

การศึกษาเส้นใยเดกซ์แทรนขนาดเล็กด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง



นางสาวยุพา แซ่เจ็ง
นางสาวเขาวพร ไทยยิ่ง
นางสาววทันตา ฤทธิเจริญ

รพ.
31417
2547

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 62138
วัน,เดือน,ปี 31 ก.ค. 2549

b. 11610101
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study of Ultrafine Dextran Fibers by Electrospinning Technique



Miss Yupa Saejeng
Miss Yaowaporn Thaiying
Miss Watadta Ritcharoen

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาเส้นใยเดกซ์แทรนขนาดเล็กด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง
นักศึกษา นางสาวยุพา แซ่เจ็ง
 นางสาวเยาวพร ไทยยิ่ง
 นางสาวรชิตตา ฤทธิ์เจริญ
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. อธิพิล แจ่มชัด
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผศ.ดร. พิชญ์ ศุภผล
 ดร. รัฐพล รังกุพันธ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.ดร. ปุณณมา ศิริพันธ์โนน	
กรรมการ ผศ.ดร. ภัทรารุช มนต์วิเศษ	
กรรมการ รศ.ดร. อธิพิล แจ่มชัด	



(ผศ.ดร. ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	การศึกษาเส้นใยเดกซ์แทรนขนาดเล็กด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง	
นักศึกษา	นางสาวยุพา แซ่เจ็ง	44050115
	นางสาวเยาวพร ไทยยิ่ง	44050116
	นางสาววทันตา ฤทธิ์เจริญ	44050118
ภาควิชา	เคมี	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2547	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร. อิทธิพล แจ่มชัด	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.ดร. พิชญ์ ศุภผล	
	ดร. รัฐพล รังกุลพันธุ์	

บทคัดย่อ

เส้นใยนาโน (Nanofibers) และเส้นใยขนาดเล็ก (Ultrafine fibers) เป็นที่ได้รับความสนใจในการผลิตเส้นใย เนื่องจากมีข้อดีที่เส้นใยปกติคือ มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย ในงานวิจัยนี้ นำเดกซ์แทรน เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่ง เป็นพืชต่ำ และย่อยสลายได้เอง มาปั่นเป็นเส้นใย ด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต หรืออิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) โดยเตรียมสารละลายเดกซ์แทรนในน้ำ เข้มข้น 0.7 ถึง 1.3 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยให้ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 เซนติเมตร และอัตราการไหล 0.25 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า เมื่อความเข้มข้นหรือความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น เส้นใยที่ได้จะมีปมหรือเม็ด (Bead) ลดลง และเส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อสารละลายเดกซ์แทรนเข้มข้น 0.7 ถึง 1.0 กรัมต่อมิลลิลิตร เส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตร อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากกว่า 1.1 กรัมต่อมิลลิลิตร เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้นระดับไมโครเมตร เมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้กับระบบ เส้นใยจะมีขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นได้ทำการปรับปรุงสมบัติความต้านทานการละลายน้ำ โดยการเชื่อมโยงเส้นใยเดกซ์แทรนให้มีโครงสร้างร่างแหสามมิติ โดยใช้สารละลายผสมเดกซ์แทรนในน้ำ กลูตาไรลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมโยง และแมกนีเซียมคลอไรด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา นำมาปั่นเป็นเส้นใยและให้ความร้อนในการเชื่อมโยงที่ อุณหภูมิ 70 ถึง 90 องศาเซลเซียส และเวลา 3 ถึง 48 ชั่วโมง พบว่าเมื่ออุณหภูมิและเวลาในการเชื่อมโยงสูงขึ้นเส้นใยจะบวมน้ำและละลายน้ำลดลง ซึ่งอุณหภูมิและเวลาในการเชื่อมโยงที่เหมาะสมคือ 90 องศาเซลเซียส และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ และผลจากการใส่แมกนีเซียมคลอไรด์ทำให้เส้นใยที่ได้มีขนาดเล็กลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Study of Ultrafine Dextran Fibers by Electrospinning	
	Technique	
Name	Miss Yupa Saejeng	44050115
	Miss Yaowaporn Thaiying	44050116
	Miss Watadta Ritcharoen	44050118
Department	Chemistry	
Program	Industrial Chemistry	
Academic Year	2004	
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud	
Special Project Co-advisor	Assist.Prof.Dr. Pitt Supaphol	
	Dr. Rattapol Rungkupan	

ABSTRACT

Recently, nanofibers and other ultrafine fibers have drawn much of attention and can be used in several applications due to their large surface areas. In this work, dextran which is a polysaccharide with low toxicity and high biodegradability was spun by electrospinning technique. Dextran solution in water at various concentrations (0.7–1.3 g/ml) were electrospun by using applied voltage of 15 kV, collection distance of 15 cm, and feed rate of 0.25 ml/hr. It was revealed by SEM micrographs that the higher solution concentration (or high solution viscosity), the larger the spun fibers and the fewer beads obtained. Dextran solution of 0.7–1.0 g/ml yielded electrospun fibers in nanometer ranges. However, when dextran concentration was higher than 1.1 g/ml, the fibers in a range of micrometer diameter were obtained. When a higher voltage was used, larger diameter fibers were found. Then, resistance to water swelling of the fibers was carried out by crosslinking the fibers into three-dimensional network structure by using glutaraldehyde as a crosslinking agent and $MgCl_2$ as a catalyst. After electrospun process, the fibers were cured at 70 – 90 °C for 3 – 48 hrs. It was found that by increasing cure temperature and cure time, the fibers had better resistance to water swelling. It can be concluded that suitable conditions for cure temperature and cure time were 90 °C and 24 hrs respectively.

The addition of $MgCl_2$ salt resulted in the fibers with smaller diameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออนุเคราะห์ จากบุคคลหลายฝ่าย
 คณะจัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง มีรายนามดังนี้

- รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ให้คำปรึกษาที่ดีและให้กำลังใจโดยตลอด
- ผศ.ดร.พิชญ์ ศุภผล และดร.รัฐพล รังกุพันธ์ ให้คำปรึกษาที่ดี ติดตามการทำงาน
 ตลอดเวลา และให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ เป็นอย่างดี
- วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี และสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์
 มหาวิทยาลัย ที่เชื้อเพื่อสวารเคมี และเครื่องการทำวิจัย
- คณะอาจารย์ คณะกรรมการคุมสอบ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน
- พี่จัน พี่วัน พี่ปลา และพี่ ๆ ทุกคนที่วิทยาลัยปิโตรฯ ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำ
 ในการทำงาน เป็นอย่างดี
- เพื่อน ๆ ทุกคน โดยเฉพาะเพื่อนที่ทำวิจัยด้วยกันชั้น 5 ดิจิทัลภรณ์ฯ ให้ความช่วยเหลือ
 ที่ดีตลอดมา
- คุณพ่อ คุณแม่ พี่ๆ และน้องๆ คอยเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้หากขาดรายชื่อบุคคลที่มีพระคุณท่านใด ทางคณะผู้จัดทำขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย
 ทุกท่านล้วนเป็นผู้สนับสนุนให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปด้วยดี

ยุพา แซ่เจ็ง
 เยาวพร ไทยยิ่ง
 วทัตตา ฤทธิ์เจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ.....	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษาโครงการพิเศษ.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เส้นใยขนาดเล็ก (Ultrafine fiber).....	5
2.1.1 กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrostatic spinning หรือ electrospinning).....	5
2.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต.....	6
2.1.3 หลักการพื้นฐาน.....	6
2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต.....	7
2.1.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เส้นใยนาโน.....	9
- การประยุกต์ใช้ด้านการกรอง.....	9
- การประยุกต์ใช้ทางการแพทย์.....	9
- การประยุกต์ใช้ทางการทหาร.....	11
2.2 เดกซ์แทรน (Dextran).....	11
2.3 การเชื่อมโยงเดกซ์แทรน.....	13
2.4 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้งานเดกซ์แทรน.....	15
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	19
3.2 สารเคมี.....	21
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	21
3.4 วิธีการทดลอง.....	21
3.4.1 การเตรียมสารละลายเดกซ์แทรน.....	21
3.4.2 การเตรียมสารละลายเดกซ์แทรนผสมสารเชื่อมโยง.....	22
3.4.3 การเตรียมเส้นใย ด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง.....	22
3.4.4 การเตรียมเส้นใยจากเดกซ์แทรน ผสมสารเชื่อมโยง.....	23
3.4.5 ทดสอบการบวมจ้ำว (Swelling) ของเส้นใย.....	24
3.4.6 ศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด....	24
3.5 ปัจจัยที่ศึกษา.....	24
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 สมบัติบางประการของสารละลายเดกซ์แทรน.....	25
4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการปั่นเส้นใย.....	26
4.2.1 ผลของความเข้มข้นและความหนืดของสารละลายเดกซ์แทรน.....	27
4.2.2 ผลของศักย์ไฟฟ้า.....	33
4.3 ผลการเชื่อมโยงเส้นใย.....	38
4.3.1 ผลของอุณหภูมิในการเชื่อมโยง.....	39
4.3.2 ผลของเวลาในการเชื่อมโยง.....	40
4.3.3 ผลของปริมาณ $MgCl_2$ ต่อปฏิกิริยาเชื่อมโยง.....	43
4.3.4 ผลของปริมาณ $MgCl_2$ ต่อเส้นใย.....	45
4.3.5 ผลของความร้อนต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใย.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	
5.1 สรุป.....	52
5.2 ข้อควรระวังในงานวิจัย.....	52
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก ก.....	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าความหนืด แรงตึงผิว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ที่ความเข้มข้น ต่างๆ ของเดกซ์แทรน.....	28
4.2 ค่าความหนืด แรงตึงผิวของสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml และ MgCl ₂ ที่ปริมาณต่างๆ และขนาดเส้นใยก่อนและ หลังการเชื่อมโยง.....	51
ก-1 เปอร์เซ็นต์การบวมตัวของเส้นใยหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน ของสารละลาย ผสมเดกซ์แทรน 1 g MgCl ₂ 0.01 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml อบ ที่อุณหภูมิเชื่อมโยงต่าง ๆ เป็นเวลา 24 hrs.....	58
ก-2 ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วันของสาร ละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g MgCl ₂ 0.01 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml อบที่อุณหภูมิเชื่อม โยงต่าง ๆ เป็นเวลา 24 hrs.....	58
ก-3 เปอร์เซ็นต์การบวมตัวของเส้นใยหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วันของสารละลาย ผสมเดกซ์แทรน 1 g MgCl ₂ 0.01 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml อบ ที่อุณหภูมิเชื่อมโยง 90 °C ที่เวลาต่าง ๆ.....	59
ก-4 ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน ของสาร ละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g MgCl ₂ 0.01 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml อบที่อุณหภูมิเชื่อมโยง 90 °C ที่เวลาต่าง ๆ.....	59
ก-5 เปอร์เซ็นต์การบวมตัวของเส้นใยหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน อบที่อุณหภูมิ เชื่อมโยง 90 °C เป็นเวลา 24 hrs ของสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml และ MgCl ₂ ที่ปริมาณต่าง ๆ	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก - 6 ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน อบที่อุณหภูมิเชื่อมโยง 90 °C เป็นเวลา 24 hrs ของสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml และ MgCl ₂ ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	60
ก - 7 ความเข้มข้น (%w/w) ของเดกซ์แทรนที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	61
ก - 8 ความเข้มข้น (%w/w) ของส่วนผสมต่างๆ.....	62



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แผนภาพแสดงการประยุกต์ใช้เส้นใยนาโน.....	2
1.2 แสดงเส้นใยนาโน (a) โหมผสมโคโตะซาน (70/30) [4], (b) พอลิเอทิลีน ออกไซด์ 7%ในน้ำ [5], (c) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 21%w/w [6] และ (d) เจลาติน 7.5%w/v ใน THF.....	3
2.1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตเส้นใย โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วย ไฟฟ้าสถิต.....	7
2.2 แผนภาพแสดงการเกิดบีด (Bead).....	8
2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพของการกรองด้วยการลดขนาดของเส้นใย.....	9
2.4 การใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตปั่นเส้นใยนาโนลงบนขนาดแผ่น โดยตรง.....	10
2.5 โครงสร้างเดกซ์แทรน.....	11
2.6 แสดงปฏิกิริยาการเกิดเดกซ์แทรนจากเฮนไซม์เดกซ์แทรนซูเครส.....	12
2.7 แผนภาพแสดงการเชื่อมโยงด้วย $POCl_3$	13
2.8 แผนภาพแสดงการเชื่อมโยงด้วย 1,6 hexamethylenediisocyanate.....	14
3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย.....	20
3.2 เครื่องมือเล็กทรอนิกส์ป็นิ่ง.....	23
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเดกซ์แทรน กับความหนืด.....	25
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเดกซ์แทรนกับ แรงตึงผิว.....	26
4.3 ตัวอย่างเส้นใยเดกซ์แทรนที่ได้ในงานวิจัย.....	27
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเดกซ์แทรนกับ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใย.....	28
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของสารละลายเดกซ์แทรน กับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใย.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 แสดงลักษณะเส้นใยเดกซ์แทรนจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM): เมื่อเดกซ์แทรนเข้มข้น (a) 0.7 g/ml (b) 0.8 g/ml (c) 0.9 g/ml (d) 1.0 g/ml (e) 1.1 g/ml (f) 1.2 g/ml และ (g) 1.3 g/ml.....	33
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใย.....	34
4.8 เส้นใยเดกซ์แทรน เข้มข้น 0.8 g/ml: (a) 9 kV (b) 12 kV (c) 15 kV (d) 18 kV และ (e) 21kV	35
4.9 เส้นใยเดกซ์แทรน เข้มข้น 1.0 g/ml: (a) 9 kV (b) 12 kV (c) 15 kV (d) 18 kV และ(e) 21kV	36
4.10 เส้นใยเดกซ์แทรนเข้มข้น 1.2 g/ml(a) 9 kV (b) 12 kV (c) 15 kV (d) 18 kV และ (e) 21	37
4.11 โครงสร้างเดกซ์แทรน.....	38
4.12 โครงสร้างกลูตารัลดีไฮด์ (Glutaldehyde).....	38
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเชื่อมโยงกับเปอร์เซ็นต์การบวมตัว (%swell) ของเส้นใย หลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน.....	39
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเชื่อมโยงกับร้อยละน้ำหนักที่หายไป (%wt loss) ของเส้นใยหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน.....	40
4.15 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยา.....	41
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการ เชื่อมโยง (Cure time) กับ เปอร์เซ็นต์การบวมตัว(%swell).....	42
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเชื่อมโยง (Cure time) กับ ร้อยละน้ำหนักที่หายไป (%wt loss)	42
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์กับความหนืด.....	43
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์กับแรงตึงผิว....	44
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ กับเปอร์เซ็นต์การบวมตัว (%swell) ของเส้นใย.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์กับร้อยละ น้ำหนักที่หายไป (%wt loss) ของเส้นใย.....	45
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์กับขนาดเส้น ผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใย.....	46
4.23 แสดงเส้นใยจากสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ - ไฮด์ 0.4 ml: (a) ก่อนอบ และ (b) หลังอบ.....	47
4.24 แสดงเส้นใยจากสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g $MgCl_2$ 0.01 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml: (a) ก่อนอบ และ (b) หลังอบ.....	48
4.25 แสดงเส้นใยจากสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g $MgCl_2$ 0.02 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml: (a) ก่อนอบ และ (b) หลังอบ.....	49
4.26 แสดงเส้นใยจากสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g $MgCl_2$ 0.03 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml: (a) ก่อนอบ และ (b) หลังอบ.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

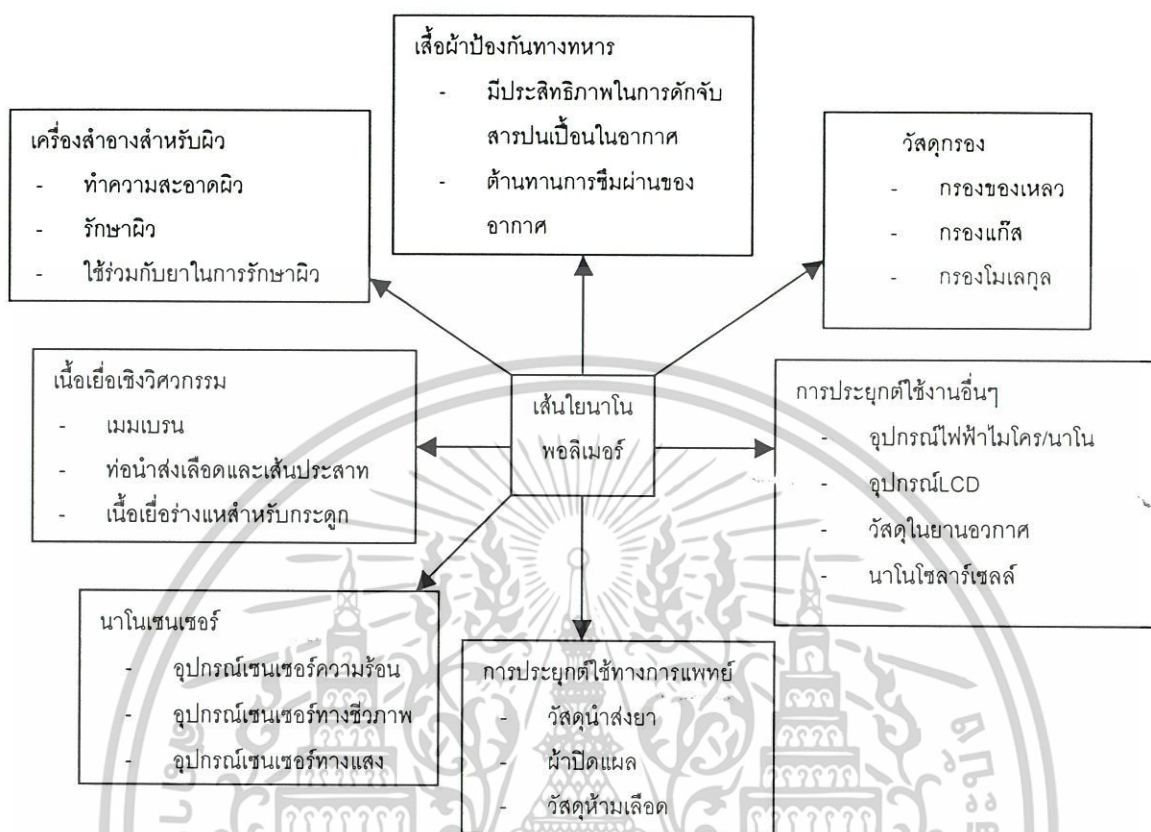
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

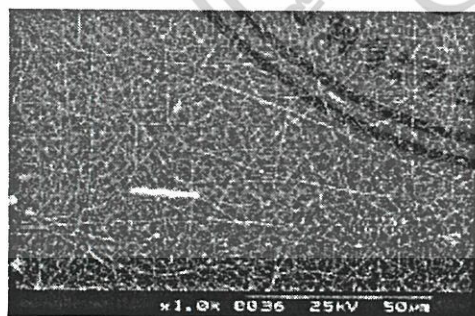
ในปัจจุบันนาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) มีบทบาทสำคัญต่อวิวัฒนาการของโลก นาโนเทคโนโลยีเป็นวิทยาศาสตร์ประยุกต์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้าง การสังเคราะห์วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ซึ่งมีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร หรือเทียบเท่าระดับอนุภาคของโมเลกุล หรืออะตอม นาโนเทคโนโลยียังเป็นการเรียงอะตอม และโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการอย่างแม่นยำและถูกต้อง ซึ่งทำให้โครงสร้างของวัสดุแตกต่างไปจากวัสดุปกติ ทั้งทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ โดยวัสดุที่ประกอบด้วยอนุภาคนาโนจะมีความแข็งแรงเหนียวแน่น และพื้นที่ผิวทั้งหมดมากกว่าวัสดุทั่วไป จึงนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมายเช่น เสื้อผ้าไร้รอยยับและป้องกันรอยเปื้อนคราบสิ่งสกปรกที่ตัดเย็บจากผ้า Nano-care[®] โดยบริษัท Emeryville สหรัฐอเมริกา [1] แรกเกิดไฮเทคที่มีส่วนผลระหว่างกราฟไฟต์กับ Carbon nanotube โดยบริษัท Babolat ฝรั่งเศส มีคุณสมบัติที่แข็งแรงกว่าเหล็ก 100 เท่า แต่มีน้ำหนักเพียง 1 ใน 6 ทำให้การตีลูกมีพลังมากขึ้นและลดการเกร็งของกล้ามเนื้อ [2]

จากกระแสนาโนเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมสูง จึงมีผู้พยายามคิดค้นผลิตเส้นใยสังเคราะห์ที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระดับนาโนเมตรหรือเรียกว่า “เส้นใยนาโน (Nanofibers)” ซึ่งมีข้อดีกว่าเส้นใยขนาดปกติคือ อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของเส้นใยสูง และมีความเป็นรูพรุนสูงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย อาทิเช่น ทำเป็นวัสดุทางการแพทย์ ผลิตเสื้อผ้าที่ป้องกันสารเคมีหรือจุลินทรีย์ วัสดุประกอบ วัสดุกรอง และการประยุกต์ใช้อื่นๆ ดังรูปที่ 1.1

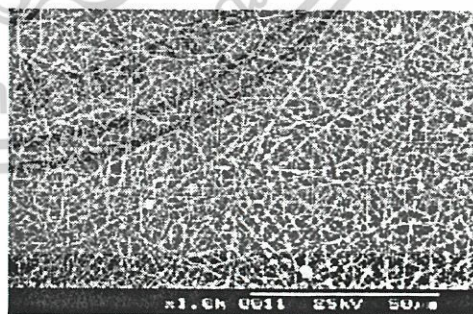
ปัจจุบันการผลิตเส้นใยนาโนด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต หรืออิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) เป็นที่นิยมเนื่องจากต้นทุนต่ำ อุปกรณ์ราคาไม่สูง ไม่ยุ่งยาก เตรียมเส้นใยได้เร็ว และใช้สารตั้งต้นน้อย จึงมีงานวิจัยในการเตรียมเส้นใยนาโนจากพอลิเมอร์ต่างๆ ด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเป็นจำนวนมาก เช่น โพลีเอทิลีนไกลคอล [4] พอลิเอทิลีนออกไซด์ [5] พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ [6] และเจลาติน [7] เป็นต้น แสดงรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 แผนภาพแสดงการประยุกต์ใช้เส้นใยนาโน [3]

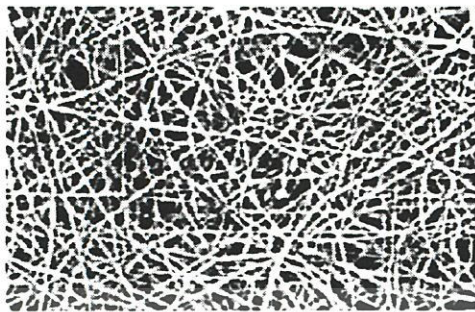


(a)

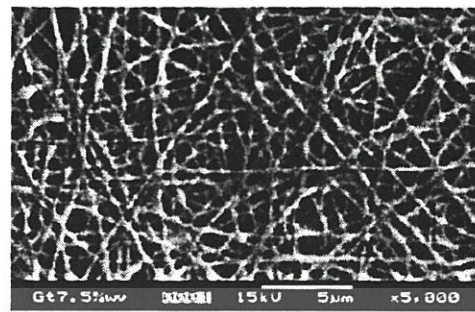


(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)



(d)

รูปที่ 1.2 เส้นใยนาโน (a) โหมผสมโคโตซาน (70/30) [4], (b) พอลิเอทิลีนออกไซด์ 7% ในน้ำ [5], (c) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ 21%w/w [6] และ (d) เจลาติน 7.5%w/v ใน THF [7]

เดกซ์แทรน (Dextran) เป็นพอลิเมอร์ประเภทพอลิแซคคาไรด์ (Polysaccharide) D-glucose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6 และมี Side chain α -1,2 α -1,3 และ α -1,4 glucosidic linkage มีสมบัติละลายน้ำได้ดี เกิดจากแบคทีเรีย *Leuconostoc mesenteroide* ตามธรรมชาติจะพบได้ในอ้อย โดยจะไปสลายน้ำตาลซูโครสเปลี่ยนเป็นเดกซ์แทรน

ประโยชน์ของเดกซ์แทรนมีมากมายโดยเฉพาะทางการแพทย์ เช่นใช้เป็นวัสดุนำส่งยา (Drug delivery) สารเพิ่มเนื้อพลาสมา (Plasma extender) และยับยั้งการรวมตัวของเกล็ดเลือด เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารหล่อลื่นสำหรับหัวเจาะป้อนน้ำมัน ใช้เป็นส่วนประกอบในการทำอาหาร และใช้ในการแยกสารในทางวิทยาศาสตร์ [8]

จากการที่เดกซ์แทรนเป็นพอลิแซคคาไรด์ ไม่มีพิษ และย่อยสลายได้เอง งานวิจัยนี้จึงนำเดกซ์แทรนมาเตรียมเป็นเส้นใย โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต หรืออิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) ประเด็นที่ศึกษาคือ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใย ลักษณะของเส้นใย และศึกษาการเชื่อมโยง (Crosslink) เพื่อประยุกต์ใช้งานต่างๆ เช่น วัสดุนำส่งยา (Drug delivery) หรือ เนื้อเยื่อเชิงวิศวกรรม (Tissue engineering)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

ศึกษาการเตรียมเส้นใยจากเดกซ์แทรนด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning) การเชื่อมโยงทางเคมี (Chemical crosslink) ของเส้นใยที่เตรียมได้ และศึกษาสมบัติบางประการของเส้นใย เช่น สัณฐานวิทยา (Morphology) และการบวมตัว (Swelling)

เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการศึกษาโครงการพิเศษ

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต
3. ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology) ของเส้นใย ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
4. ศึกษาการเชื่อมโยงของเส้นใย โดยใช้กลูตารัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) เป็นสารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) และการบวมตัว (Swelling) ของเส้นใย
5. ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเชื่อมโยง เวลาในการเชื่อมโยง และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยจากเดกซ์แทรน ด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต
2. สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ เช่น วัสดุนำส่งยา เนื้อเยื่อสังเคราะห์ หรือ เมมเบรน
3. สามารถใช้ความรู้ที่ได้ในการประยุกต์ใช้งานขึ้นรูปเส้นใยจากวัสดุอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เส้นใยขนาดเล็ก (Ultrafine fiber)

- เส้นใยนาโน

เส้นใยนาโนหรือนาโนไฟเบอร์ (Nanofibers) คือ เส้นใยสังเคราะห์ที่มีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางในระดับนานาเมตร เป็นการลดขนาดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจากระดับไมโครเมตร จนถึงในระดับนานาเมตร (อยู่ในช่วงประมาณ 0.01 ถึง 0.1 ไมโครเมตร) มีลักษณะเด่นคือ เป็นเส้นใยที่มีพื้นที่จำเพาะ (พื้นที่ผิวต่อปริมาตร) สูงมาก สมบัตินี้เองทำให้มีผู้สนใจศึกษาวิธีการผลิตเส้นใยที่มีขนาดนาโนเมตร เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการพื้นที่ผิวสัมผัสสูง เช่น แผ่นกรอง ในปัจจุบันมีหลายวิธีที่ใช้ในการผลิตเส้นใยพอลิเมอร์ระดับนาโนเช่น การดึงยืด (Drawing) การสังเคราะห์แบบเทมเพลต (Template synthesis) การแยกเฟส (Phase separation) และการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต หรือ อิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) ฯลฯ [9,10]

2.1.1 กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrostatic spinning หรือ electrospinning)

การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต หรืออิเล็กโตรสปินนิง [9,10] เป็นเทคนิคหนึ่งในการผลิตเส้นใยระดับนาโนเมตร ซึ่งต่างจากการผลิตเส้นใยในอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยทั่วไป เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเกี่ยวข้องกับการให้สนามไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูง ต่อเข้ากับปลายคาปิลลารีที่บรรจุสารละลายพอลิเมอร์ ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงถึงจุดที่แรงทางไฟฟ้ามีค่ามากกว่าแรงตึงผิว (Surface tension) ของสารละลายพอลิเมอร์ จะทำให้สารละลายพอลิเมอร์พุ่งลงสู่แผ่นรองที่ทำด้วยโลหะ ได้เส้นใยที่มีขนาดเล็กและบาง มีลักษณะเป็นผืนเส้นใยที่ไม่ได้ทอ (Non-woven fabric) เนื่องจากแผ่นเส้นใยนี้ เกิดจากการซ้อนทับกันของเส้นใยจึงมีลักษณะที่สำคัญคือ เป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิว และความพรุนสูง โดยที่รูพรุนที่ได้มีขนาดเล็กมาก ทำให้มีประโยชน์มากมายหลายประการ อาทิเช่น

- ใช้เป็นวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์ เช่น วัสดุตกแต่งแผล วัสดุการควบคุมการปลดปล่อยยา
- ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์โดยการควบคุมการปลดปล่อยยาฆ่าแมลงให้แก่พืช
- สามารถนำมาผลิตเป็นเสื้อผ้าที่ป้องกันสารเคมีหรือจุลินทรีย์ได้ เช่น ชุดที่ใช้ในห้องผ่าตัด ชุดทหารที่ต้องการป้องกันสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้เป็นเส้นใยเสริมแรง (Reinforce fibers) ในวัสดุประกอบหรือคอมโพสิต (Composite) ทำให้ได้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงสูง
- ใช้เป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงสูงและใช้ผลิตเป็นวัสดุกรองสำหรับแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็กออก เป็นต้น

2.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1. เครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (High-voltage power supply) ที่สามารถปรับค่าความต่างศักย์ได้ในช่วง 0-30 กิโลโวลต์ (kV) กำลังเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องควรมีค่าน้อยในระดับมิลลิแอมป์ (mA) หรือต่ำกว่า เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายเนื่องจากไฟฟ้าช็อตต่อผู้ปฏิบัติ
2. หลอดสำหรับบรรจุพอลิเมอร์ตัวอย่าง (Capillary tube) ซึ่งอาจเป็นปิเปตหรือหลอดฉีดยา โดยมีช่องเปิดเพื่อให้พอลิเมอร์ตัวอย่างสามารถไหลออกมาได้ในกรณีนี้ใช้หลอดฉีดยาสามารถใช้เข็มฉีดยาต่อตรงส่วนเปิด
3. อุปกรณ์โลหะที่ใช้รองรับเส้นใย (Metal collecting screen) ซึ่งมีได้หลายลักษณะเช่น เป็น แผ่นหรือตะแกรงโลหะ เป็นลูกกลิ้งที่หุ้มด้วยแผ่นโลหะ ซึ่งสามารถควบคุมอัตราเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งได้หรืออาจเป็นอ่างสารละลาย (ในกรณีที่ต้องการให้เส้นใยตกตะกอนเหมือนกับในกรณีการปั่นเส้นใยแบบเปียก) พอลิเมอร์ตัวอย่างอาจเป็นได้ทั้งสารละลายพอลิเมอร์ หรือพอลิเมอร์หลอมเหลว การปั่นเส้นใยสามารถที่จะกระทำได้ที่แนวราบ (โดยวางหลอด บรรจุให้ทำมุมเล็กน้อยกับแนวราบเพื่อไม่ให้พอลิเมอร์ตัวอย่างหก) และแนวนอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนืดของพอลิเมอร์ตัวอย่างที่นำมาปั่นนั่นเอง

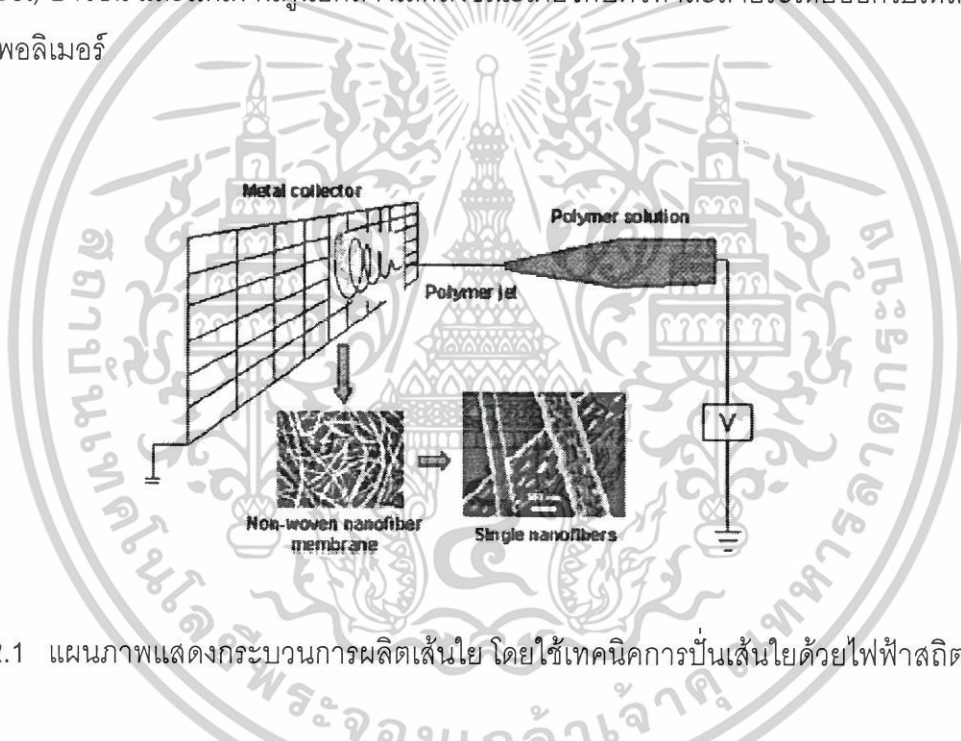
2.1.3 หลักการพื้นฐาน

ในการผลิตเส้นใยโดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต จะให้ความต่างศักย์สูงกับสารละลายพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์หลอมเหลว เพื่อให้สามารถพุ่งออกจากคาปิลลารีได้ก่อนที่สารละลายพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์หลอมเหลวจะมาถึงแผ่นรอง ตัวทำละลายจะระเหยออก หรือพอลิเมอร์หลอมเกิดการแข็งตัวกลายเป็นเส้นใยขนาดเล็กรวมกันอย่างไม่เป็นระเบียบบนแผ่นรองมี

ลักษณะเป็นแบบ Nonwoven (เส้นใยที่ไม่ถักไม่ทอมีลักษณะคล้ายแผ่นกระดาษ) โดยปกติจะต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้วประจุไฟฟ้าขั้วหนึ่ง เข้าไปในสารละลายพอลิเมอร์ และอีกขั้วต่อเข้ากับแผ่นรอง แต่โดยมากแผ่นรองมักจะต่อกับสายดิน (Ground) แสดงดังรูปที่ 2.1 เมื่อเริ่มให้ประจุไฟฟ้าแก่ของเหลวประจุจะเคลื่อนไปบริเวณพื้นผิวของของเหลวนั้นเมื่อแรงของศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น หยดของเหลวที่ปลายคาปิลลารีจะเปลี่ยนรูปร่างจากส่วนของครึ่งทรงกลมเป็นทรงกรวยหรือที่รู้จักกันในนาม "กรวยเทลเลอร์" หรือ Taylor cone

เมื่อเพิ่มแรงของสนามไฟฟ้ามากขึ้นไปอีก ส่วนยอดโคนจะมีการสะสมของประจุมากขึ้น ส่งผลให้แรงทางไฟฟ้ามีค่ามากกว่าแรงตึงผิว ทำให้ของเหลวพุ่งออกจากปลาย Taylor cone สารละลายพอลิเมอร์ที่พุ่งออกมาจะเกิดความไม่เสถียร และเกิดการยืดตัวทำให้กระแสพอลิเมอร์ (Jet) ยาวขึ้น และเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงขณะเดียวกับตัวทำละลายระเหยออกไปเหลือแต่เส้นใยพอลิเมอร์



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตเส้นใย โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต [3]

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ปัจจัยที่มีผลต่อการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต อาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ

1. สมบัติของพอลิเมอร์หลอมเหลวหรือสารละลายพอลิเมอร์เช่น ความหนืด แรงตึงผิว และค่าการนำไฟฟ้า (สัมพันธ์กับความเข้มข้นของประจุอิสระในกระแสพอลิเมอร์)
2. ปัจจัยที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรของกระบวนการเช่น ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ ระยะทางระหว่างปลายช่องเปิดและอุปกรณ์รองรับ

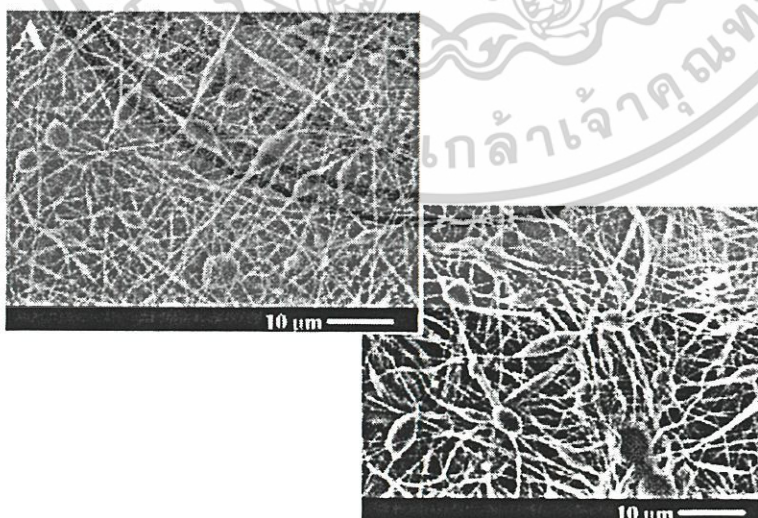
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหลของพอลิเมอร์ตั้งต้น เป็นต้น

3. สภาพบรรยากาศเช่น อุณหภูมิของพอลิเมอร์ตั้งต้น ความชื้น ความดัน ชนิดและความเข้มข้นของประจุอิสระในบรรยากาศโดยรอบ สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กภายนอก เป็นต้น

ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการกำหนดขนาดของเส้นใยที่ได้คือ ค่าความหนืดของพอลิเมอร์ตั้งต้น (ไม่ว่าจะอยู่ในรูปของพอลิเมอร์หลอมเหลวหรือสารละลายพอลิเมอร์) ซึ่งความหนืดนี้มีปฏิสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักโมเลกุล อุณหภูมิ และความเข้มข้น (เฉพาะในกรณีที่พอลิเมอร์ตั้งต้นเป็นสารละลายพอลิเมอร์) ของพอลิเมอร์ตั้งต้น โดยทั่วไปแล้วพอลิเมอร์ตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจะเริ่มจากสารละลายพอลิเมอร์ ซึ่งในกรณีนี้ค่าความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของพอลิเมอร์ในสารละลายเพิ่ม โดยทั่วไปค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้น จะทำให้เส้นใยที่ปั่นได้มีขนาดความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น

ข้อบกพร่องที่สำคัญสำหรับเส้นใยที่ผลิตจากกระบวนการนี้ คือ การเกิดปม หรือปัด (Bead) บนเส้นใย ปมบนเส้นใยเป็นปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้สำหรับการปั่นเส้นใย จากสารละลายพอลิเมอร์ ทั้งนี้ปมที่เกิดขึ้นเป็นผลโดยตรงจากค่าความหนืดของสารละลายที่ไม่สูงพอ นอกจากนี้รูปร่างของปมจะเปลี่ยนจากที่ค่อนข้างเป็นทรงกลม เมื่อความเข้มข้นของสารละลายน้อยๆ เป็นรูปทรงรี เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมีค่าเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นขึ้นไปอีกปมก็จะหายไป การลดแรงตึงผิวของสารละลายโดยการเติมตัวทำละลายหรือสารเคมีอื่นเข้าไปในระบบก็อาจทำให้ปริมาณของปมที่เกิดขึ้นลดลงได้ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างปัด (Bead)

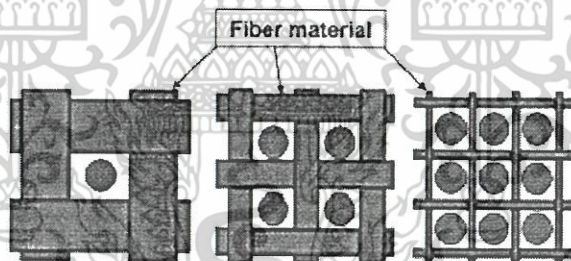
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ การเติมเกลือ เช่น เกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เกลือลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) ที่สามารถแตกตัวเป็นประจุได้ในพอลิเมอร์ตั้งต้นก็อีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดปัญหาการเกิดปม ทั้งนี้ประจุอิสระที่เกิดขึ้นจะทำให้แรงผลักระหว่างประจุมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดทำให้เกิดปมได้ยากขึ้น

2.1.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้เส้นใยนาโน

- การประยุกต์ใช้ด้านการกรอง

การใช้เส้นใยมาทำเป็นไส้กรอง (Filter) มีข้อดีคือ มีประสิทธิภาพในการกรองสูงและการต้านทานการไหลของอากาศต่ำ ประสิทธิภาพในการกรองนั้นขึ้นอยู่กับความละเอียดของเส้นใยดังแสดงในรูปที่ 2.3 การดักจับอนุภาคขนาดเล็กกว่าระดับไมโครเมตร ตัวกรองต้องมีขนาดเล็กพอ ๆ กับอนุภาคที่ต้องการดักจับ วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวกรองวิธีหนึ่งก็คือ การใช้เส้นใยนาโนเป็นโครงสร้างของไส้กรอง เนื่องจากพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่สูงมากของเส้นใยนาโนทำให้มีแรงยึดเกาะที่ผิวสูง ทำให้ตัวกรองที่มีเส้นใยนาโนเป็นองค์ประกอบสามารถดักจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอนได้ดี



รูปที่ 2.3 การเพิ่มประสิทธิภาพของการกรองด้วยการลดขนาดของเส้นใย [3]

- การประยุกต์ใช้ทางการแพทย์

ในทางการแพทย์เนื้อเยื่อและอวัยวะของมนุษย์เช่น กระดูก ฟัน คอลลาเจน กระดูกอ่อน และผิวหนังมีลักษณะโครงสร้างการเรียงตัวในระดับนาโนเมตร หรืออยู่ในรูปของเส้นใยขนาดนาโนเมตรอยู่แล้ว งานวิจัยจากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจึงมุ่งเน้นการใช้งานทางด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์ เช่น

- อวัยวะเทียม (Medical prostheses) ได้มีการเสนอให้มีการใช้เส้นใยนาโนกับอวัยวะเทียมที่เกี่ยวกับเนื้อเยื่ออ่อน เช่น หลอดเลือดต่าง ๆ เป็นต้น นอกจากนี้ฟิล์มเยื่อบางจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยนาโนยังสามารถนำมาติดกับอวัยวะเทียม เพื่อลดความแตกต่างระหว่างความแข็งแรงของเนื้อเยื่อของร่างกายมนุษย์กับอวัยวะเทียมที่จะฝังเข้าไปในร่างกายมนุษย์ได้

- โครงร่างรองรับของเนื้อเยื่อ (Tissue template) การออกแบบโครงร่างที่สามารถจำลองโครงสร้างและหน้าที่ของ Natural extracellular matrix ได้ ยังเป็นสิ่งที่ท้าทายวงการวัสดุการแพทย์ เซลล์ของมนุษย์สามารถยึดติดและทำหน้าที่ได้ดีบนเส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าขนาดของเซลล์ด้วยเหตุนี้โครงร่างรองรับที่ทำจาก เส้นใยนาโนสามารถนำมาใช้เป็นแม่แบบสำหรับการเลี้ยงเซลล์ได้

- วัสดุปิดแผล (Wound dressing) เส้นใยนาโนพอลิเมอร์สามารถพันลงบนบาดแผลไฟไหม้ได้โดยตรง (รูปที่ 2.4) ซึ่งช่วยให้แผลหายเร็ว โดยปกติแผ่นผ้าก๊อทจากเส้นใยนาโนจะมีรูพรุนขนาด 500 - 1,000 ไมครอน ซึ่งเล็กพอที่จะปกป้องแผลจากแบคทีเรียพื้นผิวที่สูงถึง 5-100 m²/g ยังช่วยในการดูดซับของเหลวและทำให้การให้ยาทางผิวหนังมีประสิทธิภาพดีเยี่ยม



รูปที่ 2.4 การใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าผลิตพ่นเส้นใยนาโนลงบนบาดแผลโดยตรง [3]

- ด้านเวชภัณฑ์ โดยปกติแล้วยังมีขนาดเล็กเท่าใดร่างกายมนุษย์ก็สามารถดูดซึมได้ง่ายขึ้นเท่านั้น การให้ยาผ่านพอลิเมอร์เส้นใยนาโนอาศัยหลักการที่ว่าอัตราการละลายของอนุภาคของยาจะเพิ่มขึ้นตามพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้นของยาหรือพาหะ (Carrier) การทำให้ยาอยู่ในโครงสร้างขนาดนาโนเมตรมีหลายวิธี เช่น อนุภาคยาเกาะอยู่ที่ผิวของเส้นใยนาโนทั้งยาและพาหะอยู่ในรูปของเส้นใยนาโนเกี่ยวพันกันอยู่ ทั้งยาและพาหะผสมรวมกันอยู่ในรูป เส้นใยนาโนเส้นเดียวกันและขึ้นรูปพาหะให้อยู่ในรูปทรงคล้ายท่อหุ้มตัวยาอยู่ข้างใน สองวิธีสุดท้ายเป็นรูปแบบที่ต้องการมากที่สุด อย่างไรก็ตามงานวิจัยเรื่องการส่งผ่านยาโดยใช้เส้นใยนาโนยังอยู่ในขั้นเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

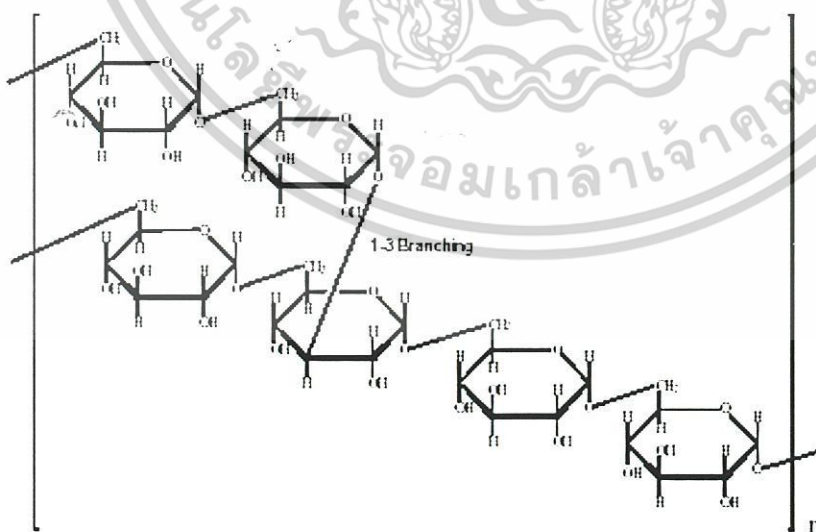
- การประยุกต์ใช้ทางการแพทย์

การมีเครื่องช่วยหายใจหรือชุดปกป้องร่างกาย (Protective clothing) จากเชื้อโรคหรือก๊าซพิษไม่ให้เข้าสู่ร่างกายทั้งทางการแพทย์ หรือการซึมผ่านทางผิวหนัง เป็นสิ่งที่คนทั่วโลกให้ความสนใจเป็นพิเศษ ชุดปกป้องร่างกายที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันใช้ถ่านเป็นตัวดูดซับ ซึ่งมีข้อจำกัดในการระบายความชื้น และมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ผลของการใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ทำให้ได้เส้นใยนาโนที่เรียงตัวเป็นชั้น ซึ่งมีความพรุนสูงแต่ขนาดของรูเล็ก ทำให้มีความต้านทานการทะลุทะลวงของสารเคมีที่ปนมาในอากาศสูง มีความต้านทานการระบายอากาศ และความชื้นต่ำกว่าเส้นใยที่ใช้กันโดยทั่วไป แต่มีประสิทธิภาพในการดักจับสารปนเปื้อนในอากาศสูงกว่า

2.2 เดกซ์แทรน (Dextran)

เดกซ์แทรนเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส (D-glucose) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6 เป็นสายโซ่ยาวและอาจมีสายโซ่กิ่ง (Side chain) เชื่อมกับแกนกลางด้วยพันธะ α -1,2 α -1,3 และ α -1,4 glycosidic linkage เดกซ์แทรนผลิตจากลีสเตรทซูโครส (Sucrose) โดยแบคทีเรีย 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. Leuconostoc species ได้แก่ *L. mesenteroides* และ *L. dextransicum*
2. Streptococcus species เป็นพวก Oral streptococci พบในช่องปาก และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดฟันผุ คือ *S. mutans*

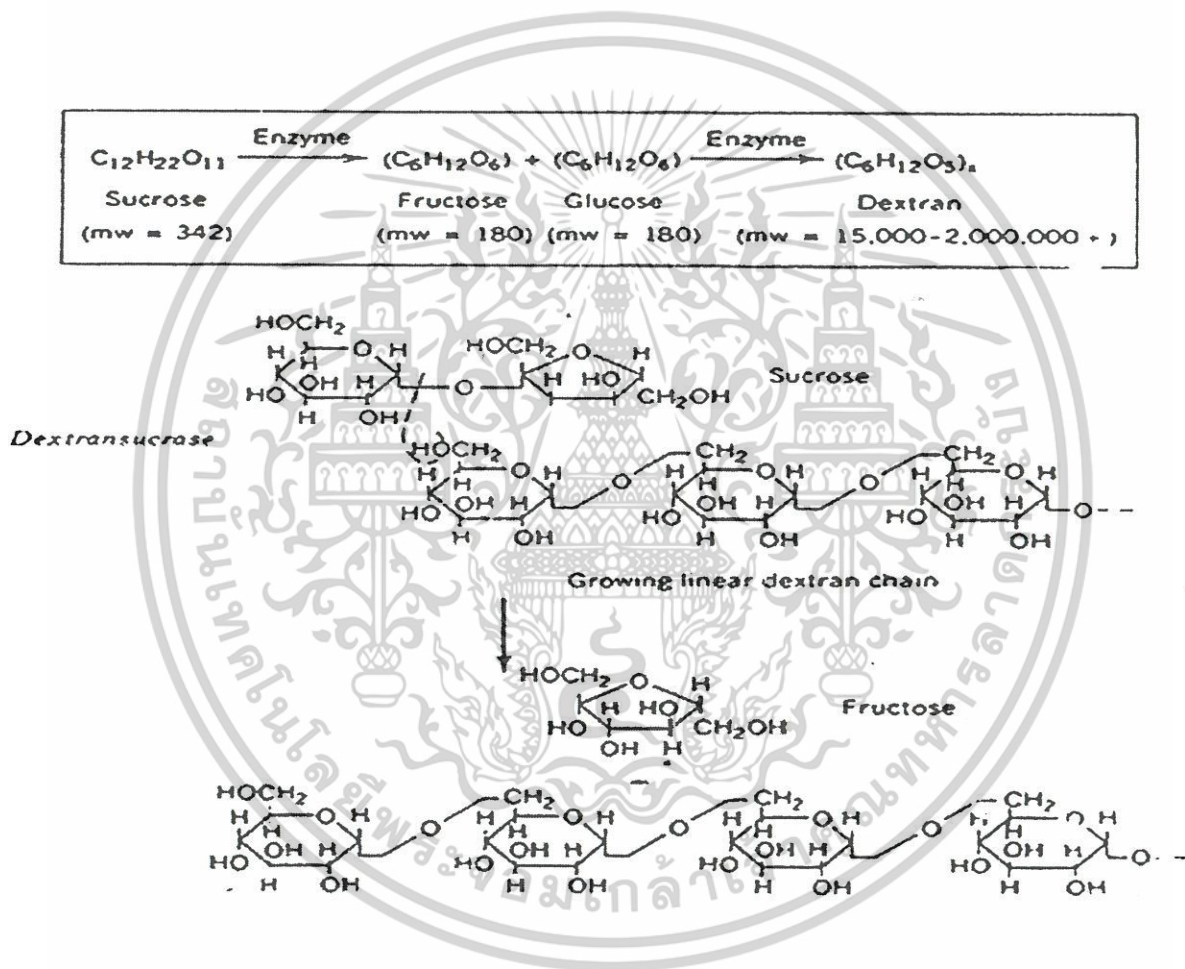


รูปที่ 2.5 โครงสร้างเดกซ์แทรน [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบคทีเรียทั้งสองกลุ่มนี้สามารถสร้างเดกซ์แทรนได้ เนื่องจากแบคทีเรียสามารถสร้างเอนไซม์เดกซ์แทรนซูเครส (Dextranucrase) ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่เร่งการเกิด 2 ปฏิกิริยา คือ

1. ปฏิกิริยาการสลายน้ำตาลซูโครสไปเป็นกลูโคส และฟรุกโตส (Substrate reaction)
2. ปฏิกิริยาการพา D-glucose จากการสลายน้ำตาลซูโครส มาเชื่อมต่อกับโมเลกุลของคาร์โบไฮเดรตตัวรับ กลายเป็นโมเลกุลเดกซ์แทรน ด้วยกระบวนการทรานสไกลโคซิเลชัน (Transglycosylation) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาการเกิดเดกซ์แทรนจากเอนไซม์เดกซ์แทรนซูเครส [8]

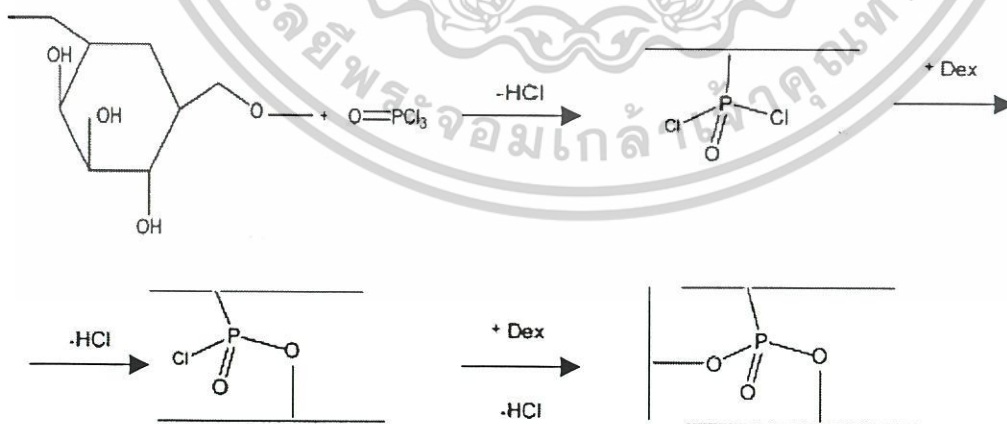
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Leuconostoc mesenteroides เป็นแบคทีเรียในกลุ่มแลคติกแอซิดแบคทีเรีย รูปร่างกลม (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5-1.2 ไมโครเมตร) มักมีการจัดเรียงตัวเป็นเชลล์คู่ หรือเป็นสายโซ่ ต้องการอากาศเพียงเล็กน้อย

แบคทีเรีย *L. mesenteroides* จะย่อยซูโครส โดยอาศัยปฏิกิริยาของเอนไซม์เดกซ์แทรนซูเครส ทุกๆ โมเลกุลของซูโครสที่ถูกทำลายโดยแบคทีเรียนี้ จะเกิดปฏิกิริยาเฉพาะส่วนที่เป็นโมเลกุลของกลูโคส *L. mesenteroides* จะเปลี่ยนซูโครสไปเป็นเดกซ์แทรน 45 เปอร์เซ็นต์ และอีก 20 เปอร์เซ็นต์ สำหรับการเจริญเติบโต และส่วนที่เหลือจะถูกเปลี่ยนเป็น กรดแลคติก กลีเซอรอล คาร์บอนไดออกไซด์ เอทานอล และกรดอะซิติก เป็นผลพลอยได้ เนื่องจาก *L. mesenteroides* เป็นกลุ่ม Heterofermentative bacteria

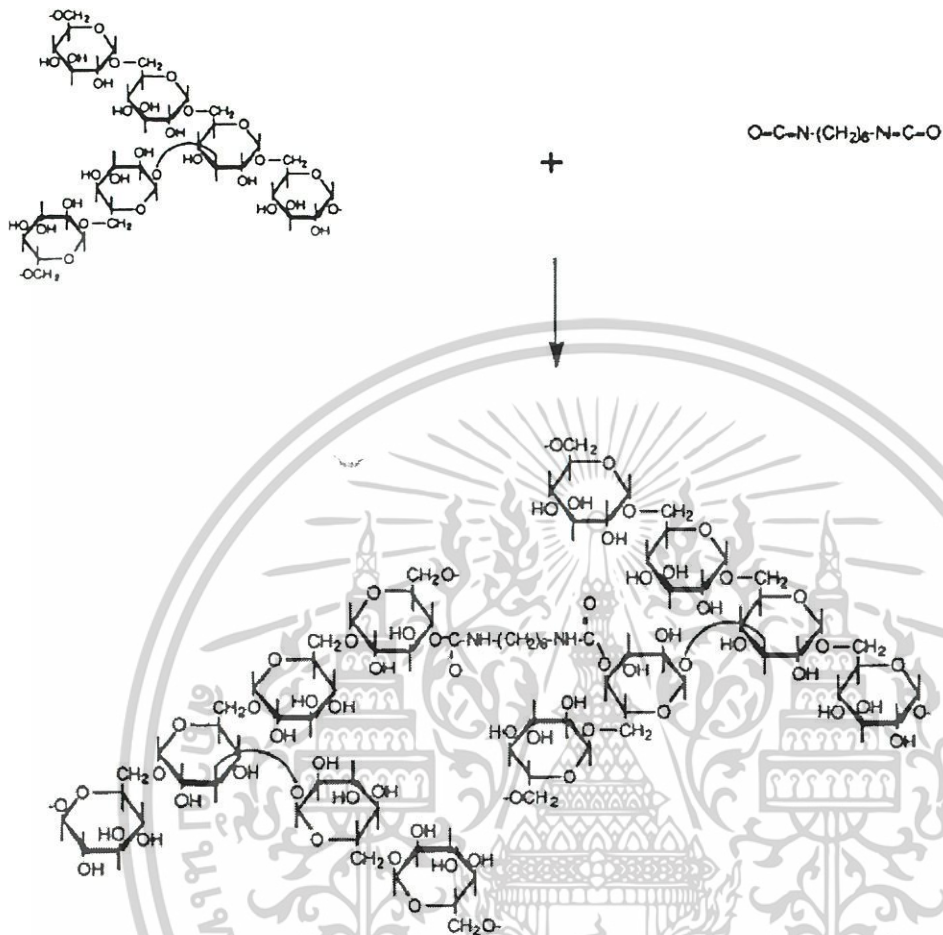
2.3 การเชื่อมโยงเดกซ์แทรน

เดกซ์แทรนสามารถละลายน้ำได้ดี จึงเป็นข้อเสีย หรืออุปสรรคในการใช้งานเดกซ์แทรนในสถานะแควดลุ่มที่มีน้ำ สมบัตินี้ปรับปรุงได้ โดยการเปลี่ยนโครงสร้างของเดกซ์แทรนเป็นโครงร่างสามมิติ (3-Dimensional network) หรือ ไฮโดรเจล (Hydrogel) โดยการเชื่อมโยงเชิงกล (Physical crosslink) เช่น อาศัยสเตรอไอคอมเพล็กซ์ที่แตกต่างกัน [12] หรือ การเชื่อมโยงทางเคมี (Chemical crosslink) โดยใช้สารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) เช่น กลูตารัลดีไฮด์ [13] POCl_3 [14] รูปที่ 2.7 Epichlorohydrin [14] และ ไดไอโซไซยานต [15] รูปที่ 2.8 เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมโยงด้วยวิธี Photocrosslink [16]



รูปที่ 2.7 แผนภาพการเชื่อมโยงด้วย POCl_3 [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แผนภาพการเชื่อมโยงด้วย 1,6 hexamethylenediisocyanate [15]

เดกซ์แทรนไฮโดรเจล มีสมบัติการเข้ากันได้ทางชีวภาพ (Biocompatibility) ได้ดี สามารถประยุกต์ใช้งานด้านชีวภาพทางการแพทย์ เช่น ใช้เป็นเนื้อเยื่อที่เป็นพิษต่ำ สามารถย่อยสลายด้วยเอนไซม์ที่สภาวะต้องการได้ หรือ ใช้เป็นวัสดุบรรจุในคอลัมน์สำหรับ Gel filtration นอกจากนี้ยังมีประสิทธิภาพเป็นเมทริกซ์ในระบบ Colon - specific delivery หรือ การควบคุมการปลดปล่อยสารชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้งานเดกซ์แทรน

เดกซ์แทรนมีประโยชน์ทางการแพทย์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานมากมาย เช่น

- สารเพิ่มเนื้อพลาสมา (Plasma extender)
- ใช้เป็นส่วนผสมในสารละลายคอลลอยด์เพื่อแยกเซลล์เม็ดเลือดขาวในเกล็ดเลือด โดยการเหวี่ยง
- ช่วยเพิ่มการตกตะกอนของโปรตีน
- ใช้เป็นตัวช่วยยับยั้งการแตกตัวของเกล็ดเลือด
- ใช้เป็นวัสดุนำส่งยา (Drug delivery)

นอกจากนี้สามารถใช้เป็นสารหล่อลื่นสำหรับหัวเจาะป้อนน้ำมัน เป็นส่วนประกอบในการทำอาหาร และใช้แยกสารทางวิทยาศาสตร์ เป็นต้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

W.E.Hennink และคณะ [12] เตรียมไฮโดรเจล เพื่อเป็นวัสดุชีวภาพที่ย่อยสลายเองได้ จาก Dextran graft กับ lactic acid oligomer ที่มีสเตอริโอเมอร์ต่างกันได้ dex-(L)-lactate และ dex-(D)-lactate ซึ่งสามารถเชื่อมโยงเชิงกลได้โดย ไม่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์และสารเชื่อมโยง พบว่าสามารถควบคุมการปลดปล่อยโปรตีน (lysozyme และ LgG) ได้ดี ซึ่ง dex-lactate ที่ Polydispersity สูงจะปลดปล่อยโปรตีนได้เร็วกว่า Polydispersity ต่ำ

H.Brondsted และคณะ [13] ศึกษาการเตรียมแคปซูลจากเดกซ์แทรน สำหรับเป็นวัสดุนำส่งยา ส่วนผสมประกอบด้วย เดกซ์แทรน $MgCl_2$ กลูตารัลดีไฮด์ และ พอลิเอทิลีนไกลคอล 400 (PEG400) เป็นพลาสติกไซเซออร์ ละลายในน้ำ อุณหภูมิที่ใช้ในการเชื่อมโยง 70 องศาเซลเซียส แคปซูลจะถูกบรรจุด้วย Hydrocortisone เพื่อศึกษาการปลดปล่อย โดยนำแคปซูลแช่ใน 0.1 M aqueous acetate buffer pH 5.4 ที่ 37 องศาเซลเซียส พบว่า 3 ชั่วโมง จะปลดปล่อยประมาณ 10% และประมาณ 35% หลังจาก 24 ชั่วโมง แต่เมื่อเติมเอนไซม์เดกซ์แทรนเนส (Dextranase) จะทำให้การปลดปล่อยเร็วมาก เพราะสามารถกระตุ้นให้เดกซ์แทรนสลายได้เร็ว และศึกษาปริมาณสารที่เกิดปฏิกิริยา พบว่า เมื่อปริมาณ PEG400 เพิ่มขึ้น ความแข็งแรงเชิงกล (Mechanical strength) ลดลง เมื่อปริมาณ $MgCl_2$ เพิ่มขึ้น วัสดุจะมีความเหนียวมากขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของกลูตารัลดีไฮด์ เพิ่มขึ้น ค่ามอดุลัส (Modulus) เพิ่มขึ้น ถึงความเข้มข้นค่าหนึ่งแล้วลดลง จากการเตรียมแคปซูล พบว่า ความเข้มข้น กลูตารัลดีไฮด์ ที่เหมาะสม เท่ากับ 33 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เวลาเชื่อมโยง 2 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Betul Kirici Denizli และคณะ [14] เตรียมเดกซ์แทรนไฮโดรเจล ด้วยสารเชื่อมโยงต่างๆ คือ Epichlorohydrin (ECH) Phosphorus oxchloride (POCl_3) และ N,N'-methylenebis - acrylamide (MBAM) ในสารละลาย NaOH 2.8N ที่ 25-50 องศาเซลเซียส ศึกษาการบวมตัว (Swelling) ในสารละลายคอปเปอร์คลอไรด์ ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) พบว่า เดกซ์แทรนที่เชื่อมโยงด้วย POCl_3 จะบวมตัวมากที่สุด และมีปริมาณคอปเปอร์เข้าไปอยู่ในโครงสร้างมากที่สุด รองลงมา คือ MBAM และ ECH ตามลำดับ

Lars Hovgaard และ Helle Brondsted [15] เตรียมเดกซ์แทรนไฮโดรเจลซึ่งใช้สารจำพวก ไดไอโซไซยานต (Diisocyanate) เป็นสารเชื่อมโยง สำหรับปลดปล่อยยาในลำไส้โดยเฉพาะ ศึกษา องศาการบวมตัวสมดุล (Equilibrium degree of swelling) ความแข็งแรงเชิงกล (mechanical strength) การสลายตัวในคน และสัตว์ และการปลดปล่อยยาในตัวกลางเดกซ์แทรนเนส (Dextranase) พบว่า องศาการบวมตัว (Degree of swelling) จะลดลง และ ความแข็งแรงเชิงกล เพิ่มขึ้น เมื่อมวลโมเลกุลเดกซ์แทรน และปริมาณสารเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น หรือลดปริมาณ DMSO ในปฏิกิริยา การปลดปล่อยยาจะทดสอบในสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตต เข้มข้น 0.1 M pH 5.4 ที่การเติมและไม่เติมเดกซ์แทรนเนส พบว่า การปลดปล่อยยาจะเร็วกว่าใน สารละลายบัฟเฟอร์ที่มี เดกซ์-แทรนเนส

Hongliang Jiang และคณะ [16] ศึกษาการเตรียมเมมเบรนด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต พบว่าเดกซ์แทรนสามารถปั่นเป็นเส้นใยได้เมื่อละลายในน้ำ DMSO/น้ำ และ DMSO/DMF แบ่งการทดลองเป็น 3 ตอนคือ ตอนที่ 1 เตรียมเส้นใยจากเดกซ์แทรนละลายน้ำ พบว่า เส้นใยจะมีปม (Bead) น้อยที่ความเข้มข้น 0.75 g/ml H_2O ขึ้นไป และทำการผสมโปรตีนกับเดกซ์แทรนได้โดยตรง คือ Bovine serum albumin (BSA) และ Lysozyme เส้นใยที่ได้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง เนื่องจากเป็นการเพิ่มประจุให้กับสารละลาย ตอนที่ 2 เตรียมเส้นใยจากเดกซ์แทรนละลายใน DMSO/DMF และ DMSO/น้ำ ซึ่ง DMSO ต้องมากกว่า 40% ถึงจะปั่นเป็นเส้นใยได้ และเตรียมคอมโพสิตเมมเบรนระหว่าง Hydrophilic กับ Hydrophobic คือ เดกซ์แทรน /PLGA ใน DMSO/DMF จะทำให้สมบัติเชิงกลของเส้นใยดีขึ้น และตอนที่ 3 เตรียมเส้นใยเมทาคริลิต -เดกซ์แทรน และเชื่อมโยงแบบ Photo-crosslink ใช้ DMPA 1% เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง เชื่อมปฏิกิริยาทางแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) เป็นเวลา 2 วัน พบว่าเมมเบรนยังคงรูปร่างมากกว่า 1 เดือน

Xinhua Zong และคณะ [17] เตรียมเมมเบรนจาก Amorphous poly(D,L-lactic acid) (PDLA) และ Semi-crystalline poly(L-lactic acid) (PLLA) ด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถิติ สำหรับประยุกต์ใช้เป็นวัสดุชีวภาพทางการแพทย์ ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อเส้นใยจาก SEM พบว่า เมื่อความเข้มข้นเพิ่มสูงขึ้น จะได้เส้นใยที่เสถียรมากขึ้น และเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น เมื่อศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น การเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จะเป็นการเพิ่มประจุ เส้นผ่านศูนย์กลางจะมีขนาดเล็กลง และ Feed rate ของสารละลายพอลิเมอร์สูงขึ้น จะทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต จะทำให้ PLLA ที่เป็นผลึก มี Tg และ Tm ลดลง โดยวิเคราะห์จาก DSC และ X-ray เมื่อเติมยาลงในเมมเบรน จะสามารถปลดปล่อยได้ใน 3 ชั่วโมง เหมาะกับการติดเชื้อที่รวดเร็ว

W.N.E van Dijk-Wolthuis และคณะ [18] ศึกษาการเตรียม methacrylate derivatized dextran (dex-GMA) โดยเกิดปฏิกิริยาระหว่าง GMA และ เดกซ์แทรน ใน DMSO และ 4-(N,N-dimethylamino)pyridine (DMAP) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตรวจสอบลักษณะสารด้วยเทคนิค GPC FTIR และ NMR และเตรียมไฮโดรเจล dex-GMA ใช้ริเริ่มปฏิกิริยา คือ Ammonium peroxydisulfate (APS) และตัวเร่งปฏิกิริยา คือ N,N,N',N'-tetra methylenediamine (TEMED) ผ่านปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ซึ่งจะได้ไฮโดรเจล ที่มีเปอร์เซ็นต์ Conversion สูงเมื่อ ความเข้มข้นของ TEMED สูง ส่วนความเข้มข้นของ dex-GMA และ APS คงที่ หรือ ความเข้มข้นของ dex-GMA และ APS เพิ่มขึ้น เมื่อ TEMED คงที่ ไฮโดรเจลที่ได้จะใช้เป็นเมทริกซ์ สำหรับการควบคุมการปลดปล่อยโปรตีน

Yeli Zhang และ Chih-chang Chu [19] เตรียมไฮโดรเจล Dextran-poly(lactide) network ที่ย่อยสลายเองได้ จาก dex-AI มีสมบัติ Hydrophilic กับ PDLLAM มีสมบัติ Hydrophobic ละลายใน DMF เติมยา Indomethacin (IDM) และ 2,2-Dimethoxy 2-phenyl acetophenone เป็น ตัวริเริ่มปฏิกิริยาทางแสง เชื่อมโยงด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต เพื่อศึกษาการปลดปล่อยยาพบว่า เมื่อปริมาณ PDLLAM เพิ่มขึ้น การปลดปล่อย IDM จะช้าลง ศึกษาการบวมตัว (Swelling) ของไฮโดรเจล โดยแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต pH 7.4 ที่ 37 องศาเซลเซียส พบว่า การบวมตัวจะลดลง เมื่อ PDLLAM เพิ่มขึ้น และศึกษาพื้นฐานนิทยาจากไฮโดรเจลที่บวมตัว พบว่า เมื่อปริมาณ dex-AI มากขึ้น จะเห็นรูเปิดของ 3-D ได้เร็วกว่า เมื่อปริมาณ PDLLAM เพิ่มขึ้น

Jacqueline D. Kosmala และคณะ [20] เตรียมเจลาติน/เดกซ์แทรน และเชื่อมโยงเป็น Interpenetrating Polymeric Network (IPNs) ด้วยวิธีการเชื่อมโยงหลายวิธี คือ Treatment ด้วย Glyceraldehydes thermal hardening และ Chelation ของเดกซ์แทรน ด้วย Divalent metal cation (CaCl_2) ทดสอบการบวมตัวในน้ำที่ 25 องศาเซลเซียส และ 37 องศาเซลเซียส พบว่า เจลาติน/เดกซ์แทรน IPNs จากการเชื่อมโยงด้วย Glyceraldehydes จะเสถียรที่ 25 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะหรือเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยเด็ดขาด

Chidchanok Mit – uppatham และคณะ [21] เตรียมเส้นใย polyamide-6 (PA-6) โดยใช้เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง ซึ่งศึกษาพื้นฐานวิทยาโดยใช้ Optical scanning (OS) และ scanning electron microscopy (SEM) จะเป็นการศึกษาคุณสมบัติของสารละลายต่าง ๆ (ความเข้มข้น ความหนืด แรงตึงผิวและการนำไฟฟ้า) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ได้ โดยที่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายสูงขึ้น ความหนืดก็จะเพิ่มขึ้น ตามความสัมพันธ์แบบ Exponential แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้น แรงตึงผิวจะเพิ่มขึ้นและการนำไฟฟ้าจะลดลงเพียงเล็กน้อย ที่ความหนืดต่ำจะเกิด หยด (Droplet) ขึ้นบนแผ่นรองรับเส้นใย และเมื่อความหนืดสูงขึ้นจนถึงค่าวิกฤต หยดจะหายไปเหลือแต่ปัดและได้เส้นใยที่เรียบ และถ้าความหนืดเพิ่มขึ้นปัดจะลดลง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยจะใหญ่ขึ้น จากผลของน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันของ PA-6 พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยที่ได้จะมีขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์แบบ Exponential และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับสารละลายพอลิเมอร์ ส่งผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยมีขนาดเล็กลง เมื่อนำสารละลายของ PA-6 ผสมกับ m-creso และกรดฟอร์มิก ทำให้สารละลายมีความหนืดสูงขึ้น เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น และจากการเติม Inorganic Salt (NaCl LiCl และ MgCl₂) ลงไปในสารละลาย เป็นการเพิ่มการนำไฟฟ้าให้กับสารละลาย ทำให้อัตราการไหลเพิ่มขึ้น เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยสามารถแบ่งได้เป็น 3 ตอน คือ

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของความเข้มข้น และความหนืดของสารละลายเดกซ์แทรน

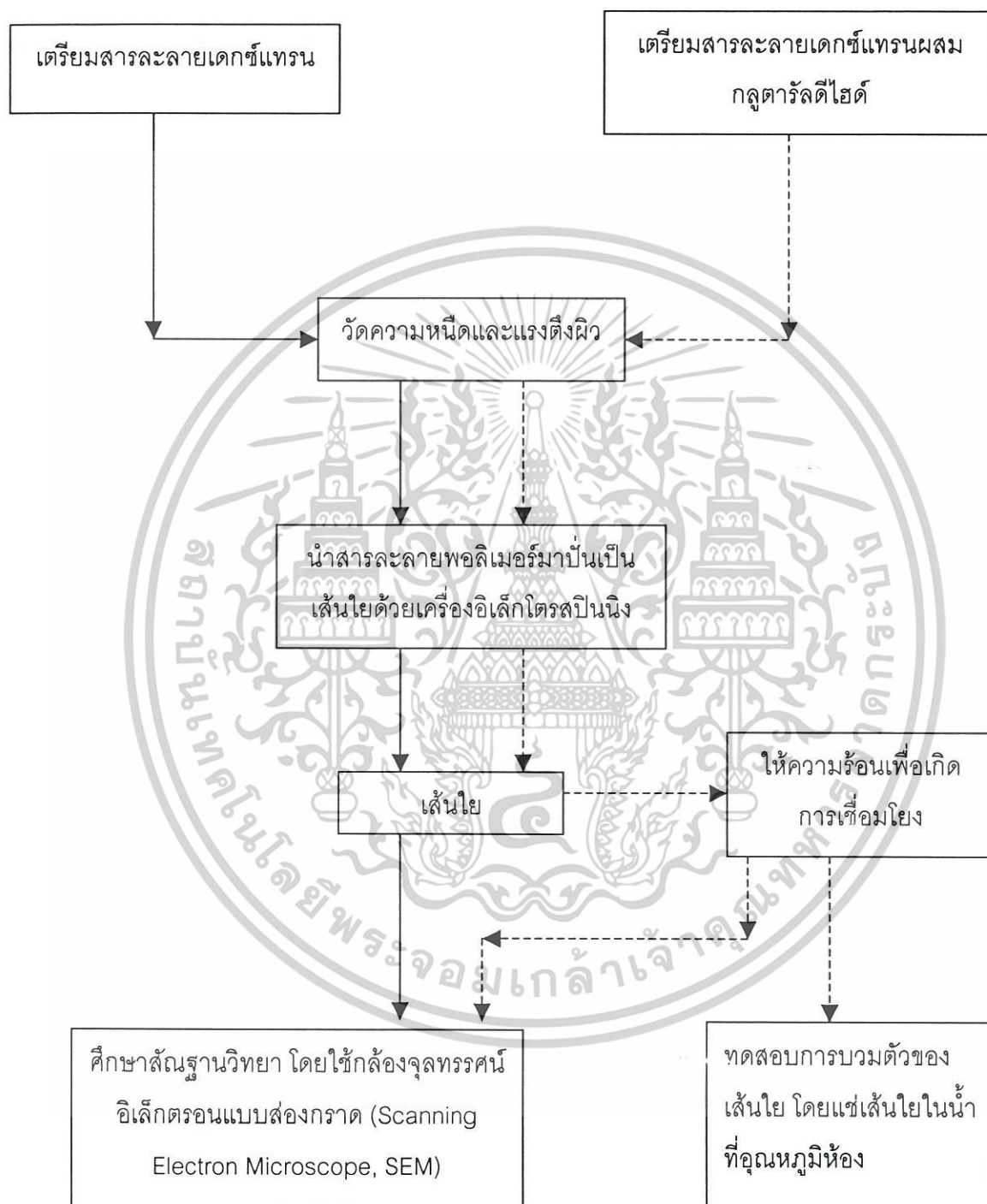
เตรียมสารละลายเดกซ์แทรน (Dextran) ในน้ำ โดยที่ค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.7 ถึง 1.3 g/ml วัดความหนืดและแรงตึงผิว นำไปปั่นเป็นเส้นใยด้วยเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ป็นนิง กำหนดให้ ศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ และอัตราการไหล (Feed rate) ของสารละลายคงที่ นำเส้นใยที่ได้มาศึกษาสัณฐานวิทยา และขนาดของเส้นใย ด้วยเครื่อง SEM

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของศักย์ไฟฟ้า

เตรียมสารละลายเดกซ์แทรน ที่ความเข้มข้น 0.8 1.0 และ 1.2 g/ml นำไปปั่นเส้นใย ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างๆ คือ 9 12 15 18 และ 21 kV โดยกำหนดให้ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับ และอัตราการไหลคงที่ นำเส้นใยที่ได้มาศึกษาสัณฐานวิทยา และขนาดของเส้นใย ด้วยเครื่อง SEM

ตอนที่ 3 ศึกษาการเชื่อมโยงเส้นใยด้วยสารเชื่อมโยง (Crosslinking agent)

นำสารละลายเดกซ์แทรนความเข้มข้นที่ให้สัณฐานวิทยาเหมาะสมจากตอนที่ 2 ผสมกับ สารละลายกลูตารัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) เป็นสารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) นำไปปั่นเป็นเส้นใย และให้ความร้อนเพื่อเกิดการเชื่อมโยง โดยศึกษา อุณหภูมิในการเชื่อมโยง เวลาในการเชื่อมโยง และผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา ทดสอบการบวมตัว (Swelling) ในน้ำ ของเส้นใยที่ อุณหภูมิห้อง หาองศาการบวมตัว (Degree of swelling) และร้อยละของน้ำหนักที่หายไป (% Weight loss)



รูปที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สารเคมี

1. เดกซ์แทรน (Dextran) มวลโมเลกุลระหว่าง 64,000 - 76,000 บริษัท ชิกมา จำกัด
2. กลูตารัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) เข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เกรดวิเคราะห์ บริษัท Merk จำกัด
3. แมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องแก้ว
2. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าและแท่งแม่เหล็ก
3. เครื่องชั่ง
4. ตู้อบ (Oven)
5. ตู้อบสุญญากาศ (Vacuum oven)
6. เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
7. Syringe pump Kd Scientific Model 100 Series บริษัท เพนนิฟูล (ไทยแลนด์) จำกัด สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
8. เครื่องวัดความหนืด Brookfield รุ่น DV-II+VISCOMETER สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
9. เครื่อง Contact Angle KRUSSDSA1 V1.80 Drop Shape Analysis วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) บริษัท LEO รุ่น 1455 VP

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมสารละลายเดกซ์แทรน

- ละลายเดกซ์แทรน ในน้ำ 1 ml เข้มข้น 0.7 ถึง 1.3 g/ml
- ปั่นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่อุณหภูมิห้องจนสารละลายหมด
- ทิ้งสารละลายไว้ 1 คืน เพื่อไล่ฟองอากาศ
- วัดความหนืดและแรงตึงผิว จากนั้นนำไปปั่นเป็นเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

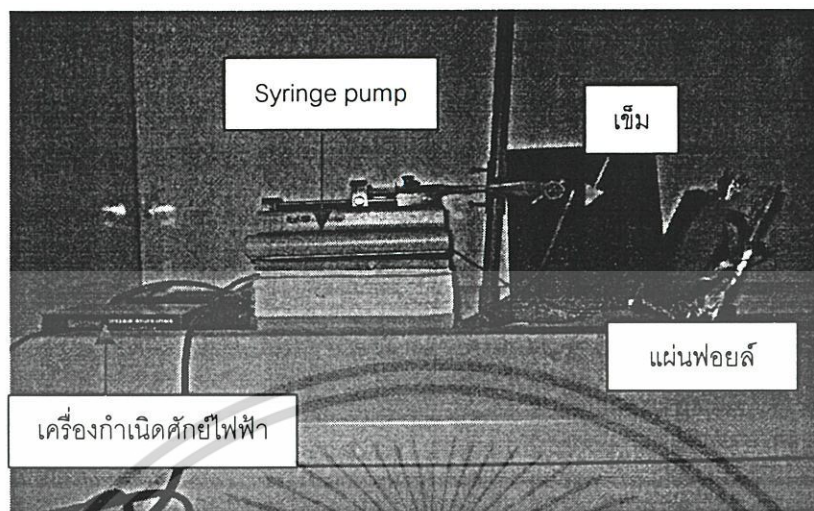
3.4.2 การเตรียมสารละลายเดกซ์แทรนผสมสารเชื่อมโยง

- ละลายเดกซ์แทรน 1 g และแมกนีเซียมคลอไรด์ 0.01 g ในน้ำ 1 ml
- บั่นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก ที่อุณหภูมิห้อง
- เติมสารละลายกลูตารัลดีไฮด์ เข้มข้น 50 %w/w ขณะบั่นกวน 0.4 ml จนเป็นเนื้อเดียวกัน
- ทิ้งสารละลายไว้ 1 คืน เพื่อไล่ฟองอากาศ
- วัดความหนืดและแรงตึงผิว จากนั้นนำไปปั่นเป็นเส้นใย
- ทำซ้ำ แต่เพิ่มปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์เป็น 0.02 และ 0.03 g

3.4.3 การเตรียมเส้นใย ด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง

- ติดตั้งเครื่องอิเล็กโตรสปินนิง ดังรูปที่ 3.2 ประกอบด้วย
 - แหล่งให้กำเนิดศักย์ไฟฟ้า
 - หลอดฉีดยา , เข็มฉีดยา เบอร์ 18
 - แผ่นรองรับเส้นใย (Aluminium foil)
 - Syringe pump
- กำหนด:
 - ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ เท่ากับ 15 cm โดยที่ปลายเข็มตั้งฉากกับแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์
 - อัตราการไหล (Feed rate) ของสารละลาย เท่ากับ 0.25 ml/hr
- นำสารละลายเดกซ์แทรนบรรจุในหลอดฉีดยา เปิดปั๊ม และค่อยๆ ให้ศักย์ไฟฟ้า โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ตอน คือ
 - ตอนที่ 1 ศึกษาผลของความเข้มข้น และความหนืด
 - ให้ศักย์ไฟฟ้า 15 kV กับ สารละลายเดกซ์แทรน 0.7-1.3 g/ml เป็นเวลา 10 นาที
 - ตอนที่ 2 ศึกษาผลของศักย์ไฟฟ้า
 - ให้ศักย์ไฟฟ้า เท่ากับ 9 12 15 18 และ 21 kV กับสารละลายเดกซ์แทรน 0.8 1 และ 1.2 g/ml เป็นเวลา 10 นาที
- นำเส้นใยมาอบไล่ตัวทำละลายที่เหลืออยู่ด้วยตู้อบสุญญากาศ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 คืน และนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ปิ๊งที่ใช้ในงานวิจัย

3.4.4 การเตรียมเส้นใยจากเดกซ์แทรน ผสมสารเชื่อมโยง

- บรรจุสารละลายในหลอดฉีดยา ติดตั้งเครื่องมือปั่นเส้นใย ดังรูปที่ 3.2
- กำหนดศักย์ไฟฟ้า เท่ากับ 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ 15 cm และอัตราการไหล (Feed rate) ของสารละลาย 0.25 ml/hr เป็นเวลา 4 hrs
- ตัดแผ่นเส้นใยขนาด 1 นิ้ว x 1 นิ้ว จำนวน 6 ชิ้น เพื่อทดสอบการบวมน้ำ โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ตอน คือ
 - ตอนที่ 1 ศึกษาผลของ อุณหภูมิในการเชื่อมโยง
นำเส้นใยที่มีส่วนผสมของแมกนีเซียมคลอไรด์ 0.01 g อบที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 °C เป็นเวลา 1 วัน
 - ตอนที่ 2 ศึกษาผลของเวลาในการเชื่อมโยง
นำเส้นใยที่มีส่วนผสมของแมกนีเซียมคลอไรด์ 0.01 g อบที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 3 6 9 12 24 และ 48 hrs
 - ตอนที่ 3 ศึกษาผลของปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์
นำเส้นใยที่มีส่วนผสมของแมกนีเซียมคลอไรด์ 0.01 0.02 และ 0.03 g อบที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 1 วัน
- ศึกษาพื้นฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 ทดสอบการบวมตัว (Swelling) ของเส้นใย

- นำเส้นใยเดกซ์เทรนผสมสารเชื่อมโยงที่อบแล้ว ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
 - จากนั้นนำเส้นใย แช่น้ำ เป็นเวลา 1 วัน ที่อุณหภูมิห้อง
 - เมื่อครบกำหนด นำชิ้นงานขึ้นจากน้ำ ชั่งน้ำหนักส่วนเกิน แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
- หาองศาการบวมตัว (Degree of swelling) จาก

$$S (\%) = [(W_1 - W_0) / W_0] \times 100$$

เมื่อ W_1 เท่ากับ น้ำหนักของเส้นใยที่บวมตัวในน้ำ
 W_0 เท่ากับ น้ำหนักของเส้นใยแห้งเริ่มต้น ก่อนการบวมตัว

- นำชิ้นงานอบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 1 วัน ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน หาร้อยละน้ำหนักที่หายไป (% Weight loss) จาก

$$\text{Weight loss (\%)} = [(W_0 - W_1) / W_0] \times 100$$

เมื่อ W_0 เท่ากับ น้ำหนักของเส้นใยแห้งเริ่มต้น ก่อนการบวมตัว
 W_1 เท่ากับ น้ำหนักเส้นใยแห้ง หลังการบวมตัว

3.4.6 ศึกษาพื้นฐานวิทยา ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ตัดชิ้นงานจากแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ ที่มีเส้นใยอยู่ด้านบน วางบนแท่นวาง หรือ สตับ (Stub) และนำตัวอย่างไปเคลือบด้วยทอง (Gold)

การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย วัดโดยใช้โปรแกรม Semafore® 4 จำนวน 90 เส้น ต่อหนึ่งตัวอย่าง หาค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.5 ปัจจัยที่ศึกษา

- | | |
|----------------------|--------------------------------------|
| ศึกษาสภาวะการขึ้นรูป | - ความเข้มข้น และความหนืดของสารละลาย |
| | - ศักย์ไฟฟ้า |
| ศึกษาการเชื่อมโยง | - เวลา และอุณหภูมิในการเชื่อมโยง |
| | - ปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ |

ศึกษาพื้นฐานวิทยาของเส้นใย - ลักษณะ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

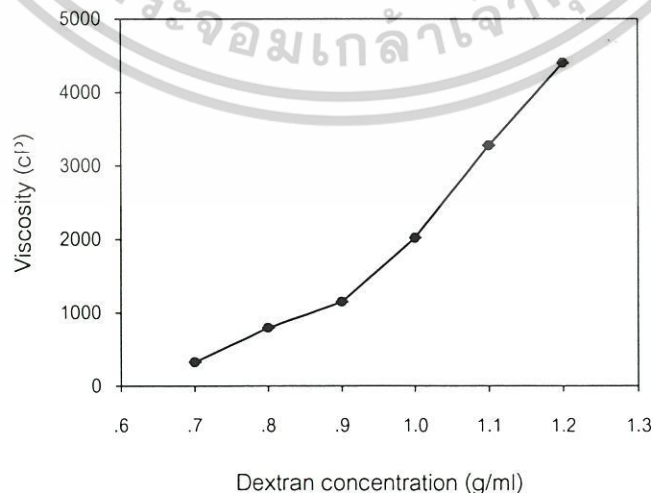
ในงานวิจัยนี้ ได้นำเดกซ์แทรนซึ่งเป็นพอลิแซคคาไรด์ชนิดหนึ่ง ผ่านกระบวนการเตรียมเป็นเส้นใยด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยไฟฟ้าสถิต หรืออิเล็กโตรสปินนิง โดยศึกษาสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสม และการเชื่อมโยงทางเคมีของเส้นใย ผลการทดลองได้ดังนี้

4.1 สมบัติบางประการของสารละลายเดกซ์แทรน

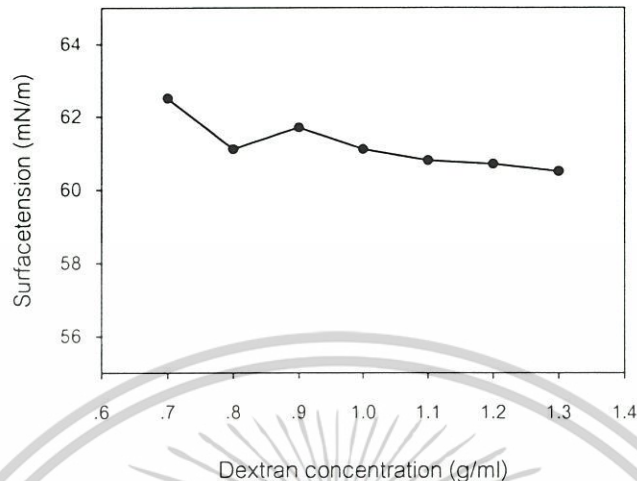
สมบัติบางประการของสารละลาย เช่น ความเข้มข้น (Concentration) ความหนืด (Viscosity) และแรงตึงผิว (Surface tension) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ซึ่งความหนืดที่เหมาะสมของพอลิเมอร์แต่ละชนิดในการเตรียมเส้นใยต่างกัน ดังนั้นจึงศึกษาสมบัติเหล่านี้ที่เหมาะสมของสารละลายเดกซ์แทรน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [16] ใช้สารละลายเดกซ์แทรนในน้ำ เข้มข้น 0.5 – 1.0 g/ml ในการเตรียมเส้นใย ในงานวิจัยนี้ได้เตรียมสารละลายเดกซ์แทรนในน้ำ เข้มข้น 0.7 - 1.3 g/ml พบว่า เมื่อสารละลายเดกซ์แทรนเข้มข้นมากขึ้น ความหนืดจะมีค่าเพิ่มขึ้น มีค่าอยู่ในช่วง ประมาณ 350 -4500 cP ดังรูปที่ 4.1 และที่ความเข้มข้นมากกว่า 0.9 g/ml ความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ค่าแรงตึงผิวของสารละลายเดกซ์แทรนในน้ำ มีค่าค่อนข้างคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของสารละลาย ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเดกซ์แทรนกับความหนืด
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเดกซ์แทรนกับแรงตึงผิว

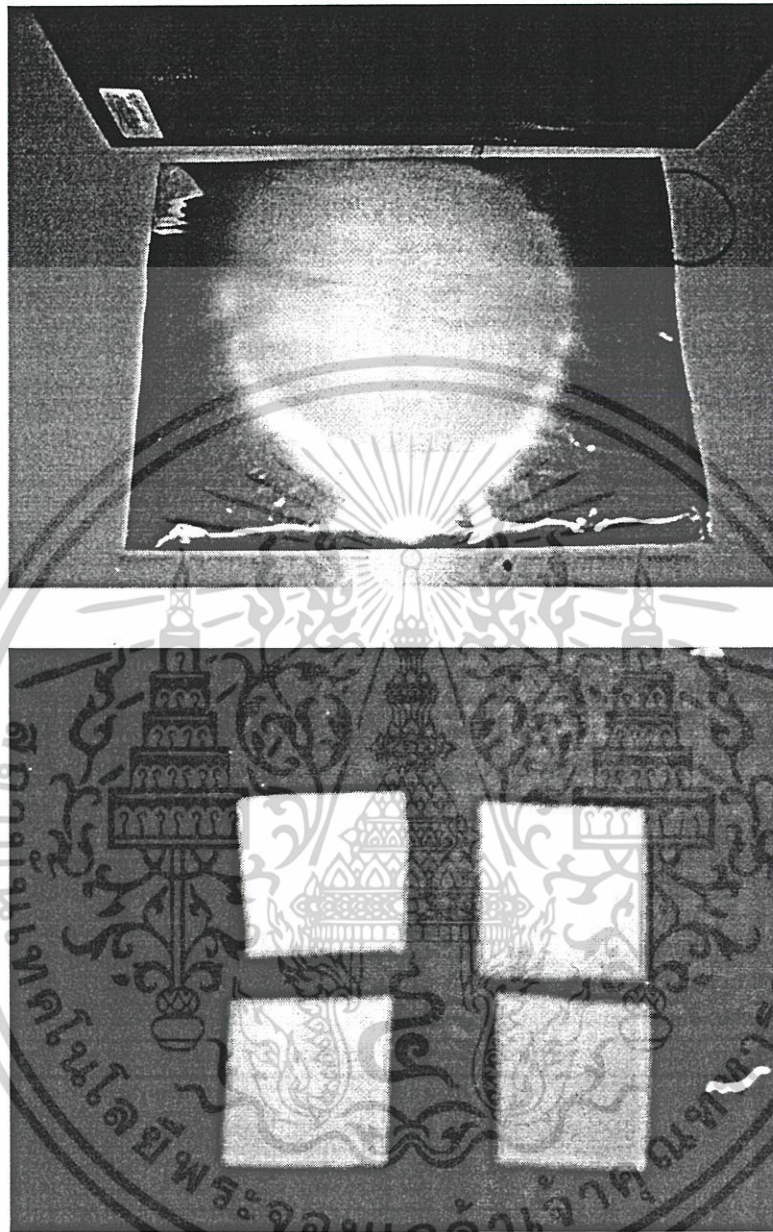
4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการปั่นเส้นใย

เมื่อนำสารละลายเดกซ์แทรนบรรจุในหลอดฉีดยา ติดตั้งเครื่องมือปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต หรืออิเล็กทรอนิกส์แล้วเพิ่มศักย์ไฟฟ้าของเครื่อง จะเห็นว่าสารละลายสะสมที่ปลายเข็มเพิ่มขึ้น และเมื่อแรงผลักรันของประจุมากกว่าแรงตึงผิวของสารละลาย กระแสของสารละลายพอลิเมอร์ จะพุ่งออกมา ซึ่งกระแสพอลิเมอร์จะยืดยาวขึ้นมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง และตัวทำละลาย จะระเหยออกไประหว่างเคลื่อนที่ไปตกบนแผ่นรองรับเส้นใย ที่ใช้คือ แผ่นพอยล์ จะเห็นกระแสพอลิเมอร์ (Jet) กระจายตัวเป็นวงกลม และมีสีขาวบนแผ่นพอยล์ ได้เส้นใยแบบไม่ถักทอ (Nonwoven) ตัวอย่างเส้นใยที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.3

กระแสพอลิเมอร์ที่พุ่งออกมา มีแรง 6 แรงที่เกี่ยวข้อง คือ

1. แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational force)
2. แรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) จะช่วยพากระแสพอลิเมอร์จากปลายเปิดพุ่งสู่แผ่นพอยล์
3. แรงผลักระหว่างประจุ (Coulombic repulsion force) เป็นแรงผลักระหว่างประจุที่อยู่ในกระแสพอลิเมอร์ ทำให้กระแสพอลิเมอร์เกิดการยืดตัวระหว่างการเคลื่อนที่สู่แผ่นพอยล์
4. แรงวิสโคอีลาสติก (Viscoelastic forces) เป็นแรงที่ต่อต้านการยืดตัวของกระแสพอลิเมอร์
5. แรงตึงผิว (Surface tension)
6. แรงต้าน (Drag forces) อันเนื่องมาจากกระแสพอลิเมอร์กับอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

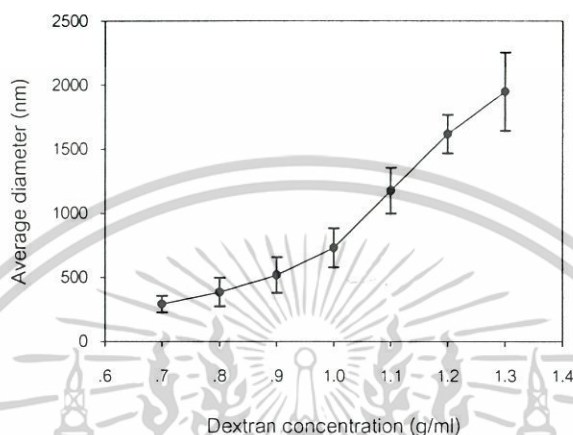


รูปที่ 4.3 ตัวอย่างเส้นใยเดกซ์แทรนที่ได้ในงานวิจัย

4.2.1 ผลของความเข้มข้นและความหนืดของสารละลายเดกซ์แทรน

เมื่อกำหนดศักย์ไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm และ อัตราการไหล 0.25 ml/hr และ พบว่าเมื่อความเข้มข้นและความหนืดของสารละลายเพิ่มขึ้น เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายในช่วง 0.7 - 1.0 g/ml ให้เส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตร (ประมาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

300 - 800 nm) ส่วนความเข้มข้นตั้งแต่ 1.1 g/ml ขึ้นไป ให้เส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางในระดับไมโครเมตร เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าที่ให้คงที่ไม่สูงพอที่จะทำให้กระแสพอลิเมอร์ของสารละลายเดกซ์แทรนที่มีความเข้มข้น หรือความหนืดสูงยึดตัวได้มาก เส้นใยที่ได้จึงมีขนาดใหญ่



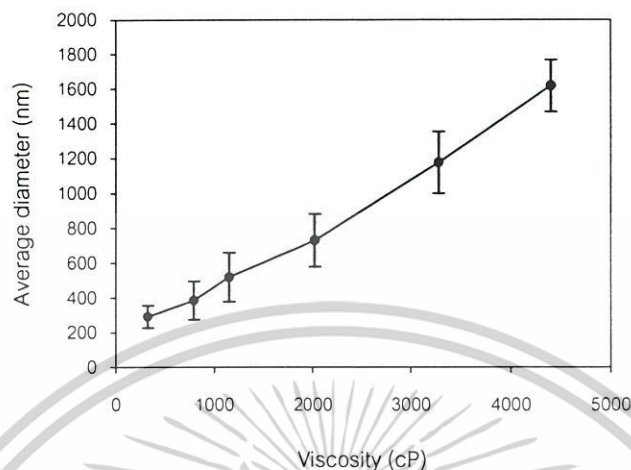
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายเดกซ์แทรนกับเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใย: ศักย์ไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยเท่ากับ 15 cm และอัตราการไหลเท่ากับ 0.25 ml/hr

ตารางที่ 4.1 ค่าความหนืด แรงตึงผิว และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ที่ความเข้มข้นต่างๆ ของเดกซ์แทรน

ความเข้มข้น (g/ml)	ความหนืด (cP)	แรงตึงผิว (mN/m)	เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใย (nm) ($\bar{X} \pm SD$)	กำลังขยาย (เท่า)
0.7	325	62.5	291 ± 65	2000
0.8	792	61.1	385 ± 111	2000
0.9	1148	61.7	518 ± 140	1500
1.0	2021	61.1	729 ± 152	1000
1.1	3277	60.8	1176 ± 178	700
1.2	4399	60.7	1617 ± 150	800
1.3	n/a	60.5	1948 ± 305	300

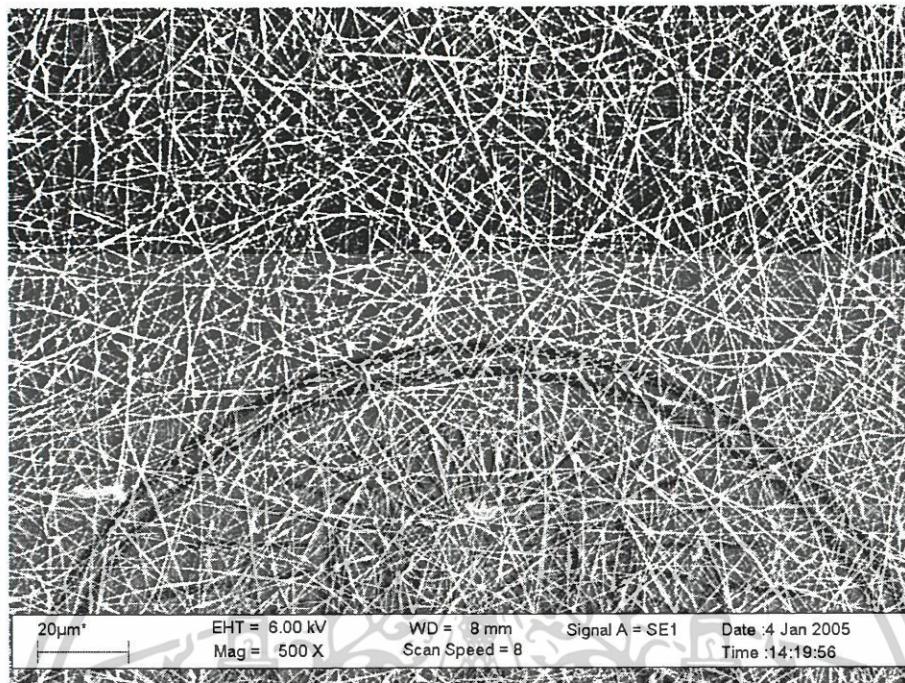
หมายเหตุ: ที่ความเข้มข้น 1.3 g/ml ไม่สามารถวัดความหนืดได้ที่ หัวเข็มเบอร์ 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

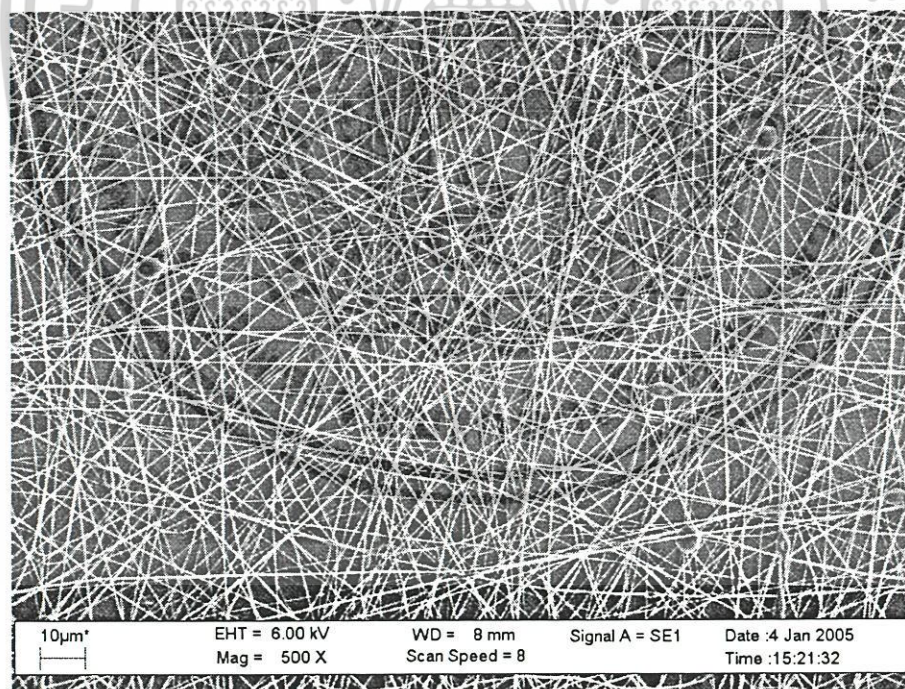


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของสารละลายเดกซ์แทรน กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใย: ศักย์ไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm และอัตราการไหล 0.25 ml/hr

จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) ดังรูปที่ 4.6 พบว่า ที่ความเข้มข้น 0.7 - 0.9 g/ml (รูป 4.6 a-c) เส้นใยที่ได้จะมีปม หรือบิด (Bead) เกิดขึ้นเนื่องจากความหนืดของสารละลายที่น้อยเกินไป การเกี่ยวพันระหว่างสายใยน้อย ในขณะที่แรงผลักระหว่างประจุมีมากจึงทำให้สายโซ่พอลิเมอร์คลายตัวไม่ยึดตัวเป็นเส้นใย และเนื่องจากสารละลายมีแรงตึงผิวในตัวมันเอง ทำให้เกาะกลุ่มกันเกิดเป็นบิดบนเส้นใย และที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 1.0 g/ml ขึ้นไป (รูป 4.6 d-g) จะเกิดบิดลดลง และเส้นใยที่ได้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นหรือความหนืดที่เพิ่มขึ้น สายโซ่พอลิเมอร์มีการเกี่ยวพันกันมากขึ้นมาก พอที่จะไม่เกิดการคลายตัวออกจากกัน เนื่องจากแรงผลักระหว่างประจุทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ เกิดการยึดตัวเป็นเส้นใยที่มีความสม่ำเสมอ

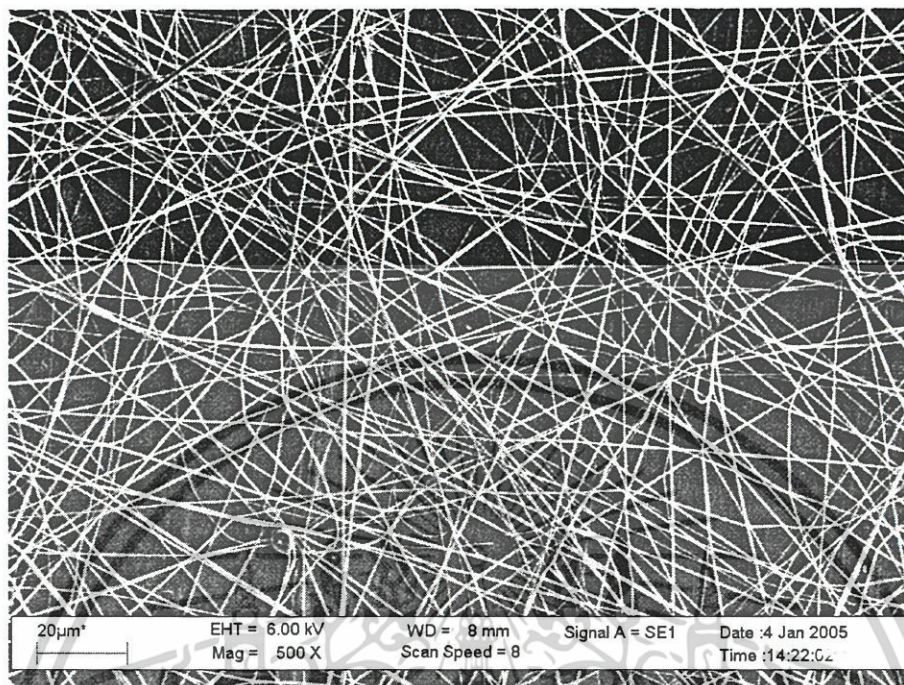


(a)

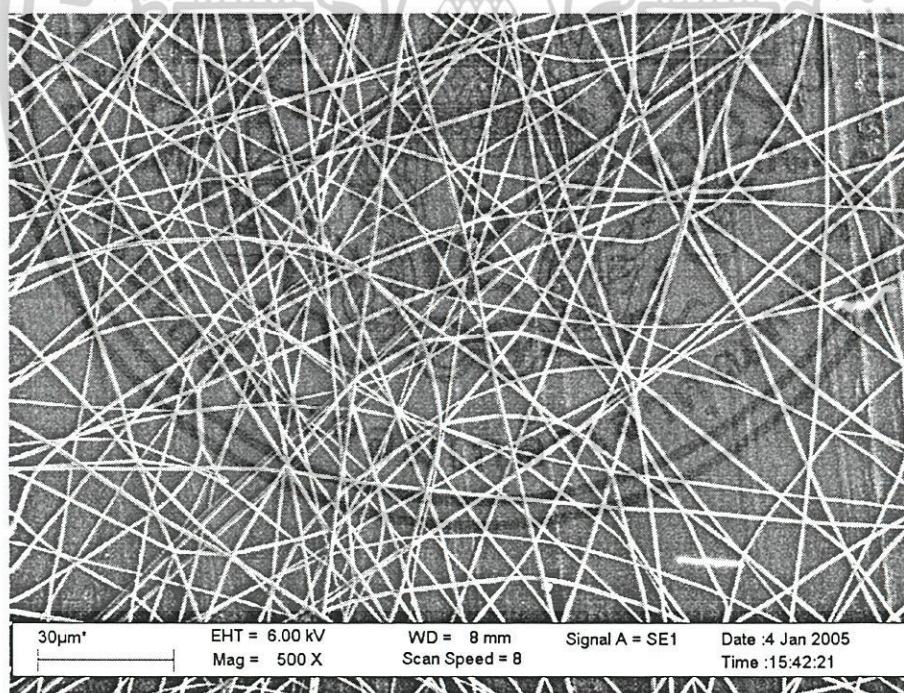


(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

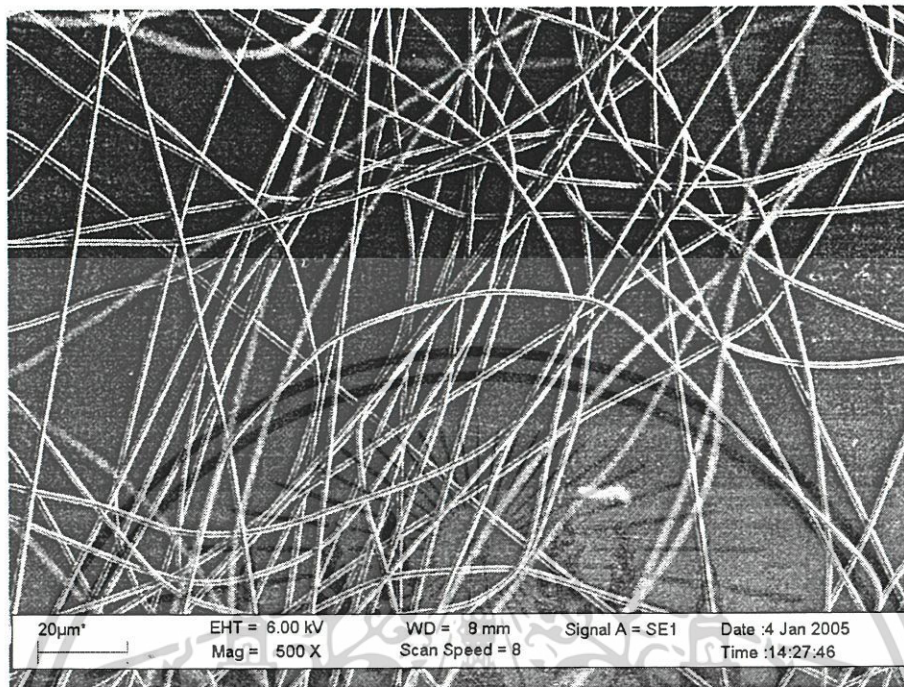


(c)

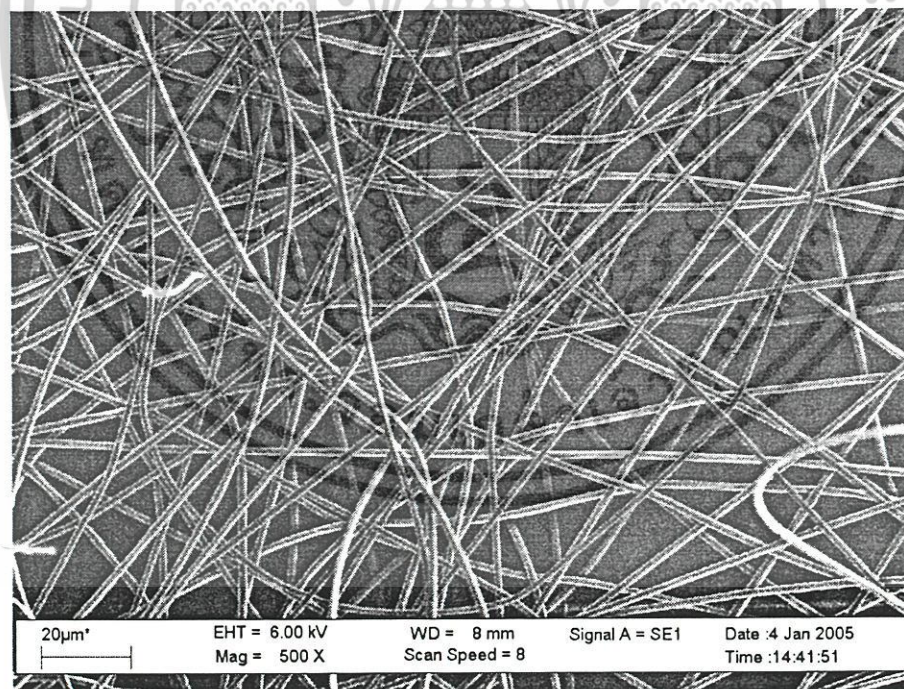


(d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

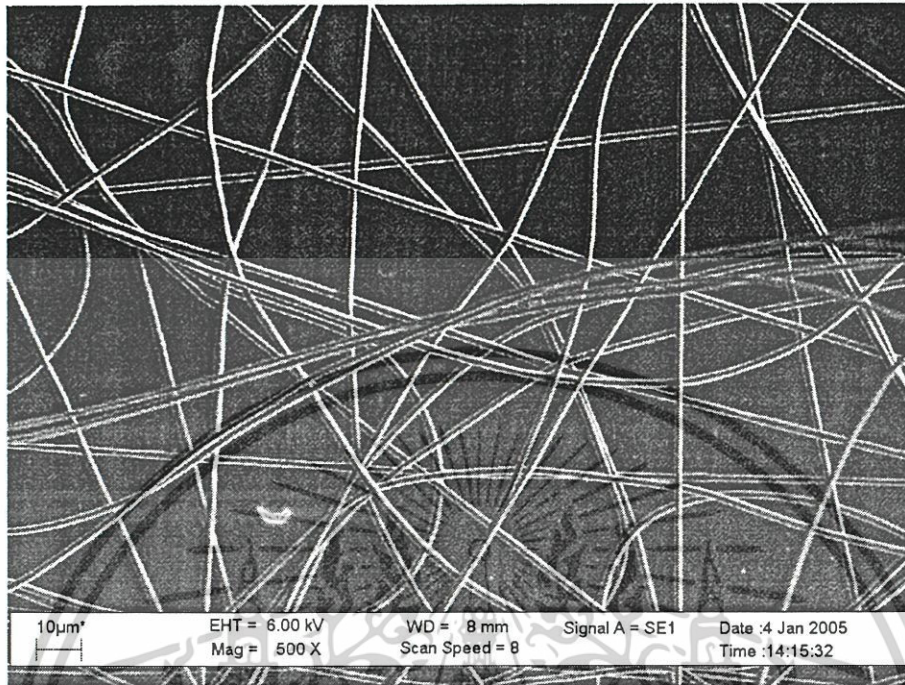


(e)



(f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(g)

รูปที่ 4.6 SEM Micrograph ของเส้นใยเดกซ์แทรนที่สารละลายเข้มข้นต่างกันคือ: (a) 0.7 g/ml (b) 0.8 g/ml (c) 0.9 g/ml (d) 1.0 g/ml (e) 1.1 g/ml (f) 1.2 g/ml และ (g) 1.3 g/ml: กำลังขยาย 500 เท่า ศักย์ไฟฟ้า 15 kV อัตราการไหล 0.25 ml/hr ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm

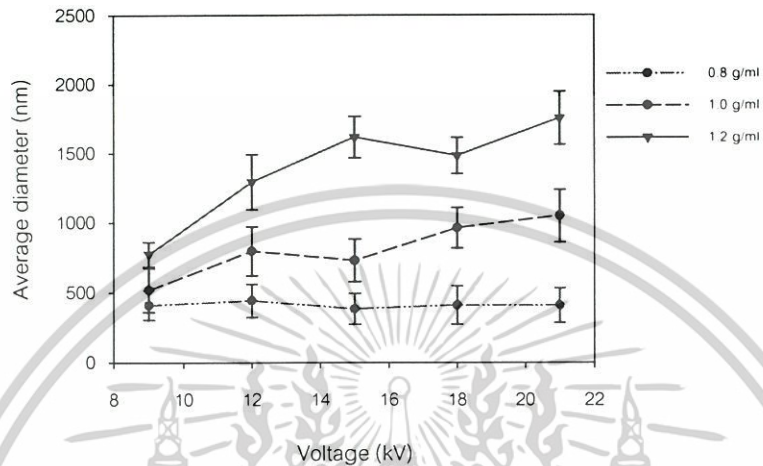
4.2.2 ผลของศักย์ไฟฟ้า

ศักย์ไฟฟ้าที่ให้คร่อมระหว่างปลายเชื่อมช่องเปิดกับแผ่นรองรับเส้นใย เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องรายงานว่า เมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น กระแสพอลิเมอร์ที่พุ่งออกมาเคลื่อนที่สู่แผ่นรองรับเส้นใยได้เร็ว ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น [17]

เมื่อนำสารละลายเดกซ์แทรนที่ความเข้มข้น 0.8 1.0 และ 1.2 g/ml ให้ศักย์ไฟฟ้า 9 12 15 18 และ 21 kV โดยที่อัตราการไหล 0.25 ml/hr และระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมถึงแผ่นรองรับ 15 cm พบว่าเมื่อศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น แนวโน้มของเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังรูปที่ 4.7 เนื่องจากศักย์ไฟฟ้าหรือสนามไฟฟ้าที่ให้เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มแรงทางไฟฟ้าให้กับสารละลาย ทำให้ปริมาณสารละลายออกมามาก กระแสพอลิเมอร์มีขนาดใหญ่ ส่งผลให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

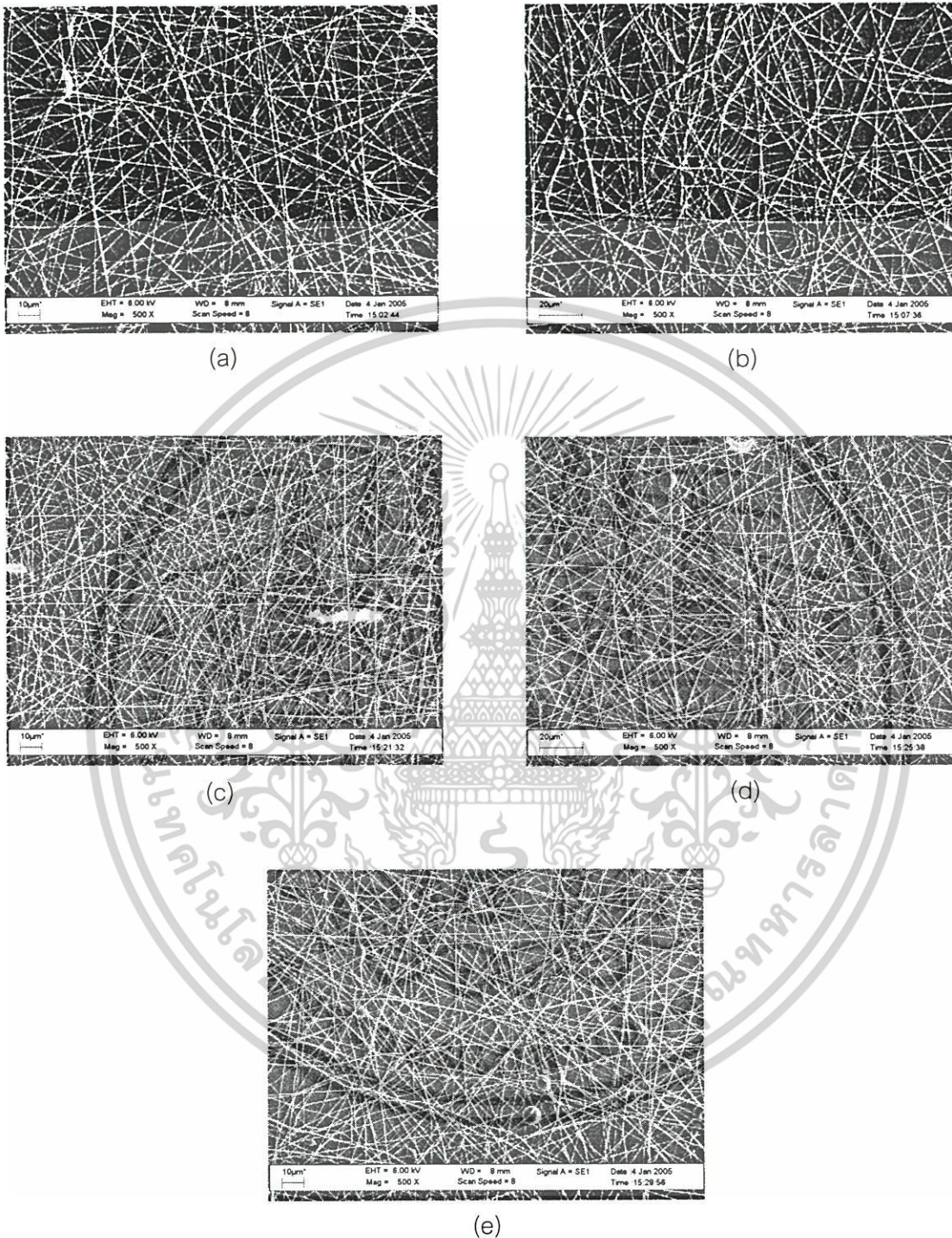
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลางของเส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังรูปที่ 4.8-4.10 และที่ศักย์ไฟฟ้ามากกว่า 18 kV กระแสพอลิเมอร์ที่พุ่งออกมาจากปลายเข็มค่อนข้างไม่เสถียร



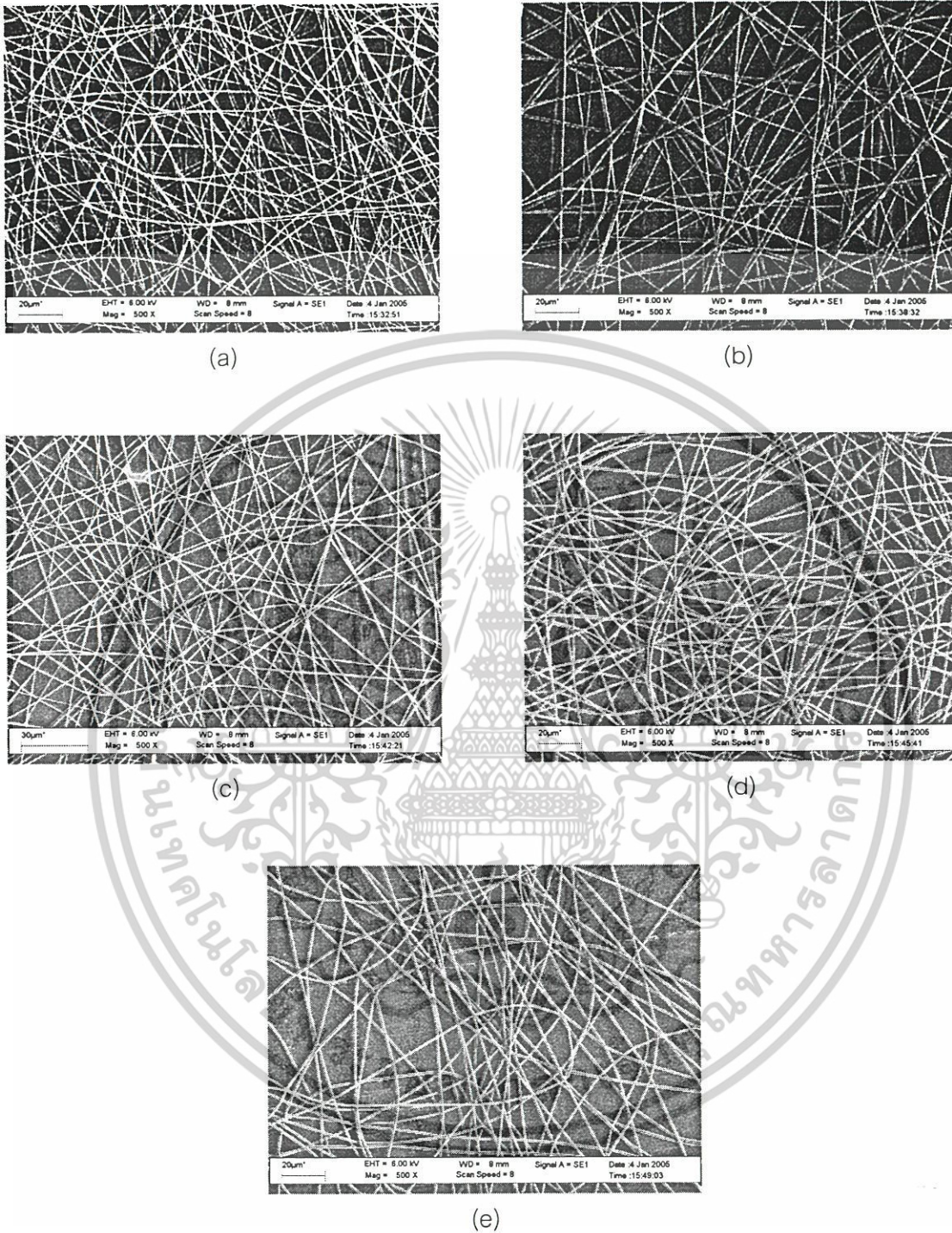
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้ากับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใย ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm และอัตราการไหล 0.25 ml/hr

จากการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเตรียมเส้นใย พบว่า ที่ความเข้มข้นต่ำเกินไป เส้นใยที่ได้จะมีบิดเกิดขึ้น และที่ความเข้มข้นสูงเกินไป สารละลายมีความหนืดมาก ทำให้ปั่นเป็นเส้นใยได้ยาก ดังนั้นจึงเลือกสารละลายเดกซ์แทรนที่ความเข้มข้น 1 g/ml ที่สามารถปั่นเป็นเส้นใยได้ค่อนข้างง่าย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 750 nm ได้เส้นใยที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ และมีบิดน้อย ที่ศักย์ไฟฟ้า 15 kV อัตราการไหล 0.25 ml/hr และระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm นำไปเชื่อมโยงต่อไป



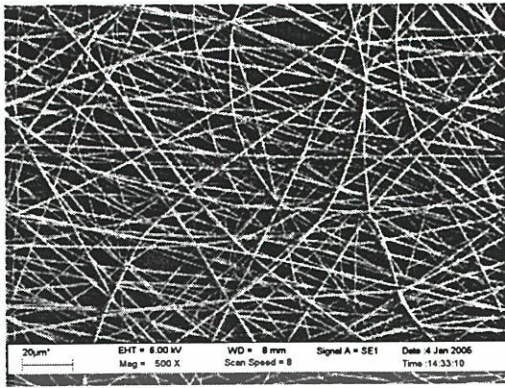
รูปที่ 4.8 SEM Micrograph ของเส้นใยเดกซ์แทรน ที่เตรียมจากสารละลายเข้มข้น 0.8 g/ml ใช้ศักย์ไฟฟ้าต่างกันคือ: (a) 9 kV (b) 12 kV (c) 15 kV (d) 18 kV และ (e) 21 kV: กำลังขยาย 500 เท่า ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm และอัตราการไหล 0.25 ml/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

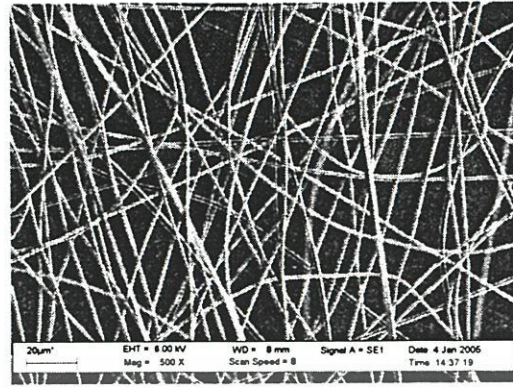


รูปที่ 4.9 SEM Micrograph ของเส้นใยเดกซ์แทรนที่เตรียมจากสารละลาย เข้มข้น 1.0 g/ml ใช้ ศักย์ไฟฟ้าต่างกันคือ: (a) 9 kV (b) 12 kV (c) 15 kV (d) 18 kV และ (e) 21 kV: กำลังขยาย 500 เท่า ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm และอัตราการไหล 0.25 ml/hr

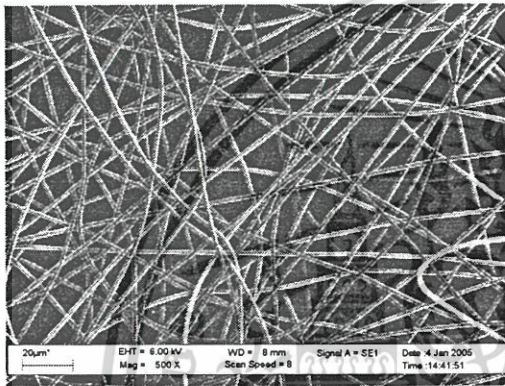
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



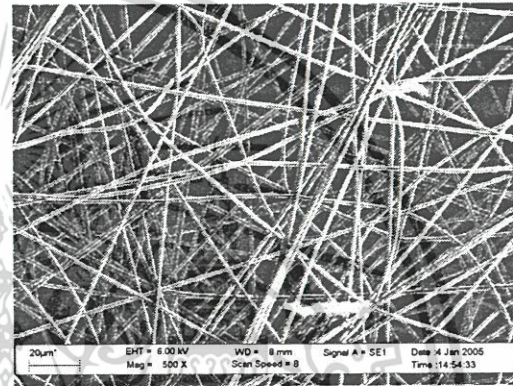
(a)



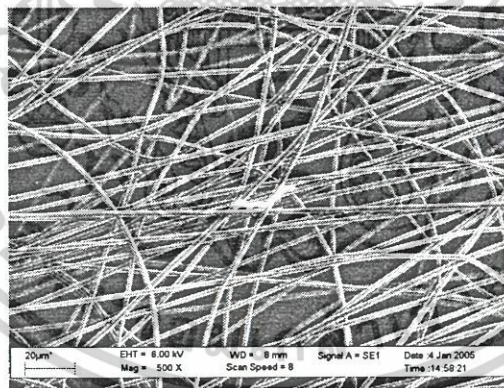
(b)



(c)



(d)



(e)

รูปที่ 4.10 SEM Micrograph ของเส้นใยเดกซ์แทรน ที่เตรียมจากสารละลาย เข้มข้น 1.2 g/ml ใช้

ศักย์ไฟฟ้าต่างกันคือ: (a) 9 kV (b) 12 kV (c) 15 kV (d) 18 kV และ (e) 21 kV:

กำลังขยาย 500 เท่า ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm และ

อัตราการไหล 0.25 ml/hr

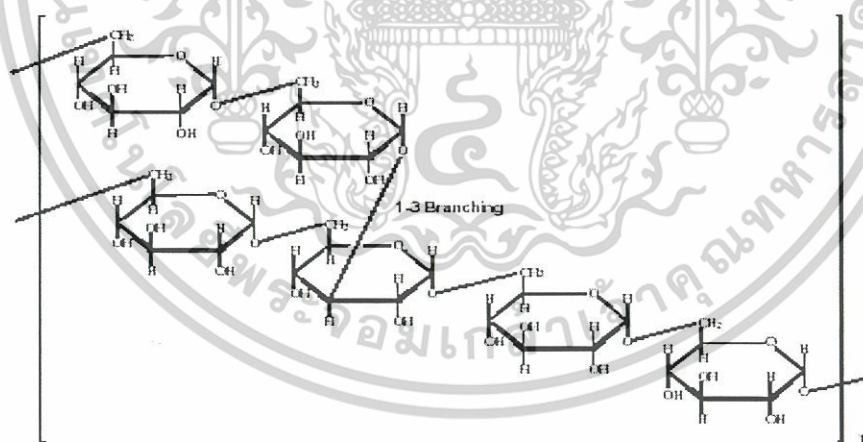
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการเชื่อมโยงเส้นใย

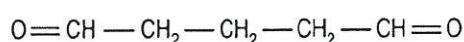
ในการใช้งานของเส้นใยบางอย่างอาจมีการสัมผัสกับน้ำโดยตรง เช่น ใช้เป็นวัสดุนำส่งยา วัสดุกรอง หรือใช้เป็นแม่แบบสำหรับเลี้ยงเซลล์ เป็นต้น ทำให้เส้นใยที่มีสมบัติการละลายน้ำ ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงปรับปรุงข้อด้อยนี้โดยการเชื่อมโยงเส้นใยให้มีโครงสร้างเป็นร่างแหสามมิติ

เดกซ์แทรนมีสมบัติการละลายน้ำได้ดี จึงได้ทำการเชื่อมโยงเส้นใยเดกซ์แทรนให้มีโครงสร้างเป็นร่างแห เพื่อให้สมบัติการละลายน้ำลดลง โดยใช้สารละลายกลูตารัลดีไฮด์ ที่ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาเป็นสารเชื่อมโยง ความร้อน และแมกนีเซียมคลอไรด์ ($MgCl_2$) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [13] ช่วยให้เกิดการเชื่อมโยงได้เร็วขึ้น จากโครงสร้างของเดกซ์แทรน ดังรูปที่ 4.11 โครงสร้างมีขนาดใหญ่ หมู่ไฮดรอกซิล (OH group) อยู่ห่างกันค่อนข้างมาก การเชื่อมโยงปฏิกิริยาอาจเกิดได้ยาก โครงสร้างร่างแหอาจไม่แข็งแรง ซึ่ง $MgCl_2$ จะช่วยให้โครงสร้างร่างแหมีความแข็งแรงมากขึ้นได้

ในงานวิจัยนี้นำเดกซ์แทรน 1 g และ $MgCl_2$ 0.01 g มาละลายในน้ำ 1 ml สารละลายจะมีสีใส และเติมสารละลาย 50 %w/w กลูตารอลดีไฮด์ ปริมาณ 0.4 ml สารละลายจะมีสีขาวขุ่น นำไปปั่นเป็นเส้นใยที่คักยไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm และอัตราการไหล 0.25 ml/hr และนำไปอบเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยง โดยศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลาในการเชื่อมโยงและปริมาณ $MgCl_2$ ดังนี้



รูปที่ 4.11 โครงสร้างเดกซ์แทรน

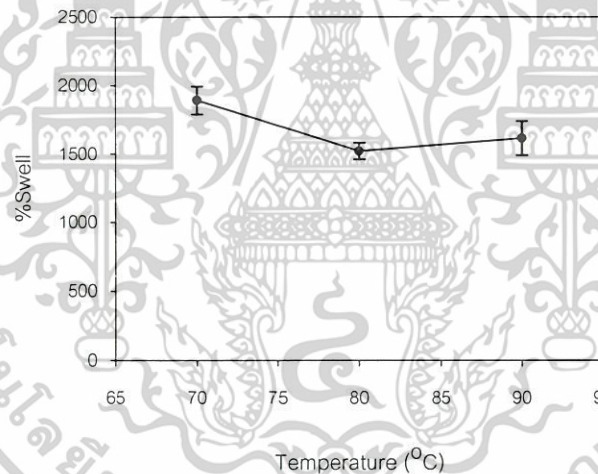


รูปที่ 4.12 โครงสร้างกลูตารัลดีไฮด์ (Glutaldehyde)

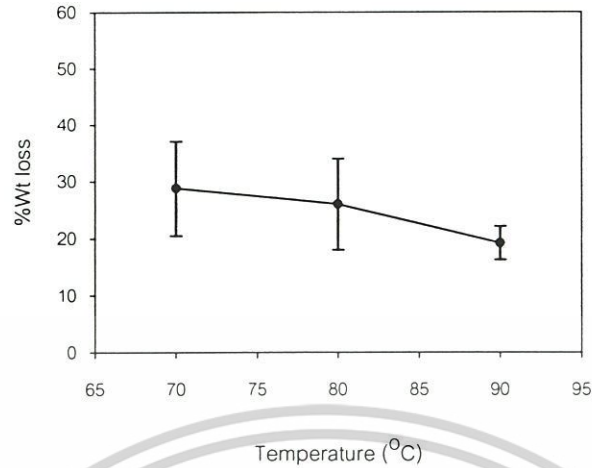
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 ผลของอุณหภูมิในการเชื่อมโยง

เมื่อนำเส้นใยที่ได้อบที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 °C เพื่อไล่น้ำ และเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงของเดกซ์แทรน โดยใช้เวลาในการอบ 24 hrs แล้วนำไปทดสอบการบวมตัวในน้ำเป็นเวลา 1 วัน เพื่อศึกษาองศาการบวมตัว (Degree of swelling) ในน้ำ และร้อยละน้ำหนักที่หายไปหลังจากการแช่น้ำ ซึ่งเส้นใยที่สามารถเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงได้มาก จะบวมน้ำหรือดูดซับน้ำต่ำกว่าเส้นใยที่เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงน้อย เนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลที่เหลือในโมเลกุลของเดกซ์แทรนสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้มากกว่า ทำให้เส้นใยบวมน้ำหรือดูดซับน้ำได้มาก ส่งผลเส้นใยที่ไม่เกิดการเชื่อมโยง ละลายน้ำหายไปได้มากกว่า จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 90 °C เส้นใยจะบวมน้ำและปริมาณเส้นใยที่หายไปน้อยที่สุด ดังรูปที่ 4.13 และ 4.14 เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่า อุณหภูมิสูงพลังงานจลน์ในระบบเพิ่มขึ้นทำให้โมเลกุลของสารเกิดการชนกันมากขึ้นจึงเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงได้มาก เส้นใยมีโครงสร้างเป็นร่างแหมากขึ้น หมู่ไฮดรอกซิลที่เหลืออยู่ในโครงสร้างลดลง จึงทำให้การบวมน้ำต่ำ และเส้นใยที่ไม่เกิดการเชื่อมโยงละลายน้ำหายไปลดลง



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเชื่อมโยงกับเปอร์เซ็นต์การบวมตัว (%Swell) ของเส้นใย หลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน: สารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g น้ำ 1 ml $MgCl_2$ 0.01 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml ศักย์ไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm อัตราการไหล 0.25 ml/hr และเวลาเชื่อมโยง 24 hrs

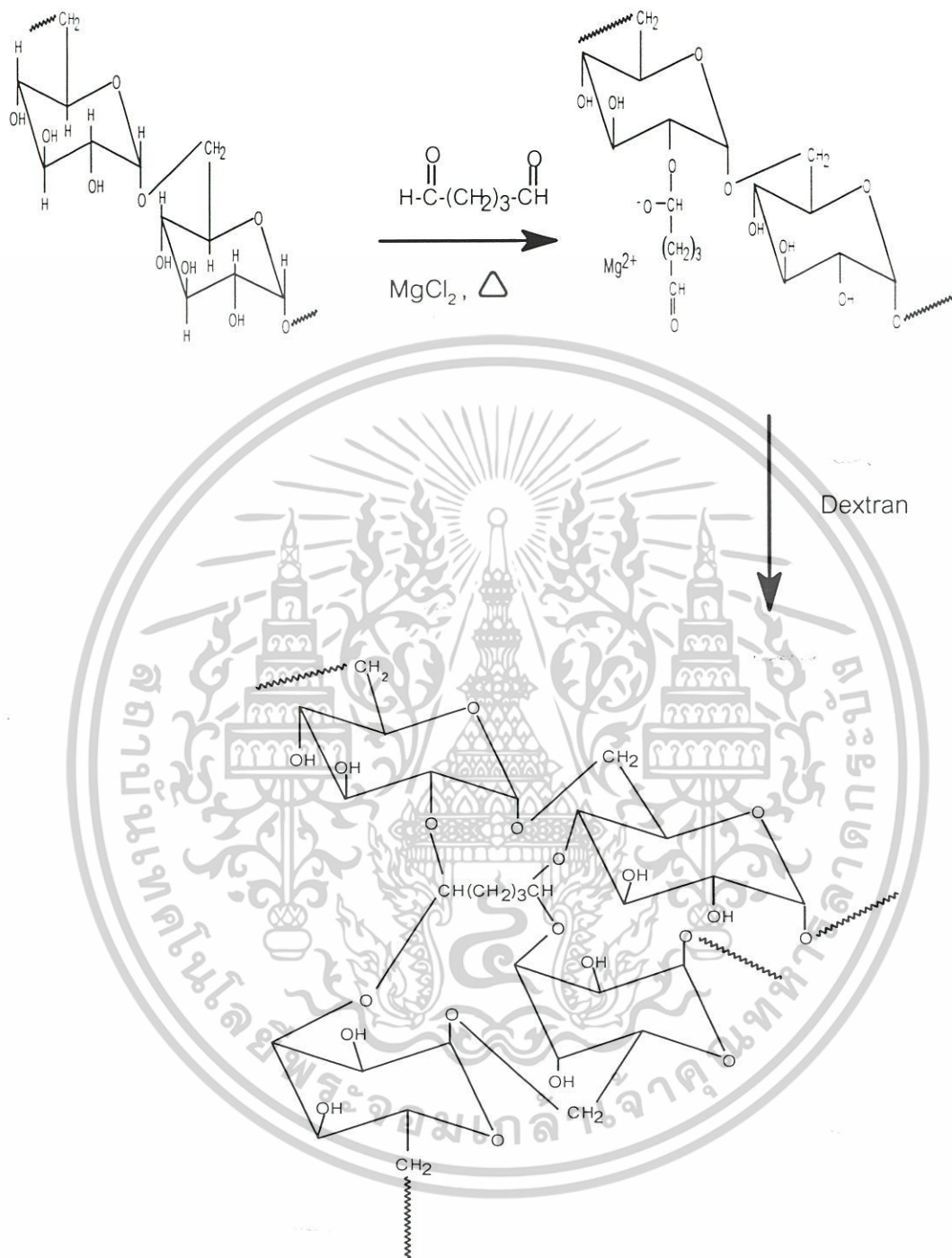


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเชื่อมโยงกับร้อยละน้ำหนักที่หายไป (%wt loss) ของเส้นใยหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน: สารละลายผสม เดกซ์แทรน 1 g น้ำ 1 ml $MgCl_2$ 0.01 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml ศักย์ไฟฟ้า 15 kV อัตราการไหล 0.25 ml/hr ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm และ เวลาเชื่อมโยง 24 hrs

4.3.2 ผลของเวลาในการเชื่อมโยง

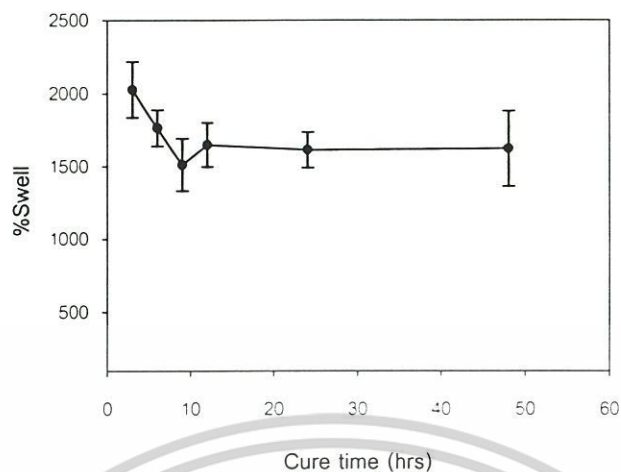
เมื่อนำเส้นใยที่ได้อบที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 3 6 9 12 24 และ 48 hrs แล้วนำไปทดสอบการบวมตัวในน้ำเป็นเวลา 1 วัน พบว่า ที่เวลาเชื่อมโยง 12 ถึง 48 hrs การบวมน้ำและปริมาณเส้นใยที่ละลายหายไปค่อนข้างคงที่ ดังรูปที่ 4.16 และ 4.17 ดังนั้นจึงเลือกเวลาในการเชื่อมโยงที่ 24 hrs เพราะถ้าใช้เวลาในการให้ความร้อนกับเส้นใยมากเกินไป อาจเกิดการเสียสภาพของพอลิเมอร์ ทำให้ประสิทธิภาพในการใช้งานลดลง

จากการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่าง เดกซ์แทรนกับกลูตารัลดีไฮด์ กลไกที่คาดว่าเกิดขึ้นเป็นดังนี้

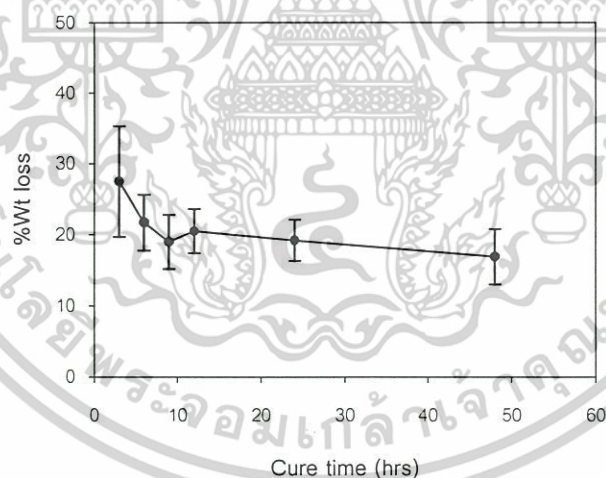


รูปที่ 4.15 กลไกการเกิดปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการ เชื่อมโยง (Cure time) กับเปอร์เซ็นต์การบวมตัว (%Swell) ของเส้นใย หลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน: สารละลายผสม เดกซ์-แทรน 1 g น้ำ 1 ml $MgCl_2$ 0.01 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml ศักย์ไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm อัตราการไหล 0.25 ml/hr และอุณหภูมิเชื่อมโยง 90 °C



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการเชื่อมโยง (Cure time) กับร้อยละน้ำหนักที่หายไป (%wt loss) ของเส้นใย หลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน: สารละลายผสม เดกซ์-แทรน 1 g น้ำ 1 ml $MgCl_2$ 0.01 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml ศักย์ไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm อัตราการไหล 0.25 ml/hr และอุณหภูมิเชื่อมโยง 90 °C

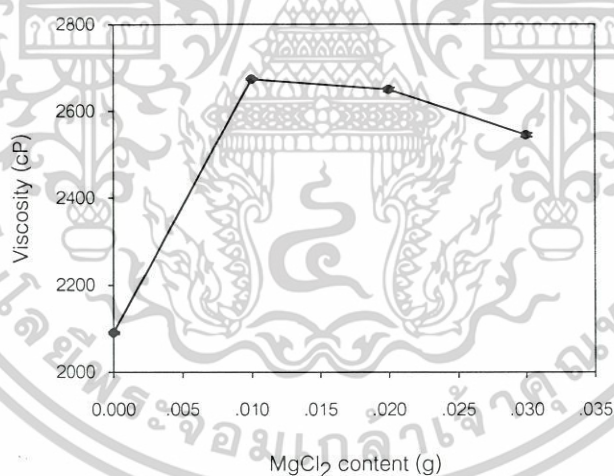
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป จะเห็นว่าบางจุดไม่เป็นไปตามแนวโน้ม อาจเนื่องมาจากเส้นใยมีน้ำหนักเบาเกินไป และการชั่งน้ำหนักหลังจากทดสอบการบวมตัวอาจไม่คงที่

4.3.3 ผลของปริมาณ $MgCl_2$ ต่อปฏิกิริยาเชื่อมโยง

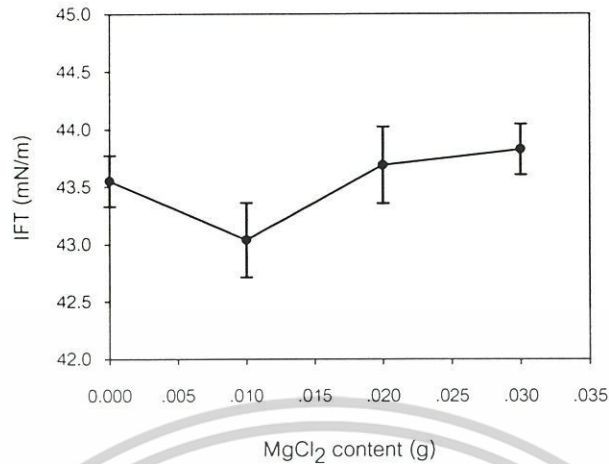
เมื่อปรับเปลี่ยนปริมาณ $MgCl_2$ ที่ใช้จาก 0.01 เป็น 0.02 และ 0.03 g สารละลายมีค่าความหนืด และค่าแรงตึงผิวเปลี่ยนแปลงไป ดังรูปที่ 4.18 และ 4.19 นำเส้นใยที่ได้อบที่อุณหภูมิ $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 24 hrs แล้วนำไปทดสอบการบวมตัวในน้ำเป็นเวลา 1 วัน พบว่าแนวโน้มการบวมตัวของเส้นใย และปริมาณเส้นใยที่ละลายหายไปลดลง ดังรูปที่ 4.20 และ 4.21 เนื่องมาจาก $MgCl_2$ ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อปริมาณเพิ่มขึ้นจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติมากขึ้น พันธะไฮโดรเจนระหว่างน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลของเดกซ์แทรนที่เหลืออยู่ลดลงทำให้การดูดซับน้ำของเส้นใยน้อยลง

จากการทดลอง เมื่อไม่ใส่ $MgCl_2$ พบว่า เส้นใยละลายน้ำได้ดี ไม่คงรูปเป็นแผ่น ไม่สามารถหาลงภาชนะการบวมตัวได้ อาจเนื่องมาจากพันธะเชื่อมโยงไม่แข็งแรง และเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงได้น้อย

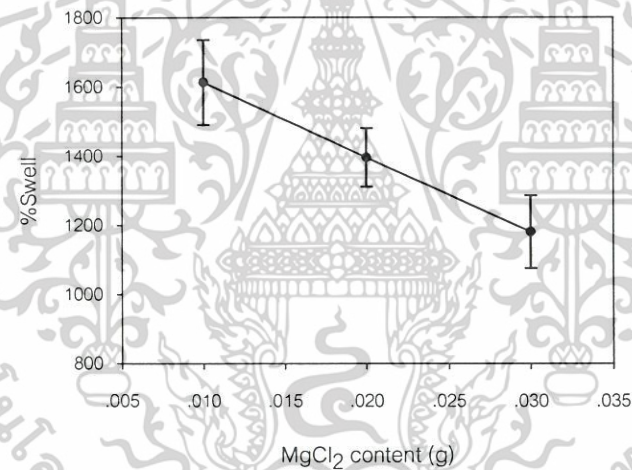


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์กับความหนืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

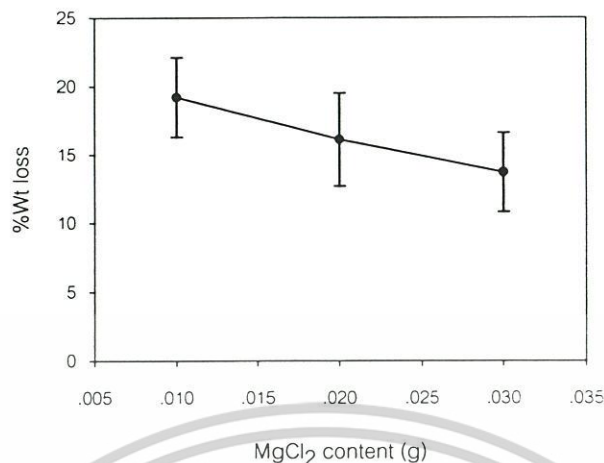


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์กับแรงตึงผิว



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ กับเปอร์เซ็นต์การบวมตัว (%Swell) ของเส้นใย หลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน: สารละลายผสม เดกซ์แทรน 1 g น้ำ 1 ml 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml และ MgCl₂ ปริมาณต่างๆ ศักย์ไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm อัตราการไหล 0.25 ml/hr และอุณหภูมิเชื่อมโยง 90°C เป็นเวลา 24 hrs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



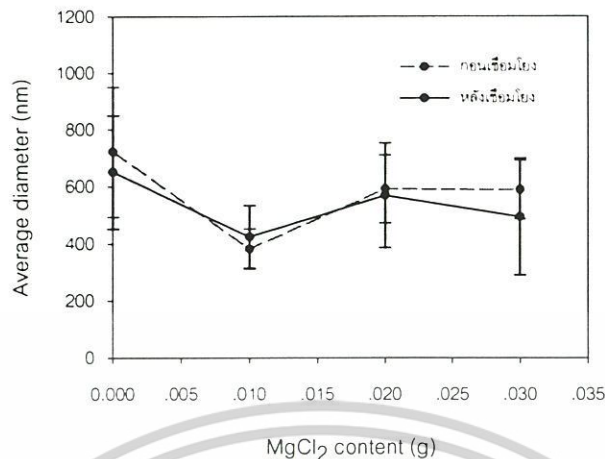
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์กับร้อยละน้ำหนักที่หายไป (%wt loss) ของเส้นใย หลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน: สารละลายผสม เดกซ์-แทรน 1 g น้ำ 1 ml 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml และ MgCl₂ ปริมาณต่างๆ ศักย์ไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm อัตราการไหล 0.25 ml/hr และอุณหภูมิเชื่อมโยง 90 °C เป็นเวลา 24 hrs

4.3.4 ผลของปริมาณ MgCl₂ ต่อเส้นใย

จากการเติม MgCl₂ เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง นอกจากนี้ยังส่งผลต่อขนาดเส้นใย ซึ่ง MgCl₂ เป็นเกลืออนินทรีย์ แตกตัวได้ง่าย คาดว่าจะช่วยเพิ่มประจุให้กับสารละลาย ทำให้แรงผลักระหว่างประจุ (Coulombic repulsion forces) มากขึ้น กระแสพอลิเมอร์ยึดตัวได้มากขึ้น เส้นใยที่ได้จึงมีขนาดเล็กลง

จากการศึกษา เมื่อเพิ่มปริมาณเกลือ คาดว่าค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น อาจทำให้แรงทางไฟฟ้า และแรงผลักระหว่างประจุเพิ่มขึ้น เมื่อแรงผลักระหว่างประจุมากขึ้นขนาดของเส้นใยควรมีขนาดเล็กลง แต่จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [21] รายงานว่า เมื่อปริมาณเกลือเพิ่มขึ้น แนวน้ำของขนาดเส้นใยมีขนาดใหญ่ อาจเนื่องมาจากการเพิ่มแรงทางไฟฟ้าให้กับสารละลาย ทำให้ปริมาณสารละลายออกมามาก กระแสพอลิเมอร์มีขนาดใหญ่ ขนาดของเส้นใยจึงใหญ่ขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลอง แต่ไม่สามารถแสดงแนวน้ำได้อย่างชัดเจน อาจเป็นผลมาจากการสุ่มตัวอย่างในการวัดขนาดเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



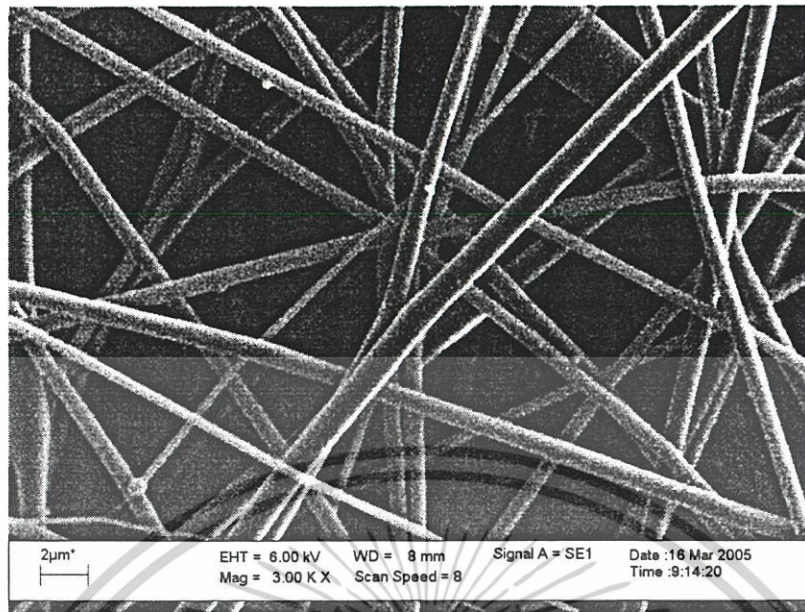
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใย: สารละลายผสม เดกซ์แทรน 1 g น้ำ 1 ml 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml และ MgCl₂ ปริมาณต่างๆ ศักย์ไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm อัตราการไหล 0.25 ml/hr และอุณหภูมิเชื่อมโยง 90 °C เป็นเวลา 24 hrs

เมื่อนำเส้นใยไปให้ความร้อน เส้นใยที่ได้ควรจะมีขนาดเล็กลง เนื่องจากน้ำระเหยออกไปและการหดตัวเมื่อได้รับความร้อน แต่จากการทดลองไม่สามารถระบุได้ว่าหลังการให้ความร้อนเส้นใยจะมีขนาดเล็กลง อาจเป็นผลมาจากการสุ่มตัวอย่าง

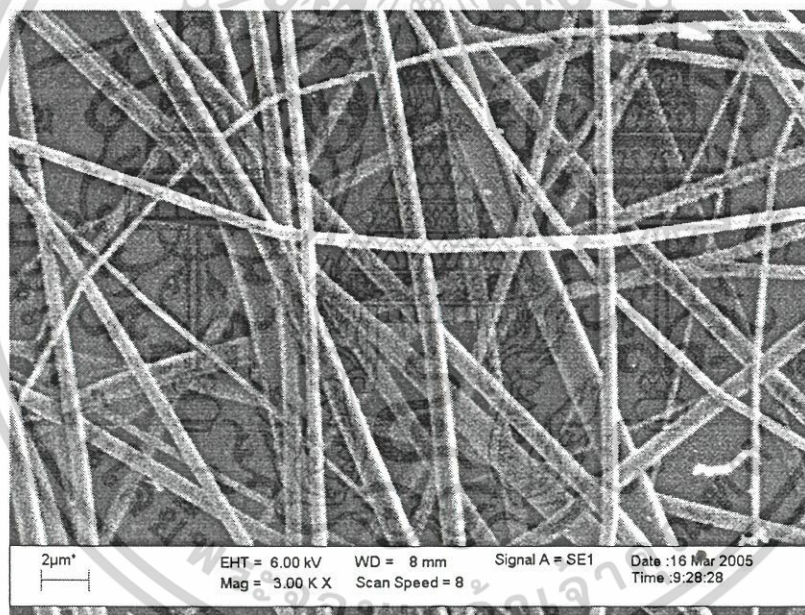
จากการเปรียบเทียบขนาดเส้นใย พบว่าเส้นใยที่ได้จากสารละลายเดกซ์แทรนเข้มข้น 1 g/ml มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใยที่ได้จากสารละลายผสมระหว่างเดกซ์แทรน MgCl₂ และกลูตารัลดีไฮด์ คาดว่าเป็นผลมาจาก MgCl₂ ช่วยเพิ่มประจุให้กับสารละลาย ส่งผลให้แรงผลักระหว่างประจุเพิ่มขึ้น กระแสพอลิเมอร์ยึดตัวได้มาก เส้นใยที่ได้จึงมีขนาดเล็ก

4.3.5 ผลของความร้อนต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใย

จากการส่องเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า สัณฐานวิทยาของเส้นใยไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ดังรูปที่ 4.23 – 4.26



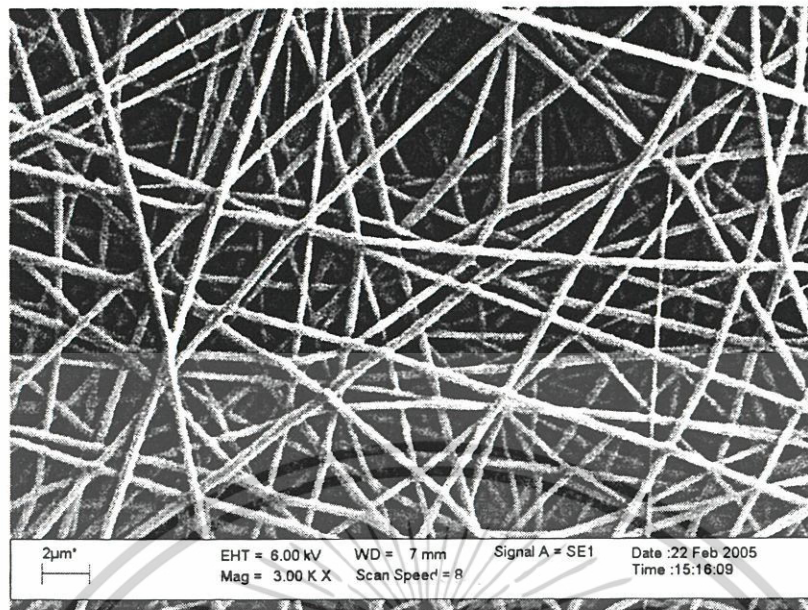
(a)



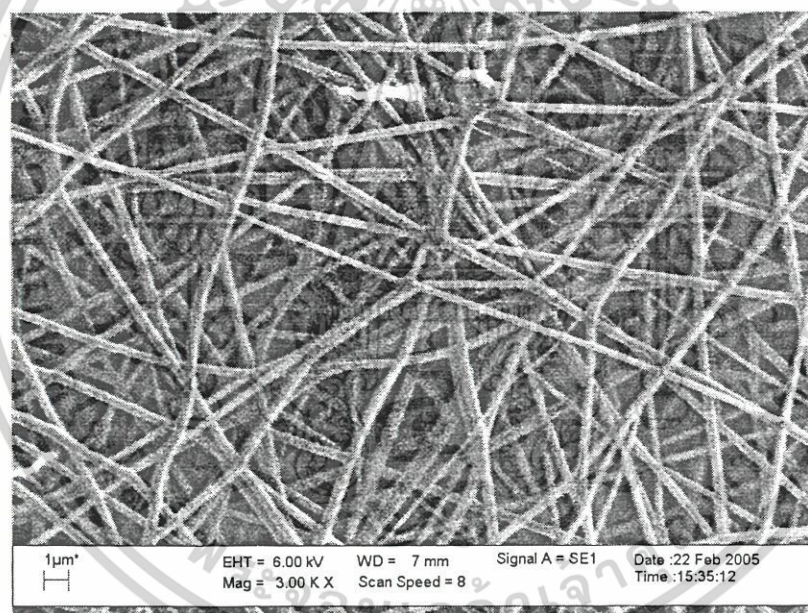
(b)

รูปที่ 4.23 เส้นใยจากสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g น้ำ 1 ml และ 50%w/w กลูตาวัลดีไฮด์ 0.4 ml: (a) ก่อนอบ และ (b) หลังอบ: กำลังขยาย 3000 เท่า ศักย์ไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm อัตราการไหล 0.25 ml/hr และอุณหภูมิเชื่อมโยง 90 °C เป็นเวลา 24 hrs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



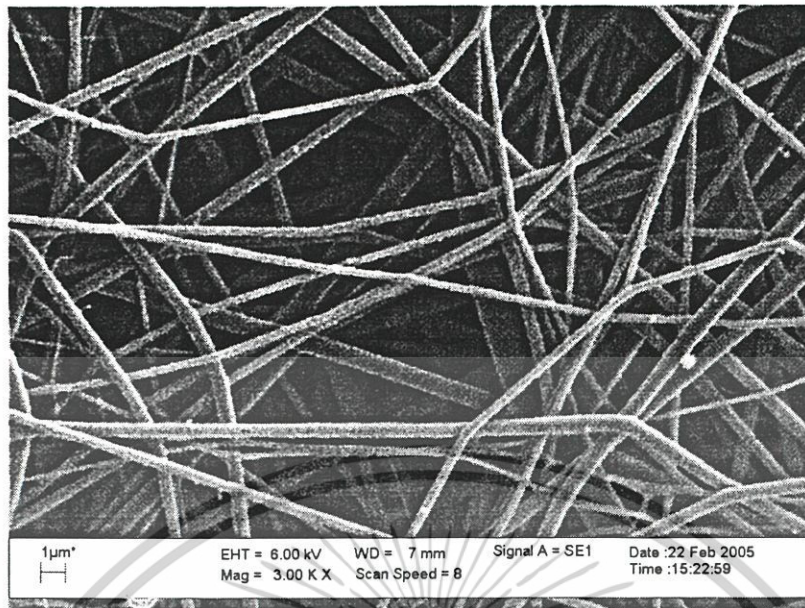
(a)



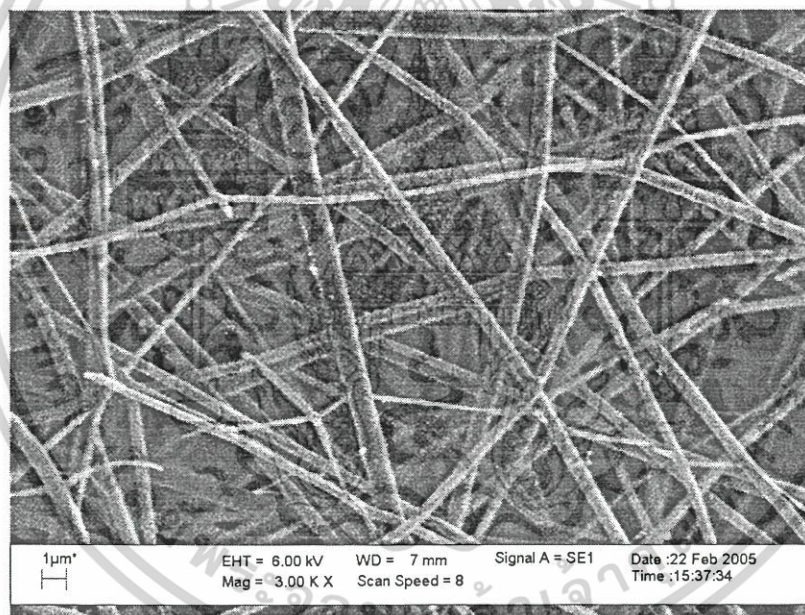
(b)

รูปที่ 4.24 เส้นใยจากสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g น้ำ 1 ml $MgCl_2$ 0.01 g และ 50%w/w กลูตาวัลดีไฮด์ 0.4 ml: (a) ก่อนอบ และ (b) หลังอบ: กำลังขยาย 3000 เท่า ศักย์ไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเชื่อมกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm อัตราการไหล 0.25 ml/hr และอุณหภูมิเชื่อมใย 90 °C เป็นเวลา 24 hrs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



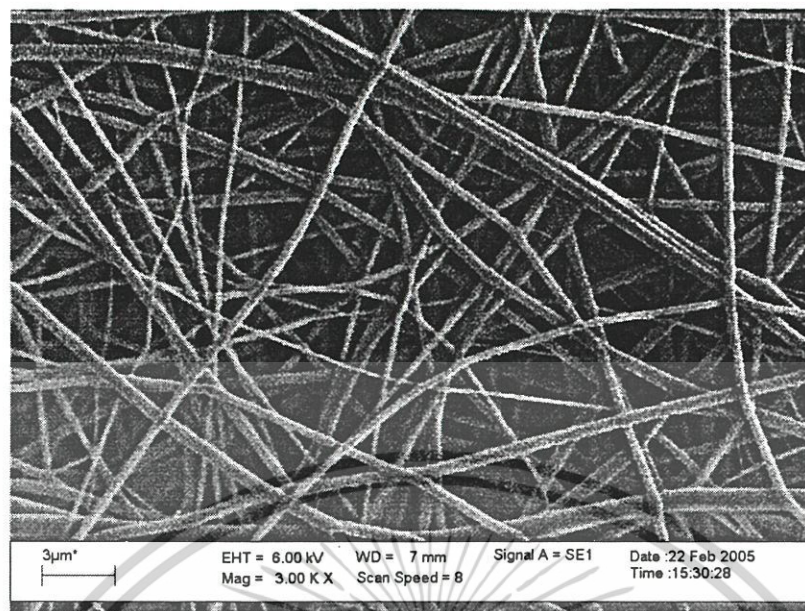
(a)



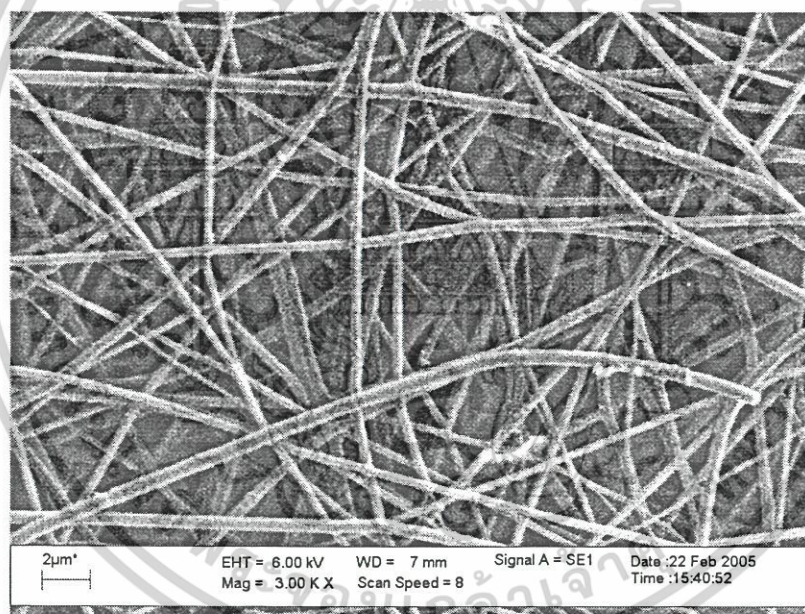
(b)

รูปที่ 4.25 เส้นใยจากสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g น้ำ 1 ml $MgCl_2$ 0.02 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml: (a) ก่อนอบ และ (b) หลังอบ: กำลังขยาย 3000 เท่า ศักย์ไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm อัตราการไหล 0.25 ml/hr และอุณหภูมิเชื่อมโยง 90 °C เป็น เวลา 24 hrs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 4.26 เส้นใยจากสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g น้ำ 1 ml $MgCl_2$ 0.03 g และ 50%w/w กลูตาไรลดีไฮด์ 0.4 ml: (a) ก่อนอบ และ (b) หลังอบ: กำลังขยาย 3000 เท่า ศักย์ไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm อัตราการไหล 0.25 ml/hr และอุณหภูมิเชื่อมโยง 90 °C เป็นเวลา 24 hrs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าความหนืด แรงตึงผิวของสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml และ $MgCl_2$ ที่ปริมาณต่างๆ และขนาดเส้นใย ก่อน และหลังการเชื่อมโยง

ปริมาณ $MgCl_2$ (g)	ความหนืด (cP)	แรงตึงผิว (mN/m)	ขนาดเส้นใยก่อนการเชื่อมโยง (nm) $\bar{X} \pm SD$	กำลังขยาย (เท่า)	ขนาดเส้นใยหลังการเชื่อมโยง (nm) $\bar{X} \pm SD$	กำลังขยาย (เท่า)
0	2093	43.6	722±231	2000	651±202	2000
0.01	2673	43.0	382±70	3000	424±110	1500
0.02	2649	43.7	591±119	1500	569±204	1500
0.03	2545	43.8	588±102	1500	494±183	1500
pure dextran	2021	61.1	729±152	1000		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุป

จากการเตรียมเส้นใยเดกซ์แทรนด้วยเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) จะได้เส้นใยแบบไม่ถักทอ (Nonwoven) ซึ่งที่ศักย์ไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยเท่ากับ 15 เซนติเมตร และอัตราการไหล 0.25 ml/hr พบว่า สารละลายเดกซ์แทรนในน้ำที่มีความเข้มข้น 0.7–1 g/ml จะได้เส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นตั้งแต่ 1.1 g/ml ขึ้นไปเส้นใยที่ได้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางในระดับไมโครเมตร และจากการที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เส้นใยมีบิดลดลงเนื่องมาจากความหนืดของสารละลายที่เพิ่มขึ้นและเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าคร่อมปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใยเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย และอัตราการไหลคงที่ จะเป็นการเพิ่มแรงทางไฟฟ้าให้กับสารละลาย แนวโน้มเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยที่ได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้น และศักย์ไฟฟ้าควรมากกว่า 12 kV แต่ไม่เกิน 18 kV ทำให้ได้กระแสพอลิเมอร์ที่ค่อนข้างเสถียร

ดังนั้น จากการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อเส้นใย จึงเลือกสารละลายเดกซ์แทรนที่มีความเข้มข้น 1 g/ml ที่ศักย์ไฟฟ้า 15 kV ระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 cm และอัตราการไหล 0.25 ml/hr มาเชื่อมโยงทางเคมี เพื่อให้เกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติ โดยใช้สารละลาย 50%w/w กลูตาไรลดีไฮด์ 0.4 ml เป็นสารเชื่อมโยง $MgCl_2$ 0.01 g และความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่ออบที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 °C ที่เวลา 3–48 hrs พบว่า การบวมตัวในน้ำและปริมาณเส้นใยที่หายไปลดลง เมื่ออุณหภูมิ และเวลาในการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ซึ่งสภาวะการเชื่อมโยงที่เหมาะสมคือ ที่อุณหภูมิ 90 °C และเวลาในการเชื่อมโยง 24 hrs นอกจากนี้ $MgCl_2$ ยังสามารถช่วยเพิ่มประจุให้กับสารละลาย ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยมีขนาดเล็กกว่าเส้นใยที่ได้จากสารละลายเดกซ์แทรนบริสุทธิ์

5.2 ข้อควรระวังในงานวิจัย

1. การเตรียมสารละลายไม่ควรทิ้งไว้นานจนเกินไป อาจเกิดการเสียสภาพได้ ทำให้ไม่สามารถปั่นเป็นเส้นใยได้
2. อัตราการไหลไม่ควรต่ำเกินไป เพราะสารละลายเกิดการแข็งตัวที่ปลายเข็มได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. นำเส้นใยเดกซ์แทรนที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้งานจริง
2. ศึกษาการเชื่อมโยงเส้นใยเดกซ์แทรนด้วยสารเชื่อมโยงชนิดอื่นเช่น Epichlorohydrin หรือ POCl_3 เป็นต้น
3. ศึกษาพอลิเมอร์ผสมเดกซ์แทรนในการเตรียมเส้นใย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] [http:// www.nano-tex.com](http://www.nano-tex.com)
- [2] [http:// www.Babolat.com](http://www.Babolat.com)
- [3] Zheng-Ming Hung; Y.Z. Zhang; M Kotaki and S. Ramakrishna. 2005. A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composites science and Technology*. (63): 2223-2253.
- [4] Won Ho Park; Lim Trong; Dong Il Yoo and Sam Hudson. 2004. Effect of chitosan on morphology and conformation of electrospun silk fibroin nanofibers. *Polymer*. (45): 7151-7157.
- [5] Won Keun Son; Ji Ho Youk; Taek seung Lee and Won Ho park. 2004. The effects of solution properties and polyelectrolyte on electropinning of ultrafine poly(ethylene oxide) fiber. *Polymer*. (45): 2959-2966.
- [6] A. Koski; K. Yim and S. shivkumar. 2004. Effect of molecular weight on fibrous PVA produced by electrospinning. *Material Letters*. (58): 493-497.
- [7] Zheng-Ming Huang; Y.Z. Zhang; S. Ramakrishna and C.T. Lim. 2004. Electrospinning and mechanical characterization of gelatin nanofibers. *Polymer*. (45): 5361-5368.
- [8] พิพัฒน์ ชายะตานันท์. 2546. การผลิตเดกซ์แทรน โดยแบคทีเรีย *Leuconostoc mesenteroide* 473. งานวิจัยภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [9] วลัยพร หงษ์โรจน์วิวัฒน์. 2547. โพลีเมอร์นาโนไฟเบอร์ โดยใช้เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง. *ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ*. (341): 17-20.
- [10] ชิดชนก มิตรอุปถัมภ์, สุจินดา จิตต์ใจจำ, พิชญ์ ศุภผล และมานิตย์ นิธิธนากุล. 2546. หลักการและประโยชน์ปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์. *ส่งเสริมเทคโนโลยี*. 30(172): 147-155.
- [11] [http:// www.sigmaaldrich.com](http://www.sigmaaldrich.com).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] W.E. Hennink; S.J. De Jong; G.W. Bos; T.F.J. Veldhuis and C.F. Van Nostrum. 2004. Biodegradable dextran hydrogels crosslinked by stereocomplex formation for the controlled release of pharmaceutical proteins. **International Journal of Pharmaceutics**. (277): 99-104.
- [13] H. Brondsted; C. Anderson and L. Hovgaard. 1998. Crosslinked dextran – a new capsule material for colon targeting of drug. **Journal of Controlled release**. (53): 7-13.
- [14] Betul kirci Denizli; Hatice Kaplan Can; Zakir M.O. RZaev and Ali Guner. 2004. Preparation conditions and swelling equilibria of dextran hydrogels prepared by some crosslinking agent. **Polymer**. (45): 6431-6435.
- [15] Lars Hovgaard and Helle Brondsted. 1995. Dextran hydrogels for colon-specific drug delivery. **Journal of Controlled Release**. (36): 159-166.
- [16] Hongliang Jiang; Dufei Fang; Benjamin S. Hsiao; Benjamin in chu and Weilliam Chen. 2003. Optimization and Characterization of Dextran Membrane Prepared by Electrospinning. **Biomacromolecules**. (5): 326-333.
- [17] Xinhua Zong; Kwangsok kim; Dufei Fang; Shaofeng Ran; Benjamin S. Hsiao and Benjamin chu. 2002. Structure and process relationship of electrospun bioabsorbabel nanofiber membrane. **Polymer**. (43): 4403-4412.
- [18] W.N.E. Van Dijk-Wolthuis; O. Franssen; H. Talsma; M.J. Van Stanbergen; J.J Kettenes-Van Den Bosch and W.E. Hennink. 1995. Synthesis, Characterization, and Polymerization of Glycidyl Methacrylate Derivatized Dextran. **Macromolecules**. (28): 6317-6322.
- [19] Yeli Zhang and Chih-Chang Chu. 2002. Biodegradable dextran-poly lactide hydrogel network: their swelling, morphology and the controlled release of indomethacin. **Journal Biomedical Material Research**. (59): 318-326.
- [20] Jacqueline D. Kosmala; David B. Henthorn and Lisa Brannon-Peppas. 2000. Preparation of interpenetrating networks of gelatin and dextran as degradable biomaterials. **Biomaterials**. (21): 2019-2023.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [21] Chidchanok Mit-upatham; Manit Nithitanakul and Pitt Supaphol. 2004. Ultrafine Electrospun Polyamide-6 Fiber: Effect of Solution Conditions on Morphology and Average Fiber Diameter. *Macromolecular Chemistry and Physics*. (205): 2327-2338



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบการบวมตัวในน้ำ

ตารางที่ ก-1 เปอร์เซ็นต์การบวมตัวของเส้นใยหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน ของสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g $MgCl_2$ 0.01 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml อบที่อุณหภูมิเชื่อมโยงต่าง ๆ เป็นเวลา 24 hrs

อุณหภูมิ (°C)	%Swell เฉลี่ย	SD
70	1891	101
80	1519	60
90	1613	123

ตารางที่ ก-2 ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วันของสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g $MgCl_2$ 0.01 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml อบที่อุณหภูมิเชื่อมโยงต่าง ๆ เป็นเวลา 24 hrs

อุณหภูมิ (°C)	% Wt loss เฉลี่ย	SD
70	28.8	8.3
80	26.0	8.0
90	19.2	2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 เปอร์เซ็นต์การบวมตัวของเส้นใยหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วันของสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g $MgCl_2$ 0.01 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml อบที่อุณหภูมิเชื่อมโยง 90 °C ที่เวลาต่าง ๆ

เวลาเชื่อมโยง (hrs)	%Swell เฉลี่ย	SD
3	2027	192
6	1764	124
9	1511	180
12	1649	132
24	1613	123
48	1620	259

ตารางที่ ก-4 ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน ของสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g $MgCl_2$ 0.01 g และ 50%w/w กลูตารัลดีไฮด์ 0.4 ml อบที่อุณหภูมิเชื่อมโยง 90 °C ที่เวลาต่าง ๆ

เวลาเชื่อมโยง (hrs)	%Wt loss เฉลี่ย	SD
3	27.5	7.8
6	21.7	6.9
9	19.0	3.8
12	20.5	3.1
24	19.2	2.9
48	16.9	3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 เปรอ์เซ็นต์การบวมตัวของเส้นใยหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน อบที่อุณหภูมิ
 เชื่อมโยง 90 °C เป็นเวลา 24 hrs ของสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g 50%w/w
 กลูตาไรลดีไฮด์ 0.4 ml และ MgCl₂ ที่ปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ (g)	%Swell เฉลี่ย	SD
0	-	-
0.01	1613	123
0.02	1395	85
0.03	1180	105

ตารางที่ ก-6 ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยหลังจากแช่น้ำเป็นเวลา 1 วัน อบที่อุณหภูมิ
 เชื่อมโยง 90 °C เป็นเวลา 24 hrs ของสารละลายผสมเดกซ์แทรน 1 g 50%w/w
 กลูตาไรลดีไฮด์ 0.4 ml และ MgCl₂ ที่ปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณแมกนีเซียมคลอไรด์ (g)	% Wt loss เฉลี่ย	SD
0	-	-
0.01	19.2	2.9
0.02	16.1	3.4
0.03	13.7	2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณความเข้มข้นของส่วนผสมต่างๆในสารละลาย หน่วยเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก(%w/w)

กำหนด ความหนาแน่นของน้ำ

เท่ากับ 1 g/cm^3

ความหนาแน่นของ 50%w/w กลูตาไรลดีไฮด์

เท่ากับ 1.13 g/cm^3

แสดงดังตาราง

ตารางที่ ก-7 ความเข้มข้น (%w/w) ของเดกซ์แทรนที่ความเข้มข้นต่างๆ

สารละลายเดกซ์แทรน (g/ml)	%w/w เดกซ์แทรน
0.7	41.27
0.8	44.44
0.9	47.37
1.0	50.0
1.1	52.38
1.2	54.55
1.3	56.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-8 ความเข้มข้น (%w/w) ของส่วนผสมต่างๆ

สารละลายผสม	%w/w
เดกซ์แทรน 1 g H ₂ O 1 ml และ 50%w/w กลูตาวัลดีไฮด์ 0.4 ml	เดกซ์แทรน = 40.78 กลูตาวัลดีไฮด์ = 9.22
เดกซ์แทรน 1 g H ₂ O 1 ml MgCl ₂ 0.01 g และ 50%w/w กลูตาวัลดีไฮด์ 0.4 ml	เดกซ์แทรน = 40.62 กลูตาวัลดีไฮด์ = 9.18 MgCl ₂ = 0.41
เดกซ์แทรน 1 g H ₂ O 1 ml MgCl ₂ 0.02 g และ 50%w/w กลูตาวัลดีไฮด์ 0.4 ml	เดกซ์แทรน = 40.45 กลูตาวัลดีไฮด์ = 9.14 MgCl ₂ = 0.81
เดกซ์แทรน 1 g H ₂ O 1 ml MgCl ₂ 0.03 g และ 50%w/w กลูตาวัลดีไฮด์ 0.4 ml	เดกซ์แทรน = 40.29 กลูตาวัลดีไฮด์ = 9.11 MgCl ₂ = 1.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้