



วารสาร ไทยกายเคมีพเพอร์

ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 เดือนธันวาคม 2551 (หน้า 1-14)

บทความพิเศษวิชาการ สำหรับการศึกษาต่อเนื่องทางเภสัชศาสตร์ (on-line)



การประยุกต์ใช้อิเล็กโตรสปินนิงพอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์ Applications of electrospinning polymer nanofibers

ภก. ณัฐชัย เจริญศรีวิไลวัฒน์

ภญ.รศ.ดร. ปราณีต โอปะณะโสภิต

ภาควิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

รหัส 1-000-SPU-000-0812-01

จำนวน 2.0 หน่วยกิตการศึกษาต่อเนื่อง

วันที่รับรอง: 1 ธันวาคม พ.ศ. 2551

วันที่หมดอายุ: 1 ธันวาคม พ.ศ. 2553

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. อธิบายความหมายของพอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์
2. อธิบายการผลิตพอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์โดยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง
3. อธิบายพารามิเตอร์ของกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงที่มีผลต่อสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์
4. อธิบายประโยชน์และการประยุกต์ใช้พอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์ในด้านต่างๆ

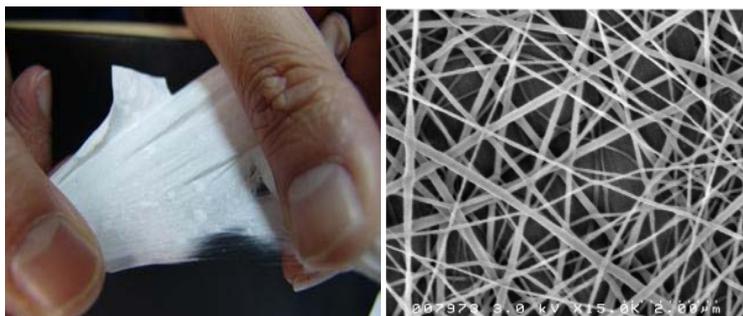
บทคัดย่อ

นาโนไฟเบอร์พอลิเมอร์เป็นเส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตร คุณสมบัติที่โดดเด่นคือมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง มีขนาดเล็ก มีความพรุนมาก มีค่าแรงต้านทานแรงดึงตามยาวสูง เป็นต้น การผลิตนาโนไฟเบอร์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น drawing, template synthesis, phase separation, self-assembly และ electrospinning กระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงเป็นกระบวนการที่อาศัยแรงทางไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง ทำให้สารละลายพอลิเมอร์กลายเป็นนาโนไฟเบอร์ ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วนคือ แหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง (high voltage dc supply) หลอดบรรจุสารละลายที่ติดเข็มโลหะ (syringe with metal needle) และวัสดุรองรับ (collector) เป็นระบบที่มีความซับซ้อนน้อย ต้นทุนต่ำ สามารถควบคุมขนาดและปริมาณการเกิดเส้นใยได้ต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น โดยการควบคุมกระบวนการและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นของนาโนไฟเบอร์นี้เอง ทำให้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในหลายด้าน เช่น ใช้ผลิตวัสดุทางการแพทย์ วัสดุสำหรับกรองสาร ด้านอิเล็กทรอนิกส์ เกษตรกรรม อุตสาหกรรมสิ่งทอ และอื่นๆ ทางด้านเภสัชกรรมก็มีการนำไปประยุกต์ใช้เป็นระบบนำส่งยา เป็นต้น

คำสำคัญ: อิเล็กโตรสปินนิง นาโนไฟเบอร์ การประยุกต์ใช้

บทนำ

นาโนไฟเบอร์ ประกอบด้วยคำสองคำคือ นาโน และ ไฟเบอร์ เมื่อกล่าวถึง คำว่า “ไฟเบอร์” ในทางพฤกษศาสตร์ จะหมายถึง ผนังเซลล์พืชที่ให้ความแข็งแรงและเสริมสร้างความแข็งแกร่งในเนื้อเยื่อพืช ทางด้านกายวิภาคศาสตร์ ไฟเบอร์ คือเส้นใยที่เป็นส่วนประกอบของ extracellular matrix ในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน หรือเซลล์ที่มีรูปร่างยาว เช่น เซลล์กล้ามเนื้อ หรือเซลล์ประสาท ในด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอ ไฟเบอร์ คือเส้นใยจากธรรมชาติหรือเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ฝ้ายและไนลอน ในด้านชีววิทยา ไฟเบอร์ คือส่วนของพืชที่มนุษย์ย่อยไม่ได้ เช่น สารกลุ่มเซลลูโลส โดยสรุปแล้ว ไฟเบอร์ หมายถึง ของแข็งที่มีรูปร่างเรียวยาวและความยาว ส่วนคำว่า “นาโน” เป็นคำนำหน้าทีมาจากภาษากรีก หมายถึง 10^{-9} ในหน่วยของ ความยาว ความกว้าง เวลา น้ำหนัก ประจุ เป็นต้น ซึ่งในที่นี้ นาโนไฟเบอร์ หมายถึง เส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตร โดยทั่วไปนาโนไฟเบอร์ จะกำหนดให้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ไม่เกิน 100 นาโนเมตร โดยทั่วไปจะผลิตขึ้นจากพอลิเมอร์ชนิดต่าง ๆ¹



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของนาโนไฟเบอร์(ซ้าย) และนาโนไฟเบอร์เมื่อส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (ขวา)³

คุณสมบัติที่โดดเด่นของ นาโนไฟเบอร์มีดังนี้

1. มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง
2. มีรูขนาดเล็กและมีความพรุนสูง
3. มีค่าแรงต้านทานแรงดึงตามยาวสูง ตัวอย่างเช่น คาร์บอนนาโนไฟเบอร์

ด้วยลักษณะและคุณสมบัติดังกล่าวจึงมีการนำนาโนไฟเบอร์ไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น เป็นวัสดุในการกรองสาร วัสดุวิศวกรรมเนื้อเยื่อ วัสดุควบคุมการนำส่งยาและเครื่องสำอาง สิ่งตกแต่งแผล วัสดุเสริมความแข็งแรง ตัวนำไฟฟ้าในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ใช้เป็นส่วนประกอบของเสื้อผ้า ใช้ควบคุมการปลดปล่อยยาฆ่าแมลงในเกษตรกรรม เป็นต้น⁴

กระบวนการผลิต

การผลิตนาโนไฟเบอร์มีด้วยกันหลายกระบวนการ ขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้ประโยชน์ สามารถแบ่งกระบวนการผลิตนาโนไฟเบอร์ได้ดังนี้

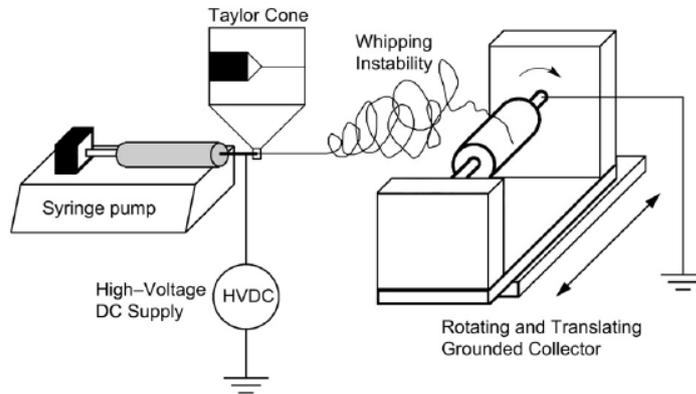
Drawing เป็นกระบวนการผลิตนาโนไฟเบอร์โดยหยดสารละลายพอลิเมอร์ ในขนาดไมโครเมตรใช้ไมโครปิเปต จุ่มลงในหยดของสารใกล้กับ contact line จากนั้นดึงไมโครปิเปตออกอย่างรวดเร็ว นาโนไฟเบอร์จะถูกดึงออกมา พร้อมๆ กับการระเหยไปของตัวทำละลาย

Template synthesis เป็นกระบวนการผลิตนาโนไฟเบอร์ที่ใช้ แม่พิมพ์ที่ประกอบด้วยรูที่มีขนาดในระดับนาโนเมตร นำสารละลายพอลิเมอร์มาผ่านแม่พิมพ์เส้นผ่านศูนย์กลางระดับนาโนเมตร ภายใต้แรงดันน้ำ สารละลายพอลิเมอร์จะออกมาเป็นเส้นใยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระดับนาโนเมตร

Phase separation ในกระบวนการนี้ มีหลักการคือพอลิเมอร์จะละลายในตัวทำละลายที่ละลายพอลิเมอร์ได้ดีก่อน และจึงเปลี่ยนตัวทำละลายที่พอลิเมอร์นั้นละลายได้ไม่ดีลงไปทำให้เกิดเป็นนาโนไฟเบอร์ขึ้น

Self-assembly กระบวนการผลิตนาโนไฟเบอร์ที่เกิดขึ้นได้เองจากสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้โมเลกุลขนาดเล็ก เป็นพื้นฐานในการสร้างนาโนไฟเบอร์ เมื่อมีโมเลกุลมากขึ้นทำให้เกิดแรงระหว่างกันเกิดการจัดเรียงตัวเป็นลักษณะของนาโนไฟเบอร์¹

Electrospinning อีเล็กโตรสปินนิงเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นมา 60 ปีแล้วแต่เพิ่งได้รับความสนใจศึกษากันอย่างจริงจังเมื่อไม่กี่ 10 ปีที่ผ่านมา ในปี ค.ศ. 1934 Formhals ได้จดสิทธิบัตรกระบวนการและเครื่องมือที่ใช้แรงทางไฟฟ้าในการสังเคราะห์เส้นใย³ ในปี ค.ศ. 1969 Taylor ได้ตีพิมพ์ผลงานที่อธิบายถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในขณะที่ สารละลายพอลิเมอร์พุ่งออกจาก เข็มโลหะที่ให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง ว่ามีการเปลี่ยนรูปร่างของสารละลายจากทรงกลมเป็นลักษณะของสามเหลี่ยมคล้ายโคน เมื่อแรงสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับแรงตึงผิวของสารละลายพอลิเมอร์ ซึ่งต่อมามีการเรียกลักษณะนี้ว่า Taylor cone โดยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเป็น Taylor cone จะขึ้นกับความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์³ ปี ค.ศ. 1971 Baumgarten เริ่มทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงสารละลายพอลิเมอร์และพารามิเตอร์ในกระบวนการ ทำให้รู้ว่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีผลต่อสัณฐานวิทยาของนาโนไฟเบอร์ที่ได้³ ปี ค.ศ. 1995 Reneker ได้ทำการศึกษา อย่างเป็นระบบมากขึ้น⁵ ทำให้อีเล็กโตรสปินนิงได้รับความสนใจจากนักวิจัยต่างๆ ทั่วโลก เห็นได้จากจำนวนผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติเรื่องต่างๆ ที่เกี่ยวกับอีเล็กโตรสปินนิงเพิ่มจากประมาณ ปีละไม่ถึง 10 เรื่องตั้งแต่ปี ค.ศ.1995 ถึงปี ค.ศ.2000 เป็น 40 เรื่องในปี ค.ศ. 2001 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ⁴



รูปที่ 2 แสดงกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง³

การทำงานของอิเล็กโตรสปินนิง แสดงดังรูปที่ 2 ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือแหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง (high voltage DC supply) หลอดบรรจุสารละลายที่ติดเข็มโลหะ (syringe with metal needle) และวัสดุรองรับ (collector) การทำงานของอิเล็กโตรสปินนิงเริ่มจากการให้ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงแก่ สารละลายพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์ที่หลอมเหลว ผ่านเข็มโลหะที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเล็ก ทำให้แรงผลักทางไฟฟ้าในสารละลายพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น เมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จากหยดสารละลายรูปทรงกลมบนปลายเข็มจะเริ่มเปลี่ยนรูปร่างเป็นรูปโคนเมื่อแรงผลักทางไฟฟ้ามีค่าเท่ากับแรงตึงผิวของสารละลายพอลิเมอร์ และเมื่อแรงผลักทางไฟฟ้ามีค่ามากกว่าแรงตึงผิวของสารละลายพอลิเมอร์ สารละลายจะพุ่งออกจากปลายของโคนไปยัง วัสดุรองรับซึ่งต่อเข้ากับ ศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าต่ำ ทำให้เกิดเป็นสนามไฟฟ้าระหว่างปลายเข็มกับวัสดุรองรับ สารละลายจะพุ่งเป็น แนวตรงในระยะหนึ่ง และจะผ่านเข้าไปในส่วนของ whipping instability ซึ่งจะเกิดการระเหยของตัว ทำละลาย เส้นใยของแข็งเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กจะตกซ้อนทับกันบน วัสดุรองรับในลักษณะที่ไม่ได้ทอ (Non-woven) ในส่วนของเข็มฉีดที่บรรจุสารละลายพอลิเมอร์ จะต้องมีการควบคุมให้มีอัตรา การไหลที่สม่ำเสมอโดยวิธีต่างๆ เช่น แรงโน้มถ่วงของโลก (gravitational force) ปัม (syringe pump) แรงดันก๊าซ (pressure gas) เป็นต้น ในส่วนของวัสดุรองรับก็มีหลายชนิด เช่น เพลท (stationary plate) ด้รม (rotating drum) ใช้สารละลายเช่น น้ำ เป็นต้น จากกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงจะเห็น ได้ว่ามีขั้นตอนต่างๆ ซึ่งแต่ละขั้นตอนก็มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งส่งผลต่อลักษณะสัณฐานวิทยา และคุณสมบัติของนาโนไฟเบอร์ที่ได้^{3,4}

ผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิ่งที่ส่งผลต่อสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ได้

จากกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิ่ง พบว่ามีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. ศักย์ไฟฟ้า จากการศึกษานี้ของ Deitzel et al, 2001 ใช้ Polyethylene oxide/water การศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มศักย์ไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้น จะทำให้เส้นใยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกลง และมีแนวโน้มที่จะเกิด bead ในระบบเส้นใยมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจาก ศักย์ไฟฟ้าส่งผลถึง การเกิด Taylor cone และ fiber jet จึงจำเป็นต้องเลือกศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าเหมาะสม⁶
2. อัตราการไหล จากการศึกษานี้ของ Megelski et al, 2002 ใช้ Polystyrene/tetrahydrofuran ในการศึกษา พบว่าเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของพอลิเมอร์จะทำให้เส้นใยมีเส้นผ่าศูนย์กลางและรูมีขนาดเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มที่จะเกิด bead ในระบบเส้นใยมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการระเหยของตัวทำละลายเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์⁷
3. ระยะทางระหว่างปลายเข็มจนถึง collector จากการศึกษานี้ของ Jaeger et al, 1998 ใช้ Polyethylene oxide/น้ำ พบว่า เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นจะทำให้เส้นใยมีเส้นผ่าศูนย์กลางลดลง แต่ถ้าวระยะทางลดลงก็จะมีแนวโน้มที่จะเกิด bead มากขึ้น การเพิ่มระยะทางจะทำให้การระเหยของตัวทำละลายเกิดได้อย่างสมบูรณ์⁸
4. ความเข้มข้นของสารละลายพอลิเมอร์ จะส่งผลต่อความหนืดและแรงตึงผิวของสารละลาย จากการศึกษานี้ของ Reneker et al, 1995 ใช้ Poly(ethylene-co-vinyl alcohol)/Propanol:Water พบว่าเมื่อความเข้มข้นของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้น จะทำให้เส้นใยที่ได้มีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น เส้นใยที่มีความเข้มข้นน้อยจะมีแรงตึงผิวต่ำทำให้แรงไฟฟ้าเอาชนะแรงตึงผิวได้ง่ายขึ้นและยังมีความหนืดต่ำทำให้การไหลดีขึ้นด้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยจึงมีขนาดเล็ก⁵
5. ความสามารถในการนำไฟฟ้าของสารละลาย จากการศึกษานี้ของ Zhang et al, 2005 ใช้ Polyvinyl alcohol ละลายในน้ำและมีการเติมเกลือเพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้าในปริมาณต่างๆ ผลพบว่าเมื่อเติมเกลือในปริมาณที่มากขึ้น ทำให้การนำไฟฟ้ามากขึ้น ส่งผลให้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมีค่าลดลงและมีการกระจายตัวของขนาดในช่วงที่แคบด้วย ทั้งนี้ผู้วิจัยได้อธิบายว่า เมื่อการนำไฟฟ้าในสารละลายเพิ่มมากขึ้นทำให้ความสามารถในการเก็บประจุของสารละลายเพิ่มขึ้น เมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าจึงมีค่า tensile strength สูงขึ้นเส้นใยที่ได้จึงมีขนาดเล็กลง⁹
6. ความสามารถในการระเหยของตัวทำละลาย จากการศึกษานี้ของ Megelski et al, 2002 ใช้ Polystyrene ละลายในส่วนผสมของตัวทำละลาย 2 ชนิดคือ tetrahydrofuran (THF) ซึ่งมี

6 ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 เดือนธันวาคม 2551

ความสามารถในการระเหยที่ดี และ dimethylformamide (DMF) ซึ่งมีความสามารถในการระเหยต่ำ ผลพบว่า เมื่อใช้ THF 100% จะทำให้เส้นใยที่ได้มีความพรุนสูง ส่วนเมื่อใช้ DMF 100% จะได้เส้นใยที่มีความเรียบและเส้นความเป็น microtexture ดังนั้นจะต้องเลือกใช้ระบบตัวทำละลายที่มีการระเหยที่เหมาะสมด้วย⁷

ชนิดของอิเล็กโตรสปินนิง

อิเล็กโตรสปินนิงเป็นกระบวนการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย ในปัจจุบันมีนักวิจัยพยายามดัดแปลงกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงไปในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ได้เส้นใยที่มีลักษณะที่ตรงกับการนำไปใช้งาน ชนิดของอิเล็กโตรสปินนิง จำแนกได้ตาม ชนิดของเข็มที่ใช้ และชนิดของสารละลายพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ ถ้าแบ่งตาม การเรียงตัวของส่วน capillary และเข็มโลหะ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. Single configuration ใช้ capillary ชิ้นเดียวและเข็มโลหะอันเดียว เป็นแบบที่ง่ายที่สุด ใช้สารละลายพอลิเมอร์เพียง ชนิดเดียว หรืออาจจะเป็นพอลิเมอร์หลายชนิดแต่ละลายในตัวทำละลายชนิดเดียว
2. Side by side configuration เป็นการเรียงตัวด้านข้าง โดยใช้ capillary 2 ชิ้นที่มีสารละลายพอลิเมอร์ 2 ชนิด เทคนิคนี้ใช้สำหรับต้องการเส้นใยที่มีส่วนผสมของพอลิเมอร์ 2 ชนิด แต่พอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด มีการละลายที่แตกต่างกันจึงต้องแยกละลายพอลิเมอร์ทั้ง 2 ออกจากกัน โดยการใช้เทคนิคนี้จะต้องคำนึงถึงค่า การนำไฟฟ้าของสารละลายทั้ง 2 ให้มีค่าใกล้เคียงกัน
3. Coaxial configuration เป็นเทคนิคใหม่ที่ทำให้เส้นใยนาโนไฟเบอร์ มีลักษณะเป็น core-shell โดยลักษณะของ capillary จะประกอบด้วย capillary อันใหญ่ที่มี capillary อันเล็กอยู่ด้านใน ภายใน capillary จะบรรจุสารละลายพอลิเมอร์สองชนิดที่ละลายเข้ากันไม่ได้ โดยพอลิเมอร์ที่ต้องการให้เป็น core จะบรรจุอยู่ในหลอดด้านใน

หากแบ่งชนิดของกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงตามชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้สามารถแบ่งได้เป็น

1. Polymer solution สารละลายพอลิเมอร์ เทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ใช้กันมากที่สุด โดยนำพอลิเมอร์ที่ต้องการทำให้เป็นเส้นใยนาโนไฟเบอร์ มาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสม
2. Polymer melt พอลิเมอร์หลอมเหลว เทคนิคนี้เป็นการ electrospinning โดยใช้อุณหภูมิที่สูงจนพอลิเมอร์ที่เป็นของแข็งหลอมเป็นของเหลว ตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่ใช้ เช่น Polyethylene, Polypropylene เป็นต้น³

ตารางที่ 1 ตัวอย่างพอลิเมอร์ที่ใช้เทคนิค electrospinning และการนำไปใช้⁴

Polymer	Solvent	Concentration	Perspective Application
Nylon6,6, PA-6,6	Formic acid	10 wt.%	Protective clothing
Polyurethanes, PU	Dimethyl formamide	10 wt.%	Electric, filter
Collagen-PEO	Hydrochloric acid	1–2 wt%	Wound healing, tissue engineering
Polyaniline (PANI) /PEO	Chloroform	2–4 wt%	Conductive fiber
Polyvinylcarbazole	Dichloromethane	7.5 wt.%	Sensor, filter
Cellulose acetate, CA	Acetone, acetic acid, dimethylacetamide	12.5–20%	Membrane
PLGA PLGA(PLA/PGA)=(85/15)	Tetrahydrofuran:dimethylformamide (1:1)	1 g/20 ml	Scaffold for tissue engineering
Polyvinil alcohol, PVA	Distilled water	8–16 wt. %	Drug delivery system
Polylactic acid, PLA	Dichloromethane	14 wt%	Drug delivery system
Polyacrylonitrile, PAN	Dimethyl formamide	600 mg/10 ⁻⁵ m ³	Carbon nanofiber
Polyethylene oxide, PEO	Distilled water	7–10 wt. %	Electret filter, blend other polymer
polyacrylic acid- polypyrene methanol, PAA-PM	Dimethyl formamide	-	Optical sensor
poly vinyl phenol, PVP	Tetrahydrofuran	20, 60% (wt./vol.)	Antimicrobial agent
Polycaprolactone, PCL	Chloroform:methanol (3:1)	-	Biomedical application

จากการศึกษาต่างๆของนักวิจัยได้พยายามนำ พอลิเมอร์ชนิดต่างๆ มาศึกษาโดยใช้กระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง กันมากกว่า 50 ชนิด ตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่ใช้และการนำไปใช้ แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งการใช้พอลิเมอร์ที่มีความหลากหลายทำให้ได้เส้นใยที่สามารถนำไปใช้ได้ในมุมที่กว้างสามารถแบ่งการประยุกต์ใช้ได้เป็น⁴

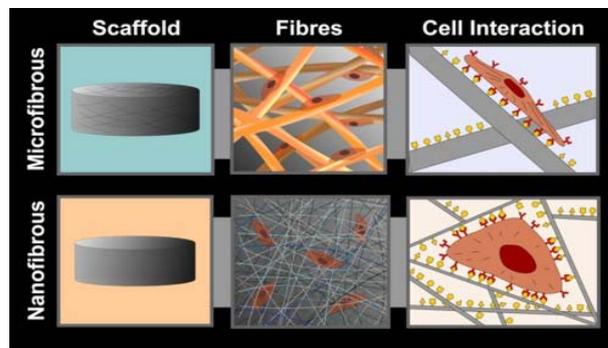
การประยุกต์ใช้ด้านการแพทย์

ในการนำไปใช้ทางการแพทย์และสุขภาพมักจะเลือกใช้พอลิเมอร์ที่เข้ากันได้กับร่างกาย (biocompatibility) และ/หรือ สามารถย่อยสลายได้ในร่างกาย (biodegradability) ตัวอย่างของ

พอลิเมอร์เช่น poly L-lactic acid (PLLA), Chitosan, Polycaprolactone(PCL), poly ethylene-co-vinyl acetate (PEVA) เป็นต้น การประยุกต์ใช้ทางด้านการแพทย์และสุขภาพสามารถแบ่งย่อยได้ดังนี้

1. โครงร่างวิศวกรรมเนื้อเยื่อ (Tissue Engineering Scaffolds) การประยุกต์ใช้ทางด้าน วิศวกรรมเนื้อเยื่อจะใช้ นาโนไฟเบอร์เป็นโครงร่างเพื่อช่วยในการเจริญเติบโตของเซลล์เนื้อเยื่อ

โดยการใช้นาโนไฟเบอร์เป็นโครงร่างจะมีข้อดีกว่าไมโครไฟเบอร์คือมีพื้นที่ให้เซลล์ยึดเกาะได้มากกว่า ดังรูปที่ 3 ทำให้เซลล์สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่า และโครงสร้างของนาโนไฟเบอร์ยังมีลักษณะคล้ายกับ extracellular matrix อีกด้วย จึงมีผู้วิจัยทำการศึกษานาโนไฟเบอร์ที่นำไปใช้ทางด้านโครงร่างวิศวกรรมเนื้อเยื่อกันมากในปัจจุบัน



รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นโครงร่างของไมโครไฟเบอร์กับนาโนไฟเบอร์¹³

2. กายอุปกรณ์ (Medical prostheses) เป็นการนำไปใช้ในการเป็นอวัยวะเทียม หลอดเลือดเทียม เนื้อเยื่อเทียมสำหรับซ่อมแซมกระดูกอ่อน และเส้นประสาท โดยตัวอย่างของการนำไปใช้ เช่น the new technology of Virginia commonwealth university ได้ศึกษาการขึ้นรูปนาโนไฟเบอร์โดยใช้คอลลาเจนเป็นหลอดเลือดเทียม นำไปใช้ในการผ่าตัดทำ bypass หัวใจโดยแทนที่การใช้หลอดเลือดจากขา Professor Gerald E. Scheider และ Rutledge Ellis-Behnke ได้ทำการศึกษานาโนไฟเบอร์ที่เกิดขึ้นได้เองจากอาร์จินิน (Argenin) อะลานิน (Alanine) และ กรดกลูตามิก (Glutamic acid) 16 โมเลกุลเรียงเข้าไปมาและมีโครงร่างแบบ β - sheet ที่สามารถช่วยให้การเจริญเติบโตของ axon ขึ้นมาใหม่เมื่อฉีดยาละลายของกรดอะมิโนเหล่านี้เข้าไปในสมองหนูที่ถูกทำลาย เนื่องจากนาโนไฟเบอร์เข้าไปช่วยเสริมในสมองส่วนที่ถูกทำลายเมื่อเซลล์ประสาทเข้าไปอยู่ในโครงร่างนาโนไฟเบอร์ทำให้มีการเจริญเติบโตได้ดีขึ้น งานวิจัยนี้ถือเป็นความหวังใหม่ในการซ่อมแซมเซลล์สมองของมนุษย์¹¹

3. สิ่งตกแต่งแผล (Wound dressing) นาโนไฟเบอร์มีคุณสมบัติที่โดดเด่นในด้านพื้นที่ผิว ดังนั้นการนำเป็นสิ่งตกแต่งแผลจะมีข้อดีกว่าผ้าก๊อซ คือมีพื้นที่ผิวในการดูดซับของเหลวได้มากกว่าทำให้แผลแห้งเร็ว และยังเป็นโครงร่างทำให้เซลล์ใหม่เจริญเติบโตได้ดีทำให้แผลหายเร็วและสามารถป้องกันการเกิดแผลเป็นได้ดีกว่า นอกจากนี้ด้วยรูที่มีขนาดเล็กของนาโนไฟเบอร์ยังเป็นสิ่งกีดขวางไม่ให้แบคทีเรีย

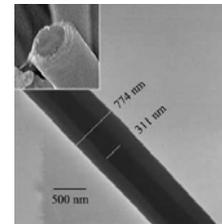
ผ่านเข้าไปได้ แต่ยังสามารถหายใจได้ดี นิยมใช้พอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติสลายได้เองในร่างกายโดยสามารถ spray โดยตรงไปที่แผล ดังรูปที่ 4 หรือทำเป็นแผ่นสำหรับติดแผล พอลิเมอร์ที่นิยมใช้ เช่น คอลลาเจน ไคโตซาน เป็นต้น⁴

4. เครื่องสำอาง (Cosmetic) โดยใช้เป็นเครื่องมือในการนำส่งเครื่องสำอางเข้าสู่ผิว ในลักษณะของแผ่นมาร์ก เนื่องจากแผ่นเส้นใยมีพื้นที่ผิวมาก ทำให้การบรรจุสารต่างๆ ลงในแผ่นได้ปริมาณมาก สารที่นิยมใช้ เช่น สารทำความสะอาด สารเพิ่มความชุ่มชื้น สารแอนติออกซิเดชั่น เป็นต้น นอกจากนี้จะสามารถใส่สารในแผ่นมาร์กนาโนไฟเบอร์ได้ในปริมาณมากแล้ว การปลดปล่อยยังเกิดได้รวดเร็วในระยะแรกอีกด้วย ทำให้ได้รับปริมาณสารปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้น⁴

5. ระบบนำส่งยา (Drug delivery system) ด้วยเหตุผลเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ในเครื่องสำอาง ทำให้สามารถบรรจุยาได้มาก มีการปลดปล่อยยาที่รวดเร็ว และยังสามารถควบคุมการปลดปล่อยยาได้ หากใช้เทคนิค coaxial electrospinning ดังรูปที่ 5 โดยสามารถควบคุมปริมาณยาปลดปล่อยได้โดยการควบคุมอัตราการไหลของตัวยาในสารละลายที่อยู่ใน capillary ด้านใน ทำให้แกนมีปริมาณมากหรือน้อยตามต้องการ ตัวอย่างยาที่มีการศึกษาวิจัย เช่น ยาในกลุ่มต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยใช้ในการป้องกันการติดเชื้อหลังผ่าตัด โดยเมื่อผ่าตัดเสร็จแล้วจะฝังนาโนไฟเบอร์ที่สลายได้ในร่างกายที่มียาต้านเชื้อแบคทีเรียอยู่ลงไป ยาต้านมะเร็งใช้การฝังเข้าไปในอวัยวะที่เป็นมะเร็ง ยาแก้ปวดและต้านการอักเสบมีการศึกษาโดยการพัฒนาเป็นแผ่นแปะผิวหนัง เป็นต้น⁴



รูปที่ 4 แสดงการ
ประยุกต์ใช้แผ่น
แปะแผล⁴



รูปที่ 5 แสดงเส้นใยนาโนไฟเบอร์
ที่มีการใช้ในการนำส่งยา¹²

การประยุกต์ด้านการกรองสาร

ในด้านการกรองสาร แผ่นเส้นใยที่ถักทอจากเส้นใยที่เล็กในระดับนาโนเมตร จะมีช่องว่างขนาดเล็กมากและสามารถกรองอนุภาคได้จำนวนมากกว่าหลายเท่าตัว แผ่นเส้นใยนาโนไฟเบอร์จึงสามารถนำมาใช้สร้างระบบกรองที่มีประสิทธิภาพสูง แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงผลของขนาดเส้นใยที่เล็กลงต่อประสิทธิภาพการกรองสาร¹⁰

นอกจากนี้ได้มีความพยายามนำเส้นใยนาโนมาเคลือบบนชุดเครื่องแบบทหาร (protective clothing) เพื่อป้องกันอาวุธทางชีวภาพ สารพิษทางเคมี นิวเคลียร์¹⁰

การประยุกต์ใช้ด้านอิเล็กทรอนิกส์

ในกรณีที่เส้นใยมีสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดีหรือสมบัติของสารกึ่งตัวนำ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์โดยเฉพาะเทคโนโลยีด้านตัวตรวจจับต่างๆ เช่น ตัวตรวจจับก๊าซ (gas sensor) ตัวตรวจจับความร้อน (thermal sensor) เป็นต้น¹⁰

การประยุกต์ใช้ด้านวัสดุศาสตร์

เส้นใยนาโนไฟเบอร์บางชนิดถูกนำไปเสริมกับวัสดุอื่นเพื่อให้มีสมบัติที่ดีขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติของเส้นใย เช่น เส้นใยนาโนคาร์บอน (carbon nanofibre) ซึ่งมีค่า Young's modulus และความแข็งแรง (strength) สูง อีกทั้งค่าแรงต้านทานแรงดึงตามยาว (tensile strength) ยังสูงกว่าเหล็กถึงประมาณ 3 เท่า ในขณะที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าเหล็กประมาณ 6 เท่า ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุเสริมโครงสร้างในวัสดุคอมโพสิตให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ลักษณะเกี่ยวกับการทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงมากขึ้นโดยการเสริมด้วยเหล็กเส้น และยังเป็นก้าวสำคัญในการนำไปประยุกต์ใช้ในยานอวกาศได้อีกด้วย¹⁰

การประยุกต์ใช้ด้านอื่นๆ

มีการนำนาโนไฟเบอร์ไปประยุกต์ใช้ในด้านอื่นๆ อีกเช่น เป็นวัสดุนำส่งยาฆ่าแมลงในทางเกษตรกรรม เป็นเส้นใยในเสื้อผ้าที่ผสมโลหะทำให้สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ เป็นต้น

สรุป

นาโนไฟเบอร์เป็นเส้นใยที่มีคุณสมบัติที่โดดเด่นคือมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง มีขนาดเล็ก มีความพรุนมาก มีค่าแรงต้านทานแรงดึงตามยาวสูง เป็นต้น ซึ่งในการผลิตนาโนไฟเบอร์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น drawing, template synthesis, phase separation, self-assembly และ electrospinning โดย กระบวนการอิเล็กโตรสปินนิ่งเป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน และสามารถควบคุมเส้นใยนาโนไฟเบอร์ ในแบบที่ต้องการได้โดยการควบคุมกระบวนการและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ด้วยคุณสมบัติที่โดดเด่นของนาโนไฟเบอร์นี้เอง ทำให้มีกระนำไปประยุกต์ใช้ในหลากหลายด้าน และทางด้านเภสัชกรรมมีความน่าสนใจในการพัฒนาเป็นระบบนำส่งยาแบบใหม่

เอกสารอ้างอิง

1. Ramakrishna S, Fujihara K, Teo WE, et al. An Introduction to Electrospinning and Nanofiber : Toh Tuck Link : Singapore. World Scientific Publishing, 2005: 1-42
2. Lim TC, Ramakrishna S. next-generation applications for polymeric nanofibres, In: Schulte J (ed) Nanotechnology global strategies, industry trend and applications. Great Britain: TJ International, 2005: 136-47
3. Sill TJ, von Recum HA. Electrospinning: Application in drug delivery and tissue engineering. Biomaterials 2008; 29: 1989-2006.
4. Huang ZM, Zhang YZ, Kotaki M, et al. A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. Composites Science and Technology 2003; 63: 2223–53.
5. Reneker DH Doshi J,. Electrospinning process and applications of electrospun fibers. Journal Electrostatics 1995; 35(2-3): 151-60.
6. Deitzel JM, Kleinmeyer J, Harris D, et al. The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles. Polymer 2001; 42(1): 261-72.
7. Megelski S, Stephens JS, Chase DB, et al. Micro- and nanostructured surface morphology on electrospun polymer fibers. Macromolecules 2002; 35(22): 8456-66.
8. Jaeger R, Bergshoef MM, Battle CMI, et al. Electrospinning of ultra-thin polymer fibers. Macromolecule Symp 1998; 127: 141-50.
9. Zhang CX, Yuan XY, Wu LL, et al. Study on morphology of electrospun poly(vinyl alcohol) mats. European Polymer Journal 2005 Mar; 41(3): 423-32.
10. Small and strong material group. สารความรู้เกี่ยวกับอิเล็กทรอนิกส์ (on line). Available at <http://physics.kku.ac.th/ssmg/wordpress/?p=525>. (August 2008).
11. บทความนาโน. นาโนไฟเบอร์ (Nanofiber) ความหวังใหม่ในการซ่อมแซมเซลล์สมอง(on line). Available at <http://www.thai-nano.com>. (August 2008).
12. Hongliang J, Yingqian H, Yan L, et al. A facile technique to prepare biodegradable coaxial electrospun nanofibers for controlled release of bioactive agent. Journal of Controlled Release 2005; 108: 237–243.
13. George JHS Shaffer MM and Stevens MM. Nanofibrous material for tissue engineering(on line) Available at <http://www.centropede.com/UKSB2006/ePoster/background.html>. (August 2008).

คำถาม

1. ข้อใดผิดเกี่ยวกับพอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์
 - ก. นาโนไฟเบอร์เป็นเส้นใยที่มีพื้นที่ผิวเมื่อเทียบกับปริมาตรสูง
 - ข. นาโนไฟเบอร์เป็นเส้นใยที่มีรูพรุนมาก
 - ค. นาโนไฟเบอร์บางชนิดมีค่าแรงต้านทานแรงดึงตามยาวสูง
 - ง. นาโนไฟเบอร์เป็นเส้นใยที่มีความยาวในระดับนาโนเมตร
 - จ. ผิดทุกข้อ

2. การผลิตนาโนไฟเบอร์ข้อใดถูก
 - ก. นาโนไฟเบอร์ที่ผลิตด้วยเทคนิค template synthesis มีลักษณะต่อเนื่องกัน
 - ข. นาโนไฟเบอร์ที่ผลิตด้วยเทคนิค drawing ต้องอาศัยแรงทางไฟฟ้า
 - ค. เทคนิค self-assembly สามารถเกิดได้ง่ายกับพอลิเมอร์ทุกชนิด
 - ง. เทคนิค phase separation ใช้หลักการเกี่ยวกับการละลาย
 - จ. เทคนิค electrospinning เพิ่งถูกค้นพบครั้งแรกเมื่อ 10 ปีที่แล้ว

3. เทคนิค electrospinning ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักข้อใดบ้าง
 1. แหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง
 2. ไมโครปีเปตขนาดไมโครเมตร
 3. วัสดุรองรับที่เป็นโลหะ
 4. แม่พิมพ์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางนาโนเมตร
 5. หลอดบรรจุสารละลายที่ติดเข็มโลหะ

ก. 3,4,5 ข. 1,2,5 ค. 1,3,5 ง. 1,4,5 จ. 2,3,4

4. จงเรียงลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงจากก่อนไปหลัง
 1. ให้ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงแก่สารละลายพอลิเมอร์
 2. สารละลายพอลิเมอร์พุ่งออกจากปลายเข็ม
 3. สารละลายพอลิเมอร์เปลี่ยนเป็นรูปโคนที่ปลายเข็ม
 4. เส้นใยพอลิเมอร์ซ้อนทับกันบน collector
 5. เกิดการระเหยของตัวทำละลาย

ก. 1,2,3,4,5 ข. 1,2,3,5,4 ค. 1,3,2,5,4 ง. 1,3,2,4,5 จ. 1,2,5,3,4

5. ความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิ่งจะส่งผลต่อสัญญาณวิทยาของเส้นใยอย่างไร
- เมื่อเพิ่มความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ทำให้เส้นใยที่ได้มีเส้นผ่าศูนย์กลางลดลง
 - เมื่อลดความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ทำให้เส้นใยที่ได้มีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น
 - เมื่อเพิ่มความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ทำให้เส้นใยที่ได้มีเส้นผ่าศูนย์กลางเพิ่มขึ้น
 - เมื่อลดความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ทำให้เส้นใยที่ได้มีเส้นผ่าศูนย์กลางคงเดิม
 - ไม่มีข้อใดถูก
6. ข้อใดกล่าวผิดเกี่ยวกับสารละลายพอลิเมอร์ที่นำมาผ่านกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิ่ง
- สารละลายพอลิเมอร์ทุกชนิดสามารถผ่านกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิ่งได้โดยตรง
 - พอลิเมอร์ที่ไม่สามารถละลายได้ด้วยตัวทำละลายไม่สามารถสปินได้
 - สารละลายพอลิเมอร์ที่มีประจุไม่สามารถสปินได้โดยตรง
- ก. 1 ข. 2. ค. 1,2 ง. 2,3 จ. 1,2,3
7. พอลิเมอร์ชนิดใดไม่นิยมใช้เป็นนาโนไฟเบอร์ทางการแพทย์
- ก. Poly lactic acid ข. Chitosan ค. Collagen
- ง. Polycaprolactone จ. Polyvinylcarbazole
8. ข้อใดถูกเกี่ยวกับพอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์ที่นำมาใช้ในการนำส่งสารต่างๆ
- สามารถบรรจุสารต่างๆ ได้มากเนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูง
 - การปลดปล่อยสารจากนาโนไฟเบอร์เกิดอย่างรวดเร็วในตอนแรก
 - การปลดปล่อยสารจากนาโนไฟเบอร์ไม่สามารถควบคุมได้
- ก. 1 ข. 2 ค. 1,2 ง. 1,3 จ. 1,2,3
9. การประยุกต์ใช้นาโนไฟเบอร์ข้อใดถูก
- การประยุกต์ใช้ทางการแพทย์นิยมใช้พอลิเมอร์ที่เข้ากันได้กับร่างกาย
 - นาโนไฟเบอร์สามารถกรองสารได้ดีกว่าไมโครไฟเบอร์
 - นาโนไฟเบอร์สามารถใช้เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับสารต่างๆ ได้
 - มีการใช้นาโนไฟเบอร์เป็นวัสดุเสริมแรงในยานอวกาศ
 - ถูกทุกข้อ

14 ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 เดือนธันวาคม 2551

10. ข้อใดถูกต้องเกี่ยวกับการนำนาโนไฟเบอร์ไปใช้ในทางเภสัชกรรม
1. สามารถนำนาโนไฟเบอร์ไปพัฒนาระบบนำส่งยาผ่านผิวหนัง
 2. เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิงใช้ได้กับสารที่ละลายตัวได้ง่าย เช่น ยา, สมุนไพร เป็นต้น
 3. ใช้พอลิเมอร์ที่เข้ากันได้กับร่างกาย และมีความเป็นพิษต่ำ
- ก. 1 ข. 2 ค. 1,2 ง. 1,3 จ. 1,2,3