

<http://journal.rmutp.ac.th/>

## สมบัติการดูดซับน้ำมันทอดอาหารของนอนูฟเวนจากเส้นใยเซลลูโลส ฟางข้าว

จิตต์โสภา เกลียวศักดิ์\*

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

114 ซอยสุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร 10110

รับบทความ 24 กรกฎาคม 2563 แก้ไขบทความ 6 พฤศจิกายน 2563 ตอรับบทความ 25 ธันวาคม 2563

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสกัดเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในภาวะที่ต่างกัน (ความเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 15 ที่อุณหภูมิห้อง 60 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5 1 2 และ 3 ชั่วโมง) และศึกษาการเตรียมนอนูฟเวนฟางข้าวด้วยวิธีการผลิตแผ่นเส้นใยแบบเปียก แล้วทดสอบความสามารถในการดูดน้ำมันในแนวตั้ง การดูดซึมน้ำมัน การซึมผ่านของอากาศ และลักษณะทางกายภาพของนอนูฟเวนที่เตรียมได้พบว่า ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าว คือ สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยจะให้ปริมาณเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวร้อยละ 22 ความยาวเส้นใย 1.96 เซนติเมตร จากการทดสอบความสามารถในการดูดน้ำมัน และการดูดซึมน้ำมันของนอนูฟเวนฟางข้าว พบว่า ความสามารถในการดูดน้ำมัน และการดูดซึมน้ำมันของนอนูฟเวนฟางข้าวจะเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำมันจะซึมผ่านเข้าไปในนอนูฟเวนโดยอาศัยช่องว่างระหว่างเส้นใยของนอนูฟเวนด้วยปรากฏการณ์การซึมตามรูเล็ก และนอนูฟเวนฟางข้าวสามารถดูดน้ำมันและดูดซึมน้ำมันปาล์มก่อนทอดอาหารได้ดีกว่าน้ำมันปาล์มหลังทอดอาหาร เนื่องจากน้ำมันปาล์มก่อนทอดอาหารมีความหนืดน้อยกว่าน้ำมันปาล์มหลังทอดอาหาร โดยความหนืดเพิ่มขึ้นจากอนุพันธ์ของลิพิด และสารอื่น ๆ ที่ละลายหรือแขวนลอยในน้ำมันมากขึ้นหลังทอดอาหาร ทำให้การเคลื่อนที่ซึมผ่านของน้ำมันปาล์มหลังทอดอาหารทำได้ยากกว่าน้ำมันปาล์มก่อนทอดอาหาร จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่านอนูฟเวนฟางข้าวมีสมบัติดูดซึมน้ำมันได้

คำสำคัญ : ฟางข้าว; นอนูฟเวน; ดูดซึมน้ำมัน; การสกัด; เซลลูโลส

\* ผู้มีพันธะประสานงาน โทร: +666 2493 6689, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: [jitsopa@g.swu.ac.th](mailto:jitsopa@g.swu.ac.th)

<http://journal.rmutp.ac.th/>

## Fried Oil Absorption Property of Nonwoven from Rice Straw Cellulose Fiber

Jitsopa Chaliewsak\*

Faculty of Science, Srinakharinwirot University  
114 Sukhumvit 23, Wattana, Bangkok 10110

---

*Received 24 July 2020; Revised 6 November 2020; Accepted 25 December 2020*

### Abstract

The objectives of this research were to study cellulose fiber extraction from rice straw with sodium hydroxide in various conditions (with 5, 10 and 10% of sodium hydroxide at room temperature, 60°C and 90 °C for 0.5, 1, 2 and 3 hours) and to study rice straw nonwovens preparation by the wet-laid process. Oil wicking ability, oil absorption ability, air permeability, morphology and physical properties of prepared nonwovens were investigated. It was found that the optimal condition for cellulose fiber extraction from rice straw was 5% of sodium hydroxide at 90 °C for 2 hours. At this condition, the cellulose fiber yield of 22% and the fiber length of 1.96 cm were obtained. The oil wicking ability and oil absorption ability of rice straw nonwovens increased when weight per unit area increased. Therefore, oil absorbed into gaps between fibers of the nonwovens by capillary effect. Moreover, the nonwovens could wick and absorb virgin palm oil better than fried palm oil because virgin palm oil has a lower viscosity than fried palm oil. The viscosity increased from derived lipid and other substances which dissolve and disperse increasing after frying food. The results indicated that the rice straw nonwovens had oil absorption ability.

**Keywords :** Rice Straw; Nonwoven; Oil Absorption; Extraction; Cellulose

## 1. บทนำ

ฟางข้าวเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีปริมาณมากในประเทศไทย เนื่องจากข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย ทั้งเป็นอาหารหลักของประชาชนในประเทศและเป็นสินค้าทางการเกษตรที่มีการส่งออกมากเป็นอันดับต้นๆ ของประเทศ [1] ปัจจุบันนิยมนำฟางข้าวมาใช้ประโยชน์ด้านการเกษตร เช่น อาหารสัตว์ ปุ๋ย และวัสดุคลุมดิน และการนำฟางข้าวมาประยุกต์เป็นเครื่องจักสาน อัดแข็งเป็นวัสดุทดแทนไม้ และขึ้นรูปเป็นภาชนะต่างๆ แต่ยังไม่ได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย และยังไม่ได้รับความนิยมในระดับอุตสาหกรรม [2] ฟางข้าวเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) ซึ่งมีเซลลูโลส (Cellulose ร้อยละ 32-47) เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses ร้อยละ 19-27) และลิกนิน (Lignin ร้อยละ 5-24) เป็นองค์ประกอบ [3] การสกัดแยกเส้นใยเซลลูโลสด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่นิยมและมีประสิทธิภาพในการแยกเซลลูโลสจากวัสดุลิกโนเซลลูโลส เนื่องจากทำได้ง่ายและได้เส้นใยเซลลูโลสปริมาณมาก [4]-[6] N. Johar และ I. Ahmad [7] ได้สกัดแยกเซลลูโลสจากเปลือกข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง สำหรับเตรียมเซลลูโลสนาโนคริสตัลจากเปลือกข้าว เพื่อใช้เป็นสารเสริมแรงในฟิล์มคอมโพสิตแป้งมันสำปะหลัง M. Boontorn และคณะ [8] ได้สกัดเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวด้วยวิธีทางเคมี และวิธี Thermal Steam Explosion เพื่อใช้ในการเตรียมฉนวนความร้อน พบว่า การสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที เป็นภาวะที่เหมาะสมในการสกัด เนื่องจากได้เส้นใยเซลลูโลสที่มีค่า Aspect Ratio สูงที่สุด แต่จะได้ปริมาณเส้นใยน้อยและได้เส้นใยสั้น

เส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวสามารถนำไปใช้งานด้านสิ่งทอโดยสามารถขึ้นรูปเป็นนอนวูฟเวน (Nonwoven) ที่มีลักษณะเป็นแผ่นเส้นใยที่มีการยึด

โครงสร้างให้ติดกันเพื่อทำเป็นผืนผ้า แต่ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นเส้นด้ายและผืนผ้าได้ เนื่องจากเส้นใยฟางข้าวมีขนาดสั้น และค่อนข้างหยาบกระด้าง จึงเหมาะในการใช้งานด้านสิ่งทอเป็นนอนวูฟเวนที่มีสมบัติเฉพาะมากกว่าใช้เป็นเครื่องนุ่งห่ม V. G. Yachmenev และคณะ [9] ได้เตรียมนอนวูฟเวนคอมพอสิตระหว่างเส้นใยเซลลูโลสที่แตกต่างกัน คือ ปอแก้ว จุด แพลกซ์ และเศษฝ้าย ร่วมกับพอลิเอสเตอร์รีไซเคิล และพอลิโพรพิลีน ด้วยวิธีเข็มเจาะ (Needle Punched) นอนวูฟเวนที่ได้จะมีความคงรูปดี มีสมบัติความคงทนต่อแรงดึงและการโค้งงอดี สมบัติความเป็นฉนวนความร้อนขึ้นกับชนิดของเส้นใยเซลลูโลส อัตราส่วนของเส้นใยเซลลูโลสต่อเส้นใยสังเคราะห์ และความหนาแน่นของนอนวูฟเวน

วัสดุเซลลูโลสดูดซับน้ำมันนิยมใช้ในการดูดซับน้ำมันปิโตรเลียมที่เกิดการรั่วไหลในทะเลจากเรือเดินสมุทร X. SUN และคณะ [10] ได้ศึกษาปฏิกิริยาอะซิทธิลเลชันของฟางข้าว เพื่อเตรียมวัสดุธรรมชาติที่สามารถดูดซับน้ำมันรั่วในทะเล พบว่า ฟางข้าวที่ผ่านการทำปฏิกิริยาอะซิทธิลเลชัน มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) จึงเป็นการเตรียมวัสดุดูดซับน้ำมันจากวัสดุเหลือทิ้งได้ D. Li และคณะ [11] ได้ศึกษาการอะซิทธิลเลชันเส้นใยเซลลูโลสจากลำต้นข้าวโพดด้วยโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับน้ำมันดีเซลรั่วไหล พบว่า เส้นใยเซลลูโลสสามารถดูดซับน้ำมันดีเซลได้มากถึงร้อยละ 90 ภายใน 5 นาที ดังนั้นการอะซิทธิลเลชันเส้นใยเซลลูโลสจะทำให้เส้นใยมีสมบัติชอบน้ำมัน (Oleophilic) และไม่เปียกน้ำ Hu และคณะ [12] ได้เตรียมแผ่นกรองนอนวูฟเวนผสมของเส้นใยขนสัตว์ เส้นใยแก้ว และเส้นใยเซลลูโลส ในอัตราส่วน 2:1:1 ด้วยวิธีการเตรียมแผ่นเส้นใยแบบเปียก สำหรับกรองน้ำมันจากน้ำเสีย พบว่า นอนวูฟเวนมีทั้งสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) และสมบัติชอบน้ำมัน (Super Oleophilic) และมีประสิทธิภาพในการกรองสูงถึงร้อยละ 99.61 ในการกรอง 1 ครั้ง นอกจากนี้หลังจากผ่านการกรอง 1 ครั้ง นอนวูฟเวนยังคงมีประสิทธิภาพในการกรองและการไหลผ่านสูง

ในปัจจุบันผู้บริโภคมีความใส่ใจในสุขภาพมากขึ้น การบริโภคอาหารทอดซึ่งมีปริมาณน้ำมันส่วนเกินในอาหารทอดเป็นจำนวนมากอาจทำให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพ การพัฒนาวัสดุดูดซับน้ำมันทอดอาหารที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่น่าสนใจ และจากปัญหาขยะบรรจุภัณฑ์อาหารจากพลาสติกที่ย่อยสลายได้ยาก ทำให้มีการใช้บรรจุภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายมากขึ้น เช่น บรรจุภัณฑ์จากชานอ้อย กาบหมาก หรือพลาสติกชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมนอนูฟเวเนดดูดซับน้ำมันทอดอาหารจากเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าว และศึกษาลักษณะทางกายภาพและสมบัติการดูดซับน้ำมันทอดอาหารของนอนูฟเวเนดเซลลูโลสฟางข้าวที่เตรียมได้ เพื่อเพิ่มมูลค่าและประโยชน์ใช้สอยของฟางข้าวซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่หาได้ง่าย มีราคาถูก และมีปริมาณมากในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นแผ่นวัสดุดูดซับน้ำมันในครัวเรือนแทนการใช้วัสดุดูดซับจากกระดาษเยื่อไม้ ทำให้สามารถลดการลดต้นทุนในการผลิตเยื่อกระดาษได้ นอกจากนี้ยังสามารถต่อยอดเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์เซลลูโลสดูดซับน้ำมันทอดอาหารจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรได้อีกด้วย

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย

### 2.1 วัสดุและสารเคมี

ฟางข้าวที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นฟางข้าวสายพันธุ์ข้าวหอมปทุมจากแหล่งเพาะปลูกจังหวัดปทุมธานี ประเทศไทย โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการสกัดเป็นเกรดคุณภาพเชิงวิเคราะห์ จากบริษัท Fisher Chemical น้ำมันทอดอาหารที่ใช้ในการทดสอบมี 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มก่อนทอดอาหาร (น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์) เป็นน้ำมันปาล์มโอเลอินจากเนื้อปาล์มผ่านกรรมวิธี จากบริษัท น้ำมันพืชปทุม จำกัด และน้ำมันปาล์มหลังทอดอาหาร เป็นน้ำมันปาล์มโอเลอินจากเนื้อ

ปาล์มผ่านกรรมวิธี จากบริษัท น้ำมันพืชปทุม จำกัด ที่ผ่านการทอดอาหารประเภทโปรตีน จากร้านอาหารในกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

### 2.2 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองเป็น 2 ส่วน ดังนี้

**ส่วนที่ 1** การสกัดเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ภาวะต่าง ๆ และวิเคราะห์ทดสอบเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมที่สุดทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพในการสกัดเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าว

**ส่วนที่ 2** การเตรียมนอนูฟเวเนดฟางข้าว ด้วยวิธีการเตรียมแผ่นเส้นใยแบบเปียก (Wet-laid) ที่น้ำหนักเส้นใยเซลลูโลสต่อพื้นที่ต่าง ๆ แล้ววิเคราะห์ทดสอบเพื่อประเมินคุณภาพและสมบัติการดูดซับน้ำมันของนอนูฟเวเนดฟางข้าวที่เตรียมได้

### 2.3 การสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าว

เตรียมฟางข้าวสำหรับการสกัด โดยตัดให้มีความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร จากนั้นล้างทำความสะอาดแล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำฟางข้าวที่เตรียมได้มาสกัดเส้นใยเซลลูโลสด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิห้อง 60 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5 1 1.5 และ 2 ชั่วโมง [7]-[8] หลังจากนั้นทิ้งของผสมไว้ให้มีอุณหภูมิลดลงมาถึงอุณหภูมิห้อง นำของผสมที่ได้ไปกรองแยกเส้นใยเซลลูโลสออกจากตัวทำละลายด้วยกระชอนโลหะ จากนั้นล้างทำความสะอาดเส้นใยเซลลูโลสด้วยน้ำเปล่าจนน้ำล้างมีค่า pH เท่ากับ 7 นำเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นให้พร้อมสำหรับการขึ้นรูปนอนูฟเวเนดต่อไป นำเส้นใยที่ได้ไปวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่าง ๆ เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเส้นใยเซลลูโลสจากฟางข้าว

## 2.4 การเตรียมอนุฟลูออโรพลาสม่าจากฟางข้าว

เตรียมเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวเพื่อนำมาขึ้นรูปอนุฟลูออโรพลาสม่า โดยมีน้ำหนักควบคุม 3.5 4.0 4.5 5.0 และ 5.5 กรัมต่อพื้นที่ 8x10 ตารางนิ้ว ตามลำดับ (67.81 77.50 87.19 96.87 และ 106.56 กรัมต่อตารางเมตร ตามลำดับ) นำเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวมากระจายตัวในน้ำ เพื่อทำลายพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวขณะแห้ง ให้เส้นใยมีการกระจายตัวพร้อมสำหรับการนำไปขึ้นรูปอีกครั้งเป็นอนุฟลูออโรพลาสม่า โดยมีอัตราของของแข็งต่อของเหลว (Liquor Ratio L:R) เท่ากับ 20:1 พร้อมทั้งปั่นกวนของผสมด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวที่กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในน้ำไปเตรียมขึ้นรูปอนุฟลูออโรพลาสม่า โดยการเตรียมแผ่นเส้นใยแบบเปียก นำเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวกระจายบนเฟรมสำหรับการขึ้นรูปแผ่นเส้นใย และใช้การฉีดน้ำช่วยในการกระจายตัวของเส้นใยให้มีความสม่ำเสมอ นำอนุฟลูออโรพลาสม่าฟางข้าวที่ได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้อนุฟลูออโรพลาสม่าแห้งและคงรูป เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวอีกครั้ง เพื่อความแข็งแรงของอนุฟลูออโรพลาสม่าฟางข้าว จากนั้นนำอนุฟลูออโรพลาสม่าฟางข้าวที่ได้ไปวิเคราะห์และทดสอบสมบัติต่าง ๆ เพื่อประเมินคุณภาพและสมบัติการดูดซับน้ำมันของอนุฟลูออโรพลาสม่าฟางข้าวที่เตรียมได้

## 2.5 การวิเคราะห์และทดสอบ

### 2.5.1 การหาปริมาณร้อยละที่ได้ของเส้นใยเซลลูโลสฟาง

ข้าวและอนุฟลูออโรพลาสม่าฟางข้าวด้วยวิธีการหาน้ำหนักแห้ง

ปริมาณร้อยละที่ได้ (% Yield) ของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวและอนุฟลูออโรพลาสม่าฟางข้าวด้วยวิธีการหาน้ำหนักแห้ง หาได้จากสัดส่วนระหว่างน้ำหนักแห้งหลังการสกัดหรือการเตรียมอนุฟลูออโรพลาสม่าต่อน้ำหนักแห้งก่อนการสกัดหรือการเตรียมอนุฟลูออโรพลาสม่าในหน่วยร้อยละน้ำหนัก

### 2.5.2 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าว

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ ของ PERKIN ELMER Spectrum One ใช้โหมด ATR ในช่วงเลขคลื่น 4,000-400 ต่อเซนติเมตร

### 2.5.3 การวิเคราะห์เสถียรภาพทางความร้อนของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าว

การวิเคราะห์หาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนด้วยเครื่องเทอร์โมกราวิเมตริกแอนนาไลซิส ของ Mettler Toledo รุ่น TGA/SDTA851e โดยมีอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 20 มิลลิลิตรต่อนาที เริ่มการวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ถึง 800 องศาเซลเซียส และมีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเท่ากับ 20 องศาเซลเซียสต่อนาที

### 2.5.4 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวและอนุฟลูออโรพลาสม่าฟางข้าวด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาพื้นผิวและลักษณะการกระจายตัว โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของ JEOL รุ่น JSM 6400 LV เตรียมตัวอย่างโดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างไปเคลือบทองผ่านเครื่อง Sputter-coater ใช้ศักย์ไฟฟ้า 5 กิโลโวลต์ และ Spot Size 20 ในการวิเคราะห์ สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้กำลังขยาย 500 เท่า

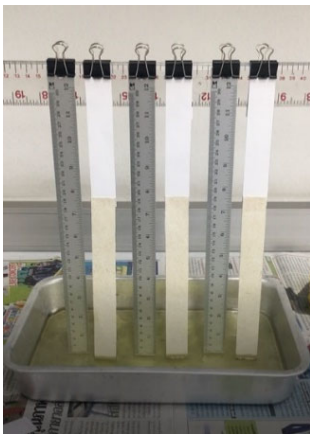
### 2.5.5 การวัดค่าสีของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวและอนุฟลูออโรพลาสม่าฟางข้าว

การวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี UltraScan VIS ของ HunterLab โดยใช้โหมดในการวัดสีดังนี้ ไม่รวมความมันเงา (Specular Exclude SPE) รวมแสง UV (UV

Include) Illuminant D 65 และ 10° Standard Observer ทำการทดสอบโดยนำตัวอย่างมาวัดสีทั้งหมด 3 ตำแหน่ง มีการวัดสีตำแหน่งละ 2 ครั้ง โดยเครื่องวัดสีคำนวณหาค่าความสว่าง (L\*) ค่าความแตกต่างของสี (DE\*) จาก CIE Lab และค่าเฉลี่ยดัชนีความเหลือง (Yellowness Index ASTM Method E313)

### 2.5.6 การทดสอบการดูดซึมไขมันในแนวตั้งของนอนวูฟเวนฟางข้าว (Vertical Wicking Test)

การทดสอบการดูดซึมไขมันในแนวตั้งในงานวิจัยนี้ เป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซึมไขมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารประเภทโปรตีนของนอนวูฟเวนฟางข้าว การทดสอบได้ดัดแปลงจากมาตรฐาน JIS L 1907:2010 - Testing Methods for Water Absorbency of Textiles ซึ่งเป็นการทดสอบความสามารถในการดูดน้ำในแนวตั้งของสิ่งทอ โดยเตรียมตัวอย่างขนาด 200 x 25 มิลลิเมตร เตรียมชุดอุปกรณ์ในการทดสอบการดูดไขมันในแนวตั้งประกอบด้วย ขาตั้งพร้อมแคลมป์จับ วัสดุแกนสำหรับหนีบชิ้นตัวอย่างในแนวตั้ง ตัวหนีบ ไม้บรรทัด และอ่างน้ำมัน ดังรูปที่ 1



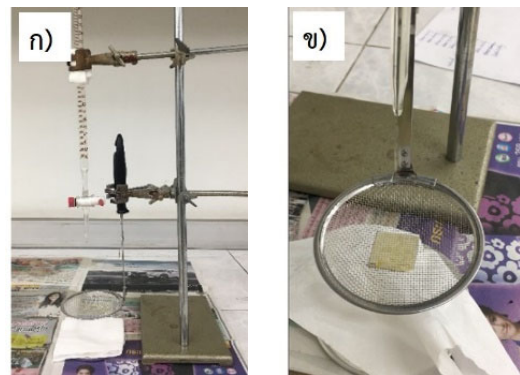
รูปที่ 1 การทดสอบการดูดไขมันในแนวตั้ง

การทดสอบให้ชิ้นตัวอย่างจุ่มลงในอ่างน้ำมันเป็นระยะ 5 มิลลิเมตร เป็นเวลา 10 นาที ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยของระยะทางที่นอนวูฟเวนสามารถดูดไขมัน

ในแนวตั้งจะได้ค่าอัตราดูดไขมันในแนวตั้ง (Oil Absorption Rate (มิลลิเมตร/10 นาที)) ของนอนวูฟเวนฟางข้าว

### 2.5.7 การทดสอบการดูดซึมไขมันของนอนวูฟเวนฟางข้าว (Oil Absorption Test)

การทดสอบการดูดซึมไขมันในงานวิจัยนี้ เป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซึมไขมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทอดอาหารประเภทโปรตีนของนอนวูฟเวนฟางข้าว การทดสอบได้ดัดแปลงจากมาตรฐาน AATCC Test Method 79 - Absorbency of Textiles ซึ่งเป็นการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำของสิ่งทอ โดยเตรียมตัวอย่างขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร เตรียมชุดอุปกรณ์ในการทดสอบการดูดซึมไขมันประกอบด้วย ขาตั้งพร้อมแคลมป์จับ บิวเรต กระจกชนขนาดเล็กสำหรับรองรับตัวอย่าง วัสดุรองรับน้ำมัน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ก) การเตรียมชุดอุปกรณ์ในการทดสอบการดูดซึมไขมัน ข) การทดสอบการดูดซึมไขมัน

การทดสอบให้ติดตั้งบิวเรตใส่น้ำมันให้มีระยะห่างกับกระจกชน 9 เซนติเมตร วางชิ้นตัวอย่างบนกระจกชน ค่อยๆ ปล่อยน้ำมันจากบิวเรต สังเกตการดูดซึมไขมันของตัวอย่างจนมีหยดน้ำมันหยดจากกระจกชนลงสู่วัสดุรองรับจึงหยุดการปล่อยน้ำมันจากบิวเรต ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยปริมาตรน้ำมันที่หยดจากบิวเรต

ลงบนอนุพวงวนจนหยดสู่วัสดุรองรับ จะได้ค่าการดูดซึมน้ำมัน (Oil Absorption (มิลลิลิตร)) ของอนุพวงวนฟางข้าว

### 2.5.8 การทดสอบการซึมผ่านของอากาศของอนุพวงวนฟางข้าว (Air Permeability Test)

การทดสอบการซึมผ่านของอากาศในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM D 737-96 - Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics ซึ่งเป็นการทดสอบความสามารถในการซึมผ่านของอากาศของสิ่งทอ โดยมีแรงดันอากาศในการทดสอบเท่ากับ 125 ปาสคาล (Pa) และบันทึกปริมาณอากาศที่ซึมผ่านในหน่วยลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (Cubic Foot per Minute CFM) ทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยของปริมาณอากาศที่ซึมผ่านอนุพวงวนจะได้ค่าการซึมผ่านของอากาศ (Air Permeability (CFM)) ของอนุพวงวนฟางข้าว

### 2.5.9 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

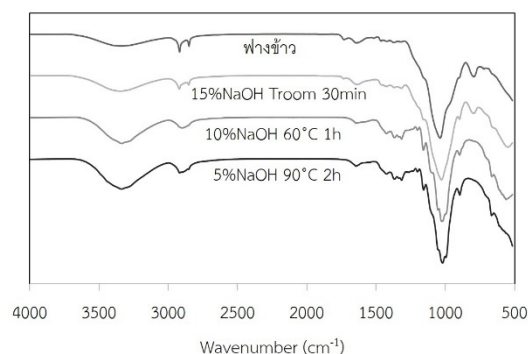
นำเสนอข้อมูลที่ได้ในรูปของค่าเฉลี่ย±ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลองอย่างน้อย 3 ครั้ง ที่เป็นอิสระต่อกัน และนำข้อมูลที่ได้มาทดสอบความแปรปรวนโดยใช้ One-way ANOVA ( $p \leq 0.05$ )

## 3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

### 3.1 ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเซลลูโลสจากฟางข้าว

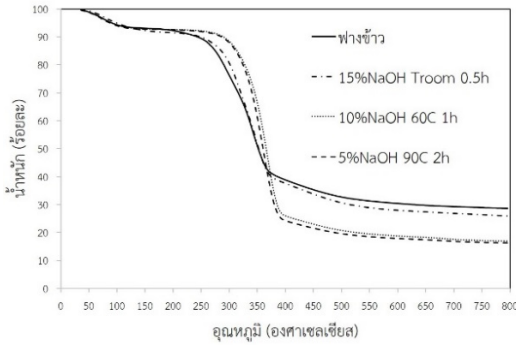
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการในการสกัดเซลลูโลสจากฟางข้าว โดยเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของตัวทำละลาย และอุณหภูมิในการสกัดเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าว จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวที่สกัดที่ภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า เส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวที่สกัดด้วยตัวทำละลายความเข้มข้นต่ำ แต่อุณหภูมิสูงขึ้น

และเวลานานขึ้นจะแสดงความเข้มพีคของหมู่ฟังก์ชันที่แสดงลักษณะทางเคมีของเซลลูโลสที่ชัดเจนขึ้น คือ -OH ( $3400-3200 \text{ cm}^{-1}$ ),  $-\text{CH}_n$  ( $2970-2860 \text{ cm}^{-1}$ ), C-H ( $1431-1315 \text{ cm}^{-1}$ ), C-O-C ( $1160 \text{ cm}^{-1}$ ) และ C-O ( $1060 \text{ cm}^{-1}$ ) ในขณะที่ความเข้มพีคของหมู่ฟังก์ชันที่แสดงลักษณะทางเคมีของลิกนินลดลง คือ C=O ( $1735 \text{ cm}^{-1}$ ) และ -CH ของหมู่อะโรมาติก ( $792 \text{ cm}^{-1}$ ) [13]-[14] แสดงว่าที่ภาวะการสกัดนี้สามารถสกัดแยกเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุด เนื่องจากสามารถแสดงหมู่ฟังก์ชันที่แสดงลักษณะเฉพาะของเซลลูโลสได้ชัดเจน



รูปที่ 3 โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวที่สกัดที่ภาวะต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์การสลายตัวทางความร้อนของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวที่สกัดที่ภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 พบว่า เส้นใยเซลลูโลสที่สกัดด้วยตัวทำละลายความเข้มข้นต่ำ ที่อุณหภูมิสูงและเวลานาน มีการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงขึ้นแต่มีปริมาณชาร์น้อยลง แสดงถึงการลดลงของลิกนิน เนื่องจากลิกนินเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าเซลลูโลส แต่มีปริมาณชาร์สูง (ลิกนินสลายตัวที่ 160-900 องศาเซลเซียส มีชาร์มาก เซลลูโลสสลายตัวที่ 315-400 องศาเซลเซียส มีชาร์น้อย [14]) การสกัดที่ภาวะนี้จึงได้เส้นใยเซลลูโลสที่มีปริมาณลิกนินหลงเหลืออยู่น้อยที่สุดในขณะที่ฟางข้าวซึ่งยังมีลิกนินอยู่ในปริมาณมาก เริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำและมีปริมาณชาร์มากที่สุด



รูปที่ 4 เปรียบเทียบการสลายตัวทางความร้อนของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวที่สกัดที่ภาวะต่าง ๆ

ตารางที่ 1 ปริมาณ ความยาว และสีของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวที่สกัดด้วยตัวทำละลายความเข้มข้นร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่าง ๆ

เวลาสกัด	ปริมาณที่ได้ (% yield)	ความยาว (cm)	YI E313
1h	22.75±0.37	2.80±0.99*	36.65
2h	21.87±1.53	1.96±0.79	31.54
3h	20.26±0.72	1.72±0.67	26.03

YI-E313 คือ ค่าดัชนีความเหลือง (Yellowness index ASTM Method E313)

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

เมื่อศึกษาผลของเวลาในการสกัดเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าว ดังตารางที่ 1 พบว่า เมื่อใช้เวลากัดแยกเส้นใยเพิ่มขึ้น (การกำจัดลิกนิน) ปริมาณเส้นใยที่ได้มีแนวโน้มลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ความยาวของเส้นใยที่สกัดที่เวลา 1 ชั่วโมง มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญและสีของเส้นใยที่ได้มีแนวโน้มมีความเหลืองลดลง ดังนั้น ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวเพื่อเตรียมนอนูฟเวินในงานวิจัย คือ การสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ปริมาณเส้นใยเซลลูโลสประมาณร้อยละ 22 เนื่องจากเป็นภาวะที่ใช้เวลากัดสั้นที่สุดที่ให้เซลลูโลสฟางข้าวที่มีลักษณะทางกายภาพเหมาะสมในการขึ้นรูปนอนูฟเวิน

และมีปริมาณลิกนินหลงเหลือในเส้นใยเซลลูโลสน้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ N. Johar และ I. Ahmad [7] ที่มีภาวะสกัดเซลลูโลสเปลือกข้าวด้วยตัวทำละลายความเข้มข้นต่ำ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

### 3.2 ลักษณะทางกายภาพของนอนูฟเวินฟางข้าวที่เตรียมได้

การเตรียมนอนูฟเวินด้วยวิธีการผลิตแผ่นเส้นใยแบบเปียก โดยการกระจายเส้นใยแบบเปียกให้เกิดพันธะเคมีระหว่างเส้นใยเพื่อความแข็งแรง โดยไม่มีการเพิ่มความแข็งแรงด้วยการยึดติดโครงสร้าง ที่น้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่ต่างกัน และปริมาณนอนูฟเวินฟางข้าวที่เตรียมได้เมื่อเทียบเป็นหน่วยกรัมต่อตารางเมตร (gsm) แสดงในตารางที่ 2 พบว่า เมื่อเตรียมนอนูฟเวินตามน้ำหนักเส้นใยที่กำหนด นอนูฟเวินที่เตรียมได้จะมีการสูญเสียน้ำหนักเส้นใยไปประมาณร้อยละ 16 เนื่องจากในกระบวนการขึ้นรูปต้องมีการทำลายพันธะไฮโดรเจนที่เกิดระหว่างเส้นใยฟางข้าวที่เตรียมได้ด้วยการแช่ในน้ำ และมีการใช้น้ำแรงดันสูงฉีดเพื่อกระจายเส้นใยบนตะแกรง ทำให้เส้นใยที่มีขนาดเล็กบางส่วนสูญเสียไปในขั้นตอนนี้ โดยน้ำหนักของนอนูฟเวินเบอร์ 1 4 และ 5 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 2 น้ำหนักนอนูฟเวินฟางข้าวที่เตรียมได้

No.	wt. (g/8x10in <sup>2</sup> )	wt. (gsm)	% yield
1	2.95±0.19*	57.20±3.70*	83.26±4.80
2	3.36±0.18	65.92±1.91	82.74±4.45
3	3.75±0.21	72.70±4.04	82.60±5.25
4	4.28±0.17*	81.91±2.64*	84.75±3.19
5	4.90±0.18*	94.99±3.52*	88.55±4.57

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ผลการวัดสีของนอนูฟเวินฟางข้าวที่เตรียมได้ แสดงในตารางที่ 3 พบว่า ค่าความแตกต่างของสี (DE\*) ของนอนูฟเวินฟางข้าวที่เตรียมได้ที่น้ำหนักเส้น



ใยต่อพื้นที่ต่าง ๆ จะมีความมากขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวก่อนการขึ้นรูป และนอนูฟเวนที่เตรียมได้ทุกสูตรจะมีสีขาวสว่างขึ้นกว่าเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวก่อนการขึ้นรูป เนื่องจากค่า YI E313 ซึ่งเป็นค่าดัชนีความเหลืองมีแนวโน้มลดลง และมีค่า +L\* ซึ่งเป็นค่าความสว่างแสดงถึงความขาวเพิ่มขึ้นกว่าเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวก่อนการขึ้นรูป เนื่องจากในกระบวนการขึ้นรูปนอนูฟเวนต้องมีการกระจายตัวของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวอีกครั้งในน้ำเปล่า และมีการให้ความร้อนเพื่อช่วยในการทำลายพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นใย ทำให้มีการละลายของลิกนินที่ยังตกค้างอยู่ในเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวออกมาด้วยนอนูฟเวนฟางข้าวที่เตรียมได้จึงมีสีขาวสว่างขึ้นกว่าเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวก่อนการขึ้นรูป นอกจากนี้นอนูฟเวนฟางข้าวที่เตรียมได้ที่น้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่ต่าง ๆ ทุกสูตรจะมีสีและความขาวใกล้เคียงกันเนื่องจากค่าความแตกต่างของสี (DE\*) และค่า +L\* ซึ่งเป็นค่าความสว่างแสดงถึงสีขาว มีค่าใกล้เคียงกันทุกสูตรแสดงถึงกระบวนการขึ้นรูปนอนูฟเวนทำให้สีของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวเปลี่ยนไปในลักษณะเดียวกันอย่างสม่ำเสมอทุกครั้งในการขึ้นรูปนอนูฟเวน

ตารางที่ 3 สีของนอนูฟเวนฟางข้าวที่เตรียมได้

No.	L*	dE*	YI E313
เส้นใย	80.10	0	31.54
1	83.30	3.12	29.84
2	84.84	5.04	33.43
3	84.43	4.15	28.05
4	83.02	3.00	31.42
5	83.43	3.40	31.32

L\* คือ ค่าความสว่าง โดยค่า +L\* แสดงถึงสีขาว จนไปถึง -L\* แสดงถึงสีดำ จาก CIE Lab


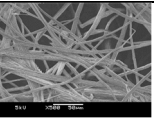

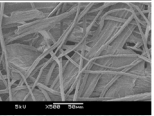

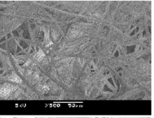

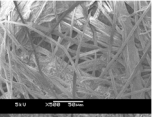
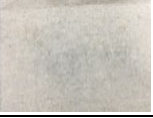
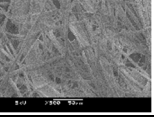
DE\* คือ ค่าความแตกต่างของสี จาก CIE Lab

YI-E313 คือ ค่าดัชนีความเหลือง (Yellowness index ASTM Method E313)

ความหนา ลักษณะทางกายภาพและสัญญาณวิทยาของนอนูฟเวนฟางข้าวที่เตรียมได้ แสดงในตารางที่ 4 พบว่า ความหนาของนอนูฟเวนฟางข้าวจะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีปริมาณเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวเพิ่มขึ้นจะทำให้ความหนาของนอนูฟเวนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่การกระจายตัวของนอนูฟเวนขณะขึ้นรูปมีความสม่ำเสมอทำให้ความหนาของนอนูฟเวนไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น เนื่องจากการกระจายตัวของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวในน้ำอีกครั้ง มีเส้นใยบางส่วนกระจายตัวออกจากกันได้ไม่ดี ทำให้มีการจับตัวกันของเส้นใยเป็นก้อนหรือเกิดการพันกันของเส้นใยบางส่วน และการใช้น้ำแรงดันสูงฉีดเพื่อกระจายเส้นใยบนตะแกรงยังไม่สามารถช่วยควบคุมการกระจายตัวของเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวให้สม่ำเสมอทั่วทั้งตะแกรงได้ ความหนาของนอนูฟเวนเบอร์ 5 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จากการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและสัญญาณวิทยาของนอนูฟเวนฟางข้าวที่เตรียมได้ที่น้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่ต่าง ๆ พบว่านอนูฟเวนที่เตรียมได้จะมีลักษณะการกระจายตัวของเส้นใยเซลลูโลสอย่างไม่มีระเบียบ มีการกระจายตัวแบบสุ่ม และไม่มีทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใย เนื่องจากนอนูฟเวนฟางข้าวที่ได้มีกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการผลิตแผ่นเส้นใยแบบเปียก โดยการกระจายเส้นใยในน้ำแล้วขึ้นรูปนอนูฟเวนบนตะแกรง และมีการใช้น้ำแรงดันสูงฉีดเพื่อช่วยกระจายเส้นใยให้มีความสม่ำเสมอ แต่ไม่มีการกำหนดทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยในการขึ้นรูปนอนูฟเวนเหมือนการใช้เครื่องจักรในการขึ้นรูปซึ่งสามารถกำหนดทิศทางการจัดเรียงตัวของเส้นใยให้มีความสมดุลในทิศทางตามขวางแนวเครื่องจักรและตามแนวเครื่องจักร (Transverse และ Machine Direction TD และ MD) นอนูฟเวนฟางข้าวที่ได้จึงมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอและมีการกระจายตัวแบบสุ่มไร้ทิศทาง นอกจากนี้ นอนูฟเวนฟางข้าวที่ได้จะมีความหนาแน่นของเส้นใยมากขึ้นเมื่อน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น

โดยจะสังเกตได้จากช่องว่างระหว่างเส้นใยที่ลดลงเมื่อมีปริมาณเส้นใยมากขึ้น ขนาดของเส้นใยของนอนูฟเวอนฟางข้าวทุกแผ่นมีขนาดอยู่ในช่วง 5.5-10 ไมโครเมตร ( $7.39 \pm 1.55$  ไมโครเมตร) การที่ขนาดของเส้นใยมีความแตกต่างกันถึงแม้ว่าจะมาจากการสกัดที่ภาวะเดียวกันเนื่องจากวัตถุดิบเป็นวัสดุธรรมชาติไม่สามารถควบคุมขนาดของเส้นใยได้ โดยลักษณะทางกายภาพและสมบัติต่าง ๆ ของนอนูฟเวอนขึ้นอยู่กับความหนาของนอนูฟเวอน

ตารางที่ 4 ความหนา ลักษณะทางกายภาพและสัณฐานวิทยาของนอนูฟเวอนฟางข้าวที่เตรียมได้

No.	ความหนา ( $10^{-2}$ mm)	นอนูฟเวอนที่ เตรียมได้	SEM (x500)
1	45.53 $\pm 4.34$		
2	56.20 $\pm 7.32$		
3	64.40 $\pm 4.03$		
4	75.20 $\pm 5.43$		
5	89.00* $\pm 4.95$		

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

### 3.3 การซึมผ่านของอากาศของนอนูฟเวอนฟางข้าวที่เตรียมได้

การซึมผ่านของอากาศของนอนูฟเวอนฟางข้าวที่เตรียมได้ แสดงในตารางที่ 5 พบว่า การซึมผ่านของอากาศจะลดลงเมื่อน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีปริมาณเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวเพิ่มขึ้น จะทำให้ความหนาแน่นของเส้นใยที่กระจายตัวของ

นอนูฟเวอนเพิ่มขึ้น และมีช่องว่างระหว่างเส้นใยน้อย ทำให้อากาศสามารถซึมผ่านช่องว่างระหว่างเส้นใยของนอนูฟเวอนได้น้อยลง การซึมผ่านของอากาศของนอนูฟเวอนจึงลดลง โดยการซึมผ่านของอากาศในแต่ละตำแหน่งของนอนูฟเวอนมีค่าที่ค่อนข้างแตกต่างกัน เนื่องจากการกระจายตัวของนอนูฟเวอนขณะขึ้นรูปมีความสม่ำเสมอต่ำ ทำให้ความหนาแน่นของนอนูฟเวอนไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น แต่การซึมผ่านของอากาศของนอนูฟเวอนค่อนข้างมีค่าที่สม่ำเสมอขึ้นเมื่อน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวของเส้นใยในนอนูฟเวอนที่มีน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

นอกจากนี้ ความคงทนต่อแรงดึงของนอนูฟเวอนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น แต่ยังคงมีความแข็งแรงเชิงกลต่ำ (นอนูฟเวอนเบอร์ 5 มีความคงทนต่อแรงดึง 0.16 เมกะปาสคาล (MPa)) เนื่องจากนอนูฟเวอนที่ได้จากการเตรียมแผ่นเส้นใยแบบเปียกไม่ได้มีการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นใยเชิงกลและเชิงเคมี มีเพียงความแข็งแรงจากพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นใยเท่านั้น

ตารางที่ 5 การซึมผ่านของอากาศของนอนูฟเวอนฟางข้าวที่เตรียมได้

No.	การซึมผ่านของอากาศ (cfm)
1	183.13 $\pm$ 31.13
2	152.33 $\pm$ 30.61
3	73.21 $\pm$ 7.65
4	66.04 $\pm$ 7.84
5	44.60 $\pm$ 5.15

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

### 3.4 การดูดน้ำมันตามแนวตั้งของนอนูฟเวอนฟางข้าวที่เตรียมได้

การดูดน้ำมันตามแนวตั้งของนอนูฟเวอนฟางข้าวที่เตรียมได้ แสดงในตารางที่ 6 พบว่า ความสามารถ

ในการดูดน้ำมันปาล์มทั้งก่อนและหลังทอดอาหารของ นอนูฟเวเนฟางข้าวจะเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำมันจะซึมผ่านเข้าไปในนอนูฟเวเนโดยอาศัยช่องว่างระหว่างเส้นใยของนอนูฟเวเนด้วยปรากฏการณ์การซึมตามรูเล็ก (Capillary Effect) การที่เส้นใยมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ และมีช่องว่างระหว่างเส้นใยขนาดใหญ่ของนอนูฟเวเนที่มีน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่น้อย ทำให้การดูดน้ำมันหรือการเคลื่อนที่ซึมผ่านของน้ำมันในแนวตั้งของนอนูฟเวเนที่มีน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่น้อยมีระยะทางน้อยกว่าการดูดน้ำมันในแนวตั้งของนอนูฟเวเนที่มีน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่มาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ L.-P. Xu และคณะ [15] ที่พบว่าเชือกเกลียวคู่ที่ผ่านการปรับสภาพผิวด้วยการเซาะร่องด้วยพลาสติกและอนุภาคนาโนซิลิกาสามารถดูดซึมน้ำและน้ำมันได้เอง ด้วยแรงซึมตามรูเล็ก (Capillary Force) ที่เกิดจากช่องว่างขนาดเล็กและร่องขนาดเล็กบนเชือกเกลียวคู่ และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดน้ำมันปาล์มก่อนและหลังทอดอาหาร พบว่านอนูฟเวเนฟางข้าวมีความสามารถในการดูดน้ำมันปาล์มก่อนทอดอาหาร (น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์) ได้ดีกว่า น้ำมันปาล์มหลังทอดอาหาร เนื่องจากน้ำมันปาล์มก่อนทอดอาหารมีความหนืดน้อยกว่าน้ำมันปาล์มหลังทอดอาหาร ซึ่งมีความหนืดเพิ่มขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)

ตารางที่ 6 การดูดน้ำมันตามแนวตั้งของนอนูฟเวเนฟางข้าวที่เตรียมได้

No.	อัตราการดูดน้ำมันในแนวตั้ง (mm/10 min)	
	น้ำมันปาล์มก่อนทอด	น้ำมันปาล์มหลังทอด
1	30.33±1.53	31.33±4.16
2	32.67±0.58	32.67±3.06
3	37.33±5.03	32.67±0.58
4	38.33±1.53	34.00±4.00
5	43.00±1.00	36.00±1.73

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ขณะทอดอาหาร ทำให้สารต่าง ๆ ได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมัน อนุพันธ์ของลิพิด และสารอื่น ๆ ละลายหรือแขวนลอยในน้ำมันมากขึ้น นอกจากนี้ปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลเป็นสารชนิดใหม่ และเกิดการสลายตัวจากการไหม้ น้ำมันจึงมีความหนืดเพิ่มขึ้นและมีสีเข้มขึ้น [16] การเคลื่อนที่ซึมผ่านของน้ำมันปาล์มหลังทอดอาหารในแนวตั้งจึงเคลื่อนที่ได้ยากกว่าน้ำมันปาล์มก่อนทอดอาหาร

### 3.5 การดูดซึมน้ำมันของนอนูฟเวเนฟางข้าวที่เตรียมได้

การดูดซึมน้ำมันของนอนูฟเวเนฟางข้าวที่เตรียมได้ แสดงในตารางที่ 7 พบว่า ปริมาณน้ำมันปาล์มก่อนและหลังทอดอาหารที่ดูดซึมได้ และเวลาในการดูดซึมและรองรับน้ำมันปาล์มก่อนและหลังทอดอาหารของนอนูฟเวเนฟางข้าวจะเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำมันจะดูดซึมผ่านเข้าไปในนอนูฟเวเนโดยอาศัยช่องว่างระหว่างเส้นใยของนอนูฟเวเนด้วยปรากฏการณ์การซึมตามรูเล็ก น้ำมันจะค่อยๆ ถูกดูดซึมเข้าไปจนเต็มความสามารถในการดูดซึมของนอนูฟเวเนจากนั้นจะหยดลงมาบนวัสดุรองรับ การที่เส้นใยมีช่องว่างระหว่างเส้นใยน้อย และมีความหนาแน่นของเส้นใยสูงของนอนูฟเวเนที่มีน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่มาก ทำให้สามารถดูดซึมน้ำมันได้ในปริมาณมาก สามารถดูดซึมและรองรับน้ำมันไว้ได้เป็นเวลานานกว่านอนูฟเวเนที่มีน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่น้อย สอดคล้องกับงานวิจัยของ L.-P. Xu และคณะ [15] ที่พบว่าน้ำและน้ำมันสามารถดูดซึมเข้าไปในเชือกเกลียวคู่ได้ด้วยแรงซึมตามรูเล็กที่เกิดจากช่องว่างขนาดเล็กและร่องขนาดเล็ก และงานวิจัยของ K. C. M. de Lima และคณะ [17] ที่พบว่ากระดาษเช็ดมือ (Paper Towel) ซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลสบนภาชนะ สามารถดูดซับน้ำมันพืชประเภทต่าง ๆ จากอาหารทอดได้ดีกว่าการ

วางบนภาชนะอย่างเดียว และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซึมน้ำมันปาล์มก่อนและหลังทอดอาหาร พบว่า นอนวูฟเวนฟางข้าวมีความสามารถในการดูดซึมน้ำมันปาล์มก่อนทอดอาหาร (น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์) ได้ดีกว่าน้ำมันปาล์มหลังทอดอาหาร เนื่องจากน้ำมันปาล์มก่อนทอดอาหารมีความหนืดน้อยกว่าน้ำมันปาล์มหลังทอดอาหาร ซึ่งมีความหนืดเพิ่มขึ้นจากอนุพันธ์ของลิพิด และสารอื่น ๆ ที่ละลายหรือแขวนลอยในน้ำมันมากขึ้นหลังทอดอาหาร [16] การดูดซึมน้ำมันปาล์มหลังทอดอาหารจึงมีปริมาณน้อยกว่าน้ำมันปาล์มก่อนทอดอาหาร มีเวลาในการดูดซึมและรองรับน้ำมันปาล์มหลังทอดน้อยกว่า เนื่องจากน้ำมันปาล์มหลังทอดอาหารมีความหนืดเพิ่มขึ้นจากอนุพันธ์ไขมันและสารต่าง ๆ ที่แขวนลอยในน้ำมัน น้ำมันปาล์มหลังทอดอาหารจึงมีน้ำหนักมากกว่าน้ำมันปาล์มก่อนทอด ทำให้นอนวูฟเวนสามารถรองรับน้ำหนักได้ในเวลาสั้นกว่า

**ตารางที่ 7** การดูดซึมน้ำมันของนอนวูฟเวนฟางข้าวที่เตรียมได้

No.	น้ำมันปาล์มก่อนทอด		น้ำมันปาล์มหลังทอด	
	ปริมาณที่ดูดซึม (ml)	เวลาดูดซึมและรองรับ (s)	ปริมาณที่ดูดซึม (ml)	เวลาดูดซึมและรองรับ (s)
1	1.47 ±0.21	32.33 ±3.06	1.33 ±0.12	24.00 ±6.56
2	1.57 ±0.15	33.67 ±6.03	1.43 ±0.05	25.33 ±4.93
3	1.60 ±0.10	40.67 ±5.51	1.67 ±0.06	31.00 ±5.29
4	1.83 ±0.12	43.33 ±7.37	1.70 ±0.20	34.67 ±6.66
5	1.93 ±0.15	44.33 ±4.16	1.87 ±0.12	35.67 ±3.51

\* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

#### 4. สรุป

ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวในงานวิจัยนี้ คือ สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮ-

ดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ปริมาณเส้นใยเซลลูโลสประมาณร้อยละ 22 เนื่องจากเป็นภาวะที่ใช้เวลาสกัดสั้นที่สุดที่ให้เส้นใยเซลลูโลสฟางข้าวที่มีลักษณะทางกายภาพเหมาะสมในการขึ้นรูปนอนวูฟเวน และมีปริมาณลิกนินหลงเหลือในเส้นใยเซลลูโลสน้อย นอนวูฟเวนที่เตรียมได้มีลักษณะการกระจายตัวที่สม่ำเสมอขึ้นเมื่อน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น แต่ยังคงมีการจับตัวกันของเส้นใยเป็นก้อนหรือเกิดการพันกันของเส้นใยบางส่วนที่ไม่สามารถกระจายตัวด้วยการใช้แรงดันสูงได้ ความสามารถในการดูดน้ำมัน (Oil Wicking) และการดูดซึมน้ำมัน (Oil Absorption) ของนอนวูฟเวนฟางข้าวจะเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำหนักเส้นใยต่อพื้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำมันจะซึมผ่านเข้าไปในนอนวูฟเวนโดยอาศัยช่องว่างระหว่างเส้นใยของนอนวูฟเวนด้วยปรากฏการณ์การซึมตามรูเล็ก (Capillary Effect) และนอนวูฟเวนฟางข้าวสามารถดูดน้ำมันและดูดซึมน้ำมันปาล์มก่อนทอดอาหาร (น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์) ได้ดีกว่าน้ำมันปาล์มหลังทอดอาหาร เนื่องจากน้ำมันปาล์มหลังทอดอาหารมีความหนืดเพิ่มขึ้นจากอนุพันธ์ของลิพิด และสารอื่น ๆ ที่ละลายหรือแขวนลอยในน้ำมันมากขึ้นหลังทอดอาหาร ทำให้การเคลื่อนที่ซึมผ่านของน้ำมันปาล์มหลังทอดอาหารทำได้ยากกว่าน้ำมันปาล์มก่อนทอดอาหาร

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีงบประมาณ 2560 เลขที่สัญญา 545/2560

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Center of Agricultural Information, Office of Agricultural Economics, "Thailand foreign agricultural trade statistics 2019," *Agricultural Statistics*, vol. 403, pp. 27-30, 2019.

- [2] P. Wangbon, "The story of rice straw," *Green Globe*, vol. 10, pp. 4, Apr.-Jun. 2008.
- [3] P. Binod, R. Sindhu, R. R. Singhanian, S. V., L. Devi, S. Nagalakshmi, N. Kurien, R. K. Sukumaran and A. Pandey, "Bioethanol production from rice straw: An overview," *Bioresource Technology*, vol. 101, no. 3, pp. 4767-4774, Jul. 2010.
- [4] P. Bajpai, *Structure and Properties of Cellulose and Nanocellulose, in Pulp and Paper Industry Nanotechnology in Forest Industry*, Elsevier, 2016, pp. 27-40.
- [5] V. K. Thakur and M. K. Thakur, "Processing and characterization of natural cellulose fibers/thermoset polymer composites," *Carbohydrate Polymers*, vol. 109, pp. 102-117, Aug. 2014.
- [6] R. Pawongrat, "Pretreatment processes for enhancing the efficiency of ethanol production from lignocellulosic agricultural wastes," *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University*, vol. 1, no. 1, pp. 143-157, Jan.-Jun. 2015.
- [7] N. Johar and I. Ahmad, "Morphological, thermal, and mechanical properties of starch biocomposite films reinforced by cellulose nanocrystals from rice husk," *BioResources*, vol. 7, no. 4, pp. 5469-5477, Sep. 2012.
- [8] M. Boonterm, S. Sunyadeth, S. Dedpakdee, P. Athichalinthorn, S. Patcharaphun, R. Mungkung and R. Techapiesancharoenkij, "Characterization and comparison of cellulose fiber extraction from rice straw by chemical treatment and thermal steam explosion," *Journal of Cleaner Production*, vol. 134, pp. 592-599, Oct. 2016.
- [9] V. G. Yachmenev, D. V. Parikh and T. A. Calamari, "Thermal Insulation Properties of Biodegradable, Cellulosic-Based Nonwoven Composites for Automotive Application," *Journal of Industrial Textiles*, vol. 31, no. 4, pp. 283-296, Apr. 2002.
- [10] X.-F. Sun, R. Sun and J.-X. Sun, "Acetylation of Rice Straw with or without Catalysts and Its Characterization as a Natural Sorbent in Oil Spill Cleanup," *Journal of agricultural and food chemistry*, vol. 50, pp. 6428-33, Nov. 2002
- [11] D. Li, F. Z. Zhu, J. Y. Li, P. Na and N. Wang, "Preparation and Characterization of Cellulose Fibers from Corn Straw as Natural Oil Sorbents," *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 52, pp. 516-524, Dec. 2012.
- [12] D. Hu, X. Li, L. Li and C. Yang, "Designing high-caliber nonwoven filter mats for coalescence filtration of oil/water emulsions," *Separation and Purification Technology*, vol. 149, pp. 65-73, Jul. 2015.
- [13] Y. He, Y. Pang, Y. Liu, X. Li and K. Wang, "Physicochemical characterization of rice straw pretreated with sodium hydroxide in the solid state for enhancing biogas

- production,” *Energy & Fuels - ENERG FUEL*, vol. 22, pp. 2775–2781, Jul. 2008.
- [14] H. Yang, R. Yan, H. Chen, D. H. Lee and C. Zheng, “Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis,” *Fuel*, vol. 86, pp. 1781–1788, Aug. 2007.
- [15] L.-P. Xu, B. Dai, J. Fan, Y. Wen, X. Zhang and S. Wang, “Capillary-driven Spontaneous oil/water Separation by Superwetable Twine,” *Nanoscale*, vol. 7, no. 31, pp. 13164-13167, Jul. 2015.
- [16] K. Bordin, M. T. Kunitake, K. K. Aracava and C. S. F. Trindade, “Changes in food caused by deep fat frying – A review,” *Archivos latinoamericanos de nutrición*, vol. 63, no. 1, pp. 5-13, Mar. 2013.
- [17] K. C. M. de Lima, H. D. de F. Barros, T. S. Passos, and B. L. L. Maciel, “The effect of using different oils and paper towel in vegetable oil absorption of fried recipes,” *Journal of Culinary Science & Technology*, vol. 17, no. 4, pp. 373–384, Jul. 2019