การพัฒนาแผ่นเส้นใยอิเล็คโทรสปันจากโปรตีนไหมซิริซิน สารสกัดรางจืด และสารสกัดหญ้าหางม้าสำหรับประยุกต์เป็นแผ่นปิดแผล

Development of electrospun fiber mat based on silk sericin, thunbergia-laurifolia linn extract and horsetail extract for wound dressing application

นาย ปิยะพงษ์ ปานแก้ว

นางสาว ภัทริณี คลุมดวง

นาย เจริญพร โชคบริบาล

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ ๒๕๖๐

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อไทย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแผ่นปิดแผลจากโปรตีนไหมซิริซินและสารสกัดรางจืดด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่ง โดยจากการทดลองพบว่ารังไหมสายพันธุ์นครราชสีมา 1 (K1) เป็นพันธ์ที่เหมาะสมในการนำมาสกัดโปรตีนไหมซิริซิน และส่วนต้นของรางจืดก็เหมาะสมในการนำมาสกัดสารสกัดรางจืด

เริ่มต้นได้การเตรียมเส้นใยนาโนด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่งของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสม จากการทดลองพบว่า พอลีไวนิลแอลกฮอล์ (PVA) ความเข้มข้น 9 wt % ทำให้เกิดเส้นใยได้ดีมากและเส้นใยจะออกอย่างต่อเนื่องเหมาะสมสาหรับเป็นสารละลายที่ไปผสมระหว่างเซริซินกับรางจืด

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเตรียมเส้นใยนาโนของโปรตีนไหมซิริซินและสารสกัดรางจืด ด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่ง ได้แก่ อัตราส่วนของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืด ความต่างศักย์ ระยะห่างระหว่างเข็มกับวัสดุรองรับ และขนาดของตัวเข็มที่ใช้ยิง โดยพบว่า อัตราส่วนโปรตีนไหมเซริซินต่อสารสกัดรางจืด ที่ 50:50 (w/w) ศักย์ไฟฟ้าที่ 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มถึงแผ่นรองรับ 8 cm และเข็มฉีดเบอร์ 18 ในการฉีดสาร เนื่องจากสามารถเตรียมเส้นใยให้เส้นใยมีขนาดเล็กที่สุด ลักษณะเส้นใยมีความต่อเนื่อง และสม่ำเสมอ

Abstract

In this work, fiber mat based on silk sericin and thunbergia laurifolia linn extract was developed via electrospinning technique for wound dressing application. The waste cocoons were selected from Nakhon Ratchasima 1 (K1) with appropriate spicy for extracting the silk sericin protein. Trunk of thunbergia laurifolia linn was selected for preparing thunbergia laurifolia linn extract.

Polyvinyl alcohol (PVA) with several concentrations were chose and fabricated to fibers by electrospinning technique to investigate suitable polymer concentration for mixing silk sericin and thunbergia laurifolia linn extract. The result revealed that PVA of 9 wt % was suitable due to

Several parameters were investigated to prepare the electrospun fiber of silk sericin and thunbergia laurifolia linn extract such as their mixing ratio, voltage, the distance between the needle and the substrate and the needle size. The results indicated that mixing ratio of silk sericin and thunbergia laurifolia linn extract at 50:50 (w/w), voltage of 15 kV, the distance of the needle and the substrate at 8 cm and the needle size of 18 were optimum condition for the fabrication of electrospun fiber with diameter of 100-200 nm and that with smooth and continue feature.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องมาจากความร่วมมือของผู้ร่วมวิจัยเป็นอย่างดีของนักวิจัยในโครงการ ได้แก่ ดร. ภัทริณี คลุมดวง และนายอนุวัฒน์ หัสดี นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณ ดร. เจริญพร โชคบริบาล ที่ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ สุดท้าย ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่น้อง ญาติและเพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจจนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ .....ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญภาพ.....ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย.....3

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

1.4 ขอบเขตงานวิจัย 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไหม.....5

2.1.1 โปรตีนไหม.....6

2.1.2 โครงสร้างซิริซิน.....8

2.2 รางจืด.....10

2.3 เส้นใยนาโน 12

2.4 เทคนิคและหลักการพื้นฐานของวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง.....15

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของผงโปรตีนไหมซิริซิน 20

3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมผงโปรตีนซิริซิน 20

3.1.2 การตรวจสอบโครงสร้างเคมีของผงโปรตีนไหมซิริซิน.....20

3.1.3 การศึกษาความเป็นพิษของโปรตีนไหมซิริซินต่อเซลล์ ด้วยวิธี MTT assay 22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของผงสารสกัดรางจืด.....25
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมผงสารสกัดรางจืด 25
3.2.2 การตรวจสอบโครงสร้างเคมีของผงสารสกัดรางจืด.....25
3.2.3 การศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดรางจืดต่อเซลล์ ด้วยวิธี MTT assay 26
3.3 การศึกษาความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์.....27
3.4 การเตรียมเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง 28
3.4.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืด 29
3.4.2 การศึกษาผลของความต่างศักย์.....29
3.4.3 การศึกษาระยะห่างระหว่างเข็มกับวัสดุรองรับ 30
3.4.4 การศึกษาขนาดหัวเข็ม 31

บทที่ 4 ผลการทดลอง
4.1 การศึกษาความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในการขึ้นรูปเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง32

4.2 การศึกษาผลของอัตราส่วนของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืดในการขึ้นรูปเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง.....33
4.3 การศึกษาผลของความต่างศักย์ในการขึ้นรูปเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง.....39
4.4 การศึกษาระยะห่างระหว่างเข็มกับวัสดุรองรับในการขึ้นรูปเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง ...42
4.5 การศึกษาขนาดหัวเข็มในการขึ้นรูปเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง 46

บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัย.....47

รายการอ้างอิง 49
ประวัตินักวิจัย 52

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติและหน้าที่สำคัญของกรดอะมิโนในผงไหมที่มีต่อร่างกาย.....6
ตารางที่ 2.2 กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของซีริซินและไฟโบรอิน เป็นกรัมในโปรตีน 100 กรัม..9
ตารางที่ 3.1 เปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์จากการทดสอบโปรตีนไหมซีริซิน.....23
ตารางที่ 3.2 เปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์จากการทดสอบของสารสกัดรางจืด 27
ตารางที่ 3.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 28
ตารางที่ 3.4 การศึกษาผลของอัตราส่วนของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืด...29
ตารางที่ 3.5 การศึกษาผลของความต่างศักย์.....30
ตารางที่ 3.6 การศึกษาระยะห่างระหว่างเข็มกับวัสดุรองรับ 30
ตารางที่ 3.7 การศึกษาขนาดเข็ม 31
ตารางที่ 4.1 การศึกษาความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 32
ตารางที่ 4.2 สัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโทรสปันของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืดที่อัตราส่วนต่างๆ 33
ตารางที่ 4.3 สัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโทรสปันของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืดที่ความต่างศักย์ต่างๆ.....40
ตารางที่ 4.4 สัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโทรสปันของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืดที่ระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับต่างๆ 43
ตารางที่ 4.5 รายละเอียดสัณฐานวิทยาของเส้นใยอีเล็กโทรสปินของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืด 46

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างซิริซิน.....9
รูปที่ 2.2 ลักษณะของเส้นใยนาโนที่ได้จากเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่งที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....12
รูปที่ 2.3 องค์ประกอบหลักของระบบอิเล็กโทรสปินนิ่งอย่างง่าย.....15
รูปที่ 3.1 อินฟราเรดสเปคตรัมของโปรตีนไหมซิริซินที่สกัดได้จากรังไหมสายพันธ์ต่างๆ.....21
รูปที่ 3.2 อินฟราเรดสเปคตรัมของสารสกัดรางจืดจากส่วนต่างๆ.....25
รูปที่ 3.3 ระบบการเตรียมเส้นใยระดับนาโนเมตรด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง.....28

บทที่ 1
บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะอภิบายถึงที่มาและความสำคัญว่ามีความเป็นมาอย่างไร มีวัตถุประสงค์อย่างไรบ้าง ขอบเขต รวมทั้งประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

การเกิดบาดแผลอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุ สารเคมี ไฟไหม้ หรือความร้อน จนทำให้ผิวหนังหลุดลอกหรือฉีกขาดออกไป ส่งผลให้บริเวณบาดแผลนั้นมีโอกาสสัมผัสและรับเอาเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกาย จึงก่อให้เกิดความเสี่ยงในการติดเชื้อและเกิดโรคแทรกซ้อนต่างๆได้ง่าย และอาจส่งผลถึงการทำงานที่ผิดปกติของอวัยวะส่วนนั้น ปัจจุบันมีการวิจัยและพัฒนาวัสดุปิดแผลเพื่อใช้รักษาผู้ป่วยที่สูญเสียชั้นผิวหนังจากการติดเชื้อ การอักเสบ หรือบาดแผลอันเนื่องมาจากอุบัติเหตุ สารเคมี ไฟไหม้ หรือความร้อน โดยวัสดุปิดแผลดังกล่าว ต้องสามารถยึดเกาะบาดแผลได้ดี ป้องกันการระเหยออกของน้ำและรักษาความชุ่มชื้นใต้บาดแผล สามารถระบายอากาศและไอน้ำให้ผ่านเข้าออกได้ในสัดส่วนพอเหมาะเพื่อป้องกันแผลเปื่อย มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียเพื่อป้องกันการอักเสบก่อนที่ร่างกายจะสร้างเนื้อเยื่อขึ้นมาทดแทน รวมทั้งสามารถกระตุ้นการสร้างใหม่ของเนื้อเยื่อผิวหนังได้ [1] จากรายงานที่ผ่านมาพบว่าประเทศไทยนำเข้าผลิตภัณฑ์แผ่นปิดแผลจากต่างประเทศถึง 400 ล้านบาทต่อปี ไม่นับการนำเข้าผิวหนังเทียมจากประเทศญี่ปุ่น แผ่นละ 7,000 บาท ซึ่งหากนำมาใช้กับแผลขนาดใหญ่ที่จำเป็นต้องใช้แผ่นปิดแผลจำนวนมากแล้ว ย่อมทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการรักษาที่สูงขึ้นและส่งผลให้ผู้มีรายได้น้อยไม่สามารถเข้าถึงการรักษาได้อย่างเสมอภาค

จากความสำคัญข้างต้นที่กล่าวมา ทำให้คณะผู้วิจัยสนใจที่จะพัฒนาแผ่นปิดแผลให้มีคุณภาพดีเทียบเท่าวัสดุปิดแผลที่จำหน่ายในท้องตลาดเพื่อลดการนำเข้าจากต่างประเทศ โดยการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา [2-5] พบว่า พอลิเมอร์ธรรมชาติประเภทสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ เช่น แอลจิเนต ไคติน ไคโตซาน เฮพาริน และ คอนโดรอิทิน และสารประกอบโปรตีน เช่น คอลลาเจน เจลาติน ไฟโบรอิน เคอราติน และ เซริซิน รวมทั้งพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิไกลโคลิกแอซิด (PGA), พอลิแลคติคแอซิด (PLA), พอลีอะไครลิกแอซิด (PAA), พอลิคาโพรแล็กโตน (PCL), พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP), โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และพลีเอธิลีนไกคอล (PEG) ได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่งในการวิจัยพัฒนาเป็นวัสดุปิดแผลเนื่องจากแสดงสมบัติที่ดีในการรักษาแผลและกระตุ้นการสร้างเนื้อเยื่อบุผิวใหม่ แต่อย่างไรก็ตามพอลิเมอร์เหล่านี้มีกระบวนการเตรียมที่ยุ่งยาก และราคาในการผลิตค่อนข้างสูงซึ่งส่งผลต่อต้นทุนในการผลิตเพื่อเชิงพาณิช โปรตีนเซริซินหรือกาวไหมซึ่งได้มาจากกระบวนการต้มรังไหมเพื่อให้ได้เส้นไหมสำหรับใช้ในการผลิตสิ่งทอ เป็นวัสดุที่คณะผู้วิจัย

ให้ความสนใจเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นโปรตีนที่ได้จากกระบวนการเตรียมที่ง่ายมากเพียงการต้มรังไหม และต้นทุนการผลิตก็ถูกมากเมื่อเทียบกับการผลิตพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ และที่สำคัญ ในแต่ละปีประเทศไทยผลิตเส้นไหมได้มากกว่า 1,500 ตัน มีเศษไหมเหลือทิ้งไม่ต่ำกว่า 200 ตัน [6] จึงมีความเป็นไปได้สูงในการนำโปรตีนซิริซินที่ได้จากน้ำต้มไหมซึ่งถือว่าเป็นวัตถุดิบที่สูญเปล่าจากกระบวนการผลิตเส้นไหม มาวิจัยและพัฒนาต่อยอดเป็นแผ่นปิดแผล โดยโปรตีนซิริซินมีคุณสมบัติเด่นในการรักษาความชุ่มชื้นและลดการเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด รวมทั้งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระด้วย [7]

หากกล่าวถึงวงการแพทย์แผนไทย มีสมุนไพรอยู่หลายชนิดที่มีประสิทธิภาพในการรักษาแผล สมุนไพรรางจืดซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Thunbergia laurifolia Linn. เป็นพืชสมุนไพรอีกชนิดหนึ่งที่รู้จักกันดีในวงการแพทย์แผนไทยที่ช่วยลดอาการปวดบวมและอักเสบเนื่องจากแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งสนับสนุนว่าสารสกัดรางจืด สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย Aerobacter aerogens [8] ยับยั้งการเจริญของไวรัส hepes simplex type 1 ซึ่งเป็นไวรัสที่ก่อให้เกิดโรคเริม [9] มีฤทธิ์ต้านการอักเสบฤทธิ์สูงกว่ามังคุดประมาณ 2 เท่า [10] นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและมีประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีเอที่ดีด้วย [11] นอกจากนี้แล้วยังมีสมุนไพรอีกหนึ่งชนิดซึ่งทีมผู้วิจัยสนใจเป็นอย่างยิ่งคือ หญ้าหางม้าซึ่งมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า Equisetum debile ประกอบด้วยแร่ธาตุซิลิกาในปริมาณที่สูงเมื่อเทียบกับสมุนไพรอื่นๆ ดังนั้นจึงมีสรรพคุณช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน นอกจากนั้นจากงานวิจัยยังพบว่ามีคุณสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรีย และเป็นส่วนประกอบสำคัญของ connective tissue ในการเสริมสร้าง collagen ทำให้เซลล์ผิวหนังกระชับและแข็งแรงขึ้น [12]

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญในการใช้สารสกัดจากธรรมชาติซึ่งมีผลข้างเคียงต่อร่างกายน้อยมากและมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำมาวิจัยและพัฒนาเป็นวัสดุปิดแผลเพื่อเป็นแนวทางลดต้นทุนในการผลิตวัสดุปิดแผลและยังช่วยลดปัญหาการตกค้างของสารเคมีในร่างกายผู้ป่วยได้อีกด้วย โดยจะพัฒนาแผ่นปิดแผลในรูปแบบแผ่นเส้นใยนาโนคอมโพสิตระหว่างโปรตีนซิริซิน สารสกัดรางจืด และสารสกัดหญ้าหางม้า ด้วยวิธีการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (electrospinning technique) ซึ่งเป็นวิธีที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน และค่าใช้จ่ายน้อย แผ่นปิดแผลที่ขึ้นรูปด้วยวิธีการนี้จะประกอบด้วยเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระดับนาโนเมตรจึงมีพื้นที่ผิวสูงมากเมื่อเทียบกับปริมาตรหรือน้ำหนัก ดังนั้นแผ่นปิดแผลนี้จะสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสกับบาดแผลส่งผลที่ดีในการรักษาและการซ้อนทับของเส้นใยจะทำให้เกิดรูพรุนขนาดเล็กเป็นจำนวนมากซึ่งส่งผลให้เส้นใยมีคุณสมบัติในการส่งผ่านของเหลวหรือแก๊สได้ดีและมีน้ำหนักเบา โดยงานวิจัยนี้จะแบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วนส่วนแรกจะเป็นการศึกษาการสกัดโปรตีนซิริซิน สารสกัดรางจืด และสารสกัดหญ้าหางม้า และจะศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และการเป็นพิษของสารสกัดเหล่านี้ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ สำหรับส่วนที่

สองจะศึกษาเงื่อนไขการเตรียมเส้นใยอิเล็คโทรสปิงนิงเพื่อนำองค์ความรู้ที่ได้ไปพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แผ่นปิดแผลทางการแพทย์ต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาแผ่นปิดแผลจากโปรตีนไหมซิริซินและสารสกัดรางจืดด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. Khanam และคณะ [13] ได้รายงานว่า สารซิริซินที่ได้จากไหมบอมบิกมอรี (Bombyx mori - silk worm) เป็นโปรตีนโมเลกุลใหญ่ ในกระบวนการผลิตเส้นไหม สารซิริซินสามารถถูกสกัดออกมาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในงานด้านอื่น ๆ ได้ อีกทั้งเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมด้วย โปรตีนซิริซินมีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติเฉพาะของซิริซิน เช่น เป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นสารต่อต้านแบคทีเรีย ป้องกันแสงยูวี และสามารถดูดซับและปล่อยผ่านความชื้นได้ดี เป็นต้น ดังนั้น ซิริซินจึงสามารถนำไปใช้เป็นสารปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์สังเคราะห์ ใช้เป็นสารเคลือบผิวของเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ นอกจากนั้น ซิริซินสามารถนำไปใช้ดัดแปลงในการเตรียมวัสดุต่าง ๆ เพื่อให้สมบัติเป็นวัสดุชีวภาพที่ย่อยสลายเองได้ หรือเป็นวัสดุทางการแพทย์ เป็นต้น

2. Dash และคณะ [14] ได้ศึกษาการแยก การทำให้บริสุทธิ์ และสมบัติของโปรตีนไหมซิริซินจากรังไหมพันธุ์ Anteraea mylitta พบว่า โปรตีนซิริซินที่เตรียมได้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและละลายน้ำได้ โดยการสกัดโดยใช้สารทำละลายผสมของ 8 M Urea และ 1% SDS และ 2% β –mercaptoethanol หรือ 1% NaCl จากนั้น โปรตีนซิริซินที่เตรียมได้ ถูกนำไปทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีเจล ฟิลเตรชั่นโครมาโทกราฟี (gel filtration chromatography) ในการหาน้ำหนักโมเลกุลด้วยวิธี SDS-PAGE พบว่าโปรตีนซิริซินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 200 kDa องค์ประกอบกรดอะมิโนส่วนใหญ่ได้แก่ ไกลซีนและเซรีน มีโครงสร้างทุติยภูมิที่ศึกษาด้วยวิธี Circula Dichroism spectrometry (CD spectroscopy) เป็นแบบ β-sheet 36.7% แบบ random coil 52.6 % และแบบอื่น ๆ อีก 10.6 % แต่ไม่พบโครงสร้างแบบ α-helic เลย

3. Shi และคณะ [15] ได้ศึกษาการเตรียมไฮโดรเจลระหว่าง poly(γ-glutamic acid) และโปรตีนเซริซิน ผลการวิจัยพบว่ากระตุ้นการขยายตัวและการเจริญเติบโตของเซลล์ fibroblast นอกจากนี้ยังสามารถต่อต้านเชื้อแบคทีเรียด้วย

4. Zhao และคณะ [16] ได้ศึกษาการเตรียมเส้นใยนาโนเมตรของไครโตซานและโปรตีนซิริซินด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง พบการวิจัยพบว่า ได้เส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 240 ถึง 380 นาโนเมตร และการทดสอบ MTT assays พบว่า เส้นใยผสมสามารถเข้ากันได้กับเซลล์ และสามารถกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของเซลล์ รวมทั้งสามารถต่อต้านเชื้อแบคทีเรียด้วย

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. รังไหมรวบรวมมาจากจังหวัดนครราชสีมา
2. สกัดโปรตีนซิริซินด้วยการต้ม
3. สกัดสารรางจืดด้วยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็นน้ำ
4. ตรวจสอบความเป็นพิษด้วยวิธี MTT assay

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นแบบแผ่นเส้นใยที่เตรียมได้จากโปรตีนไหมซิริซินและสารสกัดรางจืดที่ขึ้นรูปด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง
2. ได้แนวทางในการพัฒนาแผ่นเส้นใยอิเล็กโทรสปันให้มีสมบัติที่ดีขึ้น
3. สร้างนักวิจัยรุ่นใหม่และกลุ่มวิจัยวัสดุที่มีความพร้อมในการบูรณาการความรู้ทางด้านต่างๆ

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่จะนำมาใช้ในการทำงานวิจัย [17-23] โดยมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 ไหม

ไหม (Silk) เป็นเส้นใยโปรตีนชนิด พอลิเอไมด์ (Polyamide) ถือเป็นพอลิเมอร์สายโซ่ยาว ที่พ่นออกมาจากต่อมไหมของหนอนไหมพันธุ์ต่างๆ (Silkworm silk) เพื่อห่อหุ้มตัวเอง นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ในแมลงจำพวกแมงมุม ที่ทำการพ่นใยเพื่อสร้างตาข่ายสำหรับเป็นรัง หรือ ห่อหุ้มไข่ หรือ ไว้ดักแมลงตัวอื่น พันธุ์ไหมที่ได้จากหนอนไหมได้แก่

1. ไหมจากหนอนไหม (Silkworm silk)

ไหมเลี้ยงในวงศ์ Bombycidae คือ ตัวไหมซึ่งกินหม่อนเป็นอาหาร ไหมเลี้ยงชนิดนี้รู้จักกันในนามของ Bombyx Mori และมีชื่อตามแหล่งกำเนิด คือ ไหมพันธุ์จีน ไหมพันธุ์ยุโรป ไหมพันธุ์ญี่ปุ่น และไหมพันธุ์ไทย ลักษณะเส้นไหมเลี้ยง หลายสี เช่น สีขาว สีเหลือง สีเขียว เป็นต้น พื้นผิวเรียบ มันเงา เล็กน้อย และมีคุณสมบัติของการคลายรอยยับค่อนข้างดี ให้ความอบอุ่นขณะสวมใส่ และยังคงมีความทนทานต่อแรงดึงได้สูง

ปัจจุบันไหมไทยซึ่งมีลักษณะรังสีเหลือง เป็นไหมที่ได้รับการพัฒนาสายพันธุ์ระหว่างไหมพื้นเมือง Polyvoltine เช่น พันธุ์นางเหลือง นางน้อย นางลาย ปากช่อง เป็นต้น กับสายพันธุ์ Bivoltine เช่น Japanese no. 1: Japanese no. 2: T dai mayu เป็นต้น สามารถให้ผลผลิตของเส้นไหมได้สูงขึ้น รังไหมมีขนาดใหญ่ขึ้น สามารถดัดแปลงใช้ในการสาวกับเครื่องสาวกึ่งอัตโนมัติได้ ในประเทศไทยมีการส่งเสริมการเลี้ยงไหม 2 ชนิด คือ การเลี้ยงไหมพันธุ์ไทย หรือ ไทยพันธุ์ผสม เพื่อผลิตเส้นไหม และการเลี้ยงไหมพันธุ์ลูกผสมต่างประเทศ เพื่อผลิตรังไหมส่งจำหน่ายโรงงานสาวไหม

2. ไหมป่า (Wild silk)

เป็นไหมที่ได้จากผีเสื้อชนิดอื่น นอกเหนือจากชนิด Bombyx Mori ซึ่งไม่ได้กินใบหม่อนเป็นอาหาร แหล่งอาหารสำหรับไหมป่าชนิดนี้ ได้แก่ ใบละหุ่ง ใบมันสำปะหลัง ใบโอ๊ค เป็นต้น พบมากในประเทศจีน ญี่ปุ่น และอินเดีย สามารถเก็บรังไหมป่าได้ 2-8 ครั้งต่อปี โดยมีสีตั้งแต่ สีขาว น้ำตาลแกมเหลือง น้ำตาล เขียว เป็นต้น มีรูปร่างเป็นรูปไข่ วงรี และรังมีขนาดใหญ่กว่ารังไหมเลี้ยง แต่รังจะหยาบกว่า ไหมป่าชนิดที่เป็นที่รู้จักดีที่สุด คือ ไหมมูก้า (Muga silk) ไหมอีรี่ (Eri silk) และไหมทัซซาร์ (Indian Tussah silk)

2.1.1 โปรตีนไหม

ไหมเป็นโปรตีนชนิด พอลิเอไมด์ (polyamide) ถือเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาวด้วยการควบแน่น ซึ่งพ่นมาจากต่อมไหมของหนอนไหมพันธุ์ต่างๆ (silkworm silk) เพื่อห่อหุ้มรอบตัวเอง นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ในแมลงจำพวกแมงมุม (spider silk) ที่ทำการพ่นใยเพื่อสร้างตาข่ายสำหรับเป็นรัง หรือห่อหุ้มไข่ หรือไว้ดักแมลงตัวอื่น

รังไหมที่ได้จากหนอนไหม *Bombyx Mori* มีส่วนประกอบด้วยโปรตีนหลัก 2 ส่วน คือ ซีริซิน (Sericin protein) และโปรตีนไฟโบรอิน (Fibroin protein) โปรตีนซีริซินถูกสร้างมาจากต่อมบริเวณส่วนกลางของลำตัวหนอนไหม มีคุณสมบัติเหนียวคล้ายกาว เคลือบอยู่รอบๆ เส้นไหมหรือไฟโบรอินทำหน้าที่เคลือบหรือห่อหุ้มและเป็นกาวยึดเกาะเส้นไฟโบรอินให้คงสภาพเป็นรังไหมไว้ได้ สามารถละลายน้ำได้ดีประมาณ 20-30 % ส่วนโปรตีนไฟโบรอินถูกสร้างมาจากต่อมบริเวณส่วนหลังของหนอนไหม เป็นโปรตีนประเภทเส้นใย ซึ่งเป็นส่วนที่นำมาใช้ในการทอผ้าไหมและเป็นโปรตีนที่ไม่สามารถละลายในตัวทำละลายส่วนใหญ่ รวมน้ำ กรด ด่าง มีประมาณร้อยละ 70-80 % โดยโปรตีนที่ได้จากหนอนไหมดังกล่าวจะประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีคุณค่า ดังตารางที่1และเป็นกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกายของมนุษย์

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติและหน้าที่สำคัญของกรดอะมิโนในผงไหมที่มีต่อร่างกาย

ชนิดกรดอะมิโนในผงไหม	หน้าที่และคุณสมบัติ
Glycine #	- ควบคุมระดับคลอเรสเตอรอล - ป้องกันและรักษาความดันโลหิตสูง - ช่วยเสริมสร้างการทำงานของตับ
Alanine #	- เป็นแหล่งพลังงานสำคัญต่อเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ สมอง และ ระบบประสาทส่วนกลาง - ผลิต antibodies ที่ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันดีขึ้น - ช่วยในระบบการทำงานของน้ำตาลและกรดอินทรีย์ digest alcohol (สลายแอลกอฮอล์)
Serine #	- เป็นแหล่งสะสมน้ำตาลกูลโคสในตับ และกล้ามเนื้อ จึงช่วยส่งเสริมระบบการทำงานของอินซูลิน (Insulin) เป็นการลดน้ำตาลในซึ่งช่วยในการเผาผลาญไขมันที่สะสมในร่างกาย - ช่วยให้ระบบภูมิคุ้มกันแข็งแรงขึ้น - ช่วยสังเคราะห์กรดไขมันล้อมรอบ Never fibers
Aspatic acid*	- ช่วยขับไล่อาการเจ็บ และสารพิษแอมโมเนียออกจากร่างกาย

	- ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการเหนื่อยอ่อน - ช่วยระบบกล้ามเนื้อ และการเคลื่อนไหว
Tyrosine	- ช่วยในการส่งผ่านเส้นประสาทไปยังสมอง อีกทั้งมีผลดีต่อระบบประสาท - ช่วยความจำ - กระตุ้นการเต้นของหัวใจ
Glutamic acid	- ช่วยลดแอมโมเนียในเลือดซึ่งมีส่วนสัมพันธ์กับโปรตีน ในสมอง และระบบการทำงานของน้ำตาล - ช่วยควบคุมโรคสุรา(Alcoholism) - รักษาปริมาณน้ำของผิวหนัง และป้องกันผิวหนังแห้ง
Threonine*	- ป้องกันการเกิดไขมันในตับ - ช่วยย่อยและช่วยระบบการทำงานของร่างกาย
Isolesine*	-กระตุ้นการทำงานของสมองส่วนบน
Leusine*	- ลดน้ำตาลในเลือด - ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น
Arginine	- เสริมสร้างภูมิคุ้มกันต่อเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส และเซลล์เนื้องอก - ช่วยให้แผลแห้งเร็วขึ้น - ช่วยเสริมสร้างตับ
Cystine	-ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Anitoxdant) และเพิ่มความแข็งแกร่งให้ร่างกายต่อต้านรังสี และมลพิษ - ช่วยในการสังเคราะห์โปรตีน - มีความจำเป็นต่อการสร้างผิวหนัง ซึ่งจะช่วยให้แผลไฟไหม้ และแผลผ่าตัดหายเร็วขึ้น - ส่วนของผมและผิวหนังจะประกอบไปด้วย Cyatine 10-14 %
Lysine*	- ต่อต้านเริม งูสวัด โดยจะช่วยให้เกิดความสมดุลของธาตุอาหาร และการเจริญเติบโตของไวรัส - การขาด Lysine มีผลทำให้เหนื่อยง่าย ยับยั้งการเติบโต ผมร่วง โรคโลหิตจาง และเกิดปัญหาต่อระบบสืบพันธุ์
Phenylanine*	-มีผลต่อระบบเส้นประสาท
Methionine*	-เป็นแหล่งที่ให้สารกำมะถันซึ่งป้องกันการเกิดโรคเกี่ยวกับผม ผิวหนังและเล็บ

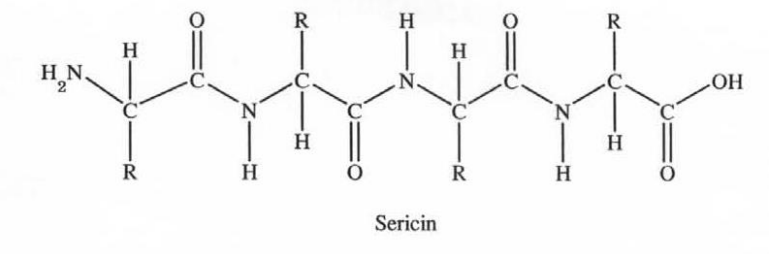
	- ช่วยลดระดับคลอเรสเตอรอล โดยการผลิตเลซิตินในตับ - ลดไขมันตับ และป้องกันไต - ป้องกันผมร่วงและส่งเสริมการเจริญของเส้นผม
Valine*	-ช่วยให้จิตใจกระปี้กระเปร่า ประสานการทำงานของกล้ามเนื้อ
Tryptophan*	- สนับสนุนการผลิตเม็ดเลือดแดง - ป้องกันและช่วยลดอันตรายที่เกิดกับเส้นโลหิตแดง และการชักกระตุกของหัวใจ - ทำงานร่วมกับ Lysine ในการลดคลอเรสเตอรอล
Proline	- รักษาความดันโลหิต - มีความสำคัญอย่างมากต่อการทำงานของข้อ และเอ็น - ช่วยบำรุงรักษากล้ามเนื้อหัวใจ
Histidin	-พบมากในเม็ดเลือดแดง ใช้ในการรักษารูมาตอยโรคข้ออักเสบ อาการผื่นคัน โรคผื่นคัน แผลพุพอง และโรคโลหิตจาง -ถ้าขาดจะมีผลต่อการได้ยินเสียงลดลง -ส่งเสริมการผลิตเซลล์เม็ดเลือด ช่วยขยายหลอดเลือด

หมายเหตุ * กรดอะมิโนที่มีจำเป็น (Essential amino acid)

กรดอะมิโนในไหมที่พบมาก และมีความสำคัญต่อร่างกายมากที่สุด (3ชนิด)

2.1.2 โครงสร้างซิริซิน

ซิริซินเป็นสารที่มีสีเหลือง เปราะและไม่ยืดหยุ่น ทำหน้าที่ยึดเส้นใยไฟโบรอิน 2 เส้นให้อยู่ติดกัน ซิริซินประกอบด้วย 3 ส่วนคือ I, II และ III โดยซิริซิน III จะอยู่ด้านในติดกับไฟโบรอิน ซิริซินประกอบด้วยกรดอะมิโน 18 ชนิด ส่วนใหญ่เป็นกรดอะมิโนที่มีขั้ว (Polar amino acid) ที่มีหมู่ไฮดรอกซี (hydroxyl group) และหมู่อะมิโน (amino group) เช่น เซอรีน (serine), แอสปาติกแอซิด (aspartic acid) และไลซีน (lysine) ประมาณ 72 % จึงทำให้ซิริซินสามารถละลายน้ำได้ Kim (2007) ได้รายงานว่าซิริซินเป็นโปรตีนที่มีโครงสร้างแบบปฐมภูมิและทุติยภูมิรวมกันอยู่ คือ โครงสร้างแบบปฐมภูมิ (primary structure) ของซิริซิน ซึ่งมีลำดับกรดอะมิโนเรียงซ้ำกันดังนี้ GSVSSTGSSNTDSST (G = Glycine, S = Serine, T = Threonine, V = valine, N = Asparagines and D = Aspartic acid) สำหรับโครงสร้างแบบทุติยภูมิ (secondary structure) ส่วนมากจะเป็นแบบ random coil แต่จะพบโครงสร้างที่เป็นแบบ Beta-sheet ได้เล็กน้อย



รูปที่ 2.1 โครงสร้างซีริซิน

ตาราง 2.2 กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของซีริซินและไฟโบรอิน เป็นกรัมในโปรตีน 100 กรัม

กรดอะมิโน		เซริซิน	ไฟโบรอิน
Non-polar amino acid	Glycine	8.66	41.25
	Alanine	3.51	28.87
	Valine	3.14	2.63
	Leucine	1.02	0.32
	Isoleucine	0.77	0.44
	Proline	0.66	-
	Phenylalanine	0.50	0.58

กรดอะมิโน		เซริซิน	ไฟโบรอิน
Acid amino acid	Aspartic acid	17.03	0.76
	Glutamic acid	7.46	0.69
	Arginine	6.07	0.86
Basic amino acid	Histidine	1.88	-
	Lysine	4.95	0.17
Hydroxy amino acid	Serine	27.32	13.22
	Threonine	7.48	10.85
	Tyrosine	4.43	10.95
Sulfer-complex	Methionine	-	-
Amino acid	Cystine	0.20	-
รวม		95.08	101.56

2.2 รางจืด

รางจืด (อังกฤษ: Laurel clock vine, Blue trumpet vine; ชื่อวิทยาศาสตร์: Thunbergia laurifolia) เป็นชื่อของพืชสมุนไพรประเภทไม้เลื้อยหรือไม้เถา มีลักษณะเนื้อแข็ง เลื้อยพาดพันไปตามต้นไม้ เถาจะมีลักษณะเป็นข้อปล้องกลมมีสีเขียวสดหรือสีเขียวเข้ม ดอกจะเป็นสีม่วงอ่อนๆหรือสีคราม ออกดอกเป็นช่อห้อยลงตามซอกใบ มีสรรพคุณทางยาในด้านการถอนพิษต่างๆ หรือใช้เป็นยาพอกบาดแผล น้ำร้อนลวก ไฟไหม้ รวมถึงใช้เป็นยารับประทานเป็นยาแก้ร้อนในกระหายน้ำ

รางจืดมีชื่อพื้นเมืองอื่น ๆ ได้แก่ กำลังช้างเผือก เครือเขาเขียว ขอบชะนาง ยาเขียว(ภาคกลาง)คาย รางเย็น (ยะลา) จอลอดิเออ ซั้งกะ ปั้งกะล่ะ พอหน่อเตอ (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน) ดุเหว่า (ปัตตานี) ทิดพุด (นครศรีธรรมราช) น้ำนอง (สระบุรี) ย่ำแย้ แอดแอ (เพชรบูรณ์)

ลักษณะภายนอกของเครื่องยา:

เถาที่มีอายุมากจะมีเนื้อแข็งขนาดกลาง เถามีเนื้อไม้ เถาอ่อนสีเขียว กลม เป็นข้อปล้อง เถาแก่สีน้ำตาล ใบรูปไข่ปลายเรียวแหลม ปลายใบแหลม หรือแหลมยาว โคนใบกลม ตัด รูปหัวใจหรือคล้ายลูกศร ขอบใบเรียบ จักซี่ฟันตื้นๆ ห่างๆ แผ่นใบเกลี้ยง เส้นโคนใบส่วนมากมี 5 เส้น เส้นแขนงใบย่อยแบบร่างแหเห็นชัดเจน ใบยาว 4-18 เซนติเมตร หลังใบผิวเรียบมัน สีเขียวเข้ม ท้องใบเรียบสีอ่อนกว่า เนื้อใบบาง ใบ ราก และเถา รสจืดเย็น

ลักษณะทางกายภาพและเคมีที่ดี:

ใบ ความชื้นไม่เกินร้อยละ 5, เถ้าที่ไม่ละลายในกรด ไม่เกินร้อยละ 3, ปริมาณสิ่งสกัดด้วย 95% เอทานอล ไม่น้อยกว่าร้อยละ 16 (J Thai traditional and alternative medicine 9(1) suppl, 2011.)

สรรพคุณ:

ตำรายาไทย: ใบ ราก และเถา รสจืดเย็น ตำคั้น หรือเอารากฝนกับน้ำ หรือต้มเอาน้ำยาดื่ม ถอนพิษ แก้ไข้ ถอนพิษยาเบื่อเมา แก้ร้อนในกระหายน้ำ แก้ประจำเดือนไม่ปกติ แก้ปวดหู ตำพอก แก้ปวดบวม เถาและใบ รับประทานแก้ร้อนในกระหายน้ำ แก้พิษร้อนต่างๆ ราก รสจืดเย็น แก้อักเสบ แก้ปวดบวม แก้เมาค้าง แก้อาการปวดหัวมึนหัวอันเนื่องมาจากพิษสุรา ถอนพิษสุรา พิษตกค้างในร่างกาย ใช้รากเข้ายารักษาโรคอักเสบและปอดบวม รากและเถา ใช้กินเป็นยารักษาอาการร้อนในกระหายน้ำ รักษาพิษร้อนทั้งปวง ทั้งต้น รสจืดเย็น ถอนพิษยาเบื่อเมา หรือใช้ปรุงเป็นยาเขียว ถอนพิษไข้ ถอนพิษผิดสำแดง พิษเบื่อเมาเนื่องจากเห็ดพิษ สารหนู หรือยาฆ่าแมลง และพิษทั้งปวง รักษาหอบหืดเรื้อรัง แก้ผื่นคันจากอาการแพ้ต่างๆ ปรุงยาแก้มะเร็ง หมอยาแผนไทยใช้เพื่อช่วยจับสารพิษในตับหรือล้างพิษในตับ

สมุนไพรพื้นบ้านล้านนา: ใช้ ใบและราก ปรุงเป็นยาถอนพิษไข้ เป็นยาพอกบาดแผล น้ำร้อนลวก ไฟไหม้ ทำลายพิษยาฆ่าแมลง พิษจากสตริกนินให้เป็นกลาง พิษจากดื่มเหล้ามากเกินไป หรือยาเบื่อชนิดต่างๆ (ระบุว่ารากรางจืดมีตัวยามากกว่าใบ 4-7 เท่า))

ตำรายาพื้นบ้านนครราชสีมา: ใช้ ใบ แก้โรคเบาหวาน โดยใช้ใบประมาณ 58 ใบ มาโขลกให้ละเอียดผสมกับน้ำซาวข้าวรับประทานครั้งละ 1 แก้ว วันละ 3 เวลา

ประเทศมาเลเซีย: ใช้ใบแก้ประจำเดือนผิดปกติ แก้ปวดบวม

องค์ประกอบทางเคมี:

ฟลาโวนอยด์, ฟีนอลิก, apigenin, cosmosin, delphinidin-3,5-di-O-beta-D-glucoside, chlorogenic acid, caffeic acid, lutein

การศึกษาทางเภสัชวิทยา:

ต้านเชื้อแบคทีเรีย ต้านเชื้อไวรัสเริม ต้านการอักเสบ ลดระดับน้ำตาลในเลือด ลดความดันโลหิต ปกป้องตับ ต้านอนุมูลอิสระ ทำให้สารฆ่าแมลงในร่างกายลดลง ลดพิษของสารฆ่าแมลงออกาโนฟอสเฟต พาราควอท และพาราไธออนในหนู ป้องกันการเสื่อมของระบบประสาทจากพิษตะกั่ว

สารสกัดน้ำ เอทานอล และอะซิโทน มีฤทธิ์ต้านการก่อกลายพันธุ์ โดยยับยั้งการเกิดมะเร็งเนื่องจากสาร 2-aminoanthracene ได้ร้อยละ 87 เมื่อวิเคราะห์ด้วยแบคทีเรีย*Salmonella typhimurium* TA 98 และสามารถเพิ่มการทำงานของเอนไซม์ควิโนนรีดักเทส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ใช้ในการกำจัดเซลล์มะเร็งระยะเริ่มต้น ได้ตั้งแต่ 1.35-2.8 เท่า

การศึกษาทางคลินิก:

ลดสารเคมีตกค้างในกระแสเลือดเกษตรกร

รักษาผู้ป่วยพิษแมงดาทะเล รายงานผู้ป่วย 4 ราย กินยำไข่แมงดาทะเล อาการขึ้นกับปริมาณที่ได้รับ ทุกรายมีอาการชารอบปาก และคลื่นไส้อาเจียน อาการชาจะลามไปกล้ามเนื้อมัดต่างๆ ที่เป็นอันตรายคือทำให้หายใจไม่ได้ ผู้ป่วย 2 รายหมดสติ ต้องใช้เครื่องช่วยหายใจ ระยะที่เริ่มแสดงอาการตั้งแต่ 40 นาที จนถึง 4 ชั่วโมง หลังรับประทาน เนื่องจากพิษของแมงดาทะเล คือเทโทรโดทอกซินไม่มียาแก้พิษต้องรักษาตามอาการ หลังจากได้น้ำสมุนไพรรางจืด 50 มล. ทางหลอดสวนจมูก-กระเพาะอาหาร ผู้ป่วยเริ่มรู้สึกตัว และอาการดีขึ้นตามลำดับ ภายหลังจากได้รับน้ำสมุนไพร 40 นาที ผู้ป่วยอีกรายได้รับการกรอกน้ำรางจืดเช่นกัน ในขนาด 50 มล. ทุก 1 ชม. 5 ครั้ง ภายหลังจากได้รับน้ำสมุนไพร 5 ชม. ผู้ป่วยเริ่มรู้สึกตัว และอาการดีขึ้นตามลำดับ

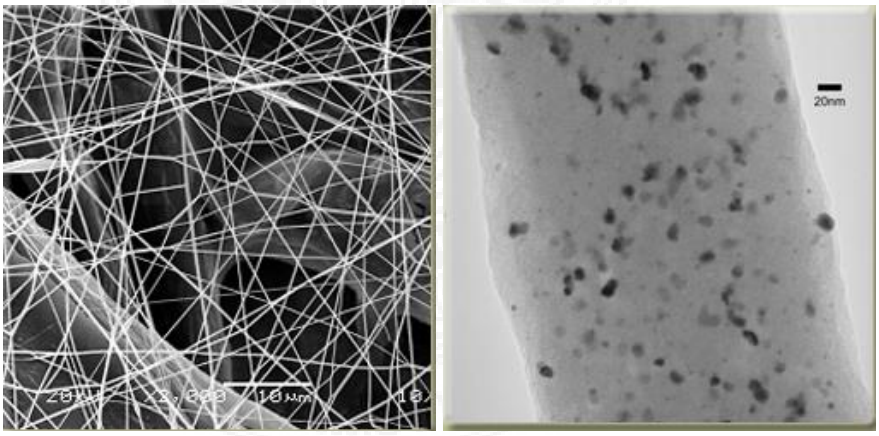
การศึกษาทางพิษวิทยา:

การทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันที่ป้อนหนูทดลองครั้งเดียว ทั้งขนาดปกติและขนาดสูง ไม่พบความผิดปกติใด ๆ และป้อนติดต่อกัน 28 วัน ขนาด 500 มก.ต่อน้ำหนักตัว 1 กก. ไม่พบอาการผิดปกติเช่นกัน แต่อาจทำให้น้ำหนัก ตับ ไต สูงกว่ากลุ่มควบคุม ค่าชีวเคมีที่เกี่ยวกับไตสูงขึ้น และ AST สูงขึ้น

การศึกษาพิษเรื้อรังของสารสกัดน้ำจากใบ โดยป้อนหนูแรทขนาด 20 200 1,000 2,000 มก./กก./วัน หรือคิดเป็น 1, 10, 50 และ 100 เท่า ของขนาดที่ใช้ในคนเป็นเวลา 6 เดือน พบว่าไม่มีผลต่อน้ำหนักตัว การกินอาหาร พฤติกรรม และสุขภาพทั่วไปของหนู อวัยวะภายในทั้งระดับมหพยาธิวิทยาและจุลพยาธิยังคงปกติ และไม่ทำให้เกิดพิษสะสม ไม่ทำให้หนูตาย

2.3 เส้นใยนาโน

เส้นใยนาโน (nanofiber) เป็นโครงสร้างนาโนของวัสดุสังเคราะห์ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยของของแข็งที่อยู่ในกลุ่มของสารอินทรีย์และมีขนาดเล็กระดับนาโนเมตร โดยเส้นใยนาโนจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตรถึงหลายไมโครเมตร มีลักษณะซ้อนทับ ดังรูปที่ 2.2 โดยโครงสร้างที่อยู่ในลักษณะของเส้นใยจะเป็นลักษณะของโครงสร้างพื้นฐาน ที่ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีพื้นที่ผิวที่มีความจำเพาะสูง จึงเป็นโครงสร้างที่มีความสามารถในการยืดหยุ่นได้ดี มีความแข็งแกร่งและความทนทานที่สูง ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลายด้าน



รูปที่ 2.2 ลักษณะของเส้นใยนาโนที่ได้จากเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่งที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

จุดเด่นของเส้นใยนาโน

เนื่องจากเป็นเส้นใยที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร จึงทำให้เส้นใยนาโนมีจุดเด่น คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (surface to volume ratio) สูง และมีขนาดรูพรุนที่เล็กมาก

ส่งผลทำให้มีสมบัติพิเศษต่าง ๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางไฟฟ้าหรือสมบัติทางชีวภาพที่ดีมาก เหมาะสำหรับงานเฉพาะด้านซึ่งต้องการความได้เปรียบของขนาดที่เล็กมาก โดยจุดเด่นที่ได้ของเส้นใยนาโนจะต้องขึ้นอยู่กับวิธีและสารที่นำมาใช้ประดิษฐ์

การประยุกต์ใช้เส้นใยนาโน

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เส้นใยนาโนทางด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เช่นการประยุกต์ใช้งานของเส้นใยนาโนพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ ไม่เป็นพิษและมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ สำหรับงานทางด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ ผ้าปิดแผล ระบบนำส่งยา ระบบการกรองอย่างละเอียด เป็นต้น ตัวอย่างในการประยุกต์ใช้งานเส้นใยนาโนแต่ละด้านมีดังนี้

ด้านการแพทย์

เส้นใยนาโนที่ประดิษฐ์ขึ้นจากพอลิเมอร์ในธรรมชาติ เช่น ไคโตซาน (chitosan) ไหม (silk) คอลลาเจน (collagen) รวมทั้งพอลิเมอร์สังเคราะห์บางประเภท สามารถนำมาประยุกต์ใช้ด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (tissue engineering) และด้านการแพทย์เนื่องจากการมีสมบัติทางชีวภาพ (biocompatibility) และมีสมบัติการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradability) เส้นใยเหล่านี้จึงย่อยสลายตัวเองภายในร่างกายของเราได้เหมือนไหมเย็บแผลที่ใช้ในปัจจุบัน รวมทั้งยังมีการศึกษาเพื่อนำเส้นใยนาโนมาใช้เป็นระบบนำส่งยา (drug delivery system) และเครื่องสำอางอีกด้วย

ด้านวัสดุศาสตร์

เส้นใยนาโนบางชนิดถูกนำมาใช้กับวัสดุอื่นเพื่อทำให้มีสมบัติที่ดีขึ้น เช่น เส้นใยนาโนคาร์บอน (carbon nanofiber) ซึ่งมีค่ายังมอดูลัส (Young's modulus) และความแข็งแรง (strength) สูง อีกทั้งค่าแรงด้านทานแรงดึงตามยาว (tensile strength) ที่สูงกว่าเหล็ก ในขณะที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าเหล็ก จึงสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุเสริมโครงสร้างในวัสดุคอมโพสิตเพื่อให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นนอกจากนี้เส้นใยนาโนเฟอโรอิเล็กตริกเซรามิก (ferroelectric ceramic) เช่น เส้นใยนาโนแบเรียมสตรอนเตรียมไททาเนต ($(Ba, Sr)TiO_3$, BST) สามารถใช้เป็นวัสดุเสริมในวัสดุคอมโพสิตทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นและสามารถเพิ่มหน้าที่ความเป็นเฟอโรอิเล็กตริกเซรามิกให้แก่วัสดุอีกทางหนึ่งด้วย

ด้านสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีชีวภาพ

ในปัจจุบันเส้นใยนาโนถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตเสื้อผ้า สิ่งทอ ซึ่งผ้าที่ได้เหล่านี้จะมีความละเอียด และมีขนาดช่องว่างเล็กกว่าผ้าที่ทอจากเส้นใยขนาดใหญ่ อีกทั้งแผ่นเส้นใยที่ถักทอจากเส้นใยที่เล็กในระดับนาโนเมตร สามารถกรองอนุภาคได้จำนวนมาก จึงสามารถนำมาใช้สร้างระบบกรองที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อลดมลภาวะทั้งทางอากาศและทางน้ำ หรือพัฒนาเป็นระบบกรองน้ำจืดจากน้ำทะเล หรือแม้กระทั่งการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสีย

สำหรับการประยุกต์ใช้ด้านเทคโนโลยีชีวภาพ ได้มีการนำเส้นใยนาโนมาใช้เป็นแผ่นเมมเบรนคัดแยก (affinity membrane) สำหรับการแยกโมเลกุลให้บริสุทธิ์โดยอาศัยสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี หรือหน้าที่เฉพาะทางชีวภาพของโมเลกุลนั้น affinity membrane จะทำการแยกโมเลกุลโดยอาศัยคุณสมบัติความเลือกจำเพาะของเมมเบรน ทำให้เกิดระบบคัดแยกที่มีข้อดีกว่าการใช้คอลัมน์โครมาโตร-กราฟฟีแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ยังมีการนำเส้นใยนาโนมาเคลือบบนชุดเครื่องแบบทหาร เพื่อป้องกันอาวุธทางชีวภาพ สารพิษทางเคมีและสารพิษจากนิวเคลียร์

ด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และพลังงาน

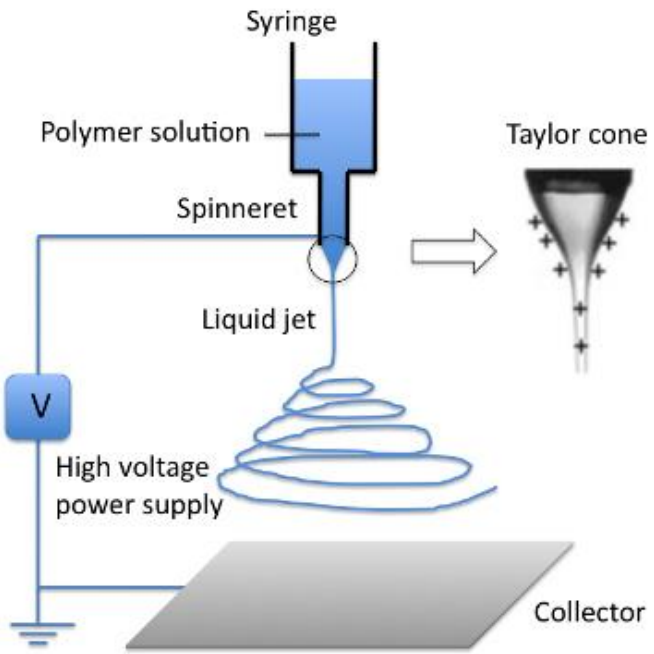
ในกรณีที่เส้นใยมีสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดีหรือสมบัติของสารกึ่งตัวนำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์โดยเฉพาะเทคโนโลยีด้านตัวตรวจจับต่าง ๆ เช่น ตัวตรวจจับก๊าซ (gas sensor) ตัวตรวจจับความร้อน (thermal sensor) เป็นต้น

นอกจากนี้เส้นใยนาโนเซรามิกบางชนิดสามารถนำไปในการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทน เช่น การนำเส้นใย TiO_2 ไปเป็นส่วนประกอบหนึ่งในเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อม (dye-sensitized solar cell) หรือ การนำเส้นใยโซเดียมโคบอลต์ออกไซด์ ($NaCo_2O_4$) ซึ่งเป็นวัสดุประเภทเทอร์โมอิเล็กทริก (วัสดุที่สามารถผันไฟฟ้าจากความร้อน) ไปประยุกต์ใช้ทำแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากความร้อน

เส้นใยนาโนสังเคราะห์ที่มีการสังเคราะห์ขึ้นมานั้น โดยมากจะถูกสังเคราะห์เพื่อนำมาใช้งานด้วยคุณสมบัติพิเศษทางด้านการนำไฟฟ้า และคุณสมบัติเชิงกลของโครงสร้าง เช่น การสังเคราะห์เส้นใยนาโนพอลิเมอร์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อจะนำมาใช้ในการผลิตและสร้างอุปกรณ์ระดับนาโนทางอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น การใช้เป็นตัวนำไฟฟ้า สร้างตัวเก็บประจุทรานซิสเตอร์ไดโอดและนำมาผลิตหน่วยความจำและชิพสำหรับคอมพิวเตอร์ รวมทั้งการนำเส้นใยนาโนมาใช้งานด้านเทคโนโลยีการแปลงรูปพลังงานและการกักเก็บพลังงาน เช่น แบตเตอรีหรือในเซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell) การใช้เส้นใยนาโนเป็นส่วนผสมในโครงสร้างสำหรับงานด้านเทคโนโลยีการบินทั้งในอากาศและอวกาศ โดยเส้นใยนาโนเหล่านี้มีวิธีการประดิษฐ์ได้หลายวิธี วิธีที่นิยมและมีปริสิทธิภาพมากที่สุดคือ วิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง

2.4 เทคนิคและหลักการพื้นฐานของวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง

อิเล็กโทรสปินนิ่งเป็นกระบวนการที่ใช้ผลิตเส้นใยออกมา โดยอาศัยแรงทางไฟฟ้าที่เกิดจากศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง สำหรับระบบพื้นฐาน มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญเพียง 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง (high voltage power supply) หลอดบรรจุสารละลายที่ติดเข็มโลหะ (syringe with needle) และวัสดุรองรับที่เป็นโลหะ (metal collector) หลักการทำงานของอิเล็กโทรสปินนิ่งสามารถอธิบายได้จาก รูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบหลักของระบบอิเล็กโทรสปินนิ่งอย่างง่าย

โดยเมื่อยังไม่ให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงแก่ระบบ สารละลายจำนวนหนึ่งจะรวมตัวกันเป็นหยดรูปร่างครึ่งทรงกลมที่บริเวณปลายเข็มโลหะ อันเป็นผลเนื่องมาจากแรงตึงผิว (surface tension) แต่เมื่อให้ความต่างศักย์กำลังสูง จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าครอบคลุมส่วนปลายของเข็มโลหะและมีประจุเกิดขึ้นที่ผิวของสารละลาย จึงเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic repulsion) ขึ้นในทิศตรงกันข้ามกับแรงตึงผิว ดังนั้น ถ้าสนามไฟฟ้ามีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดแรงผลักมากกว่าแรงตึงผิว จะส่งผลให้รูปร่างครึ่งทรงกลมของสารละลายที่อยู่ปลายเข็มยืดออกเป็นรูปร่างทรงกรวย ที่เรียกว่า “กรวยของเทเลอร์” (Taylor cone) และเมื่อสนามไฟฟ้าที่มีให้แก่ระบบมีค่ามากขึ้นจนกระทั่งถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่ง จะเกิดแรงขับดันให้สารละลายพุ่งออกมาเป็นลำ (solution jet) ต่อมาลำของสารละลายนี้จะยืดออกจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงถึงระดับนาโนเมตร แล้วตกลงบนวัสดุรองรับในลักษณะที่ไม่เกิดการถักทอ (non-woven nanofiber) เส้นใยที่ได้มีลักษณะหลายรูปแบบและมีเส้นผ่านศูนย์กลางตลอดจนความต่อเนื่องของเส้นใยแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยต่าง

ๆ ซึ่งสามารถแบ่งตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะเส้นใยได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ตัวแปรในระบบ เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอิเล็กโทรสปินนิ่ง โดยจะส่งผลกระทบต่อโครงสร้างและการจัดเรียงตัวของเส้นใย ตัวแปรในกลุ่มนี้ประกอบไปด้วย ความต่างศักย์ไฟฟ้า, อัตราการไหลของพอลิเมอร์และระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารกับวัสดุรองรับ นอกจากนั้นปัจจัยทั้ง 3 ตัวนี้ยังส่งผลให้เกิดเม็ดเล็ก ๆ (bead) ที่เส้นใยซึ่งเป็นข้อบกพร่อง

ความต่างศักย์ไฟฟ้า ความแรงของสนามไฟฟ้าจะควบคุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่เกิดขึ้นตั้งแต่ขนาดหลายไมครอนถึงขนาด 10 นาโนเมตร รองลงมาความแรงของสนามไฟฟ้าส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องที่เป็นเม็ดเล็ก ๆ (bead) ที่เส้นใย Deitzel และคณะ ได้ทำการทดลองกับ Polyethylene oxide (PEO) โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย พบว่าเมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้า จะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างบนผิวบริเวณ Taylor cone และเส้นที่พุ่งออกมา ที่ความต่างศักย์ต่ำ ๆ Taylor cone จะเกิดขึ้นที่ปลายหยดของสารละลายที่อยู่ที่ปลายเข็ม อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้า ปริมาณหยดของสารละลายก็จะลดลงจนกระทั่ง Taylor cone จะเกิดขึ้นที่บริเวณปลายเข็มซึ่งเกี่ยวเนื่องกับการเพิ่มขึ้นของข้อบกพร่องที่เป็นเม็ดเล็ก ๆ (bead) ที่เส้นใย

อัตราการไหล อัตราการไหลของพอลิเมอร์จะส่งผลอย่างมากต่อขนาดเส้นใย และยังมีผลต่อความเป็นรูพรุนของเส้นใย โดยขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางและขนาดของรูพรุนของเส้นใยจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลนั้นเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นที่อัตราการไหลสูง ๆ จะทำให้เกิดเม็ดเล็กที่เป็นข้อบกพร่องของเส้นใย

ระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารกับวัสดุรองรับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจะลดลงเมื่อระยะทางจาก Taylor cone มากขึ้น และอาจเกิดเม็ด bead เล็ก ๆ บนเส้นใยเมื่อระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารกับวัสดุรองรับนั้นสั้นมาก ๆ ตัวแปรด้านสารละลาย สมบัติของสารละลายเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อเส้นใยเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดและรูปร่างของเส้นใย ตัวแปรด้านสารละลายนี้ประกอบไปด้วย ความเข้มข้นของพอลิเมอร์, การระเหยของตัวทำละลายและการนำไฟฟ้าของตัวทำละลาย

ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ ความเข้มข้นของพอลิเมอร์จะบอกถึงความสามารถในการพ่นเส้นใยของสารละลาย หรือก็คือบอกถึงเส้นใยจะเกิดได้หรือไม่ สารละลายจะต้องมีความเข้มจ้นของพอลิเมอร์มากพอที่จะทำให้เกิดการเกี่ยวพันกันของสายโซ่ อย่างไรก็ตาม สารละลายจะต้องไม่เจือจางเกินไปหรือเข้มข้นมากเกินไป ความเข้มข้นของพอลิเมอร์จะส่งผลต่อทั้งความหนืดและแรงตึงผิวของสารละลาย และทั้ง 2 อย่างนี้ก็เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อกระบวนการอิเล็กโทรสปินนิ่ง ถ้าสารละลายมีความเข้มข้นน้อยเกินไป จะส่งผลให้เส้นใยพอลิเมอร์เกิดการแตกหักกลายเป็นหยดก่อนที่จะไปตกบนวัสดุรองรับเนื่องจากผลของแรงตึงผิว อย่างไรก็ตาม ถ้าสารละลายมีความ

เข้มข้นมากเกินไปจะทำให้เส้นใยไม่สามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากผลของความหนืดที่สูง ซึ่งทำให้ยากที่จะควบคุมอัตราการไหลของสารละลายที่จะผ่านเข็ม

การระเหยของตัวทำละลาย การเลือกตัวทำละลายเป็นสิ่งหนึ่งที่สำคัญที่จะบอกว่าเส้นใยสามารถเกิดขึ้นได้หรือไม่ และยังส่งผลถึงความเป็นรูพรุนของเส้นใยเมื่อเส้นใยพุ่งออกไปในอากาศเพื่อไปยังวัสดุรองรับ ตัวทำละลายจะต้องแยกเฟสออกจากพอลิเมอร์ก่อนที่เส้นใยพอลิเมอร์จะสะสมบนวัสดุรองรับ กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นได้อย่างดีซึ่งเป็นอิทธิพลจากความสามารถในการระเหยของตัวทำละลาย

การนำไฟฟ้าของตัวทำละลาย สารละลายที่มีการนำไฟฟ้าที่สูงจะมีการถ่ายเทสะสมของประจุมากกว่าสารละลายที่มีการนำไฟฟ้าที่ต่ำ ดังนั้นเส้นใยที่พุ่งออกจากสารละลายที่มีการนำไฟฟ้าที่สูงจะทำให้เกิดแรงดึงที่สูงมากกว่าเส้นใยที่พุ่งออกจากสารละลายที่มีการนำไฟฟ้าที่ต่ำ สารละลายที่มีการนำไฟฟ้าสูงจะไม่มีความเสถียรอย่างมากในสนามไฟฟ้าที่รุนแรง ซึ่งทำให้เส้นใยเกิดความไม่เสถียรบิดงอและค่าการกระจายตัวของเส้นผ่านศูนย์กลางที่กว้าง อย่างไรก็ตามของเหลวที่กึ่งนำไฟฟ้าและไม่นำไฟฟ้า เช่น paraffinic oil จะทำให้เส้นใยที่มีความเสถียรได้

กระบวนการโซลเจล

กระบวนการโซล-เจล (sol-gel technology) เป็นกระบวนการหนึ่งที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์วัสดุนาโน โดยการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวที่เรียกว่า “Sol” ส่วนมากอยู่ในรูปของสารแขวนลอยที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 0.1-1 ไมครอน เป็นของแข็งที่เรียกว่า “Gel” โดยการนำสารละลายต่าง ๆ มาทำปฏิกิริยา สารประกอบที่เกิดขึ้นจะอยู่ในลักษณะของโซล เมื่อโซลเกาะตัวกันเป็นร่างแหอย่างไม่เป็นระเบียบจะทำให้เกิดเป็นเจล ในกระบวนการผลิตทั้งจากสภาวะที่เป็น Sol และ Gel เมื่อเข้าสู่กระบวนการทำให้แห้ง หรือเผาที่อุณหภูมิต่ำจะได้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น เส้นใย (fiber) แอโรเจล (aerogel) ซีโรเจล (xerogel) อนุภาคผง (powder) และการเคลือบฟิล์ม (coating film) สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมอื่น ๆ ต่อไป ปฏิกิริยาที่สำคัญในการกระบวนการโซล-เจล มี 3 ปฏิกิริยา คือ ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) การควบแน่นด้วยน้ำ (water condensation) และการควบแน่นด้วยแอลกอฮอล์ (alcohol condensation) โดยปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา คือ pH ตัวเร่งปฏิกิริยา อัตราส่วนของน้ำและโลหะ และอุณหภูมิ ดังนั้นการควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ในสภาวะที่ต่างกันจึงทำให้เกิดเป็นโซลและเจลที่มีสมบัติและโครงสร้างต่างกัน [13]

โดยทั่วไปกระบวนการโซลเจล หมายถึง การสังเคราะห์สร้างร่างแหอนินทรีย์โดยกระบวนการทางปฏิกิริยาทางเคมีในสารละลาย ณ อุณหภูมิต่ำ ซึ่งคำว่ากระบวนการโซล- เจล มาจากการที่สารเปลี่ยนสถานะของเหลว (สารละลายหรือคอลลอยด์) เป็นของแข็ง (สารผสมที่มีมากกว่าสองวัฏภาค

ขึ้น (di-or multi-phases) โดยไม่จำเป็นต้องเป็นสารอนินทรีย์ประเภทโมโนเมอร์หรือโอลิโกเมอร์ ที่สามารถเปิดปฏิกิริยาได้

กระบวนการโซลเจล ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ

ขั้นตอนที่ 1 การผสมสารตั้งต้นให้เป็นสารละลายที่มีความหนืดต่ำ ได้แก่ สารอนุพันธ์ของโลหะ (อินทรีย์) ให้สารมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันถึงขั้นระดับโมเลกุล เพื่อให้ได้เป็นโซลที่เป็นสารประกอบออกไซด์ เช่น โซลของโลหะออกไซด์

ขั้นตอนที่ 2 การเชื่อมต่อเป็นร่างแหของโซลให้มีความสม่ำเสมอเพื่อให้เกิดเป็นเจล ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากสำหรับการทำให้สารเคมีเป็นเนื้อเดียว (กับผลิตเซรามิกที่ได้) ขณะทำให้แห้ง

ขั้นตอนที่ 3 การขึ้นรูปขณะที่สารเป็นเจลให้เป็นวัสดุชิ้นใหญ่ (bulk materials) มีลักษณะกลวง (hollow materials) เส้นใย (fiber) หรือวัสดุเคลือบผิว (coating materials) เป็นต้น ก่อนนำไปเผา

สารตั้งต้นที่สามารถใช้ในกระบวนการโซลเจลได้ เมื่อพิจารณาความสามารถในการละลาย ได้แก่

- เกลือที่มีอิออนลบ ได้แก่ (NO_3) อะซีเตต ฟอมิเอต (HCO-) จะง่ายต่อการแตกตัว รวมถึงเกลือของสาร เช่น เซอร์โคเนียมออกไซด์ไนเตรท ($ZrO(NO_3)_2$)
- ออกไซด์ของสาร เช่น ออกไซด์ของโซเดียม หรือโปแตสเซียม
- ด่าง ได้แก่ ไฮดรอกไซด์
- สารเชิงซ้อน ได้แก่ สารคิเลต เช่น ไทเทเนียมแอลคอกไซด์
- สารแอลคอกไซด์ประเภทอะซีเตท หรือเอมีน
- สารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการโซลเจล จำเป็นต้องผ่านปฏิกิริยาการย่อยสลายให้เกิดอนุพันธ์ไฮดรอกไซด์ของโลหะ ซึ่งอนุพันธ์ไฮดรอกไซด์ของโลหะ ซึ่งอนุพันธ์นี้สามารถเกิดปฏิกิริยาการควบแน่นต่อไป อัตราการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายจะเพิ่มขึ้นเมื่อ
- ความเป็นขั้วของพันธะระหว่างโลหะและลิแกนด์เพิ่มขึ้น
- ความเสถียรของสารที่ละลาย (solvate) หรือสารเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นลดลง
- ความเข้มข้นของตัวเร่ง
- ปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เช่น กรดหรือด่าง
- อุณหภูมิที่ใช้เพิ่มขึ้น ถ้าต้องการให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสบายที่อุณหภูมิต่ำลง (โดยเฉพาะเมื่อใช้สารแอลคอกไซด์เป็นสารตั้งต้น) ควรเพิ่มความยาวของหมู่อัลคิลและใช้สารเชิงซ้อน

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจล

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจล ได้แก่

- การทำให้ประจุที่ผิวอนุภาคเป็นกลาง สามารถทำได้โดยการปรับความเป็นกรด-ด่าง หรือพีเอชของระบบ
- การเกาะตัว
- การเกิดปฏิกิริยาควบแน่นต่อเนื่องจากหมู่ที่ว่องไวบนผิวอนุภาค
- การเกิดเจล มีผลให้ความหนืดของสารเพิ่มขึ้นจนได้เป็นเจลแข็ง ดังนั้นตัวแปรที่มีผลต่อปฏิกิริยาการเกิดเจล คือ
- สารตั้งต้น เช่น เกลือ ออกไซด์ แอคอกไซด์ สารเชิงซ้อน คอลลอยด์
- สภาวะที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ ตัวทำละลาย อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยา และพีเอช
- ตัวแปรเชิงกล ได้แก่ การกวน การกลั่นไหลกลับ การใช้อัลตราโซนิค

การตรวจสอบการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการโซลเจล

การเกิดปฏิกิริยาจากโมโนเมอร์ไปเป็นของแข็งที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นร่างแหที่ค่อนข้างซับซ้อน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่สารเป็นเนื้อเดียวกัน หรือเป็นสารโมเลกุลเล็ก (homogenous or molecular regime) ซึ่งสามารถทดสอบได้โดยการหาโครงสร้างและขนาดของโมเลกุล ขั้นตอนที่สอง คือ ขั้นตอนที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous multiphasic polymeric regime) ซึ่งตรวจสอบได้จากการใช้หลักการกระเจิง เช่น เครื่องเอกซ์เรย์นิวตรอนหรือสมบัติเชิงกล

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ส่วน ส่วนที่ 1 การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของผงโปรตีนไหมซิริซิน ส่วนที่ 2 จะกล่าวถึงการเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของผงสารสกัดรางจืด ส่วนที่ 3 การศึกษาความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และส่วนสุดท้าย ส่วนที่ 4 การเตรียมเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของผงโปรตีนไหมซิริซิน

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้รวบรวมรังไหมจากสายพันธ์ต่างๆในจังหวัดนครราชสีมา ทั้งหมด 11 สายพันธ์ ดังนี้คือ นางสิ่ว, สายพันธุ์นางน้อยศรีสะเกษ 1 (NN), สายพันธุ์นครราชสีมา 1 (K1), สายพันธุ์นครราชสีมา 2 (K8), ไหมญี่ปุ่นพันธ์ J108, นางตุ่ย, สำโรง, นางลาย, ทับทิมสยาม, วนาสวรรค์ และ UB1

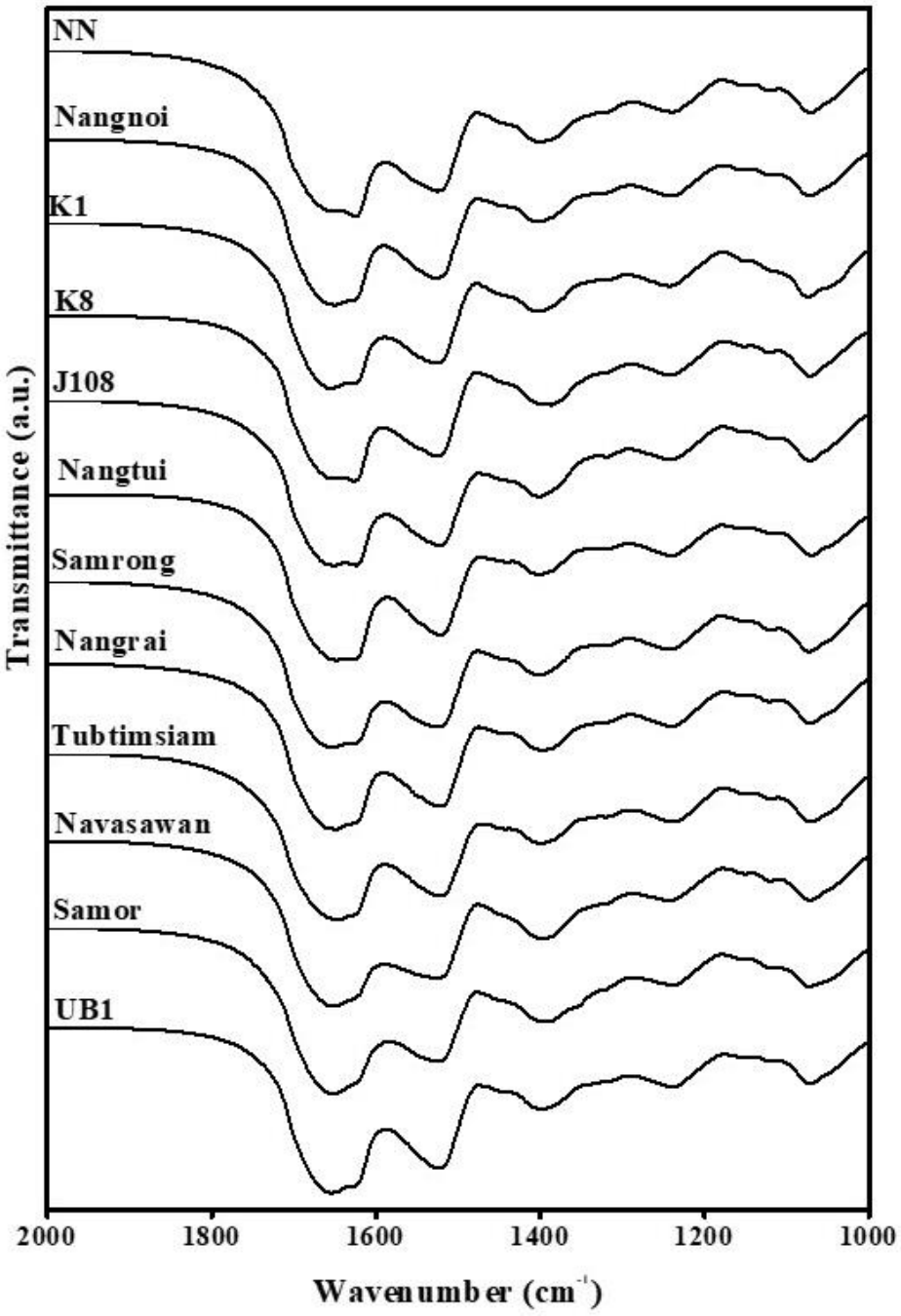
3.1.1 ขั้นตอนการเตรียมผงโปรตีนไหมซิริซิน

1. นำรังไหมที่รวบรวมไว้ล้างทำความสะอาด
2. นำรังไหมที่ล้างทำความสะอาดแล้วใส่ในบิกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปให้อยู่ในระดับที่ท่วมรังไหม
3. นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100 องศา เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. กรองน้ำโปรตีนไหมซิริซินผ่านผ้าขาว
5. นำน้ำโปรตีนไหมซิริซินไปผ่านกระบวนการ Freeze Dry
6. นำผงโปรตีนไหมซิริซินบรรจุในขวดเพื่อป้องกันความชื้น
7. ตรวจสอบโครงสร้างเคมีของโปรตีนไหมซิริซินที่สกัดได้จากรังไหมสายพันธ์ต่างๆ
8. ตรวจสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ของโปรตีนไหมซิริซินที่สกัดได้จากรังไหมสายพันธ์ต่างๆ

3.1.2 การตรวจสอบโครงสร้างเคมีของผงโปรตีนไหมซิริซิน

เมื่อพิจารณาอินฟราเรดสเปคตรัมของโปรตีนไหมซิริซินที่สกัดได้จากรังไหมสายพันธ์ต่างๆ เพื่อตรวจสอบโครงสร้างเคมีและหมู่ฟังก์ชั่นดังแสดงในรูปที่ 3.1 พบว่าโปรตีนไหมซิริซินจากรังไหมทุกสายพันธ์แสดงหมู่เอไมด์ I, II และ III ที่สอดคล้องกับโหมดการสั่นของโมเลกุลแบบยืด C=O, N-H และ C-N ตามลำดับ โดยตำแหน่งเลขคลื่นในช่วง 1647-1654 cm^{-1}, 1519-1528 cm^{-1} และ 1237-1245 cm^{-1}จะแสดงหมู่เอไมด์ I, II และ III ตามลำดับ หมู่เอไมด์ I, III บ่งชี้โครงสร้างโปรตีนไหมซิริซิน

ว่าเป็นแบบเกลียวที่ไม่มีระเบียบ (Random coil structure) และหมู่เอไมด์ II จะบ่งชี้โครงสร้างโปรตีนไหมซีริซินเป็นแบบบีต้าชีต (β-sheet structure) ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าโครงสร้างของโปรตีนไหมซีริซินที่สกัดได้จากรังไหมสายพันธ์ต่างๆมีโครงสร้างที่เหมือนกันและเป็นโครงสร้างผสมระหว่างแบบเกลียวที่ไม่มีระเบียบและแบบบีต้าชีต



รูปที่ 3.1 อินฟราเรดสเปคตรัมของโปรตีนไหมซีริซินที่สกัดได้จากรังไหมสายพันธ์ต่างๆ

3.1.3 การศึกษาความเป็นพิษของโปรตีนไหมซิริซินต่อเซลล์ ด้วยวิธี MTT assay

เซลล์ไฟโบรบลาสต์ของหนู (Mouse Fibroblast Cells; HGF) จะเป็นเซลล์ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ โดยเมื่อสกัดเซลล์ได้จากเนื้อเยื่อของหนูแล้ว จะนำเซลล์เหล่านั้นมาเพาะเลี้ยงในฟลาสก์ที่ใช้ในการเลี้ยงเชื้อ (culture flask) ที่มีอาหารเลี้ยงเซลล์อยู่ โดยจะถูกควบคุมในตู้เพาะเลี้ยงเซลล์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นสัมพันธ์ 95%

สำหรับการทดสอบนี้จะตรวจสอบความเป็นพิษของ โปรตีนไหมซิริซินที่สกัดได้จากรังไหมสายพันธ์ต่างๆ โดยจะเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายที่มีความเข้มข้น 10, 5, 2.5, 1.25 และ 0.625 mg/ml โดยใช้เวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง เริ่มต้นนำสารแต่ละเงื่อนไขมาใส่ในถาดหลุมเลี้ยงเซลล์ชนิด 96 หลุม (96-well-plate) และฆ่าเชื้อโรคด้วยวิธีการอบแก๊ส จากนั้นผสมผงสารใน culture medium ให้เข้ากัน เป็นเวลา 1 ชม. ก่อนดูด culture medium ไปเลี้ยงเซลล์ที่เพาะเลี้ยงไว้ล่วงหน้า โดยใช้เซลล์จำนวนตั้งต้น 30,000 เซลล์ต่อหลุม บ่มเซลล์เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ในตู้ CO_2 incubator ที่มี 5% CO_2 อุณหภูมิ 37 °C จากนั้นดูดสารละลายจากหลุมออก 1 ml เติม MTT ปริมาณ 0.5 ml/well (ความเข้มข้น 0.7 mg/ml) ลงในทุกหลุม หลุมละ 50 µl บ่มในที่มืด 30 นาที ในเครื่อง CO_2 Incubatorจากนั้นเทสารละลายทุกหลุมทิ้ง แล้วคว่ำลงบนกระดาษทิชชู่ รอสักพักจนแห้ง เติม DMSO ปริมาณ 0.8 mlลงในทุกหลุม หลุมละ 1 ml ผสมโดยดูด-ปล่อย DMSO ขึ้นลง ด้วยปิเปต แล้วบ่มในที่มืด 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำสารละลายจากแต่ละหลุม มาใส่หลอดแก้ว cuvette แล้ววัดค่า OD (optical density) ด้วยเครื่อง Spectophptometer ที่ค่าความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร เพื่อคำนวณหา %cell viability (เปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์)

เปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์ของโปรตีนไหมซิริซินที่สกัดได้จากรังไหมสายพันธ์ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.1 โดยเปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์ที่มากกว่า 70% แสดงว่าวัสดุชนิดนั้นมีความเป็นพิษต่อเซลล์ที่อยู่ในช่วงยอมรับได้ และถ้าเปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์มากขึ้นก็สามารถบ่งชี้ถึงความเป็นพิษต่อเซลล์ของวัสดุชนิดนั้นที่ลดลง จากการทดสอบนี้ จะพบว่าโปรตีนไหมซิริซินที่สกัดได้จากรังไหมสายพันธุ์นครราชสีมา 1 (K1) มีเปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์ 100% ในทุกช่วงความเข้มข้น แสดงถึงความไม่เป็นพิษต่อเซลล์เลยของรังไหมสายพันธุ์นี้ ดังนั้นสายพันธุ์นครราชสีมา 1 (K1) จะถูกเลือกเป็นสายพันธ์ที่ใช้ในการสกัดโปรตีนไหมซิริซินสำหรับการทดลองนี้

ตารางที่ 3.1 เปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์จากการทดสอบโปรตีนไหมซิริซิน

Sample	Concentration (mg/ml)	The average of % Viability
1. นางสิ่ว	10	99
	5	90
	2.5	94
	1.25	100
	0.625	100
2. NN	10	87
	5	90
	2.5	94
	1.25	102
	0.625	102
3. K1	10	100
	5	100
	2.5	100
	1.25	100
	0.625	100
4. K8	10	96
	5	97
	2.5	94
	1.25	100
	0.625	100
5. J108	10	57
	5	96
	2.5	100
	1.25	100
	0.625	100
	10	97

6. นางตุ่ย	5	97
	2.5	94
	1.25	100
	0.625	100
7. สำโรง	10	94
	5	98
	2.5	99
	1.25	100
	0.625	100
8. นางลาย	10	23
	5	100
	2.5	100
	1.25	99
	0.625	99
9. ทับทิมสยาม	10	91
	5	95
	2.5	94
	1.25	100
	0.625	100
10. วนาสวรรค์	10	99
	5	99
	2.5	94
	1.25	100
	0.625	100
11. UB1	10	74
	5	85
	2.5	94
	1.25	102
	0.625	102

3.2 การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของผงสารสกัดรางจืด

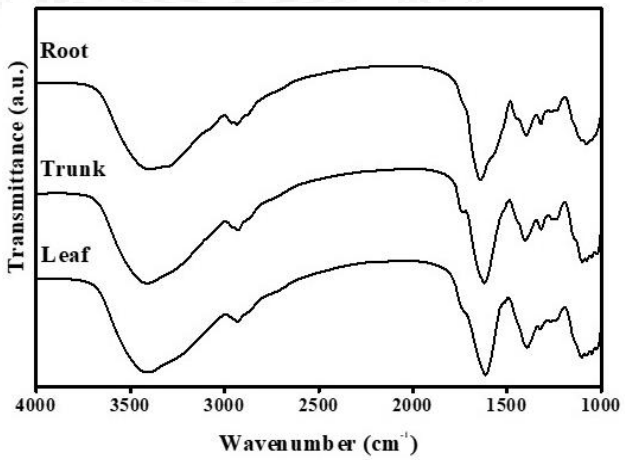
สำหรับงานวิจัยนี้ รางจืดจะใช้ด้วยกัน 3 ส่วนคือ ใบรางจืด ต้นรางจืด และรากรางจืด

3.2.1 ขั้นตอนการเตรียมผงสารสกัดรางจืด

1. ล้างทำความสะอาด รางจืดที่รวบรวมไว้
2. นำรางจืดแต่ละส่วนไปตากให้แห้ง
3. นำสารสกัดรางจืดที่แห้งแล้วมาบดให้เป็นผงละเอียด
4. นำรางจืดใส่ในบิกเกอร์ แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปให้อยู่ในระดับที่ท่วมรางจืด
5. ต้มที่อุณหภูมิ 100 องศา เป็นเวลา 30 นาที
6. กรองน้ำสารสกัดรางจืดผ่านผ้าขาว
7. นำน้ำสารสกัดรางจืดไปผ่านกระบวนการ Freeze Dry
8. นำสารสกัดรางจืดที่แห้งแล้วมาบดให้เป็นผงละเอียด
9. บรรจุผงสารสกัดรางจืดลงในขวดเพื่อป้องกันความชื้น
10. ตรวจสอบโครงสร้างเคมีของสารสกัดรางจืดจากทุกส่วน
11. ตรวจสอบความเป็นพิษต่อเซลล์ของสารสกัดรางจืดจากทุกส่วน

3.2.2 การตรวจสอบโครงสร้างเคมีของผงสารสกัดรางจืด

เมื่อพิจารณาอินฟราเรดสเปคตรัมของสารสกัดรางจืดจากส่วนต่างๆ เพื่อตรวจสอบโครงสร้างเคมีและหมู่ฟังก์ชั่นดังแสดงในรูปที่ 3.2 พบว่าสารสกัดรางจืดจากทุกส่วนแสดงหมู่ฟังก์ชั่นที่เหมือนกันโดย หมู่ C-H stretch (Alkanes) จะอยู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่นในช่วง 2929-2933 cm^{-1}, หมู่ C=O stretch (Carboxylic acids) จะอยู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1734 cm^{-1}, หมู่ N-H stretch (Amines) จะอยู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่นในช่วง 1613-1644 cm^{-1}, หมู่ C=H scissoring และ bending จะอยู่ที่เลขคลื่นในช่วง 1394-1405 cm^{-1} และ หมู่ NO_2 symmetrical stretch (Nitro compounds) จะแสดงที่ตำแหน่งเลขคลื่นในช่วง 1318-1327 cm^{-1}



รูปที่ 3.2 อินฟราเรดสเปคตรัมของสารสกัดรางจืดจากส่วนต่างๆ

3.2.3 การศึกษาความเป็นพิษของสารสกัดรางจืดต่อเซลล์ ด้วยวิธี MTT assay

เซลล์ไฟโบรบลาสต์ของหนู (Mouse Fibroblast Cells; HGF) จะเป็นเซลล์ที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ โดยเมื่อสกัดเซลล์ได้จากเนื้อเยื่อของหนูแล้ว จะนำเซลล์เหล่านั้นมาเพาะเลี้ยงในฟลาสก์ที่ใช้ในการเลี้ยงเชื้อ (culture flask) ที่มีอาหารเลี้ยงเซลล์อยู่ โดยจะถูกควบคุมในตู้เพาะเลี้ยงเซลล์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์ และความชื้นสัมพันธ์ 95%

สำหรับการทดสอบนี้จะตรวจสอบความเป็นพิษของสารสกัดรางจืดจากส่วนต่างๆ โดยจะเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายที่มีความเข้มข้น 10, 5, 2.5, 1.25 และ 0.625 mg/ml โดยใช้เวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง เริ่มต้นนำสารแต่ละเงื่อนไขมาใส่ในถาดหลุมเลี้ยงเซลล์ชนิด 96 หลุม (96-well-plate) และฆ่าเชื้อโรคด้วยวิธีการอบแก๊ส จากนั้นผสมผงสารใน culture medium ให้เข้ากัน เป็นเวลา 1 ชม. ก่อนดูด culture medium ไปเลี้ยงเซลล์ที่เพาะเลี้ยงไว้ล่วงหน้า โดยใช้เซลล์จำนวนตั้งต้น 30,000 เซลล์ต่อหลุม บ่มเซลล์เป็นเวลา 24 และ 48 ชั่วโมง ในตู้ CO_2 incubator ที่มี 5% CO_2 อุณหภูมิ 37 °C จากนั้นดูดสารละลายจากหลุมออก 1 ml เติม MTT ปริมาณ 0.5 ml/well (ความเข้มข้น 0.7 mg/ml) ลงในทุกหลุม หลุมละ 50 µl บ่มในที่มืด 30 นาที ในเครื่อง CO_2 Incubator จากนั้นเทสารละลายทุกหลุมทิ้ง แล้วคว่ำลงบนกระดาษทิชชู่ รอสักพักจนแห้ง เติม DMSO ปริมาณ 0.8 mlลงในทุกหลุม หลุมละ 1 ml ผสมโดยดูด-ปล่อย DMSO ขึ้นลง ด้วยปิเปต แล้วบ่มในที่มืด 15 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำสารละลายจากแต่ละหลุม มาใส่หลอดแก้ว cuvette แล้ววัดค่า OD (optical density) ด้วยเครื่อง Spectophptometer ที่ค่าความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร เพื่อคำนวณหา %cell viability (เปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์)

เปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์ของสารสกัดรางจืดจากส่วนต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.2 โดยเปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์ที่มากกว่า 70% แสดงว่าวัสดุชนิดนั้นมีความเป็นพิษต่อเซลล์ที่อยู่ในช่วงยอมรับได้ และถ้าเปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์มากขึ้นก็สามารถบ่งชี้ถึงความเป็นพิษต่อเซลล์ของวัสดุชนิดนั้นที่ลดลง จากการทดสอบนี้ จะพบว่ารางจืดส่วนรากและต้นมีเปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์เท่ากัน ดังนั้นในการทดลองนี้จะใช้รางจืดในส่วนของต้นในการสกัดสารสกัดรางจืด

ตารางที่ 3.2 เปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์จากการทดสอบของสารสกัดรางจืด

Sample	Concentration (mg/ml)	The average of % Viability
1. รางจืด (ราก)	10	3.9
	5	100
	2.5	100
	1.25	100
	0.625	100
2. รางจืด (ต้น)	10	3.7
	5	100
	2.5	100
	1.25	100
	0.625	100
3. รางจืด (ใบ)	10	0
	5	75
	2.5	86
	1.25	95
	0.625	100

3.3 การศึกษาความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

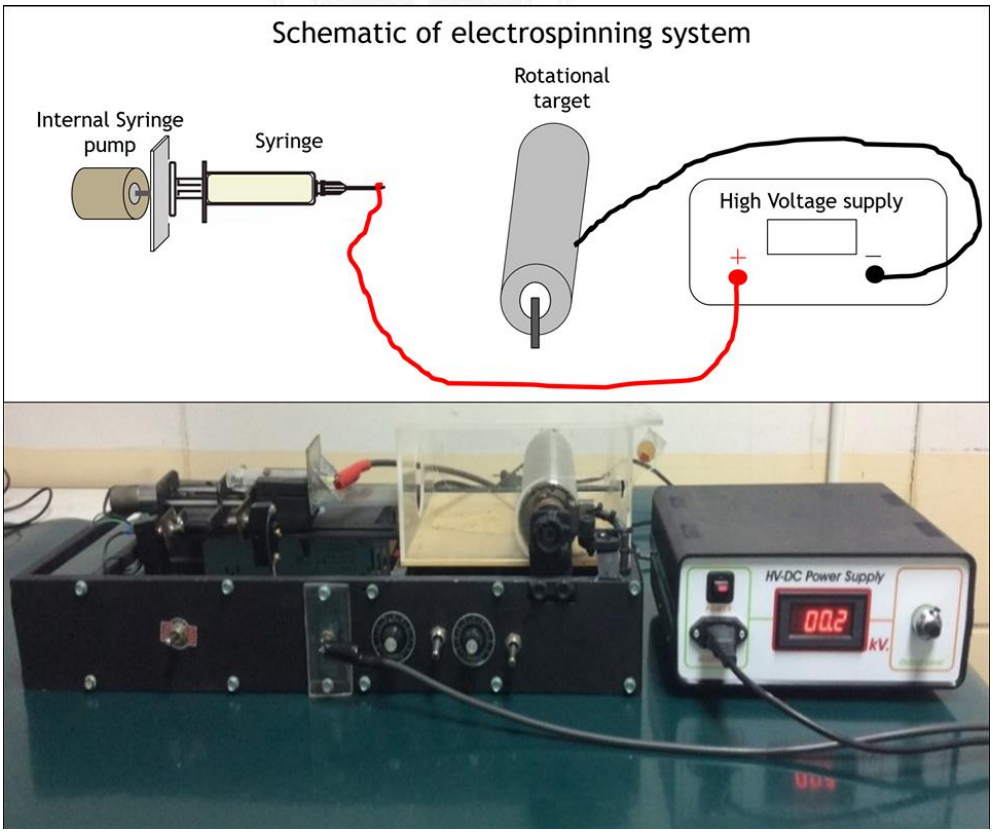
ในการสร้างเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิงนั้นจะต้องมีการเตรียมสารสกัดในอยู่ในรูปสารละลายโซลเจล โดยมีการผสมกับสารพอลิเมอร์ สำหรับในงานวิจัยนี้เราเลือก พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เป็นตัวทำละลายเนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อร่างกายและไม่มีความเป็นพิษ จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ช่วงความเข็มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีการเตรียมให้อยู่ในรูปของสารละลายโซลเจลจะอยู่ในช่วง 8-10 wt % ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 3 ค่าด้วยกันคือ 8, 9 และ 10 wt % เพื่อนำมาทดสอบดูความเหมาะสมในการสร้างเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ความเข้มข้นของสารละลาย พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (wt %)	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการยิงเส้นใย ด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง
8, 9 และ 10	- ความต่างศักย์ 15 kV - ระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับเป็น 10 cm - ขนาดหัวเข็มเบอร์ 18 - ระยะเวลาในการยิงเส้นใย 30 นาที

3.4 การเตรียมเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง

ระบบการเตรียมเส้นใยระดับนาโนเมตรด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง แสดงดังรูปที่ 3.3 โดยระบบจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนยิ่งเส้นใยระดับนาโนเมตร และแหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูง



รูปที่ 3.3 ระบบการเตรียมเส้นใยระดับนาโนเมตรด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง

ทำการเตรียมสารละลายโปรตีนไหมซิริซินและสารละลายสารสกัดรางจืด โดยเตรียมโปรตีนไหมซิริซินความเข้มข้น 5 mg/ml ผสมเข้ากันกับสารละลาย PVA 9 wt % ด้วยการกวนผสมที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อจะได้สารละลายโซลเจลของโปรตีนไหมซิริซิน ส่วนสารละลายโซลเจลของสารสกัดรางจืดเตรียมได้จาก สารสกัดรางจืด 5 mg/ml กวนเข้ากันกับสารละลาย PVA 9 wt % ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เช่นกัน

3.4.1 **การศึกษาผลของอัตราส่วนของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืด**

สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการยิงเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิงนั้น จะศึกษาอัตราส่วนของสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินและสารละลายของสารสกัดรางจืด เป็นเงื่อนไขแรก โดยมีอัตราส่วนเป็น 10:90 20:80 30:70 40:60 50:50 60:40 70:30 80:20 และ 90:10 ตามลำดับ และกำหนดค่าความต่างศักย์เบื้องต้นเป็น 15 kV ระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับเท่ากับ10 cm ขนาดหัวเข็มใช้เบอร์ 18 และระยะเวลาในการยิงเส้นใยเป็น 30 นาที ดังสรุปในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การศึกษาผลของอัตราส่วนของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืด

สารละลายโปรตีนไหมซิริซิน	สารละลายสารสกัดรางจืด	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการยิงเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง
10	90	- vary อัตราส่วนของสารละลายโปรตีนไหมซิริซินและสารสกัดรางจืด - ความต่างศักย์ 15 kV - ระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับเป็น 10 cm - ขนาดหัวเข็มเบอร์ 18 - ระยะเวลาในการยิงเส้นใย 30 นาที
20	80	
30	70	
40	60	
50	50	
60	40	
70	30	
80	20	
90	10	

3.4.2 **การศึกษาผลของความต่างศักย์**

สำหรับพารามิเตอร์ตัวต่อไปที่จะศึกษาคือความต่างศักย์ เริ่มจากเตรียมสารละลายจากเงื่อนไขอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของสารละลายโปรตีนไหมซิริซินและสารสกัดรางจืด คือให้เส้นใยอิเล็กโทรสปันที่มีขนาดเล็กและสมบูณที่สุด จากนั้นทำการยิ่งเส้นใยที่ความต่างศักย์ต่างๆได้แก่

13,14,15,16 และ 17 kV โดยกำหนดระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับเท่ากับ 10 cm ขนาดหัวเข็มใช้เบอร์ 18 และระยะเวลาในการยิงเส้นใยเป็น 30 นาที ดังสรุปในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การศึกษาผลของความต่างศักย์

แรงดันไฟฟ้า (kV)	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการยิงเส้นใย ด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง
13	- vary ความต่างศักย์ - เงื่อนไขอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของสารละลายโปรตีนไหมซิริซินและสารสกัดรางจืด - ระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับเป็น 10 cm - ขนาดหัวเข็มเบอร์ 18 - ระยะเวลาในการยิงเส้นใย 30 นาที
14	
15	
16	
17	

3.4.3 **การศึกษาระยะห่างระหว่างเข็มกับวัสดุรองรับ**

ศึกษาพารามิเตอร์ตัวต่อไป คือระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับโดยจะศึกษาที่ระยะ 8,9,10,11 และ 12 cm โดยกำหนดขนาดหัวเข็มใช้เบอร์ 18 และระยะเวลาในการยิงเส้นใยเป็น 30 นาที ดังสรุปในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การศึกษาระยะห่างระหว่างเข็มกับวัสดุรองรับ

ระยะระหว่างปลายเข็ม ถึงฐานรองรับ (cm)	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการยิงเส้นใย ด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง
8	- vary ระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับ - เงื่อนไขอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดของสารละลายโปรตีนไหมซิริซินและสารสกัดรางจืด - เงื่อนไขความต่างศักย์ที่เหมาะสมที่สุด - ขนาดหัวเข็มเบอร์ 18 - ระยะเวลาในการยิงเส้นใย 30 นาที
9	
10	
11	
12	

3.4.4 **การศึกษาขนาดหัวเข็ม**

ศึกษาขนาดหัวเข็มใช้เบอร์ 18, 20 และ 22 ดังสรุปในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 การศึกษาขนาดเข็ม

ขนาดหัวเข็ม	พารามิเตอร์ที่ใช้การทดลอง
เบอร์ 18	ใช้ความต่างศักย์ 15 kV ระยะห่างระหว่างเข็มกับวัสดุรองรัง 10 cm และใช้ระยะเวลาในการยิงเส้นใยเป็นเวลา 30 นาที ความเข้มข้นสารละลาย และอัตราส่วนสารละลายเป็นเท่าไหร่ค่ะ
เบอร์ 20	
เบอร์ 22	

บทที่ 4
ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 5 ส่วน ส่วนที่ 1 การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของผงโปรตีนไหมซิริซิน ส่วนที่ 2 จะกล่าวถึงการเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของผงสารสกัดรางจืด ส่วนที่ 3 การศึกษาความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และส่วนสุดท้าย ส่วนที่ 4 การศึกษาเงื่อนไขต่างๆในเตรียมเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การศึกษาความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ในการขึ้นรูปเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง

จากการเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 3 ค่าด้วยกันคือ 8, 9 และ 10 wt % แล้วทำการทดลองเตรียมเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิงที่ค่าความต่างศักย์ 15 kV ระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับเป็น 10 cm ขนาดหัวเข็มเบอร์ 18 และระยะเวลาในการยิงเส้นใย 30 นาที นั้น สามารถสรุปผลของสัณฐานวิทยาได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การศึกษาความเข้มข้นของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ความเข้มข้นของ PVA (wt %)	สัณฐานวิทยา
8	ขณะยิงจะเกิดกรวยเทเลอร์ มีเส้นใยบ้างแต่มีหยดพอลิเมอร์
9	ขณะยิงเกิดกรวยเทเลอร์ จะเกิดเส้นได้ดีมากและเส้นใยจะออกอย่างต่อเนื่อง
10	ขณะยิงไม่เกิดกรวยเทเลอร์ และไม่เกิดเส้นใย

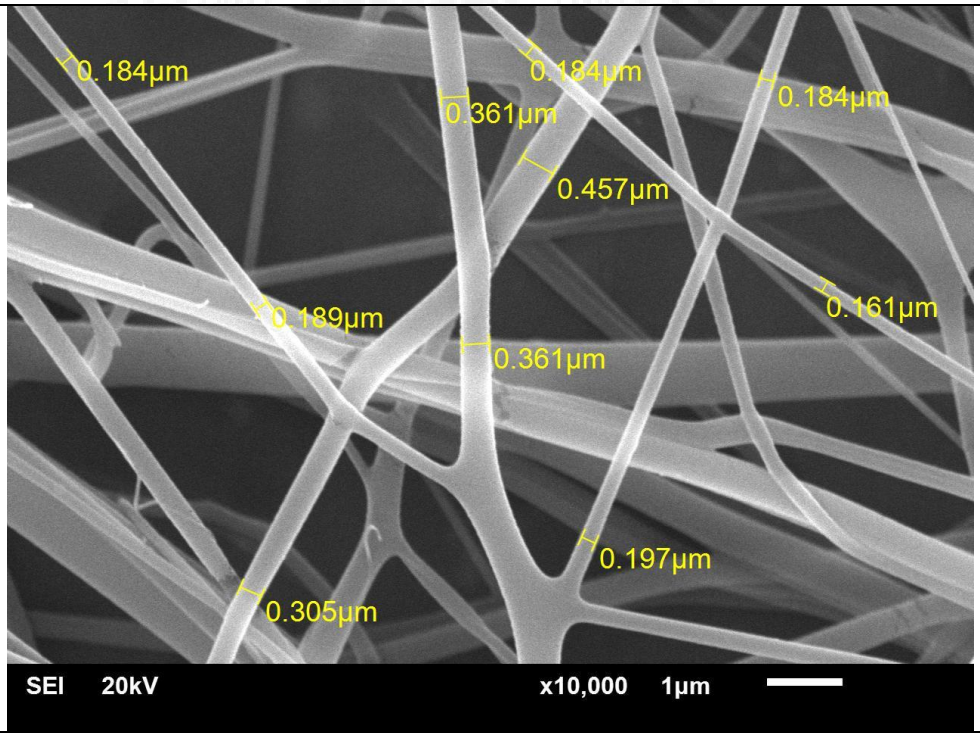
จากการทดลองพบว่าการเตรียมเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิงที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 9 wt% จะเกิดเส้นได้ดีมากและเส้นใยจะออกอย่างต่อเนื่อง ดั้งนั้นความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 9 wt % จึงเหมาะสมในการขึ้นรูปเส้นใยอิเล็กโทรสปันของสารละลายผสมของโปรตีนไหมซิริซินและสารสกัดรางจืด

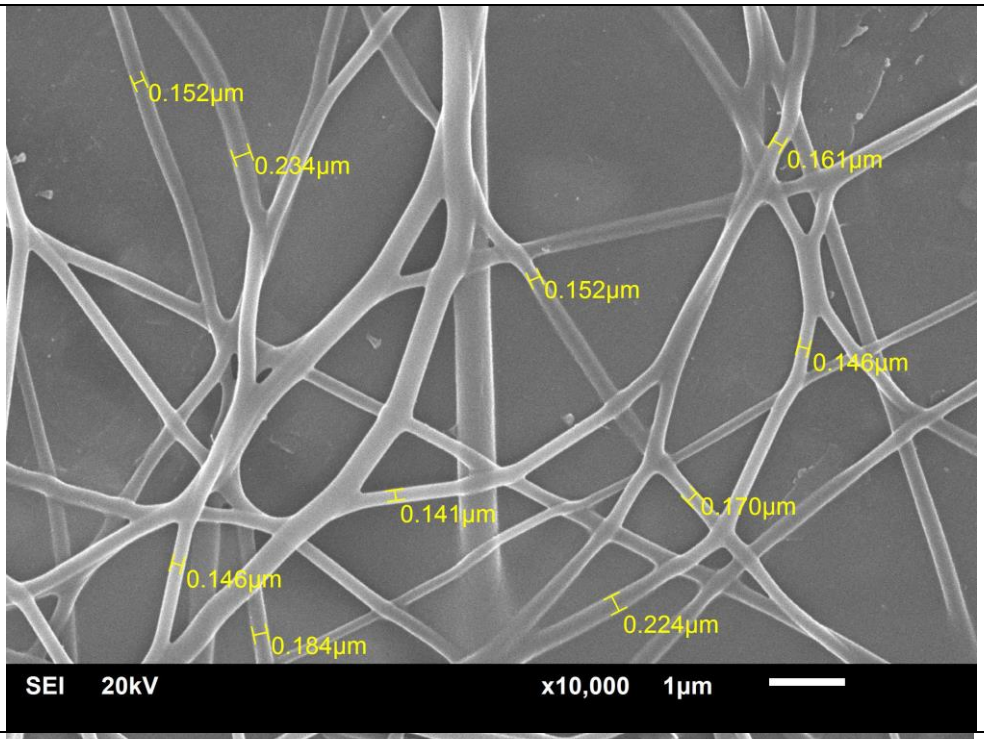
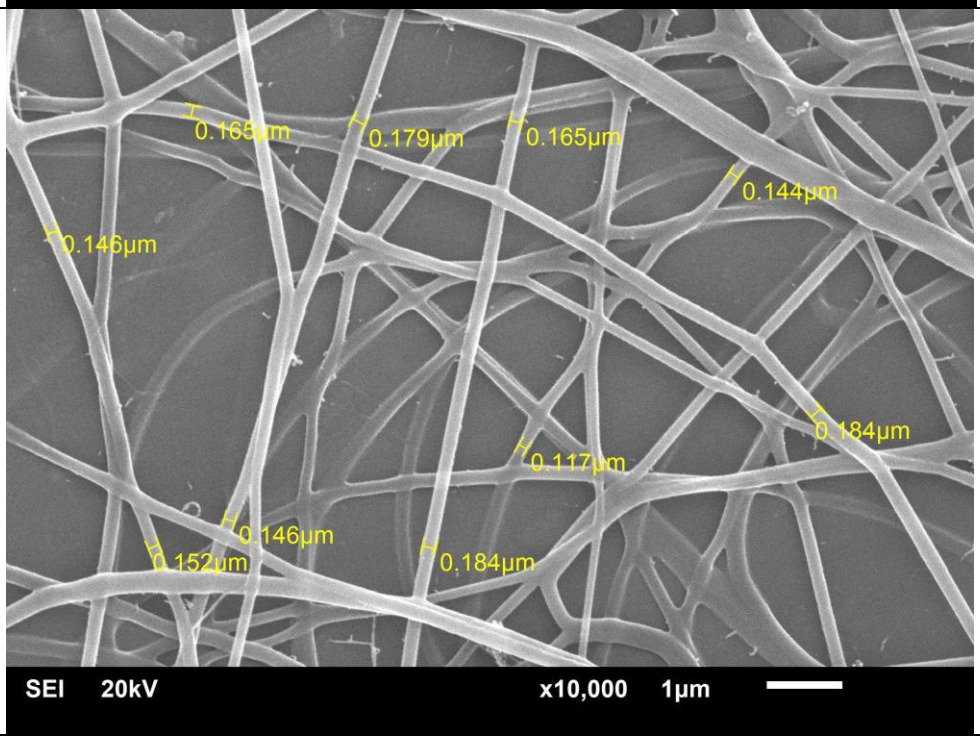
4.2 การศึกษาผลของอัตราส่วนของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืดในการขึ้นรูปเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง

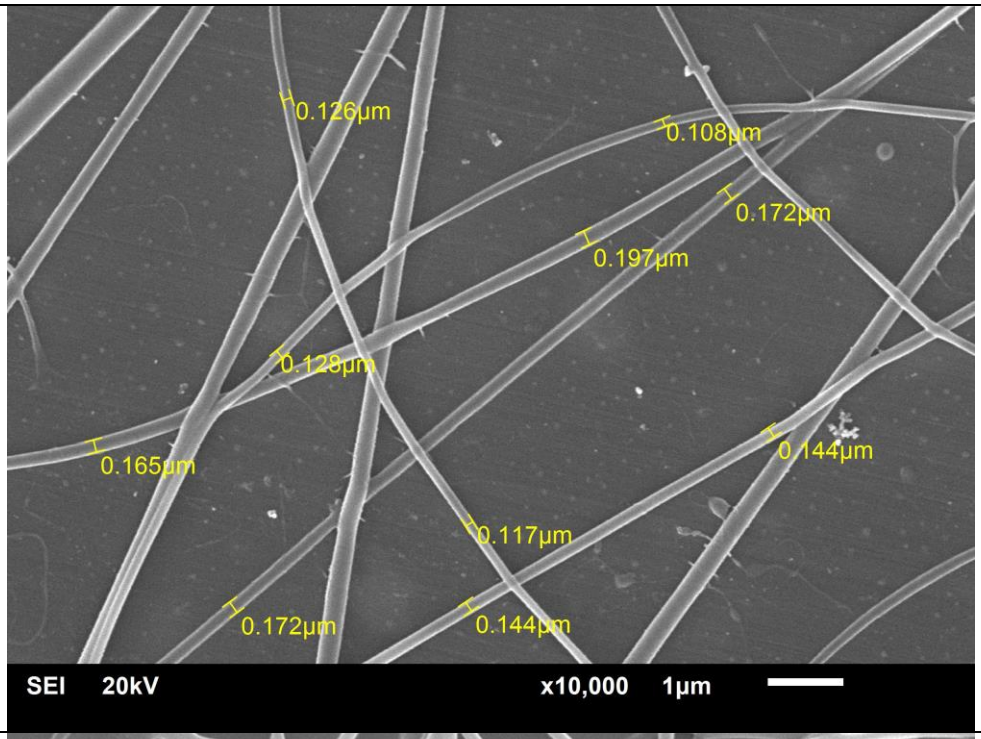
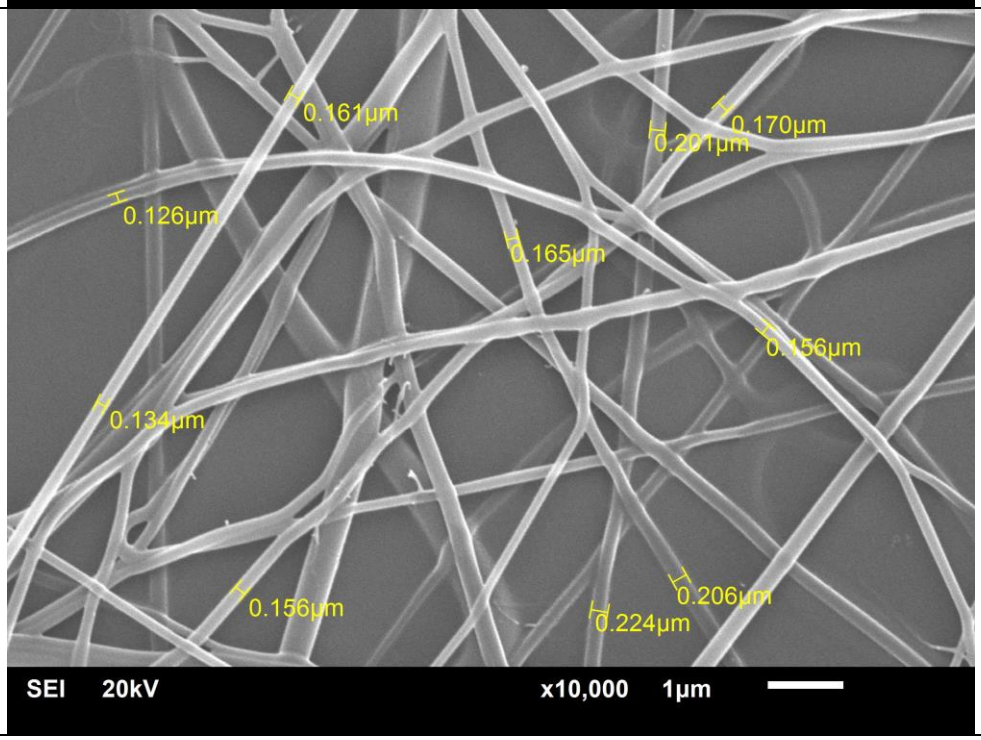
การขึ้นรูปเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิงของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืด จะกำหนดความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 9 wt % เตรียมสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินจากรังไหมสายพันธุ์นครราชสีมา 1 (K1) ที่ความเข้มข้น 5 mg/ml และสารสกัดรางจืดจากส่วนก้านที่ความเข้มข้น 5 mg/ml โดยใช้อัตราส่วนของสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินและสารละลายของสารสกัดรางจืดเป็น 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 ตามลำดับ และกำหนดค่าความต่างศักย์เบื้องต้นเป็น 15 kV ระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับเท่ากับ10 cm ขนาดหัวเข็มใช้เบอร์ 18 และระยะเวลาในการยิงเส้นใยเป็น 30 นาที

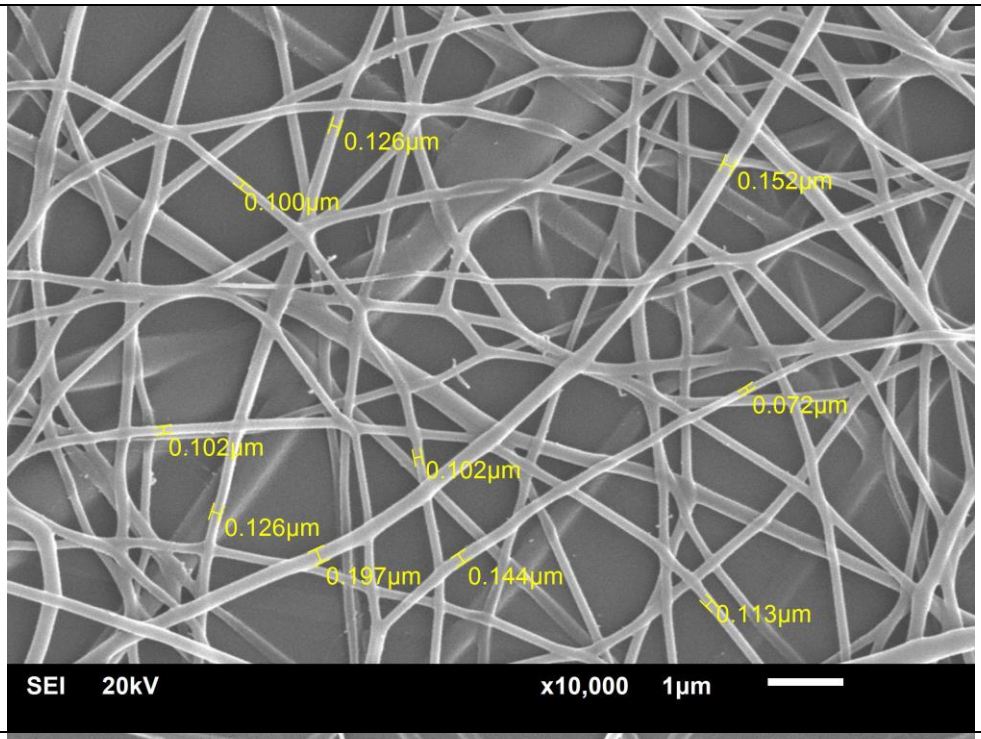
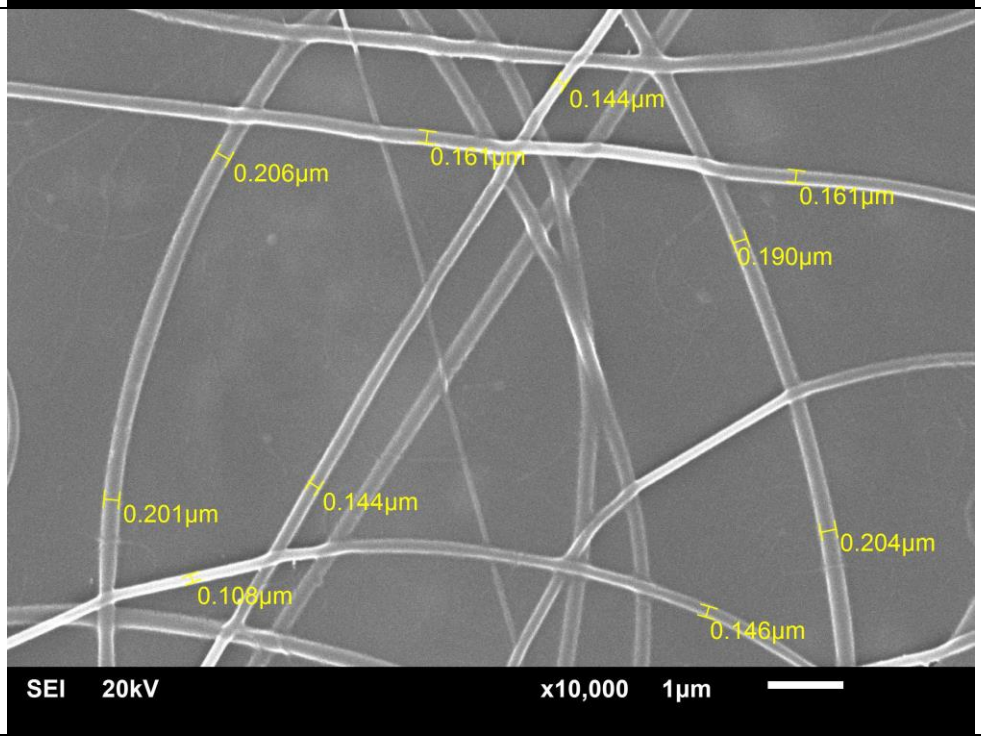
สัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโทรสปันของของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืดที่อัตราส่วนต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.2

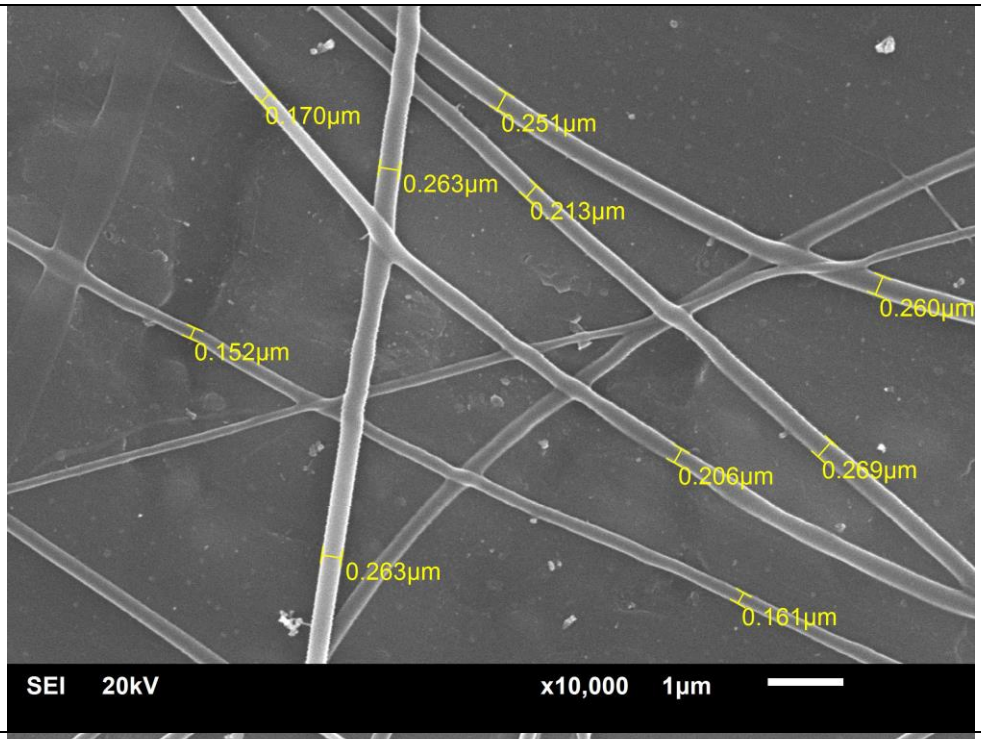
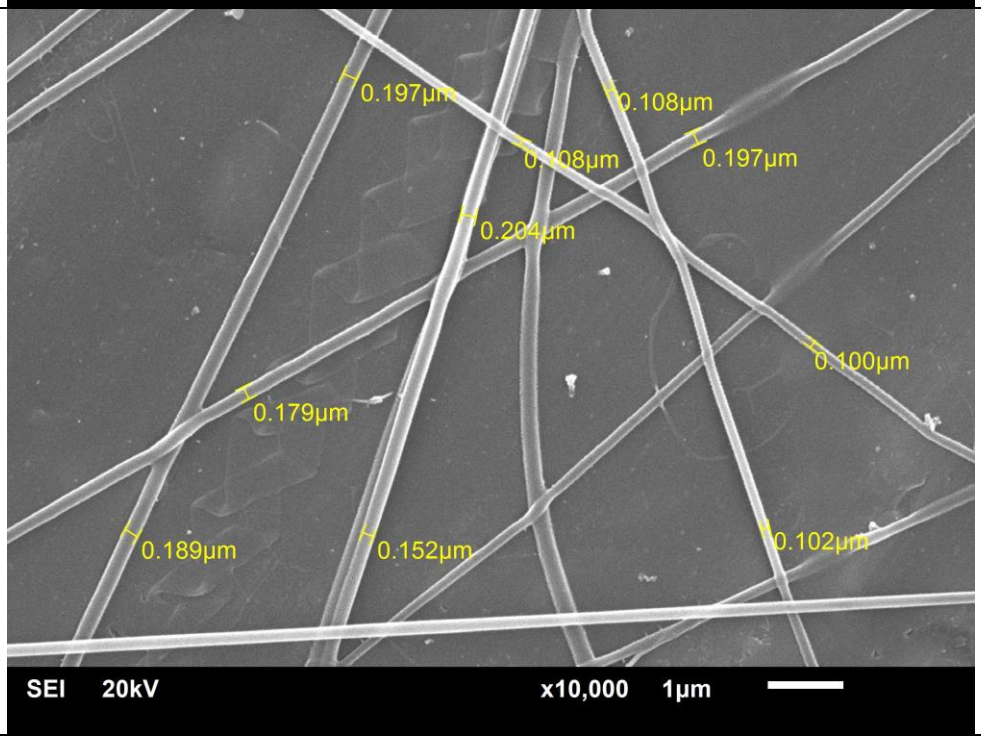
ตารางที่ 4.2 สัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโทรสปันของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืดที่อัตราส่วนต่างๆ

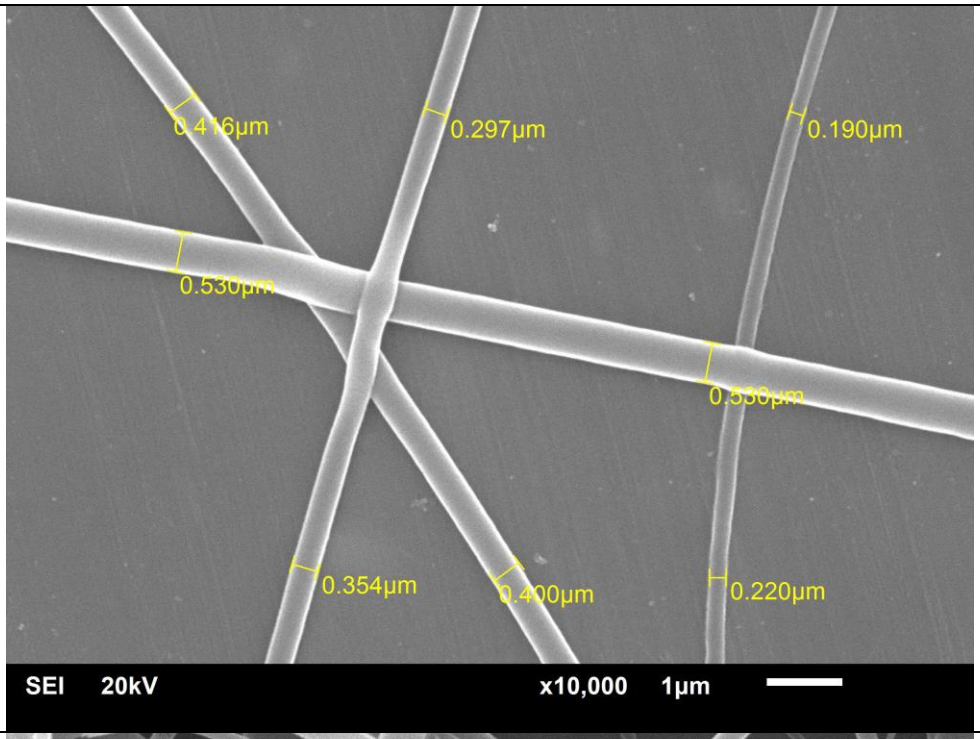
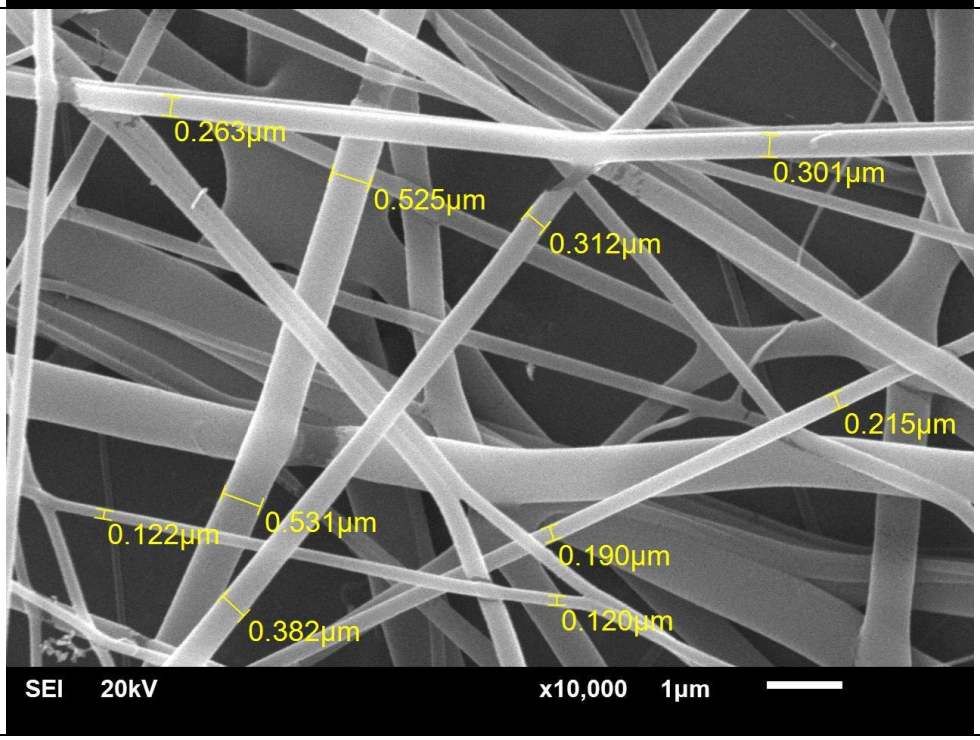
อัตราส่วนเซริซินต่อสารสกัดรางจืด	สัณฐานวิทยา	รายละเอียด
0:100		เกิดกรวยเทเลอร์ และเส้นใยเกิดได้ดี มีขนาดเส้นใยใหญ่

10:90		ขณะยิงเกิดกรวยเทเลอร์เล็กน้อยเป็นหยดพอลิเมอร์ มีเส้นใยบ้างมีขนาดใหญ่ แต่ไม่สม่าเสมอ
20:80		เกิดกรวยเทเลอร์ เป็นหยอพอลิเมอร์ เริ่มมีเส้นนใยเกิดได้ดีมากขึ้น แต่ไม่สม่าเสมอ

30:70		เกิดกรวยเทเลอร์ เกิดเป็นเส้นใยเล็กน้อย มีขนาดเล็กไม่สม่าเสมอกัน
40:60		เกิดกรวยเทเลอร์เล็กน้อย เส้นใยเกิดได้ดี มีขนาดเล็กลง เริ่มสม่าเสมอ

50:50		เกิดกรวยเทเลอร์เกิดเส้นใยเกิดได้ดี มีขนาดเล็กและสม่าเสมอ
60:40		เกิดกรวยเทเลอร์เล็กน้อยเกิดเส้นใยน้อย มีขนาดใหญ่

70:30		เกิดกรวยเทเลอร์เล็กน้อย เกิดเส้นใยขนาดใหญ่ แต่มีเม็ดปม
80:20		เกิดกรวยเทเลอร์ เกิดเป็นเส้นใยไม่สม่ำเสมอ

90:10		ขณะที่ยิงเกิดกรวยเทเลอร์ และเกิดเส้นใยน้อยมาก มีขนาดใหญ่ไม่สม่ำเสมอ
100:0		

จากผลสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโทรสปันในตารางที่ 4.2 สรุปได้ว่า เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยอิเล็กสปันที่อัตราส่วนของสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินและสารละลายของสารสกัดรางจืด 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 เท่ากับ 171,158 , 147, 170, 123, 166 ,221, 153 และ 367 nm ตามลำดับ จากการผสมสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินและสารละลายของสารสกัดรางจืดส่งผลต่อความเข้มข้นของสายละลาย โดยถ้าความเข้มข้น

สูงขึ้นจะส่งผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ใหญ่ขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของสายละลายพอลิเมอร์ที่สูงส่งผลต่อแรงตึงผิวที่สูงขึ้น จึงทำให้แรงไฟฟ้าเอาชนะแรงตึงผิวได้ยากนั่นเอง

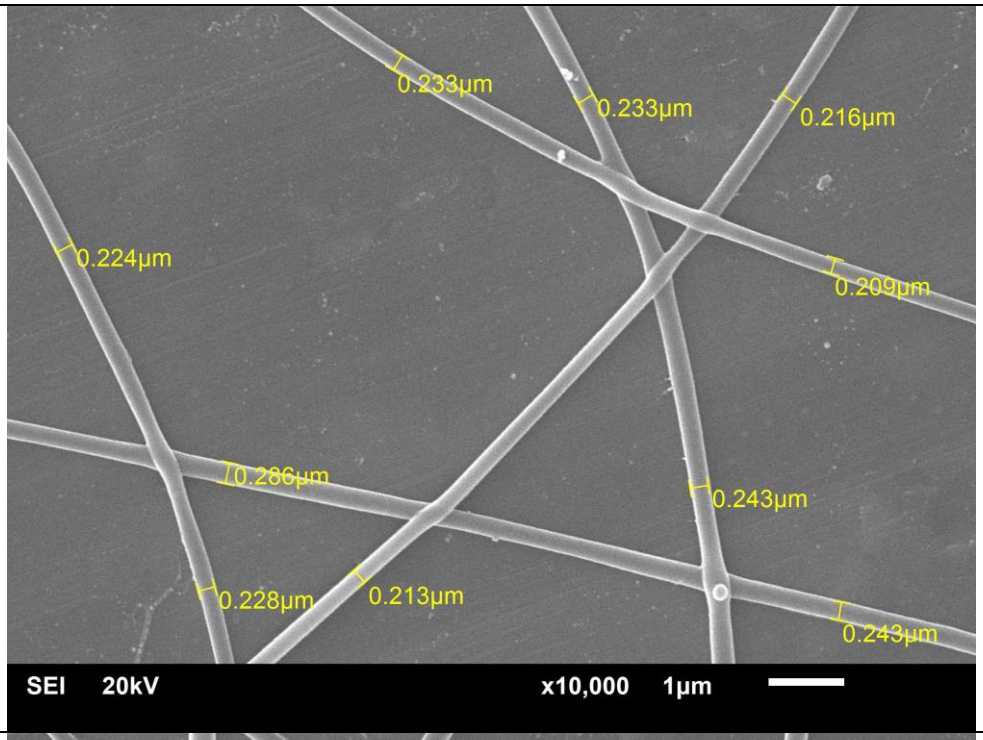
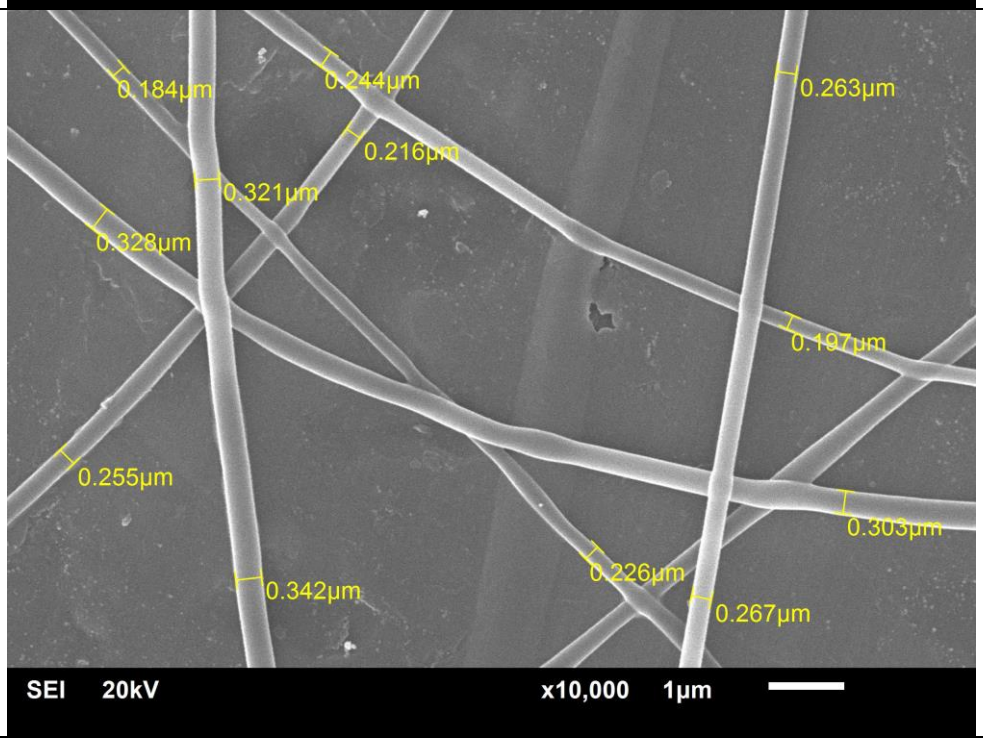
จากการทดลองนี้สรุปได้ว่าอัตราส่วนของสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินและสารละลายของสารสกัดรางจืด 50:50 ให้เส้นใยที่มีขนาดเล็กที่สุด และลักษณะเส้นใยมีความต่อเนื่อง เรียบและเส้นใยค่อนข้างสม่ำเสมอไร้เม็ดปม ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนนี้ในการเตรียมเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง

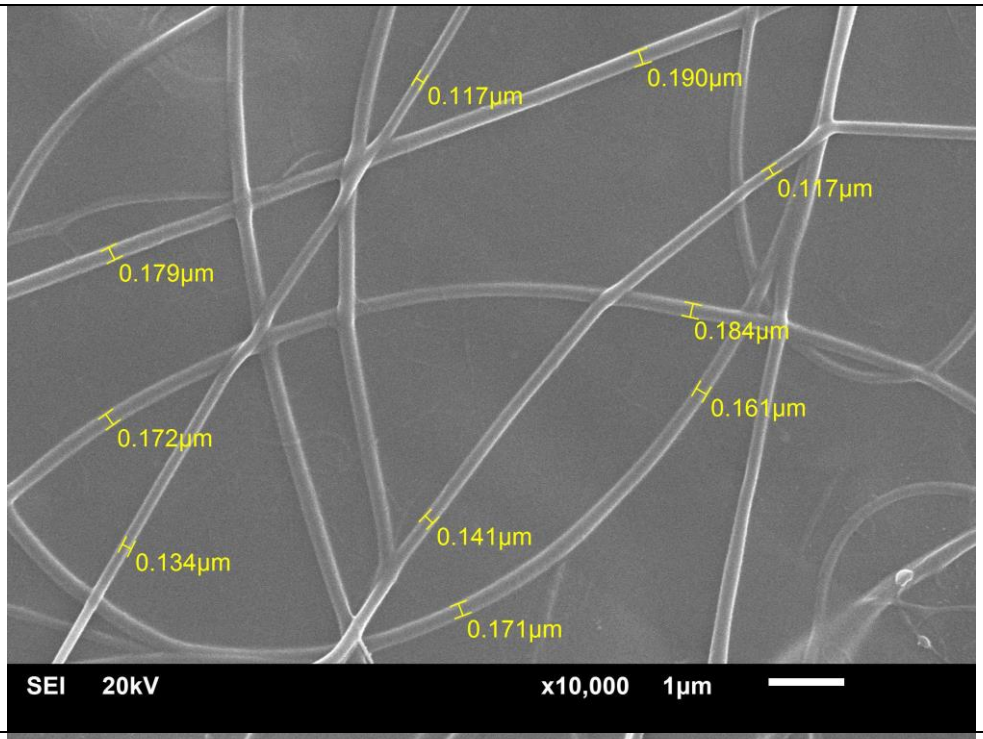
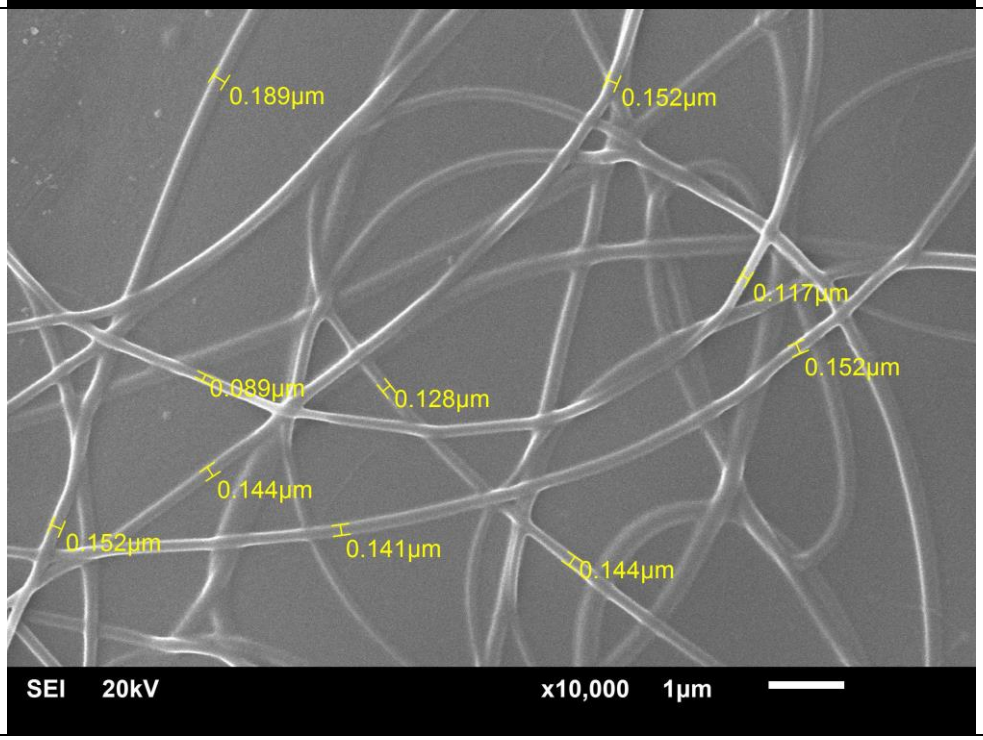
4.3 การศึกษาผลของความต่างศักย์ในการขึ้นรูปเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง

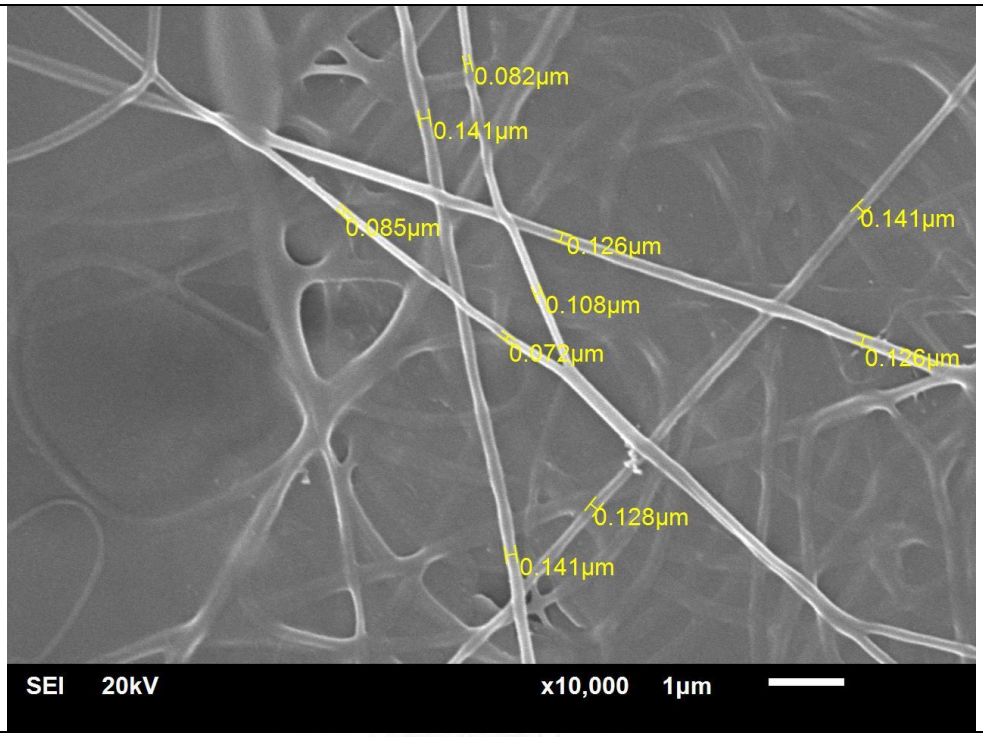
การขึ้นรูปเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิงของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืด จะกำหนดความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 9 wt % เตรียมสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินจากรังไหมสายพันธุ์นครราชสีมา 1 (K1) ที่ความเข้มข้น 5 mg/ml และสารสกัดรางจืดจากส่วนก้านที่ความเข้มข้น 5 mg/ml โดยใช้อัตราส่วนของสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินและสารละลายของสารสกัดรางจืดเป็น 50:50 จากนั้นทำการยิ่งเส้นใยที่ความต่างศักย์ต่างๆได้แก่ 13,14,15,16 และ 17 kV โดยกำหนดระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับเท่ากับ10 cm ขนาดหัวเข็มใช้เบอร์ 18 และระยะเวลาในการยิงเส้นใยเป็น 30 นาที

สัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโทรสปันของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืดที่ความต่างศักย์ต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโทรสปันของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืดที่ความต่างศักย์ต่างๆ

ความต่างศักย์ (kV)	สัณฐานวิทยา	รายละเอียด
13		ขณะยิงเกิดเป็นกรวยเทเลอร์เส้นใยออกเล็กน้อยและเส้นใยพุ่งเข้าหาวัสดุรองรับพอดี
14		ขณะยิงเกิดกรวยเทเลอร์เส้นใยออกเล็กน้อยและเส้นใยพุ่งเข้าหาวัสดุรองรับพอด

15		ขณะยิงเกิดเป็นกรวยเทเลอร์เส้นใยออกเป็นจานวนมากและเส้นใยพุ่งเข้าหาวัสดุรองรับพอดี
16		ขณะยิงเกิดเป็นกรวยเทเลอร์เส้นใยออกเป็นจานวนมากและเส้นใยพุ่งเข้าหาวัสดุรองรับพอดี

17		ขณะยิงเกิดเป็นกรวยเทเลอร์เป็นหยดน้ำเส้นใยออกน้อยมากและเส้นใยพุ่งเข้าหาวัสดุรองรับพอดี

จากผลสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโทรสปันในตารางที่ 4.3 สรุปได้ว่า เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยอิเล็กสปันของสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินและสารละลายของสารสกัดรางจืดที่ความต่างศักย์ 13, 14, 15, 16 และ 17 kV เท่ากับ 375, 236 , 195, 306 และ 267 nm ตามลาดับ เมื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจะมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก การเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจะทำให้ประจุไฟฟ้าที่ผิวของสารละลายหนาแน่นมากขึ้น และเกิดเป็นแรงผลักให้สารละลายยืดออกเป็นเส้นใยได้เร็วขึ้น จึงทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลงนั้นเอง แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้ามากเกินไปจะทำให้เกิดการหลอมเลยของสารละลายได้

จากการทดลองนี้สรุปได้ว่า ความต่างศักย์ 15 kV เป็นค่าที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยอิเล็กสปันของสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินและสารละลายของสารสกัดรางจืด ที่ให้เส้นใยที่มีขนาดเล็กที่สุด และลักษณะเส้นใยมีความต่อเนื่อง เรียบและเส้นใยค่อนข้างสม่ำเสมอไร้เม็ดปม

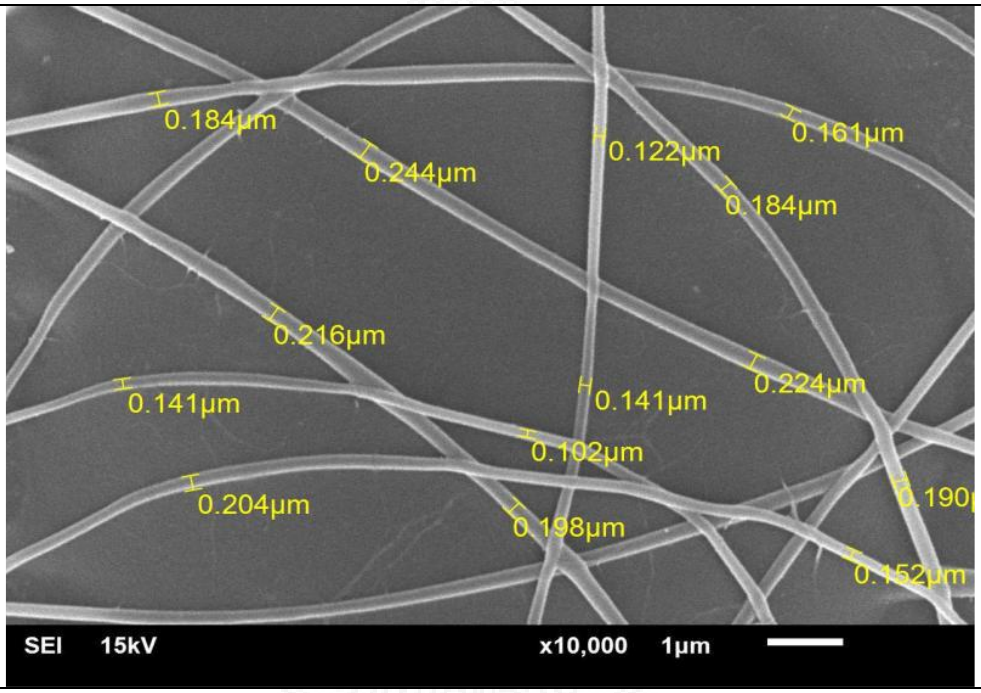
4.4 การศึกษาระยะห่างระหว่างเข็มกับวัสดุรองรับในการขึ้นรูปเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง

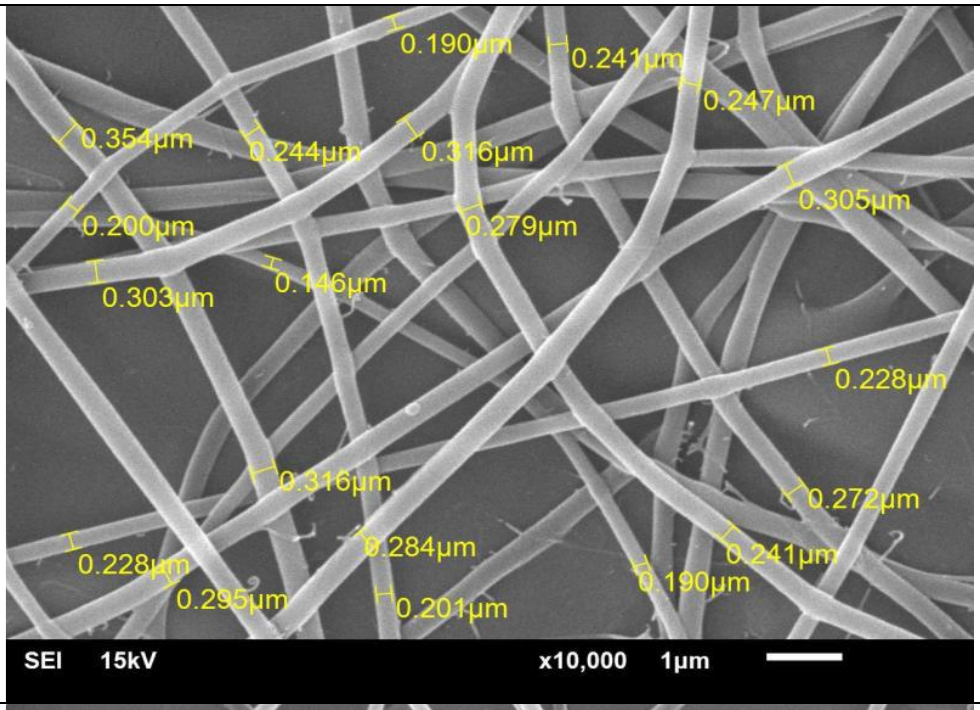
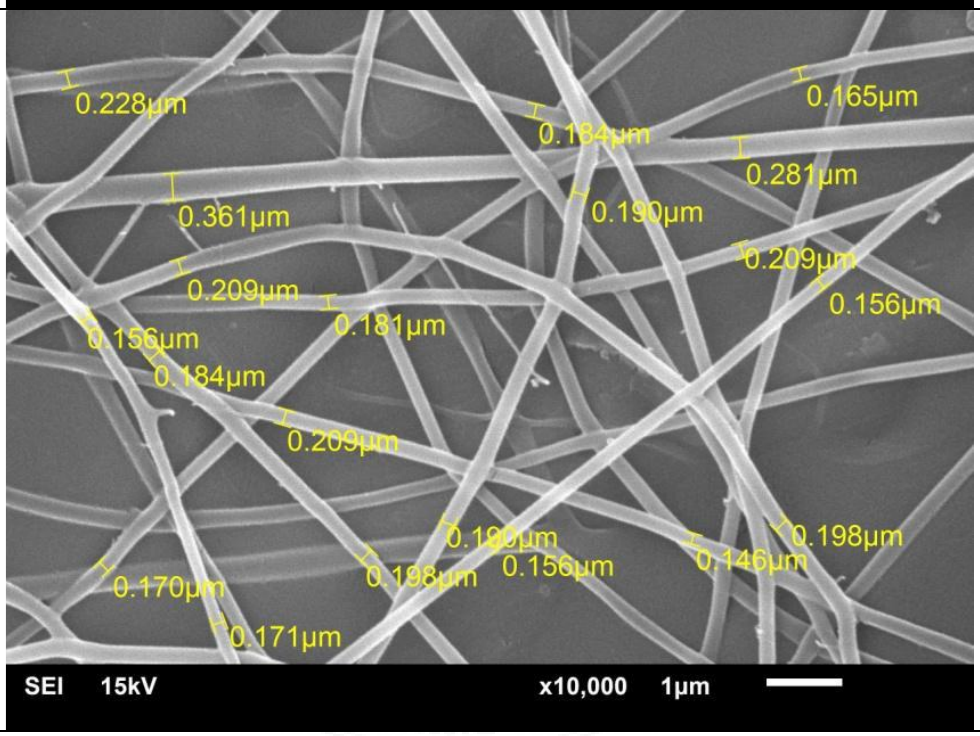
การขึ้นรูปเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิงของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืด จะกำหนดความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 9 wt % เตรียมสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินจากรังไหมสายพันธุ์นครราชสีมา 1 (K1) ที่ความเข้มข้น 5 mg/ml และสารสกัดรางจืดจากส่วนก้านที่ความเข้มข้น 5 mg/ml อัตราส่วนของสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินและสารละลายของสารสกัดรางจืดเป็น 50:50 จากนั้นทำการยิ่งเส้นใยที่ความต่างศักย์ 15 kV โดย

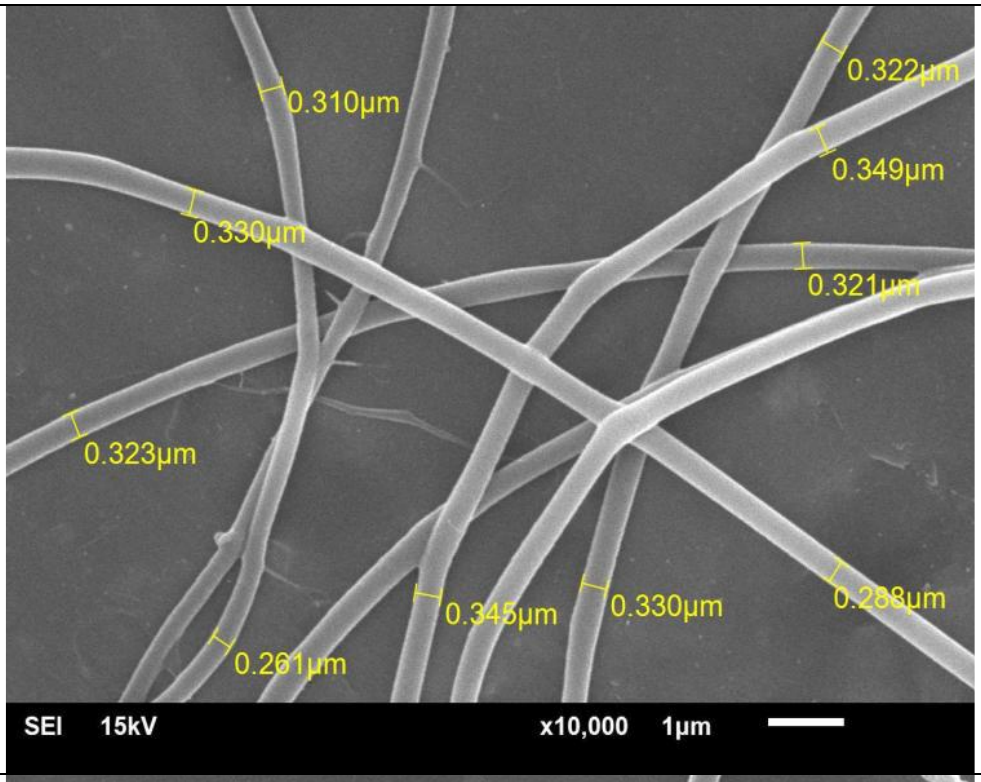
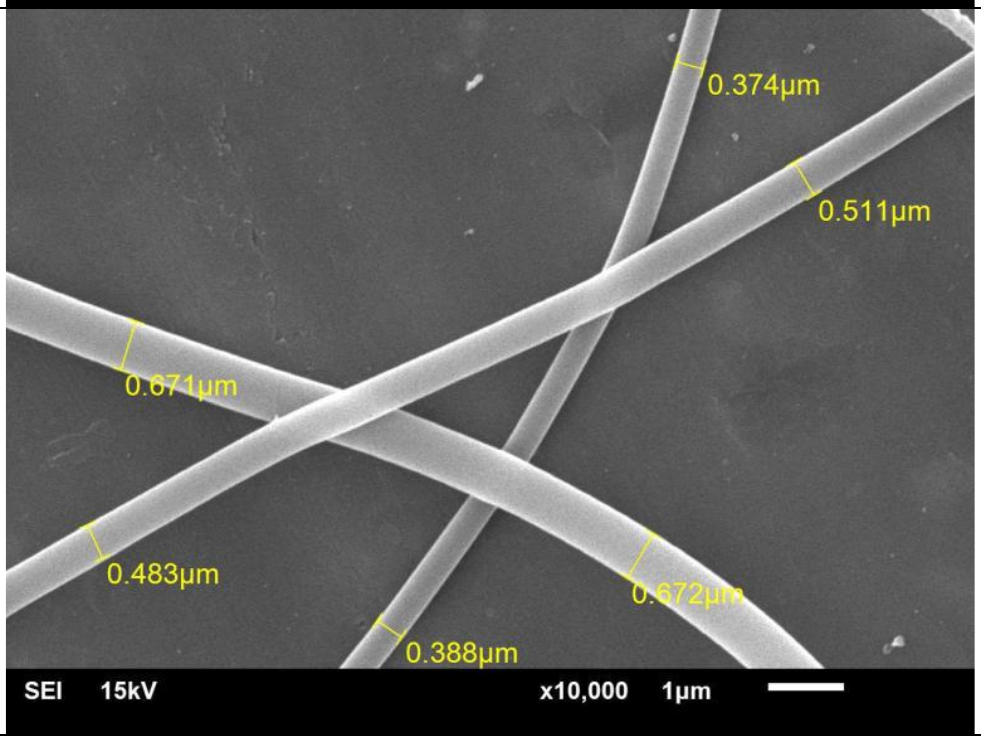
กำหนดระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับเป็น 8, 9, 10, 11 และ 12 cm กำหนดขนาดหัวเข็มใช้เบอร์ 18 และระยะเวลาในการยิงเส้นใยเป็น 30 นาที

สัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโทรสปันของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืดที่ระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโทรสปันของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืดที่ระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับต่างๆ

ระยะห่างระหว่างหัวเข็มกับวัสดุรองรับ (cm)	ภาพสัณฐานวิทยา	รายละเอียด
8		เส้นใยตกลงวัสดุรองรับ

9		เส้นใยตกลงวัสดุรองรับ
10		เส้นใยพุ่งเข้าหาวัสดุรองรับพอดี

11		เส้นใยพุ่งเข้าหาวัสดุรองรับบ้างและพุ่งลงด้านล่างบ้างของวัสดุรองรับเส้นใย
12		เส้นใยพุ่งลงด้านล่างของวัสดุรองรับเส้นใย

จากผลสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโทรสปันในตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าเส้นใยมีความต่อเนื่องในทุกๆระยะห่าง แต่ที่ระยะห่าง 8 cm เส้นใยจะมีเม็ดปมเกิดขึ้นจำนวนมากและเส้นใยมีความหนาแน่นสูงกว่าระยะอื่นๆ การเกิดเม็ดปมน่าจะมาจากการเพิ่มขึ้นของสนามไฟฟ้าระหว่างปลายเข็มและแผ่นรองรับ และเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น เม็ดปมและความหนาแน่นของเส้นใยก็ลดลงไปด้วย

จากการทดลองนี้สรุปได้ว่าที่ระยะห่าง 8 cm เป็นค่าที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยอิเล็กสปันของสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินและสารละลายของสารสกัดรางจืด ที่ให้เส้นใยที่มีขนาดเล็กที่สุด และลักษณะเส้นใยมีความต่อเนื่อง เรียบและเส้นใยค่อนข้างสม่ำเสมอไร้เม็ดปม

4.5 การศึกษาขนาดหัวเข็มในการขึ้นรูปเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง

การขึ้นรูปเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิงของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืด จะกำหนดความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ 9 wt % เตรียมสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินจากรังไหมสายพันธุ์นครราชสีมา 1 (K1) ที่ความเข้มข้น 5 mg/ml และสารสกัดรางจืดจากส่วนก้านที่ความเข้มข้น 5 mg/ml อัตราส่วนของสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินและสารละลายของสารสกัดรางจืดเป็น 50:50 จากนั้นทำการยิ่งเส้นใยที่ความต่างศักย์ 15 kV ระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับเป็น 10 cm โดยขนาดหัวเข็มใช้เบอร์ 18, 20 และ 22 และระยะเวลาในการยิงเส้นใยเป็น 30 นาที สามารถสรุปได้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 รายละเอียดสัณฐานวิทยาของเส้นใยอีเล็กโทรสปินของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืด

เบอร์หัวเข็ม	รายละเอียดสัณฐานวิทยา
18	สารละลายที่ออกมาเป็นเส้นใยได้ดี
20	สารละลายสามารถออกได้ แต่ยังออกได้ไม่ดี
22	หัวเข็มมีขนาดเล็กเกินไป ซึ่งทำให้สารละลายที่มีความหนืดมากไม่สามารถออกได้

จากผลรายละเอียดสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโทรสปันในตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าหัวเข็มขนาด 18 เป็นขนาดหัวเข็มที่ให้สารละลายออกมาเป็นเส้นใยและสารละลายที่มีความหนืดมากก็สามารถยิ่งออกมาเป็นเส้นใยได้อย่างดี

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแผ่นปิดแผลจากโปรตีนไหมซิริซินและสารสกัดรางจืดด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่ง ในส่วนของการสกัดโปรตีนไหมซิริซินนั้น ก็ได้รวบรวมรังไหมจากสายพันธ์ต่างๆในจังหวัดนครราชสีมา ทั้งหมด 11 สายพันธ์ แล้วนำตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีและความเป็นพิษเพื่อคัดเลือกพันธ์ที่เหมาะสม จากผลการทดลองพบว่าโปรตีนไหมซิริซินที่สกัดได้จากรังไหมสายพันธุ์นครราชสีมา 1 (K1) มีโครงสร้างของโปรตีนผสมระหว่างแบบเกลียวที่ไม่มีระเบียบและแบบบีต้าชีตเหมือนกับทุกสายพันธ์ แต่มีเปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์ 100% ในทุกช่วงความเข้มข้น จึงเลือกสายพันธ์นครราชสีมา 1 (K1) ในการสกัดโปรตีนไหมซิริซิน สำหรับการสกัดสารจากสมุนไพรรางจืดนั้น ได้ใช้ทุกส่วนของรางจืดมาสกัดสารสกัดรางจืด โดยพบว่ารางจืดส่วนรากและลำต้นมีเปอร์เซ็นต์ความอยู่รอดของเซลล์เท่ากัน ดังนั้นในการทดลองนี้จะใช้รางจืดในส่วนของลำต้นในการสกัดสารสกัดรางจืด

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเตรียมเส้นใยนาโนด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่ง ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายสารพอลิเมอร์ อัตราส่วนของสารละลายโปรตีนไหมเซริซินและสารสกัดรางจืด ความต่างศักย์ ระยะห่างระหว่างเข็มกับวัสดุรองรับ และขนาดของตัวเข็มที่ใช้ยิง โดยพบว่า

การเตรียมเส้นใยนาโนด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่งของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ความเข้มข้น 9 wt%จะทำให้เกิดเส้นใยได้ดีมากและเส้นใยจะออกอย่างต่อเนื่องจึงเหมาะสมในการนำมาผสมขึ้นรูปเส้นใยอิเล็กโทรสปันของสารละลายผสมของโปรตีนไหมซิริซินและสารสกัดรางจืด

จากการตรวจสอบสัณฐานวิทยาและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยอิเล็กสปันที่อัตราส่วนของสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินและสารละลายของสารสกัดรางจืด 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50, 60:40, 70:30, 80:20 และ 90:10 ตามลาดับ พบว่า ที่อัตราส่วน 50:50 ให้เส้นใยที่มีขนาดเล็กที่สุด และลักษณะเส้นใยมีความต่อเนื่อง เรียบและเส้นใยค่อนข้างสม่ำเสมอไร้เม็ดปม ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนนี้ในการเตรียมเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง

จากการตรวจสอบสัณฐานวิทยาและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยอิเล็กสปันของสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินและสารละลายของสารสกัดรางจืดที่ความต่างศักย์ 13, 14, 15, 16 และ 17 kV ตามลำดับ พบว่า ความต่างศักย์ 15 kV เป็นค่าที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยอิเล็กสปัน เนื่องจากให้เส้นใยที่มีขนาดเล็กที่สุด และลักษณะเส้นใยมีความต่อเนื่อง เรียบและเส้นใยค่อนข้างสม่ำเสมอไร้เม็ดปม

จากการตรวจสอบสัณฐานวิทยาและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยอิเล็กสปันของ

สารละลายของโปรตีนไหมเซริซินและสารละลายของสารสกัดรางจืดที่กำหนดระยะระหว่างปลายเข็มถึงฐานรองรับเป็น 8, 9, 10, 11 และ 12 cm ตามลำดับ พบว่า ที่ระยะห่าง 8 cm เป็นค่าที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยอิเล็กสปัน เนื่องจากให้เส้นใยที่มีขนาดเล็กที่สุด และลักษณะเส้นใยมีความต่อเนื่อง เรียบและเส้นใยค่อนข้างสม่ำเสมอไร้เม็ดปม

จากการตรวจสอบสัณฐานวิทยาและเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยอิเล็กสปันของสารละลายของโปรตีนไหมเซริซินและสารละลายของสารสกัดรางจืดที่กำหนดที่ขนาดหัวเข็มเบอร์ 18, 20 และ 22 ตามลำดับ พบว่าหัวเข็มเบอร์18 เป็นขนาดหัวเข็มที่ให้สารละลายออกมาเป็นเส้นใยและสารละลายที่มีความหนืดมากก็สามารถยิ่งออกมาเป็นเส้นใยได้อย่างดี

รายการอ้างอิง

1. Ni. Liao, A. R. Unnithan, M. K. Joshi, A. P. Tiwari, S. T. Hong, C. Hee Park, C. S. Kim," Electrospun bioactive poly (e-caprolactone)–celluloseacetate–dextran antibacterial composite mats for wound dressing applications," Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, vol. 469, pp. 194-201, 2015.
2. T. Abdelrahman, H. Newton, "Wound dressings: principles and practice," Surgery, vol. 29, pp. 491-495, 2011.
3. F. U. Momoh, J.S. Boateng, S.C.W. Richardson, B.Z. Chowdhry, J.C. Mitchell," Development and functional characterization of alginate dressing aspotential protein delivery system for wound healing," International Journal of Biological Macromolecules, vol. 81, pp. 137-150, 2015.
4. L. Tan, J. Hu, H. Zhao," Design of bilayered nanofibrous mats for wound dressing using an electrospinning technique," Materials Letters, vol. 156, pp. 46-49, 2015.
5. D. Zhang, W. Zhou, B. Wei, X. Wang, R. Tang, J. Nie, J. Wang," Carboxyl-modified poly(vinyl alcohol)-crosslinked chitosan hydrogelfilms for potential wound dressing," Carbohydrate Polymers, vol. 125, pp. 189-199, 2015.
6. Information on http://www.g30up.com/forums/viewtopic.php?f=6&t=2405
7. D. Gupta, A. Agrawal, H. Chaudhary, M. Mohan Gulrajani, C. Charu Gupta," Cleaner process for extraction of sericin using infrared," Clean. Prod, vol. 52, pp. 488-494, 2013.
8. ศิริรรณ ศิลปะสุวรรณ การศึกษาผลของสมุนไพรบางชนิดต่อการเจริญของแบคทีเรียบางอย่างในตระกูล Enterobacteriaceae. วิทยานิพนธ์การวิจัยวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การสอนชีววิทยา) มหาวิทยาลัย เชียงใหม่ 2522.
9. Kongyingyos B, Plentong C, Ekalaksananan T, et al. Antiviral activity of Thai medicinal herbs on herpes simplex virus. 16th Conference on Science and Technology of Thailand 25-27 October 1990.
10. ณัฏฐิยา พงศ์ผาสุก. การพัฒนาสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบเพื่อใช้เป็นยาทาภายนอก. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2546.
11. ภารดี เทียมดวงตะวัน และมรกต ภาณุพงศ์สวัสดิ์ การพัฒนาตำรับโลชั่นกันแดดจากสารสกัดใบรางจืด ปริญญาเภสัชศาสตรบัณฑิต คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 2553.

12. Information on http://www.naturbiotic.com/qa02.html.

13. N. Khanam, C. Mikoryak, R. K. Draper, K. J. Balkus Jr., “Electrospun linear polyethyleneimine scaffolds for cell growth”, Acta Biomaterialia, vol.3, pp.1050-1059, 2007.

14. R. Dash, C. Acharya, P. C. Bindu and S.C. Kundu, “Anrioxidant potential of silk protein sericin against hydrogen peroxide-induced oxidative stress in skin fibroblasts”, Biochemistry and Molecular Biology Reports, pp.236-241, 2006.

15. L. Shi, N. Yang, H. Zhang, L. Chen, L. Tao, Y. Wei, H. Liu, Y. Luo, "A novel poly (γ-glutamic acid)/silk-sericin hydrogel for wound dressing: Synthesis, characterization and biological evaluation," Materials Science and Engineering C, vol. 48, pp. 533–540, 2015.

16. R. Zhao, X. Li, B. Sun, Y. Zhang, D. Zhang, Z. Tang, X. Chen, C. Wang, "Electrospun chitosan/sericin composite nanofibers with antibacterial property as potential wound dressings," International Journal of Biological Macromolecules, vol. 68, pp. 92–97, 2014.

17. ณัฏฐา ศักดิ์ศิลาพร, ธัญรัตน์ ท้าวสลาย, “การผลิตเส้นใยนาโนทังสเตนออกไซด์ด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง”, ส่วนหนึ่งของปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พ.ศ.2553.

18. สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากาเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, นาโนเทคโนโลยีจากธรรมชาติสู่การสังเคราะห์, Download, URL: http://www.atom.rmutphysics.com/charud/scibook/nanotech/Page/Unit3-11.html, Jun 24, (2014).

19. ณัฐวุฒิเนียมจันทร์, “ผลของซิงค์ออกไซด์อนุภาคขนาดนาโนรูปทรงต่าง ๆ ที่อยู่บนผิวผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้าเพื่อสมบัติต้านทานแสงยูวีและต้านแบคทีเรีย”, ส่วนหนึ่งของปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ.2553

20. F. Li, Y. Zhao, and Y. Song, Core-Shell Nanofibers: Nano Channel and Capsule by Coaxial Electrospinning, Download, URL:http://www.intechopen.com/books/nanofibers/core-shell-nanofibers-nano-channel-and-capsule-by-coaxial-electrospinning, Jun 24, (2014).

21. J.M. Deitzel, J.D. Kleinmeyer, J.K. Hirvonen, and N.C. Beck Tan, “Controlled deposition of electrospunpoly(ethylene oxide) fibers”, Polymer, Vol.42-19, pp.8163-8170, 2001.

22. พัชรินทร์วรรธนกุล, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ Download, URL: http://www.tpa.or.th/publisher/images/abstract/abstech131.pdf, Jun 24, (2014).

23. สุจิตรา วงศ์เกษมจิตต์, 2552, “กระบวนการโซลเจล”, พิมพ์ครั้งที่ 1,กรุงเทพฯ :สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล

(ภาษาไทย) ดร. ปิยะพงษ์ ปานแก้ว

(ภาษาอังกฤษ) Dr. Piyapong Pankaew

2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน

3-1020-02911-13-8

3. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวัสดุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

โทรศัพท์ 087 893 4457 E-mail: piyapong.pa@rmutp.ac.th

5. ประวัติการศึกษา

วท.บ. (ฟิสิกส์)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปร.ด. (ฟิสิกส์)	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ

Bioceramics, Nanomaterials, Composite Materials, Material Fabrication and Material Characterization

7. ทุนวิจัย

1. เรื่อง การพัฒนาวัสดุทดแทนกระดูกจากการปลูกผลึกนาโนไฮดรอกซีอะพาไทต์บนเส้นไหมไฟโบรอิน

แหล่งทุนสนับสนุน ทุนงบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ พ.ศ.๒๕๕๗

2. เรื่อง การพัฒนาโครงสร้างสองชั้นระหว่างคอมโพสิตไฮดรอกซีอะพาไทต์-อลูมินาและเซอร์โคเนียเพื่อประยุกต์ใช้ทางการแพทย์

แหล่งทุนสนับสนุน ทุนงบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ พ.ศ.๒๕๕๘

3. เรื่อง รูปแบบของฝนในประเทศไทยอันเนื่องมาจากอิทธิพลของพายุหมุนเขตร้อน”

แหล่งทุนสนับสนุน ทุนงบประมาณแผ่นดิน ปีงบปริมาณ พ.ศ.๒๕๕๘

4. เรื่อง การเตรียมและศึกษาสมบัติทางโครงสร้างและแม่เหล็กของอนุภาคคอมโพสิต ระดับนาโนเมตรของไฮดรอกซีอะพาไทต์และซิงก์เฟอไรท์เพื่อประยุกต์ใช้ในการรักษามะเร็งในอนาคต

แหล่งทุนสนับสนุน งบประมาณรายจ่าย ปีงบปริมาณ พ.ศ.๒๕๕๙

5. เรื่อง การเตรียการพัฒนาโครงร่างเลี้ยงเซลล์แบบรูพรุนของสารประกอบเบต้าไตรแคลเซียมฟอสเฟต ซิงก์-นิกเกิลเฟอไรท์ และเซอโคเนีย สำหรับประยุกต์ในงานวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก

แหล่งทุนสนับสนุน งบประมาณรายจ่าย ปีงบปริมาณ พ.ศ.๒๕๖๐

6. เรื่อง การพัฒนาแผ่นเส้นใยอิเล็คโทรสปันจากโปรตีนไหมซีริซินสารสกัดรางจืดและสารสกัดหญ้าหางม้าสำหรับประยุกต์เป็นแผ่นปิดแผล

แหล่งทุนสนับสนุน งบประมาณรายจ่าย ปีงบปริมาณ พ.ศ.๒๕๖๐