



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ปั่นเซลลูโลสอะซิเตท
ที่ประกอบด้วยสารสกัดจากน้ำยางพารา
Electrospun Cellulose Acetate fiber
Containing Para Rubber Extract

ดร.ณัฐกฤตา สุวรรณทีป

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ปั่นเซลลูโลสอะซิเตท
ที่ประกอบด้วยสารสกัดจากน้ำยางพารา
Electrospun Cellulose Acetate fiber
Containing Para Rubber Extract

ดร.ณัฐกฤตา สุวรรณทีป

(คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัย ปีงบประมาณ 2556)

หัวข้อวิจัย	การพัฒนาแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โพรสปีนเซลลูโลสอะซิเตทที่ประกอบด้วยสารสกัดจากน้ำยางพารา
ผู้ดำเนินการวิจัย	ดร.ณัฐกฤตา สุวรรณทิพย์
หน่วยงาน	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต
ปี พ.ศ.	2558

การวิจัยครั้งนี้ประสบความสำเร็จในการผลิตแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากยางพารา (*Hevea brasiliensis*) ซึ่งให้ลักษณะที่น่าสนใจอย่างมาก คือ มีพื้นที่ผิวสูงต่อมวล มีรูพรุนสูง ทำให้ผลการวิจัยนี้สามารถเป็นตัวเลือกที่มีศักยภาพดีเยี่ยม เช่น ใช้สำหรับวัสดุตกแต่งแผ่น มาส์กสำหรับใบหน้า และผลิตภัณฑ์นวัตกรรมอื่น ๆ ในด้านเครื่องสำอางและอุตสาหกรรมยา สารสกัดจากน้ำยางพาราในระดับความเข้มข้นต่างๆ คือ 1-5% โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักของผงเซลลูโลสอะซิเตท ถูกผสมรวมกับสารละลายเซลลูโลสอะซิเตท (ความเข้มข้น 16% น้ำหนัก/ปริมาตร ในตัวทำละลายผสมอัตราส่วน 2:1 ปริมาตร/ปริมาตร ของ อะซิโตน:โตเมทิลอะเซตาไมด์) เพื่อผลิตแผ่นเส้นใยที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของแผ่นเส้นใยที่เตรียมได้ถูกตรวจสอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 415 และ 585 นาโนเมตร ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงให้เห็นถึงเส้นใยที่เตรียมขึ้นได้มีรูปร่างเป็นเส้นตรงและสมมาตร โดยขนาดของเส้นใยที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราที่เตรียมได้จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นของสารสกัดจากน้ำยางพารา และเมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัดเป็น 4-5% พบว่ามีผลทำให้แผ่นเส้นใยที่เตรียมได้บางลง มีเม็ดปมเกิดขึ้น ถึงแม้ว่าจะมีขนาดของเส้นใยลดลงก็ตาม จากผลการวิจัยในครั้งนี้สรุปได้ว่า สารละลายเซลลูโลสอะซิเตท 16% ที่ประกอบด้วยสารสกัดจากน้ำยางพารา 1-3% สามารถใช้ผลิตแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา ให้แผ่นเส้นใยสีขาว และมีผิวสัมผัสที่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น

Research Title Electrospun Cellulose Acetate fiber Containing Para Rubber Extract
Researcher Natthakitta Suwannateep, Ph.D.
Organization Faculty of Science and Technology, Suan Dusit Rajabhat University
Year 2015

This study successfully produced ultra-fine cellulose acetate fiber mats (electrospun fibers) containing extracts of rubber from *Hevea brasiliensis* (HB). Its highly interesting characteristics, such as high surface areas to mass ratio, high porosity, make this results an excellent potential candidate e.g. for wound dressing materials, facial masks, and other innovative products in the field of cosmetics and pharmaceutical industry. HB crude extracts in various concentrations, i.e. 1-5 wt% based on the weight of cellulose acetate (CA) powder, were incorporated by a CA solution (16% w/v in 2:1 v/v acetone:dimethylacetamide) in order to produce electrospun fibers (HB-CA). The morphology of each obtained electrospun HB-CA fibers were investigated by SEM. The average fiber diameters of the HB-CA fibers ranged between 415 and 585 nm. The SEM photographs show the straight and even shaping of the processed HB-CA fibers. The size of the fibers was also found to increase with an increasing amount of HB in the solution to a certain extent, but after increasing of HB extract to 4-5%, the thinner of fibers mat has been obtained, bead-like were formed, although the diameter size of the fibers decrease. In this research, we concluded that, 16% CA solutions containing 1-3% HB extract resulted in a more consistent texture of the white fiber mats.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยการได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต รวมถึงได้รับความอนุเคราะห์ตัวอย่างจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านชีววิทยาศาสตร์ (Thailand Center of Excellence for Life Sciences, TCELS) คำปรึกษาและความช่วยเหลือจาก ผศ.ดร.ชิตชนก มีใจชื่อ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง การสนับสนุนอย่างดียิ่งและกำลังใจจากกัลยาณมิตร ครอบครัว และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ณัฐกฤตา สุวรรณทิป

2558

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ขอบเขตการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
ยางธรรมชาติ (natural latex)	4
เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง (electrospinning)	12
เซลลูโลสอะซิเตท (cellulose acetate)	17
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
กรอบแนวคิดในการวิจัย	24
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	25
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	25
สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย	25
วิธีดำเนินการวิจัย	26

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	30
ผลของระบบตัวทำละลายต่อการผลิตแผ่นเส้นใยโดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต	30
ผลการเตรียมแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต	30
ลักษณะโครงสร้าง รูปร่าง และขนาดเส้นใยของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา	32
ผลการวิเคราะห์ชนิดและองค์ประกอบหลักทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา	35
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	46
สรุปผลการวิจัย	46
อภิปรายผล	46
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้	50
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	50
บรรณานุกรม	51
บรรณานุกรมภาษาไทย	51
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	51
ประวัติผู้วิจัย	55

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบน้ำยางธรรมชาติ	10
2.2	ลักษณะการละลายของเซลลูโลสอะซิเตท	18
4.1	ขนาดเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา	32
4.2	หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา	36
4.3	หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 1%	37
4.4	หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 2%	38
4.5	หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 3%	39
4.6	หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 4%	40
4.7	หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 5%	41
4.8	หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของสารสกัดจากน้ำยางพารา	42

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

ยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย น้ำยางจากต้นยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นคล้ายน้ำมัน ถูกนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่อย่างไรก็ตาม การเกิดอาการแพ้เมื่อใช้ผลิตภัณฑ์ยางพาราสามารถพบได้บ่อย ซึ่งอาจจะเกิดจากสารกระตุ้นในน้ำยางพารา จากรายงานการวิจัย พบว่าในน้ำยางพารามีโปรตีนหลายชนิดที่จัดเป็นสารกระตุ้นให้เกิดอาการแพ้และเป็นโปรตีนในกลุ่ม pathogenesis-related proteins (PR-proteins) ซึ่งถูกกระตุ้นให้สร้างขึ้นในพืชเมื่อสภาวะเครียด การติดเชื้อโรค หรือเกิดสภาพพยาธิวิทยา และการกระตุ้นจากสภาวะแวดล้อมที่ไม่มีชีวิต ในปัจจุบันมีการแยกโปรตีนที่คล้ายกับ PR-proteins ได้ คือ PR-proteins family 2, 3, 4, 5, 8, 10 และ 14 ซึ่งเป็นโปรตีนโมเลกุลขนาดเล็ก มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 5-70 kDa ยิ่งไปกว่านั้น ร้อยละ 15 ของโปรตีนสารกระตุ้นนี้ถูกพบว่าเป็นโปรตีนในกลุ่มแอนติออกซิเดนต์โปรตีน เช่น superoxide dismutase และ peroxidase ข้อมูลจากการวิจัยเหล่านี้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการค้นคว้า เพื่อพัฒนาการผลิตผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่างๆ เพื่อแก้ปัญหาการแพ้ยางพารา ตลอดจนการปรับปรุงพันธุ์ยางพารา นอกจากนี้ PR-proteins แอนติออกซิเดนต์โปรตีน และ latex allergens activated protein ในน้ำยางพาราจะถูกศึกษาและจำแนกต่อไป ซึ่งจะเป็นประโยชน์เพื่อนำไปในทางอาหาร การเกษตร ทางการแพทย์ ได้ (วิชุดา จันทรข้างแรม, 2556)

น้ำยางพาราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในหลายๆ อุตสาหกรรม แต่สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องสำอางนั้น ถือว่าเป็นเรื่องใหม่ ดังนั้นหากมีการพัฒนาน้ำยางพารามาเพิ่มคุณค่า กลายเป็นผลิตภัณฑ์ความงาม บำรุงผิวพรรณให้สดใส เต่งตึง จะเป็นโอกาสในการเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและเป็นการนำผลงานวิจัยไปต่อยอดเชิงพาณิชย์ต่อไป รวมถึงทำตลาดเพิ่มเติมในส่วน of ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางและยาหรือระบบนำส่งยา ได้มีรายงานผลจากการนำน้ำยางสดมาศึกษาพบว่า เป็นแหล่งที่อุดมไปด้วยสารพฤกษเคมีนานาชนิด ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์บำรุงผิวราคาสูง ที่ผลิตโดยผู้ผลิตเครื่องสำอางชั้นนำ และจากข้อมูลผลการประเมินที่รวบรวมได้จากอาสาสมัคร ที่ใช้ครีมเบสที่ประกอบด้วยสารสกัดเฮกซ์พีร้อยละ 5 กรัม พบว่าสามารถปรับปรุงรักษาสุขภาพผิวหน้าของอาสาสมัครได้เป็นอย่างดี โดยหลังการทาครีมเฮกซ์พีไปได้ 9 สัปดาห์ ในกลุ่มอาสาสมัครที่หน้าเป็นฝ้า 64 คน พบว่า มีจำนวนที่มีหน้าขาวขึ้น 98.4% ฝ้าจางลง 96.8% หน้าเรียบเนียนขึ้น 92.2% และ ความมันบนใบหน้าลดลง 53.1% และในกลุ่มอาสาสมัครที่หน้าเป็นสิ่ว 36 คน พบว่ามีจำนวนที่มีการอักเสบของสิ่วลดลง 100% ปริมาณสิ่วลดลง 100% ความมันบนใบหน้าลดลง

88.9% และ รอยต่างดำจากสีลดลง 86.1% ฉะนั้นหากสามารถนำสารที่พบในน้ำยางพารา หรือสารที่ไม่ใช่ยางในน้ำยาง (non rubber constituents) มาใช้ประโยชน์ได้ ก็จะช่วยลดต้นทุนในการผลิตเครื่องสำอางได้มาก (ผู้จัดการออนไลน์, 2552) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะนำสารสกัดจากน้ำยางพารามาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์และเครื่องสำอาง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาเป็นแผ่นมาสก์หน้า (facial mask) หรือแผ่นตักแต่งแผล (wound dressing) เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับยางพารา

การขึ้นรูปแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์โดยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการนี้สามารถผลิตเส้นใยพอลิเมอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กมากระดับนาโนเมตรได้ หรือที่เรียกว่า นาโนไฟเบอร์ (nanofibers) โดยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นเส้นใยที่ไม่ได้ทอ (non-woven mat) มีความเป็นรูพรุนสูง (high porosity) มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อมวลของเส้นใยสูง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้โดยตรง และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย โดยเฉพาะทางด้านทางการแพทย์ เช่น แผ่นตักแต่งแผล (wound healing) โครงวิศวกรรมสำหรับการสร้างเนื้อเยื่อ (scaffolds for tissue engineering) วัสดุควบคุมการปลดปล่อยยา (topical/ dermal drug delivery) เป็นต้น พอลิเมอร์ที่ใช้ในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตนี้ นิยมเตรียมให้เป็นสารละลาย และนำไปบรรจุอยู่ในหลอดฉีดยา ส่วนของไฟฟ้ากำลังสูง (high voltage) จะถูกส่งมาจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงสูง (high voltage power supply) ที่สามารถปรับค่าได้อยู่ในช่วงประมาณ 5 ถึง 25 กิโลโวลต์ และถูกส่งมายังสารละลายพอลิเมอร์โดยผ่านอิเล็กโทรด (electrode) ซึ่งคือเข็มฉีดยาโลหะ โดยสนามไฟฟ้าจะเกิดขึ้นระหว่างปลายของเข็มฉีดยา และแผ่นโลหะที่เป็นตัวรองรับเส้นใย (grounded collector) เช่น แผ่นอลูมิเนียม เป็นต้น หากต้องการให้ได้แผ่นเส้นใยที่มีความหนาบางก็จะใช้ แผ่นอลูมิเนียมหุ้มลูกกลิ้งที่หมุนได้ ในการผลิตแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์จากกระบวนการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต พอลิเมอร์ที่นำมาใช้ในการผลิตแผ่นเส้นใยมีด้วยกันหลายชนิด เช่น เซลลูโลสอะซิเตท (cellulose acetate) พอลิแลคไทด์ (poly(L-lactide)) พอลิอะคริโลไนไทรล์ (polyacrylonitrile) (ชิดชนก มีใจชื่อ และ นวลฉวี เวชประสิทธิ์, 2553) เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยใช้เซลลูโลสอะซิเตทเป็นพอลิเมอร์ที่นำมาปั่นเป็นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต โดยศึกษาการเตรียมแผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินเซลลูโลสอะซิเตทที่ประกอบด้วยสารสกัดน้ำยางพารา และศึกษาลักษณะโครงสร้าง รูปร่าง ขนาดของเส้นใย และพิสูจน์เอกลักษณ์ของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราที่เตรียมได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเตรียมแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์เซลลูโลสอะซิเตทที่ประกอบด้วยสารสกัดจากน้ำยางพารา โดยผลิตจากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning)
2. เพื่อศึกษาผลของระบบตัวทำละลาย ที่ใช้ในการผลิตแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์เซลลูโลสอะซิเตท ที่ประกอบด้วยสารสกัดจากน้ำยางพารา
3. เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนความเข้มข้นโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ต่อสารสกัด ที่ใช้ในการผลิตแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์เซลลูโลสอะซิเตทที่ประกอบด้วยสารสกัดจากน้ำยางพารา
4. เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้าง รูปร่าง ขนาดของเส้นใย และวิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบหลักทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา

ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการผลิตแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราปริมาณต่างๆ โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) โดยเริ่มจากการทดสอบหาระบบตัวทำละลายที่เหมาะสม เปรียบเทียบระหว่างตัวทำละลายเดี่ยวและตัวทำละลายผสม ศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใยจากอิทธิพลของอัตราส่วนความเข้มข้นโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ต่อสารสกัดจากน้ำยางพารา รวมทั้งศึกษาลักษณะโครงสร้าง รูปร่าง ขนาดของเส้นใย และพิสูจน์เอกลักษณ์ของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราที่เตรียมได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถผลิตแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์เซลลูโลสอะซิเตทที่ประกอบด้วยสารสกัดจากน้ำยางพารา โดยผลิตจากเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning)
2. ทราบระบบตัวทำละลายที่สามารถใช้ในการผลิตแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์เซลลูโลสอะซิเตทที่ประกอบด้วยสารสกัดจากน้ำยางพารา
3. ทราบอัตราส่วนความเข้มข้นโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ต่อสารสกัดที่สามารถใช้ในการผลิตแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์เซลลูโลสอะซิเตทที่ประกอบด้วยสารสกัดจากน้ำยางพารา
4. ทราบลักษณะโครงสร้าง รูปร่าง ขนาดของเส้นใยของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราที่เตรียมได้

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยางธรรมชาติ (natural latex)

ยาง เป็นวัสดุพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง และเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางต่างๆ ยางมีสมบัติที่เป็นเอกลักษณ์ คือ ความยืดหยุ่น (elasticity) เมื่อให้แรงดึงหรือกดยาง ยางจะยืดหรือยุบได้ และสามารถกลับสู่สภาพเดิมได้เมื่อปล่อยให้ยางเป็นอิสระ นักอุตสาหกรรมยางจึงเรียกยางว่า อีลาสโตเมอร์ (elastomer) ยางที่ได้จากต้นพืช เรียกว่า ยางธรรมชาติ (natural rubber) และยางที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี เรียกว่า ยางเทียม หรือ ยางสังเคราะห์ (synthetic rubber) (วิภาวี พัฒนกุล, 2554)

ยางสังเคราะห์เริ่มถูกค้นคว้าวิจัยในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 เนื่องมาจากการขาดแคลนยางธรรมชาติที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตอาวุธ และความไม่สะดวกในการคมนาคมติดต่อระหว่างประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติกับประเทศผู้ใช้ยางธรรมชาติ ราคาที่ไม่แน่นอนของยางธรรมชาติ รวมทั้งสมบัติพิเศษบางอย่างที่ยางสังเคราะห์มีแต่ยางธรรมชาติไม่มี เช่น ความทนทานต่อน้ำมัน และความร้อนสูงๆ ยางสังเคราะห์ถูกผลิตขึ้นมาจากการทำปฏิกิริยาทางเคมี เรียกว่า ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ปัจจุบันนี้มีการผลิตยางสังเคราะห์ในเชิงการค้าหลายชนิด โดยทั่วไปยางสังเคราะห์แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. ยางสังเคราะห์ใช้งานทั่วไป (general purpose synthetic rubber) เป็นยางที่ผลิตขึ้นมาในปริมาณมาก เพื่อใช้แทนยางธรรมชาติ เช่น

- พอลิไอโซพรีนสังเคราะห์ (synthetic polyisoprene rubber, IR)
- สไตรีนบิวตะไดอีน (styrene-butadiene rubber, SBR)
- บิวตะไดอีน (butadiene rubber)
- ไอโซบิวทิลีน ไอโซพรีน หรือ ยางบิวทาย (isobutylene isoprene rubber, IIR or butyl)
- เอทิลีน โพรพิลีน ไดอีน มอนอเมอร์ (ethylene propylene diene monomer, EPDM)

2. ยางสังเคราะห์ใช้งานพิเศษ (special purpose synthetic rubber) เป็นยางที่ผลิตขึ้นมาในปริมาณที่น้อยกว่ายางสังเคราะห์ใช้งานทั่วไป มีสมบัติทนทานพิเศษต่อน้ำมัน ตัวทำละลาย ความร้อน หรือสารเคมี เช่น

- คลอโรพรีน หรือ นีโอพรีน (chloroprene or neoprene rubber, CR)

- อะครีโลไนไตรล์ บิวตะไดอีน (acrylonitrile butadiene rubber, NBR)
- คลอโรซัลโฟเนเตด พอลิเอทิลีน (chlorosulfonated polyethylene rubber, CSM) หรือ ไฮพาลอน (hypalon)
- พอลิอะคริลิก (polyacrylic rubber, ACM)
- ซิลิโคน (silicone, SI)
- พอลิซัลไฟด์ (polysulphide rubber, TR) หรือ ไธโธคอล (thiokol)

ยางธรรมชาติ ได้มาจากพืชที่ให้ยางได้ซึ่งมีมากมายกว่า 200 พันธุ์ แต่พืชที่มีความสำคัญนำมาใช้ในเชิงการค้าได้มีเพียงไม่กี่ชนิด ดังนี้

1. ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) เป็นพืชที่ปลูกกันอย่างกว้างขวางในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง การเก็บผลผลิตน้ำยางจากต้นใช้วิธีการกรีดเปลือกยาง น้ำยางที่ได้มีปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber) ประมาณ 20-45% มีโครงสร้างทางเคมีของยางเป็น cis-1, 4-polyisoprene น้ำยางสดที่กรีดได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวขุ่นและมีเนื้อยางแห้งแขวนลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60% เรียกว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางข้นส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมถุงมือยางและถุงยางอนามัย เป็นต้น แต่เมื่อนำน้ำยางสดที่กรีดได้มาเติมกรดเพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นก็รีดยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด (two-roll mill) และนำไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นก่อนจะนำไปอบรมควันที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ก็จะได้ยางแผ่นรมควัน

2. ยางวายุยูเล่ (Guayule) เป็นไม้พุ่มตระกูล *Parthenium argentatum* ปลูกในรัฐแคลิฟอร์เนีย และเป็นไม้พื้นเมืองในภาคเหนือของภาคกลางของเม็กซิโก และในภาคตะวันออกของรัฐเท็กซัส น้ำยางในต้นยางวายุยูเล่มีอยู่ทั่วไปทั้งลำต้น ราก กิ่งก้าน ยกเว้นใบ เมื่อต้นโตเต็มที่สูงประมาณ 75-100 เซนติเมตร การเก็บผลผลิตน้ำยางมี 2 วิธี คือ ถอนขึ้นมาจากต้น กับ การตัดลำต้นสูงจากพื้นดินประมาณ 5 เซนติเมตร แล้วนำมาสกัดน้ำยางออกจากต้นวายุยูเล่ วิธีสกัดที่ทำในเชิงการค้า มี 2 วิธี คือ ใช้เครื่อง bauer mill (wood pulping machine) กับ การใช้ตัวทำละลายน้ำยางจากวายุยูเล่ มีโครงสร้างทางเคมีเหมือนยางพารา มีปริมาณเนื้อยางแห้งประมาณ 10% และมีปริมาณสารต่างๆ เช่น โพรตีน กรดอะมิโน และ พอลิเปปไทด์ น้อยกว่ายางพารา นอกจากนี้ยังมีปริมาณเรซิน (resin) ซึ่งเป็นสารที่ละลายได้ในอะซิโตน มากกว่ายางพันธุ์ *Hevea brasiliensis* ทำให้มีอายุสั้น และให้ผลผลิตต่ำ

3. ยางกัตตา ยางบาลาตา และยางซิกเคิล (Gutta-Percha, Balata and Chicle) ยางทั้ง 3 ชนิด มีสมบัติแตกต่างจากยางพารา และมีโครงสร้างทางเคมีเป็น tran-1, 4 Polyisoprene ในทางการค้า ยางกัตตานำมาทำเป็นส่วนประกอบของลูกกอล์ฟและทำพื้นฟลอม ยางบาลาตาถูกใช้ในอุตสาหกรรมผลิตสายพาน และยางซิกเคิลใช้ทำหมากฝรั่ง

ยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยาง *Hevea brazilliensis* (แสดงดังภาพที่ 2.1) ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำอเมซอน ในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยาง (latex) มาจากภาษาละติน หมายถึงของเหลว (liquid) หรือของไหล (fluid) ในบางครั้งก็มีการให้ความหมายว่าเป็นของเหลวหรือของไหลที่มีลักษณะคล้ายน้ำนม (milky) โดยเฉพาะของไหลที่มีส่วนประกอบของน้ำ ในระยะเวลา 10 ปี ก่อนศตวรรษที่ 19 นักพฤกษศาสตร์ให้ความหมายของน้ำยางว่า เป็นน้ำจากเนื้อเยื่อพืชที่มีลักษณะคล้ายน้ำนม สีขาว ต่อมากลางศตวรรษที่ 19 น้ำยางจึงเป็นคำที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมยาง ความหมายของน้ำยางทางด้านวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์และเทคโนโลยี เป็นสารพอลิเมอร์ที่มีการกระจายตัวแบบคอลลอยด์ในตัวกลางที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ดังนั้น น้ำยางธรรมชาติที่ได้จากต้นยางพารา *Hevea brasiliensis* จึงเป็นสารพอลิเมอร์ของอนุภาคยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกระจายตัวอยู่ในตัวกลางน้ำ



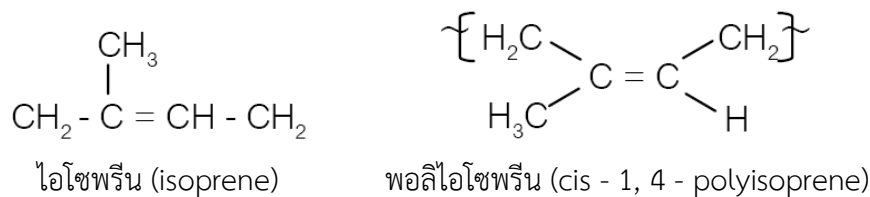
ก. แนวการปลูกต้นยาง



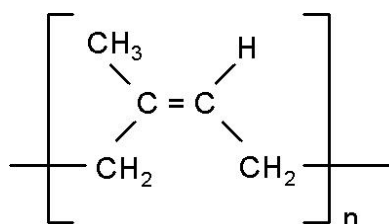
ข. น้ำยางจากการกรีดยาง

ภาพที่ 2.1 ต้นยาง *Hevea Brazilliensis*

น้ำยางสด เป็นสารแขวนลอยของอนุภาคยางในของเหลวที่เรียกว่า ซีรัม (serum) อนุภาคยางดังกล่าวเป็นสารพอลิเมอร์ไฮโดรคาร์บอนที่มีชื่อทางเคมีว่า 1, 4 - พอลิไอโซพรีน ที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบซิส (cis - 1, 4 - polyisoprene) ประกอบด้วยมอนอเมอร์ (monomer) ของไอโซพรีน (isoprene) ซึ่งมีคาร์บอน (carbon, C) 5 อะตอม กับ ไฮโดรเจน (hydrogen, H) 8 อะตอม ต่อกันจำนวนมากเป็นสายโซ่โมเลกุลยาวตั้งแต่ 15,000 -20,000 โมเลกุล



ภาพที่ 2.2 สูตรโมเลกุลของไอโซพรีนและพอลิไอโซพรีน



ภาพที่ 2.3 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ

น้ำยางสดสามารถคงสภาพเป็นของเหลวได้ เนื่องจากปัจจัย 2 ประการ คือ

1. ส่วนประกอบของโปรตีนที่หุ้มรอบๆ ผิวของอนุภาคยาง หรือ โปรตีนเป็นชั้นห่อหุ้ม (hydrated protein envelop) อนุภาคยางไว้ จึงมีความสำคัญต่อสถานะความคงตัวของเหลวของน้ำยาง เพราะโปรตีนจะป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคยาง ถ้ามีการสูญเสีย (dehydrated) ในชั้นของโปรตีนที่หุ้มอนุภาคยาง ซึ่งอาจเกิดจากการเติมแอลกอฮอล์หรือสารบางอย่างลงในน้ำยาง ทำให้อนุภาคยางมารวมตัวกันเป็นก้อนยาง (coagulum) น้ำยางก็จะสูญเสียความคงตัว ไม่เป็นของเหลว

2. ประจุลบที่อยู่รอบๆ อนุภาคยางซึ่งก่อให้เกิดการผลักกันระหว่างอนุภาคยาง ก็ช่วยรักษาสถานะการกระจายตัวของอนุภาคยางด้วย ทำให้น้ำยางยังเป็นของเหลวอยู่ได้ ถ้าเกิดผลกระทบกระเทือนที่ทำให้ประจุไฟฟ้าลดลง อนุภาคยางก็จะรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ ทำให้การกระจายตัวของอนุภาคยางค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งเกิดเป็นก้อนยาง (coagulum) น้ำยางก็จะเสียสภาพการเป็นของเหลว

น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดยางมีสถานะเป็นกลาง และมีสารประกอบน้ำตาลที่เป็นอาหารของแบคทีเรียและยีสต์ที่อยู่ในอากาศ เมื่อน้ำยางสดไหลออกจากต้นยาง แบคทีเรียในอากาศจะปะปนกับน้ำยางบนรอยกรีดยาง เปลือกต้นยาง และในถ้วยรับน้ำยาง ทำให้น้ำตาลเปลี่ยนเป็นสารที่เป็นกรดซึ่งไปทำลายชั้นโปรตีนที่หุ้มอนุภาคยาง ทำให้น้ำยางเสียสภาพการเป็นของเหลว น้ำยางจะหนืดขึ้นและจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆ ซึ่งชาวบ้านเรียกว่า เม็ดพริก และมีกลิ่นเหม็นบูดเน่าภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง

การเสียสภาพแบบนี้ เรียกว่า การจับตัวที่เกิดเองตามธรรมชาติ (natural or spontaneous coagulation) การจับตัวของยางจะช้าเร็วเพียงใดขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ความคงตัวของน้ำยาง พันธุ์ยาง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางสดที่ได้อยู่ในสภาพของเหลวไม่จับเป็นก้อน จำเป็นต้องเติมสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางสด อย่างไรก็ตามต้องเลือกสารเคมีรักษาสภาพน้ำยางสดให้เหมาะสม สำหรับการนำน้ำยางสดไปแปรรูปเป็นยางดิบชนิดต่างๆ ด้วย

เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยึด จึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไป ก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยึดตัว (strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง

ลักษณะเด่นของธรรมชาติอีกประการคือ ความยืดหยุ่น (elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับมันหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติติดเชื่อมด้านการเหนียวติดกัน (tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงแปลงอุณหภูมิมาก กล่าวคือยางจะอ่อนนุ่มและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่างๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสม ยางผสมหรือยางคอมพาวด์ (rubber compound) ที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่า วัลคาไนเซชัน (vulcanization) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้ เราเรียกว่า ยางสุก หรือ ยางคงรูป (vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้จะเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก และมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น ยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เนื่องจาก

- ยางธรรมชาติมีสมบัติติดเชื่อมในด้านการ ทนต่อแรงดึง (tensile strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรงและความยืดหยุ่นสูงมากจึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถังมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น

- ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (dynamic properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่น (elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (heat build-up) ที่เกิดขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกัน (tack) ที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น
- ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเปาะน้ำร้อน เพราะในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้าในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออก จากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อน งามที่ใช้จึงต้องมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีเหมาะสม สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลัก คือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (double bond) อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อน เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด เช่น สารในกลุ่มของสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีขี้ น้ำมันและสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับต่างๆ ดังกล่าว (พิสิสิ์ราชมงคล, ม.ป.ป.)

องค์ประกอบน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางจากต้นยางพารา ขณะที่ยังสดจะมีสีขาว หรือ สีครีม สามารถไหลได้เองโดยอิสระ มีความหนืดประมาณ 12 - 15 เซนติพอยส์ (centipoises) ความหนาแน่นประมาณ 0.975 - 0.980 กรัม ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm³) และ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) 6.5 - 7.0 รูปร่างของอนุภาคยางเป็นรูปกลมหรือรูปลูกแพร์ ขนาด 0.05 - 5 ไมโครเมตร ส่วนประกอบของน้ำยางสด สามารถแบ่งได้ 2 ส่วนหลัก คือ

1. ส่วนที่เป็นยาง (dry rubber content, DRC) เป็นอนุภาคยางของไอโซพรีนที่เชื่อมต่อกัน ประมาณ 2000 - 5000 หน่วย ต่อ 1 โมเลกุล
2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง (non rubber content) เป็นส่วนประกอบอื่นๆ ทั้งหมดที่ไม่ใช่ยาง มีสารประกอบต่างๆ หลายชนิด เช่น น้ำตาล โปรตีน ไขมัน คาร์ทีนอยด์ เกลือแร่ เอนไซม์ และสารประกอบไนโตรเจน เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีรายงานผลการวิจัยองค์ประกอบในน้ำยางธรรมชาติ (natural latex) จาก ยางพารา (*Hevea brasiliensis*) พบว่าประกอบด้วยไกลโคลิพิด (glycolipid) โพรตีนและ ฟอสโฟลิพิด (phospholipids) สัดส่วนของส่วนประกอบของน้ำยางสด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบน้ำยางธรรมชาติ

องค์ประกอบน้ำยางธรรมชาติ	ปริมาณ (% โดยน้ำหนัก)
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ส่วนที่เป็นเนื้อยางและไม่ใช่น้ำ)	20-45
น้ำ	50-75
โพรตีน	1.0-1.5
เรซิน	1.0-2.5
น้ำตาล	1.0
สารอินทรีย์	0.5

ที่มา: วิชาวิ พัฒนกุล, 2554.

โพรตีนในน้ำยางพารา (natural rubber latex protein)

ในน้ำยางพารามีส่วนประกอบหลักอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง (เนื้อยางแห้ง) ประมาณ 35 % และส่วนที่ไม่ใช่ยาง โดยส่วนที่ไม่ใช่ยางนี้มีส่วนที่เป็นน้ำ หรือที่เรียกว่าซีรัม และส่วนที่เป็น ลูตอยด์ (lutoid) ส่วนที่ไม่ใช่ยาง พบว่ามีโพรตีนเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 1 จากการสกัด และวิเคราะห์ชนิดของโพรตีนในน้ำยางพารา โดยมีรายงานการแยกโพรตีนในน้ำยางพาราสด ด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง (ultracentrifugation) และการแยกโพรตีนตามขนาดโมเลกุล ด้วยกระแสไฟฟ้า (SDS-PAGE) สามารถแบ่งโพรตีนได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้ คือ

1. โพรตีนในกลุ่มสร้างน้ำยาง (biosynthesis of polyisoprene) ได้แก่ Hevamine; Hev b1, 3, 7
2. โพรตีนในกลุ่มที่เกี่ยวกับการจับตัวกันของอนุภาคในน้ำยาง ได้แก่ Hevamine; Hev b6

3. โปรตีนในกลุ่ม pathogenesis-related (PR)-protein ได้แก่ โปรตีน β -1,3-glucanases, chitinases, lipid transfer protein (LTP), Hevamine; Hev b1, b2, b3, b4, b5, enolase, MnSOD โปรตีนในกลุ่มนี้จะถูกสร้างเมื่อมีสิ่งกระตุ้นจากความเครียดทางด้านกายภาพและเคมี การติดเชื้อโรค บาดแผล สิ่งแวดล้อมภายนอก รวมถึงระยะการพัฒนาของพืชอีกด้วย

4. โปรตีนในกลุ่มแอนติออกซิเดนท์ ได้แก่ superoxide dismutase, peroxidase โปรตีนในกลุ่มของ PR-protein เช่น โปรตีน chitinases ชนิด endochitinase เป็นเอนไซม์ที่มีฤทธิ์ในการต่อต้านเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคพืชต่างๆ นอกจากนี้ยังย่อยสลายไคตินที่เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างเปลือกแข็ง (exoskeleton) ของแมลงและผนังเซลล์ของ fungi และ nematodes ได้ ผลัดภักต์เป็นโคโตโอลิโกแซคคาไรด์โมเลกุลใหญ่ขนาด 5-7 โมเลกุล ซึ่งมีประโยชน์ทางการแพทย์ ใช้ในการรักษาโรคข้อกระดูกเสื่อม เป็นสารกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน (immunostimulation) ยับยั้งการเจริญของเนื้องอก (tumor suppression) และการกระตุ้น killer-cell และอีกกลุ่มได้แก่ กลุ่มของแอนติออกซิเดนท์ เช่น manganese superoxide dismutase (MnSOD) และ peroxidase เป็นต้น

โปรตีนส่วนใหญ่ที่พบในน้ำยาง เป็นโปรตีนสารกระตุ้นที่ทำให้เกิดอาการแพ้ต่างๆ จากการใช้ผลิตภัณฑ์ยาง เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย จุกนมเด็ก เป็นต้น จากการศึกษาวิจัยในเรื่องเกี่ยวกับโปรตีนในน้ำยางพารา ทำให้เข้าใจมากขึ้นถึงความสำคัญของโปรตีนกลุ่มที่เป็นสารกระตุ้นให้เกิดอาการแพ้ โปรตีนแอนติออกซิเดนท์ และ โปรตีน PR-protein เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการค้นคว้า เพื่อพัฒนาการผลิต ผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่างๆ ให้ลดโปรตีนสารกระตุ้นและสามารถนำโปรตีนบางชนิดมาใช้ประโยชน์ในการพัฒนาเป็นเวชภัณฑ์ เวชสำอาง หรืออาจพบโปรตีนบางตัวที่มีฤทธิ์ต้านทานโรคที่เกิดกับต้นยางพารา และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น ทาง การแพทย์ หรือการเกษตรต่อไปได้ (วิชุดา จันทรชั่งแรม, 2556) นอกจากนี้ยังมีรายงานการพบสารที่มีส่วนประกอบ น้ำตาล แอลกอฮอล์ และสารแอลฟาไฮดรอกซีเอซิด (AHA) เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการพัฒนาน้ำยางพาราใช้เป็นส่วนประกอบในเวชสำอางเพื่อลดริ้วรอยชะลอความชรา ลดความหมองคล้ำ ให้หน้าขาวใส เนียนขึ้นภายในสองถึงสามสัปดาห์ (Alenius H, 2002) นักวิจัยคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้วิจัยสารพิษเคมีที่อยู่ในน้ำยางพารา (ผู้จัดการออนไลน์, 2552) พบว่าในน้ำยางพารามีกลุ่มสารที่เหมาะสมนำไปใช้ทำเครื่องสำอางเพื่อเสริมหรือรักษาสุขภาพ ผิวพรรณให้ขาวใส เนียน และเต่งตึงขึ้น โดยสารสกัดที่เตรียมได้จากซีรัมน้ำยางพารา (*Hevea brasiliensis*) พบว่ามีเอกลักษณ์โปรตีนเอ็นเอ็มอาร์สเปกตรัมเฉพาะตัว มีคุณสมบัติที่ไม่ก่อให้เกิดการระคายเคือง หรือ อาการแพ้ต่อผิวหนังในระดับสัตว์ทดลองตามวิธีมาตรฐาน OECD มีระดับการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน FDA ได้แก่

1. สารต้านกิจกรรมการขนถ่ายเม็ดสีจากเซลล์สร้างเม็ดสี ไปยังเซลล์ผิว ทำให้ผิวขาวขึ้น เพราะเซลล์ผิวมีปริมาณเม็ดสีน้อยลง

2. สารแอนติออกซิแดนท์ ชนิดที่นอกจากจะสามารถทำลายฤทธิ์สารอนุมูลอิสระของออกซิเจน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของเซลล์ผิวหนัง ทำให้เหี่ยวและมีริ้วรอยแล้ว ยังสามารถส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของกิจกรรมการสร้างเม็ดสีพีโอเมลานิน ซึ่งเป็นเม็ดสีหลักสำหรับผิวฟรั้ง และการลดลงของกิจกรรมการสร้างเม็ดสียูเมลานิน ซึ่งเป็นเม็ดสีหลักของคนผิวเอเชียและนิโกร

3. สารซูเปอร์แอนติออกซิแดนท์ ที่สามารถทำลายทั้งฤทธิ์ของอนุมูลอิสระของออกซิเจน และอนุมูลอิสระของไนโตรเจน รวมทั้งสามารถต้านกิจกรรมการกระตุ้นการสร้างสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ของเซลล์ผิวหนังเมื่อได้รับรังสียูวีจากแสงแดด ได้อีกด้วย ส่งผลยับยั้ง การเกิดริ้วรอยและเสื่อมสภาพของผิวหนัง

4. สารน้ำตาลแอลกอฮอล์ น้ำตาลซูโครส ฟรุคโตส และกรดอะมิโนที่สามารถเพิ่มความชุ่มชื้นให้กับผิวหนังให้ดูเต่งตึงขึ้น

5. สารแอลฟาและเบต้าไฮดรอกซีแอซิด ที่สามารถช่วยเอื้อต่อการหลุดลอกของเซลล์ผิวที่ตายแล้วบนผิวชั้นนอกให้ง่ายขึ้น โดยสารเบต้าไฮดรอกซีแอซิดสามารถแทรกซึมเข้าไปออกฤทธิ์ในระดับรูขุมขนพร้อมทั้งสามารถป้องกันเซลล์ผิวจากการแผดเผาด้วยรังสียูวีได้ด้วย ส่งผลกระตุ้นการผลิตเปลี่ยนเซลล์ผิวใหม่ ทำให้ผิวหนังแลดูเนียนและสดใสขึ้น

6. สารอาหารกรดอะมิโน 17 ชนิดรวมทั้งชนิดที่ใช้สำหรับสร้างโปรตีนคีราติน และคอลลาเจน เพื่อสุขภาพของที่ดีของเซลล์ผิว

7. สารอาหารแร่ธาตุสำคัญปริมาณน้อย จำพวก สังกะสี โคโรเนียม ทองแดง แมงกานีส และซีเลเนียม ที่เอื้อต่อกระบวนการปรับปรุงสุขภาพผิว

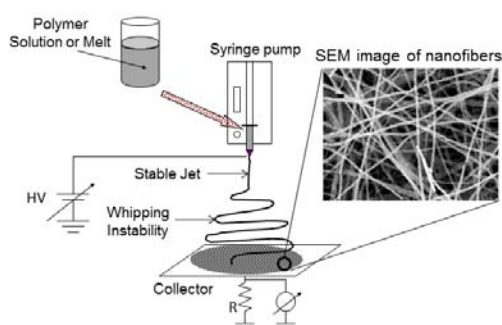
เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง (electrospinning)

ปัจจุบันทุกประเทศทั่วโลกให้ความสำคัญกับการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพิ่มขึ้นมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแก้ปัญหาวิกฤติความต้องการทางด้านสุขภาพ พลังงานและสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีผลกระทบเป็นอย่างมากต่อเศรษฐกิจและการแข่งขันของประเทศ นาโนเทคโนโลยี (nanotechnology) เป็นเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการประยุกต์ใช้สารที่มีขนาดเล็กเป็นหนึ่งพันล้านของเมตร (10^{-9} เมตร) ซึ่งเริ่มมีบทบาทสำคัญต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อมในปัจจุบันและจะมากยิ่งขึ้นในอนาคต ในชีวิตประจำวัน มนุษย์ได้ใช้ประโยชน์จากเส้นใยในการทำเป็นเสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม เชือก ด้าย ฯลฯ เส้นใยเหล่านี้มีขนาดเล็กแต่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น เส้นใยจากรังไหมมีขนาดใกล้เคียงกับเส้นผม ประมาณ 100 ไมโครเมตร (micrometre, μm หรือหนึ่งในล้านเมตร) แต่ถ้าหากมีกระบวนการซึ่งทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลงมากจนกระทั่งมองไม่เห็นด้วย

ตาเปล่าในระดับนาโนเมตร (nanometer, nm) จะทำให้เกิดประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์มากเพียงใด

เส้นใยนาโน (nanofiber) เป็นเส้นใยที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร ถึงระดับ 100 นาโนเมตร ทำให้มีข้อดีคือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นผิวต่อปริมาตร (surface-to-volume ratio) สูง เช่น เส้นใยนาโนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 นาโนเมตร จะมีขนาดเล็กกว่าและมีอัตราส่วนพื้นผิวตามความยาวของเส้นใยต่อปริมาตร เป็น 1,000 เท่าของเส้นผมที่มี นอกจากนี้ เส้นใยนาโนจะมีขนาดของรูพรุน ที่เล็กด้วย ส่งผลทำให้มีสมบัติพิเศษต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางไฟฟ้า หรือสมบัติทางชีวภาพ ที่ดีมากเหมาะสำหรับงานเฉพาะด้านซึ่งต้องการความได้เปรียบของขนาดที่เล็กมากๆ ทั้งนี้ ขึ้นกับวิธีและสารที่นำมาใช้ประดิษฐ์ ปัจจุบันเริ่มมีการประยุกต์ใช้เส้นใยนาโนทางด้านต่างๆ อย่างกว้างขวาง เช่น การประยุกต์ใช้งานของเส้นใยนาโนพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ไม่เป็นพิษและมีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ สำหรับงานทางด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ ผ้าปิดแผล ระบบนำส่งยา ระบบการกรองอย่างละเอียด เป็นต้น

เทคนิคที่นำมาใช้ในการเตรียมเส้นใยนาโนมีหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีการมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง (electrospinning) หรือ การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเป็นทางเลือกใหม่ที่สามารถใช้เตรียมเส้นใยนาโนของวัสดุพอลิเมอร์และสารอนินทรีย์ออกไซด์หลากหลายชนิด สำหรับประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ เกษษกรรม วิศวกรรม การทหาร และอื่นๆ อิเล็กโตรสปินนิงเป็นวิธีประดิษฐ์เส้นใยนาโนที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สามารถประดิษฐ์เส้นใยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 นาโนเมตร ถึงมากกว่า 1 ไมโครเมตร โดยอาศัยแรงทางไฟฟ้าที่เกิดจากศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง สำหรับระบบพื้นฐานมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญเพียง 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง (high voltage power supply) หลอดบรรจุสารละลายที่ติดเข็มโลหะ (syringe with needle) และวัสดุรองรับที่เป็นโลหะ (metal collector) จัดเป็นระบบที่ไม่มี ความซับซ้อน มีค่าใช้จ่ายน้อย และใช้งานได้สะดวก ทั้งนี้ในระบบที่พัฒนาให้ดีขึ้น สามารถเพิ่มอุปกรณ์สำหรับควบคุมการไหลของสารละลาย (syringe pump) และทำให้การประดิษฐ์เส้นใยมีประสิทธิภาพสูงขึ้น กล่าวคือ สามารถควบคุมขนาดและปริมาณการเกิดเส้นใยได้ต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 2.4 กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตหรืออิเล็กโตรสปินนิง (electrospinning)

เส้นใยที่ประดิษฐ์ได้มีลักษณะหลายรูปแบบ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตลอดจนความต่อเนื่องของเส้นใยแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะเส้นใยได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. ตัวแปรด้านสารละลาย สมบัติของสารละลายเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการประดิษฐ์เส้นใยนาโนอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดและรูปร่างของเส้นใย เช่น ความตึงผิวของสารละลายจะส่งผลต่อการเกิดปุ่มคล้ายลูกปัด (beads) ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนทรงกลมหรืออยู่บนเส้นใย หากความเข้มข้นของสารละลายมีค่าสูงจะมีผลทำให้ปริมาณปุ่มคล้ายลูกปัดลดลง ดังเช่นตัวอย่างการประดิษฐ์เส้นใยนาโนจากสารละลาย PAN/DMF สำหรับนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมเส้นใยนาโนคาร์บอน (carbon nanofiber) และระบบกรองอย่างละเอียด

2. ตัวแปรในระบบ เป็นปัจจัยที่สำคัญมากอีกกลุ่มหนึ่งประกอบด้วย ความต่างศักย์ไฟฟ้า อัตราการไหลของสารละลาย อุณหภูมิของสารละลาย ชนิดของวัสดุรองรับ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับวัสดุรองรับ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มโลหะ ตัวแปรเหล่านี้ล้วนมีผลต่อลักษณะของเส้นใยโดยเฉพาะความต่างศักย์ไฟฟ้าซึ่ง ส่วนใหญ่หากศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบมีค่ามากจะส่งผลให้ขนาดของเส้นใยเล็กลง

3. สภาพแวดล้อม สภาพแวดล้อมมีผลต่อสารละลายและทำให้ลักษณะของเส้นใยเปลี่ยนไป เช่นในกรณีที่มีความชื้นในระบบสูงจะเกิดปรากฏการณ์คล้ายกับการควบแน่นเป็น หยดน้ำบนผิวของเส้นใย ทำให้เกิดรูพรุนบนเส้นใยในปริมาณมากขึ้น

ดังนั้นการนำวิธีอิเล็กทรอนิกส์สปินนิ่งมาใช้ประดิษฐ์เส้นใยนาโนต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เพื่อให้ได้เส้นใยที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ ซึ่งหากมีระบบที่ควบคุมปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ได้อย่างสะดวกและแม่นยำ จะส่งผลให้การประดิษฐ์เส้นใยมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

การประยุกต์ใช้เส้นใยนาโนที่เตรียมด้วยวิธีอิเล็กทรอนิกส์สปินนิ่ง

เส้นใยนาโนที่เตรียมด้วยเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์สปินนิ่งมีศักยภาพสูงในการประยุกต์ ใช้ในด้านต่างๆ ซึ่งอยู่ระหว่างการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ใช้งานได้จริง เช่น ด้านการแพทย์และสุขภาพ ด้านวัสดุศาสตร์ ด้านสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีชีวภาพ และด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และพลังงาน เป็นต้น

1. ด้านการแพทย์และสุขภาพ เส้นใยนาโนที่ประดิษฐ์ขึ้นจากพอลิเมอร์ในธรรมชาติ เช่น ไคโตซาน (chitosan) ไหม (silk) เจลลาติน (genlatin) คอลลาเจน (collagen) ไฟบริโนเจน (fibrinogen) รวมทั้งพอลิเมอร์สังเคราะห์บางประเภท เช่น โพลีคาร์โพรแลคโตน (polycapro lactone, PCL) กรดโพลีแลคติก (polylactic acid, PLA) กรดโพลีไกลคอลิก (polyglycolic acid, PGA) รวมถึงบล็อกโคพอลิเมอร์ (block co-polymer) ของพอลิเมอร์เหล่านี้ เป็นต้น เส้นใยเหล่านี้สามารถนำมาใช้กับร่างกายของมนุษย์ได้ เนื่องจากมีสมบัติความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility)

นอกจากนี้บางชนิดยังมีสมบัติการย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradability) ซึ่งทำให้เส้นใยเหล่านี้ย่อยสลายตัวเองภายในร่างกายของเราได้เหมือนไหมเย็บแผลที่ใช้ในปัจจุบัน ดังนั้น เส้นใยนาโนเหล่านี้จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (tissue engineering) เช่น หลอดเลือดเทียม เนื้อเยื่อเทียมสำหรับซ่อมแซมกระดูกอ่อน และเส้นประสาท และผ้าปิดแผล (wound dressing) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเพื่อนำเส้นใยนาโนมาใช้เป็นระบบนำส่งยา (drug delivery system) และเครื่องสำอาง ได้อีกด้วย

2. ด้านวัสดุศาสตร์ เส้นใยนาโนบางชนิดถูกนำไปเสริมกับวัสดุอื่นเพื่อให้มีสมบัติที่ดีขึ้น ทั้งนี้ขึ้นกับสมบัติของเส้นใย เช่น เส้นใยนาโนคาร์บอน (carbon nanofibre) ซึ่งมีค้ำยงมอดูลัส (Young's modulus) และความแข็งแรง (strength) สูง อีกทั้งค่าแรงต้านทานแรงดึงตามยาว (tensile strength) ยังสูงกว่าเหล็กถึงประมาณ 3 เท่า ในขณะที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าเหล็กประมาณ 6 เท่า ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุเสริมโครงสร้างในวัสดุคอมโพสิตให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ลักษณะเดียวกับการทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้นโดยการเสริมด้วยเหล็ก เส้น นอกจากนี้เส้นใยนาโนเพอโรอิเล็กทริกเซรามิก (ferroelectric ceramic) เช่น แบเรียมสตรอนเทรียมไททาเนต ((Ba, Sr)TiO₃, BST) เส้นใยชนิดนี้นอกจากสามารถใช้เป็นวัสดุเสริมในวัสดุคอมโพสิตให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นแล้วยังสามารถเพิ่มหน้าที่ความเป็นเพอโรอิเล็กทริกเซรามิกให้แก่วัสดุอีกทางหนึ่งด้วย

3. ด้านสิ่งแวดล้อมและเทคโนโลยีชีวภาพ ในชีวิตประจำวันเราจะพบว่าเสื้อผ้าที่ทอจากเส้นด้ายที่มีขนาดเล็ก ผ้าจะมีความละเอียด และมีช่องว่างขนาดเล็กกว่าผ้าที่ทอจากเส้นด้ายขนาดใหญ่ แผ่นเส้นใยที่ถักทอจากเส้นใยที่เล็กในระดับนาโนเมตร จึงมีช่องว่างขนาดเล็กมากและสามารถกรองอนุภาคได้จำนวนมากกว่าหลายเท่าตัว แผ่นเส้นใยนาโนจึงสามารถนำมาใช้สร้างระบบกรองที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อลดมลภาวะทั้งทางอากาศ และทางน้ำ หรือพัฒนาเป็นระบบกรองน้ำจืดจากน้ำทะเล หรือแม้กระทั่งการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสีย

นอกจากนี้ยังมีเส้นใยนาโนเซรามิกบางกลุ่มที่สามารถนำมาทำระบบบำบัดน้ำเสีย หรือเชื้อจุลินทรีย์ในอากาศได้ เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) เป็นต้น วัสดุเหล่านี้มีสมบัติเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (photocatalysis) สามารถกำจัดสารพิษ แบคทีเรีย หรือกลิ่นเหม็นได้ ดังตัวอย่างในอุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ ที่มีการนำอนุภาคระดับนาโนเมตรของวัสดุเหล่านี้มากำจัดเชื้อโรคในอากาศ และนำมาใช้เคลือบเส้นใยของเสื้อผ้าเพื่อป้องกันกลิ่นเหม็นอับจากเชื้อ แบคทีเรีย หรือแม้กระทั่งใช้ผสมในสีทาบ้านเพื่อให้ทนต่อแสงแดดและต้านเชื้อรา ดังนั้นหากประดิษฐ์ให้วัสดุเหล่านี้มีลักษณะเป็นเส้นใยขนาดเล็กในระดับนาโน เมตร จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้มากขึ้น

สำหรับการประยุกต์ใช้ในด้านเทคโนโลยีชีวภาพ ได้มีการนำเส้นใยนาโนมาใช้เป็นแผ่นเมมเบรนคัดแยก (affinity membrane) สำหรับการแยกโมเลกุลให้บริสุทธิ์โดยอาศัยสมบัติทางกายภาพ/เคมี หรือหน้าที่เฉพาะทางชีวภาพของโมเลกุลนั้น แผ่นเมมเบรนคัดแยกทำการแยกโมเลกุล

โดยการเลือกจับโมเลกุลซึ่งอาศัยการตรึงลิแกนด์ที่มีความจำเพาะต่อโมเลกุลที่ต้องการคัดแยกลงบนผิวเมมเบรน แผ่นเมมเบรนคัดแยกทำให้เกิดระบบคัดแยกที่มีข้อดีกว่าการใช้คอลัมน์โครมาโตกราฟีแบบดั้งเดิม ซึ่งให้สารเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ตัวกลางที่บรรจุเม็ดค้ำยูกักปิดขนาดเล็ก เมื่อใช้เมมเบรนคัดแยกในระบบคัดเลือก จะทำให้สามารถคัดแยกโมเลกุลจากสารปริมาณน้อยกว่าได้ ใช้เวลาในการคัดแยกน้อยกว่า และคัดแยกโมเลกุลได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าเนื่องจากความจำเพาะระหว่าง โมเลกุลบนเมมเบรนและโมเลกุลที่ต้องการ นอกจากนี้ได้มีความพยายามนำเส้นใยนาโนมาเคลือบบนชุดเครื่องแบบทหาร เพื่อป้องกันอาวุธทางชีวภาพ สารพิษทางเคมี นิวเคลียร์

4. ด้านวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และพลังงาน ในกรณีที่เส้นใยมีสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดีหรือสมบัติของสารกึ่งตัวนำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์โดยเฉพาะเทคโนโลยีด้านตัวตรวจจับต่างๆ เช่น ตัวตรวจจับก๊าซ (gas sensor) ตัวตรวจจับความร้อน (thermal sensor) เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ท่อนาโนของซิลิกา (silica nanochannels) ซึ่งเป็นเส้นใยนาโนแบบท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในประมาณ 25 นาโนเมตร ประดิษฐ์ด้วยอิเล็กโทรสปินนิ่งสำหรับตรวจวัดโมเลกุลเดี่ยว (single molecule detection) อุปกรณ์นี้ ทำการตรวจวัดสัญญาณฟลูออโรสเซนส์ของ 5-Iodoacetamidofluorescein (IAF) ซึ่งละลายอยู่ใน 2-hydroxethyl piperazine-1-propanesulfonic acid (EPPS) buffer (pH = 9) และแพร่เข้าไปอยู่ในร่องนาโนของซิลิกา โดยสัญญาณฟลูออโรสเซนส์จะตรวจวัดได้เมื่อร่องนาโนของซิลิกามี IAF บรรจุอยู่ และในทางตรงกันข้ามจะไม่มีสัญญาณฟลูออโรสเซนส์เมื่อร่องนาโนของซิลิกาไม่มี IAF ข้อดีของอุปกรณ์นี้คือ สามารถตรวจวัดได้โดยใช้สารปริมาณน้อยมากในระดับความเข้มข้นขนาดที่น้อยกว่า 200 นาโนโมล/ลิตร

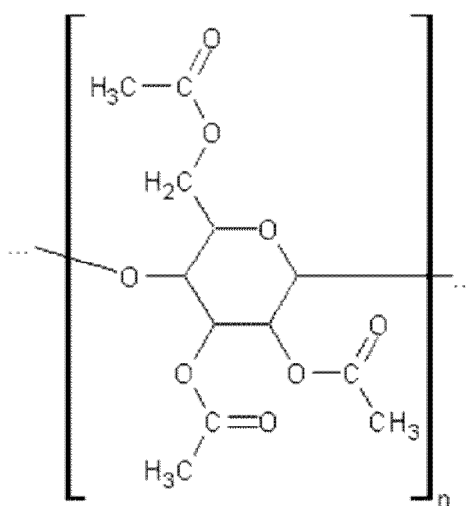
นอกจากนี้เส้นใยนาโนเซรามิกบางชนิดสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทน เช่น การนำเส้นใย TiO_2 ไปเป็นส่วนประกอบหนึ่งในเซลล์แสงอาทิตย์แบบสีย้อม (dye-sensitized solar cell) หรือ การนำเส้นใยโซเดียมโคบอลต์ออกไซด์ (NaCo_2O_4) ซึ่งเป็นวัสดุประเภทเทอร์โมอิเล็กทริกส์ (วัสดุที่สามารถผันไฟฟ้าจากความร้อน) ไปประยุกต์ใช้ทำแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากความร้อนได้ และด้วยความสามารถของอิเล็กโทรสปินนิ่งในการจัดรูปแบบของเส้นใยให้เป็นแบบเส้นเดี่ยวได้ ทำให้เส้นใยโซเดียมโคบอลต์ออกไซด์มีศักยภาพในการนำไปประดิษฐ์นาโนเทอร์โมคัปเปิลได้

จากตัวอย่างการประยุกต์ใช้เส้นใยนาโน จะพบว่าเส้นใยนาโนที่เตรียมด้วยอิเล็กโทรสปินนิ่งมีศักยภาพการประยุกต์ในหลากหลายด้าน ที่ได้นำเสนอเป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น สถานภาพการวิจัยด้านเส้นใยนาโนด้วยอิเล็กโทรสปินนิ่งในปัจจุบันได้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการศึกษากระบวนการเตรียมเส้นใยขั้นพื้นฐาน และการศึกษาสมบัติทางกายภาพสมบัติทางเคมี และสมบัติทางชีวภาพอย่างไรก็ตาม ในส่วนของการนำเส้นใยนาโนไปประยุกต์ใช้นับได้ว่ายังอยู่ในระยะเริ่มต้นเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยด้านเส้นใยนาโนที่เตรียมด้วยอิเล็กโทรสปินนิ่ง จึงเป็นอีกหัวข้อหนึ่งที่น่าสนใจ

และเป็นส่วนหนึ่งในการสร้างหรือพัฒนาเทคโนโลยีนาโนของประเทศไทย การมีความหลากหลายทางชีวภาพ และเป็นแหล่งสมุนไพรอีกแห่งหนึ่งของโลกนับได้ว่าเป็นปัจจัยส่งเสริมการวิจัย และพัฒนาเทคโนโลยีโดยใช้วัสดุจากธรรมชาติ โดยเฉพาะเมื่อปรับใช้ทางด้านการแพทย์และสุขภาพ รวมถึงด้านสิ่งแวดล้อมและพลังงาน ซึ่งเป็นประเด็นปัญหาที่ทั้งโลกตระหนักและให้ความสำคัญ (ศูนย์วิจัยนาโนเทคโนโลยีบูรณาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ม.ป.ป.)

เซลลูโลสอะซิเตท (Cellulose Acetate)

โครงสร้างและสมบัติของเซลลูโลสอะซิเตทเป็นพอลิเมอร์ที่ใช้ขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใย ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่นิยมนำมาใช้ในงานทางการแพทย์ เซลลูโลสอะซิเตทเป็นอะซิเตทเอสเทอร์ของเซลลูโลส ซึ่งเป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ของพืชสีเขียวและเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่สำคัญชนิดหนึ่ง เซลลูโลสอะซิเตทสามารถเตรียมได้จากเซลลูโลส ทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์ (acetic anhydride) ในตัวละลายกรดอะซิติก และมีกรดซัลฟูริกทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยเป็นกระบวนการแบบสารละลาย (solution process) เรียกว่า ปฏิกิริยาอะเซทิเลชัน (acetylation) โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสอะซิเตท แสดงดังในภาพที่ 2.4 สมบัติโดยทั่วไปของเซลลูโลสอะซิเตท เช่น จุดหลอมเหลวมีค่าเท่ากับ 306 องศาเซลเซียส มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 1.28 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีความเหนียว ทนการขีดข่วน ไม่ลื่น เมื่อถูกเหงื่อ ผิวมัน



ภาพ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสอะซิเตท

สมบัติของเซลลูโลสอะซิเตทนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนของหมู่อะซิติก (acetyl group) ต่อหน่วย แอนไฮโดรกลูโคส (anhydroglucose unit) ของเซลลูโลส และยิ่งขึ้นอยู่กับปริมาณการพอลิเมอไรเซชัน (degree of polymerization) หากหมู่อะซิติกต่อหน่วยแอนไฮโดรกลูโคสมีค่าต่ำ (ปริมาณไฮดรอกซิล เพิ่มขึ้น) จะเพิ่มความสามารถในการละลายในตัวทำละลายที่มีขั้ว และความทนต่อความชื้นลดลง สำหรับลักษณะการละลายของเซลลูโลสอะซิเตทที่มีปริมาณอะซิติกที่แตกต่างกัน (แสดงในตาราง 2.2)

ตาราง 2.2 ลักษณะการละลายของเซลลูโลสอะซิเตท

เปอร์เซ็นต์อะซิติก	ละลายในตัวทำละลาย	ไม่ละลายในตัวทำละลาย
43.0-44.8	ไดคลอโรมีเทน	อะซิโตน
37-42	อะซิโตน	ไดคลอโรมีเทน
24-32	2-เมทอกซีเมทานอล	อะซิโตน
15-20	น้ำ	2-เมทอกซีเมทานอล
<13	ละลายในตัวทำละลายทุกชนิด ด้านบน	ไม่ละลายในตัวทำละลายทุกชนิด ด้านบน

ที่มา: Mark, H.F., Bikales, N.M., Overberger, C.G., & Menges, G. (1985). Encyclopedia of polymer science and engineering, New York: Wiley-Interscience.

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เซลลูโลสอะซิเตทเป็นพอลิเมอร์ที่ขึ้นรูปเป็นเส้นใย หรือเป็นแผ่นฟิล์มได้ และนำไปประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ได้หลากหลาย จึงมีนักวิจัยที่สนใจในการทำวิจัยเพื่อขึ้นรูปเซลลูโลสอะซิเตทด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ซึ่งทำให้ได้เส้นใยที่มีขนาดเล็กมาระดับนาโนเมตร มีลักษณะเป็นแผ่นเส้นใยที่ไม่ได้ทอดคล้ายแผ่นฟิล์ม โดยมีงานวิจัยหลายงานที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะและขนาดของเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาของระบบตัวการทำละลาย และนอกจากการศึกษาวิจัยปัจจัยของตัวทำละลายที่ส่งผลต่อขนาดเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทจากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตแล้ว แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทยังได้ถูกนำมาศึกษาวิจัยเพื่อการประยุกต์ใช้ในการควบคุมการปลดปล่อยยา และการใช้เป็นแผ่นปิดแผลในทางการแพทย์ เป็นต้น ดังตัวอย่างงานวิจัยต่อไปนี้ (ชิตชนก และนวลฉวี, 2553)

การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตของเซลลูโลสอะซิเตท

Liu และ Hsieh (2002) ได้ศึกษาผลของตัวทำละลายที่มีต่อการปั่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทด้วยไฟฟ้าสถิต โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ อะซิโตน กรดอะซิติก และไดเมทิลอะเซตาไมด์ (dimethylacetamide) ซึ่งพบว่าเมื่อละลายเซลลูโลสด้วยตัวทำละลายแต่ละชนิด และนำไปปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต จะไม่เกิดเส้นใย จึงเตรียมตัวทำละลายเป็นระบบผสม โดยตัวทำละลายผสมที่สามารถทำให้เกิดเป็นเส้นใยได้สม่ำเสมอ คือตัวทำละลายผสมของอะซิโตนกับไดเมทิลอะเซตาไมด์อัตราส่วน 12.5 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะได้เส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงประมาณ 100 นาโนเมตร ถึงประมาณ 1 ไมโครเมตร

Son และคณะ (2004) ศึกษากระบวนการปั่นเส้นใยผสมเช่นเดียวกัน โดยใช้ตัวทำละลายผสมของอะซิโตนและน้ำ ซึ่งเกิดเป็นเส้นใยเมื่อปริมาณน้ำที่ใช้อยู่ในช่วงตั้งแต่ 10 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังพบว่าสารละลายเซลลูโลสอะซิเตทในตัวทำละลายผสมผสมของอะซิโตนและน้ำในสถานะที่เป็นกรดจะทำให้ได้เส้นใยที่มีขนาดใหญ่กว่า ส่วนในสถานะที่เป็นเบสจะทำให้เส้นใยที่ปั่นได้มีขนาดเล็กกว่า

