

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงที่มาและสาเหตุที่เลือกทำงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ขอบเขตงานวิจัยและเค้าโครงการนำเสนองานวิจัย

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เซลล์เชื้อเพลิงถือได้ว่าเป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูง ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [1, 2] ทำให้มีความเป็นไปได้อย่างมากที่จะเข้ามาแทนที่เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบัน นอกจากนี้เซลล์เชื้อเพลิงยังใช้เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าสำรองได้อีกด้วย

ถึงแม้เซลล์เชื้อเพลิงจะได้รับความสนใจในการศึกษาค้นคว้าอย่างแพร่หลาย แต่ด้วยข้อจำกัดต่างๆ อาทิเช่น ต้องใช้แก๊สบริสุทธิ์หรือปนเปื้อนน้อย แพลตินัมที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาบนขั้วไฟฟ้าที่มีราคาสูง อีกทั้งแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปนเปื้อนอยู่ในแก๊สออกซิเจนหรือไฮโดรเจนแม้แต่ในปริมาณน้อยจะส่งผลเสียต่อการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยาแพลตินัมทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงลดลง [3] แผ่นเยื่ออิเล็กโทรไลต์มีราคาสูง เป็นต้น ข้อจำกัดดังกล่าวเป็นอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการใช้งานและการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาค้นคว้าเพื่อหาทางแก้ไขปัญหาดังกล่าวเพื่อให้ได้เซลล์เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด และมีราคาเหมาะสม

เซลล์เชื้อเพลิงที่นิยมใช้งานปัจจุบันคือ เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane fuel cells, PEMFC) [1, 2, 4] ข้อได้เปรียบของเทคโนโลยีเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้ คือ ภาวะการทำงานเกิดขึ้นที่อุณหภูมิและความดันต่ำ จึงสะดวกในการทำงานไม่ยุ่งยากในการเตรียมภาวะสำหรับเซลล์เชื้อเพลิง สามารถเข้าใจถึงส่วนต่างๆ และการทำงานได้ง่าย สามารถสร้างให้มีขนาดกะทัดรัดได้ ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการกัดกร่อน เริ่มทำงานได้รวดเร็วและเหมาะสมกับการทำงานที่ภาวะแบบไม่คงตัว (Transient operation) ซึ่งเป็นลักษณะการทำงานของรถยนต์ด้วยเหตุผลของสภาพที่ง่ายและการออกแบบที่ดีของเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้จึงทำให้มีความปลอดภัยในการใช้งาน

ส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งใน เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน หรือ PEMFC คือ แผ่นเยื่ออิเล็กโทรไลต์ โดยทั่วไป เยื่ออิเล็กโทรไลต์จะนำโปรตอนได้ไม่ดี แต่เมื่อมีการดูดซับน้ำจะทำให้สภาพการนำโปรตอนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สมบัติที่สำคัญของเยื่ออิเล็กโทรไลต์ที่ดี คือ

ทำจากวัสดุราคาถูก สภาพนำโปรตอนดี ดูดซับน้ำได้ดีที่อุณหภูมิสูง ทนต่อสารเคมี คงสภาพ และความพรุนของแผ่นเยื่อ รวมถึงการกระจายตัวของรูพรุน

แผ่นเยื่ออิเล็กโทรไลต์ทำจากพอลิเมอร์แข็งที่ใช้ทางการค้าสำหรับใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์ใน PEMFC คือ นาฟิออน (Nafion) ซึ่งนาฟิออน เป็น แผ่นเยื่อที่สามารถนำโปรตอนได้ดี ทนต่อสารเคมี ทนต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูงและมีสมบัติเชิงกลที่ดี อย่างไรก็ตามข้อเสียของแผ่นเยื่อนี้คือ มีราคาแพง และมีปัญหาในเรื่องการซึมผ่านของเมธานอล [5] จึงได้มีการค้นคว้าเพื่อหาพอลิเมอร์ที่เหมาะสมชนิดอื่นมาทดแทนนาฟิออน พอลิไวนิลลิดีนฟลูออไรด์ (poly(vinylidene fluoride, PVdF)) เป็นพอลิเมอร์ ชนิดหนึ่งที่มีความน่าสนใจในการนำมาพัฒนาเป็นอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งมีจุดเด่นในแง่ของความสามารถที่ทนการซึมผ่านของเมธานอลได้ดี มีสมบัติเชิงกลและสมบัติด้านการทนความร้อนที่ดี ทนต่อสารเคมี และทนต่อการละลายน้ำ การทำให้แผ่นเยื่อ PVdF มีความสามารถในการนำโปรตอนได้ ทำได้ด้วยการดัดแปรโครงสร้างเคมีให้หมู่ฟังก์ชันที่มีความสามารถในการนำโปรตอนได้ หรือการนำไปผสมกับพอลิเมอร์ชนิดอื่นที่มีหมู่ฟังก์ชันที่มีความสามารถในการนำโปรตอนได้ ปัจจุบันแผ่นเยื่อผสมของ PVdF ที่มีความพรุนสูงเริ่มได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีการทดลองพบว่าเมื่อความพรุนของแผ่นเยื่อเพิ่มมากขึ้น จะมีการนำโปรตอนเพิ่มมากขึ้นด้วย [6] นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนการผลิต และมีศักยภาพที่จะผลิตในระดับการพาณิชย์ได้

การเตรียม PVdF ผสม สามารถทำได้หลากหลายวิธีด้วยกัน เช่น เทคนิค phase inversion วิธี template-leaching หรือกระบวนการ preferential polymer dissolution [7-9] เป็นต้น ใน การวิจัยนี้สนใจศึกษาการเตรียม PVdF ผสม ที่มีความพรุนสูง ด้วยวิธีอิเล็กโทรสปินนิง (electrospinning) ซึ่งจะได้แผ่นเยื่อจากเส้นใยนาโนของพอลิเมอร์ผสม PVdF แล้วปรับปรุงสมบัติของแผ่นเยื่อที่ได้ด้วยพลาสมาของอาร์กอนและพลาสมาของไนโตรเจน กำเนิดจากระบบกำเนิดพลาสมาแบบการเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Inductively coupled plasma, ICP) ที่ภาวะต่างๆ เพื่อให้ได้ภาวะที่เหมาะสมในการเตรียม PVdF-ผสมที่มีสภาพนำโปรตอนสูง ความพรุนสูง ดูดซับน้ำได้ดีที่อุณหภูมิสูง มีความคงทนและที่สำคัญคือมีราคาถูกกว่า แผ่นเยื่อที่นำเข้าจากต่างประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVdF ด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของตัวแปรในการสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVdF ด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง
- 1.2.3 เพื่อปรับปรุงสภาพผิวหน้าของเส้นใยที่ได้ด้วยพลาสมา

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ภาวะการสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVdF ที่เหมาะต่อการนำไปใช้เป็นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน
- 1.3.2 ได้เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนที่มีประสิทธิภาพ และราคาถูกกว่าการนำเข้าจากต่างประเทศ
- 1.3.3 สามารถนำไปต่อยอดงานวิจัย ศึกษาการผลิตเซลล์เชื้อเพลิง เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในประเทศ

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.4.1 สังเคราะห์เส้นใยนาโน PVdF ด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง
 - ความเข้มข้นของสารตั้งต้นพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์
 - แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในการสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVdF
- 1.4.2 ตรวจสอบสมบัติของเส้นใยนาโน PVdF ที่สังเคราะห์ได้ตามเงื่อนไขข้อที่ 1.4.1
 - ตรวจสอบสมบัติของพื้นผิวด้วยเครื่อง SEM
 - ศึกษาสภาพการเปียก (wettability) ของพื้นผิวเส้นใยด้วยเครื่องตรวจสอบมุมสัมผัส (contact angle meter)
 - การอุ้มน้ำของแผ่นเยื่อด้วยการคำนวณเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ (water uptake)

1.5 ลำดับการนำเสนองานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท โดยในแต่ละบทมีรายละเอียดดังนี้ บทที่ 1 กล่าวถึงที่มาและสาเหตุที่เลือกทำงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ขอบเขตงานวิจัย และเค้าโครงการนำเสนองานวิจัย บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎี เซลล์เชื้อเพลิง กระบวนการสังเคราะห์เส้นใยนาโน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทที่ 3 เป็นรายละเอียดในการทดลอง เงื่อนไขในการทดลองต่างๆ การทดสอบสมบัติของเส้นใยนาโน PVdF บทที่ 4 ผลการทดลองอภิปรายผลการทดลอง บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

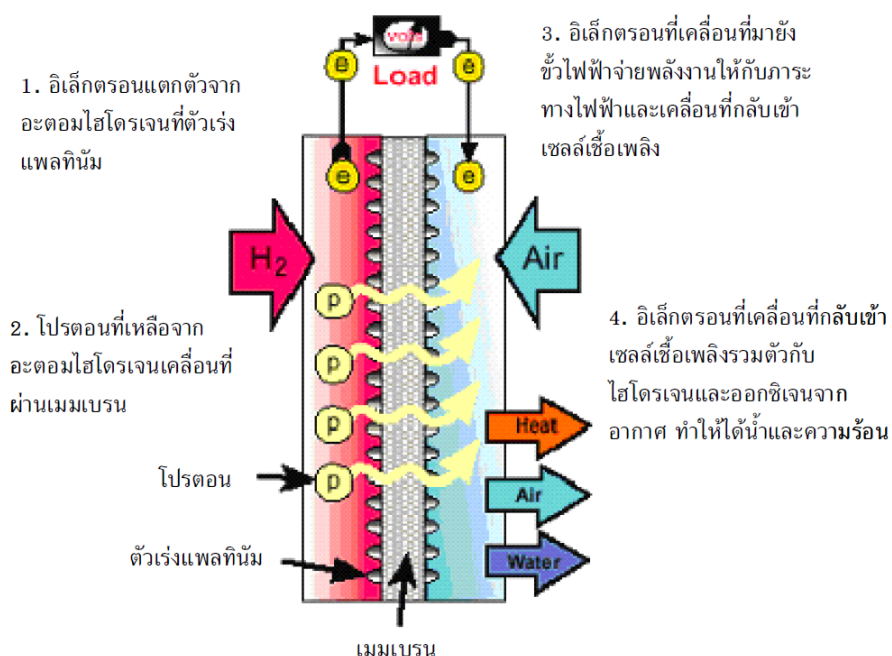
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทดลองนี้ได้มีการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากหนังสือ วารสาร และสื่อออนไลน์ แล้วนำมาวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการทดลอง โดยผลการทบทวนมีดังนี้

2.1 เซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิง (fuel cell) เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิดหนึ่ง ที่เปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าคล้ายกับแบตเตอรี่ แต่แตกต่างกันที่เซลล์เชื้อเพลิงนั้นมีการเติมสารตั้งต้นเข้าสู่ระบบอยู่ตลอดเวลา โดยเซลล์เชื้อเพลิงนั้นมีองค์ประกอบสำคัญแสดงดังรูปที่ 2.1

2.1.1 องค์ประกอบสำคัญของเซลล์เชื้อเพลิง



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบสำคัญของเซลล์เชื้อเพลิง [10]

1. **ขั้วไฟฟ้า (electrodes)** เซลล์เชื้อเพลิงแต่ละเซลล์ต้องมีขั้วไฟฟ้า 2 ชนิด คือ แอโนดและแคโทด ทำด้วยสารนำไฟฟ้า เช่น ทองแดง เหล็กกล้าไร้สนิม หรือโลหะชุบเงิน ทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนในเซลล์ออกสู่วงจรไฟฟ้าภายนอกและรับอิเล็กตรอนจากวงจรไฟฟ้าภายนอกเข้าสู่เซลล์

2. **แผ่นแพร่แก๊ส (gas diffuser)** มีลักษณะเป็นแผ่นพรุนที่ทำให้แก๊สเชื้อเพลิง และแก๊สออกซิเจน แพร่กระจายเข้าสู่แผ่นอิเล็กโทรไลต์อย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ เซลล์เชื้อเพลิงบางชนิด อาจใช้แผ่นแพร่แก๊สที่มีลักษณะแตกต่างไปจากนี้ เช่น เป็นแผ่นทึบที่เจาะรูเล็กๆ ตลอดทั่วทั้งพื้นผิวที่สัมผัสกับแผ่นอิเล็กโทรไลต์ หรือเป็นแผ่นทึบมีร่องเล็กๆ ให้แก๊สไหลกระจายทั่วพื้นที่ผิวแผ่นอิเล็กโทรไลต์ [12,13]

3. **อิเล็กโทรไลต์ (electrolyte)** ทำจากวัสดุต่างๆ เช่น สารละลาย แผ่นพลาสติก มีหน้าที่ยอมให้อิออนซึมผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง พื้นผิวทั้ง 2 ด้านของแผ่นอิเล็กโทรไลต์เคลือบไว้ด้วยตัวเร่งปฏิกิริยา

4. **ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)** เป็นวัสดุพิเศษที่ช่วยให้ปฏิกิริยาในขั้นตอนต่างๆ เกิดได้ดี โดยส่วนใหญ่แล้วใช้แพลตินัมเนื่องจากเร่งปฏิกิริยาได้ดี ตัวเร่งปฏิกิริยาจะเคลือบอยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้ากับอิเล็กโทรไลต์ทั้งสองข้าง

5. **แผ่นปิดหัวท้าย (end plate)** เป็นแผ่นประกบด้านนอกทั้งสองด้านของเซลล์ เพื่อบีบอัดและยึดชิ้นส่วนต่างๆ ไว้ด้วยกัน แผ่นปิดหัวท้ายเซลล์ทำด้วยโลหะหรือโลหะก็ได้ มักมีรูหรือช่องทางสำหรับป้อนแก๊สเชื้อเพลิงและแก๊สออกซิเจนเข้าสู่เซลล์

2.1.2 ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิงมีหลายชนิดแต่ทุกชนิดจะให้กระแสไฟฟ้าออกเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่สามารถนำไปขับมอเตอร์ หลอดไฟหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ได้โดยที่เซลล์เชื้อเพลิงทุกชนิดจะมีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน แต่แตกต่างกันตรงที่สารตั้งต้นและอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งสามารถแบ่งเซลล์เชื้อเพลิงตาม สารตั้งต้นและอิเล็กโทรไลต์ได้ดังนี้ [10, 11]

1. **เซลล์เชื้อเพลิงแบบอัลคาไลน์ (Alkaline Fuel Cell; AFC)** เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีอุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงขณะทำงานประมาณ 150 - 200 °C ใช้แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนเป็นสารตั้งต้น สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง แต่เนื่องจากระบบไวต่อการปนเปื้อนมาก จึงต้องใช้ไฮโดรเจนและออกซิเจนบริสุทธิ์เท่านั้น ทำให้ระบบมีราคาสูงจึงนิยมใช้เฉพาะในทางทหารหรืออวกาศ

2. **เซลล์เชื้อเพลิงแบบกรดฟอสฟอริก (Phosphoric-Acid Fuel Cell; PAFC)** เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีอุณหภูมิของเซลล์ขณะทำงานประมาณ 150 - 200 °C ใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารอิเล็กโทรไลต์บรรจุในเมตริกซ์ซิลิกอนคาร์ไบด์และใช้แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนเป็นสารตั้งต้น PAFC เป็นระบบที่มีแนวโน้มที่จะถูกนำไปใช้ในสถานีไฟฟ้าขนาดเล็กเนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่าแบบ PEMFC ทำให้ต้องใช้เวลาในการอุ่นระบบที่นานกว่า ทำให้ไม่เสถียรในการนำมาใช้ในรถยนต์ มีปัญหาเกี่ยวกับ CO เข้าทำลายตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วบวก และการนำไอออนในอิเล็กโทรไลต์ไม่ดีพอ

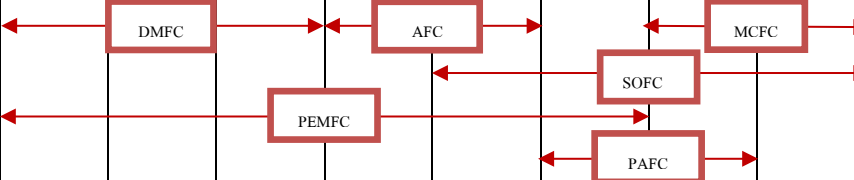
3. **เซลล์เชื้อเพลิงแบบออกไซด์แข็ง (Solid Oxide Fuel Cell; SOFC)** เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีอุณหภูมิของเซลล์ขณะทำงานประมาณ 1000 °C สารอิเล็กโทรไลต์แข็งเป็นเซรามิกทนความร้อนสูง ที่ทำจากสารประกอบโลหะออกไซด์ เช่น แคลเซียมออกไซด์ หรือเซอร์โคเนียมออกไซด์ โดยส่วนใหญ่จะใช้ซิลิกอนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้า มีประสิทธิภาพ 60 % SOFC เป็นระบบที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในสถานีไฟฟ้าขนาดใหญ่เนื่องจากสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากแต่เซลล์ไฟฟ้าชนิดนี้ทำงานที่อุณหภูมิที่สูงมาก ทำให้มีปัญหาเรื่องเสถียรภาพ แต่ก็มีข้อดีตรงที่ว่าไอน้ำอุณหภูมิสูงที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการนี้ สามารถนำไปใช้ปั่นกังหันแก๊สต่อได้ทำให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่เนื่องจาก SOFC การทำงานที่อุณหภูมิสูงส่งผลให้การเริ่มต้นจ่ายพลังงานได้ช้า ต้องการฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนและป้องกันคน ไม่เหมาะสำหรับการขนส่งหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องมีการเคลื่อนย้าย

4. เซลล์เชื้อเพลิงแบบคาร์บอเนตหลอม (Molten Carbonate Fuel Cell; MCFC)
เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีอุณหภูมิขณะทำงานสูงเหนือจุดหลอมเหลวของสารอิเล็กโทรไลต์ ประมาณ 600 °C ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้ามักใช้โลหะนิกเกิลเป็นส่วนใหญ่ อุณหภูมิของเซลล์ขณะทำงานประมาณ 650 °C มีประสิทธิภาพ 60 – 80 % MCFC เป็นอีกประเภทหนึ่งที่ เหมาะสมสำหรับสถานีไฟฟ้าขนาดใหญ่ และเนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า SOFC ทำให้ไม่ต้องใช้วัสดุพิเศษจึงทำให้ระบบนี้ใช้งบประมาณที่น้อยกว่า แต่เนื่องจาก MCFC ทำงานที่อุณหภูมิสูงและใช้อิเล็กโทรไลต์ที่กัดกร่อนจึงเป็นตัวเร่งทำให้ส่วนประกอบผุกร่อนและเสียหาย เป็นการลดอายุการใช้งานของเซลล์เชื้อเพลิงลง

5. เซลล์เชื้อเพลิงแบบใช้เมทานอลแอลกอฮอล์โดยตรง (Direct Methanol Fuel Cell; DMFC) มีลักษณะเหมือน PEMFC แต่ใช้เมทานอลเป็นสารตั้งต้นโดยจ่ายเข้าไปที่ขั้วโดยตรง อุณหภูมิของเซลล์ขณะทำงานประมาณ 20 - 100 °C เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับถังเก็บเชื้อเพลิงที่พบในเซลล์บางชนิด แต่ให้แรงดันไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำ

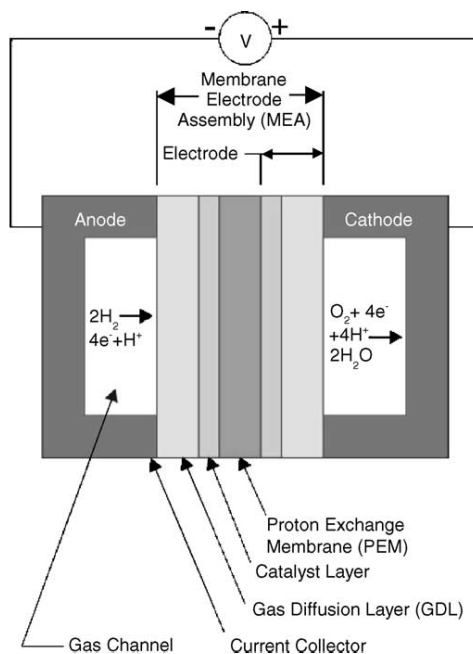
6. เซลล์เชื้อเพลิงเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton Exchange Membrane Fuel Cell; PEMFC) สารอิเล็กโทรไลต์ คือ เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ แพลทินัม อุณหภูมิของเซลล์ขณะทำงานประมาณ 30 - 150 °C สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิและความดันต่ำ โดยเซลล์เชื้อเพลิงเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน นั้นมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา พกพาสะดวก และนำไปประยุกต์ใช้งานได้มากกว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่น เช่น ใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้แก่ คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก โทรศัพท์มือถือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ยานพาหนะ และแหล่งผลิตไฟฟ้าตามบ้านเรือน เป็นต้น นอกจากนี้แล้วเซลล์เชื้อเพลิงแบบแลกเปลี่ยนโปรตอนยังมีประสิทธิภาพสูงไม่ก่อให้เกิดมลพิษ ให้กำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบตเตอรี่และใช้เวลาในการชาร์จน้อยกว่า

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบการประยุกต์ใช้งานเซลล์เชื้อเพลิง [12]

การประยุกต์ใช้งาน	อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก			ยานพาหนะ		จ่ายไฟฟ้าตามบ้านเรือน		
กำลังไฟฟ้า (W)	1	10	100	1 k	10 k	100 k	1 M	10 M
ช่วงการเลือกใช้งาน								
ข้อดี	กำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบตเตอรี่ใช้เวลาในการชาร์जन้อยกว่า			ประสิทธิภาพสูง		ประสิทธิภาพสูงและไม่ก่อให้เกิดมลพิษ		

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า PEMFC สามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าสูง ใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่นและเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้กำลังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อประยุกต์ใช้สำหรับเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าแก่ยานพาหนะ หรือตามสถานที่ต่าง ๆ

2.1.3 เซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงองค์ประกอบของเซลล์เชื้อเพลิง [13]

จากรูปที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยองค์ประกอบแต่ละส่วนมีหน้าที่แตกต่างกันดังนี้ [13]

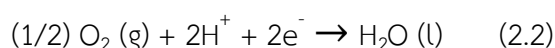
1. ขั้วแอโนด (anode) เป็นขั้วลบมีหน้าที่ส่งอิเล็กตรอนออกจากขั้ว โดยอิเล็กตรอนได้จากปฏิกิริยา $H_2 \Rightarrow 2H + 2e^-$ โดยที่ขั้วจะมีช่องที่ติดกับตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งฉาบอยู่บนผิวหน้าของเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนโดยปฏิกิริยาจะเกิดเมื่อผ่านแก๊สไฮโดรเจนเข้าไป
2. ขั้วแคโทด (cathode) เป็นขั้วบวกโดยมีช่องติดกับเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนทำหน้าที่รับโปรตอนและแก๊สออกซิเจนซึ่งถูกปล่อยออกมาที่ผิวหน้าของเยื่อซึ่งฉาบตัวเร่งปฏิกิริยาเอาไว้และทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนกลับมาจากวงจรภายนอก เพื่อรวมกันเป็นน้ำ ดังปฏิกิริยา $O_2 + 4H + 4e^- \Rightarrow 2H_2O$
3. อิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) เป็นส่วนที่มีความสำคัญ เพราะเป็นส่วนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนชนิดต่างๆ และเป็นส่วนที่เซลล์เชื้อเพลิงแต่ละประเภทแตกต่างกัน โดยประเภทที่เรากล่าวถึงอยู่นี้ อิเล็กโทรไลต์จะเป็นเพียงเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน เท่านั้น
4. ตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) เป็นวัสดุพิเศษที่ช่วยให้ปฏิกิริยาในขั้นตอนต่างๆ เกิดได้ดีโดยส่วนใหญ่จะเป็นแพลทินัมเคลือบอยู่บนเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนซึ่งจะมีลักษณะขรุขระเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน [14]

สารตั้งต้นที่นิยมใช้ คือ ไฮโดรเจน และ ออกซิเจน สารอิเล็กโทรไลต์ คือ เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ตัวเร่งปฏิกิริยา คือ แพลทินัม อุณหภูมิของเซลล์เชื้อเพลิงขณะทำงานประมาณ 30 - 150 °C เมื่อเติมไฮโดรเจนที่ขั้วแอโนด (ขั้วลบ) และออกซิเจนที่ขั้วแคโทด (ขั้วบวก) ไฮโดรเจนทำปฏิกิริยากับตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลิตภัณฑ์ คือ โปรตอน และอิเล็กตรอน



โปรตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนไปยังขั้วแคโทด ส่วนอิเล็กตรอนที่จะเคลื่อนที่ออกจากแอโนดไปยังขั้วแคโทด โดยผ่านภาระทางไฟฟ้า หรือ โหลด (Load) ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า จากนั้นอิเล็กตรอนจะทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนและโปรตอนของไฮโดรเจน ให้ผลิตภัณฑ์คือ น้ำ



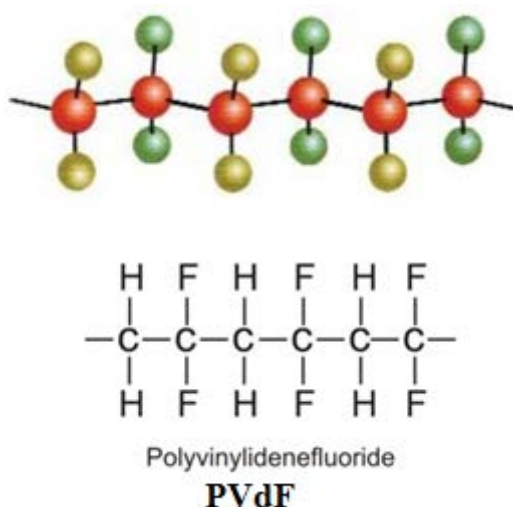
ส่วนสำคัญของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ คือ อิเล็กโทรไลต์ โดยอิเล็กโทรไลต์ของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ต่างจากชนิดอื่นคือเป็น เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน

2.1.4 เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน

เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนเป็นส่วนสำคัญของ PEMFC ส่วนหนึ่ง โดยมีหน้าที่ยอมให้โปรตอนผ่านแต่ไม่ให้อิเล็กตรอนผ่าน เพื่อให้อิเล็กตรอนวิ่งตามทางที่กำหนดและเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าเมื่ออิเล็กตรอนเกิดการเคลื่อนที่จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น โดยเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้ [15]

1. มีค่าการนำไอออนสูง แต่มีค่าการนำอิเล็กตรอนต่ำ
2. มีค่าการแพร่ของแก๊สต่ำ
3. มีขนาดที่แน่นอน (ไม่มีการบวม)
4. มีความแข็งแรงเชิงกลสูง
5. มีค่าการแพร่ของน้ำต่ำ
6. มีค่าต้านทานต่อการสูญเสียน้ำหรือมีความต้านทานต่อการเกิดดีไฮเดรชัน (dehydration)
7. มีค่าต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชัน รีดักชันและไฮโดรไลซิส (hydrolysis)
8. มีค่าการถ่ายเทไอออนบวกสูง
9. พื้นผิวเยื่อต้องสามารถเชื่อมตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกาะบนพื้นผิวได้ดี
10. มีความเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneity)

วัสดุชนิดแรกที่น่ามาใช้เป็นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนคือ พอลิเตตราฟลูออโรเอทีลีน (polytetrafluoroethylene; PTFE) โดยมีชื่อการค้าว่า นาฟิออน (Nafion) [14, 16] ถูกคิดค้นโดยบริษัท Dupont โดยนาฟิออนนั้นมีคุณสมบัติทนต่อสารเคมีไม่มีว่าจะในสภาพกรด เบส ทนต่ออุณหภูมิสูงถึง 125 °C แต่นาฟิออนไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิที่สูงกว่า 100 °C และมีปัญหาในเรื่องการซึมผ่านของเมทานอล ไม่เหมาะในการนำไปติดตั้งกับเครื่องยนต์เนื่องจากเครื่องยนต์ซึ่งมีอุณหภูมิการทำงาน 100 - 150 °C จึงได้มีการค้นหาพอลิเมอร์ชนิดอื่นมาทดแทน อาทิ เช่น polystyrenesulfonic acid Polyvinylalcohol และ PVdF



รูปที่ 2.3 โครงสร้างโมเลกุล PVdF [17]

โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ PVdF เนื่องจาก PVdF มีสมบัติในการซึมผ่านของเมทานอลได้ดี มีสมบัติเชิงกลที่ดี ทนต่ออุณหภูมิสูงถึง 175 °C ทนต่อสารเคมีและทนต่อการละลายน้ำ จึงเหมาะสมที่จะนำมาสังเคราะห์เป็นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน

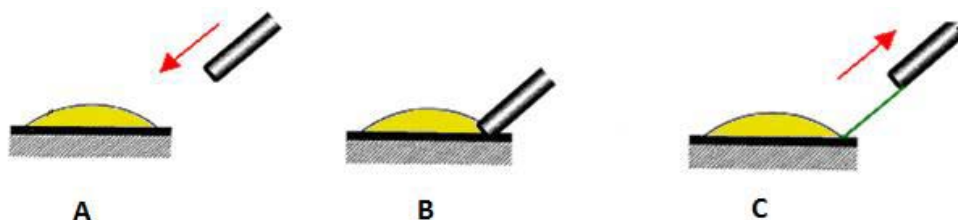
ซึ่งในการสังเคราะห์เยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนนั้นมีกระบวนการที่หลากหลายแตกต่างกันไป เช่น กระบวนการ electron beam irradiation [18] กระบวนการ preferential polymer dissolution กระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง (electrospinning) [19, 20] ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ง่ายไม่ซับซ้อน

2.2 กระบวนการสังเคราะห์เส้นใยนาโน

ในปัจจุบันได้มีการสังเคราะห์และพัฒนานำเส้นใยนาโนมาประยุกต์ใช้ในหลากหลายด้าน เช่น สังเคราะห์เพื่อนำมาใช้งานด้านคุณสมบัติการนำไฟฟ้า และคุณสมบัติเชิงกล เช่น ตัวเก็บประจุ ทรานซิสเตอร์ ไดโอด หน่วยความจำและชิปสำหรับคอมพิวเตอร์ สังเคราะห์เพื่อนำมาใช้งานด้านการแพทย์ เช่น หลอดเลือดเทียม เนื้อเยื่อเทียมสำหรับซ่อมแซมกระดูก เส้นประสาทและผ้าปิดแผล เป็นต้น โดยกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยนาโนนั้นมีหลากหลายกระบวนการ [20] เช่น

1. Drawing

เป็นกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยนาโนชนิดหนึ่ง โดยใช้ไมโครปิเปต ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในระดับไมโครเมตรจุ่มสารแล้วดึงออกในขณะที่ทำการดึงไมโครปิเปตออกนั้น สารจะติดไมโครปิเปตทำให้เกิดเส้นใยแสดงดังรูปที่ 2.4

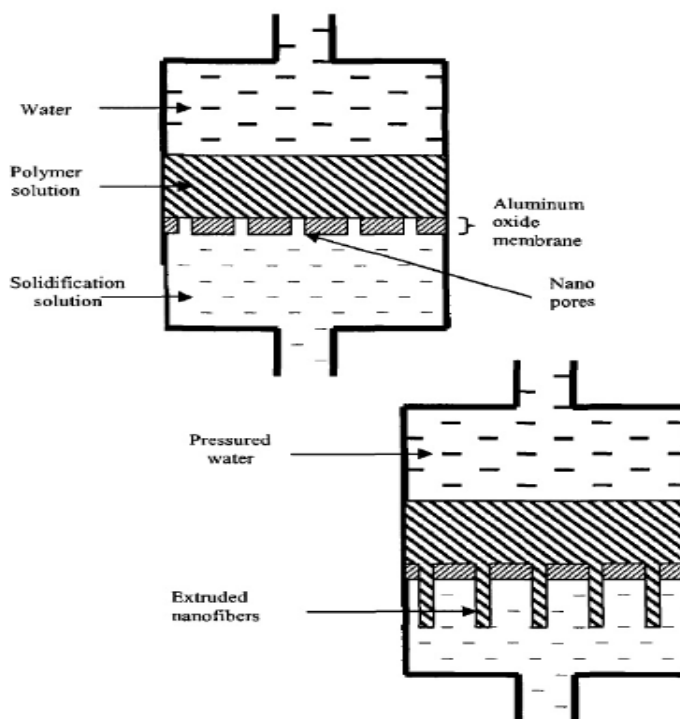


รูปที่ 2.4 การสังเคราะห์เส้นใยนาโนด้วยกระบวนการ Drawing

ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ยุ่งยากใช้เครื่องมือที่ไม่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถควบคุมความสม่ำเสมอของเส้นใยได้ ได้เส้นใยขนาดสั้น 1 - 2 cm เท่านั้น

2. Template Synthesis

เป็นการประยุกต์ใช้แรงดันในการดันสารให้ผ่านเยื่อโลหะออกไซด์หรือแผ่นสารมีรูพรุนระดับนาโน สารพอลิเมอร์จะถูกดันผ่านรูพรุนออกมาขนาดเท่ากับรูพรุนของแผ่นเยื่อโลหะออกไซด์ แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การสังเคราะห์เส้นใยนาโนด้วยกระบวนการ Template Synthesis

3. Phase Separation

ขั้นตอนในการสังเคราะห์เส้นใยนาโนด้วยกระบวนการ Phase Separation ส่วนใหญ่จะเป็นการทำให้สารละลายเปลี่ยนอุณหภูมิการจัดตัวทำละลายออกเหลือเฉพาะสารตั้งต้นในรูปวัสดุพูนแต่กระบวนการนี้ใช้ได้กับพอลิเมอร์บางชนิดเท่านั้น

4. Self-Assembly

เป็นการประกอบตัวของโมเลกุลหน่วยย่อยให้วางตัวอย่างเป็นระเบียบได้เอง โดยมีแนวคิดพื้นฐานที่ว่าโมเลกุลจะพยายามอยู่ในสภาวะที่ใช้ระดับพลังงานต่ำสุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อที่จะให้อยู่ภายใต้สภาวะที่เสถียรที่สุด กระบวนการนี้จะเป็นการนำอะตอมหรือโมเลกุลวางลงไปยังพื้นผิวหรือโครงสร้างนาโน แล้วโมเลกุลนั้นจะเรียงตัวในตำแหน่งที่ต้องการได้เอง ทั้งนี้การรวมตัวกันเป็นไปเพื่อลดระดับพลังงานโดยรวมให้อยู่ในระดับต่ำที่สุด

โดยกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยนาโนแต่ละกระบวนการนั้นมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันดังตารางที่ 2.2

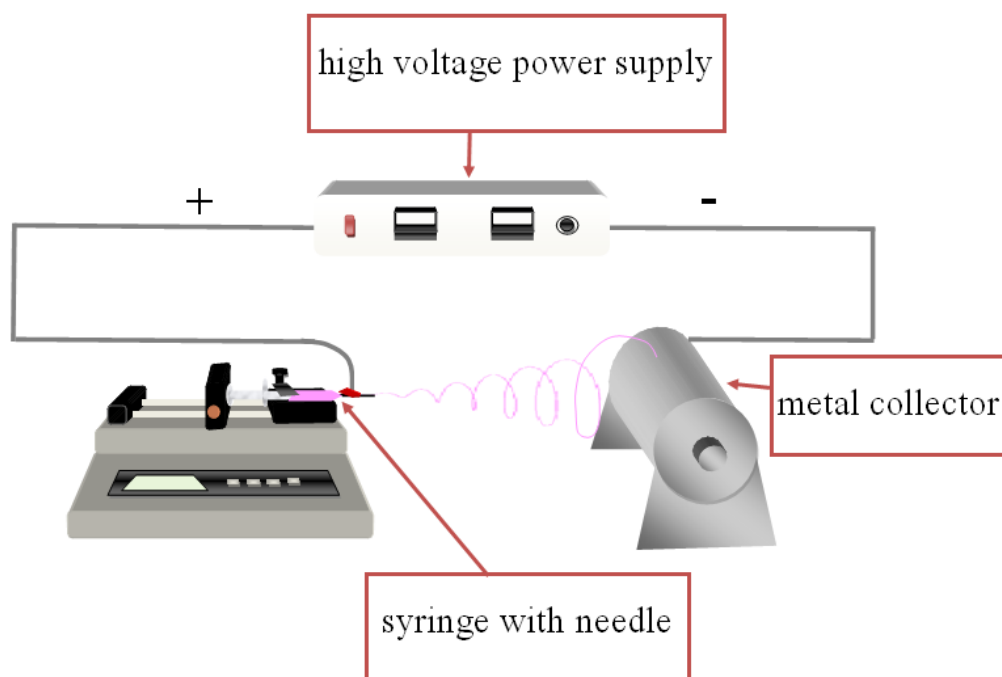
ตารางที่ 2.2 แสดงข้อดีและข้อเสียของกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยนาโน

กระบวนการสังเคราะห์	ขยายระบบเข้าสู่พาณิชย์	ทำซ้ำได้	กระบวนการไม่ซับซ้อน	ควบคุมขนาดของเส้นใย
Drawing	✗	✓	✓	✗
Temlate Synthesis	✗	✓	✓	✓
Phase Separation	✗	✓	✓	✗
Self-Assembly	✗	✓	✗	✗
Electrospinning	✓	✓	✓	✓

2.3 กระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง

กระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง เป็นกระบวนการสังเคราะห์เส้นใยนาโนกระบวนการหนึ่งที่มีขั้นตอนในการสังเคราะห์ง่ายไม่ซับซ้อน ราคาต้นทุนต่ำ สามารถผลิตเส้นใยได้มากกว่ากระบวนการอื่น และยังได้รับความสนใจและใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันกระบวนการสังเคราะห์นี้อาศัยแรงทางไฟฟ้าที่เกิดจากศักย์ไฟฟ้ากำลังสูง สามารถประติษฐานเส้นใยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ระดับ 10 นาโนเมตร ถึงมากกว่า 1 ไมโครเมตร เส้นใยที่ได้มีอัตราส่วนระหว่างพื้นผิวกับปริมาตรสูง ความพรุนสูง มีความยืดหยุ่นสูง [21] และน้ำหนักเบา สำหรับระบบพื้นฐานมีส่วนประกอบหลักสำคัญอยู่เพียง 3 ส่วน คือ

1. แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง (high votage power supply) ทำหน้าที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าให้แก่เข็มโลหะและฉากรองรับ เพื่อให้เกิดสนามไฟฟ้า
2. หลอดบรรจุสารละลายพร้อมเข็มโลหะ (syringe with needle)
3. วัสดุรองรับที่เป็นโลหะ (metal collector) ทำหน้าที่รองรับชิ้นงาน



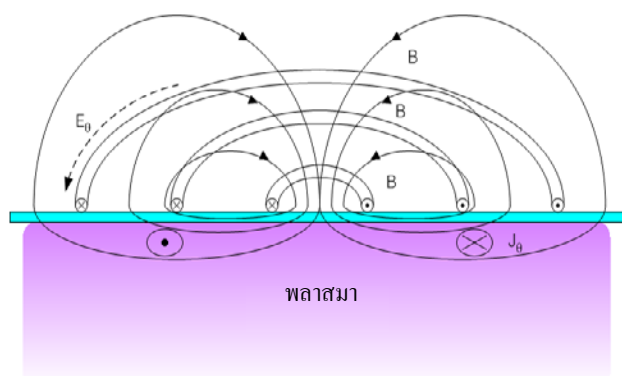
รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงองค์ประกอบของเครื่องอิเล็กโตรสปินนิง

จะเห็นได้ว่าระบบนั้นไม่มีความซับซ้อน ใช้งานสะดวก และยังสามารถเพิ่มอุปกรณ์สำหรับควบคุมการไหลของสารละลาย (syringe pump) และทำให้การผลิตเส้นใยมีคุณภาพสูงขึ้นกล่าวคือสามารถควบคุมขนาดและปริมาณการเกิดเส้นใยได้ต่อเนื่อง

การทำงานของระบบอิเล็กโตรสปินนิง เมื่อยังไม่ให้ศักย์ไฟฟ้ากำลังสูงแก่ระบบสารละลายจำนวนหนึ่งจะรวมตัวกันเป็นหยดรูปทรงทรงกลมที่บริเวณปลายเข็มโลหะอันเป็นผลเนื่องจากแรงตึงผิว (surface tension) แต่เมื่อให้ความต่างศักย์กำลังสูงจะเกิดสนามไฟฟ้าควบคุมส่วนปลายของเข็มโลหะ และมีประจุเกิดขึ้นที่ผิวของสารละลายจึงเกิดแรงผลักทางไฟฟ้าสถิต (electrostatic repulsion) ขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามกับแรงตึงผิวดังนั้นถ้าสนามไฟฟ้ามีกำลังมากพอที่จะทำให้เกิดแรงผลักมากกว่าแรงตึงผิว จะส่งผลให้รูปทรงรีวงกลมของสารละลายที่อยู่ปลายเข็มยืดออกเป็นรูปทรงกรวยที่เรียกว่า “กรวยของเทเลอร์” (Taylor’s cone) [22] และเมื่อสนามไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบมีค่ามากขึ้นจนถึงค่าวิกฤตค่าหนึ่งจะเกิดแรงขับเคลื่อนให้สารละลายพุ่งออกมาเป็นลำ (solution jet) ลำของสารละลายนี้จะยืดออกจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงถึงระดับนาโนเมตรแล้วตกลงบนวาลารองรับในลักษณะที่ไม่เกิดการถักทอ (non-woven nanofiber)

2.4 ระบบกำเนิดพลาสมาแบบการเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Inductively coupled plasma, ICP)

กระบวนการปรับปรุงสมบัติของวัสดุพอลิเมอร์ด้วยพลาสมา เป็นการนำวัสดุพอลิเมอร์ต่างๆ ใส่ในภาชนะปิดที่มีการสร้างพลาสมาอยู่ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผิวของวัสดุนั้นๆ ด้วยปฏิกิริยาในพลาสมา ปฏิกิริยาในพลาสมาเป็นกระบวนการเชิงฟิสิกส์-เคมี อนุภาคหรือโมเลกุลของแก๊สหรือไอระเหยที่แตกตัวเป็นพลาสมาเปรียบได้กับโมเลกุลในปฏิกิริยาเคมี เทคนิคการกำเนิดพลาสมาเพื่องานทางด้านวัสดุศาสตร์มีหลายวิธี เช่น ระบบพลาสมาความดันต่ำ (low pressure plasma) เทคนิคเหนี่ยวนำ (inductively coupled plasma) และเทคนิคควบประจุ (capacitively coupled plasma) และระบบพลาสมาความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure plasma) เทคนิคเจ็ทพลาสมา (plasma jet) เทคนิคพลาสมาแบบดิสชาร์จผิว (surface discharge plasma) และเทคนิคพลาสมาแบบดิสชาร์จข้ามฉนวน (dielectric barrier discharge) เป็นต้น



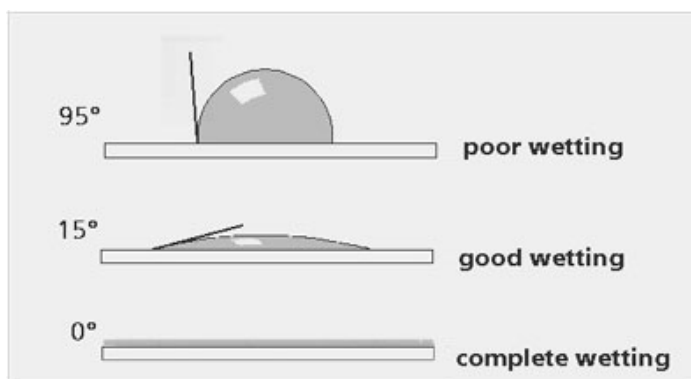
รูปที่ 2.7 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบขดลวด
ที่วางในบริเวณที่เกิดพลาสมาด้านบนของแผ่นไดอิเล็กทริก

ระบบการกำเนิดพลาสมาแบบการเหนี่ยวนำไฟฟ้า หรือ (Inductively coupled plasma, ICP) เป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการปรับสภาพวัสดุ เนื่องจากให้ความหนาแน่นของพลาสมาสูงถึงประมาณ 10^{10} - 10^{12} cm⁻³ [16] มีความสะอาดสูงเนื่องจากข้อไฟฟ้าอยู่ภายนอกภาชนะสุญญากาศ ระบบ ICP เป็นการกำเนิดพลาสมาด้วยการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ขดลวดเหนี่ยวนำ ที่วางตัวภายนอกภาชนะสุญญากาศที่กั้นด้วยสารไดอิเล็กทริก เมื่อขดลวดได้รับกำลังไฟฟ้าจะมีการเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าแปรผันตามเวลา $E(r,t)$ และ $H(r,t)$ กำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะถูกถ่ายเทให้กับโมเลกุลแก๊สภายในภาชนะสุญญากาศและเกิดการแตกตัวเป็นพลาสมาขึ้นภายใต้ขดลวด [17,18] ดังรูปที่ 2.7

2.5 ศึกษาสภาพการเปียก

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสภาพการเปียกด้วยการตรวจสอบมุมสัมผัส (contact angle) มุมสัมผัส คือมุมระหว่างหยดของของเหลววัดเทียบกับผิววัสดุ ณ จุดที่ผิวทั้งสองเกาะติดกัน โดยเกณฑ์แบ่งมุมสัมผัสดังนี้

1. มุมสัมผัสเท่ากับ 0 องศา คือการเปียกอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเป็นกรณีที่แรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก เมื่อของเหลวถูกหยดลงบนผิว ของเหลวจะกระจายไปตามผิวของของแข็งจนกลายเป็นชั้นของของเหลวบางๆ คลุมพื้นผิวของของแข็งเป็นบริเวณกว้างที่สุด
2. มุมสัมผัสมีค่าระหว่าง 0 ถึง 90 องศา คือ เกิดการเปียกได้ดี ของเหลวจะกระจายไปบนผิวได้เป็นบริเวณกว้าง แต่ยังคงเกาะกันเป็นหยดนูนขึ้นเล็กน้อยจากผิวของของแข็ง
3. มุมสัมผัสมีค่าตั้งแต่ 90 แต่ไม่ถึง 180 องศา เรียกว่าผิวเปียกยาก คือของเหลวจะรวมกันเป็นหยดรูปทรงค่อนข้างกลม จะมีบริเวณเล็กๆ ที่ฐานของหยดที่ของเหลวยังคงแตะกับผิวของแข็ง
4. มุมสัมผัสมีค่าเท่ากับ 180 องศา เรียกว่า ผิวไม่เปียก เกิดขึ้นเมื่อแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมากๆ ดังนั้นของเหลวจะรวมกันเป็นหยดทรงกลม บริเวณที่ของเหลวแตะกับผิวของแข็งจะอยู่ที่ฐานของทรงกลม ซึ่งเล็กมากจนแทบจะเป็นจุด เมื่อเป็นแบบนี้ ของเหลวสามารถกลิ้งไปมาบนผิวได้อิสระเหมือนลูกบอลกลิ้งบนพื้นเรียบ



รูปที่ 2.8 แผนภาพแสดงมุมสัมผัสระหว่างของเหลวกับผิววัสดุ [23]

2.6 ตรวจสอบสมบัติของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำอิเล็กตรอนในการตรวจสอบชิ้นงาน โดยที่ลำอิเล็กตรอนจะถูกส่องกราดลงบนชิ้นงาน หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และการนำไปสร้างเป็นภาพบนจอแสดงผลและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอแสดงผลได้

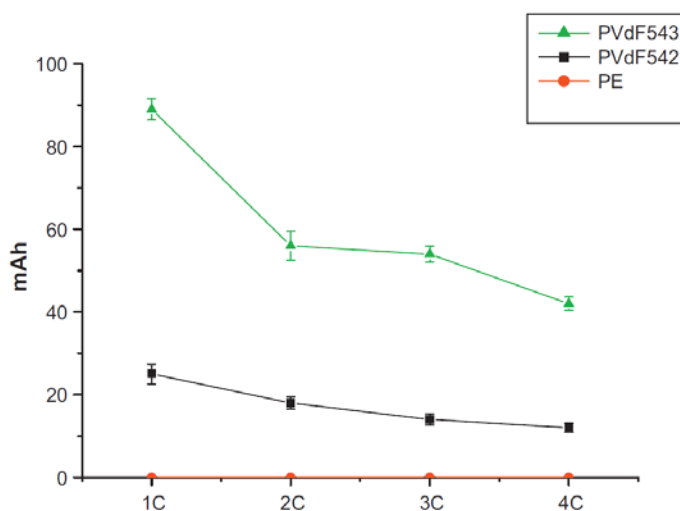
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

H. Kyungho และคณะ [24] สังเคราะห์เส้นใยนาโน PVdF ด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงเพื่อประยุกต์ใช้เป็นแผ่นแยกขั้วแบตเตอรี่ (battery separators) โดยใช้ระยะเวลาในการสังเคราะห์ 3 ชั่วโมง จำนวน 2 แผ่น (แผ่นที่ 1 PVdF - 322 และ แผ่นที่ 2 PVdF - 323) และ 5 ชั่วโมง จำนวน 4 แผ่น (แผ่นที่ 1 PVdF - 532, แผ่นที่ 2 PVdF - 533, แผ่นที่ 3 PVdF - 542 และ แผ่นที่ 4 PVdF - 543) ในอัตราการไหล 0.6 mm/hr ที่ศักย์ไฟฟ้า 10 kV และอัตราการหมุนของแผ่นรองรับ 200 rpm แล้วนำเส้นใยไปทำการตรวจสอบความพรุนด้วยวิธีการแช่เอ็น-บิวทานอล (n-butanol) ตรวจสอบสมบัติเชิงกลและตรวจสอบขนาดเส้นใยนาโนด้วยเครื่อง PMI Automated Perm-porometer พบว่าเส้นใยนาโนนั้นมี ขนาดรูพรุน ความหนาและความพรุนที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติของเส้นใยนาโน PVdF

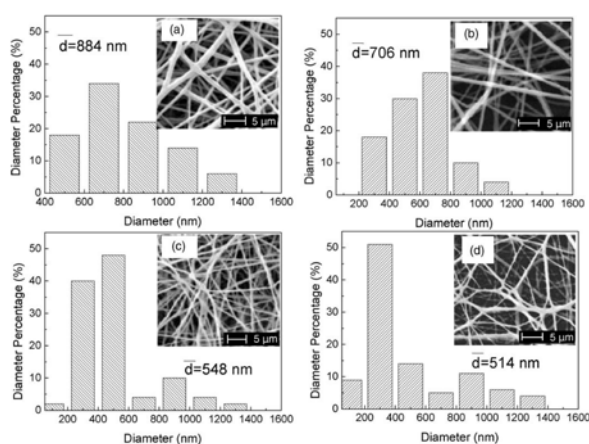
เส้นใยนาโน PVdF	ความหนา (μm)	ขนาดรูพรุน (μm)	ความพรุน (%)
PVdF - 322	20 - 23	0.43	48
PVdF - 323	19 - 24	0.69	47
PVdF - 532	34 - 37	0.44	41
PVdF - 532	34 - 37	0.44	41
PVdF - 533	37 - 44	0.45	43
PVdF - 542	42 - 62	0.33	40
PVdF - 543	37 - 51	0.28	41

เมื่อนำผลที่ได้จากการวิจัยมาเปรียบเทียบกับแผ่นแยกขั้วแบตเตอรี่ PE เชิงพาณิชย์ พบว่าแผ่นแยกขั้วแบตเตอรี่ PVdF - 542 และ PVdF - 543 สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าดังรูปที่ 2.9 และมีความจุทางไฟฟ้ามากกว่าแผ่นแยกขั้วแบตเตอรี่ PE เชิงพาณิชย์



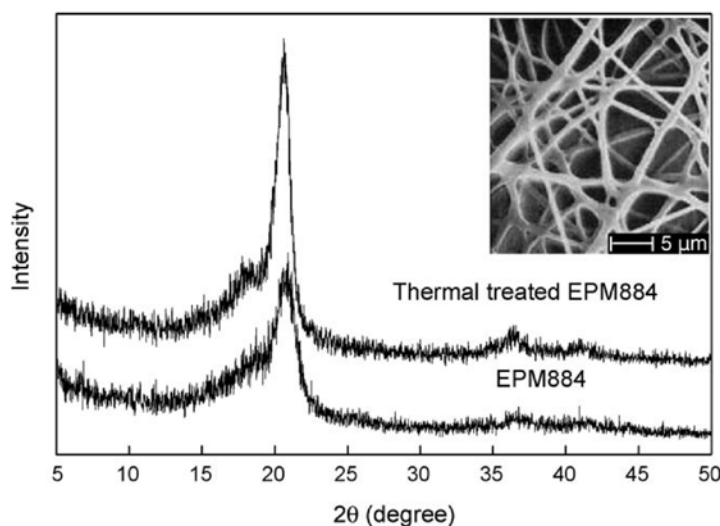
รูปที่ 2.9 ประสิทธิภาพการทำงานของแผ่นแยกขั้วแบตเตอรี่ PVdF – 542 และ PVdF – 543 ที่อุณหภูมิสูง

G. Kun และคณะ [25] ได้เลือกใช้กระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงในการสังเคราะห์เยื่อ PVdF (Electrospun PVdF-based Membranes; EPM) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นแผ่นแยกขั้วแบตเตอรี่ซึ่งโครงสร้างและเส้นผ่านศูนย์กลางของ EPM จะถูกตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM และตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นโครงสร้างและความเป็นผลึกด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) และ Wide-Angle X-ray Diffraction (WAXD) ตามลำดับ ภายใต้เงื่อนไขแรงดันไฟฟ้า 8 kV 10 kV 12 kV และ 15 kV พบว่าขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางแปรผกผันกับแรงดันไฟฟ้าดังรูปที่ 2.10



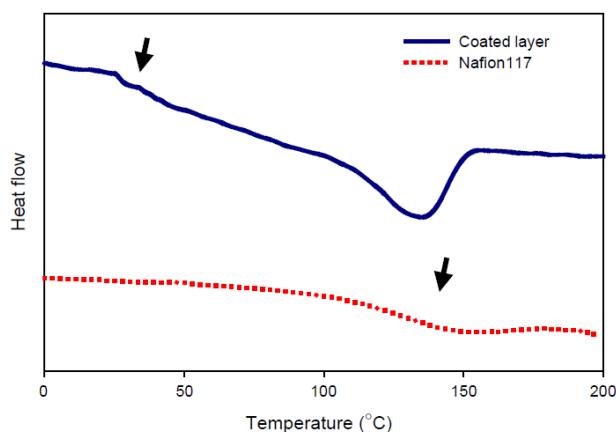
รูปที่ 2.10 EPM ที่แรงดันไฟฟ้าแตกต่างกัน (a) 8kV (b) 10 kV (c) 12 kV และ (d) 15 kV

และผลที่ได้จากการตรวจสอบ DSC และ WAXD พบว่าภายหลังจากการให้อุณหภูมิความร้อน 160 °C เป็น เวลา 2 ชั่วโมง EPM มีความเป็นผลึกและเกิดการประสานเชื่อมต่อกันระหว่างเส้นใยซึ่งช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพดังรูปที่ 2.11



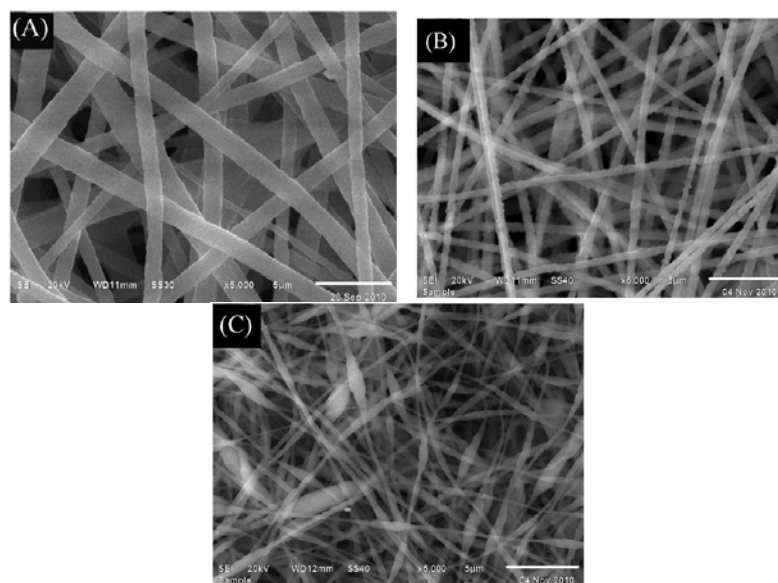
รูปที่ 2.11 EPM ที่อุณหภูมิ 160 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

C. Ki -Yun และคณะ [26] ได้ทำการเสริมประสิทธิภาพระหว่างขั้วไฟฟ้าและเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ให้เข้ากันได้ดีเพื่อลดการรั่วซึมของเชื้อเพลิงเมทานอลระหว่างขั้วแอโนดถึงขั้วแคโทด โดยได้ทำการผสม Nafion และ PVdF กลายเป็นโคพอลิเมอร์ เมื่อนำ Nafion และ โคพอลิเมอร์ มาทำการเปรียบเทียบพบว่า Nafion มีการนำโปรตอนมากกว่าโคพอลิเมอร์ แต่โคพอลิเมอร์มีการรั่วซึมน้อยกว่า Nafion ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งทำให้สมรรถภาพการทำงานเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.12 การรั่วซึมของเชื้อเพลิงเมทานอลระหว่างขั้วแอโนดถึงขั้วแคโทด

W. Na และคณะ [27] ได้ทำการสังเคราะห์เส้นใยนาโนที่ผสมระหว่างพอลิยูรีเทน (thermoplastic polyurethane; TPU) กับ PVdF ที่อัตราส่วน PVdF เท่ากับ 80, 50 และ 20 %w (ร้อยละโดยน้ำหนัก) ด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงที่ความต่างศักย์ 24.5 kV ภายใต้อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำเยื่อ TPU – PVdF แช่ลงในสารละลายลิเทียมเปอร์คลอเรต (LiClO_4) / เอธิลีนคาร์บอนเนต (EC) และโพรพิลีนคาร์บอนเนต (PC) 1 ชั่วโมง แล้วนำไปตรวจสอบสมบัติเชิงพื้นผิวด้วยเครื่อง SEM และทดสอบความพรุนด้วยการแช่ในบิวเทอรอลนาน 1 ชั่วโมง และคำนวณค่าการดูดซึมสารละลาย พบว่าอิเล็กโตรโพลีเมอร์มีค่าการนำไอออนสูง $3.2 \times 10^{-3} \text{ cm}^{-1}$ ที่อุณหภูมิห้อง และลักษณะพื้นผิวของฟิล์มจากพอลิเมอร์ความเข้มข้นแตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อ TPU – co – PVdF (A) อัตราส่วน 80 : 20
(B) อัตราส่วน 50 : 50 (C) อัตราส่วน 20 : 80

ที่อัตราส่วน 20 : 80 เกิดปมเนื่องจากตัวทำละลายระเหยไม่สมบูรณ์ก่อนถึงฉากรองรับและที่อัตราส่วน 50 : 50 มีการเรียงตัวที่ดี มีค่าเฉลี่ยของเส้นใยโดยประมาณ 1.2 μm เมื่อนำแผ่นฟิล์มไปประกอบเป็นแบตเตอรี่มีการทำงานที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ลิเธียม คุณสมบัติการอัดประจุและคายประจุที่เสถียร ผลที่ได้บ่งชี้ว่าพอลิเมอร์อิเล็กโตรโพลีเมอร์ที่ได้มีศักยภาพมากพอและเหมาะสมต่อการนำไปทำแบตเตอรี่ได้

Yongjun Choa และคณะ[28] ได้ทำการสังเคราะห์เส้นใยนาโนที่ผสมระหว่าง PVdF กับ HFP ด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง ในตัวทำละลาย acetone:DMAc (2:1) ที่ความเข้มข้น 7.5 - 20 %w แรงดันไฟฟ้า 8 - 20 kV ระยะห่างระหว่างเข็มถึงฉากรองรับ 5 - 20 cm อัตราการไหล 1 - 12 mL/hr พบว่าสภาวะที่ดีที่สุดคือ ความเข้มข้น 10 %w แรงดันไฟฟ้า 16 kV ระยะห่างระหว่างเข็มถึงฉากรองรับ 15 cm อัตราการไหล 3 mL/hr ได้เส้นใยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 550 nm

จะเห็นว่าพอลิเมอร์ PVdF ถูกเตรียมได้จากหลายกระบวนการอิเล็กโทรสปินนิงมีศักยภาพที่จะใช้เป็นแผ่นเยื่ออิเล็กโทรไลต์แทน Nafion ได้ แต่การทดลองหลายชิ้นยังคงมีส่วนผสมของ Nafion ซึ่งอาศัยสมบัติความพรุนและนำโปรตอนของ Nafion ในการวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาการเตรียมแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน PVdF โดยการใช้กระบวนการอิเล็กโทรสปินนิง เพื่อให้ได้แผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน PVdF ที่มีสมบัติความพรุนและนำโปรตอนได้ดี โดยไม่มีส่วนผสมของ Nafion

บทที่ 3

วิธีทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ได้มี ขั้นตอนการทดลอง การวิเคราะห์ชิ้นงาน อุปกรณ์ เครื่องมือ และ สารเคมี ดังนี้

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

- 3.1.1 หลอดฉีดยาชนิดแก้วปริมาตร 5 ml
- 3.1.2 เข็มฉีดยา (ผลิตโดยบริษัท DOCTOR ปลายเข็มตัดตรง) เบอร์ 22 ยาว 2 cm
- 3.1.3 แผ่นอลูมิเนียมฟอยด์ ขนาด 7.62 m x 30.4 cm
- 3.1.4 เครื่องคนสารละลายด้วยแรงแม่เหล็กแบบให้ความร้อน (ผลิตโดยบริษัท IKA รุ่น Yellow Mag HS7)
- 3.1.5 แท่งแม่เหล็กกวนสารขนาด 6 x 10 mm
- 3.1.6 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (ผลิตโดยบริษัท DENVER INSTRUMENT รุ่น Summit)
- 3.1.7 ขวดแก้วสำหรับเตรียมสาร (Vial) ขนาด 5 ml
- 3.1.8 ตู้อบ (ผลิตโดยบริษัท MEMMERT รุ่น Unb 400)
- 3.1.9 เครื่องอิเล็กทรอนิกส์สปinning แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 เครื่องอิเล็กทรอนิกส์สปinning 1. แผงควบคุมเครื่อง 2. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า
3. เครื่องควบคุมอัตราการไหล 4. หลอดฉีดยาชนิดแก้วพร้อมเข็มโลหะ 5. ฉากรองรับทรงกระบอก

3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ (Polyvinylidene fluoride; PVdF, $M_w = 534,000$ Da, ผลิตโดยบริษัท SIGMA - ALDRICH)
- ไดเมทิลอะเซตาไมด์ (Dimethylacetamide; DMAc, Lab Grade, ผลิตโดยบริษัท FLUKA ANALYTICAL)
- อะซิโตน (Acetone, Lab Grade, ผลิตโดยบริษัท J.T.BAKER)

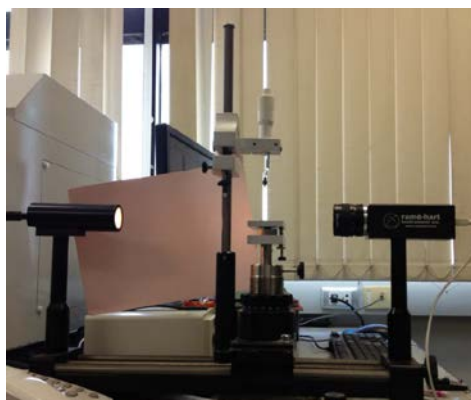
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิเคราะห์

- กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) บริษัท JOEL รุ่น JSM – 6510



รูปที่ 3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

- เครื่องตรวจสอบมุมสัมผัส (contact angle) บริษัท บริษัท RAME – HART รุ่น Standard goniometer 100 – 00 -220



รูปที่ 3.3 เครื่องตรวจสอบมุมสัมผัส

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 กระบวนการเตรียมสารละลาย PVdF

จากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าการใช้ DMAc เป็นตัวทำละลายเพียงอย่างเดียวนั้นจะเกิดเกล็ดและปมมากเนื่องจากตัวทำละลาย DMAc มีการระเหยไม่สมบูรณ์ก่อนถึงฉากรองรับ จึงมีการผสม Acetone ร่วมด้วย ที่อัตราส่วน 4:6 เพื่อให้ DMAc มีการระเหยเร็วมากขึ้น

1. เตรียมสารละลาย PVdF ในตัวทำละลายผสมระหว่าง DMAc กับ Acetone ปริมาณ 5 ml ความเข้มข้นแตกต่างกันดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงความเข้มข้นของ PVdF ที่แตกต่างกัน

ลำดับ	ความเข้มข้น	ปริมาณ (g)		
	(% W)	PVdF	Acetone	DMAc
1	7	0.35	2.79	1.86
2	9	0.45	2.73	1.82
3	11	0.55	2.67	1.78
4	13	0.65	2.61	1.74
5	15	0.75	2.55	1.70

2. คนสารละลายโดยเครื่องคนสารละลายด้วยแรงแม่เหล็ก ที่อุณหภูมิ 35 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อสารละลายเข้ากันดีแล้ว ทำการคนสารละลายอีกครั้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

3.4.2 การสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVdF ด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง

1. ทำการสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVdF ด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง โดยที่มีระยะห่างระหว่างเข็มถึงฉากรองรับ 10 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางฉากรองรับทรงกระบอก 125 cm อัตราการหมุนของฉากรองรับ 1000 rpm อัตราการไหล 1.00 mL/hr เป็นเวลา 1.30 ชั่วโมงที่แรงดันไฟฟ้าและความเข้มข้นแตกต่างกันดังตารางที่ 3.2

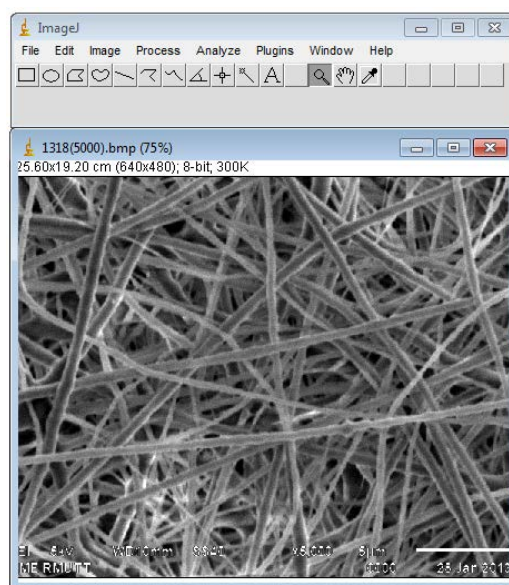
ตารางที่ 3.2 แสดงความเข้มข้นและแรงดันไฟฟ้าในการสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVdF

ตัวอย่างชิ้นงาน	ความเข้มข้น (%w)	แรงดันไฟฟ้า (kV)
M 1	7	10
M 2	7	12
M 3	7	14
M 4	7	16
M 5	7	18
M 6	9	10
M 7	9	12
M 8	9	14
M 9	9	16
M 10	9	18
M 11	11	10
M 12	11	12
M 13	11	14
M 14	11	16
M 15	11	18
M 16	13	10
M 17	13	12
M 18	13	14
M 19	13	16
M 20	13	18
M 21	15	10
M 22	15	12
M 23	15	14
M 24	15	16
M 25	15	18

3.5 ตรวจสอบสมบัติของเส้นใยนาโน PVdF

3.5.1 ตรวจสอบสมบัติของพื้นผิวด้วยเครื่อง SEM

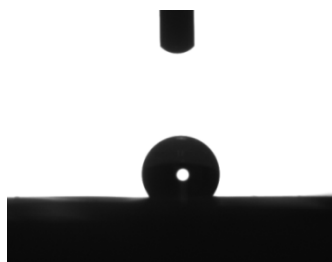
ตัดชิ้นงานขนาด $1 \times 1 \text{ cm}^2$ นำไปติดบนสตั๊ป แล้วนำไปเคลือบทองเพื่อให้นำไฟฟ้า เมื่อเคลือบทองแล้วนำชิ้นงานไปตรวจสอบสมบัติของพื้นผิวด้วยเครื่อง SEM นำภาพที่ได้จากเครื่อง SEM มาวิเคราะห์และหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยด้วยโปรแกรม ImageJ แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยด้วยโปรแกรม ImageJ

3.5.2 ศึกษาสภาพการเปียกของพื้นผิวเส้นใยด้วยเครื่องตรวจสอบมุมสัมผัส

ตัดชิ้นงานขนาด $2 \times 4 \text{ cm}^2$ นำไปติดบนกระจกสไลด์ ทำการหยดน้ำกลั่นลงแผ่นเยื่อ ปริมาตร $0.2 \mu\text{l}$ แล้วทำการหามุมสัมผัสระหว่างหยดน้ำกับแผ่นเยื่อ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การวัดมุมสัมผัสด้วยโปรแกรม DropImage Standard

3.5.3 การคำนวณเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ

ทำการตัดเส้นใยที่มีขนาด $4.5 \times 6.7 \text{ cm}^2$ นำชิ้นงานที่ได้ไปแช่น้ำปราศจากไอออน (deionized water) ปริมาตร 25 ml เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วซับน้ำออกด้วยกระดาษกรอง นำไปชั่งมวลกำหนดให้เป็นมวลเปียก ($m_{\text{เปียก}}$) หลังจากนั้นนำชิ้นงานมาอบที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งมวลกำหนดให้เป็นมวลแห้ง ($m_{\text{แห้ง}}$) นำค่ามวลที่ได้ทั้ง 2 มาหาค่าการอุ้มน้ำตามสมการที่ 3.1

$$\text{Water uptake} = \left| \frac{m_{\text{เปียก}} - m_{\text{แห้ง}}}{m_{\text{แห้ง}}} \right| \times 100 \% \quad (3.1)$$

บทที่ 4

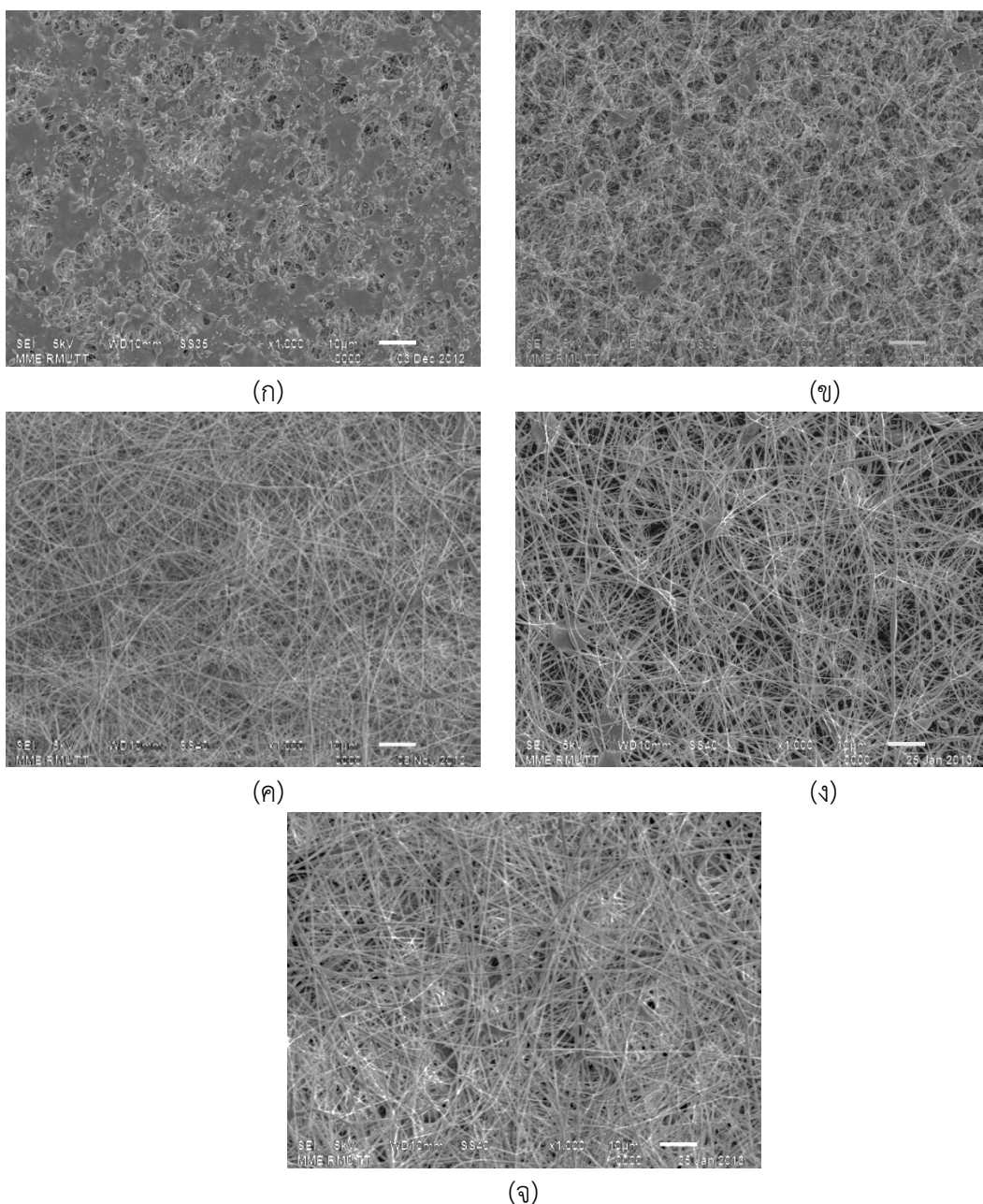
ผลการทดลองและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์เส้นใยนาโน PVdF ด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิงบนฉากรองรับ ที่อัตราการหมุนของฉากรองรับ 1000 rpm ระยะห่างระหว่างเข็มถึงฉากรองรับ 10 cm อัตราการไหล 1 mL/hr ที่ความเข้มข้นระหว่าง 7 - 15 %w และที่แรงดันไฟฟ้า 10 - 18 kV แล้วนำชิ้นงานที่ได้จากการสังเคราะห์ไปตรวจสอบสภาพพื้นผิวด้วยเครื่อง SEM ตรวจสอบสภาพการเปียกของพื้นผิวเส้นใยด้วยเครื่องตรวจสอบมุมสัมผัสและทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ เพื่อหาค่าการอุ้มน้ำของเส้นใย ซึ่งผลที่ได้แสดงดังนี้

4.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย PVdF

4.1.1 การตรวจสอบสภาพพื้นผิวด้วยเครื่อง SEM

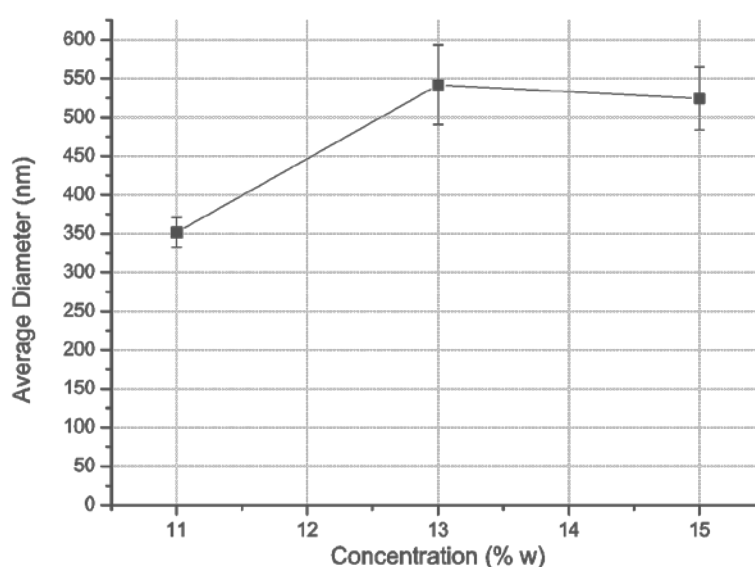
เมื่อนำชิ้นงานที่ได้ไปตรวจสอบสภาพพื้นผิวด้วยเครื่อง SEM พบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 10 kV ความเข้มข้น 7 - 9 %w พบว่าไม่เกิดเส้นใยและความเข้มข้น 11 - 15 %w เกิดเส้นใยที่มีความต่อเนื่องแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโน PVdF ที่แรงดันไฟฟ้า 10 kV และความเข้มข้น (ก) 7 %w (ข) 9 %w (ค) 11 %w (ง) 13 %w และ (จ) 15 %w

จากรูปที่ 4.1 แผ่นเยื่อ PVdF ที่ความเข้มข้น 7 %w มีลักษณะเป็นเส้นไม่ต่อเนื่องปะปนกับปมและเกล็ดขนาดใหญ่ แผ่นเยื่อ PVdF ที่ความเข้มข้น 9 %w มีลักษณะเป็นเส้นไม่ต่อเนื่อง มีปมและเกล็ดขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับความเข้มข้น 7 %w แผ่นเยื่อ PVdF ที่ความเข้มข้น 11 %w มีลักษณะเป็นเส้นที่ต่อเนื่อง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 351 nm ไม่มีปมและเกล็ดปรากฏ แผ่นเยื่อ PVdF ที่ความเข้มข้น 13 %w ยังคงมีลักษณะเป็นเส้นใยที่ต่อเนื่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 542 nm เกิดปมเล็กน้อย แผ่นเยื่อ PVdF ที่ความเข้มข้น 15 %w มีลักษณะเป็นเส้นใยที่ต่อเนื่อง มีเส้นผ่าน

ศูนย์กลางเฉลี่ย 524 nm แต่พื้นที่เก็บเส้นใยลดลง ที่ความเข้มข้นน้อยแรงดึงผิวไม่สามารถเอาชนะแรงทางไฟฟ้าได้ทำให้เส้นใยไม่ต่อเนื่องและมีปมเกิดขึ้น เมื่อความเข้มข้นมากขึ้นจะเกิดความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงผิวและแรงทางไฟฟ้าทำให้เกิดเส้นใยที่มีความต่อเนื่องและมีความเรียบมากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้นอีกระดับหนึ่งพบว่าเส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้นเนื่องจากสายโซ่โมเลกุลเกาะกันแน่นมากขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยนาโน PVdF ที่แรงดันไฟฟ้า 10 kV

จากรูปที่ 4.2 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจาก 11 %w เป็น 13 %w ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่มากขึ้น แต่ที่ความเข้มข้น 15 %w ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงแต่ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานอยู่ในช่วงเดียวกัน

4.1.2 การตรวจสอบสภาพการเปื่อยของพื้นผิวเส้นใยด้วยเครื่องตรวจสอบมัมส์สัมผัส

ตารางที่ 4.1 แสดงค่ามัมส์สัมผัสที่แรงดันไฟฟ้า 10 kV และความชื้นระหว่าง 7 – 15 %w

ความชื้น (%)	มัมส์สัมผัส (องศา)
7	128.840 ± 1.470
9	122.012 ± 3.326
11	126.220 ± 3.273
13	129.960 ± 0.900
15	127.632 ± 0.325

จากตาราง 4.1 ค่ามัมส์สัมผัสของเส้นใยมีค่าระหว่าง 122.012 – 129.960 องศา ที่ความชื้นแตกต่างกัน แต่เมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานมาคำนวณพบว่าค่ามัมส์สัมผัสอยู่ในช่วงเดียวกัน และเมื่อนำค่ามัมส์สัมผัสที่ได้เปรียบเทียบกับสภาพการเปื่อยพบว่าค่ามัมส์สัมผัสมีค่าอยู่ในช่วง 90 – 180 องศา บ่งบอกว่า PVdF นั้นมีสมบัติไม่ชอบน้ำ

4.1.3 คำนวณเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ (water uptake)

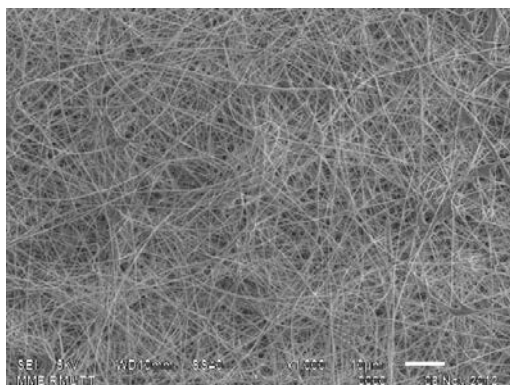
ตารางที่ 4.2 แสดงผลที่ได้จากการคำนวณเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำที่แรงดันไฟฟ้า 10 kV และความชื้นระหว่าง 11 – 15 %w

ความชื้น (%)	เปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ (%)
11	3.9 ± 0.183
13	0.5 ± 0.351
15	16.9 ± 0.029

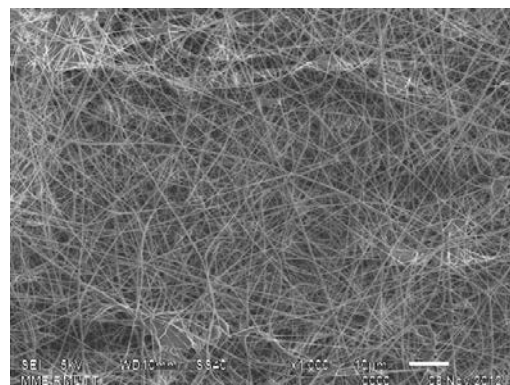
จากตารางที่ 4.2 พบว่าเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำมีค่าน้อย ซึ่งสอดคล้องและยืนยันว่า PVdF มีสมบัติไม่ชอบน้ำ

4.2 ผลของความแรงดันไฟฟ้า

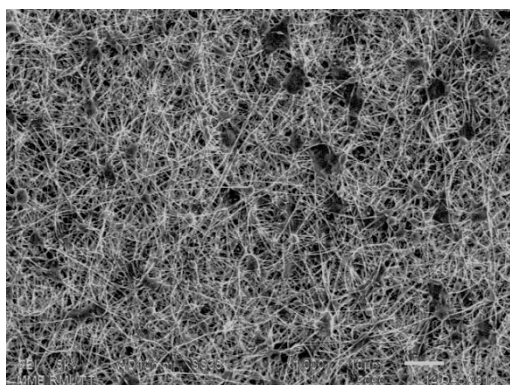
4.2.1 การตรวจสอบสภาพพื้นผิวด้วยเครื่อง SEM



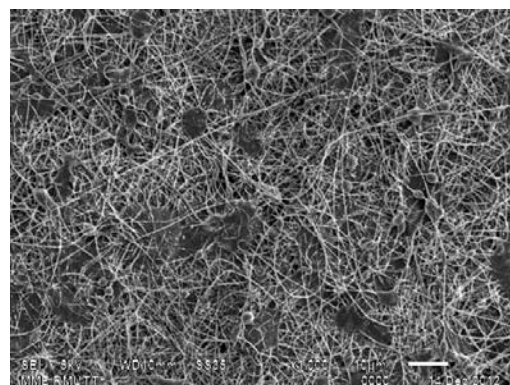
(ก)



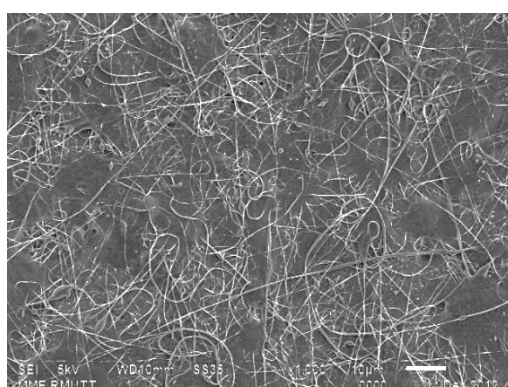
(၅)



(๑)



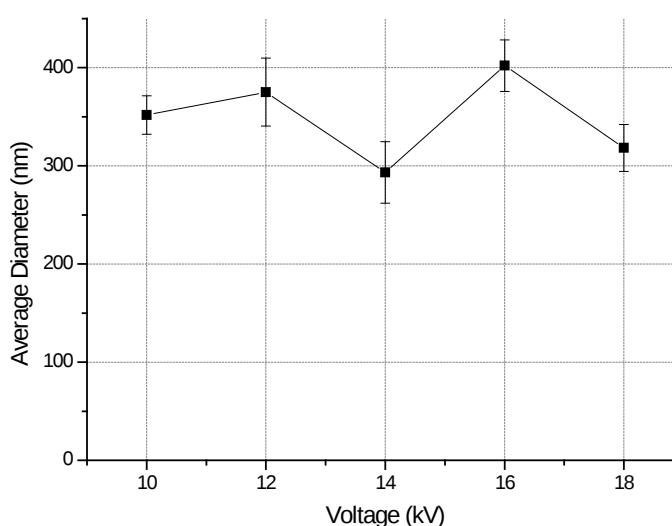
(१)



(๑)

รูปที่ 4.3 ภาพถ่าย SEM ของเส้นใยนาโน PVdF ความเข้มข้น 11% ที่แรงดันไฟฟ้า (ก) 10 kV (ข) 12 kV (ค) 14 kV (ง) 16 kV และ (จ) 18 kV

จากรูปที่ 4.2. แผ่นเยื่อ PVdF ที่แรงดันไฟฟ้า 10 kV มีลักษณะเป็นเส้นที่ต่อเนื่อง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 351 nm ไม่มีปมและเกล็ดปรากฏ แผ่นเยื่อ PVdF ที่แรงดันไฟฟ้า 12 kV มีลักษณะเป็นเส้นที่ต่อเนื่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 375 nm แผ่นเยื่อ PVdF ที่แรงดันไฟฟ้า 14 kV มีลักษณะเป็นเส้นที่ไม่ต่อเนื่องปะปนกับเกล็ด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 293 nm แผ่นเยื่อ PVdF ที่แรงดันไฟฟ้า 16 kV มีลักษณะเป็นเส้นที่ไม่ต่อเนื่องปะปนกับเกล็ดขนาดใหญ่มากขึ้นเมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้า 14 kV มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 422 nm แผ่นเยื่อ PVdF ที่แรงดันไฟฟ้า 18 kV มีลักษณะเป็นเส้นที่ไม่ต่อเนื่องปะปนกับปมและเกล็ดขนาดใหญ่มากขึ้นเมื่อเทียบกับแรงดันไฟฟ้า 16 kV มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 318 nm จากผลที่ได้พบว่าเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้ามากขึ้นจะเกิดปมและแผ่นเล็กๆ มากตามเนื่องจากแรงดันไฟฟ้ามากขึ้นทำให้ระยะเวลาที่เส้นใยตกถึงฉากรองรับเร็วขึ้นส่งผลให้ตัวทำละลายระเหยไม่สมบูรณ์มากทำให้เกิดปม



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเส้นใยนาโน PVdF ที่ความเข้มข้น 11 %w

จากรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้ามากขึ้นขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยนาโน PVdF เล็กลง แสดงว่าขนาดของเส้นใยแปรผกผันกับแรงดันไฟฟ้า แต่ที่แรงดันไฟฟ้าที่ 14 – 18 kV เกิดปมและแผ่นเล็กๆ ที่ฉากรองรับ แสดงดังภาพที่ 4.3 (ค) (ง) และ (จ) ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้ามากขึ้นจะเกิดปมและแผ่นเล็กๆ มากตามเนื่องจากแรงดันไฟฟ้ามากขึ้นทำให้ระยะเวลาที่เส้นใยตกถึงฉากรองรับเร็วขึ้นส่งผลให้ตัวทำละลายระเหยไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดปมและแผ่นเล็กๆ

4.2.2 การตรวจสอบสภาพการเปียกของพื้นผิวเส้นใยด้วยเครื่องตรวจสอบมุมสัมผัส

ตารางที่ 4.3 แสดงค่ามุมสัมผัสที่ความเข้มข้น 11% และแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 10 – 18 kV

แรงดันไฟฟ้า (kV)	มุมสัมผัส (องศา)
10	128.840 ± 3.273
12	129.108 ± 1.813
14	125.716 ± 0.755
16	128.040 ± 0.626
18	133.968 ± 2.092

จากตารางที่ 4.3 ค่ามุมสัมผัสของเส้นใยมีค่าระหว่าง 125.716 – 133.968 องศา ที่แรงดันไฟฟ้าต่างกัน แต่เมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนมามาตรฐานมาคำนวณพบว่าค่ามุมสัมผัสอยู่ในช่วงเดียวกันและเมื่อนำค่ามุมสัมผัสที่ได้เปรียบเทียบกับสภาพการเปียกพบว่าค่ามุมสัมผัสมีค่าอยู่ในช่วง 90 – 180 องศา บ่งบอกว่า PVdF นั้นมีสมบัติไม่ชอบน้ำ

4.2.3 คำนวณเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ (water uptake)

ตารางที่ 4.4 แสดงผลที่ได้จากการคำนวณเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำที่ความเข้มข้น 11% และแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 10 – 18 kV

แรงดันไฟฟ้า (kV)	เปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ (%)
10	3.9 ± 0.183
12	0.3 ± 0.189
14	0.3 ± 0.148
16	2.4 ± 0.132
18	0.5 ± 0.352

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำมีค่าน้อย ซึ่งสอดคล้องและยืนยันว่า PVdF มีสมบัติไม่ชอบน้ำ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVdF ด้วยกระบวนการอิเล็กโตรสปินนิง ที่ความเข้มข้นระหว่าง 7 - 15 %w แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 10 - 18 kV และนำเส้นใยที่ได้มาตรวจสอบสภาพพื้นผิวด้วยเครื่อง SEM สภาพการเปียกด้วยเครื่องตรวจสอบมุมสัมผัสและหาค่าการอุ้มน้ำด้วยการคำนวณเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำ โดยผลการศึกษาเป็นดังนี้

5.1.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย PVdF

การสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVdF ที่ความเข้มข้นแตกต่างกันมีผลต่อเส้นใย PVdF อย่างชัดเจนโดยจะเกิดเส้นใยเรียบไร้ปม ที่ความเข้มข้น 11 - 15 %w มีสมบัติไม่ชอบน้ำ เส้นใยนาโน PVdF มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 351 ± 19.556 nm - 524.396 ± 40.669 nm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย PVdF แปรผันตรงกับความเข้มข้น

5.1.2 ผลของแรงดันไฟฟ้า

การสังเคราะห์เส้นใยนาโน PVdF ที่แรงดันไฟฟ้าแตกต่างกันมีผลต่อเส้นใย PVdF อย่างชัดเจนโดยจะเกิดเส้นใยเรียบไร้ปม ที่แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 10-12 kV มีสมบัติไม่ชอบน้ำ เส้นใยนาโน PVdF เกิดเส้นใยที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 351.700 ± 19.556 nm - 375.133 ± 34.671 nm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย PVdF แปรผกผันกับแรงดันไฟฟ้า

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลที่ได้จะเห็นว่าเส้นใยนาโน PVdF ที่สังเคราะห์มีสมบัติไม่ชอบน้ำซึ่งยังไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นแผ่นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนในเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน จึงควรมีการทดสอบเปอร์เซ็นต์การอุ้มน้ำกับสารอิเล็กโทรไลต์โดยตรงหรือทำการผสมพอลิเมอร์ชนิดอื่นเพื่อปรับโครงสร้างของเส้นใยให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน

บรรณานุกรม

1. Peighambardoust SJ, Rowshanzamir S, Amjadi M: **Review of the proton exchange membranes for fuel cell applications.** *International Journal of Hydrogen Energy* 2010, **35**:9349-9384.
2. McNicol BD, Rand DAJ, Williams KR: **Fuel cells for road transportation purposes — yes or no?** *Journal of Power Sources* 2001, **100**:47-59.
3. Andújar JM, Segura F: **Fuel cells: History and updating. A walk along two centuries.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009, **13**:2309-2322.
4. Yang H, Tu HC, Chiang IL: **Carbon cloth based on PAN carbon fiber practicability for PEMFC applications.** *International Journal of Hydrogen Energy* 2010, **35**:2791-2795.
5. Ahmad H, Kamarudin SK, Hasran UA, Daud WRW: **Overview of hybrid membranes for direct-methanol fuel-cell applications.** *International Journal of Hydrogen Energy* 2010, **35**:2160-2175.
6. Kumar GG, Nahm KS, Elizabeth RN: **Electro chemical properties of porous PVdF-HFP membranes prepared with different nonsolvents.** *Journal of Membrane Science* 2008, **325**:117-124.
7. Sa-nguanruksa J, Rujiravanit R, Supaphol P, Tokura S: **Porous polyethylene membranes by template-leaching technique: preparation and characterization.** *Polymer Testing* 2004, **23**:91-99.
8. Pu W, He X, Wang L, Jiang C, Wan C: **Preparation of PVDF-HFP microporous membrane for Li-ion batteries by phase inversion.** *Journal of Membrane Science* 2006, **272**:11-14.
9. Sundaram NTK, Subramania A: **Microstructure of PVdF-co-HFP based electrolyte prepared by preferential polymer dissolution process.** *Journal of Membrane Science* 2007, **289**:1-6.
10. Ketjoy N, Rakwichian W, Nathakaranakule S: **Fuel Cells: Energy Technology for the Future.** *Naresuan University Journal* 2006, **14**:35-45.
11. Mekhilef S, Saidur R, Safari A: **Comparative study of different fuel cell technologies.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2012, **16**:981-989.
12. Brandon N, Thompson D: *Fuel Cells Compendium.* Great Britain: Elsevier; 2005.
13. Litster S, McLean G: **PEM fuel cell electrodes.** *Journal of Power Sources* 2004, **130**:61-76.
14. Wang Y, Chen KS, Mishler J, Cho SC, Adroher XC: **A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: Technology, applications, and needs on fundamental research.** *Applied Energy* 2011, **88**:981-1007.
15. Chikh L, Delhorbe V, Fichet O: **(Semi-)Interpenetrating polymer networks as fuel cell membranes.** *Journal of Membrane Science* 2011, **368**:1-17.

16. Wang Y, Chen KS, Mishler J, Cho SC, Adroher XC: **A review of polymer electrolyte membrane fuel cells: Technology, applications, and needs on fundamental research.** *Applied Energy* 2011, **88**:981-1007.
17. B&C: **What is a Fluor-polymer? What Fluor-polymers are widely used in industry?** ; 2013.
18. Flint SD, Slade RCT: **Investigation of radiation-grafted PVDF-g-polystyrene-sulfonic-acid ion exchange membranes for use in hydrogen oxygen fuel cells.** *Solid State Ionics* 1997, **97**:299-307.
19. Hwang K, Kwon B, Byun H: **Preparation of PVdF nanofiber membranes by electrospinning and their use as secondary battery separators.** *Journal of Membrane Science* 2011, **378**:111-116.
20. Ramakrishna S, Fujihara K, Teo W-E, Lim T-C, Ma Z: *An Introduction To Electrospinning And Nanofibers*. Singapore: World Scientific Publishing Company; 2005.
21. Bhardwaj N, Kundu SC: **Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique.** *Biotechnology Advances* 2010, **28**:325-347.
22. Baji A, Mai Y-W, Wong S-C, Abtahi M, Chen P: **Electrospinning of polymer nanofibers: Effects on oriented morphology, structures and tensile properties.** *Composites Science and Technology* 2010, **70**:703-718.
23. GmbH K: **Contact angle.** Germany; 2012.
24. Hwang K, Kwon B, Byun H: **Preparation of PVdF nanofiber membranes by electrospinning and their use as secondary battery separators.** *Journal of Membrane Science* 2011, **378**:111-116.
25. Gao K, Hu X, Dai C, Yi T: **Crystal structures of electrospun PVDF membranes and its separator application for rechargeable lithium metal cells.** *Materials Science and Engineering: B* 2006, **131**:100-105.
26. Cho K-Y, Jung H-Y, Choi N-S, Sung S-J, Park J-K, Choi J-H, Sung Y-E: **A coated Nafion membrane with a PVdF copolymer/Nafion blend for direct methanol fuel cells (DMFCs).** *Solid State Ionics* 2005, **176**:3027-3030.
27. Wu N, Cao Q, Wang X, Li X, Deng H: **A novel high-performance gel polymer electrolyte membrane basing on electrospinning technique for lithium rechargeable batteries.** *Journal of Power Sources* 2011, **196**:8638-8643.
28. Choa Y-J, Changb D-R, Heob G-S, Choi C-N: **CHARACTERIZATIONS OF NANOFIBERS FROM ELECTROSPINNING OF PVdF-HFP COPOLYMER AT VARIOUS SOLVENTS.** In *207th Meeting of The Electrochemical Society; Canada*. 2005