การพัฒนาระบบสังเคราะห์เส้นใยแบบสองเข็มด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

Development of fiber synthesis dual syringe by electrospinning technique

พิริยะ ปราณีกิจ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2560)

การพัฒนาระบบสังเคราะห์เส้นใยแบบสองเข็มด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

Development of fiber synthesis dual syringe by electrospinning technique

พิริยะ ปราณีกิจ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2560)

การพัฒนาระบบสังเคราะห์เส้นใยแบบสองเข็มด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

Development of fiber synthesis dual syringe by electrospinning technique

พิริยะ ปราณีกิจ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2560)

การพัฒนาระบบสังเคราะห์เส้นใยแบบสองเข็มด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

Development of fiber synthesis dual syringe by electrospinning technique

พิริยะ ปราณีกิจ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

พ.ศ. 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2560)

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก คณาจารย์สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่กรุณาอบรมสั่งสอนศิษย์อย่างสูงยิ่ง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม สาขาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือเพื่อประกอบการวิจัย

ขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 ที่ให้ทุนสนับสนุนเพื่อทำการวิจัยจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

พิริยะ ปราณีกิจ

2562

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ชื่อเรื่อง	การพัฒนาระบบสังเคราะห์เส้นใยแบบสองเข็มด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง
ผู้วิจัย	นายพิริยะ ปราณีกิจ
หน่วยงาน / คณะ	วิชาฟิสิกส์ / วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปีที่แล้วเสร็จ	2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาระบบอิเล็กโทรสปินนิงเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น โดยเพิ่มช่องใส่เข็มเป็นสองช่องและเปลี่ยนระบบจากเดิมที่สั่งงานจากคอมพิวเตอร์มาเป็นสั่งงานจากปุ่มกดที่ติดกับตัวเครื่องพร้อมทั้งมี จอ LCD เพื่อแสดงสถานะการทำงานของเครื่อง และได้มีการพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานผ่านบอร์ดอาดูโน โดยระบบอิเล็กโทรสปินนิงที่พัฒนาจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง ส่วนควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย สามารถสังเคราะห์เส้นใยได้มากขึ้น จากนั้นทำการปรับเทียบอัตราการไหลโดยการปรับค่าดีเลย์และจับเวลาที่ใช้ในการดันสารละลาย 10 มิลลิลิตร เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและดีเลย์ ให้ระบบสามารถปรับอัตราการไหลได้ตามต้องการสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยใช้สารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) เป็นสารละลายในการทดสอบการสังเคราะห์เส้นใย และวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานด้วยเทคนิค Scanning electron microscope (SEM)

จากผลการทดลองพบว่า สามารถควบคุมการทำงานด้วยปุ่มกดและแสดงผลผ่านจอ LCD และ อัตราการไหลที่สามารถปรับได้มีความละเอียดอยู่ที่ 0.01 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เมื่อทำการสังเคราะห์เส้นใยโดยใช้ PVA ที่ระยะห่างระหว่างปลายเข็มโลหะกับวัสดุรองรับที่ 15 เซนติเมตร โดยใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง 10 กิโลโวลต์ และนำเส้นใยที่ได้มาวิเคราะห์โดยเทคนิค SEM พบว่าลักษณะสัณฐานของเส้นใยที่ได้มีลักษณะเรียบไม่ขรุขระ และเส้นใยมีขนาดสม่ำเสมอกัน

Title Development of fiber synthesis dual syringe by electrospinning technique
Faculty Physics / Science and Technology
University Rajabhat Mahasarakham University
Year 2019

ABSTRACT

This research project has developed electrospinning system for performance increasing of the system. Operating by adding a needle slot into two compartments and changed from the computer controlled to command on the machine and status of system show on display on LCD screen. Moreover, this research has developed working control programs with Arduino board. Component of electrospinning system are source of voltage, flow rate control system and metal collector which can be synthesis fiber in nano scale. Then, calibration of flow rate can be adjusted by delay value and solution injection time of 10 ml leads to relation between flow rates with delay. The system can adjust flow rate that requirements. The performance test use polyvinylpyrolidone solution for spinning fiber and analysis characteristic by using scanning electron microscope techniques (SEM).

The result show that, can control the operation with the keypad and display via the LCD. The resolutions of flow rate are adjusted at 0.01 ml/hr. When synthesizing fibers using PVA at the distance between the metal needle tip and the supporting material at 15 cm by using 10 kV high voltage potential and using the fibers characterized by SEM technique, the result show that the morphology of the fibers is be smooth, not rough and the fibers are uniform in size

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญรูปภาพ ..... ซ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 กระบวนการผลิตเส้นใย 4

2.1.1 Drawing 4

2.1.2 Template Synthesis 5

2.1.3 Self-Assembly 6

2.1.4 Electrospinning 6

2.2 หลักการทำงานของระบบอิเล็กโทรสปินนิง 7

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อเส้นใย 9

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3.1 ตัวแปรด้านสารละลาย 9
2.3.2 ตัวแปรในระบบ 10
2.3.3 สภาพแวดล้อม 10
2.4 ส่วนประกอบของระบบอิเล็กโทรสปินนิง 11
2.4.1 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor) 11
2.4.2 บอลสกรู 11
2.4.3 บอร์ดคอนโทรลเลอร์ 12
2.5 โปรแกรม Arduino 16
2.5.1 ภาษาของ Arduino 16
2.5.2 โครงสร้างของโปรแกรม Arduino 16
2.6 สารละลายพอลิเมอร์ 18
2.6.1 โพลีไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone : PVP)..... 18
2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 19
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 25
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 25
3.1.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ 25
3.1.1.1 ส่วนควบคุมการไหลของสารละลาย 25
3.1.1.2 ส่วนของวงจรควบคุม 25
3.1.1.3 แหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้า 26
3.1.1.4 วัสดุรองรับเส้นใย 26
3.1.1.5 โครงสร้างภายนอกของระบบอิเล็กโทรสปินนิง..... 26
3.1.2 สารเคมี 26
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย 26

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

ตอนที่ 1 การพัฒนาระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง 27

ตอนที่ 2 ออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน-สั่งการของเครื่องมือ 28

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล 38

4.1 ผลการออกแบบและพัฒนาเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยวิธีการอิเล็กโทรสปินนิง 38

4.2 ผลการทดสอบระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง 41

4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 42

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย วิจารณ์ผล และข้อเสนอแนะ 46

5.1 สรุปผลการวิจัย 46

5.2 วิจารณ์ผล 47

5.3 ข้อเสนอแนะ 47

บรรณานุกรม 48

ภาคผนวก 50

ภาคผนวก ก 51

ก - 1 ผลจากการเขียนโปรแกรม Arduino 51

ก - 2 ผลจากการทดลองยิงสารพอลิเมอร์จากเครื่องมือ 60

ภาคผนวก ข เครื่องมือใช้ที่ใช้ในงานวิจัยและการใช้งาน 61

ภาคผนวก ค ภาพประกอบงานวิจัย 64

ภาคผนวก ง ส่วนประกอบของเครื่องอิเล็กโทรสปินนิง 67

ประวัติผู้วิจั 69

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ **หน้า**

2.1 กระบวนการผลิตเส้นใยนาโนด้วยเทคนิค Drawing 5

2.2 กระบวนการผลิตเส้นใยนาโนด้วยเทคนิค Template Synthesis 5

2.3 กระบวนการผลิตเส้นใยนาโนด้วยเทคนิค Self assembly 6

2.4 กระบวนการผลิตเส้นใยนาโนด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง 7

2.5 หลักการทางานของระบบอิเล็กโทรสปินนิง 8

2.6 สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ 5 สาย 11

2.7 ลักษณะบอลสกูร 11

2.8 ลักษณะของบอร์ดรุ่น ET-MEGA2560-ADK 13

2.9 โครงสร้างของบอร์ด ET-MEGA2560-ADK 14

2.10 ตัวอย่างโพลีไวนิลไพโรลิโดน 19

2.11 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 20

2.12 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 20

3.1 โครงสร้างภายนอกของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคเล็กโทรสปินนิง 27

3.2 ลักษณะช่องใส่เข็มของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง 28

3.3 ลักษณะปุ่มควบคุมการทำงานของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง 28

3.4 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องอิเล็กโทรสปินนิง 29

3.5 ลักษณะระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง..... 30

3.6 หน้าต่างโปรแกรม Arduino 31

3.7 ประกาศค่าตัวแปร 31

3.8 ประกาศค่า void setup 32

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.9 ประกาศค่า void loop 32

3.10 การต่อบอร์ดควบคุมกับคอมพิวเตอร์ 33

3.11 การตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างบอร์ดควบคุมกับคอมพิวเตอร์
เมื่อต้องการเช็คว่าพอร์ต USB aduino ต่อกับพอร์ตหรือไม่ 34

3.12 การตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างบอร์ดควบคุมกับคอมพิวเตอร์คลิกที่
Hardware แล้วคลิก Device manager 34

3.12 ชื่อไดเวอร์ที่ต้องลง 35

3.13 แสดงไดร์เวอร์ FTDIchip CDM drivers 30

3.14 การคลิกที่ Posts (com & LPT) จากรูปจะเห็นว่าพอร์ต USB
ที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับบอร์ดควบคุม 31

4.1 ส่วนประกอบของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง 38

4.2 ลักษณะของเส้นใย มีระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15
เซนติเมตร อัตราการไหลของสารละลาย 0.3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง 43

4.3 ลักษณะของเส้นใย มีระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15
เซนติเมตร อัตราการไหลของสารละลาย 0.4 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง 44

4.4 ลักษณะของเส้นใยมีระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15
เซนติเมตร อัตราการไหลของสารละลาย 0.5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง 45

ก - 1 เส้นใยที่ได้จากการทดสอบเครื่องสังเคราะห์เส้นใยของ polyvinyl pyrrolidone
(PVP) 60

ข - 1 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ 61

ข - 2 ตัวอย่างสวิตช์กดติดปล่อยดับ 62

ข - 3 รูป Print Circuit Board (PCB) 62

ข - 4 ลักษณะของบอร์ดรุ่น ET-MEGA2560-ADK 63

ค - 1 ทำการเชื่อมต่อวงจรเข้ากับไดเวอร์มอเตอร์ 64

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ค - 2 การต่อสาย reset เข้ากับบอร์ดอาดูโน่ 64
ค - 3 ตู้สำหรับใส่ระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง 65
ค - 4 ทำการติดตั้งสวิตช์ 65
ค - 5 การเตรียมสารละลาย..... 66
ค - 6 การเตรียมเครื่องมือทุกส่วนเข้าเครื่องพร้อมใช้งาน..... 66
ค - 7 ชิ้นงานที่ผลักกระบอกฉีดยา 61
ง - 1 ส่วนประกอบของเครื่องสังเคราะห์เส้นใยส่วนแรก 67

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

นาโนเทคโนโลยีเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญ ซึ่งเกี่ยวข้องกับมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม วัสดุนาโน (nanomaterial) เป็นหนึ่งในพื้นฐานที่สำคัญในการสร้าง และพัฒนานาโนเทคโนโลยี ในปัจจุบันเส้นใยนาโน (nanofiber) ซึ่งจัดเป็นหนึ่งในวัสดุนาโนที่สำคัญเป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในระดับนาโนมีข้อดีคือมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงและมีขนาดรูพรุนที่เล็กที่ส่งผลทำให้มีคุณสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแม่เหล็ก สมบัติทางแสง หรือสมบัติอื่นๆที่เหมาะสำหรับงานเฉพาะด้าน ซึ่งต้องการความได้เปรียบของขนาดที่เล็กแต่มีประสิทธิภาพไปใช้งาน เช่น การประยุกต์ใช้งานของเส้นใยนาโนพอลิเมอร์ที่ย่อยสลายได้ ไม่เป็นพิษ และมีสมบัติเข้ากันได้ทางชีวภาพ สำหรับงานด้านวิศวกรรมเนื้อเยื่อกระดูก (bone tissue engineering) ผ้าปิดแผล (wound dressing) ระบบส่งยา (drug delivery system) ระบบการกรองอย่างละเอียด (ultrafiltration) เป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เทคนิคที่นำมาใช้ในการเตรียมเส้นใยมีหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีการมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป เทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงหรือการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้เตรียมเส้นใยนาโนของวัสดุพอลิเมอร์และสารอนินทรีย์ออกไซด์หลายชนิด อิเล็กโทรสปินนิงเป็นวิธีประดิษฐ์เส้นใยนาโน ที่ได้รับความสนใจและใช้กันอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันสามารถประดิษฐ์เส้นใยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 นาโนเมตรถึงมากกว่าหนึ่งไมโครเมตร โดยอาศัยแรงทางไฟฟ้ากำลังสูง (high voltage power supply) ซึ่งประกอบไปด้วย หลอดบรรจุสารละลายที่ติดเข็มโลหะ (sylinge with needle) และวัสดุรองรับที่เป็นโลหะ (metal collector)

ปัจจุบันอิเล็กโทรสปินนิง หรือเทคนิคการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตโดยอาศัยความต่างศักย์สูงเพื่อดึงสารละลายพอลิเมอร์หรือพอลิเมอร์หลอมเหลวให้ตกลงมาบนแผ่นรองรับนั้น ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นวิธีที่รวดเร็ว ง่าย และมีประสิทธิภาพในการผลิตเส้นใยพอลิเมอร์ที่มีขนาด ต่าง ๆ ตั้งแต่ระดับนาโนเมตรจนถึงระดับไมโครเมตร และมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงนั้นยังสามารถนำมาใช้เพื่อควบคุมสัณฐานวิทยารวมถึงอธิบายการจัดเรียงตัวของโมเลกุลพอลิเมอร์ได้ การทำงานของระบบอิเล็กโทรสปินนิงเริ่มจากเมื่อยังไม่ให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงแก่ระบบ สารละลายจำนวนหนึ่งจะรวมตัวกันเป็นหยดที่บริเวณปลายเข็มเนื่องมาจากผลของแรงตึงผิว แต่เมื่อให้ความต่างศักย์กำลังสูงจะทำให้เกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic repulsion) ขึ้นในทิศตรงกันข้ามกับแรงตึงผิว ถ้าสนามไฟฟ้ามีค่ามากพอที่จะทำให้เกิดแรงผลักมากกว่าแรงตึงผิวจะส่งผลให้รูปร่างครึ่งทรงกลมของสารละลายที่อยู่ปลายเข็มยืดออกเป็นรูปร่าง ทรงกรวยที่เรียกว่า “กรวยของเทเลอร์” (Taylor’s cone) และเมื่อสนามไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบมีค่ามากขึ้นจนกระทั่งถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่งจะเกิดแรงขับดันให้สารละลายพุ่งออกมาเป็นลำ (solution jet) ต่อมาลำของสารละลายนี้จะยืดออกจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงถึงระดับนาโนเมตรแล้วตกลงบนวัสดุรองรับ เส้นใยนาโนที่ผลิตได้นี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายไม่ว่าจะเป็นทางด้านการแพทย์ เช่น ระบบนำส่งยา โครงสร้างสำหรับเนื้อเยื่อที่กำลังเจริญเติบโต ทำเสื้อผ้าที่ทนต่อสารเคมี สารพิษ อาวุธชีวภาพ เป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ด้วยปัญหาของระบบอิเล็กโทรสปินนิงเดิมสามารถใส่เข็มได้เพียงหนึ่งอันเป็นผลให้สามารถสังเคราะห์เส้นใยได้น้อยเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ ผู้วิจัยมีแนวคิดจะเพิ่มความสามารถในการสังเคราะห์เส้นใยของระบบอิเล็กโทรสปินนิงให้ได้ปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้นในเวลาเท่าเดิมอีกทั้งยังสามารถสปินสารได้ที่ละสองตัว ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการสร้างระบบสังเคราะห์เส้นใยที่สามารถสังเคราะห์เส้นใยได้โดยการใส่เข็มสองอัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อให้ได้ระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยระบบอิเล็กโทรสปินนิงที่มีแผ่นรองรับแบบครึ่งทรงกลม

2. เพื่อให้ได้เส้นใยที่มีขนาดสม่ำเสมอกันทั่วทั้งแผ่น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ระบบอิเล็กโทรสปินนิงที่ใช้ความต่างศักย์ 10 kV
2. ใช้สารละลายพอลิเมอร์ในการสร้างเส้นใยเพื่อทดสอบระบบ
3. ใช้อัตราการไหลระหว่า 1-1.5 ml/h
4. กำหนดระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับอยู่ในช่วง 10 -15 cm

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้โปรแกรมที่พัฒนาแล้วมาควบคุมการทำงานของระบบอิเล็กโทรสปินนิง
2. ได้ระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิงที่พัฒนาแล้ว
3. ได้ระบบสังเคราะห์เส้นใยที่พัฒนาขึ้นมาใหม่แล้ว โดยใช้ปุ่มกดในการควบคุมการทำงานของระบบ
4. ได้ระบบสังเคราะห์เส้นใยที่พัฒนาแล้ว ซึ่งสามารถปรับอัตราการไหลได้ตั้งแต่ 0.1 - 2 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง
5. ได้ระบบสังเคราะห์เส้นใยที่พัฒนาแล้ว ซึ่งเป็นระบบเบื้องต้นสำหรับการนำไปพัฒนาอีกต่อไป

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่สำคัญต่อการศึกษาและวิจัยการพัฒนาเครื่องผลิตเส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง ประกอบด้วยกระบวนการผลิตเส้นใย หลักการทำงานของระบบอิเล็กโทรสปินนิง และการใช้งานของวัสดุต่างๆ

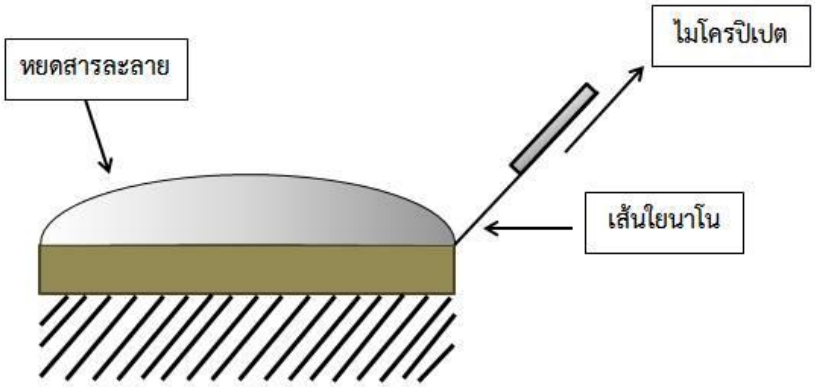
2.1 กระบวนการผลิตเส้นใยนาโน

เส้นใยนาโนที่มีการนำไปใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของผืนเส้นใยที่ไม่ได้ทอแต่ก็มีเส้นใยนาโนอีกหลายลักษณะ เช่น เส้นใยนาโนที่มีการจัดเรียงตัวของเส้นใยไปในทิศทางเดียวกัน หรืออยู่ในลักษณะของเส้นด้าย เป็นต้นซึ่งรูปแบบต่างๆของเส้นใยนาโนนั้นขึ้นกับกระบวนการผลิตซึ่งมีหลายวิธี ได้แก่ Drawing, Template Synthesis, Self - Assembly และ Electrospinning สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.1.1 Drawing

เป็นกระบวนการผลิตเส้นใยนาโนที่ค้นพบโดย Ondarcuhu และ Joachim ในปี 1998 มีวิธีการคือ หยดสารละลายของ sodium citrate ใน chroloauric acid ในขนาดไมโครเมตรใช้ ไมโครปิเปต จุ่มลงในหยดของสารใกล้กับ contact line จากนั้นดึงไมโครปิเปตออกอย่างรวดเร็วโดยใช้ความเร็วประมาณ 1×10^{-4} เมตรต่อวินาที เส้นใยนาโนจะถูกดึงออกมาพร้อมๆกับการระเหยไปของตัวทำละลาย เทคนิคนี้จะต้องมีการทำซ้ำหลายครั้งจึงจะได้เส้นใยนาโนในปริมาณที่มากพอต่อการนำไปใช้ระบบจึงไม่สามารถทำได้อย่างต่อเนื่อง ในกระบวนการ drawing จะต้องใช้วัตถุที่มี viscoelastic เพียงพอต่อการเปลี่ยนรูปร่างในระหว่างการดึง โดยเทคนิคนี้มักจะเรียกได้อีกอย่างว่า dry spinning at a molecular level แสดง **ดังรูปที่ 2.1**

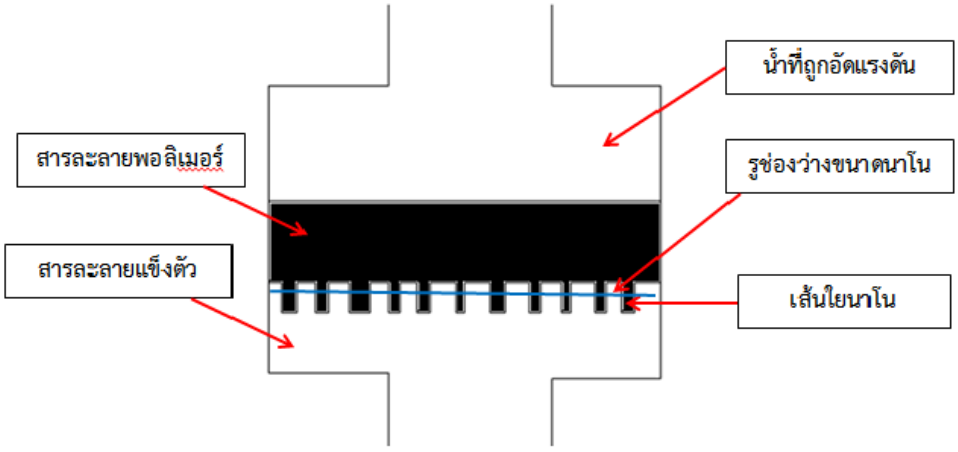


รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตเส้นใยนาโนด้วยเทคนิค Drawing
ที่มา (ดัดแปลงจาก Natthan Charernsriwilaiwat, 2012)

2.1.2 Template Synthesis

เป็นกระบวนการผลิตเส้นใยนาโนที่ใช้แม่พิมพ์ ประกอบไปด้วยรูที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร โดยจะใช้สาร polyacrylonitrileนำมาละลายลงใน Dimethylformamide ซึ่งนำมาผ่านแม่พิมพ์เส้นผ่าศูนย์กลางระดับนาโนเมตร ภายใต้แรงดันน้ำ สารละลายพอลิเมอร์จะออกมาเป็นเส้นใยขนาดนาโนเมตร เข้าสู่ solidifyingsolution กระบวนการนี้ลักษณะเส้นใยที่ได้จะเป็นรูปท่อหรือหลอด ที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง จึงเป็นวิธีที่ไม่ได้รับความนิยม แสดงให้เห็น **ดังรูปที่ 2.2**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตเส้นใยนาโนด้วยเทคนิค Template Synthesis
ที่มา (ดัดแปลงจาก Natthan Charernsriwilaiwat, 2012)

2.1.3 Self-Assembly

กระบวนการผลิตเส้นใยนาโนที่เกิดขึ้นได้เองจากสภาวะที่เหมาะสม โดยใช้โมเลกุลขนาดเล็กเป็นพื้นฐานในการสร้างเส้นใยนาโน เมื่อมีโมเลกุลมากขึ้นทำให้เกิดแรงระหว่างกันเกิดการจัดเรียงตัว **ดังรูปที่ 2.3** ซึ่งเป็นหนึ่งในทีมวิจัยที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับประโยชน์ต่างๆ ของสายเปปไทด์ที่สามารถประกอบตัวเองได้ (peptide self assembling) จนกระทั่งในปี 1991 ได้ค้นพบด้วยความบังเอิญว่า เมื่อสายเปปไทด์อยู่ในสารละลายน้ำเกลือ จะเกิดการจับกันเป็นโครงร่าง โดยมีอัตราส่วนของโครงร่าง คือ เป็นน้ำ 99% และ 1% เป็นสายเปปไทด์ สายเปปไทด์นี้ประกอบด้วยกรดอะมิโน 3 ชนิดคือ อาร์จินิน (argenen) อะลานิน (alanine)และ กรดกลูตามิค (glutamic acid) 16 โมเลกุลเรียงซ้ำไปมาและมีโครงร่างแบบ β - sheet

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 2.3 กระบวนการผลิตเส้นใยนาโนด้วยเทคนิค Self assembly
ที่มา (ดัดแปลงจาก Natthan Charernsriwilaiwat, 2012)

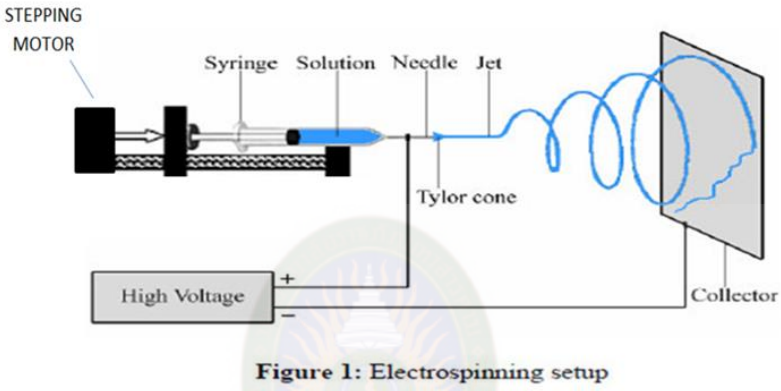
2.1.4 Electrospinning

เทคนิคที่นำมาใช้ในการเตรียมเส้นใยนาโนมีหลายวิธีซึ่งแต่ละวิธีการมีข้อดีข้อเสียที่ แตกต่างกันไป เทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง (electrospinning) หรือ การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตเป็นทางเลือกใหม่ที่สามารถใช้เตรียมเส้นใยนาโนของวัสดุพอลิเมอร์ และสารอนินทรีย์ออกไซด์หลากหลายชนิดสำหรับประยุกต์ใช้ใน ทางการแพทย์ เภสัชกรรม วิศวกรรม การทหาร และอื่นๆ

อิเล็กโทรสปินนิงเป็นกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยนาโนที่ได้รับความสนใจและนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากอิเล็กโทรสปินนิง เป็นวิธีการผลิตเส้นใยนาโนที่ทำได้โดยง่าย กระบวนการในการผลิตไม่ค่อยซับซ้อน ปลอดภัยและมีค่าใช้จ่ายในการผลิตน้อย

นอกจากนี้วิธีการนี้ยังสามารถผลิตเส้นใยที่มีขนาดตั้งแต่ 3 - 1,000 นาโนเมตร ได้ในปริมาณมากๆ อีกด้วย (วิเชษฐ์ พลหาญ, 2551)

โดยส่วนประกอบของระบบอิเล็กโทรสปินนิง สามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วนหลัก คือ แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากำลังสูง (high voltage power supply), หลอดบรรจุสารละลายที่ติดเข็มโลหะ (syringe with needle), ส่วนควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย (syringe pump) และวัสดุรองรับที่เป็นโลหะ (metal collector) **ดังรูปที่ 2.4**



รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิตเส้นใยนาโนด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง
ที่มา (Ziabari, Mottaghitalab & Haghi, 2008)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

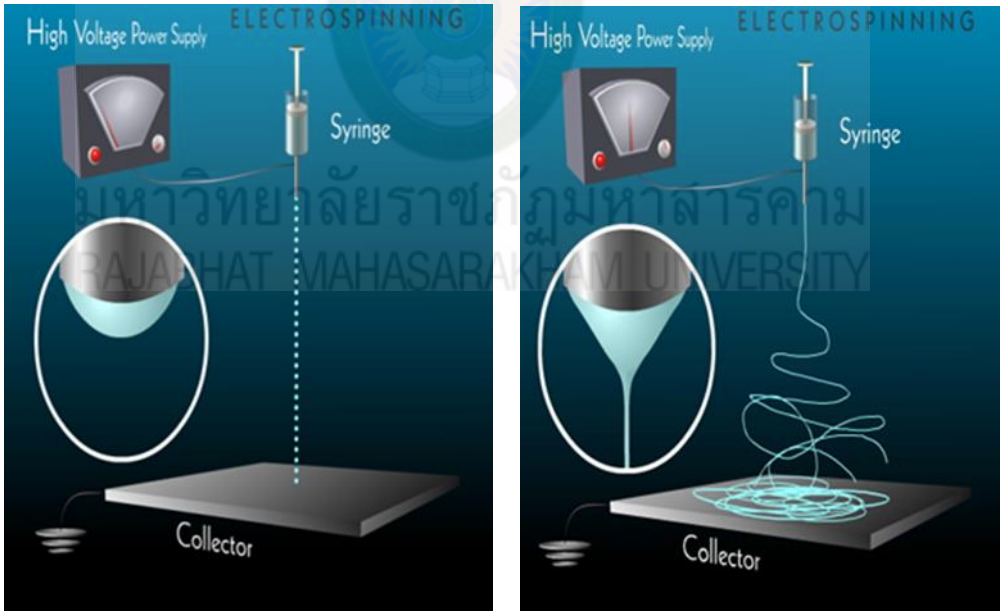
2.2 หลักการทำงานของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

การผลิตเส้นใยนาโนด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิงเป็นเทคนิคที่อาศัยแรงทางไฟฟ้า ที่เกิดจากศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง ในการดึงสารละลายที่บรรจุอยู่ในหลอดบรรจุสารละลายที่ติดเข็มโลหะ (syringe with needle) ออกมาในรูปของเส้นใยที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร และเส้นใยที่ได้จะตกลงบนวัสดุรองรับที่เป็นโลหะ (metal collector) ซึ่งเป็นอีกด้านหนึ่งของขั้วไฟฟ้า โดยสามารถแบ่งหลักการทำงานของระบบอิเล็กโทรสปินนิงได้ 3 สถานะ ดังนี้

1. เมื่อยังไม่ให้แรงดันไฟฟ้าแก่ระบบอิเล็กโทรสปินนิงจะเห็นว่าหลังจากที่ทำการติดตั้งเข็มบรรจุสารละลายบนระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงแล้ว จะยังไม่พบการเกิดขึ้นเป็นเส้นใย แต่จะพบว่าที่ปลายเข็มโลหะซึ่งอยู่ติดกับหลอดบรรจุสารละลาย จะมีสารละลายส่วนหนึ่งมารวมตัวกันเป็นรูปร่างครึ่งวงกลมที่ปลายเข็ม อันเนื่องมาจากแรงตึงผิว (surface tension) **ดังรูปที่ 2.5 (ก)**

2. เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าแก่ระบบอิเล็กโทรสปินนิงแต่ยังไม่ถึงค่าวิกฤต หลังจากที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าแก่ระบบอิเล็กโทรสปินนิง จะเกิดเป็นประจุไฟฟ้าครอบคลุมตรงส่วนของปลายเข็ม เนื่องจากมีประจุขั้วเหมือนกันในสารละลาย ทำให้เกิดแรงผลักทางไฟฟ้าทิศทางตรงกันข้ามกับแรงตึงผิว ส่งผลให้สารละลายรูปครึ่งวงกลมที่อยู่บริเวณปลายเข็มยืดออกเป็นทรงกรวย หรือที่เรียกว่ากรวยของเทเลอร์ (taylor's cone)

3. เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้แก่ระบบอิเล็กโทรสปินนิงจนถึงค่าวิกฤต จะเกิดแรงผลักทำให้สารละลายที่ปลายเข็มพุ่งออกมาเป็นลำ (solution jet) โดยลำของสารละลายจะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดประจุที่ผิวของสารละลายและด้วยแรงของสนามไฟฟ้าภายนอก ที่เกิดขึ้นจากความต่างศักย์ระหว่างปลายเข็ม (ขั้วบวก) และแผ่นรองรับ (ขั้วลบ) ทำให้เกิดลำของประจุขึ้น เกิดเป็นแรงที่ไม่สมดุล (unbalance force) ส่งผลให้ลำสารละลายยืดออกจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงถึงระดับนาโนเมตร และตกลงบนวัสดุรองรับในลักษณะที่ไม่เกิดการถักทอ (non-woven nanofibers) หรือเป็นเพียงการวางเรียงตัวซ้อนกันเป็นชั้นๆ **ดังรูปที่ 2.5 (ข)**



(ก) **(ข)**

รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของระบบอิเล็กโทรสปินนิง
(ก) ในช่วงก่อนการให้แรงดันไฟฟ้ากำลังสูง
(ข) เมื่อให้แรงดันไฟฟ้ากำลังสูงที่มีค่ามากพอแก่ระบบจนกระทั่งเกิดเส้นใย

ที่มา (ชนิศา นวนิล และ นราธิป วิทยากร, 2554)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อเส้นใย

เส้นใยที่ประดิษฐ์ได้นั่นมีลักษณะหลากหลายรูปแบบ และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตลอดจนถึงความต่อเนื่องของเส้นใยที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อเส้นใยได้ 3 กลุ่มดังต่อไปนี้

2.3.1 ตัวแปรด้านสารละลาย

สมบัติของสารละลายเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์เส้นใยนาโน ด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดและรูปร่างของเส้นใย เช่น

1. ความหนืดของสารละลาย ถ้าหากสารละลายมีความหนืดน้อย โมเลกุลของตัวทำละลายที่ไม่ได้จับกับโมเลกุลของพอลิเมอร์จะมีความหนาแน่นมาก ส่งผลให้จับตัวกันเป็นก้อนทรงกลม ลักษณะคล้ายเม็ดลูกปัดที่เรียกว่า บีตส์ เนื่องจากแรงตึงผิว แต่ในกรณีที่สารละลายมีความหนืดมาก จะเกิดอัตรากริยาระหว่างโมเลกุลของตัวทำละลายกับโมเลกุลของพอลิเมอร์มากขึ้น ส่งผลให้สารละลายยืดออกดีขึ้น

2. ความเข้มข้นของสารละลาย ถ้าใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นมากขึ้น จะได้เส้นใยที่มีบีตส์หรือหยดขนาดเล็กลดลง แต่ถ้าความเข้มข้นของสารละลายมีค่ามากไป จะปรากฏการณ์การบิดโค้งที่ไม่มีเสถียรภาพ ส่งผลให้เส้นทางการเคลื่อนที่ของสารละลายลดลง จะทำให้เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น

3. สภาพการนำไฟฟ้าของสารละลาย จากการยืดออกเป็นเส้นของสารละลายส่วนหนึ่งมีผลมาจากประจุที่ผิวของสารละลาย ดังนั้นถ้าสารละลายมีสภาพการนำไฟฟ้าที่ดีจะส่งผลให้มีประจุเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้การเพิ่มสภาพนำไฟฟ้าอาจทำได้โดยการเติมไอออน (ion) ลงในสารละลายซึ่งจะมีส่วนให้สารละลายยืดออกได้ดีขึ้นและช่วยลดการเกิดบีตส์ในเส้นใยนาโนอีกด้วย

4. ค่าไดอิเล็กตริก จากค่าไดอิเล็กตริกของตัวทำละลายมีความสำคัญต่อระบบอิเล็กโทรสปินนิง ในแง่ที่ว่าหากสารละลายมีสมบัติทางไดอิเล็กตริกสูงจะช่วยลดการเกิดบีตส์ และขนาดของเส้นใยลงได้ ดังนั้นอาจเติมตัวทำละลายที่มีค่าไดอิเล็กตริกสูง เช่น ไดเมทิลฟอมาไมด์ (N,N Dimethylformamide) ลงในสารละลายเพื่อเพิ่มสมบัติทางไดอิเล็กตริก นอกจากนี้ยังพบว่าถ้าไดอิเล็กตริกมีค่าสูงจะส่งผลให้การบิดโค้งที่ไม่มีเสถียรภาพเกิดเพิ่มมากขึ้น ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่การเกิดเส้นใยบนวัสดุรองรับ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.3.2 ตัวแปรในระบบ

ปัจจัยที่สำคัญมากอีกกลุ่มหนึ่งในกระบวนการอิเล็กโทรสปินนิง คือ ตัวแปรของระบบที่ใช้สังเคราะห์เส้นใย โดยตัวแปรกลุ่มนี้ล้วนมีผลต่อลักษณะของเส้นใยแต่ส่งผลน้อยกว่าตัวแปรใน เช่น

1. แรงดันไฟฟ้า (voltage) โดยส่วนใหญ่หากแรงดันไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบที่มีค่าสูงขึ้น จะส่งผลให้ขนาดของเส้นใยเล็กลง รวมทั้งมีส่วนทำให้ตัวทำละลายระเหยได้เร็วขึ้น

2. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเข็มโลหะ (diameter of needle) ถ้ามีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มเล็กลง พบว่าขนาดของเส้นใยจะเล็กลงด้วย เนื่องจากความตึงผิวของหยดสารละลายมากขึ้น ทำให้ระยะเวลาที่เส้นใยยืดออกก่อนตกลงบนวัสดุรองรับมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเข็มที่มีขนาดเล็กเกินไปอาจไม่สามารถทำให้สารละลายไหลออกมาได้

3. วัสดุรองรับ (collector) เนื่องจากในกระบวนการอิเล็กโทรสปินนิงนั้น ต้องอาศัยสนามไฟฟ้าระหว่างปลายเข็มกับวัสดุรองรับ ดังนั้นวัสดุรองรับควรมีสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า เช่น แผ่นทองแดง

4. อุณหภูมิของสารละลาย (temperature) ถ้าอุณหภูมิของสารละลายมีค่าที่สูงจะเพิ่มอัตราการระเหยให้สูงขึ้น สารละลายมีความหนืดน้อยลงและพอลิเมอร์ละลายในตัวทำละลายได้ดีขึ้น ส่งผลให้สารละลายยืดออกได้ง่ายและทำให้ขนาดของเส้นใยนาโนเล็กลงอีกด้วย

5. อัตราการไหลของสารละลาย (flow rate) ถ้าอัตราการไหลมีค่ามาก จะทำให้เส้นใยและบีตส์มีขนาดใหญ่มากขึ้น แต่ทั้งนี้การเพิ่มอัตราการไหลจะช่วยให้เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้นระดับหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากปริมาณสารละลายจะออกมามากเกินไป ส่งผลให้ตัวทำละลายระเหยออกไม่ทัน ดังนั้นเส้นใยที่ได้จะมีลักษณะเป็นหยด

6. ระยะห่างระหว่างปลายเข็มจนถึงวัสดุรองรับ ถ้าระยะห่างมีค่ามากขึ้น เส้นใยที่ได้จะมีขนาดเล็กลงเพราะลำของสารละลายมีเวลาในการยืดออกนานมากขึ้น แต่ในบางกรณีเมื่อระยะห่างแต่ขนาดของเส้นใยมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากสนามไฟฟ้ามีค่าน้อยลงทำให้แรงที่ทำให้สารละลายยืดออกนั้นน้อยลง อย่างไรก็ตามหากระยะห่างมากเกินไปจะไม่เกิดเส้นใยขึ้นบนวัสดุรองรับ ดังนั้นการเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายเข็มถึงวัสดุรองรับสามารถทำได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น

2.3.3 สภาพแวดล้อม

ปัจจัยในกลุ่มนี้ ผลจากสภาพแวดล้อมมีผลต่อสารละลายและทำให้ลักษณะเส้นใยเปลี่ยนไป เช่น ความชื้น (humidity) ในกรณีที่มีความชื้นสูงจะเกิดปรากฏการณ์คล้ายกับมีการควบแน่นเป็นหยดน้ำบนผิวของเส้นใย ทำให้ลักษณะของเส้นใยมีการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม MAHASARAKHAM UNIVERSITY

พอลิเมอร์ที่ละลายในตัวทำละลายที่ระเหยได้ ความชื้นสูงจะทำให้เกิดรูพรุนบนเส้นใยในปริมาณที่มากขึ้น เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น

2.4 ส่วนประกอบของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

2.4.1 สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor)

สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะเมื่อป้อนไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ทำให้หมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งต่างจากมอเตอร์ทั่วไปที่จะหมุนทันทีและตลอดเวลาเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า ข้อดีของสเต็ปปิ้งมอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนด้วยตัวเลข (องศาหรือระยะทาง) ได้อย่างละเอียดโดยใช้คอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นเครื่องกำหนดและจัดเก็บตัวเลข **ดังรูปที่ 2.6**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 2.6 สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ 5 สาย
ที่มา (ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (เนคเทค), 2546)

2.4.2 บอลสกรู

สกรู หรือ ตะปูควงเป็นเครื่องกลผ่อนแรงชนิดหนึ่งมีรูปร่างคล้ายบันไดเวียนรอบแกน ใช้ยกวัตถุหนักขึ้นสู่ที่สูงโดยแรงความพยายามเคลื่อนที่เป็นวงกลมขณะที่แรงความต้านทานเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่ง คือการเคลื่อนที่ของเครื่อง CNC ที่เราเห็นจะเป็นการเคลื่อนที่ของแกนในแต่ละแกนจะเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้น หรือเคลื่อนที่แบบเส้นตรงนั่นตัวขับเคลื่อนให้แต่ละแกนที่ได้จะใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์หรือมอเตอร์ที่หมุนรอบตัวเองทีละสเต็ป โดยแต่ละสเต็ปจะมีมุมการเคลื่อนที่ได้หลากหลายตามแต่คุณสมบัติของมอเตอร์ จึงต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยที่ช่วยในการแปลงการ

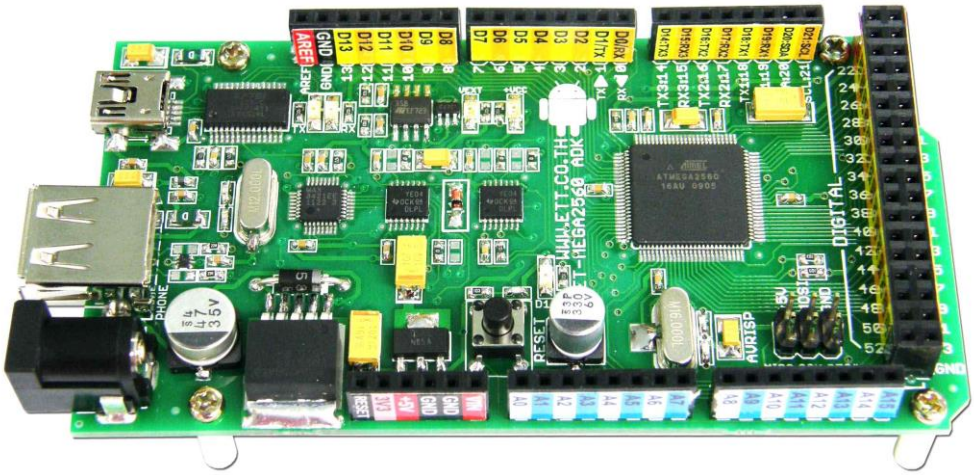
หมุน (เชิงมุม) เป็นเส้นตรง (เชิงเส้น) เป็นการเคลื่อนที่ของเครื่อง CNC ที่เราเห็นจะเป็นการเคลื่อนที่ของแกนอิสระและในแต่ละแกนจะเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้น

รูปที่ 2.7 ลักษณะบอลสกูร
ที่มา (ดัดแปลงจาก Taiwan บอลสกรู cnc, 2558)

2.4.3 บอร์ดคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ ใช้ชิปอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการประมวลผลอย่างหนึ่งทำหน้าที่ประมวลผลตามโปรแกรมหรือชุดคำสั่ง โครงสร้างภายในเป็นวงจรรวมขนาดใหญ่ประกอบไปด้วย หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกบัสต่างๆ พอร์ตรีจีสเตอร์ หน่วยความจำ วงจรนับและวงจรจับเวลารวมกันอยู่ภายในชิป ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานควบคุมสามารถติดต่อกับอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตได้สะดวกใช้งานง่าย สามารถทำงานได้โดยใช้ชิปเดียว สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์มีภาษาที่ใช้ระดับสูงหลายภาษา ทำให้ง่ายต่อการศึกษาเรียนรู้ออกแบบวงจรพัฒนาระบบ ข้อแตกต่างระหว่างไมโครโพรเซสเซอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถติดต่ออุปกรณ์อินพุตและเอาท์พุตได้สะดวกง่ายกว่า สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิต และมีภาษาควบคุมระดับสูงหลายภาษา โดยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้คือรุ่น ET - MEGA2560 - ADK มีลักษณะดังนี้

2.4.3.1 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุน ET - MEGA2560 - ADK



รูปที่ 2.8 ลักษณะของบอร์ดรุ่น ET - MEGA2560 - ADK
ที่มา (ดัดแปลงจาก บริษัท อีทีที, 2554)

2.4.3.1.1 คุณสมบัติของบอร์ด

1. ใช้ ATMEGA2560 เป็น MCU ประจำบอร์ด Run ที่ความถี่16 MHz จาก Crystal Oscillator

2. ใช้ 256Kbyte Flash 8KByteSRAM 4KByte EEPROM

3. ใช้รองรับการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษา C++ ของอาดูโน่ตามแบบ Arduino Mega ได้ 100%

4. โดยใช้ USB Bridge ของ FTDI เบอร์ FT232RL ที่มาพร้อมกับ Over Current Protection สำหรับติดต่อสื่อสาร และ Download Code จากคอมพิวเตอร์ให้บอร์ด โดยไม่ต้องใช้เครื่องโปรแกรมจากภายนอก

5. On Board USB Host (MAX3421) ใช้สำหรับการเชื่อมต่อกับ USB Device หรืออุปกรณ์ Android ADK รองรับการพัฒนาโปรแกรมด้วย ADK (Android Open Accessories development Kit) โดยใช้ Google Open Accessories API เมื่อใช้กับอุปกรณ์แอนดรอยด์ที่ได้รับการติดตั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ V2.3.4 หรือสูงกว่า รองรับการพัฒนาโปรแกรมด้วย Android Debug Bridge (ADB) โดยใช้ Library ของ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Microbridge เมื่อใช้กับอุปกรณ์แอนดรอยด์ที่ได้รับการติดตั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอนยด์ V1.5 หรือสูงกว่า

6. ขนาดของแผ่น PCBบอร์ด และ ตำแหน่ง Pin Connectorจะใช้ตรงกันกับ Arduino Mega ทั้งหมด ทำให้สามารถนำไปติดตั้งใช้งานร่วมกับบอร์ด Shield แบบต่างๆที่มีการผลิตขึ้นมาใช้งานร่วมกันกับบอร์ด Arduino Mega ได้ทั้งหมด โดยบอร์ดมีขนาด PCB Size 5.3cm x 10.2cm

7. รองรับการใช้งานกับ External Supply มีทั้งแบบ AC และ DC อยู่ในขนาด 7 - 12 V โดยเลือกใช้ Regulate แบบ Switching ขนาด 1 A (LM2575 - 5 V) ลดปัญหาเรื่องความร้อนเมื่อมีการใช้กระแสสูงๆ สามารถ ใช้แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB ได้ในกรณีใช้กระแสไม่เกิน 500 mA โดยมีวงจรเลือกแหล่งจ่ายอัตโนมัติ โดยจะตัดการใช้ไฟเลี้ยงจาก USB โดยอัตโนมัติ เมื่อมีการต่อแหล่งจ่ายจากภายนอกให้บอร์

2.4.3.1.2 โครงสร้างบอร์ด ET - MEGA2560 - ADK

รูปที่ 2.9 โครงสร้างของบอร์ด ET - MEGA2560 - ADK
ที่มา (ดัดแปลงจาก บริษัท อีทีที, 2554)

1. หมายเลข 1 คือ ขั้วของแหล่งจ่ายไฟที่จะต่อเข้าไฟเลี้ยงจากภายนอกโดยสามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายทั้งแบบ AC และ DC พร้อมวงจร Bridge Rectifier และ Regulate แบบ Switching ช่วยลดความร้อนของ IC Regulate เมื่อมีการดึงกระแสมากๆ ได้เป็นอย่างดี สามารถใช้กับแรงดัน Input 7 - 12 V

2. หมายเลข 2 คือ ขั้วต่อ USB Host ที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ USB Device ต่างๆ

3. หมายเลข 3 เป็นขั้วที่ต่อเข้ากับ USB Device ที่ใช้สำหรับติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ PC โดยใช้ FT232RL เป็น USB Bridge ในการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ PC และ MCU ในบอร์ด และยังสามารถใช้ ไฟจาก พอร์ต USB เป็นแหล่งจ่ายให้กับบอร์ดได้ด้วย โดยจะมี Poly Fuse ขนาด 500 mA สำหรับ ป้องกันการดึงกระแสเกินจากพอร์ต USB ด้วย และที่พิเศษคือมีวงจรสำหรับตรวจสอบแหล่งจ่าย เพื่อสลับการใช้งานแหล่งจ่ายจาก USB ไปเป็น External Supply ได้เองโดยอัตโนมัติ โดยเมื่อไม่ได้ต่อ External Supply บอร์ดจะใช้ไฟจากพอร์ต USB เป็นแหล่งจ่ายในการทำงาน แต่เมื่อมีการต่อ External Supply วงจรจะสลับไปใช้แหล่งจ่ายจาก External Supply เองโดยอัตโนมัติ

4. หมายเลข 4 เป็น LED VEXT ใช้แสดงสถานะเมื่อมีการจ่ายไฟเลี้ยงจาก External Supply

5. หมายเลข 5 เป็น LED + VCC โดยใช้แสดงสถานะของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง (+ VCC) ของบอร์ด โดยเมื่อ บอร์ดใช้แหล่งจ่ายจาก External Supply จะแสดงสถานะโดยการให้ LED VEXT และ LED + VCC ติดสว่างพร้อมกันทั้งคู่ แต่ถ้าบอร์ดใช้แหล่งจ่ายจากพอร์ต USB จะแสดงสถานะโดยการให้ LED + VCC ติดสว่างเพียงดวงเดียว

6. หมายเลข 6 เป็น LED ที่สามารถแสดงสถานะของ RX และ TX ใช้สำหรับแสดงการรับส่งข้อมูลระหว่าง บอร์ด ET - MEGA2560 - ADK กับคอมพิวเตอร์ PC ผ่านทางพอร์ต USB

สถาบันวิทยบริการ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

7. หมายเลข 7 เป็น LED D13 โดยที่จะใช้สำหรับการทดสอบแสดงการทำงานของ Bootloader และ ใช้ทดสอบการ ทำงานของบอร์ดจากการควบคุมของ Pin Digital - 13 ทำงานด้วย Logic “1” และ หยุดทำงานด้วย Logic “0”

8. หมายเลข 8 เป็นสวิตช์ Reset ใช้สำหรับสั่ง Reset การทำงานของบอร์ด

9. หมายเลข 9 เป็นขั้วที่ต่อเข้ากับ AVRISP โดยใช้สำหรับโปรแกรม Bootloader ให้กับ MCU

10. หมายเลข 10 เป็นขั้วต่อ Power

11. หมายเลข 11, 12 โดยใช้เป็นขั้วที่ต่อสัญญาณกับ Analog A [0..7] และ Analog A [8..15] ตามลำดับ

12. หมายเลข 13, 14, 15 คือ ขั้วที่ต่อสัญญาณ Digital D[0.7], D[8..13] และ D[14..21]

13. หมายเลข 16 เป็นขั้วต่อสัญญาณ Digital D[22..53]

2.5 โปรแกรมอาดูโน่ (Arduino)

ในการเขียนโปรแกรมสำหรับบอร์ดยูนิคอน (unicon board) จะต้องเขียนโปรแกรมโดยใช้ ภาษาของ อาดูโน่ (arduino programming language) ซึ่งตัวภาษาของ อาดูโน่ แบ่งเป็นสองส่วนหลักคือ โครงสร้างภาษา (structure) ตัวแปร และค่าคงที่ฟังก์ชัน (function) (Arduino, 2014)

2.5.1 ภาษาของ อาดูโน่

อ้างอิงตามภาษา C/C++ จึงอาจกล่าวได้ว่า การเขียนโปรแกรมสำหรับ อาดูโน่ (ซึ่งก็ร่วมถึงบอร์ด unicon) ก็คือการเขียนโปรแกรมภาษา C โดยเรียกใช้ฟังก์ชันและไลบรารี ที่ทาง อาดูโน่ ได้เตรียมไว้ให้แล้วซึ่งสะดวก และทำให้ผู้ที่ไม่มีความรู้ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ อย่างลึกซึ้งสามารถเขียนโปรแกรมได้

2.5.2 โครงสร้างของโปรแกรม อาดูโน่

โปรแกรมของ อาดูโน่ แบ่งได้เป็นสองส่วน คือ void setup() และ void loop() โดยฟังก์ชัน setup() เมื่อโปรแกรมทำงาน จะทำคำสั่งของฟังก์ชั่นนี้ เพียงครั้งเดียว ใช้ในการกำหนดค่าเริ่มต้นของการทำงาน ส่วนฟังก์ชัน loop() เป็นส่วนทำงาน โปรแกรมจะทำคำสั่งในฟังก์ชันนั้นต้องต่อเนื่องกันตลอดเวลา โดยปกติ ใช้กำหนดโหมดทำงานของขาต่างๆ กำหนดการสื่อสารแบบอนุกรม ส่วนของ loop() เป็นโค้ดโปรแกรมที่ทำงาน เช่น อ่านค่าอินพุต ประมวลผล สั่งงานเอาต์พุต โดยกำหนดค่าเริ่มต้น เช่น ตัวแปรจะต้องเขียนที่ส่วนหัวของโปรแกรมก่อนถึงตัวฟังก์ชัน นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงตัวพิมพ์ เล็ก - ใหญ่ ของตัวแปรและชื่อฟังก์ชันให้ถูก

1. ส่วนของฟังก์ชัน setup() ในฟังก์ชั่นนี้ จะเขียนในส่วนของโปรแกรมการทำงานเมื่อโปรแกรมเริ่มต้นเพียงครั้งเดียว ใช้เพื่อกำหนดค่าของตัวแปร โหมดการทำงานของขาต่างๆ เริ่มต้นเรียกใช้ ไลบรารี **ดังตัวอย่างที่ 1**

ตัวอย่างที่ 1

```
IntbuttonPin = 31;
Void setup(){
Serial.begin(9600);
Pinmode(buttonPin, INPUT);
}
Void loop()
{
If (digitalRead(buttonPin) == HIGH)
Serial.println('H');
Else
Serial.println)('L');
```

ในขณะที่โปรแกรมภาษา C มาตรฐานที่เขียนบน AVR GCC เป็นโปรแกรมภาษา C ที่ใช้ C คอมไพเลอร์ แบบ GCC สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR จะเขียนได้ ดังนี้

```
Intmain(void){
Init();
Setup(); ตรงกับ void setup()
for (;;)
loop(); ตรงกับ void loop()
return;
```

2. ส่วนของฟังก์ชัน loop() หลังจากที่เขียนฟังก์ชัน setup() ที่กำหนดค่าเริ่มต้นของโปรแกรมแล้ว ส่วนถัดมาคือฟังก์ชั่น loop() ซึ่งมีการทำงานตรงตามชื่อคือ จะทำงานตามฟังก์ชันนี้วนต่อเนื่องตลอดเวลา ภายในฟังก์ชันนี้จะมีโปรแกรมของผู้ใช้ เพื่อรับค่าจากพอร์ตประมวลผล แล้วสั่งเอาต์พุตออกขาต่างๆ เพื่อควบคุมการทำงานของบอร์ด **ดังตัวอย่างที่ 2** (โอภาส ศิริศรขิตถาวร, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, กฤษฎา ใจเย็น และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, 2556)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตัวอย่างที่ 2

```
IntbuttonPin = 31;
// setup initializes serial and the button pin
Void setup()
{
Serial.begin(9600);
pinMode(buttonPin, INPUT);
}
// loop checks the button pin each time,
// and will send serial if it is pressed
```

2.6 สารละลายพอลิเมอร์

พอลิเมอร์ (polymer) ความหมายของพอลิเมอร์นั้นก็มาจากรากศัพท์กรีกสำคัญ 2 คำ คือ poly (จำนวนมาก) และ meros (ส่วน หรือ หน่วย) พอลิเมอร์เป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecule) พอลิเมอร์จะประกอบไปด้วยหน่วยซ้ำกัน (repeating unit) ของมอนอเมอร์ (monomer) หลายๆหน่วยมาทำปฏิกิริยากัน มอนอเมอร์นี้จัดเป็นสารไมโครโมเลกุลชนิดหนึ่ง ซึ่งพอลิเมอร์ที่ประกอบไปด้วยหน่วยย่อยหรือมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันทั้งหมด จัดเป็นโฮโมพอลิเมอร์ (homopolymer)แต่ถ้ามีมอนอเมอร์ต่างกันตั้งแต่ 1 ชนิดขึ้นไป จัดเป็นโคพอลิเมอร์ (copolymer) สารบางอย่างที่มีสมบัติอย่างพอลิเมอร์ เช่น สารพวกไขมันที่มีแต่ละหน่วยที่ไม่ซ้ำกันนั้นจะเป็นเพียงแค่สารแมคโครโมเลกุลเท่านั้น ไม่จัดเป็นพอลิเมอร์ โดยพอลิเมอร์ที่เราใช้ในงานวิจัยนี้มีด้วยกัน 1 ชนิด คือ โพลีไวนิลไพโรลิโดน (polyvinylpyrrolidone ; PVP) (สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.), 2011) ซึ่งสมารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

2.6.1 โพลีไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone : PVP)

โพลีไวนิลไพโรลิโดน เป็นกลุ่มของพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้จากทางเคมี โพลีไวนิลไพโรลิโดนคือสารพอลิเมอร์แลคแตม (lactam)ภายในเชื่อมต่อด้วยพันธะเอไมด์ (amide)เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างของแต่ละหน่วย โพลีไวนิลไพโรลิโดนมีความเป็น (amphiphilic)คุณสมบัติคือ ในโมเลกุลเดียวกันมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ ไฮโดรฟิลิค (hydrophilic) กลุ่มเอไมด์ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) กลุ่มเมทิลีน ในส่วนของ backbone และส่วนของวงแหวน ซึ่งเป็นคุณสมบัติไฮโดรโฟบิค

โพลีไวนิลไพโรลิโดนถูกนำมาใช้ได้หลากหลายด้าน สิ่งที่น่าสนใจทางด้านสิ่งแวดล้อมก็คือลักษณะโครงสร้างมีความคล้ายกับโปรตีนซึ่งได้ให้ความสำคัญสำหรับการนำไปใช้ในทางการแพทย์เป็นหลักโดยเฉพาะอย่างยิ่งโพลีไวนิลไพโรลิโดนมีความเป็นพิษต่ำมาก และสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุเคลือบ (Doneux et al, 1997)

(ก) **(ข)**

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างโพลีไวนิลไพโรลิโดน
(ก) ตัวอย่างโพลีไวนิลไพโรลิโดน
(ข) ตัวอย่างขวดบรรจุสาร

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

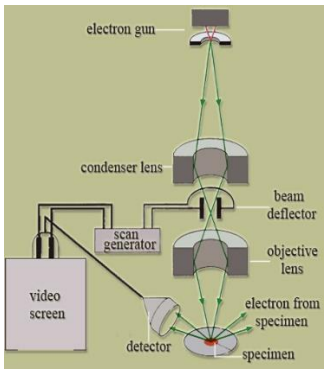
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้อิเล็กตรอนเป็นแหล่งกำเนิดแสง เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะสัณฐานของวัสดุในระดับจุลภาค ซึ่งเป็นรายละเอียดที่เล็กมาก และเนื่องจากข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่มีความยาวคลื่นแสงขนาดใหญ่กว่าลักษณะสัณฐานบางชนิดที่ต้องการศึกษา และกำลังความสามารถในการแยกชัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงธรรมดามีค่าต่ำ ใช้ดูวัตถุเล็กสุดประมาณ 0.2 ไมโครเมตร และให้กำลังขยายสูงสุดไม่เกิน 3,000 เท่า ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบรายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็กมากๆได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูง มีความสามารถในการแยกชัดดี เนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้น เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของวัสดุ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยายมากกว่า 3,000 เท่า

จน ถึงระดับมากกว่า 100,000 เท่า และยังสามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพ ซึ่งขึ้นกับลักษณะตัวอย่าง **ดังรูปที่ 2.11** ได้ตั้งแต่ 3 ถึง 100 นาโนเมตร

หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (condenser.lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัดจะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (objective.lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการจะศึกษา.และหลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้นซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอกนิกส์ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ **ดังรูปที่ 2.12**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 2.11 ตัวอย่างกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



รูปที่ 2.12 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
ที่มา (ดัดแปลงจาก วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง, 2015)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กอบศักดิ์ กาญจนาพงศ์กุล (2555) ได้ศึกษาการผลิตเส้นใยนาโนจากวัสดุชีวภาพด้วยเทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิตซึ่งการเกิดเส้นใยนาโนด้วยเทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต ต้องอาศัยแรงไฟฟ้าสถิตที่อยู่ภายในสารละลาย โดยสามารถอธิบายให้เข้าใจได้ง่ายๆ ดังนี้ สมมติว่าในระบบที่เราสนใจประกอบด้วยแผ่นโลหะสองแผ่น แผ่นแรกวางบนพื้นราบและแผ่นที่สองอยู่เหนือแผ่นแรก หากเราทดลองหยดสารละลายโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งลงไปบนแผ่นโลหะที่วางบนพื้นในแนวราบ โดยปกติผลของน้ำหนักของหยดสารละลายมีน้อยกว่าแรงตึงผิวมากๆ หยดสารละลายจะมีลักษณะคล้ายครึ่งทรงกลม แต่หากเราทำให้ศักย์ไฟฟ้าของแผ่นโลหะสูงกว่าศักย์ไฟฟ้าของแผ่นโลหะแผ่นที่สอง หยดสารละลายจะค่อยๆ เปลี่ยนรูปเป็นลักษณะคล้ายกรวยกลมที่มีปลายชี้ขึ้นไปทางแผ่นโลหะแผ่นที่สองสาเหตุที่หยดสารละลายมีการเปลี่ยนรูปร่างก็เนื่องมาจากแรงผลักระหว่างประจุไฟฟ้าที่มีขั้วเหมือนกันภายในหยดสารละลายนั่นเองเมื่อเราเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าของแผ่นโลหะขึ้นไปเรื่อยๆปลายแหลมของรูปกรวยกลมจะชัดเจนขึ้นเรื่อยๆจนถึงค่าวิกฤติค่าหนึ่งที่แรงผลักระหว่างประจุไฟฟ้ามีค่ามากกว่าแรงตึงผิวของสารละลาย ที่จุดนี้หยดของสารละลายจะกลายเป็นรูปทรงที่รู้จักกันดีในชื่อ taylorcone และจะเกิดสายของสารละลายโพลิเมอร์ซึ่งนิยมเรียกว่า polymer jet พุ่งขึ้นไปยังแผ่นโลหะแผ่นที่สอง ในระหว่างที่ polymer jet ลอยอยู่ในอากาศ แรงผลักกันของประจุไฟฟ้าที่อยู่ภายในสารละลายก็จะทำให้ polymer jet ถูกยืดออกจนมีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรภายในระยะเวลาไม่กี่มิลลิวินาทีเท่านั้น โดยการยืดของเส้นใยจะเกิดได้เฉพาะในช่วงเวลาที่ polymer jet อยู่ในอากาศเท่านั้น (นิยมเรียกว่า flying time) ในระยะแรก polymer jet จะพุ่งจากปลายหัวฉีดไปยังแผ่นเก็บเส้นใยในแนวเส้นตรง(เรียกช่วงนี้ว่า stable jet) แต่หลังจากนั้นจะมีการแกว่งเป็นวงรอบด้วยความเร็วสูง (เรียกช่วงนี้ว่าwhipping jet) ด้วยการแกว่งนี้เองทำให้ polymer jet มี flying time มากขึ้นและมีขนาดเล็กลงอย่างรวดเร็วตัวทำละลายที่อยู่ใน polymer jet เหล่านี้จะระเหยอย่างรวดเร็วระหว่างที่อยู่ในอากาศทำให้ polymer jet แห้งกลายเป็นเส้นใยเก็บอยู่บนแผ่นโลหะที่ 2 หากกระบวนการนี้เกิดต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนานพอสมควรจะเกิดการสะสมทับกันของเส้นใย จนกลายเป็นแผ่นฟิล์มที่มีโครงสร้างเป็นเส้นใยนาโนนั่นเอง โดยปกติเราจะเรียกฟิล์มที่ผลิตโดยเทคนิคนี้ว่า “electrospun film” หรือ “electrospunmat”

นันทเพ็ญ สุธรรมมา และ อนงค์ ภูด่านงัว (2558) งานวิจัยนี้ได้รายงานการออกแบบ และสร้างระบบอิเล็กโทรสปินนิงเพื่อประดิษฐ์เส้นใย ระบบอิเล็กโทรสปินนิงถูกควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และสามารถกำหนดอัตราการผลิตเส้นใยในอัตราการไหล

RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เท่ากับ 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยใช้ค่าดีเลย์เท่ากับ 234 + V สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของระบบอิเล็กโทรสปินนิงที่สร้างได้ ใช้สารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) เป็นสารละลายในการทดสอบการประดิษฐ์เส้นใย และใช้ค่าดีเลย์เท่ากับ 235 และ 236

จากการศึกษาลักษณะสัณฐานด้วยเทคนิค scanning electron miroscope (SEM) พบว่าเส้นใยที่ได้มีลักษณะเรียง สม่ำเสมอ ต่อเนื่อง เส้นใยแต่ละเส้นแยกกันอยู่เป็นเส้นเดียวกัน และเส้นใยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยเฉลี่ยอยู่ในระดับไมโครเมตร สำหรับที่ค่าดีเลย์เท่ากับ 235 เส้นใยจะมีลักษณะสัณฐานที่ดีกว่าค่าดีเลย์เท่ากับ 236 ดังนั้นเงื่อนไขสำหรับการมีประสิทธิภาพสูงสุดของระบบอิเล็กโทรสปินนิงสาหรับการประดิษฐ์เส้นใย คือ ค่าดีเลย์เท่ากับ 235 และระยะห่างระหว่างปลายเข็มโลหะสแตนเลสกับวัสดุรองรับเท่ากับ 10 เซนติเมตร

ปรัชญา นิยมไทย และ จรรยา ตรีมงคล หิรัญวิวัฒน์กุล (2555) ศึกษาเทคนิคการปั่นเส้นใยพอลิเมอร์ระดับนาโนด้วยไฟฟ้าสถิตเพื่อประโยชน์ด้านการแพทย์เป็นเทคนิคการขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ โดยใช้แรงที่เกิดจากความต่างศักย์ทางไฟฟ้า ซึ่งเส้นใยที่ได้จากวิธี electrospinning จะมีขนาดเล็กมาก(ระดับนาโนเมตร) ในขณะที่การขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์โดยทั่วไปใช้แรงกลทำการอัดรีดพอลิเมอร์หลอมผ่านหัวดายที่มีรูขนาดเล็ก (spinneret) เส้นใยที่ได้จะมีขนาดใหญ่กว่าแบบแรกโดยมีขนาดอยู่ในช่วงไมโครเมตรในการขึ้นรูปเส้นใยพอลิเมอร์ด้วยเทคนิค electrospinning สามารถใช้พอลิเมอร์ที่อยู่ในสภาวะหลอมเหลว หรืออยู่ในรูปของสารละลาย โดยการพอลิเมอร์ลงในภาชนะที่มีรูขนาดเล็ก จากนั้นให้พลังงานไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความต่างศักย์ตรงบริเวณปลายรูขนาดเล็กของภาชนะบรรจุ และฉากรองรับเมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าถึงจุดที่แรงทางไฟฟ้าสามารถเอาชนะแรงตึงผิวของพอลิเมอร์ได้ พอลิเมอร์จะดีดออกจากปลายภาชนะบรรจุไปที่ฉากรองรับ เกิดเส้นใยในระดับนาโน ปัจจุบันเทคนิคการปั่นขึ้นรูปเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถผลิตเส้นใยขนาดตั้งแต่ 10 จนถึง 1,000 นาโนเมตร อัตราส่วนของพื้นผิวต่อปริมาตร (surface area to volume ratio) สูงถึง 1,000 เท่า เมื่อเทียบกับเส้นใยที่ผลิตด้วยเทคนิคทั่วไป เส้นใยระดับนาโนนี้มีน้ำหนักเบา และมีพื้นผิวสัมผัสสูง ดังนั้นจึงนิยมนำมาประยุกต์ใช้กับงานทางการแพทย์อย่างแพร่หลาย เช่น วิศวกรรมตกแต่งเนื้อเยื่อกระดูก (bone tissue engineering) วัสดุตกแต่งแผล (wound dressing) หน้ากากป้องกันเชื้อแบคทีเรีย (anti - bacteria mask) และระบบขนส่งยา (drug delivery system) เป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ปารเมศ หอมวงค์ และ สุชินวัตร ยังสุข (2557) งานวิจัยนี้ เป็นการออกแบบสร้างเครื่องมือเคลื่อนย้ายชิ้นงานในสองมิติแบบสแกนตามรูปแบบ และแบบระบุตำแหน่ง เครื่องมีการควบคุมการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องมือ 2 โปรแกรม อาดูโน่ เป็นโปรแกรมที่ป้อนคำสั่งการทำงานของเครื่องมือไปยังบอร์ดคอลโทรลเลอร์ และโปรแกรม Matlab เป็นโปรแกรมส่งค่าข้อมูลการทำงานที่ต้องการ เครื่องมือที่สร้างขึ้นมีการทำงานแบบอัตโนมัติความถูกต้องโปรแกรมที่เขียนขึ้นทำให้เครื่องมือทำงานได้อย่างถูกต้องตามความต้องการ เครื่องมือสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำเนื่องจากชุดการเคลื่อนที่ของเครื่องมือใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ 5 เฟส ที่มีสเต็ปการทำงานถึง 500 สเต็ปต่อรอบเป็นตัวขับเคลื่อน และการทำงานของเครื่องมือสามารถรับโหลดเพิ่มได้ไม่เกิน 1 กิโลกรัมในการทำงานของเครื่องมือ เครื่องมือสามารถทำงานได้ 2 แบบ คือ แบบสแกนตามรูปแบบที่กำหนด 4 รูปแบบ คือ A B C และ D แต่ละรูปแบบทำงานซ้ำกัน 5 ครั้ง ทำการจับเวลาในการทำงานแล้วนำผลเฉลี่ยในการจับเวลามาเปรียบเทียบกับเวลาการทำงานที่ได้จากการคำนวณเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการทำงานของเครื่องมือ และระบุตำแหน่งเครื่องมือสามารถทำงานในแกน X 13 เซนติเมตร แกน Y 13 เซนติเมตร

จากผลการวิจัยพบว่า การทำงานของเครื่องมือ แบบสแกนตามรูปแบบ 4 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบ A B C และ D แต่ละรูปแบบใช้เวลาในการทำงานเฉลี่ย 5,105.6 4,199.8 4,684.4 และ 4,688.4 วินาที ตามลำดับ โดยมีความคลาดเคลื่อนของเวลาในการทำงาน คือ 22.14 เปอร์เซ็นต์ และ 11.63 เปอร์เซ็นต์ ของการทำงานในรูปแบบ B C และ D ตามลำดับ และการทำงานแบบระบุตามตำแหน่งเครื่องมือทำงานได้อย่างแม่นยำตามตำแหน่งทุกตำแหน่งในขอบเขตการทำงานทั้งหมด 169 ตำแหน่งในหน่วยเซนติเมตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ศราวุฑ คงลา พันธ์ สุทธิพงษ์ ฟุ้งเดช และ นันทวุฒิ ศรีวรรณศิริ (2555) ได้ทำงานวิจัยเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลกเพื่อช่วยเหลือผู้พิการด้านสายตา มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยเหลือผู้พิการด้านการมองเห็นในการนำทางไปสถานราชการที่มีกำหนดข้อมูลไว้ในตัวเครื่อง ซึ่งจะบอกเป็นระยะทางห่างเป็นระยะกี่กิโลเมตร และ ข้อมูลสถานที่ราชการเช่น สถานที่ตั้งอาคารหรือสานักงาน ชั้น ห้อง เบอร์โทรศัพท์ติดต่อ การดำเนินงานมีการออกแบบในส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์จะมีปุ่มตัวเลข (keypad) เพื่อใช้ติดต่อกับผู้ใช้งานและแสดงผลด้วยเสียงผ่านลำโพง ขนาดตัวเครื่องออกแบบเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถพกพาได้ง่าย รวมทั้ง สามารถประจุแบตเตอร์รี่ได้เหมือนกับโทรศัพท์มือถือ และในส่วนของพัฒนาโปรแกรมเป็นภาษาซีผ่านฟรีแวร์ (open source) ด้วยโปรแกรมอาดูโน (Arduino program) โดยควบคุมการทำ งานด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ AVR Mega 8 ซึ่งผู้พิการด้านสายตาใช้งานง่ายและสะดวก

ผลการวิจัยพบว่าเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลกช่วยเหลือผู้พิการด้านสายตาสามารถช่วยให้ผู้พิการด้านสายตาหรือการมองเห็นไปยัง สถานที่ ณ ตำแหน่งที่โปรแกรมตั้งไว้อย่างแม่นยำในระดับดี $\overline{X}$ = 4.20 การใช้งานได้อย่างต่อเนื่องอยู่ที่ระดับดี $\overline{X}$ = 4.40 น้ำหนักและขนาดของตัวเครื่องอยู่ในระดับดี $\overline{X}$ = 4.00 และประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องระบุตำแหน่งบนพื้นโลกช่วยเหลือผู้พิการด้านสายตาอยู่ในระดับดับดี ได้ค่าเท่ากับ $\overline{X}$ = 4.50

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย และวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์

3.1.1.1 ส่วนควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย ประกอบด้วย

1. ฐานเหล็กขนาด 5.6x28.4 เซนติเมตร
2. ตัวรับรองบอร์ดกรูขนาด 6.2x2x5.6 เซนติเมตร
3. บอร์ดกรู (Ball Screw) THK รุ่น IW3913 ขนาด 1.5x17.2 เซนติเมตร
4. สเต็ปปิ้งมอเตอร์ TAMAKAWA SEIKI รุ่น 8K – M566
5. ที่ดันเข็มฉีดยาขนาด 4x15x4.5 เซนติเมตร
6. ที่ยึดเข็มฉีดยาขนาด 12x4x12.2 เซนติเมตร
7. กระบอกเข็มฉีดยาขนาด 10 มิลลิลิตร
8. เข็มฉีดยารุ่น 22 G.

9 Microstep Driver DC : 9-42VDC

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.1.1.2 ส่วนของวงจรควบคุมระบบอิเล็กโทรสปินนิง ประกอบด้วย

1. บอร์ดคอลโทรลเลอร์ Arduino รุ่น ET-MEGA2560 – ADK
2. ไดร์เวอร์ สเต็ปปิ้ง มอเตอร์ รุ่น MC – 0514 – L
3. ตัวต้านทานปรับค่าได้ขนาด 10 K.
4. หลอดไฟ LED
5. สายไฟ
6. จอ LCD รุ่น 1602 A
7. ตัวต้านทาน 10K 1/4 W Metal film 1%

8. สวิตซ์ เปิด – ปิด

9. สวิตซ์กดติดกดดับ

3.1.1.3 แหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้า ประกอบด้วย

1. แหล่งจ่ายไฟ DAMPER S-250-24

2. High voltage Dc Power supply PHYWE ขนาด 30 kv.

3.1.1.4 วัสดุรองรับเส้นใย ประกอบด้วย

1. ฐานที่เป็นพลาสติกขึ้นรูป

2. อะลูมิเนียมฟรอยด์

3. ท่อสังกะสี

3.1.1.5 โครงสร้างภายนอกของระบบอิเล็กโทรสปินนิง ประกอบด้วย

1. แผ่นอะคริลิคหนา 5 มิลลิเมตร 60x110 cm.

2. มุมจับอะลูมิเนียม

3. แผ่นไม้อัด

4. โครงเหล็กกล่องขนาด 1”x1”x1.2

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.1.2 สารเคมี

1 . Polyvinylpyrrolidone (PVP) Mw 1300000 by Ls ALDRICH Chemistry SIGMA – ALDRICH CHEMIE GmbH.

2. เอทานอล AR1069 – P2.5L RCL Labscan RCI LABSCAN LIMITED

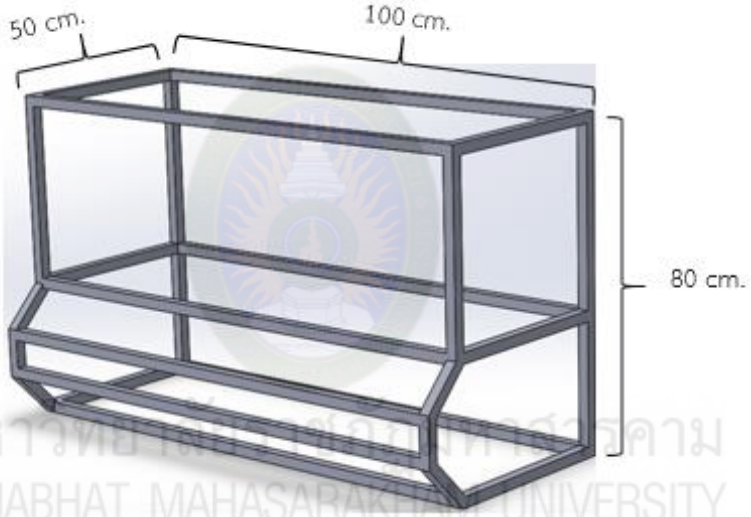
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้ เพื่อให้ได้ระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงที่สามารถสังเคราะห์เส้นใยได้ทีละสองเข็ม มีโครงสร้างแข็งแรง และมีพื้นที่ที่เหมาะสมกับการใช้งาน และปรับระบบปุ่มกดควบคุมการทำงานของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงให้มีความซับซ้อนในการใช้งานน้อยลง สำหรับการใช้งาน โดยมีวิธีดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ตอน ซึ่งแต่ละตอนมีวิธีการดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 การพัฒนาโครงสร้างระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

ขั้นที่ 1 พัฒนาโครงสร้างของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

เนื่องจากในงานวิจัยนี้ จะทำการออกแบบระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงให้ได้ปริมาณเส้นใยมากขึ้น จึงต้องมีการออกแบบฐานระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงตามขนาดที่ต้องการ คือกว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร และสูง 80 เซนติเมตร แล้วมีแผ่นอะคริลิคหนา 5 มิลลิเมตร ปิดรอบด้าน **ดังรูปที่ 3.1**

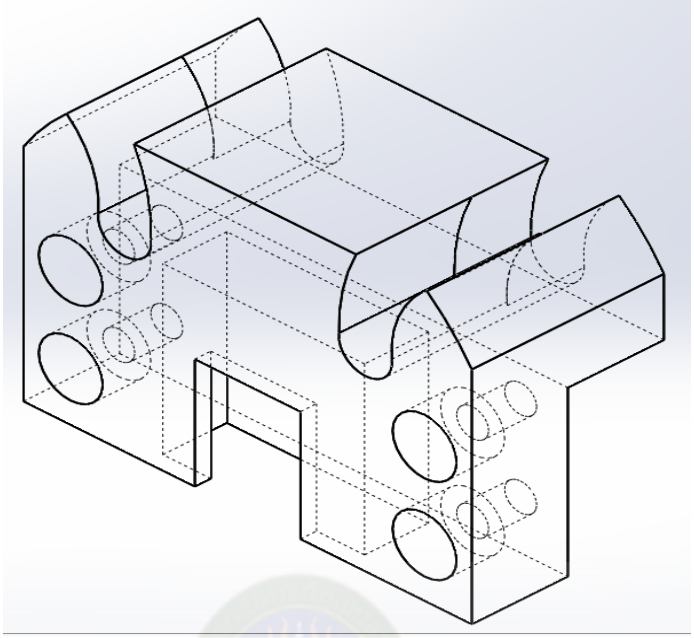


มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 3.1 โครงสร้างภายนอกของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

ขั้นที่ 2 เพิ่มช่องใส่เข็มของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

เพื่อให้ระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงให้สามารถสังเคราะห์เส้นใยได้มากขึ้น โดยเพิ่มอุปกรณ์ที่เป็นพลาสติกขึ้นรูป ทำเป็นที่ครอบตัวเครื่องให้มีความแน่นหนามั่นคงสามารถใส่เข็มได้ 2 อันและที่ใส่เข็มฉีดให้มีความสะดวกต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น **ดังรูปที่ 3.2**



รูปที่ 3.2 ลักษณะที่ช่องเข็มระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

ตอนที่ 2 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงสำหรับ

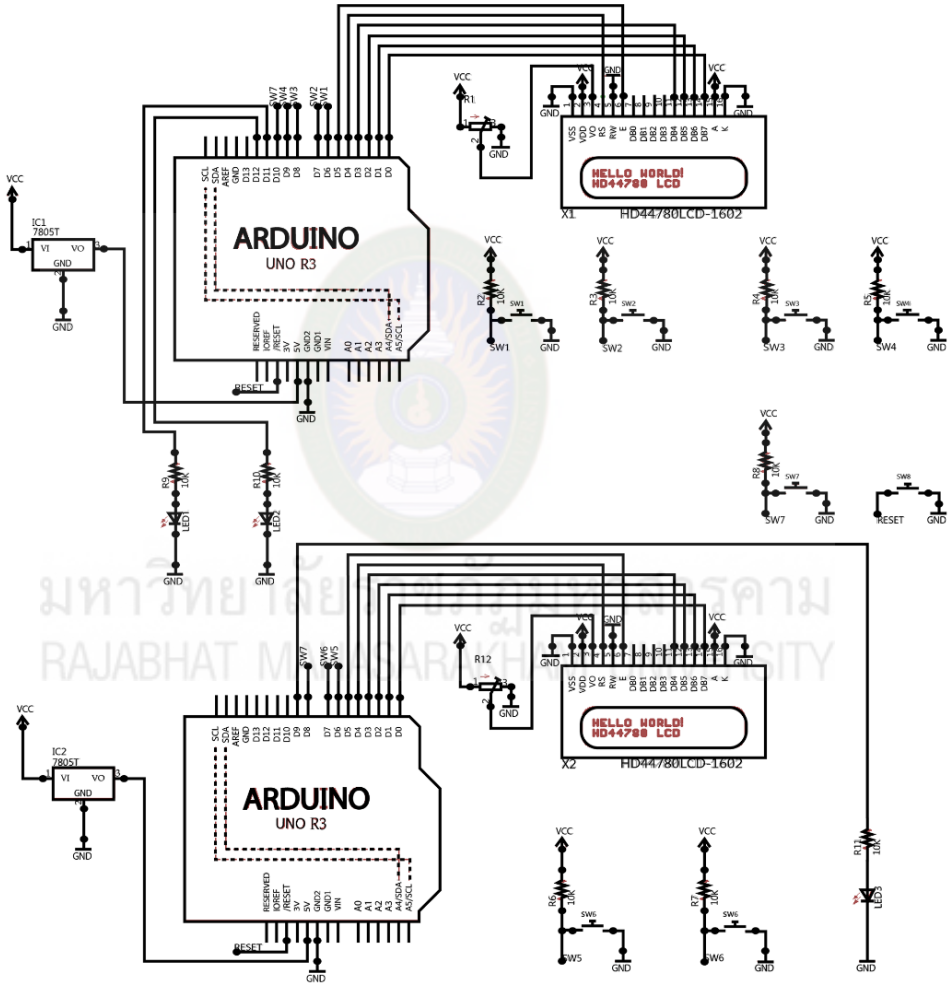
ขั้นที่ 1 การพัฒนาระบบปุ่มกดควบคุมการทำงานของระบบอิเล็กโทรสปินนิง

จากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้มองเห็นถึงปัญหาของระบบปุ่มกดควบคุมการทำงานของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงมีความซับซ้อน ใช้งานยาก และใช้เวลานานในการทำงาน ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบปุ่มกดควบคุมการทำงานของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงให้มีความสะดวกมากขึ้น ใช้งานง่าย และใช้เวลาไม่นานในการใช้งาน **ดังรูปที่ 3.3**

รูปที่ 3.3 ลักษณะปุ่มกดควบคุมการทำงานของระบบอิเล็กโทรสปินนิง

ขั้นที่ 2 ออกแบบวงจรควบคุมระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

การออกแบบวงจรควบคุมระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง หน้าจอ LCD เชื่อมต่อกับบอร์ดอาดูโน่ที่ขา 2 3 4 5 6 และ 7 ซึ่งสวิตซ์จะเชื่อมต่อกับบอร์ดอาดูโน่ มีทั้งหมด 6 ปุ่ม โดยสวิตซ์ที่ 0 เป็นสวิตซ์ลดอัตราการไหลจะเชื่อมต่อที่ขา 34 สวิตซ์ที่ 1 เป็นสวิตซ์เพิ่มอัตราการไหลจะเชื่อมต่อที่ขา 22 สวิตซที่ 2 เป็นสวิตซ์ถอยหลังตามแนวแกน x จะเชื่อมต่อที่ขา 24 สวิตซ์ที่ 3 เป็นสวิตซ์เดินหน้าตามแนวแกน x จะเชื่อมต่อที่ขา **ดังรูปที่ 3.4**



รูปที่ 3.4 วงจรควบคุมการทำงานของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

เมื่อได้ทุกส่วนตามที่ต้องการแล้วนำมาติดตั้งใส่กล่องอะคริลิคที่เตรียมไว้ โดยภายในเครื่องจะมีวงจรควบคุมการทำงานประกอบไปด้วย ปุ่มควบคุมการทำงาน 8 ปุ่ม บอร์ดอาดูโน่ ไดรเวอร์มอเตอร์ และจอแสดงผล LCD ซึ่งระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับต้องมีระยะห่าง

ประมาณ 15 เซนติเมตร ซึ่งเมื่อทำการบักทึกโปรแกรมคำสั่ง เครื่องจะทำงานผ่านปุ่มกด โดยเดินหน้าถอยหลังตามแนวแกน x และความเร็วขึ้นอยู่กับค่าดีเลย์ ดังนั้นการปรับดีเลย์จะส่งผลต่อการปรับอัตราการไหล **ดังรูปที่ 3.5**

รูปที่ 3.5 ลักษณะระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

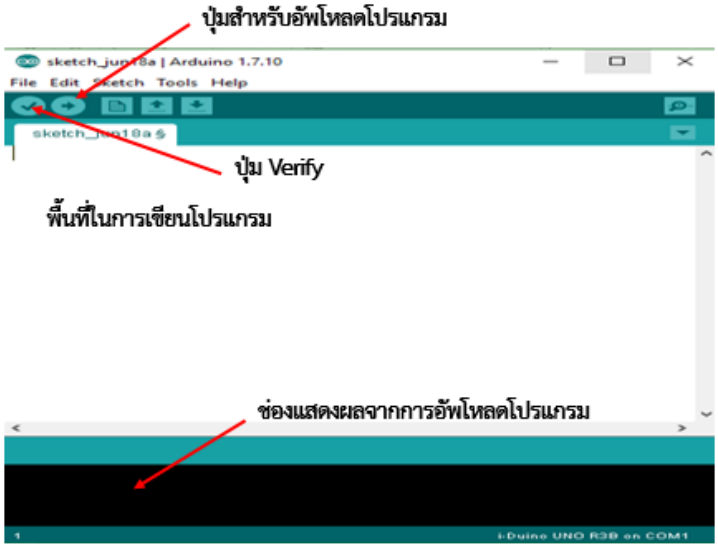
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
MAHASARAKHAM RAJABHAT UNIVERSITY

ขั้นที่ 3 ออกแบบโปรแกรมกลไกการทำงาน – สั่งการของเครื่องมือ

การออกแบบโปรแกรมกลไกการทำงานของเครื่องมือ โดยใช้โปรแกรม อาดูโน่ จะประกอบไปด้วย 2 ขั้นดังนี้

3.1 การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

ในการเขียนโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างขึ้นมา โดยจะประกอบไปด้วย ปุ่มสำหรับตรวจสอบความถูกต้อง และมีช่องที่แสดงผลจากการอัพโหลดโปรแกรมอยู่ด้านล่าง ในการอัพโหลดโปรแกรมจะมีปุ่มกดสำหรับอัพโหลดโปรแกรมที่เขียน **ดังรูปที่ 3.6**



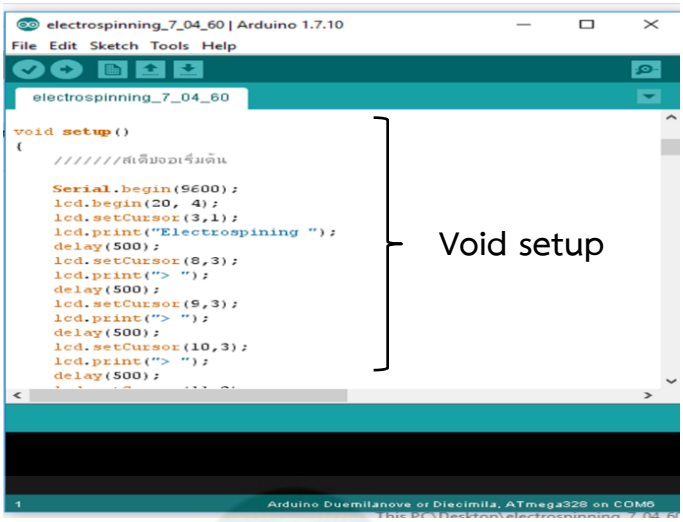
รูปที่ 3.6 หน้าต่างโปรแกรม อาดูโน่

ซึ่งในการเขียนโปรแกรมจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ส่วนแรก คือ ส่วนของการประกาศตัวแปรต่างๆที่จะใช้ในการประมวลผล **ดังรูปที่ 3.7**

รูปที่ 3.7 ประกาศตัวแปร

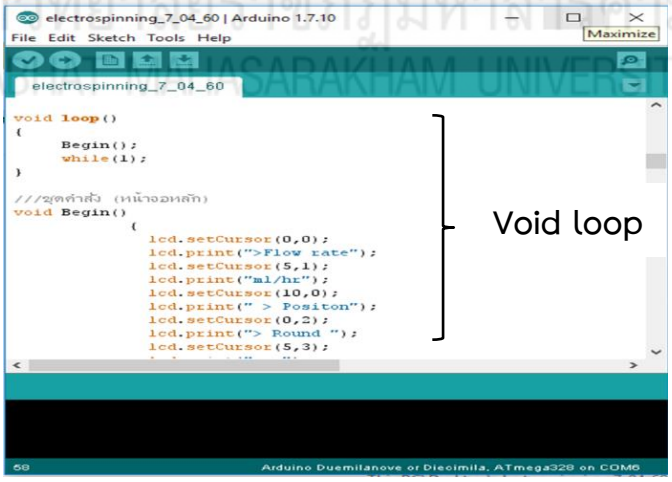
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ส่วนที่สอง คือ Void setup เป็นส่วนเบื้องต้นของการเขียนโปรแกรม **ดังรูปที่ 3.8**



รูปที่ 3.8 ประกาศค่า Setup

และส่วนที่สาม คือ Void loop เป็นส่วนของการกำหนดค่าการกระทำต่างๆที่ต้องการ **ดังรูปที่ 3.9**



รูปที่ 3.9 ประกาศค่า Void loop

จากนั้นทำการอัพโหลดโปรแกรมเข้าบอร์ดควบคุมพร้อมแสดงผลการอัพโหลดที่ช่องด้านล่างของโปรแกรม โดยเขียนคำสั่งโปรแกรมสั่งให้บอร์ดควบคุมพอร์ต 2 ส่งสัญญาณพัลส์ให้กับชุดการเคลื่อนที่ที่1 คือ แกน x เคลื่อนที่ไปข้างหน้า และส่งสัญญานให้กับชุดการเคลื่อนที่ที่ 2 โดยสัญญาณจากพอร์ต 3 ให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็ว (v) และส่งสัญญาณที่พอร์ต 2 ให้เคลื่อนที่ย้อนกลับ

ขั้นที่ 4 เชื่อมต่อบอร์ดควบคุมเข้ากับคอมพิวเตอร์

การใช้งานบอร์ดควบคุม ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้บอร์ดคอลโทรลเลอร์เพื่อความสอดคล้องกับโปรแกรมที่เขียนขึ้น ซึ่งมีหลักการทำงานดังนี้

4.1 การต่อบอร์ดควบคุมเข้ากับคอมพิวเตอร์ โดยบอร์ดคอลโทรลเลอร์จะมีพอร์ตสำหรับต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์เป็นสาย USB ซึ่งมีความสะดวกในการเชื่อมต่อ **ดังรูปที่ 3.10**

