การออกแบบและการพัฒนาเครื่องแยกเส้นใยและทำความสะอาดเส้นใยผลตาลสุก

Design and Development of Fiber Separator and Scouring Machinery for Ripe Borassus Fruit Fiber

จิตติ พัทธวณิช[1*], ณัฐดนย์ รุ่งเรืองกิจไกร[2], รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์[3], ก้องเกียรติ มหาอินทร์[3], จรูญ คล้ายจ้อย[3], จำลอง สาริกานนท์[3], สาคร ชลสาคร[4]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
[2]ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[3]คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
[4]สาขาวิชาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

*ผู้นิพนธ์ประสานงาน: จิตติ พัทธวณิช email: jitti@eng.buu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรต้นแบบสำหรับแยกเส้นใยและทำความสะอาดเส้นใยจากผลลูกตาลสุก เพื่อนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่าและสนับสนุนการผลิตที่ยั่งยืน เครื่องจักรแยกเส้นใยที่พัฒนาขึ้นใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและหนามเหล็กในการแยกเส้นใย โดยสามารถแยกเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 95-98 ภายใน 5-7 นาที ขณะที่เครื่องทำความสะอาดเส้นใยที่พัฒนาขึ้นสามารถกำจัดแป้ง สิ่งสกปรก และฟอกขาวเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเส้นใยที่ได้มีคุณสมบัติทางกายภาพเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม เช่น การเป็นฉนวนกันความร้อนและการคืนตัวดี นอกจากนี้ การพัฒนาเครื่องจักรดังกล่าวยังช่วยลดการเหลือทิ้งของวัสดุเหลือใช้จากผลผลิตทางการเกษตร และเพิ่มศักยภาพในการพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ: เส้นใย ผลตาลสุก เครื่องแยกเส้นใย เครื่องทำความสะอาดเส้นใย การออกแบบและการพัฒนา

Abstract

This study focuses on designing and developing prototype machinery for separating and cleaning fibers from ripe borassus fruits to enhance the value of agricultural waste and promote sustainable production. The developed fiber-separating machine utilizes centrifugal force and steel spikes to achieve an efficiency of 95-98% within 5-7 minutes. Meanwhile, the cleaning machine effectively removes starch, impurities, and bleaches the fibers. The findings indicate that the extracted fibers possess physical properties suitable for industrial applications, such as thermal insulation and resilience. Moreover, the development of these machines reduces agricultural waste and fosters the potential for advancing eco-friendly textile industries.

Keywords: Fiber; Ripe borassus fruit; Fiber separator; Scouring machinery; Design and development

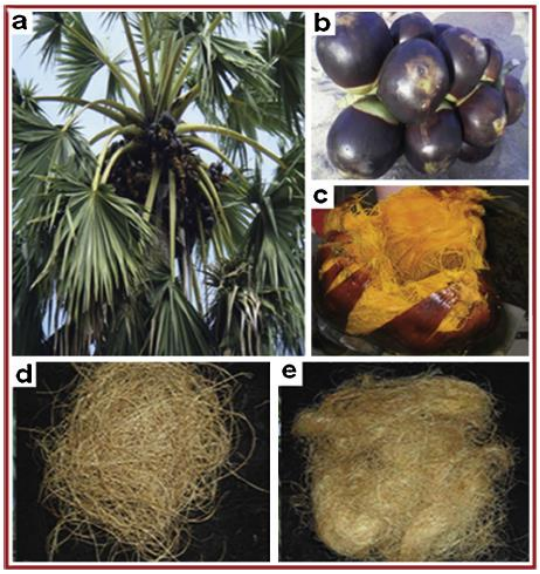
1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งได้มีการปลูกพืชเศรษฐกิจมากมายที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทย เช่น ข้าว ยางพารา ข้าวโพด ปาล์มน้ำมัน อ้อย มันสำปะหลัง พืชผัก ผลไม้ และไม้ดอกไม้ประดับ เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าว อ้อย น้ำตาล ยางพารา เป็นพืชเศรษฐกิจที่ส่งออกเป็นอันต้น ๆ ของประเทศไทย นอกจากนี้แล้วในการเก็บผลผลิตทางการเกษตรเพื่อนำไปอุปโภค บริโภค จะมีส่วนที่เหลือทิ้งไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ หรือเพิ่มมูลค่าอย่างเต็มที่ ตัวอย่างเช่น กรณีของเส้นใยจากผลของลูกตาลสุก (Borassus fruit fiber) ซึ่งภายหลังที่ผู้บริโภคได้นำเนื้อจากผลตาลสุกไปใช้ประกอบอาหารแล้ว ส่วนที่เหลือทิ้งและไม่ค่อยมีการนำไปใช้ประโยชน์ก็คือส่วนที่เป็นเส้นใย ซึ่งจากข้อมูลพบว่า ตาลนั้นปลูกแทบทุกจังหวัดของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จังหวัดเพชรบุรี สุโขทัย และสงขลาเป็นต้น

สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอไทย มีความพร้อมที่จะก้าวสู่อุตสาหกรรมอนาคตที่เน้นอุตสาหกรรมที่มีมูลค่าเพิ่มสูงและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยการพัฒนาอุตสาหกรรมต้นน้ำเส้นใยธรรมชาติจากวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรในประเทศ เนื่องจากประเทศไทยมีอุตสาหกรรมเกษตรที่เข้มแข็ง ผลผลิตโดยตรงจากอุตสาหกรรมเกษตรส่วนใหญ่ ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งวัตถุดิบทางการเกษตรบางส่วน จะเหลือทิ้ง และนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้ จากการศึกษาที่ผ่านมา วัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีองค์ประกอบเป็นเซลลูโลส (Cellulose) ซึ่งก็คือเส้นใยจากพืช ซึ่งมีจำนวนมาก เช่น ใบสับปะรด ข่า กาบกล้วย เส้นใยจากผลของลูกตาลสุก เส้นใยมะพร้าว เป็นต้น จากการวิจัยพัฒนาที่ผ่านมา พบว่า เส้นใยเหล่านี้สามารถถูกแยกมาใช้เป็นวัตถุดิบที่มีคุณภาพเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ อีกทั้งเป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม ปัจจุบัน ภาคการเกษตรมีวัตถุดิบที่เหลือทิ้งจากเส้นใยของผลลูกตาลสุก โดยภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอได้นำวัตถุดิบเหลือทิ้งเหล่านี้ มาใช้ทำเป็นใยธรรมชาติ แต่เนื่องจากยังขาดการเชื่อมโยงที่เป็นรูปธรรมคือ เครื่องมือเครื่องจักรที่สามารถทำการแปรรูปวัตถุดิบเหลือทิ้งเหล่านี้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถส่งต่อมายังภาคอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อใช้ในการผลิตเส้นใยธรรมชาติให้เพียงพอต่อความต้องการ

เส้นใยจากผลลูกตาล (Borassus Fruit Fiber) (ภาพที่ 1) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Borassus flabellifer* L. (palmyrah palm) ซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่ได้จากการลอกเส้นใยที่อยู่ภายในผลของลูกตาลโตนด (Palmyrah or Toddy palm) [1] ที่แก่เต็มที่แล้ว ตาลโตนดเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Arecaceae และพบมากบริเวณเขตร้อนของทวีปแอฟริกา เอเชีย และนิวกินี (New Guinea) ตาลโตนดเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ มากชนิดหนึ่งโดยมีการนำไปใช้ประโยชน์หลากหลาย โดยเฉพาะในประเทศกัมพูชา และอินเดีย ผลของตาลนำไปทำผลิตภัณฑ์อาหาร เส้นใยที่ได้มาจากลูกตาลจะมีสีน้ำตาลเข้ม และจะกลายเป็นสีเหลืองออกน้ำตาลเมื่อนำมาล้างด้วยน้ำเปล่า เส้นใยที่ลอกออกมาแล้วจะประกอบไปด้วย เส้นใยยาว เส้นใยสั้น เส้นใยหยาบ และเส้นใยละเอียด และสังเกตเห็นเส้นใยมีความเรียบ [2-3]

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการออกแบบและพัฒนาสร้างเครื่องแยกเส้นใยและเครื่องทำความสะอาดเส้นใยจากผลของลูกตาลสุกตลอดจนศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องดังกล่าว โดยเส้นใยผลตาลสุกที่ได้จะถูกนำไปใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ประเภทฉนวนกันความร้อน [4] หรือผลิตภัณฑ์สิ่งทออื่น ๆ ต่อไปในอนาคต [5-6]



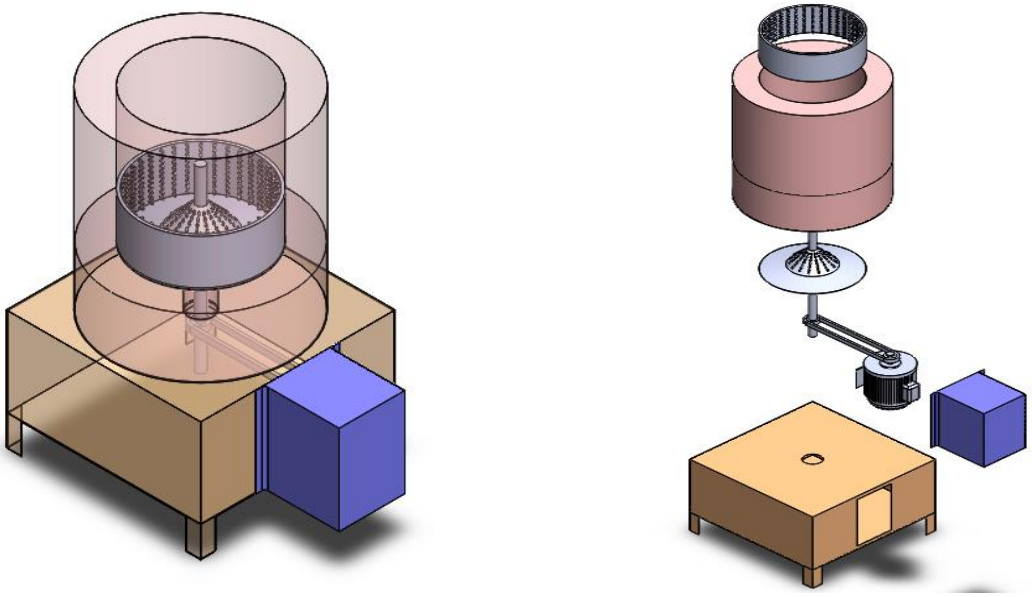
ภาพที่ 1 เส้นใยที่ได้จากผลของลูกตาล (a) ต้นตาล (b) ผลของตาล (c) ผลของตาลสุกที่ประกอบด้วยเส้นใย เยื่อ และเมล็ด (d) เส้นใยหยาบ (e) เส้นใยละเอียด [1]

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

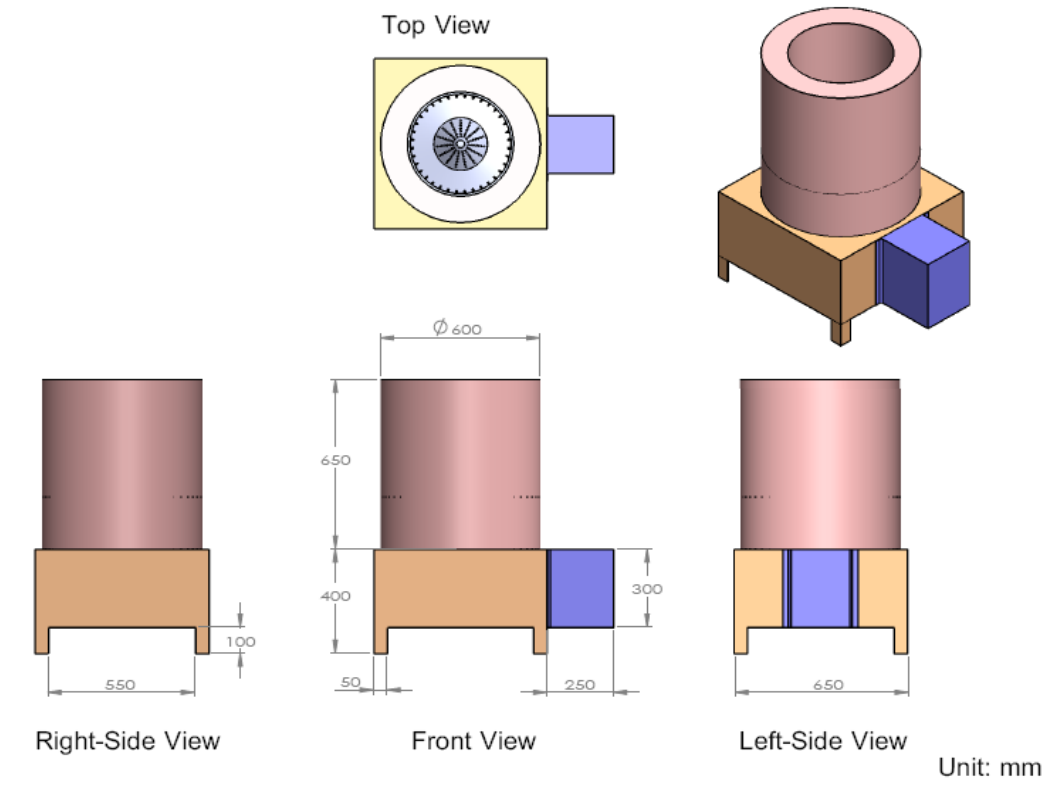
การออกแบบเครื่องจักรต้นแบบสำหรับแยกเส้นใยและเครื่องทำความสะอาดเส้นใยจากผลลูกตาลสุกได้ดำเนินการผลิตเครื่องจักรต้นแบบ ณ บริษัทไทย คิทเช่น มาร์ท จำกัด เลขที่ 99/25 หมู่ 1 ราชพฤกษ์ ตำบลบางขุนกอง อำเภอบางกรวย นนทบุรี 11130 โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 การออกแบบเครื่องจักรต้นแบบสำหรับแยกเส้นใยตาล

การออกแบบเครื่องแยกเส้นใยจากผลลูกตาลสุกนี้ อาศัยหลักการเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง หรือสลัดน้ำของเครื่องซักผ้าฝาบน หรือเครื่องขอดเกล็ดปลา โดยบริเวณจานที่อยู่ตรงฐานของตัวเครื่องจะมีการติดตั้งหนามซึ่งทำมาจากเหล็กสกรู นอกจากนี้แล้วตรงบริเวณรอบถังมีการ ติดตั้งหนามโดยรอบถัง หลักการทำงานของเครื่องดึงเส้นใยตาลนี้ใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง โดยเมื่อใส่เมล็ดตาลลงไปในเครื่อง และทำการเดินเครื่อง จานที่อยู่ตรงฐานของตัวเครื่องจะหมุนเหวี่ยงให้เมล็ดตาลไปปะทะกับหนามที่อยู่รอบ ๆ ถัง และตัวหนามก็จะทำการเกี่ยว และดึงเส้นใยให้หลุดออกมารายละเอียดดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3



ภาพที่ 2 ไดอะแกรมของเครื่องตัดเส้นใยจากผลของลูกตาลสุก



ภาพที่ 3 ไดอะแกรมภาพตัดด้านบน ด้านหน้า และด้านข้างของเครื่องตัดเส้นใยจากผลของลูกตาลสุก

2.2 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องจักรต้นแบบสำหรับแยกเส้นใยตาล

ภายหลังจากที่ดำเนินการสร้างเครื่องจักรต้นแบบสำหรับแยกเส้นใยตาลเสร็จแล้ว (ภาพที่ 4) ขั้นตอนต่อมาคือการทดสอบเพื่อดูประสิทธิภาพของเครื่องจักร โดยนำเมล็ดกะลาตาลซึ่งมีเส้นใยที่แห้งติดอยู่ที่กะลาตาล (ภาพที่ 5) ประมาณ 10-30 เมล็ด จำนวน 2 ชุด มาทำการชั่งน้ำหนัก และบันทึกน้ำหนักที่ได้ของแต่ละชุด

นำเมล็ดกะลาตาลซึ่งมีเส้นใยที่เปียกติดอยู่ที่กะลาตาล (ภาพที่ 6) ประมาณ 10-30 เมล็ด จำนวน 2 ชุด มาทำการชั่งน้ำหนัก และบันทึกน้ำหนักที่ได้ของแต่ละชุด นำเมล็ดตาลแต่ละชุดเข้าเครื่องจักรสำหรับแยกเส้นใยตาลจากนั้น ดำเนินการเดินเครื่องจักร 3 นาที และทำการหยุดเครื่องเพื่อนำเส้นใยที่ถูกแยกออกมาจากกะลาตาลมาทำการชั่งน้ำหนัก และบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ภายหลังจากการเดินเครื่องจักรครบ 3 นาที

ดำเนินการเดินเครื่องจักรต่ออีก 2 นาที และทำการหยุดเครื่องเพื่อนำเส้นใยที่ถูกแยกออกมาจากกะลาตาลมาทำการชั่งน้ำหนัก และบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ภายหลังจากการเดินเครื่องจักรครบ 5 นาที (3 นาทีแรก + 2 นาทีหลัง)

ดำเนินการเดินเครื่องจักรต่ออีก 2 นาที และทำการหยุดเครื่องเพื่อนำเส้นใยที่ถูกแยกออกมาจากกะลาตาลมาทำการชั่งน้ำหนัก และบันทึกค่าน้ำหนักที่ได้ภายหลังจากการเดินเครื่องจักรครบ 7 นาที (3 นาทีแรก + 2 นาทีกลาง + 2 นาทีหลัง)

นำเมล็ดตาลที่ถูกแยกเส้นใยออกไปออกมาจากเครื่องจักร และนำมาชั่งน้ำหนัก และบันทึกน้ำหนักที่ได้ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องจักรแยกเส้นใยตาล ของชุดเมล็ดตาลที่เหลือ

ทำการคำนวณหาปริมาณร้อยละ (%) ของเส้นใยตาลที่หลุดออกมาในนาทีที่ 3, 5 และ 7 แยกจากกันในแต่ละชุด และหาค่าเฉลี่ย

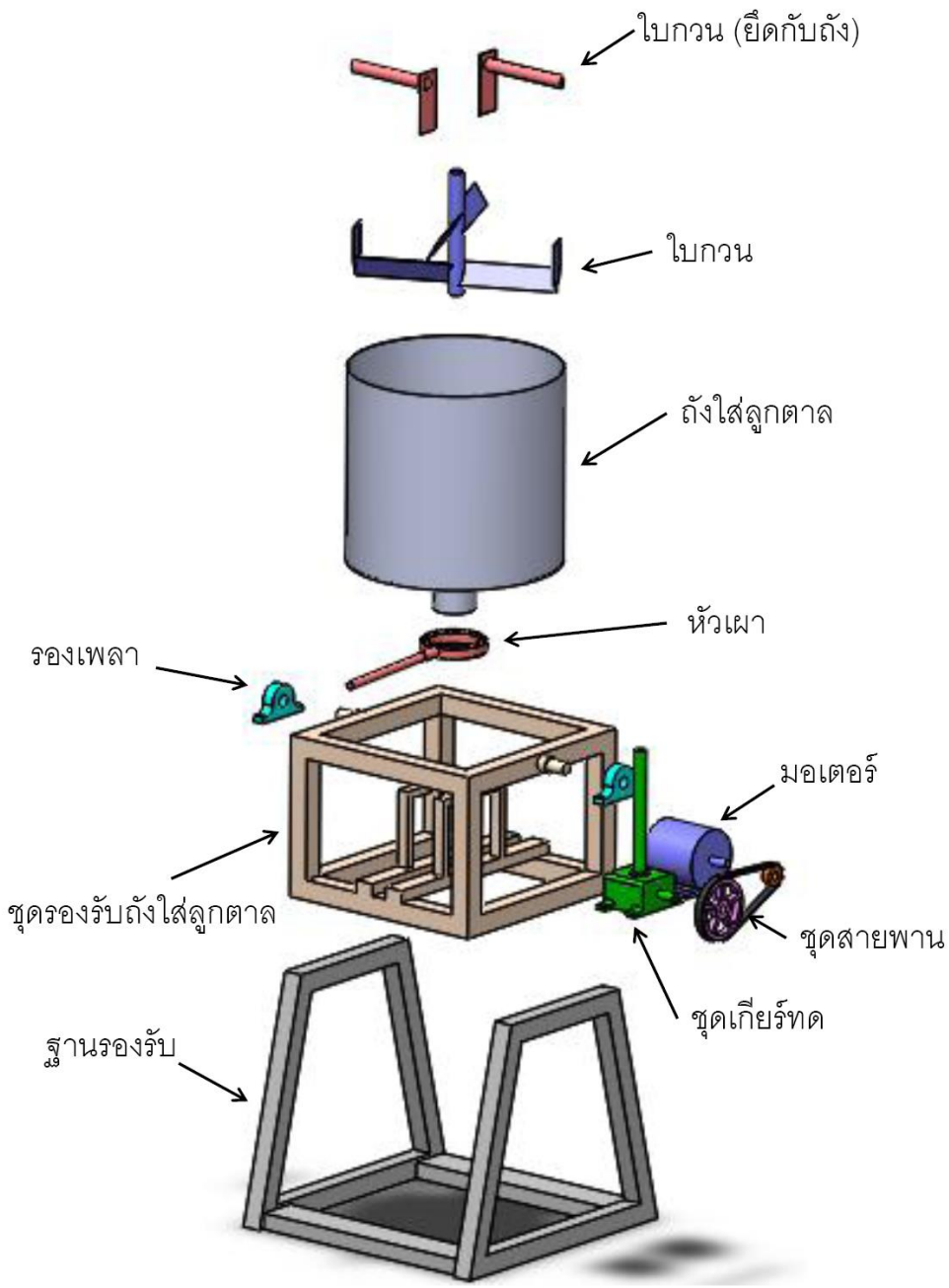
ภาพที่ 4 ลักษณะภายในและภายนอกของเครื่องจักรต้นแบบสำหรับแยกเส้นใยตาล

ภาพที่ 5 เมล็ดกะลาตาลซึ่งมีเส้นใยที่แห้งติดอยู่ที่กะลาตาล

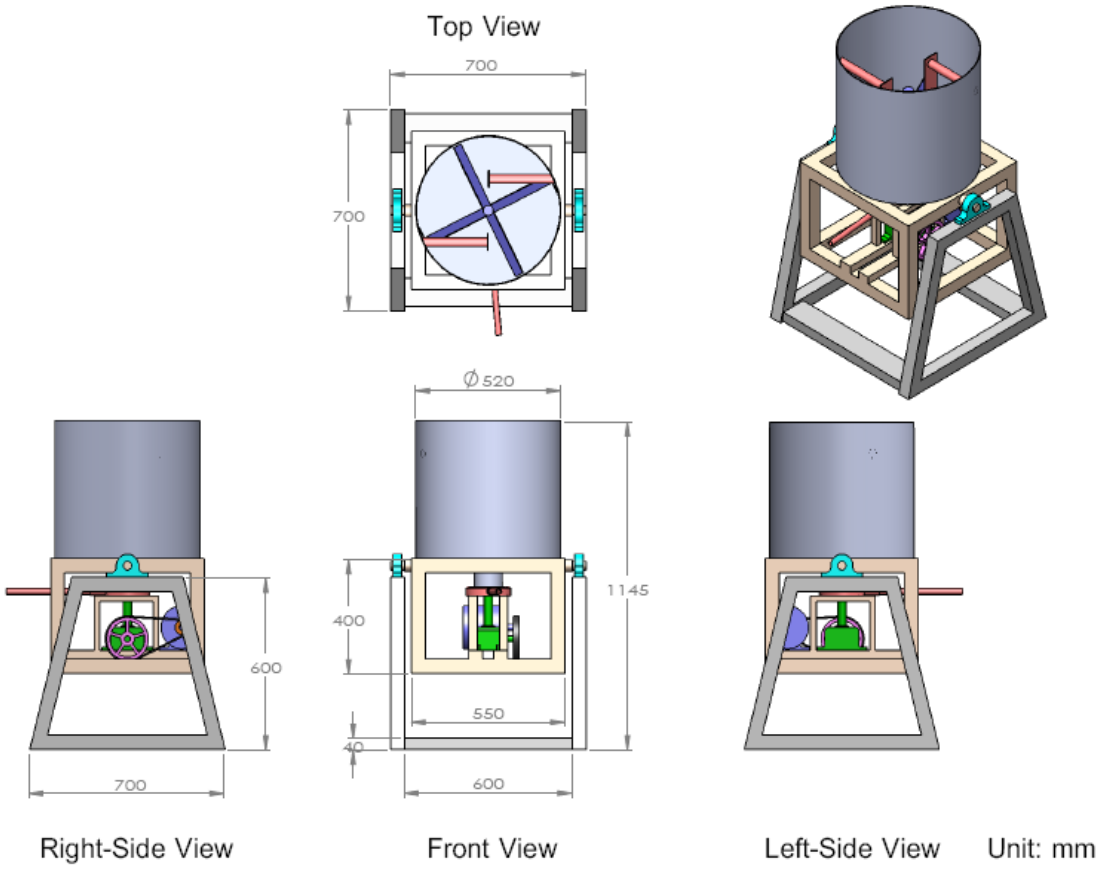
ภาพที่ 6 เมล็ดกะลาตาลซึ่งมีเส้นใยที่เปียกติดอยู่ที่กะลาตาล

2.3 การออกแบบเครื่องจักรต้นแบบสำหรับทำความสะอาดเส้นใยจากผลตาลสุก

เครื่องจักรต้นแบบสำหรับทำความสะอาดเส้นใยตาล เครื่องจักรชุดนี้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้กำจัดแป้ง หรือกำจัดสิ่งสกปรก หรือฟอกขาวจากเส้นใยที่ได้มาจากเครื่องแยกเสนใย การออกแบบอุปกรณ์ชุดนี้จะอาศัยระบบแก๊ซเป็นตัวให้ความร้อน โดยใช้มอร์เตอร์ขนาด 1 แรงม้าเป็นตัวขับเคลื่อนใบพัดที่เป็นตัวกวน ตัวอุปรณ์ใช้โลหะสแตนเลสในการผลิตหนาประมาณ 4 มิลลิเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 เซนติเมตร และมีขนาดความสูงประมาณ 100 เซนติเมตร โดยมีกำลังการผลิตที่คาดการณ์ไว้ ประมาณ 5 กิโลกรัม ของเส้นใยตาลเปียก หรือเส้นใยแห้งประมาณ 1-2 กิโลกรัม/ ต่อการทำความสะอาด 1 ครั้ง/ 1-1.5 ชั่วโมง โดยชุดทำความสอาดนี้มีปริมาตร 50 ลิตร ภาพไดอะแกรมของเครื่องจักรต้นแบบสำหรับทำความสะอาดเส้นใยตาลปรากฏดังภาพที่ 7 และภาพที่ 8



ภาพที่ 7 ไดอะแกรมของเครื่องทำความสะอาดเส้นใยจากผลของลูกตาลสุก



ภาพที่ 8 ไดอะแกรมภาพตัดด้านบน ด้านหน้า และด้านข้างของเครื่องทำความสะอาดเส้นใยจากผลของลูกตาลสุก

ภาพที่ 9 ลักษณะภายในและภายนอกของเครื่องจักรต้นแบบสำหรับทำความสะอาดเส้นใย

2.4 การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องจักรต้นแบบสำหรับทำความสะอาดเส้นใยตาล

ภายหลังจากที่ดำเนินการสร้างเครื่องจักรต้นแบบสำหรับสำหรับทำความสะอาดเส้นใยตาลเสร็จแล้ว (ภาพที่ 9) ขั้นตอนต่อมาคือการทดสอบเพื่อดูประสิทธิภาพของเครื่องจักร โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.4.1 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องจักรต้นแบบสำหรับทำความสะอาดเส้นใยตาลในส่วนของการทำความสะอาดเส้นใยตาลเบื้องต้น โดยนำเส้นใยจากผลตาลที่ได้จากการแยกเส้นใยออกจากกะลาตาลมาทำความสะอาดด้วยผงซักฟอก ความเข้มข้น 4 กรัมต่อลิตร โดยใช้สัดส่วนเส้นใยจากผลตาลสุกต่อสารละลายผงซักฟอกมาตรฐานเท่ากับ 1:20 จากนั้นนำไปต้มเดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่าหลาย ๆ ครั้ง และนำมาทำให้แห้งตามลำดับ

2.4.2 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องจักรต้นแบบสำหรับทำความสะอาดเส้นใยตาลในส่วนการกำจัดแป้งที่อยู่บนเส้นใยตาล มีขั้นตอนปฏิบัติโดยนำเส้นใยจากผลตาลที่ผ่านการทำความสะอาดมาแช่ลงในเอ็นไซม์ ที่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร โดยใช้สัดส่วนเส้นใยจากผลตาลสุกต่อสารละลายเอ็นไซม์ เท่ากับ 1:20 จากนั้นนำไปต้มเดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่าหลาย ๆ ครั้ง และนำมาทำให้แห้งตามลำดับ

2.4.3 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องจักรต้นแบบสำหรับทำความสะอาดเส้นใยตาลใน ส่วนการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวที่อยู่บนเส้นใยตาล มีขั้นตอนปฏิบัติโดยนำเส้นใยจากผลตาลที่ผ่านการทำความสะอาดและกำจัดแป้งมาแช่ลงในสารละลายสำหรับกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวซึ่งประกอบไปด้วยไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ เข้มข้น 30 กรัมต่อลิตร โซดาไฟ เข้มข้น 20 กรัมต่อลิตร และโซเดียมซิลิเกต เข้มข้น 7 กรัมต่อลิตร โดยใช้สัดส่วนเส้นใยจากผลตาลสุกต่อสารละลาย เท่ากับ 1:20 จากนั้นนำไปต้มเดือดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาล้างทำความสะอาดด้วยน้ำเปล่าหลาย ๆ ครั้ง และนำมาทำให้แห้งตามลำดับ

2.5 การทดสอบสมบัติเชิงกายภาพของเส้นใยที่ได้จากผลลูกตาล

จากนั้นนำเส้นใยที่ได้มาทำการทดสอบสมบัติเชิงกายภาพ ได้แก่ การทดสอบความละเอียดของเส้นใยมาตรฐาน ASTM D1577 การวิเคราะห์ลักษณะภาพตัดตามยาว และภาพภาคตามขวางโดยใช้เครื่อง Scanning electron microscopy; SEM การทดสอบหาความแข็งแรงของเส้นใย (Tensile stress) และค่า Young Modulus มาตรฐาน ASTM D 3039-78 และค่าระยะการยืดตัว ณ จุดขาด (เครื่อง INSTRON 3369 Universal Testing Machine ในการทดสอบ โดยใช้ความเร็วในการดึงขาด 10 มิลลิเมตรต่อนาที และใช้ Gage length 50 มิลลิเมตร) การหาค่าความชื้นของเส้นใย (Moisture Content (%) มาตรฐาน ASTM D2654

3. ผลการศึกษาและการอภิปราย

3.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องจักรต้นแบบสำหรับแยกเส้นใยตาล

เครื่องแยกเส้นใยจากผลขอลลูกตาลสุกที่ถูกผลิตขึ้นมาปรากฏดังภาพที่ 10 เครื่องแยกหรือเครื่องดึงเส้นใยตาลออกจากกะลาตาลนี้ เป็นเครื่องต้นแบบที่มีการใช้งานที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก

ลักษณะของเส้นใยตาลที่ได้จากดึงเส้นใยโดยใช้เครื่องที่ถูกออกแบบมาปรากฏดังภาพที่ 11 และภาพที่ 12 โดยภาพที่ 11 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการดึงเส้นใยมื่อผ่านการดึง นาทีที่ 3 นาทีที่ 5 และนาทีที่ 7 ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเมื่อสิ้นสุดนาที่ที่ 3 เส้นใยจะหลุดออกมาจากกะลาตาลประมาณร้อยละ 50 เมื่อสิ้นสุดนาทีที่ 5 เส้นใยจะหลุดออกมาจากกะลาตาลประมาณร้อยละ 30 และ เมื่อสิ้นสุดนาทีที่ 7 เส้นใยจะหลุดออกมาจากกะลาตาลประมาณร้อยละ 17 และเมื่อเสร็จสิ้นการดึงเส้นใยตาลออกจากเมล็ดตาลหรือกะลาตาลแล้วยังมีเส้นใยที่ติดอยู่ที่เมล็ดตาลหรือกะลาตาลประมาณร้อยละ 3

เมื่อนำเมล็ดตาลที่มีเส้นใยตาลที่เปียกมาเข้าเครื่องดึงเส้นใย ผลปรากฏดังภาพที่ 13 และภาพที่ 14 จากภาพจะสังเกตได้ว่าเมื่อสิ้นสุดนาที่ที่ 3 เส้นใยจะหลุดออกมาจากกะลาตาลประมาณร้อยละ 52 เมื่อสิ้นสุดนาทีที่ 5 เส้นใยจะหลุดออกมาจากกะลาตาลประมาณร้อยละ 30 และ เมื่อสิ้นสุดนาทีที่ 7 เส้นใยจะหลุดออกมาจากกะลาตาลประมาณร้อยละ 16 และเมื่อเสร็จสิ้นการดึงเส้นใยตาลออกจากเมล็ดตาลหรือกะลาตาลแล้วยังมีเส้นใยที่ติดอยู่ที่เมล็ดตาลหรือกะลาตาลประมาณร้อยละ 2

ภาพที่ 10 ลักษณะภายในและภายนอกของเครื่องตัดเส้นใยจากผลของลูกตาลสุก

นาที ที่ 3	นาที ที่ 5	นาที ที่ 7

ภาพที่ 11 ประสิทธิภาพของเครื่องดึงเส้นใยตาลทำการดึงเส้นใยตาลจากเมล็ดตาลแห้ง ณ เวลา ที่แตกต่างกัน

ภาพที่ 12 เส้นใยตาลที่ได้จากเมล็ดตาลแห้งที่ผ่านการดึงหรือแยกเส้นใยโดยเครื่องดึงหรือแยกเส้นใยตาล

เมล็ดตาลที่มีเส้นใยตาลที่เปียก	นาที ที่ 3	นาที ที่ 5	นาที ที่ 7

ภาพที่ 13 ประสิทธิภาพของเครื่องดึงเส้นใยตาลทำการดึงเส้นใยตาลจากเมล็ดตาลเปียก ณ เวลา ที่แตกต่างกัน

ภาพที่ 14 เส้นใยตาลที่ได้จากเมล็ดตาลเปียกที่ผ่านการดึงหรือแยกเส้นใยโดยเครื่องดึงหรือแยกเส้นใยตาล

3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องจักรต้นแบบสำหรับแยกเส้นใยตาล

ประสิทธิภาพของเครื่องดึงเส้นใยตาลออกจากกะลาตาล ปรากฏดังตารางที่ 1 จากตารางจะสังเกตได้ว่าเครื่องดึงเส้นใยตาลออกจากกะลาตาลให้ประสิทธิภาพการทำงานประมาณร้อยละ 95-98 ทั้งนี้ในการดึงเส้นใยโดยใช้เครื่องดึงเส้นใยนี้ อาจจะทำการดึงเส้นใยโดยใช้เวลาประมาณ 5 นาที ก็ได้ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 80 และที่สำคัญยังมีเส้นใยที่เหลือติดอยู่ที่กะลาตาลอีกประมาณร้อยละ 20 ซึ่งเส้นใยในส่วนที่เหลือนี้มีประโยชน์สำหรับเกษตรกรผู้ทำอาชีพผ่าจาวตาล กล่าวคือ ในการผ่าจาวตาลออกมานั้นจะต้องมีเส้นใยไว้จับส่วนหนึ่งเพื่อให้การผ่าจาวตาลนั้นเป็นไปอย่างสะดวกและรวดเร็ว

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของเครื่องดึงเส้นใยตาล

รายละเอียด (ประสิทธิภาพ)	ปริมาณเส้นใยที่หลุดออกมาเมื่อเสร็จสิ้นนาที ที่ 3	ปริมาณเส้นใยที่หลุดออกมาเมื่อเสร็จสิ้นนาที ที่ 5	ปริมาณเส้นใยที่หลุดออกมาเมื่อเสร็จสิ้นนาที ที่ 7	ปริมาณเส้นใยที่ไม่หลุด (ติดกะลา)	ปริมาณเส้นใยทั้งหมด	ปริมาณของเมล็ดตาลที่ไม่มีเส้นใยติด
ครั้งที่ 1 เมล็ดกะลาตาลพร้อมเส้นใยที่แห้ง ประมาณ 12 เมล็ด น้ำหนัก 2,156.95 กรัม	63.03 กรัม	39.35 กรัม	22.91 กรัม	2.70 กรัม	127.99 กรัม	2,068.98 กรัม
ประสิทธิภาพ นาทีที่ 3, 5 และ 7	49.22 %	30.74 %	17.89 %	2.15 %	100 %	-
ประสิทธิภาพรวม 7 นาที	-	-	97.85 %	2.15 %	100 %	-
ครั้งที่ 2 เมล็ดกะลาตาลพร้อมเส้นใยที่แห้ง ประมาณ 30 เมล็ด น้ำหนัก 4,983 กรัม	-	-	300.53 กรัม	17.78 กรัม	318.31 กรัม	4,664.69 กรัม
ประสิทธิภาพรวม 7 นาที	-	-	94.40 %	5.60 %	100 %	-
ครั้งที่ 3 เมล็ดกะลาตาลพร้อมเส้นใยที่เปียก ประมาณ 10 เมล็ด น้ำหนัก 1,998.03 กรัม	210.96 กรัม	119.34 กรัม	64.61 กรัม	5.15 กรัม	399.79 กรัม	1,597.97 กรัม
ประสิทธิภาพ นาทีที่ 3, 5 และ 7	52.76 %	29.85 %	16.16 %	1.23 %	100 %	-
ประสิทธิภาพรวม 7 นาที	-	-	98.77 %	1.23 %	100 %	-
ครั้งที่ 4 เมล็ดกะลาตาลพร้อมเส้นใยที่เปียก ประมาณ 25 เมล็ด น้ำหนัก 4,793.32 กรัม	-	-	1,002.82 กรัม	29.05 กรัม	1,031.87 กรัม	3,761.45 กรัม
ประสิทธิภาพรวม 7 นาที	-	-	97.18 %	2.82 %	100 %	-

3.3 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องจักรต้นแบบสำหรับทำความสะอาดเส้นใยตาล

เครื่องจักรต้นแบบสำหรับทำความสะอาดเส้นใยตาลจากผลของลูกตาลสุกที่ถูกผลิตขึ้นมาปรากฏดังภาพที่ 8 จากการใช้เครื่องทำความสะอาดเส้นใยที่ได้จากผลของลูกตาลสุก พบว่าเครื่องทำความสะอาด สามรถทำความสะอาดเส้นใยตาลได้ในระดับดีถึงดีมาก แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทำความสะอาดคือ เส้นใยมักจะไปติดที่ใบกวนที่อยู่ด้านบน ทำให้เส้นใยไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นจึงดำเนินการถอดใบกวนที่อยู่ด้านบนออก ให้เหลือเฉพาะใบกวนที่อยู่ด้านล่างเท่านั้น ซึ่งภายหลังจากการถอดใบกวนออกแล้ว ไม่ปรากฏว่าเกิดปัญหาเส้นใยติดอยู่ที่ใบกวนด้านบน ลักษณะของเส้นใยจากผลลูกตาลสุกที่ไม่ผ่าน และผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น การขจัดแป้ง การขจัดสิ่งสกปรก และฟอกขาว ปรากฏดังภาพที่ 15 ถึงภาพที่ 19 ตามลำดับ

ภาพที่ 15 เส้นใยจากผลตาลสุกที่ไม่ผ่านการทำความสะอาด

ภาพที่ 16 เส้นใยจากผลตาลสุกที่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น (Washing)

ภาพที่ 17 เส้นใยจากผลตาลสุกที่ผ่านการขจัดแป้ง (Desizing)

ภาพที่ 18 เส้นใยจากผลตาลสุกที่ผ่านการขจัดสิ่งสกปรก (Scouring)

ภาพที่ 19 เส้นใยจากผลตาลสุกที่ผ่านการฟอกขาว (Bleaching)

3.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องจักรต้นแบบสำหรับทำความสะอาดเส้นใยตาล

จากผลการทำความสะอาด การกำจัดสิ่งสกปรกและการฟอกขาวเส้นใยที่ได้จากผลของลูกตาลสุกเมื่อนำเส้นใยที่ได้ในแต่ละขั้นตอนไปทำการวิเคราะห์โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง ผลปรากฏดังภาพที่ 20–22 จากภาพที่ 20 [7] พบว่าลักษณะของเส้นใยที่ได้จากผลของลูกตาลและยังไม่ผ่านการกำจัดแป้งจะเห็นได้ว่าบริเวณผิวเส้นใยยังมีแป้งติดอยู่ ภาพที่ 21 [7] แสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้เอ็นไซม์ในการลอกแป้ง แล้วปรากฏว่าไม่ปรากฏแป้งเหลืออยู่บริเวณผิวเส้นใย และภาพที่ 22 [7] แสดงภาพของเส้นใยที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและการฟอกขาว

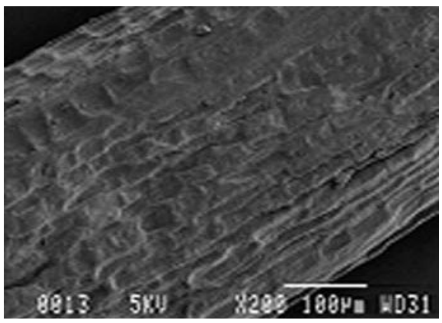
ภาพที่ 20 ลักษณะของเส้นใยที่ได้จากผลของลูกตาลสุกและยังไม่ผ่านการกำจัดแป้ง [7]

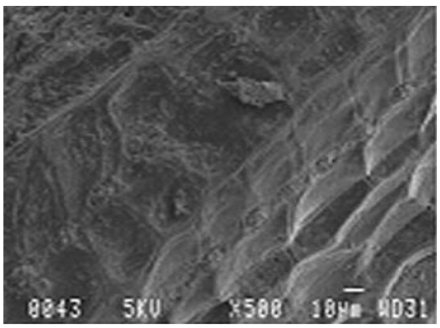
ภาพที่ 21 ลักษณะของเส้นใยที่ได้จากผลของลูกตาลสุกและผ่านการกำจัดแป้ง [7]

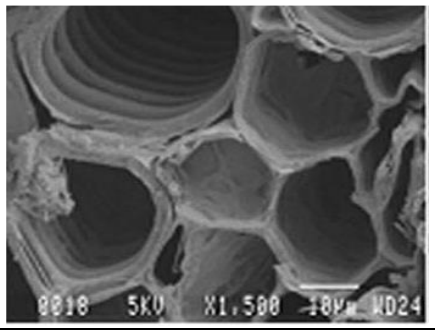
ภาพที่ 22 ลักษณะของเส้นใยที่ได้จากผลของลูกตาลสุกและผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว [7]

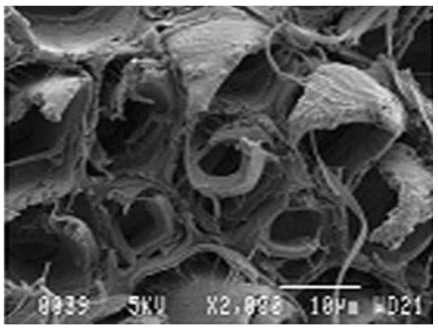
เมื่อนำเส้นใยจากผลตาลสุกไปทำการถ่ายภาพโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) พบว่า ส่วนภาพตามยาวมีลักษณะผิวขรุขระ ภาพภาคตัดขวางของเส้นมีรูกลวง (ภาพที่ 23) [8] ซึ่งจะส่งผลให้เส้นใยมีสมบัติคืนตัวได้ดี และทำหน้าที่เป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี (Thermal Insulation) [9-10]

การคิดคำนวณประสิทธิภาพของเครื่องทำความสะอาดเส้นใยตาลนั้นจะคำนวณแยกกันในแต่ละกระบวนการ ทั้งนี้เพื่อเป็นฐานข้อมูลสำหรับลูกค้าที่ต้องการเส้นใยตาลในแต่ละประเภท ที่ต้องการนำไปทำผลิตภัณฑ์ประเภทต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2-5 ทั้งนี้มีการกำหนดราคาค่าน้ำ1 ลูกบาศก์เมตร หรือ 1,000 ลิตร ราคา 16 บาท ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 8.19 บาท และเปิดแก๊ซ 1 ชั่วโมง ราคา 23 บาท จากตารางที่ 2 พบว่า ต้นทุนของการกำจัดสิ่งสกปรกมีค่าประมาณ 56 บาทต่อกิโลกรัม ในส่วนต้นทุนการกำจัดแป้งมีค่าประมาณ 107 บาทต่อกิโลกรัม ต้นทุนในส่วนของการกำจัดสิ่งสกปรกมีค่าประมาณ 168 บาทต่อกิโลกรัม และถ้าทำการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวในขั้นตอนเดียวกันพบว่าต้นทุนมีค่าประมาณ 192 บาทต่อกิโลกรัม









ภาพตัดตามยาวของเส้นใยหยาบจากผลตาล | ภาพตัดตามขวางของเส้นใยละเอียดจากผลตาล

ภาพที่ 23 ลักษณะภาพตามยาว และภาพตัดตามขวางของเส้นใยที่ได้จากผลตาล [8]

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายการล้างทำความสะอาดเส้นใยเบื้องต้น (1.5 ชั่วโมง/ เส้นใยแห้ง 2 กิโลกรัม)

ลำดับที่	รายการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1	ค่าเส้นใย (2 กิโลกรัม X 17.4 บาท) ที่ได้จากเครื่องดึงเส้นใย	34.8
2	ค่าน้ำ (40 ลิตร x 3 ครั้ง) 120 ลิตร	1.92
3	ค่าไฟฟ้า (746 วัตต์ x 1.5 ชั่วโมง) /1000 = 1.119 หน่วย	9.16
4	ค่าผงซักฟอก	10.00
	ทำความสะอาดเส้นใยแห้ง 2 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย	55.88
	ทำความสะอาดเส้นใยแห้ง 1 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย	27.94
5	คิดค่าแรงงาน (ค่าแรงชั่วโมงละ 37.5 บาท x 1.5 ชั่วโมง)	
	คิดค่าแรงงานทำความสะอาดเส้นใยแห้ง 2 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย (55.88 + 56.25)	112.13
	คิดค่าแรงงานทำความสะอาดเส้นใยแห้ง 1 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย	56.06

ตารางที่ 3 ค่าใช้จ่ายการกำจัดแป้ง (Desizing) บนเส้นใย (1.5 ชั่วโมง/ เส้นใยแห้ง 2 กิโลกรัม)

ลำดับที่	รายการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1	ค่าเส้นใย (2 กิโลกรัม) ที่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น	112.13
2	ค่าน้ำ (40 ลิตร x 3 ครั้ง) 120 ลิตร	1.92
3	ค่าไฟฟ้า (746 วัตต์ x 1.5 ชั่วโมง) /1000 = 1.119 หน่วย	9.16
4	ค่าแก๊ซ 1 ชัวโมง	23.00
5	ค่าเอ็นไซม์กำจัดแป้ง ใช้ 5 มล./ ลิตร (200 ml x 0.06 บาท)	12.00
	ลอกแป้งเส้นใยแห้ง 2 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย	158.21
	ลอกแป้งเส้นใยแห้ง 1 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย	79.10
6	คิดค่าแรงงาน (ค่าแรงชั่วโมงละ 37.5 บาท x 1.5 ชั่วโมง)	
	คิดค่าแรงงาน ลอกแป้งเส้นใยแห้ง 2 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย (158.21 + 56.25)	214.46
	คิดค่าแรงงาน ลอกแป้งเส้นใยแห้ง 1 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย	107.23

ตารางที่ 4 ค่าใช้จ่ายการกำจัดสิ่งสกปรก ประเภทไขมัน น้ำมัน (Scouring) บนเส้นใย (1.5 ชั่วโมง/ เส้นใยแห้ง 2 กิโลกรัม)

ลำดับที่	รายการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1	ค่าเส้นใย (2 กิโลกรัม) ที่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น และลอกแป้ง	214.46
2	ค่าน้ำ (40 ลิตร x 3 ครั้ง) 120 ลิตร	1.92
3	ค่าไฟฟ้า (746 วัตต์ x 1.5 ชั่วโมง) /1000 = 1.119 หน่วย	9.16
4	ค่าแก๊ซ 1 ชัวโมง	23.00
5	ค่าโซดาไฟ ใช้ 20 มล./ ลิตร (800 ml x 0.04 บาท)	32.00
	กำจัดสิ่งสกปรกเส้นใยแห้ง 2 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย	280.24
	กำจัดสิ่งสกปรกเส้นใยแห้ง 1 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย	140.12
6	คิดค่าแรงงาน (ค่าแรงชั่วโมงละ 37.5 บาท x 1.5 ชั่วโมง)	
	คิดค่าแรงงาน กำจัดสิ่งสกปรกเส้นใยแห้ง 2 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย (280.24 + 56.25)	336.49
	คิดค่าแรงงาน กำจัดสิ่งสกปรกเส้นใยแห้ง 1 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย	168.24

ตารางที่ 5 ค่าใช้จ่ายการกำจัดสิ่งสกปรก ประเภทไขมัน น้ำมัน (Scouring) และ ฟอกขาว (Bleaching) เส้นใยพร้อมกัน (1.5 ชั่วโมง/ เส้นใยแห้ง 2 กิโลกรัม)

ลำดับที่	รายการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)
1	ค่าเส้นใย (2 กิโลกรัม) ที่ผ่านการทำความสะอาดเบื้องต้น และลอกแป้ง	214.46
2	ค่าน้ำ (40 ลิตร x 3 ครั้ง) 120 ลิตร	1.92
3	ค่าไฟฟ้า (746 วัตต์ x 1.5 ชั่วโมง) /1000 = 1.119 หน่วย	9.16
4	ค่าแก๊ซ 1 ชัวโมง	23.00
5	ค่าโซดาไฟ ใช้ 20 มล./ ลิตร (800 ml x 0.04 บาท)	32.00
6	ค่าโฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ ใช้ 30 มล./ ลิตร (1,200 ml x 0.04 บาท)	48.00
	กำจัดไขมัน และฟอกขาวเส้นใยแห้ง 2 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย	328.54
	กำจัดไขมัน และฟอกขาวเส้นใยแห้ง 1 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย	164.27
7	คิดค่าแรงงาน (ค่าแรงชั่วโมงละ 37.5 บาท x 1.5 ชั่วโมง)	
	คิดค่าแรงงาน กำจัดไขมัน และฟอกขาวเส้นใยแห้ง 2 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย (328.54+ 56.25)	384.79
	คิดค่าแรงงาน กำจัดไขมัน และฟอกขาวเส้นใยแห้ง 1 กิโลกรัม มีค่าใช้จ่าย	192.39

4. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรต้นแบบสำหรับแยกเส้นใยและทำความสะอาดเส้นใยจากผลลูกตาลสุก โดยมีผลการศึกษาและพัฒนาซึ่งสรุปได้ว่าเครื่องจักรต้นแบบสำหรับแยกเส้นใยใช้หลักการแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง และติดตั้งหนามเหล็กเพื่อดึงเส้นใยออกจากผลลูกตาล เครื่องสามารถแยกเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 95-98 ภายในระยะเวลา 5-7 นาที สำหรับเครื่องจักรต้นแบบทำความสะอาดเส้นใย ได้ออกแบบระบบให้สามารถกำจัดแป้ง สิ่งสกปรก และฟอกขาวเส้นใยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เส้นใยที่แยกได้จากเครื่องจักรมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เช่น เป็นฉนวนกันความร้อน มีความแข็งแรง และสามารถนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ กระบวนการทำความสะอาดช่วยปรับปรุงคุณภาพของเส้นใย โดยกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวสามารถลดสิ่งปนเปื้อนและทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานต่อไป โดยต้นทุนการทำความสะอาดและปรับปรุงเส้นใยขึ้นอยู่กับกระบวนการ โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 56-192 บาทต่อกิโลกรัม

การพัฒนาเครื่องจักรต้นแบบดังกล่าวสามารถลดการเหลือทิ้งของเส้นใยผลลูกตาล และเพิ่มมูลค่าให้กับเศษเหลือจากการเกษตร นอกจากนี้ยังพบว่า ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการพัฒนา

เครื่องจักรเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการทิ้งเศษเหลือของผลผลิตทางการเกษตรได้อย่างยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] Saravanan, D., Pallavi, N., Balaji, R., and Parthiban, R. (2008). Investigations into structural aspects of *Borassus flabellifer* L (palmyrah palm) fruit fibres. The Journal of The Textile Institute, 99 (2), 133-140.

[2] Sudhakara, P., Jagadeesh, D., Wang, Y., Prasad, C. V., Devi, A. K., Balakrishnan, G., Kim, B. S. and Song, J. I. (2013). Fabrication of Borassus fruit lignocellulose fiber/PP composites and comparison with jute, sisal and coir fibers. Carbohydrate polymers 98 (1), 1002-1010.

[3] Reddy, K. O., Guduri, B. R., & Rajulu, A. V. (2009). Structural characterization and tensile properties of borassus fruit fibers. Journal of Applied polymer science, 114(1), 603-611.

[4] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, จรูญ คล้ายจ้อย, กิตติศักดิ์ อริยะเครือ, ก้องเกียรติ มหาอินทร์, ศรัณย์ จันทร์แก้ว, สาครชลสาคร, ณัฐดนย์ รุ่งเรืองกิจไกร, ศิริอร วณิชโชตยานนท์, ณัฐยา พรรณรัตนศิลป์, จิตติ พัทธวณิช, เริงศักดิ์ มานะสุนทร, มนัส แป้งใส, จันทร์เพ็ญ ชุมแสง, พิทักษ์ อุปัญญ์ และ เอนก ชาวเหนือ. (2015). การประยุกต์ใช้เส้นใยจากผลลูกตาลเพื่อผลิตแผ่นกันความร้อน ตอนที่ 2 สมบัติของแผ่นกันความร้อนจากผ้าม่ทอ (Nonwoven) ที่ผลิตจากเส้นใยผลลูกตาลสุกผสมเส้นใยพอลิเอสเทอร์. Colourway. 20 (116), 17-20.

[5] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, จรูญ คล้ายจ้อย, กิตติศักดิ์ อริยะเครือ, ก้องเกียรติ มหาอินทร์, ศรัณย์ จันทร์แก้ว, สาครชลสาคร, ณัฐดนย์ รุ่งเรืองกิจไกร, ศิริอร วณิชโชตยานนท์, ณัฐยา พรรณรัตนศิลป์, จิตติ พัทธวณิช, เริงศักดิ์ มานะสุนทร, มนัส แป้งใส, จันทร์เพ็ญ ชุมแสง, พิทักษ์ อุปัญญ์ และ เอนก ชาวเหนือ. (2015). การประยุกต์ใช้เส้นใยจากผลลูกตาลเพื่อผลิตแผ่นกันความร้อน ตอนจบ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบแผ่นกันความร้อนจากผ้าไม่ทอ (Nonwoven) ที่ผลิตจากเส้นใยผลลูกตาลสุกผสมเส้นใยพอลิเอสเทอร์. Colourway. 20 (117), 45-48

[6] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, เส้นใยจากวัสดุทางการเกษตรสู่อุตสาหกรรมสิ่งทอเทคนิค ตอนที่ 1 เส้นใยจากผลตาล เพื่อผลิตแผ่นกันความร้อน. Textile digest. 23 (195), 28-30.

[7] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, จรูญ คล้ายจ้อย, กิตติศักดิ์ อริยะเครือ, ก้องเกียรติ มหาอินทร์, ศรัณย์ จันทร์แก้ว, สาครชลสาคร, ณัฐดนย์ รุ่งเรืองกิจไกร, ศิริอร วณิชโชตยานนท์, ณัฐยา พรรณรัตนศิลป์, จิตติ พัทธวณิช, เริงศักดิ์ มานะสุนทร, มนัส แป้งใส, จันทร์เพ็ญ ชุมแสง, พิทักษ์ อุปัญญ์ และ เอนก ชาวเหนือ. (2014). การประยุกต์ใช้เส้นใยจากผลลูกตาลเพื่อผลิตแผ่นกันความร้อน ตอนที่ 1 สมบัติเชิงกายภาพและเชิงเคมีของเส้นใยจากผลลูก. Colourway.20 (115), 23-26.

[8] Boopathi, L., Sampath, P. S., and Mylsamy, K. (2012). Investigation of physical, chemical and mechanical properties of raw and alkali treated Borassus fruit fiber. Composites Part B: Engineering, 43(8), 3044-3052.

[9] Reddy, K. O., Maheswari, C. U., Rajulu, A. V., and Guduri, B. R. (2009). Thermal degradation parameters and tensile properties of Borassus flabellifer fruit fiber reinforcement. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 28(18), 2297-2301.

[10] Sudhakara, P., Kamala Devi, A. P., Venkata Prasad, C., Obi Reddy, K., Dong Woo, L., Kim, B. S., and Song, J. I. (2012). Thermal, mechanical, and morphological properties of maleated polypropylene compatibilized Borassus fruit fiber/polypropylene composites. Journal of Applied Polymer Science. 128(2), 976-982.