



การผลิตเยื่อกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้า
ด้วยวิธีทางชีวภาพโดยใช้ *Trichoderma viride*
Biopulping from Banana Pseudo - Stem of Num-Wa
by *Trichoderma viride*

สุจยา ฤทธิศรี¹

บทคัดย่อ

จากการศึกษาการใช้ราย่อยลิกนินในการผลิตเยื่อกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าโดยวิธีทางชีวภาพ พบว่า ปริมาณเชื้อรา *T. viride* ที่เพิ่มมากขึ้นไม่มีผลต่อค่า Kappa number และการย่อยลิกนิน แต่ขึ้นอยู่กับระยะเวลา ในการเพาะเลี้ยง เมื่อนำเยื่อจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 8 10 12 14 และ 16 ค่า Kappa number ของเยื่อจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* มีค่าน้อยกว่าเยื่อ จากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี จากการนำเยื่อจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* และที่ผลิตด้วย วิธีทางเคมีมาผลิตเป็นกระดาษและนำไปศึกษาค่าความสว่างพบว่ากระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกน้อยกว่ากระดาษที่ผลิต ด้วยวิธีทางเคมีแต่ได้ความขาวสว่างมากกว่าในทุกระดับความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากการคัดเลือก กระดาษที่ผลิตด้วย *T. viride* ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 เปรียบเทียบกับกระดาษที่ผลิตด้วยวิธี ทางเคมีฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 พบว่าคุณสมบัติด้านความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่ ผลิตด้วย *T. viride* มีค่าน้อยกว่าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี โดยมีค่าเท่ากับ 3.3 และ 3.9 kg/cm² ตามลำดับ แต่ความ ต้านทานแรงฉีกขาดกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* มีค่ามากกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี โดยมีค่าเท่ากับ 24.33 mN.m²/g และ 19.23 mN.m²/g ตามลำดับ

¹ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

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 concentrations. 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 value by 3.3 and 3.9 kg/cm², 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.m²/g, respectively.

คำสำคัญ: ผลิตรกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพ ราย่อยลิกนิน เยื่อจากกล้วยน้ำว้า

Keywords: Biopulping, Ligninolytic fungi, Banana pseudo - stem of Num-Wa

บทนำ

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตรกระดาษเชิงอุตสาหกรรมจะใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ใช้ในการแช่และต้มเยื่อกระดาษ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) ใช้ในการฟอกเยื่อกระดาษ สารเคมีทั้งสองจะเป็นตัวทำให้กระดาษที่ได้มีความขาวสว่าง เนื่องจากเกิดการทำปฏิกิริยากับลิกนิน ทำให้ปริมาณลิกนินในเยื่อกระดาษลดลง แต่การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ถึงแม้ว่าจะทำให้ปริมาณลิกนินในเยื่อลดลง ในทางกลับกันผลผลิตเยื่อที่ได้ก็จะมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน (วุฒินันท์, 2545) นอกจากนี้เมื่อสิ้นสุดกระบวนการต้มเยื่อ น้ำทิ้งที่ได้จะมีส่วนประกอบของโซเดียมที่อยู่ในรูปเกลือต่าง ๆ สารประกอบคาร์โบไฮเดรต และลิกนิน สารต่าง ๆ เหล่านี้จะส่งผลให้น้ำทิ้งมีค่าซีโอดี (COD; chemical oxygen

demand) สูง ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (วิชา, 2545) ส่วนปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อกระดาษ เป็นเพียงการทำให้ลิกนินที่ก่อให้เกิดสีแตกตัวเท่านั้น ไม่ใช่เป็นการกำจัดลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อ เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดการออกซิไดส์กลุ่มคาร์บอนิลในคาร์โบไฮเดรตให้เปลี่ยนเป็นกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งเป็นการทำให้สีของลิกนินที่เหลืออยู่ขาวขึ้น แต่จะกลับเป็นสีเหลืองได้ง่าย เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่สลายตัวง่าย แม้จะเก็บไว้โดยมิได้ทำปฏิกิริยากับสารอื่น จึงทำให้ลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อรวมตัวกันได้อีกครั้ง ความขาวของกระดาษจึงลดลง (วุฒินันท์, 2545) นอกจากนี้การผลิตรกระดาษจากกล้วยน้ำว้าด้วยวิธีทางเคมีจากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีผลทำให้

คุณภาพของกระดาษที่ได้มีความแข็งแรงต่าง หยาบ และไม่เรียบ อีกด้วย (ทินกร, 2546)

ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงได้ให้ความสนใจกับการผลิตกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพซึ่งเป็นวิธีการผลิตกระดาษที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมกำลังได้รับความนิยมและต่างประเทศได้ให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก การผลิตกระดาษด้วยวิธีทางชีวภาพเป็นการใช้เชื้อจุลินทรีย์หมักกับวัตถุดิบ (พืช) เพื่อย่อยสลายลิกนินในพืช แทนการใช้สารเคมีพวกโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้สามารถเพิ่มคุณภาพของกระดาษให้ดีขึ้น และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากสารเคมี

วิธีดำเนินงาน

1. การเตรียมกากกล้วยน้ำว้า สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษ

นำต้นกล้วยน้ำว้ามาตัดเอาเฉพาะส่วนลำต้นของกล้วยน้ำว้า ใช้เฉพาะส่วนกากกล้วย หั่นกากกล้วยให้มีขนาด กว้าง 2 เซนติเมตร และยาว 5 เซนติเมตร นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

2. การผลิตเยื่อกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้า

2.1 การผลิตเยื่อกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้า โดยวิธีทางเคมี มีวิธีการดังนี้

แช่กากกล้วยน้ำว้าด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักเยื่อ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาต้มในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนักเยื่อ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 150 นาที และคนวนเยื่อกลับขึ้นลงทุก ๆ 60 นาที เมื่อครบเวลากอง แช่เยื่อในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ต้มไว้ 24 ชั่วโมง ล้างทำความสะอาดเยื่อด้วยน้ำให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ออกหมดหรือเยื่อหายสี

นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 6 ชั่วโมง นำเยื่อกากกล้วยไปหาค่า kappa number (ทดสอบตามมาตรฐาน TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry) ที่ T236 cm – 85 กำหนดโดยสถาบันมาตรฐานแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา หรือ ANSI (American National Standard Institute))

2.2 การผลิตเยื่อกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้า ด้วยวิธีทางชีวภาพโดยใช้ *T. viride* มีวิธีการดังนี้

2.2.1 ทำการเพาะเลี้ยงเชื้อรา *T. viride* ลงบนอาหาร PDA (potato dextrose agar) บ่มที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน เตรียมกากกล้วยน้ำว้า 10 กรัม แช่น้ำกลั่นประมาณ 3 ชั่วโมง จากนั้นนำกากกล้วยน้ำว้าใส่ลงในขวดทดลองขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วนำไปนึ่งฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นเวลา 15 นาที ตัดชิ้นวัน PDA ที่มีเชื้อรา *T. viride* อายุ 7 วัน ด้วย cork borer เส้นผ่าศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ใส่ชิ้นวันของเชื้อลงบนกากกล้วยน้ำว้าที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว บ่มที่อุณหภูมิ 31 องศาเซลเซียส โดยแบ่งชุดการทดลอง ดังนี้

1-3 หมักด้วย *T. viride* ขึ้นวัน 1 ขึ้น นาน 3 สัปดาห์

1-4 หมักด้วย *T. viride* ขึ้นวัน 1 ขึ้น นาน 4 สัปดาห์

1-5 หมักด้วย *T. viride* ขึ้นวัน 1 ขึ้น นาน 5 สัปดาห์

2-3 หมักด้วย *T. viride* ขึ้นวัน 2 ขึ้น นาน 3 สัปดาห์

2-4 หมักด้วย *T. viride* ขึ้นวัน 2 ขึ้น นาน 4 สัปดาห์

2-5 หมักด้วย *T. viride* ขึ้นวัน 2 ขึ้น นาน 5 สัปดาห์

3-3 หมักด้วย *T. viride* ขึ้นวุ้น 3 ชั้น นาน 3 สัปดาห์

3-4 หมักด้วย *T. viride* ขึ้นวุ้น 3 ชั้น นาน 4 สัปดาห์

3-5 หมักด้วย *T. viride* ขึ้นวุ้น 3 ชั้น นาน 5 สัปดาห์

2.2.2 นำเยื่อกากกล้วยไปวิเคราะห์หาค่า kappa number การย่อยลิกนิน จากนั้นเลือกชุดการทดลองที่เชื่อว่าสามารถย่อยสลายลิกนินได้ดีที่สุด โดยดูจากปริมาณขึ้นวุ้นและระยะเวลา

2.2.3 นำเยื่อกากกล้วยจากชุดการทดลองที่คัดเลือกได้จากข้อ 2.2.2 มาศึกษาการย่อยเซลลูโลส และค่า Selection factor

2.2.4 ผลิตเยื่อกระดาษจากกากกล้วยโดยการนำกากกล้วยน้ำว่าที่ผ่านการย่อยลิกนิน จากชุดการทดลองที่เลือกไว้ในข้อ 2.2.2 ไปนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอที่ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที นำกากกล้วยน้ำว่าไปต้มเพื่อทำเยื่อในน้ำกลั่น โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส นาน 150 นาที และนำเยื่อที่ได้ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส อย่างน้อย 6 ชั่วโมง

3. ศึกษาปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในการฟอกเยื่อ

นำเยื่อกระดาษจากกากกล้วยน้ำว่าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี และที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ ในข้อ 2.2.4 มาทำการศึกษาปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่เหมาะสมในการฟอกเยื่อ โดยใช้ปริมาณสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกันดังนี้ ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 ตามลำดับ เติมน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตรต่อเยื่อ 0.05 และโซเดียมซัลไฟต์ร้อยละ 2 ใส่ลงในน้ำกลั่น โดยใช้อัตราส่วนน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตรต่อเยื่อ 25 กรัม

ปรับความเป็นกรดต่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้อยู่ในช่วง 10.5-11.0 หลังจากนั้นใส่เยื่อที่จะฟอกลงไปคนให้เยื่อเปียกสารละลาย ต้มที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และคนทุก ๆ 30 นาที ล้างด้วยน้ำสะอาดจนหายกลิ่น และนำเยื่อมาทาบเพื่อให้เยื่อกระจายตัว นำเยื่อที่ได้จากการผลิตด้วยวิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ ไปหาค่า kappa number

4. การขึ้นแผ่นกระดาษด้วยตะแกรง

นำเยื่อกระดาษที่ได้จากกากกล้วยน้ำว่าที่ผลิตด้วยกระบวนการทางเคมี และที่ผลิตด้วยเชื้อรา มาขึ้นแผ่นกระดาษโดยชั่งน้ำหนักตามแกรมกระดาษ 80 แกรม ใช้เยื่อเปียก 31.62 กรัม ตะแกรงขึ้นแผ่นขนาด 20.6 × 29.2 เซนติเมตร นำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 40-45 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง เมื่อแห้งแล้วจึงลอกแผ่นกระดาษออกจากตะแกรง

5. การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและด้านความเหนียวของกระดาษจากกากกล้วยน้ำว่าทั้งที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี และทางชีวภาพ

นำกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีและทางชีวภาพ มาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพได้แก่ ความขาวสว่าง ((Spectro Densitometer), 500 Series, X-Rite, Incorporated 3100, USA) และด้านความเหนียวได้แก่ ความหนา (US-22 B, Teclock, IDM Instruments, Japan) ความต้านแรงดันทะลุ (PAP2056, PAP, TECH Engineer & associates, India) และความต้านแรงฉีกขาด (53983.f 000, FRANG TEST, FRANK Prufgerate GmbH, Germany) ทำการคัดเลือกกระดาษที่ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ส่งผลให้กระดาษมีคุณสมบัติทางกายภาพและความเหนียวที่ดีที่สุด จากที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพมาเปรียบเทียบกัน

6. วิเคราะห์ค่าทางสถิติและใช้แผนการทดลองแบบ สุ่มตัวอย่างสมบูรณ์ (Completely randomized design: CRD)

ผลการวิเคราะห์

1. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเชื้อจากกากกล้วย น้ำว่า

1.1 ค่า kappa number ของเชื้อจากกากกล้วยน้ำว่าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี

เชื้อจากกากกล้วยน้ำว่าที่ผ่านการต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่า kappa number เท่ากับ 27.25

(ตารางที่ 1) เมื่อนำเชื้อกากกล้วยน้ำว่าไปพอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณที่ต่างกัน ได้แก่ ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 ตามลำดับพบว่าค่า kappa number มีค่าแปรผกผันกับปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการพอกเชื้อ จากการเปรียบเทียบค่า kappa number พบว่าทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

1.2 ค่า kappa number การย่อยลิกนิน การย่อยเซลลูโลส และค่า selection factor ของเชื้อกากกล้วยน้ำว่าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ

ตารางที่ 1 ค่า kappa number ที่เหลือจากการพอกเชื้อกากกล้วยน้ำว่าด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ค่า Kappa number	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(ร้อยละ)						CV (%)
	0	8	10	12	14	16	
วิธีทางเคมี	27.25 ^a	20.08 ^b	18.18 ^c	15.44 ^d	13.47 ^e	11.95 ^f	9.30

หมายเหตุ: ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่ไม่เหมือนกัน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

ตารางที่ 2 ค่า kappa number และการย่อยลิกนิน ที่ได้จากการย่อยกากกล้วยน้ำว่าด้วย *T. viride*

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

- หมายเหตุ 1. ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่ที่เหมือนกัน หมายถึง ใช้ปริมาณขี้วัวที่ต่างกัน คือ 1 2 และ 3 ขัน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
2. ตัวอักษรพิมพ์เล็กที่เหมือนกัน หมายถึง ใช้เวลาในการเพาะเลี้ยงที่ต่างกัน คือ 3 4 และ 5 สัปดาห์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)
3. สัญลักษณ์ที่ใช้เป็นตัวแทนของแต่ละชุดการทดลอง ได้แก่ x-y โดย x คือจำนวนขี้วัว 1 2 และ 3 ขัน ส่วน y คือ จำนวนสัปดาห์ที่ทำการทดลอง 3 4 และ 5 สัปดาห์

1.2.1 ค่า kappa number และการย่อยลิกนิน

จากตารางที่ 2 พบว่าจำนวนชิ้นวันที่แตกต่างกันของชุดการทดลองที่ใช้ *T. viride* ของทุกชุดการทดลองไม่มีผลต่อค่า kappa number และการย่อยลิกนินในกากบกล้วยน้ำว่า โดยทั้ง 2 ค่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และการย่อยลิกนินของชุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 5 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับชุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 แต่ชุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงเลือกชุดการทดลอง 1-5 มา

ศึกษาการย่อยเซลลูโลส และค่า selection factor ต่อไป

1.2.2 การย่อยเซลลูโลส และค่า selection factor

จากการย่อยกากบกล้วยน้ำว่าด้วย *T. viride* นาน 5 สัปดาห์ พบว่าการย่อยเซลลูโลส มีค่าเท่ากับ 24.379% น้ำหนักแห้ง ส่วนค่า selection factor พบว่ามีค่า เท่ากับ 0.026

1.2.3 ค่า kappa number ของเยื่อจากกากบกล้วยน้ำว่าที่ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกต่างกันของวิธีทางชีวภาพ

ตารางที่ 3 ค่า kappa number ที่เหลือจากการฟอกเยื่อจากกากบกล้วยน้ำว่าด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ค่า Kappa number	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ร้อยละ)						CV (%)
	0	8	10	12	14	16	
<i>T. viride</i>	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

จากตารางที่ 3 เยื่อจากกากบกล้วยน้ำว่าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ (*T. viride*) ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 8 10 12 14 และ 16 ค่า kappa number มีค่าแปรผกผันกับปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อ จากการเปรียบเทียบค่า kappa number พบว่าทุกชุดการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

1.3 เปรียบเทียบค่า kappa number ของเยื่อจากกากบกล้วยน้ำว่าที่ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกต่างกันของวิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ

จากตารางที่ 1 และ 3 เยื่อจากกากบกล้วยน้ำว่าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีและผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ

ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 8 10 12 14 และ 16 ค่า kappa number มีค่าแปรผกผันกับปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อเหมือนกันทั้งสองชุดการทดลอง แต่ค่า kappa number ในเยื่อจากบกล้วยน้ำว่าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีจะมีค่ามากกว่าเยื่อจากบกล้วยน้ำว่าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ

2. คุณสมบัติทางกายภาพและความเหนียวของกระดาษจากกากบกล้วยน้ำว่า

2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและความเหนียวของกระดาษจากกากบกล้วยน้ำว่าที่ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ต่างกัน

ตารางที่ 4 ความขาวสว่างและความหนาของกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้า

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ร้อยละ)	ความขาวสว่าง (ร้อยละ) กระดาษจากกากกล้วยน้ำว้า		ความหนา (μ) กระดาษจากกากกล้วยน้ำว้า	
	ทางเคมี	<i>T. viride</i>	ทางเคมี	<i>T. viride</i>
0	58.20 ^c	62.34 ^f	1098.60 ^a	540.10 ^a
8	85.97 ^b	87.03 ^e	657.20 ^b	379.20 ^b
10	86.14 ^b	88.32 ^d	512.40 ^e	332.50 ^c
12	87.09 ^b	89.52 ^c	520.20 ^d	326.60 ^d
14	88.90 ^a	90.66 ^b	485.00 ^f	292.60 ^e
16	90.16 ^a	92.01 ^a	589.40 ^c	298.60 ^e
CV (%)	0.54	0.71	28.60	24.90

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

2. เป็นการเปรียบเทียบค่าทางสถิติของวิธีการผลิตเดียวกันแต่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ต่างกัน

2.1.1 กระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี

จากการศึกษาค่าความขาวสว่าง (ตารางที่ 4) พบว่าความขาวสว่างของกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้ามีค่าแปรผันตรงกับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อ และพบว่ากระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 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 ความหนาของกระดาษ (ตารางที่ 4) ที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในทุกระดับความเข้มข้นมีความ

แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษ (ตารางที่ 5) จากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 8 และ 10 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 และ 16 กระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 และ 8 สำหรับค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาด (ตารางที่ 5) มีค่าแปรผันกับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อ 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 กระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 12 และ 14 ไม่มี

ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 ในการฟอกเยื่อกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีมาเปรียบเทียบกับกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ เนื่องจากกระดาษที่ได้มีค่าความขาวสว่างไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 16 แต่มีคุณสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษดีกว่า

ตารางที่ 5 ความต้านแรงดันทะลุและความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้า

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ร้อยละ)	ความต้านแรงดันทะลุ (kg/cm^2)		ความต้านทานแรงฉีกขาด ($\text{mN}\cdot\text{m}^2/\text{g}$)	
	ทางเคมี	<i>T. viride</i>	ทางเคมี	<i>T. viride</i>
0	6.20 ^a	3.37 ^b	25.17 ^a	15.93 ^d
8	5.80 ^a	3.63 ^a	21.54 ^b	26.31 ^a
10	5.60 ^{ab}	3.40 ^b	20.78 ^{bc}	25.99 ^a
12	4.80 ^b	3.30 ^b	20.15 ^{bc}	24.33 ^b
14	3.90 ^c	3.07 ^c	19.23 ^{bc}	20.00 ^c
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

2.1.2 กระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ

จากการศึกษากระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* พบว่าความขาวสว่างของกระดาษ (ตารางที่ 4) ที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 8 10 12 14 และ 16 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ความหนาของกระดาษ (ตารางที่ 4) พบว่ากระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่ฟอกเยื่อ

ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 กระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 12 14 และ 16 กระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 10 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 14 และ 16 กระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($P < 0.05$) กับกระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 และ 16 แต่กระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 16 ความต้านทานแรงดันทะเลของกระดาษ (ตารางที่ 5) พบว่ากระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 10 12 14 และ 16 ส่วนกระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 10 และ 12 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 และ 16 ส่วนกระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 และ 16 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษ (ตารางที่ 5) พบว่ากระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 0 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 ส่วนกระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 และ 10 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับกระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 14 และ 16 และกระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 14 และ 16 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกกระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ร้อยละ 12 เนื่องจากกระดาษที่ได้มีค่าความขาวสว่างมากกว่า ถึงแม้ว่าเมื่อเทียบกับกระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 และ 16 จะมีค่าความขาวสว่างน้อยกว่าก็ตาม แต่คุณสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษที่พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 และ 16 มีค่าน้อยกว่ากระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12

3. เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและความเหนียวของกระดาษจากกากกล้วยน้ำว่าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ

จากการศึกษาพบว่าความขาวสว่างของกระดาษจากกากกล้วยน้ำว่า (ตารางที่ 6) ที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีพอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 มีค่าน้อยกว่าความขาวสว่างของกระดาษจากกากกล้วยน้ำว่าที่ผลิตด้วย *T. viride* พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 โดยมีค่าร้อยละของความขาวสว่างเท่ากับร้อยละ 88.90 และ 89.52 ตามลำดับ ความหนาของกระดาษ พบว่ากระดาษจากกากกล้วยน้ำว่าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีพอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 กระดาษมีความหนามากกว่ากระดาษจากกากกล้วยน้ำว่าที่ผลิตด้วย *T. viride* พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 มีค่าเท่ากับ 485μ และ 332.5μ ตามลำดับ ความต้านทานแรงดันทะเลของกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีมีค่ามากกว่าที่ผลิตด้วย *T. viride* มีค่าเท่ากับ 3.9 kg/cm^2 และ 3.3 kg/cm^2 ตามลำดับ ความต้านทานแรงฉีกขาดกระดาษจากกากกล้วยน้ำว่าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีมีค่าน้อยกว่ากระดาษที่ผลิตด้วย *T. viride* โดยมีค่าเท่ากับ $19.23 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ และ $24.33 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ ตามลำดับ

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบคุณสมบัติของกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้า ที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 14 กับที่ผลิตด้วย *T. viride* ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12

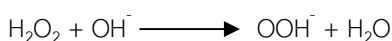
กระดาษจากกากกล้วยน้ำว้า	ความขาวสว่าง (ร้อยละ)	ความหนา (μ)	ความต้าน	ดัชนีความต้านทาน
			แรงดันทะลุ (kg/cm^2)	แรงฉีกขาด ($\text{mN}\cdot\text{m}^2/\text{g}$)
เคมี ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14	88.90	485.00	3.90	19.23
<i>T. viride</i> ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 12	89.52	332.50	3.30	24.33

สรุปและวิจารณ์

1. การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของเยื่อจากกากกล้วยน้ำว้า

1.1 ค่า kappa number ของเยื่อจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี

เยื่อกล้วยน้ำว้าธรรมชาติมีค่า kappa number ลดลง เมื่อนำเยื่อจากกากกล้วยน้ำว้าไปต้มด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถลดปริมาณลิกนินในเยื่อกล้วยได้บางส่วน โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส แยกสารประกอบเชิงซ้อนพวกลิกนินออกและเกิดการสลายของลิกนิน (กนิษฐ์, 2548) เมื่อนำเยื่อมาฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณที่แตกต่างกัน ค่า kappa number ของเยื่อจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี จะแปรผกผันกับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่ใช่เป็นการกำจัดลิกนินที่เหลืออยู่ในเยื่อ แต่เป็นเพียงการทำลิกนินซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดสีแตกตัวเท่านั้น โดยปฏิกิริยาเกิดจากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับความเป็นกรดต่างในขณะทำการฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้เกิดเปอร์ไฮดรอกซิลไอออน (OOH^-) ซึ่งเป็นสารที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมาก (นิภาพร และชัชวาลย์, 2546) ดังสมการ



ซึ่งเปอร์ไฮดรอกซิลไอออนจะทำปฏิกิริยากับลิกนินในเส้นใย ทำให้บางหน่วยของฟีนิลโพรเพนแตกออกเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของลิกนิน ลิกนินที่เหลืออยู่ในเส้นใยจึงมีสีจางขึ้น ทำให้ค่าการสะท้อนแสงในช่วงที่มองเห็นเพิ่มขึ้น กระดาษจึงมีความขาวสว่างมาก แต่คุณสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษลดลง (นิภาพร และชัชวาลย์, 2546)

1.2 ค่า kappa number การย่อยลิกนิน การย่อยเซลลูโลส และค่า selection factor ของเยื่อจากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ

1.2.1 ค่า kappa number และการย่อยลิกนิน

การย่อยกากกล้วยน้ำว้าด้วย *T. viride* พบว่าปริมาณขึ้นวุ้นที่ใช้เริ่มต้นไม่มีผลต่อค่า kappa number และการย่อยลิกนิน แต่จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเพาะเลี้ยง โดยชุดการทดลองในสัปดาห์ที่ 5 จะมีค่า kappa number น้อยที่สุด และการย่อยลิกนินมากที่สุด เนื่องจาก *T. viride* จะผลิตเอนไซม์แลคเคส และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสซึ่งเป็นเอนไซม์กลุ่มที่สามารถย่อยสลายลิกนิน (สุกาญจน์, 2553; Gochev and Krastanov, 2007) ที่อยู่ในเส้นใยของกล้วย

1.2.2 การย่อยเซลลูโลส และค่า selection factor

จากการศึกษาการย่อยเซลลูโลส และค่า selection factor ด้วย *T. viride* (ชุดการทดลอง 1-5) พบว่ามีค่าเท่ากับ 24.379% น้ำหนักแห้ง และ 0.026 ตามลำดับ ซึ่งค่า selection factor จะบ่งบอกถึงความสามารถในการย่อยสลายลิกนินและการย่อยสลายเซลลูโลสของเชื้อรา นั้นว่าสามารถย่อยสลายลิกนินได้มากหรือน้อยกว่าการย่อยสลายเซลลูโลส โดยถ้าค่า Selection factor มีค่ามากแสดงว่าเชื้อราสามารถย่อยสลายลิกนินได้มากกว่าการย่อยเซลลูโลส (กัลยวัต พรสุรัตน์, 2546)

1.2.3 ค่า kappa number ของเยื่อจากกากกล้วยน้ำว้าที่ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกันของวิธีทางชีวภาพ

ลิกนินที่อยู่ในเยื่อจากกล้วยน้ำว้าถูกย่อยสลายโดย *T. viride* ด้วยเอนไซม์แลคเคส และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสซึ่งเป็นเอนไซม์กลุ่มที่สามารถย่อยสลายลิกนินได้ (สุกาญจน์, 2553; Gochev and Krastanov, 2007) ทำให้ค่า kappa number ลดลงเมื่อนำเยื่อมาฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าค่า kappa number ของเยื่อจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพจะแปรผกผันกับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เช่นเดียวกับเยื่อที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี

1.3 เปรียบเทียบค่า Kappa number ของเยื่อจากกากกล้วยน้ำว้าที่ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกันของวิธีทางเคมี และวิธีทางชีวภาพ

จากการศึกษาพบว่าเยื่อจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีมีค่า kappa number มากกว่าเยื่อจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* ในทุกระดับของการฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เท่ากัน แสดงให้เห็นว่าเยื่อจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพจะใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ใน

การฟอกเยื่อน้อยกว่าเยื่อจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี ทั้งนี้เนื่องจากลิกนินที่อยู่ในเยื่อจากกล้วยน้ำว้าถูกย่อยสลายโดย *T. viride* ด้วยเอนไซม์แลคเคส และเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสซึ่งเป็นเอนไซม์กลุ่มที่สามารถย่อยสลายลิกนินได้ (สุกาญจน์, 2553; Gochev and Krastanov, 2007) ทำให้ลิกนินที่อยู่ในเส้นใยจากกล้วยน้ำว้ามีปริมาณลดลง

2. คุณสมบัติทางกายภาพและความเหนียวของกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้า

2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและความเหนียวของกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ฟอกด้วยปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่แตกต่างกัน

2.1.1 กระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี

จากการศึกษาปริมาณที่แตกต่างกันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกเยื่อกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี พบว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความขาวสว่างของกระดาษเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกเยื่อกระดาษจะทำให้ลิกนินที่ก่อให้เกิดสีแตกตัวและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเกิดการออกซิไดส์กลุ่มคาร์บอนิลในคาร์โบไฮเดรตให้เปลี่ยนเป็นกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งเป็นการทำให้สีของลิกนินที่เหลือน้อยลง (วุฒินันท์, 2545) โดยความขาวสว่างของกระดาษที่ฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ทุกความเข้มข้นมีความขาวสว่างมากกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับกระดาษพิมพ์ (ประเภทไม่เคลือบผิว) (มอก.287, 2533) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2533) ที่กำหนดไว้ให้มีค่าความขาวสว่าง (เฉพาะกระดาษขาว) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 แต่เมื่อดูด้วยสายตากระดาษที่ฟอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 และ 12 ยังมีสีเหลืองเข้มและสีเหลืองอ่อนอยู่ ดังนั้นถ้า

ต้องการกระดาษที่มีความขาวสว่างสูงควรพอกเยื่อกระดาษด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 16 แต่คุณสมบัติความต้านทานแรงดันทะลุและความต้านทานแรงฉีกขาดของกระดาษที่พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 16 กลับมีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 ในการพอกเยื่อกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีมาเปรียบเทียบกับกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ เนื่องจากกระดาษที่ได้มีค่าความขาวสว่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกระดาษพอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 16 แต่มีคุณสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษดีกว่า

2.1.2 กระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพ

จากการศึกษาปริมาณที่แตกต่างกันของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการพอกเยื่อกระดาษที่ผลิตด้วย *T. viride* พบว่าปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความขาวสว่างของกระดาษเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากปฏิกิริยาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการพอกเยื่อกระดาษจะทำให้ลิกนินที่ก่อให้เกิดสีแตกตัวและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเกิดการออกซิไดส์กลุ่มคาร์บอนิลในคาร์โบไฮเดรตให้เปลี่ยนเป็นกลุ่มกรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งเป็นการทำให้สีของลิกนินที่เหลืออยู่ขาวขึ้น (วุฒินันท์, 2545) โดยความขาวสว่างของกระดาษที่พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 8 10 12 14 และ 16 มีความขาวสว่างมากกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับกระดาษพิมพ์ (ประเภทไม่เคลือบผิว) (มอก.287, 2533) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2533) ที่กำหนดไว้ให้มีค่าความขาวสว่าง (เฉพาะกระดาษขาว) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 แต่เมื่อดูด้วยสายตากระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ร้อยละ 8 และ 10 ยังมีสีเหลืองเข้มและสีเหลืองอ่อนอยู่ตามลำดับ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกกระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 เนื่องจากกระดาษที่ได้มีค่าความขาวสว่างมากกว่าถึงแม้ว่าเมื่อเทียบกับกระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 และ 16 จะมีค่าความขาวสว่างน้อยกว่าก็ตาม แต่คุณสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษที่พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 และ 16 มีค่าน้อยกว่ากระดาษที่พอกเยื่อด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12

3. เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและความเหนียวของกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพ

จากการศึกษาพบว่ากระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการพอกน้อยกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีแต่ได้ความขาวสว่างมากกว่า ซึ่งกระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีและวิธีทางชีวภาพมีความขาวสว่างมากกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับกระดาษพิมพ์ (ประเภทไม่เคลือบผิว) (มอก.287, 2533) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2533) ที่กำหนดไว้ให้มีค่าความขาวสว่าง (เฉพาะกระดาษขาว) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 75 สำหรับความหนาของกระดาษ และกระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีพอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 14 กระดาษมีความหนามากกว่ากระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วย *T. viride* พอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร้อยละ 12 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสุธิดา (2551) พบว่ากระดาษจากกากกล้วยน้ำว้าที่ผลิตด้วยวิธีทางชีวภาพจะมีลักษณะเรียบ อ่อนนุ่ม และมีความขาวสว่างมากกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี แต่กระดาษที่ได้จะบางกว่ากระดาษทางเคมี เนื่องจาก *T.*

viride นอกจากจะผลิตเอนไซม์แลคเคสและเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสออกมาย่อยสลายลิกนินแล้ว *T. viride* ยังสามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้ด้วย (สุกาญจน์, 2553) ซึ่งเอนไซม์เซลลูเลสจะย่อยสลายเซลลูโลสในเส้นใยกากกล้วยทำให้เส้นใยมีลักษณะบางลง เมื่อนำมาผลิตเป็นกระดาษจึงทำให้กระดาษที่ได้บางกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมีซึ่งเป็นวิธีที่แยกลิกนินออกจากเส้นใยกากกล้วยเท่านั้น

นอกจากนี้ยังพบว่าความต้านทานแรงดันทะลุของกระดาษที่ผลิตด้วย *T. viride* มีค่าน้อยกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี โดยมีค่าเท่ากับ 3.3 kg/cm^2 และ 3.9 kg/cm^2 ตามลำดับ แต่กระดาษที่ผลิตจากสองวิธีดังกล่าวมีความแข็งแรงเกินกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับกระดาษพิมพ์ (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 ส่วนความต้านทานแรงฉีกขาดกระดาษจากกากกล้วยน้ำว่าที่ผลิตด้วย *T. viride* มีค่ามากกว่ากระดาษที่ผลิตด้วยวิธีทางเคมี โดยมีค่าเท่ากับ $24.33 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ และ $19.23 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ ตามลำดับ ซึ่งกระดาษจากกากกล้วยน้ำว่าที่ผลิตด้วยวิธีทั้งสองยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการผลิตกระดาษเหนียวเพราะมีค่าดัชนีความต้านทานแรงฉีกขาดต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกำหนดไว้ (มอก.170, 2550) สำหรับถุงชั้นเดียว มีค่าอยู่ระหว่าง 630 ถึง $660 \text{ mN.m}^2/\text{g}$ ของน้ำหนักมาตรฐาน 80 g/m^2 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2550)

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาการเติมสารบางชนิดเพื่อยับยั้งการผลิตเอนไซม์ย่อยเซลลูโลสและศึกษาสารบางชนิดเพื่อเพิ่มการผลิตเอนไซม์ย่อยลิกนินของ *T. viride* เพื่อเป็นการเพิ่มผลผลิตเยื่อ ทำให้กระดาษมีความหนาเพิ่มขึ้น มีค่า kappa number น้อยลง

2. ควรมีการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการต้มเยื่อ เพื่อไม่ให้เส้นใยถูกความร้อนทำให้สั้นลง เพราะอาจส่งผลทำให้คุณสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษลดลงได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกาญจน์ รัตนเลิศนุสรณ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์เชื้อ *T. viride* เพื่อทำการศึกษา ขอขอบคุณสาขาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่เอื้อเพื่อให้การสนับสนุนห้องปฏิบัติการและอำนวยความสะดวก ทำให้การศึกษาวิจัยนี้สามารถดำเนินการสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- กนิษฐ์ ตรีสุวรรณ. (2548). การผลิตเยื่อกระดาษจากใบสับปะรด. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเคมี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2533). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษพิมพ์และกระดาษเขียน มอก.287-2533. กรุงเทพฯ: สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- กระทรวงอุตสาหกรรม. (2550). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระดาษเหนียว มอก. 170-2550. กรุงเทพฯ: สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

- กัลยวัต พรสุรัตน์. (2546). การใช้ร่ายย่อยสลายลิกนินในการผลิตเยื่อกระดาษจากขานอ้อย ใบสับปะรด และปอสาโดยวิธีทางชีวภาพ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาฟอกย้อมและกระดาษ, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ทินกร อัญชลีวิทยกุล. (2546). การผลิตกระดาษจากต้นกล้วยและการใช้ประโยชน์. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์เพื่อการพัฒนาชุมชน, คณะคหกรรม, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- นิภาพร พันทอง และ ชัชวาลย์ ศรีกำพล. (2546). การผลิตกระดาษจากต้นข้าวโพด เปลือกข้าวโพด และขังข้าวโพด. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเคมี, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
- วุฒินันท์ คงทัต. (2545). กระดาษทำด้วยมือ. กรุงเทพฯ: ในเอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ.สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 18-20.
- วิชา พิชัยณรงค์. (2545). การแยกลิกนินออกจากน้ำดำในกระบวนการทำเยื่อกระดาษจากยูคาลิปตัส. วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุภาภรณ์ รัตนเลิศสุรณ. (2553). ความหลากหลายทางชีวภาพเชื้อราดินเลนนาถ้ำร้างและการย่อยสลายฟางข้าวด้วยเชื้อรา. ในเอกสารการประชุมทางวิชาการนเรศวรวิจัย ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก. หน้า 331-345.
- สุธิดา มุลาสิน. (2551). การผลิตเยื่อและการฟอกเยื่อด้วยไซแลนเนสของเห็ดโคน *Imperata cylindrical* (L.) P Beauv. และเห็ดโคน *Vetiveria zizanioides* (L.). วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีเยื่อและกระดาษ, คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Gochve, V.K. and Krastanov, A.I. (2007). Isolation of Laccase Producing *Trichoderma* spp. Biochemistry and Microbiology. Bulgaria : University of Food Technologies. pp. 171-176.

