

### บทที่ 3

#### การทดลอง

##### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

ตาราง 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์	บริษัท	รุ่น
1. เครื่องชั่งน้ำหนัก ทศนิยม 3 ตำแหน่ง	Scientific Promotion Co., Ltd.	BA310S
2. เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน (Hotplate & stirrer)	Labaratory&Medical supplies	HTS-1003
3. ตู้อบสูญญากาศ (Vacuumoven)	YAMATO	DP22
4. เครื่องวัดความหนาแบบดิจิตอล (Digital thickness - gauge)	MITUTOYO	547-400
5. เครื่องวัดความหนาแบบดิจิตอล (Digital gauge stand)	PEACOCK	PDN-20
6. เครื่องรีโอมิเตอร์ (Melt rheometer)	Rheometric Scientific, Inc	ARES
7. เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply)	Hipotronic	SERIES HIPOT TESTER
8. อุปกรณ์วัดค่าการนำไฟฟ้า (Two-point probe meter)	CUSTOM-BUILT	-
9. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrometer, FTIR)	Perkin Elmer Co. Ltd	RX59943
10. เครื่องอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิล สเปกโทรมิเตอร์ (UV-Visible spectrometer)	Hewlett Packard	8453
11. เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic press)	-	-
12. อุปกรณ์ทดสอบความสามารถในการปลดปล่อยยา	-	-

### 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตาราง 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	เกรด	บริษัท
1. อะคริลาไมด์ มอนอเมอร์ (Acrylamide monomer, AAM)	$C_3H_5NO$	AR	Across
2. N,N'-methylenebisacrylamide, N,N'-MBA	$C_7H_{10}N_2O_2$	AR	Across
3. Tetramethylenediamine, TEMED	$C_6H_{16}N_2$	AR	Across
4. Ammonium peroxodisulfate	$(NH_4)_2S_2O_8$	AR	QReC
5. กรดซาลิไซลิก (Salicylic acid, SA)	$C_7H_6O_3$	AR	Rankem
6. ทิโอฟีน มอนอเมอร์ (Thiophene monomer)	$C_2H_2S$	AR	Sigma- aldrich
7. เฟอริกคลอไรด์แอนไฮไดรอส (Ferric chloride anhydrous)	$FeCl_3$	AR	Carlo Erba
8. คลอโรฟอร์ม (Chloroform)	$CHCl_3$	AR	Lab-Scan
9. เมทานอล (Methanol)	$CH_3OH$	AR	Lab-Scan
10. โซเดียมอะซิเตต (Sodium acetate)	$C_2H_3NaO_2$	AR	Carlo Erba
11. Glacial acetic acid	$C_2H_4O_2$	AR	-

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การสังเคราะห์พอลิทิโอฟีน (Polythiophene, PTh)

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์พอลิทิโอฟีนด้วยวิธี Chemical oxidative polymerization ตาม Ryu และคณะ [23] ซึ่งพบว่าสภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์ คือ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ภายใต้การกวนเป็นเวลา 9.5 ชั่วโมง โดยมีขั้นตอนการสังเคราะห์ดังนี้

1. เตรียมสารละลายเฟอริกคลอไรด์แอนไฮไดรอส (Iron (III) chloride anhydrous,  $FeCl_3$ ) 0.45 โมล (73 กรัม) ในคลอโรฟอร์มปริมาตร 400 มิลลิลิตร ในขวดกั่นกลมชนิดสามคอขนาด 1000 มิลลิลิตร พร้อมทั้งควบคุมอุณหภูมิสารละลายเฟอริกคลอไรด์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสโดยใช้อ่างซิริลโคน

2. เตรียมสารละลายทิโอฟีนมอนอเมอร์ 0.15 โมล (12.3 กรัม) ในคลอโรฟอร์มปริมาตร 50 มิลลิลิตรในกรวยแยกขนาด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำการหยดสารละลายทิโอฟีนมอนอเมอร์ลงในสารละลายเฟอริกคลอไรด์แบบหยดต่อหยดโดยใช้เวลานาน 1 ชั่วโมง 30 นาที โดยกวนสารผสมตลอดเวลา

3. หลังจากหยดสารละลายทีโอฟินมอโนเมอร์หมดแล้ว ทำการกวนสารผสมต่อเป็นเวลา 4 ชั่วโมง 30 นาทีพร้อมกับควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 40 องศาเซลเซียส เมื่อครบ 4 ชั่วโมง 30 นาที ปรับอุณหภูมิของสารผสมให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วเติมเมทานอลปริมาตร 400 มิลลิลิตร ลงในสารผสม เพื่อหยุดการเกิดปฏิกิริยา กวนสารผสมต่ออีก 45 นาที

4. กรองสารผสมด้วย Buchner suction funnel ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำตะกอนที่ได้ไปอบที่เตาอบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้อนุภาคพอลิทีโอฟิน ดังรูป 3.1



รูป 3.1 ลักษณะของพอลิทีโอฟินที่สังเคราะห์ได้

### 3.3.2 การโคปพอลิทีโอฟิน

งานวิจัยนี้ทำการโคปพอลิทีโอฟินด้วยสารประเภทกรด คือ กรดซาลิไซลิก ซึ่งใช้เป็นยาต้นแบบในงานวิจัยนี้ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งพอลิทีโอฟินที่สังเคราะห์ได้ 1 กรัม นำไปกวนในสารละลายกรดซาลิไซลิกความเข้มข้น 0.0119 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร กวนตลอดเวลาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. กรองพอลิทีโอฟินที่โคปด้วยกรดซาลิไซลิก (Salicylic acid doped polythiophene, SA-doped PTh) ด้วย Buchner suction funnel และนำไปอบในเตาอบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. นำสารละลายกรดซาลิไซลิกที่เหลือจากกรองไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์ (UV-Visible spectrometer) ที่ความยาวคลื่น 296 นาโน

### 3.3.3 การเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์ (polythiophene/polyacrylamide hydrogel, PTh/PAAM hydrogel)

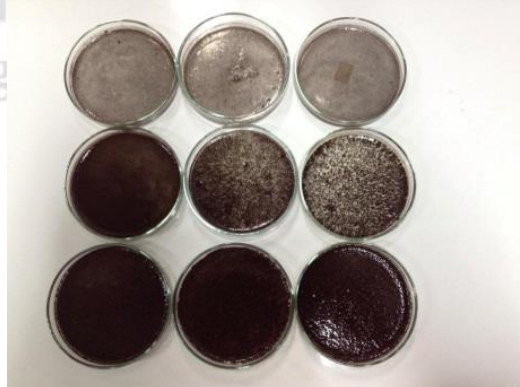
งานวิจัยนี้ได้เตรียมฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์ ด้วยวิธีการหล่อ (Casting) โดยศึกษาอิทธิพลของปริมาณพอลิไทโอฟีน และปริมาณสารเชื่อมขวางต่อสมบัติต่างๆ ของฟิล์มไฮโดรเจล โดยปรับเปลี่ยนปริมาณพอลิไทโอฟีนที่ผ่านการโคปด้วยกรดซัลฟิวริก (SA-doped PTh) เท่ากับ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและปรับเปลี่ยนปริมาณสารเชื่อมขวาง N,N'-MBA เท่ากับ 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งมีวิธีการเตรียมดังนี้

1. เตรียมสารละลายอะคริลาไมด์มอนอเมอร์โดยชั่งน้ำหนักอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ 3.65 กรัม แล้วละลายในน้ำกลั่น กวนสารละลายตลอดเวลาจนกระทั่งอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ละลายหมด

2. ชั่งน้ำหนักพอลิไทโอฟีนที่ผ่านการโคปด้วยกรดซัลฟิวริก แล้วเติมลงในสารละลายอะคริลาไมด์มอนอเมอร์ กวนสารผสมตลอดเวลา โดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณพอลิไทโอฟีนที่เติม เท่ากับ 1, 3, และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3. เติมสารเชื่อมขวาง N, N'-methylenebisacrylamide, (N,N'-MBA) ลงในสารผสม โดยปรับเปลี่ยนปริมาณสารเชื่อมขวาง เท่ากับ 1, 3, และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นเติมตัวเริ่มปฏิกิริยา Ammonium peroxydisulfate และ ตัวเร่งปฏิกิริยา Tetramethylethylenediamine, TEMED ตามลำดับ โดยปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์แสดงดังตาราง 3.3

4. เทสารผสมลงในจานเพาะเชื้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที ดังรูป 3.2 จากนั้นลอกแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์ออกจากจานเพาะเชื้อแล้ว เก็บในถุงปิดผนึก (Zip-lock bag)



รูป 3.2 การขึ้นรูปฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์

ตาราง 3.3 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์

ตัวอย่าง	สารเคมี	มอนอเมอร์ (AAM monomer) (กรัม)	พอลิไทโอฟีน (PTh) (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก)	ตัวเชื่อมขวาง (N,N'-MBA) (เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก)	ตัวเร่งปฏิกิริยา (TEMED) (ไมโครลิตร)	ตัวเริ่มปฏิกิริยา (Ammonium peroxydisulfate) (กรัม)
PTh_1/PAAM_1		3.65	1	1	20	0.01
PTh_1/PAAM_3		3.65	1	3	20	0.01
PTh_1/PAAM_5		3.65	1	5	20	0.01
PTh_3/PAAM_1		3.65	3	1	20	0.01
PTh_3/PAAM_3		3.65	3	3	20	0.01
PTh_3/PAAM_5		3.65	3	5	20	0.01
PTh_5/PAAM_1		3.65	5	1	20	0.01
PTh_5/PAAM_3		3.65	5	3	20	0.01
PTh_5/PAAM_5		3.65	5	5	20	0.01

### 3.4 การศึกษาลักษณะเฉพาะของพอลิไทโอฟีน, พอลิไทโอฟีนที่ผ่านการโดปด้วยกรดซัลฟิวริก และแผ่นฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์

#### 3.4.1 การทดสอบสมบัติทางเคมี

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของพอลิไทโอฟีนและพอลิไทโอฟีนที่ผ่านการโดปด้วยกรดซัลฟิวริก โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)

ซึ่งเป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมใช้วิเคราะห์ ตรวจสอบ เกี่ยวกับโมเลกุลของสาร เช่น โครงสร้างโมเลกุล (Molecular structure) หรือวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน (Functional group) โดยใช้หลักการดูดกลืนแสงในช่วงรังสีอินฟราเรด เมื่อโมเลกุลดูดกลืนแสงอินฟราเรด โมเลกุลจะเกิดการสั่น (Vibration) หรือหมุน (Rotation) ความถี่ของการสั่นหรือหมุน โมเลกุลนั้นจะเท่ากับความถี่ของรังสีอินฟราเรดที่ฉายมายังโมเลกุล ซึ่งโมเลกุลของสารแต่ละชนิดจะมีสเปกตรัมเป็นเอกลักษณ์ของพันธะในโมเลกุลนั้นๆ โดยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์มีดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักพอลิไทโอฟีนที่บดละเอียดและผ่านการไล่ความชื้นมาแล้ว 1-2 มิลลิกรัม นำไปผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (KBr) 100-200 มิลลิกรัม ในโถรงบผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน

2. บรรจุผงพอลิไทโอฟีนและ KBr ลงในแม่พิมพ์ (Mold) แล้วอัดด้วยเครื่องอัดแห้งโดยใช้แรงอัดที่ความดัน 12 ตัน แล้วคงค่าแรงอัดนี้ไว้ 3-4 นาที
3. นำชิ้นทดสอบไปติดบนเซลล์บรรจุสารตัวอย่าง (Cell holder)
4. ใส่เซลล์บรรจุสารตัวอย่างลงในเครื่อง FTIR ดังรูป 3.3 แล้วทำการวิเคราะห์ผล
5. ผลที่แสดงออกมาจะอยู่ในรูปของกราฟความสัมพัทธ์ระหว่างความเข้มข้นแสง (%T) กับความถี่หรือความยาวคลื่น



รูป 3.3 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์  
(Fourier transform infrared spectrometer, FTIR)

### 3.4.2 การทดสอบค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity test)

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบค่าการนำไฟฟ้าของพอลิไทโอฟีนพอลิไทโอฟีนที่ผ่านการโคปด้วยกรดซัลฟิวริก และฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์ โดยใช้เครื่องทดสอบชนิด Two point probe ดังรูป 3.4 โดยมีขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบและการทดสอบดังนี้

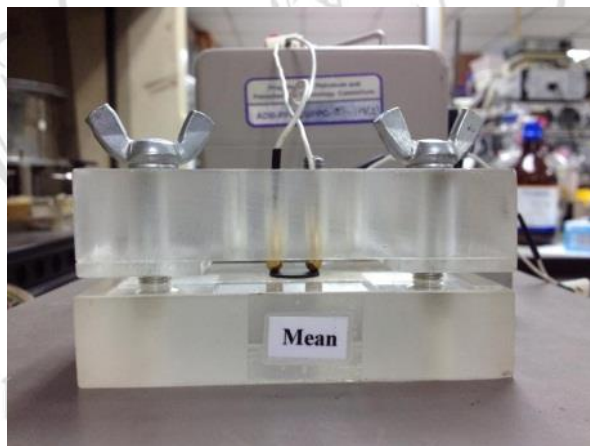
1. สำหรับพอลิไทโอฟีนและพอลิไทโอฟีนที่ผ่านการโคปด้วยกรดซัลฟิวริก ทำการชั่งน้ำหนักประมาณ 0.50 กรัม นำไปอัดขึ้นรูปลักษณะเป็นแผ่น (Disc) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 นิ้ว ด้วยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic press) ดังรูป 3.5 โดยใช้แรงอัดที่ 5 ตัน เป็นเวลา 1 นาที สำหรับฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์ทำการตัดฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าเป็นแผ่นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว

2. วัดความหนาของชิ้นทดสอบ โดยนำไปวางบนแท่นวางชิ้นทดสอบของเครื่องวัดความหนาแบบดิจิตอล (Digital gauge stand) ดังรูป 3.6 วัดและบันทึกความหนาประมาณ 3 ตำแหน่ง คำนวณหาความหนาเฉลี่ยของชิ้นทดสอบ

3. วางชิ้นทดสอบบนแท่นวางชิ้นทดสอบของเครื่อง Two point probe ณ สภาวะบรรยากาศ  
 หาช่วง Linear ohmic regime (ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์เป็นเส้นตรงตาม  
 กฎของโอห์ม) ของชิ้นทดสอบโดยให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าแก่ชิ้นทดสอบแล้ววัดค่ากระแสไฟฟ้าด้วย  
 เครื่อง Multimeter จากนั้นให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าในช่วง Linear ohmic regime แก่ชิ้นทดสอบแล้ววัด  
 ค่ากระแสไฟฟ้า จากนั้นคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้าของชิ้นทดสอบจากสมการ (3.1)

$$\sigma = \frac{I}{K \cdot V \cdot t} \quad (3.1)$$

โดย  $\sigma$  = ค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะ (S/cm)  
 $I$  = ค่ากระแสไฟฟ้า (I)  
 $K$  = ค่าคงที่ของ Probe  
 $V$  = ค่าความต่างศักย์ (V)  
 $T$  = ความหนาของชิ้นทดสอบ (cm)

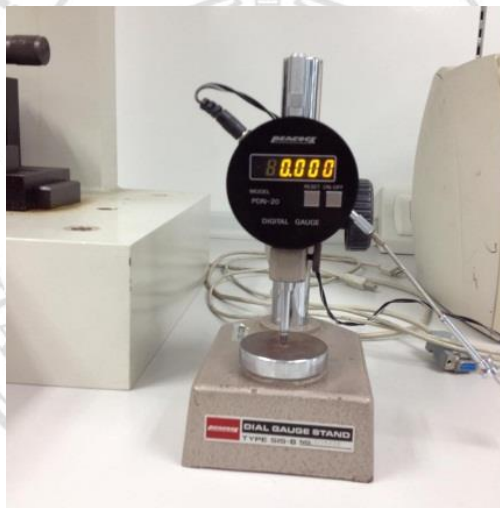


ลิขสิทธิ์ © วิทยาลัยเทคโนโลยีปทุมวัน  
 Copyright © by Chulalongkornrajavidyalaya University  
 All rights reserved

รูป 3.4 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าแบบ Two point probe



รูป 3.5 เครื่องอัดแบบไฮดรอลิก (Hydraulic press)



รูป 3.6 เครื่องวัดความหนาแบบดิจิตอล (Digital gauge stand)

### 3.4.3 การทดสอบระดับการบวมตัว (Degree of swelling test)

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาระดับการบวมตัวและความสามารถในการดูดซับสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตท (Acetate buffer solution) ของฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์ โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ  $37.0 \pm 1$  องศาเซลเซียส ซึ่งเท่ากับอุณหภูมิร่างกายมนุษย์ โดยมีขั้นตอนการเตรียมชิ้นทดสอบ ดังนี้

1. เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตท (Acetate buffer solution) ที่มีค่า pH เท่ากับ 5.5 โดยชั่งน้ำหนักโซเดียมอะซิเตท 150 กรัม ละลายในน้ำกลั่น จากนั้นเติมกรดอะซิติกความเข้มข้น 99.8 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ลงในสารละลายโซเดียมอะซิเตทอย่างช้าๆ แล้วปรับปริมาตรสารละลายให้ได้ 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

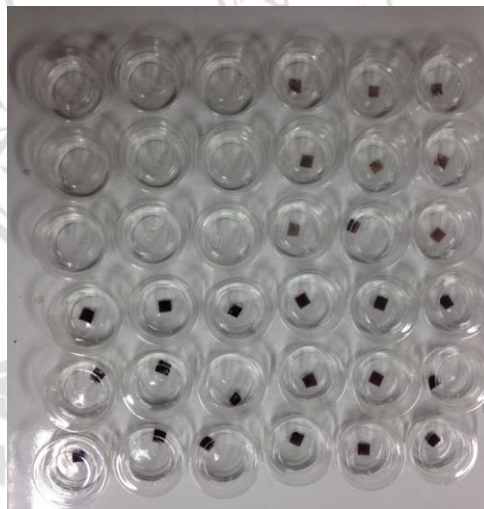


2. ตัดฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์ ขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ 1.0 x 1.0 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักขึ้นทดสอบแล้วบันทึกเป็นค่าน้ำหนักฟิล์มไฮโดรเจลเริ่มต้น ( $M_d$ )

3. นำขึ้นทดสอบไปแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตท ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ  $37.0 \pm 1$  องศาเซลเซียส ดังรูป 3.7 ชั่งน้ำหนักขึ้นทดสอบหลังแช่ในสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตททุกๆ ชั่วโมงเป็นเวลา 8 ชั่วโมง (M) และชั่งน้ำหนักขึ้นทดสอบอีกครั้งหลังแช่ในสารละลายเป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึกน้ำหนักขึ้นทดสอบหลังแช่สารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตทเวลาต่างๆ เป็นน้ำหนักฟิล์มไฮโดรเจลในสภาวะบวมตัว จากนั้นคำนวณหาระดับการบวมตัว (Degree of swelling) ดังสมการ (3.2)

$$\text{Degree of swelling (\%)} = \frac{M - M_d}{M_d} \times 100 \quad (3.2)$$

โดยที่  $M$  = น้ำหนักของฟิล์มที่บวมตัว  
 $M_d$  = น้ำหนักของฟิล์มที่แห้ง



รูป 3.7 การทดสอบระดับการบวมตัวของแผ่นฟิล์มฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้า ซาลีไซลิกโคปพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์

### 3.4.4 การทดสอบสมบัติเชิงไฟฟ้ากล (Electromechanical properties test)

การทดสอบสมบัติเชิงไฟฟ้ากลของวัสดุ ซึ่งเป็นสมบัติที่บ่งบอกถึงความสามารถในการตอบสนองต่อกระแสไฟฟ้าภายนอกที่มากระทำต่อวัสดุ โดยวัสดุจะให้การตอบสนองในลักษณะของการเปลี่ยนแปลงทางกล เช่น การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง การเปลี่ยนแปลงขนาด (ยืดหรือหด) และการโค้งงอ เป็นต้น งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้ากล (Electromechanical properties) ของฟิล์ม

ไฮโดรเจลนำไฟฟ้าพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์ ด้วยวิธีการทดสอบกระแสวิทยาทนภายใต้กระแสไฟฟ้า (Electrorheological properties) โดยใช้เครื่องรีโอมิเตอร์ (Melt rheometer) แสดงดังรูป 3.8 โดยตัวเครื่องประกอบด้วยอิเล็กโทรดที่ทำจากทองแดงประกบแทนวางขึ้นทดสอบชนิดแผ่นขนาน (Parallel plate) เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระแสตรง (DC power supply) โดยเครื่องรีโอมิเตอร์นั้นสามารถตั้งโปรแกรมเพื่อปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆในระหว่างการทดสอบได้ เช่นปรับเปลี่ยนมุมของการแกว่งเพื่อศึกษาผลของความเครียด (Strain sweep test) หรือปรับเปลี่ยนความถี่ของการทดสอบเพื่อศึกษาผลของความถี่ต่อสมบัติของวัสดุ (Frequency sweep test) เป็นต้น เมื่อเริ่มทำการทดสอบแผ่นทองแดงจะแกว่งไปมาเป็นมุมแคบๆ จากนั้นเครื่องก็จะบันทึกค่าที่ได้จากการทดสอบให้อยู่ในรูปของมอดูลัสสะสม (Storage modulus,  $G'$ ) ที่แสดงองค์ประกอบส่วนที่เป็นของแข็งยืดหยุ่น (Elastic component) และค่ามอดูลัสสูญเสีย (Loss modulus,  $G''$ ) แสดงองค์ประกอบส่วนที่เป็นของเหลวหนืด (Viscous component) ของวัสดุ

โดยมีวิธีการทดสอบสมบัติกระแสวิทยาทนภายใต้กระแสไฟฟ้าทำได้ดังนี้

1. เตรียมขึ้นทดสอบโดยตัดฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2.5 เซนติเมตร หนาประมาณ 0.1 เซนติเมตร

2. นำขึ้นทดสอบไปวางบนแผ่นอิเล็กโทรดที่ยึดติดบนแทนวางขึ้นทดสอบของเครื่องรีโอมิเตอร์ที่เชื่อมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระแสตรงแล้วเคลื่อนแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองให้สัมผัสกับผิวหน้าขึ้นทดสอบ ตั้งสภาวะของเครื่องรีโอมิเตอร์ โดยกำหนดความถี่ในการทดสอบเท่ากับ 0.1-100 รอบต่อวินาที อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบเท่ากับ 27 องศาเซลเซียส ปรับเปลี่ยนความแรงของศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 0 และ 800 โวลต์ต่อมิลลิเมตร ซึ่งงานวิจัยนี้สนใจศึกษาสมบัติเชิงไฟฟ้ากลของฟิล์มไฮโดรเจลพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์ โดยศึกษาความแตกต่างของค่ามอดูลัสสะสมภายใต้กระแสไฟฟ้าและปราศจากกระแสไฟฟ้าหรือค่าการตอบสนองของค่ามอดูลัสสะสม (Storage modulus response,  $\Delta G'$ ) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (3.3) และความไวในการตอบสนองของค่ามอดูลัสสะสมดังสมการ (3.4)

$$\Delta G' = G'_E - G'_0 \quad (3.3)$$

$$\text{Sensitivity} = \frac{\Delta G'}{G'_0} \quad (3.4)$$

โดย  $\Delta G'$  = ค่าการตอบสนองของค่ามอดูลัสสะสม (Pa)

$G'_E$  = ค่ามอดูลัสสะสมภายใต้กระแสไฟฟ้า (Pa)

$G'_0$  = ค่ามอดูลัสสะสมเมื่อปราศจากกระแสไฟฟ้า (Pa)



รูป 3.8 เครื่องรีโอมิเตอร์ (Rheometer)

### 3.4.5 การทดสอบความสามารถในการบรรจุยา (Drug loading test)

งานวิจัยนี้ทดสอบความสามารถในการบรรจุยาต้นแบบของพอลิทีโอฟินที่สังเคราะห์ได้ โดยวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกที่ใช้เป็นตัวยาค้นแบบที่สามารถโคปติคบนสายโซ่พอลิเมอร์นำไฟฟ้าพอลิทีโอฟินด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี (UV-Visible spectroscopy, UV-VIS) โดยใช้หลักการการดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิสิเบิล ซึ่งสารจะดูดกลืนแสงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (Electronic transition) ที่ความยาวคลื่นต่างๆ โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

1. นำสารละลายกรดซาลิไซลิกที่เหลือจากการกรองหลังการโคป ปริมาตร 3 มิลลิลิตร บรรจุลงในเซลล์บรรจุสารตัวอย่าง คิวเวทท์ (Cuvette)

2. นำคิวเวทท์บรรจุลงในเครื่องอัลตราไวโอเลต-วิสิเบิล สเปกโทรมิเตอร์ ดังรูป 3.9 แล้วทดสอบการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ 296 นาโนเมตร โดยใช้หลอดทั้งสแตนเป็นตัวกำเนิดแสง นำค่าความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกที่วิเคราะห์ได้ ( $C_{Lo}$ ) ไปคำนวณหาค่าความสามารถในการบรรจุยา (%Drug loading) ดังสมการ (3.5)

$$\%Drug\ loading = \frac{C_{Lo} - C_{LF}}{C_{Lo}} \quad (3.5)$$

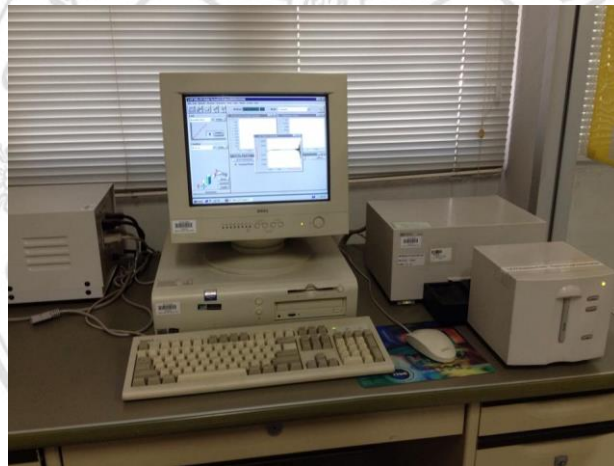
โดย  $C_{Lo}$  = ความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกเริ่มต้น

$C_{LF}$  = ความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกที่เหลือจากการโคป

นอกจากนี้ยังสามารถคำนวณหาความเข้มข้นยาที่ถูกบรรจุภายในฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าที่แท้จริง (Actual amount of drug loaded) ได้ดังสมการ (3.6)

$$C_R = \frac{C_{L0} \times M_{LF}}{M_{L0}} \quad (3.6)$$

โดย  $C_R$  = ความเข้มข้นยาที่ถูกบรรจุที่แท้จริง  
 $M_{LF}$  = ปริมาณพอลิไทโอฟีนที่ผ่านการโคปที่เติมลงในฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้า (มิลลิกรัม)  
 $M_{L0}$  = ปริมาณพอลิไทโอฟีนที่ผ่านการโคปที่เริ่มต้น (มิลลิกรัม)



รูป 3.9 เครื่องอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์ (UV-Visible spectrometer)

### 3.4.6 การทดสอบความสามารถในการปลดปล่อยยา (Drug release test)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความสามารถในการปลดปล่อยยาของฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์ภายใต้การกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์ทดสอบการปลดปล่อยยาที่สร้างขึ้นเอง ดังรูป 3.10 และขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

1. ตัดฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้าพอลิไทโอฟีน/พอลิอะคริลาไมด์ ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.8 เซนติเมตร
2. บรรจุสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตทที่มีค่า pH เท่ากับ 5.5 ลงในอุปกรณ์ทดสอบจนเต็มและควบคุมอุณหภูมิสารละลายเท่ากับ  $37 \pm 2$  องศาเซลเซียสและกวนสารละลายบัฟเฟอร์ตลอดเวลา นำชิ้นทดสอบวางบนตาข่ายไนลอนที่คลุมช่องเปิดของอุปกรณ์ ดังรูป 3.11 แล้ววางทับด้วยแผ่นทองแดง

อีกชั้น ดังรูป 3.12 ซึ่งทำให้ด้านหนึ่งของชั้นทดสอบสัมผัสกับสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตท และอีกด้านหนึ่งสัมผัสกับแผ่นทองแดงซึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วแคโทด

3. ติดตั้งขั้วแอโนดเข้ากับอุปกรณ์ทดสอบ โดยจุ่มแท่งทองแดงให้สัมผัสกับสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตท จากนั้นต่อขั้วไฟฟ้าทั้งสองเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แล้วให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ชั้นทดสอบ โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาอิทธิพลของความแรงของศักย์ไฟฟ้าต่อความสามารถในการปลดปล่อยยาของฟิล์มไฮโดรเจลนำไฟฟ้า โดยปรับเปลี่ยนความแรงศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 0, 0.1, 1, 3, และ 5 โวลต์

4. เก็บตัวอย่างสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตททุกๆ 15 นาที ในช่วงแรก จากนั้นเก็บตัวอย่างสารละลายทุกๆ 1 ชั่วโมงต่อเนื่องเป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยทำการเก็บตัวอย่างสารละลายบัฟเฟอร์ครั้งละประมาณ 3 มิลลิลิตร และเติมสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตทใหม่ปริมาตร 3 มิลลิลิตรลงในอุปกรณ์ทดสอบ เพื่อรักษาระดับความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์อะซิเตทภายในอุปกรณ์ให้คงที่

5. นำตัวอย่างสารละลายบัฟเฟอร์ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเล็ต-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี ที่ความยาวคลื่น 296 นาโนเมตร บันทึกความเข้มข้นที่ได้ ( $C_R$ ) จากนั้นนำไปคำนวณความสามารถในการปลดปล่อย (%Drug release) ดังสมการ (3.7)

$$\%Drug\ release = \frac{C_R}{C_{Lo}} \times 100 \quad (3.7)$$

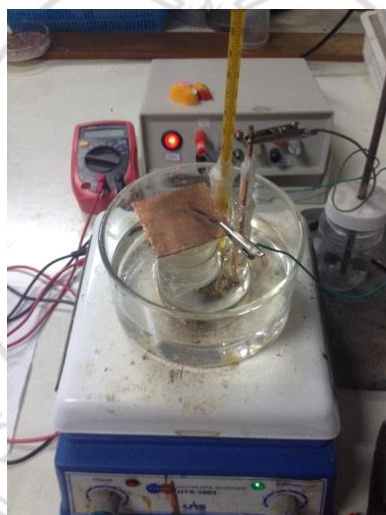
โดยที่  $C_{Lo}$  = ความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกที่บรรจุในพอลิทีโอฟิน  
 $C_R$  = ความเข้มข้นของกรดซาลิไซลิกที่ถูกปลดปล่อย ณ เวลาใดๆ



รูป 3.10 อุปกรณ์ทดสอบความสามารถในการปลดปล่อยยา



รูป 3.11 การวางขึ้นทดสอบสำหรับการทดสอบความสามารถในการปลดปล่อยยา



รูป 3.12 การทดสอบความสามารถในการปลดปล่อยยาภายใต้การกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved