

การผลิตเยื่อกระดาษจากเส้นใยใบสับประรดสำหรับทำกระดาษนำไฟฟ้า

Production of Pulp from Pineapple Leaf Fiber for Conductive Paper

ศิริธร ไยสูง¹, สุธิดา อ่าบางกระทุ่ม¹, บุญชัย ดั่งสวัสดิ์¹, อาฒยา สันตะกุล²,

สุพจน์ สรทองหลาง³, ชุตินา อุปถัมภ์⁴ และ อภิชาติ พองพลา^{5*}

¹สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

²สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการความปลอดภัยของอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

³สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

^{4,5}สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

Siritorn Yaisong¹, Suthida Ambangkrathum¹, Boonchai Duangsawat¹, Ataya Santakul²,

Suphot Srathonglang³, Chutima Oopathump⁴ and Aphichard Phongphala^{5*}

¹Division of Chemistry, Faculty of Science and Technology,

Rajamangala University of Technology Krungthep,

2 Nanglinchi Rd., Thungmahamek, Sathorn, Bangkok, 10120, Thailand

²Division of Food Safety Management and Technology, Faculty of Science and Technology,

Rajamangala University of Technology Krungthep,

2 Nanglinchi Rd., Thungmahamek, Sathorn, Bangkok, 10120, Thailand

³Division of Mathematics, Faculty of Science and Technology,

Rajamangala University of Technology Krungthep,

2 Nanglinchi Rd., Thungmahamek, Sathorn, Bangkok, 10120, Thailand

^{4,5}Division of Physic, Faculty of Science and Technology,

Rajamangala University of Technology Krungthep,

2 Nanglinchi Rd., Thungmahamek, Sathorn, Bangkok, 10120, Thailand

*Corresponding author Email: Apichard.p@mail.rmutk.ac.th

(Received: September 18, 2025 / Revised: November 24, 2025 / Accepted: December 18, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีที่เหมาะสมในการทำกระดาษนำไฟฟ้าจากเส้นใยใบสับประรด เริ่มจากการหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการทำกระดาษจากใบสับประรด โดยศึกษาชนิดของตัวทำละลายที่ดีที่สุดระหว่างน้ำประปา และน้ำปูนใส นอกจากนี้ยังศึกษาระยะเวลาที่ดียิ่งที่สุดในขั้นตอนการต้มเส้นใยในสารละลายทั้งสอง โดยศึกษาเวลาต้ม 2, 4 และ 6 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดคือ ต้มเส้นใยใบสับประรดในน้ำปูนใส ระยะเวลา 6 ชั่วโมง กระดาษที่ได้มีลักษณะการกระจายตัวของเยื่ออย่างสม่ำเสมอ การยึดเกาะ และความหนาแน่นของเยื่อมากเพียงพอที่นำมาทำกระดาษ ดูได้จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ และน้ำหนักของกระดาษ หลังจากนั้นทดสอบคุณภาพของกระดาษ ได้แก่ น้ำหนักเฉลี่ยของกระดาษมีค่าเท่ากับ 3.77 ± 0.02 กรัม, การวัดมุมสัมผัสของกระดาษมีค่าเท่ากับ 104.30 ± 0.00 องศา, การหาสภาพยืดหยุ่นของกระดาษมีค่าเท่ากับ 1.60×10^6 นิวตันต่อตารางเมตร และสมบัติการทึบแสงของกระดาษมีค่าเท่ากับ 9.40 ± 0.01 ลักซ์ ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมนำไปประยุกต์ใช้ในการทำกระดาษนำไฟฟ้าเบื้องต้น หลังจากนั้นนำกระดาษตามเงื่อนไขที่ดีที่สุดมาผสมกับคาร์บอนนาโนทิวบ์ โดยทำการวัดสภาพการนำไฟฟ้าจากกระดาษที่ผสมคาร์บอนนาโนทิวบ์ที่ความเข้มข้น 2%, 3%, 4%, 5% w/w ได้ค่าดังนี้

2.50×10^{-5} โอห์ม, 2.94×10^{-4} โอห์ม, 4.05×10^{-4} โอห์ม และ 2.06×10^{-3} โอห์ม สรุปได้ว่าสภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามปริมาณคาร์บอนนาโนทิวบ์ที่ใส่เข้าไป

คำสำคัญ : กระดาษ ใบสับปะรด การนำไฟฟ้า น้ำปูนใส คาร์บอนนาโนทิวบ์

Abstract

Objective of this research is to study the suitable method for making conductive paper from pineapple leaf fibers. Firstly, the suitable solvent was considered between tap water and limewater. Next, boiled times was also study, 2, 4 and 6 hours, respectively. It was found that the suitable solvent was limewater it took 6 hours. Picture form Microscope and paper weight indicated the characteristics of pineapple leaf paper. Surface paper showed uniform pulp distribution sufficient adhesion and pulp density. After that, the paper quality was tested such as the weight of paper was 3.77 ± 0.02 g, the contact angle was 104.30 ± 0.00 degrees, the elasticity of paper 1.6×10^6 N/m² and the opacity of the paper was 9.40 ± 0.01 lux. Which suitable qualification are applied in making basic conductive paper. Conductivity of sample was measured from paper mixed with carbon nanotubes concentration at 2%, 3%, 4%, 5% w/w. These values are as follows: 2.50×10^{-5} ohms, 2.94×10^{-4} ohms, 4.05×10^{-4} ohms, and 2.06×10^{-3} ohms. The result indicated that conductivity of paper vary with carbon nanotube concentration.

Keywords: Paper, Pineapple leaf, Conductivity, Limewater, Carbon nanotube

1. บทนำ

สับปะรด (*Ananas comosus*) [1] เป็นพืชล้มลุก, มีพุ่มทรงใหญ่ และอาศัยอยู่ใต้ดิน ใบมีลักษณะเป็นใบรูปหอกยาว ปลายใบแหลม, มีหนามแหลมตรงปลาย, ใบเรียงสลับซ้อนกันรอบต้น, ใบมีสีเขียว และไม่มีก้านใบ ประเทศไทยนิยมปลูกต้นสับปะรดทั่วทุกภาค และปลูกได้ทุกฤดูกาล มีประโยชน์มากมีสรรพคุณทางยา อาทิ เช่น ช่วยลดคอแห้ง, แก้กษัยน้ำ และป้องกันการเจ็บคอ

ปัจจุบันมีการทำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกระดาษมากขึ้น เนื่องมาจากหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตของสับปะรดในสวน [2] ทำให้ต้องมีการตัดใบของสับปะรดที่เหลือทิ้ง ซึ่งใบสับปะรดที่ถูกตัดทิ้งจะยังคงอยู่ในสวนนั้น จะไม่มีการนำมาใช้งานต่อ และจะต้องมีการกำจัดใบสับปะรดโดยการเผาโดยปัญหาจากการเผาทำให้เกิดมลพิษทางดิน และมลพิษทางอากาศจำนวนมาก เพราะทำให้เกิดควันดำ เกิดความอันตรายเมื่อได้รับเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ หลังจากการเก็บเกี่ยวสับปะรด จึงได้มีวิธีการเพิ่มมูลค่าของใบสับปะรด โดยการนำใบสับปะรดมาทำเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าทางด้านการตลาดด้านวิทยาศาสตร์ รวมทั้งยังทำกระดาษที่สามารถนำไฟฟ้าได้ โดยใช้สารที่สามารถนำไฟฟ้า [3],[4],[5],[14] เช่น ท่อนาโนคาร์บอน นำมาผสมกับเส้นใยสับปะรด ทำเป็นแผ่นกระดาษจากใบสับปะรด มีการเพิ่มสารที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานเยื่อกระดาษที่มีความปลอดภัย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การใช้ตัวทำละลายที่ไม่มีความเป็นพิษต่อผู้ใช้งาน [2] เช่น น้ำปูนใส ทั้งระยะเวลาในการต้มที่มากขึ้น การสลายตัวของเส้นใยก็ดีขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์กระดาษจากใบสับปะรดที่สามารถนำไฟฟ้าได้ใกล้เคียงกับแผ่นโลหะ มีน้ำหนักเบา ซึ่งจะมีความยืดหยุ่น

นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในอุปกรณ์ไฟฟ้า, เครื่องมือเชิงไฟฟ้า, กล้อง, ไมโครโฟน, แอลอีดี, ตัวควบคุมมอเตอร์, ลำโพง, ขั้วอิเล็กทรอนิกส์ และขั้วแบตเตอรี่แทนการใช้โลหะเพื่อนำไฟฟ้า [6],[7],[8],[9],[10] เพราะเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพารามิเตอร์ทางกายภาพเป็นสัญญาณของไฟฟ้าส่งผลให้เกิดการผลิตพลังงานในรูปของความร้อน หรือพลังงานในรูปแบบของการเคลื่อนที่ เนื่องจากสามารถนำไฟฟ้าได้ดี[11],[12],[13] มีน้ำหนักเบา ทำให้มีรูปร่างแบบอื่นได้ง่ายกว่าการใช้โลหะ, มีการย่อยสลายได้ง่ายกว่าการใช้โลหะ และใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายน้อยกว่า ทั้งยังมีราคาถูก และมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน จึงนำมาทำเป็นกระดาษที่สามารถนำไฟฟ้า

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

สับปะรดจากสวนในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยตัดเอาเฉพาะ ใบสับปะรดให้มีขนาดความยาวตั้งแต่ 30 เซนติเมตร ขึ้นไป นำใบสับปะรดมาล้างน้ำให้สะอาด และนำไปฟุ้งแดดให้แห้งสนิท แสดงใบสับปะรดสดก่อนนำมาตากแดดให้แห้งตามรูปที่ 1

สารเคมีที่ใช้ได้แก่ ปูนแดง (Pun-daeng), โซเดียมเบนโซเอต (Sodium benzoate), เอทานอล (Ethanol), โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol), ผงคาร์บอน นาโนทิวบ์ (Carbon nanotube powder)

นำใบสับปะรดมาล้างด้วยน้ำสะอาด ตากแดดประมาณ 2-5 วัน แล้วตัดให้มีขนาด 1 นิ้ว ตัดส่วนที่เน่าเสียออกให้หมด จากนั้นนำปูนแดงมา 200 กรัม ละลายในน้ำประปา 1 ลิตร รอให้เกิดการตกตะกอน นำสารละลายใสด้านบนมาเจือจางในน้ำอีก 5 ลิตร จะได้ค่า pH = 10-11 แล้วนำใบสับปะรด 500 กรัม ไปแช่น้ำ 1 วัน นำไปต้มกับสารละลายโดยเปรียบเทียบระหว่างน้ำประปา และน้ำปูนใส ปริมาณ 12 ลิตร โดยเปรียบเทียบเวลาในการต้ม 2, 4 และ 6 ชั่วโมงด้วย เมื่อครบเวลาใช้กระชอนตักวัตถุดิบ และนำไปแช่ในน้ำเย็น นำใบสับปะรดมาปั่นประมาณ 10 นาที สังเกตด้วยตา เยื่อจะมีลักษณะละเอียดและนุ่มฟู อาจจะเหลือเส้นใยบางส่วน นำเยื่อใบสับปะรดที่ปั่นแล้วมาแช่ด้วยโซเดียมเบนโซเอต 0.1% w/v แช่เป็นเวลา 5-10 นาที ทำการเตรียมสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 10% w/v เพื่อขึ้นรูปเยื่อ นำไปตากแดดจนแห้งสนิท แล้วนำไปทดสอบคุณภาพของกระดาษที่ทำด้วยมือ ได้แก่ ลักษณะเยื่อที่ได้จากการต้มด้วยน้ำประปา และน้ำปูนใสโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ถ่ายภาพที่ 500 เท่า และ 1000 เท่า, การหาน้ำหนักของกระดาษทดสอบโดยตัดกระดาษขนาด 10x10 เซนติเมตร จำนวน 3 แผ่น ชั่งหามวลของกระดาษที่ตัดทั้ง 3 แผ่น แล้วคำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ยของกระดาษที่ชั่งได้, การวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำทดสอบ โดยตัดกระดาษขนาด 1x1 นิ้ว วางบนพื้นเรียบ หยดน้ำลงบนกระดาษ ทำการวัดค่ามุมของหยดน้ำ ทำซ้ำ 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย, สภาพการยืดหยุ่นของกระดาษ ทดสอบโดยตัดกระดาษขนาด 2x10 เซนติเมตร, 4x10 เซนติเมตร และ 6x10 เซนติเมตรอย่างละ 3 แผ่น เติมลูกตุ้มน้ำหนักลงในที่ใส่น้ำหนักพร้อมวัดระยะยืดเสมอจนกระดาษขาด และบันทึกค่าผลการทดลอง และสมบัติการทึบแสงของกระดาษ ทดสอบโดยใช้เครื่องลักซ์มิเตอร์ วัดปริมาณแสงที่ส่องผ่านเข้ามาในพื้นที่ทดสอบ ความสว่างจะแสดงในหน่วยของลักซ์ (LUX) โดยมีโคมไฟเป็นแหล่งกำเนิดแสง และสร้างกล่องทึบสีดำให้มีขนาด 14.5x15.5x15 เซนติเมตร เจาะรูตรงกลางขนาด 2x2 เซนติเมตร และตัดกระดาษขนาด 10x10 เซนติเมตร จากนั้นนำไปวางที่ตำแหน่งทดสอบ ทำการวัด 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย

การทำกระดาษนำไฟฟ้าจากใบสับปะรดทำได้โดยนำเยื่อกระดาษจากใบสับปะรดที่คุณภาพดีที่สุด มาผสมกับสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 10% w/v ในอัตราส่วน 1:1 ผสมให้เข้ากัน มา 0.98 กรัม, 0.97 กรัม, 0.96 กรัม และ 0.95 กรัม ตามลำดับ นำมาใส่ลงบีกเกอร์ที่มีผงท่อนาโนคาร์บอนในอัตราส่วน 0.02 กรัม, 0.03 กรัม, 0.04 กรัม และ 0.05 กรัม ตากแดดจนแห้งสนิท จากนั้นตัดกระดาษที่ผสมคาร์บอนนาโนทิวบ์ 2%, 3%, 4% และ 5% w/w ให้มีขนาด 1x1 เซนติเมตร นำมาวัดด้วยเครื่อง Digital multimeter



รูปที่ 1 ใบสับปะรดสดก่อนนำมาตากแดดให้แห้ง

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ลักษณะเยื่อที่ได้จากการต้มด้วยน้ำประปา และน้ำปูนใส

ใช้กล้องจุลทรรศน์ถ่ายภาพที่ 500 เท่า และ 1000 เท่า เพื่อดูความแตกต่างของเยื่อ ผลการถ่ายภาพแสดงในตารางที่ 1



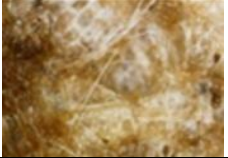
รูปที่ 2 ใบสับปะรดเมื่อต้มเสร็จแล้ว



รูปที่ 3 เยื่อใบสับปะรดที่ปั่นแล้ว

ตารางที่ 1 ลักษณะกระดาษจากเยื่อใบสับปะรดที่ได้จากการต้มด้วยน้ำประปา และน้ำปูนใส

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวทำละลาย	คำอธิบาย	รูปภาพของเยื่อที่ 500 เท่า	รูปภาพของเยื่อที่ 1000 เท่า
2	น้ำประปา	มีการแตกตัวของเส้นใยน้อยที่สุด มีขนาดความกว้างของเส้นใยที่มากที่สุด		
4		มีการแตกตัวของเส้นใยน้อย มีขนาดความกว้างของเส้นใยที่มาก		
6		มีการแตกตัวของเส้นใยมาก มีขนาดความกว้างของเส้นใยที่เล็กลง		
2	น้ำปูนใส	มีการแตกตัวของเส้นใยน้อย มีขนาดความกว้างของเส้นใยที่เล็กลง		

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวทำละลาย	คำอธิบาย	รูปภาพของเยื่อที่ 500 เท่า	รูปภาพของเยื่อที่ 1000 เท่า
4		มีการแตกตัวของเส้นใยมากที่สุด มี ขนาดความกว้างของเส้นใยที่เล็กลง		
6		มีการแตกตัวของเส้นใยมากที่สุด มี ขนาดความกว้างของเส้นใยที่เล็ก ที่สุด		

รูปที่ 2 และ รูปที่ 3 แสดงใบสับปรดเมื่อต้มเสร็จแล้วและเยื่อใบสับปรดที่ปั่นแล้วตามลำดับ จากตารางที่ 1 พบว่า ตัวทำละลายน้ำปูนใสที่ระยะเวลาในการต้ม 6 ชั่วโมง สามารถย่อยสลายเส้นใยของใบสับปรดให้มีขนาดเล็กลงได้ดีที่สุด มีการแตกตัวของเส้นใยจำนวนมากที่สุด มีการกระจายตัวของเส้นใยอย่างสม่ำเสมอ มีลักษณะพื้นผิวสัมผัสที่เกิดจากการกระจายตัวของเส้นใยมากกว่าแบบอื่น และลักษณะของเส้นใยใบสับปรดมีความเหมาะสมที่สุดต่อการนำไปขึ้นรูปเยื่อกระดาษนำไฟฟ้าจากใบสับปรดต่อไป

3.2 การหาน้ำหนักของกระดาษ

ทดสอบโดยการตัดกระดาษขนาด 10x10 เซนติเมตร จำนวน 3 แผ่น ซึ่งหามวลของกระดาษที่ตัดทั้ง 3 แผ่น แล้วคำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ยของกระดาษที่ชั่งได้

ตารางที่ 2 การหาน้ำหนักของกระดาษที่ต้มด้วยน้ำประปา และน้ำปูนใส

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวทำละลาย	น้ำหนักของกระดาษที่ชั่งได้ (กรัม)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ค่าเฉลี่ย
2	น้ำประปา	3.39	3.42	3.40	3.40±0.02
	น้ำปูนใส	3.42	3.45	3.46	3.44±0.02
4	น้ำประปา	3.38	3.37	3.32	3.36±0.03
	น้ำปูนใส	3.62	3.63	3.63	3.63±0.01
6	น้ำประปา	3.74	3.76	3.75	3.74±0.01
	น้ำปูนใส	3.75	3.77	3.78	3.77±0.02

จากตารางที่ 2 พบว่า ตัวทำละลายน้ำปูนใสที่ระยะเวลาในการต้ม 6 ชั่วโมง มีค่าน้ำหนักของกระดาษที่มากที่สุด เพราะมีการกระจายตัวของเส้นใยใบสับปรดดีกว่าตัวอื่น เส้นใยมีการแตกตัวมากที่สุด มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยของกระดาษเท่ากับ 3.77±0.02 กรัม

3.3 การวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำของกระดาษ

ทดสอบโดยการตัดกระดาษขนาด 1x1 นิ้ว วางบนพื้นเรียบ หยดน้ำลงบนกระดาษ และทำการวัดค่ามุมของหยดน้ำ ทำซ้ำ 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 3 การวัดมุมสัมผัสของหยดน้ำของกระดาษที่ต้มด้วยน้ำประปา และน้ำปูนใส

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวทำละลาย	มุมสัมผัส (องศา)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
2	น้ำประปา	43.40	43.40	43.40	43.40±0.00
	น้ำปูนใส	56.60	56.70	56.70	56.67±0.06
4	น้ำประปา	71.70	71.70	71.70	71.70±0.00
	น้ำปูนใส	78.20	78.20	78.20	78.20±0.00
6	น้ำประปา	84.60	84.50	84.50	84.53±0.06
	น้ำปูนใส	104.30	104.30	104.30	104.30±0.00

จากตารางที่ 3 พบว่า ตัวทำละลายน้ำปูนใสที่ระยะเวลาในการต้ม 6 ชั่วโมง มีค่าของมุมสัมผัสเท่ากับ 104.30±0.00 องศา จัดอยู่ในแบบ Hydrophobic เพราะเส้นใยมีลักษณะที่เล็กมาก ทำให้ผิวสัมผัสมีความแข็งแรงน้อยที่สุด ทำให้การดึงดูดระหว่างน้ำกับพื้นพื้นน้อยลง สามารถอธิบายจากปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว (Lotus effect) พื้นผิวที่มีความขรุขระระดับไมโครเมตร หรือระดับนาโนเมตร จึงทำให้หยดน้ำมีลักษณะเป็นแบบไม่ชอบน้ำ ทำให้โมเลกุลของน้ำเกิดแรงยึดเหนี่ยวกับวัสดุจึงเกิดมุมสัมผัสมาก

3.4 การหาสภาพการยึดหยุ่นของกระดาษ

ทดสอบโดยการตัดกระดาษขนาด 2x10 เซนติเมตร, 4x10 เซนติเมตร และ 6x10 เซนติเมตรอย่างละ 3 แผ่น เติมน้ำลงในภาชนะที่ใส่น้ำหนักพร้อมวัดระยะยืดเสมอจนกระดาษขาด และบันทึกค่าผลการทดลอง

ตารางที่ 4 การหาสภาพการยึดหยุ่นของกระดาษที่ต้มด้วยน้ำประปา และน้ำปูนใสของกระดาษขนาด 2x10 เซนติเมตร

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวทำละลาย	σ (N/m ²)	ϵ	σ/ϵ (N/m ²)
2	น้ำประปา	2.04×10 ⁵	0.17	1.20×10 ⁶
	น้ำปูนใส	2.06×10 ⁵	0.17	1.21×10 ⁶
4	น้ำประปา	2.11×10 ⁵	0.17	1.24×10 ⁶
	น้ำปูนใส	2.16×10 ⁵	0.17	1.27×10 ⁶
6	น้ำประปา	2.21×10 ⁵	0.17	1.30×10 ⁶
	น้ำปูนใส	2.28×10 ⁵	0.17	1.34×10 ⁶

ตารางที่ 5 การหาสภาพการยึดหยุ่นของกระดาศที่ต้มด้วยน้ำประปา และน้ำปูนใสของกระดาศขนาด 4x10 เซนติเมตร

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวทำละลาย	σ (N/m ²)	ϵ	σ/ϵ (N/m ²)
2	น้ำประปา	2.22×10^5	0.17	1.31×10^6
	น้ำปูนใส	2.30×10^5	0.17	1.35×10^6
4	น้ำประปา	2.31×10^5	0.17	1.36×10^6
	น้ำปูนใส	2.36×10^5	0.17	1.39×10^6
6	น้ำประปา	2.40×10^5	0.17	1.41×10^6
	น้ำปูนใส	2.47×10^5	0.17	1.45×10^6

ตารางที่ 6 การหาสภาพการยึดหยุ่นของกระดาศที่ต้มด้วยน้ำประปา และน้ำปูนใสของกระดาศขนาด 6x10 เซนติเมตร

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวทำละลาย	σ (N/m ²)	ϵ	σ/ϵ (N/m ²)
2	น้ำประปา	2.40×10^5	0.17	1.41×10^6
	น้ำปูนใส	2.45×10^5	0.17	1.44×10^6
4	น้ำประปา	2.50×10^5	0.17	1.47×10^6
	น้ำปูนใส	2.55×10^5	0.17	1.50×10^6
6	น้ำประปา	2.64×10^5	0.17	1.55×10^6
	น้ำปูนใส	2.72×10^5	0.17	1.60×10^6

จากตารางที่ 4 ถึงตารางที่ 6 พบว่า ตัวทำละลายน้ำปูนใสที่ระยะเวลาในการต้ม 6 ชั่วโมง มีค่ามอดูลัสที่มากที่สุดเท่ากับ 1.60×10^6 N/m² ซึ่งแสดงว่า วัสดุมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงมาก มีความยืดหยุ่นของกระดาศต่อการรับแรงดึงจนทำให้กระดาศขาดได้ดีที่สุด เป็นการเปลี่ยนรูปร่างไปอย่างถาวร เมื่อมีแรงดึงมากกระทำที่วัสดุจนทำให้ขาด และไม่สามารถกลับสู่สภาพปกติ

3.5 การหาความทึบแสงของกระดาศ

ทดสอบโดยใช้เครื่องลักซ์มิเตอร์ วัดปริมาณแสงที่ส่องผ่านเข้ามาในพื้นที่ทดสอบ ความสว่างจะแสดงในหน่วยของลักซ์ (LUX) โดยมีโคมไฟเป็นแหล่งกำเนิดแสง และสร้างกล่องทึบสีดำให้มีขนาด 14.5x15.5x15 เซนติเมตร เจาะรูตรงกลางขนาด 2x2 เซนติเมตร และตัดกระดาศขนาด 10x10 เซนติเมตร จากนั้นนำไปวางที่ตำแหน่งทดสอบ ทำการวัด 3 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย

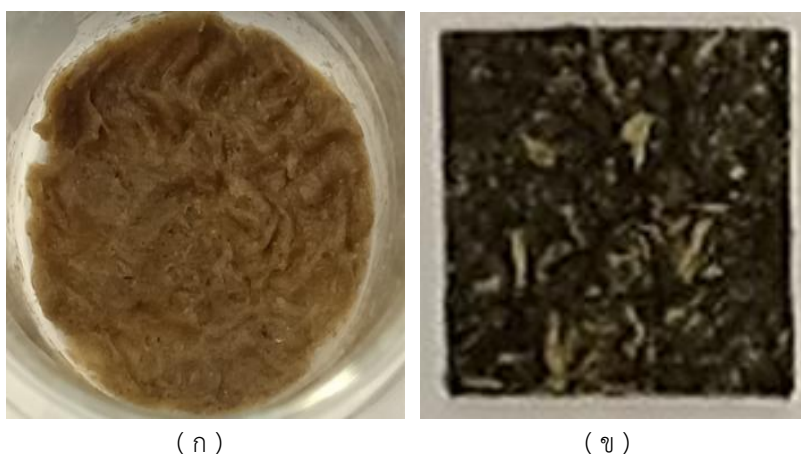
ตารางที่ 7 การหาความทึบแสงของกระดาศที่ต้มด้วยน้ำประปา และน้ำปูนใส

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวทำละลาย	ความทึบแสง (Lux)			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
2	น้ำประปา	9.36	9.37	9.38	9.37 ± 0.01
	น้ำปูนใส	9.36	9.38	9.36	9.37 ± 0.01
4	น้ำประปา	9.37	9.38	9.35	9.38 ± 0.01
	น้ำปูนใส	9.36	9.39	9.40	9.38 ± 0.01
6	น้ำประปา	9.38	9.39	9.39	9.39 ± 0.01
	น้ำปูนใส	9.39	9.40	9.40	9.40 ± 0.01

จากตารางที่ 7 พบว่า กระดาษทุกชนิดมีความทึบแสงใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงว่า แสงที่ผ่านเข้ามาขึ้นอยู่กับความหนา ไม่ขึ้นอยู่กับสภาพเส้นใยใบสับปรด เพราะกระดาษมีความหนาใกล้เคียงกัน

3.2 กระดาษนำไฟฟ้าจากใบสับปรด

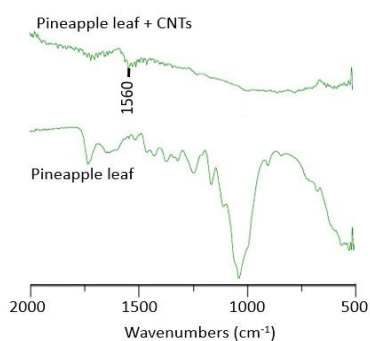
กระดาษนำไฟฟ้าทำได้โดยนำเยื่อใบสับปรดมาผสมกับโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 10% w/v ในอัตราส่วน 1:1 ดังภาพที่ 2 และชั่งมา 0.98 กรัม, 0.97 กรัม, 0.96 กรัม และ 0.95 กรัม ตามลำดับ นำมาผสมกับผงคาร์บอนนาโนทิวบ์ 0.02, 0.03, 0.04 และ 0.05 กรัม ตามลำดับ เป็นสารนำไฟฟ้าที่ผสมกับเอทานอลอย่างละ 1 มิลลิลิตร เพื่อช่วยในการผสมให้เกิดการกระจายตัวได้ดี ทั้งยังระเหยได้ง่าย และไม่มีการตกค้าง ทำการอัดให้เรียบในภาชนะบรรจุ ตากแดดจนแห้งสนิท และลอกออกจากภาชนะ จะได้กระดาษน้ำหนัก 1 กรัม ที่ความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวบ์ 2% w/w, 3% w/w, 4% w/w และ 5% w/w ตามลำดับ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 (ก) กระดาษจากใบสับปรดผสมโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 10% w/v
(ข) กระดาษนำไฟฟ้า(ผสมคาร์บอนนาโนทิวบ์)จากใบสับปรดขนาด 1x1 เซนติเมตร



รูปที่ 5 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคคาร์บอนนาโนทิวบ์บนกระดาษนำไฟฟ้าจากใบสับปรด

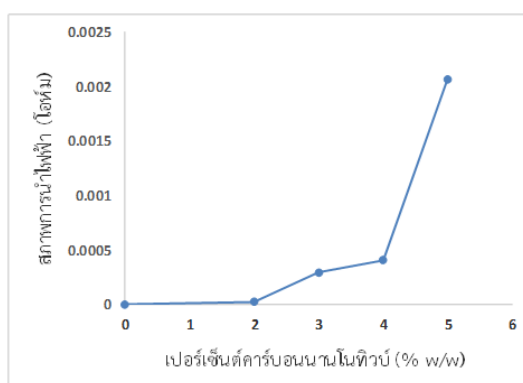


รูปที่ 6 FTIR สเปกตรัมของคาร์บอนนาโนทิวบ์บนกระดาษนำไฟฟ้าจากใบสับปรด

จากรูปที่ 5 แสดงสัณฐานวิทยาของอนุภาคคาร์บอนนาโนทิวบ์บนกระดาษนำไฟฟ้าจากใบสับปะรด เป็นการยืนยันบ่งชี้ว่ามีคาร์บอนนาโนทิวบ์ในกระดาษจากใบสับปะรดจริง และจากรูปที่ 6 พิกซ์ที่เกิดจาก carboxylate anion stretch ที่เลขคลื่น $1,560\text{ cm}^{-1}$ เป็นพิกซ์หลักของคาร์บอนนาโนทิวบ์

ตารางที่ 8 การวัดสภาพการนำไฟฟ้าของกระดาษที่ต้มด้วยน้ำปูนใส

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวทำละลาย	เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวบ์ (%w/w)	สภาพการนำไฟฟ้า (โอห์ม)
6	น้ำปูนใส	2	0.000025
6	น้ำปูนใส	3	0.000294
6	น้ำปูนใส	4	0.000405
6	น้ำปูนใส	5	0.002060



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวบ์ (% w/w) และสภาพการนำไฟฟ้า(โอห์ม)

จากตารางที่ 8 และรูปที่ 7 พบว่า เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวบ์ยิ่งเพิ่มมากขึ้น การนำไฟฟ้ายิ่งเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน เนื่องจากคาร์บอนนาโนทิวบ์เกิดจากคาร์บอนที่มีการต่อกันเป็นสายจำนวนมากจนทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำกระดาษจากใบสับปะรด ผลจากการศึกษาพบว่า ตัวทำละลายที่เหมาะสม คือ น้ำปูนใสที่ระยะเวลาในการต้ม 6 ชั่วโมงเนื่องจากมีลักษณะการกระจายตัวของเยื่ออย่างสม่ำเสมอ มีการยึดเกาะที่ดีที่สุด และความหนาแน่นของเยื่อมากเพียงพอที่จะนำมาทำกระดาษ หลังจากนั้นทดสอบคุณภาพของกระดาษ ได้แก่ น้ำหนักเฉลี่ยของกระดาษมีค่าเท่ากับ 3.77 ± 0.02 กรัม, การวัดมุมสัมผัสของกระดาษมีค่าเท่ากับ 104.30 ± 0.00 องศา, การหาสภาพการยืดหยุ่นของกระดาษมีค่าเท่ากับ 1.60×10^6 นิวตันต่อตารางเมตร และความทึบแสงของกระดาษมีค่าเท่ากับ 9.40 ± 0.01 ลักซ์ ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมนำไปประยุกต์ในการทำกระดาษนำไฟฟ้าจากใบสับปะรด และเมื่อนำมาทำเป็นกระดาษนำไฟฟ้าโดยผสมกับคาร์บอนนาโนทิวบ์ พบว่ายิ่งความเข้มข้นของคาร์บอนนาโนทิวบ์มากขึ้น สภาพการนำไฟฟ้าก็เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

ข้อดีของการผลิตกระดาษนำไฟฟ้า ได้แก่ การผลิตที่ไม่ใช้สารเคมีในการต้มโดยใช้ น้ำปูนใสที่เป็นเบสได้มาจากธรรมชาติ มีค่า pH อยู่ที่ 10-11 ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน การใช้ตัวประสานที่ไม่เป็นอันตรายต่อนำมาทดสอบ และผู้ใช้งานซึ่งเมื่อสารโพลีไวนิลแอลกอฮอล์โดนความร้อนจะไม่เกิดก๊าซที่มีความเป็นอันตราย สามารถล้างออกได้ง่าย สามารถย่อยสลายได้ง่าย มีราคาถูก เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมโดยลักษณะทั่วไปของกระดาษที่ดี คือ ต้องเป็นแผ่นเหนียว, ไม่ขาดง่าย, ไม่มีรอย

ทะเล, ไม่มีสิ่งปนเปื้อน หรือรอยตำหนิ กระดาษสามารถนำไฟฟ้าได้ดี แต่จุดสูงสุดของการนำไฟฟ้าในกระดาษจะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม ผู้สนใจที่จะศึกษาต่อไปต่อยอดในการทำงานวิจัยต่อไปได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการผลิตเยื่อกระดาษจากเส้นใยใบสับปะรดสำหรับทำกระดาษนำไฟฟ้า ขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่มอบโอกาสในการนำเสนองานวิจัยชิ้นนี้ และสุดท้ายนี้ ขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนสนับสนุนในทุกด้านเพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงอย่างดี

6. อ้างอิง

- [1] วรภัทร ลัคนทินวงศ์. (2546). กระดาษจากใบของสับปะรดและอุตสาหกรรมของครีวเรื่อน. ใน การประชุมวิชาการ พิษสวนแห่งชาติ ครั้งที่ 3 (หน้า 221).
- [2] วีระ โชติธรรมภรณ์. (2566). การผลิตกระดาษหัตถกรรมจากเยื่อใบสับปะรด เยื่อฟางข้าวและเยื่อกากกล้วยและการเคลือบด้วยสารไคโตซาน. ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์, 23, 1–12.
- [3] Aguilar, J., Bautista-Quijano, J., & Avilés, F. (2010). Influence of carbon nanotube clustering on the electrical conductivity of polymer composite films. *Express Polymer Letters*, 4, 292–299.
- [4] Abd Razak, S. I., Ahmad Sharif, N. F., & Mat Nayan, N. H. (2014). Electrically conductive paper of polyaniline-modified pineapple leaf fiber. *Fibers and Polymers*, 15, 1107–1111. <https://doi.org/10.1007/s12221-014-1107-0>
- [5] Anderson, R. E., Guan, J., Ricard, M., et al. (2010). Multifunctional single-walled carbon nanotube–cellulose composite paper. *Journal of Materials Chemistry*, 20, 2400–2407. <https://doi.org/10.1039/B924497H>
- [6] Bauhofer, W., & Kovacs, J. (2009). A review and analysis of electrical percolation in carbon nanotube polymer composites. *Composites Science and Technology*, 69, 1486–1498.
- [7] Boonthum, D., Oopathump, C., Pakdee, U., & others. (2022). Screen-printing of functionalized MWCNT–PEDOT:PSS based solution on bendable substrate for ammonia gas sensing. *Micromachines*, 13(3), 462.
- [8] Bunshi, F., Eiichi, S., Masaki, S., & others. (2008). Electrical conductivity and electromagnetic interference shielding of nanotubes/celluloses composite papers. *Carbon*, 46, 1256–1258.
- [9] Jutarut, I., Piyaporn, K., Yutthawee, W., & others. (2020). Biodegradable plates made of pineapple leaf pulp with biocoatings to improve water resistance. *Journal of Materials Research and Technology*, 9, 5055–5066.
- [10] Kim, D.-H., Cho, Y.-I., Choi, J. H., et al. (2015). Conductive carbon nanotube paper by recycling waste paper. *RSC Advances*, 5(40), 32118–32123. <https://doi.org/10.1039/C5RA03312F>
- [11] Park, S., Song, Y., Ryu, B., Song, Y.-W., Lee, H., Kim, Y., Lim, J., Lee, D., Yoon, H., Lee, C., & Yun, C. (2024). Highly conductive ink based on self-aligned single-walled carbon nanotubes through inter-fiber sliding in cellulose fibril networks. *Advanced Science*, 11(40), Article 2402854. <https://doi.org/10.1002/advs.202402854>
- [12] Selvam, K. P., Nagahata, T., Kato, K., et al. (2020). Synthesis and characterization of conductive flexible cellulose carbon nanohorn sheets for human tissue applications. *Biomaterials Research*, 24, 18. <https://doi.org/10.1186/s40824-020-00192-x>

- [13] Thaibunnak, A., & Pakdee, U. (2022). Pen-based writing of functionalized MWCNT–PEDOT:PSS ink on flexible substrate for application in ammonia gas sensor. *Suranaree Journal of Science and Technology*, 29(2), 010119 (1–7).
- [14] Udomdej, P., & Anaya, T. (2019). Growth of MWCNTs on plasma ion-bombarded thin gold films and their enhancements of ammonia-sensing properties using inkjet printing. *Journal of Nanotechnology*, 2019, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2019/3424915>