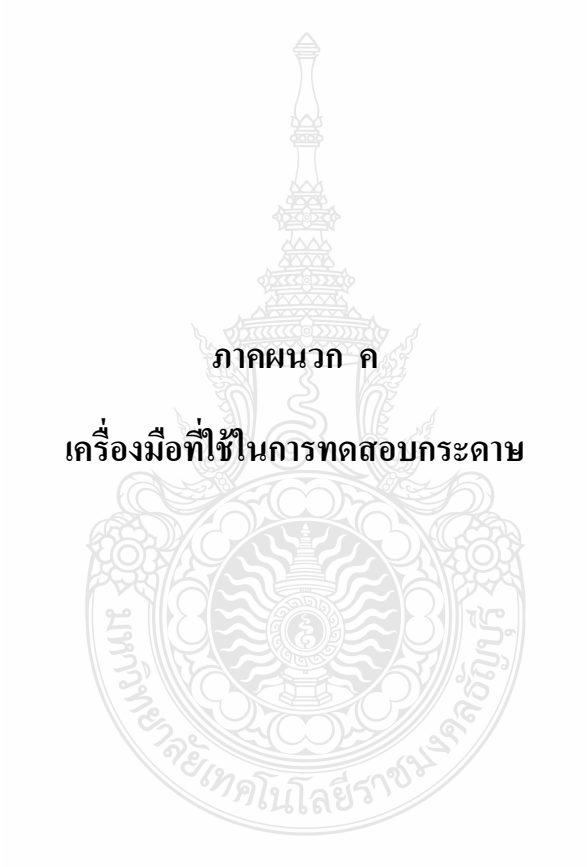
ไฮโดรเจนเปอร์-ออกไซด์ (ร้อยละ)	ความต้านแรงดันทะลุ (kg / cm^2)		ความต้านทานแรงฉีกขาด ($mN.m^2 / g$)	
	ทางเคมี	*T. viride*	ทางเคมี	*T. viride*
0	6.20[a]	3.37[a]	25.17[a]	15.93[a]
8	5.80[a]	3.63[b]	21.54[b]	26.31[b]
10	5.60[ab]	3.40[a]	20.78[bc]	25.99[b]
12	4.80[b]	3.30[a]	20.15[bc]	24.33[c]
14	3.90[c]	3.07[c]	19.23[bc]	20.00[d]
16	3.10[c]	2.97[c]	18.40[c]	14.41[e]
CV (%)	9.3	3.33	7.4	2.15

หมายเหตุ 1. ตัวอักษรที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

2. เป็นการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของวิธีการผลิตเดียวกันแต่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ต่างกัน

ตารางที่ 11 เปรียบเทียบคุณสมบัติของกระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 กับที่ผลิตด้วย *T. viride* ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12

กระดาษจากกาบกล้วยน้ำว้า	**ความขาวสว่าง (ร้อยละ)**	**ความหนา (μ)**	**ความต้านแรงดันทะลุ (kg / cm^2)**	**ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด ($mN.m^2 / g$)**
เคมี ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14	88.90	485.00	3.90	19.23
T. viride ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12	89.52	332.50	3.30	24.33



ภาคผนวก ค

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบกระดาษ

ภาพที่ 16 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด (Tering Strength)

ภาพที่ 17 เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting Strength)

ภาพที่ 18 เครื่องทดสอบหาความหนา (Thickness gate)

ภาพที่ 19 เครื่องวัดค่าสีบนสิ่งพิมพ์ และค่าความดำ (Spectro Densitometer)