บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง ซึ่งจะได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนแรกจะได้กล่าวถึงสารละลายพอลิเมอร์ตั้งต้น ได้แก่ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน (PCL) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน (PVAB) ส่วนที่สองจะได้กล่าวถึงเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ ที่ได้จากสารละลายพอลิเมอร์ตั้งต้น และส่วนสุดท้ายจะได้กล่าวถึงเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาขั้นตอนและวิธีการผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปัน รวมถึงปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนศึกษาถึงสมบัติในด้านต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย การวิเคราะห์ค่าสภาพการนำไฟฟ้า การศึกษาพันธะและหมู่ฟังก์ชัน สมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล เฟสองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ตั้งต้น

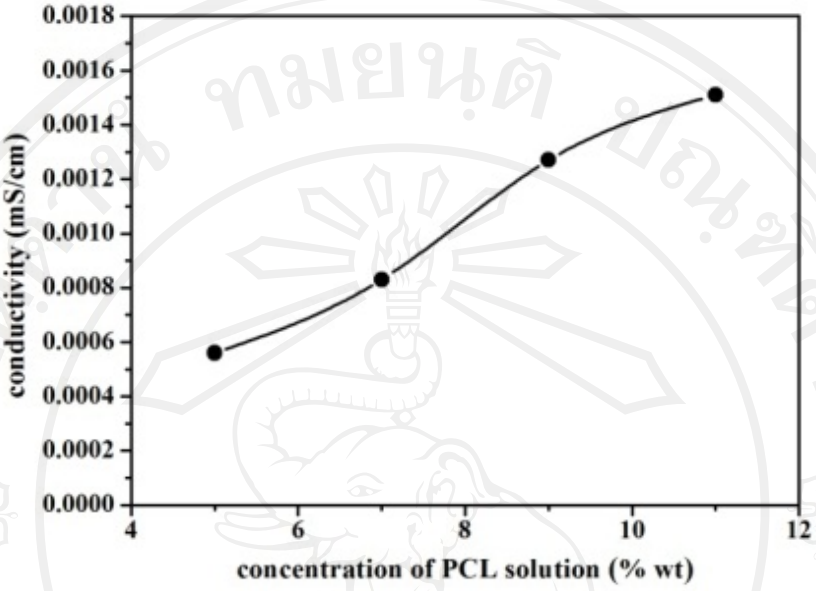
สารละลายพอลิเมอร์ตั้งต้นที่ใช้ในการทดลองนี้มี 3 ชนิด ได้แก่ สารละลายพอลิคาร์โพร-แลคโทน (PCL) สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน (PVAB) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.1 สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน (PCL solution)

การเตรียมสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทนเพื่อศึกษาคุณสมบัติต่างๆ สามารถเตรียมได้โดยนำพอลิคาร์โพรแลคโทนมาละลายในตัวทำละลายอะซีโตน ด้วยความเข้มข้น 5 7 9 และ11%wt โดยให้ความร้อน 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้มาพักไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อที่จะนำไปทดลองทางด้านต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.1.1 การศึกษาสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน (Conductivity)

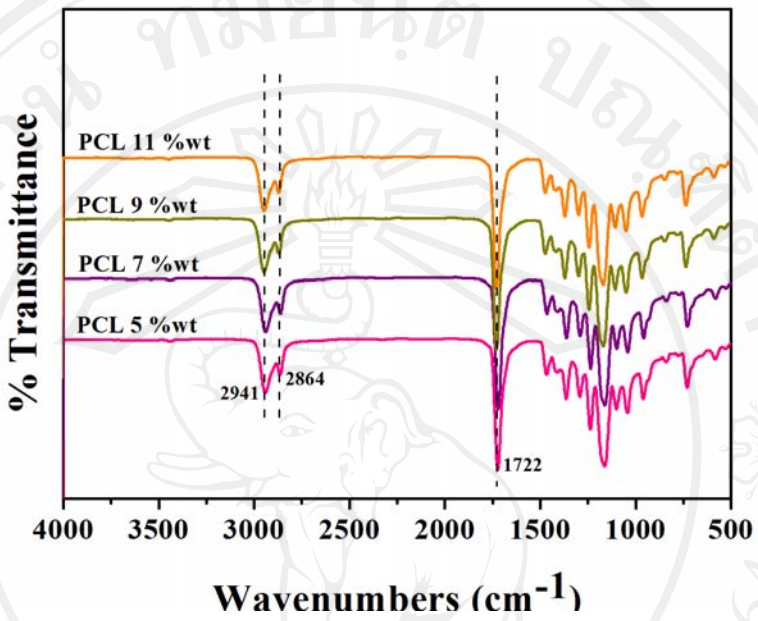


รูป 4.1 แสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt

จากรูปที่ 4.1 แสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ที่ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทนเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น โดยสารละลายพอลิคาร์โพร-แลคโทน ที่ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt มีค่าสภาพการนำไฟฟ้า ดังนี้คือ 0.00056 0.00083 0.00127 และ 0.0151 มิลลิซีเมน ตามลำดับ เนื่องจากสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจะสามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่าสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ที่มีความเข้มข้นน้อย เนื่องจากเกิดปฏิสัมพันธ์กันระหว่างโมเลกุลของพอลิคาร์โพรแลคโทนกับอะซีโตน ซึ่งปฏิสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลเนื่องมาจากพันธะระหว่างหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์ของพอลิคาร์โพรแลคโทน และอะซีโตน ดังนั้น เมื่อพอลิคาร์โพรแลคโทน มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น จึงมีหมู่ฟังก์ชันเอสเทอร์เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้สามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.1.2 ผลการศึกษาพันธะและหมู่ฟังก์ชันของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ด้วยวิธี FT-IR



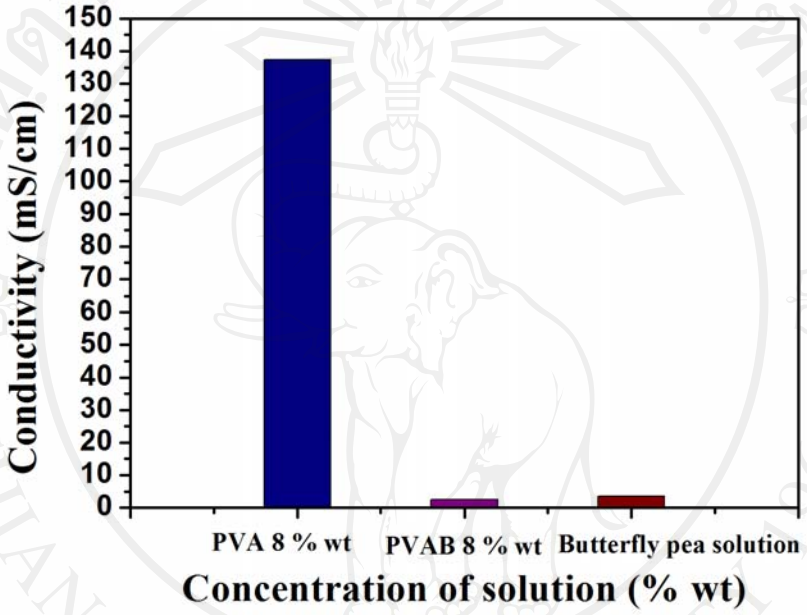
รูป 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์พันธะและหมู่ฟังก์ชันของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากการศึกษาพันธะและหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลค-โทน ที่ความเข้มข้นต่างๆ จะใช้วิธีการเตรียมชิ้นงานโดยตัดชิ้นงานให้มีขนาดความกว้าง 30 มิลลิเมตร และมีความยาว 30 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำชิ้นงานไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR สาเหตุที่ไม่วิเคราะห์พันธะและหมู่ฟังก์ชันของพอลิคาร์โพรแลคโทนในรูปสารละลาย เนื่องด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งจากการวิเคราะห์ พบว่า เส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน จะเกิดพีคสูงสุดที่เลขคลื่น (Wavenumbers) 1722 cm^{-1} ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการสั่นของ C = O ของหมู่ฟังก์ชัน เอสเทอร์ คาร์บอนิล กรุ๊ป อีกทั้งยังเกิดพีคที่เลขคลื่น 2941 และ 2864 cm^{-1} เนื่องมาจากการสั่นของ หมู่ฟังก์ชัน CH_2 ซึ่งจากการวิเคราะห์ สรุปได้ว่า มีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของพอลิคาร์โพรแลคโทนอยู่จริง ซึ่งจะสอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2 สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน และสารสกัดจากดอกอัญชัน (PVA, PVAB and Butterfly pea solution)

4.1.2.1 ผลการศึกษาสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน และสารสกัดจากดอกอัญชัน



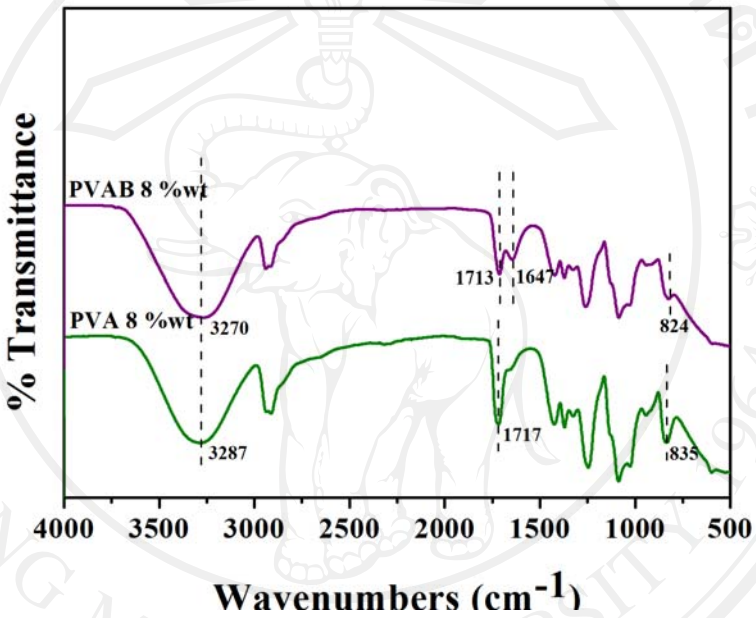
รูป 4.3 แสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.3 แสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน และสารสกัดจากดอกอัญชัน ตามลำดับ พบว่าสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงที่สุด คือ 137.4 มิลลิซีเมน เนื่องจากเกิดปฏิสัมพันธ์กันระหว่างพันธะไฮโดรเจนของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซี่ กรุ๊ป ของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และน้ำ ซึ่งมีปริมาณของ H^+ เยอะ จึงทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้ดี อีกทั้งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ยังมีคุณสมบัติเป็นกรด ดังนั้นจึงมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูง สำหรับค่าสภาพการนำไฟฟ้ารองลงมา คือ สารสกัดจากดอกอัญชัน มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่ 3.57 มิลลิซีเมน เนื่องจากสารสกัดจากดอกอัญชัน เป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นวงแหวนอะโรมาติก ดังนั้นความสามารถในการนำไฟฟ้าจึงน้อยมาก แต่เมื่อนำสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์มาผสมกับสารสกัดจากดอกอัญชัน พบว่ามีค่าสภาพการนำไฟฟ้าลดต่ำลงที่ 2.45 มิลลิซีเมน เนื่องจากเกิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปฏิสัมพันธ์กันระหว่างพันธะของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซี่ กรุ๊ป และ H^+ เมื่อฟังก์ชันสองชนิดนี้รวมกันจึงกลายเป็นน้ำ (H_2O) ที่มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเป็นศูนย์ คือ มีความเป็นกลางทางไฟฟ้า จึงทำให้สารละลายพอลิเมอร์ชนิดนี้มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าลดลง

4.1.2.2 ผลการศึกษาพันธะและหมู่ฟังก์ชันของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ด้วยวิธี FT-IR



รูป 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์พันธะและหมู่ฟังก์ชันของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน

จากการศึกษาพันธะและหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน จะใช้วิธีการเตรียมชิ้นงานเช่นเดียวกับเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน โดยตัดชิ้นงานให้มีขนาดความกว้าง 30 มิลลิเมตร และมีความยาว 30 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำชิ้นงานไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR สาเหตุที่ไม่วิเคราะห์พันธะและหมู่ฟังก์ชันของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ในรูปสารละลาย เนื่องด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ ดังนั้นจึงไม่มีการทดสอบสารสกัดจากดอกอัญชัน เนื่องจากไม่สามารถทำให้อยู่ในรูปของแข็งได้ ซึ่งจากการวิเคราะห์ พบว่า เส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จะเกิดพีคสูงสุดที่เลขคลื่น 3287 cm^{-1}

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก -OH stretching อีกทั้งยังเกิดพีคที่เลขคลื่น 1717 cm^{-1} เนื่องมาจาก CH_2 bending สำหรับการวิเคราะห์พันธะและหมู่ฟังก์ชันของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน พบว่า จะเกิดพีคสูงสุดที่เลขคลื่น 3270 cm^{-1} เนื่องมาจาก -OH stretching อีกทั้งยังเกิดพีคที่เลขคลื่น 1713 cm^{-1} เนื่องจาก CH_2 bending สำหรับพีคที่เกิดตำแหน่งเลขคลื่น 1647 cm^{-1} เป็นผลเนื่องมาจาก C=O stretching vibration และ พีคที่เลขคลื่น 824 cm^{-1} เป็นผลเนื่องมาจาก CH deformation ซึ่งจากการวิเคราะห์สรุปได้ว่า มีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน อยู่จริง ซึ่งจะสอดคล้องกับการวิเคราะห์ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิเมอร์ทั้งสอง

4.2 ผลการศึกษาการผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์

เส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ ที่ได้จากสารละลายพอลิเมอร์ตั้งต้นประกอบด้วย เส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน(PCL) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน (PVAB) ซึ่งในส่วนนี้จะได้กล่าวถึงเส้นใยอิเล็กโตรสปันทีละชนิดตามลำดับ

4.2.1 การศึกษาการผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน (PCL)

4.2.1.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน

จากการผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน โดยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ พบว่า ลักษณะของชิ้นงานที่เตรียมได้จากสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ทุกเงื่อนไข มีลักษณะเป็นเส้นใยที่ไม่ได้ทักทอ (non-woven) รวมกันเป็นแผ่นเรียบ มีสีขาวขุ่น เหนียวนุ่ม ยืดหยุ่นได้ดี และแสงทะลุผ่านไม่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.5

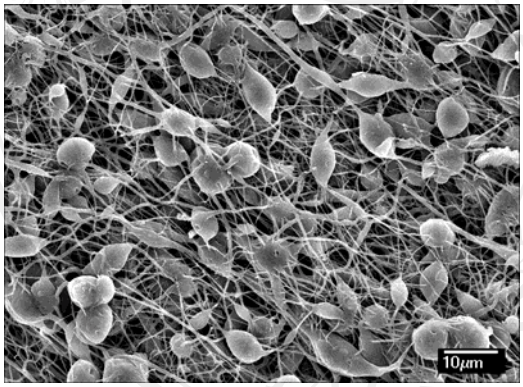
รูป 4.5 แสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

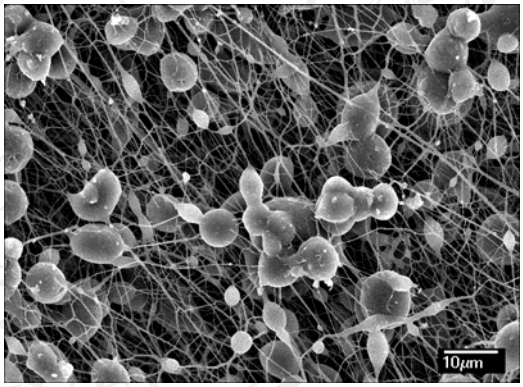
4.2.1.2 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน ด้วยเทคนิค SEM

ในขั้นตอนการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลค-โทน ด้วยเทคนิค SEM จะเตรียมชิ้นงานด้วยการใช้เครื่องเจาะ (Puncher) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร ตัดชิ้นงาน จากนั้น นำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปติดบนแท่งทองเหลืองโดยใช้เทปกาวคาร์บอนเป็นตัวยึดติดชิ้นงานกับแท่งทองเหลือง จากนั้น นำแท่งทองเหลืองที่ติดชิ้นงานแล้วไปเคลือบทอง แล้วนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM - FE

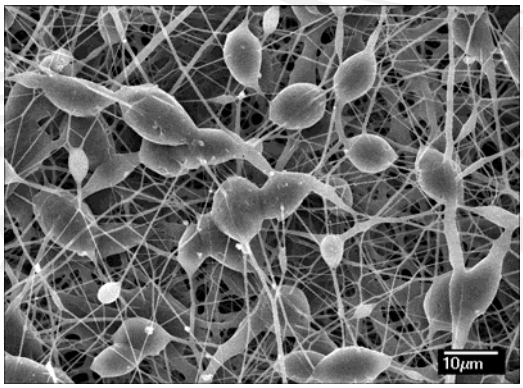
จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน ที่ได้จากกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ ดังรูปที่ 4.6 พบว่า จะได้จะมีเม็ดบีดส์ทรงกลมและรีหลายขนาดเกิดขึ้นรวมกันกับเส้นใยอิเล็กโตรสปัน ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะศึกษาเพิ่มเติมและได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป



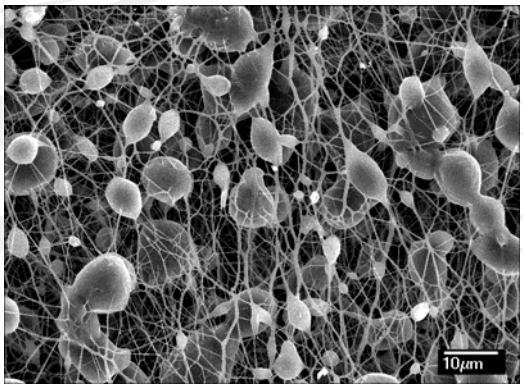
(ก) PCL 5 %wt - 15 kV



(ข) PCL 5%wt - 20 kV



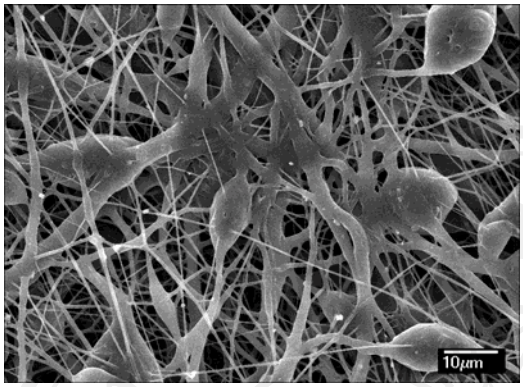
(ค) PCL 5 %wt - 25 kV



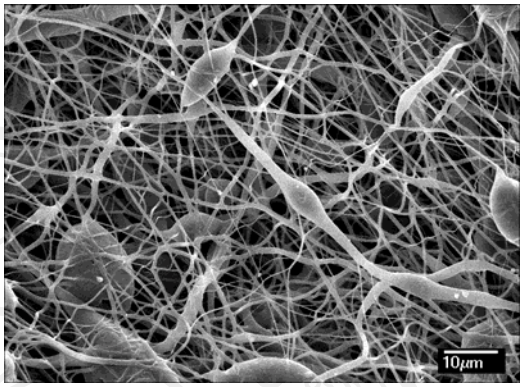
(ง) PCL 7 %wt - 15 kV

รูป 4.6 แสดงสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

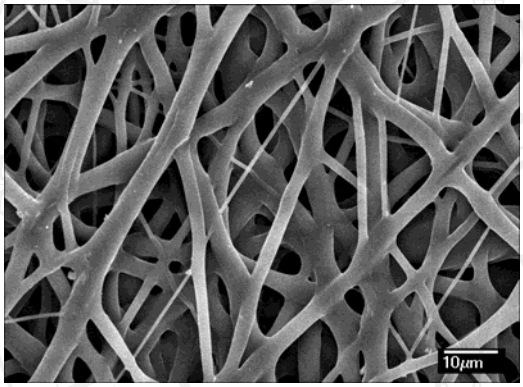
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



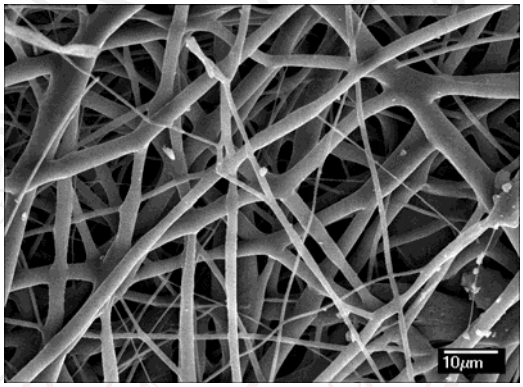
(จ) PCL 7 %wt - 20 kV



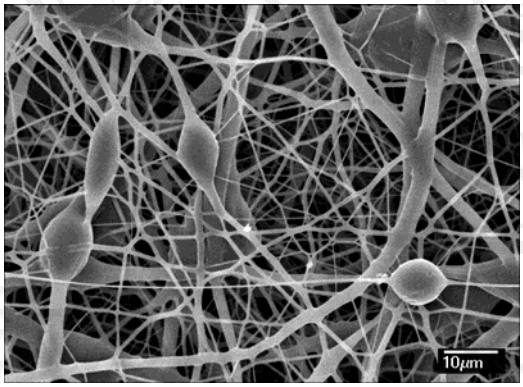
(ฉ) PCL 7 %wt - 25 kV



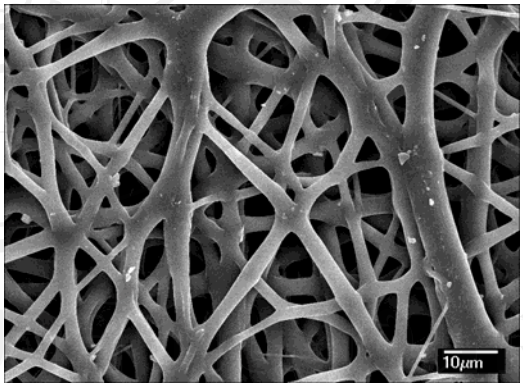
(ช) PCL 9 %wt - 15 kV



(ซ) PCL 9 %wt - 20 kV



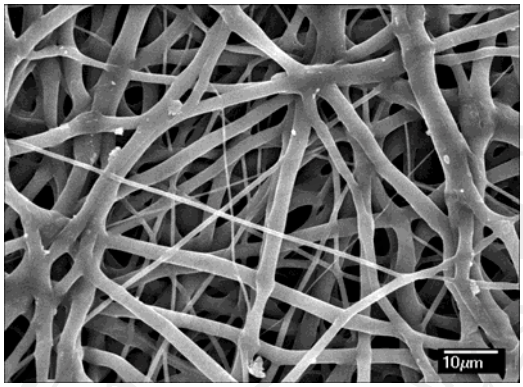
(ฌ) PCL 9 %wt - 25 kV



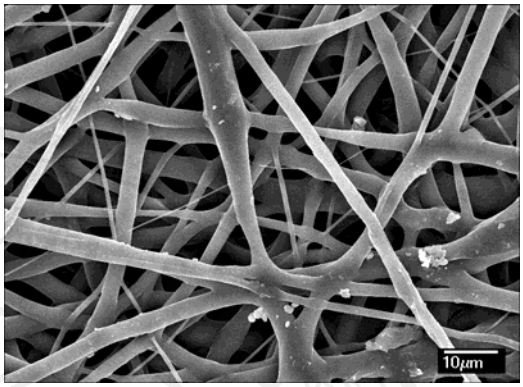
(ญ) PCL 11 %wt - 15 kV

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูป 4.6 (ต่อ) แสดงสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

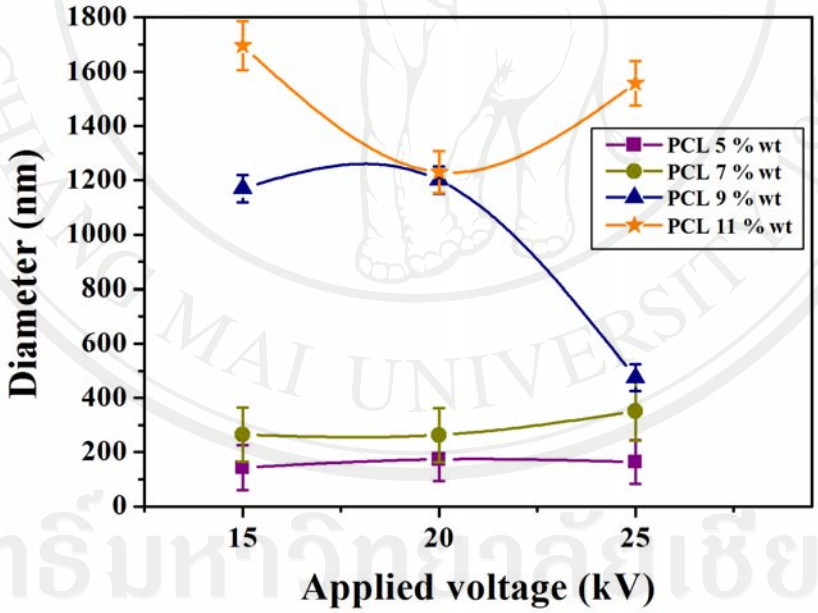


(ฎ) PCL 11 %wt - 20 kV



(ฎ) PCL 11 %wt - 25 kV

รูป 4.6 (ต่อ) แสดงสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ



รูป 4.7 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1.3 ผลการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน

การศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน จะได้ศึกษา 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยจากความเข้มข้นของสารละลาย และ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

4.2.1.3.1 ผลจากความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ที่มีต่อสัณฐานวิทยา

จากการใช้สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt ผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน โดยควบคุมปัจจัยดังต่อไปนี้ให้คงที่ คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดถึงวัสดุรองรับ 20 เซนติเมตร และความเร็วรอบในการหมุนวัสดุรองรับ 12 รอบ/ นาที โดยในรายงานฉบับนี้จะได้กล่าวถึงทีละค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพื่อเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ดังรูปที่ 4.6 - 4.7

สำหรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt พบว่า จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 143 265 1174 และ 1769 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้น 5 และ 7 %wt จะมีเม็ดบีดส์เกิดขึ้นจำนวนมาก โดยเม็ดบีดส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 4875 และ 695 นาโนเมตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 กิโลโวลต์ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt พบว่า เส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 174 264 1205 และ 1215 ตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้น 5 และ 7 %wt จะมีเม็ดบีดส์เกิดขึ้น โดยเม็ดบีดส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 3994 และ 688 นาโนเมตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 25 กิโลโวลต์ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt พบว่า จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 164 352 480 และ 1615 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้น 5 %wt จะมีเม็ดบีดส์เกิดขึ้นจำนวนมาก โดยเม็ดบีดส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 5950 นาโนเมตร ส่วนที่ความเข้มข้น 7 และ 9 %wt จะมีเม็ดบีดส์เกิดขึ้นจำนวนเล็กน้อย โดยเม็ดบีดส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 680 และ 7125 นาโนเมตร ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อใช้สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 และ 7 %wt พบว่า สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเม็ดบีดส์ตกลงบนวัสดุรองรับและมีบางส่วนที่สามารถเกิดเป็นเส้นใยขึ้นอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง ทั้งนี้เป็นผลมาจากความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทนที่ต่ำเกินไป ทำให้มีความหนืดที่ไม่เหมาะสมต่อการเกิดเป็นเส้นใย เนื่องจากสายพอลิเมอร์ขาด จึงไม่เกาะกันเป็นเส้นใย อีกทั้งการพันกันของสายโซ่โมเลกุลน้อย ดังนั้นสายเจ็ทจะขาดออกหรือแตกออกเป็นหยดเล็กๆของสารละลายพอลิเมอร์ หรือเกิดเป็นเส้นใยที่มีเม็ดบีดส์ เนื่องจากความหนืดที่ต่ำนั้น ปริมาณของตัวทำละลายในสารละลายมีมากและเกิดการพันกันของสายโซ่น้อย ดังนั้นแรงตึงผิวของสารละลายจึงมีอิทธิพลต่อสายเจ็ทมากกว่าความหนืดและความเข้มข้น สำหรับความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 9 และ 11 %wt จะได้เส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่และไม่เกิดเม็ดบีดส์ เนื่องจากที่ค่าความเข้มข้นดังกล่าว สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน มีความหนืดค่อนข้างสูง ส่งผลให้ควบคุมการไหลของสารละลายไม่สม่ำเสมอ เส้นใยที่ถูกดึงออกมาจึงมีขนาดใหญ่อีกทั้งพอลิเมอร์ยังมีความหนืดสูง จึงเกิดการพันกันของสายโซ่โมเลกุลมากขึ้น ประจุไฟฟ้าที่เกิดบนสายเจ็ทสามารถดึงยืดสารละลายออกไป เม็ดบีดส์บนเส้นใยก็หายไป นอกจากนี้ยังมีการระเหยของตัวทำละลายช้า ทำให้มีโอกาสเกิดการรวมตัวกันของเส้นใยหลังตกลงบนวัสดุรองรับ ทำให้เส้นใยที่ได้มีขนาดใหญ่และไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Doshi และ Reneker [12] ที่ผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปันจากสารละลายพอลิเมอร์ Polyethylenoxide (PEO) โดยพบว่า หากความหนืดของสารละลายต่ำ จะเกิดหยดของสารละลายในระหว่างกระบวนการผลิตเส้นใยและหากสารละลายมีค่าความหนืดมากไปจะมีผลต่อการควบคุมการไหลของสารละลายไม่สม่ำเสมอทำให้เส้นใยที่ได้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ นอกจากนี้การรายงานของ Yu และคณะ พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ Polyacrylonitrile (PAN) แปรผันตรงกับความหนืด ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตเส้นใย ดังนั้นจากการศึกษานี้ เมื่อให้ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นคงที่ ค่าความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทนที่เหมาะสมต่อการผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปัน คือ 9 %wt

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1.3.2 ผลจากความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อสัณฐานวิทยา

จากการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าในการผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพร-แลคโทน โดยควบคุมปัจจัยดังต่อไปนี้ให้คงที่ คือ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt ระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดถึงวัสดุรองรับ 20 เซนติเมตร และความเร็วรอบในการหมุนวัสดุรองรับ 12 รอบ/นาที โดยในรายงานฉบับนี้จะได้กล่าวถึงทีละความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน เพื่อเทียบกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.6 - 4.7

สำหรับความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 5 %wt ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ พบว่า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกค่าสามารถทำให้เกิดเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทนได้ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 143 174 และ 164 นาโนเมตร และเม็ดบีดส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 4857 3994 และ 5950 นาโนเมตร ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกค่า จะได้เม็ดบีดส์ขนาดใหญ่จำนวนมากรวมกับเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน แสดงว่า สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน มีการสะสมเป็นหยดขนาดใหญ่ที่ปลายเข็มโลหะ ก่อให้เกิดการหยดออกมาสลับกับการถูกดึงยืดออกมาเป็นเส้นใยขนาดเล็กตกลงบนวัสดุรองรับ

เมื่อพิจารณาที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 7 %wt ผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน โดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ พบว่า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกค่าสามารถทำให้เกิดเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทนได้ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 265 264 และ 352 นาโนเมตร และเม็ดบีดส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 695 688 และ 680 นาโนเมตร ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกค่าจะได้เม็ดบีดส์ขนาดใหญ่จำนวนมากรวมกับเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน แสดงว่า สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน มีการสะสมเป็นหยดขนาดใหญ่ที่ปลายเข็มโลหะ ก่อให้เกิดการหยดออกมาสลับกับการถูกดึงยืดออกมาเป็นเส้นใยขนาดเล็กตกลงบนวัสดุรองรับ

เมื่อพิจารณาที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 9 %wt ผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน โดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ พบว่า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกค่าสามารถทำให้เกิดเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทนได้ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 1174 1205 และ 480 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 15 และ 20 กิโลโวลต์ ไม่เกิดเม็ดบีดส์ แต่ได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่มากเมื่อเทียบกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 25

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

กิโลโวลต์ แต่ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้านี้จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า แต่จะได้เม็ดบีดส์ขนาดใหญ่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 7152 นาโนเมตร จำนวนเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาที่ค่าความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 11 %wt ผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทนโดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ พบว่า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกค่าสามารถทำให้เกิดเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทนได้ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 1769 1251 และ 1615 นาโนเมตร ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกค่า จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทนขนาดใหญ่ แต่จะไม่เกิดเม็ดบีดส์

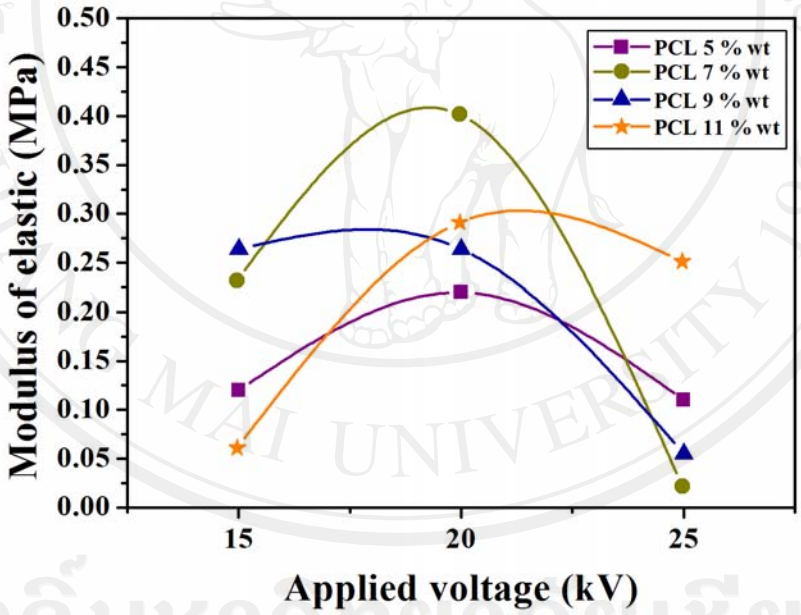
จากผลการทดลองดังกล่าวข้างต้น เมื่อพิจารณาทีละความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน เปรียบเทียบกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น จะพบว่า แรงทางไฟฟ้าสถิตย์ในสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน จะสามารถเอาชนะแรงตึงผิวของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทนได้ ดังนั้นศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงจะถูกป้อนให้กับสารละลาย เพื่อทำให้เกิดประจุในสารละลาย โดยทั่วไปแล้วศักย์ไฟฟ้าทั้งบวกและลบจะสามารถทำให้หยดสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทนที่ปลายเข็มเกิดการเปลี่ยนรูปร่างเป็นกรวยเทเลอย์ได้ และเกิดเป็นสายเจ็ทพุ่งออกไป ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับสารละลายและสนามไฟฟ้าจะมีผลต่อการดึงยืดของสายเจ็ท จึงทำให้เส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กลงและยังทำให้เกิดการระเหยของตัวทำละลายเร็วขึ้น เส้นใยที่ได้จึงแห้งมากขึ้น แต่ในงานวิจัยนี้กลับพบว่า เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้ากับสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทนเพิ่มสูงขึ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปันที่ได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสารละลายมีความหนืดสูง อัตราของสารละลายที่ออกมาจากปลายเข็มฉีดอาจจะมากขึ้น ทำให้เส้นใยอิเล็กโตรสปันมีขนาดใหญ่ขึ้น อีกทั้งปริมาณศักย์ไฟฟ้ายังมีผลต่อการเกิดเม็ดบีดส์บนเส้นใยอิเล็กโตรสปันอีกด้วย โดยจำนวนเม็ดบีดส์บนเส้นใยอิเล็กโตรสปันจะลดลง หากเพิ่มปริมาณศักย์ไฟฟ้าให้สูงขึ้น ดังนั้นแรงดันสนามไฟฟ้าจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่สามารถใช้ควบคุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน ซึ่งจากการศึกษาของ Deitzel และคณะ ที่ผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปันจากสารละลายพอลิเมอร์ Polyethylenoxide (PEO) พบว่า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เข้าไปในระบบจะส่งผลต่อรูปร่างกรวยของเทเลอร์ โดยค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต่ำจะทำให้เกิดหยดที่มีลักษณะเป็น Pendent drop เกิดเป็นกรวยของเทเลอร์ ทำให้เกิดเป็นเส้นใยอิเล็กโตรสปันและลดการเกิดเม็ดบีดส์

ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน คือ 20 กิโลโวลต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

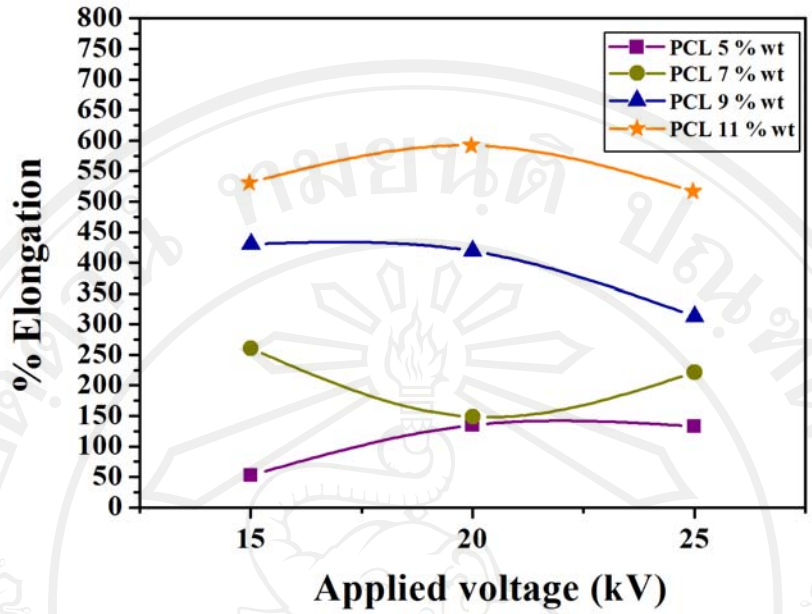
4.2.1.4 ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน

สมบัติเชิงกลของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน สามารถแสดงได้ด้วยพารามิเตอร์หลายตัวเช่นเดียวกับในกรณีของวัสดุชนิดอื่น สำหรับวัสดุประเภทพอลิเมอร์โดยส่วนใหญ่แล้วจะวัดจากการทดสอบแรงดึง คุณลักษณะเชิงกลของพอลิเมอร์นั้นโดยทั่วไปแล้วจะไวต่ออัตราเร็วของการแปรรูปซึ่งในรายงานฉบับนี้จะได้ศึกษาถึงพฤติกรรมความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain) มอดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elastic) ความเหนียว (Ductility) ของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน ซึ่งขั้นตอนการทดสอบนั้นการเตรียมชิ้นงานสามารถเตรียมได้โดยตัดชิ้นงานให้มีขนาดความกว้าง 15 มิลลิเมตร ความยาวเกจ 30 มิลลิเมตร และความหนา 1 มิลลิเมตร โดยการทดสอบจะอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบ ASTM D3039 - D3039M



รูป 4.8 แสดงค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



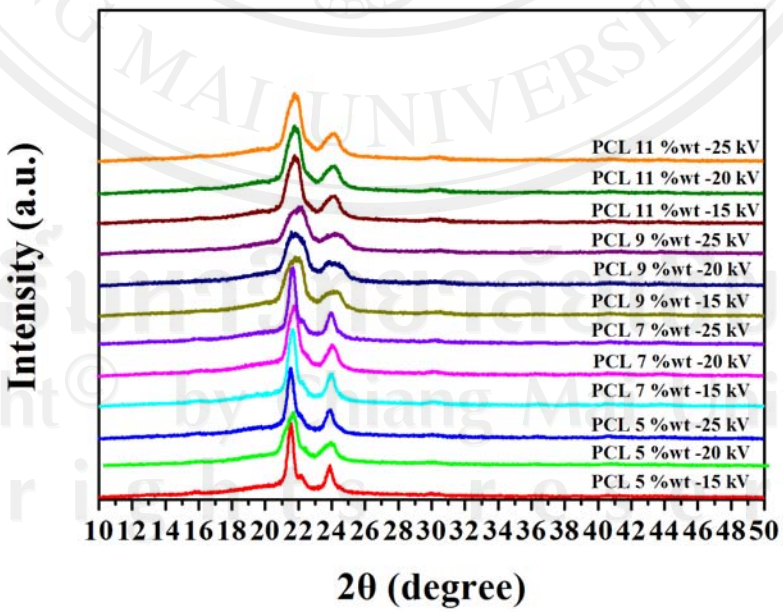
รูป 4.9 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

จากรูปที่ 4.8 - 4.9 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน มีแนวโน้มลดลงในช่วงแรกและจะสูงขึ้นในช่วงหลัง ซึ่งจะได้ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นสูงขึ้นในช่วงแรกและลดลงในช่วงหลัง อาจกล่าวได้ว่า ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นจะแปรผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน เนื่องจากเมื่อเส้นใยอิเล็กโตรสปันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง จะมีระดับความเป็นผลึกและการจัดเรียงตัวของโมเลกุลสูง จึงทำให้มีความสามารถทนแรงดึงจากภายนอกได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทนมีอิทธิพลต่อค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวจะลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.1.5 ผลการศึกษาเฟสองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน ด้วยเทคนิค XRD

จากการตรวจสอบเฟสองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน ด้วยเทคนิค XRD พบว่า เส้นใยอิเล็กโตรสปันมีความเป็นผลึก โดยพิจารณาได้จากลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งมีลักษณะพีคแคบ โดยพีคมีความเข้มสูงสูดที่ 19° และ 24° นอกจากนี้ความเข้มของพีคจะสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง แต่จะค่อยๆลดลง พิจารณาได้จากลักษณะของพีคกว้าง และความเข้มพีคลดลง เป็นผลเนื่องมาจากเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น เนื่องจากจะมีระดับความเป็นผลึกและการจัดเรียงตัวของโมเลกุลต่ำ อีกทั้งพันธะที่จับกันภายในโมเลกุลของเส้นใยเป็นแบบกิ่ง ซึ่งมีความเป็นระเบียบค่อนข้างต่ำ ทำให้โครงสร้างภายในโมเลกุลมีความเป็นอสัณฐานเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ความเป็นผลึกลดลง แต่ถ้าหากจะพิจารณาขนาดของผลึก (Crystal size) สามารถพิจารณาได้จาก ค่า Full width at Half Maximum (FWHM) ตามสมการของ Scherrer จะเห็นได้ว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ค่า FWHM จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เมื่อเส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้น ขนาดของผลึกจะเพิ่มขึ้นแต่ระดับความเป็นผลึกจะลดลง



รูป 4.10 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิคาร์โพรแลคโทน ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 เส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน (PVAB)

4.2.1.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน

จากการผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน (PVAB) โดยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ พบว่า ลักษณะของชิ้นงานที่เตรียมได้จากสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ทุกเงื่อนไขมีลักษณะเป็นเส้นใยที่ไม่ได้ทักทอ (non-woven) รวมกันเป็นแผ่นเรียบ มีสีขาวขุ่น นุ่มแต่ไม่เหนียว และแสงทะลุผ่านไม่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.11

(ก) **(ข)**

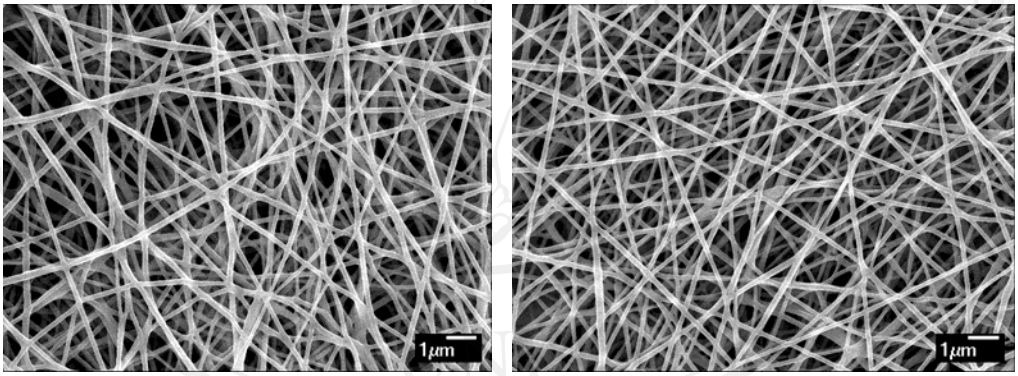
รูป 4.11 แสดงลักษณะทางกายภาพของ (ก) เส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ (ข) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

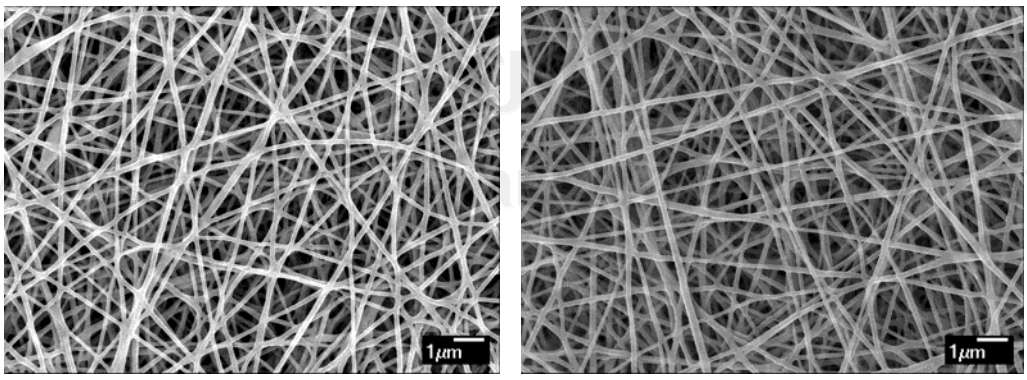
4.2.2.1 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ด้วยเทคนิค SEM

ในขั้นตอนการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ด้วยเทคนิค SEM จะเตรียมชิ้นงานด้วยการใช้เครื่องเจาะ (Puncher) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร ตัดชิ้นงาน จากนั้น นำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปติดบนแท่งทองเหลืองโดยใช้เทปกาวคาร์บอนเป็นตัวยึดติดชิ้นงานกับแท่งทองเหลือง จากนั้น นำแท่งทองเหลืองที่ติดชิ้นงานแล้วไปเคลือบทอง แล้วนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM - FE

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ที่ได้จากกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ ดังรูปที่ 4.12 พบว่า เส้นใยอิเล็กโตรสปันที่ได้มีความเรียบ สม่ำเสมอตลอดทั้งเส้นใย ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะศึกษาเพิ่มเติมและได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป



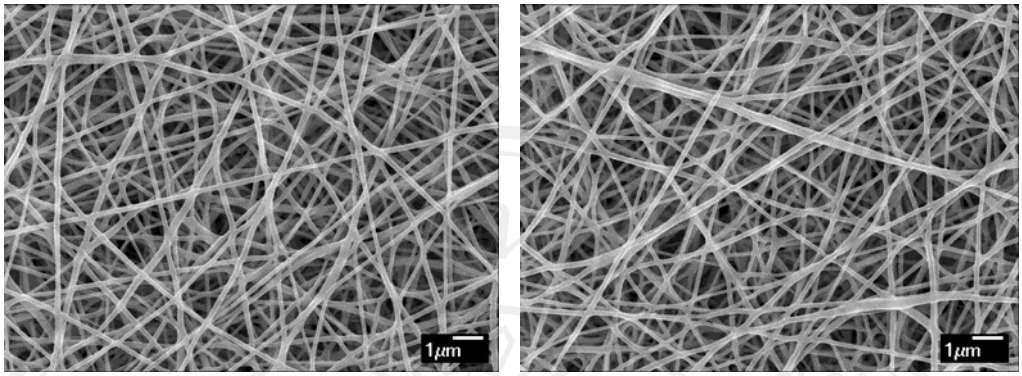
(ก) PVA 8 %wt - 15 kV **(ข)** PVA 8 %wt - 20 kV



(ค) PVA 8 %wt - 25 kV **(ง)** PVAB 8 %wt - 15 kV

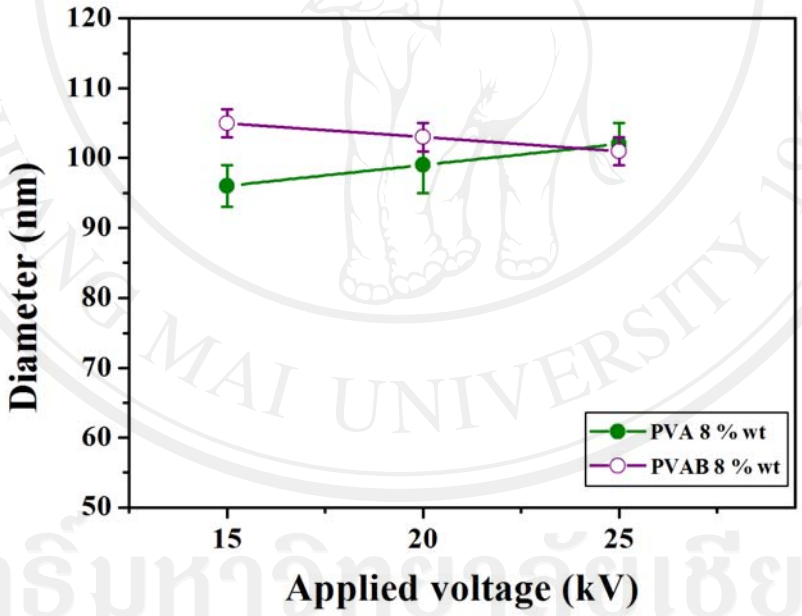
รูป 4.12 แสดงสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



(จ) PVAB 8 %wt - 20 kV **(ฉ)** PVAB 8 %wt - 25 kV

รูป 4.12 (ต่อ) แสดงสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ



รูป 4.13 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2.2 ผลการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน

การศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน จะได้ศึกษาเพียงปัจจัยเดียว คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า

4.2.2.2.1 ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อสัณฐานวิทยา

จากการใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ สารละลายพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน โดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ ที่ความเข้มข้น 8 %wt ผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปัน ซึ่งจะควบคุมปัจจัยดังต่อไปนี้ให้คงที่ คือ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มถึงวัสดุรองรับ 20 เซนติเมตร และความเร็วรอบในการหมุนวัสดุรองรับ 12 รอบ/นาที ซึ่งในการทดลองนี้ไม่ได้เปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของสารละลายทั้งสองชนิดนี้ เนื่องจากความเข้มข้นที่ 8 %wt มีความเหมาะสมต่อการเกิดเส้นใยอิเล็กโตรสปันจึงไม่ทำการศึกษา แต่จะขออธิบายรวมในการศึกษาปัจจัยจากค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า

จากการศึกษาพบว่า ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกค่าสามารถทำให้เกิดเส้นใยอิเล็กโตรสปันได้ โดยเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 96 99 และ 102 นาโนเมตร ตามลำดับ และ เส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 105 103 และ 101 นาโนเมตร ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกค่า จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันที่มีขนาดเล็กและมีความสม่ำเสมอตลอดทั้งเส้น เมื่อค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปันทั้งสองชนิดนี้จะเพิ่มขึ้น แต่จะไม่เกิดเม็ดบีดส์ เนื่องจากปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้ามีความเหมาะสมต่อลักษณะการเกิดเส้นใย อีกทั้งประกอบด้วยคุณลักษณะที่ดีของพอลิเมอร์ชนิดนี้ด้วย จึงทำให้ได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันที่มีลักษณะดังกล่าวข้างต้น ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในการผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน คือ 15 20 และ 25 กิโลโวลต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน

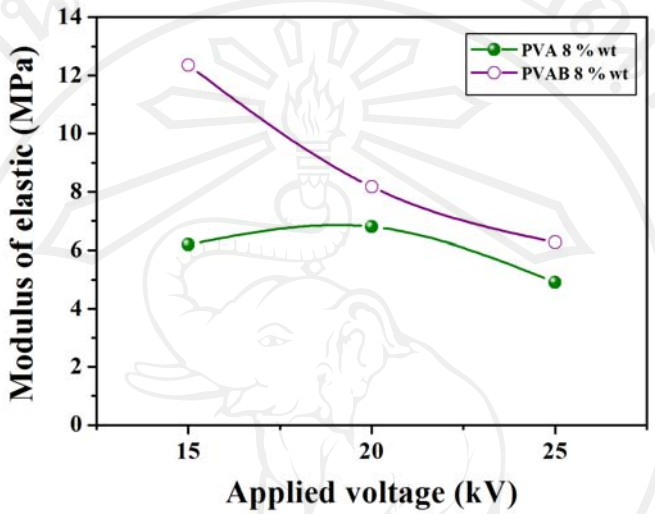
สมบัติเชิงกลของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน สามารถแสดงได้ด้วยพารามิเตอร์หลายตัวเช่นเดียวกับในกรณีของวัสดุชนิดอื่น สำหรับวัสดุประเภทพอลิเมอร์โดยส่วนใหญ่แล้วจะวัดจากการทดสอบแรงดึง คุณลักษณะเชิงกลของพอลิเมอร์นั้นโดยทั่วไปแล้วจะไวต่ออัตราเร็วของการแปรรูป ซึ่งในรายงานฉบับนี้จะได้ศึกษาถึงพฤติกรรมความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain) ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elastic) และ ความเหนียว (Ductility) ของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้ ซึ่งขั้นตอนการทดสอบนั้น การเตรียมชิ้นงานสามารถเตรียมได้โดยตัดชิ้นงานให้มีขนาดความกว้าง 15 มิลลิเมตร ความยาว 90 มิลลิเมตร และความหนา 1 มิลลิเมตร โดยการทดสอบจะอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบ ASTM D3039 - D3039M

จากรูปที่ 4.14 - 4.15 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ เมื่อพิจารณาเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พบว่า ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 และ 20 กิโลโวลต์ จะได้ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงขึ้นและจะมีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นลดลงที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 25 กิโลโวลต์ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ถึงแม้ว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะสูงขึ้นแต่ก็ยังถือว่ามีขนาดเล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยชนิดอื่น จึงทำให้มีค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นสูง เนื่องจากภายในโมเลกุลของเส้นใยมีระดับความเป็นผลึกและการเรียงตัวโมเลกุลสูง จึงทำให้มีความแข็งแรงและสามารถที่จะทนแรงดึงจากภายนอกได้สูงเช่นกัน แต่เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปันสูงขึ้นอีก ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นจะลดลง เนื่องจากระดับความเป็นผลึกและการจัดเรียงตัวของโมเลกุลต่ำ จึงทำให้มีความแข็งแรงลดลง ดังนั้นความสามารถในการทนแรงดึงจากภายนอกจึงลดลง

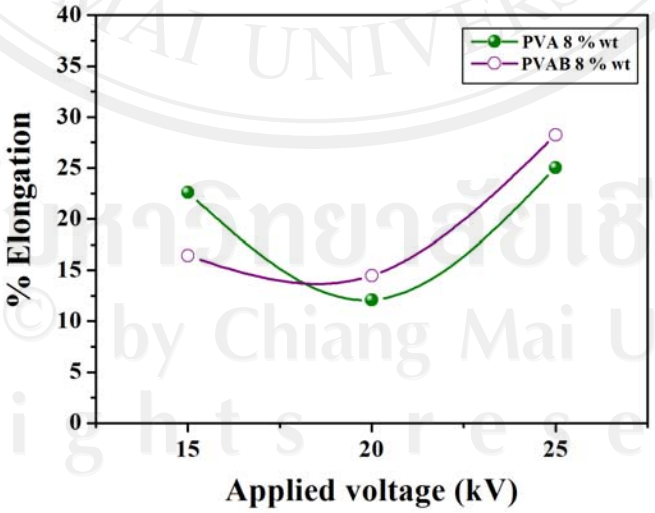
เมื่อพิจารณาเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน พบว่า เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลดลง แต่กลับได้ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ซึ่งไม่เป็นไปตามทฤษฎี สาเหตุที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการจับกันของพันธะโมเลกุลระหว่างพอลิไวนิล-แอลกอฮอล์และสารสกัดจากดอกอัญชันผิดปกติจึงทำให้คุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยนี้ลดลง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีอิทธิพลต่อค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น แต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ไม่มีอิทธิพลต่อค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น



รูป 4.14 แสดงค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

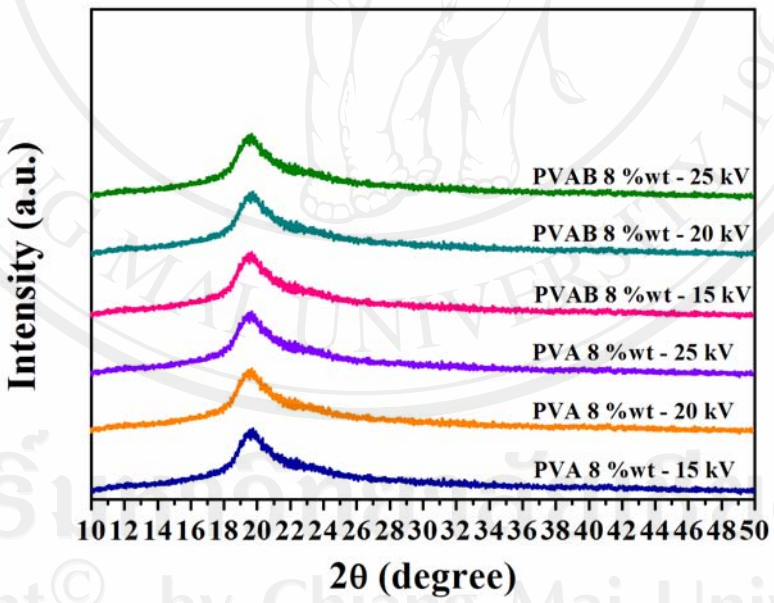


รูป 4.15 แสดงเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2.4 ผลการศึกษาเฟสองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ด้วยเทคนิค XRD

จากการตรวจสอบเฟสองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ด้วยเทคนิค XRD พบว่า มีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งจะเห็นได้ว่า เส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน มีความเป็นผลึกแต่มีระดับความเป็นผลึกอยู่น้อย โดยพิจารณาได้จากลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ซึ่งมีลักษณะพีคกว้าง โดยพีคมีความเข้มสูงสูดที่ 19° ซึ่งทุกเงื่อนไขการทดลองของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้ จะมีลักษณะของพีคเหมือนกัน แต่ถ้าหากจะพิจารณาขนาดของผลึก สามารถพิจารณาได้จากค่า FWHM ตามสมการของ Scherrer จะเห็นได้ว่า เส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้มีค่า FWHM ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากลักษณะของพีคที่เหมือนกัน



รูป 4.16 แสดงผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอิเล็กโตรสปันพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3 เส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

4.3.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

จากการผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต โดยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ พบว่า ลักษณะของชิ้นงานที่เตรียมได้จากสารละลายทั้งสองชนิดทุกเงื่อนไข มีลักษณะเป็นเส้นใยที่ไม่ได้ทักทอ (non-woven) รวมกันเป็นแผ่นเรียบ มีสีขาวขุ่น นุ่ม ไม่เหนียว ยืดหยุ่นได้น้อย และแสงทะลุผ่านไม่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.17

รูป 4.17 แสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

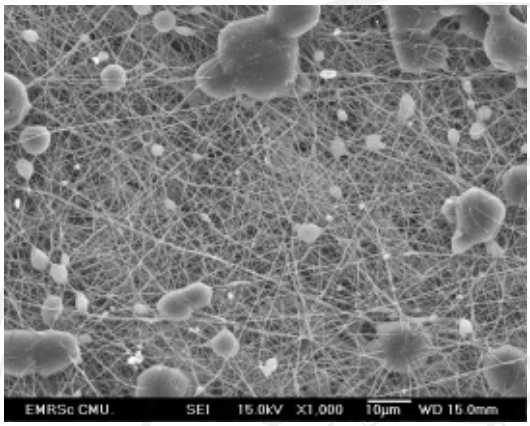
4.3.2 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ด้วยเทคนิค SEM

ในขั้นตอนการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ด้วยเทคนิค SEM จะเตรียมชิ้นงานด้วยการใช้เครื่องเจาะ (Puncher) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร ตัดชิ้นงาน จากนั้น นำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปติดบนแท่งทองเหลืองโดยใช้เทปกาวคาร์บอนเป็นตัวยึดติดชิ้นงานกับแท่งทองเหลือง จากนั้น นำแท่งทองเหลืองที่ติดชิ้นงานแล้วไปเคลือบทอง แล้วนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM - FE

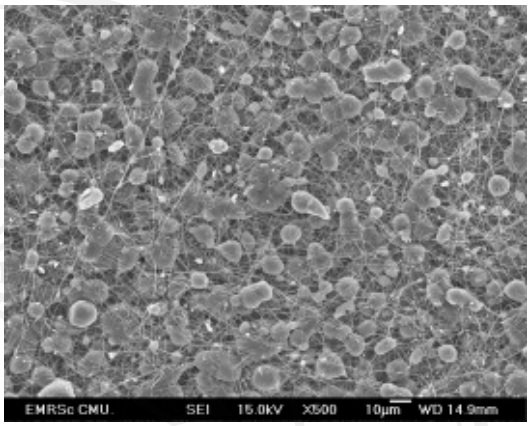
จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ที่ได้จากกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ ดังรูปที่ 4.18 พบว่า จะได้เม็ดบีดส์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

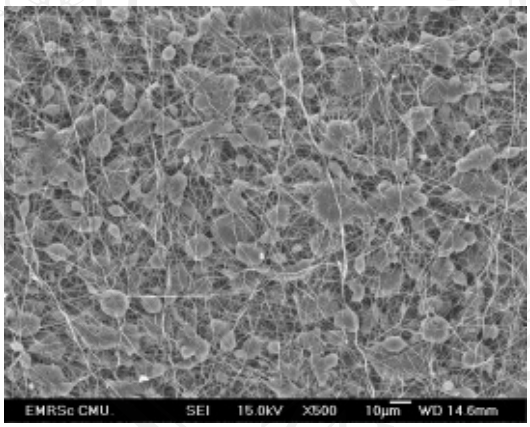
ขนาดใหญ่จำนวนมากรวมกับเส้นใยอิเล็กโตรสปัน ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะศึกษาเพิ่มเติมและได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป



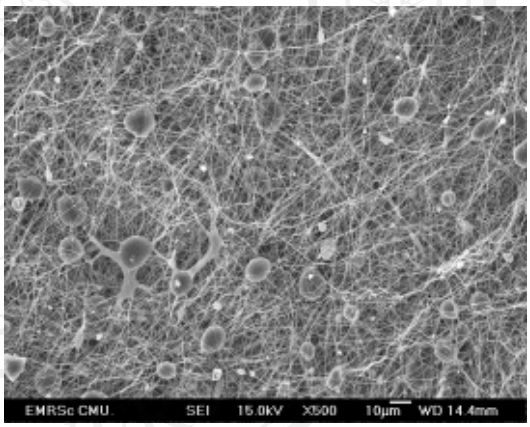
(ก) PCL 5 %wt - PVA 8 %wt - 15 kV



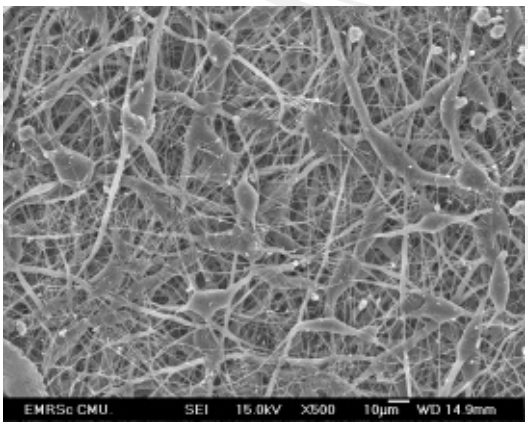
(ข) PCL 5 %wt - PVA 8 %wt - 20 kV



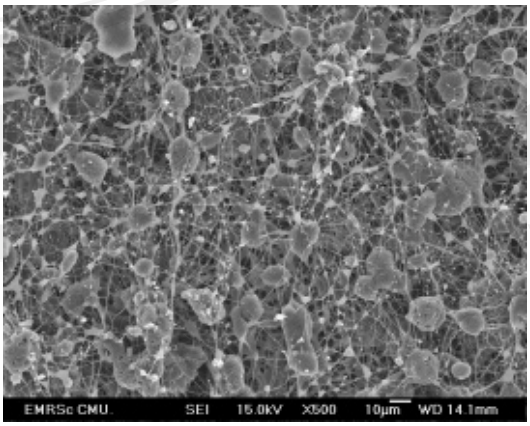
(ค) PCL 5 %wt - PVA 8 %wt - 25 kV



(ง) PCL 7 %wt - PVA 8 %wt - 15 kV

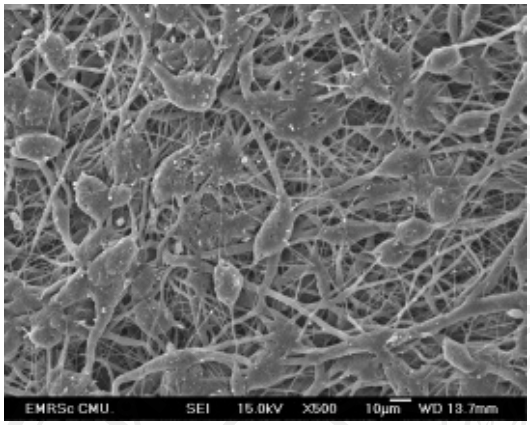


(จ) PCL 7 %wt - PVA 8 %wt - 20 kV

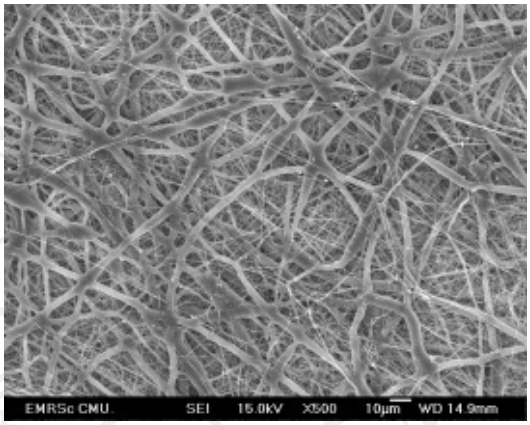


(ฉ) PCL 7 %wt - PVA 8%wt - 25 kV

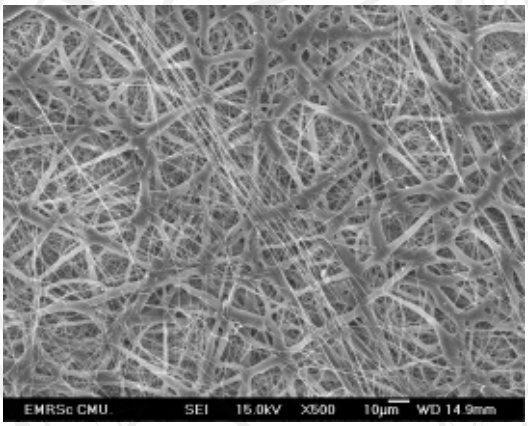
รูป 4.18 แสดงโครงสร้างสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ



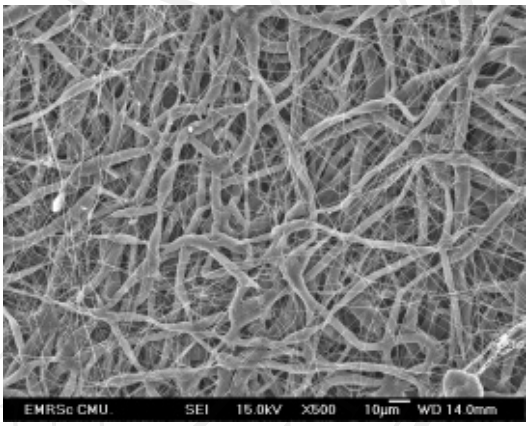
(ช) PCL 9 %wt - PVA 8 %wt - 15 kV



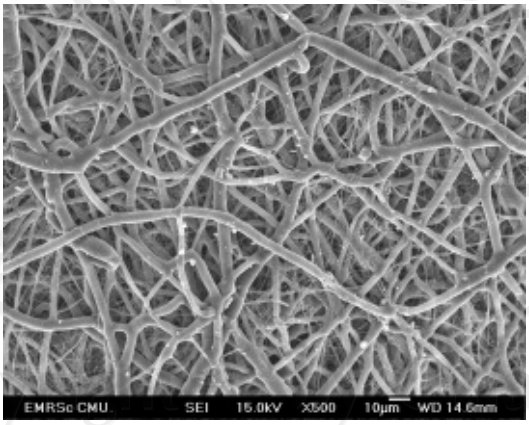
(ซ) PCL 9 %wt - PVA 8 %wt - 20 kV



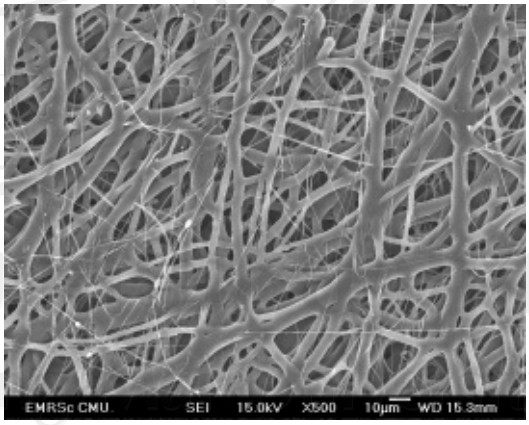
(ฌ) PCL 9 %wt - PVA 8 %wt - 25 kV



(ญ) PCL 11 %wt - PVA 8%wt - 15 kV



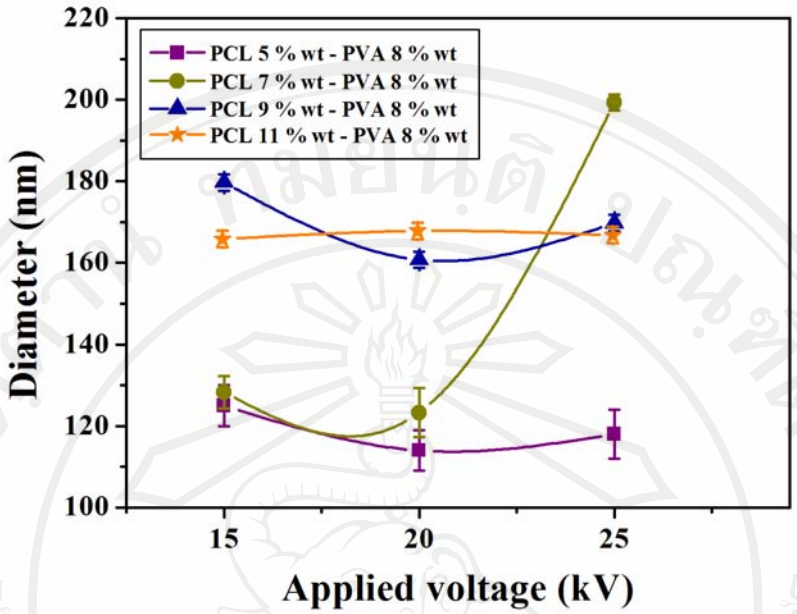
(ฎ) PCL 11 %wt - PVA 8 %wt - 20 kV



(ฏ) PCL 11 %wt - PVA 8 %wt - 25 kV

รูป 4.18 (ต่อ) แสดงโครงสร้างสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.19 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

4.3.3 ผลการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

4.3.3.1 ผลจากความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ที่มีต่อสัณฐานวิทยา

จากการใช้สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 8 %wt โดยควบคุมปัจจัยดังต่อไปนี้ให้คงที่ คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดถึงวัสดุรองรับ 20 เซนติเมตร และความเร็วในการหมุนวัสดุรองรับ 12 รอบ/นาที โดยในรายงานฉบับนี้จะได้กล่าวถึงทีละความต่างศักย์ไฟฟ้าเพื่อเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด

สำหรับความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 8 %wt พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 5 7 และ 9 %wt จะได้เม็ดบีดส์ขนาดใหญ่จำนวนมากรวมกับเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 125 114 และ 118 นาโนเมตร และเม็ดบีดส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 4857 695 และ 7152 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความเข้มข้น 11 %wt จะไม่เกิดเม็ดบีดส์ แต่จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 166 นาโนเมตร

เมื่อพิจารณาที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 กิโลโวลต์ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 8 %wt พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 5 และ 7 %wt จะได้เม็ดบีดส์ขนาดใหญ่จำนวนมากรวมกับเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 114 และ 123 นาโนเมตร โดยเม็ดบีดส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 3994 และ 688 นาโนเมตร ตามลำดับ ส่วนที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 9 และ11 %wt จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันที่ไม่มีเม็ดบีดส์ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 161 และ 168 นาโนเมตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 25 กิโลโวลต์ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 8 %wt พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 5 และ 7 %wt จะได้เม็ดบีดส์ขนาดใหญ่จำนวนมากรวมกับเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอบิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 118 และ 199 นาโนเมตร และเม็ดบีดส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 5950 และ 680 นาโนเมตร ตามลำดับ ส่วนที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 9 และ11 %wt จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันที่ไม่มีเม็ดบีดส์ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 170 และ 167 นาโนเมตร ตามลำดับ

ดังนั้น จากการศึกษานี้เมื่อให้ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นคงที่ ค่าความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทนที่เหมาะสมต่อการผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต คือ 9 และ 11 %wt

4.3.3.2 ผลจากความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีต่อสัณฐานวิทยา

จากการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าในการผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต โดยควบคุมปัจจัยดังต่อไปนี้ให้คงที่ คือ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 8 %wt ระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดถึงวัสดุรองรับ 20 เซนติเมตร และความเร็วในการหมุนวัสดุรองรับ 12 รอบ/นาที โดยในรายงานฉบับนี้จะได้กล่าวถึงทีละความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดเทียบกับความต่างศักย์ไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พิจารณาที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 5 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 8 %wt โดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ พบว่า ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกค่าสามารถทำให้เกิดเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต รวมกับเม็ดบีดส์ โดยเส้นใยอิเล็กโตรสปันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 125 114 และ 118 นาโนเมตร ส่วนเม็ดบีดส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 4857 6079 และ 4322 นาโนเมตร ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกค่าจะได้เม็ดบีดส์ขนาดใหญ่จำนวนมากรวมกับเส้นใยอิเล็กโตรสปัน แสดงว่า สารละลายมีการสะสมเป็นหยดขนาดใหญ่ที่ปลายเข็มโลหะก่อให้เกิดหยดออกมาสลับกับการถูกดึงออกมาเป็นเส้นใยขนาดเล็กตกลงบนวัสดุรองรับ

เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 7 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 8 %wt โดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ พบว่า ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกค่าสามารถทำให้เกิดเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต รวมกับเม็ดบีดส์ โดยเส้นใยอิเล็กโตรสปันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 128 123 และ 199 นาโนเมตร ส่วนเม็ดบีดส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 4857 6079 และ 4322 นาโนเมตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 9 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 8 %wt โดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ พบว่า ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต รวมกับเม็ดบีดส์ โดยเส้นใยอิเล็กโตรสปันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 180 นาโนเมตร และเม็ดบีดส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 7152 นาโนเมตร ตามลำดับ สำหรับที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 และ 25 กิโลโวลต์ จะไม่เกิดเม็ดบีดส์ โดยจะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 161 และ 170 นาโนเมตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน11 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 8 %wt โดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ พบว่า ทุกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ที่ไม่เกิดเม็ดบีดส์ โดยเส้นใยอิเล็กโตรสปันจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 166 168 และ 167 นาโนเมตร ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

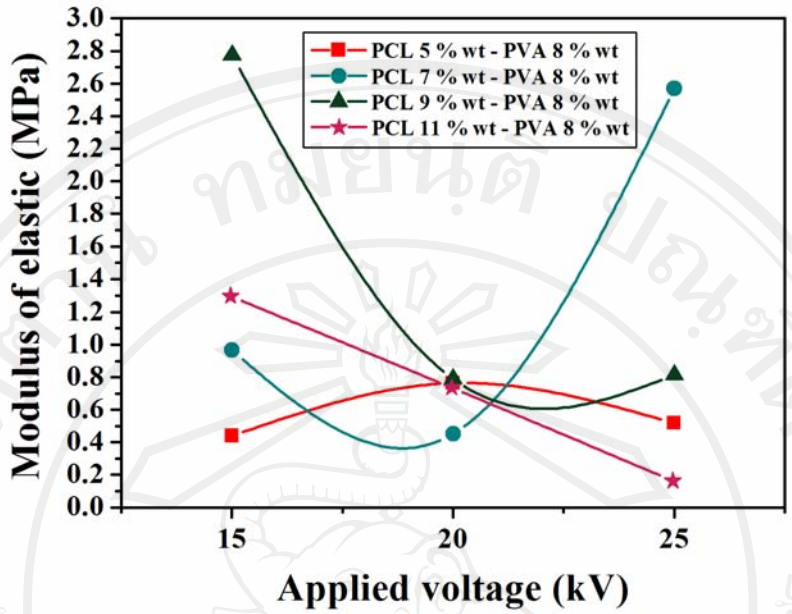
ดังนั้นจากการศึกษานี้เมื่อให้ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นคงที่ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต คือ 20 และ 25 กิโลโวลต์

4.3.4 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

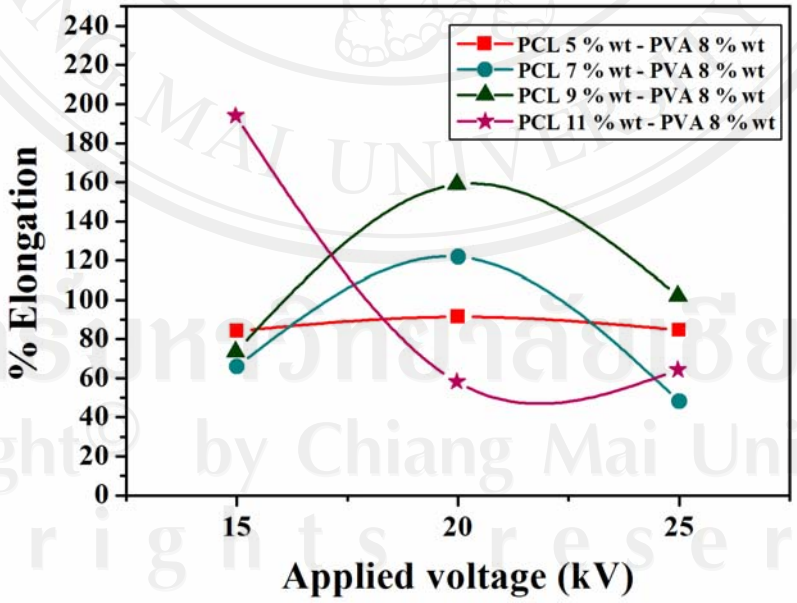
สมบัติเชิงกลของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต สามารถแสดงได้ด้วยพารามิเตอร์หลายตัวเช่นเดียวกับในกรณีของวัสดุชนิดอื่น สำหรับวัสดุประเภทพอลิเมอร์โดยส่วนใหญ่แล้วจะวัดจากการทดสอบแรงดึง คุณลักษณะเชิงกลของพอลิเมอร์นั้นโดยทั่วไปแล้วจะไวต่ออัตราเร็วของการแปรรูป ซึ่งในรายงานฉบับนี้จะได้ศึกษาถึงพฤติกรรมความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain) มอดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elastic) และ ความเหนียว (Ductility) ของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ซึ่งขั้นตอนการทดสอบนั้น การเตรียมชิ้นงานสามารถเตรียมได้โดยตัดชิ้นงานให้มีขนาดความกว้าง 15 มิลลิเมตร ความยาว 90 มิลลิเมตร และความหนา 1 มิลลิเมตร โดยการทดสอบจะอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบ ASTM D3039 - D3039M

จากรูปที่ 4.20 - 4.21 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ เมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 5 %wt เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต มีแนวโน้มลดลงในช่วงแรกและจะสูงขึ้นในช่วงหลัง ซึ่งจะได้ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นสูงขึ้นในช่วงแรกและลดลงในช่วงหลัง อาจกล่าวได้ว่า ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นจะแปรผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต เนื่องจากเมื่อเส้นใยอิเล็กโตรสปันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง จะมีระดับความเป็นผลึกและการจัดเรียงตัวของโมเลกุลสูง จึงทำให้มีความสามารถทนแรงดึงจากภายนอกได้สูง และเมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 11 %wt พบว่า เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นจะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นเมื่อพิจาณาที่ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น พบว่า จะได้ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน มีอิทธิพลต่อค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.20 แสดงค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

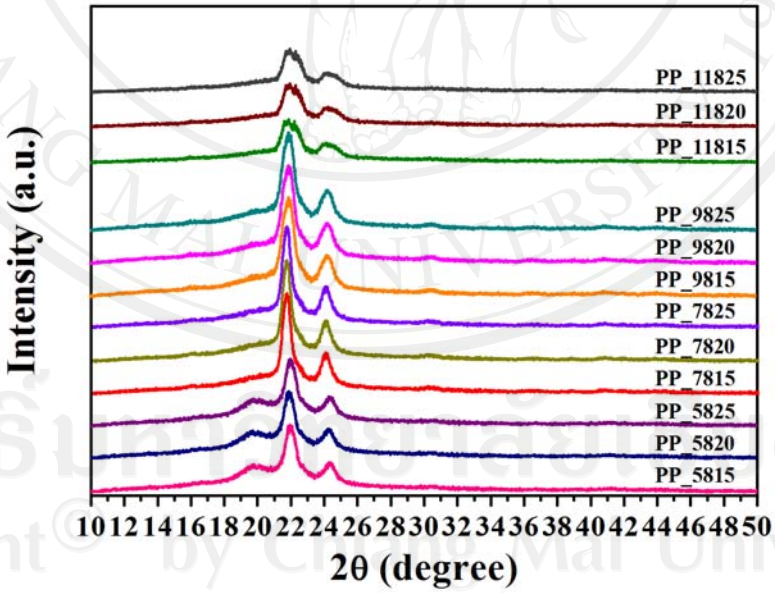


รูป 4.21 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.5 ผลการศึกษาเฟสองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ด้วยเทคนิค XRD

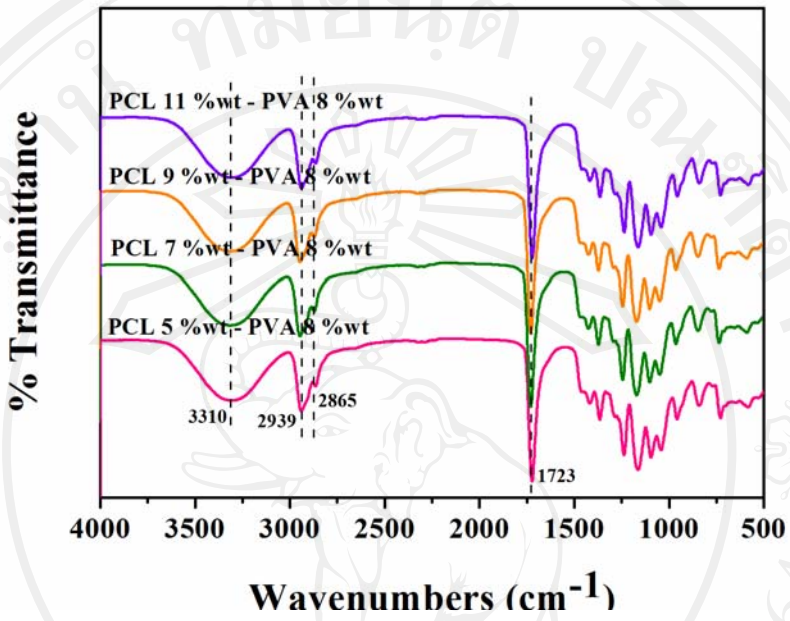
จากการตรวจสอบเฟสองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ด้วยเทคนิค XRD พบว่า เส้นใยอิเล็กโตรสปันมีความเป็นผลึก โดยพิจารณาได้จากลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ดังรูปที่ 4.22 ซึ่งมีลักษณะพีคแคบ โดยพีคมีความเข้มสูงสุดที่ 21° และ 24° ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 7 และ 9 %wt โดยความเข้มพีคจะลดลงและกว้างขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นจะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงขึ้น เป็นผลเนื่องมาจากการจับกันของพันธะและการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเส้นใยเส้น ซึ่งมีความเป็นอสัณฐานเพิ่มขึ้นจึงทำให้ความเป็นผลึกลดลง แต่หากพิจารณาขนาดของผลึก สามารถพิจารณาได้จากค่า FWHM พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทนเพิ่มขึ้น จะได้ค่า FWHM สูงขึ้น



รูป 4.22 แสดงผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.6 ผลการศึกษาพันธะและหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ด้วยวิธี FT-IR



รูป 4.23 แสดงผลการวิเคราะห์พันธะและหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

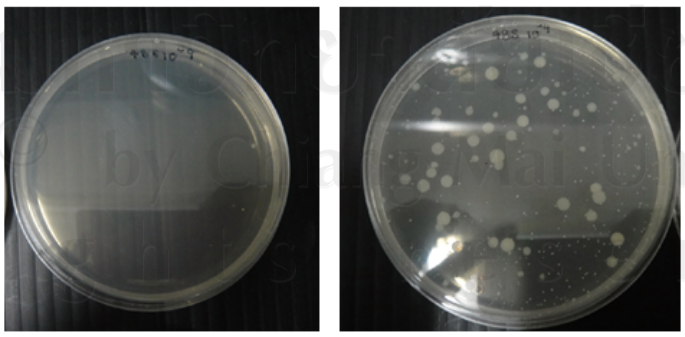
จากการศึกษาพันธะและหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ จะใช้วิธีการเตรียมชิ้นงานโดยตัดชิ้นงานให้มีความกว้าง 30 มิลลิเมตร และความยาว 30 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นงานไปวิเคราะห์หาพันธะและหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FT-IR ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า จะได้กราฟที่มีลักษณะร่วมกันระหว่างสารพอลิคาร์โพรแลคโทนและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยจะเกิดพีคที่เลขคลื่น 2939 และ 2865 cm^{-1} เนื่องมาจากการสั่นของ CH_2 ซึ่งเป็นลักษณะของสารพอลิคาร์โพรแลคโทน อีกทั้งยังเกิดพีคที่เลขคลื่น 3310 cm^{-1} ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก - OH stretching และเกิดพีคที่เลขคลื่น 1723 cm^{-1} เนื่องมาจาก CH_2 bending ซึ่งจากลักษณะดังกล่าว เป็นลักษณะของสารพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ จากความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงสรุปได้ว่า เส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันของสารพอลิคาร์โพรแลคโทน และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.7 ผลการศึกษาคุณสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

จากการตรวจสอบคุณสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ที่ผลิตได้โดยใช้ปัจจัยดังนี้คือ สารละลายพอลิคาร์โพรแลค-โทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 8%wt ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดถึงวัสดุรองรับ 20 เซนติเมตร และความเร็วรอบในการหมุนวัสดุรองรับ 12 รอบ/นาที ซึ่งแบคทีเรียที่นำมาทดสอบ คือ E.coli ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการต้านเชื้อแบคทีเรีย จะต้องทำการปลอดเชื้อชิ้นงานที่จะทำมาทดสอบก่อนเสมอ เพื่อเป็นการป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อชนิดอื่นจากสภาพแวดล้อม ซึ่งการทำปลอดเชื้อนี้จะใช้วิธีอาบรังสียูวี โดยให้รังสียูวีฆ่าเชื้อที่อาจจะติดมากับชิ้นงาน ซึ่งรังสียูวีนี้จะสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ทุกชนิดเนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้นแต่มีพลังงานสูง

ในงานวิจัยนี้ การทดสอบการต้านเชื้อ E.coli ของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต จะใช้วิธีการทดสอบแบบ Agar tube diffusion เพื่อสังเกตและนับจำนวนโคโลนีของเชื้อ E.coli ที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า จำนวนโคโลนีของเชื้อ E.coli ไม่ได้ลดลงแต่กลับเพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ไม่มีความสามารถที่จะยับยังเชื้อ E.coli ได้ เนื่องจากวิธีการในการตรวจสอบการต้านเชื้อ E.coli ไม่เหมาะสม อีกทั้งสารพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต มีความเป็นกรดสูง ซึ่งสภาวะความเป็นกรดมีความไม่เหมาะสมและไม่มีความสามารถในการต้านเชื้อ E.coli ดังนั้น การทดลองนี้จึงไม่สามารถยับยั้งการต้านเชื้อแบคทีเรียได้



รูป 4.24 แสดงผลการทดลองการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4 เส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

4.4.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

จากการผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต โดยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ พบว่า ลักษณะของชิ้นงานที่เตรียมได้จากสารละลายพอลิเมอร์ทุกเงื่อนไข มีลักษณะเป็นเส้นใยที่ไม่ได้ทักทอ (non-woven) รวมกันเป็นแผ่นเรียบ มีสีขาวขุ่น เหนียวนุ่ม ยืดหยุ่นได้ดี และแสงทะลุผ่านไม่ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.25

รูป 4.25 แสดงลักษณะทางกายภาพของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

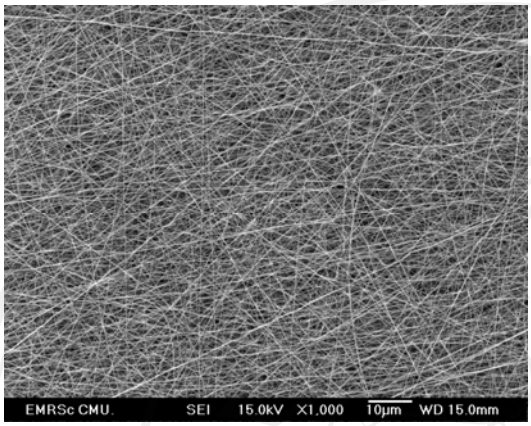
4.4.2 ผลการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ด้วยเทคนิค SEM

ในขั้นตอนการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ด้วยเทคนิค SEM จะเตรียมชิ้นงานด้วยการใช้เครื่องเจาะ (Puncher) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร ตัดชิ้นงาน จากนั้น นำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปติดบนแท่งทองเหลืองโดยใช้เทปกาวคาร์บอนเป็นตัวยึดติดชิ้นงานกับแท่งทองเหลือง จากนั้น นำแท่งทองเหลืองที่ติดชิ้นงานแล้วไปเคลือบทอง แล้วนำไปศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM - FE

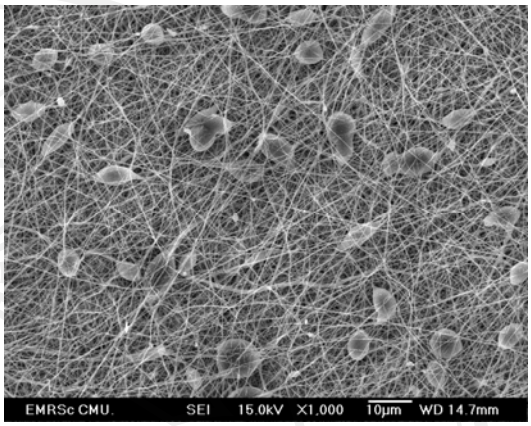
จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ที่ได้จากกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ ดังรูปที่ 4.26 พบว่า จะได้เม็ดบีดส์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

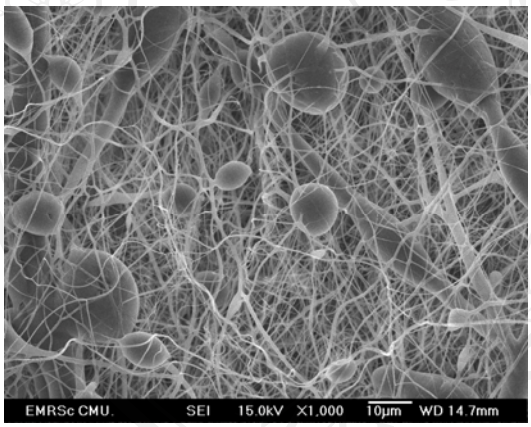
ขนาดใหญ่จำนวนมากรวมกับเส้นใยอิเล็กโตรสปัน ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะศึกษาเพิ่มเติมและได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป



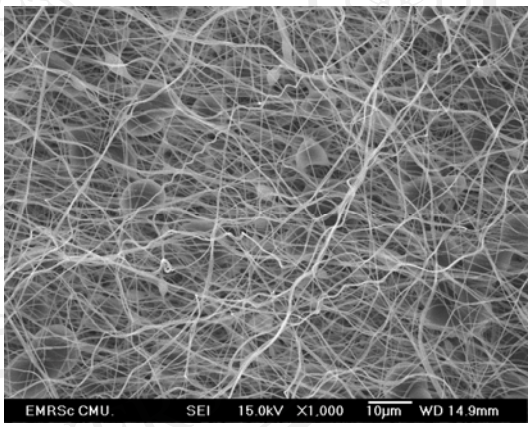
(ก) PCL 5 %wt - PVAB 8 %wt - 15 kV



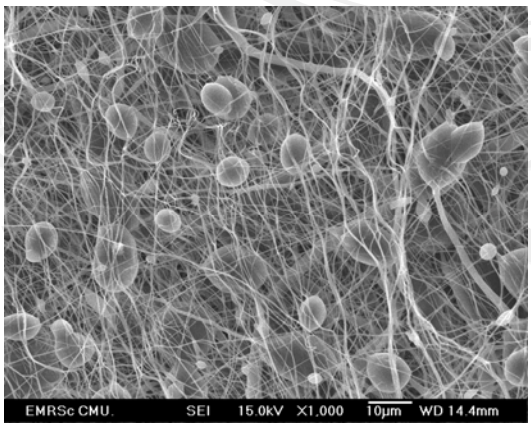
(ข) PCL 5 %wt - PVAB 8 %wt - 20 kV



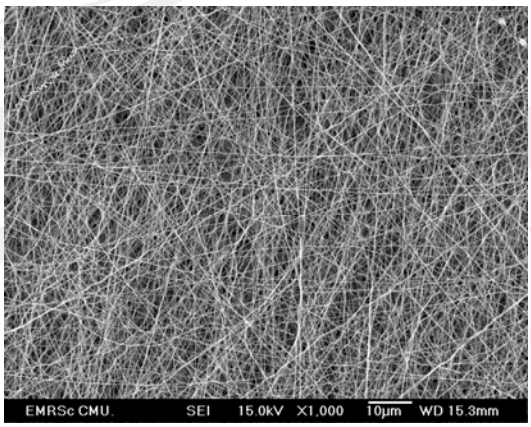
(ค) PCL 5 %wt - PVAB 8 %wt - 25 kV



(ง) PCL 7 %wt - PVAB 8%wt - 15 kV



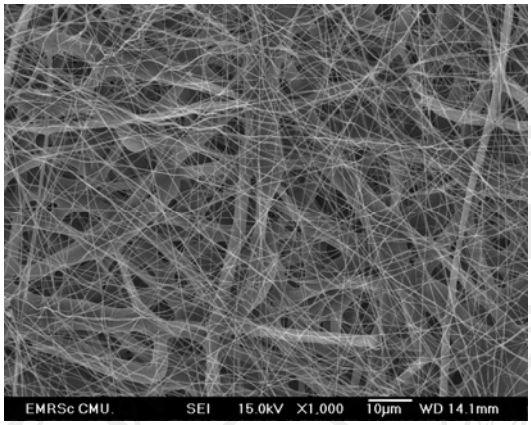
(จ) PCL 7 %wt - PVAB 8 %wt - 20 kV



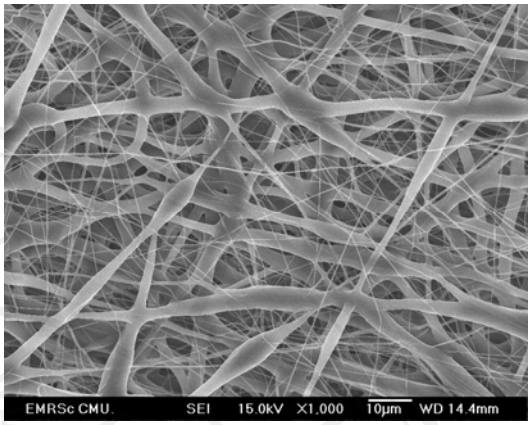
(ฉ) PCL 7 %wt - PVAB 8%wt - 25 kV

รูป 4.26 แสดงโครงสร้างสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

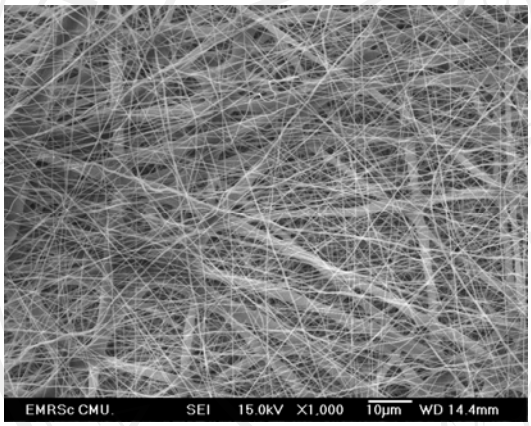
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



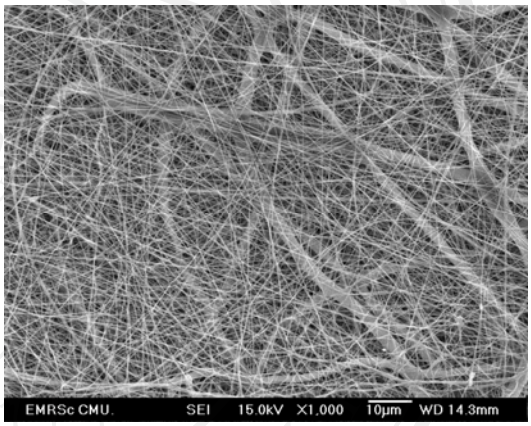
(ช) PCL 9 %wt - PVAB 8 %wt - 15 kV



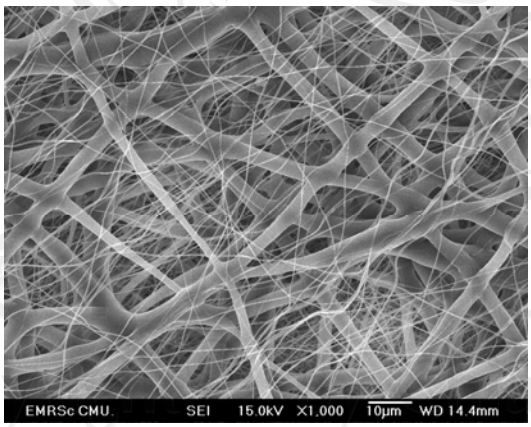
(ซ) PCL 9%wt - PVAB 8 %wt - 20 kV



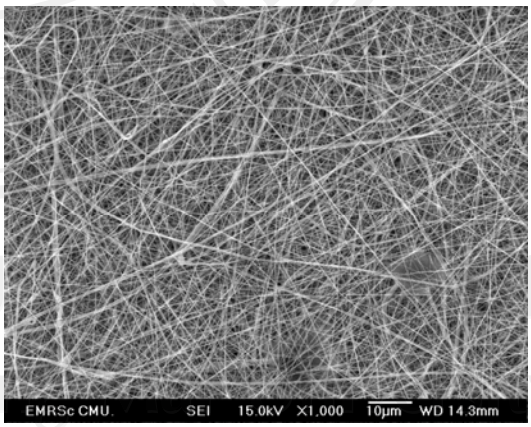
(ฌ) PCL 9%wt - PVAB 8 %wt - 25 kV



(ญ) PCL 11%wt - PVAB 8 %wt - 15 kV



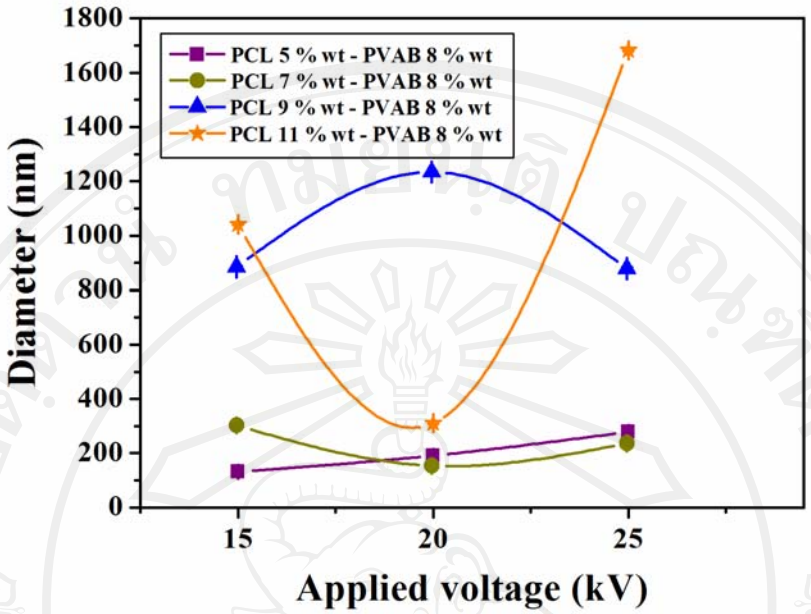
(ฎ) PCL 11 %wt - PVAB 8 %wt - 20 kV



(ฏ) PCL 11 %wt - PVAB 8 %wt - 25 kV

รูป 4.26 (ต่อ) แสดงโครงสร้างสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูป 4.27 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

4.4.3 ผลการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

4.4.3.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลต่อสัณฐานวิทยา

จากการใช้สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ความเข้มข้น 8 %wt โดยควบคุมปัจจัยดังต่อไปนี้ให้คงที่ คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดถึงวัสดุรองรับ 20 เซนติเมตร และความเร็วในการหมุนวัสดุรองรับ 12 รอบ/นาที โดยในรายงานฉบับนี้ จะได้กล่าวถึงทีละความต่างศักย์ไฟฟ้าเพื่อเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้งสองชนิด

สำหรับความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน 8 %wt พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 5 และ 7 %wt จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต รวมกับเม็ดบีดส์ขนาดใหญ่จำนวนมาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยเส้นใยอิเล็กโตรสปัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 131 และ 301 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยเม็ดบีดส์จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 4153 และ 9022 นาโนเมตร ตามลำดับ แต่ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 9 และ 11 %wt พบว่า จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต หลายขนาดแตกต่างอย่างชัดเจน โดยจะไม่เกิดเม็ดบีดส์ ซึ่งเส้นใยอิเล็กโตรสปันจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 883 และ 1040 นาโนเมตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 กิโลโวลต์ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน 8 %wt พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทนทุกค่า จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ที่มีความสม่ำเสมอ โดยจะไม่เกิดเม็ดบีดส์ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 191 153 1233 และ 310 นาโนเมตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 25 กิโลโวลต์ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน 8 %wt พบว่า ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 5 และ 7 %wt จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต รวมกับเม็ดบีดส์ขนาดใหญ่จำนวนมาก โดยเส้นใยอิเล็กโตรสปัน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 278 และ 236 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยเม็ดบีดส์จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 6025 และ 5698 นาโนเมตร ตามลำดับ แต่ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 9 และ 11 %wt พบว่า จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต หลายขนาดแตกต่างอย่างชัดเจน โดยจะไม่เกิดเม็ดบีดส์ โดยเส้นใยอิเล็กโตรสปันจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 877 และ 1682 นาโนเมตร ตามลำดับ

ดังนั้น จากการศึกษาข้างต้นเมื่อให้ปัจจัยดังกล่าวคงที่ เงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการผลิตเส้นใย PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต คือ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 9 และ 11 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน 8 %wt

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.4.3.2 ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใย PPB พอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

จากการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้าในการผลิตเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต โดยควบคุมปัจจัยดังต่อไปนี้ให้คงที่ คือ สารละลายพอลิคาร์โพรแลค-โทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ความเข้มข้น 8 %wt ระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดถึงวัสดุรองรับ 20 เซนติเมตร และความเร็วในการหมุนวัสดุรองรับ 12 รอบ/นาที โดยในรายงานฉบับนี้จะได้กล่าวถึงทีละความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดเทียบกับความต่างศักย์ไฟฟ้า

จากการใช้สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทนความเข้มข้น 5 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ความเข้มข้น 8 %wt โดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ พบว่า ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 และ 25 กิโลโวลต์ สามารถทำให้เกิดเม็ดบีดส์ขนาดใหญ่จำนวนมากรวมกับเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต โดยเส้นใยอิเล็กโตรสปันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 131 และ 278 นาโนเมตร และเม็ดบีดส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 4153 และ 6025 นาโนเมตร ตามลำดับ แต่ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 กิโลโวลต์ จะเกิดเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ที่มีความเรียบ สม่ำเสมอ และไม่เกิดเม็ดบีดส์ โดยเส้นใยอิเล็กโตรสปันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 191 นาโนเมตร

เมื่อพิจารณาสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทนความเข้มข้น 7 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ความเข้มข้น 8 %wt โดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ พบว่า จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ที่มีลักษณะเช่นเดียวกันกับเส้นใยอิเล็กโตรสปันที่ได้สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทนความเข้มข้น 5 %wt คือ มีเม็ดบีดส์ขนาดใหญ่จำนวนมากรวมกับเส้นใยอิเล็กโตรสปัน โดยที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 และ 25 กิโลโวลต์ จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 301 และ 236 นาโนเมตร และเม็ดบีดส์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 9002 และ 5698 นาโนเมตร ตามลำดับ แต่ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 กิโลโวลต์ จะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันที่มีความเรียบ สม่ำเสมอ และไม่เกิดเม็ดบีดส์ โดยเส้นใยอิเล็กโตรสปันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 153 นาโนเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เมื่อพิจารณาสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทนความเข้มข้น 9 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ความเข้มข้น 8 %wt โดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ พบว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกค่าจะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ที่มีหลายขนาดแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยจะไม่เกิดเม็ดบีดส์ ซึ่งเส้นใยอิเล็กโตรสปันจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 883 1233 และ 877 นาโนเมตร ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทนความเข้มข้น 11 %wt ฉีดร่วมกับสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ความเข้มข้น 8 %wt โดยใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ พบว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้าทุกค่าจะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต หลายขนาดแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยจะไม่เกิดเม็ดบีดส์ ซึ่งเส้นใยอิเล็กโตรสปันจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 1040 1310 และ 1682 นาโนเมตร ตามลำดับ

ดังนั้นจากการศึกษาข้างต้น เมื่อให้ปัจจัยดังกล่าวคงที่ เงื่อนไขที่เหมาะสมต่อการผลิตเส้นใย PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต คือ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 กิโลโวลต์

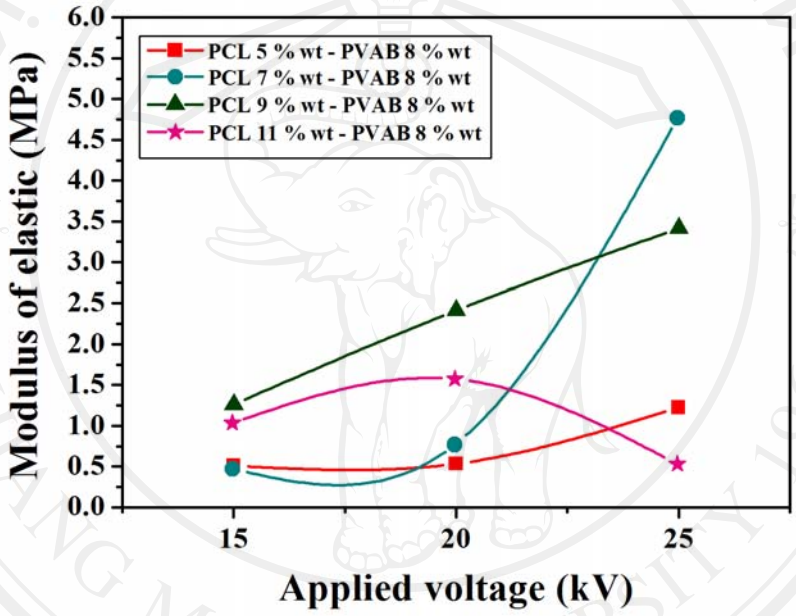
4.4.4 ผลการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

สมบัติเชิงกลของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต สามารถแสดงได้ด้วยพารามิเตอร์หลายตัวเช่นเดียวกับในกรณีของวัสดุชนิดอื่น สำหรับวัสดุประเภทพอลิเมอร์โดยส่วนใหญ่แล้วจะวัดจากการทดสอบแรงดึง คุณลักษณะเชิงกลของพอลิเมอร์นั้นโดยทั่วไปแล้วจะไวต่ออัตราเร็วของการแปรรูป ซึ่งในรายงานฉบับนี้จะได้ศึกษาถึงพฤติกรรมความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain) มอดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elastic) และ ความเหนียว (Ductility) ของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ซึ่งขั้นตอนการทดสอบนั้น การเตรียมชิ้นงานสามารถเตรียมได้โดยตัดชิ้นงานให้มีขนาดความกว้าง 15 มิลลิเมตร ความยาว 90 มิลลิเมตร และความหนา 1 มิลลิเมตร โดยการทดสอบจะอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบ ASTM D3039 – D3039M

จากรูปที่ 4.28 - 4.29 และตารางที่ 4.14 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ เมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 11 %wt เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น พบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์

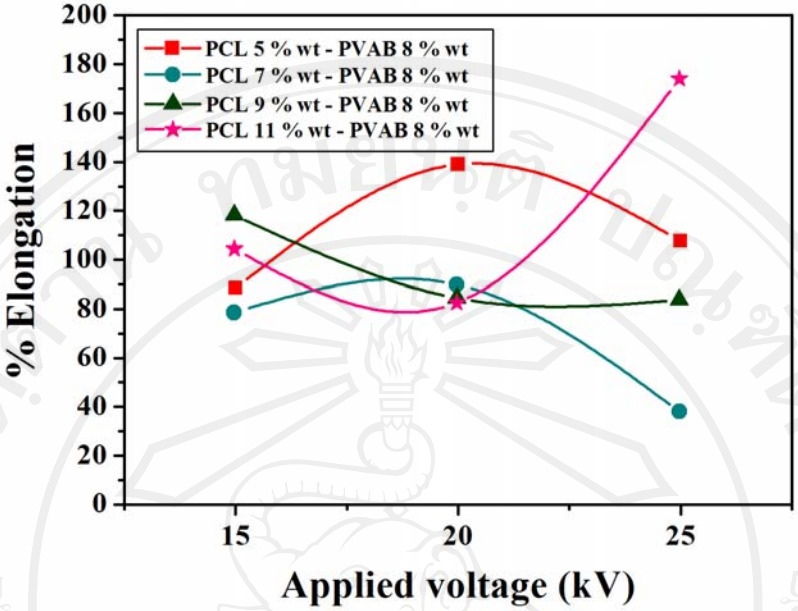
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คอมพอสิต มีแนวโน้มลดลงในช่วงแรกและจะสูงขึ้นในช่วงหลัง ซึ่งจะได้ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นสูงขึ้นในช่วงแรกและลดลงในช่วงหลัง อาจกล่าวได้ว่า ค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นจะแปรผกผันกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน เนื่องจากเมื่อเส้นใยอิเล็กโตรสปันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง จะมีระดับความเป็นผลึกและการจัดเรียงตัวของโมเลกุลสูงขึ้น จึงทำให้มีความสามารถทนแรงดึงจากภายนอกได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต มีอิทธิพลต่อค่ามอดูลัสความยืดหยุ่น



รูป 4.28 แสดงค่ามอดูลัสความยืดหยุ่นของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

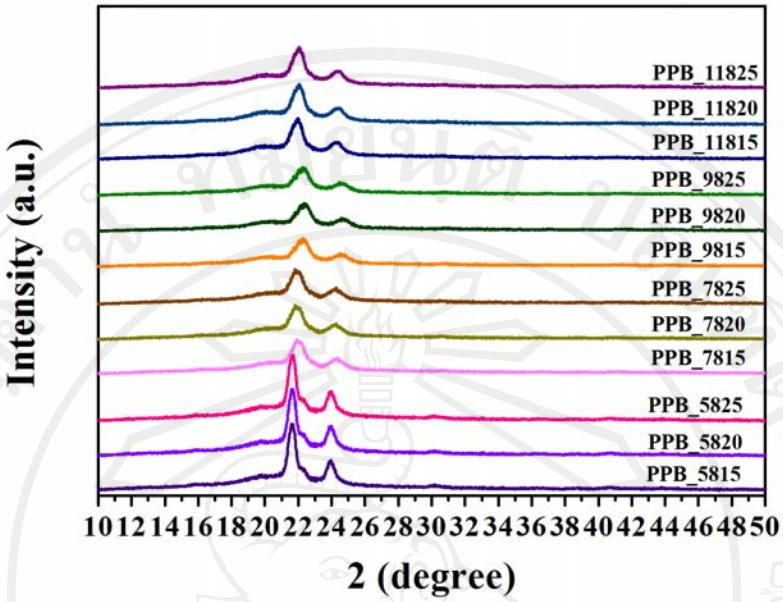


รูป 4.29 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

4.4.5 ผลการศึกษาเฟสองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ด้วยเทคนิค XRD

จากการตรวจสอบเฟสองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ด้วยเทคนิค XRD พบว่า เส้นใยอิเล็กโตรสปันมีความเป็นผลึก โดยพิจารณาได้จากลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ดังรูปที่ 4.30 ซึ่งมีลักษณะพีคแคบ โดยพีคมีความเข้มสูงสุดที่ 19° และ 24° ที่ระดับความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน 7 และ 9 %wt โดยความเข้มพีคจะลดลงและกว้างขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้นจะได้เส้นใยอิเล็กโตรสปันที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงขึ้น มีผลเนื่องมาจากการจับกันของพันธะและการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในเส้นใยเส้นใยอิเล็กโตรสปัน ซึ่งมีความเป็นอสัณฐานเพิ่มขึ้นจึงทำให้ความเป็นผลึกลดลง แต่หากพิจารณาขนาดของผลึก สามารถพิจารณาได้จากค่า FWHM พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน เพิ่มขึ้น จะได้ค่า FWHM สูงขึ้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

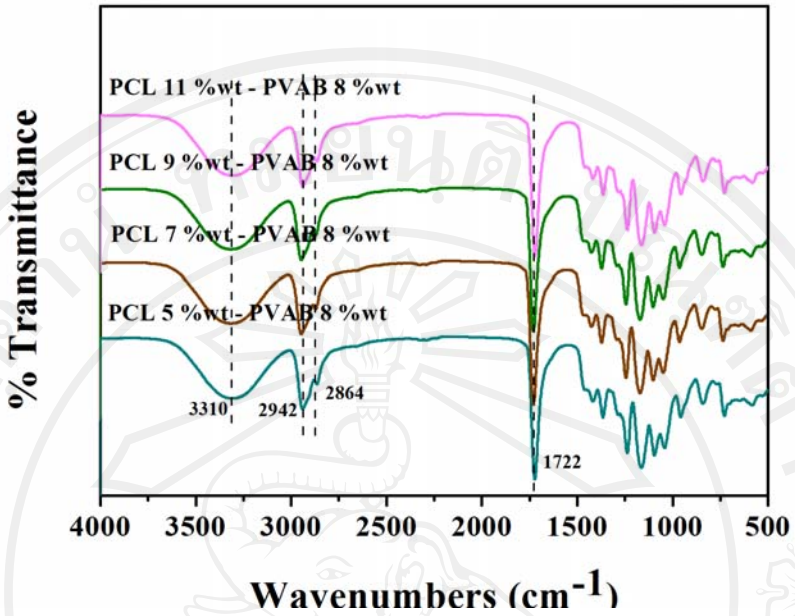


รูป 4.30 แสดงผลการวิเคราะห์เฟสองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

4.4.6 ผลการศึกษาพันธะและหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ด้วยวิธี FT-IR

จากการศึกษาพันธะและหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ จะใช้วิธีการเตรียมชิ้นงานโดยตัดชิ้นงานให้มีความกว้าง 30 มิลลิเมตร และความยาว 30 มิลลิเมตร ตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นงานไปวิเคราะห์หาพันธะและหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง FT-IR ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า จะได้กราฟที่มีลักษณะร่วมกันระหว่างสารพอลิคาร์โพรแลคโทนและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน โดยจะเกิดพีคที่เลขคลื่น 2942 และ 2864 cm^{-1} เนื่องมาจากการสั่นของ CH_2 ซึ่งเป็นลักษณะของสารพอลิคาร์โพรแลคโทน อีกทั้งยังเกิดพีคที่เลขคลื่น 3310 cm^{-1} ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจาก - OH stretching และเกิดพีคที่เลขคลื่น 1722 cm^{-1} เนื่องมาจาก CH_2 bending จากลักษณะดังกล่าว เป็นลักษณะของสารพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน จากความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงสรุปได้ว่าเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันของสารพอลิคาร์โพรแลคโทน และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



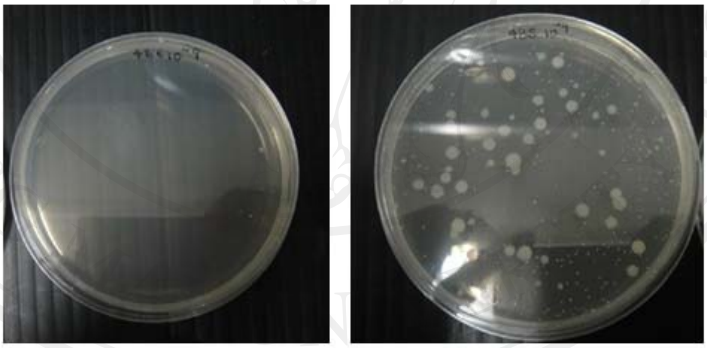
รูป 4.31 แสดงผลการวิเคราะห์พันธะและหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ

4.4.6 ผลการศึกษาคุณสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใย PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

ในการตรวจสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ที่ผลิตได้โดยใช้ปัจจัยดังนี้ คือ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโทน ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ความเข้มข้น 8%wt ความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ ระยะห่างระหว่างปลายเข็มฉีดถึงวัสดุรองรับ 20 เซนติเมตร และความเร็วรอบในการหมุนวัสดุรองรับ 12 รอบ/นาที ซึ่งแบคทีเรียที่นำมาทดสอบคือ E.coli ก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการต้านเชื้อแบคทีเรีย จะต้องทำการปลอดเชื้อชิ้นงานที่จะทำมาทดสอบก่อนเสมอ เพื่อเป็นการป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อชนิดอื่นจากสภาพแวดล้อม ซึ่งการทำปลอดเชื้อนี้จะใช้วิธีอาบรังสียูวี โดยให้รังสียูวีฆ่าเชื้อที่อาจจะติดมากับชิ้นงาน ซึ่งรังสียูวีนี้จะสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ทุกชนิดเนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้นแต่มีพลังงานสูง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในงานวิจัยนี้ การทดสอบการต้านเชื้อ E.coli ของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต จะใช้วิธีการทดสอบแบบ Agar tube diffusion เพื่อสังเกตและนับจำนวนโคโลนีของเชื้อ E.coli ที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า จำนวนโคโลนีของเชื้อ E.coli ไม่ได้ลดลงแต่กลับเพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ไม่มีความสามารถที่จะยับยังเชื้อ E.coli เนื่องจากวิธีการในการตรวจสอบการต้านเชื้อ E.coli ไม่เหมาะสม อีกทั้งสารพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต มีความเป็นกรดสูง ซึ่งสภาวะความเป็นกรดมีความไม่เหมาะสมและไม่มีความสามารถในการต้านเชื้อ E.coli อีกทั้งสารแอนโทรไซยานินที่เป็นสารสกัดจากดอกอัญชัน ยังมีโมเลกุลของน้ำตาลอยู่ในโครงสร้างทางเคมี ซึ่งน้ำตาลที่อยู่ในโครงสร้างทางเคมีนี้ยังเป็นอาหารที่ดีสำหรับเชื่อ E.coli อีกด้วย ดังนั้นนอกจากจะไม่ยับยั้งการเติบโตของเชื้อ E.coli แล้ว ยังจะสนับสนุนการเจริญเติบโตของเชื้อ E.coli อีกด้วย ด้วยเหตุผลดังกล่าวการทดลองนี้จึงไม่สามารถยับยั้งการต้านเชื้อแบคทีเรียได้



รูป 4.32 แสดงผลการทดลองการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นใยอิเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved