

การเตรียมเส้นใยซิลเวอร์ด้วยกระบวนการปั่นแบบไฟฟ้าสถิตย์

The Preparation of Silver Fibers with Electrospinning Process

กาญจนา ลือพงษ์^{1*} รุ่งรัตติกาล สุดสะอาด² และ พรรณีภา สระทอง²

¹อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มทร.พระนคร กรุงเทพฯ 10300

²นักศึกษ สาขาวิชาเทคโนโลยีเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มทร.พระนคร กรุงเทพฯ 10300

บทคัดย่อ

การเตรียมเส้นใยซิลเวอร์ด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ อาศัยหลักการของการผลักกันของประจุไฟฟ้าในหยดสารละลายพอลิเมอร์ เมื่อค่าแรงไฟฟ้ามีค่าสูงกว่าแรงตึงผิวของสารละลายพอลิเมอร์จะทำให้สารละลายพอลิเมอร์พุ่งออกมาเป็นเส้นใยอย่างไม่มีทิศทางไปยังแผ่นรองรับ การศึกษานี้ทำการศึกษาตัวแปรหลัก 3 ตัว ในการเตรียมเส้นใยซิลเวอร์ โดยทำการศึกษาจากแรงดันไฟฟ้าในช่วง 6, 9, 12, 15 และ 18 กิโลโวลต์ ความเข้มข้นสารละลาย Ag^+ : PVA ร้อยละโดยน้ำหนัก ตั้งแต่ 1:10, 1:20 และ 1:30 และระยะทางระหว่างปลายเข็มถึงตัวรองรับเป็น 6, 7, 8, 9 และ 10 เซนติเมตร ตามลำดับ ผลการศึกษาที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และทดสอบการป้องกันแบคทีเรียตามมาตรฐาน AATCC 100-1999 (เชิงปริมาณ) และ AATCC 147-1998 (เชิงคุณภาพ) พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการฉีดเส้นใย คือ แรงดันไฟฟ้า 18 กิโลโวลต์ ความเข้มข้นของ Ag^+ : PVA เท่ากับร้อยละ 1:20 โดยน้ำหนัก ระยะระหว่างปลายหัวฉีดกับฉากรับเส้นใย 7 เซนติเมตร เส้นใยที่ได้มีความต่อเนื่อง สม่ำเสมอ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 183.3 นาโนเมตร สามารถป้องกันแบคทีเรียได้

Abstract

The preparation of silver fiber with electrospinning process was a principle to impulse the iron within the polymer solution. The polymer solution jetted onto the ground collector in nonwoven form, when the electric charge was higher than the polymer surface tension. This research had 3 key factors consideration, that were electric power supply, polymer concentration and length between needle tip and aluminum ground collector. The electric voltage was 6, 9, 12, 15 and 18 kilovolt, the ratio of Ag^+ : polymer solution (%wt) was 1:10, 1:20 and 1:30, and the length between needle tip and aluminum foil collector was 6, 7, 8, 9 and 10 centimeter, respectively. The fibers obtained were investigated and compared to the fiber morphology by Scanning Electron Microscope and the anti-bacteria test via AATCC test method 100-1999 (Quantitative) and 147-1998 (Quality). The optimal electrospinning condition was 18 kilovolt, the ratio of Ag^+ : PVA (%wt) was 1:20 at length 7 centimeter. The fibers were continuous, average diameter as 183.3 nanometer, and available to against bacteria.

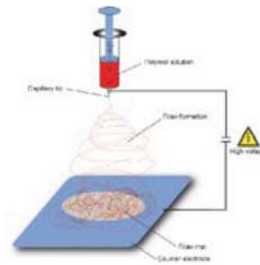
คำสำคัญ : เส้นใยซิลเวอร์ การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ สัณฐานวิทยา การป้องกันแบคทีเรีย

Keywords : Silver Fiber, Electrospinning, Morphology, Anti-bacteria

1. บทนำ

กระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นกระบวนการปั่นแบบหลอมเหลว (Melt spinning) และกระบวนการปั่นแบบเปียก (Wet spinning) แต่เมื่อความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมีมากขึ้นทำให้การคิดค้นและพัฒนาเส้นใยให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มผิวสัมผัส และสามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง จึงมีการนำเทคโนโลยีการผลิตเพื่อให้ได้เส้นใยขนาดเล็กเข้ามา ในปัจจุบันเส้นใยนาโนที่เตรียมมาจากกระบวนการแบบไฟฟ้าสถิตย์ (Electrospinning) ได้มีการพัฒนาและนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายทั้งด้านการแพทย์ (Bolgen N., Mencelog lu Y.Z., Acatay K., Vargel I., Piskin E., 2007., Wang Y, Yang Q., Shan G., Wang C., Du J., Wang S., Li Y., Chen X., Jing X., and Yen W., 2005) การทำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Stasiak M., Roben C., Rosenberger N., Schleth F., Studer A., Greiner A., and Wendorff J.H., 2007., Stasiak M., Studer A., Greiner A., and Wendorff J.H., 2007) การนำมาใช้เป็นตัวกลางเพื่อกรองอนุภาคขนาดเล็ก (Caricato A P., Capone S., Ciccarella G., Martino M., Rella R., Romano F., Spadavecchia J., Taurino A., Tunno T., and Valerini D., 2007) (Wang Y., Yang Q., Shan G, Wang C., Du J., Wang S., Li Y., Chen X., Jing X., and Yen W., 2005) (Maze B., Vahedi Tafreshi H., Wang Q., and Pourdeyhimi B., 2007) (Gopal R., Kaur S., Ma Z., Chan C., Ramakrishna S., and Matsuura T., 2007) และการทำเยื่อเลือก

ผ่าน (เมมเบรน) (Kim J., Nam S., Rhee M., Park H., and Park H., 2007)



ที่มา: <http://www.uni-marburg.de/fb15/ag-wendorff/research/Electrospinning/es-setup>

รูปที่ 1 กระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิตย์

หลักการของการฉีดเส้นใยด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ (Electrospinning) เป็นการให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงแก่สารละลายพอลิเมอร์ เนื่องจากในสารละลายพอลิเมอร์จะมีการผลักรันของประจุไฟฟ้าทำให้เกิดหยดสารละลายพอลิเมอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลมเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจะมีลักษณะเป็นทรงกรวย ที่ยอดโคนจะมีการสะสมประจุเพิ่มมากขึ้นทำให้แรงประจุไฟฟ้าขณะแรงดึงผิว ทำให้สารละลายพอลิเมอร์ไหลออกมาเป็นเส้นไปยังแผ่นรองรับเป็นเส้นใยแบบไม่ทอ ด้วยเหตุนี้ผู้ศึกษาจึงต้องการศึกษาการเตรียมเส้นใยซิลเวอร์ด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ เพื่อเป็นทางเลือกใหม่สำหรับการนำเส้นใยไปใช้งาน

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์

เตรียมพอลิเมอร์ผสมจากปริมาณอนุภาคเงิน ร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก กับ PVA ร้อยละ 10,

20 และ 30 โดยน้ำหนัก จากนั้นเติมน้ำกลั่นจนครบ 100 นำพอลิเมอร์ที่ได้ปั่นด้วยเครื่องปั่นสาร (Harmony Hotplate Stirrer) ด้วยความเร็วรอบ 100 รอบ/นาทีเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จนกระทั่งได้พอลิเมอร์ใส ชันเป็นเนื้อเดียวกัน

2.2 การทบทวนที่เหมาะสมในการฉีดยา

2.2.1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเข้มข้นของสารละลาย

1. นำสารละลายที่เตรียมจากข้อ 2.1 ใส่ลงในกระบอกฉีดยาขนาด 5 มิลลิลิตรเข็มฉีดยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.55 มิลลิเมตร กำหนดระยะระหว่างปลายเข็มกับตัวรองรับที่หุ้มด้วยกระดาษพอยด์เท่ากับ 7 เซนติเมตร ปรับแรงดันไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูง (High Voltage) ขนาด 6 กิโลโวลต์ แล้วฉีดยาด้วยความเข้มข้นของอนุภาคเงินต่อสารละลายพอลิเมอร์ 1:10, 1:20, และ 1:30 ตามลำดับ

2. ทดลองซ้ำตามข้อ 1 โดยเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเป็น 9, 12, 15 และ 18 กิโลโวลต์

3. สังเกตลักษณะการฉีดยาและการกระจายตัวของเส้นใยบนแผ่นรองรับ และนำเส้นใยที่ได้ไปวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

4. จากข้อ 3 เลือกแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมจากลักษณะเส้นใยที่มีการกระจายตัวสม่ำเสมอ ต่อเนื่อง ตรง พื้นผิวเรียบสม่ำเสมอ เกิดเม็ดในเส้นใยน้อย มาทำการทดลองต่อไป

2.2.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะระหว่างปลายหัวฉีดกับฉากรับเส้นใย

1. นำสารละลายที่เตรียมจากข้อ 2.1 ใส่ลงในกระบอกฉีดยาขนาด 5 มิลลิลิตรเข็มฉีดยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.55 มิลลิเมตร กำหนดความเข้มข้นของอนุภาคเงินต่อสารละลายพอลิเมอร์ 1:20 โดยกำหนดแรงดันไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูง (High-Voltage) จากข้อ 2.2.1 ทำการฉีดยาที่ระยะระหว่างปลายหัวฉีดกับฉากรับเส้นใยที่ 6 เซนติเมตร

2. ทดลองซ้ำตามข้อ 1 โดยเปลี่ยนระยะในการฉีดยาเป็น 7, 8, 9 และ 10 เซนติเมตร

3. สังเกตลักษณะเส้นใยและการกระจายตัวของเส้นใยบนแผ่นรองรับ และนำเส้นใยที่ได้ไปวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

4. จากข้อ 3 เลือกระยะระหว่างปลายหัวฉีดกับฉากรับเส้นใยที่เหมาะสมจากลักษณะเส้นใยที่มีการกระจายตัวสม่ำเสมอ ต่อเนื่อง ตรง พื้นผิวเรียบสม่ำเสมอ เกิดเม็ดในเส้นใยน้อย มาทำการทดลองต่อไป

2.2.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสารละลายกับระยะระหว่างปลายหัวฉีดกับฉากรับเส้นใย

1. นำผลการทดลองที่แล้ว มาทำการทดลองขั้นตอนต่อไป

2. นำสารละลายที่เตรียมจากข้อ 2.1 ใส่ลงในกระบอกฉีดยาขนาด 5 มิลลิลิตรเข็มฉีดยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.55 มิลลิเมตร โดยปรับแรงดันไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแรงสูงตามข้อ 2.2.1 ระยะห่างในการฉีดยาตามข้อ 2.2.2 ทำการฉีดยาที่ความเข้มข้นของอนุภาคเงินต่อสารละลายพอลิเมอร์ 1:10, 1:20 และ 1:30 ตามลำดับ

3. สังเกตลักษณะการฉีดเส้นใยและการกระจายตัวของเส้นใยบนแผ่นรองรับด้วยสายตา และนำเส้นใยที่ได้ไปทำการวิเคราะห์พื้นฐานวิทยา

2.3 การทดสอบสมบัติทางกายภาพ

เพื่อดูลักษณะเส้นใย การกระจายตัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความต่อเนื่องของเส้นใย ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) Hitachi รุ่น S-510

2.4 การทดสอบการป้องกันแบคทีเรีย (Anti-Bacterial)

ทดสอบการป้องกันแบคทีเรีย Staphylococcus Aureus ตามมาตรฐาน AATCC Test

Method 100-1999 (เชิงปริมาณ) และ AATCC Test Method 147-1998 (เชิงคุณภาพ) โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลาย Ag^+ : PVA 1:20 ร้อยละโดยน้ำหนัก ทดสอบบนวัสดุ 2 ประเภท คือการฉีดเส้นใยลงบนกระดาษฟอยด์ และผ้าท่วนสีดำ เพื่อดูผลความแตกต่างบนวัสดุรองรับ สำหรับการประยุกต์ใช้งานต่อไป

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับอัตราส่วนสารละลาย

เพื่อหาแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยซิลเวอร์ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับตัวรองรับที่หุ้มด้วยกระดาษฟอยด์ เท่ากับ 7 เซนติเมตร

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับอัตราส่วนสารละลาย

| ตัวกำเนิดไฟฟ้าแรงสูง (kv) | อัตราส่วน Ag ⁺ : PVA (%w/w) | ลักษณะวิทยา |
|---------------------------|--|--|
| 6 | 1:10 | เกิดหยดสารละลายกระจายตัวบนแผ่นรองรับ |
| | 1:20 | เกิดเส้นใยลักษณะไม่ต่อเนื่อง มีหยดสารละลาย (Bead) ขนาดใหญ่ภายในเส้นใย |
| | 1:30 | ไม่สามารถฉีดเส้นใยได้ |
| 9 | 1:10 | เกิดเส้นใยลักษณะไม่ต่อเนื่อง มีหยดสารละลาย (Bead) ขนาดใหญ่ภายในเส้นใย |
| | 1:20 | เกิดเส้นใยต่อเนื่องมีการเรียงซ้อนกันแบบไม่เป็นระเบียบ มี Bead เกิดบนเส้นใยจำนวนมาก |
| | 1:30 | ไม่สามารถฉีดเส้นใยได้ |
| 12 | 1:10 | เกิดเส้นใยไม่ต่อเนื่องมีการเรียงซ้อนกันแบบไม่เป็นระเบียบ มี Bead ขนาดใหญ่บนเส้นใย |
| | 1:20 | เกิดเส้นใยต่อเนื่องมีการเรียงซ้อนกันแบบไม่เป็นระเบียบ Bead มีขนาดเล็กกลาง |
| | 1:30 | ไม่เกิดอนุภาคเส้นใย |
| 15 | 1:10 | เกิดเส้นใยไม่ต่อเนื่องมีการเรียงซ้อนกันแบบไม่เป็นระเบียบ พบ Bead ขนาดใหญ่บนเส้นใย |
| | 1:20 | เส้นใยซ้อนทับกันอยู่ พบ Bead ขนาดเล็กมากบน เส้นใย |
| | 1:30 | ไม่เกิดอนุภาคเส้นใย |
| 18 | 1:10 | เกิดเป็นเส้นใยสั้นมี Bead ขนาดใหญ่ในเส้นใย |
| | 1:20 | เส้นใยเรียวยาว พื้นผิวเรียบสม่ำเสมอเป็นเส้นเล็ก ๆ ที่ซ้อนทับกันอยู่ |
| | 1:30 | ไม่เกิดอนุภาคเส้นใย |

หมายเหตุ : Bead คือ เม็ดสารละลายที่เกิดจากการยึดตัวของสารละลายพอลิเมอร์แบบไม่สมบูรณ์

จากตารางที่ 1 พบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและอัตราส่วนสารละลายดังนี้

- แรงดันไฟฟ้าต่ำ (6 และ 9 กิโลโวลต์) และความเข้มข้นสารละลายอัตราส่วน Ag⁺: PVA เท่ากับ 1:10 %w/w พบเฉพาะหยดสารละลายกระจายทั่วไปบนตัวรองรับ มีเม็ดใน

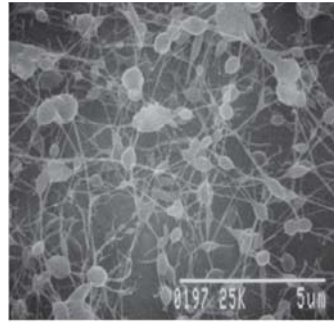
เส้นใย หรืออาจเป็นอนุภาคของสารละลาย ไม่เหมาะในการเตรียมเส้นใยซิลเวอร์ผลที่ได้จากการทดลองของ Ji-Huan He (Ji-Huan He, Yu-Qin Wan and Jian-Yong Yu, 2008)

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายเป็น 1:20 %w/w เกิดหยดสารละลายกระจายบนตัวรองรับ

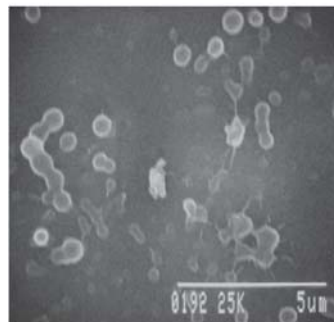
เช่นเดียวกันกับความเข้มข้น 1:10 %w/w แต่สารละลายบางส่วนสามารถดึงยึดเป็นเส้นใยที่มีหยดสารละลายขนาดใหญ่ ตามทฤษฎีของ S.H. Tan (S- H.Tan, R. Inai, M. Kotaki, and S. Ramakrishna, 2005)

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าไม่สามารถเอาชนะค่าแรงตึงผิวของสารละลาย สารละลายที่ได้ไม่สามารถดึงยึดเป็นเส้นใยได้

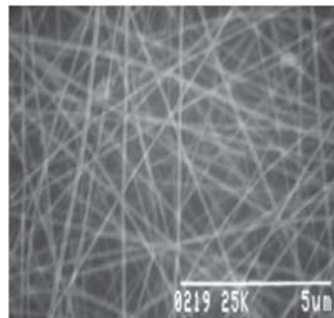
- พิจารณาแรงดันไฟฟ้าที่ 12, 15 และ 18 กิโลโวลต์ ความเข้มข้นสารละลายต่ำ เกิดการดึงยึดเป็นเส้นใยกระจายทั่วไปบนแผ่นรองรับ แต่เกิดหยดสารละลายภายในเส้นใยเช่นเดียวกัน เส้นใยที่ได้ไม่ต่อเนื่อง หยดสารละลายลดลง แต่ความต่อเนื่องของเส้นใยเพิ่มขึ้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ อัตราส่วนสารละลายเท่ากับ 1:20 %w/w ได้เส้นใยมีความต่อเนื่อง หยดสารละลายภายในเส้นใยเล็กน้อย ไม่เกิดหยดสารละลายกระจายบนแผ่นรองรับ ได้เส้นใยมีความสม่ำเสมอไม่มีหยดสารละลายในเส้นใยเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเป็น 18 กิโลโวลต์



ก) 12 kV, 1:10



ข) 18 kV, 1:10



ค) 18 kV, 1:20

รูปที่ 2 ความสัมพันธ์แรงดันไฟฟ้า และความเข้มข้นของสารละลาย

ลักษณะเส้นใยที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและความเข้มข้นสารละลาย แสดงดังรูปที่ 1 ผลการศึกษาที่มีความสอดคล้องตามทฤษฎีของ J.M. Deitzel (J.M. Deitzel, J. Kleinmeyer, D. Harris, N.C. Beck Tan, 2001) กล่าวคือ ขนาดแรงดันที่เพิ่มขึ้น ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ใช้ปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์มากขึ้นด้วย ส่งผลให้อัตราการไหลของมวลสารละลายจากปลายเข็มไปยังฐานรองรับเร็วขึ้น ทดในสารละลายมีขนาดเล็กลง สามารถดึงยึดเป็นเส้นใยมีความสม่ำเสมอ มีผิวเส้นใยเรียบ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนสารละลายเป็น 1:30 ในทุกกรณีไม่เกิดอนุภาคใด ๆ บนแผ่นรองรับเนื่องจากสารละลายความเข้มข้นสูงไม่สามารถผ่านช่องว่างของอุปกรณ์นำไฟฟ้า (เข็มฉีดยา) ได้

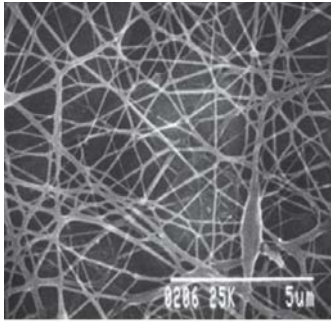
จากผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและอัตราส่วน $Ag^+ : PVA$ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยซิลเวอร์สามารถสรุปได้ว่า แรงดันไฟฟ้า 18 กิโลโวลต์ และอัตราส่วน $Ag^+ : PVA$ เท่ากับ 1:20 มีความเหมาะสมในการเตรียมเส้นใย สามารถทำให้เกิดการยึดตัวของสารละลายเป็นเส้นได้ ไม่เกิดเม็ดสารละลายในเส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 183.3 นาโนเมตร ใยมีความต่อเนื่องสม่ำเสมอ มีเม็ดในเส้นใยเล็กน้อย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 183.3 นาโนเมตร เนื่องจากมีความหนืดที่เหมาะสมต่อค่าแรงดันไฟฟ้าพอลิเมอร์มีการกระจายตัวที่ดี

3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับระยะระหว่างปลายหัวฉีดกับฉากรับเส้นใย

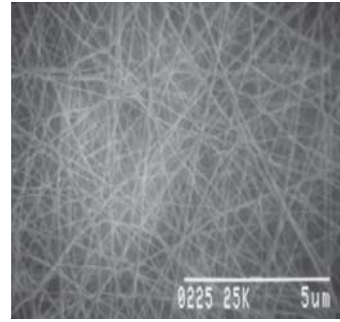
เพื่อหาระยะระหว่างปลายหัวฉีดกับฉากรับเส้นใย โดยกำหนดแรงดันไฟฟ้าที่ 18 กิโลโวลต์ และอัตราส่วน $Ag^+ : PVA$ เท่ากับ 1:20 ทำการสังเกตในรัศมีการกระจายตัว 5 เซนติเมตรรอบหัวฉีดเส้นใย

ตารางที่ 2 การหาระยะในการฉีดเส้นใย สำหรับการเตรียมเส้นใยซิลเวอร์

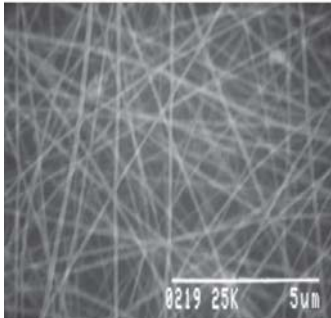
| ระยะระหว่างปลายหัวฉีดกับฉากรับเส้นใย (cm) | ลักษณะวิทยา |
|---|---|
| 6 | เส้นใยเรียงซ้อนทับกัน พื้นผิวไม่เรียบ มีเม็ดในเส้นใย มี bead ในเส้นใยเล็กน้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 101.9 นาโนเมตร |
| 7 | เส้นใยเรียวยาว พื้นผิวเรียบสม่ำเสมอเป็นเส้นเล็ก ๆ ซ้อนทับกันอย่างหนาแน่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 183.3 นาโนเมตร |
| 8 | เส้นใยเรียงซ้อนทับกันผิว ความหนาแน่นของเส้นใยน้อยลง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 138.9 นาโนเมตร |
| 9 | เส้นใยเรียงซ้อนทับกัน ความหนาแน่นของเส้นใยน้อยลง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 96.3 นาโนเมตร |
| 10 | เส้นใยมีขนาดเล็กเรียงซ้อนทับกัน ความหนาแน่นของเส้นใยน้อยลงมาก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 94.5 นาโนเมตร |



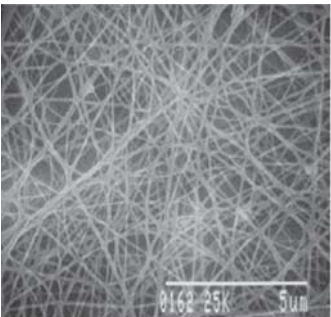
ก) 6 ซม.



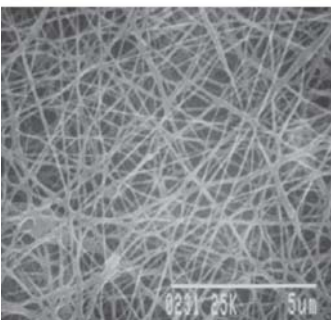
จ) 10 ซม.



ข) 7 ซม.



ค) 8 ซม.



ง) 9 ซม.

รูปที่ 3 ลักษณะเส้นใยที่ฉีดด้วยแรงดันไฟฟ้า 18 กิโลโวลต์

จากตารางที่ 2 พบว่าระยะระหว่างปลายหัวฉีดกับฉากรองรับกับขนาดเส้นใยมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ การเพิ่มระยะในการฉีดเส้นใยส่งผลให้เส้นใยที่ได้มีขนาดเล็กลง ปรากฏการณ์นี้เกิดเนื่องมาจากมีระยะการยึดตัวของเส้นใยมากขึ้นและเส้นใยมีเวลาที่ใช้แข็งตัวมากขึ้น ถ้าหากระยะในการฉีดเส้นใย, ความเข้มข้น และแรงดันไฟฟ้าเหมาะสมมีค่ามากพอที่จะชนะแรงตึงผิวของสารละลายได้จะทำให้เส้นใยที่ได้มีความสม่ำเสมอ เกิดเม็ดในเส้นใยน้อย ตามการทดลองของ X. M. Mo (X.M. Mo, C.Y. Xu, M. Kotaki, and S. Ramakrishna, 2004)

แต่ในการศึกษาพบว่าความหนาแน่นของเส้นใยบริเวณที่สังเกตลดลงด้วย แต่มีรัศมีการฉีดเส้นใยเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเส้นใยที่เกิดจากกระบวนการฉีดแบบอิเล็กโตรสปินนิงนี้เป็นการเกิดเส้นใยแบบสุ่มไม่สามารถกำหนดทิศทางและพื้นที่ในการเกิดเส้นใยได้อย่างแน่นอน เมื่อเพิ่มระยะในการฉีดเส้นใยเพิ่มมากขึ้น พื้นที่ในการฉีดเส้นใยจึงเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการกระจายตัวเป็นรัศมีวงกว้างมากขึ้น

3.3 การทดสอบการป้องกันแบคทีเรีย (Anti-Bacterial)

ตามมาตรฐานทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ตามมาตรฐาน AATCC Test Method 100-1999 (Quantitative) และ AATCC Test Method 147-1998 (Quality) อัตราส่วนสารละลาย Ag⁺: PVA เท่ากับ 1:20

ตารางที่ 3 การป้องกันแบคทีเรียเชิงปริมาณ

| ตัวอย่าง | ปริมาณแบคทีเรีย (พื้นที่/ชิ้นตัวอย่าง) | | การป้องกันแบคทีเรีย (%) |
|-------------|--|------------------|-------------------------|
| | เริ่มต้น | หลังเพาะเชื้อ | |
| กระดาษฟอยด์ | 1.71x10 ⁵ | >10 ⁶ | 0 |
| ผ้าตัวน | 1.77x10 ⁵ | >10 ⁶ | 0 |

หมายเหตุ : ทำการเพาะเชื้อตัวอย่าง 24 ชม.

ตารางที่ 4 การป้องกันแบคทีเรียเชิงคุณภาพ

| ตัวอย่าง | ผลการศึกษา | ลักษณะ |
|-------------|---|---|
| กระดาษฟอยด์ | ไม่พบการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย บริเวณทดสอบ |  |
| ผ้าตัวน | ไม่พบการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย บริเวณทดสอบ |  |

การทดสอบการป้องกันแบคทีเรีย Staphylococcus Aureus พบว่า เส้นใยซิลเวอร์ที่ฉีดลงบนกระดาษฟอยด์และผ้าตัวนสีดำนั้นว่า อัตราร้อยละการยับยั้งแบคทีเรียเป็น 0 แสดงว่าเส้นใยซิลเวอร์ไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ แต่มีความสามารถป้องกันแบคทีเรียได้ในพื้นที่ที่มีเส้นใยเนื่องจากไม่พบการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในบริเวณที่ทำการควบคุม

4. สรุป

4.1 สรุปผลการทดลอง

เส้นใยซิลเวอร์สามารถเตรียมด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ได้ เส้นใยที่ได้มีความต่อเนื่อง สม่ำเสมอ สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใย คือ แรงดันไฟฟ้า 18 กิโลโวลต์ อัตราส่วน Ag⁺: PVA เท่ากับ 1:20 ร้อยละโดยน้ำหนัก และระยะระหว่างปลายหัวฉีดกับฉากรับเส้นใยเท่ากับ 7 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 183.3 นาโนเมตร ผลการฉีดเส้นใยขึ้นกับปริมาณความเข้มข้นสารละลาย แรงดันไฟฟ้า และระยะในการยืดตัวของสารละลาย เส้นใยที่ได้สามารถป้องกันการเกิดแบคทีเรียชนิด Staphylococcus Aureus ตามมาตรฐาน AATCC Test Method 147-1998

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยเพิ่มอัตราส่วนของอนุภาคเงิน (Ag⁺) เพื่อศึกษาผลเพิ่มเติมในการยับยั้งแบคทีเรีย
2. ปรับเทคนิคการฉีดเส้นใย โดยใช้การฉีดเส้นใยแบบไร้เข็ม (Needless) เพื่อช่วยให้อนุภาคเงินสามารถออกมากับสารละลายพอลิเมอร์ได้มากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการในงานเคมีสิ่งทอเรื่องการเตรียมเส้นใยซิลเวอร์ ด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ได้รับเงินสนับสนุนทุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และความอนุเคราะห์สารเคมีและผลการทดสอบจากบริษัท ดิทีแอสเมท์ จำกัด

6. เอกสารอ้างอิง

- Bolgen N., Mencilog lu Y.Z., Acatay K., Vargel I., Piskin E., 2007. **In vitro and in vivo degradation of non-woven materials made of poly (ϵ -caprolactone) nanofibers prepared by electrospinning under different conditions**, J. Bio. Sci., **16**: 1537-1555.
- Wang Y., Yang Q., Shan G., Wang C., Du J., Wang S., Li Y., Chen X., Jing X., and Yen W., 2005, **Preparation of silver nano particles dispersed in polyacrylonitrile nanofibers film spun by electrospinning**, Mater. Lett., **59**: 3046-3049.
- Stasiak M., Roben C., Rosenberger N., Schleth F., Studer A., Greiner A., and Wendorff J.H., 2007. **Design of polymer nanofiber systems for the immobilization of homogeneous catalysts - Preparation and leaching studies**, Polym. J., **48**: 5208-5218.
- Stasiak M., Studer A., Greiner A., and Wendorff J.H., 2007. **Polymer fibers as carriers for homogeneous catalysts**, Eur. J. Inorg. Chem, **13**: 6150-6156.
- Caricato A.P., Capone S., Ciccarella G., Martino M., Rella R., Romano F., Spadavecchia J., Taurino A., Tunno T., and Valerini D., 2007. **TiO₂ nanoparticle thin film deposition by matrix assisted pulsed laser evaporation for sensing applications**, Appl. Surf. Sci., **253**: 7937-7941.
- Wang Y., Yang Q., Shan G, Wang C., Du J., Wang S., Li Y., Chen X., Jing X., and Yen W, 2005. **Preparation of silver nanoparticles dispersed in polyacrylonitrile nanofibers film spun by electrospinning**, Mater. Lett. **59**: 3046-3049.
- Maze B., Vahedi Tafreshi H., Wang Q., and Pourdeyhimi B., 2007. **A simulation of unsteady-state filtration via nanofiber media at reduced operating pressures**, Aerosol Sci, **38**: 550-571.
- Gopal R., Kaur S., Ma Z., Chan C., Ramakrishna S., and Matsuura T., 2007. **Electrospun nanofibrous filtration membrane**, J. Memb. Sci., **281**: 581-586.
- Kim J., Nam S., Rhee M., Park H., and Park H., 2007. **Preparation and characterization of antimicrobial polycarbonate nanofibrous membrane**, Eur. Polym. J., **43**: 3146-3152.
- Ji-Huan He, Yu-Qin Wan and Jian-Yong Yu. 2008. **Effect of concentration on electrospun polyacrylonitrile (PAN) nanofibers**. Fibers and Polymers., **9**: 140-142.

- S-H. Tan, R. Inai, M. Kotaki, S. Ramakrishna. 2005. **Systematic parameter study for ultra-fine fiber fabrication via electrospinning process.** *Polymer*. **46**: 6128-6134.
- J.M. Deitzel, J. Kleinmeyer, D. Harris, N.C. Beck Tan. 2001. **The effect of processing variables on the morphology of electrospun nanofibers and textiles.** *Polymer*. **42**: 261-272.
- X.M. Mo, C.Y. Xu, M. Kotaki, and S. Ramakrishna, 2004. **Electrospun P(LLA-CL) nanofiber: a biomimetic extracellular matrix for smooth muscle cell and endothelial cell proliferation,** *Biomaterials*, **25**: 1883-1890.