รูปที่ 3.10 การต่อบอร์ดควบคุมเข้ากับคอมพิวเตอร์

4.2 การเปิดใช้งานบอร์ด เมื่อต่อบอร์ดคอลโทรลเลอร์เข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย USB แล้วต้องทำการเชื่อมต่อบอร์ดก่อนบอร์ดควบคุมถึงจะใช้งานได้ ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

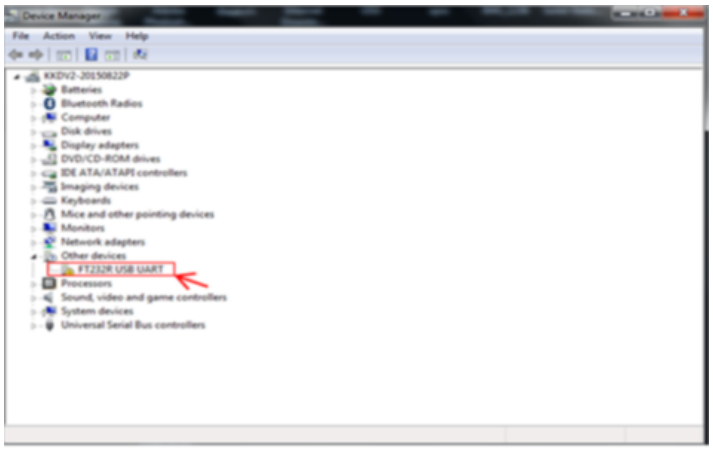
4.2.1 เราสามารถตรวจสอบการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดควบคุมกับคอมพิวเตอร์ หากต้องการเช็คว่าบอร์ดพอร์ต USB aduino ต่อกับพอร์ตหรือไม่ ให้ทำการคลิกขวาที่ My computer เลือกคลิกที่ Properties **ดังรูปที่ 3.11** คลิกที่ Hardware แล้วคลิกที่ Device Manager **แสดงดังรูป 3.12**

รูปที่ 3.11 การตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างบอร์ดควบคุมกับคอมพิวเตอร์เมื่อต้องการเช็คว่าพอร์ต USB Arduino ต่อกับพอร์ตหรือไม่

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 3.12 การตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างบอร์ดควบคุมกับคอมพิวเตอร์คลิกที่ Hardware แล้วคลิก Device manage

4.2.2 คลิกที่ Device manage จะแสดงหน้าจอขึ้นมา **ดังรูปที่ 3.13**

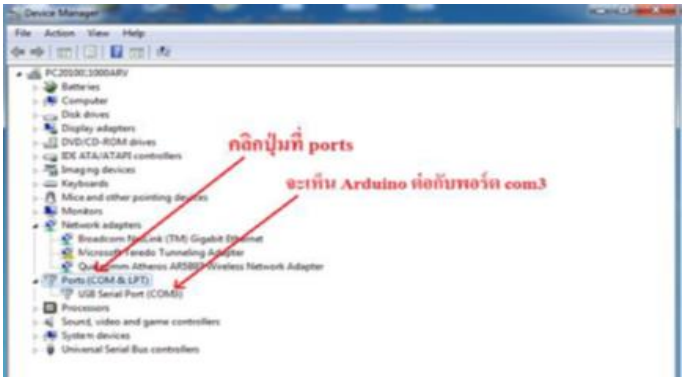


รูปที่ 3.13 ชื่อไดเวอร์ที่ต้องลง

4.2.3 เชื่อมต่อบอร์ดควบคุมกับคอมพิวเตอร์จะต้องใช้ไดร์เวอร์ ซึ่งในการเชื่อมต่อโดยติดตั้งไดร์เวอร์ FTDIchip CDM drivers **ดังรูปที่ 3.14**

รูปที่ 3.14 ไดร์เวอร์ FTDIchip CDM drivers

4.2.4 คลิกที่ Posts (com & LPT) จากรูปจะเห็นว่าพอร์ต USB ที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับบอร์ดควบคุมเป็นพอร์ตคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องพอร์ตที่ใช้ในการติดต่อบอร์ดอาจจะไม่เหมือนกัน **ดังรูปที่ 3.15**

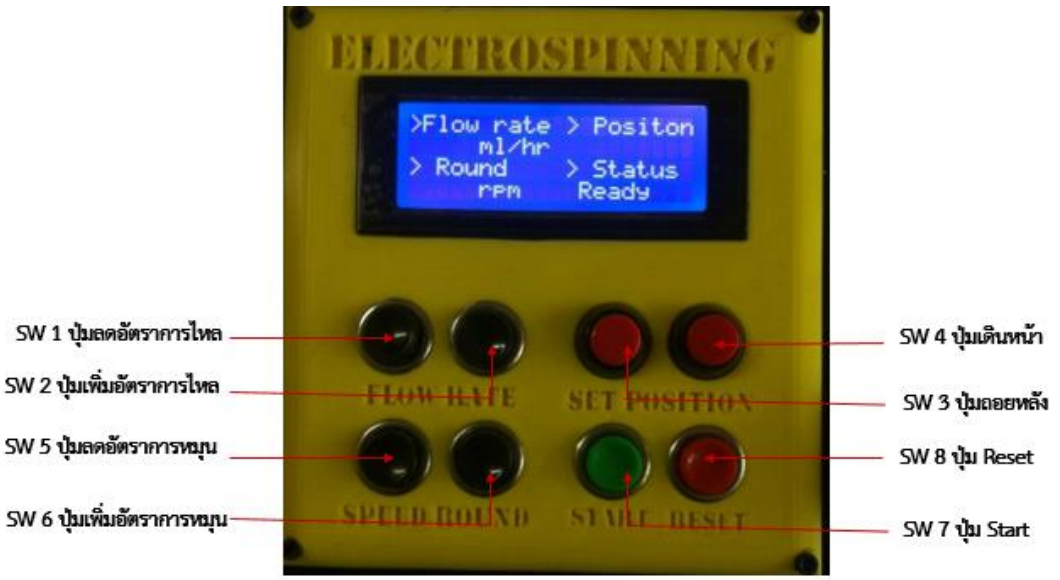


รูปที่ 3.15 การคลิกที่ Posts (com & LPT) จากรูปจะเห็นว่าพอร์ต USB ที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับบอร์ดควบคุม

ขั้นที่ 5 การทำการทดสอบ

5.1 เมื่อเขียนโปรแกรมคำสั่งการทำงานต่างๆของเครื่องมือแล้วก็ทำการรันโปรแกรมเพื่ออัพโหลดโปรแกรมคำสั่งลงยังบอร์ดควบคุมคอลโทรลเลอร์ (Controer) จากนั้นก็ส่งคำสั่งโดยโปรแกรม อาดูโน่ เพื่อเป็นการสั่งให้เครื่องมือทำงาน โดยทำการทดสอบเครื่องมือว่าเครื่องสามารถสั่งงานผ่านปุ่มกดได้จริง โดยเริ่มจากปรับอัตราการไหลกดสวิตซ์ที่ 0 เป็นปุ่มลดอัตราการไหล โดยลดลงทีละ 0.1 กดสวิตซ์ที่ 1 เป็นปุ่มเพิ่มอัตราการไหล โดยจะเพิ่มขึ้นทีละ 0.1 กดสวิตซ์ที่ 2 ปุ่มสั่งให้เคลื่อนที่ถอยหลังตามแนวแกน x (ถอยหลัง) กดสวิตซ์ที่ 3 ปุ่มสั่งให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามแนวแกน x (เดินหน้า) สามารถปรับอัตราการหมุนของแผ่นรองรับโดยกดสวิตซ์ที่ 4 ปุ่มลดอัตราการหมุนของแผ่นรองรับ โดยลดลงทีละ 0.1 และกดสวิตซ์ที่ 5 เป็นปุ่มเพิ่มอัตราการหมุนของแผ่นรองงรับ โดยเพิ่มขึ้นทีละ 0.1 แล้วกดสวิตซ์ที่ 6 รันโปรแกรมเพื่อตรวจสอบว่าเครื่องสามารถทำงานได้จริง และกดสวิตซ์ที่ 7 ทำการ Reset เครื่องเพื่อกลับไปยังค่าเริ่มต้น **ดังรูปที่ 3.16** จะมีช่องที่ใช้สำหรับอัพโหลดโค้ดโปรแกรมของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงและวัสดุรองรับเส้นใย **ดังรูปที่ 3.17**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 3.16 ลักษณะโหมดหน้าจอของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

ขั้นที่ 6 วิเคราะห์เส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

นำเส้นใยที่สังเคราะห์ได้จากระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงมาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด **ดังรูปที่ 3.22** ซึ่งมีสารละลายอยู่ 1 ชนิด คือ โพลิไวนิลไพโรลิโดน

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 3.17 วิเคราะห์เส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

บทที่ 4

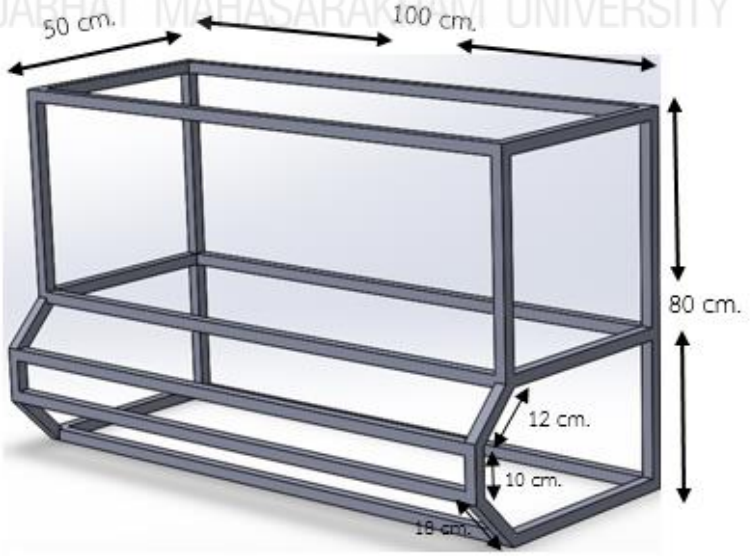
ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ผลของการออกแบบและพัฒนาระบบอิเล็กโทรสปินนิง ผลการออกแบบโปรแกรมในการควบคุมการทำงานของระบบอิเล็กโทรสปินนิง ผลการวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

4.1 ผลการออกแบบและพัฒนาระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

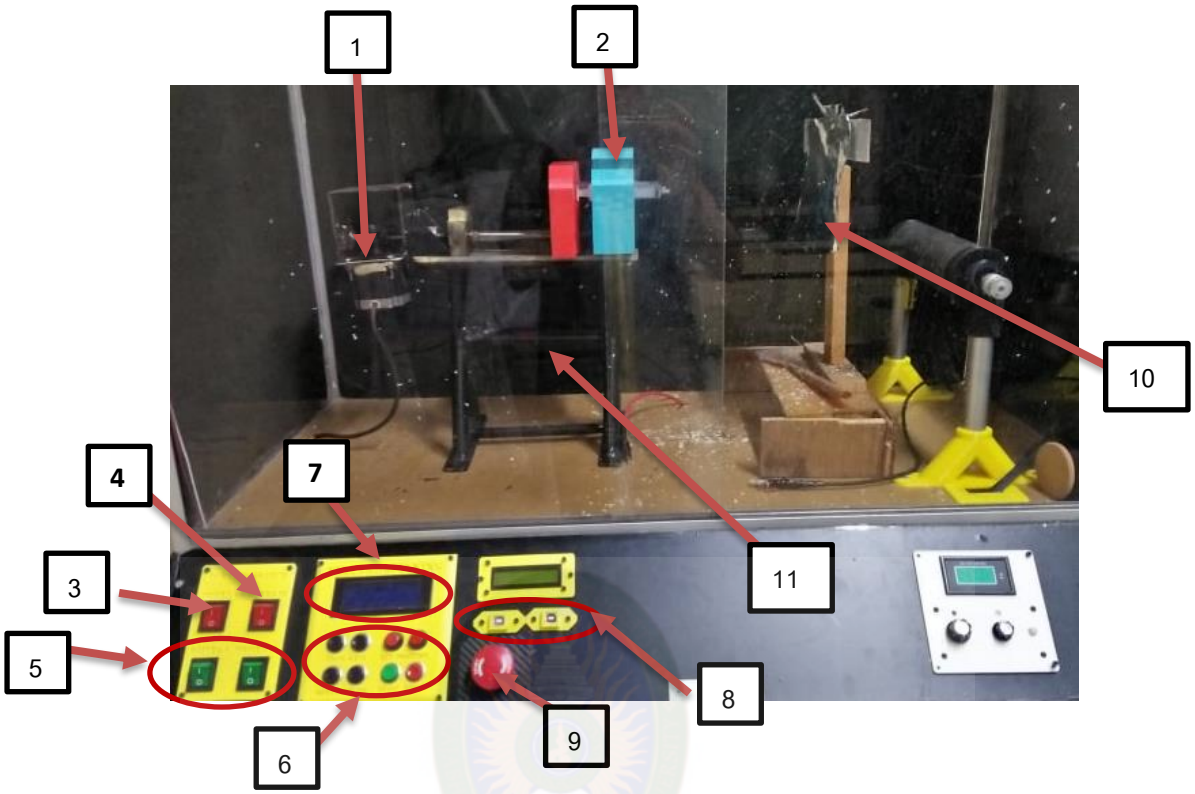
ระบบอิเล็กโทรสปินนิง ได้ออกแบบลักษณะโครงสร้างภายนอกที่มีฐานเครื่องเล็กโทรสปินนิง ตามขนาดคือ กว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร และสูง 80 เซนติเมตร ในการออกแบบส่วนที่ยื่นออกมาของตู้สร้างขึ้นเพื่อติดตั้งระบบปุ่มกด หน้าจอ LCD และช่องอัพโหลดโปรแกรม ที่ช่วยให้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น ซึ่งระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงประกอบไปด้วยชิ้นส่วนต่างๆ **ดังรูปที่ 4.1**

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



(ก) ลักษณะโครงสร้างภายนอกของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

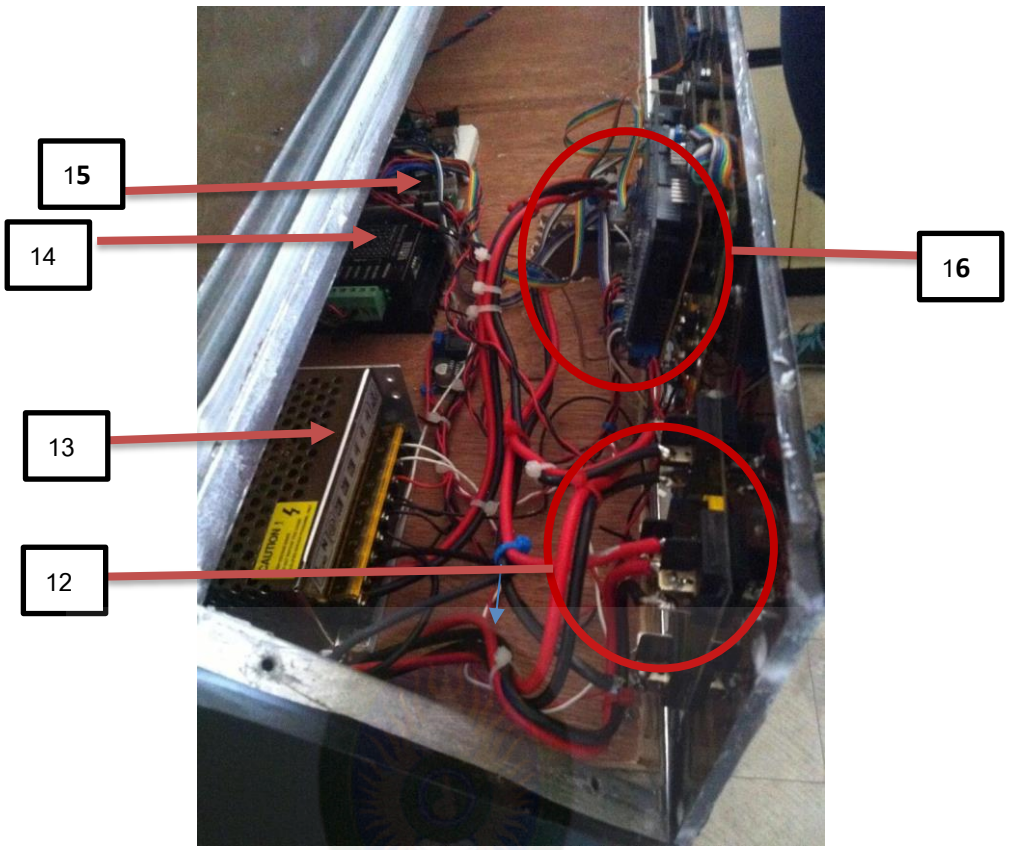
รูปที่ 4.1 ส่วนประกอบของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง



(ข) ส่วนประกอบของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 4.1(ต่อ) ส่วนประกอบของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง



(ค)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

(ง)

รูปที่ 4.1 (ต่อ) ส่วนประกอบของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

(ข) ประกอบไปด้วย

หมายเลข 1 สเต็ปปิ้งมอเตอร์

หมายเลข 2 ที่ใส่เข็มฉีดยา

หมายเลข 3 สวิตซ์เปิดปิดบอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์

หมายเลข 4 สวิตซ์เปิดปิด High Voltage.

หมายเลข 5 สวิตซ์เปิดปิดไดเวอร์มอเตอร์

หมายเลข 6 ปุ่มควบคุมการทำงานของเครื่อง

หมายเลข 7 จอ LCD

หมายเลข 8 ช่องอัพโหลดโปรแกรม

หมายเลข 9 ปุ่มฉุกเฉิน

หมายเลข 10 วัสดุรองรับเส้นใย

หมายเลข 11 ฐานยึดติดกับเต็ปปิ้งมอเตอร์

(ค) ประกอบด้วย

หมายเลข 12 สวิตซ์คอลโทรลเลอร์

หมายเลข 13 ไดรเวอร์มอเตอร์

หมายเลข 14 สวิตซ์ชิงค์

หมายเลข 15 บอร์ดอาดูโน่

หมายเลข 16 ชุดไมรโครคอลโทรลเลอร์

(ง) ประกอบด้วย

หมายเลข 17 แหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

4.2 ผลการทดสอบระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

ผู้วิจัยนี้ได้ทำการทดสอบการทำงานของเครื่อง โดยการนำหลอดฉีดยาที่ดึงปั๊มออกไว้ที่ 10 มิลลิลิตร โดยสั่งให้เครื่องมือดันปั๊มเข็มฉีดยาเพื่อยิงสารละลายออกมาตกลงยังแผ่นรองรับ คือเครื่องจะทำงานในแนวแกน x ระยะทางการเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยใช้สารละลายโพลิไวนิลไพโรลิโดน เป็นตัวทดสอบสมมรรถภาพของเครื่อง ได้ผลดังนี้

1. ผลการทดสอบเครื่องโดยใช้โปรแกรมอาดูโน่ในการสั่งงานผ่านบอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์ให้เครื่องทำงาน ซึ่งจะสั่งให้เครื่องดันปั๊มเข็มฉีดยาที่บรรจุสารละลาย 1 มิลลิลิตร ไปตามแนวแกน x ระยะทางในการเคลื่อนที่ 10 เซนติเมตร เพื่อยิงสารละลายออกมาตกลงยังแผ่นรองรับ โดยใช้ระยะห่างระหว่างเข็มฉีดยากับแผ่นรองรับ 15 เซนติเมตร ในการทดสอบสมมรรถภาพของเครื่องจะใช้สารละลายโพลิไวนิลไพโรลิโดน คือ เมื่อนำสารละลายโพลิไวนิลไพโรลิโดนบรรจุในกระบอกฉีดยาในปริมาณ 1 มิลลิลิตร แล้วให้อัตราการไหลเป็น 0.3 0.4 และ 0.5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง พบว่า สารละลายโพลิไวนิลไพโรลิโดน สามารถยิงเส้นใยออกมาตกลงแผ่นรองรับได้

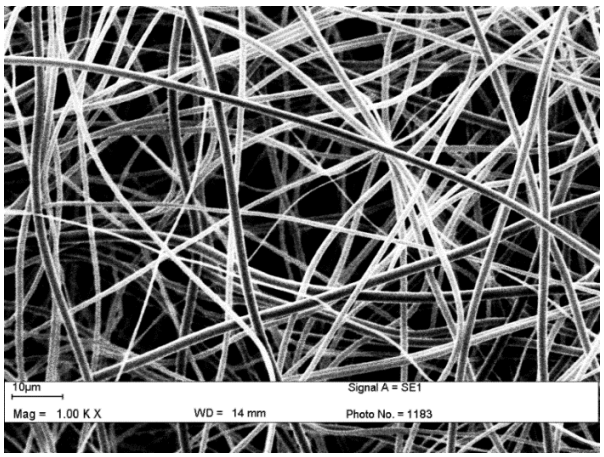
4.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ในการวิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะมีผลการวิเคราะห์เส้นใยของสารละลาย Polyvinyl Pyrrolidone (PVP) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

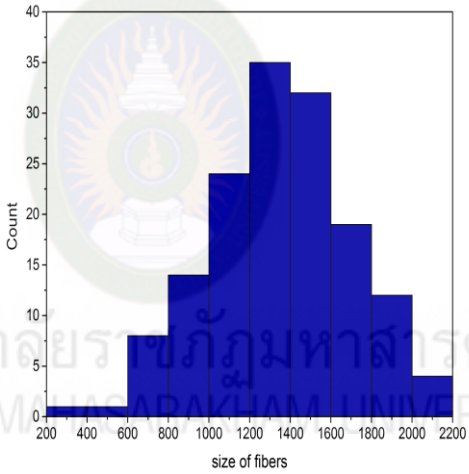
ผลการวิเคราะห์เส้นใยของสารละลาย Polyvinyl Pyrrolidone (PVP)

ได้ผลวิเคราะห์แสดงได้ **ดังรูปที่ 4.2 – 4.4** โดยที่ระยะห่างของเข็มกับแผ่นรองรับที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตร ใช้อัตราการไหลของสารละลายที่ 0.3 0.4 และ 0.5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยมีขนาดของเส้นใยอยู่ในช่วงระยะ 1 – 2 ไมโครเมตร

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



(ก)



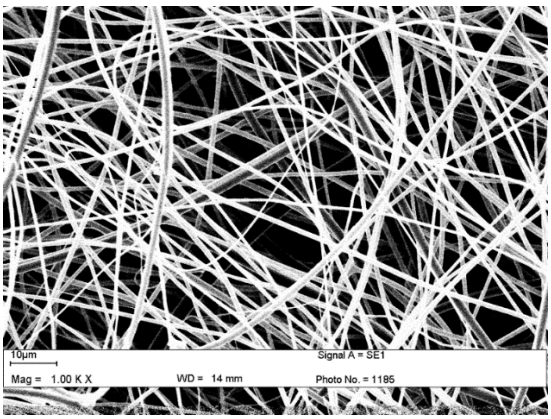
(ข)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

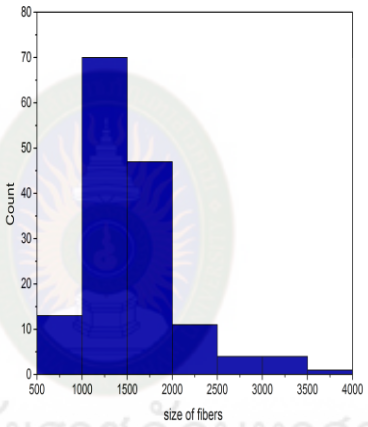
รูปที่ 4.2 ลักษณะของเส้นใย มีระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 เซนติเมตร อัตราการไหลของสารละลาย 0.3 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

(ก) กำลังขยาย 1000 เท่า

(ข) ขนาดของเส้นใย



(ก)



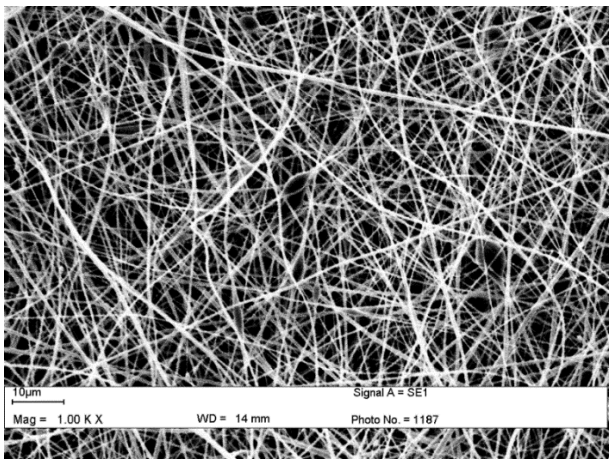
(ข)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

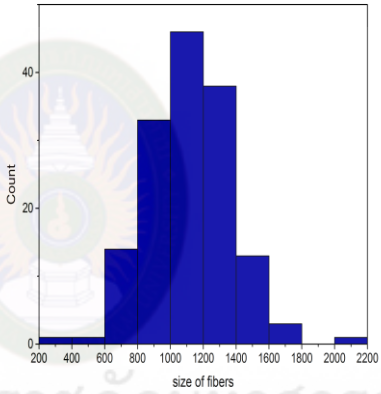
รูปที่ 4.3 ลักษณะของเส้นใย มีระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 เซนติเมตร อัตราการไหลของสารละลาย 0.4 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

(ก) กำลังขยาย 1000 เท่า

(ข) ขนาดของเส้นใย



(ก)



(ข)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ 4.4 ลักษณะของเส้นใยมีระยะห่างระหว่างปลายเข็มกับแผ่นรองรับเส้นใย 15 เซนติเมตร อัตราการไหลของสารละลาย 0.5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

(ก) กำลังขยาย 1000 เท่า

(ข) ขนาดของเส้นใย

จากผลการทดลองพบว่าระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงที่พัฒนาขึ้นสามารถสังเคราะห์เส้นใยได้พร้อมกันทีละสองเข็ม ปรับอัตราการไหลได้ด้วยความละเอียด 0.01 ml/hr ผลจากการทดสอบระบบโดยใช้สารละลาย PVP และวิเคราะห์เส้นใยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเส้นใยที่สังเคราะห์ได้มีขนาดระหว่าง 200 ถึง 2,000 นาโนเมตร

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย วิจารณ์ผล และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงสรุปผลการวิจัยที่ได้จากการวิจัยนี้ การวิจารณ์ผลการวิจัยรวมทั้งข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. ได้ระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงที่พัฒนาแล้ว สามารถใส่สารละลายได้ที่ละสองชนิดหรือชนิดเดียวและใส่ได้สองหลอดฉีด ส่วนประกอบของเครื่องแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ แหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง ส่วนควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย และวัสดุรองรับที่เป็นโลหะรูปครึ่งทรงกลม จากการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตเส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง โดยใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ 5 เฟส เป็นตัวขับเคลื่อน และได้โปรแกรมกลไกการทำงานที่พัฒนาแล้ว สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องได้จริงโดยใช้โปรแกรมอาดูโน่ (Ardiuno) ในการเขียนโค้ดคำสั่งผ่านบอร์ดคอลโทรลเลอร์ อาดูโน่ รุ่น Mega 2560 ADK เพื่อสั่งการให้เครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงทำงานให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

2. ได้โค้ดโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของระบบอิเล็กโทรสปินนิงที่สร้างขึ้น ได้ทำการปรับอัตราการไหลสามารถทำได้ถูกต้องตามความต้องการได้จริง และได้อัตราการไหลที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงซึ่งอัตราการไหลที่ได้อยู่ระหว่าง 0.01 - 5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

3. จากผลการทดสอบระบบอิเล็กโทรสปินนิงที่พัฒนาแล้วโดยใช้สารละลายสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน ผลคือระบบ สามารถสังเคราะห์เส้นใยชนิดนี้ได้ โดยสารละลายไพโรลิโดน ได้ขนาดของเส้นใยเท่ากับ 1 ไมโครเมตร ถึง 1.8 ไมโครเมตร และจากการวิเคราะห์กราฟฮีตโตแกรมแสดงให้เห็นว่าขนาดของเส้นใยที่ได้มีความสม่ำเสมอ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

5.2 วิจารณ์ผล

1. ประตูเปิดปิด มีพื้นที่แคบ ไม่สามารถเปิดออกได้ทีเดียวทั้งสองด้าน

2. การเลื่อนเข้าเลื่อนออกเพื่อใส่เข็มทำได้ช้ามาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ในการติดตั้งวงจรควบคุมผู้ติดตั้งต้องมีความระมัดระวัง เพราะถ้าหากต่อผิดอาจทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ได้

2. เครื่องอิเล็กโทรสปินนิงที่พัฒนาขึ้นจากต้นแบบสามารถผลิตเส้นใยได้ โดยใช้ปุ่มกดสั่งให้เครื่องทำงาน ในการพัฒนาสามารถปรับเปลี่ยนให้เข็มฉีดยาปรับองศาและทิศทางได้

3. การเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์ชิ้นส่วนของเครื่องมือต่าง ๆ ควรมีการวางแผนออกแบบให้ดีก่อน และเลือกใช้อุปกรณ์ชิ้นงานให้ตรงตามต้องการเพราะจะทำให้การประกอบชิ้นงานต่างๆจะได้ไม่เกิดความผิดพลาดขึ้น

4. ในการเขียนโค้ดคำสั่งควรตรวจสอบดูให้ดีก่อน เพราะถ้าเขียนโค้ดคำสั่งไม่ถูกจะทำให้โปรแกรมคำสั่งมีค่าความผิดพลาดได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

กอบศักดิ์ กาญจนาพงศ์กุล. (2555). **งานวิจัยเรื่องการผลิตเส้นใยนาโนจากวัสดุชีวภาพด้วยเทคนิคการปั่นด้วยไฟฟ้าสถิต.** ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**.**

การเรียนรู้สุขศึกษาและพฤติกรรมสุขภาพ, ศูนย์. (2552). **โพวิโดน - ไอโอดีน**. [On line]. Available: http://www.vachiraphuket.go.th/www/publichealth/?name=knowledge&file=readknowledge&id=248. [2559, พฤษภาคม 20].

ชนิศา นวนิล และ นราธิป วิทยากร. (2554). **เส้นใยนาโนเซลามิก.** กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง.

ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี. (2553). **โพลีไวนิลไพโรลิโดน**. [On line]. Available: http://www.chemtrack.org/Board-Detail.asp?TID=0&ID=3071. [2559, พฤษภาคม 20].

นันทเพ็ญ สุธรรมมา และ อนงค์ ภูด่านงัว. (2558). **งานวิจัยเรื่องการออกแบบระบบอิเล็กโทรสปินนิงสำหรับสังเคราะห์เส้นใย**. สาขาวิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

ปรัชญา นิยมไทย และ จรรยา ตรีมงคล หิรัญวิวัฒน์กุล. (2555). **เทคนิคการปั่นเส้นใยพอลิเมอร์ระดับนาโนด้วยไฟฟ้าสถิตเพื่อประโยชน์ด้านการแพทย์**. กรุงเทพมหานคร. อินโนเวทตีฟ เอ็กเพอริเมนท์.

ปารเมศ หอมวงศ์ และ สุชินวัตร ยังสุข. (2557). **งานวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องมือเคลื่อนย้ายชิ้นงานในสองมิติ แบบสแกนตามรูปแบบและแบบระบุตำแหน่ง**. สาขาวิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม.

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง. (2558). **Scanning Electron Microscope (SEM).** [On line]. Available: http://www.nano.kmitl.ac.th/index.php/tool/218-scaning-eletron-microscopysem-.html. [2559, มิถุนายน 5].

วิเชษฐ์ พลหาญ. (2551). **งานวิจัยเรื่องอิเล็กโตรสปินนิงของเส้นใยนาโนแม่เหล็กออกไซด์การประดิษฐ์การศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติทางแม่เหล็ก.** ภาควิชาฟิสิกส์, คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, ศูนย์. (2546). **สเต็ปมอเตอร์**. [On line]. Available: https://www.nectec.or.th/schoolnet/library/webcontest2003/100team/dlnes137/am/step_motor.html. [2559, มิถุนายน 5].

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรม (ต่อ)

ส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.), สถาบัน. (2554). **คุณสมบัติพอลิเมอร์**. [On line]. Available: http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/433-8C?groupid=148. [2559, มิถุนายน 5].

อาลีนา พิตรีญาณี. (2558). **กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด**. [On line]. Available: http://sor-por-chor.blogspot.com/2012/01/electron-microscope.html [2559, พฤษภาคม 20].

อีทีที, บริษัท. (2554). **คู่มือการใช้งานบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์รุ่น ET-MEGA2560-ADK**. [On line]. Available : http://file:///C:/Users/DELL/Downloads/manET-MEGA2560.pdf. [2559, มิถุนายน 5].

โอภาส ศิริศรชิตถาวร, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, กฤษฎา ใจเย็น และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. (2556). **เรียนรู้เพื่อพัฒนาโครงงานสร้างสรรค์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์กับโปรแกรมภาษา c/c++ ด้วย Arduino และบอร์ด Unicon**. กรุงเทพมหานคร.

Arduino. (2014). **Arduino Duemilanove**. [On line]. Available: http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardDuemilanove. [2016, June 2].

Doneux, C. , Caudano, R. , Delhalle, J. , Leonard - Stibbe, E. , Charlier, J. & Bureau, C. (1997). **Polyvinylpyrrolidone.** Langnuir.13: 905 - 4898 [2016, May 20].

Koo, O. M. , Rubnstein, L. & Onyuksel, H. (2005). **Role of nanotechnology in targeted drug delivery and imaging: a concise review.** Nanomedicine : Nanotechnology, Biology and Medicine.

Ziabari, M. , Mottaghitalab, V. & Haghi, A. K. (2008). **Application of direct tracking method for measuring electrospun nanofiber diameter**. Brazilian Society of Chemical Engineering.

Natthan Charernsriwilaiwat. (2012). **วิธีการผลิตนาโนไฟเบอร์.** [On line]. Available: http://electrospunforpharm.blogspot.com/2012/07/blog-post.html?view=snapshot. [2016, June 10].

Taiwan. (2558). **บอลสกรู cnc.** [On line]. Available: http://www.ballscrewmanufacturers.com/th/cnc-ball-screw.html. [2559, มิถุนายน 5].

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
ผลการเขียนโปรแกรมคำสั่ง

แสดงผลการเขียนโค้ดคำสั่งและอธิบายตัวแปรต่างๆตามคำสั่งของโปรแกรม Arduino และผลการทดสอบเป็นดังนี้

1. ผลจากการเขียนโปรแกรม Arduino

```
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2); // ส่งค่าจากบอร์ด Arduino
float d; // กำหนดตัวแปรดีเลย์
float v; // กำหนดตัวแปรความเร็ว
long x=25000; // กำหนดตัวแปรเริ่มต้น x=25000
long p=25000; // กำหนดตัวแปรเริ่มต้นp=25000
const long stb =30; // กำหนดตัวแปรเริ่มต้น stb=30
const long stg =32; // กำหนดตัวแปรเริ่มต้น stb=32
const long sw_1 =22; // กำหนดตัวแปรเริ่มต้น sw_1 =22
const long sw_2 =24; // กำหนดตัวแปรเริ่มต้น sw_1 =24
const long sw_3 =26; // กำหนดตัวแปรเริ่มต้น sw_1 =26
const long sw_4 =28; // กำหนดตัวแปรเริ่มต้น sw_1 =28

void setup() // กำหนดค่าเริ่มต้น
{
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print(" Electrospining ");
  pinMode(stg,OUTPUT);
  pinMode(stb,OUTPUT);
  pinMode(sw_1,INPUT);
  pinMode(sw_2,INPUT);
  pinMode(sw_3,INPUT);
```

มหาวิทยาลัยราชภัฏพนมสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

```
    pinMode(sw_4,INPUT);
}
void loop() // เริ่มการทำงาน
{
 Begin();
while(1);
}

void Begin()
{
   lcd.setCursor(0,0);
   lcd.print("sw1   sw2   sw3         "); // แสดงค่า sw1   sw2   sw3
   lcd.setCursor(0,1);
   lcd.print("SetX SetV Start   "); // แสดงค่า SetX SetV Start

    while(1)
          {
            if(digitalRead(sw_1)==LOW) // กำหนดให้ sw_1 เป็น LOW
                                       {
                                         lcd.setCursor(0,0);
                                         lcd.print(" sw1      sw2              "); // แสดงค่า sw1   sw2
                                         lcd.setCursor(0,1);
                                         lcd.print(" Go      Back              "); // แสดงค่า Go   Back
                                         delay(500); // ความล่าช้าในการประมวลผล
                                         SetX();// กำหนดให้ไปข้างหน้า
                                       }
          if(digitalRead(sw_2)==LOW) // กำหนดให้ sw_2 เป็น LOW
                                      {
                                        lcd.setCursor(0,0);
                                        lcd.print("    Set Flowrate      "); // แสดงค่า Set Flowrate
                                        lcd.setCursor(0,1);
```

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

```
                                lcd.print("          ml / hr              "); // แสดงค่า ml / hr
                                delay(1000); // ความล่าช้าในการประมวลผล
                                SetV(); // กำหนดให้ถอยหลัง
                               }
          if(digitalRead(sw_3)==LOW) // กำหนดให้ sw_3 เป็น LOW
                               {
                                lcd.setCursor(0,0);
                                lcd.print("  Running                  "); // แสดงค่า Running
                                lcd.setCursor(0,1);
                                lcd.print("                           ");
                                delay(1000); // ความล่าช้าในการประมวลผล
                                Start();
                               }
           }
}
void SetX() // เริ่มต้นทำงานที่ SetX
{
  while(1)
          {
            if(digitalRead(sw_1)==LOW) // กำหนดให้ sw_1 เป็น LOW
                               {
                                SetXg();
                               }

           if(digitalRead(sw_2)==LOW) // กำหนดให้ sw_2 เป็น LOW
                               {
                                SetXb();
                               }
           if(digitalRead(sw_3)==LOW) // กำหนดให้ sw_3 เป็น LOW
                               {
                                lcd.setCursor(0,0);
```

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

```
                    lcd.print("    Running              "); // แสดงค่า Running
                    lcd.setCursor(0,1);
                    lcd.print("                         ");
                    delay(1000); // ความล่าช้าในการประมวลผล
                    Start();
                   }
      if(digitalRead(sw_4)==LOW) // กำหนดให้ sw_4 เป็น LOW
                   {
                    Begin();
                   }
    }
}
void SetXg() // เริ่มต้นทำงานที่ SetXg
{
     {
    // digitalWrite(stb,HIGH);
      while(1)
                  {
                   digitalWrite(stg,HIGH);
                   delay(1);
                   digitalWrite(stg,LOW);

                   p--; // ให้ p มีค่า -1
                   lcd.setCursor(0,0);
                   lcd.print("          ");
                   lcd.setCursor(0,0);
                   lcd.print(p);
                   delay(1);
                   break;
                  }
     }
```

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

```
}
void SetXb() // เริ่มต้นทำงานที่ SetXb
{
          {
          // digitalWrite(stg,HIGH);
            while(1)
                                {
                                  digitalWrite(stb,HIGH);
                                // delay(0);
                                  digitalWrite(stb,LOW);

                                  p++; // ให้ p มีค่า +1
                                  lcd.setCursor(0,0);
                                  lcd.print("          ");
                                  lcd.setCursor(0,0);
                                  lcd.print(p          );
                                 // delay(1);
                                  break;
                                }
           }
}
void SetV() // เริ่มต้นทำงานที่ SetXV
{
  while(1)
          {
            if(digitalRead(sw_1)==LOW) // กำหนดให้ sw_1 เป็น LOW
                                {
                                  lcd.setCursor(6,1);
                                  lcd.print("  ml / hr  "); // แสดงค่า ml / hr
SetVup();
                                }
```

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

```
            if(digitalRead(sw_2)==LOW) // กำหนดให้ sw_2 เป็น LOW
                                {
                                  lcd.setCursor(6,1);
                                  lcd.print("    ml / hr  ");  // แสดงค่า ml / hr
                                  SetVdown();
                                }
           if(digitalRead(sw_3)==LOW) // กำหนดให้ sw_3 เป็น LOW
                                {
                                  lcd.setCursor(0,0);
                                  lcd.print("     Running              "); // แสดงค่า Running
                                  lcd.setCursor(0,1);
                                  lcd.print("                          ");
                                  delay(1000); // ความล่าช้าในการประมวลผล
                                  Start();
                                }
            if(digitalRead(sw_4)==LOW) // กำหนดให้ sw_4 เป็น LOW
                                {
                                  Begin();
                                }
          }
}
void SetVup() // เริ่มต้นทำงานที่ SetVup
{
           {
            // digitalWrite(stb,HIGH);
             while(1)
                                {
                                  delay(300); // ความล่าช้าในการประมวลผล
                                  v=v+0.1; // กำหนดให้ v เพิ่มขึ้นที่ละ + 0.1
```

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

```
                    d=1255/v; // กำหนดให้ d=1255
                    lcd.setCursor(2,1);
                    lcd.print(v );
                    delay(300); // ความล่าช้าในการประมวลผล
                    break;
                  }
        }
}
void SetVdown() // เริ่มต้นทำงานที่ SetVdown
{
        {
        //  digitalWrite(stg,HIGH);
          while(1)
                  {
                    delay(300); // ความล่าช้าในการประมวลผล
                    v=v-0.1; // กำหนดให้ v ลดลงที่ละ -0.1
                    d=1255/v; // กำหนดให้ d=1255
                    lcd.setCursor(2,1);
                    lcd.print(v );
                    delay(300); // ความล่าช้าในการประมวลผล
                    break;
                  }
         }
}
void Start // เริ่มต้นทำงานที่ Start
 {
        {
           digitalWrite(stb,HIGH);
           while(1)
                  {
                    if (v>0) // ถ้า v>0
```

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

```
{
 if (0<p)  // ถ้า 0<p
     {
            delay (d);
             digitalWrite(stg, HIGH);
             delay (1);
             digitalWrite(stg, LOW);
             lcd.setCursor(0,1);
             lcd.print("        ");
             lcd.setCursor(0,1);
             lcd.print(p);
             p--; // กำหนดให้ p ลดลงที่ละ -1
             delay (d);

             if (p==0) // ถ้าข้อมูล p=0
                       {
                          lcd.setCursor(0,0);
                          lcd.print("  Finish              ");
                          // ปริ้นค่า Finish
                          lcd.setCursor(0,1);
                          lcd.print("                      ");
                           // แสดงค่าออกมายังหน้าจอlcd
                        }
          }
    else
         {
         // digitalWrite(stg,HIGH);
           if (x>0) // ถ้า x>0
                       {
                         digitalWrite(stb, HIGH);
                         delay (1);
```

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

```
                digitalWrite(stb, LOW);
                lcd.setCursor(0,1);
                lcd.print("       ");
                lcd.setCursor(0,1);
                lcd.print(x);
                x--; // กำหนดให้ x ลดลงที่ละ -1
                delay (1);
              }
        else
              {
                v=0; // กำหนดให้ v=0
                p=25000;  // กำหนดให้ 25000
                x=25000;  // กำหนดให้ 25000
                lcd.setCursor(0,0);
                lcd.print("  Ready          ");
                 //แสดงค่า Running
                lcd.setCursor(0,1);
                lcd.print("                 ");
              }
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY
          }
        }
       Else
        {
            Begin();
        }
  if(digitalRead(sw_4)==LOW) // กำหนดให้ sw_4 เป็น LOW
        {
          Begin();
        }
    }
}
```

2. ผลจากการทดสอบสารละลายพอลิเมอร์จากเครื่องมือ

จากการทดลองยิงสารพอลิเมอร์จากเครื่องสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงโดยแผ่นรองรับจะใช้แผ่นทองแดงห่อหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟรอยด์ จะสังเกตได้ว่ามีเส้นใยจำนวนมากที่ทับถมกันแบบไม่ทักทอ ลักษณะคล้ายวงกลม สีขาว ติดอยู่กับแผ่นอะลูมิเนียมฟรอยด์ ซึ่งเมื่อเราดึงออกจากแผ่นอะลูมิเนียมฟรอยด์จะเห็นว่าเส้นใยที่ได้ไม่เกิดการละลายเข้าหากัน จะแสดงได้ดัง **รูปที่ ก - 1**

รูปที่ ก - 1 เส้นใยที่ได้จากการทดสอบเครื่องสังเคราะห์เส้นใยของ polyvinyl pyrrolidone (PVP) ปริมาตร 1 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ข
เครื่องมือใช้ที่ใช้ในงานวิจัยและการใช้งาน

จะแสดงอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยและการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ แสดงได้ดังต่อไปนี้

1. สเต็ปปิ้งมอเตอร์

ในงานวิจัยนี้เราจะใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์แบบ 5 เฟส ความละเอียด 500 สเต็ป/รอบ (0.72 องศา/สเต็ป) **ดังรูปที่ ข - 1**

รูปที่ ข - 1 สเต็ปปิ้งมอเตอร์

2. สวิตช์กดติดปล่อยดับ

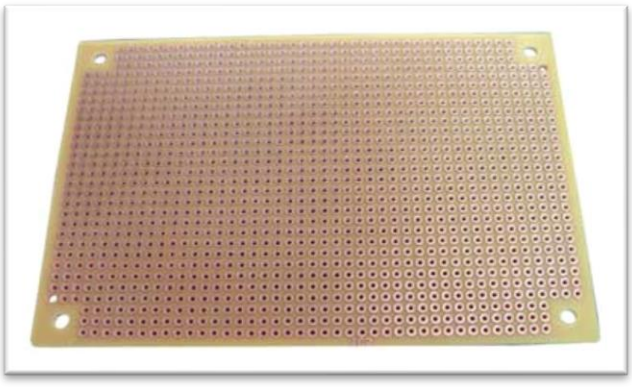
กดติดปล่อยดับ (momentary) เป็นสวิตช์ที่เวลาใช้งานต้องกดปุ่มสวิตช์ลงไป การควบคุมตัดต่อสวิตช์ต้องกดปุ่มที่อยู่ส่วนกลางสวิตช์ คือขณะกดปุ่มสวิตช์เป็นการต่อ (ON) เมื่อปล่อยมือออกจากปุ่มสวิตช์เป็นการตัด (OFF) ทันที **ดังรูปที่ ข - 2**

รูปที่ ข - 2 ตัวอย่างสวิตช์กดติดปล่อยดับ

3. Print Circuit Board (PCB)

PCB ประกอบไปด้วยแผ่นฐานหรือซับสเตรท (substrate) ที่ทำจากแผ่นฉนวนบางๆ อัดยึดรวมกันด้วยพลาสติกประเภทเทอร์โมเซตติ้ง (thermosetting plastic) เพื่อรองรับแผ่นตัวนำที่ใช้เชื่อมต่อสัญญาณไฟฟ้าระหว่างอุปกรณ์ ส่วนวัสดุที่ใช้ทำซับสเตรตที่นิยม เช่น กระดาษชุบฟีนอลลิกอัด, อีพ็อกซี่ไฟเบอร์กลาส โดยเราใช้เพื่อประกอบบอร์ดไดเวอร์มอเตอร์ และบอร์ด ardoino เข้าด้วยกันดังแสดงใน **รูปที่ ข - 3**

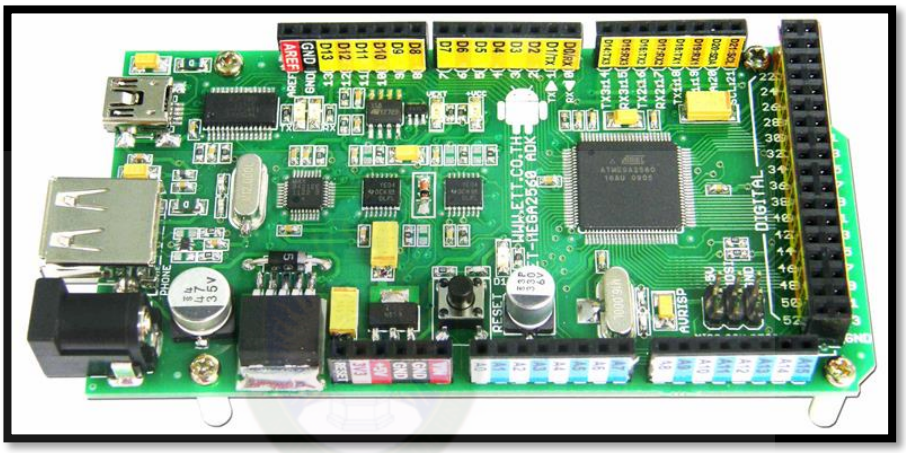
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ ข - 3 Print Circuit Board (PCB)

4. บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุน ET - MEGA2560 - ADK

เป็นบอร์ดที่ใช้เขียนโปรแกรมคำสั่งงานให้กับระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงให้สามารถสั่งการทำงานได้ ดังแสดงใน **รูปที่ ข - 4**

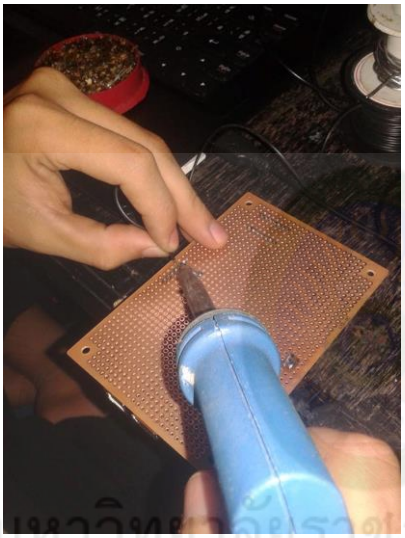


รูปที่ ข - 4 ลักษณะของบอร์ดรุ่น ET - MEGA2560 - ADK

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

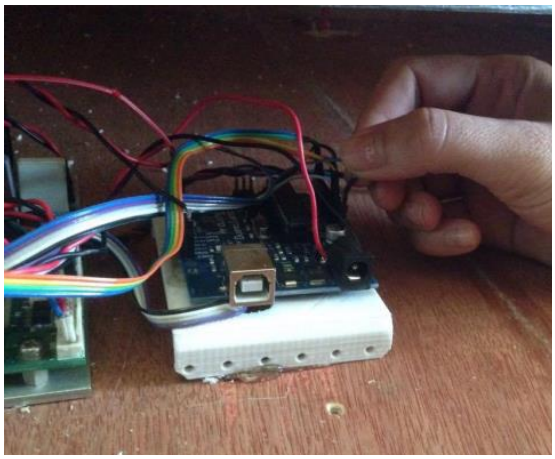
ภาคผนวก ค
ภาพประกอบงานวิจัย

แสดงชิ้นงานการสร้างเครื่องมือตามที่ออกแบบ และเตรียมพร้อมเครื่องมือเพื่อที่จะทำการทดสอบต่อไป แสดงได้ **ดังรูปที่ ค - 1 ถึง ค - 10**



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ ค - 1 ทำการเชื่อมต่อวงจรเข้ากับไดเวอร์มอเตอร์



รูปที่ ค - 2 ทำการต่อสาย Reset เข้ากับบอร์ดอาดูโน่

รูปที่ ค - 3 ตู้สำหรับใส่ระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

รูปที่ ค - 4 ทำการติดตั้งสวิตช์

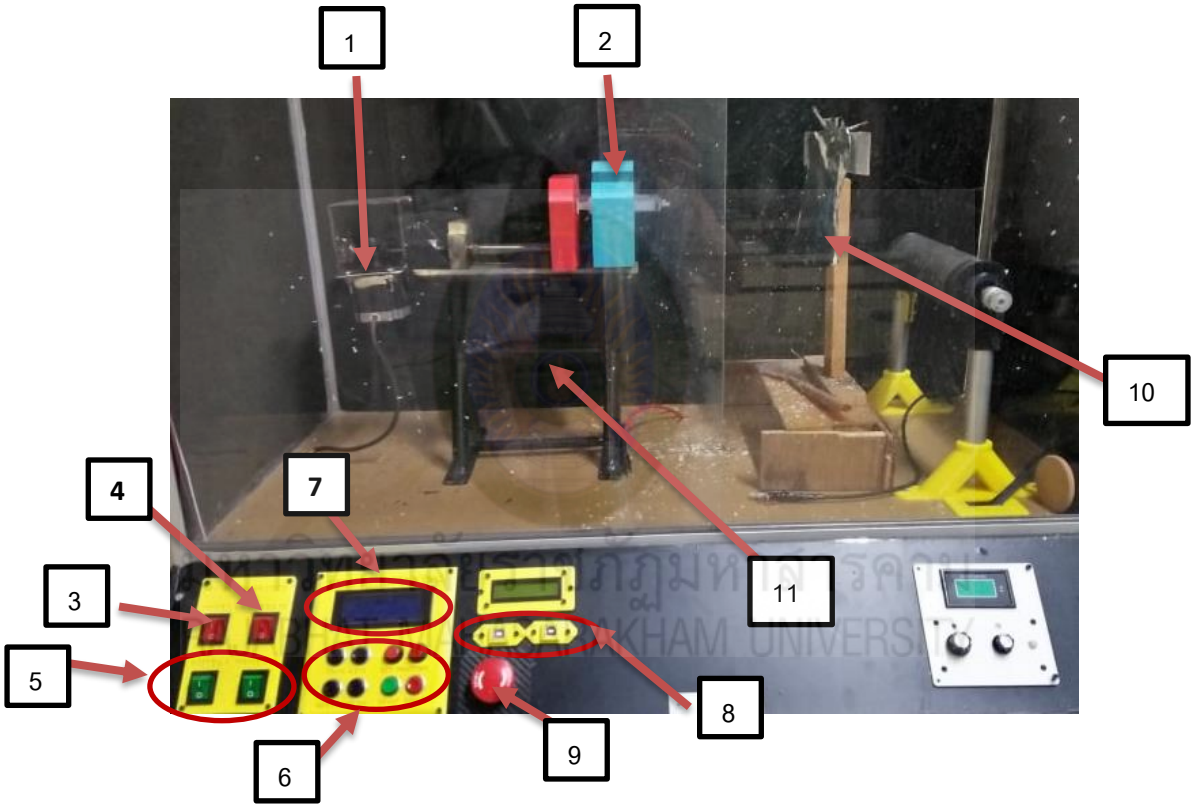
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

รูปที่ ค - 5 การเตรียมสารละลาย

รูปที่ ค - 6 การเตรียมเครื่องมือทุกส่วนเข้าเครื่องพร้อมใช้งาน

ภาคผนวก ง
ส่วนประกอบของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

ภาพแสดงการดำเนินงานวิจัยอธิบายถึงส่วนประกอบต่างๆ ของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิงแสดงได้ **ดังรูปที่ ง - 1** ลักษณะโครงสร้างภายนอกของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง



รูปที่ ง-1 ส่วนประกอบของระบบสังเคราะห์เส้นใยด้วยเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิง

หมายเลข 1 สเต็ปปิ้งมอเตอร์

หมายเลข 2 ที่ใส่เข็มฉีดยา

หมายเลข 3 สวิตช์เปิดปิดบอร์ดไมโครคอลโทรลเลอร์

หมายเลข 4 สวิตช์เปิดปิด High Voltage.

หมายเลข 5 สวิตช์เปิดปิดไดเวอร์มอเตอร์

หมายเลข 6 ปุ่มควบคุมการทำงานของเครื่อง

หมายเลข 7 จอ LCD

หมายเลข 8 ช่องอัพโหลดโปรแกรม

หมายเลข 9 ปุ่มฉุกเฉิน

หมายเลข 10 วัสดุรองรับเส้นใย

หมายเลข 11 ฐานยึดติดกับเต็ปปิ้งมอเตอร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY