# สมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนภายหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

# Physical Properties of Green Coconut Fibers After Improvement with Cellulase Enzyme

กษิดิส รัตนภรณ์[1]
สาคร ชลสาคร[2]
Email: sakorn_c@rmutt.ac.th
อัษฎาวุธ อารีสิริสุข[3]
Email: atsadawut_a@rmutt.ac.th
[2]สาขาวิชาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[3]สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

**บทคัดย่อ**

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อน และทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส วิธีการวิจัย คือ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อน โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in CRD) ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลส แปรผันเป็น 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30 FPU/g และเวลาในการย่อย แปรผันเป็น 3 ระดับ คือ 2 4 และ 6 ชั่วโมง จากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพประกอบด้วย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย ปริมาณความชื้น และร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อน ผลการศึกษาพบว่า สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย คือ 110.32 ไมโครเมตร ค่าปริมาณความชื้น คือ ร้อยละ 8.13 และค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี คือ ร้อยละ 91.74 เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด เพราะทำให้เส้นใยมะพร้าวอ่อนมีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสมนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายและช่วยประหยัดเอนไซม์เซลลูเลสและเวลาในการย่อยมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับปรุงคุณภาพเส้นใย พบว่า เส้นใยมะพร้าวอ่อนภายหลังการปรับปรุงคุณภาพมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กลงทำให้สามารถนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายได้ง่ายขึ้น มีค่าปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการระบายอากาศทำให้สวมใส่รู้สึกสบาย และมีค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีอยู่ในระดับที่สูง จึงเหมาะสมในการนำไปผลิตเป็นเส้นด้าย

**คำสำคัญ:** การปรับปรุง, เส้นใยมะพร้าวอ่อน, เอนไซม์เซลลูเลส

**Abstract**

This research was aimed to study the optimum conditions for green coconut fiber quality improvement and the physical properties of the green coconut fibers after the quality improvement process by means of cellulase enzyme. The research methodology was study the optimum conditions for green coconut fiber quality improvement employed was randomized trials (Factorial in CRD) and the following factors were included: the concentration of cellulase enzyme at 3 levels (10, 20 and 30 FPU / g), and the digestion time at 3 levels (2, 4 and 6 hours). The fiber physical properties were then tested in terms of the fiber diameter, the fiber moisture and the percentage of the green coconut fibers obtained from chemical reactions. Analysis of Variance (ANOVA) and average difference was carried out by means of Duncan's New Multiple Range Test to select the optimum conditions for improving green coconut fiber quality. It was found that the enzyme concentration of 20 FPU / g and the 4-hour digestion resulted in the fiber diameter of 110.32 micrometers and the fiber moisture of 8.13 per cent while the yield of young coconut fibers obtained from chemical reactions was 91.74 per cent. These were optimum conditions because the green coconut fibers obtained had appropriate physical properties to be spun into yarns, while the cellulase enzymes and digestion time were saved the most. When compared with the green coconut fibers before fiber quality improvement, it was found that the obtained green coconut fibers had a smaller diameter which made it easier to spin into yarns. The increased moisture affected the ventilation, making it more comfortable to wear. In addition, the percent of young coconut fibers yield obtained from chemical reactions was high. Therefore, these fibers were suitable for producing yarns.

**Keywords:** Improvement, Green Coconut Fibers, Cellulase Enzyme

**บทนำ**

ในประเทศไทยมีการเพาะปลูกมะพร้าวเป็นจำนวนมาก นิยมปลูกทางภาคใต้ ภาคกลาง และภาคตะวันออกของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2559 มีพื้นที่เพาะปลูกมะพร้าวมากถึง 1.2 ล้านไร่ มีผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 1.23 ล้านตันต่อปี ในด้านอุตสาหกรรมส่งออกน้ำมะพร้าวอ่อน มีการปอกเปลือกมะพร้าวออกเพื่อนำน้ำมะพร้าวจำหน่ายเป็นเครื่องดื่มสำเร็จรูป ทำให้เกิดปริมาณเปลือกมะพร้าวเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ไม่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มต่อเศรษฐกิจ จากการศึกษาสมบัติของเส้นใยมะพร้าวอ่อนในอดีต พบว่า เส้นใยมะพร้าวอ่อนมีผิวสัมผัสที่หยาบเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากเปลือกมะพร้าวอ่อน ประกอบด้วยปริมาณผนังเซลล์ ร้อยละ 86.97 เซลลูโลส ร้อยละ 46.70 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 2.04 และมีลิกนิน ร้อยละ 36.80 เป็นเส้นใยสั้น สีน้ำตาลเข้ม มีขนาด 123 ดีเนียร์ ซึ่งเป็นเส้นใยขนาดใหญ่ ควรมีการปรับปรุงคุณภาพความละเอียดของเส้นใยให้มีขนาดเล็ก

ลง เพราะเส้นผ่าศูนย์กลางหรือขนาดความกว้างของเส้นใย มีผลต่อการปั่นเส้นด้าย โครงสร้างผ้า ลักษณะผิวผ้า และความรู้สึกสบายเวลาสวมใส่ หากเส้นผ่าศูนย์กลางมีขนาดเล็กจะทำให้การนำเส้นใยไปผลิตเป็นเส้นด้ายสามารถ ทำได้ง่ายและมีคุณภาพที่ดี สำหรับการปรับปรุงเส้นใยมะพร้าวอ่อนโดยเริ่มจากการย่อยกลุ่มเส้นใยพืชเป็นเส้นใยเดี่ยวหรือการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน เพื่อให้เส้นใยพืชมีขนาดเล็กลง ทำให้ง่ายต่อการนำไปปั่นเป็นเส้นด้าย

ปัจจุบันผู้ประกอบการอุตสาหกรรมสิ่งทอจำนวนมากให้ความสนใจกับการเลือกใช้กระบวนการชีวภาพในการปรับปรุงสิ่งทอด้วยเอนไซม์ เนื่องจากเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้เอนไซม์เซลลูเลสในการฟอกสีผ้ายีนส์และการกำจัดขนบนผ้าฝ้าย เพราะเอนไซม์เป็นสารทางชีวภาพที่ทำหน้าที่คล้ายสารเร่งปฏิกิริยาเคมี เมื่อถูกใช้ในการทำปฏิกิริยาจะไม่เสื่อมสภาพลงอย่างรวดเร็ว หากสามารถควบคุมสภาวะในระบบให้เหมาะสมแก่เอนไซม์ สำหรับเอนไซม์เซลลูเลสเป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ย่อยเซลลูโลส ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเซลลูโลสให้กลายเป็นกลูโคส ส่งผลให้เซลลูโลสมีขนาดลดลง มีความอ่อนนุ่มมากขึ้น เหมาะสำหรับนำมาพัฒนาเส้นใยพืชเพื่อเพิ่มสมบัติทางด้านสิ่งทอ อีกทั้งยังเป็นการตอบสนองความต้องการของผู้ประกอบการเส้นใยและเส้นด้าย จากการสำรวจของสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ พบว่า ในปี พ.ศ. 2561 การนำเข้าสิ่งทอในประเทศไทยมีมูลค่าสูงถึง 1,159.60 ล้านเหรียญสหรัฐ เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.30 เมื่อเปรียบเทียบกับช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2560 โดยการนำเข้าเส้นใยและเส้นด้าย เป็นมูลค่า 566.57 ล้านเหรียญสหรัฐ เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.19 และมีแนวโน้มการนำเข้าเส้นใยและเส้นด้ายเพิ่มขึ้นทุกปี

ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะนำเส้นใยมะพร้าวอ่อนมาปรับปรุงสมบัติทางกายภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส แต่เนื่องจากเอนไซม์เซลลูเลสมีราคาค่อนข้างสูง หากใช้ย่อยโดยไม่มีการเตรียมเส้นใยก่อนจะทำให้มีต้นทุนการปรับปรุงที่สูงมาก จึงควรมีการเตรียมเส้นใยโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อกำจัดสารประกอบที่ไม่ใช้เซลลูโลสออกก่อนเพราะหากมีการเตรียมเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับเอนไซม์ลดลงได้ถึงร้อยละ 25 ของปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ทั้งหมด หลังจากนั้นจึงใช้เอนไซม์เซลลูเลสปรับปรุงเส้นใยทำให้เอนไซม์เซลลูเลสทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสได้มากขึ้น เกิดการแยกตัวของเซลลูโลส ส่งผลให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง สามารถนำมาปั่นผสมรวมกับเส้นใยฝ้ายได้ ทั้งนี้ยังมีการทดสอบค่าปริมาณความชื้นของเส้นใยเพราะเส้นใยที่มีความชื้นที่สูงส่งผลต่อการสวมใส่ที่สบาย และการทดสอบค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อนำไปสู่การคาดการณ์ถึงความคุ้มค่าของการผลิตในเชิงพาณิชย์ ประโยชน์ในการวิจัยครั้งเพื่อเป็นแนวทางในการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งต้องหากระบวนการ รวมทั้งพื้นที่ในการกำจัดวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตร และสามารถช่วยลดปัญหาการนำเข้าสิ่งทอ ส่งเสริมการบริโภคสินค้าภายในประเทศ เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ และสามารถแข่งขันในตลาดโลกได้อย่างยั่งยืน

**วัตถุประสงค์ของการวิจัย**

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อน
2. เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

**ขอบเขตการวิจัย**

**1. ขอบเขตประชากร**

เส้นใยมะพร้าวอ่อนพันธุ์มะพร้าวน้ำหอมไทย อายุ 4 เดือน แบบแห้ง บริษัท เค เฟรช จำกัด ตำบลหลักสาม อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร

**2. ขอบเขตตัวแปร**

งานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนและทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ตัวแปรในการศึกษา

ตัวแปรต้นที่ศึกษา คือ สภาวะในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อน

ตัวแปรตามที่ศึกษา คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย ปริมาณความชื้น และร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ตัวแปรควบคุม คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลส แปรผันเป็น 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30 FPU/g และเวลาในการย่อย แปรผันเป็น 3 ระดับ คือ 2 4 และ 6 ชั่วโมง

**วิธีดำเนินการวิจัย**

**1. ระเบียบวิธีวิจัย**

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การเตรียมเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และการปรับปรุงเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และทดสอบสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางปริมาณความชื้น และค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยที่ไม่ผ่านการปรับปรุง นำไปสู่การพัฒนาเป็นเส้นด้าย

**2. ขั้นตอนการวิจัย**

การวิจัย แบ่งออกได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนและทดสอบสมบัติทางกายภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

**ขั้นตอนการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อน** ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การเตรียมเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และการปรับปรุงเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ดัดแปลงมาจาก จตุพร ปานทอง (2557)

การเตรียมเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยนำเส้นใยมะพร้าวอ่อน อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนเหลือค่าความชื้นของเส้นใยน้อยกว่า

ร้อยละ 10 จากนั้นชั่งเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ปริมาณ 20 กรัม บรรจุในขวดฝาเกลียวขนาด 250 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (W/V) ปริมาณ 200 มิลลิลิตร นำขวดบรรจุไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียล เป็นเวลา 15 นาที เสร็จแล้วนำเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการต้มมากรอง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจนน้ำกลั่นที่ล้างมีสภาพเป็นกลาง (pH 7) แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

การปรับปรุงเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส โดยชั่งเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการเตรียมเส้นใยแล้ว ด้วยเครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง ปริมาณ 6 กรัม บรรจุในขวดขนาด 500 มิลลิลิตร เติมสารละลายซิเตรตบัฟเฟอร์ pH 5 ปริมาตร 300 มิลลิลิตร จากนั้นเติมเอนไซม์เซลลูเลส โดยแปรความเข้มข้น 10 20 และ 30 FPU/g ตามลำดับ (เอนไซม์ 1 หน่วย (FPU) หมายถึง ปริมาณเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาย่อยสลายสารตั้งต้นให้เป็นน้ำตาลกลูโคส 1 ไมโครโมลในเวลา 1 นาที) นำขวดบรรจุลงในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราการเขย่า 150 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างที่เวลา 2 4 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ ล้างเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยการกรองด้วยตระแกรง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจนมีสภาพเป็นกลาง (pH 7) เสร็จแล้วนำเส้นใยมะพร้าวอ่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

**ขั้นตอนวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ**

1. การทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อน ด้วยกล้องจุลทรรศน์ผ่านโปรแกรม (AVT) เพื่อบันทึกภาพขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย ที่ขนาดสูงสุด 200 ไมโครเมตร (1 ไมครอน เท่ากับ 1 ต่อ 1,000 มิลลิเมตร หรือ 1 ต่อ 25,400 นิ้ว)
2. ค่าปริมาณความชื้น (Moisture Regain) โดยวิธี AOAC 1990
3. ค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี คำนวณออกมาในรูปแบบผลผลิตร้อยละ (Percent Yield) โดยการคำนวณจากสมการ ดังต่อไปนี้

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = \frac{\text{ผลผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100$$

**3. การวิเคราะห์ข้อมูล**

การวิเคราะห์ผลทางสถิติในการวิจัยครั้งนี้ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อน ปัจจัยที่ทำการศึกษามี 3 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลส แปรผันเป็น 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30 FPU/g และเวลาในการย่อย แปรผันเป็น 3 ระดับ คือ 2 4 และ 6 ชั่วโมง โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in CRD) จากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพประกอบด้วย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ปริมาณความชื้น ร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance ; ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยมะพร้าวอ่อน จากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยน้อยที่สุด ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมบัติด้านความละเอียดของเส้นใย ทำให้เหมาะสำหรับการนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายปั่นมือ

**ผลการวิจัย**

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ได้ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลดังต่อไปนี้

**สมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการเตรียมเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์**

ผลการเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ปริมาณความชื้น ค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ปริมาณความชื้น ค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการเตรียมเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

| ชนิดของเส้นใย | Diameter (ไมโครเมตร) | Moisture Regain (ร้อยละ) | Yield (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|
| เส้นใยมะพร้าวอ่อน | 298.20 | 6.73 | - |
| เส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการเตรียมเส้นใย | 243.05 | 7.73 | 86.49 |

จากตารางที่ 1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง พบว่า เส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการเตรียมเส้นใย มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคือ 243.05 ไมโครเมตร ลดลงจากเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้เตรียมเส้นใยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคือ298.20 ไมโครเมตร สอดคล้องกับงานวิจัยของ สาคร (2560) กล่าวว่า เส้นใยมะพร้าวอ่อนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง100-450 ไมโครเมตร ค่าความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านเตรียมเส้นใย คือ ร้อยละ 7.73 เพิ่มขึ้นจากเส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการเตรียมเส้นใย ที่มีค่าความชื้นของเส้นใย คือ ร้อยละ 6.73 ซึ่งมีค่าปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับ รัตนพล (2557) กล่าวว่า เส้นใยมะพร้าวมีปริมาณความชื้นร้อยละ 10 ค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ผ่านการปรับสภาพ คือ ร้อยละ 86.49

**สมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเอนไซม์เซลลูเลส**

ผลการเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อน ปริมาณความชื้น ค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ปริมาณความชื้น ค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

| ชนิดของเส้นใย | Diameter* (ไมโครเมตร) | Moisture Regain$^{ns}$ (ร้อยละ) | Yield* (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|
| เอนไซม์ 0 FPU/g, เวลา 2 ชั่วโมง (control) | 117.54$^{c}$ | 8.55 | 94.02 $^{ab}$ |
| เอนไซม์ 0 FPU/g, เวลา 4 ชั่วโมง (control) | 244.77$^{a}$ | 8.78 | 92.91 $^{b}$ |
| เอนไซม์ 0 FPU/g, เวลา 6 ชั่วโมง (control) | 208.58$^{b}$ | 9.13 | 95.49 $^{a}$ |
| เอนไซม์ 10 FPU/g, เวลา 2 ชั่วโมง | 155.71$^{d}$ | 8.65 | 92.56 $^{a}$ |
| เอนไซม์ 10 FPU/g, เวลา 4 ชั่วโมง | 225.23$^{a}$ | 8.47 | 89.97 $^{b}$ |
| เอนไซม์ 10 FPU/g, เวลา 6 ชั่วโมง | 183.87$^{b}$ | 8.90 | 93.34 $^{a}$ |
| เอนไซม์ 20 FPU/g, เวลา 2 ชั่วโมง | 159.16$^{c}$ | 7.84 | 92.73 $^{a}$ |
| เอนไซม์ 20 FPU/g, เวลา 4 ชั่วโมง | 110.32$^{g}$ | 8.13 | 91.74 $^{a}$ |
| เอนไซม์ 20 FPU/g, เวลา 6 ชั่วโมง | 75.86$^{i}$ | 8.12 | 92.93 $^{a}$ |
| เอนไซม์ 30 FPU/g, เวลา 2 ชั่วโมง | 153.41$^{e}$ | 8.18 | 92.54 $^{a}$ |
| เอนไซม์ 30 FPU/g, เวลา 4 ชั่วโมง | 112.04$^{f}$ | 8.30 | 92.67 $^{a}$ |
| เอนไซม์ 30 FPU/g, เวลา 6 ชั่วโมง | 86.77$^{h}$ | 7.67 | 92.57 $^{a}$ |

หมายเหตุ * ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ns หมายถึง ไม่แตกต่างกันในแนวดิ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากตารางที่ 2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนโดยมีสภาวะควบคุม คือ สารละลายซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 5 เวลาในการย่อย 2 4 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ จะเปรียบเทียบเฉพาะสภาวะที่มีเอนไซม์ซึ่งพบว่า สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 6 ชั่วโมง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่สุดคือ ร้อยละ 75.86 ไมโครเมตร รองลงมาคือสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 30 FPU/g เวลาในการย่อย 6 ชั่วโมง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคือ ร้อยละ 86.77 ไมโครเมตร และสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางคือ ร้อยละ 110.32 ไมโครเมตร สอดคล้องกับ มณฑา (2541) กล่าวว่า การวัดเส้นผ่าศูนย์กลางหรือความกว้างของเส้นใย ทำได้ค่อนข้างยาก เพราะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหรือความกว้างของเส้นใยมักไม่ค่อยคงที่ตลอดเส้น แต่สามารถคำนวณโดยภาพรวมของการทดลองได้ ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กลงเมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่า หากมีการใช้อัตราความเข้มข้นของเอนไซม์ที่สูงและระยะเวลาในการย่อยที่นาน ทำให้เส้นใยมีความยาว 1-2 เซนติเมตร เป็นจำนวนมาก ไม่เหมาะที่จะนำมาปั่นเป็นเส้นด้าย เพราะเส้นใยมีขนาดสั้นเกินไป

ค่าปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อน ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ค่าปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อน มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 7.67-8.90 ซึ่งใกล้เคียงกับเส้นใยฝ้าย โดย มณฑา (2541) กล่าวว่า เส้นใยฝ้ายมีค่าปริมาณความชื้น ร้อยละ 8.5

ค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีพบว่า มีความแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งมีค่าแตกต่างกันเพียงค่าเดียว คือ สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 10 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง ที่มีค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี คือ ร้อยละ 89.97 ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่สูง

ผลการศึกษา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) สำหรับค่าปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) ดังนั้น ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงเส้นใยมะพร้าวอ่อน จึงเลือกที่สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง เพราะเปรียบเทียบด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ที่สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง มีขนาดเล็กรองเป็นลำดับที่ 3 ซึ่งมีความแตกต่างไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับค่าสูงสุดทั้ง 2 ลำดับก่อนหน้า แต่เพื่อต้องการประหยัดปริมาณเอนไซม์เซลลูเลสที่มีราคาค่อนข้างสูง และเวลาในการย่อย ดังนั้น สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการปรับปรุงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อน ซึ่งส่งผลต่อสมบัติด้านความละเอียดทำให้เส้นใยสามารถนำไปปั่นเป็นเส้นด้าย และพัฒนาเป็นสิ่งทอต่อไป

**อภิปรายผลการวิจัย**

สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อน คือสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง พบว่า มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยคือ 110.32 ไมโครเมตร ค่าปริมาณความชื้น คือ ร้อยละ 8.13 และค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี ร้อยละ 91.74 ทำให้เส้นใยมะพร้าวอ่อนมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปปั่นเป็นเส้นด้าย จึงนับว่าเป็นการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่เหมาะสำหรับการนำมาพัฒนาเป็นสิ่งทอ เพื่อเป็นแนวทางในการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และสามารถช่วยลดปัญหาการนำเข้าสิ่งทอ พร้อมทั้งเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ ส่งเสริมการบริโภคสินค้าภายในประเทศ และเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันกับตลาดโลกได้อย่างยั่งยืน

**ข้อเสนอแนะ**

ข้อเสนอแนะจากผลการวิจัยฉบับนี้ คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและระยะเวลาในการย่อยเส้นใยมะพร้าวอ่อน ส่งผลโดยตรงต่อสมบัติทางกายของเส้นใย หากใช้เอนไซม์เซลลูเลสที่มีความเข้มข้นและเวลาในการย่อย ที่นานเกินไป ทำให้เส้นใยเป็นเส้นใยสั้นจนไม่สามารถนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายได้ ในงานวิจัยครั้งนี้ควบคุมอุณหภูมิ ในการย่อยที่ 50 องศาเซลเซียส ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องอุณหภูมิที่ต่างกันอาจส่งผลต่อคุณภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อน

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป คือ การวิจัยเรื่องสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนภายหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส มุ่งเน้นการศึกษาสมบัติทางกายเพื่อผลิตเส้นใยที่มีคุณภาพเหมาะสำหรับใช้ในการปั่นเส้นด้าย สำหรับการศึกษาครั้งต่อไปควรศึกษาเพิ่มเติมในด้านองค์ประกอบทางเคมี และ

สมบัติทางกายภาพอื่นๆที่ส่งผลต่อคุณภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อน ทำให้ทราบข้อมูลที่มีความหลากหลายนำไปสู่การศึกษากระบวนการผลิตสิ่งทอที่มีการใช้ประโยชน์ทางเทคนิค (Technical Textiles) ตอบโจทย์ความต้องการของตลาดสิ่งทอได้มากขึ้น เพื่อผลักดันให้เกิดการใช้เส้นใยธรรมชาติ ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และส่งเสริมการสร้างรายได้เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจต่อไป

**เอกสารอ้างอิง**

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2555) รายงานวิจัย โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสพาณิชย์.

จตุพร ปานทอง. (2557). การประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุในกระบวนการปรับสภาพและย่อยเส้นใยปาล์มด้วยเอนไซม์เพื่อการผลิตเอทานอล. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เบญจมาส ขวัญคง. (2554). การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่มีเพกทิเนส. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เบญจมาส คล้ายเครือญาติ. (2545). การใช้เอนไซม์ซ้ำในกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกบนฝ้าย. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มณฑา จันทร์เกตุเลี้ยด. (2541) วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น. สมาคมคหเศรษฐศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชินูปถัมป์. กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัด หอรัตนชัยการพิมพ์.

รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์และคณะ. (2557). การพัฒนาเส้นใยจากผลลูกตาลเพื่อผลิตแผ่นกันความร้อนและการประยุกต์ใช้งานสำหรับสิ่งทอเทคนิค. ใน รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โครงการพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยเส้นใยต้นแบบและการออกแบบผลิตภัณฑ์สิ่งทอเทคนิค, กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ.

รุจจพงศ์ เพ็งจันทร์. (2552). การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและการดัดของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์เสริมด้วยลวดตะแกรงเหล็กและเส้นใยมะพร้าว. ครุศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. (2561) รายงานสถานการณ์อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มไทย เดือนเมษายน2561. สืบค้นเมื่อ กันยายน 30, 2561,จาก https://www.thaitextile.org/th/insign/detail.317.1.0.html.

สาคร ชลสาคร. (2560). เทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาเส้นใยธรรมชาติจากพืช การปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืช. กรุงเทพมหานคร : ฟรี-วัน.

สาคร ชลสาคร และคณะ. (2559). การพัฒนาเส้นใยมะพร้าวอ่อนในผลิตภัณฑ์สิ่งทอคุณสมบัติพิเศษสำหรับผู้สูงอายุ. ใน รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้วัตถุดิบภาคการพัฒนาเส้นใยธรรมชาติสู่อุตสาหกรรมสิ่งทอ. กรุงเทพฯ: สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ.

สุธิดา ทองคำ และคณะ. (2562). การสกัด การทำให้บริสุทธิ์และสมบัติของเพคตินจากใบเครือหมาน้อย.ใน รายงานการประชุมวิชาการ (Proceedings) การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติครั้งที่ 10. 1183-1192. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.