Ma และคณะ (2005) เตรียมเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจากสารละลายเซลลูโลสอะซิเตทความเข้มข้น 0.16 กรัมต่อมิลลิลิตร ในตัวทำละลายผสมอะซิโตนไดเมทิลอะเซตาไมด์ (dimethylacetamide) และไตรฟลูออโรเอทิลีน (trifluoroethylene) ในอัตราส่วน 3:1:1 ปริมาตร/ปริมาตร/ปริมาตร สำหรับสถานะที่ใช้ในการปั่นเส้นใย ได้แก่ ศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับสารละลายเท่ากับ 25 กิโลโวลต์ ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดและตัวรองรับเท่ากับ 15 เซนติเมตร อัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 4 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่เตรียมได้นี้มีค่าอยู่ในช่วง 200 นาโนเมตร ถึง 1 ไมโครเมตร นอกจากนี้ยังนำแผ่นเส้นใยที่เตรียมได้นี้ไปปรับปรุงโครงสร้างและความแข็งแรงเชิงกล โดยนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 208 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายผสมของสารโซเดียมคลอไรด์ในน้ำเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และเอทานอล อัตราส่วน 4:1 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะทำให้รีเจนเนอเรทเซลลูโลส (regenerated cellulose)

Han และคณะ (2008) ศึกษากระบวนการปั่นเส้นใย โดยเตรียมสารละลายเซลลูโลสอะซิเตทเข้มข้น 17 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในตัวทำละลายผสมของกรดอะซิติกและน้ำ ที่อัตราส่วน 75 ต่อ 25 โดยน้ำหนัก ซึ่งเมื่อนำไปปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตที่มีความศักย์ 25 กิโลโวลต์ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงแผ่นรองรับเท่ากับ 10 เซนติเมตร และควบคุมอัตราการไหลของสารละลายเท่ากับ 3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง จะได้เส้นใยที่มีขนาดสม่ำเสมอ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยประมาณ

180 นาโนเมตร แต่เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนของระบบตัวทำละลายดังกล่าว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ปั่นได้จะอยู่ในช่วง 160 ถึง 1280 นาโนเมตร

Ni, Q.Q. และคณะ (2014) สังเคราะห์อนุภาคนาโน CoFe_2O_4 ที่มีขนาดอนุภาคประมาณ 10-25 นาโนเมตร โดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลง่ายๆ เส้นใยนาโน $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{PAN}$ (polyacrylonitrile) ที่กักเก็บ CoFe_2O_4 ปริมาณต่างๆ ถูกจัดทำขึ้นโดยเทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตโดยควบคุมให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยกระจายระหว่าง 200 และ 400 นาโนเมตร จากนั้นเส้นใยนาโนคอมโพสิตที่มีท่อคาร์บอน (CNTs) และอนุภาคนาโน CoFe_2O_4 ถูกประดิษฐ์โดยเทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต การปรากฏของอนุภาคนาโน CoFe_2O_4 และ CNTs ในเมทริกซ์เส้นใยนาโนคอมโพสิตได้รับการยืนยันด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD) รามันสเปกตรัม สักเกตผล SEM และ TEM เส้นใยนาโนคอมโพสิตที่ได้ประสบความสำเร็จ ในฐานะที่เป็นวัสดุแม่เหล็กชั้นและมีประสิทธิภาพสำหรับการพัฒนาเส้นใย PAN/CNT- CoFe_2O_4 โดยประสิทธิภาพของงานนี้สามารถปรับแต่งได้อย่างถูกต้อง โดยการปรับปริมาณการกักเก็บอนุภาคนาโน CoFe_2O_4

Kendouli S. และคณะ (2014) สังเคราะห์โครงสร้างนาโนของเซลลูโลสอะซิเตท (CA) โดยใช้กระบวนการไฟฟ้าสถิต อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Ag NPS) ถูกสังเคราะห์โดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรตเป็นสารตั้งต้น เอทานอลเป็นตัวทำละลาย และโพลีไวนิล pyrrolidone (PVP) เป็น capping agent จากนั้นอนุภาคนาโน Ag NPS ถูกเพิ่มเข้าไปในโครงสร้างนาโนเซลลูโลสอะซิเตท (CA) ทั้งก่อนและหลังการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต ทั้ง CA และคอมโพสิต Ag-CA ถูกพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น ฟูเรียอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) รามันสเปกโทรสโกปี กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และเครื่องตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางความร้อน (DSC).พบว่าอนุภาค Ag NPS สามารถเคลือบได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือฝังลงในเส้นใยนาโนเซลลูโลสอะซิเตท CA และ PVP สามารถนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดในการเปลี่ยนรูปร่างและโครงสร้าง

การประยุกต์ใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเพื่อสร้างวัสดุในทางการแพทย์

ชิดชนก และนวลฉวี (2553) ได้พัฒนาเส้นใยพอลิเมอร์ที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เพื่อใช้เป็นตกแต่งแผลด้านข้อเท้าที่เรีย พอลิเมอร์ที่ได้นำมาผลิตเป็นเส้นใย คือ เซลลูโลสอะซิเตท และได้ผสมสารสกัดหยาบมะขามป้อมในปริมาณตั้งแต่ 10-50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าสามารถผลิตเส้นใยพอลิเมอร์ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมากระดับนาโนเมตรได้ โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ผลิตได้อยู่ในช่วงระหว่าง 368 ถึง 525 นาโนเมตร เส้นใยที่ได้จะสานกัน มีลักษณะเป็นแผ่นเส้นใยที่ไม่ได้ทอ (non-woven mat) มีความเป็นรูพรุนสูง และมีค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อมวลที่สูง ซึ่งมีความเหมาะสมกับการผลิตเป็นแผ่นตกแต่งแผลในทางการแพทย์

Tungprapa และคณะ (2007) ปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตของสารละลายเซลลูโลสอะซิเตทเข้มข้น 16 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักโดยปริมาตร ในตัวทำละลายผสมอะซิโตน และไดเมทิลอะเซตาไมด์ และผสมยา 4 ชนิด ได้แก่ นาโพรเซน (naproxen) อินโดเมทาซิน (indomethacin) ไอบูโพรเฟน (ibuprofen) และซูลินแดค (sulindac) ปริมาณยาที่ผสมคงที่เท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักโดยปริมาตรของเซลลูโลสอะซิเตท พบว่าเส้นใยที่ปั่นได้มีความเรียบสม่ำเสมอ ไม่มีขาดค้ำงบนผิวของเส้นใย จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยอยู่ในช่วง 263 ถึง 297 นาโนเมตร จากนั้นได้ทดสอบการปลดปล่อยยาออกจากแผ่นเส้นใย ด้วยวิธีการจุ่มในสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ (acetate buffer) ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส โดยทดสอบเทียบกับแผ่นฟิล์มเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมยาทั้ง 4 ชนิด เช่นเดียวกัน พบว่ายานอกจากปลดปล่อยออกจากแผ่นเส้นใยได้มากกว่าแผ่นฟิล์ม

Suwantong และคณะ (2007) ปั่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทด้วยไฟฟ้าสถิตเช่นเดียวกัน แต่ผสมเคอร์คิวมิน (curcumin) จากต้น *Curcuma longa L.* ในปริมาณต่างๆ ตั้งแต่ 5 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักโดยปริมาตรของผงเซลลูโลสอะซิเตท และเมื่อศึกษาการปลดปล่อยเคอร์คิวมินจากแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตท ด้วยวิธีการจุ่มในสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ที่ผสมทวิน 80 (Tween 80) และเมทานอล ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พบว่าเคอร์คิวมินปลดปล่อยออกมาเกือบได้หมด (ประมาณ 90 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์) แต่เมื่อทดสอบการปลดปล่อยเคอร์คิวมินด้วยวิธีการแพร่ผ่านผิวหนังหมู ค่าการปลดปล่อยมีค่าต่ำมาก แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทยังได้นำไปทดสอบความเป็นไปได้ในการใช้เป็นแผ่นปิดแผล พบว่าไม่เป็นพิษต่อผิวหนังไฟโบรบลาสต์ของมนุษย์ (human dermal fibroblasts)

Suwantong และคณะ (2008) ศึกษาวิจัยการผสมเอเชียโคไซด์ (asiaticoside) จากต้น *Curcuma longa L.* ทั้งชนิดบริสุทธิ์และสารสกัดหยาบในแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทจากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต เมื่อทดสอบการปลดปล่อยด้วยวิธีการจุ่มในอะซิเตทบัฟเฟอร์ที่ผสมเมทานอล เอเชียโคไซด์บริสุทธิ์มีค่าปลดปล่อย 24 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่สารสกัดหยาบมีค่าการปลดปล่อย 10 เปอร์เซ็นต์ (เมื่อเทียบกับน้ำหนักของแผ่นตัวอย่าง) และเมื่อทดสอบการปลดปล่อยในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (phosphate buffer) ที่ผสมเมทานอล เอเชียโคไซด์บริสุทธิ์มีค่าปลดปล่อย 26 เปอร์เซ็นต์ สารสกัดหยาบมีค่าการปลดปล่อย 12 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการทดสอบการปลดปล่อยด้วยวิธีแพร่ผ่านผิวหนังหมูมีค่าต่ำมาก แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทดังกล่าวไม่มีพิษต่อเซลล์ผิวหนังมนุษย์เช่นกัน จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นแผ่นปิดแผลได้

Saowakon Wongsasulak, และคณะ (2010) ประดิษฐ์ฟิล์มบางบริเวณได้ขึ้นเป็นครั้งแรกจากการการผสมผสานระหว่างสารละลายเซลลูโลสอะซิเตท (CA) ใน 85% กรดอะซิติกและไซชาว (EA) ใน 50% กรดฟอร์มิก โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต อัตราส่วนร้อยละมวลของ CA ต่อ EA ในตัวทำละลายผสม แปรผันตั้งแต่ 100:0-91: 9, 77:23, 66:34 และ 0:100 ได้ถูกเตรียมเพื่อ

ศึกษาผลของอัตราส่วนต่อสัณฐานวิทยาของผลิตภัณฑ์ที่เตรียมด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าไฟฟ้าสถิต ผลการศึกษาพบว่า EA มีแรงตึงผิวสูงมากจึงไม่สามารถที่จะฟอร์มเส้นใยนาโนได้ แต่เมื่อเติม CA และสารลดแรงตึงผิว (Tween40) สามารถลดทั้งค่าการนำไฟฟ้าและแรงตึงผิวของของผสมนั้น ($p < 0.05$) ซึ่งอำนวยความสะดวกต่อการขึ้นรูปเส้นใยนาโน CA-EA ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าความต่อเนื่องของเส้นใยดีขึ้นตามการใช้ EA ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ผลจากเทคนิค FTIR และผลการวิเคราะห์ความร้อน ซึ่งให้เห็นว่าเส้นใยที่ได้มาประกอบด้วยทั้ง CA และองค์ประกอบของ EA การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการสานเส้นใยนาโนพอลิเมอร์ชีวภาพจากธรรมชาติที่บริโภคได้โดยใช้เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง เนื่องจากคุณสมบัติของ EA เส้นใยนาโนเหล่านี้สามารถให้ฟังก์ชันการทำงานที่ควบคุมการปลดปล่อยผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและยาได้

Illangakoon, U Eranka. และคณะ (2014) ใช้เทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต ประดิษฐ์ชุดของเส้นใย polyvinylpyrrolidone ที่กักเก็บยาพาราเซตามอล (PCM) และคาเฟอีน (CAF) และมีศักยภาพเป็นฟิล์มที่ละลายในช่องปากอย่างรวดเร็ว เส้นใยที่ได้มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก มีพื้นผิวเรียบ และมียากักเก็บอยู่ภายใน ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลของยาและพอลิเมอร์ถูกพิสูจน์โดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี และการสร้างแบบจำลองโมเลกุล พบว่าคุณสมบัติของเส้นใยมีความเหมาะสมอย่างมากสำหรับการเตรียมฟิล์มที่ละลายในช่องปากอย่างรวดเร็ว ความหนาของเส้นใยประมาณ 120-130 ไมโครเมตร และค่าพีเอชหลังจากการสลายตัวในน้ำปราศจากไอออนอยู่ในช่วงของ 6.7-7.2 วัตถุแต่งกลิ่นรสสามารถจะรวมตัวอยู่ในสูตร เส้นใยทั้งหมดจะสลายสมบูรณ์ภายใน 0.5 วินาที เมื่ออยู่ในน้ำลายจำลอง และในการทดสอบการละลายเส้นใยปล่อยยาออกมาภายใน 150 วินาที และการละลายอย่างรวดเร็วมากกว่ายาบริสุทธิ์ที่ไม่ได้ถูกกักเก็บ ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเพื่อเตรียมฟิล์มที่ละลายในช่องปากอย่างรวดเร็วนี้จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับเด็กและผู้ป่วยที่มีความยากลำบากในการกลืน

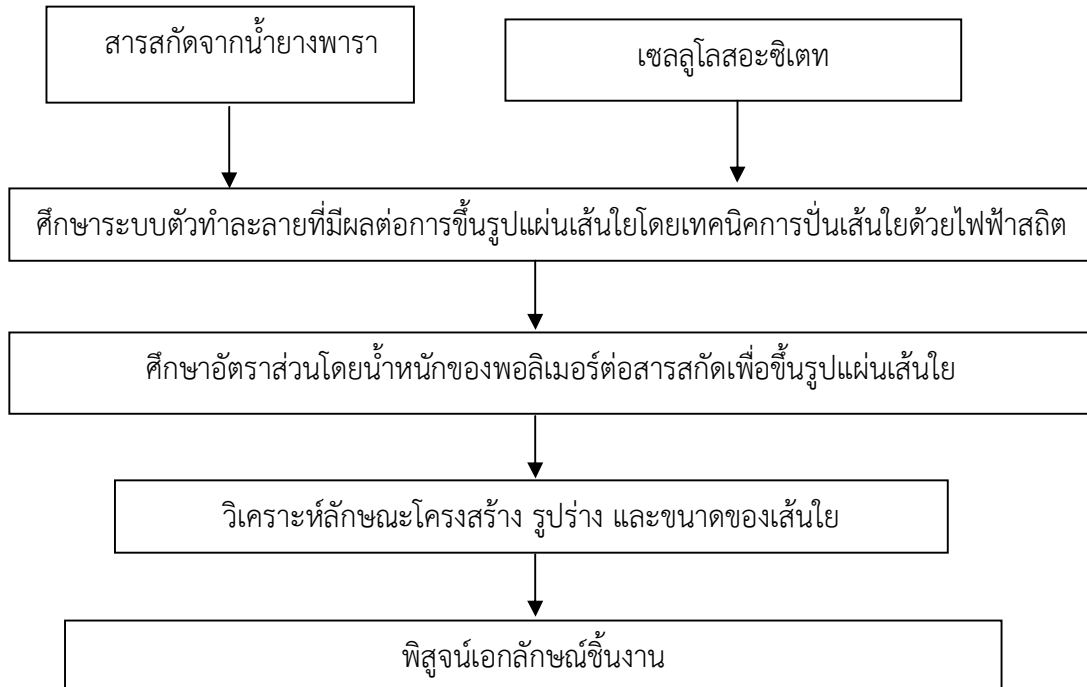
Payab, S. และคณะ (2014) ศึกษาการเตรียมอนุภาคนาโนที่ผสมยา azithromycin-Eudragit RS100 ทั้งนาโนปิดส์และเส้นใยนาโน โดยใช้การแปรผันอัตราส่วนพอลิเมอร์ azithromycin-Eudragit RS100 กับยา และแปรผันความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้เทคนิคปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ลักษณะทางเคมีฟิสิกส์ของอนุภาคนาโนและเส้นใยนาโน ได้รับการประเมินโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เทคนิค differential scanning calorimetry (DSC), X-ray powder diffraction (XRPD) และ Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) รูปแบบการปลดปล่อยยาศึกษาเปรียบเทียบกับการใช้แบบจำลองสามพารามิเตอร์ฮิสระเซน, T50% (เวลาที่ 50% ของยาถูกปลดปล่อย), Q15 และ Q30 (เปอร์เซ็นต์ยาที่ละลายภายในระยะเวลา 15 และ 30 นาทีตามลำดับ) ผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายส่งผลให้การผลิตเส้นใยนาโนมากขึ้นและ นาโนปิดส์ลดลง มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 100-500 นาโนเมตร และผลการศึกษาด้วย

เทคนิค DSC ซึ่งให้เห็นว่า XRPD ผลักยาลดลงอย่างสังเกตเห็นได้ชัด การวิเคราะห์ FT-IR พบว่าไม่มีปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างขั้นตอนการเตรียม ผลิตภัณฑ์นาโนที่ได้แสดงรูปแบบการปลดปล่อยแบบ biphasic ที่มีอัตราการปล่อยสูงกว่ายาบริสุทธิ์ จากผลการวิจัยเหล่านี้ เส้นใยนาโนและนาโนบีดส์ AZI-Eudragit RS100 ที่มีลักษณะทางกายภาพและเคมีที่ดีขึ้น เป็นไปได้ที่จะถูกสร้างขึ้นผ่านการจัดเตรียมพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ความเรียบง่ายของกระบวนการ หรืออีกนัยหนึ่งเป็นตัวเลือกที่ยอดเยี่ยมสำหรับการขยายขนาดการผลิตขึ้น

Salas, Carlos และคณะ (2014) ผลิตเส้นใยนาโนโดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตของสารละลายต่างที่มีอัตราส่วนมวลที่แตกต่างกันของโปรตีนถั่วเหลืองและลิกนินร่วมกับโพลี (เอทิลีนไกลคอล) ผลการศึกษาด้วยเทคนิค SEM พบว่าการเติมเอทิลีนออกไซด์เพื่อเป็นสาร coadjutant ช่วยเพิ่มความเสถียรในการก่อตัวของเส้นใยที่ปราศจากข้อบกพร่อง โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของลิกนินในช่วงระหว่าง ≈ 124 และ ≈ 400 นาโนเมตร มีปฏิสัมพันธ์ที่ตีระหว่างลิกนินและโปรตีนจากถั่วเหลืองถูกระบุได้จากข้อมูลที่ได้จากข้อมูลที่ได้จากเทคนิค differential scanning calorimetry ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้พันธะไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นและการสูญเสียของโครงสร้างทุติยภูมิของโปรตีน เมื่อความเข้มข้นลิกนินที่เพิ่มขึ้นถูกสังเกตได้จากการหายไปของแถบหมู่เอไมด์ II ($\sim 1500 \text{ cm}^{-1}$) และ III ($\sim 1400\text{-}1200 \text{ cm}^{-1}$) และเรดชิฟต์ของเอไมด์ I จาก FT-IR สเปกตรัม โปรตีนที่ไม่ม่้วนพบมีส่วนร่วมในการมีปฏิสัมพันธ์ที่ดีกับโมเลกุลลิกนิน ซึ่งต่อไปจะช่วยให้ปรับปรุงกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต สรุปได้ว่าส่วนผสมของลิกนินและโปรตีนถั่วเหลือง มีคุณสมบัติทางเคมีที่น่าสนใจ มีความเหมาะสมสำหรับการพัฒนาของเส้นใยคอมโพสิตระดับที่เล็กกว่าไมครอน

จากการรวบรวมแนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงพิจารณาจากทิศทางการวิจัย จะเห็นได้ว่าแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร หรือที่เรียกว่า นาโนไฟเบอร์ (nanofiber) ได้รับความสนใจอย่างมากในการนำมาใช้ทางการแพทย์ เช่น แผ่นตกแต่งแผล วัสดุควบคุมการปลดปล่อยยา โครงวิศวกรรมสำหรับการสร้างเนื้อเยื่อ เป็นต้น และผลการค้นคว้าวิจัยสารสกัดจากน้ำยางพาราที่พบว่า มีกลุ่มสารที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ทำเครื่องสำอางเพื่อเสริมหรือรักษาสุขภาพผิวพรรณ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการผลิตแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตตผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราที่ปริมาณต่างๆ โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ทหาระบบและอัตราส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแผ่นเส้นใยที่ประกอบด้วยสารสกัดจากน้ำยางพารา รวมทั้งพิสูจน์เอกลักษณ์ของชิ้นงานที่เตรียมได้

กรอบแนวคิดในการวิจัย



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- เครื่องปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning, Department of Materials Technology, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, Bangkok, Thailand)
- เครื่องจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (High voltage power supply, รุ่น ES30P, Gamma High Voltage Research, USA)
- ป้อน (syringe pump, รุ่น NE1000, Quality in Sensing (QIS), Netherlands)
- เครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (UV-Vis Spectrometer รุ่น HP 89500, HEWLETT-PACKARD Company, California, USA)
- เครื่องเอฟทีไออาร์ (Spectrum Spotlight 300 FT-IR Imaging System, Perkin Elmer, USA)
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope รุ่น JSM-6400, JEOL, Tokyo, Japan)

สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- เซลลูโลสอะซิเตต (Cellulose acetate, CA; Mw 30,000 Da; acetyl content 39.7% (w/w); degree of acetyl substitution ~2.4, Aldrich, Germany)
- สารสกัดจากน้ำยางพารา (Hb extract, ศูนย์ความเป็นเลิศด้านชีววิทยาศาสตร์, TCELS, Bangkok, Thailand)
- เอทานอล (Ethanol, AR grade, Lab scan, Bangkok, Thailand)
- อะซิโตน (Acetone, AR grade, Lab scan, Bangkok, Thailand)
- N,N-dimethylacetamide (DMAc) , AR grade, Lab scan, Bangkok, Thailand)
- น้ำกลั่น (DI water)

วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1. เครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (high – voltage power supply) สำหรับในงานวิจัยนี้สามารถปรับความต่างศักย์ได้ในช่วง 0 ถึง 30 กิโลโวลต์ และกระแสไฟฟ้าของเครื่องมีค่าต่ำในระดับ 160 ไมโครแอมป์ ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดอันตรายเนื่องจากไฟฟ้าช็อตต่อผู้ปฏิบัติ

2. หลอดสำหรับบรรจุพอลิเมอร์ตัวอย่าง จะใช้เป็นหลอดฉีดยาโดยมีเข็มฉีดยาต่อตรงส่วนเปิด เพื่อให้พอลิเมอร์ตัวอย่างสามารถไหลออกมาได้ นอกจากนี้เข็มฉีดยาที่เป็นโลหะยังทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรดนำไฟฟ้า

3. อุปกรณ์โลหะที่ใช้รองรับเส้นใย มีหลายลักษณะ เช่น เป็นแผ่นหรือตะแกรงโลหะ เป็นลูกกลิ้งที่ห่อหุ้มด้วยแผ่นโลหะซึ่งสามารถควบคุมอัตราเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งได้ หรืออาจเป็นอ่างสารละลาย (ในกรณีที่ต้องการให้เส้นใยตกตะกอนเหมือนกันในกรณีการปั่นเส้นใยแบบเปียก) สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้แผ่นอลูมิเนียมในการรองรับเส้นใย โดยนำไปหุ้มกับลูกกลิ้ง (ดังภาพที่ 3.1)

พอลิเมอร์ที่นำมาใช้ในการปั่นเส้นใยอาจเป็นได้ทั้งพอลิเมอร์หลอมเหลว หรือสารละลายพอลิเมอร์ แต่โดยส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นสารละลายพอลิเมอร์ ทั้งนี้เนื่องจากมีความสะดวกในการผลิต และกระบวนการซับซ้อนน้อยกว่า การปั่นเส้นใยสามารถกระทำได้ในแนวราบและแนวตั้ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนืดของพอลิเมอร์ตัวอย่างที่นำมาปั่นเส้นใย สำหรับในกรณีที่ต้องการควบคุมอัตราการไหลของพอลิเมอร์ อาจใช้ปั๊มฉีดยา (syringe pump) ต่อเข้ากับหลอดฉีดยา เป็นอุปกรณ์ช่วยควบคุมการไหล (ดังแสดงในภาพ 3.1)

การจ่ายกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูง สามารถทำได้โดยการต่อขั้วส่ง (emitting electrode) ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งขั้วบวกหรือขั้วลบกับพอลิเมอร์ตัวอย่าง โดยผ่านวัสดุที่เป็นโลหะตัวนำต่างๆ หรืออาจต่อโดยตรงกับเข็มฉีดยา สำหรับกรณีที่ใช้หลอดฉีดยาเป็นหลอดบรรจุพอลิเมอร์ตัวอย่าง และทำการต่อขั้วสายดิน (grounding electrode) กับอุปกรณ์รองรับเส้นใย



ภาพที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตที่ใช้ในงานวิจัย

การศึกษาระบบตัวทำละลายที่มีผลต่อการผลิตแผ่นเส้นใยโดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

1. ละลายผงเซลลูโลสอะซิเตท (Cellulose acetate, CA) ด้วยตัวทำละลาย 3 ระบบ ได้แก่ 100% อะซิโตน 100% ไดเมทิลอะเซตาไมด์ และตัวทำละลายผสมอัตราส่วน 2:1 ปริมาตร/ปริมาตร (v/v) ของอะซิโตนและไดเมทิลอะเซตาไมด์ โดยสารละลายเซลลูโลสอะซิเตทนี้ทดลองเตรียมที่ความเข้มข้น 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (% w/v)
2. สังเกตความสามารถในการละลายของผงเซลลูโลสอะซิเตท และความหนืดของสารละลายที่เตรียมได้
3. นำสารละลายที่เตรียมได้ทั้ง 3 ตัวอย่าง ไปทดลองปั่นเป็นเส้นใยด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต โดยบรรจุสารละลายดังกล่าวในหลอดฉีดยา ต่อหัวบวก (แคโทด) ของเครื่องจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูง เข้ากับปลายเข็มฉีดยาและต่อหัวลบ (แอโนด) กับลูกกลิ้งม้วนเก็บแผ่นเส้นใยซึ่งหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียม (ลูกกลิ้งมีขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร) สารละลายในหลอดฉีดยาถูกควบคุมการไหลด้วยปั๊ม ปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับสารละลายมีค่าคงที่เท่ากับ 20 กิโลโวลต์ และปรับระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงลูกกลิ้งรองรับเส้นใยเท่ากับ 15 เซนติเมตร
4. สังเกตลักษณะของการสร้างเส้นใย และลักษณะแผ่นเส้นใยที่เตรียมได้ และเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียมแผ่นเส้นใยในขั้นตอนต่อไป

การเตรียมแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

วิธีการเตรียมแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัด ด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เริ่มต้นโดย

1. ละลายผงเซลลูโลสอะซิเตท ด้วยตัวทำละลายผสมของอะซิโตนและไดเมทิลอะเซตาไมด์ อัตราส่วน 2:1 ปริมาตร/ปริมาตร (v/v) โดยสารละลายเซลลูโลสอะซิเตทนี้ทดลองเตรียมที่ความเข้มข้น 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (9% w/v)

2. สำหรับในกรณีผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราในสารละลาย เตรียมได้โดยผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราปริมาณ 1, 2, 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ลงในสารละลายเซลลูโลสอะซิเตท โดยคำนวณเทียบกับน้ำหนักของผงเซลลูโลสอะซิเตทในสารละลายเซลลูโลสอะซิเตท

3. สารละลายเซลลูโลสอะซิเตททั้งที่ไม่ผสมหรือผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราจะนำไปปั่นเป็นเส้นใยด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต โดยบรรจุสารละลายดังกล่าวในหลอดฉีดยา แล้วต่อหัวบวก (แคโทด) ของเครื่องจ่ายศักย์ไฟฟ้าแรงสูง เข้ากับปลายเข็มฉีดยาและต่อหัวลบ (แอโนด) กับลูกกลิ้งม้วนเก็บแผ่นเส้นใยซึ่งหุ้มด้วยแผ่นอลูมิเนียม (ลูกกลิ้งมีขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร) สารละลายในหลอดฉีดยาถูกควบคุมการไหลด้วยปั๊ม ปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับสารละลายมีค่าคงที่เท่ากับ 20 กิโลโวลต์ และปรับระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงลูกกลิ้งรองรับเส้นใยเท่ากับ 15 เซนติเมตร ใช้เวลาในการปั่นเส้นใย 5 ชั่วโมง จะได้แผ่นเส้นใยที่มีความหนาประมาณ 1 ± 0.5 มิลลิเมตร

การศึกษาลักษณะโครงสร้าง รูปร่าง และขนาดของเส้นใยของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา

แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตททั้งที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา จะนำมาศึกษา ลักษณะของเส้นใยที่ได้ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของบริษัท JEOL รุ่น JSM-6400 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่างทำได้โดย

1. ตัดแผ่นอลูมิเนียมที่มีแผ่นเส้นใยอยู่ด้านบน หรือแผ่นฟิล์ม เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมเล็กๆ ขนาดกว้างคูณยาวประมาณ 5x5 มิลลิเมตร แล้วนำไปติดลงบนแท่นวางชิ้นงานตัวอย่าง (stub)
2. นำชิ้นงานตัวอย่างมาเคลือบทองด้วยเครื่องเคลือบทอง (ion sputtering)
3. นำชิ้นงานตัวอย่างที่เคลือบทองแล้ว ไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 500 และ 10,000 เท่า ตามลำดับ

4. ภาพที่ได้จะนำมาศึกษาลักษณะแผ่นเส้นใย
5. วัดขนาดของเส้นใยจากภาพที่ได้นั้น โดยการนำภาพถ่ายของเส้นใยจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยใช้โปรแกรม SEMAFORE เวอร์ชัน 4 โดยในโปรแกรมจะให้วัดความยาวของเส้นมาตรฐานที่ปรากฏอยู่ในภาพ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับความกว้างของเส้นใย ซึ่งจะช่วยให้ทราบขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยได้ ปริมาณของเส้นใยที่วัดนี้มีจำนวน 100 เส้น หลังจากนั้นนำไปหาค่าเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย

การวิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบหลักทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยาพารา

แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตททั้งที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยาพารา ถูกนำไปศึกษาเพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ของเส้นใยที่เตรียมได้โดยการวิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบหลักทางเคมีของตัวอย่าง ด้วยเทคนิค Micro- Attenuated Total Reflectance (Micro- ATR) (อ้างอิงตามวิธีมาตรฐาน ASTM: E334-01 และ ASTM: E573-01) เพื่อวิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบหลักทางเคมีของตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดของตัวอย่าง ดังนี้

1. แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยาพารา โดยที่
 - ตัวอย่าง 0 หมายถึง แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมสารสกัดจากน้ำยาพารา
 - ตัวอย่าง 1 หมายถึง แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยาพารา 1%
 - ตัวอย่าง 2 หมายถึง แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยาพารา 2%
 - ตัวอย่าง 3 หมายถึง แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยาพารา 3%
 - ตัวอย่าง 4 หมายถึง แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยาพารา 4%
 - ตัวอย่าง 5 หมายถึง แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยาพารา 5%
2. สารสกัดจากน้ำยาพารา (crude extract)

สภาวะการทดสอบ : เทคนิค Micro- ATR, ผลึกเจอร์เมเนียม (Ge)
แหล่งกำเนิดแสงช่วง Middle range infrared (4000-600 cm^{-1})
Resolution: 4 cm^{-1}
Detector คือ Mercury Cadmium Telluride

การเตรียมชิ้นงาน : วางชิ้นงานตัวอย่างบนที่วางตัวอย่าง จากนั้นทำการทดสอบด้วยเทคนิค Micro ATR (อ้างอิงตามวิธีมาตรฐาน ASTM: E334-01 และ ASTM: E573-01)

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยเพื่อผลิตแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์เซลลูโลสอะซิเตทที่ประกอบด้วยสารสกัดจากน้ำยางพารา โดยเตรียมด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) เริ่มต้นจากการทดสอบหาระบบตัวทำละลายที่เหมาะสม เปรียบเทียบความสามารถในการขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใยจากอิทธิพลของอัตราส่วนความเข้มข้นโดยน้ำหนักของพอลิเมอร์ต่อสารสกัดจากน้ำยางพารา ศึกษา ลักษณะโครงสร้าง รูปร่าง ขนาดของเส้นใย และวิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบหลักทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่เตรียมได้ ผลการวิจัยมีดังต่อไปนี้

ผลของระบบตัวทำละลายต่อการผลิตแผ่นเส้นใยโดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ในการเตรียมสารละลายเซลลูโลสอะซิเตทที่มีความเข้มข้น 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (% w/v) ในตัวทำละลาย 3 ระบบคือ 100% อะซิโตน 100% ไดเมทิลอะเซตาไมด์ และตัวทำละลายผสมของอะซิโตนและไดเมทิลอะเซตาไมด์ อัตราส่วน 2:1 ปริมาตร/ปริมาตร (% v/v) จากการสังเกตความสามารถในการละลายของผงพอลิเมอร์เซลลูโลสอะซิเตท และความหนืดของสารละลายที่เตรียม พบว่าเซลลูโลสอะซิเตทสามารถละลายได้ง่ายและเร็วที่สุดในตัวทำละลายผสมของอะซิโตนและไดเมทิลอะเซตาไมด์ และให้สารละลายพอลิเมอร์ที่มีความหนืดที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ดังนั้นในการทดลองลำดับต่อไป จะใช้ตัวทำละลายผสมและอัตราส่วนการผสมนี้ ในการเตรียมแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทชนิดที่ไม่ผสมและชนิดที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราปริมาณต่างๆ ด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ผลการเตรียมแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สารสกัดจากน้ำยางพารานำมาผสมกับสารละลายเซลลูโลสอะซิเตทในตัวทำละลายผสมของอะซิโตน และไดเมทิลอะเซตาไมด์ (อัตราส่วนของตัวทำละลายผสมเท่ากับ 2:1 ปริมาตร/ปริมาตร) โดยเตรียมสารละลายของเซลลูโลสอะซิเตทที่มีความเข้มข้น 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารสกัดจากน้ำยางพาราเป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ นำสารละลายผสมมาปั่นเป็นเส้นใยด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วย

ไฟฟ้าสถิต ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถผลิตเส้นใยที่มีขนาดเล็กมากระดับนาโนเมตรถึงไมโครเมตรได้ ปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับสารละลายที่มีค่าคงที่เท่ากับ 20 กิโลโวลต์ และปรับระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดยาถึงลูกกลิ้งรองรับเส้นใยเท่ากับ 15 เซนติเมตร ใช้เวลาในการปั่นเส้นใย 5 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเป็นแผ่นเส้นใยที่ไม่ได้ทอ ความหนาของแผ่นเส้นใยประมาณ 1 ± 0.5 มิลลิเมตร สีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ได้ผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราที่สีขาว และเมื่อผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราแผ่นเส้นใยมีสีน้ำตาลอ่อน เมื่อปริมาณสารสกัดจากน้ำยางพาราเพิ่มมากขึ้นจาก 1 จนถึง 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร แผ่นเส้นใยยังคงมีสีขาว ดังแสดงในภาพที่ 4.1



ก) CA-HB 0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ข) CA-HB 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ค) CA-HB 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ง) CA-HB 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



จ) CA-HB 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ฉ) CA-HB 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ภาพที่ 4.1 แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ได้ผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราที่ปริมาณต่างๆ

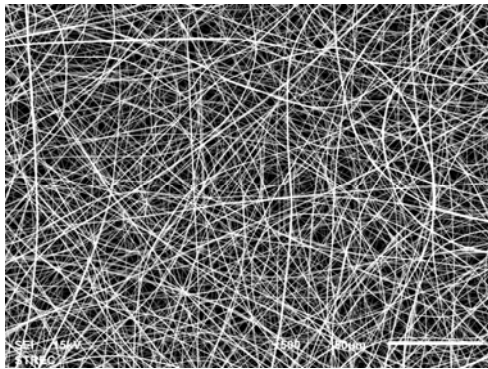
ลักษณะโครงสร้าง รูปร่าง และขนาดเส้นใยของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา

แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ทั้งที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราปริมาณต่างๆ ได้แก่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ ถูกนำมาวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้าง รูปร่าง และขนาดเส้นใย ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope, SEM) แสดงดังในภาพที่ 4.2 และ 4.3 จากภาพถ่ายของแผ่นเส้นใยพบว่าเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทมีลักษณะเป็นเส้นกลมและมีผิวเรียบ ไม่มีการเกาะรวมตัวของสารสกัดจากน้ำยางพาราบนผิวของเส้นใย แสดงว่าสารสกัดจากน้ำยางพาราผสมเข้ากันได้ดีกับสารละลายเซลลูโลสอะซิเตท

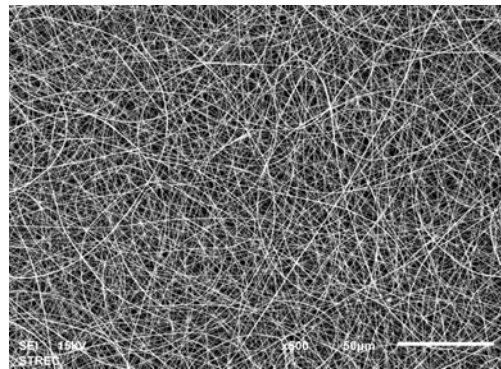
ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตท ถูกนำมาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ได้ผลแสดงดังในตารางที่ 4.1 ซึ่งพบว่าเส้นใยแต่ละสถานะมีขนาดที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีแนวโน้มที่ใหญ่ขึ้น เมื่อปริมาณสารสกัดจากน้ำยางพาราเพิ่มมากขึ้นจาก 1 % เป็น 3% ทั้งนี้เนื่องมาจากมีปริมาณเนื้อสารที่ผสมอยู่ในสารละลายเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ความหนืดของสารละลายเพิ่มมากขึ้น และที่การผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราปริมาณ 4% และ 5% เมื่อนำมาปั่นเป็นเส้นใยพบว่าสามารถปั่นเป็นเส้นใยได้ยากขึ้น สังเกตได้จากแผ่นเส้นใยสีขาวที่ได้มีลักษณะบางลง มีเม็ดปมเกิดขึ้น ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยังแสดงให้เห็นถึงการหลอมรวมของเส้นใยจึงทำให้พบเส้นใยที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25-1.85 μm (ดังภาพที่ 4.1 จ, 4.1 ฉ, และภาพที่ 4.3 จ, 4.3 ฉ)

ตารางที่ 4.1 ขนาดเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา

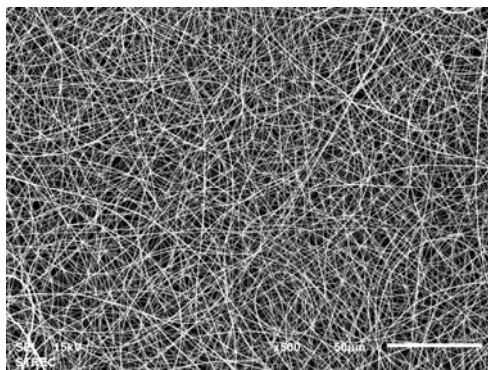
ปริมาณสารสกัดจากน้ำยางพารา (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย (นาโนเมตร)
0	584 ± 149
1	415 ± 138
2	492 ± 154
3	585 ± 151
4	534 ± 161
5	432 ± 194



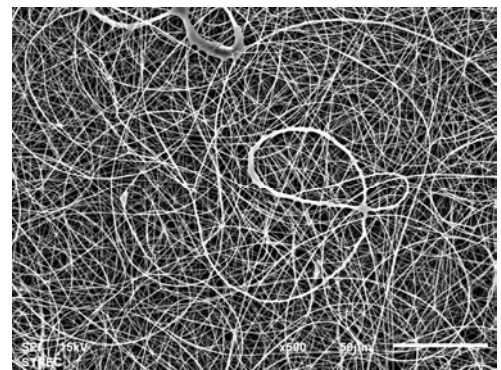
ก) CA-HB 0 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



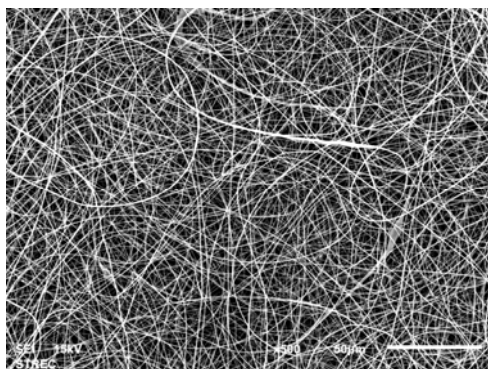
ข) CA-HB 1 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



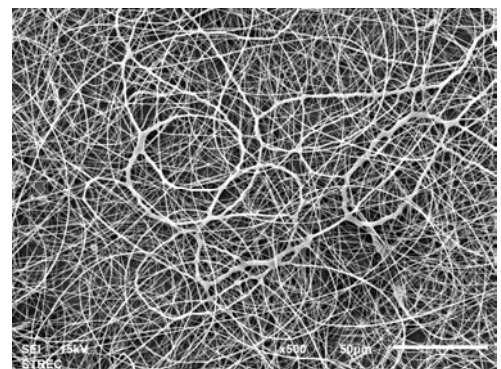
ค) CA-HB 2 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ง) CA-HB 3 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

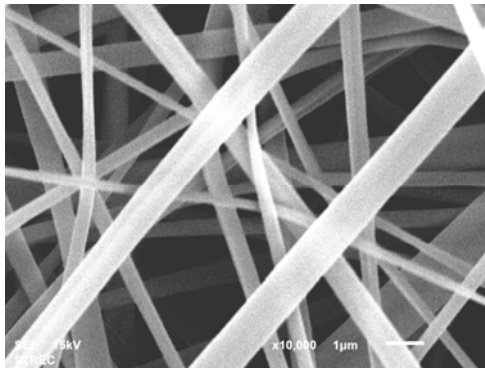


จ) CA-HB 4 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

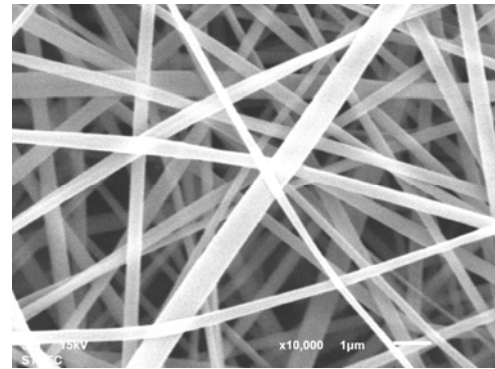


ฉ) CA-HB 5 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

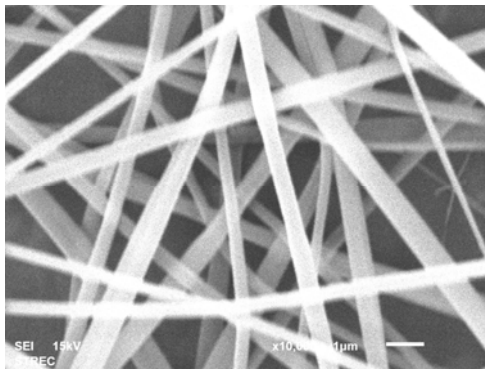
ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราที่ปริมาณต่างๆ (กำลังขยาย 500 เท่า)



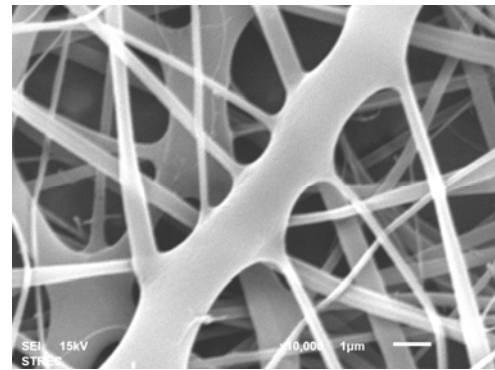
ก) CA-HB 0 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



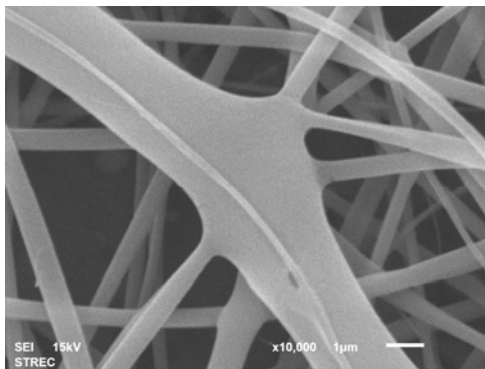
ข) CA-HB 1 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



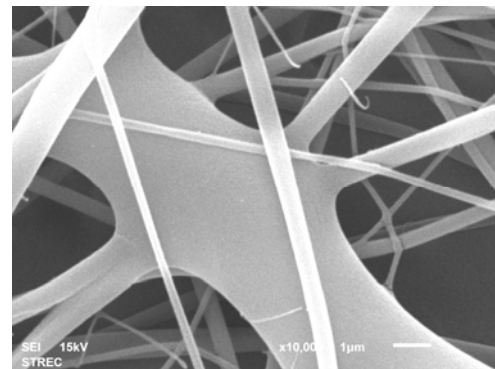
ค) CA-HB 2 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ง) CA-HB 3 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



จ) CA-HB 4 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



ฉ) CA-HB 5 เเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ภาพที่ 4.3 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราที่ปริมาณต่างๆ (กำลังขยาย 10000 เท่า)

ผลการวิเคราะห์ชนิดและองค์ประกอบหลักทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา

แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตททั้งที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา (HB) ถูกนำไปศึกษาเพื่อวิเคราะห์หาชนิดและองค์ประกอบหลักทางเคมีของตัวอย่างเส้นใยที่เตรียมได้ ด้วยเทคนิค Micro-Attenuated Total Reflectance (Micro-ATR) (อ้างอิงตามวิธีมาตรฐาน ASTM: E334-01 และ ASTM: E573-01) โดยตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์ มีดังนี้

1. แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา โดยที่

ตัวอย่าง 0 หมายถึง แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา

ตัวอย่าง 1 หมายถึง แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 1%

ตัวอย่าง 2 หมายถึง แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 2%

ตัวอย่าง 3 หมายถึง แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 3%

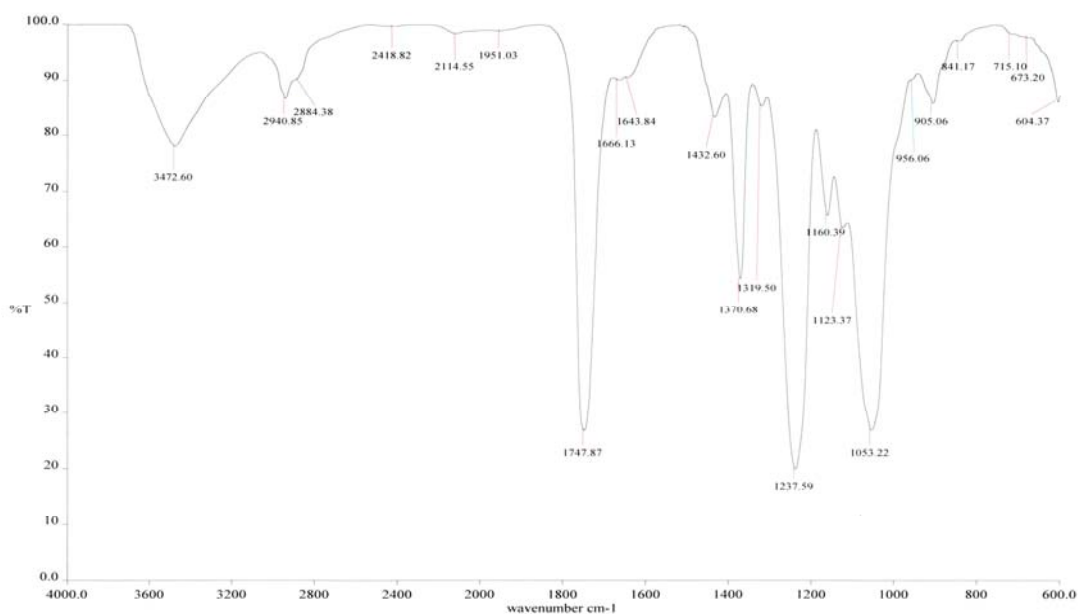
ตัวอย่าง 4 หมายถึง แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 4%

ตัวอย่าง 5 หมายถึง แผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 5%

2. สารสกัดจากน้ำยางพารา (crude extract)

จากการวิเคราะห์ตัวอย่าง 0 ถึง 5 ด้วยเทคนิค Micro-ATR พบว่าตัวอย่างดังกล่าว มีลักษณะสเปกตรัม (ดังแสดงในภาพที่ 4.4–4.9 ตามลำดับ) และมีหมู่ฟังก์ชันทางเคมี (ดังแสดงในตารางที่ 4.2-4.7 ตามลำดับ) ดังต่อไปนี้

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา ด้วยเทคนิค Micro-ATR พบว่าตัวอย่างดังกล่าวมีลักษณะสเปกตรัมและหมู่ฟังก์ชันทางเคมี ดังแสดงในภาพที่ 4.4 และตารางที่ 4.2

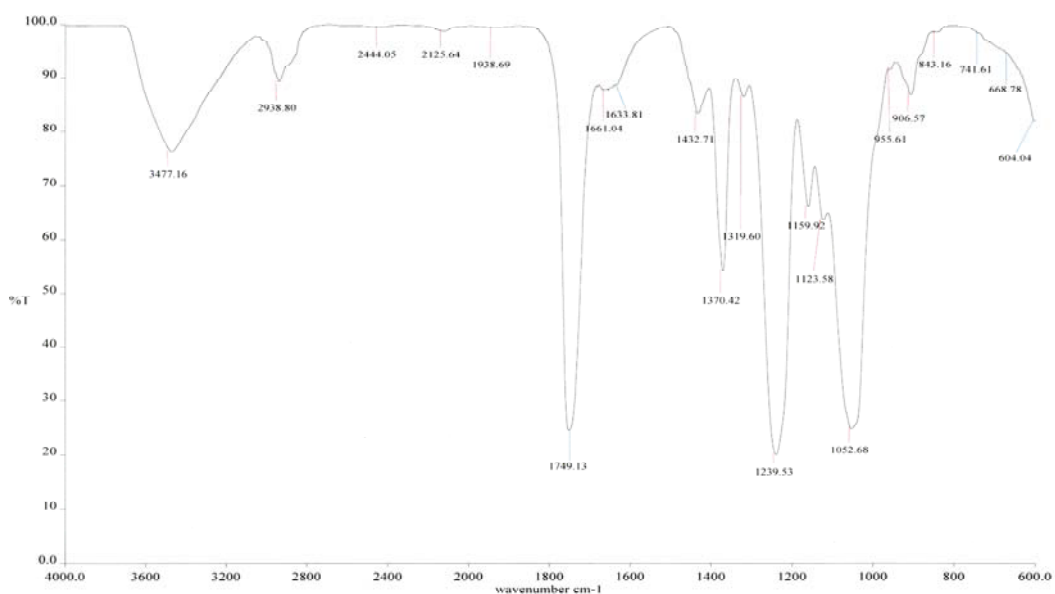


ภาพที่ 4.4 FT-IR สเปกตรัมของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา

ตารางที่ 4.2 หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา

หมู่ฟังก์ชัน	ช่วงตำแหน่งเลขคลื่น จากเอกสารอ้างอิง (cm ⁻¹)	ตำแหน่งของเลขคลื่น ของตัวอย่าง (cm ⁻¹)
- Hydroxy group, H-bonded O- H stretching	3570-3200 (broad band)	3472(Broad band)
- Aliphatic C- H stretching	3000-2800	2940-2884
- C=O stretching of O=C-O	1750-1725	1747
- O-H scissoring bend	1680-1620 (broad band)	1666-1643 (broad band)
- CH ₂ scissoring bend, shifted	1450-1400	1432
- CH ₃ bending	1385-1350	1370
- O-H in - plane bending	1410-1310	1319
- C-O-stretching of O=C-O	1280-1200	1237
- Aliphatic C-O- stretching	1200-1000	1160-1053
- C-H out-of-plane bending	995-600	956-604

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 1% ด้วยเทคนิค Micro-ATR พบว่าตัวอย่างดังกล่าวมีลักษณะสเปกตรัมและหมู่ฟังก์ชันทางเคมี ดังแสดงในภาพที่ 4.5 และตารางที่ 4.3

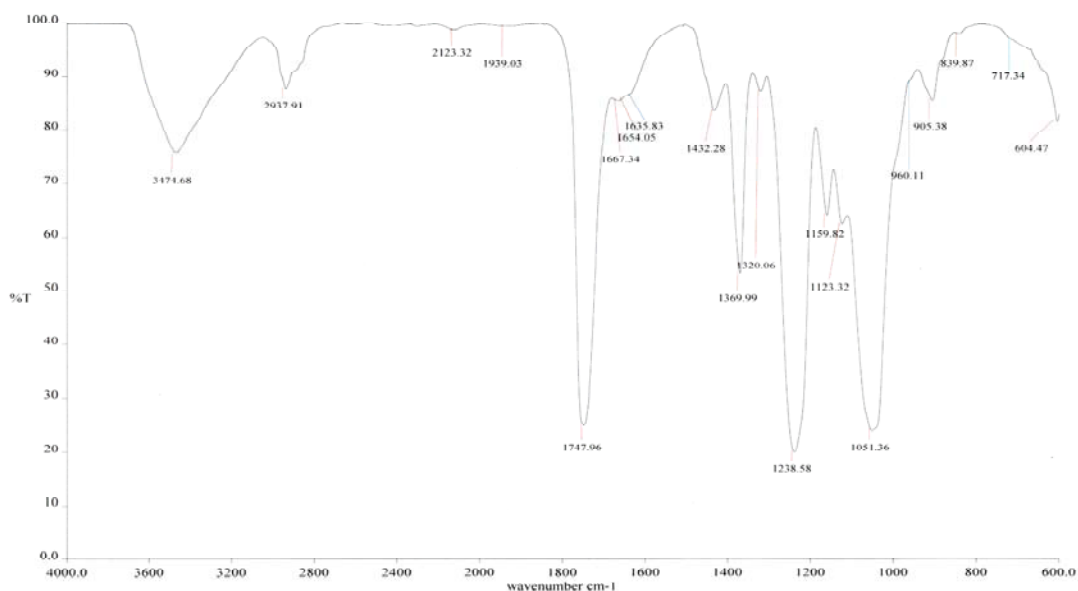


ภาพที่ 4.5 FT-IR สเปกตรัมของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 1%

ตารางที่ 4.3 หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 1%

หมู่ฟังก์ชัน	ช่วงตำแหน่งเลขคลื่นจากเอกสารอ้างอิง (cm ⁻¹)	ตำแหน่งของเลขคลื่นของตัวอย่าง (cm ⁻¹)
- Hydroxy group, H-bonded O- H stretching	3570-3200 (broad band)	3477 (Broad band)
- Aliphatic C- H stretching	3000-2800	2938
- C=O stretching of O=C-O	1750-1725	1749
- O-H scissoring bend	1680-1620 (broad band)	1661-1633 (broad band)
- CH ₂ scissoring bend, shifted	1450-1400	1432
- CH ₃ bending	1385-1350	1370
- O-H in - plane bending	1410-1310	1319
- C-O-stretching of O=C-O	1280-1200	1239
- Aliphatic C-O- stretching	1200-1000	1159-1052
- C-H out-of-plane bending	995-600	955-604

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 2% ด้วยเทคนิค Micro-ATR พบว่าตัวอย่างดังกล่าวมีลักษณะสเปกตรัมและหมู่ฟังก์ชันทางเคมี ดังแสดงในภาพที่ 4.6 และตารางที่ 4.4

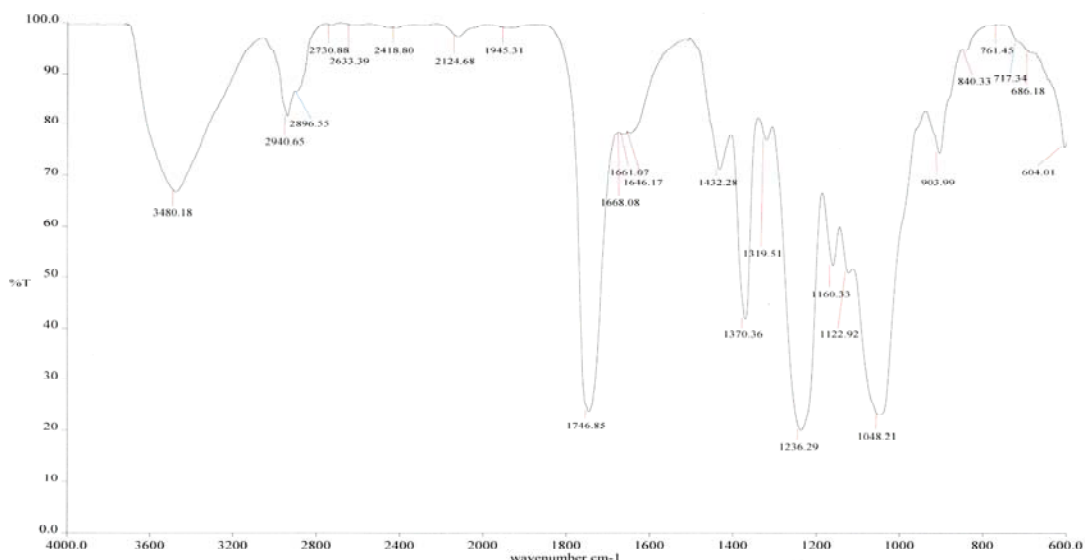


ภาพที่ 4.6 FT-IR สเปกตรัมของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 2%

ตารางที่ 4.4 หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 2%

หมู่ฟังก์ชัน	ช่วงตำแหน่งเลขคลื่น จากเอกสารอ้างอิง (cm ⁻¹)	ตำแหน่งของเลขคลื่น ของตัวอย่าง (cm ⁻¹)
- Hydroxy group, H-bonded O- H stretching	3570-3200 (broad band)	3474 (Broad band)
- Aliphatic C- H stretching	3000-2800	2938
- C=O stretching of O=C-O	1750-1725	1747
- O-H scissoring bend	1680-1620 (broad band)	1667-1635 (broad band)
- CH ₂ scissoring bend, shifted	1450-1400	1432
- CH ₃ bending	1385-1350	1369
- O-H in - plane bending	1410-1310	1320
- C-O-stretching of O=C-O	1280-1200	1238
- Aliphatic C-O- stretching	1200-1000	1159-1051
- C-H out-of-plane bending	995-600	960-604

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 3% ด้วยเทคนิค Micro-ATR พบว่าตัวอย่างดังกล่าวมีลักษณะสเปกตรัมและหมู่ฟังก์ชันทางเคมี ดังแสดงในภาพที่ 4.7 และตารางที่ 4.5

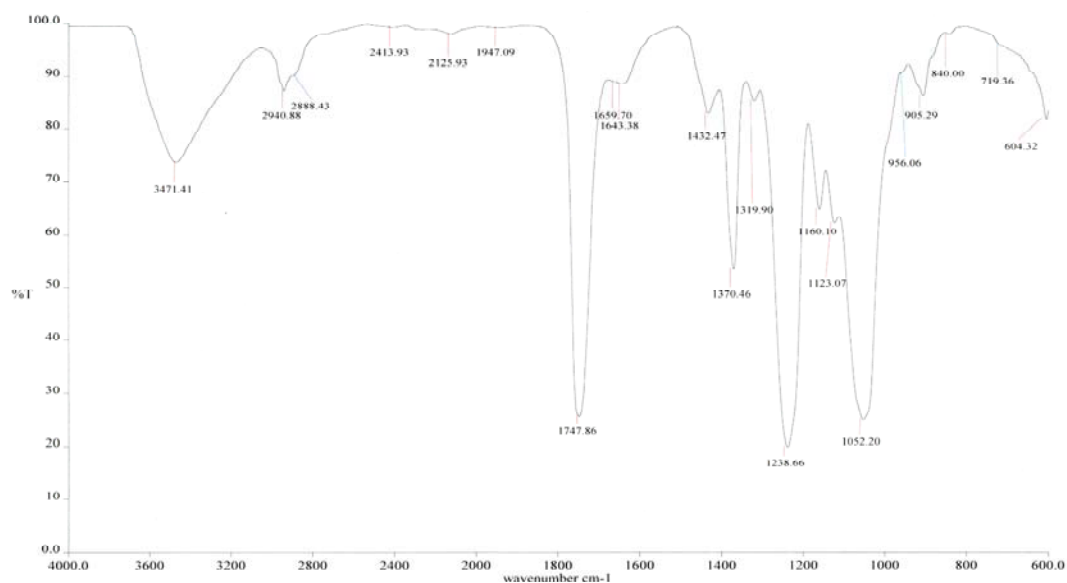


ภาพที่ 4.7 FT-IR สเปกตรัมของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 3%

ตารางที่ 4.5 หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 3%

หมู่ฟังก์ชัน	ช่วงตำแหน่งเลขคลื่น จากเอกสารอ้างอิง (cm ⁻¹)	ตำแหน่งของเลขคลื่น ของตัวอย่าง (cm ⁻¹)
- Hydroxy group, H-bonded O- H stretching	3570-3200 (broad band)	3480 (Broad band)
- Aliphatic C- H stretching	3000-2800	2940-2896
- C=O stretching of O=C-O	1750-1725	1746
- O-H scissoring bend	1680-1620 (broad band)	1668-1646 (broad band)
- CH ₂ scissoring bend, shifted	1450-1400	1432
- CH ₃ bending	1385-1350	1370
- O-H in - plane bending	1410-1310	1319
- C-O-stretching of O=C-O	1280-1200	1236
- Aliphatic C-O- stretching	1200-1000	1160-1048
- C-H out-of-plane bending	995-600	954- 604

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 4% ด้วยเทคนิค Micro-ATR พบว่าตัวอย่างดังกล่าวมีลักษณะสเปกตรัมและหมู่ฟังก์ชันทางเคมี ดังแสดงในภาพที่ 4.8 และตารางที่ 4.6

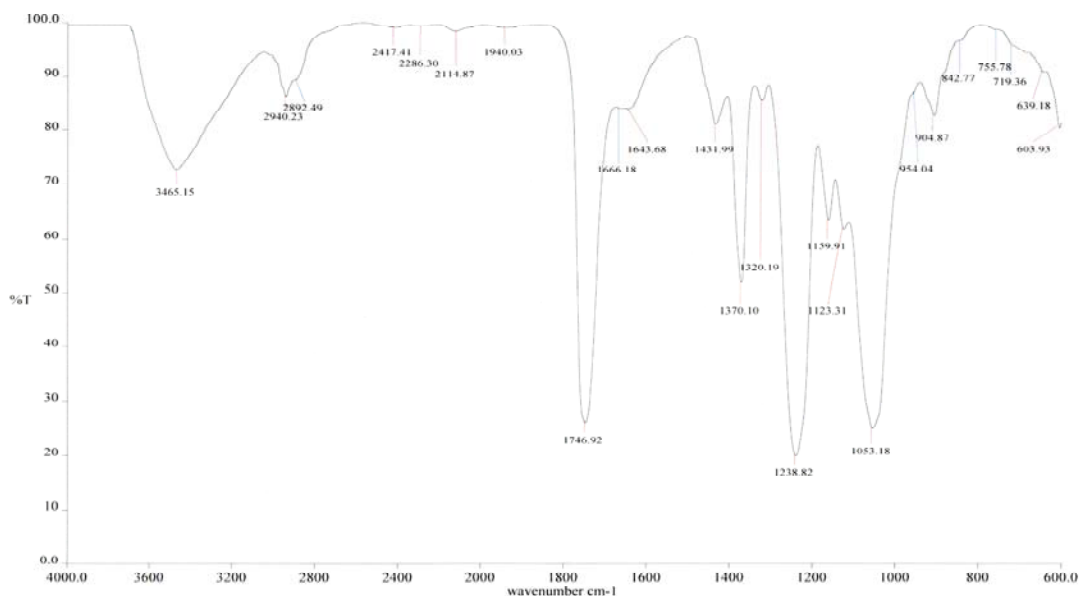


ภาพที่ 4.8 FT-IR สเปกตรัมของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 4%

ตารางที่ 4.6 หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 4%

หมู่ฟังก์ชัน	ช่วงตำแหน่งเลขคลื่น จากเอกสารอ้างอิง (cm ⁻¹)	ตำแหน่งของเลขคลื่น ของตัวอย่าง (cm ⁻¹)
- Hydroxy group, H-bonded O- H stretching	3570-3200 (broad band)	3471 (Broad band)
- Aliphatic C- H stretching	3000-2800	2940-2888
- C=O stretching of O=C-O	1750-1725	1747
- O-H scissoring bend	1680-1620 (broad band)	1659-1643 (broad band)
- CH ₂ scissoring bend, shifted	1450-1400	1432
- CH ₃ bending	1385-1350	1370
- O-H in - plane bending	1410-1310	1319
- C-O-stretching of O=C-O	1280-1200	1238
- Aliphatic C-O- stretching	1200-1000	1160-1052
- C-H out-of-plane bending	995-600	956-604

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 5% ด้วยเทคนิค Micro-ATR พบว่าตัวอย่างดังกล่าวมีลักษณะสเปกตรัมและหมู่ฟังก์ชันทางเคมี ดังแสดงในภาพที่ 4.9 และตารางที่ 4.7



ภาพที่ 4.9 FT-IR สเปกตรัมของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 5%

ตารางที่ 4.7 หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา 5%

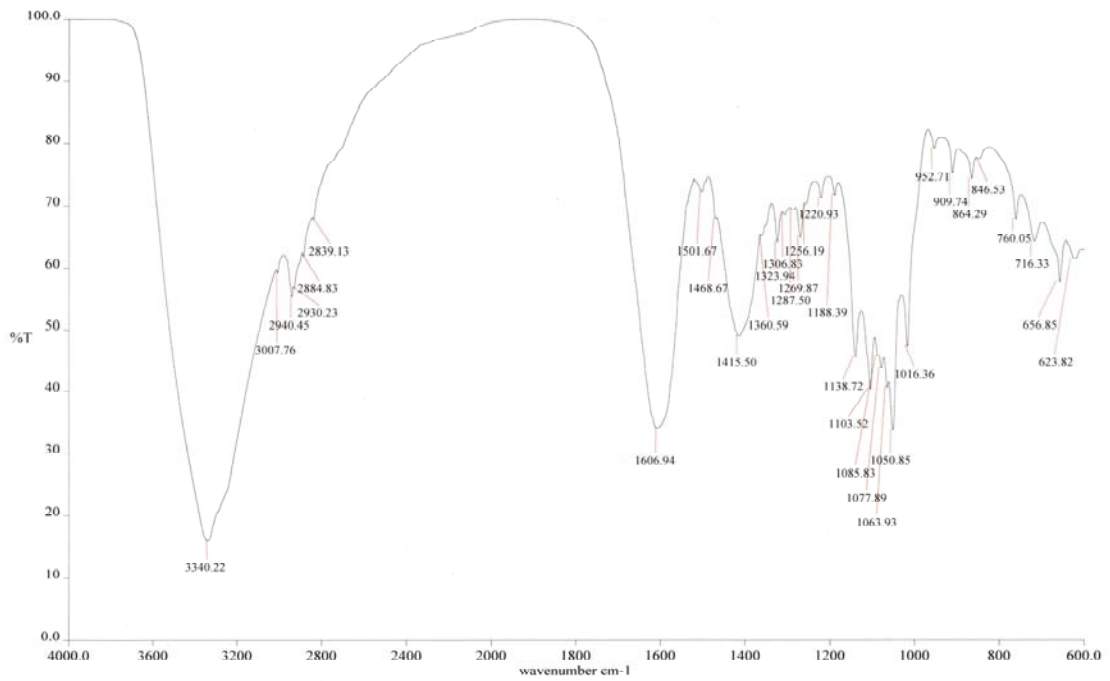
หมู่ฟังก์ชัน	ช่วงตำแหน่งเลขคลื่น จากเอกสารอ้างอิง (cm ⁻¹)	ตำแหน่งของเลขคลื่น ของตัวอย่าง (cm ⁻¹)
- Hydroxy group, H-bonded O- H stretching	3570-3200 (broad band)	3465 (Broad band)
- Aliphatic C- H stretching	3000-2800	2940-2892
- C=O stretching of O=C-O	1750-1725	1746
- O-H scissoring bend	1680-1620 (broad band)	1666-1643 (broad band)
- CH ₂ scissoring bend, shifted	1450-1400	1431
- CH ₃ bending	1385-1350	1370
- O-H in - plane bending	1410-1310	1320
- C-O-stretching of O=C-O	1280-1200	1238
- Aliphatic C-O- stretching	1200-1000	1159-1053
- C-H out-of-plane bending	995-600	954-603

จากการวิเคราะห์ตัวอย่างสารสกัดจากน้ำยางพารา ด้วยเทคนิค Micro-ATR พบว่าตัวอย่างดังกล่าวมีหมู่ฟังก์ชันและลักษณะสเปกตรัม ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.10

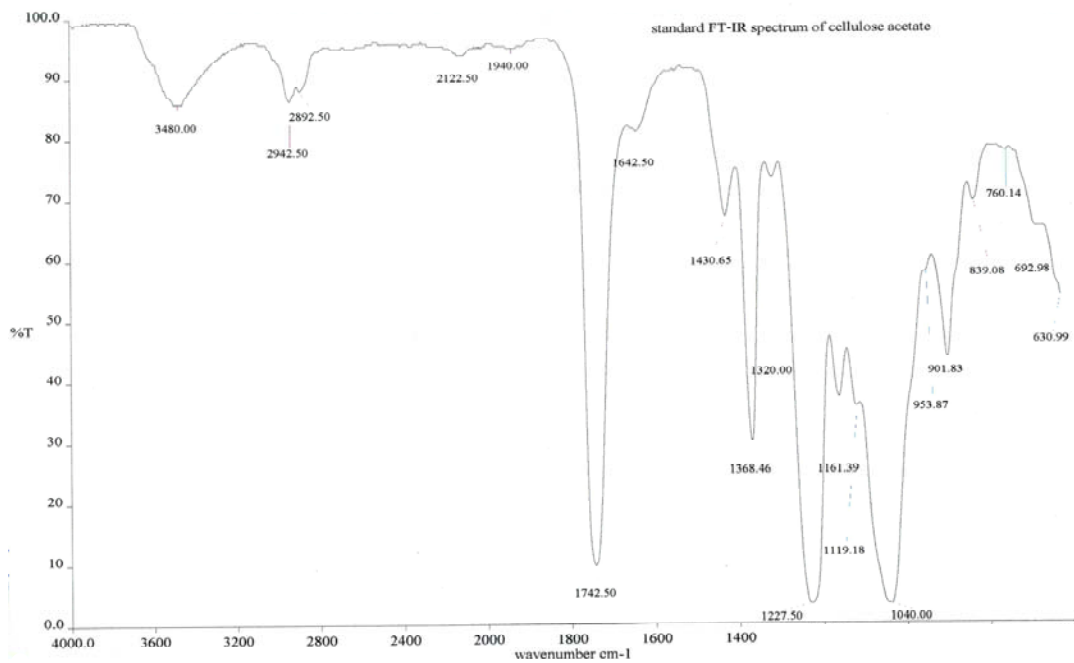
ตารางที่ 4.8 หมู่ฟังก์ชันทางเคมีของสารสกัดจากน้ำยางพารา

หมู่ฟังก์ชัน	ช่วงตำแหน่งเลขคลื่น จากเอกสารอ้างอิง (cm^{-1})	ตำแหน่งของเลขคลื่น ของตัวอย่าง (cm^{-1})
- Hydroxy group, H-bonded O- H stretching	3570-3200 (broad band)	3340 (Broad band)
- Unsaturated C- H stretching	3110-3000	3007
- Aliphatic C- H stretching	3000-2800	2940-2839
- Asymmetric stretching of carboxylate anion	1610-1530 (broad band)	1606 (broad band)
- Aromatic C=C stretching	1615-1450	1501
- CH_2 and CH_3 bending	1485-1445	1468
- Symmetric stretching of carboxylate anion	1420-1300 (broad band)	1415 (broad band)
- CH_3 bending	1385-1350	1360
- O-H in - plane bending	1410-1310	1323
- C-H in - plane bending	1310-1000	1306-1220
- Aliphatic C-O- stretching	1200-1000	1188-1016
- C-H out-of-plane bending	995-600	952-623

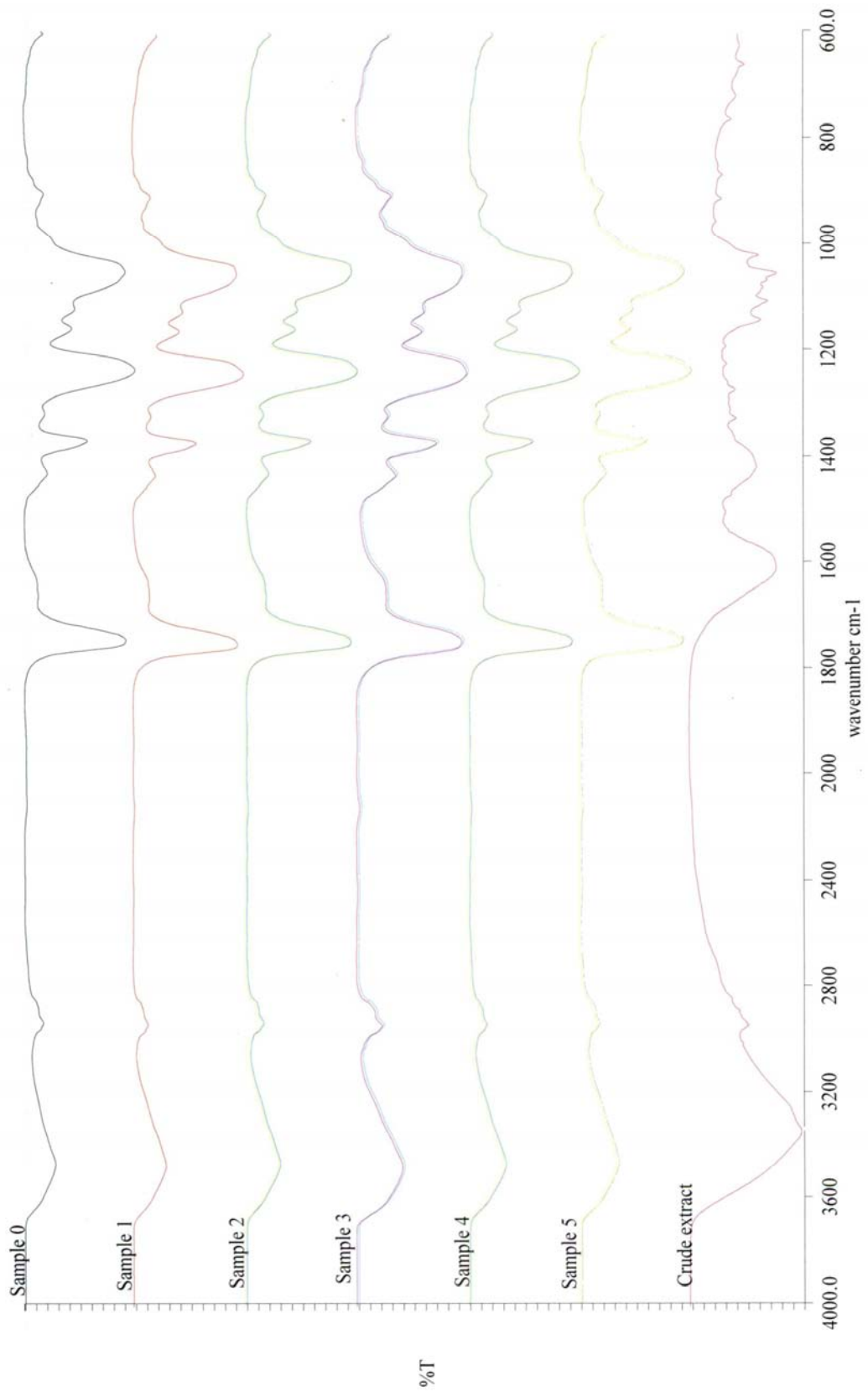
จากการเปรียบเทียบลักษณะ FT -IR สเปกตรัมของตัวอย่างแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดจากน้ำยางพารา กับสารมาตรฐานเซลลูโลสอะซิเตท (ภาพที่ 4.11) พบว่าแนวโน้มชนิดและองค์ประกอบหลักทางเคมีของตัวอย่างทั้งหมดคือ เซลลูโลสอะซิเตท โดยมีความเป็นไปได้ว่า องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากน้ำยางพาราจะหลอมรวมกับเซลลูโลสอะซิเตท สังเกตจากหมู่ฟังก์ชันที่ตำแหน่ง $3570\text{-}3200\text{ cm}^{-1}$ และเมื่อเปรียบเทียบ FT - IR สเปกตรัมของตัวอย่างทั้งหมดแบบ split display (ภาพที่ 4.12) และแบบ overlay (ภาพที่ 4.13) พบว่า FT-IR สเปกตรัมที่ตำแหน่ง $1610\text{-}1530\text{ cm}^{-1}$ ของสารสกัดยางพาราหายไป โดยพบว่าการเปลี่ยนแปลงของ FT-IR สเปกตรัมของแผ่นเส้นใยที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราที่ตำแหน่ง $1680\text{-}1620\text{ cm}^{-1}$



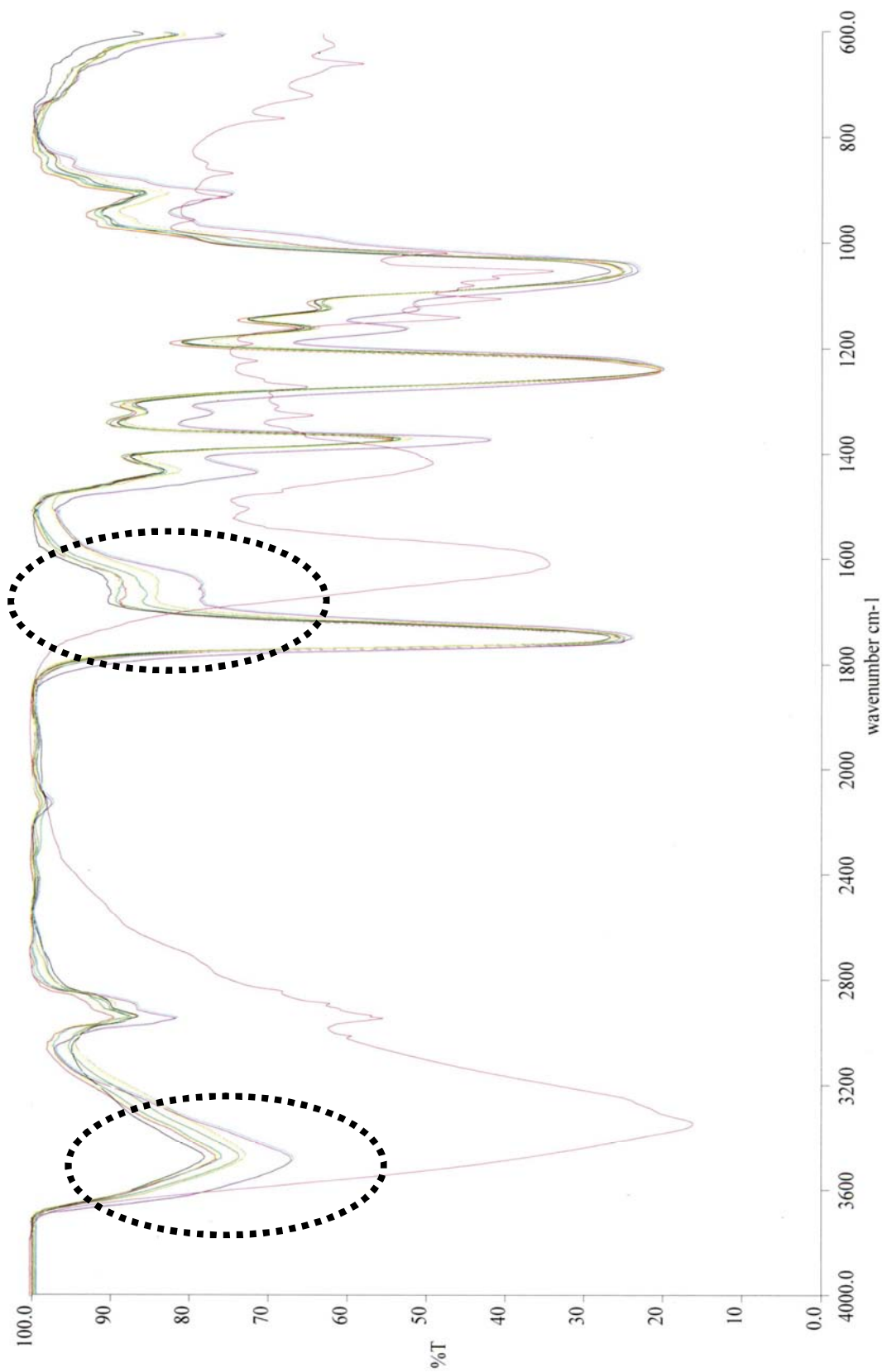
ภาพที่ 4.10 FT-IR สเปกตรัมของสารสกัดจากน้ำยางพารา



ภาพที่ 4.11 FT-IR สเปกตรัมของสารมาตรฐานเซลลูโลสอะซิเตท



ภาพที่ 4.12 เปรียบเทียบ FT - IR สเปกตรัมของตัวอย่างทั้งหมดแบบ split display



ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบ FT – IR สเปกตรัมของตัวอย่างทั้งหมดแบบ overlay

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ในการทดลองนี้สารสกัดหยาบจากน้ำยางพารา ได้ถูกนำมาผสมกับสารละลายพอลิเมอร์คือ เซลลูโลสอะซิเตท ที่มีความเข้มข้นของเซลลูโลสอะซิเตท 16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามปริมาตร ในตัวทำละลายผสมอะซิโตนและไดเมทิลอะเซตาไมด์อัตราส่วน 2:1 ปริมาตร/ปริมาตร โดยเปลี่ยนแปลง ปริมาณของสารสกัดหยาบจากน้ำยางพารา เป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และขึ้นรูปเป็นแผ่นเส้นใยด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ด้วยปริมาณศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับ สารละลายมีค่าคงที่เท่ากับ 20 กิโลโวลต์ และปรับระยะห่างปลายเข็มฉีดยาถูกลูกถ้วยรองรับเส้นใย เท่ากับ 15 เซนติเมตร แผ่นเส้นใยที่เตรียมได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเล็กระดับนาโนเมตร เมื่อวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตททั้งหมดที่ผสม และผสมสารสกัดหยาบจากน้ำยางพารา ปริมาณ ตั้งแต่ 1 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงระหว่าง 415 ถึง 585 นาโนเมตร นอกจากนี้แผ่นเส้นใยที่ผสมสารสกัดหยาบ จากน้ำยางพาราที่เตรียมได้ยังมีสีขาว ไม่มีกลิ่นของสารสกัดจากน้ำยางพารา ทำให้ช่วยแก้ปัญหาเรื่องกลิ่น และสีของสารสกัดหยาบจากน้ำยางพาราลงได้ ทำให้ระบบการกักเก็บสารสกัดหยาบจากน้ำยางพารา ด้วยการปั่นให้เป็นเส้นใย ด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงของงานวิจัยนี้ มีความน่าสนใจในด้านการนำไป ประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์และทางเครื่องสำอางต่อไป

อภิปรายผล

กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (electrospinning หรือ electrostatic spinning) เป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถผลิตเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กมาก (ultra-fibers) ถึง ระดับนาโนเมตรหรือที่เรียกกันว่า นาโนไฟเบอร์ (nanofibers) ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการ ปั่นเส้นใยแบบอื่นๆ ที่สามารถผลิตเส้นใยที่มีความละเอียดสูง กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต จะมีความซับซ้อนน้อยกว่า ใช้อุปกรณ์ในการผลิตที่ง่ายและมีราคาที่ไม่สูงมาก และใช้ปริมาณของ พอลิเมอร์ที่นำมาปั่นเส้นใยในปริมาณที่น้อย ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นเส้นใยที่ไม่ได้ทอ (non-woven fabric) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้โดยตรง สมบัติของนาโนไฟเบอร์ที่ปั่นได้จาก กระบวนการนี้จะมีอัตราส่วนของความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยสูง มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิว ต่อปริมาตรของเส้นใยสูง และแผ่นผ้าที่ได้มีลักษณะเหมือนเป็นแผ่นเยื่อ (membrane) ที่มีรูพรุน

ขนาดเล็กระดับไมโครเมตร (microporous) มีความเป็นรูพรุนสูง (high porosity) และมีน้ำหนักเบา จากข้อดีดังกล่าวนาโนไฟเบอร์จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างมากมาย ได้แก่ ใช้เป็นวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์ (เช่น วัสดุตกแต่งแผล วัสดุควบคุมการปลดปล่อยยา เป็นต้น) ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์โดยควบคุมการปลดปล่อยยาฆ่าแมลงให้แก่พืช สามารถนำมาผลิตเป็นเสื้อผ้าที่ป้องกันสารเคมีหรือจุลินทรีย์ได้ (เช่น ชุดที่ใช้ในห้องผ่าตัด ชุดทหารที่ต้องการป้องกันสารเคมี เป็นต้น) ใช้เป็นเส้นใยเสริมกำลัง (reinforcing fibers) ในวัสดุคอมโพสิตทำให้ได้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงสูง และใช้ผลิตเป็นวัสดุกรองสำหรับแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็กออก เป็นต้น

จากผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้เพื่อเตรียมแผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์สเปนเซลลูโลสอะซิเตทที่ประกอบด้วยสารสกัดจากน้ำยางพารา พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตมีลักษณะเป็นแผ่นเส้นใยที่ไม่ได้ทอซึ่งเกิดจากการซ้อนทับกันของเส้นใยขนาดเล็ก ช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นใยจึงมีขนาดเล็กโดยที่ขนาดของช่องรูพรุนเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ได้ และระยะเวลาของการปั่นเส้นใย (จำนวนชั้นของเส้นใยที่ซ้อนทับกัน) ฉะนั้นแผ่นเส้นใยที่ได้จึงมีรูพรุนที่มีขนาดเล็กมาก และสามารถควบคุมได้โดยการเลือกใช้พอลิเมอร์ตั้งต้นและตัวแปรกระบวนการที่เหมาะสม กลไกการเกิดเส้นใยสำหรับกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตในงานวิจัยนี้ ใช้เทคนิควิธีเดียวกับงานวิจัยของ ชิดชนก มีใจชื่อ และนวลฉวี เวชประสิทธิ์ (2553) โดยอธิบายได้ว่า เริ่มจากการใช้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงให้แก่พอลิเมอร์หลอมเหลวหรือสารละลายพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้หยดของสารละลายพอลิเมอร์ที่บริเวณปลายเข็มฉีดยา ซึ่งมีลักษณะเป็นครึ่งทรงกลมเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นลักษณะทรงกรวย ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการผลึกกันของประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้น รูปทรงกรวยนี้เรียกว่ากรวยของเทย์เลอร์ (Taylor's cone) เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าขึ้นไปอีก ส่วนยอดโคนจะมีการสะสมของประจุเพิ่มมากขึ้น ทำให้แรงผลึกกันของประจุเพิ่มขึ้นนี้มากกว่าแรงตึงผิวของพอลิเมอร์หลอมเหลวหรือสารละลายพอลิเมอร์ ทำให้เกิดกระแส (jet) ของพอลิเมอร์หลอมเหลวหรือสารละลายพอลิเมอร์พุ่งออกไปยังอุปกรณ์รองรับ แนวการเคลื่อนที่ของกระแสพอลิเมอร์นี้จะเป็นเส้นตรงในช่วงแรก ระยะที่เป็นตรงนี้จะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนระหว่างศักย์ไฟฟ้าต่อระยะทางจากปลายเข็มฉีดยาถึงอุปกรณ์รองรับ หรือ ค่าสนามไฟฟ้า หลังจากระยะที่เป็นเส้นตรงนี้ ปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นจากประจุไฟฟ้าสถิตที่อยู่ภายในกระแสพอลิเมอร์และแนวสนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแนวการเคลื่อนตัวของกระแสพอลิเมอร์และแนวสนามไฟฟ้า จะทำให้เกิดแนวการเคลื่อนตัวของกระแสพอลิเมอร์ที่ไม่เสถียร ทำให้เกิดการเคลื่อนที่คล้ายกับการสะบัดตัวคล้ายส้อม โดยการสะบัดตัว (bending instability) ของกระแสพอลิเมอร์นี้จะมีลักษณะการสะบัดเป็นสามมิติ โดยมีจุดกลางการสะบัดอยู่ที่จุดของการเคลื่อนที่ของกระแสพอลิเมอร์ที่เป็นเส้นตรง โดยที่แนวของการสะบัดจะมีลักษณะเป็นทรงกรวย ในขณะที่กระแสพอลิเมอร์เคลื่อนที่จากปลายเข็มฉีดยาไปยังอุปกรณ์รองรับ ขนาดความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของกระแสพอลิเมอร์จะเล็กลงเรื่อยๆ ซึ่ง

เกิดจากแรงที่เกิดขึ้น เนื่องมาจากการผลักรันของประจุกระแสไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้น และจากแรงที่เกิดจากการสับตัดตัว ในขณะที่เคลื่อนตัวไปยังอุปกรณ์รองรับ กระแสพอลิเมอร์จะแข็งตัวกลายเป็นเส้นใยได้โดยการเย็นตัวลง สำหรับกรณีการปั่นเส้นใยจากพอลิเมอร์หลอมเหลว หรือโดยการระเหยของตัวทำละลายกรณีการปั่นเส้นใยจากสารละลายพอลิเมอร์

แผ่นเส้นใยที่ผลิตได้ในงานวิจัยนี้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดหยาบจากน้ำยางพารา มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 415 ถึง 585 นาโนเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่ได้ปั่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทด้วยไฟฟ้าสถิต พบว่าอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน เช่น ชิดชนก และ นวลฉวี (2553) รายงานว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ได้จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตที่ไม่ผสมและผสมสารสกัดหยาบมะขามป้อม มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 368 ถึง 509 นาโนเมตร Taepaiboon และคณะ (2007) พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ไม่ผสมและผสมวิตามินมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 247 ถึง 265 นาโนเมตร Tungprapa และคณะ (2007) รายงานไว้ว่าเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ได้จากการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตที่ไม่ผสมและผสมยาชนิดต่างๆ มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 231 ถึง 297 นาโนเมตร ส่วน Suwantong และคณะ (2007) ได้ผสมเคอร์คิวมิน (curcumin) ในสารละลายเซลลูโลสอะซิเตทและปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตเช่นเดียวกัน พบว่าเส้นใยทั้งที่ไม่ผสมและผสมเคอร์คิวมิน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงระหว่าง 301 ถึง 340 นาโนเมตร นอกจากนี้ Suwantong และคณะ (2008) ได้ปั่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสม asiaticoside และ สารสกัด *Centella asiatica* พบว่าเส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 485 ถึง 545 นาโนเมตร ตามลำดับ ส่วนเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทไม่ผสมสารดังกล่าว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 301 นาโนเมตร จากรายงานผลการวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดรวมถึงผลงานวิจัยในครั้งนี้ พบว่าเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตมีผิวเรียบ และไม่เกิดการแยกตัวของสารชนิดต่างๆ ที่ผสมโดยสังเกตได้จากผิวของเส้นใย

นอกจากนี้จากผลการวิจัยเพื่อศึกษาระบบตัวทำละลายที่เหมาะสมในการเตรียมแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตท พบว่าตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนและไดเมทิลอะเซตาไมด์เหมาะสมที่สุดในการเตรียมแผ่นเส้นใยเซลลูโลสอะซิเตทที่ผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวทำละลายเดียวในการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ โดยความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์อะซิเตทในตัวทำละลายผสมดังกล่าวคือ 16% และให้ค่าความหนืดที่เหมาะสม ซึ่งสอดคล้องกับรายงานผลการวิจัยของ Liu, & Hsieh (2002) และ Supaphol, Mit-uppatham, & Nithitanakul (2005) เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสารละลายพอลิเมอร์ในระบบของตัวทำละลายที่แตกต่างกันจะส่งผลทำให้สมบัติของสารละลายพอลิเมอร์มีค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ลักษณะและขนาดของเส้นใยที่ปั่นได้จากกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตนี้เปลี่ยนแปลงไป

ในผลงานวิจัยนี้เมื่อผสมสารสกัดจากน้ำยางพาราที่ 4 และ 5% โดยน้ำหนัก พบว่าแผ่นเส้นใยที่เตรียมได้มีลักษณะบางลงและมีเม็ดปมเกิดขึ้น เม็ดปมที่เกิดขึ้นเป็นผลโดยตรงจากค่าความหนืดของสารละลายที่ไม่สูงพอ ทำให้ค่าแรงดึงผิวเอาชนะแรงทางไฟฟ้าและแรงหนืดได้ การเกิดเม็ดปมบนเส้นใยเป็นปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้สำหรับการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจากสารละลายพอลิเมอร์ โดยทั่วไปแล้วพอลิเมอร์ตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจะเริ่มจากสารละลายพอลิเมอร์ ซึ่งในกรณีนี้ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของพอลิเมอร์ในสารละลายเพิ่ม หากค่าความหนืดมีค่าต่ำจะเกิดเป็นเพียงหยดของสารละลายพอลิเมอร์แต่ยังไม่เกิดเป็นเส้นใย เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นจะเกิดเป็นเส้นใยและอาจมีเม็ดปม (bead) บนเส้นใยเกิดขึ้นด้วย หากค่าความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์มีค่าสูงมากพอจะไม่เกิดเม็ดปมบนเส้นใย และค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นนี้ จะทำให้เส้นใยที่ปั่นได้มีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น ดังที่ ชิดชนก มีใจชื้อ และนวลฉวี เวชประสิทธิ์ (2553) ได้รายงานไว้ว่าเมื่อสารละลายพอลิเมอร์มีค่าความหนืดสูงมากพอ การเกิดเม็ดปมก็จะลดลง ซึ่งการลดแรงดึงผิวของสารละลายสามารถทำได้โดยการเติมตัวทำละลายหรือสารเคมีอื่นเข้าไปในระบบ ก็อาจทำให้ปริมาณของเม็ดปมที่เกิดขึ้นลดลงได้ นอกจากนี้การเติมเกลือที่สามารถแตกตัวเป็นประจุอิสระได้ในพอลิเมอร์ตั้งต้น ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดปัญหาการเกิดเม็ดปมบนเส้นใย ทั้งนี้ประจุอิสระที่เกิดขึ้นจะทำให้แรงผลักระหว่างประจุมีค่ามากกว่าแรงดึงผิว ทำให้เกิดปมได้ยากขึ้น นอกจากนี้ยังมีรายงานการวิจัยที่สอดคล้องกันว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญมากต่อการกำหนดขนาดของเส้นใย คือ ค่าความหนืดของพอลิเมอร์ตั้งต้น (ไม่ว่าจะอยู่ในรูปของพอลิเมอร์หรือสารละลายพอลิเมอร์) ซึ่งความหนืดนี้มีปฏิสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้น (เฉพาะในกรณีที่พอลิเมอร์ตั้งต้นเป็นสารละลายพอลิเมอร์) น้ำหนักโมเลกุล และอุณหภูมิของพอลิเมอร์ตั้งต้น (Mit-uppatham, Supaphol, & Nithitanakul, 2004; Sutasinpromprae, Jitjacham, Nithitanakul, Mecchaisue, & Supaphol, 2006; Mecchaisue, Dubin, Supaphol, Hoven & Kohn, 2006)

ผลการวิจัยในครั้งนี้สอดคล้องกับรายงานของ ชิดชนก มีใจชื้อ และนวลฉวี เวชประสิทธิ์ (2553) นั่นคือปัจจัยที่สำคัญของกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ที่มีผลต่อขนาดและลักษณะของเส้นใย ทั้งนี้เพื่อที่จะสามารถผลิตเส้นใยที่มีขนาดเล็กมากตามความต้องการ มีขนาดและรูปร่างที่คงที่ และสามารถนำนาโนไฟเบอร์ที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์ได้นั้น อาจแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่

1. สมบัติของพอลิเมอร์หลอมเหลวหรือสารละลายพอลิเมอร์ เช่น ความหนืด แรงดึงผิว ค่าการนำไฟฟ้า เป็นต้น
2. การปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรของกระบวนการ เช่น ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ ระยะทางระหว่างปลายเข็มฉีดยาและอุปกรณ์รองรับ อัตราการไหลของพอลิเมอร์ตั้งต้น เป็นต้น
3. สภาพบรรยากาศโดยรอบ เช่น อุณหภูมิของพอลิเมอร์ตั้งต้น ความชื้น ความดัน ชนิดและความเข้มข้นของประจุอิสระในบรรยากาศโดยรอบ สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กภายนอก เป็นต้น

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

จากปัญหาการเกิดเม็ดปมบนเส้นใย ซึ่งเป็นปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้สำหรับการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจากสารละลายพอลิเมอร์ เมื่อสารละลายพอลิเมอร์มีค่าความหนืดสูงมากพอ การเกิดเม็ดปมก็จะลดลง ดังนั้นการนำผลการวิจัยไปใช้เพื่อเตรียมแผ่นเส้นใยในลักษณะนี้ ควรมีการศึกษาเพื่อปรับค่าความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ให้เหมาะสมก่อนนำไปผ่านกระบวนการเตรียมเส้นใย เช่น การลดแรงตึงผิวของสารละลายโดยการเติมตัวทำละลายหรือสารเคมีอื่นเข้าไปในระบบ

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ได้แก่
 - สมบัติของพอลิเมอร์หลอมเหลวหรือสารละลายพอลิเมอร์ เช่น ความหนืด แรงตึงผิว ค่าการนำไฟฟ้า เป็นต้น
 - การปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรของกระบวนการ เช่น ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ ระยะทางระหว่างปลายเข็มฉีดยาและอุปกรณ์รองรับ อัตราการไหลของพอลิเมอร์ตั้งต้น ระยะเวลาที่ใช้ในการขึ้นแผ่นเส้นใย เป็นต้น
 - การปรับสภาพบรรยากาศ เช่น อุณหภูมิของพอลิเมอร์ตั้งต้น ความชื้น ความดัน ชนิดและความเข้มข้นของประจุอิสระในบรรยากาศโดยรอบ สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กภายนอก เป็นต้น
2. ศึกษาประสิทธิภาพและฤทธิ์ทางชีวภาพ หรือสรรพคุณต่อผิวพรรณ ของแผ่นเส้นใยที่ผสมสารสกัดหยาบจากน้ำยางพารา
3. ศึกษาการเตรียมแผ่นเส้นใยที่ผสมสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่ช่วยกระตุ้นการเข้ากันได้กับเซลล์ (bioactive agents) รวมทั้งยาชนิดต่างๆ (เช่น ยาต้านเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น) และการควบคุมปลดปล่อยสารเหล่านั้น เพื่อให้แผ่นเส้นใยมีประสิทธิภาพการใช้งานที่หลากหลายยิ่งขึ้น
4. ศึกษาชนิดของพอลิเมอร์อื่นๆ ที่เป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติเพื่อนำมาใช้ในการผลิตเป็นแผ่นเส้นใยจากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เช่น โปรตีนไหมไฟโบรอิน คอลลาเจน วัสดุประกอบของคอลลาเจนและไคโตซาน เป็นต้น

บรรณานุกรม

- ชิดชนก มีใจชื้อ และนวลฉวี เวชประสิทธิ์. (2553). *การพัฒนาเส้นใยพอลิเมอร์ระดับนาโนจาก การปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตที่ประกอบด้วยสารสกัดหยาบมะขามป้อมในการต้านเชื้อแบคทีเรีย*. วารสารวิจัยรามคำแหง (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2553.
- ผู้จัดการออนไลน์. 2552. *ม.อ. เพิ่มคุณค่ายางพารา พัฒนาพืชอุตสาหกรรมสู่ผลิตภัณฑ์แห่งความงาม*, สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน, 2556, จาก <http://www.manager.co.th/Campus/ViewNews.aspx?NewsID=9520000029835&TabID=3&>>; 2552
- พิสิทธ์ราชมงคล, ม.ป.ป. *บทความวิทยาศาสตร์: ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)*. สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน, 2556, จาก http://www.electron.rmutphysics.com/science-news/index.php?option=com_content&task=view&id=141&Itemid=4
- วิชุดา จันทร์ข้างแรม. 2556. *โปรตีนในน้ำยางพารา*. *KKU Res. J.* 2013; 18(6): 996-1002.
- วิภาวี พัฒนกุล. 2554. *ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์*. งานนิทรรศการพืชสวน กลุ่มอุตสาหกรรม ยาง สถาบันวิจัยยาง เชียงใหม่.
- ศูนย์วิจัยนาโนเทคโนโลยีบูรณาการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ม.ป.ป. *สารละลายเกี่ยวกับ Electrospinning*. สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน, 2556, จาก <http://nano.kku.ac.th/ssmg/?q=node/35>
- Alenius H, Turjanmaa K and Palosuo T. *Natural rubber latex allergy*. *Occup Environ Med.* 2002; 59: 419-424.
- Anonymous. 2006. *Cellulose acetate*. Retrieved June 15, 2014, from http://en.wikipedia.org/wiki/Cellulose_acetate
- Han D., Gouma P. I. *Electrospun bioscaffolds that mimic the topology of extracellular matrix*. *Nanomedicine.* 2(2006): 37-41.
- Illangakoon, U Eranka. and et al. *Fast dissolving paracetamol/caffeine nanofibers prepared by electrospinning*. *International Journal of Pharmaceutics.* 477(2014): 369-379.
- Jacob J. L., d'Auzac J., Prevôt J. C. *The composition of natural latex from Hevea brasiliensis*. *Clin Rev Allergy.* 11(1993): 325-337.
- Kendouli S., Khalfallah O., Sobti N., Bensouissi A., Avci A., Eskizeybek V., Achour S. *Modification of cellulose acetate nanofibers with PVP/Ag addition*. *Materials Science in Semiconductor Processing.* 28(2014): 13-19.

- Kenawy el-R., Bowlin G. L., Mansfield K., Layman J., Simpson D. G., Sanders E. H., Wnek G. E. *Release of tetracycline hydrochloride from electrospun poly(ethylene-co-vinylacetate), poly(lactic acid), and a blend*. J Control Release. 81(2002): 57-64.
- Liengprayoon S., Sriroth K., Dubreucq E., Vaysse L. *Glycolipid composition of Hevea brasiliensis latex*. Phytochemistry. 72 (2011): 1902-1913.
- Liu H., Hsieh Y. L. *Ultrafine fibrous cellulose membranes from electrospinning of cellulose acetate*. J Polymer Science - Polymer Physics. 40(2002): 2119-2129.
- Ma Z., Kotaki M., Ramakrishna S. *Electrospun cellulose nanofiber as affinity membrane*, J. Membrane Sci. 265(2005): 115-123.
- Min B. M., Lee G., Kim S. H., Nam Y. S., Lee T. S., Park W. H. *Electrospinning of silk fibroin nanofibers and its effect on the adhesion and spreading of normal human keratinocytes and fibroblasts in vitro*. Biomaterials. 25(2004): 1289-1297.
- Ni, Q.Q. and et al. *7 – Electrospinning, processing and characterization of polymer-based nano-composite fibers*. Advances in Filament Yarn Spinning of Textiles and Polymers. (2014): 128–148.
- Noh H. K, Lee S. W., Kim J. M., Oh J. E., Kim K. H., Chung C. P., Choi S. C., Park W. H, Min B. M. *Electrospinning of chitin nanofibers: degradation behavior and cellular response to normal human keratinocytes and fibroblasts*. Biomaterials. 27(2006): 3934-3944.
- Payab, S. and et al. *Preparation and physicochemical characterization of the azithromycin-Eudragit RS100 nanobeads and nanofibers using electrospinning method*. Journal of Drug Delivery Science and Technology. 24(2014): 585–590.
- Rocktotpal Konwarh, Niranjana Karak, Manjusri Misra. *Electrospun cellulose acetate nanofibers: The present status and gamut of biotechnological applications*. Biotechnology Advances. 31(2013): 421-437.
- Salas, Carlos. and et al. *Synthesis of soy protein–lignin nanofibers by solution electrospinning*. Reactive and Functional Polymers. 85(2014): 221–227.

- Sansatsadeekul J., Sakdapipanich J., Rojruthai P. *Characterization of associated proteins and phospholipids in natural rubber latex*. J Biosci Bioeng. 111(2011): 628-634.
- School of chemical and biomolecular engineering, Cornell university. 2011. *Formation of Nanofibers via Electrospinning*. Retrieved June 15, 2014, from <http://www.joogroup.org/index.php/research/nanofibers>
- Son W. K., Youk, J. H., Park W. H. *Antimicrobial cellulose acetate nanofibers containing silver nanoparticles*. Carbohydrate Polymers. 65(2006): 430-434.
- Sombatmankhong K., Sanchavanakit N., Pavasant P., and Supaphol P. *Bone scaffolds from electrospun fiber mats of poly(3-hydroxybutyrate), poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate), and their blend*. Polymer. 48(2007): 1419-1427.
- Steffen Fischer, and et al. *Properties and Applications of Cellulose Acetate*. Macromol. Symp. 2008, 262, 89–96.
- Suwantong O., Opanasopit P., Ruktanonchai U., Supaphol P. *Electrospun cellulose acetate fiber mats containing curcumin and release characteristic of the herbal substance*. Polymer. 48 (2007): 7546-7557.
- Suwantong O., Waleetorncheepsawat S., Sanchavanakit N., Pavasant P., Cheepsunthorn P., Bunaprasert T., Supaphol P. *In vitro biocompatibility of electrospun poly(3-hydroxybutyrate) and poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) fiber mats*. Int J Biol Macromol. 40(2007): 217-223.
- Taepaiboon P., Rungsardthong U., Supaphol P. *Vitamin-loaded electrospun cellulose acetate nanofiber mats as transdermal and dermal therapeutic agents of vitamin A acid and vitamin E*. Eur J Pharm Biopharm. 67(2007): 387-397.
- Tunprapa S., and et al. *Electrospun cellulose acetate fibers: effect of solvent system on morphology and fiber diameter*. Cellulose. (2007) 14:563–575.
- Tunprapa S., Jangchud I., Supaphol P. *Release characteristics of four model drugs from drug-loaded electrospun cellulose acetate fiber mats*. Polymer. 48(2007): 5030-5041.

- Wang Y., Yang Q., Shan G., Wang C., Du J., Wang S., Li Y., Chen X., Jing X., Wei Y.
Preparation of silver nanoparticles dispersed in polyacrylonitrile nanofiber film spun by electrospinning. Materials Letters. 59(2005): 3046-3049.
- Wongsasulak S., and et al. *Electrospinning of food-grade nanofibers from cellulose acetate and egg albumen blends.* Journal of Food Engineering, Volume 98, Issue 3, June 2010, Pages 370-376.
- Xu X., Yang Q., Wang Y., Yu H., Chen X., Jing X. *Biodegradable electrospun poly(L-lactide) fibers containing antibacterial silver nanoparticles.* Eur Polymer Journal. 42(2006): 2081-2087.
- Yoshimoto H., Shin Y. M., Terai H., Vacanti J. P. *A biodegradable nanofiber scaffold by electrospinning and its potential for bone tissue engineering.* Biomaterials. 24(2003): 2077-2082.
- Zeng J., Xu X., Chen X., Liang Q., Bian X., Yang L., Jing X. *Biodegradable electrospun fibers for drug delivery.* J Control Release. 92(2003): 227-231.

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวณัฐกฤตา สุวรรณทิพย์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต เทคโนโลยีชีวภาพ (เกียรตินิยมอันดับ 2) มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พ.ศ. 2536 ระดับปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต เทคโนโลยีชีวภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2542 และปริญญาเอก วิทยาศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต เทคโนโลยีชีวภาพ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2554 ประสบการณ์การทำงาน พ.ศ. 2536 นักวิจัย คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี พ.ศ. 2536-39 นักเคมีวิเคราะห์ บริษัทไบเออร์แลบอราทอรีส์ (ประเทศไทย) จำกัด และ พ.ศ. 2542 อาจารย์ประจำหลักสูตรชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต ผลงานทางวิชาการที่ตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารระดับนานาชาติ ได้แก่ 1) Curcumin Encapsulation Using Biodegradable Polymeric Nanoparticles: Controlled Release, Photostability and Transdermal Skin Penetration; European Cells and Materials, 20(2010) 2) Mucoadhesive curcumin nanospheres: Biological activity, adhesion to stomach mucosa and release of curcumin into the circulation; Journal of Controlled Release, 151(2011) 3) Encapsulated curcumin results in prolonged curcumin activity in vitro and radical scavenging activity ex vivo on skin after UVB-irradiation; European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 82(2012) 4) Comparison of two encapsulated curcumin particular systems contained in different formulations with regard to in vitro skin penetration; Skin Research and Technology, 19(2013) และการเสนอผลงานทางวิชาการ ได้แก่ 1) Curcumin Encapsulation Using Biodegradable Polymeric Nanoparticles: Controlled Release, Photostability and Transdermal Skin Penetration, the Third International NanoBio Conference Zurich 2010, 24-27 August, 2010 ETH Zurich, Switzerland 2) Nanoparticles as Carrier Systems for Topical Drug Delivery: Perspectives and Safety Aspects, 14th Asian Chemical Congress (14ACC), 5-8 September 2011 Bangkok, Thailand ทุนการศึกษาที่ได้รับ โครงการเครือข่ายเชิงกลยุทธ์ เพื่อการผลิตและพัฒนาอาจารย์ในสถาบันอุดมศึกษา ปี พ.ศ. 2549 (sandwich program) จากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และจาก Experimental and Applied Cutaneous Physiology, Clinic of Dermatology, Venerology and Allergology, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน อาจารย์ประจำ สังกัดคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต