

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยเสนอสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี (วว.)

ชื่อโครงการวิจัย โครงการพัฒนาระบบนำส่งสารออกฤทธิ์สมุนไพรไทย
ด้วยระบบเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์

คณะผู้วิจัย

ศาสตราจารย์ ดร. พิชญ์ ศุภผล วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร. ประสิทธิ์ ภูวสันต์ ภาควิชากายวิภาคศาสตร์
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงดาว อัจฉรงค์ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร. อธิธิพล แจ่มชัด ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
และผู้ช่วยวิจัย ได้แก่ นางสาวปิยฉัตร ช่วยสินวล นางสาวผกากรอง ตั้งษ์เสนาะ

สนับสนุนทุนวิจัยโดย ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินอุดหนุนทั่วไปจากรัฐบาล

ประจำปีงบประมาณ 2553

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเรื่อง การขึ้นรูปของแผ่นเส้นใยโพลีเอทิลีนไครด ที่ได้จากระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุด จัดทำขึ้นโดย ได้รับงบประมาณอุดหนุนวิจัยจากการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2553 วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี และ ADB

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พิชญ์ สุภผล อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของรายงานการวิจัยนี้ ตลอดจนให้ความรู้และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัยนี้

สุดท้ายขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุนิตย์ สุขสำราญ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ได้ให้สารสกัดจากเปลือกมังคุดมาใช้ในการวิจัยนี้และ ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

คณะผู้วิจัย

บทคัดย่อ

การขึ้นรูปของแผ่นเส้นใยโพลีอะคลิโรไนไตรด์ ที่ได้จากกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุด

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการขึ้นรูปของแผ่นเส้นใยโพลีอะคลิโรไนไตรด์ที่ได้จากกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตโดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเตรียมเส้นใยโพลีอะคลิโรไนไตรด์ ผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุดจากกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตโดยใช้เส้นใยที่มีผิวเรียบ สมำเสมอ ปราศจากปมปม คือใช้สารละลายโพลีอะคลิโรไนไตรด์ ความเข้มข้น 10 % wt ผสมโดยสารสกัดจากเปลือกมังคุดจะถูกใส่ลงในสารละลายพอลิอะคริโลไนไตรด์ (polyacrylonitrile) ในปริมาณ 10% 15% 20% และ 30% โดยน้ำหนักของพอลิอะคริโลไนไตรด์ (polyacrylonitrile) ซึ่งเส้นใยที่ได้มีขนาด 0.242 ± 0.12 ไมโครเมตร โดย นอกจากนี้ยังทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแผ่นเส้นใยโพลีอะคลิโรไนไตรด์ ระดับนาโนเมตรที่มีสารสกัดจากเปลือกมังคุดเป็นสารออกฤทธิ์ในการรักษาผลมาใช้เป็นวัสดุขนส่งยา (Drug delivery carrier) จากนั้นเส้นใยโพลีอะคลิโรไนไตรด์จะถูกประเมินความเป็นไปได้ในการใช้เป็นวัสดุขนส่งยาซึ่งมีพอลิเมอร์เป็นระบบควบคุมการปลดปล่อยยา นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยยาจากตัวเส้นใย โดยใช้วิธีจุ่มแช่ (total immersion) เมื่อทำการแช่เส้นใยดังกล่าวในสารละลาย acetate buffer และ phosphate buffer โดยมี pH 5.5 และ 7.4 ซึ่งใช้เป็นสารละลายจำลองได้ผิวหนังมนุษย์ในการทดสอบการปลดปล่อยสารสกัดจากเปลือกมังคุดค่าความสามารถในการศึกษาการปลดปล่อยกรดแกลลิกด้วยวิธี total immersion พบว่าแผ่นเส้นใยโพลีอะคลิโรไนไตรด์ มีค่าการปลดปล่อยสารสกัดจากเปลือกมังคุด ที่ 10% 15% 20% และ 30% มีค่ามากขึ้นตามลำดับ และการศึกษาพบว่าเมื่อใส่สารสกัดจากเปลือกมังคุดในเส้นใยพอลิอะคริโลไนไตรด์สามารถยับยั้งเชื้อวัน โรคได้

สารบัญ

หัวข้อ		หน้า
	กิตติกรรมประกาศ	ก
	บทคัดย่อ	ข
	สารบัญ	ค
	สารบัญเรื่อง	ง
	สารบัญรูปภาพ	จ
	สารบัญตาราง	ช
1	ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
2	วิธีการทดลอง	15
3	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง	20
4	สรุปผลการทดลอง	27
5	เอกสารอ้างอิง	29

สารบัญเรื่อง

หัวข้อ		หน้า
1	ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1	กระบวนการป้อนสัญญาณด้วยไฟฟ้าสถิต	1
2	สารสกัดจากเปลือกมังคุด	6
4	วิธีการทดลองและผลการทดลอง	15
5	ขั้นตอนการทำการทดลอง	16
6	ผลการทดลอง	20
7	สรุปผลการทดลอง	27
8	เอกสารอ้างอิง	29

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1	อุปกรณ์สำหรับกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต	3
2	ลักษณะพอลิเมอร์ที่ขีดตัวออกจากปลายเข็มในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เนื่องจากแรงทางไฟฟ้า	4
3	ภาพลักษณะการเกิดเส้นใยที่ถ่ายด้วยความเร็วชัตเตอร์ (ก) 16.7 มิลลิวินาที และ (ข) 1.0 มิลลิวินาที	4
4	ภาพ SEM ตัวอย่างของเส้นใยนาโนพอลิเมอร์จากพอลิไวน์ิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol), PVA) ที่ขึ้นรูปด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต แสดงลักษณะเส้นใยพื้นแบบไม่ถักไม่ทอ	5
5	มังคุด (Mangosteen) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า <i>Garcinia mangostana</i> Linn	7
6	ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM	11
7	ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากการสำรวจของเครื่อง SEM (ก) อนุภาคนาโนคอลลอยด์ ของทองคำที่ได้จากการศึกษาโดยใช้เครื่อง SEM และ (ข) ตัวอักษรที่ใช้วิธีการ EBL เขียน (ตัวอักษรสูง 150นาโนเมตร) ที่ได้จากการศึกษาโดยใช้เครื่อง SEM	11
8	รูปร่างตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่ใช้ทดสอบความเค้น และ ความเครียด	13
9	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น- ความเครียด	13
10	กราฟการทดสอบความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ที่มีสมบัติต่าง ๆ กัน	14
11	แสดงลักษณะ ก) สารละลายสารพอลิอะคริไลไนไตร์ ข) สารละลายสารพอลิอะคริไลไนไตร์ ผสมสกัดจากเปลือกมังคุด	16

12	แสดงลักษณะของเครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูงขณะที่ทำการปั่นเส้นใย ก) การปั่นเส้นใยพอลิอะครีโลไนไตร์ และ ข) การปั่นเส้นใยพอลิอะครีโลไนไตร์ ผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุด	17
13	แสดงค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิอะครีโลไนไตร์	20
14	แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิอะครีโลไนไตร์ , 30% สารสกัดจากเปลือกมังคุดในพอลิอะครีโลไนไตร์ และ 50% สารสกัดจากเปลือกมังคุดในพอลิอะครีโลไนไตร์	23
15	แสดงลักษณะการปลดปล่อยสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่มีอยู่ในเส้นใยพอลิอะครีโลไนไตร์ ก) การปลดปล่อยสารสกัดจากเปลือกมังคุดใน Acetate buffer/Tween 80/Methanol (32°C) และ ข) การปลดปล่อยสารสกัดจากเปลือกมังคุดใน Phosphate buffer/Tween 80/Methanol (37°C)	25
16	แสดงผลการยับยั้งเชื้อวันโรค	26
17	แสดงความสามารถการฆ่าเชื้อวันโรคของสารสกัดจากเปลือกมังคุดในเส้นใยพอลิอะครีโลไนไตร์	27

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาดสำหรับพอลิเมอร์ทั่วไปที่พบในชีวิตประจำวัน	14
2	แสดงขนาดเส้นใยเฉลี่ยของเส้นใยอิเล็กโตรสปินพอลิอะคริโลไนไตร์ เมื่อผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุดในไดเมทิลฟอร์มามายด์ (<i>N,N</i> -dimethylformamide)	20
3	ลักษณะพื้นฐานวิทยาจากการถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของเส้นใยพอลิอะคริโลไนไตร์ ที่มีสารสกัดจากเปลือกมังคุดผสมอยู่ในปริมาณ 10% 15% 20% และ 30% โดยน้ำหนักของพอลิอะคริโลไนไตร์และไดเมทิลฟอร์มามายด์ (<i>N,N</i> -dimethylformamide) เป็นสารละลาย (15 kv, 20 cm.)	21
4	แสดงปริมาณสารสกัดจากเปลือกมังคุดทั้งหมดที่มีในเส้นใย โดยแผ่นเส้นใยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 cm (น้ำหนักประมาณ 10 mg)	24

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

กระแสของเทคโนโลยีในระดับนาโนเมตรกำลังได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน ไม่เว้นแม้แต่ความพยายามในการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ที่มีความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร หรือที่เรียกกันโดยง่ายว่า เส้นใยนาโน (Nanofiber) ข้อได้เปรียบสำคัญที่ได้จากการลดขนาดความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยจากระดับไมโครเมตร (อยู่ในช่วงประมาณ 10 ถึง 100 ไมโครเมตร) จนถึงในระดับนาโนเมตร (อยู่ในช่วงประมาณ 0.01 ถึง 0.1 ไมโครเมตร) คืออัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของเส้นใยที่ได้จะมีค่าสูงมาก ซึ่งอาจสูงถึง 1,000 ถึง 10,000 เท่าของค่าอัตราส่วนของเส้นใยไมโคร (Microfiber) จึงทำให้เส้นใยนาโน มีแนวโน้มที่จะถูกนำมาใช้งานอย่างมากในโลกอนาคต ซึ่งดูเหมือนว่าจะเล็กลงเรื่อยๆ ทุกวัน

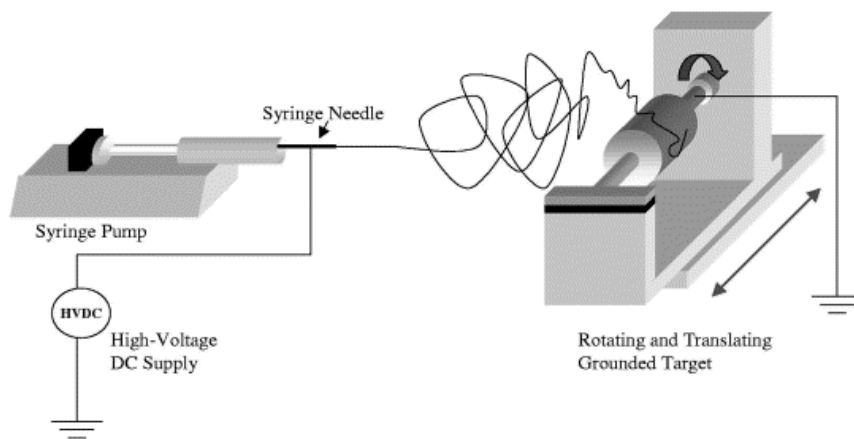
กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เป็นกระบวนการที่ได้พัฒนาขึ้นมากกว่า 70 ปีแล้ว นับจากที่ฟอรัมฮอล ได้จดสิทธิบัตรในประเทศสหรัฐอเมริกา (US Patent 1-975-504) ไว้ในปี พ.ศ.2477 นับแต่นั้น ก็ได้มีการจดสิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการนี้อีกกว่าร้อยฉบับ โดยนักวิจัยท่านอื่นๆ ซึ่งครอบคลุมถึงอุปกรณ์ และการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต และการนำเส้นใยที่ได้ไปใช้ อย่างไรก็ตาม กระบวนการนี้แทบจะไม่ได้ได้รับความสนใจในแวดวงการศึกษาในสถาบันการศึกษาเลยนับตั้งแต่การพัฒนาขึ้นมาครั้งแรก จนกระทั่งเมื่อช่วง 7 ถึง 8 ปีที่ผ่านมา ศาสตราจารย์ เรนเกอร์ แห่งมหาวิทยาลัยอาครอน รัฐโอไฮโอ สหรัฐอเมริกา ได้ริเริ่มศึกษากระบวนการนี้อย่างจริงจัง โดยเริ่มการปั่นเส้นใยนาโน จากสารละลายของพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ หลายชนิดเช่น พอลิเอทิลีนออกไซด์ พอลิพาราฟีนิลีนเทรฟทาลาไมด์ และพอลิอะนิลีน เหล่านี้เป็นต้น หลังจากนั้น จึงมีนักวิจัยในสถาบันต่างๆ ได้ให้ความสนใจมาก ดังเห็นได้จากจำนวนผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติถึงกว่าร้อยบทความในปี พ.ศ.2545 ปัจจุบัน คาดว่ามีพอลิเมอร์เกือบร้อยชนิดทั้งที่อยู่ในรูปของพอลิเมอร์หลอมเหลวและสารละลายพอลิเมอร์ได้ถูกปั่นออกมาเป็นเส้นใยสำเร็จ

เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการปั่นเส้นใยแบบอื่นๆ ที่สามารถใช้ผลิตเส้นใยที่มีความละเอียดสูง กระบวนการผลิตเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต จะมีความซับซ้อนน้อยกว่า ใช้อุปกรณ์ที่มีราคาไม่สูงมากนัก อีกทั้งยังสามารถเตรียมเส้นใยได้ในเวลาอันรวดเร็วกว่ามาก สามารถที่จะเตรียมเส้นใยได้จากพอลิเมอร์ตั้งต้นในปริมาณที่น้อยๆ ได้ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าความเร็วในการปั่นเส้นใยจะสูงมาก แต่เนื่องจากขนาดของเส้นใยที่ได้มีขนาดเล็กมาก ทำให้ต้องใช้เวลานานพอสมควรเพื่อให้ได้ปริมาณเส้นใยที่มากพอ โดยทั่วไปแล้ว

ลักษณะของเส้นใยที่ได้จะเป็นเส้นใยที่ไม่ได้ทอ (Non-woven fabric) เนื่องจากแผ่นเส้นใยนี้ เกิดจากการซ้อนทับกันของเส้นใย จึงมีลักษณะที่สำคัญคือเป็นวัสดุที่มีความพรุนสูง โดยที่รูพรุนที่ได้มีขนาดเล็กมาก ทำให้มีประโยชน์อย่างมากมายหลายประการ อาทิเช่น ใช้เป็นวัสดุอุปกรณ์ทางการแพทย์ (เช่น วัสดุตกแต่งแผล วัสดุควบคุมการปลดปล่อยยา เป็นต้น) ใช้เป็นวัสดุทางการแพทย์ โดยควบคุมการปลดปล่อยยาผ่านเมมเบรนให้แก๊ส สามารถนำมาผลิตเป็นเสื้อผ้าที่ป้องกันสารเคมีหรือจุลินทรีย์ได้ (เช่น ชุดที่ใช้ในห้องผ่าตัด ชุดทหารที่ต้องการป้องกันสารเคมี เป็นต้น) ใช้เป็นเส้นใยเสริมกำลัง (Reinforcing fiber) ในวัสดุเชิงประกอบ (Composite) ทำให้ได้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงสูง และ ใช้ผลิตเป็นวัสดุกรอง สำหรับแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็กออก เหล่านี้เป็นต้น

1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเป็นกระบวนการขึ้นรูปเส้นใยนาโนจากสารละลายพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ หลอมเหลวโดยใช้แรงที่เกิดจากประจุไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตนี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ดังที่แสดงในรูปที่ 1 ได้แก่ 1) เครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูง (High-voltage power supply) ที่สามารถปรับความต่างศักย์ได้ในช่วง 0 ถึง 30 กิโลโวลต์ กำลังเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องควรมีค่าน้อยในระดับมิลลิแอมป์หรือต่ำกว่า เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายเนื่องจากไฟฟ้าช็อตต่อผู้ปฏิบัติ 2) หลอดสำหรับบรรจุพอลิเมอร์ตัวอย่าง ซึ่งอาจเป็นปิเปต หรือหลอดฉีดยา โดยมีช่องเปิดเพื่อให้พอลิเมอร์ตัวอย่างสามารถไหลออกมาได้ ในกรณีที่ใช้หลอดฉีดยา สามารถใช้เข็มฉีดยาต่อตรงส่วนเปิด และ 3) อุปกรณ์โลหะที่ใช้รองรับเส้นใย ซึ่งมีได้หลายลักษณะ เช่น เป็นแผ่นหรือตะแกรงโลหะ เป็นลูกกลิ้งที่หุ้มด้วยแผ่นโลหะ ซึ่งสามารถควบคุมอัตราเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งได้ หรือ อาจเป็นอ่างสารละลาย (ในกรณีที่ต้องการให้เส้นใยตกตะกอน เหมือนกับในกรณีการปั่นเส้นใยแบบเปียก) พอลิเมอร์ตัวอย่างอาจเป็นได้ทั้งพอลิเมอร์หลอมเหลว หรือ สารละลายพอลิเมอร์ การปั่นเส้นใย สามารถที่จะกระทำได้ทั้งในแนวราบ (โดยวางหลอดบรรจุให้ทำมุมเล็กน้อยกับแนวราบเพื่อไม่ให้พอลิเมอร์ตัวอย่างหก) และแนวนอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนืดของพอลิเมอร์ตัวอย่างที่นำมาปั่นนั่นเอง สำหรับในกรณีที่ต้องการควบคุมอัตราการไหลของพอลิเมอร์ตัวอย่าง สามารถใส่พอลิเมอร์ตัวอย่างในหลอดฉีดยาโดยที่จัดวางหลอดบรรจุในแนวราบ และใช้ปั๊มฉีด (Syringe pump) เป็นอุปกรณ์ช่วยควบคุมการไหล ดังที่แสดงในรูปที่ 1



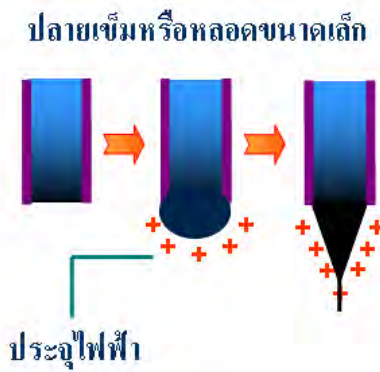
รูปที่ 1 อุปกรณ์สำหรับกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

การจ่ายกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูงสามารถทำได้โดยการต่อขั้วส่ง (Emitting electrode) ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งขั้วบวกหรือลบ กับพอลิเมอร์ตัวอย่าง โดยผ่านวัสดุที่เป็น โลหะตัวนำต่างๆ หรืออาจต่อโดยตรงกับเข็มฉีดยา สำหรับกรณีที่ใช้หลอดฉีดยาเป็นหลอดบรรจุพอลิเมอร์ตัวอย่าง และทำการต่อขั้วสายดิน (Grounding electrode) กับอุปกรณ์รองรับ ในอีกทางหนึ่ง เราสามารถต่อขั้วสายดินของเครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูงและอุปกรณ์รองรับลงสายดินด้วยกันทั้งคู่ก็จะให้ผลเช่นเดียวกัน

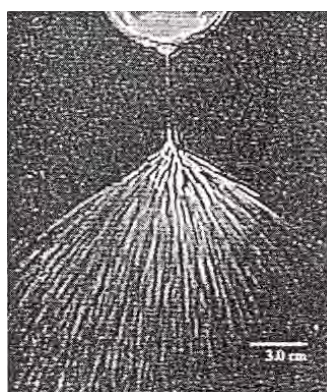
1.2 กลไกการเกิดเส้นใยนาโน

กลไกการเกิดเส้นใยสำหรับกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตนี้ ใช้หลักการว่าประจุเหมือนกันก็จะผลักออกจากกันเนื่องจากแรงทางไฟฟ้า (Coulombic repulsion) กล่าวคือ ใช้สนามไฟฟ้าความต่างศักย์สูงมาทำให้เกิดประจุไฟฟ้าจำนวนมากบนผิวหน้าของหยดของเหลวพอลิเมอร์ซึ่งอาจเป็นสารละลายพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์หลอมเหลวก็ได้ แต่เนื่องจากประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นมีขั้วเหมือนกันและอยู่ใกล้กันมาก จึงทำให้เกิดแรงผลักรหว่างประจุ จึงทำให้หยดของพอลิเมอร์ที่บริเวณปลายช่องเปิดของหลอดบรรจุ ซึ่งมีลักษณะเป็นครึ่งทรงกลม เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็นลักษณะทรงกรวย ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการผลักกันของประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้น รูปทรงกรวยนี้เรียกกันว่ากรวยของเทย์เลอร์ (Taylor's cone) และทำให้หยดของของเหลวพอลิเมอร์ยืดตัวออกมาเป็นสายหรือที่เรียกว่า กระแสพอลิเมอร์นั่นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2 กระแสพอลิเมอร์ที่พุ่งออกไปจะเคลื่อนที่ไปยังอุปกรณ์รองรับ แนวการเคลื่อนที่ของกระแสพอลิเมอร์นี้ จะเป็นเส้นตรงในช่วงแรก ระยะที่เป็นเส้นตรงนี้ จะขึ้นอยู่กับค่าอัตราส่วนระหว่างศักย์ไฟฟ้าต่อระยะทางจากปลายช่องเปิดจนถึงอุปกรณ์รองรับ หรือค่าสนามไฟฟ้านั่นเอง หลังจากระยะที่เป็นเส้นตรงนี้ ปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นจากประจุไฟฟ้าสถิตที่อยู่ภายในกระแสพอลิเมอร์และแนวสนามไฟฟ้าจะทำให้เกิดแนว

การเคลื่อนตัวของกระแสพอลิเมอร์ไม่เสถียร ทำให้เกิดการเคลื่อนที่คล้ายกับการสะบัดตัวของเส้น โดยการสะบัดตัว (Bending instability) ของกระแสพอลิเมอร์นี้มีลักษณะการสะบัดเป็นสามมิติ โดยมีจุดกลางของการสะบัดอยู่ที่จุดสิ้นสุดของการเคลื่อนที่ของกระแสพอลิเมอร์ที่เป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 3 ในขณะที่เคลื่อนตัวไปยังแผ่นรองรับตัวทำละลายระเหยออกไปหรือสายของพอลิเมอร์เย็นลงก็จะได้เป็นเส้นใยแบบต่อเนื่องที่มีความยาวยาวมากแต่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กเกิดขึ้น ส่วนใหญ่แล้วเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยจะอยู่ในช่วง 50 ถึง 400 นาโนเมตร ขึ้นกับชนิดของพอลิเมอร์และตัวแปรระหว่างการขึ้นรูป เนื่องจากเส้นใยที่ได้มีความยาวยาวมากจึงเกิดการขดซ้อนทับกันแบบไม่มีทิศทางที่แน่นอน กลายเป็นผืนผ้าแบบไม่ถักไม่ทอ (nonwoven fabric) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 2 ลักษณะพอลิเมอร์ที่ยืดตัวออกจากปลายเข็มในกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เนื่องจากแรงทางไฟฟ้า

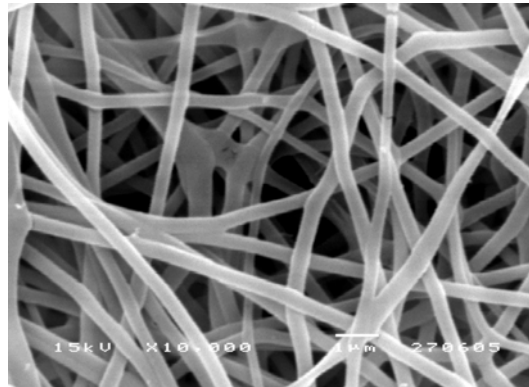


(ก)



(ข)

รูปที่ 3 ภาพลักษณะการเกิดเส้นใยที่ถ่ายด้วยความเร็วชัตเตอร์ (ก) 16.7 มิลลิวินาที และ (ข) 1.0 มิลลิวินาที



รูปที่ 4 ภาพ SEM ตัวอย่างของเส้นใยนาโนพอลิเมอร์จากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol), PVA) ที่ขึ้นรูปด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต แสดงลักษณะเส้นใยฝืนแบบไม่ถักไม่ทอ

พอลิเมอร์ที่มีผู้นำมาขึ้นรูปด้วยการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตนั้นมีหลายชนิด ทั้งเทอร์โมพลาสติก เช่น พอลิเอทิลีน (polyethylene, PE) พอลิโพรพิลีน (polypropylene, PP) ไนลอน (nylon) พอลิสไตรีน (polystyrene, PS) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly(vinyl alcohol), PVA) และพีอีที (polyethylene terephthalate, PET) เป็นต้น พอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ด้วยตัวเอง (biodegradable polymer) พอลิเมอร์นำไฟฟ้า (conductive polymer) พอลิเมอร์ผสม (polymer blend) และ พอลิเมอร์คอมโพสิต (polymer composite) และนอกจากพอลิเมอร์แล้วการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตยังใช้ขึ้นรูปเส้นใยนาโนจากวัสดุชนิดอื่นได้อีกด้วย เช่น โลหะบางชนิด เซรามิกส์ และคอมโพสิตของสารอินทรีย์กับสารอนินทรีย์ เป็นต้น

1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต อาจแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มด้วยกัน ได้แก่

- 1) สมบัติของพอลิเมอร์หลอมเหลวหรือสารละลายพอลิเมอร์ [14] เช่น ความหนืด แรงตึงผิว ค่าการนำไฟฟ้า (สัมพันธ์กับความเข้มข้นของประจุอิสระในกระแสพอลิเมอร์) เป็นต้น
- 2) ปัจจัยที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรของกระบวนการ [15] เช่น ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ ระยะทางระหว่างปลายช่องเปิดและอุปกรณ์รองรับ อัตราการไหลของพอลิเมอร์ตั้งต้น เป็นต้น
- 3) สภาพบรรยากาศ [16] เช่น อุณหภูมิของพอลิเมอร์ตั้งต้น ความชื้น ความดัน ชนิดและความเข้มข้นของประจุอิสระในบรรยากาศโดยรอบ สนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กภายนอก เป็นต้น

ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้จะมีผลต่อขนาดและรูปร่างของเส้นใยที่ปั่นได้ ปัจจุบัน ได้มีความพยายามจากนักวิจัยทั่วโลกในอันที่จะผลิตเส้นใยที่ได้จากกระบวนการนี้ (ซึ่งอาจจะมีความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตรถึงระดับน้อยกว่าสิบไมโครเมตร) ให้มีขนาดและรูปร่างที่คงที่ และสามารถควบคุมได้

อีกทั้งยังมีความต้องการที่จะผลิตเส้นใยให้มีลักษณะเป็นเส้นใยเดี่ยวต่อเนื่อง มากกว่าที่จะให้ออกมาเป็นเส้นใยที่ไม่ได้ทอด้งที่เป็นอยู่ ซึ่งยังเป็นสิ่งที่ต้องวิจัยและพัฒนากันไป ข้อบกพร่องที่สำคัญสำหรับเส้นใยที่ผลิตจากกระบวนการนี้คือการเกิดปม (Bead) บนเส้นใย ในปัจจุบัน ความรู้และความเข้าใจต่อปัจจัยการควบคุมขนาดของเส้นใย และการเกิดปมก็มีความกระจ่างพอสมควร อย่างไรก็ตาม ยังคงต้องมีการศึกษาเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจในปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ ให้เป็นระบบมากยิ่งขึ้นในอนาคต

1.4 การนำเส้นใยที่ได้จากการปั่นด้วยไฟฟ้าผลิตไปใช้ประโยชน์

โดยทั่วไปแล้ว ผลิตภัณฑ์เส้นใยที่ได้จากกระบวนการนี้มีลักษณะเป็นแผ่นเส้นใยที่ไม่ได้ทอ ที่เกิดจากการซ้อนทับกันของเส้นใย ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยที่มีขนาดเล็ก โดยที่ขนาดของช่องรูพรุนเหล่านี้ จะขึ้นอยู่กับขนาดความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยที่ได้ และระยะเวลาของการปั่นเส้นใย (จำนวนชั้นของเส้นใยที่ซ้อนทับกัน) ฉะนั้นแผ่นเส้นใยที่ได้จึงมีรูพรุนที่มีขนาดเล็กมาก และสามารถควบคุมได้โดยการเลือกใช้พอลิเมอร์ตั้งต้นและตัวแปรกระบวนการที่เหมาะสม ด้วยพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่มากของเส้นใยที่ได้ ประกอบกับลักษณะของแผ่นเส้นใยที่ได้มีความพรุนสูง ทำให้นำจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง โดยเฉพาะการนำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ ในปัจจุบัน ได้มีความพยายามที่จะนำกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าผลิตนี้มาทำวัสดุ โครงวิศวกรรมสำหรับสร้างเนื้อเยื่อและกระดูก (Scaffold for tissue and bone regeneration) [17] วัสดุตกแต่งบาดแผล (Wound-dressing article) [18] วัสดุควบคุมการปลดปล่อยยา (Drug delivery system) [19] ตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพ (Bio-catalyst) วัสดุตรวจจับนาโน (Nano-sensor) เส้นใยนาโนนำไฟฟ้า หรือ เส้นลวดนาโน (Conductive nanofiber or nanowire) แผ่นกรองสำหรับกรองอนุภาคที่มีความละเอียดสูง (Microfilter) เส้นใยนาโนสำหรับเสริมแรงในวัสดุประกอบขนาดเล็ก และอื่นๆ อีกมากมาย นอกจากนี้ ยังมีความพยายามในการปั่นเส้นใยนาโนจากวัสดุธรรมชาติ อาทิ เช่น ดีเอ็นเอ คอลลาเจน เซลลูโลส ไหม และอื่นๆ อีกมาก

2. สารสกัดจากเปลือกมังคุด

คนไทยรู้จักมังคุดเป็นอย่างดี รู้ว่ามังคุดเป็นยาเย็น หรือตามการแพทย์จีนเรียกว่ามีฤทธิ์เย็น หลังจากกินทุเรียนที่มีรสร้อน หรือมีฤทธิ์เป็น หยาง แล้วต้องกินมังคุดตาม เพื่อให้ร่างกายเกิดความสมดุล มังคุด (Mangosteen) รูปที่ 5 มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Garcinia mangostana* Linn มังคุดมีฉายาในแถบเอเชียด้วยความภาคภูมิใจในผลไม้ชนิดนี้ว่า ราชนีแห่งผลไม้ "the queen of fruit" มีฉายาในแถบ French Caribbean ว่า อาหารของพระเจ้า "the food of the Gods" แหล่งกำเนิดมังคุดคาดว่าเป็นแถบหมู่เกาะมาลา

และประเทศทางเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปัจจุบันยังพบมังคุดเป็นพืชป่าธรรมชาติของประเทศมาเลเซียและหมู่เกาะในประเทศอินโดนีเซีย รวมทั้งในประเทศไทย ซึ่งพบ มังคุดป่า หรือ มะแปม (*Garcinia costata* Hemsl.) บริเวณรอยต่อ 5 จังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าเขาอ่างฤๅไน ประเทศไทยมีแหล่งเพาะปลูกมังคุด 3 แหล่งใหญ่ๆ คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ จันทบุรี ระยอง ตราด ปราจีนบุรี ภาคใต้ตั้งแต่จังหวัดชุมพรลงไป และภาคกลาง ได้แก่ จังหวัด นนทบุรี



รูปที่ 5 มังคุด (*Mangosteen*) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Garcinia mangostana* Linn

2.1 คุณสมบัติ

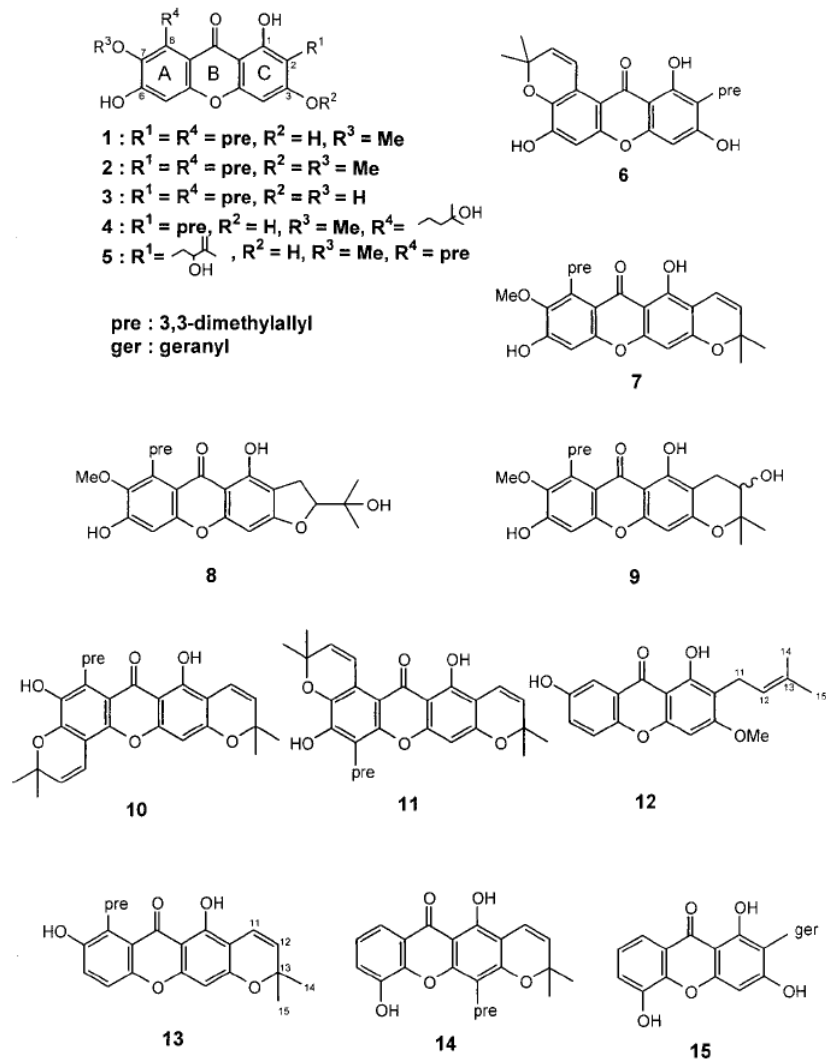
จากหลักฐานทางวิทยาศาสตร์เปลือกมังคุดยังถูกใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียในการรักษาอาการติดเชื้อทางผิวหนัง การรักษาแผล และรักษาอาการท้องอืดท้องเฟ้อ จึงเชื่อได้ว่ามังคุดน่าจะมีสารเคมีที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบ สารเคมีกลุ่มใหญ่ที่ได้จากการสกัดเปลือกมังคุดคือสารเคมีในกลุ่มแซนโทน (Xanthone) ที่มีแอลฟา-แมงโกสติน (α -mangostin) เบตา-แมงโกสติน (β -mangostin) และแกมมา-แมงโกสติน (γ -mangostin) เป็นสารเคมีที่สกัดได้ในปริมาณที่มากที่สุด สารเคมีที่สกัดได้จากมังคุดได้รับการศึกษาว่ามีฤทธิ์ทางยาอยู่มาก เช่น

- 2.1.1 ฤทธิ์ในการต้านเชื้อราโรคพืชบางชนิด (เช่น *Fusarium oxysporum* var. *vasinfectum*, *Alternaria tenuis*, และ *Dreschlera oryzae*)
- 2.1.2 ฤทธิ์ในการต้านมะเร็งตับของสารการซินโอนี (Garcinone E)
- 2.1.3 ฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตและการตายของเซลล์แบบมะเร็งเต้านม SKBR3 จากสารสกัดที่ใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย
- 2.1.4 ฤทธิ์ในการกระตุ้นการตายของเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว HL60 ของสารแอลฟา-แมงโกสติน
- 2.1.5 ฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย สาเหตุท้องเสีย ได้แก่ *Shigella dysenteriae*, *Sh. flexneri*, *Sh. sonnei* และ *Sh. boydii* [20-22], *Escherichia coli* [21-23], *Streptococcus faecalis* [24,25] *Vibrio*

cholerae [21, 22, 24, 25], *V. parahaemolyticus*, *Salmonella agona*, *S. typhi*, *S. typhimurium*, *S. stanley*, *S. virchow* [21, 22], *S. welterverdin* [21]

- 2.1.6 ฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย สาเหตุการเกิดหนอง ได้แก่ *Staphylococcus aureus* [23, 26, 27-32] และ *S. aureus* ที่ดื้อยา methicillin [26, 27, 31-33] (MRSA)
- 2.1.7 บรรเทาอาการแพ้ คือ แกมมา และ แอลฟา-แมงโกสติน จากเปลือกมังคุดบรรเทาอาการแพ้ และมีประสิทธิภาพดีในการรักษาผู้ป่วยไข้ละออง โดยแกมมา-แมงโกสติน แสดงฤทธิ์ต้านฮิสตามีน และแอลฟา-แมงโกสติน แสดงฤทธิ์ต้านซีโรโทนิน เมื่อร่างกายได้รับสิ่งแปลกปลอมแมสต์เซลล์ (Mast cell) และเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดเบโซฟิล จะหลั่งฮิสตามีน และซีโรโทนิน ทำให้เกิดอาการแดงเนื่องจาก หลอดเลือดขยายตัวววมเนื่องจากเพิ่มการซึมผ่านของหลอดเลือด ทำให้กล้ามเนื้อเรียบหดตัวและฮิสตามีนจะเพิ่มการหลั่งน้ำเมือกด้วย ซึ่งฮิสตามีนมักจะทำให้เกิดอาการแพ้หรือที่เรียกว่า ไข้ละอองฟาง
- 2.1.8 ฤทธิ์ลดการอักเสบ ของกระดูกและกล้ามเนื้อ สารสกัดจากมังคุดมีฤทธิ์ลดการอักเสบในหนูถีบจักร [34] และหนูขาว [35] ที่ถูกเหนี่ยวนำให้อู้งเท้าบวมด้วย carrageenan ลดบวมได้ 45% ยางจากมังคุดประกอบด้วย xanthones > 75% มีฤทธิ์ลดการอักเสบ Mangostin, 1-isomangostin และ mangostintriacetate จากมังคุด เมื่อกรอกปากหรือนิดเข้าช่องท้องหนูขาว มีผลระงับการอักเสบที่อู้งเท้าหนูซึ่งใช้ carrageenin ทำให้อักเสบ และการอักเสบที่หลังเมื่อฝังก้อนสำลี (cotton pellet implantation) ในหนูที่ตัดต่อมหมวกไตออกทั้ง 2 ข้าง สารทั้ง 3 ตัว ไม่มีผลต่อ stabilize mast cell membrane และไม่สามารถป้องกันการสลายตัวของ mast cells ของหนู เนื่องจากการใช้ polymyxin B, diazoxide, teiton X- 100 และไม่เปลี่ยนแปลง prothrombin time [36] สารสกัดเอทานอล 40%, 70%, 100% และสารสกัดน้ำ [37], γ -mangostin [38,39] และ α -mangostin [39] มีกลไกการออกฤทธิ์ไปยับยั้งการสร้าง prostaglandin E₂ (PGE₂) นอกจากนั้น γ -mangostin ยังออกฤทธิ์ยับยั้ง cyclooxygenase 1 และ 2 ความเข้มข้นของสารที่ออกฤทธิ์ยับยั้งได้ 50% เท่ากับ 0.8 และ 2.0 ไมโครโมลตามลำดับ [31] และสารสกัดด้วยเอทานอล 40% จากเปลือกผล ขนาด 100 และ 300 มก./มล. ออกฤทธิ์ยับยั้งการหลั่งฮิสตามีนจากเซลล์ที่ถูกกระตุ้นได้มากกว่า 80% [37]

- 2.1.9ฤทธิ์ในการต่อต้านเชื้อโรคสิว ได้แก่ *Propionibacterium acnes* (anaerobic organism) *Staphylococcus aureus*, *Straphylococcus epidermidis* และพวกเชื้อ gram negative bacteria เช่น *Proteus*, *E. coli*, *Klebsiella*, *Psuedomonas* หรือเชื้อยีสต์ *Pityrosporom ovale* เป็นต้น
- 2.1.10ฤทธิ์ในการต่อต้านเชื้อวัณโรค *Mycobacterium tuberculosis* [9] ของสารแอลฟา-แมงโกสติน เบตา-แมงโกสติน การชิโนนบี (Garcinon B) และ Prenylated Xanthones



Prenylated xanthones **1**, **2**, **5**, **6**, **9**—**11**, **14**, และ **15** ถูกแยกออกมาจากเปลือกมังคุด xanthones γ -mangostin (**3**), garcinone D (**4**), mangostanin (**8**) และ 1,7-dihydroxy- 2-(3-methylbut-2-enyl)-3-methoxyxanthone (**12**) ถูกสกัดโดยใช้ MeOH และ **7**, **13** เป็นสารประกอบที่สกัดจาก **1** โดยใช้ MeOH

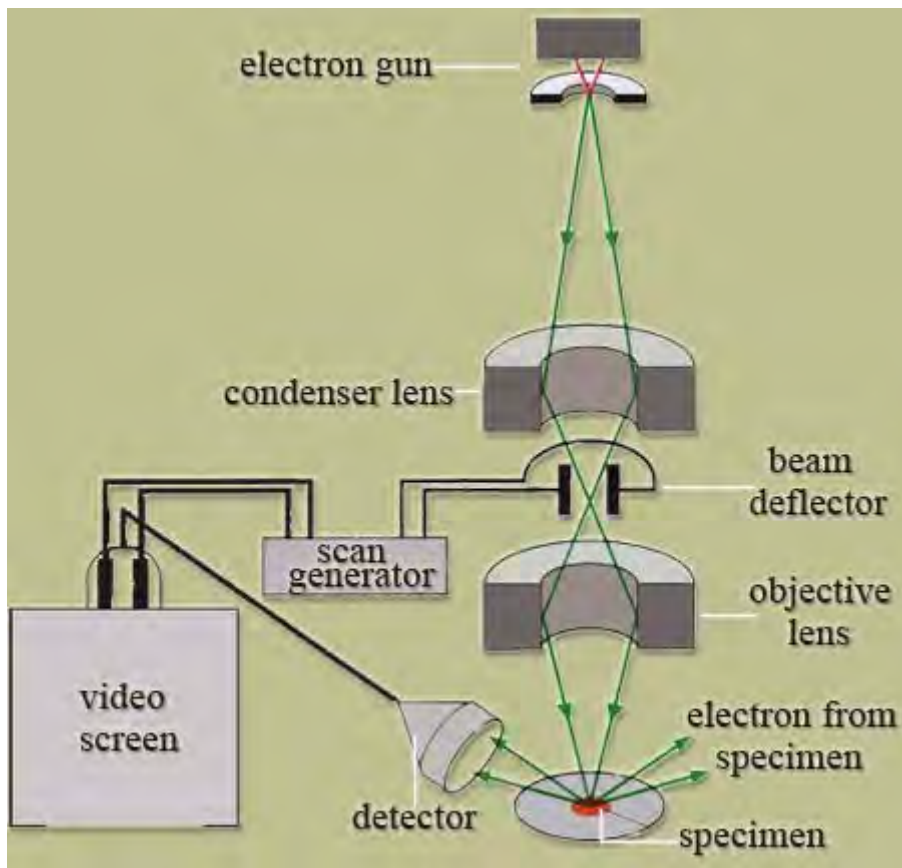
3. ทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การวิเคราะห์ลักษณะผิวหน้าของพอลิเมอร์

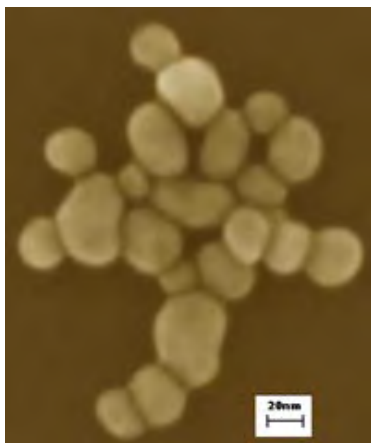
การวิเคราะห์ลักษณะผิวหน้าของวัสดุมีความสำคัญ และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการศึกษาเกี่ยวกับตัวเร่งปฏิกิริยา สารกึ่งตัวนำ อุปกรณ์ไฟฟ้า การเคลือบผิว และพอลิเมอร์ พื้นฐานการวิเคราะห์หาค่าสัณฐานวิทยาจากแหล่งพลังงานสูง (อิเล็กตรอน โฟตอน หรือ ไอออน) ที่ตกกระทบหรือผ่านผิวหน้าของตัวอย่าง และเป็นสาเหตุให้เกิดการสะท้อนกลับของพลังงาน ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้

3.1.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)

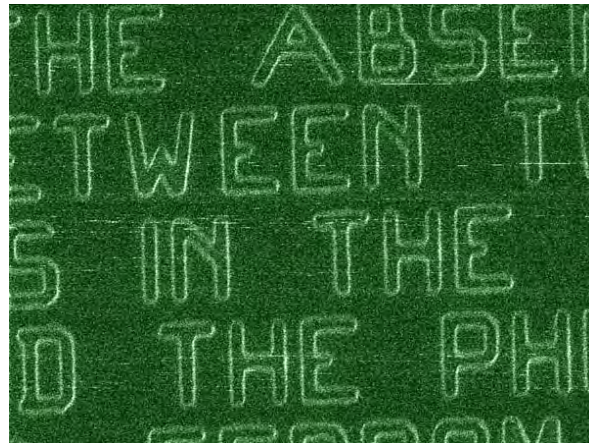
เทคนิคนี้ใช้ลำอิเล็กตรอนสแกนไปบนผิวหน้าของสารตัวอย่าง ซึ่งทำให้เกิดการกระเจิงของอิเล็กตรอน (scattered electron) และเกิดสัญญาณเพื่อใช้ในการสร้างภาพที่สามารถเห็นความลึก SEM มีประโยชน์มากในการศึกษาเกี่ยวกับผิวหน้าของพอลิเมอร์ เนื่องจากมีกำลังขยายสูงและเป็นภาพสามมิติ การประยุกต์ใช้เทคนิคนี้มีหลากหลาย เช่น ใช้ศึกษาการกระจายของเม็ดสีที่แขวนลอยอยู่ในสี โครงสร้างของรูพรุนในพอลิเมอร์ประเภทโฟม การพองหรือการแตกออกของวัสดุที่ใช้เคลือบผิว การแยกเฟสในพอลิเมอร์ผสม และลักษณะการแตกของผิวหน้าระหว่างวัสดุและสารที่ใช้ยึดติด เป็นต้น อย่างไรก็ตาม Scanning electron microscope (SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายไม่สูงเท่ากับเครื่อง TEM (เครื่อง SEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร) การเตรียมตัวอย่างเพื่อที่จะดูด้วยเครื่อง SEM นี้ไม่จำเป็นต้องที่ตัวอย่างจะต้องมีขนาดบางเท่ากับเมื่อดูด้วยเครื่อง TEM ก็ได้ (เพราะไม่ได้ตรวจวัดจากการที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง) การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น



รูปที่ 6 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง SEM



(ก)



(ข)

รูปที่ 7 ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากการสำรวจของเครื่อง SEM (ก) อนุภาคนาโนคอลลอยด์ของทองคำ
ที่ได้จากการศึกษาโดยใช้เครื่อง SEM และ (ข) ตัวอักษรที่ใช้วิธีการ EBL เขียน (ตัวอักษรสูง 150 นาโนเมตร)
ที่ได้จากการศึกษาโดยใช้เครื่อง SEM

3.2 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical Tests)

นักเคมีมักศึกษาลักษณะกายภาพของวัสดุต่าง ๆ โดยอาศัยความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างของโมเลกุล (molecular feature) เช่น การจัดเรียงอนุภาคในโมเลกุล รูปร่างของโมเลกุล และพลังงานพันธะเป็นต้น ในขณะที่วิศวกรหรือผู้ที่นำวัสดุนั้น ไปใช้งานมักจะมุ่งความสนใจไปที่ลักษณะสมบัติของวัสดุ ซึ่งมีประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ใช้ ถึงแม้ว่าในระยะหลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของพอลิเมอร์ในขั้นสูงแล้วก็ตาม โดยทั่วไปพบว่าเราไม่สามารถทำนายสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ของพอลิเมอร์โดยอาศัยความรู้จากโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีได้อย่างแม่นยำ เช่น ความแข็งแรง (strength) ที่แท้จริงของพอลิเมอร์อาจมีค่าเพียง 0.1-0.01 เท่าของค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ความรู้พื้นฐานจากความแข็งแรงของพันธะ และแรงระหว่างโมเลกุล เพราะฉะนั้นในปัจจุบันการทดสอบสมบัติเชิงกล จึงเป็นวิธีที่ดีที่จะศึกษาถึงสมบัติและความเป็นไปได้ในการนำเอาพอลิเมอร์ไปใช้งาน

3.2.1 ความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength)

ความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ สามารถทดสอบจากลักษณะการยืดออกของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงจากภายนอก โดยอาศัยเทอม 2 เทอมที่สัมพันธ์กัน คือ ความเค้น (stress : σ) และความเครียด (strain : ϵ)

ความเค้น คือ แรงที่ใช้ในการดึงหรือยืดตัวอย่าง ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด

$$\text{ความเค้น} = \frac{\text{แรง (F)}}{\text{พื้นที่หน้าตัด (A)}}$$

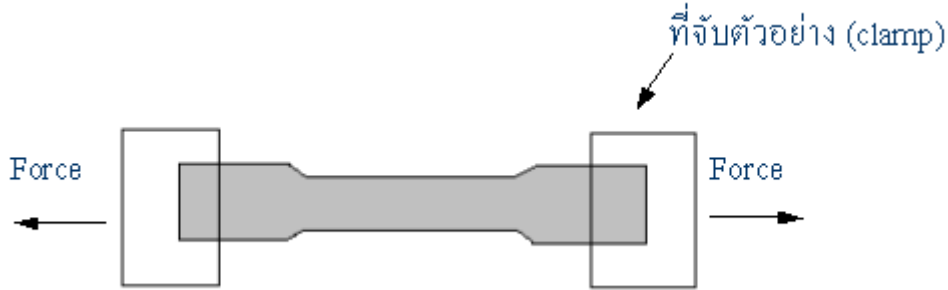
ความเครียด (ϵ) คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวที่เปลี่ยนไปของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงดึงต่อความยาวเริ่มต้น

$$\text{ความเครียด} = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนไป}}{\text{ความยาวเดิม}} = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\text{โมดูลัส (Modulus)} = \frac{\text{ความเค้น}}{\text{ความเครียด}} = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

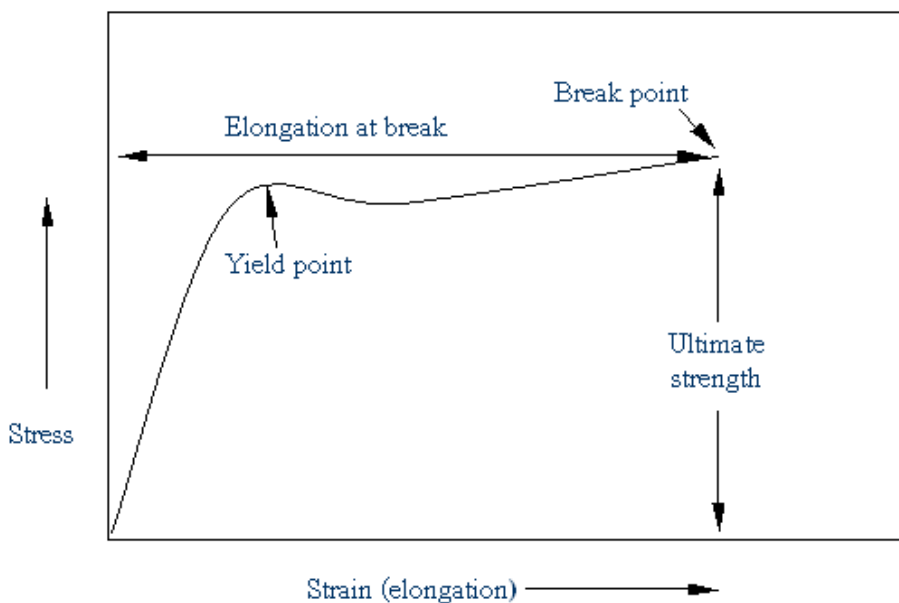
เนื่องจากพฤติกรรมความเค้นและความเครียดของวัสดุเป็นลักษณะที่ขึ้นกับเวลา อัตราเร็วที่ความเค้นหรือแรงถูกให้กับตัวอย่างจึงมีผลต่อการยืดของตัวอย่าง หรือความเครียดเป็นอย่างมาก เช่น เมื่อนำตัวอย่างประเภทเส้นใยมาทดสอบ โดยใช้แรงดึงอย่างรวดเร็วจนทำให้เส้นใยขาดออกโดยง่าย แต่เมื่อใช้แรง

ขนาดเดิมแต่ดึงอย่างช้า ๆ จะทำให้เส้นใยยืดออกและทนต่อแรงดึงอยู่ได้นานก่อนที่จะขาด ในทางปฏิบัติทั่วไปการทดสอบความเค้นและความเครียดของพอลิเมอร์ มักใช้ตัวอย่างรูปร่างดังแสดงไว้ข้างล่าง

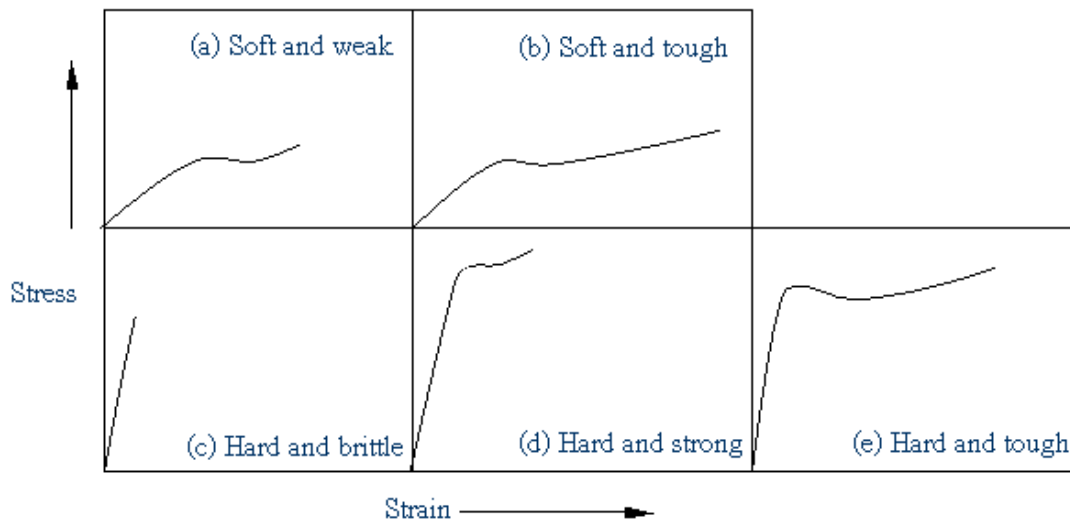


รูปที่ 8 รูปร่างตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่ใช้ทดสอบความเค้น และ ความเครียด

ปลายของตัวอย่างถูกยึดด้วยที่จับ และจะถูกดึงให้ยืดออกด้วยแรงที่รู้ขนาดแน่นอน จากนั้นจึงนำข้อมูลไปพลอตกราฟระหว่างความเค้นและความเครียด (stress-strain curve) สำหรับพอลิเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายยาง (elastomer) ซึ่งเกิดการยืดออกได้ง่ายเมื่อได้รับแรงดึง กราฟที่ได้มีลักษณะดังรูปที่ 9 และ 10 นอกจากความเค้นและความเครียด แล้วยังมีเทอมที่แสดงสมบัติเชิงกลประเภทอื่นของพอลิเมอร์ อีก เช่น modulus หรือ stiffness ซึ่งแสดงโดยค่าอัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียด (หรือความชันในช่วงแรกของเส้นกราฟ) และ toughness ซึ่งแสดงความต้านทานต่อการขาด



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น- ความเครียด



รูปที่ 10 กราฟการทดสอบความทนต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ที่มีสมบัติต่าง ๆ กัน

ข้อมูลสำคัญที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด คือค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาด (tensile strength at break) ซึ่งค่านี้สำหรับพอลิเมอร์ทั่วไปที่พบในชีวิตประจำวันสรุปไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาดสำหรับพอลิเมอร์ทั่วไปที่พบในชีวิตประจำวัน

Polymer	Tensile Strength (psi)
Polyethylene (low to medium density)	1,000 - 2,400
Poly (tetrafluoroethylene)	3,500
Polyethylene (high density)	4,400
Poly (dimethylsiloxane)	5,000
Polypropylene	5,000
Poly (vinylidene chloride)	8,000
Polystyrene	8,000
ABS terpolymer	8,500
Polyamide	9,000 - 12,000
Polycarbonate	9,500

4. วิธีการทดลองและผลการทดลอง

4.1 สารเคมี

- พอลิอะคริโลไนไตร์ (polyacrylonitrile)
- สารสกัดจากเปลือกมังคุดได้รับความอนุเคราะห์จากรองศาสตราจารย์ ดร. สุนิตย์ สุขสำราญ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- ไดมethylฟอร์มามาด์ (*N,N*-dimethylformamide) Analytical Reagent, Lab Scan
- Sodium acetate (Ajax)
- Glacial acetic acid
- Tween 80
- Methanol (Lab Scan)
- Anhydrous disodium hydrogen orthophosphate (Ajax)
- Sodium dihydrogen orthophosphate (Ajax)
- Sodium Chloride (NaCl) (Ajax)
- Acetone Analytical Reagent, Lab Scan
- Acetone Commercial Grade

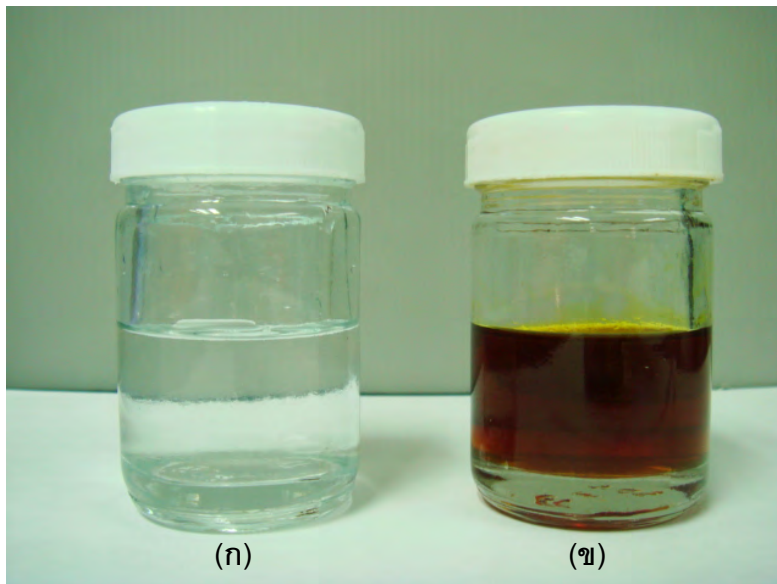
4.2 อุปกรณ์

- เครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูง Gamma High Voltage Research ES30P-5W high-voltage
- อุปกรณ์โลหะที่ใช้รองรับเส้นใยเป็นลูกกลิ้งที่หุ้มด้วยแผ่นโลหะ ซึ่งสามารถควบคุมอัตราเร็วรอบการหมุนของลูกกลิ้งได้
- Shimadzu UV-2550 UV-visible spectrophotometer
- Lloyd LRX Universal Testing Machine (UTM)
- Conductivity (Model SUNTEC SC 107)
- Hot plate
- Shaker bath

5. ขั้นตอนการทำการทดลอง

5.1 การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

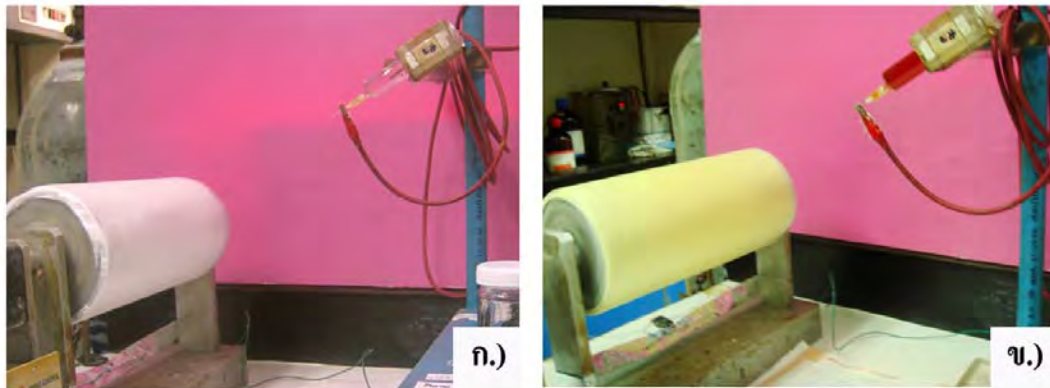
ละลายพอลิอะคริโลไนไตร์ (polyacrylonitrile) 10% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรโดยใช้สารละลายไดเมทิลฟอร์มามายด์ (*N,N*-dimethylformamide) ยาค้นแบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ สารสกัดจากเปลือกมังคุด โดยสารสกัดจากเปลือกมังคุดจะถูกใส่ลงในสารละลายพอลิอะคริโลไนไตร์ (polyacrylonitrile) ในปริมาณ 10% 15% 20% และ 30% โดยน้ำหนักของพอลิอะคริโลไนไตร์ (polyacrylonitrile) กวนให้เข้ากันก็จะได้สารละลายที่พร้อมสำหรับการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต ดังแสดงในรูปที่ 11 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่า conductivity



รูปที่ 11 แสดงลักษณะ ก) สารละลายสารพอลิอะคริโลไนไตร์
ข) สารละลายสารพอลิอะคริโลไนไตร์ ผสมสกัดจากเปลือกมังคุด

5.2 กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

นำสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้นใส่ลงในหลอดฉีดยาซึ่งมีเข็มต่ออยู่ที่ปลายหลอด จากนั้นให้ความต่างศักย์ 15 กิโลโวลต์ ระยะระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับถูกกำหนดไว้ที่ 20 เซนติเมตร ปริมาตรที่ใช้ในการเก็บแผ่นเส้นใย คือ 20 มิลลิลิตร จะให้ความหนาประมาณ 400 μm ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 แสดงลักษณะของเครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้าแรงสูงขณะทำการปั่นเส้นใย ก) การปั่นเส้นใยพอลิเอทรีโกลไนด์ และ ข) การปั่นเส้นใยพอลิเอทรีโกลไนด์ ผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุด

5.3 การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิเอทรีโกลไนด์

การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยโดยใช้เครื่อง Lloyd LRX universal testing machine โดยมี load cell 500 N มีความเร็ว $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ ที่อุณหภูมิห้อง และมี gauge length 50 มิลลิเมตร โดยตัดเส้นใยให้มีขนาด 1 เซนติเมตร x 10 เซนติเมตร จำนวน 10 ชิ้น ต่อ 1 ตัวอย่าง แล้วหาค่าเฉลี่ย

5.4 การศึกษาด้านการปลดปล่อยของสารสกัดจากเปลือกมังคุด

5.4.1 การเตรียมสารละลาย Acetate buffer/Tween 80/Methanol (A/TM)

Acetate buffer ถูกเลือกมาใช้ในการทดลองนี้ เนื่องจากมี pH ใกล้เคียงกับผิวหนังของคน คือ pH 5.5 ในการทดลองนี้ต้องใช้ surfactant (Tween 80) และ methanol เข้ามาช่วย เนื่องจากสารสกัดจากเปลือกมังคุดไม่ละลายน้ำ ซึ่ง Acetate buffer เตรียมได้โดยใช้ sodium acetate 150 g มาละลายในน้ำกลั่น 250 ml จากนั้นใส่ Glacial acetic acid 15 ml สุดท้ายปรับปริมาตรให้ครบ 1000 ml โดยใช้ น้ำกลั่น จากนั้นเตรียม Acetate buffer/Tween 80/Methanol โดยใช้ 96.5% v/v ของ Acetate buffer ละลายผสมกับ 0.5% v/v Tween 80 และ 3% v/v methanol

5.4.2 การเตรียมสารละลาย Phosphate buffer/Tween 80/Methanol (P/TM)

Phosphate buffer ถูกเลือกมาใช้ในการทดลองนี้ เนื่องจากมี pH ใกล้เคียงกับข้างในร่างกายของคนเรา คือ pH 7.4 ในการทดลองนี้ต้องใช้ surfactant (Tween 80) และ methanol เข้ามาช่วย เนื่องจากสารสกัดจากเปลือกมังคุดไม่ละลายน้ำ ซึ่ง Phosphate buffer เตรียมได้โดยใช้ Anhydrous disodium hydrogen orthophosphate 6.177 g และ sodium dihydrogen orthophosphate 1.014 g มาละลายในน้ำกลั่น 100 ml จากนั้นนำสารละลายข้างต้นมา 20 ml ผสมกับ NaCl 8.7 g สุดท้ายปรับปริมาตรให้ครบ 1000 ml โดยใช้ น้ำกลั่น และนำสารละลายมาปรับ pH ให้ได้ 7.4 จากนั้นเตรียม Phosphate buffer/Tween 80/Methanol โดยใช้ 96.5% v/v ของ Phosphate buffer ละลายผสมกับ 0.5% v/v Tween 80 และ 3% v/v methanol

5.4.3 การหาปริมาณสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่มีอยู่ในเส้นใย

นำเส้นใยพอลิอะคริโลไนไตร์ ผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุด 10% 15% 20% และ 30% โดยใช้แผ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.5 cm (น้ำหนักประมาณ 10 mg) จำนวน 5 ตัวอย่าง นำตัวอย่างมาละลายในตัวทำละลายไดเมทิลฟอรั่มามาดี (N,N-dimethylformamide) ปริมาตร 10 ml จากนั้นดูดสารละลายมา 1 ml มาผสมกับ Acetate buffer/Tween 80/Methanol หรือ Phosphate buffer/Tween 80/Methanol 9 ml นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Shimadzu UV-2550 UV-visible spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 318 nm และ 319 nm (สำหรับ Acetate buffer/Tween 80/Methanol และ Phosphate buffer/Tween 80/Methanol) ปริมาณสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่แท้จริงที่มีอยู่ในเส้นใยคำนวณได้จาก calibration curve ของสารสกัดจากเปลือกมังคุด

5.4.4 การวัดการปลดปล่อยสารสกัดมังคุดจากเส้นใยพอลิอะคริโลไนไตร์

ในการทดลองนี้วัดการปลดปล่อยของยาโดยแบบ Total immersion ทำได้โดยตัดตัวอย่างให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 cm จากนั้นจุ่มตัวอย่างลงในสารละลาย A/T/M ที่ 32 °C และ P/T/M ที่ 37 °C ที่มีปริมาตร 40 ml โดยขวดแช่อยู่ใน shaker bath ที่มีจำนวนรอบ 70 rpm ซึ่งจะทำให้การเก็บสารละลาย 1 ml ออกจากขวด และต้องเติม 1 ml ของ A/T/M หรือ P/T/M ใส่ขวดเดิม ซึ่งจะทำให้การเก็บสารละลายตั้งแต่ 0-48 ชั่วโมง (0-2880 นาที) ปริมาณของสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ถูกปลดปล่อยออกมาจะวัดด้วยเครื่อง Shimadzu UV-2550 UV-visible spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 318 nm (A/T/M) และ 319 nm (P/T/M) ทำซ้ำ 5 ครั้ง ต่อ 1 ตัวอย่าง

5.5 การทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อวัณโรคคือยาโดยสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่เคลือบบนแผ่นอิเล็กโตรสปิน

ในการทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อวัณโรคคือยาโดยสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่เคลือบบนแผ่นอิเล็กโตรสปิน ได้ดำเนินการวิจัย ดังนี้

การเตรียมแผ่นอิเล็กโตรสปิน (Electrospin: PAN) ตัดแผ่นอิเล็กโตรสปินเปล่า (PAN) และที่เคลือบด้วยสารสกัดจากเปลือกมังคุดเข้มข้น 10% 15% 20% และ 30% ให้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ขนาด 1.5 ซม. จากนั้นนำไปอบแสงยูวี (ultraviolet) อย่างน้อย 2 ชั่วโมง เพื่อฆ่าเชื้อต่างๆ

การเตรียมเชื้อวัณโรคคือยา นำเชื้อวัณโรคที่คือต่อยา 4 ชนิด คือ Rifampicin, Isoniazid, Ethambutol และ Streptomycin (TB-MDR: Mc. No.1) ไปเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว จนได้เชื้อ ประมาณ 10^7-10^8 cfu จากนั้นเจือจางเชื้อโดยปิเปตเชื้อ $100 \mu\text{l}$ ผสมกับน้ำปลอดเชื้อ 9.9 มล. จะได้เชื้อ ประมาณ 10^5-10^6 cfu เพื่อใช้ในการทดสอบการยับยั้ง

การทดสอบการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อวัณโรคคือยา โดยสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่เคลือบบนแผ่นอิเล็กโตรสปิน ได้ทำการทดสอบ 2 วิธี ดังนี้

วิธีที่ 1 การวัด Clear zone

ใช้ก้านสำลิจุ่มเชื้อ (10^5-10^6 cfu) แล้วนำไปเกลี่ยบนอาหารแข็งในจานเพาะเลี้ยงให้ทั่ว จากนั้นนำแผ่นอิเล็กโตรสปินเปล่า (PLA) และแผ่นอิเล็กโตร-สปินที่เคลือบด้วยสารสกัดจากเปลือกมังคุดเข้มข้น 10% 15% 20% และ 30% ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 ซม. ไปวางลงบนอาหารแข็งที่มีเชื้ออยู่ นำไปเพาะเลี้ยงที่ 37°C ในตู้ incubator เป็นเวลา 3 สัปดาห์ วัดขนาดของ clear zone ที่เกิดขึ้น (ทำ duplicate)

วิธีที่ 2 การหา % การยับยั้ง

นำเชื้อวัณโรคที่คือต่อยา (จำนวนเชื้อ 10^5-10^6 cfu) ปริมาตร $20 \mu\text{l}$ และ $50 \mu\text{l}$ หยดลงบนแผ่นอิเล็กโตรสปินเปล่า (PLA) และแผ่นอิเล็กโตร-สปินที่เคลือบด้วยสารสกัดจากเปลือกมังคุดเข้มข้น 10% 15% 20% และ 30% นำไปเพาะเลี้ยงที่ 37°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำแผ่นอิเล็กโตรสปินเปล่า (PLA) และแผ่นอิเล็กโตร-สปินที่เคลือบด้วยสารสกัดจากเปลือกมังคุดเข้มข้น 10% 15% 20% และ 30% ที่มีเชื้อติดอยู่ไปเขย่าในน้ำ ปริมาตร 2 มล. เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นดูดสารละลายของเชื้อ $100 \mu\text{l}$ ไปเกลี่ยบนอาหารแข็งบนจานเพาะเลี้ยงให้ทั่ว สำหรับ control ใช้เชื้อวัณโรคที่มีความเข้มข้นและปริมาตรเท่ากับการทดสอบข้างต้น แต่นำไปไปเกลี่ยบนอาหารแข็งโดยตรง ไม่ต้องผ่านแผ่นอิเล็กโตร-สปินและสารส

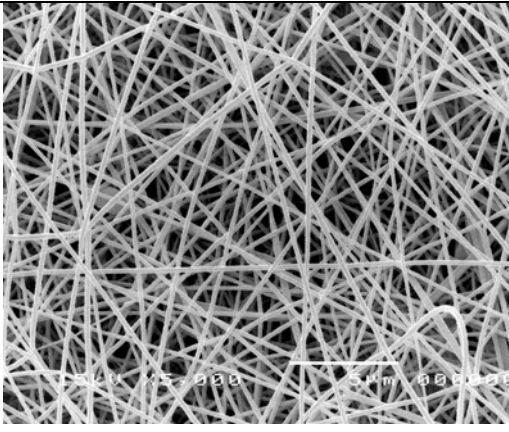
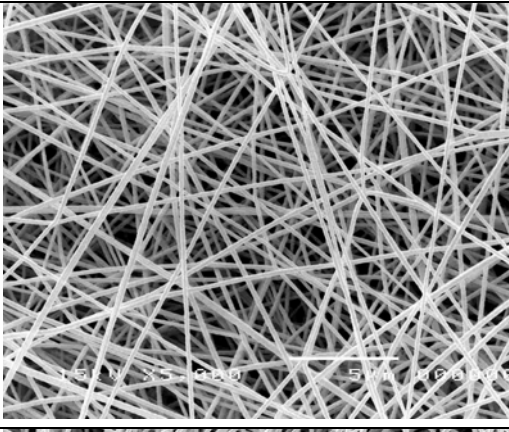
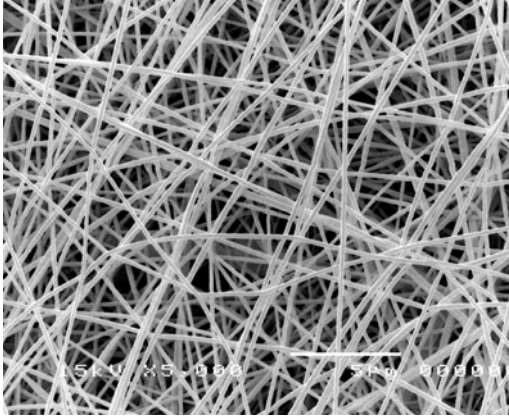
6. ผลการทดลอง

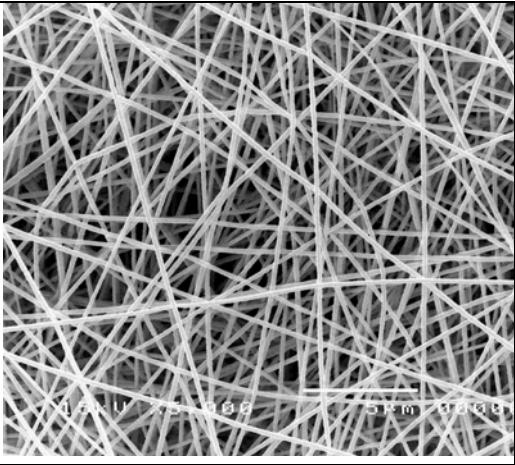
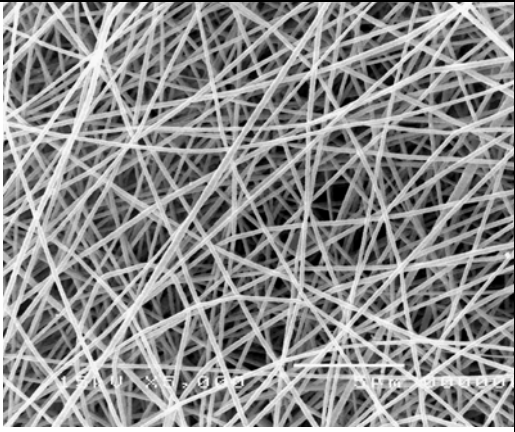
เมื่อทำการใส่สารสกัดจากเปลือกมังคุดซึ่งใช้เป็นยาต้นแบบ ลงในสารละลายพอลิอะครีโลไนไตร์ โดยมีไดเมทิลฟอร์มามายด์ (*N,N*-dimethylformamide) ซึ่งเส้นใยที่ได้จากกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตไม่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เพียงแต่ขนาดของเส้นใยโดยเฉลี่ยเล็กลง โดยเมื่อสารสกัดจากเปลือกมังคุด 10% เส้นใยเฉลี่ยมีขนาด 0.241 ± 0.17 ไมโครเมตร และเมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดจากเปลือกมังคุดเป็น 15% 20% 30% เส้นใยเฉลี่ยมีขนาดลดลงเป็น 0.239 ± 0.33 0.223 ± 0.17 0.215 ± 0.24 ไมโครเมตร ตามลำดับ และลักษณะพื้นฐานวิทยาจากการถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของเส้นใยพอลิอะครีโลไนไตร์ (polyacrylonitrile) ที่มีสารสกัดจากเปลือกมังคุดผสมอยู่ในปริมาณ 10% 15% 20% 30% โดยน้ำหนักของพอลิอะครีโลไนไตร์ (polyacrylonitrile) ในสารละลายไดเมทิลฟอร์มามายด์ (*N,N*-dimethylformamide) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 แสดงขนาดเส้นใยเฉลี่ยของเส้นใยอิเล็กโตรสปินพอลิอะครีโลไนไตร์ เมื่อผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุดในไดเมทิลฟอร์มามายด์ (*N,N*-dimethylformamide)

sample	Diameters (μm)
Electrospunpolyacrylonitrile fibers mats	0.242 ± 0.12
10%-loaded electrospun fibers mats	0.241 ± 0.17
15%-loaded electrospun fibers mats	0.239 ± 0.33
20%-loaded electrospun fibers mats	0.223 ± 0.17
30%-loaded electrospun fibers mats	0.215 ± 0.24

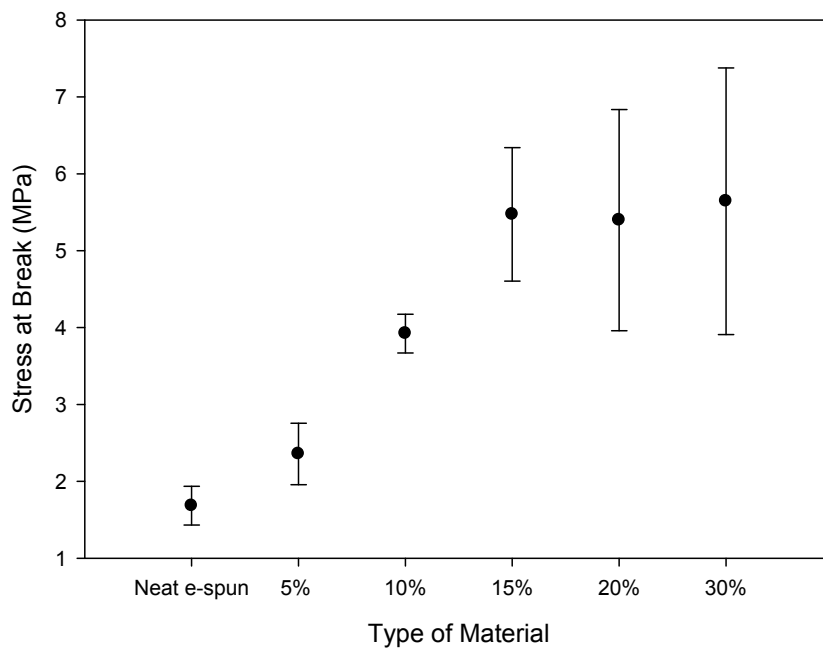
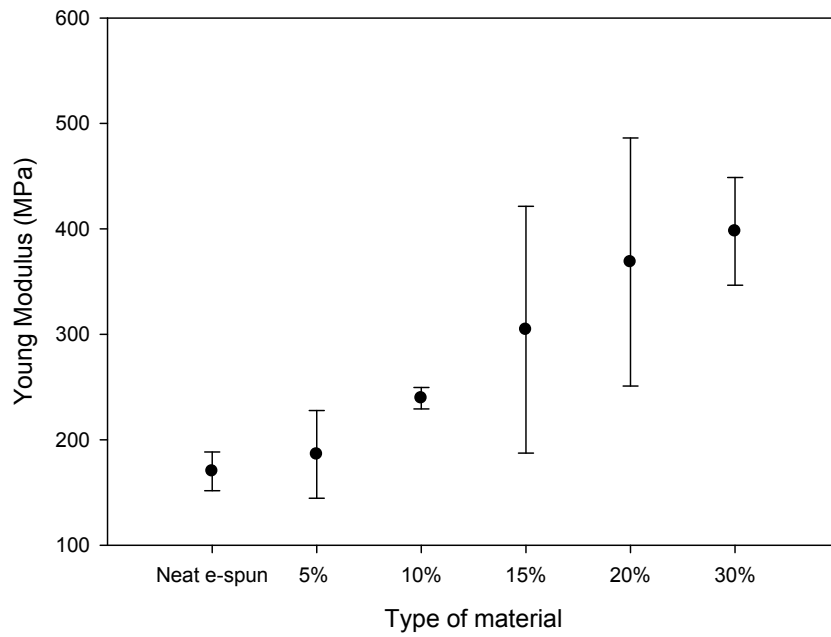
ตารางที่ 3 ลักษณะพื้นฐานวิทยาจากการถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของเส้นใยพอลิอะคริโลไนไตร์ ที่มีสารสกัดจากเปลือกมังคุดผสมอยู่ในปริมาณ 10% 15% 20% และ 30% โดยน้ำหนักของพอลิอะคริโลไนไตร์และไดเมทิลฟอร์มามาด์ (*N,N*-dimethylformamide) เป็นสารละลาย (15 kv, 20 cm.)

ชนิดของวัสดุ	ในสารละลายไดเมทิลฟอร์มามาด์
พอลิอะคริโลไนไตร์	
10% สารสกัดจากเปลือกมังคุดในพอลิอะคริโลไนไตร์	
15% สารสกัดจากเปลือกมังคุดในพอลิอะคริโลไนไตร์	

<p>20% สารสกัดจากเปลือกมังคุดใน พอลิอะคริโลไนไตร์</p>	
<p>30% สารสกัดจากเปลือกมังคุดใน พอลิอะคริโลไนไตร์</p>	

6.1 ผลของการศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิอะคริโลไนไตร์

เมื่อผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุดในพอลิอะคริโลไนไตร์ ทำให้ค่า Young's Modulus และ Stress at break เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารสกัดจากเปลือกมังคุดทำหน้าที่เสริมแรงให้กับเส้นใย จึงทำให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 14



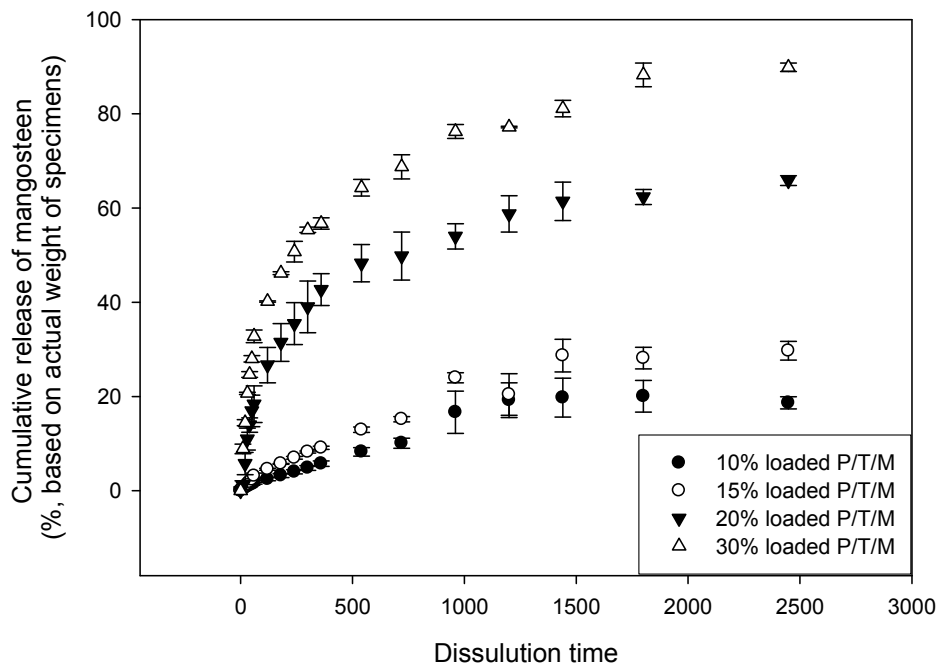
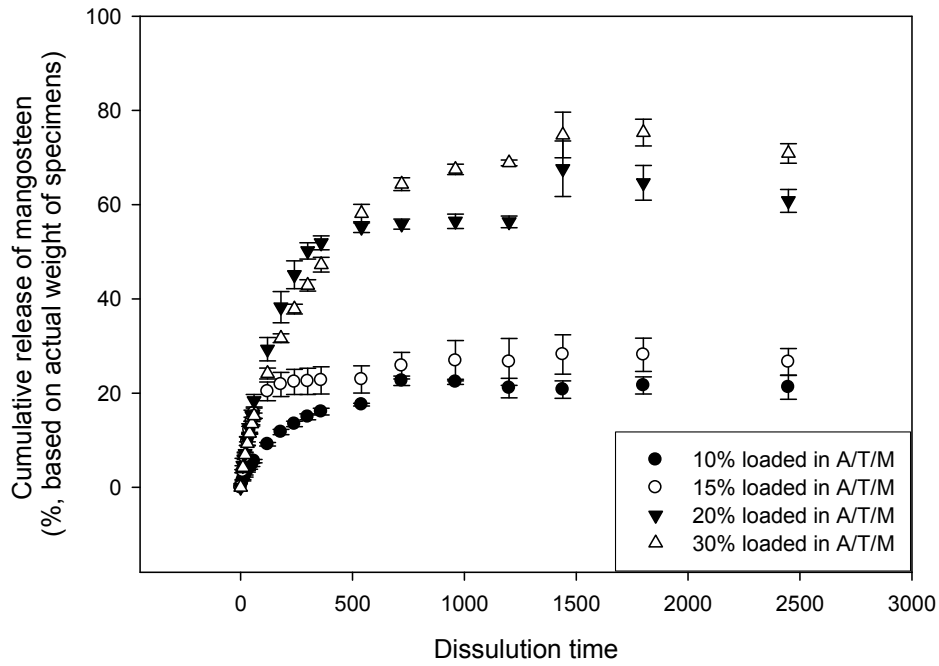
รูปที่ 14 แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิอะคริโตนไตร์ , 30% สารสกัดจากเปลือกมังคุดในพอลิอะคริโตนไตร์ และ 50% สารสกัดจากเปลือกมังคุดในพอลิอะคริโตนไตร์

6.2 ผลของการศึกษาด้านการปลดปล่อยของสารสกัดจากเปลือกมังคุด

การหาปริมาณสารสกัดจากเปลือกมังคุดทั้งหมดที่มีอยู่ในเส้นใยได้ค่าตามตาราง 4 เมื่อทำการวัดปริมาณการปลดปล่อยสารสกัดจากเปลือกมังคุด 10%, 15%, 20% และ 30% ที่มีอยู่ในเส้นใยพอลิอะคริไลต์ใน Acetate buffer/Tween 80/Methanol (32°C) ที่ 318 nm และ Phosphate buffer/Tween 80/Methanol (37°C) ที่ 319 nm พบว่า สารสกัดจากเปลือกมังคุด 30% จะเกิดการปลดปล่อยที่เร็วและปริมาณมากกว่า ในช่วงเวลาเดียวกัน เนื่องจากปริมาณสารสกัดจาก เปลือกมังคุดที่ใส่ในเส้นใยมากกว่า และการปลดปล่อยสารสกัดจากเปลือกมังคุดในสารละลาย P/T/M จะให้ปริมาณมากกว่า เนื่องจากอุณหภูมิสูงกว่าและ pH สูงกว่า ซึ่งจะเห็นได้ว่า ณ เวลา 500 นาที สารสกัดจากเปลือกมังคุดจะเกิดการปลดปล่อยออกมาคงที่ โดยมีปริมาณประมาณ 17% ในสารละลาย P/T/M แต่ในช่วงเวลาเดียวกันในสารละลาย A/T/M สารสกัดจากเปลือกมังคุดเกิดการปลดปล่อยออกมาเพียง 17% เท่านั้นเอง ลักษณะการปลดปล่อยสารสกัดจากเปลือกมังคุดได้แสดงดัง รูปที่ 15

ตารางที่ 4 แสดงปริมาณสารสกัดจากเปลือกมังคุดทั้งหมดที่มีในเส้นใย
โดยแผ่นเส้นใยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 cm (น้ำหนักประมาณ 10 mg)

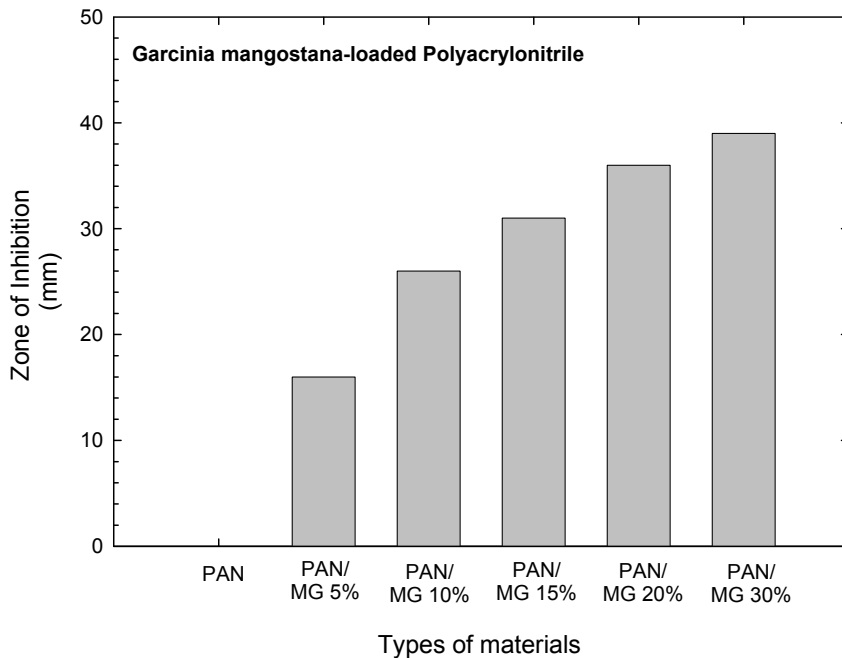
Sample	Drug assay (%)
MG 10%-loaded electrospun fibers mats in A/T/M	86.15 ± 6.59
MG 15%-loaded electrospun fibers mats in A/T/M	94.67 ± 4.51
MG 20%-loaded electrospun fibers mats in A/T/M	92.01 ± 3.95
MG 30%-loaded electrospun fibers mats in A/T/M	96.78 ± 0.89



รูปที่ 15 แสดงลักษณะการปลดปล่อยสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่มีอยู่ในเส้นใยพอลิอะคริลาไมด์
 ก) การปลดปล่อยสารสกัดจากเปลือกมังคุดใน Acetate buffer/Tween 80/Methanol (32 °C) และ
 ข) การปลดปล่อยสารสกัดจากเปลือกมังคุดใน Phosphate buffer/Tween 80/Methanol (37 °C)

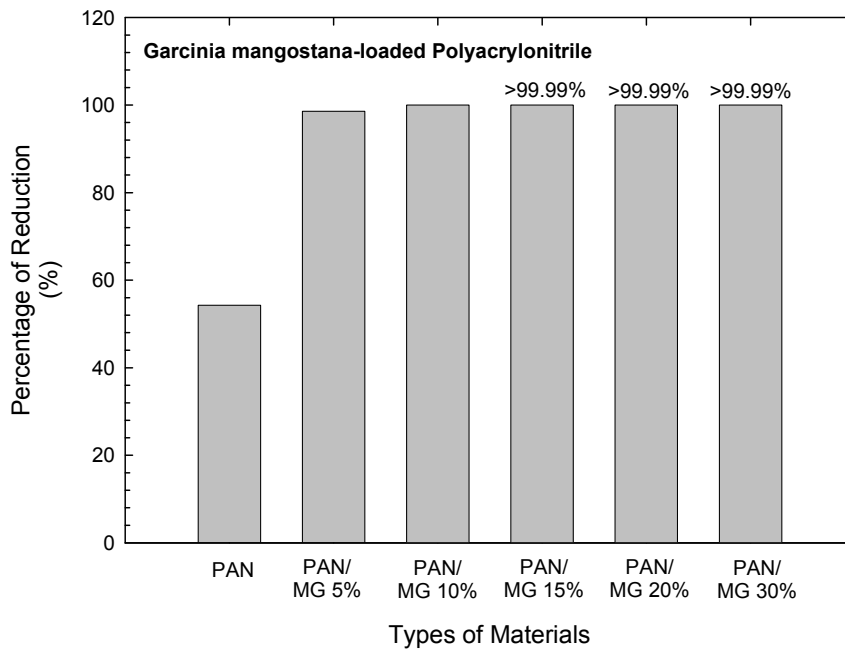
6.3 ผลการทดสอบฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อวัณโรคคอตีบโดยสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่เคลือบบนแผ่นอิเล็กโตรสปีน

ผลการทดลองวิธีที่ 1 พบว่ามี clear zone เกิดขึ้นที่แผ่นอิเล็กโตรสปีนเปล่า (PurePAN) สำหรับแผ่นอิเล็กโตรสปีนที่เคลือบด้วยสารสกัดจากเปลือกมังคุดเข้มข้น 5% 10% 15% 20% และ 30% ให้ clear zone ขนาด 16 มม. 24 มม. 32 มม. 36 มม. และ 42 มม. ตามลำดับ ดังรูปที่ 16 จากผลการทดลองนี้ แสดงให้เห็นว่า สารสกัดจากเปลือกมังคุดเข้มข้น 5% 10% 15% 20% และ 30% ที่เคลือบบนแผ่นอิเล็กโตรสปีน สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อวัณโรคคอตีบได้



รูปที่ 16 แสดงผลการยับยั้งเชื้อวัณโรค

เพื่อเป็นการยืนยันว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดสามารถฆ่าเชื้อวัณโรคได้ เพื่อหาว่าสารสกัดจากเปลือกมังคุดที่ใส่ลงไปในเส้นใยสามารถฆ่าเชื้อวัณโรคได้ที่เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปแล้วจะถือว่าสารตัวนั้นมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อวัณโรคได้ % reduction ที่ได้ต้องมีค่าเท่ากับ 99% ซึ่งจากการทดสอบพบว่า สารสกัดจากเปลือกมังคุดสามารถฆ่าเชื้อวัณโรคได้ เนื่องจากมี % reduction มากกว่า 99 ดังแสดงในรูปที่ 17 แสดงความสามารถการฆ่าเชื้อวัณโรคของสารสกัดจากเปลือกมังคุดในเส้นใยพอลิอะคริโลไนไตร์



ตารางที่ 17 แสดงความสามารถการฆ่าเชื้อไวรัสของสารสกัดจากเปลือกมังคุด
ในเส้นใยพอลิอะคริโลไนไตร์

ข้อสรุป

การเตรียมแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์อิเล็กโตรสปินที่มีสารสกัดจากเปลือกมังคุดผสมอยู่ประสบความสำเร็จอย่างดี โดยใช้ค่าความต่างศักย์ 15 kv และระยะระหว่างปลายเข็มกับฐานรับ 20 เซนติเมตร จากนั้นได้นำเส้นใยไปทดลองสมบัติต่างๆ เพื่อหาความสามารถของเส้นใยที่ผสมสารสกัดจากเปลือกมังคุด เช่น การหาค่าการนำไฟฟ้าของสารละลาย พบว่า สารละลายมีค่าการนำไฟฟ้า เมื่อเติมสารสกัดจากเปลือกมังคุดลงไป การศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยพอลิอะคริโลไนไตร์ พบว่า เมื่อใส่สารสกัดจากเปลือกมังคุดแล้วทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงขึ้น การศึกษาด้านการปลดปล่อยสารสกัดจากเปลือกมังคุดในสารละลาย Acetate buffer/Tween 80/Methanol (32°C) และ Phosphate buffer/Tween 80/Methanol (37°C) พบว่า เส้นใยที่ใส่สารสกัดจากเปลือกมังคุด 30% มีการปลดปล่อยของสารสกัดจากเปลือกมังคุดมากกว่าเส้นใยที่ใส่สารสกัดจากเปลือกมังคุด 20% 15% และ 10% ตามลำดับ การทดลองกับเชื้อโรคนิตต่างๆ ของแผ่นเส้นใยผสมที่เตรียมได้ พบว่า เส้นใยพอลิเมอร์อิเล็กโตรสปินที่มีสารสกัดจากเปลือกมังคุดผสมอยู่นั้น สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อไวรัสโรคคือยาได้อย่างมีประสิทธิภาพถึง 99.99% เพื่อใช้ในการผลิตแผ่นเส้นใยพอลิเมอร์

อิเล็กทรอนิกส์ที่มีสารสกัดจากเปลือกมังคุดผสมอยู่ สามารถประสบความสำเร็จและการดำเนินงานเป็นไปด้วยดี

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียให้มากขึ้น หรืออาจลองทดสอบกับเชื้อรา และควรนำเส้นใยที่ได้ขึ้นไปทดสอบการต้านเชื้อวัณโรค หรืออื่นๆ และควรมีระยะเวลาในการทำวิจัยมากกว่านี้

เอกสารอ้างอิง (Reference)

- [1] W. Mahabusarakam, P. Iriyachitra, and W.C. Taylor, *J. Nat. Prod.* 50 (1987) 474-478.
- [2] K. Nakatani, N. Nakahata, T. Arakawa, H. Yasuda, and Y. Ohizumi, *Biochem. Pharm.* 63 (2002) 73-79.
- [3] L.J. Harrison, Nilar, *Phytochemistry* 60 (2002) 541-548.
- [4] G. Gopalakrishnan, B. Banumathi, and G. Suresh, *J. Nat. Prod.* 60 (1997) 519-524.
- [5] C.-K. Ho, Y.-L. Huang, and C.-C. Chen, *Planta Med.* 68 (2002) 975-979.
- [6] K. Nakatani, M. Atsumi, T. Arakawa, K. Oosawa, S. Shimura, N. Nakahata, and Y. Ohizumi, *Biol. Pharm. Bull.* 25 (2002) 1137-1141.
- [7] P. Moongkarndi, N. Kosem, S. Kaslungka, O. Luanratana, N. Pongpan, N. Neungton, *J. Ethnopharm.* 90 (2004) 161-166.
- [8] K. Matsumoto, Y. Akao, H. Yi, K. Ohguchi, T. Ito, T. Tanaka, E. Kobayashi, M. Inuma, and Y. Nozawa, *Bioorg. Med. Chem.* 12 (2004) 5799-5806.
- [9] S. Suksamrarn, N. Suwannapoch, W. Phakhodee, J. Thanuhiranlert, P. Ratananukul, N. Chimnoi, and A. Suksamrarn, *Chem. Pharm. Bull.* 51 (2003) 857-859.
- [10] P. Wutticharoenmongkol, N. Sanchavanakit, P. Pavasant, and P. Supaphol, *J. Nanosci. Nanotech.* 6 (2006) 514-522.
- [11] C. Meechaisue, R. Dubin, P. Supaphol, V.P. Hoven, and J. Kohn, *J. Biomater. Sci. – Polym. Ed.* 17 (2006) 1039-1056.
- [12] E.R. Kenawy, G.L. Bowlin, K. Mansfield, J. Layman, D.G. Simpson, E.H. Sanders, and G.E. Wnek, *J. Controlled Release* 81 (2002) 57-64.
- [13] P. Taepaiboon, U. Rungsardthong, and P. Supaphol, *Nanotechnology* 17 (2006) 2317-2329.
- [14] A.S. Aly, (1998) Self dissolving chitosan. I. Preparation and characterization and evaluation for drug delivery system. *Angew Macromolecule Chemistry*, 259, 33-38.
- [15] MM. Bergshoef, GJ. Vancso, (1999) Transparent nanocomposites with ultrathin, electrospun Nylon-4, 6 fiber reinforcement. *Advance Material*, 11, 1362–1365.

- [16] N. Bhattarai, D. Edmondson, O. Veiseh, F.A. Matsen, M. Zhang, (2005) Electrospun chitosan-based nanofibers and their cellular compatibility. Biomaterials, 26, 6176-6184
- [17] ED. Boland, GE. Wnek, DG. Simpson, KJ. Palowski, GL. Bowlin, (2001) Tailoring tissue engineering scaffolds using electrostatic processing techniques: a study of poly(glycolic acid) electrospinning. Journal of Macromolecular Science and Purification Application Chemistry A38, 1231–1243.
- [18] W.J. Li, C.T. Laurencin, E.J. Caterson, R.S. Tuan, F.K. Ko, (2002) Electrospun nanofibrous structure: A novel scaffold for tissue engineering. Journal of Biomedical Materials Research, 60(4), 613-621.
- [19] N. Bhattarai, D. Edmondson, O. Veiseh, F.A. Matsen, M. Zhang, (2005) Electrospun chitosan-based nanofibers and their cellular compatibility. Biomaterials, 26, 6176-6184.
- [20] S . Praserdsook, M. Sukchotiratana , Effect of some medicinal plant extracts on the growth of dysenteric bacteria. Symposium on Sciences and Technology of Thailand,12th, Bangkok, Thailand, Oct. 20-22,1986.
- [21] จริญญา สิ้นเดิมสุข สมเกียรติ คีกิจเสริมพงศ์.ฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรียของสารสกัดจากเปลือกมังคุดต่อกลุ่มแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคท้องร่วงและกลุ่มแบคทีเรียประจำถิ่นในลำไส้. วารสารกรมการแพทย์ 2532;14(6):421-6.
- [22] จริญญา สิ้นเดิมสุข สมเกียรติ คีกิจเสริมพงศ์ วิชา จารุปริชาชาญ. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการรักษาโรคอุจจาระร่วงระหว่างใบฝรั่งและเปลือกมังคุด. วารสารเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 2532;16(2):32-5.
- [23] T. Chaiyasothi, W. Reksopha, Effect of some medicinal plants. Special Project for the Degree of B. Sc. (Pharm), Faculty of Pharmacy, Mahidol University, Thailand, 1975.
- [24] M. Garnett, SD. Sturton, *G. mangostana* in the treatment of amoebic dysentery. Chinese Med J 1932;46(10):969-73.
- [25] W . Gritsanapan, M. Chulasiri, A preliminary study of antidiarrheal plants: I. Antibacterial activity. Mahidol Univ J Pharm Sci 1983;10(4):119-22.

- [26] B. Sutabhaha, U. Dartrakoon, T. Furuya, T. Nagumo, The inhibitory activities of mangosteen's pericarb extract on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. Bull Chiang Mai Assoc Med Sci 1997;30(1):S40-6.
- [27] ธวัชชัย เชื้อประไพศิลป์ พิเชษฐ์ วิริยะจิตรา เมตตา อองค์สกุล และคณะ. ประโยชน์ของผลิตภัณฑ์ธรรมชาติในทางการแพทย์. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19, จ.สงขลา, 27-29 ต.ค. 2536.
- [28] จันจิรา อินตรา อนุสรารอตร์กษา. การพัฒนาสบู่เหลวสมุนไพรต้านเชื้อแบคทีเรีย. โครงการพิเศษ คณะเภสัชศาสตร์ ม.มหิดล, 2542.
- [29] ประสิทธิ์ ทรายจิตรกุล.ฤทธิ์ต้านแบคทีเรียของสารสกัดจากเปลือกมังคุด. สัมมนาวิชาการเทคโนโลยีชีวภาพเภสัชกรรม ครั้งที่ 2 “การวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ธรรมชาติเพื่อการแพทย์แผนไทย”, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 21-23 มิ.ย. 2543:142.
- [30] ณัฐพันธุ์ ตันดินฤพงษ์ ตูลาภรณ์ ม่วงแดง. การพัฒนาสบู่สมุนไพรต้านเชื้อ. โครงการพิเศษ คณะเภสัชศาสตร์ ม.มหิดล, 2543.
- [31] S. Surassmo, S. Tantichaiwanit, S. Banmai, MT. Chomnawang, Antibacterial activity of medicinal plants against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. The 20th Congress of Federation of Asian Pharmaceutical Associations (FAPA), Bangkok, Thailand, Nov. 30 – Dec. 3, 2004:236.
- [32] สุขยางค์ วรวิฑูณชัย หลิน กิจพิพิช. ฤทธิ์ต้านเชื้อของสารสกัดสมุนไพรไทยต่อ clinical isolates ของ methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. วารสารสงขลานครินทร์ วทท. 2548;27(ฉบับพิเศษ):525-34.
- [33] HRW. Dharmaratne, KGNP. Piyasena, SB. Tennakoon, A geranylated biphenyl derivative from *Garcinia mangostana*. Nat Prod Res 2005;19(3):239-43.
- [34] ณัฐริยา พงศ์ผาสุก. การพัฒนาสมุนไพรที่มีฤทธิ์ต้านการอักเสบเพื่อใช้เป็นยาทาภายนอก. รายงานการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2546.
- [35] N. Pongphasuk, M. Chitcharoenlum, W. Khunkitti, Anti-inflammatory and activities of the extract from *Garcinia mangostana* Linn. The 3rd World Congress on Medicinal Plant and Aromatic Plants for Human Welfare, Chiang Mai, Thailand, 3-7 Feb 2003:543.

- [36] D. Shankaranarayan, C. Gopalakrishnan, L. Kameswaran, Pharmacological profile of mangostin and its derivatives. Arch Int Pharmacodyn Ther 1979;239(2):257-69.
- [37] K. Nakatani, M. Atsumi, T. Arakawa, K. Oosawa, S. Shimura, N. Nakahata, Y. Ohizumi, Inhibitions of histamine release and prostaglandin E₂ synthesis by mangosteen, a Thai medicinal plants. Biol Pharm Bull 2002;25(9):1137-41.
- [38] K. Nakatani, N. Nakahata, T. Arakawa, H. Yasuda, Y. Ohizumi, Inhibition of cyclooxygenase and prostaglandin E₂ synthesis by g-mangostin, a xanthone derivative in mangosteen, in C6 rat glioma cells. Biochem Pharmacol 2002;63(1):73-9.
- [39] Y. Oizumi, T. Arakawa, K. Osawa, S. Shimura, Cyclooxygenase inhibitor containing *Garcinia mangostana* extract or mangostin, and foods and beverages containing the inhibitor. Patent: Jpn Kokai Tokkyo Koho JP 2002 47,180, 2002:6pp.
- [40] X. Xiaoyi, Q. Yang, Y. Wang, H. Yu, X. Chen and X. Jing, Biodegradable electrospun poly(L-lactide) fibers containing antibacterial silver nanoparticles, European Polymer Journal 42 (2006) 2081–2087