วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ
การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

การศึกษาสมบัติของเส้นใยน้ำผึ้งขนาดนาโนเมตรที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต

Study on Properties of Honey-Nanofibers fabricated by Electrospinning Technique

นริศร์ บาลทิพย์[1*] สุนทรี นาคแท้[2] และ ศุภพสิษฐ์ โลหะ[3]

[1]อาจารย์ [2,3]นักศึกษา สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

บทคัดย่อ

เส้นใยน้ำผึ้งขนาดนาโนเมตรถูกสังเคราะห์ขึ้นด้วยเทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต เพื่อศึกษาถึงสมบัติที่เหมาะสมของเส้นใยที่สามารถนำไปพัฒนาใช้เป็นวัสดุสมานแผลต้นแบบทางการแพทย์ โดยพิจารณาเงื่อนไขของการสังเคราะห์คือ 1) อัตราส่วนของน้ำผึ้งต่อเจลลาติน 2) ศักย์ไฟฟ้าของการสังเคราะห์ และ 3) อัตราการไหลของสารละลาย เส้นใยที่สังเคราะห์ได้ถูกนำมาวิเคราะห์หาขนาดของเส้นใย ร้อยละการอุ้มน้ำของเส้นใย และค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวของเส้นใยกับหยดน้ำ พบว่า 1) เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของน้ำผึ้งต่อเจลลาติน เส้นใยที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น และมีค่ามุมสัมผัสมากขึ้น 2) เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้า เส้นใยที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น และมีค่าร้อยละการอุ้มน้ำมากขึ้น และ 3) เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล เส้นใยที่ได้มีขนาดเล็กที่สุดที่อัตราการไหล 0.06 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงสำหรับทุกศักย์ไฟฟ้าที่ทำการศึกษา

Abstract

Honey-nanofibers were fabricated by electrospinning technique in order to study their potentiality for biomedical application especially as wound healing materials. Honey/Gelatin ratios, operating voltages, and solution flow rates were considered as the experimental variables. All synthesized nanofibers were tested for their sizes, percentages of water uptake, and contact angles between the fiber surfaces and water droplets. It was found that 1) size of nanofibers and contact angle between the fiber surfaces and water droplet increased with increasing of honey in solution, 2) size and percentage of water uptake of nanofibers increased with stepping up of operating voltage, and 3) size of nanofibers was minimized at the flow rate of 0.06 ml/hr for each operating voltage of this study.

คำสำคัญ : การปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต เส้นใยนาโน น้ำผึ้ง วัสดุสมานแผล

Keywords : Electrospinning, Nanofiber, Honey, Wound Healing Materials

[*]*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ naris.bt@gmail.com โทร. 0 2549 4186-7*

1. บทนำ

กระบวนการรักษาเพื่อการสมานแผลที่ดีนั้น นอกจากจะต้องอาศัยวิธีในการรักษาทางการแพทย์ที่ถูกต้องแล้ว การดูแลทำความสะอาดและปกป้องบาดแผลให้ปราศจากการติดเชื้อหรือสัมผัสกับปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่ในสภาวะแวดล้อมและการเร่งการสร้างเนื้อเยื่อบริเวณบาดแผลก็ยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยหลักที่มีความสำคัญไม่แพ้กัน โดยหนึ่งในวิธีการป้องกันไม่ให้บาดแผลเกิดการติดเชื้อคือการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมในการปิดแผล

การปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) เป็นวิธีที่ดีวิธีหนึ่งที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการสังเคราะห์เส้นใยต่างๆ ขนาดของเส้นใยที่ได้จะมีขนาดตั้งแต่ในระดับไมโครเมตรและเล็กลงไปจนถึงในระดับนาโนเมตร ในกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยด้วยกระบวนการดังกล่าวนี้ สารละลายพอลิเมอร์ที่มีความหนืดจะถูกฉีดเข้าสู่ระบบผ่านไปยังท่อปลายเปิดขนาดเล็กโดยอาศัยแรงคูลอมบ์ของประจุที่อยู่ที่บริเวณปลายของท่อและบริเวณเป้าในการสร้างเส้นใย เส้นใยที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีลักษณะเป็นโครงร่างแห และมีความพรุนซึ่งนับได้ว่าเป็นคุณสมบัติที่พึงประสงค์ของวัสดุสมานแผลที่ดีและเป็นที่ต้องการในปัจจุบัน ความพรุนของเส้นใยที่ได้จะส่งผลถึงความสามารถในการแพร่ผ่านของก๊าซออกซิเจนไปยังบริเวณแผล และยังช่วยในการลำเลียงของเสียไม่ว่าจะเป็นของไหลหรือเซลล์ต่างๆ ที่ไหลหรือหลุดออกมาจากบริเวณแผล

น้ำผึ้งเป็นสารที่ได้จากธรรมชาติ มีสถานะเป็นของเหลวที่มีความหนืด มีความสามารถในการดูดความชื้นจากบรรยากาศ ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำลายเชื้อโรคและเป็นตัวที่ช่วยกระตุ้นในปฏิกิริยาทางชีวภาพต่างๆ สมบัติการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียของน้ำผึ้งได้ถูกรายงานขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในการวิจัยหนึ่งของ Stefan ในปี พ.ศ. 2540 ได้รายงานไว้ว่า คุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อของน้ำผึ้งมีส่วนเกี่ยวข้องมาจากองค์ประกอบด้านความเป็นกรดที่ถูกบดบังอยู่ภายใต้ความหวานของน้ำผึ้ง เช่นเดียวกับ Lusby และคณะวิจัยที่ได้ทำการทดสอบและยืนยันว่าน้ำผึ้งมีความสามารถในการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดีในระดับเดียวกันกับสารต่อต้านเชื้ออื่นๆ ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ในปี พ.ศ. 2550 Yusof และคณะวิจัยได้นำน้ำผึ้งมาทำการพัฒนาเป็นวัสดุสมานแผลโดยสังเคราะห์ขึ้นในรูปแบบของ ไฮโดรเจล (Hydrogel) คณะวิจัยมีความสนใจและเน้นศึกษาในส่วนของกระบวนการกำจัดเชื้อของวัสดุสมานแผลที่สังเคราะห์ขึ้นได้ก่อนนำไปใช้งานจริงในการรักษาทางการแพทย์ ในการศึกษาดังกล่าวทางคณะวิจัยได้ทำการฉายรังสีแกมมาไปสู่วัสดุสมานแผลสังเคราะห์ตัวอย่างเพื่อทำการกำจัดเชื้อ พบว่าการกำจัดเชื้อด้วยวิธีดังกล่าวนี้ไม่ได้ทำให้สมบัติทางเคมีเชิงฟิสิกส์ของน้ำผึ้งเปลี่ยนไป นอกจากนี้ยังพบว่าวัสดุสมานแผลดังกล่าวยังมีส่วนช่วยในการฟื้นตัวของเนื้อเยื่อบริเวณแผลได้อีกด้วย ในปี พ.ศ. 2553 Tao Wang และคณะได้พัฒนาแผ่นไฮโดรเจลที่มีส่วนผสมของไคโตซาน น้ำผึ้งและเจลลาติน พบว่าแผ่นไฮโดรเจลมีการต้านฤทธิ์ของแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถช่วยรักษาแผลไหม้ให้ดีขึ้น

จากคุณสมบัติที่ดีของน้ำผึ้งผนวกกับคุณสมบัติที่ดีของเส้นใยขนาดนาโนเมตรที่ผลิตได้จากกระบวนการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตข้างต้นจึงเป็นจุดสนใจที่ทำให้ผู้วิจัยได้นำน้ำผึ้งมาทำการสังเคราะห์เป็นเส้นใยในระดับนาโนเมตรเพื่อทำการศึกษาหาสภาวะการสังเคราะห์ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากอัตราส่วนของน้ำผึ้งต่อพอลิเมอร์ผสม (น้ำผึ้งไม่สามารถสังเคราะห์เป็นเส้นใยขนาดนาโนเมตรได้ด้วยเทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตจึงมีความจำเป็นต้องมีการผสมด้วยพอลิเมอร์ที่สามารถสังเคราะห์เป็นเส้นใยด้วยเทคนิคดังกล่าวได้และมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพกับสิ่งมีชีวิต) ศักย์ไฟฟ้าของการสังเคราะห์เส้นใย และอัตราการไหลของสารละลาย และทำการศึกษาสมบัติเบื้องต้นของเส้นใยที่สังเคราะห์ได้ทั้งในส่วนของลักษณะและขนาด ร้อยละการอุ้มน้ำของเส้นใย และค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวของเส้นใยกับหยดน้ำ ที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปพัฒนาใช้เป็นวัสดุสมานแผลต้นแบบทางการแพทย์ต่อไป โดยทางคณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการพัฒนาวัสดุสมานแผลดังกล่าวจะเป็นการช่วยลดต้นทุนการนำเข้าวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่มีราคาแพงจากต่างประเทศ และยังเป็นการช่วยเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงผึ้งในสภาวะที่น้ำผึ้งมีราคาต่ำได้อีกทางหนึ่ง

2. วิธีการทดลอง

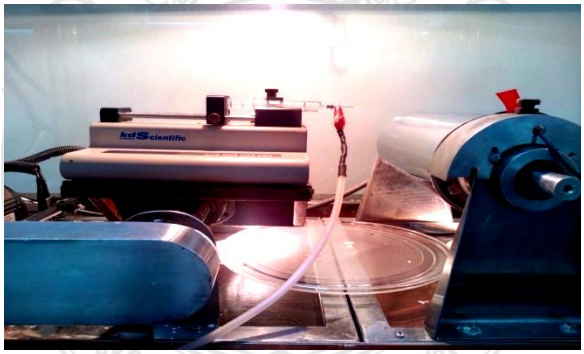
ในการวิจัยนี้ได้เลือกเจลาตินมาใช้เป็นพอลิเมอร์ผสมร่วมกับน้ำผึ้งเพื่อช่วยในการขึ้นรูปของเส้นใยด้วยกระบวนการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต ทั้งนี้เนื่องจากเจลาตินมีสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) กับสิ่งมีชีวิต หาซื้อง่าย มีราคาถูก และสามารถสังเคราะห์เป็นเส้นใยขนาดนาโนเมตรได้ด้วยเทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต

2.1 การเตรียมสารละลายน้ำผึ้ง

ละลายเจลลาติน (ศึกษาภัณฑ์) ในกรดอะซีติก (ความเข้มข้น 12 โมล ศึกษาภัณฑ์) ในอัตราส่วน 20% โดยน้ำหนัก ผสมน้ำผึ้ง (100% สวนจิตรลดา) กับสารละลายเจลลาตินที่ได้ในอัตราส่วนน้ำผึ้ง : เจลลาติน 0:100 5:95 10:90 และ15:85 โดยน้ำหนัก จะได้สารละลายเจลลาตินในกรดอะซีติกผสมน้ำผึ้งที่มีความเข้มข้นต่างๆกัน

2.2 การสังเคราะห์เส้นใยน้ำผึ้งขนาดนาโนเมตร

นำสารละลายที่ได้ไปสังเคราะห์เป็นเส้นใยนาโนด้วยกระบวนการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต โดยกำหนดให้มีระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 10 เซนติเมตร และมีเงื่อนไขในกระบวนการสังเคราะห์คือ อัตราการไหลของสารละลาย 0.04 mL/hr 0.06 mL/hr และ 0.08 mL/hr และศักย์ไฟฟ้าในการสังเคราะห์ 13 kV 15 kV และ 17 kV (เส้นใยน้ำผึ้งไม่สามารถสังเคราะห์ได้เมื่อศักย์ไฟฟ้าในการสังเคราะห์ต่ำกว่า 13 kV และสูงกว่า 17 kV ที่อัตราการไหลและอัตราส่วนของน้ำผึ้งต่อเจลลาตินที่กำหนด) โดยมีการจัดวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการปั่นเส้นใยดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage Power Supply) ของบริษัท Glassman High Voltage รุ่น SERIES ELซึ่งสามารถปรับค่าความต่างศักย์ได้ตั้งแต่ 0 kV ถึง 20 kV หลอดฉีดยา ขนาด 5 mL สำหรับบรรจุสารละลาย เข็มฉีดยาเหล็กกล้าไร้สนิม ปลายตัดเบอร์ 22 ที่มีความยาว 3 cm ลูกกลิ้งม้วนเก็บแผ่นเส้นใย ซึ่งหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รองรับเส้นใยโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 cm และเครื่องปั๊มสารละลายจากหลอดฉีดยาของบริษัท Kd Sciencetific รุ่น KDS100



รูปที่ 1 แสดงชุดอุปกรณ์การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

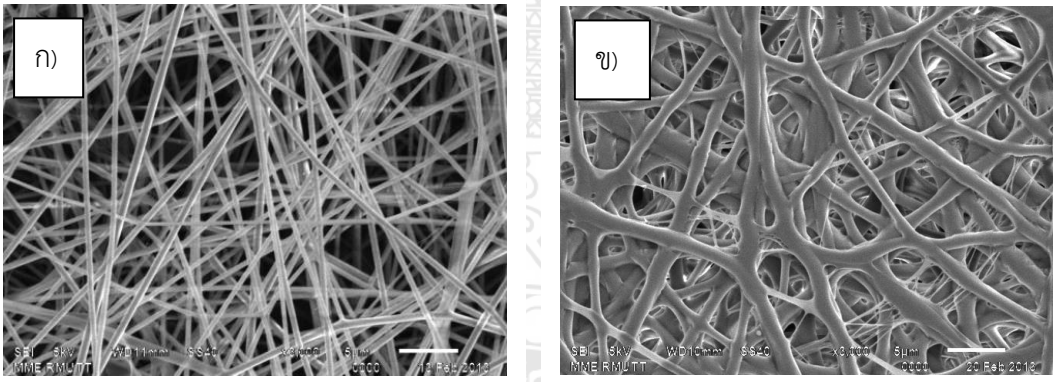
2.3 การตรวจสอบลักษณะและสมบัติของเส้นใย

นำเส้นใยที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไขต่างๆ ไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและขนาดของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น JSM – 6510 และรุ่น JSM – 6610 LV พร้อมกับนำเส้นใยไปทำการ Cross-link เพื่อปรับสภาพเส้นใยให้ไม่ละลายน้ำด้วยการรมไอของสารละลายกลูต้ารัลดีไฮด์เป็นเวลา 1 วัน แล้วจึงนำเส้นใยที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวของเส้นใยกับหยดน้ำด้วยเครื่อง Contact angle ของบริษัท rame-hart,inc รุ่น Standard Goniometer 100-00-220 และค่าร้อยละการอุ้มน้ำของเส้นใยด้วยเทคนิค water uptake โดยคำนวณค่าดังกล่าวได้จากสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละการอุ้มน้ำของเส้นใย} = \left|\frac{\text{มวลเปียก} - \text{มวลแห้ง}}{\text{มวลแห้ง}}\right| \times 100\% \quad \text{..... (1)}$$

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

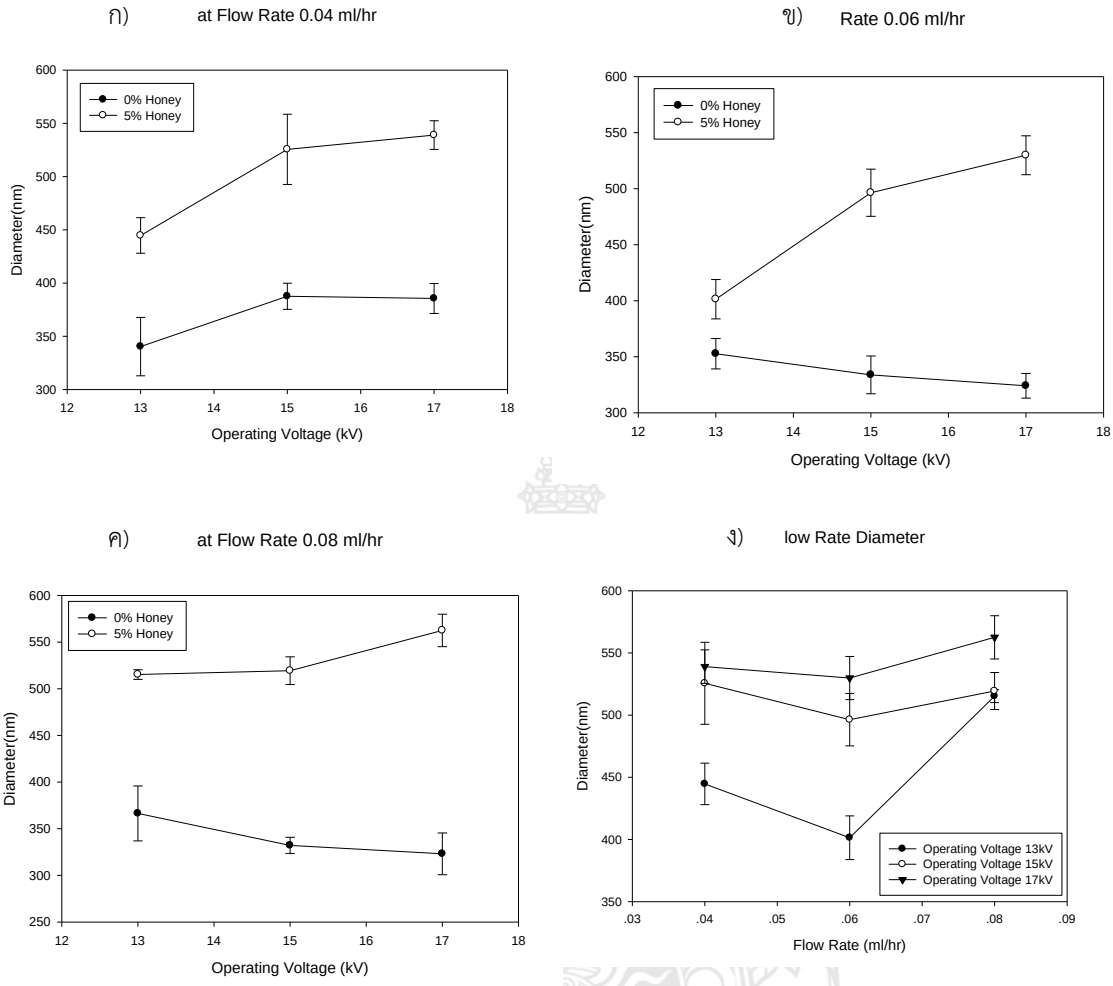
จากการสังเคราะห์เส้นใยน้ำผึ้งขนาดนาโนเมตรด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ด้วยเงื่อนไขการสังเคราะห์ต่างๆ เส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีลักษณะ ขนาด ร้อยละการอุ้มน้ำ และค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวของเส้นใยกับหยดน้ำที่แตกต่างกันออกไป โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มที่เป็นเส้นใยแบบชัดเจน และกลุ่มที่เป็นเส้นใยแบบไม่ชัดเจน (มีการเชื่อมต่อของเส้นใยในลักษณะการหลอมรวมกัน) ดังแสดงในรูปที่ 2 ในที่นี้ผู้วิจัยจะวิเคราะห์ผลของเส้นใยเฉพาะในกลุ่มที่เป็นเส้นใยแบบชัดเจนเท่านั้น ซึ่งเป็นส่วนของเส้นใยเจลาตินที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำผึ้ง และเส้นใยเจลาตินที่มีส่วนผสมของน้ำผึ้งในอัตราส่วน 5:95 โดยน้ำหนัก ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะแบ่งลำดับการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ผลของเงื่อนไขในการสังเคราะห์ต่อขนาดของเส้นใย ผลของเงื่อนไขในการสังเคราะห์ต่อสมบัติการอุ้มน้ำของเส้นใย และผลของเงื่อนไขในการสังเคราะห์ต่อสมบัติการเปียกของเส้นใย



รูปที่ 2 แสดงลักษณะของเส้นใย (กำลังขยาย 3000 เท่า) ของ ก) เส้นใยแบบชัดเจน ข) เส้นใยแบบไม่ชัดเจน

ผลของเงื่อนไขในการสังเคราะห์ต่อขนาดของเส้นใย

เมื่อเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยระหว่างเส้นใยที่มีน้ำผึ้งกับเส้นใยที่ไม่มีน้ำผึ้งเป็นส่วนผสม พบว่าเส้นใยที่มีส่วนผสมของน้ำผึ้งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ใหญ่กว่าในทุกๆ ศักย์ไฟฟ้าและอัตราการไหลของการสังเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 3 ก)-ค) ในกรณีที่เส้นใยไม่มีส่วนผสมของน้ำผึ้งพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลจาก 0.04 mL/hr เป็น 0.06 mL/hr แต่สำหรับอัตราการไหล 0.06 mL/hr และ 0.08 mL/hr พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ได้มีขนาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับในกรณีที่เส้นใยมีส่วนผสมของน้ำผึ้ง อัตราการไหลไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย และเมื่อทำการเปรียบเทียบขนาดของเส้นใยที่มีน้ำผึ้งเป็นส่วนผสมในทุกๆ ศักย์ไฟฟ้าในการสังเคราะห์ พบว่าในแต่ละอัตราการไหลขนาดของเส้นใยจะเล็กที่สุดที่ศักย์ไฟฟ้า 13 กิโลโวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 3 ง)



รูปที่ 3 แสดงผลของเงื่อนไขการสังเคราะห์ต่อขนาดของเส้นใย ก) ผลของศักย์ไฟฟ้าที่อัตราการไหล 0.04 mL/hr ข) ผลของศักย์ไฟฟ้าที่อัตราการไหล 0.06 mL/hr ค) ผลของศักย์ไฟฟ้าที่อัตราการไหล 0.08 mL/hr และ ง) สรุปผลของศักย์ไฟฟ้าและอัตราการไหลที่มีต่อขนาดของเส้นใย

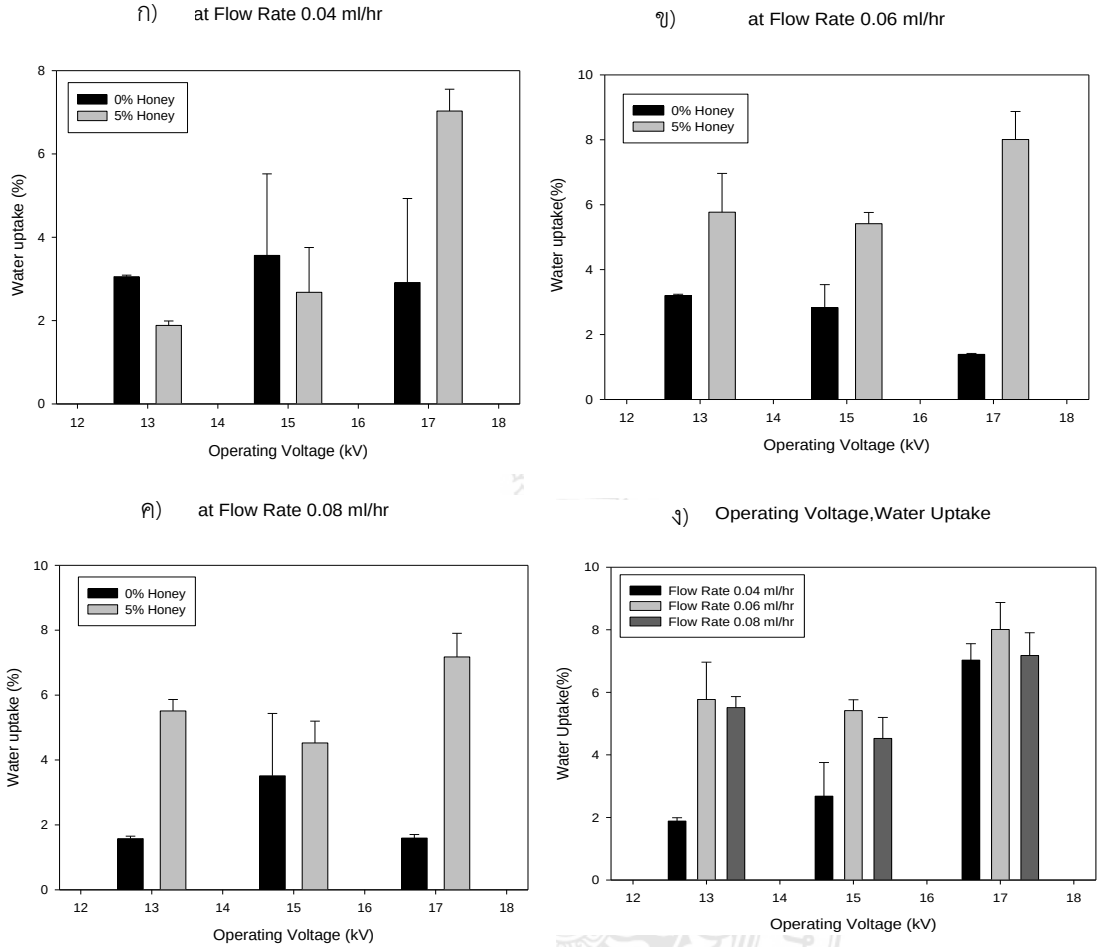
ผลของเงื่อนไขในการสังเคราะห์ต่อสมบัติการเปียกของเส้นใย

จากการศึกษาพบว่า ศักย์ไฟฟ้าในการสังเคราะห์เส้นใยและอัตราการไหลของสารละลายไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวของเส้นใยกับหยดน้ำ ทั้งสำหรับเส้นใยที่มีและไม่มีน้ำผึ้งเป็นส่วนผสม แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยที่มีและไม่มีส่วนผสมของน้ำผึ้ง พบว่าค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับเส้นใยที่มีส่วนผสมของน้ำผึ้งมีค่ามากกว่าค่ามุมสัมผัสของเส้นใยที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำผึ้งในทุกกรณี แสดงให้เห็นว่าเส้นใยจะแสดงสมบัติการไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เพิ่มมากขึ้นเมื่อมีน้ำผึ้งเป็นส่วนผสม ทั้งนี้เส้นใยที่มีน้ำผึ้งเป็นส่วนผสมที่สังเคราะห์ได้จะมีค่ามุมสัมผัสที่ต่ำที่ศักย์ไฟฟ้า 17 kV อัตราการไหล 0.06 mL/hr และ ศักย์ไฟฟ้า 15 kV อัตราการไหล 0.04 mL/hr

ผลของเงื่อนไขในการสังเคราะห์ต่อสมบัติการอุ้มน้ำของเส้นใย

จากการศึกษาพบว่า ในกรณีที่เส้นใยไม่มีส่วนผสมของน้ำผึ้ง ร้อยละการอุ้มน้ำของเส้นใยมีค่าต่ำกว่าในกรณีที่เส้นใยมีส่วนผสมของน้ำผึ้งในเกือบทุกเงื่อนไขของการสังเคราะห์ยกเว้นที่อัตราการไหล 0.04 mL/hr ศักย์ไฟฟ้า 13 kV และ 15 kV ดังแสดงในรูปที่ 4 ก)-ค) นอกจากนี้ยังพบว่าแนวโน้มของร้อยละการอุ้มน้ำของเส้นใยที่มีส่วนผสมของ

น้ำผึ้งในทุกๆ อัตราการไหลมีค่าสูงที่สุดที่ศักย์ไฟฟ้า 17 kV โดยมีค่าสูงสุดที่อัตราการไหล 0.06 mL/hr สำหรับทุกศักย์ไฟฟ้าของการสังเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4 ง)



รูปที่ 4 แสดงผลของเงื่อนไขการสังเคราะห์ต่อสมบัติการอุ้มน้ำของเส้นใย ก) ผลของศักย์ไฟฟ้า ที่อัตราการไหล 0.04 mL/hr ข) ผลของศักย์ไฟฟ้าที่อัตราการไหล 0.06 mL/hr ค) ผลของศักย์ไฟฟ้าที่อัตราการไหล 0.08 mL/hr และ ง) ผลสรุปของศักย์ไฟฟ้าและอัตราการไหลที่มี ต่อขนาดของเส้นใย

4. สรุป

เส้นใยน้ำผึ้งขนาดนาโนเมตรถูกสังเคราะห์ขึ้นด้วยกระบวนการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต เพื่อศึกษาและตรวจสอบสมบัติที่เหมาะสมของเส้นใยที่เหมาะและสามารถนำไปพัฒนาใช้เป็นวัสดุสมานแผลต้นแบบทางการแพทย์ต่อไป โดยมีเงื่อนไขในการสังเคราะห์คือ 1) อัตราส่วนของน้ำผึ้งต่อเจลลาติน 0:100 5:95 10:90 และ 15:85 โดยน้ำหนัก 2) ศักย์ไฟฟ้าของการสังเคราะห์ 13 kV 15 kV และ 17 kV และ 3) อัตราการไหลของสารละลาย 0.04 mL/hr 0.06 mL/hr และ 0.08 mL/hr เส้นใยที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไขต่างๆ ถูกนำไปวิเคราะห์ลักษณะ ขนาดและคุณสมบัติของเส้นใย พบว่า 1) เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของน้ำผึ้งและศักย์ไฟฟ้าในการสังเคราะห์เพิ่มขึ้น 2) ศักย์ไฟฟ้าของการสังเคราะห์มีผลต่อร้อยละการอุ้มน้ำของเส้นใย โดยเมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ร้อยละการอุ้มน้ำของเส้นใยที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นในทุกเงื่อนไขของการสังเคราะห์ แสดงให้เห็นว่าศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เส้นใยที่ได้มี

ความพรุนมากขึ้น 3) เส้นใยที่มีส่วนผสมของน้ำผึ้งมีค่ามุมสัมผัสระหว่างพื้นผิวของเส้นใยกับหยดน้ำสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามุมสัมผัสของเส้นใยที่ไม่มีส่วนผสมของน้ำผึ้ง ทั้งนี้เงื่อนไขของการสังเคราะห์เส้นใยน้ำผึ้งขนาดนาโนเมตรที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปพัฒนาใช้เป็นวัสดุสมานแผลต้นแบบทางการแพทย์ภายใต้เงื่อนไขการสังเคราะห์ในการวิจัยนี้คือ อัตราส่วนของน้ำผึ้งต่อเจลลาติน 5:95 ศักย์ไฟฟ้าของการสังเคราะห์ 17 kV และอัตราการไหลของสารละลาย 0.06 mL/hr โดยเส้นใยที่สังเคราะห์ได้จากเงื่อนไขดังกล่าวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 529.84±17.35 nm มีค่าร้อยละการอุ้มน้ำของเส้นใย 8.01±0.86 % ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นสมานแผลทั่วไปที่ใช้อยู่ในปัจจุบันที่สามารถดูดซับน้ำได้เพียง 2.3% และมีค่ามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับเส้นใยที่เหมาะสมคือ 37.67±2.22 องศา ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าเส้นใยที่มีสมบัติความชอบน้ำ (Hydrophilic) โดยจะส่งผลให้วัสดุสมานแผลที่จะสังเคราะห์ขึ้นมีความสามารถในการดูดซับของเหลวจากบริเวณบาดแผลได้ดี

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณโครงการจุดประกายงานวิจัย สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย และสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่อำนวยความสะดวกในด้านสถานที่สำหรับการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

Majno, G.: *The Healing Hand: Man and Wound in the Ancient World,* HarvardUniversity Press, Cambridge, (1975).

Thomas S.: *Wound Management and Dressing*, Pharmaceutical Press,London, (1990).

Doshi, J.; Reneker, D.: Electrospinning process and application of electrospun fibers, *J. Electrostatics*, Vol.35(1995), pp.151-160.

Formhals, A.: *US patent*, 1975504, 1934.

Bhattarai, S.; Bhattarai, N.; Yi, H.; Hwang, P.; Cha, D.; Kim, H.: Novel biodegradable electrospun membrane: scaffold for tissue engineering, *Biomaterials*, Vol.25(2004), pp.2595-2602.

Payam, Z.; Iraj, R.; Seyed-Omid, R.; Seyed-Hassan, J.; Pitt, S.: A Review on wound dressings with an emphasis on electrospunnanofibrous polymeric bandages, *Polymers Advanced Technologies*, Vol.21(2010), pp.77-95.

Stefan, B.: Nature and Origin of the Antibacterial Substances in Honey, *Lebensm.-Wiss.U.- Technol,* Vol.30(1997), pp.748-753.

Lusby, P.; Coombes, A.; Wilkinson, J.: Bactericidal Activity of Different Honeys againt Pathogenic Bacteria*, Archives of Medical Research,* Vol.26(2005), pp.464-467.

Yusof, N.; Hafiza, A.; Zohdi, R.; Bakar, Z.: Development of Honey Hydrogel Dressing for Enhanced Wound Healing, *Radiation Physics and Chemistry*, Vol.76(2007), pp.1676-1770.

Wang, T.; Zhu, X.; Xue, X.; Wu, D.: Hydrogel sheets of chitosan, honey and gelatin as burn wound dressings, *Carbohydrate Polymers,* Vol.88(2012), pp.75–83**.**

Dabney, S.: *The use of electrospinning technology to produce wound dressings*, PhD Dissertation, The University of Akron,(2002).