

### บทที่ 3

#### วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของสารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง เพื่อเตรียมสารละลายพอลิเมอร์และผลิตเป็นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โพลีคาร์โบรแลคโตน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน (PPB) พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต รวมถึงขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์ชิ้นงาน ได้แก่ การศึกษาสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่จะนำมาผลิตเป็นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โพลีคาร์โบรแลคโตน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ คอมพอสิต การศึกษาพันธะและหมู่ฟังก์ชันของสารละลายพอลิเมอร์ รวมทั้งศึกษาลักษณะทางกายภาพ สันฐานวิทยา ปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โพลีคาร์โบรแลคโตน การทดสอบเชิงกล การศึกษาเฟสองค์ประกอบทางเคมีและการทดสอบคุณสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรีย

#### 3.1 อุปกรณ์การทดลอง

ตาราง 3.1 แสดงอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์และเครื่องมือ	ผู้ผลิต	รุ่น
เครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง (High voltage power supply)	-	-
อุปกรณ์การรองรับ (Collector)	-	-
ขวดหยดชนิดสาร	-	-
หลอดฉีดยา (Syringe)	-	-
เข็มฉีดยาสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 และ 0.6 มิลลิเมตร	-	-
ขวดดูแรน (Duran bottles)	-	-
แท่งกวนสาร (Magnetic stirrer)	-	-
เตาไฟฟ้าให้ความร้อน (Hot plate)	-	-
ชิ้นตัดสารเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel)	-	-
ฟอยล์อะลูมิเนียม (Aluminium foil)	-	-

ตาราง 3.1 (ต่อ)

อุปกรณ์และเครื่องมือ	ผู้ผลิต	รุ่น
เทปกาวสองหน้า	-	-
กรรไกร	-	-
ถุงซิป	-	-
เครื่องชั่งดิจิทัล (ความละเอียด 0.0001 กรัม)	AND	HM-300
เครื่องเจาะ	-	-
ไม้บรรทัด	-	-
มีดคัตเตอร์	-	-
กระบอกตวง	-	-
กระดาษกรอง เบอร์ 1	-	-
ผ้าซิป เบอร์ 99	-	-
บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร	-	-
กระดาษลิตมัส	-	-
เครื่องวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้า	-	-
โถดูดความชื้น (Desiccators)	-	-
เวอร์เนียคาลิเปอร์	-	-
แท่งทองเหลือง (Stub)	-	-
เทปคาร์บอน (Carbon tape)	-	-
ขวดบีบสำหรับใส่อะซิโตน	-	-
Universal tensile machine	Instron	-
เครื่องกำเนิดรังสีเอ็กซ์	-	-
กล้องส่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy : SEM) ชนิด HV	JEOL	JSM 6335F
เครื่อง sputtering	JEOL	JFC-1100E
จานเพาะเชื้อ	-	-

### 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตาราง 3.2 แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสารเคมี	ผู้ผลิต	มวลโมเลกุล (g/mol)
พอลิคาร์โพรแลคโตน (Polycaprolactone :PCL)	Aldrich	130000
พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol :PVA)	Fluka	80000
อะซีโตน (Acetone)	Lab scan	-
น้ำกลั่นไร้ประจุ (Deionized water)	-	-
ดอกอัญชันสด (Butterfly pea)	-	-

### 3.3 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลองจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนหลัก คือ ขั้นตอนการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ตั้งต้น และ ขั้นตอนการผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ โดยขั้นตอนการผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์จะแบ่งย่อยเป็น 2 ขั้นตอน คือ หนึ่ง ขั้นตอนการผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์จากสารพอลิเมอร์ตั้งต้น ได้แก่ เส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิคาร์โพรแลคโตน เส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน สอง ขั้นตอนการผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ที่ได้จากการนำสารพอลิเมอร์ตั้งต้นสองชนิดมาคิดร่วมกัน ได้แก่ เส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ PP และ PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

#### 3.3.1 การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ เป็นการเตรียมสารละลายที่ได้จากพอลิเมอร์ตั้งต้น 3 ชนิด คือ พอลิคาร์โพรแลคโตน (PCL) พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน (PVAB) ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดต่อไป

##### 3.3.1.1 การเตรียมสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโตน (PCL solution)

การเตรียมสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโตน สามารถเตรียมได้โดยนำพอลิคาร์โพรแลคโตนมาละลายในตัวทำละลายอะซีโตน ที่ความเข้มข้น 5 7 9 และ 11 %wt ตามลำดับ โดยใช้แท่งกวนสาร กวนตัวทำละลายและพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เพื่อให้พอลิเมอร์ละลายในตัวทำละลายอย่างสมบูรณ์ จากนั้นพักสารไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อที่จะนำไปทดสอบสภาพการนำไฟฟ้าและนำไปผลิตเป็นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โตรสปีนพอลิคาร์โพรแลคโตน

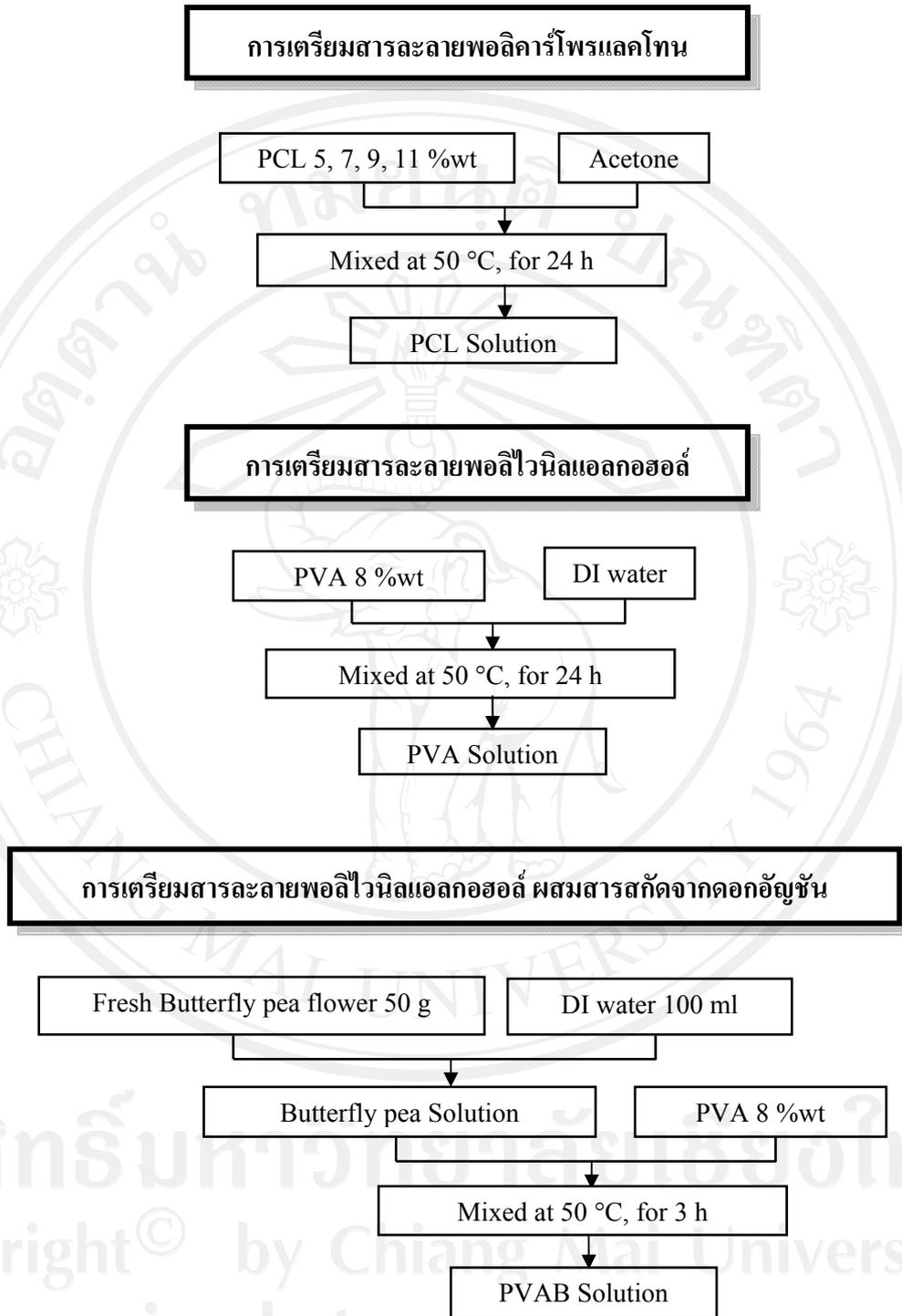
### 3.3.1.2 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA solution)

การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ สามารถเตรียมได้โดยนำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มาละลายในน้ำกลั่นไร้ประจุ ที่ความเข้มข้น 8 %wt โดยใช้แท่งกวนสาร กวนตัวทำละลายและพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้พอลิเมอร์ละลายในตัวทำละลายอย่างสมบูรณ์ จากนั้นพักสารไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อที่จะนำไปทดสอบสภาพการนำไฟฟ้าและนำไปผลิตเป็นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โตรสปีนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

### 3.3.1.3 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน (PVAB solution)

ขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมสารสกัดจากดอกอัญชัน โดยนำดอกอัญชันสด จำนวน 50 กรัม มาแช่ในน้ำกลั่นไร้ประจุ ปริมาณ 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นคั้นเอาน้ำดอกอัญชันสดโดยการกรองหยาบด้วยผ้าตาข่ายที่มีความละเอียดสูงเบอร์ 79 จากนั้นกรองละเอียดด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เมื่อนำน้ำสกัดดอกอัญชันแล้ว นำพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ปริมาณ 8 % wt มาละลายในน้ำดอกอัญชันสด โดยใช้แท่งกวนสาร กวนสารที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นหยุดให้ความร้อนแก่สารละลาย แต่ยังคงกวนสารละลายต่อไป เพื่อให้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ละลายในสารสกัดจากดอกอัญชันอย่างสมบูรณ์ จากนั้นพักสารไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อที่จะนำไปทดสอบสภาพการนำไฟฟ้า และผลิตเป็นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โตรสปีนพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน

โดยขั้นตอนการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์แสดงไว้ดังรูปที่ 3.1



รูป 3.1 แสดงขั้นตอนการเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ

### 3.3.2 การผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์

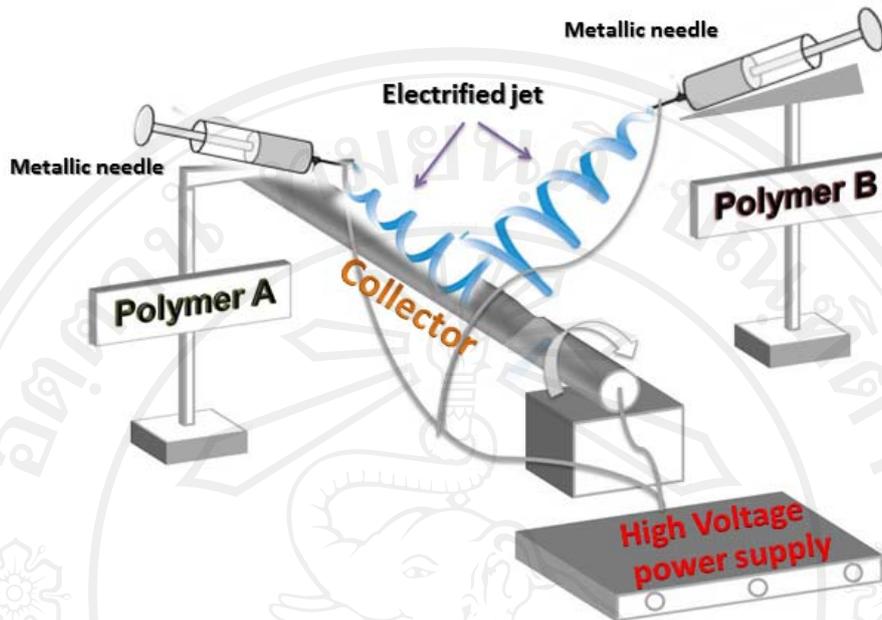
การผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์จะแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ หนึ่ง ขั้นตอนการผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ จากสารละลายพอลิเมอร์ตั้งต้นแต่ละชนิด ได้แก่ เส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิคาร์โพรแลคโตน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน สอง ขั้นตอนการผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์คอมพอสิต ได้แก่ เส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิคาร์โพรแลคโตน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (PP) พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต และเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิคาร์โพรแลคโตน/พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน (PPB) พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต เพื่อนำเส้นใยที่ได้มาศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านต่างๆ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

#### 3.3.2.1 การผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์

ในขั้นตอนนี้จะผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ 3 ชนิด คือ เส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิคาร์โพรแลคโตน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน

##### 3.3.2.1.1 การผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิคาร์โพรแลคโตน

การผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิคาร์โพรแลคโตน เริ่มด้วยเซตอุปกรณ์การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ มีดังนี้คือ เครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง หลอดแก้วขนาด 60 มิลลิลิตร เข็มฉีดยาสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 มม 10 มิลลิเมตร และอุปกรณ์ฉากรองรับสาร ดังรูปที่ 3.2



รูป 3.2 แสดงอุปกรณ์การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์แบบสองเข็มสองทิศทาง

จากนั้นนำสารละลายพอลิคาร์โพรแลกโตน ตามเงื่อนไขการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.3 มาบรรจุในหลอดแก้วปริมาตร 60 มิลลิลิตร ที่มีเข็มฉีดยา จากนั้นนำหลอดที่บรรจุสารไปวางไว้ที่แท่นวางหลอดฉีดยาด้วยมุม 45 องศา กับแท่นฉากรองรับสาร ที่ทำมาจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ถูกหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ด้วยอัตราการหมุน 12 รอบ/นาที โดยระยะห่างจากปลายเข็มฉีดยาถึงฉากรองรับสาร 20 เซนติเมตร โดยใช้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ ตามลำดับ จากนั้นจะได้แผ่นเส้นใยอิเล็กโตรสปินพอลิคาร์โพรแลกโตน เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติต่อไป

ตาราง 3.3 แสดงเงื่อนไขการทดลองของสารละลายพอลิคาร์โบรแลคโตน

No.	PCL Concentration (%wt)	Applied voltage (kV)
1	5	15
2	5	20
3	5	25
4	7	15
5	7	20
6	7	25
7	9	15
8	9	20
9	9	25
10	11	15
11	11	20
12	11	25

#### 3.3.2.1.2 การผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์

การผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ จะผลิตด้วยขั้นตอนเช่นเดียวกันกับการผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โพลีคาร์โบรแลคโตน คือ เริ่มด้วยเซตอุปกรณ์การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ มีดังนี้คือ เครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง หลอดแก้วขนาด 60 มิลลิเมตร เข็มฉีดยาสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.6 ยาว 10 มิลลิเมตร และอุปกรณ์การรองรับสาร ดังรูปที่ 3.2 จากนั้นนำสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ตามเงื่อนไขการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.4 มาบรรจุในหลอดแก้วปริมาตร 60 มิลลิเมตร ที่มีเข็มฉีดยา จากนั้นนำหลอดที่บรรจุสารไปวางไว้ที่แท่นวางหลอดฉีดยาด้วยมุม 45 องศา กับแท่งการรองรับสาร ที่ทำมาจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ถูกหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ด้วยอัตราการหมุน 12 รอบ/นาที โดยระยะห่างจากปลายเข็มฉีดยาถึงการรองรับสาร 20 เซนติเมตร โดยใช้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ ตามลำดับ จากนั้นจะได้แผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติต่อไป

ตาราง 3.4 แสดงเงื่อนไขการทดลองของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์

No.	PVA Concentration (%wt)	Applied voltage (kV)
1	8	15
2	8	20
3	8	25

### 3.3.2.1.3 การผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอก อัญชัน

การผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน จะผลิตด้วยขั้นตอนเช่นเดียวกันกับการผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โพลีเมอร์ทั้ง 2 ชนิดข้างต้น คือ เริ่มด้วยเซตอุปกรณ์การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ มีดังนี้คือ เครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง หลอดแก้วขนาด 60 มิลลิลิตร เข็มฉีดยาสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.6 ยาว 10 มิลลิเมตร และอุปกรณ์ฉากรับสาร ดังรูปที่ 3.2 จากนั้นนำสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน ตามเงื่อนไขการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.5 มาบรรจุในหลอดแก้วปริมาตร 60 มิลลิลิตร ที่มีเข็มฉีดยา จากนั้นนำหลอดที่บรรจุสารไปวางไว้ที่ตำแหน่งหลอดฉีดยาด้วยมุม 45 องศา กับแท่งฉากรับสาร ที่ทำมาจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ถูกหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ด้วยอัตราการหมุน 12รอบ/นาที โดยระยะห่างจากปลายเข็มฉีดยาถึงฉากรับสาร 20 เซนติเมตร โดยใช้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ ตามลำดับ จากนั้นจะได้แผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน เพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติต่อไป ทั้งนี้เพื่อความง่ายในการเรียกชื่อจึงขอกำหนดชื่อของเส้นใยชนิดนี้ว่า เส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โพลี PVAB

ตาราง 3.5 แสดงเงื่อนไขการทดลองของสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน

No.	PVAB Concentration (%wt)	Applied voltage (kV)
1	8	15
2	8	20
3	8	25

### 3.3.2.2 การผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โพลี PP และ PPB โพลีเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

#### 3.3.2.2.1 การผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์โพลี PP โพลีเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

เริ่มด้วยเซตอุปกรณ์การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ มีดังนี้คือ เครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง หลอดแก้วขนาด 60 มิลลิลิตร เข็มฉีดยาสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 และ 0.6 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร และอุปกรณ์ฉากรับสาร ดังรูปที่ 3.2 จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมไว้ตามเงื่อนไขการทดลองจากตารางที่ 3.6 คือ สารละลายโพลีคาร์โพรแลคโตน และ สารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ มาบรรจุในหลอดแก้วที่มีเข็มฉีดยา โดยแยกบรรจุสารแต่

ละชนิดไว้คนละหลอด โดยหลอดแก้วที่บรรจุสารละลายพอลิคาร์โพรแลคโตนจะใช้เข็มฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 มิลลิเมตร แต่หลอดแก้วที่บรรจุสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์จะใช้เข็มฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร ด้วยปริมาตรที่เท่ากันคือ 60 มิลลิลิตร จากนั้นนำหลอดที่บรรจุสารทั้งสองชนิดไปวางไว้ที่แท่นวางหลอดฉีดสารด้วยมุม 45 องศา กับแท่นฉากรองรับสารที่ทำมาจากท่อพีวีซีซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตรที่ถูกหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ด้วยอัตราการหมุน 12 รอบ/นาที โดยวางเข็มทั้งสองอันดังกล่าวในทิศทางตรงกันข้าม โดยให้แท่นฉากรองรับสารอยู่ตรงกลางระหว่างหลอดแก้วฉีดสารทั้งสอง โดยระยะห่างจากปลายเข็มฉีดสารทั้งสองชนิดถึงแท่นฉากรองรับสาร 20 เซนติเมตรเท่ากัน โดยใช้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ ตามลำดับ จากนั้นจะได้แผ่นเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ที่เกิดจากการรวมกันของพอลิเมอร์สองชนิด

**ตาราง 3.6** แสดงเงื่อนไขการทดลองการผลิตเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

No.	Concentrations		Applied voltage (kV)
	PCL (%wt)	PVA (%wt)	
1	5	8	15
2	5	8	20
3	5	8	25
4	7	8	15
5	7	8	20
6	7	8	25
7	9	8	15
8	9	8	20
9	9	8	25
10	11	8	15
11	11	8	20
12	11	8	25

### 3.3.2.2.2 การผลิตเส้นใยเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

เริ่มด้วยเซตอุปกรณ์การปั่นเส้นใยด้วยไฟฟ้าสถิตย์ มีดังนี้คือ เครื่องกำเนิดศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง หลอดแก้วขนาด 60 มิลลิลิตร เข็มฉีดยาสดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.9 และ 0.6 มิลลิเมตร ยาว 10 มิลลิเมตร และอุปกรณ์การรองรับสาร ดังรูปที่ 3.2 จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมไว้ตามเงื่อนไขการทดลองจากตารางที่ 3.7 คือ สารละลายพอลิคาร์โพรแลกโตน และสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ มาบรรจุในหลอดแก้วที่มีเข็มฉีด โดยแยกบรรจุสารแต่ละชนิดไว้คนละหลอด โดยหลอดแก้วที่บรรจุสารละลายพอลิคาร์โพรแลกโตนจะใช้เข็มฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 มิลลิเมตร แต่หลอดแก้วที่บรรจุสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน จะใช้เข็มฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร ด้วยปริมาตรที่เท่ากันคือ 60 มิลลิลิตร จากนั้นนำหลอดที่บรรจุสารทั้งสองชนิดไปวางไว้ที่แท่นวางหลอดฉีดสารด้วยมุม 45 องศา กับฉากรองรับสารที่ทำมาจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ที่ถูกหุ้มด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ด้วยอัตราการหมุน 12 รอบ/นาทิจ โดยวางเข็มทั้งสองอันตั้งกล่าวในทิศทางตรงกันข้าม โดยให้แท่งฉากรองรับสารอยู่ตรงกลางระหว่างหลอดแก้วฉีดสารทั้งสอง โดยระยะห่างจากปลายเข็มฉีดสารทั้งสองชนิดถึงแท่งฉากรองรับสาร 20 เซนติเมตรเท่ากัน โดยใช้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง 15 20 และ 25 กิโลโวลต์ ตามลำดับ จากนั้นจะได้แผ่นเส้นใยเล็กโตรสปัน PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ที่เกิดจากการรวมกันของพอลิเมอร์สองชนิด

ตาราง 3.7 แสดงเงื่อนไขการทดลองการผลิตเส้นใยเล็กโตรสปัน PP พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต

No	Concentrations		Applied voltage (kV)
	PCL (%wt)	PVAB (%wt)	
1	5	8	15
2	5	8	20
3	5	8	25
4	7	8	15
5	7	8	20
6	7	8	25
7	9	8	15
8	9	8	20
9	9	8	25
10	11	8	15
11	11	8	20
12	11	8	25

### 3.4 วิธีการวัดและตรวจวิเคราะห์หาลักษณะเฉพาะของชิ้นงาน (Characterization and Measurement Method)

หลังจากเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ตั้งต้น ได้แก่ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโตน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน จากนั้นนำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์ค่าสภาพการนำไฟฟ้า สำหรับชิ้นงานตัวอย่าง ได้แก่ เส้นใยอิเล็กทรอนิกส์พอลิคาร์โพรแลคโตน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน และเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ PP และ PPB พอลิเมอร์ นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต จะนำชิ้นงานที่ได้ไปวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและพื้นฐานวิทยา ปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะเส้นใย คุณสมบัติเชิงกลพันธะและหมู่ฟังก์ชันทางเคมี เฟสองค์ประกอบ และคุณสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรีย

#### 3.4.1 การทดสอบคุณสมบัติของสารละลายพอลิเมอร์ตั้งต้น

การทดสอบคุณสมบัติของสารละลายพอลิเมอร์ตั้งต้น โดยการทดสอบความสามารถในการนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด คือ สารละลายพอลิคาร์โพรแลคโตน พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผสมสารสกัดจากดอกอัญชัน รวมทั้งสารสกัดจากดอกอัญชัน โดยมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

นำสารละลายพอลิเมอร์แต่ละชนิดที่เตรียมได้จากวิธีการข้างต้น มาทำการทดสอบค่าสภาพการนำไฟฟ้า โดยใช้เครื่องมือวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้า โดยสารละลายพอลิเมอร์แต่ละชนิดจะทำการวัดค่าจำนวน 3 ครั้ง เพื่อความแม่นยำในการทดสอบ โดยก่อนการทดสอบวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิเมอร์แต่ละชนิด จะต้องทำการสอบเทียบอุปกรณ์การทดสอบก่อนทุกครั้ง และเมื่อทำการวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดใดแล้ว ก่อนนำไปวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารละลายพอลิเมอร์ชนิดใหม่ ต้องทำความสะอาดหัววัดก่อนทุกครั้งเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารและเพื่อความถูกต้อง

### 3.4.2 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ปั่น

ในการศึกษาสัณฐานวิทยา (Morphology) ของเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ปั่นจะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6335F ดังรูปที่ 3.3 โดยใช้โหมดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary electron) เพื่อนำข้อมูลที่ได้อ้อมประกอบอธิบายถึงลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ปั่นที่เตรียมได้ รวมถึงขนาดของเส้นใย โดยมีขั้นตอนในการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างดังนี้

1. นำเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ปั่นที่เตรียมได้มาตัดด้วยเครื่องเจาะ จากนั้นนำชิ้นงานไปอบในตู้อบ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้นออกจากชิ้นงาน เนื่องจากชิ้นงานชนิดนี้จะสามารถดูดความชื้นได้ดีในระหว่างการเตรียม
2. นำชิ้นงานที่เตรียมได้จากขั้นตอนข้างต้น ไปติดบนแท่งทองเหลือง (Stub) ด้วยเทปคาร์บอน จากนั้นนำชิ้นงานที่ติดบนแท่งทองเหลืองไปอบในตู้อบ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อเป็นการกำจัดความชื้นออกไปจากชิ้นงาน
3. ทำการเคลือบผิวชิ้นงานที่เตรียมไว้ด้วยทองคำ โดยใช้เทคนิค Sputtering เป็นเวลา 1 นาที ก่อนที่จะนำไปตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดในโหมดต่างๆตามความเหมาะสม เพื่อทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา ของชิ้นงานต่อไป



รูป 3.3 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6335F

### 3.4.3 การศึกษาสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบแบบอเนกประสงค์

ในการทดสอบสมบัติเชิงกลจะใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine: UTM) ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบแรงประเภท Static load test ด้วยการให้แรงทดสอบคงที่กระทำต่อชิ้นทดสอบ ซึ่งสามารถทดสอบคุณสมบัติทางกลได้ดังนี้

1. ทดสอบแรงกด (Compressive Test)
2. ทดสอบแรงดึง (Tensile Test)
3. ทดสอบแรงบิด (Torsion Test)
4. ทดสอบแรงดัด (Bending Test)
5. ทดสอบแรงเฉือน (Shear Test)

ในการทดลองนี้จะใช้โหมคทดสอบแรงดึง โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์แบบ Ultra-sensitive testing ยี่ห้อ Instron รุ่น 5566 ดังรูปที่ 3.4 ที่อัตราเร่ง 2 มิลลิเมตร/นาที ด้วยการวัด Load vs. Strain โดยใช้ Static load cell 1 กิโลนิวตัน ด้วย Load resolution 50 นาโนเมตร และ Extension 35 นาโนเมตร ซึ่งชิ้นงานตัวอย่างที่จะนำไปทดสอบสามารถเตรียมได้ดังนี้ คือ ตัดชิ้นงานตัวอย่างด้วยใบมีดให้มีขนาดความยาวเกจ (Gauge length) 30 มิลลิเมตร กว้าง 15 มิลลิเมตร และความหนา 1 มิลลิเมตร ตามทิศทางแนวยาวของชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.5 - 3.6 โดยแต่ละเงื่อนไขการทดลองจะทำการทดสอบแรงดึงจำนวน 3 ชิ้นงาน เพื่อความแม่นยำถูกต้อง



รูป 3.4 แสดงเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ยี่ห้อ Instron รุ่น 5566



รูป 3.5 แสดงการติดตั้งชิ้นงานตัวอย่างก่อนนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์



รูป 3.6 แสดงชิ้นงานตัวอย่างเพื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

### 3.4.4 การศึกษาเฟสองค์ประกอบของชิ้นงานด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

เทคนิคนี้เป็นการตรวจสอบเฟสองค์ประกอบของสารโดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction technique) เมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบบนผิววัสดุซึ่งมีโครงสร้างเป็นผลึกและมีการจัดเรียงของอะตอมอย่างมีระเบียบที่มีลักษณะเป็นระนาบ (hkl) จะทำให้เกิดการกระเจิง (Scattering) ของรังสีเอ็กซ์เกิดขึ้น หลังจากนั้นรังสีเอ็กซ์จะเกิดการเลี้ยวเบนโดยที่มุมเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ออกจากผลึกจะเป็นลักษณะเฉพาะตามชุดระนาบนั้นๆ ดังนั้น เมื่อนำเมื่อนำเครื่องมือสำหรับตรวจวัด (Detector) มารองรับรังสีเอ็กซ์ที่กระเจิงออกมาจากวัสดุในตำแหน่งต่างๆ ก็จะสามารถตรวจสอบได้ว่าวัสดุนั้นเป็นวัสดุหรือสารชนิดใด นอกจากนี้รังสีที่ตรวจจับได้นั้นยังสามารถบอกได้ว่ามาจากระนาบใดและมีปริมาณเท่าใดอีกด้วย โดยดูจากค่ามุม (Bragg's angle) และความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนที่ปรากฏ ซึ่งสารแต่ละชนิดก็จะมีรูปแบบการเลี้ยวเบนที่เป็นลักษณะเฉพาะแตกต่างกันไปตามลักษณะของโครงสร้าง

สำหรับการทดสอบนั้น จะมีขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างดังต่อไปนี้ คือ

1. ตัดชิ้นงานให้มีขนาดความกว้าง 20 มิลลิเมตร และมีความยาว 25 มิลลิเมตร แล้วนำมาใส่ในแผ่นบรรจุชิ้นงาน (Sample holder) จากนั้นนำไปวางที่บริเวณช่องสำหรับวางชิ้นงานในเครื่อง X-ray diffractometer
2. เริ่มทำการทดสอบโดยให้มุมเริ่มต้นที่ 20 เท่ากับ 10 องศา และมุมสุดท้ายที่ 20 เท่ากับ 60 องศา ผลที่ออกมาจะอยู่ในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับมุม 2θ จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลในแฟ้ม JCPDS เพื่อตรวจสอบเฟสองค์ประกอบและความบริสุทธิ์ของชิ้นงาน โดยนำค่ามุม 2θ ที่ได้มาหาค่า d-spacing จากกฎของแบรค ดังสมการที่ 3.1

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad (3.1)$$

โดยที่ d คือ ระยะห่างระหว่างระนาบ (d spacing)

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ ในกรณีนี้ ( $\lambda = 1.54439 \text{ \AA}$ )

โดยในการทดลองนี้จะใช้เครื่อง X-ray diffractometer ยี่ห้อ Rigaku Mini Flex II ดังรูปที่ 3.7 โหมดค่าคู่ขนาด ที่ค่ามุม 2 $\theta$  เท่ากับ 10 - 70 องศา โดยการปรับขึ้นแต่ละองศาจะใช้เวลา 1.5 วินาที



รูป 3.7 แสดงเครื่อง X-ray diffractometer (Rigaku Mini Flex II)

### 3.4.5 การศึกษาพันธะและหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของชิ้นงานด้วยเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

ในการศึกษาพันธะและหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของชิ้นงานตัวอย่างด้วยการดูดกลืนแสงช่วงอินฟราเรด จะใช้เครื่อง Fourier transform infrared spectrometer ยี่ห้อ Nicolet รุ่น 67 FT-IR บริษัท Thermo Electron Scientific Instrument, LLC (USA) ดังรูปที่ 3.8 โดยใช้ในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดอยู่ในช่วง 3500-1000  $\text{cm}^{-1}$  ซึ่งในการทดลองนี้การเตรียมชิ้นงานนั้นเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากสารชนิดเดียวกันหากเตรียมด้วยวิธีการต่างก็อาจทำให้ลักษณะหรือตำแหน่งของพีคเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการเตรียมชิ้นงานในการทดลองนี้จึงต้องเตรียมด้วยความระมัดระวังเป็นอย่างยิ่ง ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานดังนี้ คือ นำชิ้นงานมาตัดด้วยใบมีดให้ชิ้นงานตัวอย่างมีความกว้าง 30 มิลลิเมตร และยาว 30 มิลลิเมตร จากนั้นนำส่งเจ้าหน้าที่เพื่อทำการทดสอบ



รูป 3.8 แสดงเครื่อง Fourier transform infrared spectrometer (Nicolet รุ่น 67 FT-IR)

### 3.4.6 การทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย (Antibacterial assessment)

การทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย จะใช้วิธีการทดสอบแบบ Agar tube diffusion ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้ คือ

#### 3.4.6.1 การเตรียม Nutrient agar และ Nutrient broth

การเตรียม Growth media เพื่อเป็นสื่อกลางสำหรับให้จุลินทรีย์เติบโตจะต้องมีส่วนประกอบของอาหารที่สนับสนุนให้กลุ่มของแบคทีเรียเจริญเติบโตได้และจะต้องทำการปลอดเชื้อ (Sterile) เพื่อไม่ให้เกิดการปนเปื้อนจากสภาพแวดล้อม

#### 1. การเตรียม Nutrient broth

ส่วนประกอบของ Nutrient broth (NB) มีดังต่อไปนี้คือ

NaCl	5	กรัมต่อลิตร
Peptone	10	กรัมต่อลิตร
Yeast extracts	5	กรัมต่อลิตร

การเตรียม Nutrient broth ทำได้โดยนำส่วนประกอบทั้งหมดดังกล่าวข้างต้นเติมลงในน้ำกลั่น (Distill water) จากนั้นเขย่าจนกว่าสารละลายจะละลายอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นปรับค่า pH ให้เท่ากับ 7 โดยใช้เครื่องวัด pH ซึ่ง Nutrient broth จะต้องทำการปลอดเชื้อด้วยการนำไปวาง

ไว้ในหม้อนึ่งอัดไอน้ำ (Steam autoclave) ด้วยแรงดันไอน้ำ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำสารละลายที่ได้วางไว้ในที่อุณหภูมิห้อง

## 2. การเตรียม Nutrient agar

ส่วนประกอบของ Nutrient agar (NA) มีดังต่อไปนี้คือ

NaCl	5	กรัมต่อลิตร
Peptone	10	กรัมต่อลิตร
Yeast extracts	5	กรัมต่อลิตร
Agar	1.5	เปอร์เซ็นต์

นำส่วนประกอบทั้งหมดข้างต้นมาเติมลงในน้ำกลั่นจากนั้นผสมกันจนให้สารละลายมีความเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งวิธีการเตรียมจะเหมือนกรรมวิธีการเตรียม Nutrient broth

จากนั้นทำการปลอดเชื้อ Nutrient agar แล้วนำ Nutrient agar ขณะที่ยังร้อนมาเทลงในจานเพาะเชื้อ (Plate) เพื่อให้ Nutrient agar เกิดการเซตตัวเป็นของแข็งเมื่อเย็นตัวลง (อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 45 องศาเซลเซียส) แต่ถ้าหากเท Nutrient agar ที่อุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียส จะทำให้อุณหภูมิของน้ำที่อยู่ใน Nutrient agar เกิดการควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำอยู่ภายในจานเพาะเชื้อ ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งไม่สามารถนำมาทดลองได้ เนื่องจากจะไปรบกวนการเจริญเติบโตของกลุ่มแบคทีเรีย ดังนั้นจึงต้องเท Nutrient agar ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม จากนั้นนำไปทำการปลอดเชื้อ ซึ่งได้ Nutrient agar ตามที่ต้องการดังรูปที่ 3.9

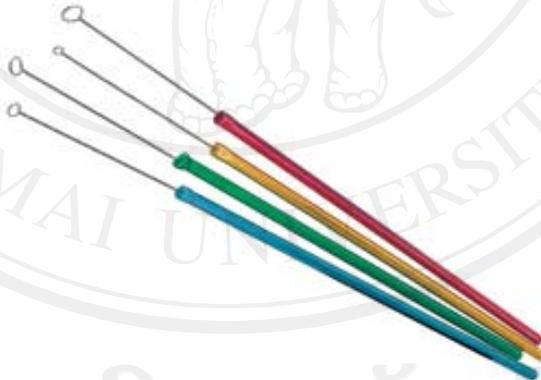


รูป 3.9 แสดง Nutrient agar เมื่อ (ก) แสดง Nutrient agar ที่ไม่เหมาะสม และ(ข) แสดงได้ Nutrient agar ที่เหมาะสม [32]

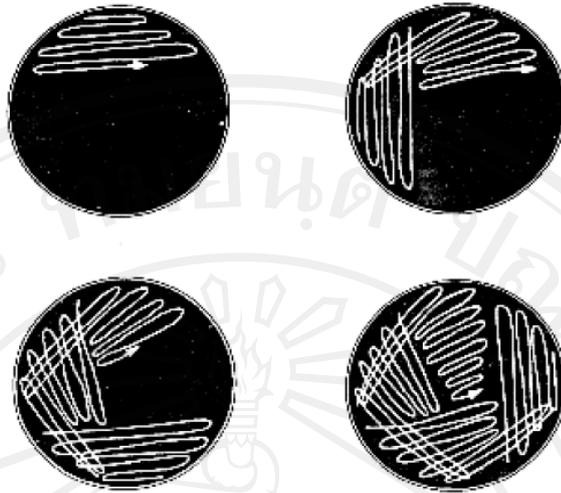
### 3.4.6.2 วิธีการเกลี่ยเชื้อ (Streak plate method of isolation)

เทคนิคการเกลี่ยเชื้อเป็นขั้นตอนสำคัญที่ทำให้จำนวนของเชื้อจุลินทรีย์เจือจางซึ่งเป็นวิธีการลดความหนาแน่นเพื่อไม่ให้เชื้อเกิดการกระจุกตัวอยู่บริเวณใดบริเวณหนึ่ง แต่เป็นการให้เชื้อกระจายตัวอย่างทั่วถึงทั้งจานเพาะเชื้อ โดยแต่ละโคโลนีจะมีจำนวนเซลล์เพียงเซลล์เดียว ซึ่งวิธีการเกลี่ยเชื้อมีขั้นตอนดังนี้ คือ

ขั้นแรกต้องทำการปลอดเชื้อ Inoculating loop ก่อนซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.10 โดยการทำการปลอดเชื้อ Inoculating loop นั้นจะต้องนำ Inoculating loop ไปรนไฟจนกระทั่งโลหะที่ปลาย Loop กลายเป็นสีแดง ซึ่งจะถือได้ว่าเป็นการทำปลอดเชื้ออย่างสมบูรณ์ และเมื่อเย็นลงจึงจะสามารถนำ Inoculating loop มาใช้ได้ จากนั้นทำการใส่เชื้อลงไปยัง Agar plate โดยการใช้ Inoculating loop เกลี่ยเชื้อไปยังจุดภาคแรก (Quadrant) ของ Agar plate แล้วต่อด้วยจุดภาคต่อไปจนครบทั้ง 4 จุดภาค เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ใส่เข้าไปมักไปอยู่ตามขอบของ Agar plate ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงทำด้วยความระมัดระวัง โดยใช้หน้าหม้อมือในการเกลี่ยเชื้อที่เบา ห้ามขูดพื้นผิวของ Agar ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูป 3.10 แสดง Inoculating loop [32]



รูป 3.11 แสดง Streak plate patterns [32]

#### 3.4.6.3 Starter preparation and inoculation

การใส่เชื้อโคโลนีเดี่ยวลงใน Nutrient broth มีวิธีการดังนี้ คือ นำ Loop ไปรนไฟให้โลหะมีสีแดงแล้วปล่อยให้เย็น จากนั้นนำโคโลนีเดี่ยวที่อยู่ใน Streak plate มาใส่ในหลอด Nutrient broth จากนั้นปิดฝาแล้วนำไปวางไว้ใน Incubator shaker ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 250 rpm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นในหลอด Nutrient broth จะมีเชื้อจุลินทรีย์เติบโตอยู่ภายในหลอด เรียกว่า Starter ซึ่งเป็น Microbial stock จากนั้นนำ Microbial ความเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์ ที่เตรียมได้จาก Stock นำไปใส่ใน Flask แล้วนำไปไว้ใน Incubator shaker ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 250 rpm เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

#### 3.4.6.4 Antimicrobial Testing

ในการทดลองนี้ชิ้นงานตัวอย่างของเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ PP และ PPB พอลิเมอร์นาโนไฟเบอร์ คอมพอสิต ที่นำมาทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียจะต้องทำการปลอดเชื้อด้วยรังสียูวีก่อนที่จะนำไปทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียที่อยู่ในงานเพาะเชื้อ จากนั้นนำชิ้นงานตัวอย่างปริมาณ 0.18 ถึง 0.20 กรัม มาบรรจุในหลอดแก้ว จากนั้นเติม Nutrient broth ปริมาณ 9 มิลลิลิตร และ Inoculated ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เชื้อเกิดการเพิ่มจำนวนขึ้น จากนั้นนำเชื้อแบคทีเรียที่เตรียมได้ข้างต้นมาเทใส่ใน Agar plate แล้ววางทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการนับจำนวนเชื้อแบคทีเรีย โดยการนับจำนวนเชื้อแบคทีเรียจะนับเป็นจำนวน 2 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะนับห่างกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งช่วงของจำนวนเชื้อ

แบคทีเรียที่ขอมรับได้ในการนับครั้งแรก คือ จะต้องไม่น้อยกว่า 50 โคโลนี และต้องไม่มากกว่า 300 โคโลนี จากนั้นวางทิ้งไว้อีก 24 ชั่วโมง จึงทำการนับเป็นครั้งที่สอง โดยจำนวนเชื้อแบคทีเรียจะต้องมีจำนวนโคโลนีลดลง จึงจะถือได้ว่าเส้นใยอิเล็กทรอนิกส์ปีนมีความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved