การพัฒนาชุดเลื่อนปลายเข็มสำหรับระบบอิเล็กโทรสปินนิ่ง
DEVELOPMENT OF NEEDLE TIP TRANSLATION SETUP FOR ELECTROSPINNING SYSTEM

จักรพล บุตรเจริญ
สุกัญญา สุดหางเชือก

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การพัฒนาชุดเลื่อนปลายเข็มสำหรับระบบอิเล็กโทรสปินนิ่ง
DEVELOPMENT OF NEEDLE TIP TRANSLATION SETUP FOR ELECTROSPINNING SYSTEM

จักรพล บุตรเจริญ
สุกัญญา สุดหางเชือก

b.00865698
i.
TB00182

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF NEEDLE TIP TRANSLATION SETUP FOR ELECTROSPINNING SYSTEM

JAKKRAPHOL BOOTCHAROEN
SUKANYA SUTHANGCHUAK

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARMENT OF PHYSICS FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาชุดเลื่อนปลายเข็มสำหรับระบบอิเล็กโทรสปินนิ่ง Development of needle tip translation setup for electrospinning system
นักศึกษา	นายจักรพล บุตรเจริญ รหัสนักศึกษา 55051464 นางสาวสุกัญญา สุดหางเชือก รหัสนักศึกษา 55051643
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.พิศาล สุขวิสูตร

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ภัทรียา ดำรงศ์กดิ์ ประธานกรรมการ	
ดร.อาภาภรณ์ สกุลการะเวก กรรมการ	
ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี กรรมการ	
ดร.พิศาล สุขวิสูตร กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การพัฒนาชุดเลื่อนปลายเข็มสำหรับระบบอิเล็กโทรสปินนิ่ง
นักศึกษา นายจักรพล บุตรเจริญ รหัสนักศึกษา 55051464
นางสาวสุกัญญา สุดหางเชือก รหัสนักศึกษา 55051643
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.)
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.พิศาล สุขวิสูตร

บทคัดย่อ

การศึกษานี้รายงานการสร้างชุดเลื่อนปลายเข็มสำหรับใช้ในกระบวนการอิเล็กโทรสปินนิ่งเพื่อใช้ผลิตเส้นใยพอลิเมอร์ขนาดนาโน ชุดเลื่อนปลายเข็มที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมได้ด้วยโปรแกรมแล็ปวิว (LabVIEW) และประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ คือ ลิเนียไกด์บอลสกรู สายพาน สเต็ปปิงมอเตอร์พร้อมชุดขับ บอร์ดอาร์ดูโน (Aduino board) หม้อแปลงไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ โปรแกรมควบคุมและชุดเลื่อนปลายเข็มที่สร้างขึ้นนั้นถูกออกแบบให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดระยะในการเลื่อนปลายเข็มได้สูงสุด 15 เซนติเมตร และความเร็วมากสุดในการเลื่อนปลายเข็มคือ 9 เซนติเมตรต่อวินาที ผลการทดสอบการทำงานของชุดเลื่อนปลายเข็มแสดงให้เห็นว่า การควบคุมระยะการเลื่อน และเวลาการทำงานของชุดเลื่อนปลายเข็มมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า 0.025 มิลลิเมตร และ 0.06 วินาที ตามลำดับ นอกจากนี้ยังค้นพบด้วยว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเลื่อนและระยะเวลาในการทำงานของชุดเลื่อนเข็มเป็นแบบฟังก์ชันไฮเพอร์โบลา สำหรับการทำอิเล็กโทรสปินนิ่งนั้น สารละลายพอลิเมอร์พอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์เอกซะฟลูออโรโพรพิลีน (poly(vinylidenefluoride- hexafluoropropylene)) ที่ความเข้มข้น 18 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก มีความความหนืดเพียงพอในการผลิตเส้นใยขนาดนาโนได้ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรสปินนิงแบบทั่วไป อย่างไรก็ตามในการใช้ชุดเลื่อนปลายเข็มกับกระบวนการอิเล็กโทร สปินนิ่ง เมื่อมีการจ่ายสนามไฟฟ้าสูง ๆ จะทำให้เกิดการลัดวงจรไฟฟ้าขึ้น ส่งผลให้การทำงานของระบบควบคุมถูกรบกวนและทำงานผิดพลาดซึ่งต้องมีปรับปรุงในส่วนของระบบไฟฟ้าต่อไป

คำสำคัญ : อิเล็กโทรสปินนิ่ง พอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์-เฮกซะฟลูออโรโพรพิลีน โคพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Development of needle tip translation setup for electrospinning system
Students	Mr.Jakkaphol Bootcharoen Student ID 55051464
	Miss Sukanya Suthangchuak Student ID 55051643
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Faculty	Science
University	King Mongkut's Intitute of Technology Ladkrabang(KMITL)
Departmemt	Physics
Academic Year	2015
Advisor	Dr.Pisan Sukwisute

Abstract

This study reports the construction of needle tip translation module for near-field electrospinning system in order to fabricate polymer nanofibers. The invented module is controllable through the LabVIEW program and consisted mainly of linear guided ball screw, belt, stepping motor with driver, Aduino board, transformer and computer. The control program and the module were designed to having the translation range of the needle tip of 15 cm and movement speed of the tip of 9 cm/min. The operation test result of the translation module shows that the standard deviation values of the movement range and operation time control of the constructed module are less than 0.025 mm and 0.06 s, respectively. Furthermore, it is found that the relationship between the speed of movement and the operation time of the invented module is a hyperbolic function. For electrospinning, poly(vinylidenefluoride- hexafluoropropylene) polymer with the concentration of 18 wt% possesses sufficient viscosity for producing the nanofibers using the conventional electrospining. Nevertheless, the use of fabricated module in the electrospinning process during high voltage supply causes the electrical short circuit. This leads to its disturbed control and the operation error. Therefore the electrical system should be improved further.

Keywords : Electrospinning, (Poly(vinylidene fluoride-hexafluoropropylene))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาจัดทำโครงงานพิเศษในหัวข้อเรื่อง อิเล็กโทรสปินนิ่งแบบเลื่อนเข็มสำหรับการสร้างเส้นใยขนาดนาโน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต เพื่อศึกษาหลักการทำงานและออกแบบตัวเครื่องสำหรับการปั่นเส้นใยด้วยอิเล็กโทรสปินนิ่งสนามไกลและแบบเลื่อนเข็ม ดังนั้นจึงเห็นว่า การศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของเส้นใยที่ได้จากการปั่นเส้นใยด้วยระบบอิเล็กโทรสปินนิ่งนั้นทำให้เราได้เส้นใยที่มีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ทั้งนี้ในการจัดทำโครงงานพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด

ขอขอบพระคุณ ดร.พิศาล สุขวิสูตร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำรวมทั้งข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องรวมทั้งคอยเตือนสติและให้กำลังใจ ซึ่งเป็นแรงผลักดันให้คณะผู้จัดทำมีความมานะและพยายามที่จะทำโครงงานพิเศษนี้ให้ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร. ชวาลย์ ศรีวงศ์ อาจารย์สาขาเคมีที่ให้คำปรึกษาและสถานที่ในการทำงานตลอดจนถึงพี่นักศึกษาระดับปริญญาโทที่ช่วยเหลือให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์การทดลอง และคอยดูแลเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และเพื่อนที่รักทุกๆคน ที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วงเหลือส่งเสริมและสนับสนุน คณะผู้จัดทำโครงงานทำให้มีกำลังใจในการศึกษาและลงมือปฏิบัติทำตัวชิ้นงาน จนสำเร็จลุล่วงด้วยดีมาตลอด

จักรพล บุตรเจริญ
สุกัญญา สุดหางเชือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
คำย่อและสัญลักษณ์	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานของโครงงานพิเศษ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่ง	3
2.1.1 กระบวนการอิเล็กโทรสปินนิ่งสนามไกล (FFES)	3
2.1.2 กระบวนการอิเล็กโทรสปินนิ่งสนามใกล้ (NFES)	5
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะและขนาดของเส้นใยนาโน	6
2.2.1 เข้มข้นของสารละลาย (solution concentration)	.6
2.2.2 สนามไฟฟ้า (Electric field)	7
2.2.3 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเข็มโลหะ(diameter of needle)	7
2.2.4 ระยะห่างระหว่างปลายเข็มถึงวัสดุรองรับ (distance between tip and collector)	8
2.3 ไพอิโซอิเล็กทริกพอลิเมอร์ (Piezoelectric polymer)	8
2.3.1 พอลิไวนิลลีดีนฟลูออร์ไรด์(Polyvinylidene fluorid)	8
2.3.2 พอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์-เฮกซะฟลูออโรโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ Poly(vinylidene fluoride-hexafluoropropylene))	8
2.4 สเต็ปปิ่งมอเตอร์ (Stepping motor)	9
2.5 ขั้นตอนเชื่อมต่อบอร์ด Arduino UNO กับคอมพิวเตอร์	10
2.6 การคำนวนหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	14
3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ	14
3.2 การดำเนินงานวิจัย	15
3.2.1 การประกอบตัวเลื่อนเข็มและการเขียนโปรแกรม	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการเลื่อนของตัวจับยึดเข็มฉีดยา	20
3.2.3 การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ P(VDF-HEP)	23
3.2.4 การทดสอบการปั่นเส้นใยด้วยวิธิอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบเลื่อนเข็ม	26
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	27
4.1 ผลการประกอบเครื่องและการเขียนโปรแกรม	27
4.1.1 การประกอบเครื่องอิเล็กโทรสปินนิ่ง	27
4.1.2 ผลการทดสอบการทำงานของชุดเลื่อนเข็มฉีดยา	27
4.1.3 การเตรียมสารละลายที่ใช้ในกระบวนการอิเล็กโทรสปินนิ่ง	31
4.2 ผลจากการทำอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบเลื่อนเข็ม	32
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	33
5.1 ผลที่ได้จากการทำโครงงาน	33
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	33
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ	33
เอกสารอ้างอิง	
ภาคนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการทำงานของอิเล็กโทรสปินนิ่ง	4
2.2 ลักษณะและส่วนประกอบของเครื่องอิเล็กโทรสปินนิ่ง (สำเร็จรูปทางการค้า)	5
2.3 แสดงงานที่เกิดขึ้นและปริมาตรฟลักซ์ในทิศแกน x	6
2.4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยพอลิเมอร์	6
2.5 เส้นใยพอลิเมอร์ที่ยืดตัวมายังตัวเก็บรวบรวม	7
2.6 โครงสร้างภายในสเต็ปมอเตอร์	9
2.7 โปรแกรม VI Package Manager (VIPM	10
2.8 ติดตั้งโปรแกรมที่ใช้กับบอร์ด Arduino)	10
2.9 รูปตัวโปรแกรม LINX package	11
2.10 การตั้งค่าโปรแกรม LabVIEW และ LINX	11
2.11 Firmware LINX	12
2.12 รูปหลังจากลง Firmware เสร็จ	12
2.13 เริ่มโปรแกรม LabVIEW	13
3.1 อุปกรณ์แต่ละชนิดที่ได้ทำการจัดซื้อ	15
3.2 การจัดวางของอุปกรณ์แต่ละชนิด	16
3.3 การจับยึดอุปกรณ์ลงบนแผ่นอะคริลิค	16
3.4 ปลายเข็มฉีดยาที่ถูกยึดด้วยฐานไม้	17
3.5 การต่อวงจรของ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับเครื่องจ่ายไฟและวงจรปรับความเร็ว	17
3.6 แผนผังการเชื่อมต่อสายไฟจากสเต็ปปิ้งมอเตอร์เข้ากับตัวขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์	18
3.7 การติดตั้งอุปกรณ์ในข้อที่ 5 เข้ากับบอร์ด Arduino และต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์	18
3.8 การต่อวงจรจากบอร์ด Arduino เข้ากับ AND Gate 7408	19
3.9 ภาพรวมของตัวเครื่องที่ติดตั้งตัวเลื่อนเข็ม	20
3.10 หน้าต่างโปรแกรม LabVIEW ที่สามารถใส่ค่าการทดลองตามต้องการ	20
3.11 ผังแสดงการทำงานของโปรแกรมเพื่อควบคุมชุดเลื่อนเข็มฉีดยา	21
3.12 รูป Block diagram ของโปรแกรม LabVIEW ที่ได้เขียนไว้	23
3.13 ทำความสะอาดภาชนะด้วยอะซิโตน	24
3.14 ทำการชั่งสารตามที่ได้คำนวนไว้	24
3.15 วางบีกเกอร์ที่มีสารละลายไว้บน stirrer)	25
3.16 การใช้แท่งแม่เหล็กกวนสารละลายพอลิเมอร์	25
3.17 การตั้งค่าอุปกรณ์ในการทำอิเล็กโทรสปินนิ่ง	26
4.1 ตัวเครื่องที่ประกอบชุดเลื่อนปลายเข็ม	27
4.2 ระยะสูงสุดที่ชุดเลื่อนเข็มสามารถเคลื่อนที่ได้	28
4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะทางกับความเร็วในการเคลื่อนที่	30
4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ได้จากโปรแกรมคำนวณกับเวลาการทดลองจริงเฉลี่ย3	31
4.5 เส้นใยที่ได้จากการทำอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบทั่วไป	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แสดงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
3.1 ตารางความจริงของ IC 7408	19
3.2 แสดงอัตราส่วนของผงพอลิเมอร์ อะซิโตน และ DMSO	24
4.1 ตารางแสดงผลการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละระยะทาง	28
4.2 ตารางแสดงผลการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละระยะทาง	29
4.3 ตารางแสดงผลการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละระยะทาง	29
4.4 ตารางแสดงผลการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 7 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละระยะทาง	29
4.5 ตารางแสดงผลการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 9 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละระยะทาง	30
4.6 ตารางเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่โปรแกรมคำนวณกับเวลาที่ได้จากการทดลอง	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
P(VDF-HEP)	พอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์-เฮกซะฟลูออโรโพรพิลีน โคพอลิเมอร์
mm	มิลลิเมตร
cm	เซนติเมตร
ml	มิลลิลิตร
mm/s	มิลลิเมตร ต่อ วินาที
A	แอมแปร์
V	โวลต์
wt%	เปอร์เซ็นโดยน้ำหนัก(กรัม)
TTL	Transistor-Transistor Logic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ

ในปัจจุบันนี้วัสดุพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างระดับนาโนเมตรแบบ 1 มิติ หรือที่เรียกว่าเส้นใยนาโนกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก และได้มีการนำวัสดุเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ในหลายสาขาด้วยกัน ทั้งด้านการกรอง (filtration) การตรวจจับ (sensing) วิศวกรรมเนื้อเยื่อ (tissue engineering) ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ (optoelectronics) การเคลือบผิวแบบไม่ชอบน้ำยิ่งยวด (superhydrophobic coating) และการเก็บเกี่ยวพลังงาน (energy harvesting) การลดขนาดเส้นใยให้เล็กลงในระดับหลายร้อยนาโนเมตรส่งผลให้วัสดุพอลิเมอร์มีคุณสมบัติทางกล ความร้อน ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ และการแปลงพลังงานที่ดีขึ้น สมบัติเหล่านี้เป็นผลมาจากพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้นของเส้นใยระดับนาโน หรือเกิดจากการประกอบและรวมตัวกันขึ้นของสายโซ่พอลิเมอร์ระดับนาโนเมตร ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดแรงกระตุ้นในการผลิตเส้นใยระดับนาโนซึ่งมีด้วยกันหลายวิธีคือ การยืด (drawing) การสังเคราะห์ด้วยแม่พิมพ์ (synthesis template) การแยกเฟส (phase separation) การประกอบด้วยตัวเอง (self assembly) และ อิเล็กโทรสปินนิ่ง (electrospinning) ในจำนวนวิธีเหล่านี้ อิเล็กโทรสปินนิ่งถือเป็นวิธีที่น่าสนใจที่สุดเพราะสามารถผลิตเส้นใยระดับนาโนได้ต่อเนื่องและรวดเร็วที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ

ถึงแม้ว่าวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่งจะทำให้ได้เส้นใยนาโนที่ดีกว่าวิธีอื่นก็ตาม แต่วิธีนี้ก็ยังมีขอบเขตจำกัดในบางประการคือ ไม่สามารถที่จะควบคุมลักษณะการวางตัวของเส้นใยที่ผลิตขึ้นให้เป็นไปตามรูปแบบที่ต้องการได้ เส้นใยที่เกิดขึ้นจะมีการวางตัวแบบสุ่ม ไม่สามารถกำหนดความหนาหรือความกว้างของแถบชั้นเส้นใยนาโนที่วางตัวได้ ดังนั้นจึงได้มีการปรับปรุงวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบใหม่ขึ้นมาใช้งานแทนคือ อิเล็กโทรสปินนิ่งแบบเลื่อนเข็ม การผลิตเส้นใยด้วยวิธีนี้ทำให้สามารถกำหนดจำนวนชั้นและความกว้างที่เส้นใยวางตัวได้

อย่างไรก็ตาม เครื่องอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบเลื่อนเข็มทางการค้าสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายอยู่ในปัจจุบันนั้นมีราคาสูง จึงทำให้นักวิจัยเข้าถึงเทคโนโลยีนี้ได้ยากและอยู่ในวงจำกัด ดังนั้นโครงงานนี้จึงมีจุดประสงค์ในการสร้างเครื่องอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบเลื่อนเข็มที่มีราคาถูก ที่สามารถผลิตเส้นใยขนาดนาโนเมตรพร้อมทั้งจัดเรียงเส้นใยให้วางตัวได้อย่างเป็นระเบียบ เพื่อใช้ประโยชน์ในการวิจัยด้านวัสดุขนานนาโนเมตรแบบ 1 มิติ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อออกแบบชุดเลื่อนเข็มสำหรับในการใช้ทำอิเล็กโทรสปินนิ่ง
2) เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของชุดเลื่อนเข็มในระบบอิเล็กโทรสปินนิ่ง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

โครงงานนี้เป็นการนำความรู้ทางด้านฟิสิกส์มาประยุกต์ใช้ เพื่อการออกแบบใหม่และสร้างชุดเลื่อนเข็มในระบบอิเล็กโทรสปินนิ่ง การศึกษาวิจัยเริ่มตั้งแต่การออกแบบ จัดสร้าง และเขียนโปรแกรมควบคุการทำงานของชุดเลื่อนเข็มที่จัดสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานของโครงงานพิเศษ

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

หัวข้องานวิจัย	ปีการศึกษา 1/2558					ปีการศึกษา 2/2558				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาการทำงานของเครื่องอิเล็กโทรสปินนิ่งและจัดหาอุปกรณ์										
2. ทดลองการผลิตเส้นใยนาโนด้วยวิธี electro spinning										
3. ออกแบบเครื่องชุดเลื่อนเข็มที่ใช้ในระบบอิเล็กโทรสปินนิ่ง										
4. ทดสอบการทำงานของชุดเลื่อนเข็ม										
5. สรุปผลและเขียนรายงาน										

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) มีความรู้และความเข้าใจในโครงสร้างและระบบการทำงานของเครื่องอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบเลื่อนเข็ม
2) ได้เครื่องอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบเลื่อนเข็มสำหรับการผลิตเส้นใยพอลิเมอร์ขนาดนาโนเมตรเพื่อทำการวิจัยในระดับสูงต่อไป
3) มีเครื่องอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบเลื่อนเข็ม เพื่อประกอบการเรียนการสอนสำหรับนักศึกษาฟิสิกส์ที่เรียนทางด้านวัสดุขนาดนาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

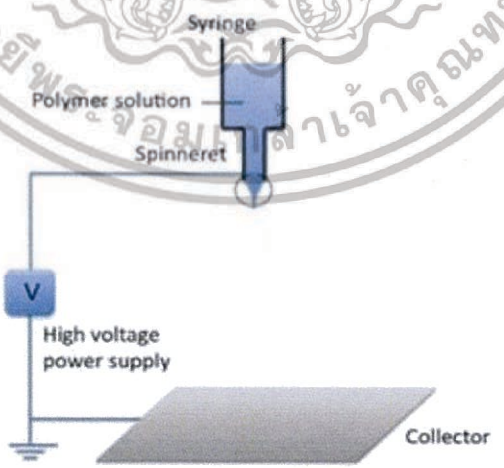
บทนี้เป็นการกล่าวถึงความรู้พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวกับการทำโครงงานพิเศษซึ่งประกอบไปด้วยหัวข้อต่อไปนี้

2.1 เทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่ง

เทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่ง (electrospinning technique) หรือเป็นเทคนิคในการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิต เนื่องมาจากเป็นเทคนิคที่ใช้เครื่องมือน้อยไม่ยุ่งยากซับซ้อนง่ายต่อการจัดหาและจัดเตรียมอุปกรณ์และอีกอย่างที่สำคัญที่ทำให้เป็นเทคนิคที่น่าสนใจอย่างมากก็คือ สามารถที่จะประดิษฐ์เส้นใยให้มีขนาดเล็กมากโดยมีขนาดเล็กในระดับไมโครเมตรและยังสามารถประดิษฐ์เส้นใยได้เล็กถึงระดับนาโนเมตรอีกด้วย โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

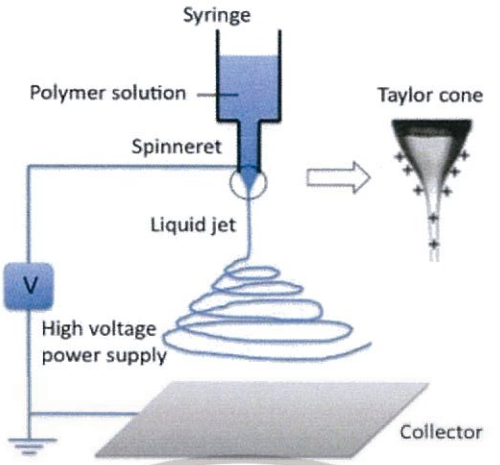
2.1.1 กระบวนการอิเล็กโทรสปินนิ่งสนามไกล (FFES)

เทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่ง (electrospinning) หรือการปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าเป็นวิธีผลิตเส้นใยนาโนที่ ได้รับความสนใจและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเพราะเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก มีค่าใช้จ่ายน้อย ใช้งานได้สะดวกและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ผลิตเส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 3 นาโนเมตรถึงมากกว่า 1 ไมโครเมตร หลักการทางานของอิเลก์โทรสปินนิ่งอาศัยแรงทางไฟฟ้าที่เกิดจากศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง (high voltage power supply) ในการทำให้เกิดแรงดึงของสารละลายที่บรรจุอยู่ในหลอดบรรจุสารละลายที่ติดเข็มโลหะ (metal needle) เพื่อให้เส้นใยตกลงบนวัสดุรองรับที่เป็นโลหะ (metal collector) ซึ่งเป็นอีด้านหนึ่งของขั้วไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 2.1



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

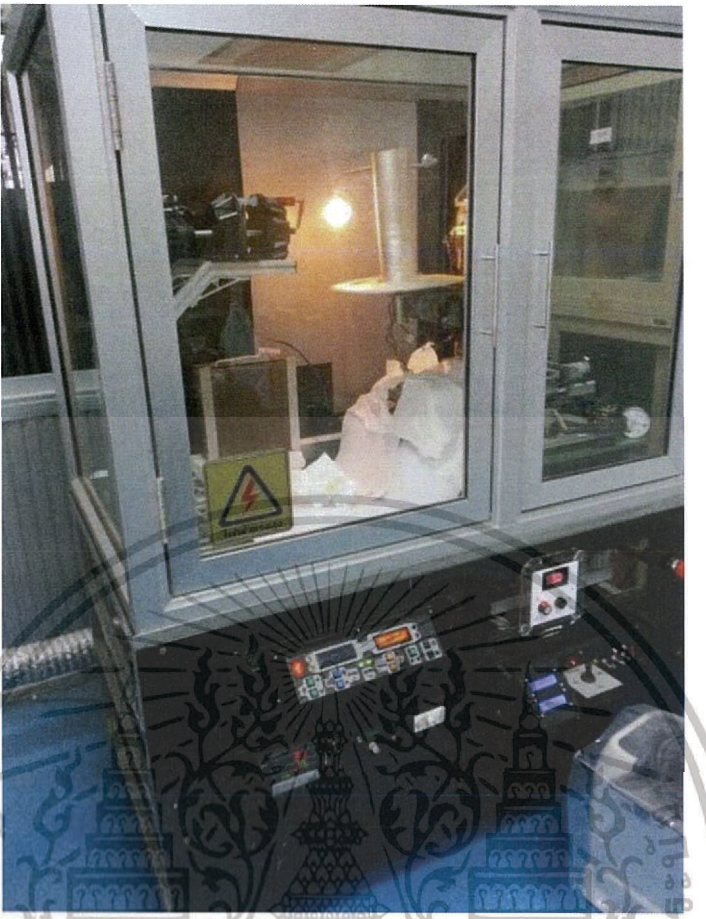


(ข)

รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของอิเล็กโทรสปินนิ่ง (ก) ช่วงก่อนการให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง และ (ข) ให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงที่มีค่ามากพอแก่ระบบจนเกิดเส้นใย
(ที่มา : http://www.intechopen.com/books/nanofibers/core-shell-nanofibers-nano-channel-and-capsule-by-coaxial-electrospinning)

จากรูปที่ 2.1(ก) เมื่อยังไม่ให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงแก่ระบบอิเล็กโทรสปินนิ่งจะไม่พบการเกิดเส้นใยนาโน แต่พบว่าบริเวณปลายเข็มโลหะซึ่งติดอยู่กับหลอดบรรจุสารละลายมีสารละลายจำนวนหนึ่งรวมตัวกันเป็นหยด ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากแรงตึงผิว (surface tension) แต่เมื่อให้แรงดันไฟฟ้ากำลังสูงแก่ระบบ ดังรูปที่ 2.1(ข) จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างปลายเข็มกับตัวรวบรวมส่งผลให้สารละลายเกิดโพลาไรเซชั่น และเกิดแรงดึงทางไฟฟ้ากระทำกับหยดสารละลายทำให้หยดสารละลายนั้นยืดออกเป็นรูปร่างทรงกรวยที่เรียกว่า กรวยเทย์เลอร์ (Taylor's cone) และเมื่อสนามไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบมีค่าเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งถึงค่าวิกฤติค่าหนึ่งจะเกิดแรงดึงให้สารละลายพุ่งออกมาเป็นลำ (jet) ต่อมาลำของสารละลายนี้จะยืดออกจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงถึงระดับนาโนเมตร แล้วตกลงบนวัสดุรองรับในลักษณะที่ไม่เกิดการถักทอ (non-woven nanofibers) หรือเป็นเพียงการวางเรียงตัวซ้อนกันเป็นชั้นๆ ในระหว่างที่เส้นใยถูกดึงออกมาจากปลายเข็มโลหะจะเกิดปรากฏการณ์การบิดโค้งที่ไม่มีเสถียรภาพ (beding instability) สารละลายที่เกิดโพลาไรเซชั่นจะเกิดประจุที่ผิวเมื่อสารละลายถูกดึงจนเป็นลำด้วยสนามไฟฟ้าจะส่งผลให้ความหนาแน่นประจุที่ผิวของลำสารละลายไม่สม่ำเสมอ ก่อให้เกิดแรงที่ไม่สมดุล (unbalance force) ทำให้เส้นใยเกิดการบิดโค้งและหมุนเหวี่ยง (spinning) ยืดออกเป็นเส้นใยที่มีการวางตัวซับซ้อนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยลดลงอย่างมาก และยิ่งรอบการบิดโค้งมีจำนวนมากขึ้นจะทำให้สารละลายยืดออกเป็นเส้นที่เล็กในที่สุด จึงทำให้เกิดเป็นเส้นใยพอลิเมอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์ในระดับนาโนได้ส่วนประกอบที่สำคัญของอิเล็กโทรสปินนิ่ง คือ แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากำลังสูง วัสดุรองรับที่เป็นโลหะ หลอดบรรจุสารละลายที่ติดเข็มโลหะ และเครื่องควบคุมการไหลของสารละลาย ดังแสดงในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

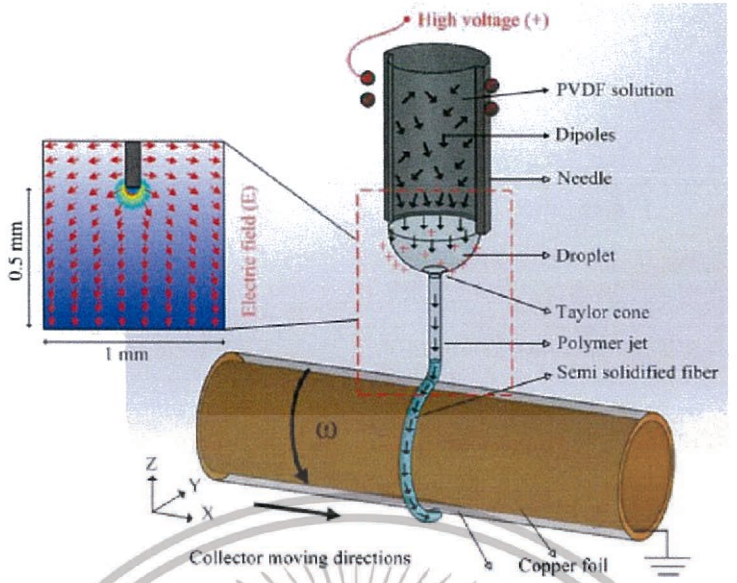


รูปที่ 2.2 ลักษณะและส่วนประกอบของเครื่องอิเล็กโทรสปินนิ่ง (สำเร็จรูปทางการค้า)[1]
(ที่มา : http://www.slri.or.th/a/details.php?id=4053)

2.1.2 กระบวนการอิเล็กโทรสปินนิ่งสนามใกล้ (NFES)

งานวิจัยนี้เป็นการค้นพบนวัตกรรมใหม่ของการวิจัยทางด้านอิเล็กโตรสปินนิ่งเพื่อประดิษฐ์เส้นใยนาโนของแข็งในรูปแบบที่สามารถกระทำ เขียนเป็นเส้นได้โดยตรง โดยที่เส้นใยมีความต่อเนื่องและสามารถควบคุมการเกิดจัดเรียงตัวของเส้นใยนาโนได้อย่างแม่นยำ เทคนิคนี้จะมีความแตกต่างจากเทคนิคอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบมาตรฐาน (ดั้งเดิม) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เส้นใยนาโนเกิดขึ้นแบบสุ่มและไม่เป็นระเบียบ เทคนิคอิเล็กโตรสปินนิ่งแบบเลื่อนเข็มแสดงเป็นแผนภาพดังในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

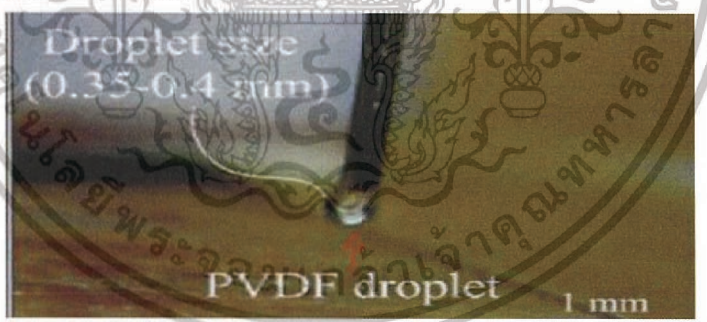


รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิ่งแบบสนามใกล้[2]

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะและขนาดของเส้นใยนาโน

ปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อลักษณะและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยที่ผ่านการสังเคราะห์ได้จากกระบวนการอิเล็กโทรสปินนิ่ง

2.2.1 เข้มข้นของสารละลาย (solution concentration)



รูปที่ 2.4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยพอลิเมอร์[3]

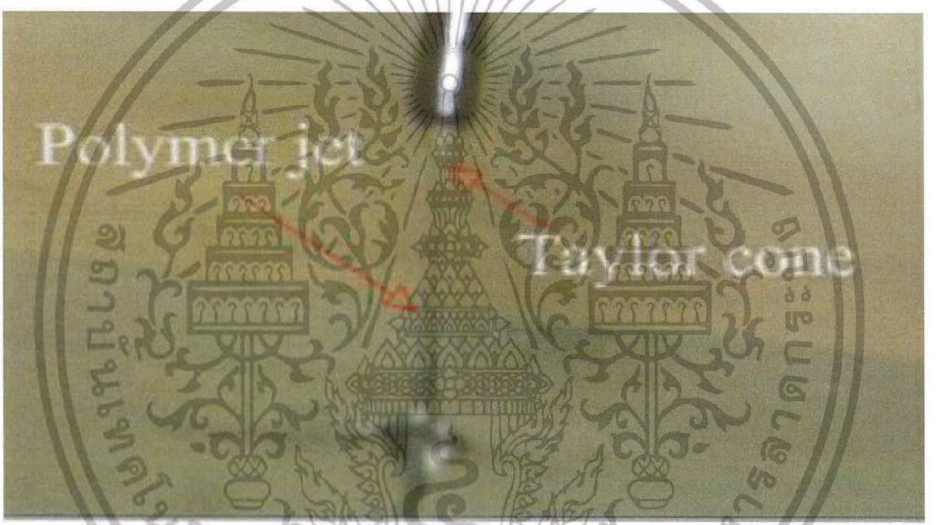
ถ้าใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นมากขึ้น จะได้เส้นใยที่มีบีดส์หรือหยดขนาดเล็กลดลง แต่ถ้าความเข้มข้นของสารละลายมีค่ามากไปจะลดปรากฏการณ์การบิดโค้งที่ไม่มีเสถียรภาพ ส่งผลให้เส้นทางการเคลื่อนที่ของสารละลายลดลงจะทำให้เส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น และถ้าความเข้มข้นของสารละลายมีค่าที่สูงทำให้เส้นใยที่ได้มีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้นด้วย ในขณะที่ความเข้มข้นน้อยความหนืดของสารละลายถ้าสารละลายมีความหนืดน้อย โมเลกุลของตัวทำละลายที่ไม่ได้จับกับโมเลกุลของพอลิเมอร์จะมีความหนาแน่นมาก ส่งผลให้จับตัวกันเป็นก้อนทรงกลมลักษณะคล้ายเม็ดลูกปัด ที่เรียกว่า บีดส์ เนื่องจากแรงตึงผิวแต่ในกรณีที่สารละลายมีความหนืดมาก จะเกิดอัตรกิริยาระหว่างโมเลกุลของตัวทำละลายกับโมเลกุลของพอลิเมอร์มากขึ้น ส่งผลให้สารละลายยืดออกดีขึ้นและลดการเกิดบีดส์ลงได้แต่ถ้าสารละลายมีความหนืดมากเกินไป จะเกิดการแห้งตัวอย่างรวดเร็วที่ปลายเข็มโลหะ ทำให้เข็มอุดตันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 สนามไฟฟ้า (Electric field)

โดยส่วนใหญ่หากแรงดันไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบมีค่าสูงขึ้น จะส่งผลให้ขนาดของเส้นใยเล็กลง รวมทั้งมีส่วนทำให้ตัวทำละลายระเหยได้เร็วขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างสนามไฟฟ้าและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย P(VDF-HEP) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นใยและสนามไฟฟ้าที่ใช้ ภายใต้สนามไฟฟ้าที่สูงขึ้น ทั้งขนาดของกรวยเทเลอร์ และเส้นผ่านศูนย์กลางของ polymer jet เพิ่มขึ้น ทำให้ได้เส้นใยที่ได้หนาขึ้นและยากที่จะควบคุมเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย ในการทำ NFES แบบต่อเนื่อง ผลของผลกระทบของแรงผลักแบบคูลอมบ์ ในสายใยพอลิเมอร์(polymer jet) สามารถลดลงได้โดยการลดระยะห่างระหว่างเข็มกับตัวรวบรวมในกรณีนี้ มันจะมีระยะห่างที่ไม่เพียงพอระหว่างปลาย Taylor cone กับ collector เพื่อที่จะตี (ฟาดเส้นใย) เส้นใยทำให้เส้นใยตรง เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการ electrospinning แบบทั่วไป

2.2.3 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเข็มโลหะ (diameter of needle)



รูปที่ 2.5 เส้นใยพอลิเมอร์ที่ยืดตัวมายังตัวเก็บรวบรวม[3]

ถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเข็มเล็กลง พบว่าขนาดของเส้นใยจะเล็กลงด้วยเนื่องจากความตึงผิวของหยดสารละลายมากขึ้น ทำให้ระยะเวลาที่เส้นใยยืดออกก่อนตกลงบนวัสดุรองรับมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเข็มที่มีขนาดเล็กเกินไปอาจไม่สามารถทำ ให้สารละลายไหลออกมาได้ จากงานวิจัยของ Z.H. Liu , C.T. Pa, L.W. Lind, H.W. Lai และคณะ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของเข็มและเส้นผ่านศูนย์กลางของ P(VDF-HEP) fibers ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง P(VDF-HEP) fiber ขึ้นอยู่กับขนาดเข็ม เมื่อใช้เข็มขนาด 0.3 mm เมื่อหยดสารสะสมมากเกินบนส่วนปลาย ก็จะไม่มีที่ว่างพอระหว่างปลาย กรวยเทเลอร์ กับ ตัวรวบรวม ดังนั้นหยดสารขนาดใหญ่จะหยดลงบนตัวรวบรวมโดยตรงเป็นการขวางเส้นทางการหมุนเหวี่ยง เมื่อขนาดเข็มเป็น 0.15 mm สารละลาย P(VDF-HEP) จะหมุนเหวี่ยงได้ยากเนื่องจากมีแรงต้านทานจากความหนืดสูงบนผนังภายในเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ระยะห่างระหว่างปลายเข็มถึงวัสดุรองรับ (distance between tip and collector)

ถ้าระยะห่างมีค่ามากขึ้นเส้นใยจะมีขนาดเล็กลงเพราะลำของสารละลายมีเวลาในการยืดออกนานมากขึ้น แต่ในบางกรณีเมื่อเพิ่มระยะห่างแต่ขนาดของเส้นใยมีค่ามากขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากสนามไฟฟ้ามีค่าน้อยลงทำให้แรงที่ทำให้สารละลายยืดออกนั้นน้อยลง อย่างไรก็ตามหากระยะห่างมากเกินไปจะไม่เกิดเส้นใยขึ้นบนวัสดุรองรับ ดังนั้นการเพิ่มระยะห่างระหว่างปลายเข็มถึงวัสดุรองรับสามารถทำได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น จากงานวิจัยของ Z.H. Liu , C.T. Pa, L.W. Lind, H.W. Lai และคณะ ระยะห่างของเข็มกับตัวรวบรวมจะถูกทำให้คงที่ที่ 1 mm สำหรับความเร็วฐานรองX–Y ต่างๆ ได้แก่ 30, 50, 70, และ 90 mm/s รูปภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของฐานรอง X–Y และเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย P(VDF-HEP) ผลแสดงให้เห็นว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย P(VDF-HEP) จะเป็นอัตราส่วนแบบผกผันกับความเร็วของฐานรอง X-Y ถ้าความเร็วของฐานนี้ลดลงเหลือต่ำกว่า 30 mm/s สายพอลิเมอร์จะไม่คงที่และสร้างเกลียวบนตัวรวบรวมเมื่อ ฐานรอง X–Y ย้ายไปเป็น 80–90 mm/s เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย P(VDF-HEP) จะลดลงต่ำกว่า 5 μm และไม่มีความไม่ต่อเนื่อง

2.3 ไพอิโซอิเล็กทริกพอลิเมอร์ (Piezoelectric polymer)

ไพอิโซอิเล็กทริกพอลิเมอร์ พอลิเมอร์ไพอิโซอิเล็กทริกเป็นที่นิยมได้แก่ พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ (Polyvinylidene uoride, PVDF) และโคพอลิเมอร์ พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์-ไตรฟลูออโรเอธีลีน (Polyvinylidene uoride with Tri uoroethylene, PVDF – TrFE) ซึ่งแสดงปรากฏการณ์ไพอิโซอิเล็กทริก พอลิเมอร์ชนิดนี้สามารถให้กระแสไฟฟ้าเมื่อได้รับแรงกดบีบหรือดึง เนื่องจากเกิดความเค้นภายในวัสดุทำให้วัสดุมีการกระจัดทางไฟฟ้า (Electrical displacement) สามารถก่อให้เกิดประจุไฟฟ้า ประจุไฟฟ้าบวก (Positive charge) อยู่ที่ผิวด้านหนึ่งและประจุลบ (Negative charge) อยู่ที่ผิวอีกด้านหนึ่งของวัสดุ ปริมาณของการกระจัดทางไฟฟ้านี้จะแปรผันตามความเค้น เรียกว่าปรากฏการณ์ไพอิโซอิเล็กทริกแบบตรง (Direct piezoelectric effect) ซึ่งปรากฏการณ์นี้ถูกนำใช้ในการเก็บเกี่ยวพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า

2.3.1 พอลิไวนิลลีดีนฟลูออร์ไรด์ (Polyvinylidene fluoride)

โพลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ (PVDF) เป็นคุณสมบัติที่ทนต่อแรงกระแทกได้ดีทนต่อความร้อนทำให้สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงถึง 150 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการต้านทานตัวทำละลายและสารเคมีจัดอยู่ในเกณฑ์ดี นอกจากนี้แล้วโพลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ยังทนทานต่อการใช้งานกลางแจ้งได้เป็นอย่างดีอีกด้วย ตัวอย่างของการใช้งาน ได้แก่ ฟิล์มห่อของ ปลอกหุ้มสายไฟฟ้า ท่อน้ำ ข้อต่อท่อน้ำ ท่อหดยืดได้

2.3.2 พอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์-เฮกซะฟลูออโรโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (Poly(vinylidene fluoride-hexafluoropropylene))

พอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์-เฮกซะฟลูออโรโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ P(VDF-HEP) เป็นสารอิเล็กโทรไลต์กลุ่มที่ 2 ได้แก่ polymer gel electrolyte หรือ quasi-solid state polymer electrolyte ในกรณีนี้ระบบจะอาศัยพอลิเมอร์ทำหน้าที่เป็นเจล (gelator) ผสมกับสารอิเล็กโตรไลท์ เช่น $LiClO_4$ และนอกจากนั้นยังมีการเติมตัวทำละลายลงไปด้วยเพื่อที่จะลดความเป็นผลึกและเพิ่ม

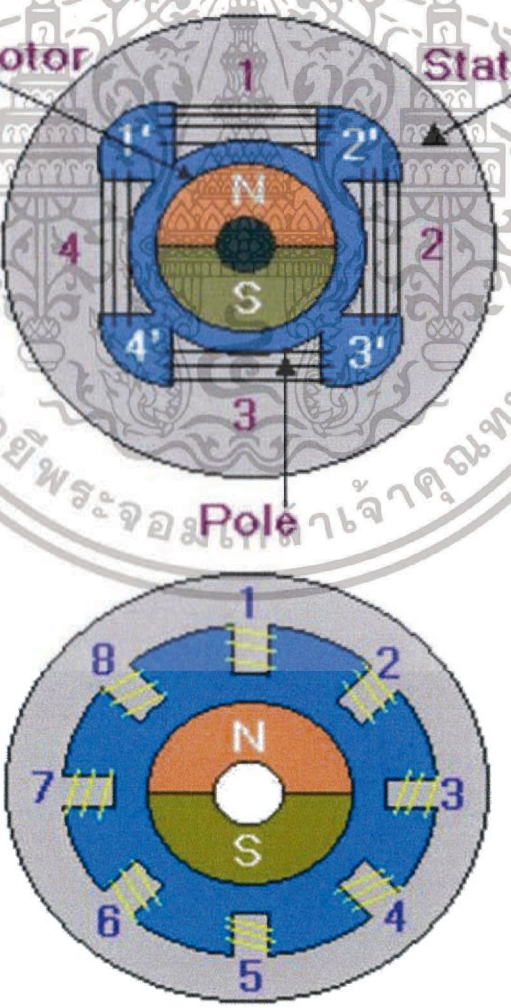
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการนำไอออนให้กับสารพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์ ตัวอย่างผลึกของพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นเจลในสารอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่พอลิเมอร์ในตระกูลพอลิอะคริเลต พอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ (PVDF) พอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์-เฮกซะฟลูออโรโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ P(VDF-HEP) พอลิเอธิลีนออกไซด์ (PEO) และพอลิโพรพิลีนออกไซด์ (PPO) เป็นต้น

2.4 สเต็ปปิ่งมอเตอร์ (Stepping motor)

Step Moter เป็นมอเตอร์ที่เมื่อเราป้อนไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ทำให้หมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุดซึ่งต่างจากมอเตอร์ทั่วไปที่จะหมุนทันทีและตลอดเวลาเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้า ข้อดีของสเต็ปมอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนด้วยตัวเลข (องศาหรือระยะทาง) ได้อย่างละเอียดโดยใช้คอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นเครื่องกำหนดและจัดเก็บตัวเลข

โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ซึ่งทำมาจากแผ่นเหล็กวงแหวนที่มีลักษณะเป็นซี่ยื่นออกมาประกอบกันเป็นชั้นๆโดยที่แต่ละซี่นั้นจะมีคอยล์ (ขดลวด) พันสวมอยู่เมื่อมีการป้อนกระแสผ่านคอยล์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) ดูดังรูปที่ 2.6 จะแสดงถึงองค์ประกอบที่กล่าวมา



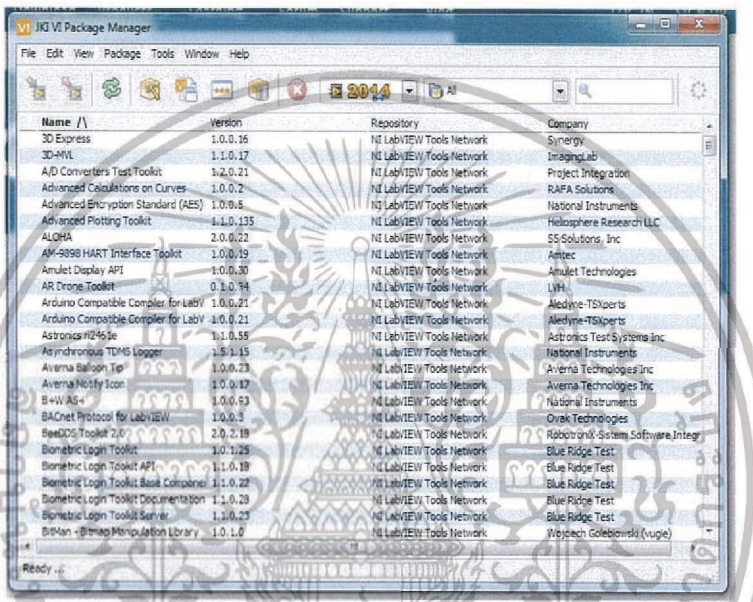
รูปที่ 2.6 โครงสร้างภายในสเต็ปมอเตอร์ [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ขั้นตอนเชื่อมต่อบอร์ด Arduino UNO กับคอมพิวเตอร์ [5]

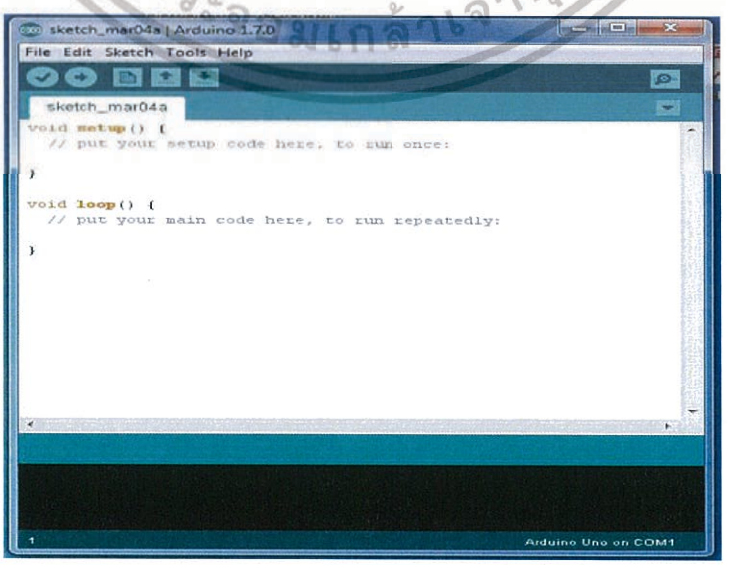
บอร์ด Arduino UNO เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือ มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย มีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

1) ทำการดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรม LabVIEW
2) ทำการดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรม NI-VISA
3) เปิดโปรแกรม VI Package Manager (VIPM) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โปรแกรม VI Package Manager (VIPM)

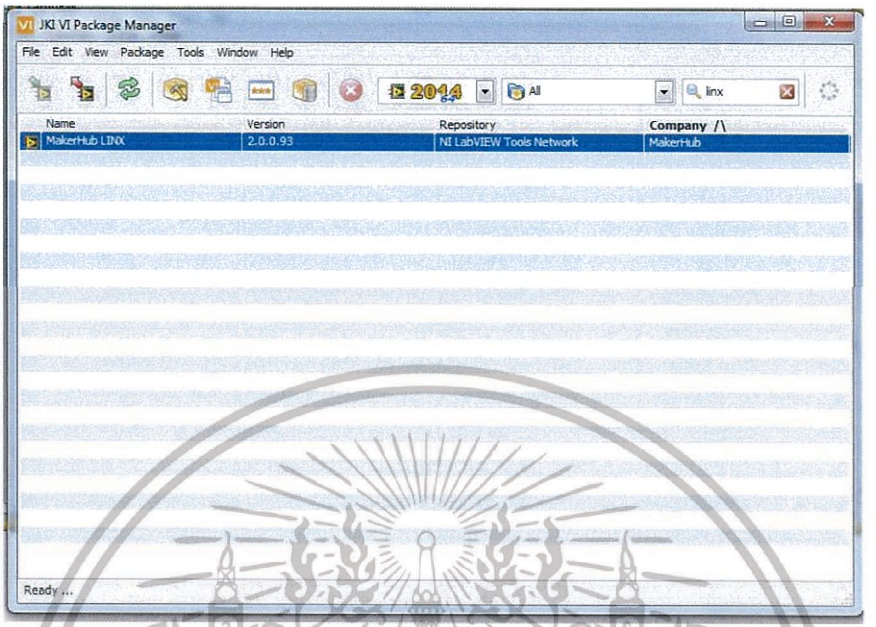
4) ทำการดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรมที่ใช้กับบอร์ด Arduino ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ติดตั้งโปรแกรมที่ใช้กับบอร์ด Arduino

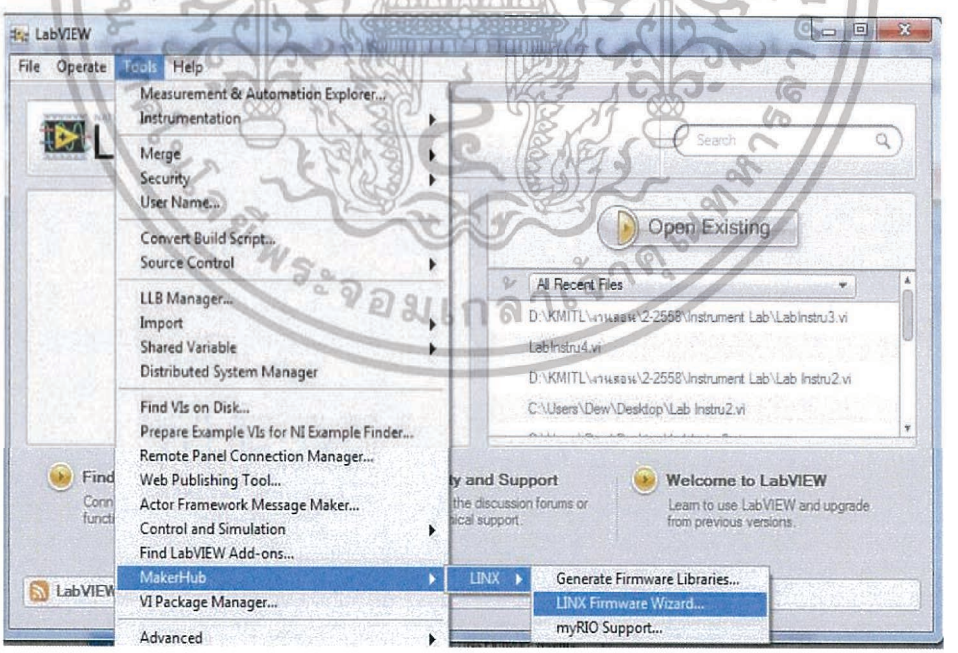
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ลงโปรแกรม LINX package และ LINX package เพื่อเชื่อมต่อกับบอร์ด Arduino ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 รูปตัวโปรแกรม LINX package

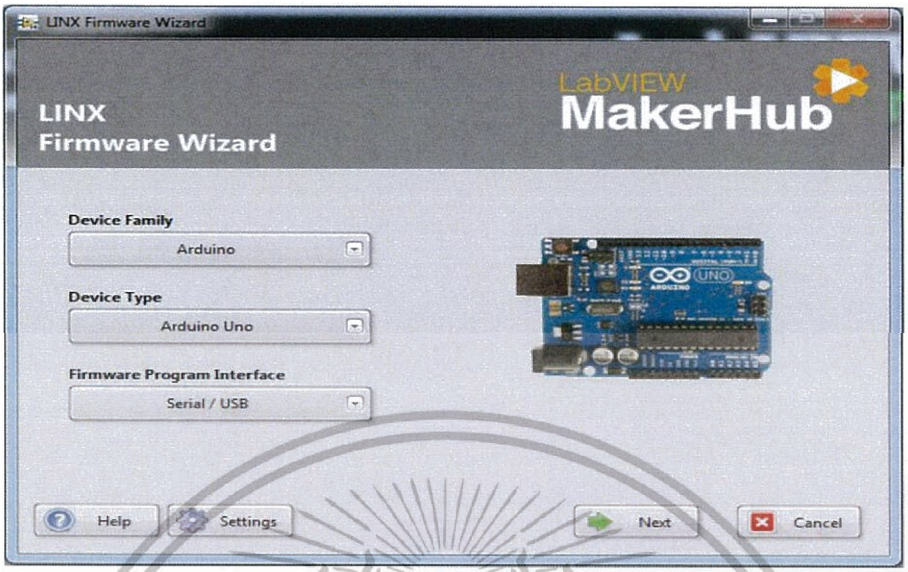
6) ตั้งค่าโปรแกรม LabVIEW และ LINX ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การตั้งค่าโปรแกรม LabVIEW และ LINX

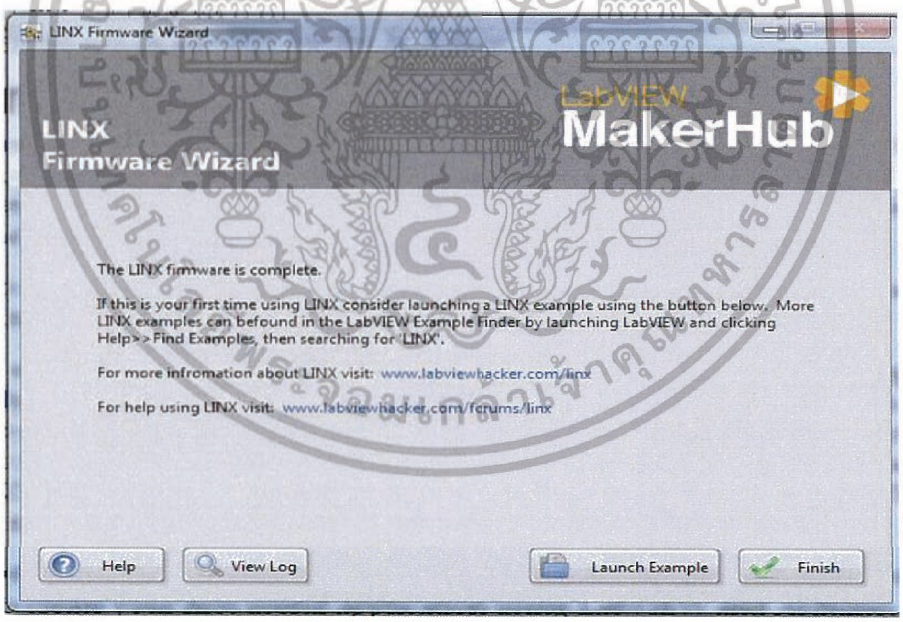
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ลง Firmware ของ LINX ที่ใช้กับบอร์ด Arduino



รูปที่ 2.11 Firmware LINX

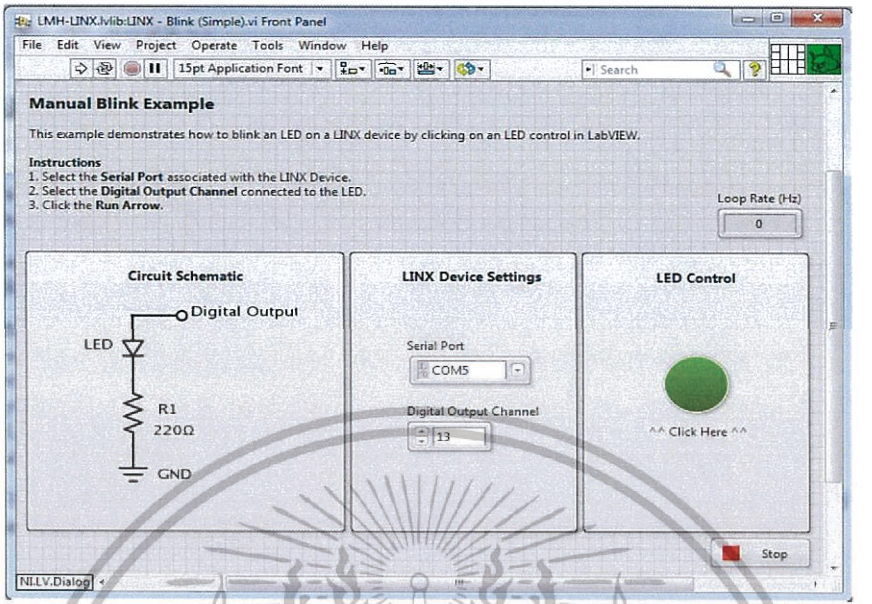
8) รอจนกระทั่งลง Firmware เสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 2.12 รูปหลังจากลง Firmware เสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) ทำการเปิดโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 2.13 เริ่มโปรแกรม LabVIEW

2.6 การคำนวนหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่าง (Sample standard deviation;σ) เป็นปริมาณบอกความแม่นยำของการวัด ถ้า σ มีค่าน้อยแสดงว่าข้อมูลที่วัดได้มีความแม่นยำสูงหรือข้อมูลที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับ $\overline{x}$ ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวอย่างหาได้ดังนี้

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \overline{x})^2}{N-1}} \qquad (2.1)$$

ดังนั้นในการทดลองหาค่าแต่ละครั้ง เราวัดซ้ำ N ครั้ง และชุดข้อมูลที่ได้มีการกระจายปกติค่าตัวเลขที่ดีที่สุดของชุดข้อมูลนั้นหาได้จาก $\overline{x} \pm \sigma$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

บทนี้เป็นการกล่าวถึงกระบวนการทำงานในแต่ละขั้นตอนตั้งแต่การจัดซื้ออุปกรณ์ การออกแบบ การประกอบชุดเลื่อนเข็มและต่อวงจร การเตรียมสารละลาย เขียนโปรแกรมและทดสอบการทำงานของตัวเลื่อนเข็ม

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือ

1) หม้อแปลง 220V เป็น 110V
2) แผ่นอะคลีลิคขนาด 60x40 cm
3) เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (24V 3A)
4) ลิเนียร์ไกด์แบบบอลสกรู (ระยะห่างระหว่างเกลียว 5 มิลลิเมตร ยาว 27 เซนติเมตร)
5) สเต็ปปิ่ง มอเตอร์ (SANYO DENKI)
6) วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
7) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 4000 รอบ/นาที
8) น็อต (สำหรับยึด)
9) ไม้อัด (สำหรับทำฐานตัวเก็บรวบรวม)
10) แกนอะลูมิเนียมทรงกระบอก (ยาว 27 เซนติเมตร)
11) ไซริ้งค์ปั๊ม
12) เข็มฉีดยาโลหะขนาด 0.5 มิลลิเมตร
13) แท่งไม้หนา 1 นิ้ว
14) พอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์-เฮกซะฟลูออโรโพรพิลีน โคพอลิเมอร์ (Poly(vinylidene fluoride-hexafluoropropylene))
15) อะซิโตน (Acetone)
16) ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethylsulfoxide DMSO)
17) หลอดฉีดยาขนาด 10 ml
18) ขวดแก้วมีฝาปิด (ไว้สำหรับใส่สารตอนกวนเสร็จ)
19) เครื่องชั่งสาร
20) บีกเกอร์
21) กระบอกตวง
22) ช้อนตักสาร
23) ถุงมือ
24) ผ้าปิดปาก
25) แท่งแม่เหล็กคนสาร
26) ตู้อบ
27) พาราฟิล์ม
28) แผ่นฟลอยด์อะลูมิเนียม
29) เทปใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การประกอบตัวเลื่อนเข็มและการเขียนโปรแกรม

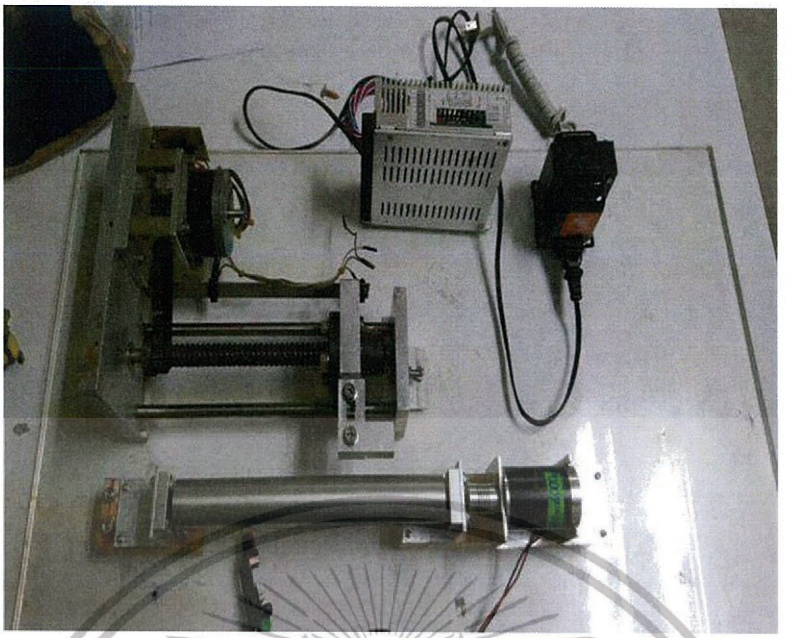
1) จัดซื้อและเตรียมอุปกรณ์ที่จะใช้สำหรับประกอบเครื่องดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 อุปกรณ์แต่ละชนิดที่ได้ทำการจัดซื้อ

ประกอบด้วย 1. ตัวขับสเต็ปปิ่ง มอเตอร์ D-5410
2. หม้อแปลงไฟจาก 220V เป็น 110V
3. เครื่องจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (24V 3A)
4. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 4000 รอบต่อนาที
5. ตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์
6. อุปกรณ์ที่ใช้ทำตัวเก็บรวบรวม

2) ออกแบบ จัดวาง และจับยึดอุปกรณ์ตามข้อที่ 1 เพื่อสร้างเป็นเครื่องอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบแบบเลื่อนเข็ม ลงบนแผ่นอะคริลิค ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

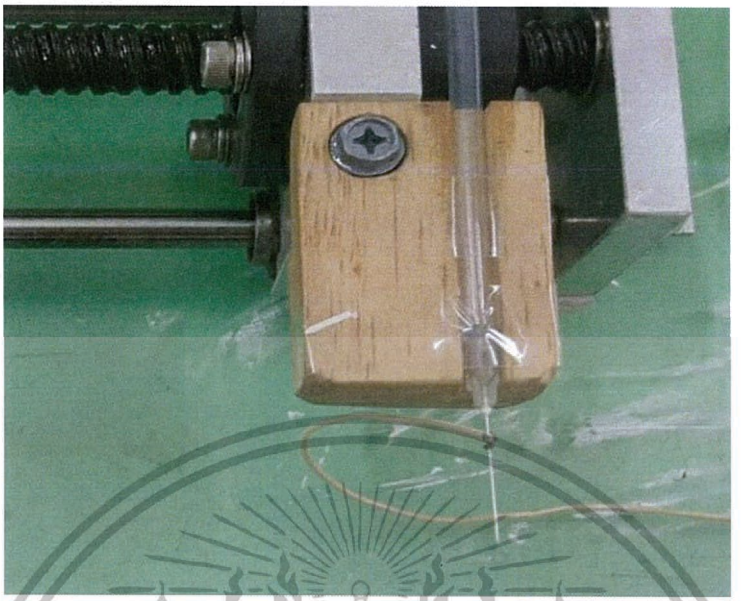


รูปที่ 3.2 การจัดวางของอุปกรณ์แต่ละชนิด

รูปที่ 3.3 การจับยึดอุปกรณ์ลงบนแผ่นอะคริลิค

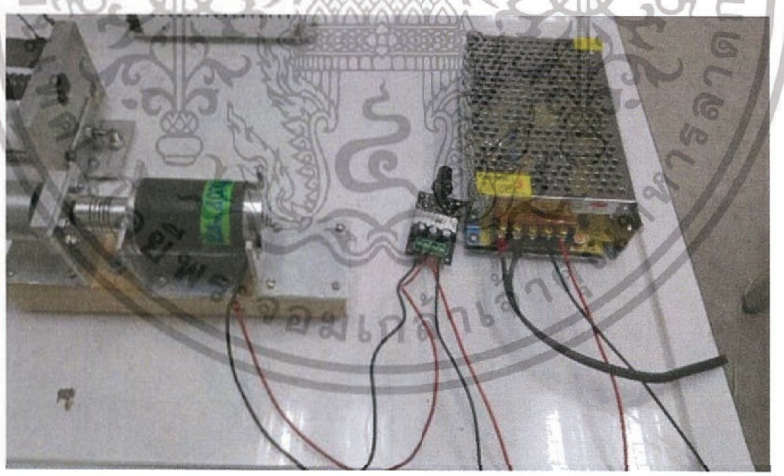
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ทำการตัดแท่งไม้เพื่อทำเป็นตัวจับยึดเข็มฉีดยา ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ปลายเข็มฉีดยาที่ถูกยึดด้วยฐานไม้

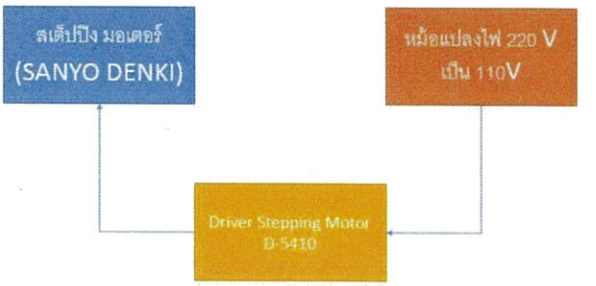
4) เชื่อมต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 24V เข้ากับวงจรปรับความเร็วและเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 24V ดังรูป 3.5



รูปที่ 3.5 การต่อวงจรของ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เข้ากับ เครื่องจ่ายไฟ และวงจรปรับความเร็ว

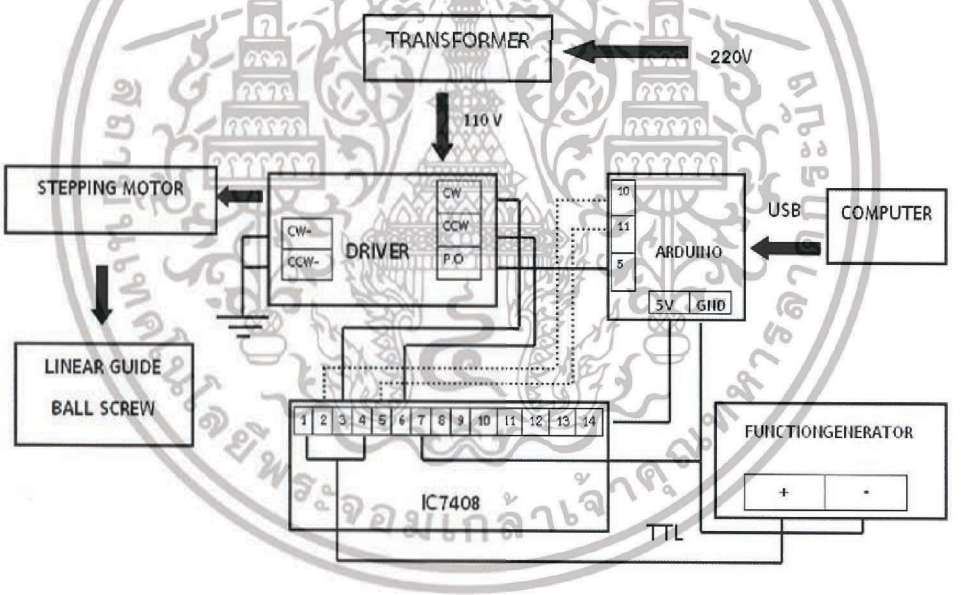
5) เชื่อมต่อสายไฟจากสเต็ปปิ่งมอเตอร์เข้ากับตัวขับสเต็ปปิ่งมอเตอร์และต่อหม้อแปลงไฟจาก 220V ไป 110V เข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แผนผังการเชื่อมต่อสายไฟจากสเต็ปปิ่งมอเตอร์เข้ากับตัวขับสเต็ปปิ่งมอเตอร์

6) ติดตั้งอุปกรณ์ตามรูปที่ 3.7 เพื่อที่จะเข้าสู่การเขียนโปรแกรมสั่งการทำงานในลำดับต่อไป

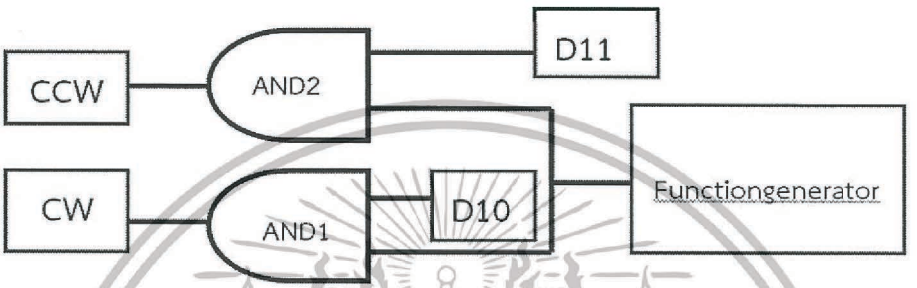


รูปที่ 3.7 การติดตั้งอุปกรณ์ในข้อที่ 5 เข้ากับบอร์ด Arduino และต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์

จากผังการติดตั้งอุปกรณ์ในรูปที่ 3.7 อธิบายได้ว่า หม้อแปลง (Transformer) จะแปลงไฟฟ้าจาก 220V เป็นไฟฟ้า 110V เพื่อป้อนไฟเลี้ยงให้กับตัว Driver ให้สามารถทำงานได้ เมื่อคอมพิวเตอร์ซึ่งได้มีการเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ่งมอเตอร์ไว้ด้วย LabVIEW ส่งคำสั่งไปควบคุมบอร์ด ในส่วนของตัวคอมพิวเตอร์เราจะเขียนโปรแกรม LabVIEW ส่งคำสั่งไปควบคุมบอร์ด Arduino ให้สร้างสัญญาณเอาค์พุตดิจิตอลที่ช่อง 10 (DO10) และ 11 (DO11) สัญญษนทั้ง 2 นี้ จะถูฏส่งต่อไปยัง ไอซีเบอร์ 7408 ที่ประกอบด้วยแอนด์เกต (AND gate) 2 ตัว ขณะเดียวกันแอนด์เกตทั้ง 2 ก็จะได้รับสัญญาณดิจิตอลซึ่งเป็นสัญญาณ TTL จากเครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function generator) (AND1 และ AND2) ดังรูป 3.8 โดยความถี่ของสัญญาณดิจิตอลนี้จะถูกใช้เพื่อปรับค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วการหมุนของสเต็ปปิ่งมอเตอร์ กำหนดให้สัญญาน DO10 เป็นสัญญานที่ใช้กำหนดทิศทางการหมุนของ สเต็ปปิ่งมอเตอร์ตามเข็มนาฬิกา (Clockwise, CW) และสัญญาณ D11 คือสัญญาณที่ใช้กำหนดทิศทางการหมุนของสเต็ปปิ่งมอเตอร์ทวนเข็มนาฬิกา (counterclockwise, CCW) สัญญาณ CW และ CCW ที่ถูกสร้างขึ้นที่ขา 3 และ 6 ของไอซี 7408 ตามลำดับ แล้วถูกส่งต่อไปยัง Driver ต่อไป ลักษณะสัญญาณลอจิกที่ป้อนให้และเกิดกับไอซี 7408 จะเป็นไปตามตารางที่ 3.1



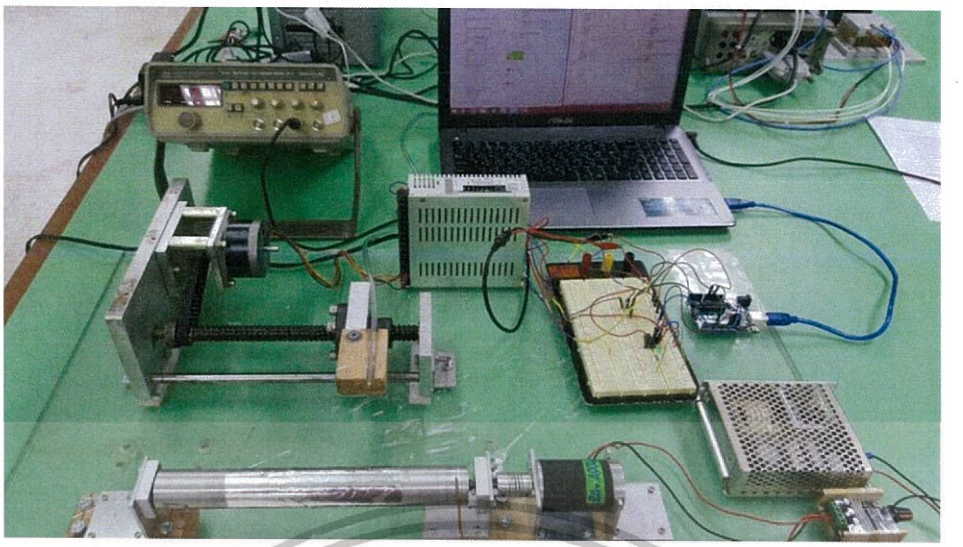
รูปที่ 3.8 การต่อวงจรจากบอร์ด Arduino เข้ากับ AND Gate 7408

ตารางที่ 3.1 ตารางความจริงของไอซีเบอร์ 7408

ลิจิกสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ	AND GATE 1	CW	AND GATE 2	CCW
0	0	0	1	0
0	1	0	0	0
1	0	0	1	1
1	1	1	0	0

จากตารางที่ 3.1 พบว่าในกรณีที่ลอจิกจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเป็น 0 หรือไม่มีสัญญาณ CW และ CCW จะมีลอจิกเป็นศูนย์ซึ่งหมายถึงการไม่มีสัญญาณไปควบคุมการหมุนของสเต็ปปิ่งมอเตอร์ แต่ในกรณีที่ลอจิกจากเครื่องกำเนิดสัญญาณเป็น 1 นั้นลอจิกของ CW และ CCW จะมีค่าตรงข้ามกันเสมอ ดังนั้นเมื่อ Driver ได้รับสัญญาณ CW และ CCW จากไอซี 7408 ตัว Driver จะส่งสัญญาณไปขับเคลื่อนสเต็ปปิ่งมอเตอร์ให้หมุนเพียงด้านเดียวเท่านั้น ในขณะที่สเต็ปปิ่งมอเตอร์หมุนนั้น ลิเนียไกด์บอลสกรูซึ่งได้ติดตั้งที่ยึดจับเข็มฉีกยาไว้ก็จะเคลื่อนไปด้วยเพราะมีสายพานเชื่อมถึงกัน

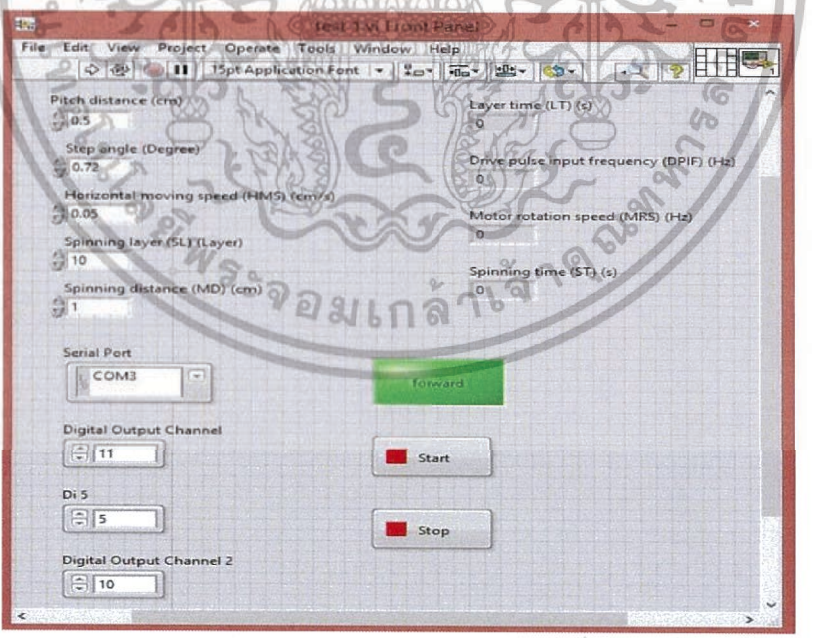
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ภาพรวมของตัวเครื่องที่ติดตั้งตัวเลื่อนเข็ม

3.2.2 การเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการเลื่อนของตัวจับยึดเข็มฉีดยา

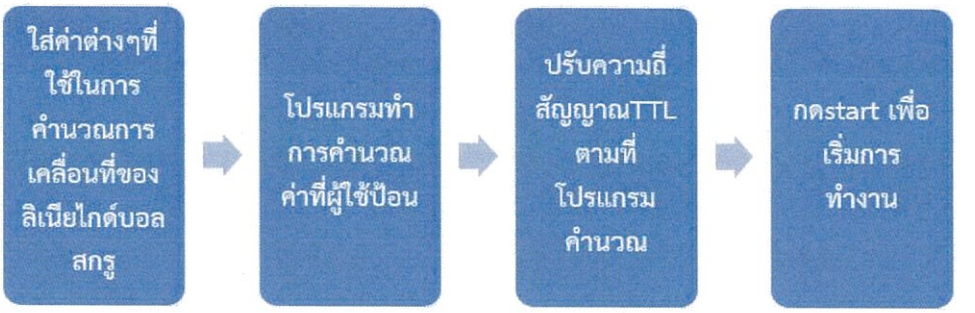
1) ติดตั้งโปรแกรมและ Firmware เพื่อควบคุมบอร์ด Arduino ผ่านโปรแกรม Labview ตามหัวข้อที่ 2.6 โดยจะสร้างโปรแกรมให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าการทำงานได้ เช่น ค่าความเร็วในแนวระนาบ (Horizontal moving speed) จำนวนรอบในการเคลื่อนที่ (Spinning layer) ระยะทางในการเลื่อนเข็ม (Spinning distance) ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 หน้าต่างโปรแกรม LabVIEW ที่สามารถใส่ค่าการทดลองตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เขียนแผนผังเพื่อกำหนดการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ควบคุมชุดเลื่อนเข็มฉีดยา ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ผังแสดงการทำงานของโปรแกรมเพื่อควบคุมชุดเลื่อนเข็มฉีดยา

3) เขียนโปรแกรมควบคุมโดยใช้โปรแกรม Labview กำหนดให้มีการทำงานตามแผนผังในรูปที่ 3.11 และทำการใส่ค่าตามสมการข้างล่างเพื่อให้โปรแกรมคำนวณผลลัพธ์ให้

$$\frac{\text{Spinning layer (SL)} \times \text{Spinning distance (SD)}}{\text{Horizontal moving speed (HMS)}} = \text{Spinning time (ST)} \quad (3.1)$$

$$\frac{\text{Spinning distance (SD)}}{\text{Horizontal moving speed (HMS)}} = \text{Layer time (LT)} \quad (3.2)$$

$$\frac{\text{Horizontal moving speed (HMS)}}{\text{Pitch distance (PD)}} = \text{Motor rotation speed} \quad (3.3)$$

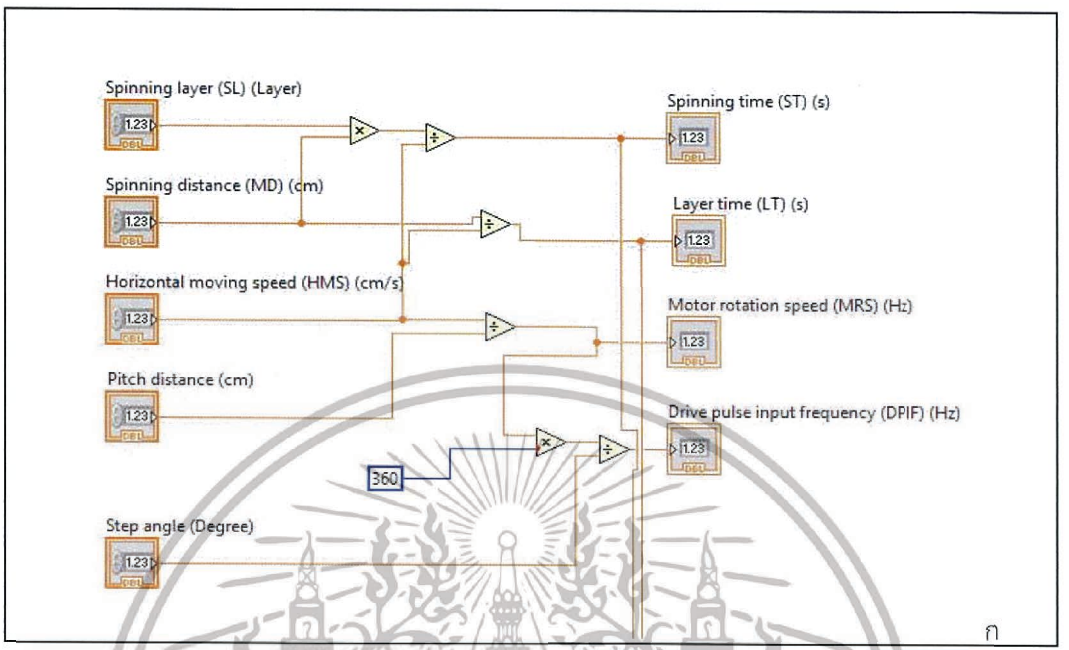
$$\frac{\dfrac{\text{Horizontal moving speed (HMS)}}{\text{Pitch distance (PD)}} \times 360}{\text{Step angle (SA)}} = \text{Drive pulse input frequency (DPIF)} \quad (3.4)$$

โดย

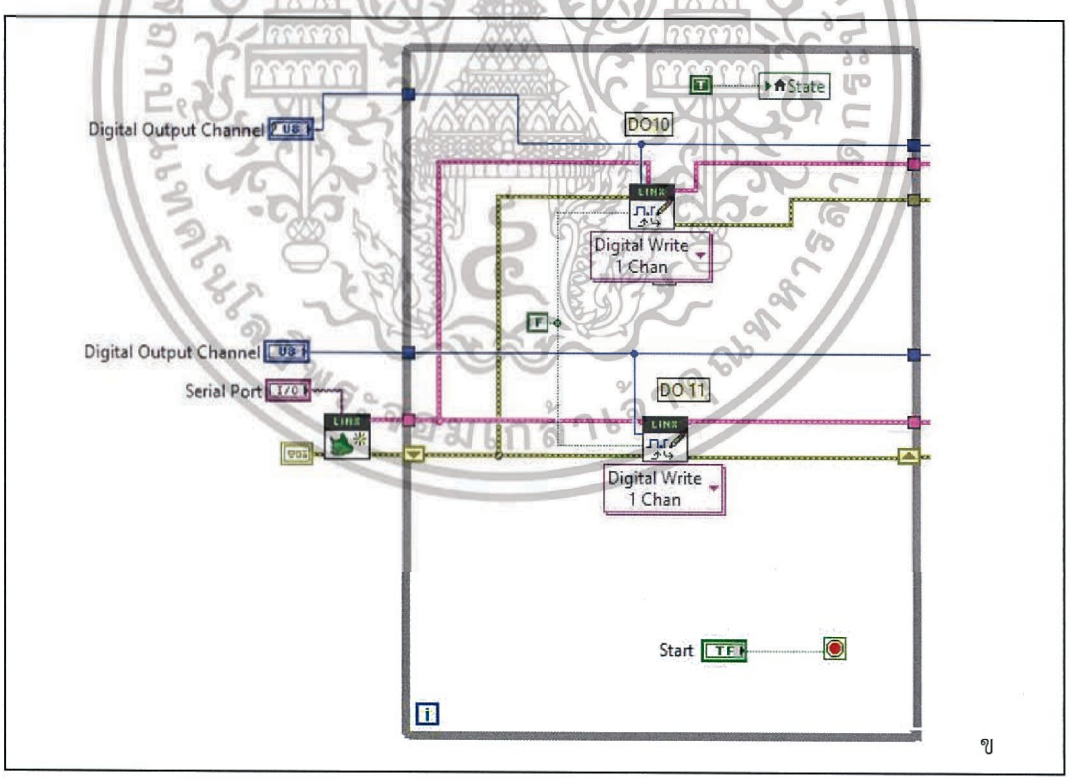
	SL	คือ	จำนวนรอบในการเคลื่อนที่
	SD	คือ	ระยะทางในการเลื่อนเข็ม
	ST	คือ	เวลาในการเคลื่อนที่ทั้งหมด
	HMS	คือ	ความเร็วในแนวระนาบ
	LT	คือ	เวลาในการเคลื่อนที่ 1 Layer
	PD	คือ	ค่าระยะห่างระหว่างเกลียว มีค่าเท่ากับ 0.5 เซนติเมตร
	SA	คือ	มุมในการหมุนของ สเต็ป มอเตอร์ มีค่าเท่ากับ 0.72 องศา
	DP	คือ	ค่าความถี่ขาเข้าที่ต้องใส่ให้กับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เขียนโปรแกรมในส่วนของ Block diagram เพื่อกำหนดการทำงานให้ได้ตามแผนผังในข้อที่ 2 ดังรูปที่ 3.12

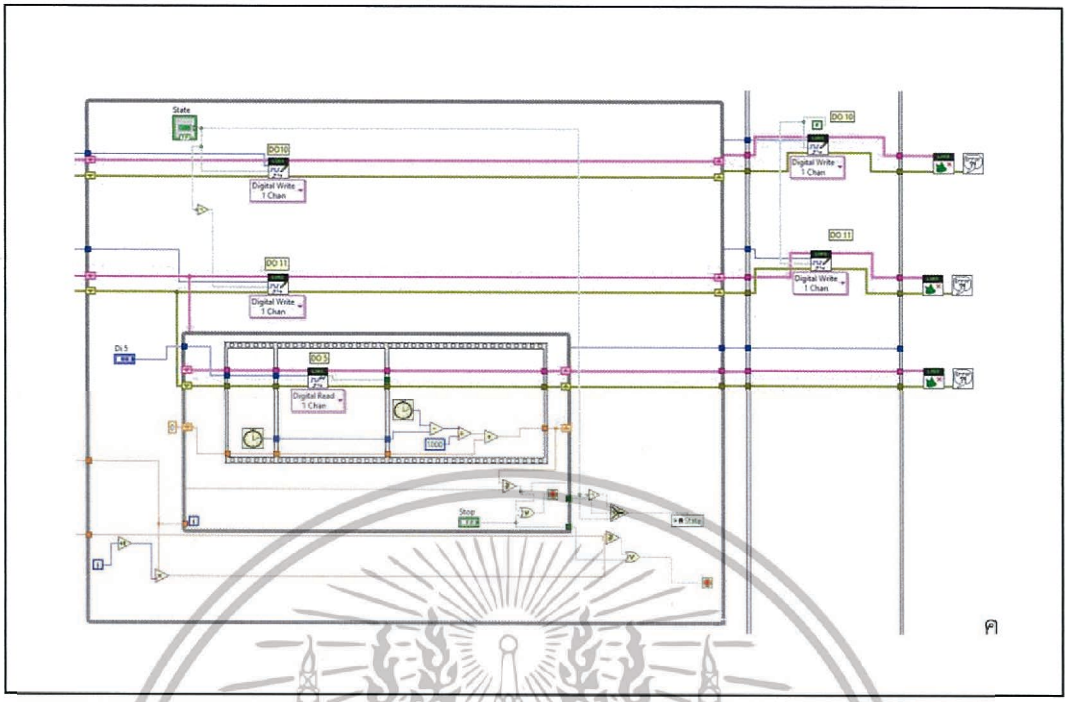


ก



ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 รูป Block diagram ของโปรแกรม LabVIEW ที่ได้เขียนไว้
ก) Block diagram ส่วนของการใส่ค่าการทดลอง
ข) Block diagram ส่วนของการเชื่อมต่อบอร์ด Arduino
ค) Block diagram ส่วนของระบบการทำงานโปรแกรม

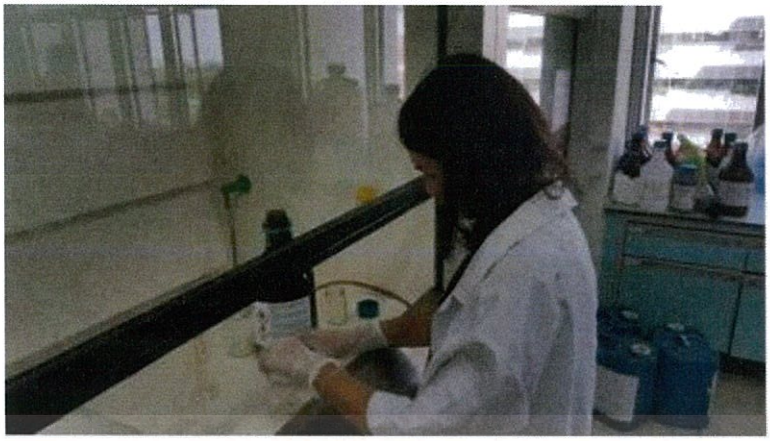
5) ทดสอบการควบคุมการทำงานของชุดเลื่อนเข็มและโปรแกรมที่เขียนขึ้น

3.2.3 การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ P(VDF-HEP)

ในการทดสอบชุดเลื่อนเข็มที่สร้างขึ้นในระบบอิเล็กโทรสปินนิ่งนั้น สารละลายพอลิเมอร์ที่ใช้งานจำเป็นจะต้องมีความหนืดที่เหมาะสม ดังนั้นในโครงงานนี้จึงได้มีการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ P(VDF-HFP) และนำสารละลายนี้ไปทำการอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบสนามไกลเพื่อทดสอบว่าสารละลายมีความหนืดเพียงพอที่จะใช้งานหรือไม่ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) เตรียมสารละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์และอซิโตนเพื่อใช้เป็นตัวทำละลายสำหรับผง P(VDF-HEP) อัตราส่วนของ DMSO ต่ออะซิโตนเป็น 1 : 1 โดยน้ำหนัก
2) ทำความสะอาดภาชนะสำหรับทำการกวนสารให้สะอาดและนำเข้าตู้อบภาชนะเผื่อนำภาชนะมาใส่สารที่เตรียมไว้เพื่อใส่สารทำการกวนสาร ดังรูป 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



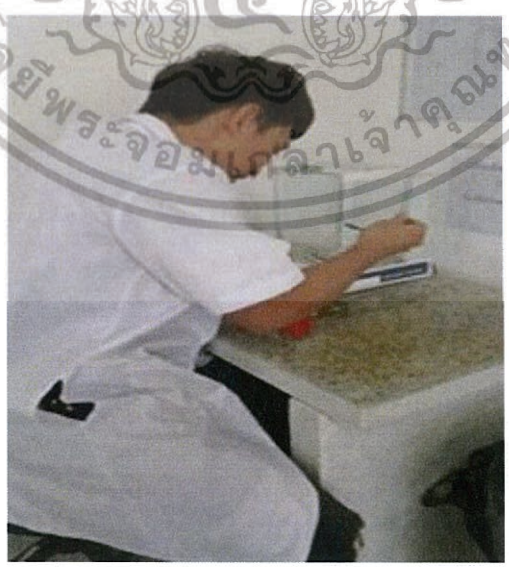
รูปที่ 3.13 ทำความสะอาดภาชนะด้วยอะซิโตน

3) ชั่งสารให้ได้อัตราส่วนตามตารางที่ 3.1 เพื่อให้ได้สารที่มีความเข้มข้นตามที่กำหนดไว้ข้างต้น ไว้สำหรับทำการฉีดกับเครื่องอิเล็กโทรสปินนิ่ง เนื่องจากเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่มีคุณสมบัติไพอิโซอิเล็กทริกจากงานวิจัยของ Z.H. Liu et al [3] ดังรูป 3.14

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนของผงพอลิเมอร์ อะซิโตน และ DMSO

P(VDF-HEP) POWDER		SOLVENT (DMSO:ACETONE)	
WEIGHT PERCENTAGE (wt%)	WEIGHT (g)	DMSO (g)	ACETONE (g)
18	0.9	2.5	2.5

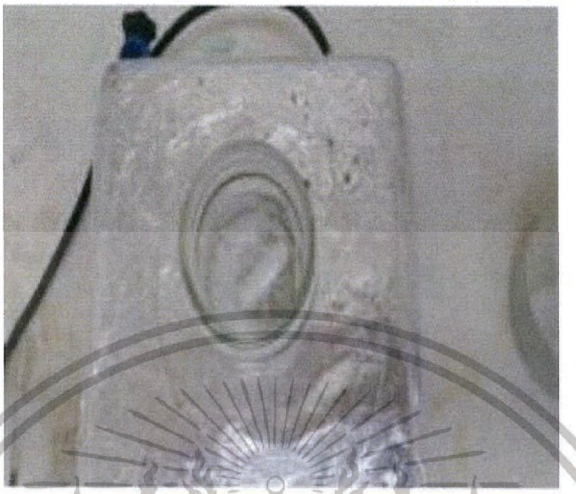
(ที่มา Z.H. Liu et al. / Sensors and Actuators A 193 (2013) 13– 24)



รูปที่ 3.14 ทำการชั่งสารตามที่ได้คำนวณไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ผสมสารทั้ง 3 ชนิดลงในบีกเกอร์ และใช้กระบอกตวงให้ได้ปริมาตรตามที่กำหนด
5) เมื่อผสมสารเรียบร้อยแล้วให้นำสารใส่ภาชนะ จากนั้นนำไปวางบน Stirrer และใช้แท่งแม่เหล็กคนสาร ดังรูป 3.15



รูปที่ 3.15 วางบีกเกอร์ที่มีสารละลายไว้บน stirrer

6) นำฝาปิดมาปิดบนภาชนะเพื่อไม่ให้สารละเหยขณะกวนสาร รอประมาณ 3 ชั่วโมงครึ่ง ดังรูป 3.16

รูปที่ 3.16 การใช้แท่งแม่เหล็กกวนสารละลายพอลิเมอร์

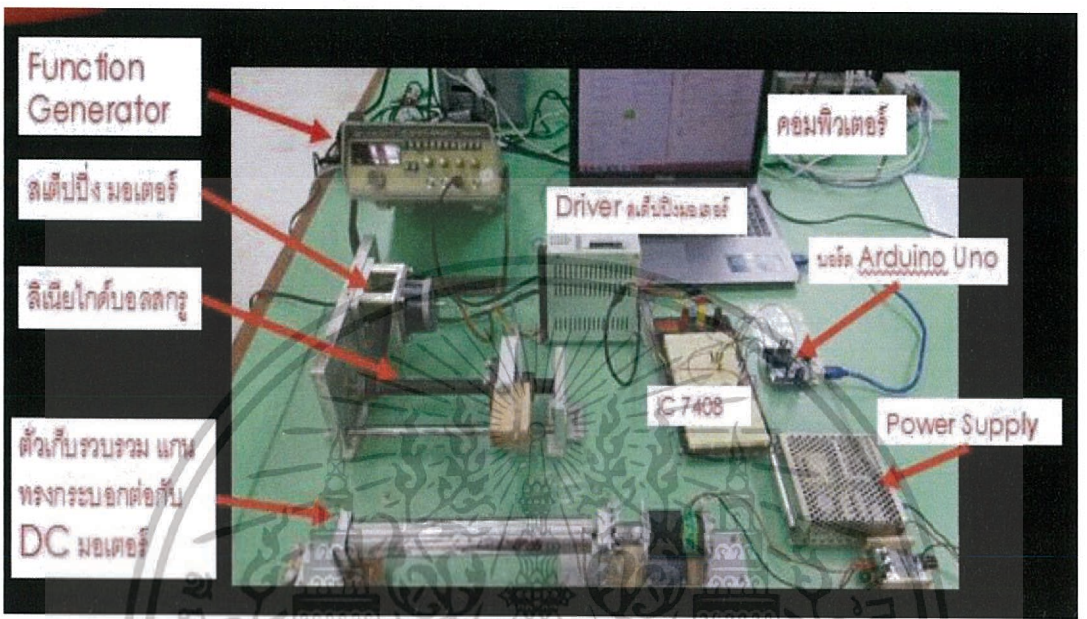
7) เมื่อครบ 3 ชั่วโมงครึ่ง นำสารละลายที่ได้มาปิดฝาและพันด้วยพาราฟิล์มเพื่อไม่ให้สารละเหย
8) นำสารละลายพอลิเมอร์ที่ได้ไปใช้ในการทดลองอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบสนามไกลทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การทดสอบการปั่นเส้นใยด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบเลื่อนเข็ม

การทดสอบการสร้างเส้นใยพอลิเมอร์ขนาดนาโนโดยวิธีการปั่นด้วยไฟฟ้าหรืออิเล็กโทรสปินนิ่งชนิดแบบเลื่อนเข็มที่ได้ออกแบบไว้

1) ทำการเตรียมเครื่องอิเล็กโทรสปินนิ่งที่ประกอบชุดเลื่อนเข็มเข้ากับตัวเครื่อง ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 การตั้งค่าอุปกรณ์ในการทำอิเล็กโทรสปินนิ่ง

2) ทำการติดตั้งส่วนหัวเข็มฉีดยาและสายยางเข้ากับชุดเลื่อนโดยต่อไปยังเข็มฉีดยาที่ติดตั้งไว้บนไซริ้งค์ปั๊ม
3) ทำการใส่ค่าการทดลองตามที่ผู้ทดลองต้องการเข้าไปในโปรแกรมเพื่อให้โปรแกรมคำนวณค่าผลลัพธ์ออกมา
4) ใส่ค่าความถี่ที่โปรแกรมคำนวณให้ใส่ใน Function Generator เพื่อให้เครื่องจ่าย สัญญาณดิจิตอลให้กับตัว Driver และกดรันโปรแกรม
5) เปิดการทำงานในส่วนของชุดเลื่อนปลายเข็มและตัวเก็บรวบรวม
6) ทดลองการทำอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบเลื่อนปลายเข็ม

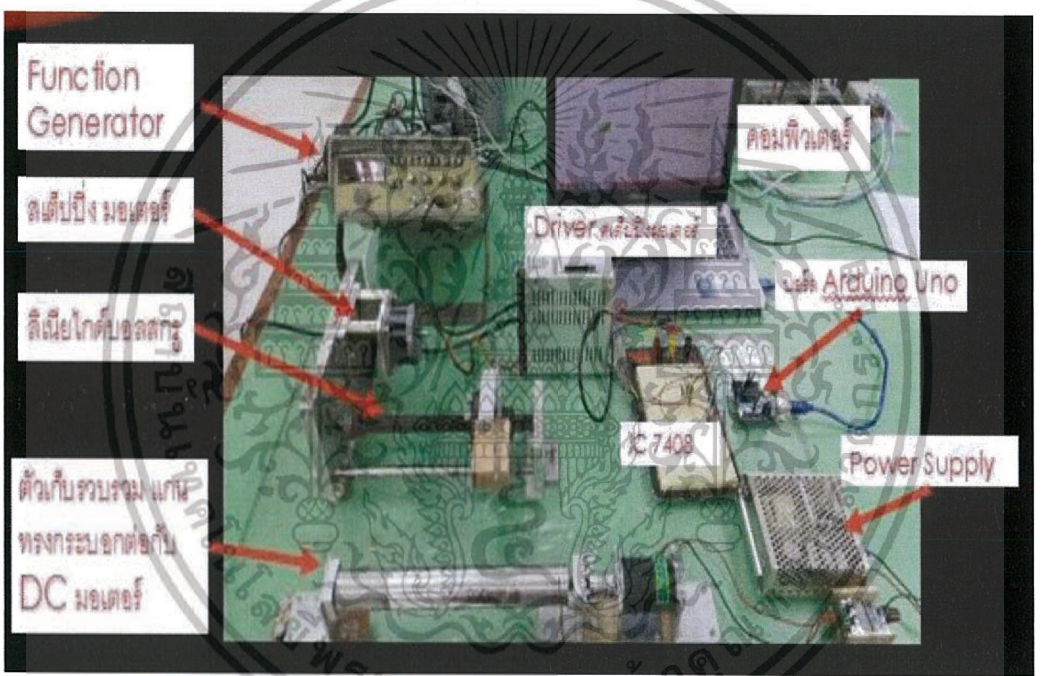
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลการประกอบเครื่องและการเขียนโปรแกรม

4.1.1 การประกอบเครื่องอิเล็กโทรสปินนิ่ง

ได้เครื่องอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบเลื่อนเข็มตามที่ได้ออกแบบไว้โดยจะแบ่งเป็นสองส่วนหลักๆ คือส่วนแรกเป็นส่วนของปลายเข็มฉีดยาที่จะถูกจับยึดไว้บนลิเนียร์ไกด์แบบบอลสกรู (ระยะห่างระหว่างเกลียว 5 มิลลิเมตร ยาว 27 เซนติเมตร) โดยการนำแท่งไม้หนามาตัดและทำเป็นตัวจับยึดปลายเข็ม โดยลิเนียร์ไกด์แบบบอลสกรูจะถูกทำให้เคลื่อนที่โดยมีโปรแกรม LabVIEW เป็นตัวสั่งการการเคลื่อนที่



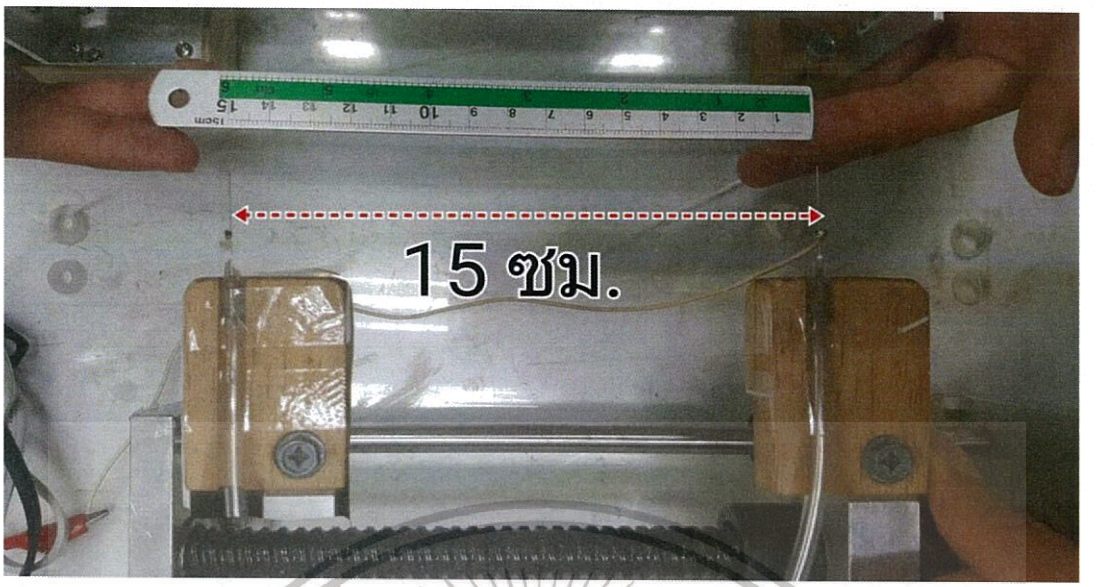
รูปที่ 4.1 ตัวเครื่องที่ประกอบชุดเลื่อนปลายเข็ม

4.1.2 ผลการทดสอบการทำงานของชุดเลื่อนเข็มฉีดยา

1) ระยะที่ชุดเลื่อนเข็มสามารถใช้การได้

จากการทดสอบเลื่อนชุดเลื่อนเข็มฉีดยาผลที่ได้คือระยะในการเลื่อนทั้งหมดที่ชุดเลื่อนเข็มจะสามารถเลื่อนทำงานได้คือ 15 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ระยะสูงสุดที่ชุดเลื่อนเข็มสามารถเคลื่อนที่ได้

2) ความเร็วในการเลื่อนของชุดเลื่อนเข็ม

ทำการศึกษาค่าความเร็วที่ชุดเลื่อนเข็มสามารถเลื่อนได้ ได้ผลว่าสามารถเลื่อนได้ตั้งแต่ 0.01 เซนติเมตรต่อวินาทีจนถึง 9 เซนติเมตรต่อวินาที เนื่องจากเมื่อเรากำหนดความเร็วมีค่ามากกว่า 9 เซนติเมตรต่อวินาที จะทำให้การเคลื่อนที่ของชุดเลื่อนเข็มเกิดการสั่น เคลื่อนที่ไม่ต่อเนื่อง

3) ทดสอบระยะการเลื่อนของชุดเลื่อนเข็ม

ทำการทดสอบระยะในการเคลื่อนที่ของชุดเลื่อนเข็มด้วยความเร็ว 1, 3, 5, 7, 9 เซนติเมตรต่อวินาที โดยทำการเลื่อนเป็นระยะทาง 2, 4, 6, 8, 10 เซนติเมตร ตามลำดับ แสดงผลที่ได้ดังตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละระยะทาง

ระยะทาง (เซนติเมตร)	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ระยะทางเฉลี่ย (เซนติเมตร)	ค่าเบี่ยงเบน (σ)
2	2.11	2.13	2.10	2.11	0.0158
4	4.12	4.11	4.12	4.11	0.0158
6	6.12	6.13	6.11	6.12	0.0100
8	8.12	8.13	8.12	8.12	0.0070
10	10.12	10.14	10.11	10.12	0.0158

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 3 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละระยะทาง

ระยะทาง (เซนติเมตร)	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ระยะทางเฉลี่ย (เซนติเมตร)	ค่าเบี่ยงเบน (σ)
2	2.13	2.15	2.13	2.13	0.0141
4	4.12	4.12	4.11	4.11	0.0100
6	6.13	6.11	6.13	6.12	0.0122
8	8.11	8.13	8.13	8.12	0.0122
10	10.13	10.16	10.14	10.14	0.0158

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละระยะทาง

ระยะทาง (เซนติเมตร)	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ระยะทางเฉลี่ย (เซนติเมตร)	ค่าเบี่ยงเบน (σ)
2	2.12	2.13	2.11	2.12	0.0100
4	4.16	4.15	4.18	4.16	0.0158
6	6.13	6.14	6.13	6.13	0.0070
8	8.11	8.12	8.11	8.11	0.0070
10	10.12	10.16	10.13	10.13	0.0223

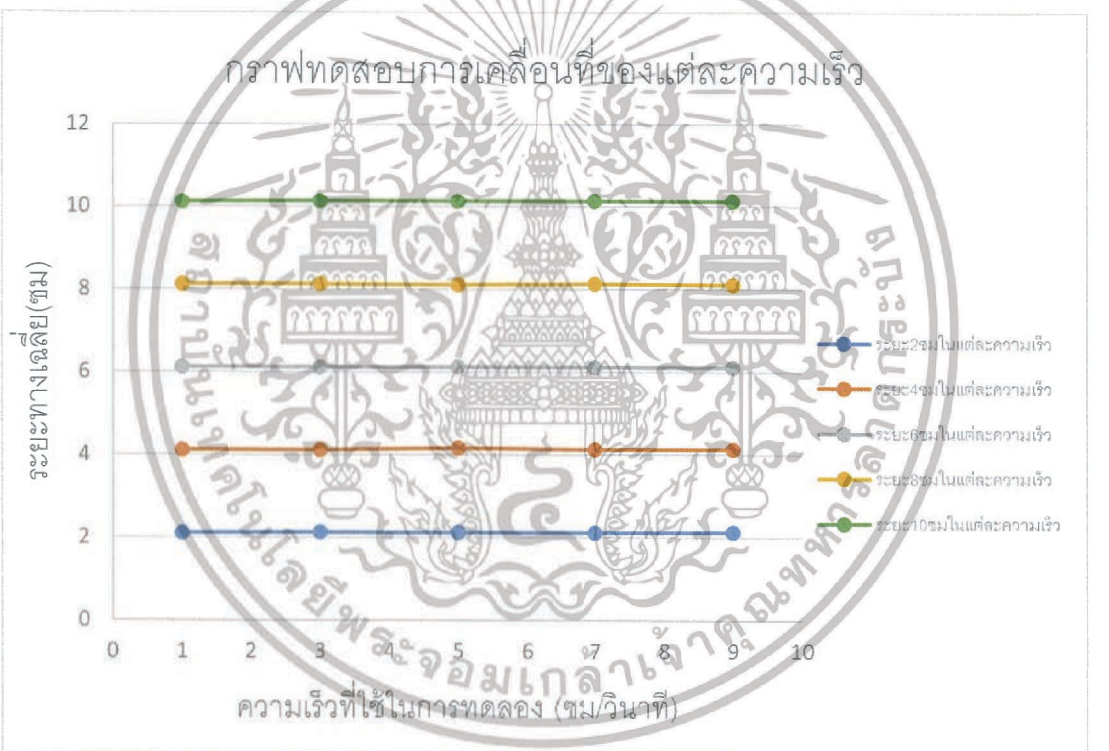
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 7 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละระยะทาง

ระยะทาง (เซนติเมตร)	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ระยะทางเฉลี่ย (เซนติเมตร)	ค่าเบี่ยงเบน (σ)
2	2.12	2.11	2.12	2.11	0.0100
4	4.11	4.13	4.16	4.13	0.0255
6	6.15	6.12	6.13	6.13	0.0158
8	8.14	8.11	8.15	8.13	0.0212
10	10.15	10.13	10.13	10.13	0.0141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงผลการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 9 เซนติเมตรต่อวินาทีในแต่ละระยะทาง

ระยะทาง (เซนติเมตร)	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ระยะทางเฉลี่ย (เซนติเมตร)	ค่าเบี่ยงเบน (σ)
2	2.13	2.14	2.13	2.13	0.0070
4	4.15	4.12	4.12	4.13	0.0173
6	6.12	6.11	6.11	6.11	0.0070
8	8.11	8.11	8.12	8.11	0.0070
10	10.15	10.12	10.14	10.13	0.0173



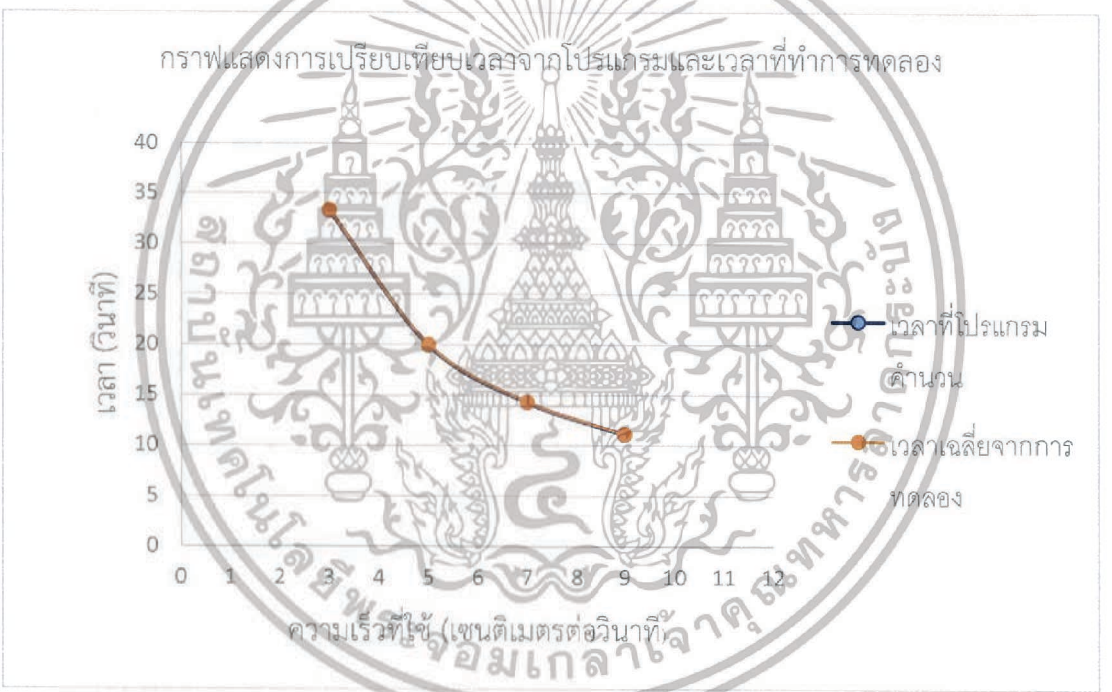
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระยะทางกับความเร็วในการเคลื่อนที่

4) ทดลองเปรียบเทียบเวลาที่ได้จากการทดลองกับเวลาที่โปรแกรมคำนวณ
ทำการทดลองเปรียบเทียบเวลาระหว่างเวลาที่โปรแกรมคำนวณกับเวลาที่ได้จากการทดลอง โดยใช้ความเร็ว 3, 5, 7 และ9 เซนติเมตรต่อวินาที ทำการทดลอง 3 ครั้ง ได้ผลดังตารางที่ 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 และรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตารางเปรียบเทียบระหว่างเวลาที่โปรแกรมคำนวณกับเวลาที่ได้จากการทดลองโดยกำหนดค่าความเร็วอยู่ที่ 3, 5, 7, 9 เซนติเมตรต่อวินาที ระทาง 10 เซนติเมตร จำนวน 10 รอบ

เวลาการทำงานที่โปรแกรมคำนวณให้ (วินาที)	เวลาในการทดลองครั้งที่ 1 (วินาที)	เวลาในการทดลองครั้งที่ 2 (วินาที)	เวลาในการทดลองครั้งที่ 3 (วินาที)	เวลาในการทดลองเฉลี่ย (วินาที)	ค่าเบี่ยงเบน (σ)
33.33	33.36	33.31	33.38	33.35	0.0435
20	20.02	20.04	20.05	20.03	0.0474
14.28	14.31	14.3	14.35	14.32	0.0556
11.11	11.14	11.12	11.15	11.13	0.0360



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ได้จากโปรแกรมคำนวณกับเวลาการทดลองจริงเฉลี่ย

4.1.3 การเตรียมสารละลายที่ใช้ในกระบวนการอิเล็กโทรสปินนิ่ง

ได้สารละลายพอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์-เฮกซะฟลูออโรโพรพิลีนโคพอลิเมอร์ที่มีความเข้มข้น 18% โดยมีอัตราส่วนของ DMSO กับอะซิโตนที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในกระบวนการอิเล็กโทรสปินนิ่งได้จริง และ สามารถผลิตเส้นยพอลิเมอร์ออกมาได้มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อน จัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 เส้นใยที่ได้จากการทำอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบทั่วไป

4.2 ผลจากการทำอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบเลื่อนเข็ม

การทำอิเล็กโทรสปินนิงแบบเลื่อนปลายเข็มยังไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพตามที่วัตถุประสงค์กำหนดไว้ เมื่อทำอิเล็กโทรสปินนิ่งด้วยชุดเลื่อนเข็มฉีดยาที่ได้ประกอบขึ้นจะพบว่าระบบเกิดการผิดพลาดเนื่องจากมีสนามไฟฟ้าเข้ามารบกวนคำสั่งของโปรแกรมที่เราเขียนไว้ จึงทำให้การทดลองเกิดความผิดพลาด และส่งผลให้การเคลื่อนที่ของชุดเลื่อนเข็มไม่เป็นไปตามที่เราต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและขอเสนอแนะ

5.1 ผลที่ได้จากการทำโครงงาน

จากการดำเนินการวิจัยการพัฒนาชุดเลื่อนปลายเข็มด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิ่ง โดยได้มีการออกแบบ จัดหา จัดซื้อ ประกอบเครื่องมือ และทดสอบนั้นสามารถสรุปดังนี้

5.1.1 คณะผู้วิจัยได้ชุดเลื่อนปลายเข็ม สำหรับใช้ในกระบวนการทำอิเล็กโทรสปินนิ่งตามแบบที่ออกแบบไว้โดยสามารถควบคุมการทำงานผ่านโปรแกรม LabVIEW ที่เขียนขึ้นได้ ชุดเลื่อนปลายเข็มที่สร้างขึ้นจะปรกอบไปด้วยส่วนสำคัญต่าง ๆ คือ ลิเนียไกด์บอลสกรู สายพาน สเต็ปปิงมอเตอร์ ชุดขับ สเต็ปปิงมอเตอร์หรือไดรเวอร์ บอร์ดอาร์ดูโน หม้อแปลงไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ และโปรแกรม LabVIEW

5.1.2 โปรแกรม LabVIEW ที่เขียนขึ้นสามารถควบคุมให้ลิเนียไกด์บอลสกรูซึ่งมีปลายเข็มติดอยู่เคลื่อนที่ได้จริง ถูกต้อง และแม่นยำ โดยผู้ใช้งานสามารถกำหนด ระยะในการเลื่อนปลายเข็มได้สูงสุด 15 เซนติเมตร และความเร็วมากสุดในการเลื่อนปลายเข็มคือ 9 เซนติเมตรต่อวินาที โดยผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการควบคุมระยะทางการเลื่อนปลายเข็มมีค่าน้อยกว่า 0.25 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่ามีค่าน้อยมาก

5.1.3 คณะผู้วิจัยได้ทดสอบชุดเลื่อนเข็มแล้วพบว่า เมื่อความเร็วในการเลื่อนเข็มเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการทำงานของชุดเลื่อนเข็มมีค่าลดลงเป็นความสัมพันธ์แบบไฮเพอร์โบลา โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาในการทำงานของชุดเลื่อนเข็มมีค่าไม่เกิน 0.06 วินาที ซึ่งเป็นค่าที่น้อยมากและยอมรับได้

5.1.4 สารละลายพอลิเมอร์ที่ได้เตรียมขึ้นด้วยความเข้ม 18 % โดยน้ำหนัก สามารถนำไปใช้ในการทำอิเล็กโทรสปินนิ่งแบบสนามไกลทั่วไปและสามารถผลิตเส้นใยพอลิเมอร์ได้จริง

5.1.4 ผลการทดสอบการใช้งานชุดเลื่อนเข็มสำหรับกระบวนการอิเล็กโทรสปินนิ่งพบว่า ยังต้องมีการปรับปรุงในส่วนของระบบไฟฟ้า เนื่องจากชุดเลื่อนเข็มเกิดการสั่นวงจร และเกิดการรบกวนการทำงานของระบบเมื่อมีการจ่ายสนามไฟฟ้าสูง ๆ

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 ผู้ทำการทดลองยังขาดความรู้ความเข้าใจเรื่องวัสดุพอลิเมอร์

5.2.2 ผู้ทำการทดลองไม่มีความพร้อมทางด้านอุปกรณ์ และเครื่องมือการทำงาน

5.2.3 ในส่วนของชิ้นงานผู้ทำการทดลองได้ใช้โลหะเป็นฐานเมื่อมีการจ่ายศักย์ไฟฟ้าสูงทำให้เกิดการนำไฟฟ้าอาจจะส่งผลให้เกิดการผิดพลาดของโปรแกรมที่เขียนไว้

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

5.3.1 ผู้ทำการทดลองอาจจะต้องทำการเปลี่ยนฐานโลหะเป็นวัสดุที่เป็นฉนวนเพื่อป้องกันการนำไฟฟ้าของศักย์ไฟฟ้าสูง

5.3.2 อาจจะมีการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องให้ดีขึ้น

5.3.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกระบวนการทำงานอื่นๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] [Online].Available: http://www.slri.or.th/a/details.php?id=4053.

[2] Z.H.Liu, C.T.Pan, L.W.Lin, J.C.Huang and Z.Y Ou .2014.Directwrite PVDF nonwoven fiber fabric energy harvesters via the hollow cylindrical nearfield electrospinning process. **Smart Materials and Structures.** 23: 025003.

[3] Z.H. Liu,C.T. Pan,L.W. Lin, H.W. Lai .2013. Piezoelectric properties of PVDF/MWCNT nanofiber using near-field electrospinning. **Sensors and Actuators** A.193 :13–24.

[4] [Online].Available: http://www.thaiio.com/Hardware/stepmoter.htm

[5] M.Schwartz, O.Manickum .2015. Programming Arduino with LabVIEW. **Community Experience Distilled.**

[6] [Online].Available:http://www.chanthaburi.buu.ac.th/~physics/documents/%E1%BA%BA%BD%D6%A1/%A1%D2%C3%C7%D1%B4%20%E0%C5%A2%B9%D1%C2%CA%D3%A4%D1%AD.pdf.

[7] [Online].Available:http://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/aldrich/427187?lang=en&region=TH.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

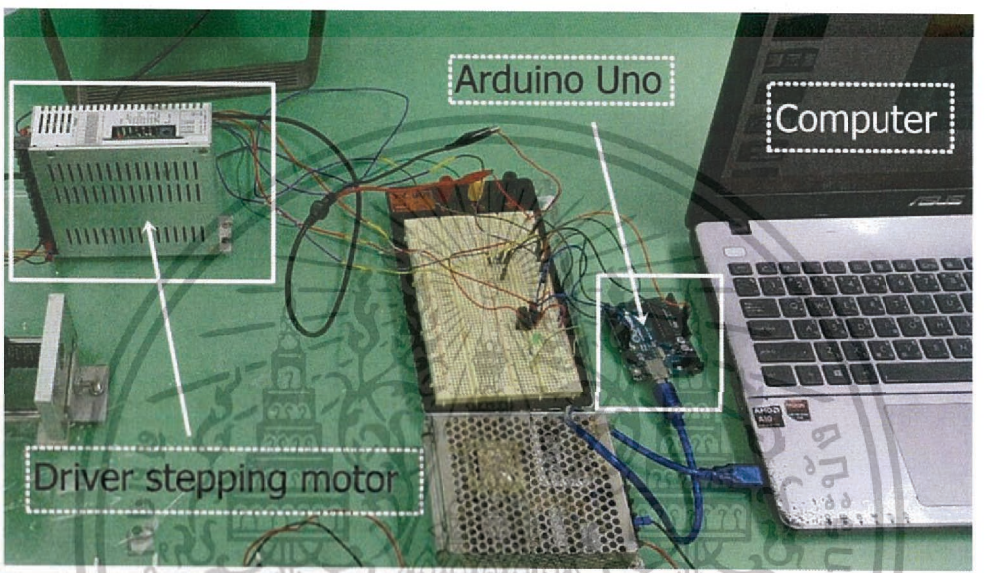
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
การใช้ชุดเลื่อนเข็มสำหรับกระบวนการอิเล็กโทรสปินนิ่ง

ขั้นตอนดังนี้

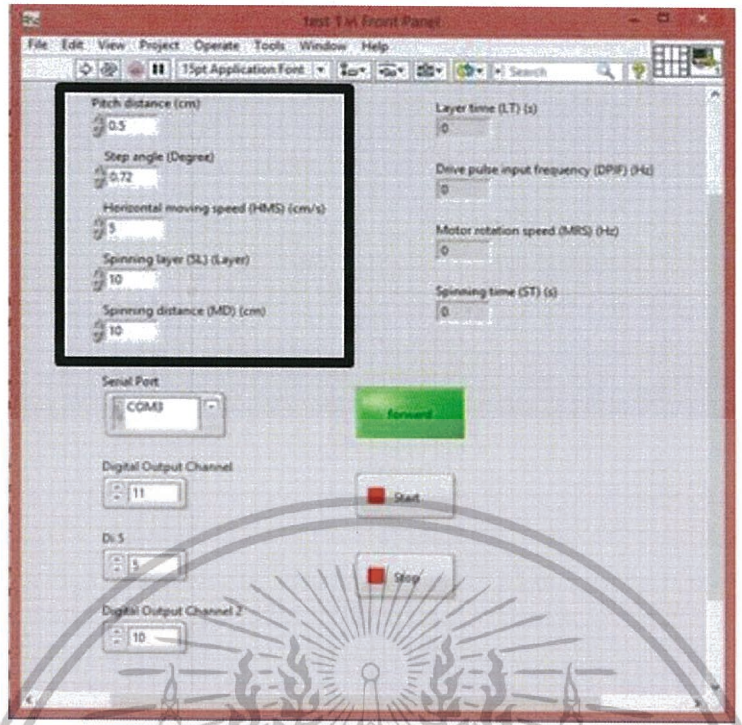
1. ทำการเชื่อมต่อบอร์ด Arduino Uno เข้ากับส่วนของคอมพิวเตอร์และ Driver stepping motor แสดงดังรูป ก.1



รูปที่ ก.1 แสดงการเชื่อมต่อของบอร์ด Arduino

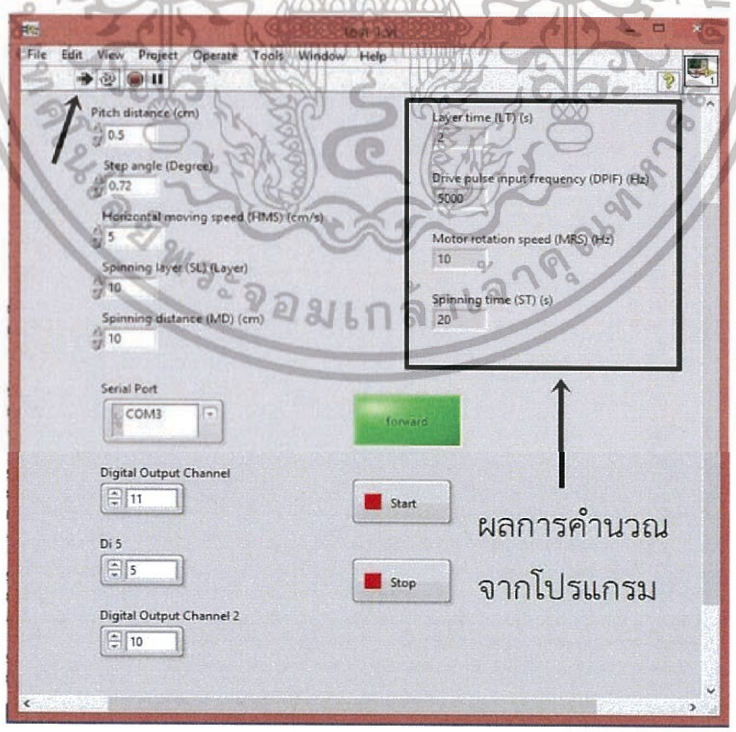
2. เปิดโปรแกรม NI LabVIEW ที่ได้เขียนโปรแกรมคำสั่งไว้แล้ว
3. ใส่ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับทำการทดสอบ แสดงดังรูป ก.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.2 แสดงตัวอย่างการใส่ค่าพารามิเตอร์

4. กด Run โปรแกรมเพื่อให้โปรแกรมคำนวณค่า แสดงดังรูป ก.3

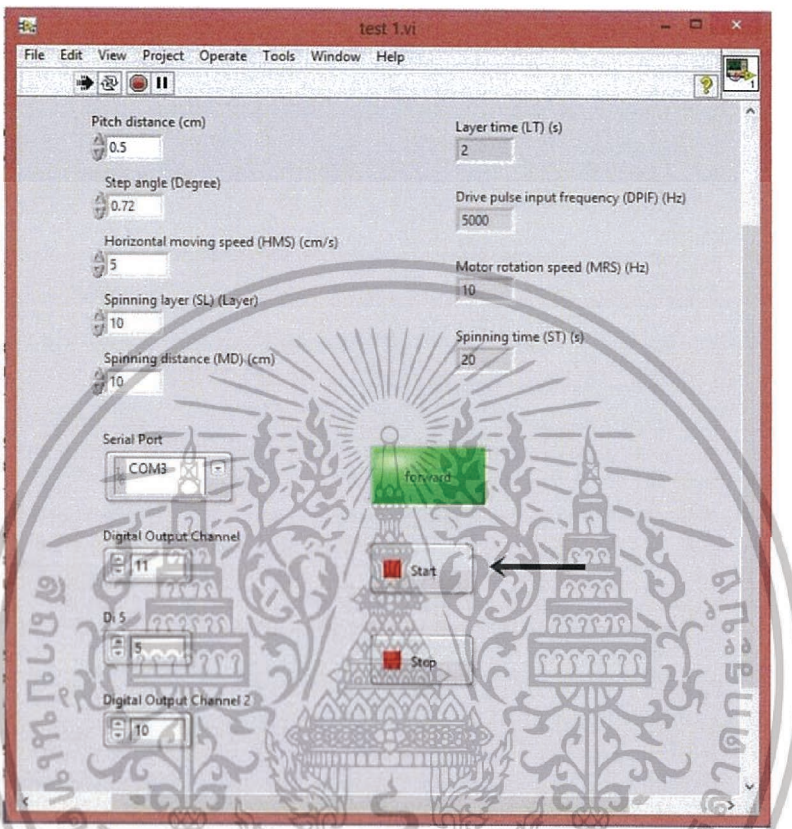


รูปที่ ก.3 แสดงผลการคำนวนจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ใส่ค่าความถี่ (Drive pulse input frequency) ที่ได้จากโปรแกรมคำนวณให้กับเครื่องกำเนิดสัญญาณดิจิตอล (Function generator) เพื่อให้เครื่องกำเนิดสัญญาณจ่ายสัญญาณดิจิตอลให้กับ Driver stepping motor

6. กด Start เพื่อสั่งการให้ชุดเลื่อนเข็มทำการเคลื่อนที่ตามที่เราคำนวณไว้ แสดงดังรูป ก.4



รูปที่ ก.4 แสดงชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้