

การสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพลิเมอร์แบบนาโนไฟเบอร์โดยเทคนิคการปั่น
เส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ปริญญานิพนธ์

ของ

ภัทรพงศ์ ชำคม

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

กุมภาพันธ์ 2551

การสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพลิเมอร์แบบนาโนไฟเบอร์โดยเทคนิคการปั่น
เส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

บทคัดย่อ
ของ
ภัทรพงศ์ ชำคม

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
กุมภาพันธ์ 2551

ภัทรพงศ์ ขำคม. (2551). การสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพลิเมอร์แบบนาโนไฟเบอร์โดย
เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต. ปริญญาโท กศ.ม. (ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ :
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : อาจารย์
ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์ , อาจารย์ศุภลักษณ์ อ่างแก้ว.

การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เป็นเทคนิคในการเตรียมเส้นใยแบบนาโน เนื่องจากอุปกรณ์
ที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตในปัจจุบันมีราคาสูง
ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะสร้างอุปกรณ์นี้ขึ้นด้วยต้นทุนต่ำ ชุดอุปกรณ์การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต
ประกอบด้วย 3 ชิ้นส่วนหลัก คือ อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง อุปกรณ์รองรับเส้นใย และอุปกรณ์
ควบคุมอัตราการไหล ทั้งนี้อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูงถือเป็นอุปกรณ์ส่วนหลักที่มีราคาแพง
ดังนั้นงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการสร้างอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูงที่มีต้นทุนต่ำ ซึ่งอุปกรณ์นี้จะ
ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 3 ส่วน คือ วงจรที่สามารถเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้า
กระแสตรง วงจรแปลงศักย์ไฟฟ้าให้สูงขึ้น และวงจรที่สามารถควบคุมศักย์ไฟฟ้าที่ผลิตได้(ควบคุม
กระแสไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเสียหายที่เกิดกับเครื่องมือ) อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูงที่สร้างขึ้นมี
2 รุ่น คือ รุ่นที่ 1 พัฒนามาจากการใช้ขดลวดจ่ายไฟแรงสูงในรถยนต์ ทำให้ได้อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้า
โวลต์เตจสูงสำหรับอุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ ที่ปรับค่าความต่างศักย์ในการใช้งานจริง
สูงสุด 10 กิโลโวลต์ ส่วนอุปกรณ์ รุ่นที่ 2 พัฒนามาจากหม้อแปลงฟลายแบ็คจากโทรทัศน์ ทำให้
ได้อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูงสำหรับอุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ที่ปรับค่าความต่างศักย์
ในการใช้งานจริงสูงสุดถึง 25 กิโลโวลต์ ส่วนอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลที่สร้างขึ้น ประกอบด้วย
สกรู (ควบคุมอัตราเร็วในการหมุนโดยสเตปมอเตอร์) เพื่อผลักและควบคุมปริมาณของสารละลายโพลิ
เมอร์ที่พุ่งออกมา อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้า
สถิตทั้ง 2 รุ่น ถูกนำมาทดสอบกับสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อศึกษาผลกระทบของ
พารามิเตอร์ต่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยและสัญญาณวิทยาของเส้นใยโพลิเมอร์ที่ได้
โดยตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการนำมาพิจารณา ได้แก่ ศักย์ไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและ
อุปกรณ์รองรับเส้นใย และความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์

THE CONSTRUCTION OF ELECTROSPINNING EQUIPMENT FOR MAKING
POLYMER NANOFIBERS

AN ABSTRACT
BY
PHATTHARAPHONG KHUMKHOM

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Education degree in Physics
at Srinakharinwirot University
February 2008

Phattharaphong Khumkhom. (2008). *The Construction of Electrospinning Equipment for Making Polymer Nanofiber*. Master thesis, M.Ed. (Physics). Bangkok : Graduate school, Srinakharinwirot University.

Advisor Committee : Lecturer Siriluk Ruangrungle , Lecturer Suppalak Angkaew.

Electrospinning has become a powerful technique for preparing number of nanofibers including polymers. Since this equipment is a very expensive unit, it is then preferable to seek for a low cost and home-built one with comparable quality. Electrospinning equipment consists of three main components; the high voltage power supply (HVPS) unit, the collector screen, and the syringe pump. The HVPS unit is a key component while its cost normally determines total cost of the equipment. This work presents a construction and testing of home-built electrospinning equipments using low cost transformers as the high voltage power supply. Three electronic parts were assembled into a HVPS unit i.e. an AC/DC converter, a high voltage transformer, an output voltage controller (a current stabilizer with overload shutdown protection). Two versions of the HVPS units were created. The first version used a coil from automobile ignition unit which yields maximum usable potential up to 10 kV, and the second one used a flyback transformer from a television set which gives maximum usable potential up to 25 kV. The syringe pump with a flow rate controller was also constructed. The unit uses a driving screw (speed controlled by a step-motor) to push and inject small volume of polymer solution. Both versions of the equipments were used to produce polymer nanofibers and evaluate the electrospinning capability. Moreover, size and morphology of the poly(vinyl alcohol) nanofibers electrospun from our home-built equipment were studied as functions of various physical parameters such as electric potential, distance between syringe and collector, and polymer concentration.

การสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพลิเมอร์แบบนาโนไฟเบอร์โดยเทคนิคการปั่น
เส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ปริญญานิพนธ์
ของ
ภัทรพงศ์ ชำคม

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
กุมภาพันธ์ 2551
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพลิเมอร์แบบนาโนไฟเบอร์โดยเทคนิคการปั่น
เส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ของ
ภัทรพงศ์ ชำคม

ได้รับการอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญสิริ จีระเดชากุล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2551

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ประธาน
(อาจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์)

.....ประธาน
(รองศาสตราจารย์ อรุณีย์ อินทศร)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศุภลักษณ์ อ่างแก้ว)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศุภลักษณ์ อ่างแก้ว)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี เป็นเพราะผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก อาจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์ ประธานควบคุมปริญญานิพนธ์ และอาจารย์ศุภลักษณ์ อ่างแก้ว ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไข ตลอดจนช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์อรุณีย์ อินทสร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ที่ได้ร่วมเป็นกรรมการสอบปากเปล่า และกรุณาให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้แก่ผู้วิจัยในการศึกษาตามหลักสูตร การศึกษามหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ ซึ่งทำให้ผู้วิจัยรู้ว่าการศึกษาระดับปริญญาโทของผู้วิจัยนั้นมิได้สิ้นสุดลงเพียงการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลงได้ หากผู้วิจัยได้ซึมซับกระบวนการเรียนรู้ที่ผ่านมา ให้กลายเป็นการเรียนรู้ที่ต้องสืบเนื่องต่อไปอย่างไม่สิ้นสุด และจะต้องนำความรู้นั้นไปยังประโยชน์แก่ผู้อื่นต่อไป

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท วิชาเอกฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ ขอโน้มรำลึกพระคุณของบิดา มารดา และทุก ๆ คนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจ และการสนับสนุนในการศึกษาของข้าพเจ้า จนสามารถทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ภัทรพงศ์ ขำคม

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัย
จาก
งบประมาณเงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปี 2550

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	2
ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง.....	4
ทฤษฎี.....	4
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
3 วัสดุอุปกรณ์ และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	32
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	32
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	32
4 ผลการทดลอง.....	39
5 สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ.....	53
สรุปผลการทดลอง.....	53
อภิปรายผลการทดลอง.....	54
ข้อเสนอแนะ.....	54
บรรณานุกรม.....	55
ภาคผนวก.....	59
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	65

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1 ความตึงผิวของของเหลวที่สัมผัสอากาศ.....	11
2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ของสารละลาย โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 4%โดยน้ำหนัก โดยระยะห่างระหว่าง หลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใย 20 เซนติเมตร ที่ได้จาก การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต.....	47
3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 4%โดยน้ำหนัก โดยที่ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ที่ได้จากการเตรียม เส้นใยโพลิเมอร์โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต.....	49
4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ โดยระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับ เส้นใย 20 เซนติเมตร ที่ได้จากการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์โดยใช้เทคนิคการปั่น เส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต.....	51

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1 อุปกรณ์ตุลการบิดของคูลอมบ์.....	4
2 แรงไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้า q_1 กระทำกับ q_2	6
3 ทิศของสนามไฟฟ้าและทิศของแรงไฟฟ้า เมื่อมีประจุบวกในสนามไฟฟ้า E	8
4 ทิศของสนามไฟฟ้าและทิศของแรงไฟฟ้า เมื่อมีประจุลบในสนามไฟฟ้า.....	8
5 ขดลวดเมื่อจุ่มลงในน้ำสบู่แล้วยกขึ้น.....	10
6 ผลจากแรงตึงผิวของฟิล์มสบู่ที่มีทิศทางออกตามแนวรัศมีของวงกลมเส้นด้าย.....	10
7 มุมสัมผัสระหว่างผิวของของเหลวและผนังภาชนะ.....	12
8 ระดับของของเหลวในท่อขนาดเล็ก.....	12
9 การไหลของของเหลวในท่อที่มีขนาดต่างกัน.....	13
10 ปรากฏการณ์ของกระบวนการบินเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต.....	15
11 อุปกรณ์การทดลองที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยเทคนิคการบินเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต.....	16
12 ประจุไฟฟ้า B ถูกกระทำด้วยแรงระหว่างประจุไฟฟ้าของประจุไฟฟ้า A และ.....	16
13 แสดงลักษณะรูปกรวยแบบเทย์เลอร์ของผิวหน้าของของไหล.....	18
14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ ที่มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใย.....	19
15 หลอดเลือดเทียมจากห้องวิจัยของบริษัท ซูมิโตโม อิเล็กทริก อินดัสทรี จำกัด ประเทศญี่ปุ่น.....	22
16 แสดงเส้นทางเดินของลำแสงของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	25
17 ภาพที่ได้จากสัญญาณจากอิเล็กตรอนในชั้นงานที่หลุดออกมา.....	26
18 ภาพที่ได้จากสัญญาณจากอิเล็กตรอนที่กระดอนกลับ.....	27
19 ภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุ.....	28
20 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์โดยเทคนิคการบินเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต.....	33
21 อุปกรณ์รองรับเส้นใย.....	33
22 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์.....	34
23 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการหมุนและทิศทางการหมุน.....	34
24 วงจรภายในอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์.....	34
25 ปลายของสเตปมอเตอร์ที่ต่อกับเฟืองและแท่งเหล็ก.....	35
26 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์.....	35

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

27	เครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง.....	36
28	วงจรภายในเครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง.....	36
29	การให้ความร้อนกับสารละลายโพลิเมอร์.....	37
30	อุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใย ด้วยไฟฟ้าสถิต รุ่นที่ 1.....	39
31	อุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใย ด้วยไฟฟ้าสถิต รุ่นที่ 2.....	41
32	อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์.....	42
33	อุปกรณ์ฉีดสารละลายโพลิเมอร์.....	42
34	อุปกรณ์ฉีดสารละลายโพลิเมอร์.....	43
35	วงจรควบคุมอัตราและทิศทางการเคลื่อนที่ของสกรู สำหรับควบคุมการไหลของ โพลิเมอร์.....	43
36	เครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง รุ่นที่ 2.....	44
37	อุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต.....	44
38	ลักษณะฐานฐานวิทยาของเส้นใยที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (ก) จากอุปกรณ์รุ่นที่ 1 (ข) จากอุปกรณ์รุ่นที่ 2.....	45
39	ลักษณะฐานฐานวิทยาของเส้นใย ที่ศักย์ไฟฟ้า (ก) 10 กิโลโวลต์ (ข) 15 กิโลโวลต์ (ค) 20 กิโลโวลต์ และ(ง) 25 กิโลโวลต์ โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายโพลิ-ไวนิลแอลกอฮอล์ 4%โดยน้ำหนัก และระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใย เป็น 20 เซนติเมตร.....	46
40	ลักษณะฐานฐานวิทยาของเส้นใย โดยปรับระยะห่างเป็น (ก) 10 เซนติเมตร (ข) 15 เซนติเมตร (ค) 20 เซนติเมตร และ(ง) 25 เซนติเมตร โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิล แอลกอฮอล์คั่งที่ 4%โดยน้ำหนัก และศักย์ไฟฟ้า เป็น 15 กิโลโวลต์.....	48
41	ลักษณะฐานฐานวิทยาของเส้นใย เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายโพลิเมอร์ (ก) 4%โดยน้ำหนัก (ข) 8%โดยน้ำหนัก (ค) 12%โดยน้ำหนัก และ(ง) 16%โดยน้ำหนัก โดยที่ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ และระยะห่างระหว่าง หลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใยมีค่า 20 เซนติเมตร.....	50

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

42	ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยกับ ความเข้มข้นของสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ แอลกอฮอล์ โดยที่ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ และระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและ อุปกรณ์รองรับเส้นใยมีค่า 20 เซนติเมตร.....	51
----	---	----

บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning process) เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการผลิตเส้นใย (Fiber) เส้นใยที่ผลิตได้นี้จะมีขนาดเล็ก โดยอาจมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร(เส้นผ่านศูนย์กลาง ประมาณ 100 นาโนเมตร ถึง 1000 นาโนเมตร)¹ การผลิตมีหลักการใช้กระแสไฟฟ้าเป็นหลักในการขับเคลื่อน ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมาโพลิเมอร์หลายชนิดในรูปของสารละลายโพลิเมอร์(Polymer solution) และโพลิเมอร์หลอมเหลว (Polymer melt) ได้ถูกปั่นเป็นเส้นใยขนาดเล็กเส้นใยที่มีขนาดเล็กเป็นข้อได้เปรียบเมื่อนำไปใช้งาน ดังนั้นเส้นใยโพลิเมอร์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีทางการแพทย์ เช่น การกรองอนุภาคขนาดต่ำกว่าไมครอน (Filtration of submicron particles)² หลอดเลือดเทียม (Vascular grafts)³ วัสดุปิดแผล(Wound dressing)⁴ เป็นต้น

กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเป็นกระบวนการที่เกิดจากการให้ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงแก่สารละลายโพลิเมอร์หรือโพลิเมอร์หลอมเหลว ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า (Electric field) ระหว่างปลายของหลอดคาปิลลารี (Capillary tube) ที่บรรจุสารละลายโพลิเมอร์ และอุปกรณ์รองรับเส้นใย (Collector screen) โดยเส้นใยจะถูกปั่นออกจากหัวฉีด (Syringe)⁵ ก่อนที่จะเดินทางถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใย ซึ่งสารละลายอาจจะระเหยกลายเป็นไอหรืออยู่ในสภาพของแข็ง ไปสะสมที่อุปกรณ์รองรับเส้นใย ในลักษณะเส้นใยที่พันกัน สารละลายโพลิเมอร์ในหลอดบรรจุสารนั้นจะอยู่ในสถานะของไหล(Fluid) เมื่อความเข้มของสนามไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ที่บริเวณผิวหน้าของของไหลจะทำให้ของไหลยาวขึ้นแล้วจะมีลักษณะเป็นรูปกรวยแบบเทย์เลอร์ (Taylor cone)⁶ สนามไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนั้น ทำให้แรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) สามารถเอาชนะแรงตึงผิว (Surface tension force)

¹ธีระเดช จารุสุวรรณภูมิ. (2547). ผลกระทบของตัวทำละลายต่อการผลิตเส้นใย โดยใช้ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน. หน้า 1-2.

²Stitzel, J.D.; et al. (2008). (Online)

³ฐานันท์ อินทรทัต. (2548). พลาสติกทางการแพทย์ใช้ทำหลอดเลือดเทียมชนิดใหม่. (Online)

⁴กมลรัตน์ คณาวัจ ; และ กนกวรรณ พนิชนาพันธ์. (2546). เส้นใยโพลิเมอร์เพื่อใช้ในการแพทย์ในระดับนาโนโดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต : การเตรียมและตรวจสอบสมบัติของเส้นใยผสมของโพลิ-ไวนิลแอลกอฮอล์กับอัลจินตเพื่อใช้เป็นวัสดุปิดแผล. ไม่มีเลขหน้า.

⁵ชิตชนก มิตรอุปถัมภ์. (2547). การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตของโพลิเอไมด์ 6. หน้า 1-2.

⁶แหล่งเดิม. หน้า 2.

และประจุของของไหลก็จะหลุดออกจากผิวหน้าของของไหล¹ สารละลายโพลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการปั่น (Whipping process)² ก็จะกลายเป็นไอ แล้วเปลี่ยนเป็นเส้นใยโพลิเมอร์ซึ่งจะสะสมบริเวณอุปกรณ์รองรับเส้นใย

ปัจจุบันอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตนั้น ส่วนใหญ่จะต้องนำเข้าอุปกรณ์การทดลองจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูง ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำวิจัยเพื่อสร้างอุปกรณ์การทดลองนี้ขึ้น โดยคาดหวังว่าสามารถลดต้นทุนและการนำเข้าอุปกรณ์การทดลองจากต่างประเทศได้

ความสำคัญของงานวิจัย

1. เพื่อสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต
2. ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นต่อสัณฐานวิทยา (Morphology) และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ที่ได้

ขอบเขตของการวิจัย

1. สร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต
2. ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นต่อสัณฐานวิทยาและขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ที่ได้ โดยพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้
 - 2.1 ศักย์ไฟฟ้า (Electric potential)
 - 2.2 ความเข้มข้น (Concentration) ของสารละลายโพลิเมอร์
 - 2.3 ระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เพื่อที่ผู้สนใจจะสามารถนำไปพัฒนาทางด้านเส้นใยโพลิเมอร์ต่อไปในอนาคต
2. ได้ข้อมูลที่แสดงผลกระทบของพารามิเตอร์ที่เกิดขึ้นต่อสัณฐานวิทยา และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ที่ได้

¹Doshi, J.; & Reneker D.H. (1995). Electrospinning process and applications of electrospun fibers. *Journal of Electrostatics*. 35(2-3) : 151-160.

²Shin, Y.M.; et al. (2001). Experimental characterization of electrospinning : electrically force jet and instabilities. *Polymer*. 42 : 9955-9967.

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. โพลีเมอร์ หมายถึง สารที่มีโมเลกุลยาวมาก และโมเลกุลเหล่านี้ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำ ๆ กัน เป็นจำนวนมาก
2. สารละลายโพลีเมอร์ คือ สารโพลีเมอร์ที่อยู่ในสถานะของเหลว โดยมีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Solvent) ส่วนสารโพลีเมอร์จะจัดเป็นตัวถูกละลาย (Solute)
3. ผลกระทบต่อเส้นใย หมายถึง ผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อฐานวิทยาและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลีเมอร์ที่ได้
4. ฐานวิทยา หมายถึง การศึกษาลักษณะของเส้นใยโพลีเมอร์

บทที่ 2

ทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

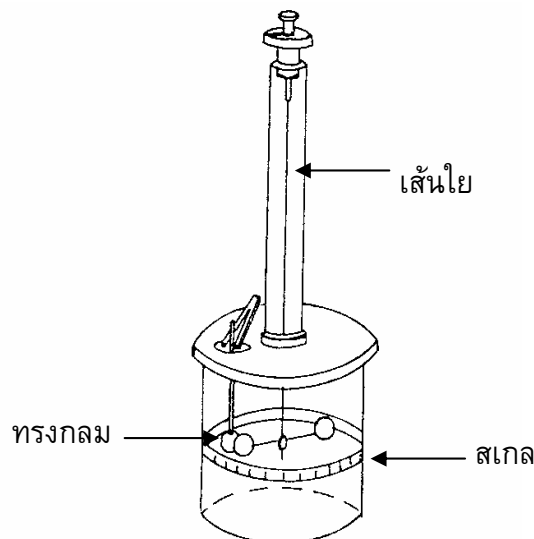
ทฤษฎี

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ประกอบด้วย

1. แรงไฟฟ้า
2. สนามไฟฟ้า
3. ศักย์ไฟฟ้า
4. ความตึงผิว
5. สมการความต่อเนื่อง
6. กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต
7. พารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต
8. เส้นใย
9. การนำเส้นใยไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีทางการแพทย์
10. สันฐานวิทยา

1. แรงไฟฟ้า

ชาร์ล – โอกูสแตง เดอ กูลง (Charles Augustin de Coulomb ค.ศ.1736-1806) ซึ่งรู้จักกันในนามคูลอมบ์ ได้ศึกษาแรงอันตรกิริยาของอนุภาคประจุไฟฟ้าอย่างละเอียด ในปี ค.ศ.1784 โดยใช้อุปกรณ์ในลักษณะตุลการบิด (Torsion balance) ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 อุปกรณ์ตุลการบิดของคูลอมบ์

ที่มา : สมพงษ์ ใจดี. (2543). ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 3. หน้า 7-10.

ในการทดลองของคูลอมบ์สำหรับวัตถุประจุไฟฟ้าขนาดเล็กมากเทียบกับระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของวัตถุประจุไฟฟ้า เราจะคิดว่าประจุไฟฟ้ามีลักษณะเป็นจุด โดยเรียกว่า ประจุจุด (Point charge) ถ้า r แทนระยะห่างระหว่างประจุจุด คูลอมบ์พบว่าแรงไฟฟ้าระหว่างประจุจุดคู่หนึ่งมีขนาดเป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสองของระยะทางดังกล่าว คือ $\frac{1}{r^2}$ กล่าวคือ ถ้าประจุจุดคู่หนึ่งอยู่ห่างกันเป็น 2, 3, 4,... เท่าของระยะห่างเดิม ขนาดของแรงไฟฟ้าระหว่างประจุจุดคู่ดังกล่าวจะลดลงเป็น $\frac{1}{4}, \frac{1}{9}, \frac{1}{16}, \dots$ ของขนาดแรงไฟฟ้าเดิม โดยมีข้อคิดว่าผลที่ได้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขว่าประจุจุดทั้งสองตัวนั้นมีค่าประจุไฟฟ้าคงเดิมเสมอ

นอกจากที่กล่าวมาแล้วนี้ คูลอมบ์ได้แบ่งประจุไฟฟ้า q ตัวหนึ่งออกเป็น 2 ส่วน แล้วเอาส่วนหนึ่งซึ่งเป็นทรงกลมตัวนำประจุไฟฟ้า $\frac{q}{2}$ ก้อนหนึ่ง สัมผัสกับทรงกลมตัวนำที่เหมือนกัน แต่เป็นกลางทางไฟฟ้าอีกก้อนหนึ่ง ผลคือจะมีการเฉลี่ยประจุไฟฟ้าแก่กัน ตามวิธีการดังกล่าวนี้

คูลอมบ์จะมีทรงกลมตัวนำต่าง ๆ ที่มีประจุไฟฟ้าเป็น $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \dots$ ของค่าประจุไฟฟ้า (q) ตอนเริ่มแรกนั้น คูลอมบ์จึงสามารถเลือกคู่ประจุจุดเป็น q_2 และ q_1 ต่าง ๆ กันได้ เมื่อพิจารณาจากผลการทดลอง ก็พบว่าแรงไฟฟ้าระหว่างคู่หนึ่งเป็นแรงต่างร่วม (Mutual forces) กล่าวคือต่างฝ่ายต่างกระทำ โดยขึ้นอยู่กับค่าประจุของประจุจุดแต่ละตัว และเป็นสัดส่วนตรงกับผลคูณระหว่างค่าประจุของคู่ประจุจุดทั้งคู่ นั่น กล่าวคือ $q_2 q_1$

ถ้า $\vec{F}_{21}$ แทนแรงไฟฟ้าที่กระทำกับประจุจุด q_2 หรือ q_1

r_{21} แทนระยะห่างระหว่างประจุจุด q_2 และ q_1

และ k แทนค่าคงตัวสัดส่วน (Proportional constant)

$$\text{จะได้} \quad \vec{F}_{21} \propto \frac{|q_2 q_1|}{r_{21}^2} \hat{r}_{21} = k \frac{|q_2 q_1|}{r_{21}^2} \hat{r}_{21} \quad \dots\dots\dots(1)$$

โดยกล่าวสรุปเป็นกฎของคูลอมบ์ (Coulomb's law) ได้ดังนี้

“ขนาดแรงไฟฟ้าระหว่างประจุจุด 2 ตัว มีค่าเป็นสัดส่วนตรงกับผลคูณของค่าประจุไฟฟ้าทั้งสอง และเป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างประจุจุดทั้งสองตัวนั้น”

ในระบบเอสไอ แรงมีหน่วยเป็นนิวตัน (N) ระยะทางเป็นเมตร (m) ค่าประจุไฟฟ้าเป็นคูลอมบ์ (C) จะได้หน่วยของค่าคงที่สัดส่วน (k) เป็น นิวตัน-เมตร² ต่อ(คูลอมบ์)²

นอกจากนี้ ยังเรียก k ว่า ค่าคงตัวคูลอมบ์ (Coulomb constant) โดยเรียกแรงไฟฟ้า ($\vec{F}$: Electric force) ว่า แรงคูลอมบ์ (Coulomb force)

ถ้า ϵ_0 แทนสภาพยอม (Permittivity) ของสุญญากาศ มีค่าเท่ากับ

$$8.8542 \times 10^{-12} \text{ (คูลอมบ์)}^2 \text{ ต่อนิวตัน-เมตร)}^2$$

$$\text{จะได้ } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.987 \times 10^9 \approx 9 \times 10^9 \text{ นิวตัน-เมตร)}^2 \text{ ต่อ(คูลอมบ์)}^2$$

เนื่องจากแรงเป็นปริมาณเวกเตอร์ ดังนั้น การพิจารณาแรงไฟฟ้าให้สมบูรณ์ จึงควรจะต้องพิจารณาทิศทางด้วยดังต่อไปนี้

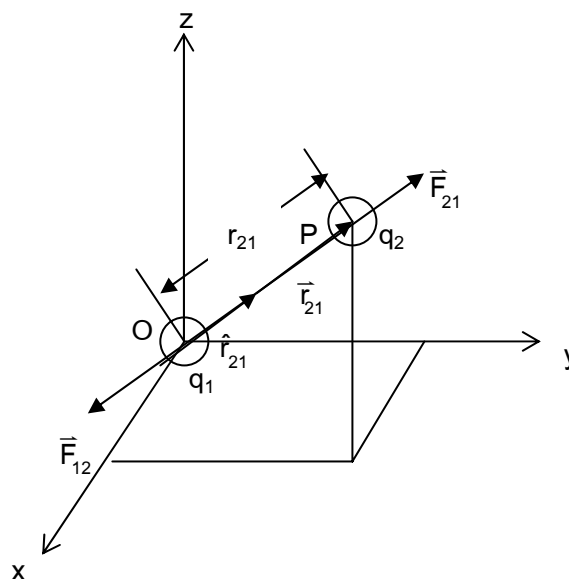
สมมติให้ประจุจุดตัวหนึ่ง (q_1) อยู่ ณ จุดกำเนิด (Origin “O”) ของระบบพิกัดฉาก (x, y, z) ประจุจุดอีกตัวหนึ่ง (q_2) อยู่ที่ P ณ ระยะ r_{21} จาก q_1 โดยมี $\hat{r}_{21}$ แทนเวกเตอร์หนึ่งหน่วยของ $\hat{r}_{21}$ ซึ่งมีทิศทางจาก O สู่ P ดังแสดงในภาพประกอบ 2

ถ้า $\vec{F}_{21}$ แทนแรงไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้า q_2 กระทำกับ q_1

และ $\vec{F}_{12}$ แทนแรงไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้า q_1 กระทำกับ q_2

$$\text{จะได้ } \vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \hat{r}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} \hat{r}_{21} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{และ } \vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad \dots\dots\dots (3)$$



ภาพประกอบ 2 แรงไฟฟ้าที่ประจุไฟฟ้า q_1 กระทำกับ q_2

แรงไฟฟ้า $\vec{F}_{21}$ และ $\vec{F}_{12}$ มีสมบัติทั่วไปดังนี้

1. เป็นคู่แรงไฟฟ้าที่กระทำกับคู่ประจุไฟฟ้า q_2 และ q_1 ในลักษณะแรงต่างร่วม กล่าวคือ ต่างฝ่ายต่างกระทำซึ่งมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศทางตรงกันข้าม โดยอยู่ในแนวเดียวกันกับแนวเส้นตรงระหว่างคู่จุดประจุไฟฟ้าทั้งสองตัว สมบัติข้อนี้แสดงได้ดังสมการ (3)

2. เนื่องจากประจุไฟฟ้า q_2 และ q_1 อาจจะเป็นประจุบวก หรือประจุลบ จึงต้องพิจารณา $\vec{F}_{21}$ ตามสมการ (2) ให้สอดคล้องกันด้วย

ถ้า q_2 และ q_1 ล้วนเป็นประจุไฟฟ้าชนิดเดียวกัน $q_2 q_1$ ย่อมจะมีเครื่องหมายบวก $\vec{F}_{21}$ จึงมีทิศทางเหมือนกับของ $\vec{r}_{21}$ ดังนั้น แรงต่างร่วมที่กระทำกับประจุไฟฟ้าทั้งสองจึงเป็นแรงผลัก

ในทางตรงกันข้าม ถ้า q_2 และ q_1 เป็นประจุไฟฟ้าต่างชนิดกัน ไม่ว่าประจุไฟฟ้าตัวใดจะเป็นประจุบวกหรือประจุลบก็ตาม $q_2 q_1$ ย่อมจะมีเครื่องหมายลบ $\vec{F}_{21}$ จึงมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของ $\vec{r}_{21}$ ดังนั้น ในกรณีนี้ แรงต่างร่วมดังกล่าวจึงเป็นแรงดูด

การพิจารณาสมบัติตามข้อนี้ เป็นการย้ำว่าในการใช้สมการ (2) นั้น จะต้องคำนึงถึงเครื่องหมายของ q_2 และ q_1 ด้วย จึงจะทำให้เวกเตอร์ของแรงไฟฟ้าที่พิจารณาคือ $\vec{F}_{21}$ และ $\vec{F}_{12}$ มีความถูกต้องโดยสมบูรณ์

2. สนามไฟฟ้า (Electric field)

จากที่เราทราบว่า สนามโน้มถ่วง ($\vec{g}$) ณ ตำแหน่งหนึ่ง คือ แรงโน้มถ่วง ($\vec{F}_g$: Gravitational force) ต่อหน่วยมวลที่กระทำต่อมวลก้อนหนึ่ง (m) ณ ตำแหน่งนั้น นั่นคือ $\vec{g}$ มีค่าดังนี้

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m} \quad \dots\dots\dots (4)$$

หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ณ ตำแหน่งที่มีสนามโน้มถ่วงเป็น $\vec{g}$ แรงโน้มถ่วงที่กระทำกับมวลก้อนหนึ่ง (m) คือ $\vec{F}_g = m\vec{g}$

เมื่อพิจารณาทางไฟฟ้า คือ เมื่อประจุไฟฟ้าโดยในที่นี้คือ ประจุทดสอบ (q_0) เปรียบเทียบได้กับมวล (m) ของวัตถุ แรงไฟฟ้า ($\vec{F}_0$) เปรียบเทียบได้กับแรงโน้มถ่วง ($\vec{F}_g$) สนามไฟฟ้า ($\vec{E}$) จึงควรเปรียบเทียบกับสนามโน้มถ่วง ($\vec{g}$)

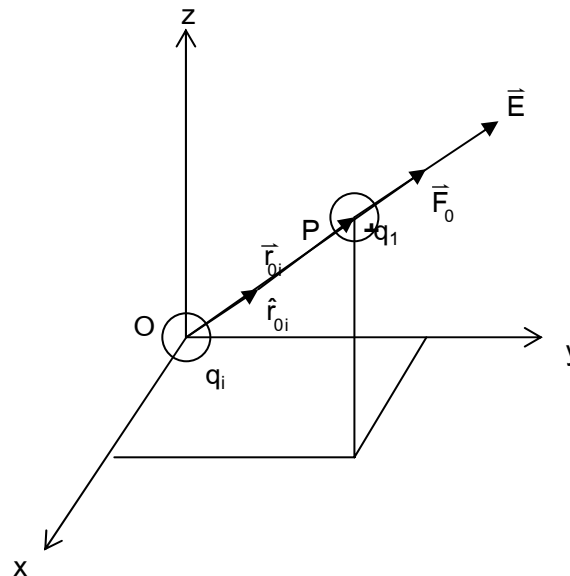
ด้วยเหตุนี้จึงสามารถนิยามสนามไฟฟ้าในทำนองเดียวกันกับนิยามของสนามโน้มถ่วงได้ ดังนี้ “สนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งหนึ่ง คือ แรงไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยของค่าประจุหรือแรงที่กระทำกับประจุทดสอบบวกตัวหนึ่ง ณ ตำแหน่งนั้น ดังนั้นสนามไฟฟ้า มีค่าดังนี้

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0} \quad \dots\dots\dots (5)$$

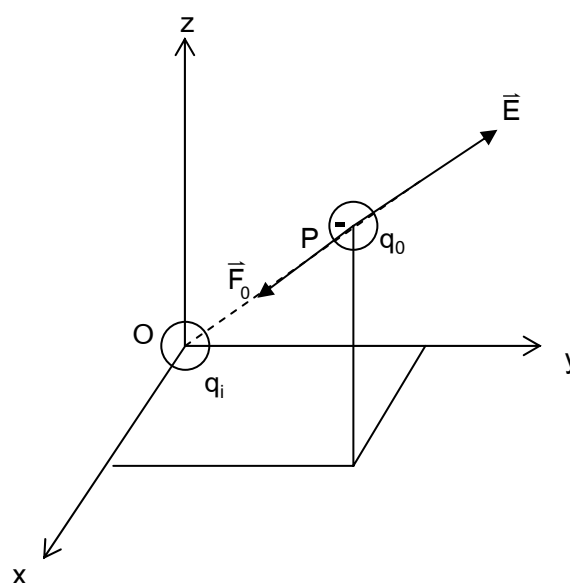
ในระบบเอสไอ แรงไฟฟ้ามีหน่วยเป็นนิวตัน (N) ค่าประจุไฟฟ้ามีหน่วยเป็นคูลอมบ์ (C) สนามไฟฟ้าจึงมีหน่วยเป็นนิวตันต่อคูลอมบ์ (N/C)

นอกจากนี้ เมื่อศึกษาต่อไปจะพบว่าสนามไฟฟ้ายังมีหน่วยเป็น โวลต์ต่อเมตร (V/m) ด้วยจากสมการ (5) อาจกล่าวโดยอีกนัยหนึ่งว่า ณ ตำแหน่งที่สนามไฟฟ้า $\vec{E}$ แรงไฟฟ้าที่กระทำกับประจุทดสอบตัวหนึ่ง (q_0) คือ $\vec{F}_0 = q_0 \vec{E}$

ผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นคือ เมื่อมีประจุไฟฟ้าบวกตัวหนึ่งอยู่ในสนามไฟฟ้า แรงไฟฟ้าที่กระทำกับประจุบวกตัวนั้น จะมีทิศทางเหมือนกับทิศทางของสนามไฟฟ้า ในทางตรงกันข้าม ถ้าเป็นประจุไฟฟ้าลบตัวหนึ่งแทน แรงไฟฟ้าจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับของสนามไฟฟ้า ดังภาพประกอบ 3 และ 4 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3 ทิศของสนามไฟฟ้าและทิศของแรงไฟฟ้า เมื่อมีประจุบวกในสนามไฟฟ้า $\vec{E}$



ภาพประกอบ 4 ทิศของสนามไฟฟ้าและทิศของแรงไฟฟ้า เมื่อมีประจุลบในสนามไฟฟ้า $\vec{E}$

สมมติ $\vec{r}_{0i}$ แทนเวกเตอร์บอกตำแหน่งของ q_0 จาก q_i โดยมีขนาดเป็น r_{0i} และมีเวกเตอร์หนึ่งหน่วยคือ $\hat{r}_{0i}$

และจากสมการ
$$\vec{F}_0 = \vec{F}_{0i} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q_i}{r_{0i}^2} \hat{r}_{0i} \quad \dots\dots\dots (6)$$

จะได้
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_i}{r_{0i}^2} \hat{r}_{0i} \quad \dots\dots\dots (7)$$

จากสมการ (7) จะเห็นได้โดยง่ายว่า สนามไฟฟ้าของประจุจุดมีทิศทางออกจาก q_0 ตามทิศทางของ $\vec{r}_{0i}$ เมื่อ q_i เป็นบวก ในทางตรงกันข้าม ถ้า q_i เป็นลบ สนามไฟฟ้าก็จะมีทิศทางเข้าสู่ q_i กล่าวคือ สวนกับทิศทางของ $\vec{r}_{0i}$

ดังนั้น “สนามไฟฟ้าของประจุจุด $+q$ ตัวหนึ่ง มีทิศทางออกจากประจุบวกตัวนั้น ส่วนสนามไฟฟ้าของประจุจุด $-q$ ตัวหนึ่งจะมีทิศทางเข้าสู่ประจุลบตัวดังกล่าว”

3. ศักย์ไฟฟ้า (Electric potential)

ณ ตำแหน่งประจุทดสอบตัวหนึ่ง ซึ่งมีพลังงานไฟฟ้า U สมมติมีศักย์ไฟฟ้าเป็น V จากนิยามของศักย์ไฟฟ้าซึ่งกล่าวได้ดังนี้

“ศักย์ไฟฟ้า (V) ณ ตำแหน่งหนึ่ง เท่ากับอัตราส่วนระหว่างพลังงานศักย์ไฟฟ้าของประจุทดสอบ q_0 ตัวหนึ่ง (U) กับค่าประจุไฟฟ้าของประจุทดสอบตัวนั้น (q_0)” นั่นคือ

$$V = \frac{U}{q_0} \quad \dots\dots\dots (8)$$

หรือ กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า “ศักย์ไฟฟ้า ณ ตำแหน่งใด ก็คือ ค่าพลังงานศักย์ไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยของค่าประจุไฟฟ้าทดสอบ q_0 ณ ตำแหน่งนั้น”

โดยที่ในระบบเอสไอ ศักย์ไฟฟ้ามีหน่วยเป็น จูลต่อคูลอมบ์ (J/C) หรือ โวลต์ (V)

ถ้า ณ ตำแหน่งของประจุทดสอบ q_0 ตัวนั้น มีสนามไฟฟ้า $\vec{E}$ และมีแรงไฟฟ้ากระทำต่อประจุทดสอบเป็น $\vec{F}_0 = \vec{F}$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad \dots\dots\dots (9)$$

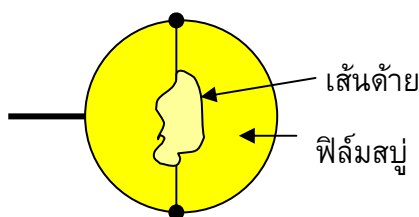
โดยที่ $\vec{E}$ มีหน่วยเป็น นิวตันต่อคูลอมบ์ (N/C) และเนื่องจากทั้ง $\vec{E}$ และ $\vec{F}$ เป็นปริมาณเวกเตอร์ ส่วน q_0 เป็นปริมาณสเกลาร์ $\vec{E}$ จึงเป็นสนามเชิงเวกเตอร์

เมื่อเปรียบเทียบ $v = \frac{U}{q_0}$ กับ $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ โดยที่ v , U และ q_0 เป็นปริมาณสเกลาร์ จึงถือว่า $\vec{E}$ เป็นสนามเชิงสเกลาร์ ณ ตำแหน่งที่ประจุทดสอบ q_0 ตัวนั้นอยู่

4. แรงตึงผิว (Surface tension)¹

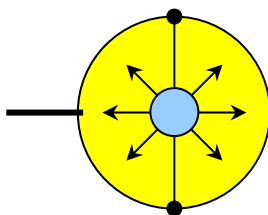
วัตถุบางชนิดสามารถจะลอยอยู่บนผิวน้ำได้ หรือแมลงบางชนิดสามารถเดินบนผิวน้ำได้ โดยขาแมลงทำให้เกิดรอยยุบลงแต่ไม่ทะลุผิวน้ำ ซึ่งไม่สามารถอธิบายโดยใช้หลักการลอยตัวของเหลวต่อวัตถุได้ ด้วยเหตุนี้แสดงว่ามีแรงอื่นมากระทำ ณ ผิวน้ำหรือที่ขอบสัมผัสกับน้ำอันเป็นผลจากความตึงผิว (Surface tension) โดยเรียกแรงดังกล่าวนี้ว่า แรงตึงผิว

ภาพประกอบ 5 แสดงให้เห็นว่า เมื่อนำหลอดเล็กๆ มาขุดเป็นวงกลมแล้วนำด้ายซึ่งทำเป็นวงมาผูกไว้ จากนั้นจุ่มลงในน้ำสบู่แล้วยกขึ้นจะมีลักษณะตามภาพประกอบ 5 คือ เส้นด้ายวงนั้นจะจัดตัวในลักษณะไม่เป็นวงกลม



ภาพประกอบ 5 ขดหลอดเมื่อจุ่มลงในน้ำสบู่แล้วยกขึ้น

และเมื่อเอาเข็มหมุดแทงที่ฟิล์มสบู่ของวงเส้นด้าย ตามภาพประกอบ 5 จะทำให้เกิดส่วนที่ว่าง แล้ววงเส้นด้ายวงนั้นก็กลายเป็นวงกลม โดยเป็นผลจากแรงตึงผิวของฟิล์มสบู่ที่มีทิศทางออกตามแนวรัศมีของวงกลมเส้นด้ายวงดังกล่าวนั่นเอง ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 ผลจากแรงตึงผิวของฟิล์มสบู่ที่มีทิศทางออกตามแนวรัศมีของวงกลมเส้นด้าย

¹ สมพงษ์ ใจดี. (2543). ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 2. หน้า 19-20.

โดยสรุป แรงตึงผิวของของเหลวชนิดหนึ่ง คือ แรงผิวที่พยายามยืดหน้าของของเหลวให้คงรูปไว้ และแรงนี้มีทิศทางตั้งฉากกับขอบของวัตถุที่ของเหลวสัมผัส ณ จุดสัมผัสนั้น

สำหรับ ความตึงผิว (γ) ของของเหลวชนิดหนึ่ง คือ อัตราส่วนระหว่างขนาดแรงตึงผิว (F) ของเหลวชนิดนั้น กับระยะหรือความยาวขอบของวัตถุชิ้นหนึ่ง (d) ซึ่งสัมผัสกับของเหลว ดังกล่าว โดยมีหน่วยในระบบเอสไอเป็นนิวตันต่อเมตร

$$\gamma = \frac{F}{d} \dots\dots\dots (10)$$

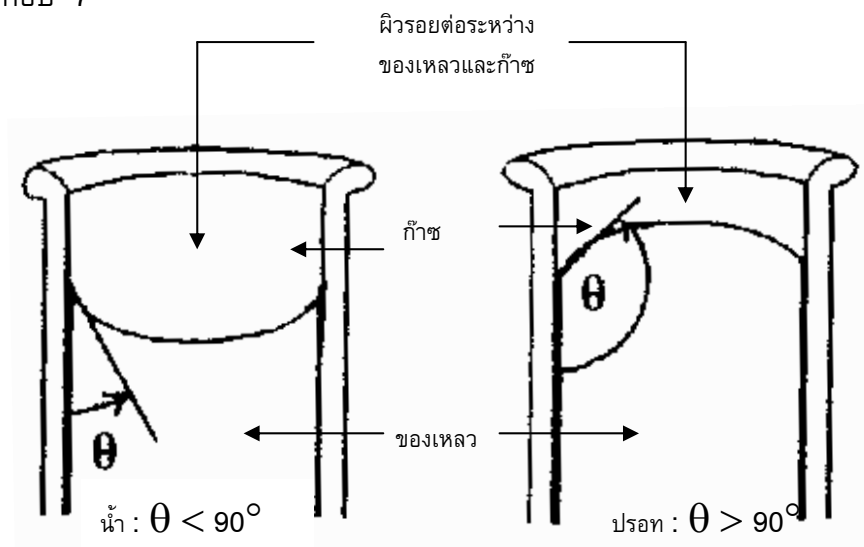
ตาราง 1 ความตึงผิวของของเหลวที่สัมผัสอากาศ

ชนิดของเหลว	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความตึงผิว (มิลลินิวตันต่อเมตร)
ปรอท	20	465.0
น้ำ	0	75.6
	20	72.8
	60	66.2
กลีเซอริน	20	63.1
น้ำ	100	58.9
น้ำมันมะกอก	20	32.0
เบนซิน	20	28.9
น้ำสบู่	20	25.0
ออกซิเจนเหลว	-193	15.7
ฮีเลียมเหลว	-269	0.12

ที่มา : สมพงษ์ ใจดี. (2543). ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 2. หน้า 19-20.

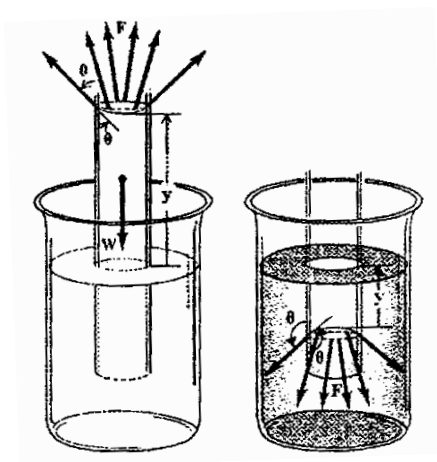
ทั้งนี้ค่าความตึงผิวขึ้นกับชนิดของของเหลว สารเจือปน และอุณหภูมิของของเหลว และเมื่อเปรียบเทียบกับความดัน ความตึงผิวจะยืดผิวของเหลวไว้ ส่วนความดันจะดันผิวของเหลวออก

เมื่อนำของเหลวบรรจุในภาชนะทรงกระบอกอันหนึ่ง พบว่าผิวรอยต่อระหว่างของเหลวและอากาศจะโค้งขึ้นหรือโค้งลง ขึ้นกับชนิดและแรงตึงผิวของของเหลวที่นำมาบรรจุ เรียกมุมระหว่างผิวของเหลวกับผนังของภาชนะว่า มุมสัมผัส (Contact angel) ของเหลวบางชนิดจะมีมุมสัมผัสน้อยกว่ามุมฉาก บางชนิดจะมีมุมสัมผัสมากกว่ามุมฉาก ดังตัวอย่างมุมสัมผัสของปรอทและน้ำ ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 มุมสัมผัสระหว่างผิวของของเหลวและผนังภาชนะ
ที่มา : ทวี ฉิมอ้อย. (2546). ฟิสิกส์พื้นฐาน ระดับมหาวิทยาลัย 1. หน้า 287.

แรงตึงผิวนี้เองที่ทำให้ระดับของของเหลวในหลอดขนาดเล็กซึ่งมีรูแคบ ๆ มีระดับต่ำกว่าปกติหรือสูงกว่าปกติ เรียกสมบัตินี้ว่า คาปิลาริตี (Capillarity) ดังภาพประกอบ 8 โดยของเหลวจะไหลเข้าไปในท่อจนกระทั่งแรงดัน เนื่องจากระดับของของเหลวมีค่าเท่ากับแรงตึงผิว จึงทำให้ของเหลวหยุดนิ่ง ดังนั้นระดับของของเหลวในหลอดดังกล่าวจะแตกต่างกันไปซึ่งขึ้นอยู่กับแรงตึงผิวของของเหลว



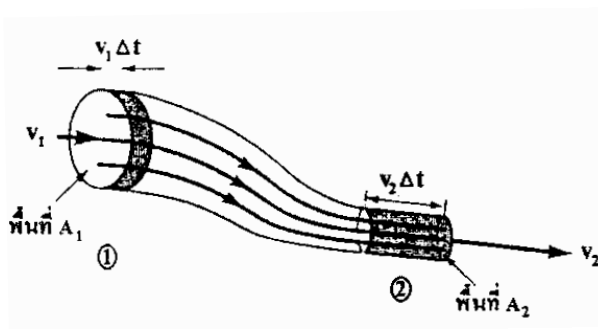
ภาพประกอบ 8 ระดับของของเหลวในท่อขนาดเล็ก
ที่มา : ทวี ฉิมอ้อย. (2546). ฟิสิกส์พื้นฐานระดับมหาวิทยาลัย 1. หน้า 288.

5. สมการความต่อเนื่อง (Continuity equation)

ในการรดน้ำต้นไม้ หรือล้างรถหลายคนสังเกตเห็นว่าเมื่อบีบสายยางให้ปลายแคบลงจะทำให้ น้ำพุ่งแรงและฉีดน้ำได้ไกลมากขึ้น สามารถรดน้ำได้ไกลขึ้น หรือซักล้างสิ่งต่าง ๆ ที่ติดอยู่กับพื้น หรือตัวถังรถออกได้ง่ายขึ้น แสดงว่าการบีบปลายสายยางให้แคบลงจะทำให้ น้ำที่ไหลออกมามีความเร็วหรือมีพลังงานเพิ่มขึ้น ถ้าคลายการบีบน้ำจะไหลช้าลงหรือมีความเร็วลดลง พฤติกรรม การไหลของน้ำดังกล่าวสามารถอธิบายด้วย สมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) ซึ่งสรุป ได้ว่าปริมาณของน้ำที่ไหลเข้าไปในสายจะเท่ากับปริมาณน้ำที่ไหลออกมาเสมอ ถ้าสายยางดังกล่าว ไม่มีท่อพัก ไม่มีรูรั่ว และไม่มีข้อต่อร่วมระหว่างปลายทั้งสอง

พิจารณาการไหลของของเหลวจากท่อขนาดใหญ่ไปยังท่อที่มีขนาดเล็กกว่า

ดังภาพประกอบ 9 กำหนดให้ ρ_1 , A_1 , v_1 และ ρ_2 , A_2 , v_2 คือความหนาแน่น พื้นที่หน้าตัด และความเร็ว ของของเหลวที่จุด 1 และ 2 ตามลำดับ พบว่าระยะทางที่ของเหลวเคลื่อนที่ใน ช่วงเวลา dt เท่ากับความเร็วของของเหลวคูณด้วยช่วงเวลาดังกล่าว



ภาพประกอบ 9 การไหลของของเหลวในท่อที่มีขนาดต่างกัน

ที่มา : ทวี ฉิมอ้อย. (2546). ฟิสิกส์พื้นฐาน ระดับมหาวิทยาลัย 1. หน้า 291.

ดังนั้นที่จุด 1 ของเหลวเคลื่อนที่ได้ระยะเท่ากับ $v_1 dt$ มีปริมาตรไหลผ่านเท่ากับ $A_1 v_1 dt$ และมีมวลเท่ากับ $dm = \rho_1 A_1 v_1 dt$ สามารถหาอัตราการไหลของของเหลวผ่านจุด 1 ได้

$$\text{อัตราไหลของของเหลวที่จุด 1} = \frac{dm}{dt} = \rho_1 A_1 v_1 \quad \dots\dots\dots (11)$$

และทำนองเดียวกันจะได้อัตราไหลของน้ำที่ผ่านจุด 2 เท่ากับ

$$\text{อัตราไหลของของเหลวที่จุด 2} = \frac{dm}{dt} = \rho_2 A_2 v_2 \quad \dots\dots\dots (12)$$

เมื่อท่อไม่รั่วหรือมีบ่อกักหรือมีจุดเชื่อมต่อ อัตราการไหลของมวลของของเหลวที่ไหลผ่านจุดต่าง ๆ ในท่อในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ (Mass flow rate) จะมีค่าเท่ากัน จากสมการ (11) และ (12) จะได้

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad \dots\dots\dots (13)$$

ถ้าของเหลวชนิดหนึ่งในท่อ ๆ หนึ่ง ซึ่งมีค่าความหนาแน่น ρ ไหลผ่านตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง A ด้วยอัตราเร็ว v แสดงว่า

$$\rho Av = \text{ค่าคงตัว} \quad \dots\dots\dots (14)$$

โดยเรียกความสัมพันธ์ดังสมการ (14) ว่า สมการความต่อเนื่อง (Continuity equation)

กล่าวคือ “ผลคูณของความหนาแน่น อัตราเร็วการไหลของของเหลวชนิดหนึ่ง และพื้นที่ภาคตัดขวางของท่อ ๆ หนึ่ง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในท่อท่อนั้นย่อมมีค่าคงตัว”

เมื่อ Av คือปริมาตรของของเหลวที่เคลื่อนที่ผ่านท่อในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ สามารถนิยามเป็นอัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate, Q) ได้ดังสมการ

$$Q = Av \quad \dots\dots\dots (15)$$

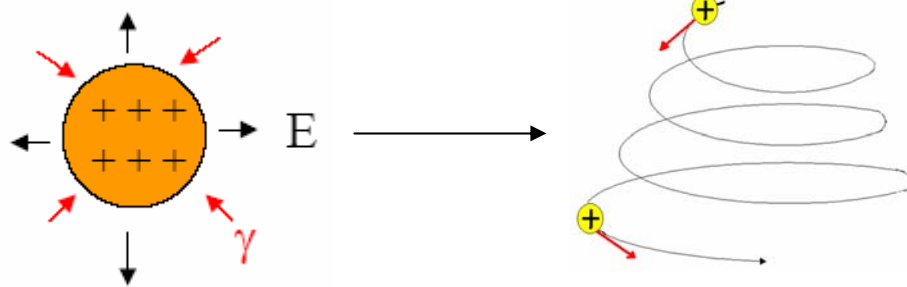
สมการ (15) ที่เห็นได้โดยง่ายอย่างหนึ่งคือ ของเหลวจะเคลื่อนที่ผ่านท่อขนาดใหญ่ได้ช้ากว่า ที่ไหลผ่านท่อที่มีขนาดเล็กจะมีความเร็วสูง

6. กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (Electrospinning process)¹

กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต โดยพื้นฐานจะประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ชิ้น ที่ใช้ในการทดลอง คือ เครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง (High voltage power supply) หลอดคาปิลารี และอุปกรณ์รองรับเส้นใย

โดยพื้นฐานของกระบวนการการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต จะพิจารณาถึงประจุไฟฟ้าของหยดของเหลวที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่จับตัวกันเป็นลักษณะทรงกลมในสุญญากาศดังแสดงในภาพประกอบ 10 โดยหยดของเหลวนี้อาจมีแรงสองแรงมากระทำ คือ แรงผลักระหว่างประจุไฟฟ้าและความตึงผิวที่พยายามยึดกันของหยดของเหลวให้มีลักษณะเป็นทรงกลมที่สมดุล แรงสองแรงนี้จะมีค่าเท่ากัน ดังสมการ (16)

¹Ramakrishna, S.; et al. (2005). *Electrospinning and Nanofibers*. pp. 1-21.



ภาพประกอบ 10 ปรากฏการณ์ของกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

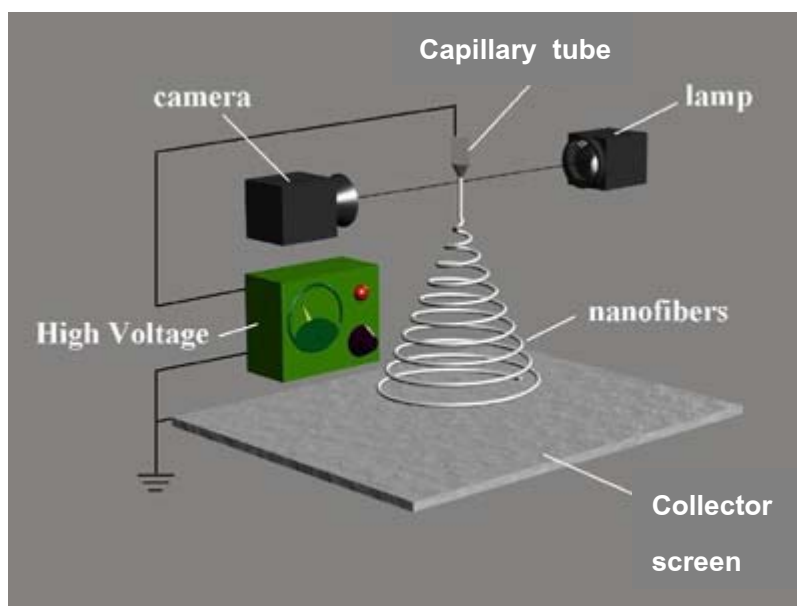
$$\frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{Q^2}{R^2} = 8\pi\gamma R \quad \dots\dots\dots (16)$$

- เมื่อ
- Q คือ ค่าประจุไฟฟ้าบนผิวของหยดของเหลว
 - R คือ รัศมีของหยดของเหลว
 - ϵ_0 คือ ค่าสภาพยอมของสุญญากาศ
 - γ คือ สัมประสิทธิ์ความตึงผิว

เมื่อสนามไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ประจุไฟฟ้าบนผิวของหยดของเหลวจะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงจุดที่แรงผลักระหว่างประจุไฟฟ้ามีค่ามากกว่าความตึงผิว หยดของของเหลวจะแตกออกจากกันและจะกลายเป็นหยดเล็กๆ ดังภาพประกอบ 10

กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเป็นกระบวนการที่เกิดจากการให้ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงแก่สารละลายโพลิเมอร์หรือโพลิเมอร์หลอมเหลว โดยเส้นใยจะถูกปั่นออกจากหัวฉีด (Syringe) ก่อนที่จะถึงอุปกรณ์รองรับเส้นใย (Collector screen) นั้น สารละลายอาจจะระเหยกลายเป็นไอ หรืออยู่ในสภาพของแข็ง แล้วจะไปสะสมที่อุปกรณ์รองรับเส้นใย ในลักษณะที่เป็นเส้นใยพันกัน

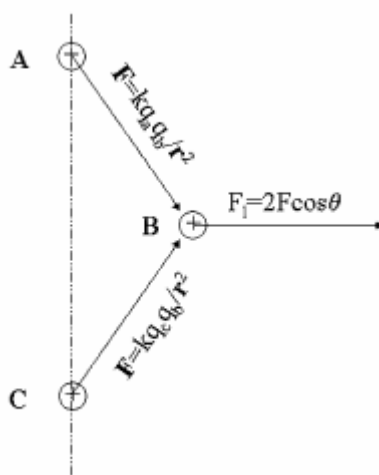
สนามไฟฟ้า (Electric field) ที่เกิดขึ้นจะอยู่ระหว่างปลายของหลอดคาปิลลารี (Capillary tube) ที่บรรจุสารละลายโพลิเมอร์และอุปกรณ์รองรับเส้นใย



ภาพประกอบ 11 อุปกรณ์การทดลองที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ที่มา : Blonski, Slawomir. (2003). *Nanofibers by electro-spinning of polymer solution*. Proceeding of the 5th Euromech Fluid Mechanics Conference, 2003 August 24-28; Toulouse, France.

เมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น สนามไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้น แรงกระทำระหว่างประจุไฟฟ้าจะทำให้การเคลื่อนที่ของสารละลายโพลิเมอร์ที่พุ่งออกมา มีการเคลื่อนที่แบบหมุนวน (Whipping motion) ซึ่งจุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ที่ไม่เสถียร



ภาพประกอบ 12 ประจุไฟฟ้า B ถูกกระทำด้วยแรงระหว่างประจุไฟฟ้าของประจุไฟฟ้า A และ C

ที่มา : Deitzel, J.M.; et al. (2001). Controlled deposition of electrospun poly(ethylene oxide) fibers. *Polymers*. 42 : 8163-8170.

ถ้าพิจารณาประจุไฟฟ้าดังภาพประกอบ 12 จะเห็นว่า ประจุไฟฟ้า B ที่อยู่ตรงกลาง ถูกกระทำด้วยแรงระหว่างประจุไฟฟ้าของประจุไฟฟ้า A และ C โดยที่แรงสองแรงมีขนาดเท่ากัน แต่มีทิศตรงกันข้าม นั่นคือ

$$\vec{F} = k \frac{q_A q_B}{r_{AB}^2} = k \frac{q_C q_B}{r_{CB}^2} \dots\dots\dots (17)$$

เมื่อ q_A q_B และ q_C คือ ประจุไฟฟ้าบวกที่มีขนาดเท่ากัน

r คือ ระยะห่างระหว่างประจุไฟฟ้า

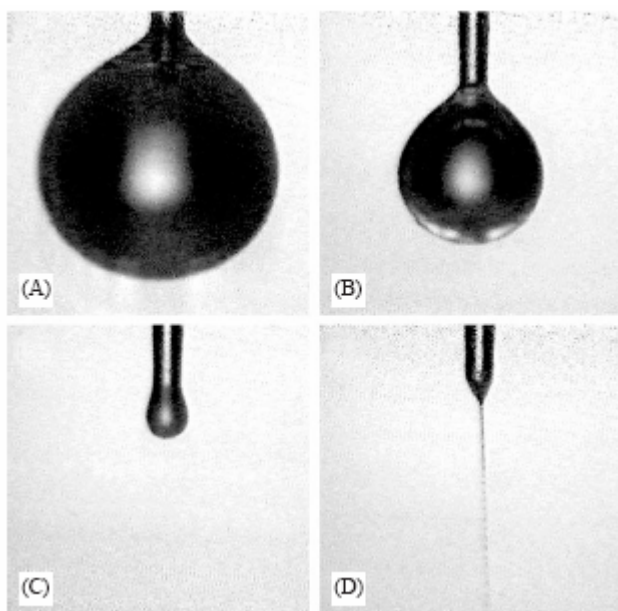
k คือ ค่าคงตัวคูลอมบ์

บางทีการรบกวน q_B อาจเป็นต้นเหตุให้เกิดการเคลื่อนที่ออกนอกเส้นทาง นั่นคือขนาดของแรงสุทธิที่กระทำกับ q_B จะเป็นดังสมการ (18)

$$\vec{F}_1 = 2\vec{F} \cos \theta \dots\dots\dots (18)$$

เมื่อ θ เป็นมุมระหว่าง r กับเส้นทางที่ตั้งฉากกับเส้นใยที่พุ่งออกมา $\vec{F}_1$ เป็นแรงที่พุ่งออกด้านข้างทำให้เกิดการไม่เสถียร เมื่อไฟฟ้าสถิตทำให้เส้นใยที่พุ่งออกมา และถ้าพิจารณาถึงเส้นทางที่มีประจุไฟฟ้าอยู่ จึงเกิดการไม่เสถียรขึ้น แล้วเริ่มต้นการเคลื่อนที่แบบหมุนวน

สารละลายโพลิเมอร์ในหลอดบรรจุสารนั้นจะอยู่ในสถานะของไหล(Fluid) โดยเมื่อพิจารณาหยดของสารละลายโพลิเมอร์ บริเวณปลายเข็มฉีดยา ขณะที่หัวไฟฟ้าบวกกับปลายเข็มฉีดยา ไอออนของสารละลายโพลิเมอร์ก็จะมีลักษณะเดียวกับหัวไฟฟ้าที่ต่อ จึงเกิดแรงกระทำเกิดขึ้น บริเวณผิวของหยดสารละลายโพลิเมอร์ เมื่อความเข้มของสนามไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ณ บริเวณผิวหน้าของของไหลจะทำให้ของไหลยืดยาวขึ้นจนมีลักษณะเป็นรูปกรวยแบบเทย์เลอร์ (Taylor cone)



ภาพประกอบ 13 แสดงลักษณะรูปกรวยแบบเทย์เลอร์ของผิวหน้าของของไหล

ที่มา : Berklanda, Cory.; Packa, Daniel W.; & Kim, Kyekyoon K. (2004).

Controlling surface nano-structure using flow-limited field-injection electrostatic spraying (FFESS) of poly(d,l-lactide-co-glycolide). *Biomaterials*. 25 : 5649–5658.

โดยที่สนามไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนั้น ทำให้แรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) มากขึ้นจนสามารถเอาชนะแรงตึงผิว (Surface tension force) และประจุของของไหลก็จะหลุดออกจากผิวหน้าของของไหล สารละลายโพลิเมอร์ที่ผ่านกระบวนการปั่น (Whipping process) ก็จะกลายเป็นไอ และกลายเป็นเส้นใยโพลิเมอร์ ซึ่งจะสะสมบริเวณอุปกรณ์รองรับเส้นใย

7. พารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

(Effective parameters on electrospinning process)¹

7.1 พารามิเตอร์เชิงระบบ (System parameters) ซึ่งเกิดจากสารละลายโพลิเมอร์ ได้แก่

7.1.1 น้ำหนักโมเลกุล (Molecular weight)

7.1.2 การแจกแจงน้ำหนักโมเลกุล (Molecular-weight distribution),

7.1.3 โครงสร้างของโพลิเมอร์ (Polymer structure)

7.2 พารามิเตอร์เชิงกระบวนการ (Process parameters) ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตได้แก่

7.2.1 ศักย์ไฟฟ้า (Electric potential)

¹ Stitzel, J.D.; et al. (2008). *Electrospinning*. (online)

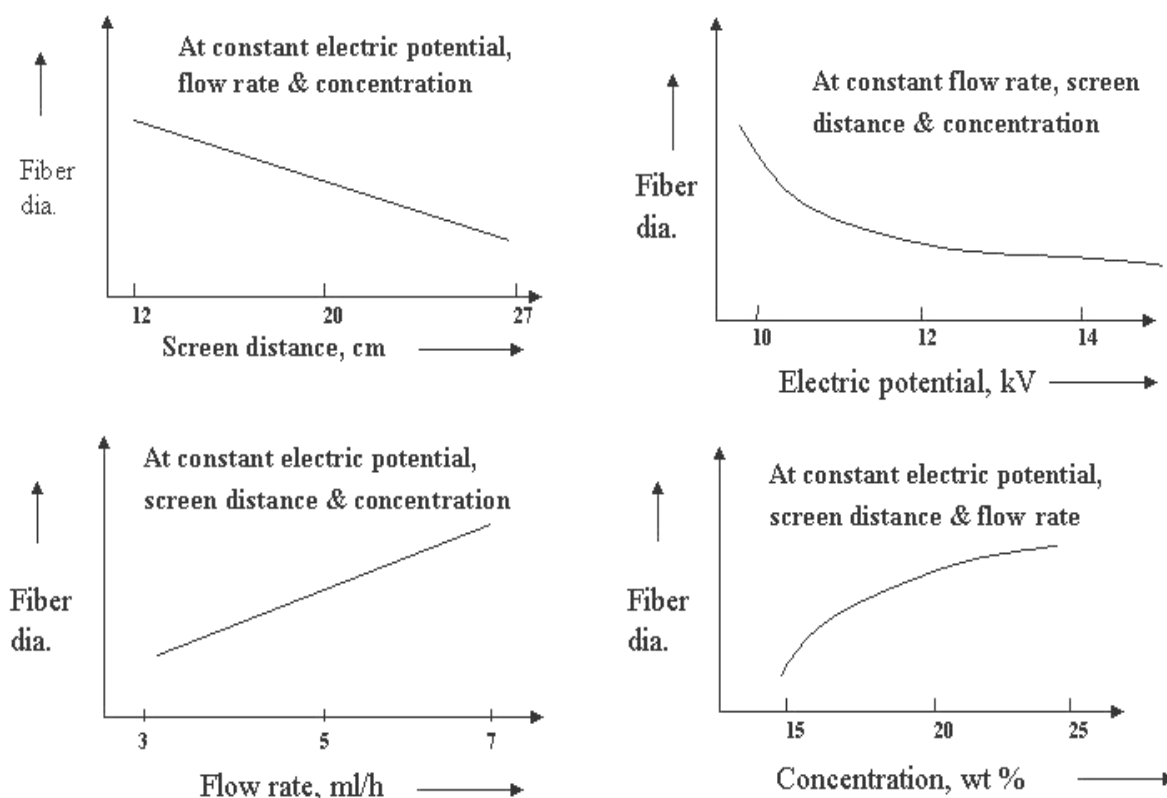
7.2.2 อัตราการไหลและความเข้มข้นของสารละลาย (Flow rate & Concentration)

7.2.3 ระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใย

7.2.4 ปัจจัยอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ(Temperature), ความชื้นในอากาศ (Humidity) เป็นต้น

7.2.5 การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์รองรับเส้นใย

ตัวอย่าง พารามิเตอร์เชิงกระบวนการ ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิต ดังภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ ที่มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใย

ที่มา : Stitzel, J.D.; et al. (2008). *Electrospinning*. (online)

8. เส้นใย¹

เส้นใยหมายถึงวัสดุหรือสารใดๆทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์สร้างขึ้น โดยมีอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 100 สามารถขึ้นรูปเป็นผ้าได้ และต้องเป็นองค์ประกอบที่เล็กที่สุดของผ้า ไม่สามารถแยกย่อยในเชิงกลได้อีก

8.1 ประเภทของเส้นใย

ประเภทของเส้นใยสามารถแยกได้หลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการแบ่ง ในที่นี้จะแบ่งตามแหล่งกำเนิดของเส้นใยซึ่งแบ่งได้เป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยประดิษฐ์ ในกลุ่มของเส้นใยธรรมชาติก็ยังแบ่งย่อยได้อีกเป็นเส้นใยที่มาจากพืช สัตว์ และแร่ ส่วนเส้นใยประดิษฐ์สามารถแยกเป็นเส้นใยที่ประดิษฐ์จากธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ และเส้นใยที่ประดิษฐ์จากวัสดุอื่นๆ

8.1.1 เส้นใยธรรมชาติ (Natural fibers)

- เส้นใยพืช เช่น ฝ้าย ลินิน ปอ งามี ป่าน หนุ่น
- เส้นใยสัตว์ เช่น ขนสัตว์ (Wool) ไหม (Silk) ผม (Hair)
- แร่ เช่น แร่ใยหิน (Asbestos)

8.1.2 เส้นใยประดิษฐ์ (Man-made fibers)

- ประดิษฐ์จากธรรมชาติ เช่น เรยอน อะซิเตต ไตรอะซิเตต
- เส้นใยสังเคราะห์ เช่น โอลีฟินส์ โพลีเอสเตอร์ โพลีเอรามิด ไนลอน
- แร่และเหล็ก เช่น โลหะ แก้ว เซรามิก กราไฟต์

8.2 สมบัติของเส้นใย

สมบัติของเส้นใยมีผลโดยตรงต่อสมบัติของผ้าที่ทำขึ้นจากเส้นใยนั้นๆ ผ้าที่ทำจากเส้นใยที่แข็งแรงก็จะมี ความแข็งแรงทนทาน หรือเส้นใยที่สามารถดูดซับน้ำได้ดีจะส่งผลให้ผ้าสามารถดูดซับน้ำและความชื้นได้ดี เหมาะสำหรับการนำไปใช้ในส่วนที่มีการสัมผัสกับผิวและดูดซับน้ำ เช่น ผ้าเช็ดตัว ผ้าอ้อม เป็นต้น

ดังนั้นการที่เราเข้าใจสมบัติของเส้นใย จะช่วยให้สามารถทำนายสมบัติของผ้าที่มีเส้นใยนั้นๆ เป็นองค์ประกอบ รวมไปถึงผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ ซึ่งจะช่วยให้สามารถเลือกชนิดของผลิตภัณฑ์ในเบื้องต้น ได้เหมาะสมตามความต้องการ โดยการคาดเดาจากองค์ประกอบที่แจ้งไว้ในป้ายสินค้า

ความแตกต่างของเส้นใยขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และการเรียงตัวของโมเลกุล ซึ่งส่วนผสมและความแตกต่างในปัจจัยทั้งสามนี้ ทำให้เส้นใยมีสมบัติหลากหลายแตกต่างกัน ซึ่งสมบัติของเส้นใยก็จะมีผลต่อสมบัติของผ้าหรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิต

¹ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ. (2551). เส้นใย. (online)

จากเส้นใยนั้น ทั้งในส่วนที่เป็นที่ต้องการและไม่ต้องการในการนำไปใช้งาน ยกตัวอย่าง เช่น สำหรับเส้นใยที่สามารถดูดซับน้ำได้น้อย จะส่งผลให้ผ้าที่ทำจากเส้นใยชนิดนี้มีสมบัติดังนี้

8.2.1 เกิดไฟฟ้าสถิตบนเนื้อผ้าได้ง่าย ทำให้ผ้าลืบติดตัว

8.2.2 ผ้าแห้งเร็วเนื่องจากมีปริมาณน้ำที่ดูดซับน้อยและไม่มีพันธะ (Bond) ระหว่างเส้นใยและ โมเลกุลของน้ำ

8.2.3 ย้อมติดสียากเนื่องจากการย้อมสีส่วนใหญ่อาศัยน้ำเป็นตัวกลางพาโมเลกุลของสีเข้าไปในเนื้อผ้า ผ้าที่ไม่ดูดซับน้ำจึงติดสีย้อมได้ยากกว่า

8.2.4 สวมใส่สบายน้อยกว่าเนื่องจากเหงื่อที่อยู่บนผิวถูกดูดซับน้อยทำให้รู้สึกเปียกชื้น

8.2.5 คงรูปได้ขณะเปียก (หรือขณะซัก) และผ้ายับน้อย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับมีน้อย ไม่เกิดพันธะระหว่างเส้นใย และโมเลกุลของน้ำที่จะทำให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลง

8.3 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของเส้นใย คือ

8.3.1 โครงสร้างทางกายภาพ

โครงสร้างทางกายภาพหรือโครงสร้างทางสัณฐาน (Morphology) ของเส้นใยสามารถสังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์ (Microscope) ที่มีกำลังขยาย 250-1000 เท่า โครงสร้างทางกายภาพนั้นครอบคลุมถึง ความยาว ขนาดหรือเส้นผ่านศูนย์กลาง รูปร่างภาคตัดขวาง (Cross-sectional shape) รูปร่างของผิวเส้นใย และความหยักของเส้นใย

8.3.2 องค์ประกอบทางเคมีและการเรียงตัวของโมเลกุล

เส้นใยประกอบด้วยโมเลกุลจำนวนมาก โมเลกุลเหล่านี้มีลักษณะเป็นเส้นยาวเรียกว่า โพลีเมอร์ (Polymer) ที่เกิดจากการเรียงตัวของหน่วยโมเลกุลเล็กๆคือมอนอเมอร์ (Monomer) และเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมีด้วยกระบวนการสังเคราะห์ที่เรียกว่า โพลีเมไรเซชัน (Polymerization) ขนาดของโพลีเมอร์ขึ้นอยู่กับความยาวของโมเลกุลซึ่งบอกได้จากจำนวนของมอนอเมอร์ที่อยู่ในโพลีเมอร์นั้น เรียกว่า การเกิดโพลีเมไรเซชัน (Degree of polymerization) โพลีเมอร์ที่มีเส้นโมเลกุลยาวจะมีน้ำหนักโมเลกุล มากกว่าโพลีเมอร์ที่มีเส้นโมเลกุลสั้นเนื่องจากจำนวนมอนอเมอร์ที่มากกว่านั่นเอง ซึ่งจะมีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยที่โพลีเมอร์นั้นเป็นองค์ประกอบอยู่

โมเลกุลหรือโพลีเมอร์ที่อยู่ในเส้นใยจะมีการเรียงตัวแตกต่างกัน เมื่อแต่ละโมเลกุลมีการเรียงตัวอย่างไร้ทิศทาง (Random) ก็จะทำให้เส้นใยบริเวณนั้นมีความเป็นอสัณฐาน (Amorphous) ส่วนในบริเวณที่โมเลกุลมีการเรียงซ้อนกันอย่างเป็นระเบียบก็จะเป็นผลึก (Crystalline) เกิดขึ้นเส้นใยที่มีความเป็นผลึกมากก็จะมีค่าความแข็งแรงมากกว่าเส้นใยที่มีความเป็นผลึกน้อย อย่างไรก็ตามปริมาณความเป็นผลึกไม่ใช่ปัจจัยที่กำหนดความแข็งแรงของเส้นใย หากรวมไปถึงทิศทางการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่เป็นระเบียบเหล่านี้ด้วย ถ้าโมเลกุลมีการจัดเรียงตัวอยู่ในทิศทางที่ขนานกับแกนตามความยาวของเส้นใย ก็จะช่วยให้เส้นใยมีความแข็งแรงมาก เนื่องจากโมเลกุลเรียงตัวในทิศทางเดียวกับแรงที่กระทำต่อเส้นใย(ตามความยาว) ทำให้สามารถมีส่วนช่วยในการรับแรงเต็มที่เรียกว่าเส้นใยนั้นมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่ดี (Oriented fiber) หรือในอีกกรณีหนึ่ง แม้เส้นใยจะ

มีบริเวณที่เป็นผลึกมาก แต่มีทิศทางการจัดเรียงตัวที่ไม่ขนานกับแกนตามยาวของเส้นใย โมเลกุลก็ไม่สามารถรับแรงในทิศทางการดึงเส้นใยได้เต็มที่ ทำให้มีความแข็งแรงน้อยกว่าในกรณีแรก ดังนั้น ในกระบวนการผลิตเส้นใยประดิษฐ์ จึงต้องมีการดึงยืดเส้นใยที่ออกมาจากหัวฉีด เพื่อเพิ่มความเป็นผลึกโดยการจัดเรียงโมเลกุลให้เป็นระเบียบ และทำการจัดเรียงโมเลกุลที่เป็นระเบียบเหล่านี้ให้อยู่ในทิศทางเดียวกับแกนตามยาวของเส้นใย กระบวนการนี้เรียกว่าการดึงยืด (Stretching หรือ Drawing)

9. การนำเส้นใยไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีทางการแพทย์¹

การใช้งานของโพลิเมอร์ในลักษณะที่เป็นเส้นใย คือ ใช้ทำเสื้อผ้า พรม กระดาษ เชือก เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ไนลอน เซลลูโลสอะซิเตต ความหมายของคำว่า เส้นใยที่ธรรมดาที่สุดคือ ความยาวอย่างน้อย 100 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยในธรรมชาติ เช่น ฝ้าย (Cotton) ลำลี ปอของต้นลินิน (Flax) จะมีความยาวประมาณ 1000 ถึง 3000 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของเส้นใย คือ ต้องมีจุดหลอมตัวค่อนข้างสูง มีความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ในช่วงอุณหภูมิกว้าง ๆ ได้สูงเพียงพอต่อการละลายหรือหลอมเพื่อปั่นเป็นเส้นใยได้ มีความแข็งแรงหรือทนต่อการแปรรูปสูง ในการนำไปใช้เป็นเสื้อผ้า ต้องพิจารณาคุณสมบัติที่จะทำให้ใส่สบาย เช่น ดูดความชื้นได้ดี อ่อนนุ่มแต่ทนทาน ยืดตัวได้

เทคโนโลยีทางการแพทย์ นำเส้นใยมาใช้ทำหลอดเลือดเทียมชนิดใหม่¹¹ นั่นคือ เมื่อหลอดเลือดในร่างกายได้รับความเสียหาย จะมีการใช้หลอดเลือดเทียมทดแทน เพื่อให้หลอดเลือดสามารถทำงานตามปกติได้ โดยทั่วไปมีการใช้หลอดเลือดเทียมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่



ภาพประกอบ 15 หลอดเลือดเทียมจากห้องวิจัยของบริษัท ซุมิโตโม อีเล็กทริก อินดัสทรี จำกัด ประเทศญี่ปุ่น

ที่มา : ฐานี อินทรทัต. (2551). พลาสติกทางการแพทย์ใช้ทำหลอดเลือดเทียมชนิดใหม่. (Online)

¹ฐานี อินทรทัต. (2551). พลาสติกทางการแพทย์ใช้ทำหลอดเลือดเทียมชนิดใหม่. (Online)

แต่ในปัจจุบันวงการวิจัย ได้พยายามมุ่งเน้นไปที่การหาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการซ่อมแซม หลอดเลือดขนาดกลางและขนาดเล็ก หลอดเลือดเทียมมีทั้งที่เป็นแบบทาง ชีวภาพและหลอดเลือดเทียมที่สังเคราะห์ขึ้น หลอดเลือดเทียมชนิดสังเคราะห์ทำจากวัสดุที่เรียกว่า ดาครอน (Dacron) หรือโพลีเตตระฟลูออโรเอทิลีน (PTFE : polytetrafluoroethylene) ผลิตด้วยวิธีการทอหรือถัก ซึ่งหากผลิตด้วยวิธีการทอจะมีรูเล็กกว่า ไม่มีการรั่วซึมของเลือดมากนัก และมีการนำมาใช้งานมากกว่าหลอดเลือดชนิดที่ผลิตด้วยวิธีการถัก เมื่อไม่นานมานี้ มีการผลิตหลอดเลือดเทียมที่ทำจากดาครอนเคลือบด้วยโปรตีน (คอลลาเจน/อัลบูมิน) เพื่อช่วยลดการซึมของเลือด และเคลือบยาปฏิชีวนะเพื่อป้องกันการติดเชื้ออีกด้วย

การใช้งานของหลอดเลือดเทียมที่ประสบความสำเร็จนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สมบัติเชิงกล ความง่ายในการสัมผัส และความเข้ากันได้กับร่างกายมนุษย์ การวิจัยในปัจจุบันมุ่งไปสู่การปรับปรุงพื้นผิววัสดุให้สามารถเข้ากันได้กับร่างกาย การพัฒนาวัสดุทำหลอดเลือดเทียมที่สามารถย่อยสลายได้ และการพัฒนาวัสดุโพลิเมอร์อีลาสโตเมอร์ชนิดใหม่ๆ ขึ้นมา

นาโนฟิลเตอร์เป็นการนำเอาเส้นใยนาโน หรือเทคโนโลยีการผลิตนาโนเทคโนโลยีมาใช้ผลิตทำให้เกิดแผ่นกรองที่มีความละเอียดมากๆ (Ultrafine membrane) ใช้สำหรับการกรองอากาศ น้ำเสียหรือน้ำทะเล ให้มีความบริสุทธิ์ เนื่องจากเชื้อโรค หรือแบคทีเรียมีขนาดไมครอน แต่นาโนฟิลเตอร์นี้มีความละเอียดกว่าเป็น 100-1,000 เท่า ดังนั้นสิ่งสกปรกไม่สามารถผ่านแผ่นกรองตัวนี้ได้ดังที่ ขณะนี้ใช้ในงานทหารของสหรัฐอเมริกา และระบบบำบัดน้ำเสีย ที่เรียกว่า ออสโมซิสย้อนกลับ (RO : Reverse osmosis)

10. เส้นใยนาโน (Nanofiber) ในประเทศไทย¹

เทคโนโลยีสำหรับการจัดการหรือสร้างวัสดุอุปกรณ์ในระดับอะตอมหรือโมเลกุล ซึ่งเล็กมากในระดับนาโนเมตร หรือเล็กกว่าเส้นผมคนเราประมาณ 1 แสนเท่า เรียกว่า นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) เป็นสหสาขาวิชาใหม่ (Multidisciplinary area) ที่ต้องอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจากหลากหลายสาขารวมเข้าด้วยกัน ทั้งเคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา อิเล็กทรอนิกส์ และอื่นๆ โดยเฉพาะสาขาคอมพิวเตอร์ (ในการใช้หุ่นยนต์แทนแรงงานมนุษย์) สำหรับการประกอบและผลิตสิ่งต่างๆ ขึ้นจากการจัดเรียงตัวของอนุภาคขนาดเล็ก เช่น อะตอมหรือโมเลกุลเข้าด้วยกันด้วยความแม่นยำในระดับนาโนเมตร และอุตสาหกรรมในอนาคตจะเป็นอุตสาหกรรมระดับโมเลกุล โดยโรงงานจะเป็นโรงงานนาโนที่ประกอบด้วยหุ่นยนต์นาโนนับล้านๆ ตัว ทำหน้าที่จัดเรียงอนุภาคอะตอมจนได้ผลผลิตตามความต้องการ ซึ่งงานวิจัยเกี่ยวกับเทคโนโลยีนี้ในประเทศไทยนับว่ามีความก้าวหน้าพอสมควร ผลงานหลายชิ้นอยู่ระหว่างการวิจัยทดสอบ ก่อนที่จะผลิตออกมาในเชิงพาณิชย์ ดังเช่น โครงการที่เชื่อว่าการปั่นเส้นใยนาโนด้วยไฟฟ้าสถิตเพื่อการ

¹งานวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทย. (2551). (online)

นำส่งยา ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวเป็นผลงานร่วมกันระหว่างนักวิจัยจากศูนย์นาโนเทค ศูนย์เอ็มเทค และวิทยาลัยปิโตรเลียมจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การปั่นเส้นใยนาโนด้วยวิธีการแบบนี้ เคยมีการวิจัยมาก่อนในอดีตเพียงแต่ไม่เกี่ยวข้องกับด้านยาหรือเภสัชกรรม ทางคณะผู้วิจัยจึงศึกษาเพิ่มเติมโดยทำเป็นตัวนำส่งยา โดยศึกษาร่วมกับยาหลาย ๆ ชนิด และเลือกใช้กับโพลิเมอร์ชนิด พีวีเอ หรือโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ซึ่งมีคุณสมบัติคงตัวได้ดี และไม่มีพิษต่อร่างกาย นำมาผ่านกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตสร้างเส้นใยมีขนาดเล็กประมาณ 100-150 นาโนเมตร

ทั้งนี้การปั่นเส้นใยระดับนาโนเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับวัสดุมากขึ้น จากการทดลองมีการนำเส้นใยพีวีเอที่ปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต แล้วมาเติมยาปฏิชีวนะซีฟาลิซีน ที่มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียได้หลายชนิด พบว่าสามารถนำส่งยาได้นานถึง 2 วัน โดยยาถูกฝังอยู่ในเส้นใยซึ่ง ไม่พบที่ผิวสัมผัส และผ่านการทดสอบแล้วว่าไม่เป็นพิษต่อเซลล์ร่างกายปกติ

งานวิจัยนี้ ยังถูกนำไปพัฒนาต่อในการผลิตแผ่นฟิล์มปิดแผลเพื่อใช้ลดการติดเชื้อบาดแผล โดยเฉพาะผู้ป่วยโรคเบาหวาน ซึ่งต่างจากพลาสติกอย่างทั่ว ๆ ไปที่ใช้ปิดผิวหนังหรือหากซุบยา ยานี้ก็จะติดอยู่บริเวณผิวเส้นใยซึ่งจะหมดไปอย่างรวดเร็ว

11. สัณฐานวิทยา (Morphology)

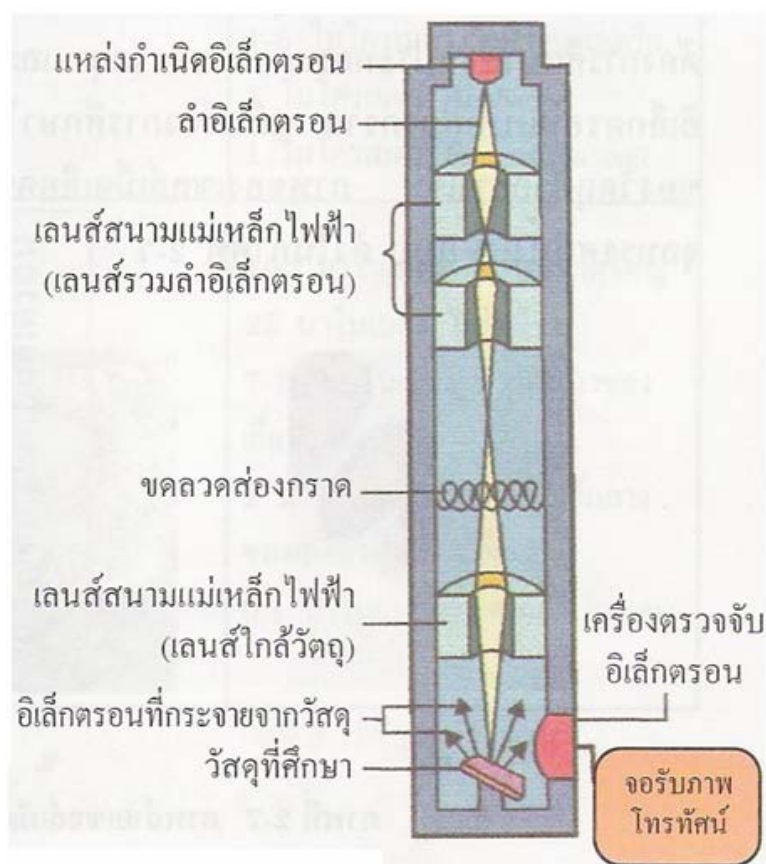
การศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของเส้นใย ทำได้โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM : Scanning Electron Microscope) เป็นกล้องที่ใช้ส่องดูวัตถุขนาดเล็กมากๆ โดยขยายให้ใหญ่ขึ้นได้ถึงสองแสนเท่า กล้องชนิดนี้ใช้ลำแสงอิเล็กตรอน โดยใช้อำนาจแม่เหล็กไฟฟ้าบังคับกระแสนิอิเล็กตรอนให้พุ่งไปรวมกันที่จุดใดจุดหนึ่ง บนชิ้นตัวอย่างในทำนองเดียวกับการใช้เลนส์รวมแสงไปที่จุดโฟกัสในกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาซึ่งจะได้ภาพจะเกิดขึ้นบนจอภาพ โดยสามารถเลือกบริเวณที่ต้องการพิจารณาได้อย่างสะดวก โดยระบบของเครื่องจะติดตั้งอยู่ในสภาพสุญญากาศ

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเป็นประโยชน์มากในการศึกษาค้นคว้าทางการแพทย์ โลหะวิทยา และวิทยาศาสตร์อีกหลายสาขา เพราะสามารถแสดงรูปร่าง ลักษณะของแบคทีเรีย ไวรัส และผลึกที่ประกอบขึ้นเป็นโลหะซึ่งไม่อาจมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาได้

11.1 หลักการของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

อิเล็กตรอนจะถูกสร้างขึ้นโดยใช้ปืนอิเล็กตรอน (Electron Gun) จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกโฟกัสให้เข้มข้นและเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงโดย เลนส์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (เลนส์รวมลำอิเล็กตรอน) จากนั้นโฟกัสให้อิเล็กตรอนนั้นตกกระทบบนชิ้นงาน โดยเลนส์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า (เลนส์ใกล้วัตถุ) ซึ่ง ณ ตอนนี อิเล็กตรอนที่ตกลงบนผิวตัวอย่างจะเป็นเพียงจุดที่เล็กมาก ขดลวดส่งกราด (Scan Coil) จะควบคุมการกวาดของลำอิเล็กตรอนให้กวาดจากซ้ายไปขวา เมื่อสุดก็เลื่อนลงอีกชั้นและกวาดจากซ้ายไปขวาอีกครั้ง เป็นเช่นนี้จนครบกรอบ (Frame) และเมื่อครบกรอบ แล้วก็

จะไปเริ่มกวาดที่จุดแรกใหม่ ในการกวาดลำอิเล็กตรอนในแต่ละกรอบ จะถูกกำหนดจำนวนจุดและแถวไว้อย่างแน่นอน โดยในภาพตัวอย่าง 1 กรอบ ตามเส้นตามแนวนอนจะประกอบด้วยจุด 1000 จุด และมีทั้งหมด 1000 เส้น ที่ผิวตัวอย่างที่อิเล็กตรอนตกใส่ จะเกิดสัญญาณอิเล็กตรอนขึ้นหลายรูปแบบซึ่งคล้ายกับการที่แสงตกกระทบวัตถุและสะท้อนออกจากผิววัตถุ ในที่นี้ถ้ากล่าวอย่างง่ายคือ ถ้าผิวตัวอย่างเรียบก็จะให้สัญญาณสะท้อนอิเล็กตรอนได้ดี แต่ถ้าผิวตัวอย่างเป็นหลุมลึกก็จะไม่ให้สัญญาณหรือให้ได้น้อย ซึ่งสามารถรับสัญญาณได้โดยใช้หัววัด (Detector) ที่เหมาะสมกับชนิดของสัญญาณ สัญญาณที่ได้จะนำมาขยายให้มีความแรงที่เหมาะสมแล้วนำมาสร้างเป็นภาพ



ภาพประกอบ 16 แสดงเส้นทางเดินของลำแสงของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด
ที่มา : กล้องจุลทรรศน์. (2551). (Online)

11.2 ลักษณะของสัญญาณชนิดต่างๆ

11.2.1 สัญญาณจากอิเล็กตรอนในชั้นงานที่หลุดออกมา ให้ข้อมูลในลักษณะเป็นภาพพื้นผิวจริงของวัตถุมีลักษณะสูงต่ำและร่องรอยที่เกิดขึ้นจริงบนวัตถุ

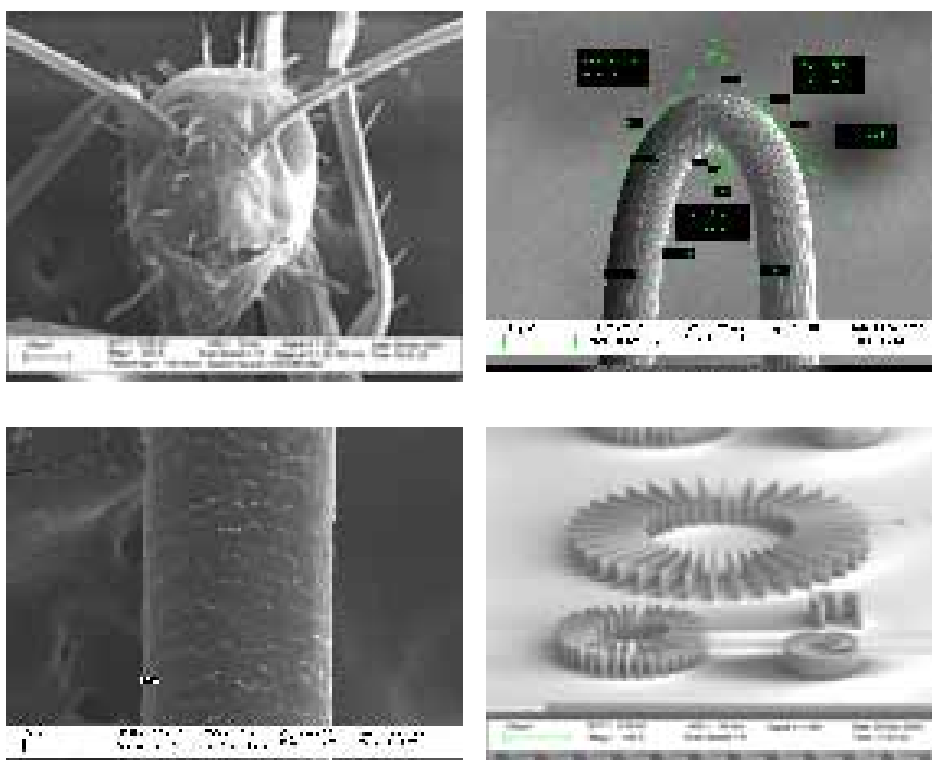
11.2.2 สัญญาณจากอิเล็กตรอนที่กระเจิงกลับ (Backscattered electron) ให้ข้อมูลในลักษณะเป็นภาพพื้นผิวของวัตถุ แต่ให้ความแตกต่างบนพื้นผิวของวัตถุในลักษณะแบ่งเป็นเฟสสว่างและเฟสมืด ขึ้นอยู่กับเลขอะตอมของธาตุ (Z : Atomic number) ที่ผสมอยู่ในวัตถุนั้น ธาตุที่มีเลขอะตอมสูงกว่าจะมีเฟสที่สว่าง กว่าธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำกว่า

11.2.3 สัญญาณจากรังสีเอกซ์ ให้ข้อมูลลักษณะบอกเป็นธาตุที่ประกอบอยู่ในวัตถุนั้น โดยแสดงออกมาเป็นกราฟหรือพื้นที่ภาพที่แทนด้วยสีเพื่อบอกตำแหน่งที่อยู่ของ ธาตุนั้น

11.3 การวิเคราะห์สำหรับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สามารถวิเคราะห์ได้ 2 ลักษณะ คือ

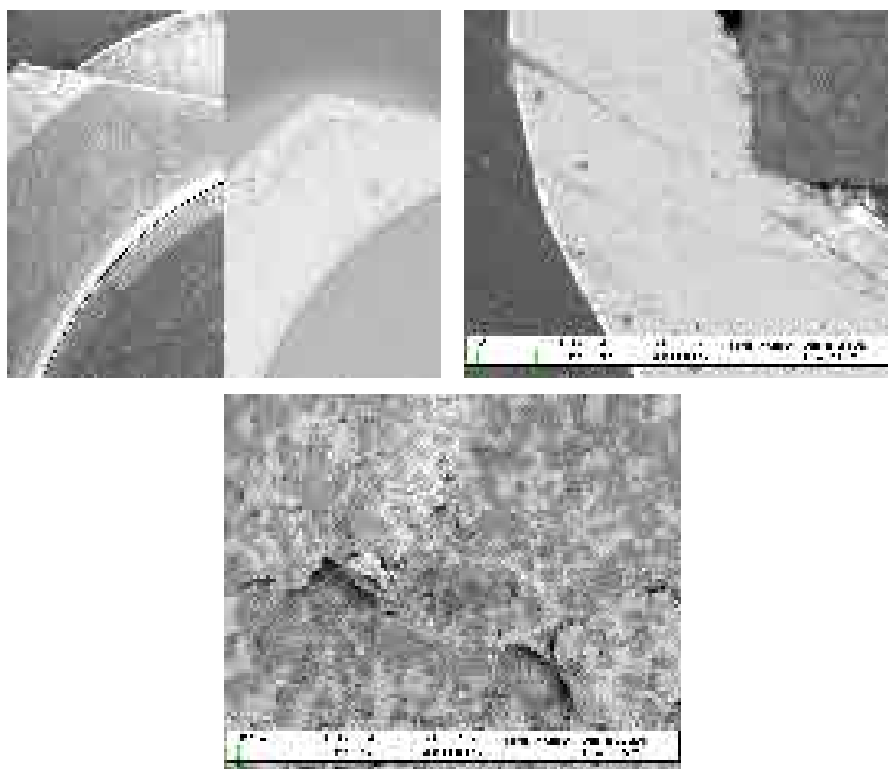
11.3.1 การดูลักษณะของพื้นผิวของตัวอย่าง ซึ่งสามารถดูความแตกต่างของพื้นผิว โดยขึ้นอยู่กับลักษณะของหัววัดได้ โดยแบ่งเป็น

11.3.1.1 ภาพที่ได้จากสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมิในชิ้นงานที่หลุดออกมา จะได้ภาพที่เป็นลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่มีความสูงต่ำ ขรุขระ ที่เกิดขึ้นจริงบนตัวอย่าง และสามารถวัดขนาดต่างๆ บนตัวอย่างนั้นได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 17



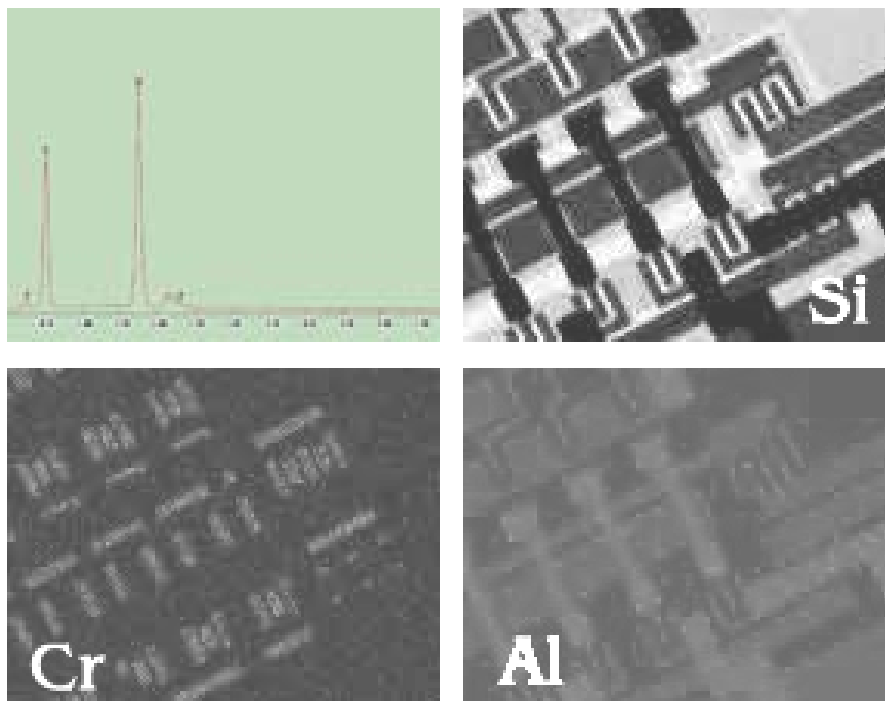
ภาพประกอบ 17 ภาพที่ได้จากสัญญาณจากอิเล็กตรอนในชิ้นงานที่หลุดออกมา
ที่มา : กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด. (2548). (Online)

11.3.1.2 ภาพที่ได้จากสัญญาณจากอิเล็กตรอนที่กระดอนกลับ จะได้ภาพที่เป็นลักษณะเป็นภาพพื้นผิวของวัตถุ แต่ให้ความแตกต่างบนพื้นผิว ของวัตถุในลักษณะ แบ่งเป็นเฟสสว่างและเฟสมืด ขึ้นอยู่กับเลขอะตอมของธาตุ(Z : Atomic number) ที่ผสมอยู่ในวัตถุนั้น ธาตุที่มีเลขอะตอมสูงกว่าจะมีเฟสที่สว่าง กว่าธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำกว่า ดังแสดงในภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 ภาพที่ได้จากสัญญาณจากอิเล็กตรอนที่กระดอนกลับ
ที่มา : กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราด. (2548). (Online)

11.3.2 การวิเคราะห์ธาตุ (EDX : Energy Dispersive X-ray) สามารถให้ข้อมูลได้เป็น 2 ลักษณะ คือ หาธาตุที่มีอยู่ในตัวอย่างว่ามีธาตุใดบ้าง โดยแสดงออกมาเป็นกราฟ และบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ของธาตุนั้นๆ และสามารถบอกเป็นพื้นที่ว่างบริเวณใดมีธาตุใดอยู่บ้าง ดังแสดงในภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 ภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ธาตุ
ที่มา : กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสองกราด. (2548). (Online)

เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พ.ศ. 2546 กมลรัตน์ คณาวัง และกนกวรรณ พนิชนาพันธ์ ได้ศึกษาเส้นใยโพลิเมอร์เพื่อใช้ในการแพทย์ในระดับนาโนโดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต การเตรียมและตรวจสอบสมบัติของเส้นใยผสมของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์กับอัลจินต เพื่อใช้เป็นวัสดุปิดแผล เป็นการเตรียมเส้นใยในระดับนาโนโดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต จากโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมอัลจินต จากนั้นนำมาผสมกับยาเตตระไฮดรอลิน สำหรับใช้เป็นวัสดุปิดแผลเพื่อใช้ในการแพทย์ โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของเส้นใย คือ ความเข้มข้นของสารละลาย ระยะทางระหว่างปลายเข็มถึงฉากรับ และศักย์ไฟฟ้าพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมเส้นใยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ คือ โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 10% ระยะทางระหว่างปลายเข็มถึงฉากรับ 10 เซนติเมตร ศักย์ไฟฟ้า 8 กิโลโวลต์ และนำสภาวะดังกล่าว มาเตรียมเป็นเส้นใยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมยาเตตระไฮดรอลินในปริมาณ 0.10 0.15 0.20 และ 0.25 กรัม ตามลำดับ เมื่อเตรียมเส้นใยผสมของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ 10% กับ อัลจินต 3% ในอัตราส่วน 1:1 โดยเตรียมเส้นใยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมอัลจินตเคลือบบนเส้นใยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมยา และทดสอบการปลดปล่อยยาในสภาวะควบคุมอุณหภูมิที่ 37°C ในอะซิเตตบัฟเฟอร์ที่ pH 5.5 ทดลองในระยะเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า ปริมาณยาเตตระไฮดรอลิน 0.10 กรัม ปลดปล่อยยาออกมาได้มากที่สุดถึง 86.50% สำหรับเส้นใยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมอัลจินตเคลือบบนเส้นใยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมยา เมื่อทดสอบการปลดปล่อยยา ในสภาวะดังกล่าว พบว่าปริมาณยาเตตระไฮดรอลิน 0.10 กรัม ปลดปล่อยยาออกมาได้เท่ากับ 44 %

พ.ศ. 2546 เคนวี (Kenewy) และคณะ ได้ทำการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต โดยใช้สารละลายโพลิเอทิลีนโคไวนิลแอลกอฮอล์ [poly(ethylene-co-vinyl alcohol)] พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยมีค่าระหว่าง 0.2-0.8 ไมโครเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย สามารถนำเส้นใยไปประยุกต์ใช้ในการชีวการแพทย์ได้

พ.ศ. 2546 เซอร์เกอร์ (Sergey) และคณะ ได้เสนอสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงตึงผิว อัตราการไหลของสารละลาย และศักย์ไฟฟ้า ใช้เพื่อการจำลองแบบ (Simulation) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ได้จากกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต พบว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองสอดคล้องกับการจำลองแบบตามทฤษฎี

พ.ศ. 2547 แคสเปอร์ (Casper) และคณะได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการควบคุม โครงสร้างพื้นที่ผิวหน้าตัดของเส้นใย พบว่าความชื้นในบรรยากาศมีผลต่อโครงสร้างพื้นที่ผิวหน้าตัดของเส้นใยที่ได้จากการปั่นสารละลายโพลิเอสเตอร์ด้วยไฟฟ้าสถิต คือ ขณะทำการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ถ้าความชื้นในบรรยากาศน้อยกว่า 25% เส้นใยจะมีโครงสร้างพื้นที่ผิวหน้าตัดของเส้นใยที่ราบเรียบ เมื่อความชื้นในบรรยากาศมากกว่า 30% เส้นใยจะมีโครงสร้างพื้นที่ผิวหน้าตัดของ

เส้นใยมีรูปพรุณเกิดขึ้น นั่นคือ เมื่อความชื้นในบรรยากาศเพิ่มขึ้นทำให้จำนวนรูปพรุณ เส้นผ่านศูนย์กลางของรูปพรุณ และการกระจายตัวของรูปพรุณเพิ่มขึ้นด้วย

พ.ศ. 2547 วีระเดช จารุสุวรรณภูมิ ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบ ของตัวทำละลาย 18 ชนิดกับโพลิสไตรีนพบว่า ไคคลอโรอีเทน ไคเมทิลฟอมาไมด์ เมทิลเอทิลอะซิเตต และเอทิลอะซิเตต เป็นตัวทำละลายที่ให้ผลการผลิตเส้นใยที่ดี นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะรูปร่างของเส้นใยที่ได้ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมในการแข็งตัวของเส้นใยซึ่งขึ้นกับชนิดของตัวทำละลายด้วย

พ.ศ. 2547 ชิตชนก มิตรอุปถัมภ์ ได้ศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสัณฐานวิทยา และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเอไมด์ 6 ที่ผลิตได้ ปัจจัยที่ทำการศึกษานี้แบ่งเป็น ปัจจัยที่เกิดจากสารละลายโพลิเมอร์ และปัจจัยที่เกิดจากกระบวนการผลิต สำหรับในส่วนของปัจจัยที่เกิดจากสารละลายโพลิเมอร์นั้น ได้ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์ น้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ย อุณหภูมิของสารละลาย ชนิดของตัวทำละลาย และการเติมเกลือลงในสารละลาย โดยได้ศึกษาสมบัติของสารละลาย ได้แก่ ความหนืด แรงตึงผิว และค่าการนำไฟฟ้าที่วัดจากสารละลายในระบบต่าง ๆ พบว่ามีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงสัณฐานวิทยาและขนาดของเส้นใย สำหรับการศึกษาในส่วนของปัจจัยที่เกิดจากกระบวนการผลิตนั้น พบว่าหากเปลี่ยนประเภทของศักย์ไฟฟ้าที่ให้แกสารละลาย โดยอาจเป็นศักย์ไฟฟ้าชนิดบวกหรือลบ จะทำให้เกิดความแตกต่างของสัณฐานวิทยาและขนาดของเส้นใย โดยหากเป็นศักย์ไฟฟ้าชนิดลบ เส้นใยที่ผลิตได้จะมีลักษณะเป็นเส้นแบนและมีขนาดใหญ่กว่าศักย์ไฟฟ้าชนิดบวก ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นกลม

พ.ศ. 2548 สุนิสา ปานบุญ ศึกษาการเตรียมเส้นใยขนาดเล็กของโพลิเมอร์ผสมระหว่าง โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) กับไคโตซานด้วยกระบวนการปั่นเส้นใยแบบไฟฟ้าสถิต ทั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลของปัจจัยการผลิต และ สมบัติของสารละลาย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย ไคโตซานที่ใช้ผสม อัตราส่วนการผสมสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์กับสารละลายไคโตซาน ศักย์ไฟฟ้า และระยะห่างระหว่างปลายหัวฉีดกับฉากรับ ที่มีต่อการเตรียมเส้นใย ตลอดจนขนาดและสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ได้ พบว่าเมื่อองค์ประกอบของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์และไคโตซานผสมกันอยู่จริง เมื่อทำการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยผสมที่เตรียมได้ในสภาวะต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า การเพิ่มขึ้นของศักย์ไฟฟ้าและระยะห่างระหว่างปลายหัวฉีดกับฉากรับมีแนวโน้มที่จะทำให้ขนาดของเส้นใยลดลงบ้างแต่ไม่มากนัก ในขณะที่การเพิ่มปริมาณไคโตซานในสารละลายผสม ทำให้ได้เส้นใยขนาดเล็กลงอันเป็นผลมาจากการลดลงของความหนืด และการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของสารละลายผสม และการใช้ความเข้มข้นของไคโตซาน 3% โดยน้ำหนักในการผสมกับโพลิไวนิลแอลกอฮอล์จะทำให้ขนาดของเส้นใยที่เตรียมได้ไม่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ ผลของการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียอีโคไล (*E.coli*) โดยใช้วุ้นเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ และสังเกตการเติบโตของเชื้อจากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่า เส้นใยโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ต่อ ไคโตซานในสัดส่วนการผสมเป็น 60/40 และ 50/50 มีผลในการยับยั้ง

การเจริญของเชื้ออีโคไล (*E.coli*) ได้ค่อนข้างดี จึงมีแนวโน้มในการนำไปประยุกต์ใช้ในทาง การแพทย์เป็นวัสดุปิดแผลต่อไปได้

พ.ศ. 2550 ณวัฒน์ เจียมเงิน และคณะ ได้ศึกษาการเตรียมแผ่นเส้นใยไม่ชอบน้ำโดย กระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์และปฏิกิริยาไซลาโนเซชัน ในขั้นตอน เตรียมแผ่นเส้นใยของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยต่ำกว่า 1 ไมโครเมตร โดยกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต จากนั้นทำให้เส้นใยมีชั้นอนินทรีย์ที่มีลักษณะคล้ายซิลิกา ซึ่งประกอบด้วยหมู่ซิลิกอนออกไซด์/ซิลานอล ด้วยการทำปฏิกิริยากับซิลิกอนเททราคลอไรด์และ น้ำเป็นจำนวน 3 รอบ ทำให้แผ่นเส้นใยของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีความไม่ชอบน้ำโดยปฏิกิริยาไซ ลานโนเซชันของไตรเมทิลไดคลอโรไซเลนและเมทิลไตรคลอโรไซเลน ภายใต้สภาวะไอ ที่อุณหภูมิห้อง วิเคราะห์สมบัติของแผ่นเส้นใยของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ที่ผ่านการดัดแปรพื้นผิวด้วยการวัดมุม สัมผัสของน้ำและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

พ.ศ. 2550 นราธิป สังขพรหม และคณะ ได้ศึกษาการสังเคราะห์สังกะสีออกไซด์ที่มี โครงสร้างแบบนาโนด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตผสมกับเทคนิคโซลโวเทอร์มอล (Solvothermal) เพื่อจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์หลายอย่าง เช่น มีความยืดหยุ่น มีความ แข็งแรง เป็นต้น พบว่า เส้นใยคอมโพสิตระหว่างโพลิไวนิลแอลกอฮอล์กับสังกะสีอะซีเตตขนาดนา โนเมตรสามารถที่จะผลิตขึ้นมาได้ โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต แต่เมื่อนำเส้นใยที่ ได้ไปผ่านกระบวนการโซลโวเทอร์มอลผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่มีคุณสมบัติเป็นเส้นใยแต่เป็นอนุภาค สังกะสีออกไซด์ที่มีรูปร่างแท่งขนาดนาโนเกาะบนตัวโพลิเมอร์แทน

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. สารโพลีไวนิลแอลกอฮอล์
2. หลอดบรรจุสารละลายปริมาตร 10 มิลลิลิตร
3. ขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร
4. เข็มฉีดยา (Syringe) เบอร์ 23
5. น้ำกลั่น
6. เครื่องชั่งละเอียด 3 ตำแหน่ง
7. อุปกรณ์รองรับเส้นใยขนาด 30x30 ตารางเซนติเมตร
 - 7.1 กระดาษฟอล์ยขนาด 30x30 ตารางเซนติเมตร
 - 7.2 แผ่นอะคริลิกขนาด 30x30 ตารางเซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร
 - 7.3 แผ่นอะลูมิเนียมขนาด 26x26 ตารางเซนติเมตร
8. อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย
 - 8.1 ฐานรองรับหลอดบรรจุสารละลาย
 - 8.2 วงจรควบคุมอัตราการหมุนและทิศทางการหมุนของสเตปมอเตอร์
 - 8.3 สเตปมอเตอร์
9. เครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง
 - 9.1 วงจรออสซิลเลเตอร์
 - 9.2 วงจรไฟแบ็ก
 - 9.3 วงจรเรกติไฟเออร์
10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM : Scanning Electron Microscope)

ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-5800LV

สถานที่ดำเนินงานวิจัย

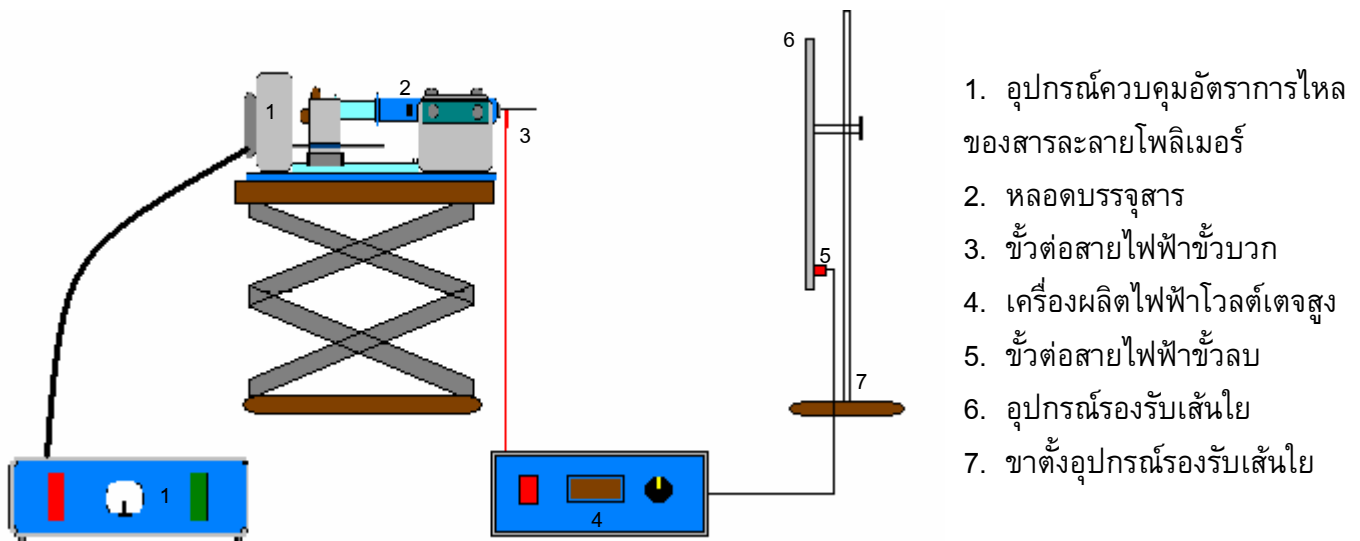
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ภาควิชาเคมีและภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

ธนบุรี

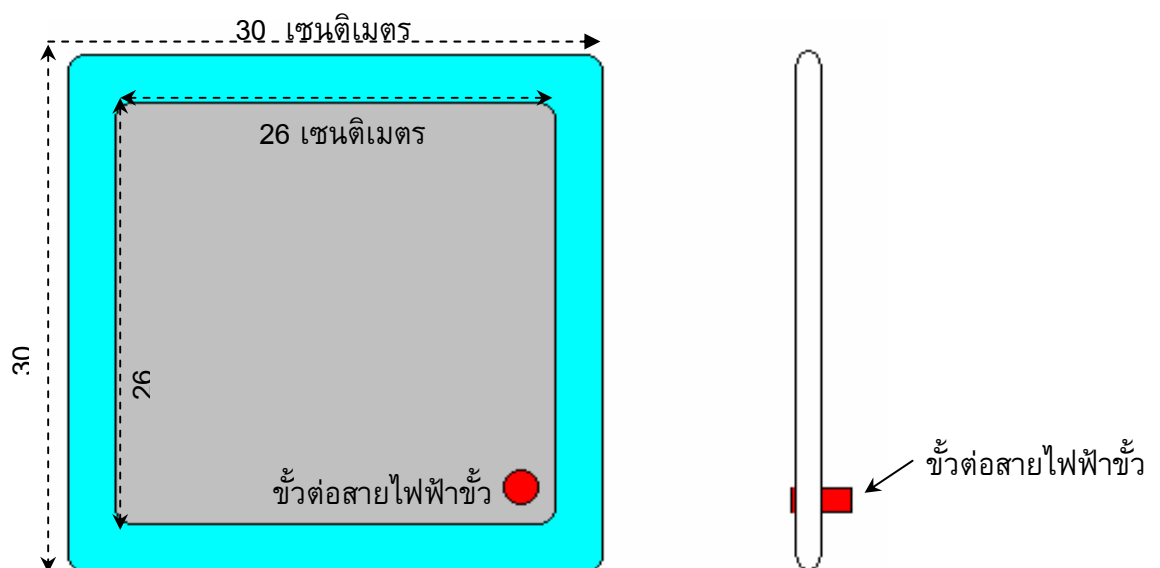
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. การออกแบบและสร้างอุปกรณ์การสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพลิเมอร์แบบนาโนไฟเบอร์โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต



ภาพประกอบ 20 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

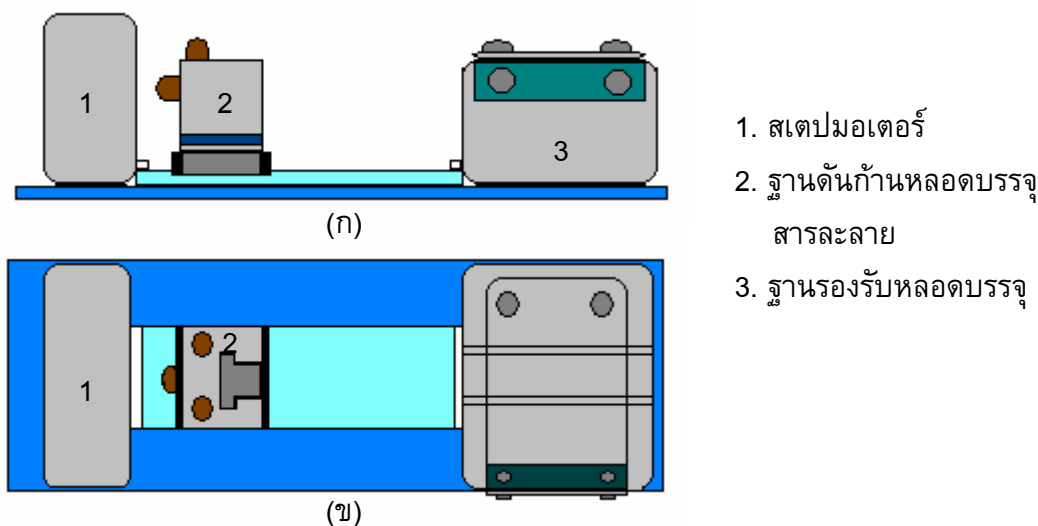
1.1 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์รองรับเส้นใย นำแผ่นอะคริลิกขนาด 30x30 ตารางเซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร และแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 26x26 ตารางเซนติเมตร ประกบติดกัน ดังภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 อุปกรณ์รองรับเส้นใย

1.2 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์

ออกแบบและสร้างฐานรองรับหลอดบรรจุสารละลาย ดังภาพประกอบ 22



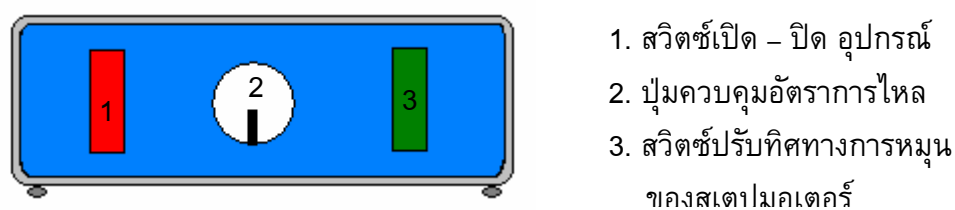
ภาพประกอบ 22 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์

(ก) มุมมองด้านข้าง และ (ข) มุมมองด้านบน

1.2.1 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ควบคุมอัตราการหมุนและทิศทางการหมุน โดย

นำวงจรควบคุมอัตราการหมุนและทิศทางการหมุนของสเตปมอเตอร์ ต่อกับสเตปมอเตอร์

ดังภาพประกอบ 23 และ 24

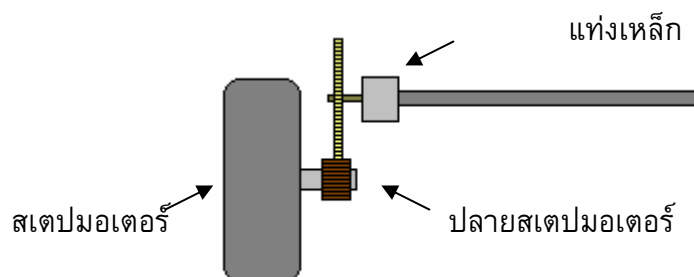


ภาพประกอบ 23 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการหมุนและทิศทางการหมุน



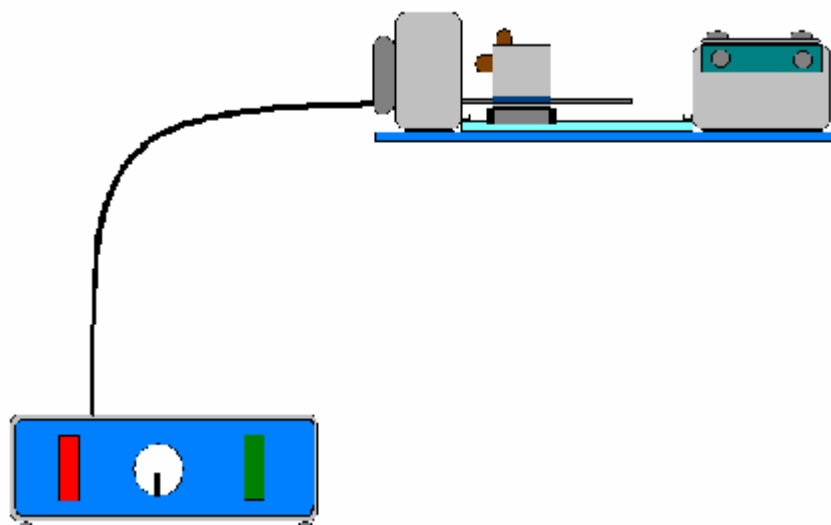
ภาพประกอบ 24 วงจรภายในอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์

1.2.2 นำเฟืองมาประกอบที่ปลายสเตปมอเตอร์ และนำมาต่อกับแท่งเหล็ก
ดังภาพประกอบ 25



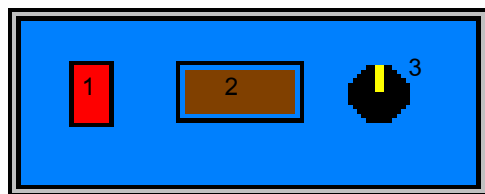
ภาพประกอบ 25 ปลายของสเตปมอเตอร์ที่ต่อกับเฟืองและแท่งเหล็ก

1.2.3 นำฐานรองรับหลอดบรรจุสารละลาย อุปกรณ์ควบคุมอัตราการหมุนและทิศทางการหมุน และสเตปมอเตอร์ มาประกอบกันจะได้อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ ดังภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 26 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์

1.3 ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง โดยนำวงจรออสซิลเลเตอร์ หม้อแปลงฟลายแบ็ค และวงจรเรกติไฟเออร์มาต่อกัน ดังภาพประกอบ 27 และ 28



1. สวิตช์ เปิด – ปิด อุปกรณ์
2. จอแสดงผลค่าศักย์ไฟฟ้า
3. สวิตช์ปรับค่าศักย์ไฟฟ้า

ภาพประกอบ 27 เครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง



ภาพประกอบ 28 วงจรภายในเครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง

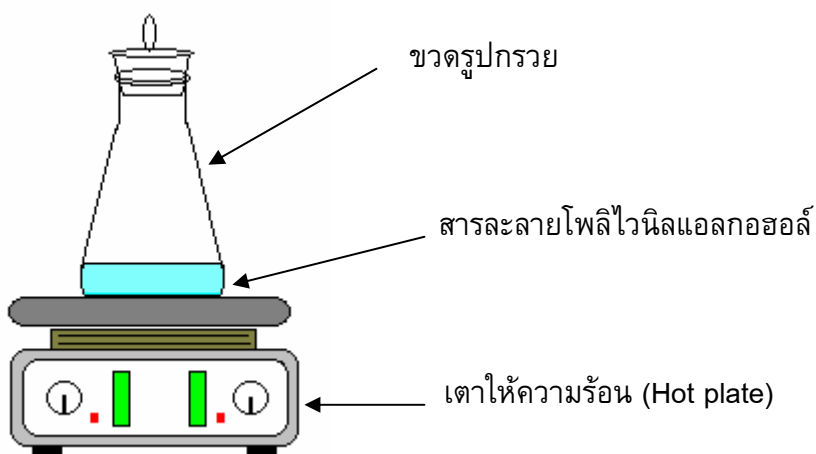
2. การทดลองเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต และทดสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพลิเมอร์แบบนาโนไฟเบอร์โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

2.1 การเตรียมสารละลายโพลิเมอร์

2.1.1 ใส่สารโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ลงในขวดรูปกรวย

2.1.2 เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวย ใช้แท่งแก้วคน เพื่อให้โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ละลายน้ำ

2.1.3 ให้ความร้อนกับสารละลายที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 4–6 ชั่วโมง จนกว่าโพลิไวนิลแอลกอฮอล์จะละลายน้ำจนหมด ดังภาพประกอบ 29



ภาพประกอบ 29 การให้ความร้อนกับสารละลายโพลิเมอร์

2.2 การทดสอบความสามารถการปั่นเส้นใยของอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพลิเมอร์แบบนาโนไฟเบอร์โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

2.3 การศึกษาผลปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสัณฐานวิทยา และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์

2.3.1 ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อสัณฐานวิทยา และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ ดังนี้

2.3.1.1 ศักย์ไฟฟ้าปรับค่าได้ โดยเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าเป็น 10 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ตามลำดับ โดยที่ระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใยเป็น 20 เซนติเมตร และสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความเข้มข้น 4% โดยน้ำหนัก อัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์เป็น 1.5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และเวลาที่ใช้ในการเก็บเส้นใยเป็นเวลา 5 นาที เพื่อศึกษาศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์

2.3.1.2 เปลี่ยนระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใยเป็น 10 15 20 และ 25 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยใช้ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ และสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความเข้มข้น 4% โดยน้ำหนัก อัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์เป็น 1.5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และเวลาที่ใช้ในการเก็บเส้นใยเป็นเวลา 5 นาที เพื่อศึกษาระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์

2.2.1.3 เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์มีความเข้มข้นเป็น 4% 8% 12% และ 16% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ อัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์เป็น 1.5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และเวลาที่ใช้ในการเก็บเส้นใยเป็นเวลา 5 นาที โดยเลือกใช้ระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใยและศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม

2.3.2 กำหนดปัจจัยที่มีผลต่อสัณฐานวิทยา และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ ให้คงที่แล้วปรับอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์เป็น 1.5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และเวลาที่ใช้ในการเก็บเส้นใยเป็นเวลา 5 นาที ต่อ 1 ขั้นตอนตัวอย่าง

2.3.3 ศึกษาชิ้นตัวอย่าง ที่เตรียมด้วยเงื่อนไขที่เหมาะสมตามหัวข้อ 2.3.1 ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM : Scanning Electron Microscope) ที่กำลังขยาย 7500 เท่า

บทที่ 4

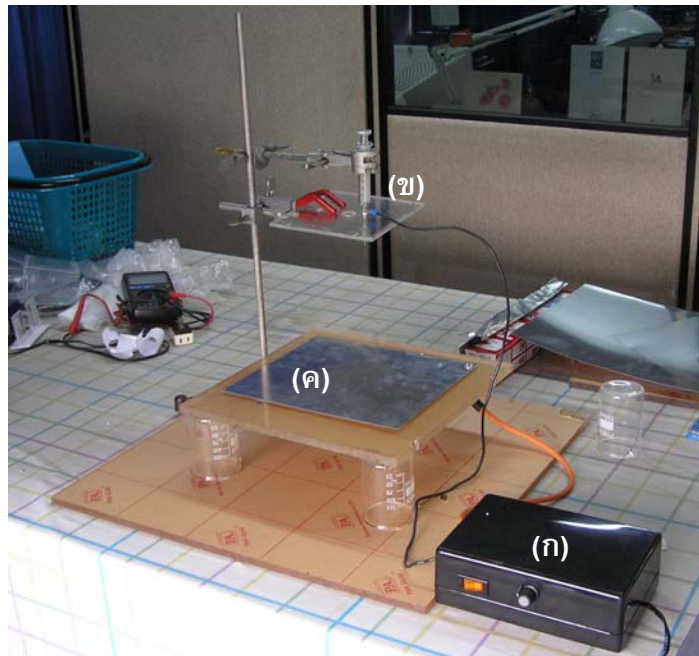
ผลการทดลอง

1. ผลการสร้างอุปกรณ์การสร้างอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพลิเมอร์ โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

1.1 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต รุ่นที่ 1 (ปรับความต่างศักย์ได้ 0-10 กิโลโวลต์)

อุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต รุ่นที่ 1 (ดังภาพประกอบ 30) ได้มีการสร้างอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูงขึ้นเอง โดยใช้ขดลวดจ่ายไฟแรงสูงในรถยนต์ ซึ่งมีความสามารถในการจ่ายไฟสูงสุดประมาณ 12.5 กิโลโวลต์ มาต่อเข้ากับวงจรกรองกระแสและส่วนปรับความดัน ทำให้ได้เครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูงสำหรับอุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ ที่ปรับค่าแรงดันในการใช้งานจริง ได้ในช่วง 0-10 กิโลโวลต์

ส่วนอุปกรณ์บรรจุสารละลายโพลิเมอร์ที่ต่อกับปลายเข็มฉีดยาที่เป็นโลหะ และการควบคุมการไหลของพอลิเมอร์ทำโดยใช้แรงกดที่ก้านหลอดฉีดเข้ากับตัวหลอดฉีดยาโดยใช้วัตถุที่มีน้ำหนักคงที่กดทับ หรือ ใช้สายยางรัด



ภาพประกอบ 30 อุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต รุ่นที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย เครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง (ก) หลอดบรรจุสารละลายโพลิเมอร์ (ข) และอุปกรณ์รองรับเส้นใย (ค)

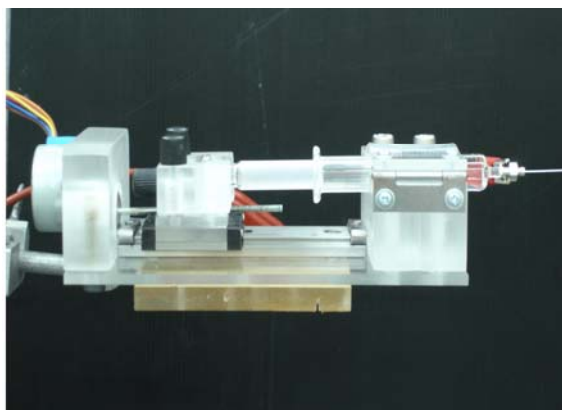
ส่วนอุปกรณ์รองรับเส้นใย (Collector screen) สำหรับเครื่องรุ่นนี้ได้ออกแบบให้วางตัวแนวนอน โดยแผ่นรองรับเส้นใยที่สร้างขึ้นตามการออกแบบในหัวข้อ 1.1 บทที่ 3 ประกอบติดอยู่ด้านบนทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รองรับเส้นใยที่นำไฟฟ้าซึ่งต่ออยู่กับขั้วไฟฟ้า

1.2 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต รุ่นที่ 2 (ปรับความต่างศักย์ได้ 0-25 กิโลโวลต์)

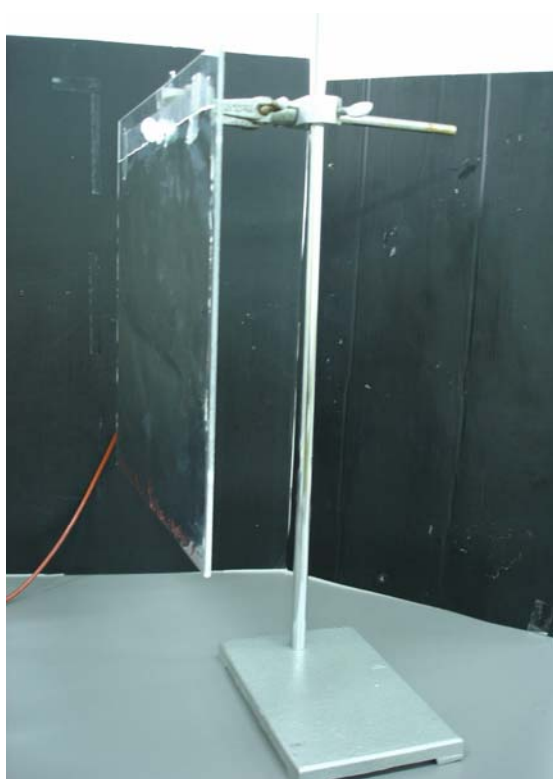
อุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต รุ่นที่ 2 ซึ่งได้ประกอบเครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูงขึ้นจากหม้อแปลงฟลายแบ็คของเครื่องรับโทรทัศน์ โดยอุปกรณ์รุ่นนี้มีองค์ประกอบหลัก ดังในภาพประกอบ 31 คือ อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง หลอดบรรจุสารละลายโพลิเมอร์ และอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ และอุปกรณ์รองรับเส้นใยที่เป็นแผ่นตัวนำไฟฟ้าและมีส่วนต่อกับขั้วไฟฟ้า



(ก)



(ข)



(ค)

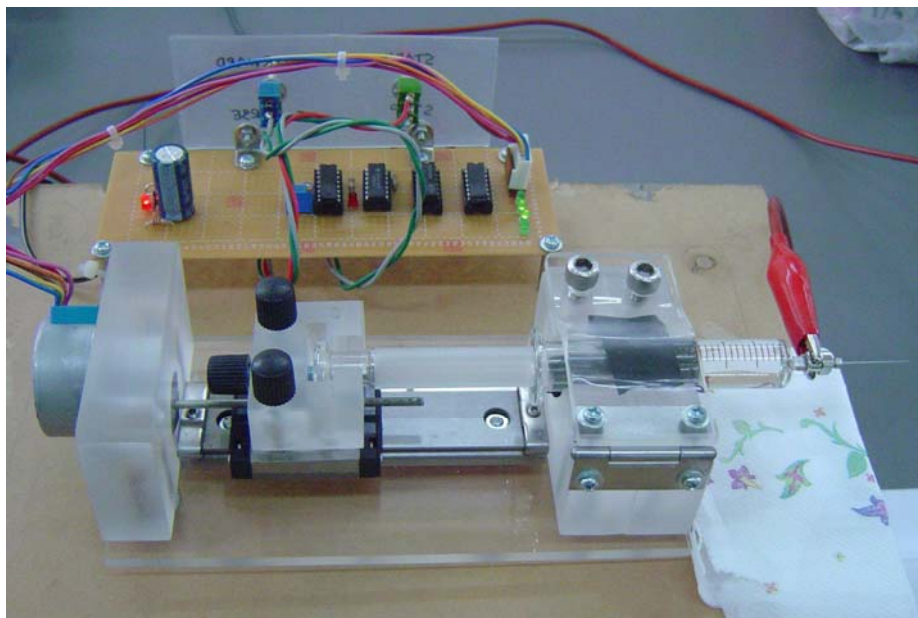


(ง)

ภาพประกอบ 31 อุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต รุ่นที่ 2 (ก) อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง (ข) อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย (ค) อุปกรณ์รองรับเส้นใย (ง) ขั้วต่อสายไฟฟ้า (ขั้วบวกต่อกับปลายเข็มฉีดยาและขั้วลบต่อกับฉากรับเส้นใย)

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย

อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์ ที่สร้างขึ้นตามการออกแบบใน
หัวข้อ 1.2 บทที่ 3 ดังภาพประกอบ 32

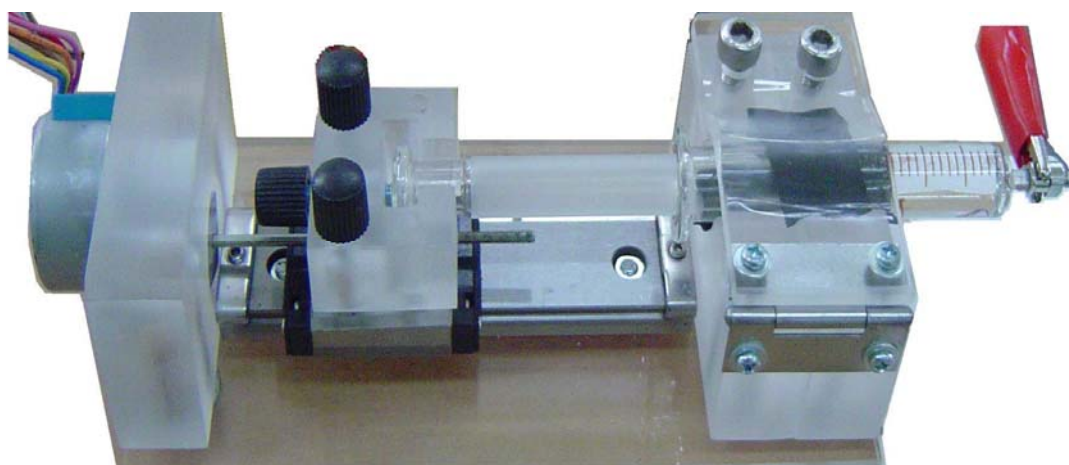


ภาพประกอบ 32 อุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของสารละลายโพลิเมอร์

ส่วนฉีดสารละลายโพลิเมอร์จากหลอดบรรจุสารละลายและควบคุมการไหลของสารละลาย

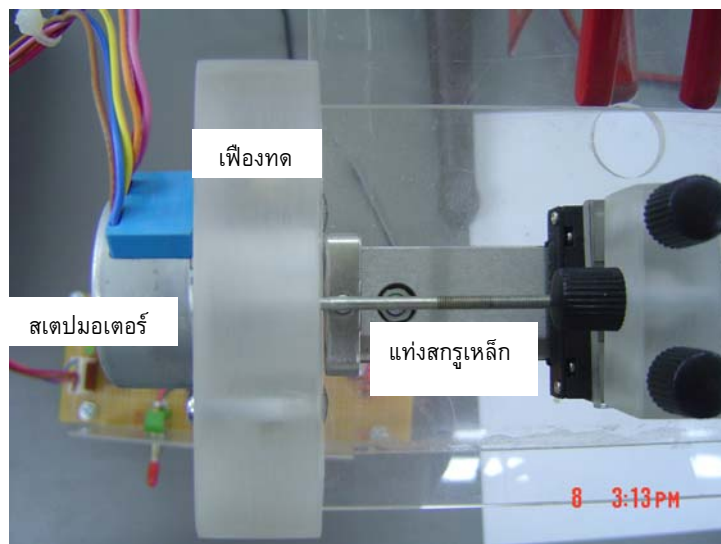
อุปกรณ์ฉีดสารละลายโพลิเมอร์จากหลอดบรรจุสารละลาย ประกอบด้วยสเตปมอเตอร์ที่ต่อกับเฟือง และแกนสำหรับขับเคลื่อนหลอดบรรจุสารละลาย หลอดบรรจุสารละลายที่เป็นแก้วต่อกับปลายเข็มฉีดยาโลหะ และฐานรองรับที่ประกอบขึ้นจากแผ่นอะคริลิก

นำฐานรองรับหลอดบรรจุสารละลาย อุปกรณ์ควบคุมอัตราการหมุนและทิศทางการหมุน และสเตปมอเตอร์ มาประกอบกัน ดังภาพประกอบ 33



ภาพประกอบ 33 อุปกรณ์ฉีดสารละลายโพลิเมอร์

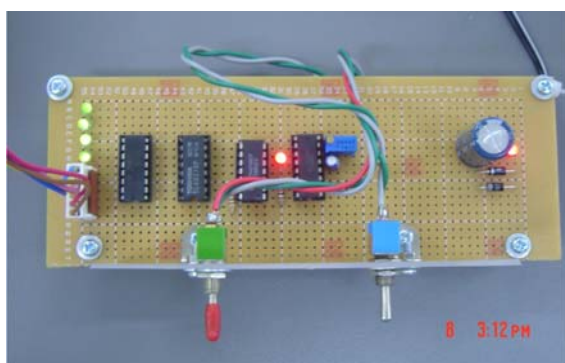
การทำงานของอุปกรณ์ฉีดสารละลายโพลิเมอร์ ใช้หลักการหมุนของสเตปมอเตอร์ ที่ต่อกับเฟืองทด และแท่งสกรูเหล็ก โดยเมื่อมอเตอร์และเฟืองทดหมุน จะทำให้สกรูไปดันให้ฐานรองรับหลอดบรรจุสารละลาย เคลื่อนตัวไปตามแนวแกนนอนได้ ดังภาพประกอบ 34



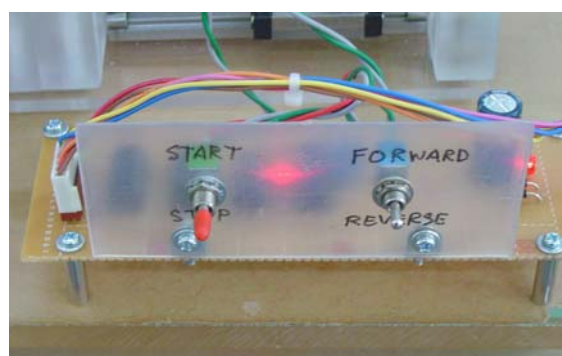
ภาพประกอบ 34 อุปกรณ์ฉีดสารละลายโพลิเมอร์

ส่วนแผงวงจรควบคุมอัตราการหมุนและทิศทางการหมุนของสเตปมอเตอร์

นอกจากนี้ยังได้ออกแบบและประกอบแผงวงจรควบคุมอัตราการหมุนและทิศทางการหมุนของสเตปมอเตอร์ ซึ่งสามารถควบคุมอัตราการฉีดสารละลายโพลิเมอร์ได้โดยการปรับความเร็วในการหมุนของ ตัวสกรูที่ต่ออยู่กับมอเตอร์ โดยแผงวงจรที่ได้แสดงดังภาพประกอบ 35



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 35 วงจรควบคุมอัตราและทิศทางการเคลื่อนที่ของสกรู สำหรับควบคุมการไหลของโพลิเมอร์ (ก) ภาพด้านบน (ข) ภาพด้านข้าง

การออกแบบและสร้างอุปกรณ์เครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง

เครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง ที่สร้างขึ้นตามการออกแบบในหัวข้อ 1.3 บทที่ 3
 ดังภาพประกอบ 36 จากการทดสอบสามารถปรับความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุดประมาณ
 25 กิโลโวลต์ (ดังภาพประกอบ 36)



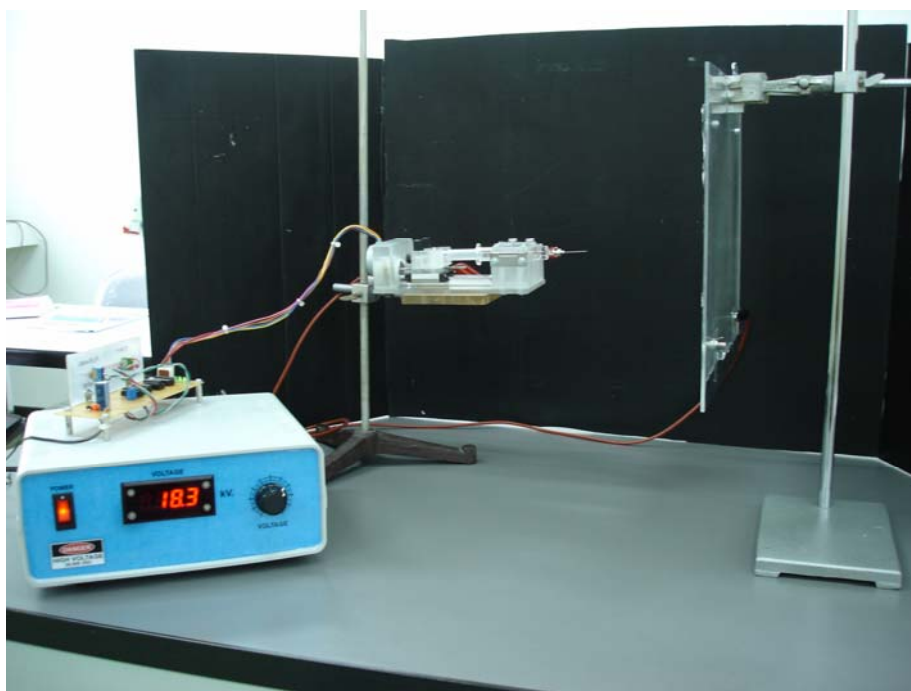
(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 36 เครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง รุ่นที่ 2 (ก) ด้านหน้า (ข) ด้านหลัง

อุปกรณ์สำหรับการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ที่สร้างขึ้นตาม
 การออกแบบในหัวข้อ 2.1 บทที่ 3 ดังภาพประกอบ 37



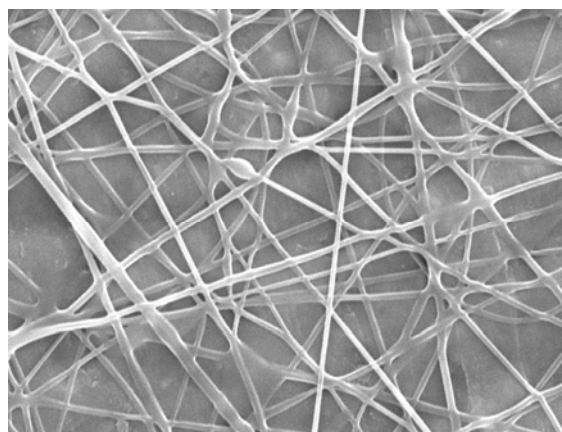
ภาพประกอบ 37 อุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

2. การทดสอบอุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (รุ่นที่ 1 กับรุ่นที่ 2)

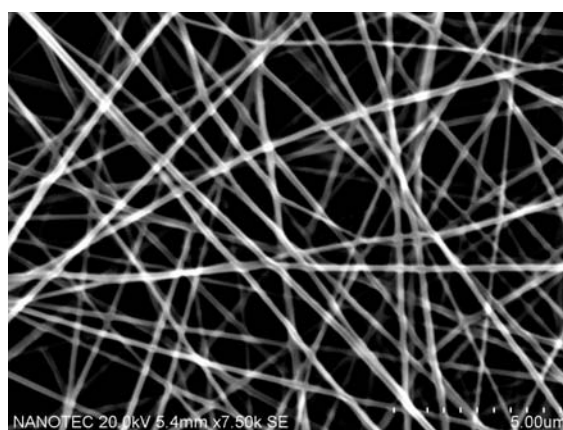
อุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ รุ่นที่ 1 ที่สร้างขึ้น สามารถใช้เตรียมเส้นใยแบบนาโนได้ ดังภาพประกอบ 38(ก) แสดงลักษณะของสัณฐานวิทยาของเส้นใย ที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตด้วยเครื่องมือ รุ่นที่ 1 (ความเข้มข้น 4 %โดยน้ำหนัก ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 กิโลโวลต์ และระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใย 5 เซนติเมตร)

จากลักษณะสัณฐานวิทยาที่ได้ พบว่า เส้นใยส่วนมากมีลักษณะเปื่อย และวางตัวราบบนอุปกรณ์รองรับ เนื่องจากเส้นใยที่ได้ยังไม่แห้งอย่างสมบูรณ์ (เพราะใช้น้ำซึ่งมีจุดเดือดสูงเป็นตัวทำละลาย) ดังนั้นการจะทำให้เส้นใยแห้งตัวก่อนถึงฉากรับจึงจำเป็นต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาอุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ ที่สามารถให้ศักย์ไฟฟ้าที่สูงมากกว่า 10 กิโลโวลต์ และควรเพิ่มระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารละลายและอุปกรณ์รองรับเส้นใย เนื่องจากเส้นใยมีระยะเวลาที่พุ่งตัวออกไป (Flight time) นานขึ้นจึงยึดตัวได้มากขึ้นและมีเวลาให้ตัวทำละลายระเหยนานขึ้น

การทดสอบอุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (รุ่นที่ 2) โดยศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสัณฐานวิทยา และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ ที่ได้จากการกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ สามารถทำให้เกิดเส้นใยที่แห้ง และได้เส้นใยที่เป็นอิสระ (ไม่ติดกันเป็นแผ่นเหมือนกรณีที่ได้จากอุปกรณ์รุ่นที่ 1) เมื่อนำไปดูลักษณะสัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดได้ผลดังตัวอย่างในรูปประกอบที่ 38(ข)



(ก)



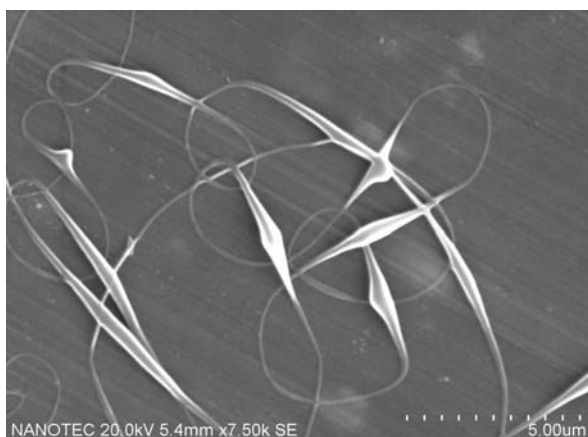
(ข)

ภาพประกอบ 38 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต (ก) จากอุปกรณ์รุ่นที่ 1 (ข) จากอุปกรณ์รุ่นที่ 2

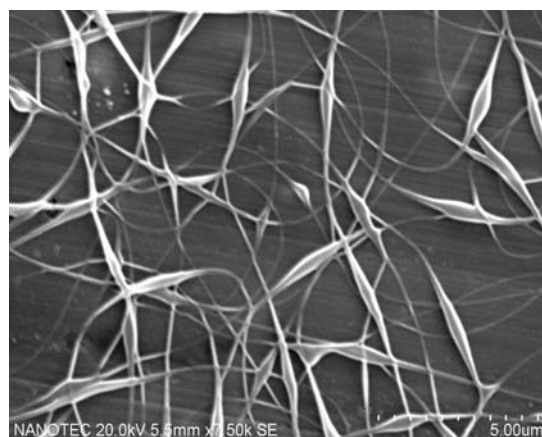
3. การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสัณฐานวิทยา และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์

3.1 ศักย์ไฟฟ้า

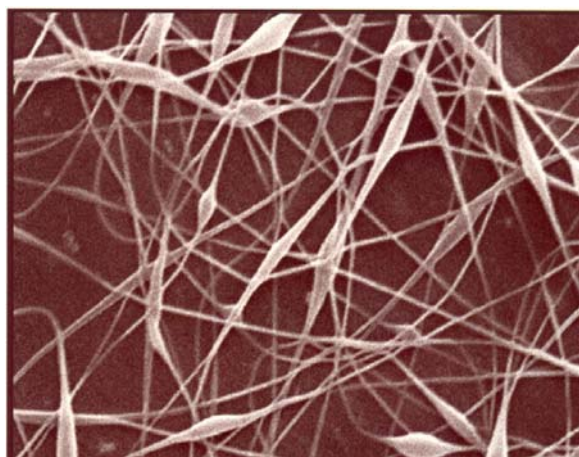
การศึกษาปัจจัยแรก คือ ปรับค่าศักย์ไฟฟ้า ผลจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ลักษณะของสัณฐานวิทยาแสดงดังภาพประกอบ 39 แล้วนำภาพที่ได้มาศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ โดยเลือกวัดบริเวณที่ไม่มีเม็ดปมเป็นเส้นเดี่ยวๆ วัดอย่างน้อย 8 เส้นต่อรูป โดยหนึ่งเส้นวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 3 ครั้ง



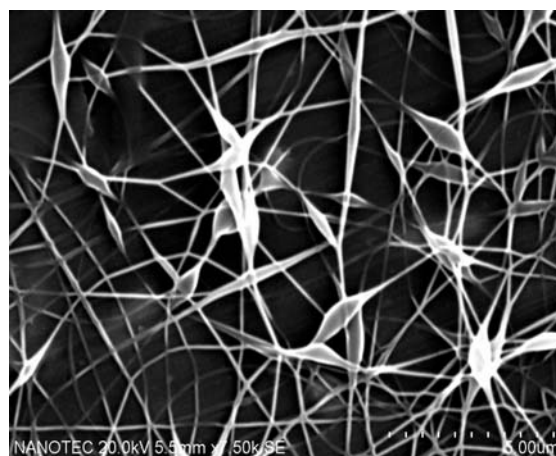
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพประกอบ 39 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใย ที่ศักย์ไฟฟ้า (ก) 10 กิโลโวลต์ (ข) 15 กิโลโวลต์ (ค) 20 กิโลโวลต์ และ(ง) 25 กิโลโวลต์ โดยที่ความเข้มข้นของสารละลาย โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ 4%โดยน้ำหนัก และระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใยเป็น 20 เซนติเมตร

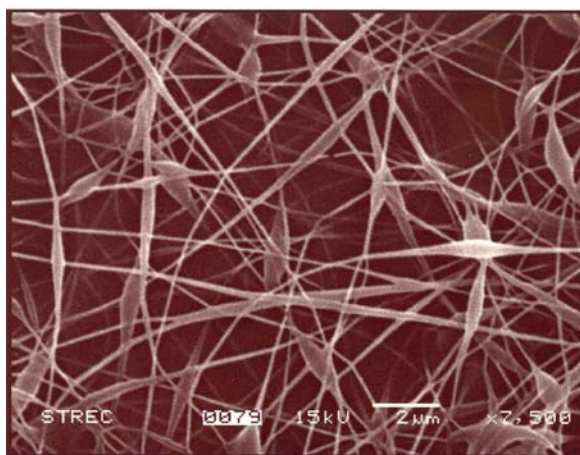
ตาราง 2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยความเข้มข้น 4% โดยน้ำหนัก และระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใย 20 เซนติเมตร ที่ได้จากการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ศักย์ไฟฟ้า (กิโลโวลต์)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของ เส้นใยโพลิเมอร์ (นาโนเมตร)
10	144
15	155
20	150
25	136

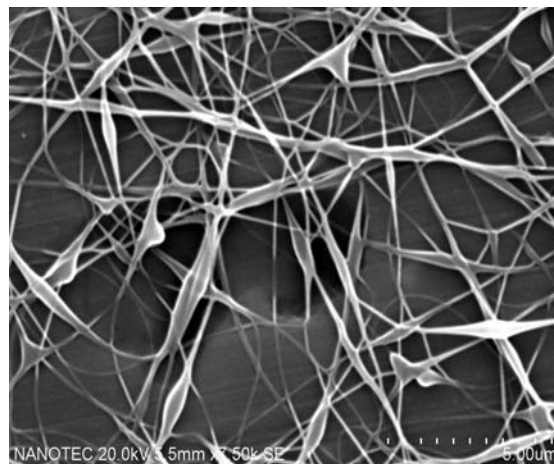
จะเห็นว่าเมื่อศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยจะลดลง ลักษณะฐานฐานวิทยาของเส้นใยที่ได้จากศักย์ไฟฟ้า 10 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ ตามลำดับ มีลักษณะกายภาพโดยรวมไม่แตกต่างกัน คือ เป็นเส้นกลมยาว ตรงกลางเส้นมีเม็ดปม (Bead) และพบว่า ที่ศักย์ไฟฟ้า 25 กิโลโวลต์ มีความหนาแน่นของเส้นใยมากที่สุด รองลงมาคือ ที่ศักย์ไฟฟ้า 20 15 และ 10 กิโลโวลต์ ตามลำดับ เพื่อให้การศึกษาฐานฐานวิทยา และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ ที่มีคุณภาพ ภายใต้อุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ดังนั้นจึงกำหนดศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสม คือ 15 กิโลโวลต์

3.2 ระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใย

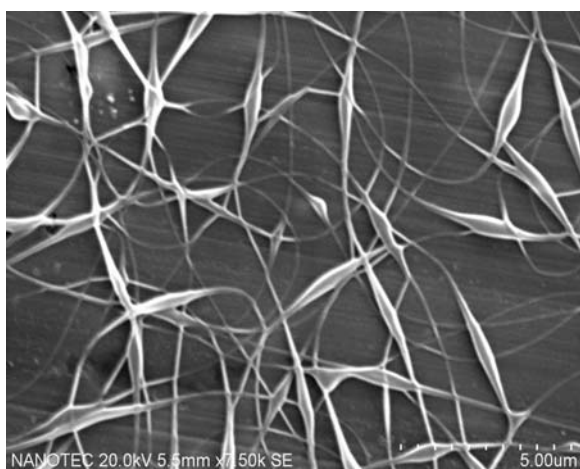
การศึกษาปัจจัยที่สอง คือ ปรับระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใย ผลจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ลักษณะของสัณฐานวิทยาแสดงดังภาพประกอบ 40 แล้วนำภาพที่ได้มาศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ โดยเลือกวัดบริเวณที่ไม่มีเม็ดปม เป็นเส้นเดี่ยวๆ วัดอย่างน้อย 8 เส้นต่อรูป โดยหนึ่งเส้นวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 3 ครั้ง



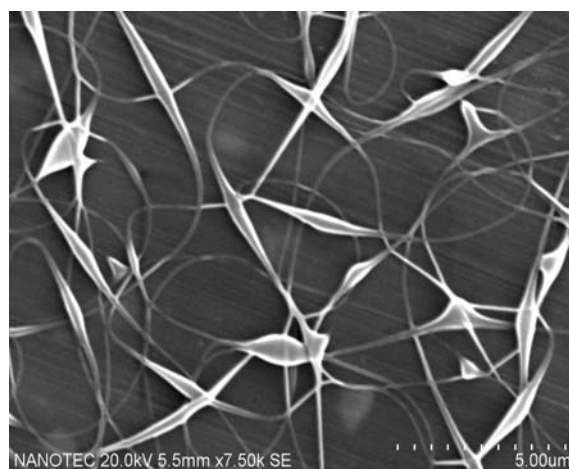
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพประกอบ 40 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใย โดยปรับระยะห่างเป็น (ก) 10 เซนติเมตร (ข) 15 เซนติเมตร (ค) 20 เซนติเมตรและ(ง) 25 เซนติเมตร โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์คงที่ 4%โดยน้ำหนัก และศักย์ไฟฟ้าเป็น 15 กิโลโวลต์

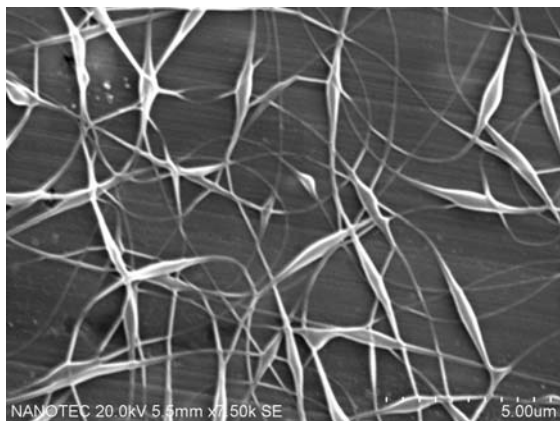
ตาราง 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์โดยที่ความเข้มข้น 4% โดยน้ำหนัก และศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ ที่ได้จากการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสาร และอุปกรณ์รองรับเส้นใย (เซนติเมตร)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของ เส้นใยโพลิเมอร์ (นาโนเมตร)
10	210
15	195
20	155
25	113

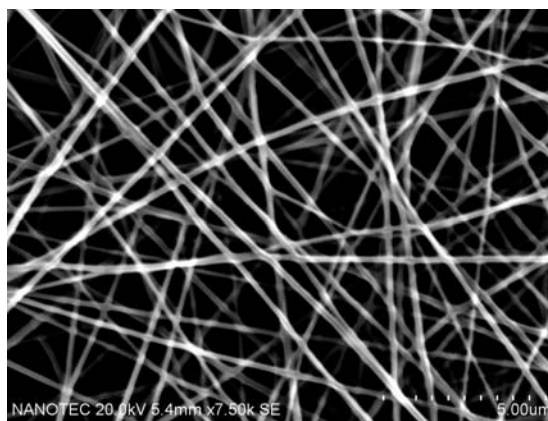
จะเห็นว่าระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใยเพิ่มขึ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยจะลดลง ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่เกิดขึ้น ที่ระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใย เป็น 10 15 20 และ 25 เซนติเมตร ตามลำดับ มีลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน คือ เป็นเส้นกลมยาว ตรงกลางเส้นมีเม็ดปม และพบว่าเมื่อใช้เวลาในการเก็บเส้นใยโพลิเมอร์ที่ได้นาน 5 นาที ที่ระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใยเป็น 10 เซนติเมตร มีความหนาแน่นของเส้นใยมากที่สุด รองลงมาคือ ที่ระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใย 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ ตามลำดับ เพื่อให้การศึกษาสัณฐานวิทยาและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ ที่มีคุณภาพ ภายใต้อุปกรณ์การเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์ โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ดังนั้น จึงกำหนดระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใยที่เหมาะสม คือ 20 เซนติเมตร

3.3 ความเข้มข้นของสารละลายโพลิเมอร์

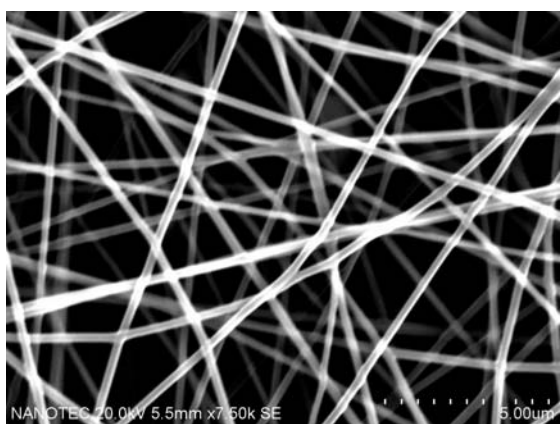
การศึกษาปัจจัยที่สาม คือ ปรับความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผลจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ลักษณะของสัณฐานวิทยาแสดงดังภาพประกอบ 41 แล้วนำภาพที่ได้มาศึกษาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ โดยเลือกวัดบริเวณที่ไม่มีเม็ดปม เป็นเส้นเดี่ยวๆ วัดอย่างน้อย 8 เส้นต่อรูป โดยหนึ่งเส้นวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 3 ครั้ง



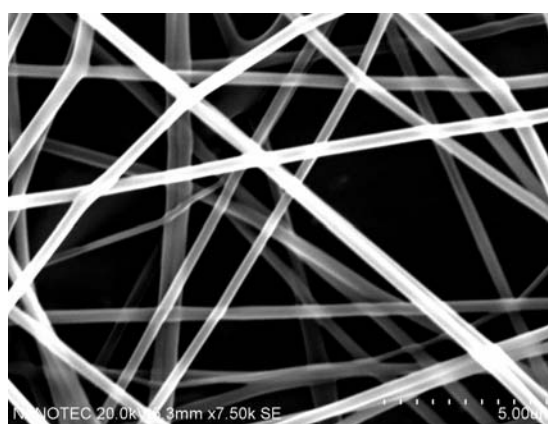
(ก)



(ข)



(ค)

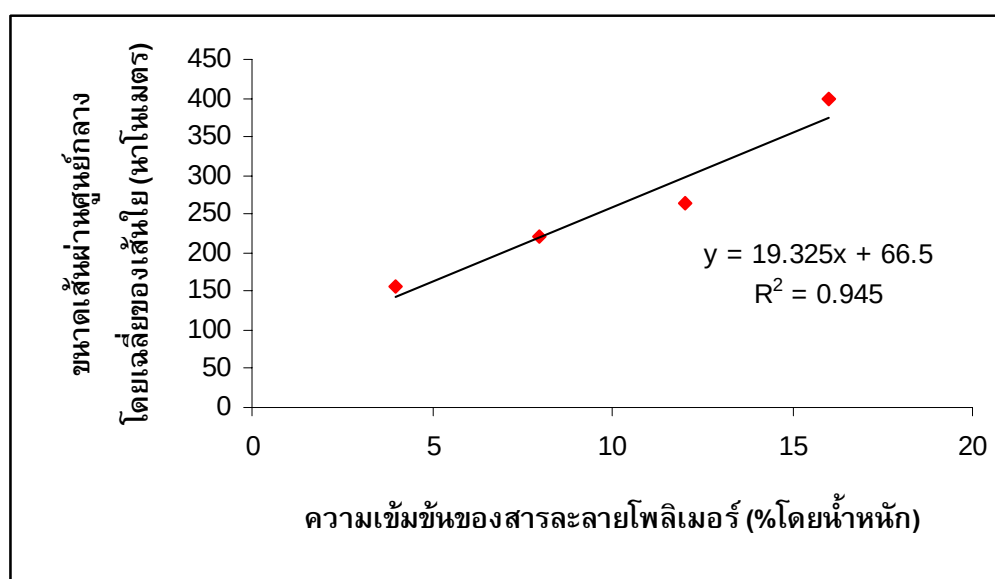


(ง)

ภาพประกอบ 41 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใย เมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลายโพลิเมอร์ (ก) 4%โดยน้ำหนัก (ข) 8%โดยน้ำหนัก (ค) 12%โดยน้ำหนัก และ(ง) 16%โดยน้ำหนัก โดยที่ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ และระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุน้ำและอุปกรณ์รองรับเส้นใยมีค่า 20 เซนติเมตร

ตาราง 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยโพลิเมอร์ของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ โดยระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใย 20 เซนติเมตร ที่ได้จากการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์โดยใช้เทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต

ความเข้มข้นของสารละลาย (%โดยน้ำหนัก)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของ เส้นใยโพลิเมอร์(นาโนเมตร)
4	155
8	221
12	265
16	398



ภาพประกอบ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยกับความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ โดยที่ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ และระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารและอุปกรณ์รองรับเส้นใยมีค่า 20 เซนติเมตร

จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์มากขึ้น ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 8%โดยน้ำหนัก จะทำให้สัณฐานวิทยาของเส้นใยมีรูปร่างเปลี่ยนจากลักษณะเส้นกลมยาวตรงกลางเส้นมีเม็ดปม สามารถเป็นเส้นใยที่สมบูรณ์ได้ ซึ่งปรากฏการณ์นี้เกิดเนื่องมาจากสารละลายที่เข้มข้นมากขึ้น จะเพิ่มความหนืดขึ้นและมีปริมาณสายโซ่โพลิเมอร์มากพอและเกิดการเกี่ยวพันของสายโซ่(Entanglement) ทำให้สามารถยืดยาวเป็นเส้นตามแรงดึงดูดศักย์ไฟฟ้าได้โดย

ไม่ขาด นอกจากนี้ยังพบว่า ที่ความเข้มข้นมากขึ้นจะได้เส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยใหญ่ขึ้น เนื่องจากการทำให้มีการถ่ายเทมวลสารโพลิเมอร์ออกมาปริมาณมากขึ้น เส้นใยที่ได้จึงใหญ่ขึ้น ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อขนาดและรูปร่างของเส้นใยที่ได้ มากกว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมเส้นใยโพลิเมอร์แบบนาโนไฟเบอร์โดยเทคนิคกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เช่น ระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารละลายและอุปกรณ์รองรับเส้นใย หรือ ศักย์ไฟฟ้า

บทที่ 5

สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

1. ได้สร้างและพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพลิเมอร์แบบนาโนไฟเบอร์โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ขึ้นใช้เองได้ 2 รุ่น โดยรุ่นแรกสามารถใช้ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงได้ในช่วง 0-10 กิโลโวลต์ และเครื่องรุ่นที่สอง สามารถใช้ศักย์ไฟฟ้าได้ ในช่วง 0-25 กิโลโวลต์ และเครื่องที่สร้างขึ้นมามีราคาถูก โดยมีต้นทุนในการสร้างเครื่องมีรวมทั้งสิ้นประมาณ 20,000 บาท/เครื่อง

2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพลิเมอร์แบบนาโนไฟเบอร์ โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตรุ่นแรก ได้สร้างเครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูงจากขดลวดจ่ายไฟแรงสูงในรถยนต์มาดัดแปลงใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าโวลต์เตจสูง สามารถให้ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงได้ในช่วง 0-10 กิโลโวลต์ ซึ่งเมื่อนำไปทดลองเพื่อผลิตเส้นใยโดยใช้เทคนิคกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตพบว่า ศักย์ไฟฟ้าที่ได้มีค่าน้อยเกินไป ไม่สามารถทำให้เกิดกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตได้และเส้นใยที่ได้มีลักษณะเปื่อย

3. อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมโพลิเมอร์แบบนาโนไฟเบอร์โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตรุ่นที่ 2 ได้นำหม้อแปลงฟลายแบ็คจากโทรทัศน์ มาดัดแปลงเพื่อใช้เป็นแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้าโวลต์เตจสูง โดยเมื่อนำไปทดลองกับสารละลายโพลิเมอร์ เพื่อผลิตเส้นใยแบบนาโนโดยใช้เทคนิคกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต พบว่าได้เส้นใยที่มีลักษณะกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยของเส้นใยประมาณ 150-400 นาโนเมตร แต่เนื่องจากหม้อแปลงฟลายแบ็คจากโทรทัศน์เองไม่สามารถเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าได้ ผู้วิจัยจึงทำการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง จากไฟแบกซ์ของโทรทัศน์ ให้สามารถปรับเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าโดยมีค่า 0-25 กิโลโวลต์ได้สำเร็จซึ่งเมื่อนำไปทดลองเพื่อผลิตเส้นใยโดยใช้เทคนิคกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์มากขึ้น ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 8%โดยน้ำหนัก จะทำให้สัญญาณวิทยาของเส้นใยมีรูปร่างเปลี่ยนจากลักษณะเส้นที่มีเม็ดปมสามารถเป็นเส้นใยที่สมบูรณ์ได้

อภิปรายผลการทดลอง

1. การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจากอุปกรณ์รุ่นแรกทำในแนวตั้ง เพื่อให้สารละลายโพลิเมอร์พุ่งได้ไกลขึ้น และเกิดกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตได้ง่ายขึ้น
2. ศักย์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตไฟฟ้าโวลต์เตจสูง ในเครื่องรุ่นที่ 2 ทำให้ได้เส้นใยที่ค่อนข้างสมบูรณ์ เพราะศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับสารละลาย และสนามไฟฟ้าจะมีผลต่อการดึงยึดและการเร่งการเคลื่อนที่ของเส้นใยที่เกิด และยังทำให้การระเหยของตัวทำละลายเร็วขึ้น เส้นใยที่ได้จึงแห้งมากขึ้นด้วย
3. การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจากอุปกรณ์รุ่นที่ 2 สามารถควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย โดยเครื่องควบคุมอัตราการไหลได้ เพราะถ้าปริมาณของสารละลายที่ถูกดึงออกมาจากปลายเข็มฉีดยามีมากขึ้น ตัวทำละลายมีระยะเวลาในการระเหยไม่เพียงพอ ซึ่งอาจทำให้เส้นใยเกิดการหลอมตัวเข้าด้วยกัน ทำให้ได้เส้นใยที่มีขนาดใหญ่
4. การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจากอุปกรณ์รุ่นที่ 2 สามารถเกิดกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ที่ระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารละลายและอุปกรณ์รองรับเส้นใยตั้งแต่ 10 เซนติเมตรขึ้นไปได้ เพราะวาระยะห่างระหว่างหลอดบรรจุสารละลายและอุปกรณ์รองรับเส้นใยมีผลโดยตรงต่อแรงของสนามไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของเส้นใยจนตกบนอุปกรณ์รองรับเส้นใย ซึ่งในการเกิดเป็นเส้นใยนั้นควรมีระยะเวลาพอที่จะให้ตัวทำละลายเกิดการระเหยออกไปจากเส้นใยได้มาก

ข้อเสนอแนะ

1. ในการเตรียมสารละลายโพลิเมอร์ ผู้ทำการทดลองควรศึกษาขั้นตอนการเตรียมสารละลายอย่างละเอียด เพื่อให้ได้คุณภาพของสารละลายที่ต้องการ เพราะสิ่งเหล่านี้จะส่งผลต่อลักษณะสัญญาณวิทยาของเส้นใย
2. การทำการทดลองในการเตรียมเส้นใยแบบนาโน โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตนั้น จำเป็นต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าสูง ผู้ทำการทดลองต้องใช้ความระมัดระวัง
3. เมื่อทำการผลิตเส้นใยแบบนาโน โดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเรียบร้อยแล้ว ควรทำความสะอาดทันที เพราะถ้าทิ้งไว้นานจะทำให้ปลายเข็มฉีดยาอุดตันทำให้ใช้งานไม่ได้
4. ควรพัฒนาให้มีอุปกรณ์จ่ายศักย์ไฟฟ้า ที่มีแรงดันสูงมากขึ้นอีก ให้ได้ถึง 35 กิโลโวลต์ เพื่อให้สามารถเตรียมเส้นใยแบบนาโนชนิดพิเศษบางอย่างที่ต้องการใช้ศักย์ไฟฟ้าที่สูงเป็นพิเศษได้ง่ายขึ้น
5. ถ้าต้องการผลิตเส้นใยจากกระบวนการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตจากสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ควรใช้ความเข้มข้นตั้งแต่ 8% โดยน้ำหนัก ขึ้นไป เพื่อให้ได้เส้นใยที่มีลักษณะเป็นเส้นไม่มีเม็ดปมเกิดขึ้น
6. ควรทดลองปั่นเส้นใยลงบนอะลูมิเนียมฟอยล์หุ้มกับลูกกลิ้งที่หมุนและปรับความเร็วรอบได้เพื่อให้ได้เส้นใยที่มีพื้นที่มากขึ้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กมลรัตน์ คณาวิง; และ กนกวรรณ พนิชนาพันธ์. (2546). เส้นใยโพลิเมอร์เพื่อใช้ในการแพทย์ในระดับนาโนโดยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต : การเตรียมและตรวจสอบสมบัติของเส้นใยผสมของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์กับอัลจินตเพื่อใช้เป็นวัสดุปิดแผล. ปรินูญานิพนธ์ วท.บ.(เคมีอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร. กล้องจุลทรรศน์. (2551). สืบค้นเมื่อ 19 มกราคม 2551, จาก http://www.stkc.go.th/stportalDocument/stportal_1170654028.doc.
- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด. (2548). สืบค้นเมื่อ 19 มกราคม 2551, จาก <http://www.kmitl.ac.th/sisc/SEM>.
- งานวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีในประเทศไทย. (2551). สืบค้นเมื่อ 19 มกราคม 2551, จาก <http://www.nanotec.or.th/research.php>.
- เฉลิมพล น้ำค้าง. (2530). สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กสถิต. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี .
- ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์. (2542). เคมีโพลิเมอร์พื้นฐาน. ปัตตานี : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ชิดชนก มิตรอุปถัมภ์. (2547). การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตของโพลิเอไมด์ 6. ปรินูญานิพนธ์. วท.ด. (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- ฐาปนี อินทรทัต. (2548). พลาสติกทางการแพทย์ใช้ทำหลอดเลือดเทียมชนิดใหม่. สืบค้นเมื่อ 19 มกราคม 2551, จาก www.mtec.or.th/Th/news/new_st/news_st12.html.
- ทวี ฉิมอ้อย. (2546). ฟิสิกส์พื้นฐาน ระดับมหาวิทยาลัย 1. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ธีระเดช จารุสุวรรณภูมิ. (2547). ผลกระทบของตัวทำลายต่อการผลิตเส้นใย โดยใช้ไฟฟ้าเป็นตัวขับเคลื่อน. ปรินูญานิพนธ์ วท.ม. (วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์). กรุงเทพฯ : บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ถ่ายเอกสาร.
- นราธิป สังขพรหม. (2550). การสังเคราะห์สังกะสีออกไซด์ที่มีโครงสร้างแบบนาโนด้วยเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตผสมกับเทคนิคโซลโวเทอร์มอล. การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17, 29-30 ตุลาคม 2550.
- ปรีชา พหลเทพ. (2540). โพลีเมอร์. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- สมพงษ์ ใจดี. (2543). ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 2. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- สมพงษ์ ใจดี. (2543). *ฟิสิกส์มหาวิทยาลัย 3. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.*
- สุนิสา ปานบุญ. (2548). *การเตรียมเส้นใยผสมระหว่างพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และไคโตซาน โดยเทคนิค การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต ใช้เป็นวัสดุปิดแผล. ปรินุณยานิพนธ์ วท.ม. (เคมีอุตสาหกรรม). กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ถ่ายเอกสาร.*
- ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ. (2551). *เส้นใย. สืบค้นเมื่อ 20 มกราคม 2551, จาก* <http://www.mtec.or.th/th/labs/sem/fags.html>.
- Berklanda, Cory.; Packa, Daniel W.; & Kim, Kyekyoon K. (2004). Controlling surface nano-structure using flow-limited field-injection electrostatic spraying (FFESS) of poly (d,l-lactide-co-glycolide). *Biomaterials*. 25 : 5649–5658.
- Blonski, Slawomir. (2003). Nanofibers by electro-spinning of polymer solution. In *Proceeding of the 5th Euromech Fluid Mechanics Conference*, 2003 August 24th-28th: Toulouse, France.
- Deitzel, J.M.; & et al. (2001). Controlled deposition of electrospun poly(ethylene oxide) fibers. *Polymer*. 42 : 8163-8170.
- Doshi, J.; & Reneker, D.H. (1991). Electrospinning process and applications of Electrospun Fibers. *Journal of Electrostatics*. 35(2-3) : 151-160.
- Kenawy, E.R.; et al. (2002). Electrospinning of poly(ethylene-co-vinyl alcohol) fibers. *Journal of Biomaterials*. 24 : 907-913.
- Koski, A. Yim.; & Shivkumar, K. (2004). Effect to molecular weight on fibrous PVA produced by electrospinning. *Materials Letters*. 58 : 493.
- Kowalewski, T.A.; Blonski, S.; & Barral, S. (2005). Experiments and modeling of electrospinning process. *Technical sciences*. 53(4) : 385-395.
- Fang, X.; & Reneker D.H. (1997). DNA fibers by electrospinning. *Journal of Macromolecular Science Physics*. 36 : 169-173.
- Formhals, A. (1939). *Electrospinning*. US Patent 2,160,962.
- Fridrikh, S.V. (2003). Controlling the fiber diameter during electrospinning. *Physical Review Letters*. 90(14) : 144502(1)-144502(4).
- Kim, J-S.; & Reneker, D.H. (1999). Polybenzimidazole nanofiber produced by electrospinning. *Polymer Engineer & Science*, 39(5) : 849-854.
- Megelski, Silke.; et al. (2002). Macro- and nanostructured surface morphology on electrospun polymer fibers. *Macromolecules*. 35(22) : 8456-8466.

- Ramakrishna, S.; et al. (2005). *Electrospinning and Nanofibers*. Singapore: World Scientific.
- Stitzel, J.D.; et al. (2008). *Electrospinning*. Retrieved January 19, 2008, from <http://www.che.vt.edu/wilkes/electrospinning/electrospinning.html>.
- Shin, Y.M.; et al. (2001). Experimental characterization of electrospinning : electrically force jet and instabilities. *Polymer*. 42 : 9955-9967.
- Taepaiboon, P.; Rungsardthong, U.; & Supaphol, P. (2006). Drug-loaded electrospun mats of poly(vinyl alcohol) fibers and their release characteristics of four model drugs. *Nanotechnology*. 17 : 2317–2329.
- Theron, S.A.; et al. (2005). Multiple jets in electrospinning : experiment and modeling *Polymer*. 46 : 2889–2899.
- Vaz, C.M. (2005). Design of scaffolds for blood vessel tissue engineering using a multi-layering electrospinning technique. *Acta Biomaterialia*. 1 : 575–582.

ภาคผนวก

สำเนาของบทความของผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

**The 2nd International Conference on
Advances in Petrochemicals and Polymers,
(ICAPP 2007) 2007, June 25th-28th**

A CONSTRUCTION OF LOW COST ELECTROSPINNING EQUIPMENT

Phattharaphong Khumkhom¹, Siriluk Ruangrungrrote^{*1} and Suppalak Angkaew^{*2}

¹Department of Physics, Faculty of Science, Srinakharinwirot University, Bangkok 10110, Thailand.

²Nanomaterials Research Laboratory, Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 10140 Thailand.

*corresponding to: s_angkaew@yahoo.com or sirilukr@swu.ac.th

ABSTRACT

Electrospinning has become a powerful technique for preparing number of nanofibers including polymers, ceramics and composite materials due to its simplicity and ability to produce large amount of nanofibers in a short time. Since this machine is a very expensive unit, it is then preferable to seek for a low cost and home-built one with comparable quality. Electrospinning equipment consists of three main components; the high voltage power supply (HVPS) unit, the collector screen, and the syringe pump. The HVPS unit is a key component while its cost normally determines total cost of the equipment. This paper presents a construction and testing of home-built electrospinning equipments using low cost transformers as the high voltage power supply: HVPS. Three electronic parts were assembled into a HVPS units i.e. an AC/DC converter, a high voltage transformer, an output voltage controller, and a current stabilizer including overload shutdown protection. Two versions of the HVPS unit were created. The first version used a transformer from automobile spark-plug which yields maximum usable potential up to 10 kV, and the second one used a transformer from a television set which gives maximum usable potential up to 25 kV. The syringe pump with a flow rate controller was also constructed. The unit uses a driving screw (speed controlled by a step-motor) to push and inject small volume of polymer solution. Both versions of the equipments were used to electrospin nanofibers from several kinds of polymers for testing. Size and morphology of the poly(vinyl alcohol) nanofibers electrospun from our home-built machine were studied as functions of various physical parameters such as voltage, distance between the syringe and collector, and polymer concentration.

Keywords: Electrospinning, nanofibers and HVPS.

1. INTRODUCTION

Electrospinning is a process by which sub-micron polymer fibers can be produced using an electrostatically driven jet of polymer solution (Deitzel, et al., 2001). With this idea, electrospinning has been of great interest in the past decades due to its capability of generating polymer fibers ranging from 5-500 nm. However, the electrospinning equipment is a costly imported unit, it is then preferable to seek for a low cost and home-built one with comparable quality. In general, electrospinning equipment composes of three main components as the HVPS unit, the collector screen, and the syringe pump. The HVPS unit is such an important part to determine total cost of the equipment. Therefore we aimed to construct and test our home-built electrospinning equipments using low cost transformers as HVPS. Two versions of the HVPS units were constructed and used to make electrospun nanofibers from several kinds of polymer solution. Size and morphology of the poly(vinyl alcohol) nanofibers electrospun from our home-built machine were investigated as functions of various physical parameters such as voltage, distance between the syringe and collector, and polymer concentration.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

Poly(vinyl alcohol):PVOH solutions were prepared firstly by dissolving PVOH into distilled water at 80 °C then adding 4, 8, 12 and 16 grams of PVA powder into 100 ml of water respectively, and mixed well at room temperature.

2.2 Electrospinning equipments

Fig. 1 shows the diagram for electrospinning equipment set-up which makes up of three main components as the HVPS unit, the collector screen, and the syringe pump. The distance between syringe needle and collector screen is adjustable. The syringe pump with a flow rate controller was also constructed. In this unit a driving screw (speed controlled by a step-motor) is used to push and

inject a small volume of polymer solution. The collector screen is connected to ground and the syringe needle is connected to positive polarity from HVPS. When polymer solution is pushed out of the needle, it is induced and dragged by strong electric field toward collector screen and solidified on the plate to form a nanofibrous structure.

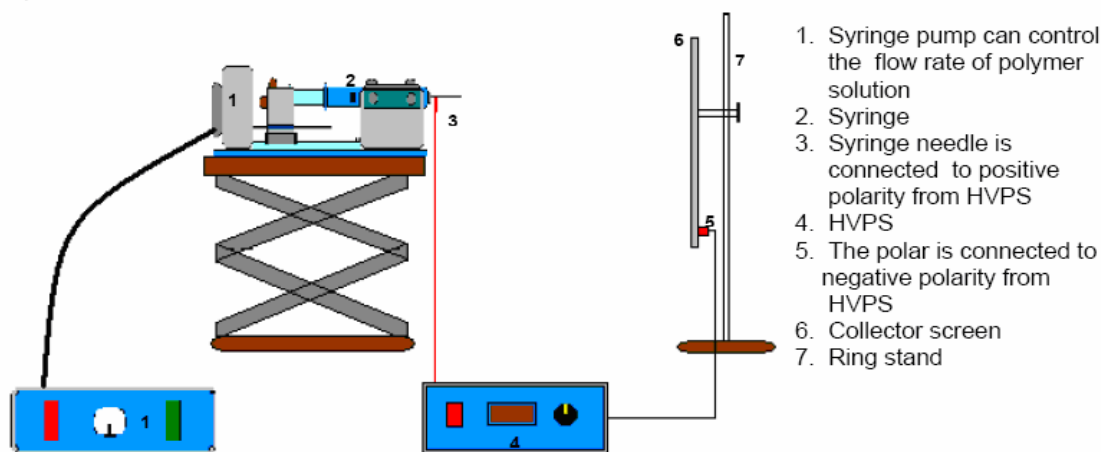


Fig 1 Diagram electrospinning equipment

2.3 Testing of home-built electrospinning equipments

Both versions of the equipments were used to electrospin nanofibers from poly(vinyl alcohol):PVOH in order to test their abilities. Size and morphology of the poly(vinyl alcohol) electrospun nanofibers were studied as functions of various physical parameters such as various voltage (from 10 to 25 kV), distance between the syringe and collector (varied from 10 to 25 cm) and polymer concentration (from 4 to 16% w/v).

2.4 Characterization

The morphological appearance of PVA nanofibers was observed by using a scanning electron microscope (SEM; HITACHI S-3400N). The electrospun mats were deposited with a thin layer of gold prior to SEM observation. With these SEM images, the average diameter and shape of nanofiber could be determined.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 High voltage power supply (HVPS)

Two versions of the HVPS unit were created. The first version used a transformer from automobile spark-plug which yields maximum usable potential of about 10 kV. The second one used a transformer from a TV set which provides maximum usable potential up to 25 kV. These both versions of HVPS were assembled into electrospinning equipment (as shown in Fig. 2a and 2b) and have been used to spin nanofibers from several kinds of polymers. The complete assembly of home built electrospinning equipment is shown in Fig 3.



(2a)



(2b)

Fig 2 Two versions of HVPS as (2a) the 1st version used a transformer from automobile spark-plug and (2b) the 2nd version used a transformer from a TV.

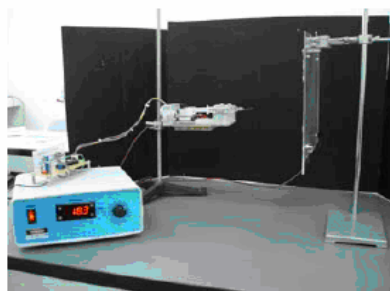


Fig 3 A complete assembly of home built electrospinning equipment.

Four major electronic parts were assembled into the 2nd version of HVPS unit i.e. an AC/DC converter, a high voltage transformer, an output voltage controller, and a current stabilizer with as overload shutdown protection as shown in Fig 4.

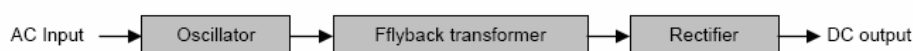


Fig 2 Block diagram of the 2nd version of HVPS with output voltage of 25 kV.

3.2 The SEM micrograph of electrospun PVOH nanofibers

Fig 5 shows of the SEM micrograph of PVOH nanofibers electrospun from our first version of home-built machine (operating at 10 kV and 5-cm needle-to-collector distance). The morphology indicates that the nanofibers were not completely dried before depositing onto the collector plate, which results in many sagged fibers. The higher spinning voltage coupled with longer needle-to-collector was needed to get the complete nanofibers. The new version of electrospinning equipment with higher voltage out put was required.

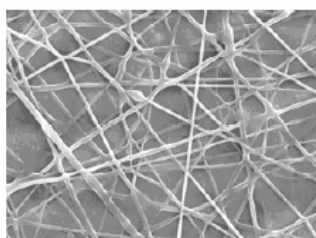


Fig 5 SEM micrograph (5000x) of PVOH nanofibers obtained from our 1st version of home built electrospinning equipment.

Then, the second equipment based on a TV transformer (with a maximum usable potential up to 25 kV) was built. The new setup was used to produce PVOH nanofibers. In this case the morphology of the obtained nanofibers was studied as functions of various physical parameters such as voltage, distance between the syringe and collector, and polymer concentration. In brief, three main conclusions can be made. First, the lower of PVOH concentration, the smaller diameter of nanofibers could be attained as seen in Fig 6a-6d. Second, the voltage increment of electrospinning yields smaller diameter of nanofibers, evidently in Fig 7. Finally, the fiber size decreases with the increasing distance between syringe needle and collector screen, apparently shown in Fig 7.

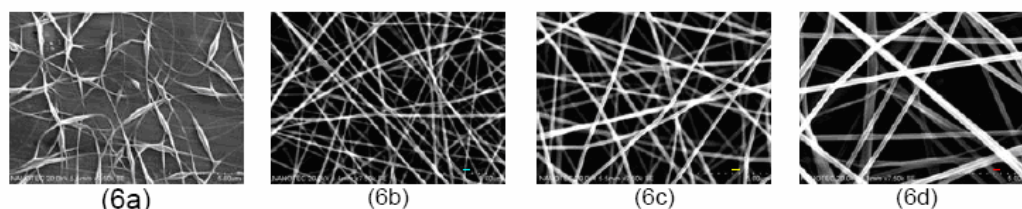


Fig 6 Selected scanning electron micrographs (7500x) of PVOH electrospun fibers with various concentrations as (6a) 4% w/v, (6b) 8% w/v, (6c) 12% w/v and (6d) 16% w/v.

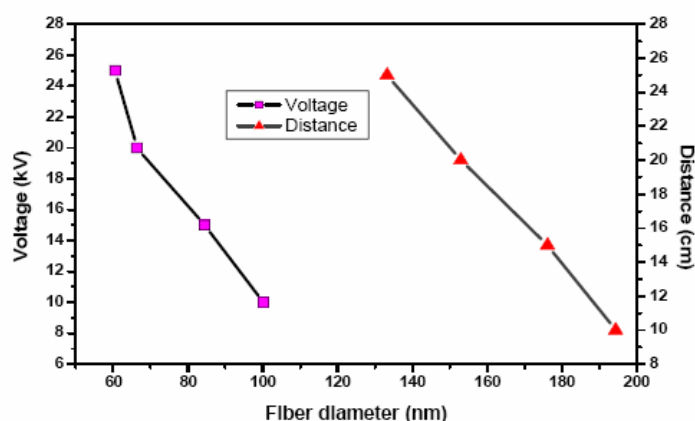


Fig 7 Effect of the applied voltage and distance on the fiber diameter.

4. CONCLUSION

Two versions of the HVPS units were produced for our home-built electrospinning equipment set. The first version used a transformer from automobile spark-plug is unacceptable because of its limited yielding potential up to 10 kV only, although its total production cost is less than 4,000 Thai Bahts. On the other hand, the second one used a transformer from a TV set could give better maximum usable potential up to 25 kV which is preferable with the total cost at 15,000 Thai Bahts. Moreover, both size and morphological appearance of PVOH nanofibers electrospun from this machine reveal good results in terms of physical parameters as voltage, distance between the syringe and collector, and PVOH concentration as mentioned in the previous section. Of great practical importance, our second home-built electrospinning equipment set is valuable with the benefit of low cost production and fine quality.

5. ACKNOWLEDEMENTS

This work was funded by the nanotechnology initiative grant from the Faculty of Science, King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT). One of the authors (PK) was partly supported by Faculty of Science, Srinakharinwirot University (SWU) under the postgraduate fund. We are also grateful to the department of Physics, Faculty of Science, SWU and the Nanomaterials Research Laboratory, Department of Chemistry, Faculty of Science, KMUTT for supporting all facilities.

6. REFERENCES

- Doshi J, Reneker DH. (1995). *Electrospinning process and applications of electrospun fibers*. J. Electrostatics. **35** (2-3). 151
- Deitzel, J.M. et al. (2001). Polymer **42**, 8163-8170.
- Kenawy, E. R. and Layman, J. M. (2003). J. Biomaterials. **24**, 907-913.
- Koski, A. Yim, K. Shivkumar, S.. (2004). *Effect of molecular weight on fibrous PVA produced by electrospinning*. Materials Letters. **58**: 493.
- Kowalewski, T. A., Blonski, S. and Barral, S. (2005). *Experiments and modeling of electrospinning process*. Technical sciences. **53** (4), 385-395.
- Ramakrishna, S. (2005). *Electrospinning and Nanofibers*. National University of Singapore, Singapore.
- Taepaiboon, P., Rungsardthong, U. and Supaphol, P. (2006). *Drug-loaded electrospun mats of poly(vinyl alcohol) fibers and their release characteristics of four model drugs*. Nanotechnology. **17**, 2317-2329.

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายภัทรพงศ์ ชำคม
วันเดือนปีเกิด	เกิดวันที่ 23 เดือน มีนาคม พุทธศักราช 2524
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	24/1 หมู่ 2 ตำบลชุมเห็ด อำเภอเมืองบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์ 31000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2542	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนบุรีรัมย์พิทยาคม จังหวัดบุรีรัมย์
พ.ศ. 2546	กศ.บ. วิทยาศาสตร์-ฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2550	กศ.ม. (สาขาวิชาฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