



รายงานการวิจัย

ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากโครงสร้างนาโน
สารเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์

**Efficiency of Supercapacitor in Nanostructure from
Perovskite Oxides**

ศานิตย์ สุวรรณวงศ์และคณะ
สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2563

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากโครงสร้างนาโน สารเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์

Efficiency of Supercapacitor in Nanostructure from Perovskite Oxides

ศานิตย์ สุวรรณวงศ์

สาขาวิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

อาทิตย์ หุ่นเต็ม

สาขาวิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ฉลาด ยืนยาว

สาขาวิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ปิยรัตน์ มุลศรี

สาขาวิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ทุนอุดหนุนโดยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ งบประมาณแผ่นดินที่พิจารณา
โดยผ่านความเห็นชอบจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทสว.)

ภายใต้แผนงานยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม

ประจำปีงบประมาณ 2563

(ก)

ชื่องานวิจัย	ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากโครงสร้างนาโน สารเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์ Efficiency of Supercapacitor in Nanostructure from Perovskite Oxides
ผู้วิจัย	ศานิตย์ สุวรรณวงศ์
ผู้ร่วมวิจัย	อาทิตย์ หูเต็ม จลลาด ยืนยาว และปิยรัตน์ มุลศรี
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีเสร็จวิจัย 2563

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน นาโนเทคโนโลยีมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการผลิตและพัฒนาแหล่งกักเก็บพลังงานอย่างเช่น ตัวเก็บประจุยิ่งยวด โดยใช้สารนาโนคาร์บอนในการทำเป็นขั้ว ซึ่งมีรูพรุนสูง ทำให้สามารถอัดประจุได้รวดเร็วและกักเก็บประจุได้ในปริมาณมาก และเมื่อเพิ่มชั้นของเยื่อเลือกผ่านซึ่งเป็นชั้นกั้นกลางระหว่างชั้นนาโนคาร์บอน จะทำให้กักเก็บประจุไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ใช้สารนาโนเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์เติมลงไปเป็นชั้นกั้นกลาง โดยการเตรียมสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์ ได้แก่ CaTiO_3 , BaTiO_3 , SrTiO_3 , ZnTiO_3 และ CuTiO_3 ด้วยวิธีอย่างง่าย แล้วทำการเผาในอุณหภูมิที่อุณหภูมิ $1,000^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำมาผสมกับสารละลายของสาร Polysulfon (PSF) เพื่อทำชั้นกั้นกลางที่เติมสารเพอร์รอฟสไกต์ในสัดส่วน 0.5% 1.0% และ 2.0%wt ตามลำดับ

จากนั้นทำการตรวจสอบโครงสร้างผลึกของสารเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์ ด้วยเทคนิค XRD พบว่า สารตัวอย่างทั้ง 5 มีระนาบผลึกที่สอดคล้องกับโครงสร้างของสารเพอร์รอฟสไกต์ จากนั้นตรวจสอบพื้นผิวของแผ่นเยื่อเลือกผ่านจากภาพถ่าย SEM พบว่า เยื่อเลือกผ่านจากสาร PSF เมื่อเติมสารเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์ จะทำให้อนุภาคของสารเพอร์รอฟสไกต์เข้าไปแทนที่ในรูพรุนและบนผิวของเยื่อเลือกผ่านมากขึ้นตามลำดับ จากนั้นทำการศึกษาค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะของตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ใช้เยื่อเลือกผ่าน CaTiO_3 2.0% มีค่าสูงที่สุดเป็น 464.31 F/g และมากถึง 2.18 เท่า เมื่อเทียบกับที่ใช้เยื่อเลือกผ่านเป็น PSF อย่างเดียว ดังนั้น ตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ใช้เยื่อเลือกผ่านที่เติมสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์ จึงเหมาะสมกับการนำมาประดิษฐ์เป็นตัวเก็บประจุยิ่งยวด

คำสำคัญ: ตัวเก็บประจุยิ่งยวด, สารเพอร์รอฟสไกต์, ชั้นกั้นกลาง, เยื่อเลือกผ่าน

Research title	Efficiency of Supercapacitor in Nanostructure from Perovskite Oxides
Researcher	Mr. Sanit Suwanwong
Co – Researcher	Dr. Artit Hutem, Dr.Chalad Yuenyao and Dr.Piyarut Moonsri
Division	Physics
	Phetchabun Rajabhat University, Year 2020

Abstract

Nowadays, nanotechnology is very important in the production and development of energy storage. For example, a supercapacitor using nano-carbon to make electrodes which is highly porous, allowing for fast charging and storing a large electric charge. And when adding a selective membrane layer, which is a separator between the nano-carbon layers. Thus allowing more electric charge to be stored. In this research, Perovskite oxide was added to the inside of the separator. Perovskite material was prepared by a simplify method, namely CaTiO_3 , BaTiO_3 , SrTiO_3 , ZnTiO_3 and CuTiO_3 . Then sintered the Perovskite material at a temperature of $1,000^\circ\text{C}$ for 8 hours. Then, Perovskite material was mixed with a solution of Polysulfon (PSF). The separator was added with Perovskite material in the proportion of 0.5%, 1.0% and 2.0% wt, respectively.

In studies to examined Perovskite oxide crystal structure by using XRD technique, we found that 5 samples had crystalline planes consistent with the structure of Perovskite materials. The surface of the separator was examined with SEM photographs, we found that The separator from the PSF was added with perovskite oxide. This causes the Perovskite particles to be replaced in the porosity and on the surface of the separator. In additional studies to find the specific capacitance of supercapacitor of the CaTiO_3 2.0%, the highest value was 464.31 F/g. And it is 2.18 times higher than that of using only PSF separator. Thus, the addition of Perovskite oxide in a separator are suitable for the fabrication of supercapacitor.

Keywords: supercapacitor, Perovskite, separator, membrane

(ก)

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำต่าง ๆ จากคณาจารย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ที่สละเวลาให้คำแนะนำคำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณาจารย์สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความกรุณา ให้คำปรึกษาแนะนำ ให้แก่ผู้วิจัย จึงขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้ให้ทุนอุดหนุน โดยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ งบประมาณแผ่นดินที่พิจารณาโดยผ่านความเห็นชอบจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สทสว.) ภายใต้แผนงานยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ 2563 ในการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

ศานิตย์ สุวรรณวงศ์และคณะ

25 กรกฎาคม 2563

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ	2
1.5 ประโยชน์ของการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 สารเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์	3
2.2 นาโนคาร์บอน	4
2.3 ตัวเก็บประจุยิ่งยวด	4
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	7
3.1 การเตรียมสารนาโนของสารเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์	7
3.2 การเตรียมชั้นของขั้วไฟฟ้าจากนาโนคาร์บอน	8
3.3 การเตรียมชั้นกั้นกลางจากสารเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์	10
3.4 การประดิษฐ์ต้นแบบตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากโครงสร้างนาโน สารเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์	13
3.5 ตรวจสอบโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD)	16
3.6 ตรวจสอบพื้นผิวของสารตัวอย่างด้วยเครื่อง SEM	17
3.7 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด	18

(จ)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	19
4.1 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD	19
4.2 ตรวจสอบพื้นผิวของเยื่อเลือกผ่านด้วยเครื่อง SEM	21
4.3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด	27
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	31
5.1 สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย	31
5.2 ข้อเสนอแนะ	31
บรรณานุกรม	33
ภาคผนวก	35
ภาคผนวก ก (วัสดุอุปกรณ์)	37
ภาคผนวก ข (สารเคมี)	39
ประวัติผู้วิจัย	41

(จ)

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	สัดส่วนการผสมสารละลายโพลีซิลโฟนกับสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์เป็น เชื้อเลือกผ่าน.....12
4.1	ค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะ พลังงานจำเพาะ และประสิทธิภาพการอัดและคายประจุที่ กระแสไฟฟ้า 10 mA ของตัวเก็บประจุยิ่งยวด.....28

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การกระจายตัวของประจุ เมื่อ ก) กำลังอัดประจุ ข) อัดประจุเต็ม และ ค) คายประจุ ..5	
3.1 การเตรียมละลายกาว LA 133 กับน้ำ DI8	
3.2 สารละลายกาวนาโนคาร์บอน.....8	
3.3 การเตรียมฟิล์มนาโนคาร์บอนบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์9	
3.4 ขั้วไฟฟ้าจากนาโนคาร์บอนบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์9	
3.5 การขึ้นรูปของชั้นเยื่อเลือกผ่าน10	
3.6 ชั้นเยื่อเลือกผ่านที่เสร็จสมบูรณ์11	
3.7 ขั้วไฟฟ้าจากนาโนคาร์บอนและชั้นเยื่อเลือกผ่าน13	
3.8 ส่วนประกอบของ Coin cell14	
3.9 การประกอบตัวเก็บประจุยิ่งยวดด้วย Coin cell14	
3.10 ตัวเก็บประจุยิ่งยวดแบบ Coin cell15	
3.11 เครื่อง X-ray diffractometer (XRD)16	
3.12 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)17	
3.13 การวัดประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดด้วยเครื่อง Battery Testers system18	
4.1 โครงสร้างผลึกของ ก) SrTiO_3 ข) ZnTiO_3 ค) BaTiO_3 ง) CaTiO_3 และ จ) CuTiO_3 ..20	
4.2 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านจาก PSF21	
4.3 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร SrTiO_3 ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก.22	
4.4 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร ZnTiO_3 ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก.23	
4.5 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร BaTiO_3 ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก.24	
4.6 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร CaTiO_3 ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก.25	
4.7 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร CuTiO_3 ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก.26	
4.8 การอัดและคายประจุไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 10 mA ของตัวเก็บประจุยิ่งยวด ที่ใช้เยื่อเลือกผ่านที่เติมสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์.....29	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน นาโนเทคโนโลยีมีความสำคัญมากในการวิจัยและพัฒนาเพื่อการสังเคราะห์ ออกแบบ ผลิตและพัฒนาแหล่งกักเก็บพลังงานอย่างเช่น แบตเตอรี่ และตัวเก็บประจุ แต่เนื่องด้วย ปัญหาที่สำคัญของแบตเตอรี่คือจะต้องใช้เวลาในการอัดประจุไฟฟ้าเป็นเวลานาน มีรอบในการอัด ประจุและการใช้งานต่ำ อัตราในการจ่ายไฟต่ำ สำหรับตัวเก็บประจุไฟฟ้าสามารถอัดประจุไฟฟ้าได้ อย่างรวดเร็ว แต่เก็บสะสมประจุไฟฟ้าได้ต่ำ คายประจุไฟฟ้าเร็วเกินไป ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการ ประดิษฐ์ตัวเก็บประจุยิ่งยวด หรือที่เรียกว่า ซุปเปอร์คาปาซิเตอร์ (Supercapacitor) ขึ้นมา ให้ ด้วย คุณสมบัติที่ขั้วจากนาโนคาร์บอน (carbon nanotube) ซึ่งมีรูพรุนมากวางเป็นชั้นๆ ทำให้ตัวเก็บ ประจุยิ่งยวดสามารถอัดประจุไฟฟ้าได้รวดเร็วเพียง 1-10 วินาทีและกักเก็บประจุไฟฟ้าได้ในปริมาณ มาก จึงทำให้มีการคายประจุได้เป็นเวลานาน และเมื่อเพิ่มชั้นคั่นกลางระหว่างชั้นนาโนคาร์บอน ซึ่ง เรียกว่า สารไดอิเล็กทริก (dielectric material) จะทำให้มีการเพิ่มขึ้นกักเก็บประจุไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะวัสดุคั่นกลางที่มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำหรือฉนวน อย่างเช่น โลหะออกไซด์ และสารนาโน เพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์ ซึ่งจะทำให้ตัวเก็บประจุยิ่งยวดมีประสิทธิภาพในการเก็บประจุไฟฟ้าได้ดี ยิ่งขึ้น และสามารถแก้ปัญหาในการกักเก็บพลังงานที่ได้จากแหล่งผลิตไฟฟ้า ได้แก่ เซลล์ แสงอาทิตย์ กังหันลม เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการหาประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากโครงสร้างนาโนสาร เพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์

1.2.2 เพื่อสร้างต้นแบบตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากโครงสร้างนาโนสารเพอร์รอฟสไกต์ ออกไซด์

1.2.3 เพื่อฝึกอบรมให้ความรู้แก่นักเรียน นักศึกษา ครู อาจารย์ และผู้ที่สนใจทั่วไปเรื่องตัว เก็บประจุยิ่งยวด

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ขอบเขตเรื่องประชากร คือ สารเพอร์รอฟสไกต์

1.3.2 ขอบเขตเรื่องเนื้อหา ค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะ ความหนาแน่นพลังงาน และประสิทธิภาพการอัดและคายประจุ

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

Carbon nanotube คือ สารนาโนคาร์บอน

Supercapacitor คือ ตัวเก็บประจุยิ่งยวด

Dielectric material คือ สารไดอิเล็กทริก

Perovskite Oxide คือ สารเพอร์รอฟสไกต์

SrTiO_3 คือ สตรอนเทียม ไททานेट

ZnTiO_3 คือ ซิงค์ ไททานेट

BaTiO_3 คือ แบเรียม ไททานेट

CaTiO_3 คือ แคลเซียม ไททานेट

CuTiO_3 คือ คอปเปอร์ ไททานेट

1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

1.5.1 ด้านวิชาการ ผู้ได้รับประโยชน์ คือ ชุมชน นักเรียน นักศึกษา ครู อาจารย์ และผู้วิจัย

- พัฒนาประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดใช้เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
- การเตรียมเชื้อเลือกผ่านสำหรับตัวเก็บประจุยิ่งยวด
- พัฒนานักวิจัย นักศึกษา นักเรียน ในการศึกษาครั้งนี้

1.5.2 ด้านเศรษฐกิจ สังคมและชุมชน

- ได้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีประสิทธิภาพสูง
- มีประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมอุปกรณ์กักเก็บพลังงาน

1.5.3 เผยแพร่ในวารสารวิชาการ

- เรื่องประสิทธิภาพของเก็บประจุยิ่งยวดจากสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์

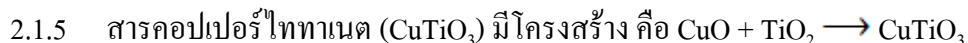
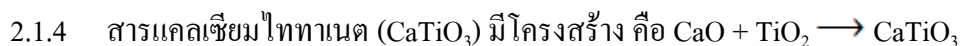
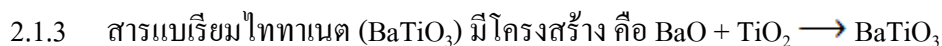
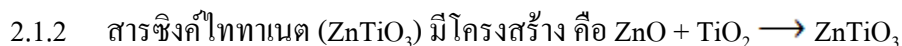
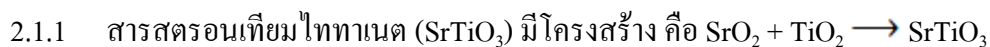
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์

สารที่นิยมใช้ทำตัวเก็บประจุไฟฟ้า เป็นกลุ่มของสารประกอบไททานेट (ATiO_3) ที่มีโครงสร้างนาโนเป็นแบบเพอร์รอฟสไกต์ ออกไซด์ (Perovskite oxide) มีสูตรโครงสร้างเป็น AMO_3 ซึ่งเป็นสารที่มีสมบัติที่หลากหลาย เช่น เป็นสารกึ่งตัวนำ ตัวสะสมประจุ เพอร์โรอิเล็กตริก เพอร์โรแมกเนติก เซนเซอร์ และตัวเก็บประจุ เป็นต้น ได้แก่ สารสตรอนเทียมไททานेट SrTiO_3 (Suwanwong, S., 2015), สารซิงค์ไททานेट (ZnTiO_3), สารแบเรียมไททานेट (BaTiO_3), แคลเซียมไททานेट (CaTiO_3) และคอปเปอร์ไททานेट (CuTiO_3) ซึ่งมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่สูงเหมาะกับการใช้เป็นชั้นที่เพิ่มพื้นที่การเก็บประจุไฟฟ้า โดยมีคุณสมบัติในการเก็บประจุนี้ อยู่ 2 โมเดล เช่น internal-barrier-layer-capacitor model และ the twin or sub-grain model ซึ่งอธิบายถึงช่องรอยต่อระหว่างอนุภาคที่อยู่ห่างกันทำให้มีบริเวณในการสะสมพลังงานได้มากขึ้น (Lui, P., et al, 2015)

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้เราจะใช้สารเพอร์รอฟสไกต์ เดิมลงไป ในชั้นเยื่อเลือกผ่าน (separator) เพื่อใช้เพิ่มประสิทธิภาพการเก็บประจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวด โดยการใช้สารนาโนเพอร์รอฟสไกต์ในกลุ่มไททานेट จากการเตรียมสารทั้ง 2 กลุ่ม คือ กลุ่มโลหะออกไซด์ และสารไททานีอุมไดออกไซด์ มีน้ำหนักโมเลกุลเป็น 79.87 g/mol ซึ่งมีวิธีเตรียมการผสมสารทั้งสองเป็นการเตรียมอย่างง่าย แล้วทำการเผาผนึกอนุภาค (sintering) เพื่อเป็นการปรับโครงสร้างด้วยอุณหภูมิสูง ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้สารเพอร์รอฟสไกต์โดยมีสัดส่วนดังต่อไปนี้



2.2 นาโนคาร์บอน (Nano-carbon)

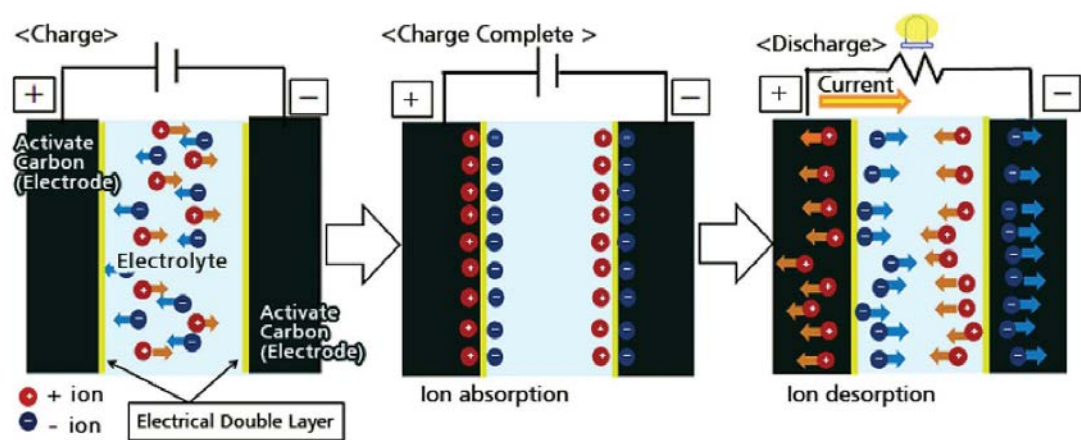
ธาตุคาร์บอน (C) พบได้มากที่สุดที่สุดในสิ่งมีชีวิตในรูปแบบของเพชร แกรไฟท์ ท่อนาโนคาร์บอน เป็นต้น (อภิชาติ ด้านวิทยาศาสตร์, 2553) สำหรับเพอร์มิตีโครงสร้างผลึกแบบลูกบาศก์แบบเฟซเซนเตอร์ ที่มีความแข็งแรงมาก ส่วนแกรไฟท์มีโครงสร้างพันธะเดี่ยวและคู่สลับกัน เกิดจากการซ้อนทับกันของแผ่นกราฟีน ส่วนท่อนาโนคาร์บอน มีค่าการนำไฟฟ้าและการนำความร้อนได้เป็นอย่างดี เป็นได้ทั้งตัวนำหรือกึ่งตัวนำ (Perathoner, S., et al, 2017) สร้างความแข็งแรงต่อโครงสร้างของวัสดุที่ถูกเติมลงไป อีกทั้งยังมีรูปทรงสูง ซึ่งในงานวิจัยนี้เราจะใช้ทำเป็นขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

2.3 ตัวเก็บประจุยิ่งยวด

ตัวเก็บประจุยิ่งยวดเป็นการนำเทคโนโลยีของแบตเตอรี่และตัวเก็บประจุมารวมกัน โดยใช้นาโนคาร์บอนทำเป็นขั้ว (Xiong, W., et al., 2011) ซึ่งมีรูปทรงมาก วางเป็นชั้นๆ และใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นไอออน ทำให้ตัวเก็บประจุยิ่งยวดสามารถอัดประจุไฟฟ้าได้รวดเร็วเพียง 1-10 วินาทีและกักเก็บประจุไฟฟ้าได้ในปริมาณมากถึง 10,000 ฟารัด จึงทำให้มีการคายประจุได้เป็นเวลานาน (วรวิศ กอปรสิริพัฒน์, 2014) ตัวเก็บประจุยิ่งยวดประกอบได้ด้วย

- 1) ขั้วบวกและขั้วลบ ซึ่งทำจากคาร์บอนที่มีรูปทรงสูง เช่น กราฟีน (Yan, J., et al., 2012) นาโนคาร์บอน (Deng, M. et al., 2005) ถ่านกัมมันต์ (Gamby, J., et al., 2001) และคาร์บอนแบล็ค
- 2) แผ่นกั้นระหว่างขั้ว (separator) เป็นส่วนที่ไอออนสามารถผ่านได้
- 3) อิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) นิยมใช้เป็นสารออร์แกนิก ละลายในสาร acetonitrile

เมื่อนำมาเป็นชั้นคั่นกลางระหว่างชั้นนาโนคาร์บอน ซึ่งเรียกว่า สารไดอิเล็กทริก จะทำให้มีการเพิ่มชั้นกักเก็บประจุไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะวัสดุนาโนที่มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำหรือฉนวน อย่างเช่น โลหะออกไซด์ และสารเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์ เช่น SrTiO_3 , ZnTiO_3 , BaTiO_3 , CuTiO_3 เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ตัวเก็บประจุยิ่งยวดมีประสิทธิภาพในการเก็บประจุไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น และสามารถแก้ปัญหาในการกักเก็บพลังงานที่ได้จากแหล่งผลิตไฟฟ้า ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลม เป็นต้น โดยมีหลักการทำงานของตัวเก็บประจุยิ่งยวดดังรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 การกระจายตัวของประจุ เมื่อ ก) กำลังอัดประจุ ข) อัดประจุเต็ม และ ค) คายประจุ
(ที่มา: วรวิศ กอปรศิริพัฒน์, 2014)

ในการประเมินประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Deng, M., et al., 2005) เราทำการวัดด้วยเครื่อง Battery Testers system ยี่ห้อ NEWARE รุ่น BTS3000 โดยทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะ (Specific capacitance), พลังงานจำเพาะ (Specific energy) และประสิทธิภาพการอัดและคายประจุ (Charge/discharge efficiency) โดยเราที่สามารถวัดค่าความหนาแน่นพลังงานได้โดยตรงจากเครื่อง Battery Testers system ดังสมการที่ (1) จากนั้นเขียนจัดรูปสมการใหม่ เพื่อหาค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะได้จากสมการที่ (2) ซึ่งหาได้จาก

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (2.1)$$

$$C = \frac{2E}{V^2} \quad (2.2)$$

เมื่อ E คือ พลังงานจำเพาะ (Specific energy มีหน่วยเป็น mWh/g)

C คือ ความจุไฟฟ้าจำเพาะ (specific capacitance มีหน่วยเป็น F/g)

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (voltage มีหน่วยเป็น V)

m คือ มวลของทั้ง 2 ขั้ว (total weight of the two electrodes มีหน่วยเป็น g)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมสารนาโนของสารเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์

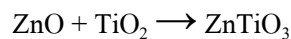
1) นำผงนาโนของสารสตรอนเทียมเพอร์ออกไซด์ (SrO_2) และไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2) ผสมกันตามสัดส่วนปริมาณสารสัมพันธ์ (stoichiometry) ในอัตราส่วน 1: 1 โดยโมล ก็จะได้สารสตรอนเทียมไททานเตด (SrTiO_3) ที่เป็นผงนาโน ดังสมการ $\text{SrO}_2 + \text{TiO}_2 \rightarrow \text{SrTiO}_3$ โดยที่ SrO_2 และ TiO_2 มีน้ำหนักโมเลกุลเป็น 119.62 และ 79.87 g/mol ตามลำดับ

2) นำสารทั้งสองมาเข้าเครื่องบด แล้วสั่นให้เข้ากันด้วยเครื่องอัลตราโซนิค

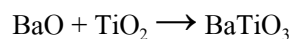
3) นำสารผสมเสร็จแล้ว ใส่ลงในถ้วยอลูมินา แล้วทำการเผาผนึกอนุภาค (sintering) ที่อุณหภูมิ $1,000^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง รอให้เย็น ก็จะได้สาร SrTiO_3

4) ทำการเตรียมสารแบบเดียวกับข้อ 1-3 เพื่อเตรียมสารตัวอย่างของสารนาโนของสารเพอร์รอฟสไกต์ ดังนี้

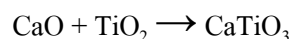
4.1) ซิงค์ออกไซด์ และไททาเนียมไดออกไซด์ จะได้ซิงค์ไททานเตด



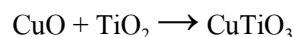
4.2) แบเรียมออกไซด์ และไททาเนียมไดออกไซด์ จะได้แบเรียมไททานเตด



4.3) แคลเซียมออกไซด์ และไททาเนียมไดออกไซด์ จะได้แคลเซียมไททานเตด

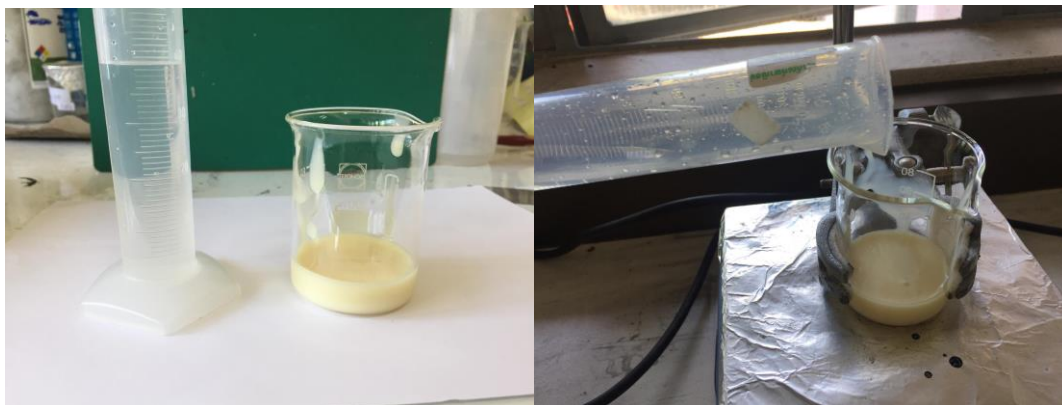


4.4) คอปเปอร์ออกไซด์ และไททาเนียมไดออกไซด์ จะได้คอปเปอร์ไททานเตด



3.2 การเตรียมชั้นของขั้วไฟฟ้าจากนาโนคาร์บอน

1) ทำการละลายกาว LA 133 Water-based Binder (จากบริษัท Linyi Gelon LIB Co., Ltd.) จำนวน 20 กรัม ในน้ำ DI 40 ml ดังรูปที่ 3-1 แล้วกวนด้วยเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้สารละลายกาว



รูปที่ 3-1 การเตรียมละลายกาว LA 133 กับน้ำ DI

2) จากนั้นเติมสารนาโนคาร์บอน 2 กรัม ลงในสารละลายกาว LA 133 แล้วกวนด้วยเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็กต่ออีกเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60°C แล้วปล่อยให้เย็นลง ดังรูปที่ 3-2 จะได้สารละลายกาวนาโนคาร์บอนเพื่อใช้ทำขั้วต่อไป



รูปที่ 3-2 สารละลายกาวนาโนคาร์บอน

3) ตัดแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ ให้มีขนาด 5×10 cm ที่ติดขอบด้วยเทปกาว แล้วเทกาวที่ผสมนาโนคาร์บอนแล้วลงบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ จากนั้นใช้แท่งแก้วปาดตามแนวยาว เพื่อสร้างฟิล์มบางนาโนคาร์บอนบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ ดังรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 การเตรียมฟิล์มนาโนคาร์บอนบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์

4) นำแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ที่เคลือบด้วยฟิล์มบางนาโนคาร์บอน ไปอบที่เตา ที่อุณหภูมิ 120°C เป็นเวลา 30 นาที ก็จะได้ขี้ไฟฟ้าจากนาโนคาร์บอน ดังรูปที่ 3-4

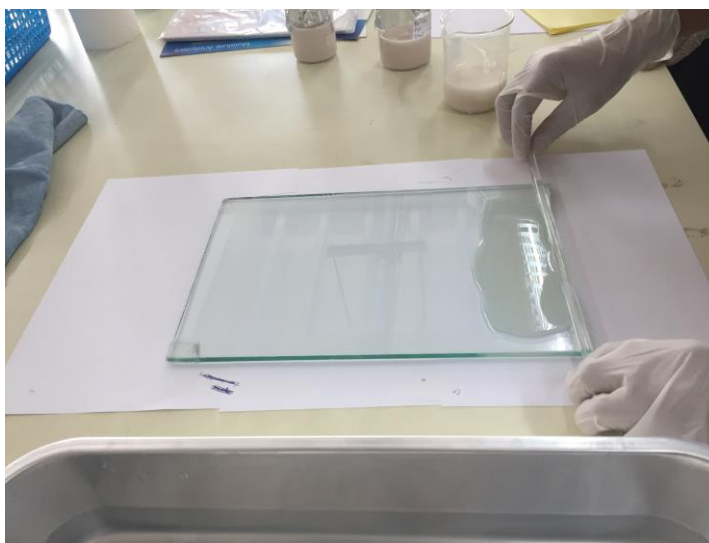


รูปที่ 3-4 ขี้ไฟฟ้าจากนาโนคาร์บอนบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์

3.3 การเตรียมชั้นคั่นกลางจากสารเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์

1) ทำการละลายเม็ดของสาร Polysulfon (PSF) ให้มีความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสาร Dimethylacetamide (DMAc) แล้วกวนด้วยเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง แล้วรอให้เย็นลง

2) นำสารที่เตรียมไว้ มาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์ม โดยการเทลงบนกระจก แล้วใช้แท่งแก้วปาดบนกระจกเพื่อขึ้นรูป ดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-5 การขึ้นรูปของชั้นเยื่อเลือกผ่าน

3) นำชั้นเยื่อเลือกผ่านที่อยู่บนกระจกแช่ลงในน้ำ DI เพื่อให้เยื่อเลือกผ่านเกิดการเปลี่ยนเฟสแยกเป็นแผ่นออกจากกระจก จากนั้นผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3-6 จะได้สารตัวอย่างที่เป็นแผ่นเมมเบรนใช้เป็นเยื่อเลือกผ่านจากสารโพลีซัลโฟนของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

4) การเตรียมชั้นเยื่อเลือกผ่านจากเดิมสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์ ให้มีร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ลงในสารละลายของโพลีซัลโฟน ตามตารางที่ 3-1 จากนั้นทำชั้นเยื่อเลือกผ่านตามข้อที่ 1 – 3 จะได้ชั้นเยื่อเลือกผ่านที่ใช้เป็นชั้นคั่นกลางที่เติม SrTiO_3 , ZnTiO_3 , BaTiO_3 , CaTiO_3 , และ CuTiO_3 รวมทั้งหมด 16 สารตัวอย่าง



รูปที่ 3-6 ชั้นเยื่อเลือกผ่านที่เสร็จสมบูรณ์

ตารางที่ 3-1 สัดส่วนการผสมสารละลายโพลีซัลโฟนกับสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์
เป็นเชื้อเลือกผ่าน

ลำดับ	ชื่อสาร	PSF (g)	DMAc (g)	Perovskite (g)
1	PSF	15	85.0	0
2	PSF_SrTiO ₃ _0.5%	15	84.5	0.5
3	PSF_SrTiO ₃ _1.0%	15	84.0	1.0
4	PSF_SrTiO ₃ _2.0%	15	83.0	2.0
5	PSF_ZnTiO ₃ _0.5%	15	84.5	0.5
6	PSF_ZnTiO ₃ _1.0%	15	84.0	1.0
7	PSF_ZnTiO ₃ _2.0%	15	83.0	2.0
8	PSF_BaTiO ₃ _0.5%	15	84.5	0.5
9	PSF_BaTiO ₃ _1.0%	15	84.0	1.0
10	PSF_BaTiO ₃ _2.0%	15	83.0	2.0
11	PSF_CaTiO ₃ _0.5%	15	84.5	0.5
12	PSF_CaTiO ₃ _1.0%	15	84.0	1.0
13	PSF_CaTiO ₃ _2.0%	15	83.0	2.0
14	PSF_CuTiO ₃ _0.5%	15	84.5	0.5
15	PSF_CuTiO ₃ _1.0%	15	84.0	1.0
16	PSF_CuTiO ₃ _2.0%	15	83.0	2.0

3.4 การประดิษฐ์ต้นแบบตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากโครงสร้างนาโนสารเพอร์รอฟสไกต์ที่ออกไซด์

1) เตรียมสารละลายอิเล็กโทรไลต์จากสาร Tetraethylammonium tetrafluoroborate (TT) ให้มีความเข้มข้น 1 M ในสาร Acetonitrile 20 ml แล้วกวนด้วยเครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ที่ใช้กับตัวเก็บประจุยิ่งยวด

2) การเตรียมขั้วไฟฟ้า โดยนำแผ่นฟิล์มนาโนคาร์บอนบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ มาตัดให้เป็นวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 cm จำนวน 2 แผ่นต่อตัวเก็บประจุยิ่งยวด 1 ตัว ดังรูปที่ 3-7

3) ตัดแผ่นเยื่อเลือกผ่านของสารตัวอย่างทั้ง 16 ตัวอย่าง ให้เป็นวงกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 cm จำนวน 1 แผ่นต่อตัวเก็บประจุยิ่งยวด 1 ตัว ดังรูปที่ 3-7

4) เตรียมส่วนประกอบของ Coin cell ดังรูปที่ 3-8

5) การประกอบตัวเก็บประจุยิ่งยวดด้วย Coin cell โดยเรียงตามลำดับชั้น ดังรูปที่ 3-9

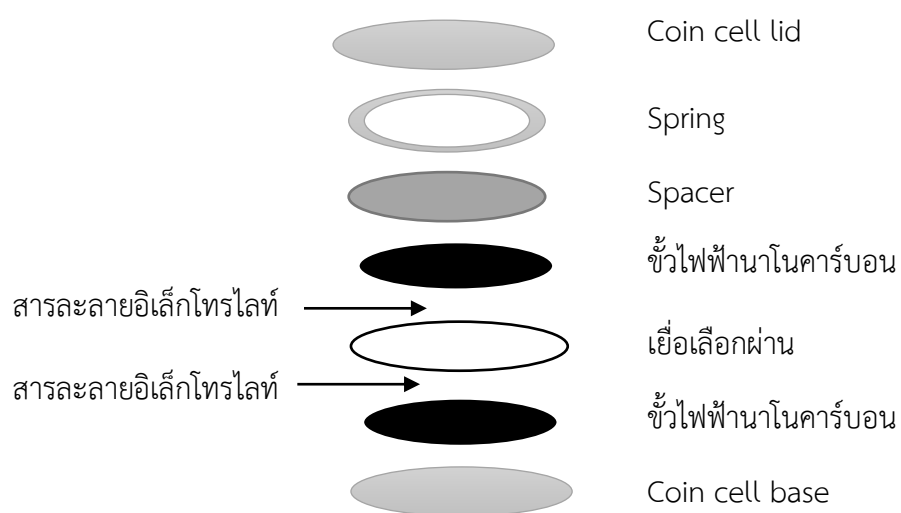
6) จากนั้นอัดเม็ด Coin cell ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก ด้วยแรงอัด 0.25 ตัน เพื่อให้เม็ดไม่หลุดออกจากกัน จะได้ตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่บรรจุใน Coin cell ดังรูปที่ 3-10



รูปที่ 3-7 ขั้วไฟฟ้าจากนาโนคาร์บอนและชั้นเยื่อเลือกผ่าน



รูปที่ 3-8 ส่วนประกอบของ Coin cell



รูปที่ 3-9 การประกอบตัวเก็บประจุยิ่งยวดด้วย Coin cell



รูปที่ 3-10 ตัวเก็บประจุยิ่งยวดแบบ Coin cell

3.5 ตรวจสอบโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD)

ตรวจสอบโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่าง ด้วยเทคนิค XRD โดยใช้เครื่อง X-ray diffractometer (ยี่ห้อ Bruker รุ่น D2 PHASER) ดังรูปที่ 3-11 ใช้ช่วงวัด $20-80^\circ$ เพื่อทำการตรวจสอบโครงสร้างผลึกของสารเพอร์รอฟสไกต์ ดังนี้ SrTiO_3 , ZnTiO_3 , BaTiO_3 , CaTiO_3 , และ CuTiO_3



รูปที่ 3-11 เครื่อง X-ray diffractometer (XRD)

3.6 ตรวจสอบพื้นผิวของสารตัวอย่างด้วยเครื่อง SEM

ตรวจสอบพื้นผิวด้วยการถ่ายภาพบนแผ่นเมมเบรนที่ใช้เป็นเยื่อเลือกผ่านของตัวเก็บประจุยิ่งยวดของสารตัวอย่างทั้ง 16 ตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) (ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น AURIGA) ดังรูปที่ 3-12



รูปที่ 3-12 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

(<http://cste.sut.ac.th/2014/?p=1725>)

3.7 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดแบบ Coin cell โดยการติดตั้งกับคีมปากจระเข้ของเครื่อง Battery Testers system ยี่ห้อ NEWARE รุ่น BTS 3000 เพื่อทำการวัดความจุไฟฟ้าจำเพาะ (Specific capacitance), พลังงานจำเพาะ (Specific energy) และประสิทธิภาพการอัดและคายประจุ (Charge/discharge efficiency) ดังรูปที่ 3-13



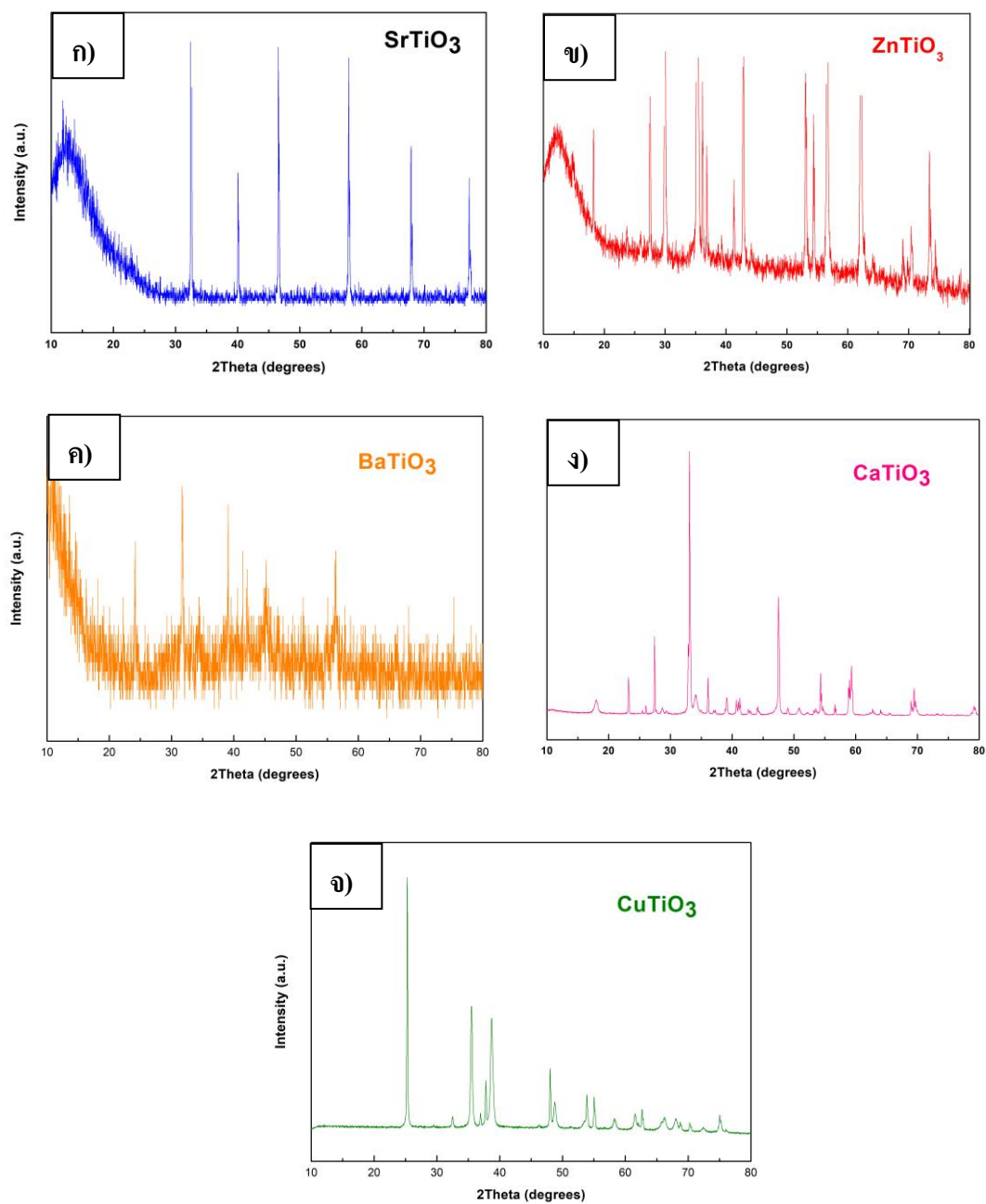
รูปที่ 3-13 การวัดประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดด้วยเครื่อง Battery Testers system

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD

ในการเตรียมสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์ เป็นการผสมอย่างง่ายของสารนาโนในกลุ่มโลหะออกไซด์และสารไททาเนียมไดออกไซด์ ผสมกันตามสัดส่วนปริมาณสารสัมพันธ์ (stoichiometry) ในอัตราส่วน 1: 1 โดยโมล จากนั้นทำการเผาที่อุณหภูมิ $1,000^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้างเป็นสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์ของสารตัวอย่าง ดังนี้ SrTiO_3 , ZnTiO_3 , BaTiO_3 , CaTiO_3 , และ CuTiO_3 จากนั้นนำสารตัวอย่างมาตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD ดังรูปที่ 4-1 ทำการวัดที่มุม 2-theta ในช่วง $20-80^{\circ}$ สารตัวอย่างทั้ง 5 มีโครงสร้างเปลี่ยนเป็นสารเพอร์รอฟสไกต์ พบว่า สารตัวอย่างทั้ง 5 ตัวอย่าง มีโครงสร้างผลึกที่สอดคล้องตามระนาบและแลตทิซพารามิเตอร์ (lattice parameters) ของสารดังต่อไปนี้ สาร SrTiO_3 มีระนาบ 110 111 200 211 220 และ 310 โดยมีค่าแลตทิซเป็น 0.3892 nm สาร ZnTiO_3 มีระนาบ 111 220 311 222 400 422 511 440 422 511 440 620 533 622 และ 731 โดยมีค่าแลตทิซเป็น 0.8455 nm สาร BaTiO_3 มีระนาบ 110 และ 002 โดยมีค่าแลตทิซเป็น 0.4039 nm สาร CaTiO_3 มีระนาบ 110 020 112 210 103 022 202 130 222 132 204 231 133 323 134 240 และ 420 โดยมีค่าแลตทิซเป็น 0.6334 nm และ สาร CuTiO_3 มีระนาบ 102 104 107 114 201 108 และ 203 โดยมีค่าแลตทิซเป็น 0.3045 nm

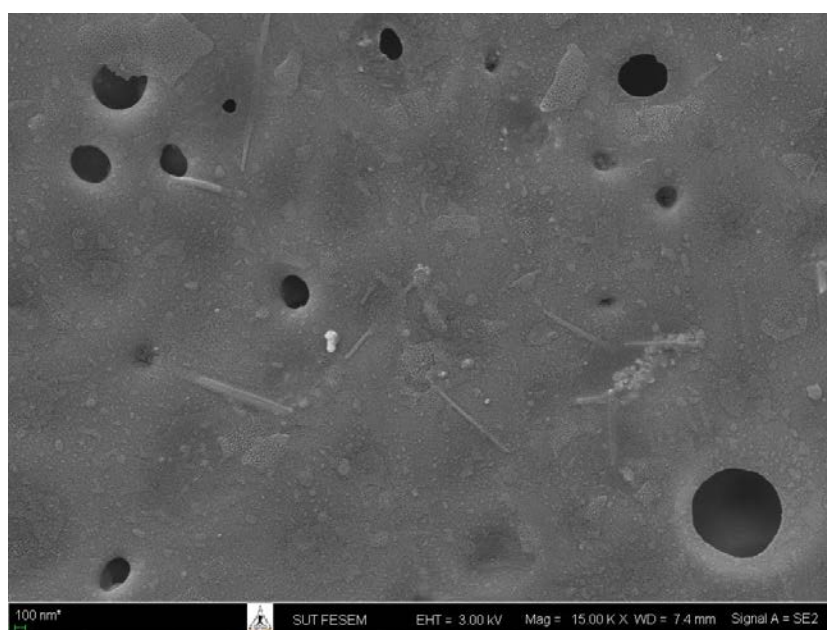


รูปที่ 4-1 โครงสร้างผลึกของ ก) SrTiO_3 ข) ZnTiO_3 ค) BaTiO_3 ง) CaTiO_3 และ จ) CuTiO_3

4.2 ตรวจสอบพื้นผิวของเยื่อเลือกผ่านด้วยเครื่อง SEM

4.2.1 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านจาก PSF

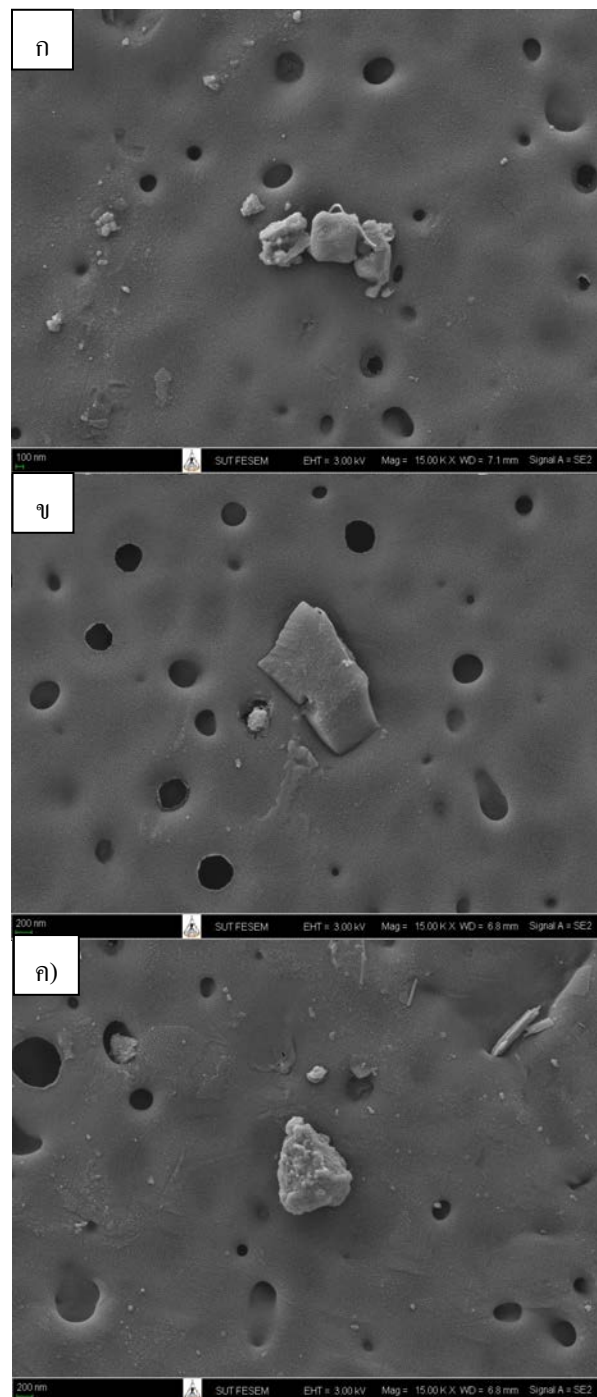
ในการตรวจสอบพื้นผิวของแผ่นเมมเบรนที่ใช้เป็นเยื่อเลือกผ่านของตัวเก็บประจุยิ่งยวด เป็นภาพถ่ายจากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ดังรูปที่ 4-2 เป็นเยื่อเลือกผ่านจากสาร Polysulfon (PSF) มีความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ในสาร Dimethylacetamide (DMAc) พบว่า บนแผ่นของเยื่อเลือกผ่านมีรูกว้างประมาณ 422 nm



รูปที่ 4-2 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านจาก PSF

4.2.2 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร SrTiO_3

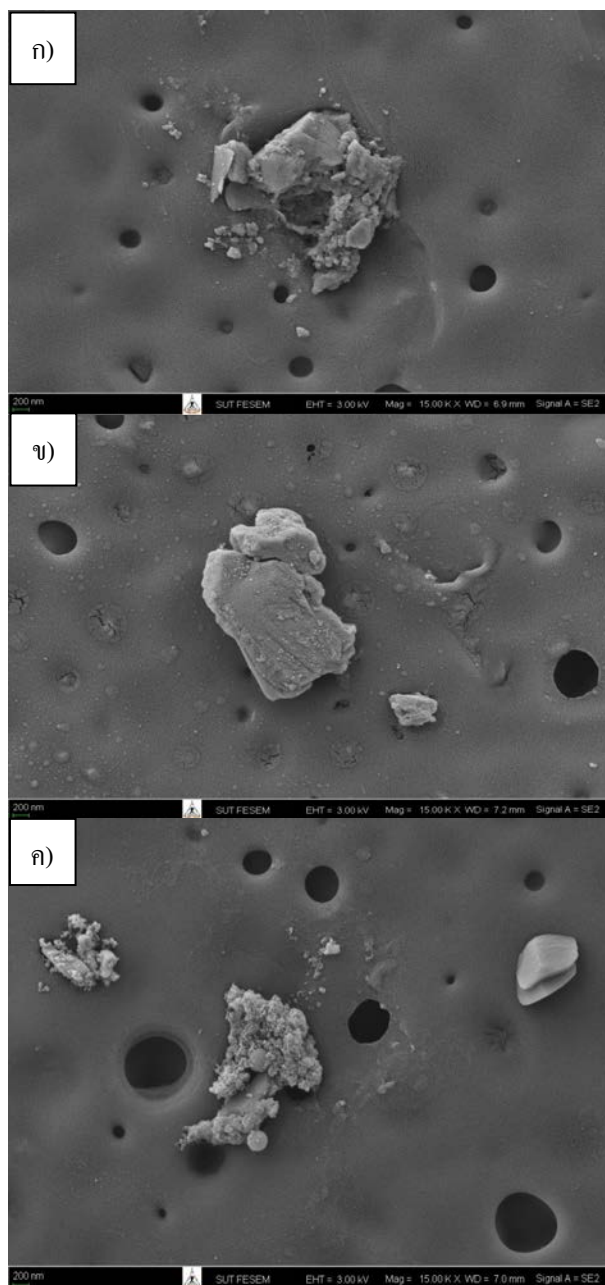
สารเพอร์รอฟสไกต์ที่ทำการเผาผนึกอนุภาค (sintering) ด้วยอุณหภูมิ 1000°C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง แล้วนำมาเตรียมเป็นชั้นเยื่อเลือกผ่านจากเติมสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์ให้มีร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ลงในสารละลายของโพลีซัลโฟน ดังรูปที่ 4-3 แสดงพื้นผิวจากภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร SrTiO_3 ให้มีร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ลงในสารละลายของโพลีซัลโฟน เมื่อสัดส่วนของสารเพอร์รอฟสไกต์มากขึ้น จะทำให้อนุภาคของสารเพอร์รอฟสไกต์เข้าไปแทนที่บนผิวของเยื่อเลือกผ่านมากขึ้นเช่นกัน ดังรูปที่ 4-3 จนถึงรูปที่ 4-7



รูปที่ 4-3 ภาพถ่าย SEM ของเชื้อเลือกผ่านที่เติมสาร SrTiO_3 ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก

4.2.3 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร ZnTiO_3

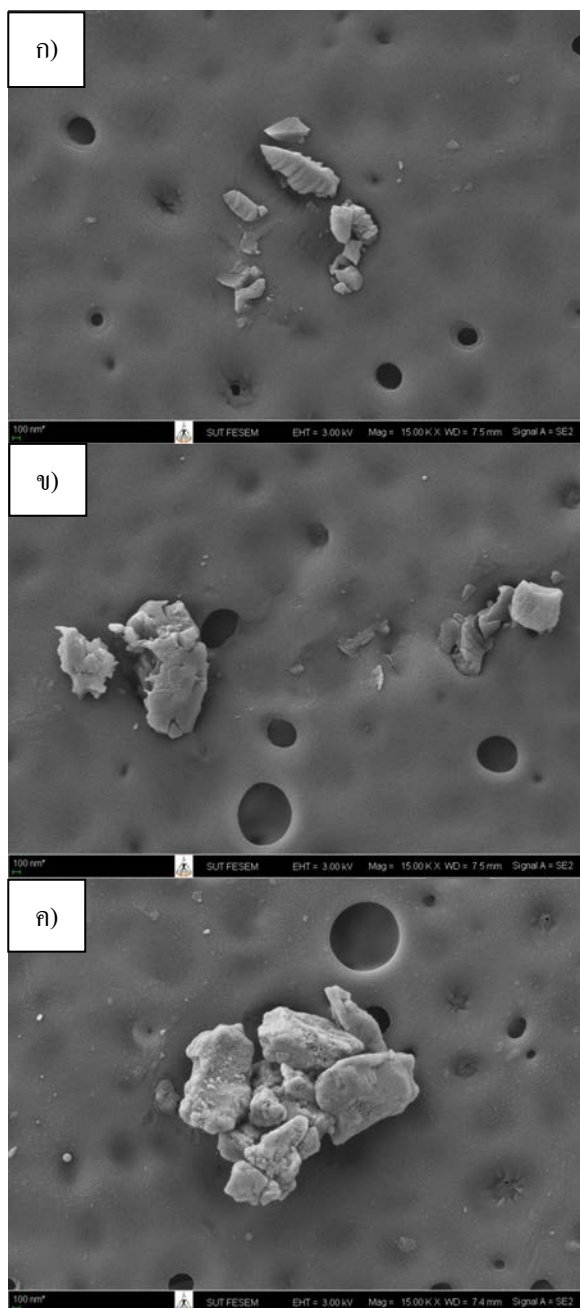
จากดังรูปที่ 4-4 แสดงพื้นผิวจากภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร ZnTiO_3 ให้มีร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ลงในสารละลายของโพลีซัลโฟน



รูปที่ 4-4 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร ZnTiO_3 ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก

4.2.4 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร BaTiO_3

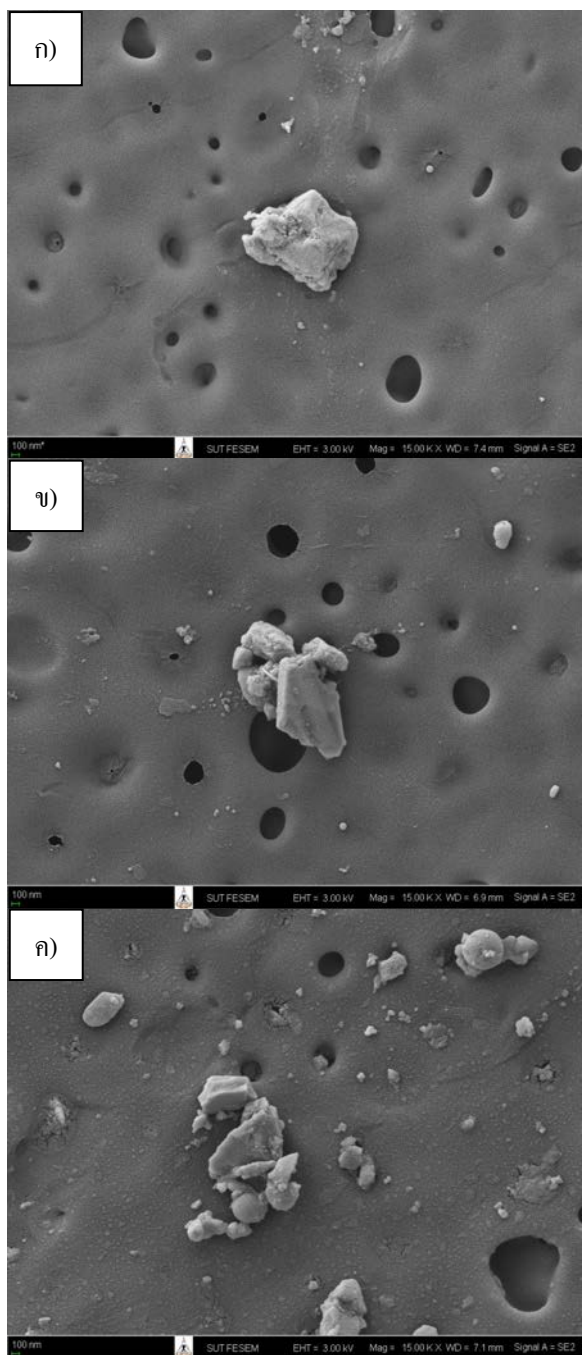
จากดังรูปที่ 4-5 แสดงพื้นผิวจากภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร BaTiO_3 ให้มีร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ลงในสารละลายของโพลีซัลโฟน



รูปที่ 4-5 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร BaTiO_3 ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก

4.2.5 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร CaTiO_3

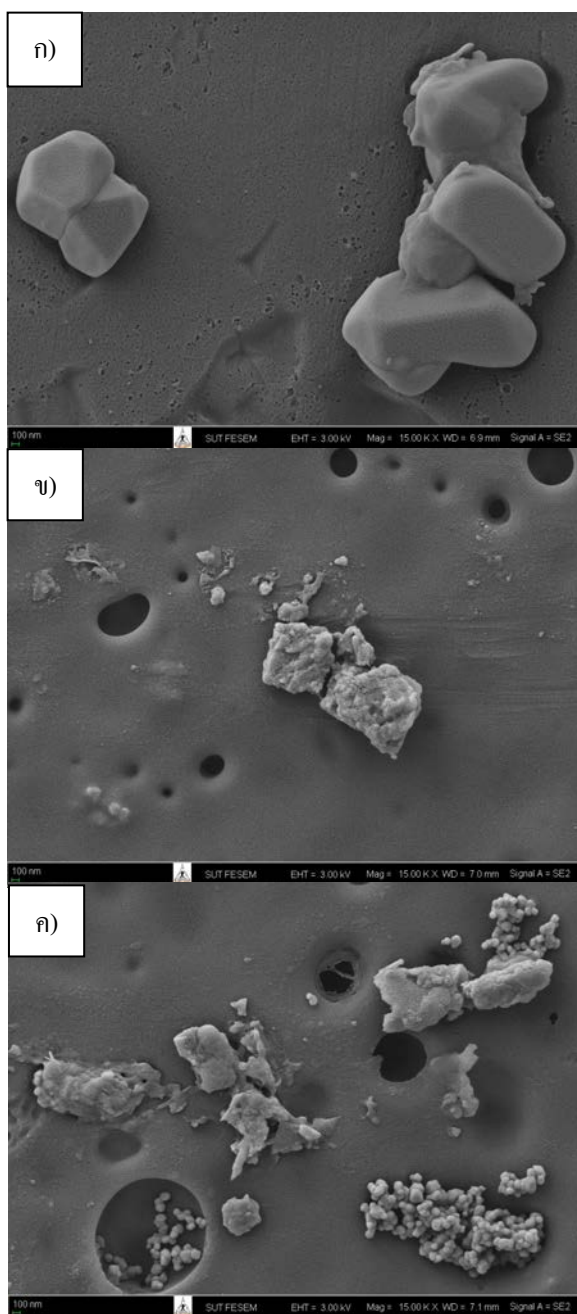
จากดังรูปที่ 4-6 แสดงพื้นผิวจากภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร CaTiO_3 ให้มีร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ลงในสารละลายของโพลีซัลโฟน



รูปที่ 4-6 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร CaTiO_3 ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก

4.2.6 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร CuTiO_3

จากดังรูปที่ 4-7 แสดงพื้นผิวจากภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร CuTiO_3 ให้มีร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก ลงในสารละลายของโพลีซัลโฟน



รูปที่ 4-7 ภาพถ่าย SEM ของเยื่อเลือกผ่านที่เติมสาร CuTiO_3 ร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก

4.3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

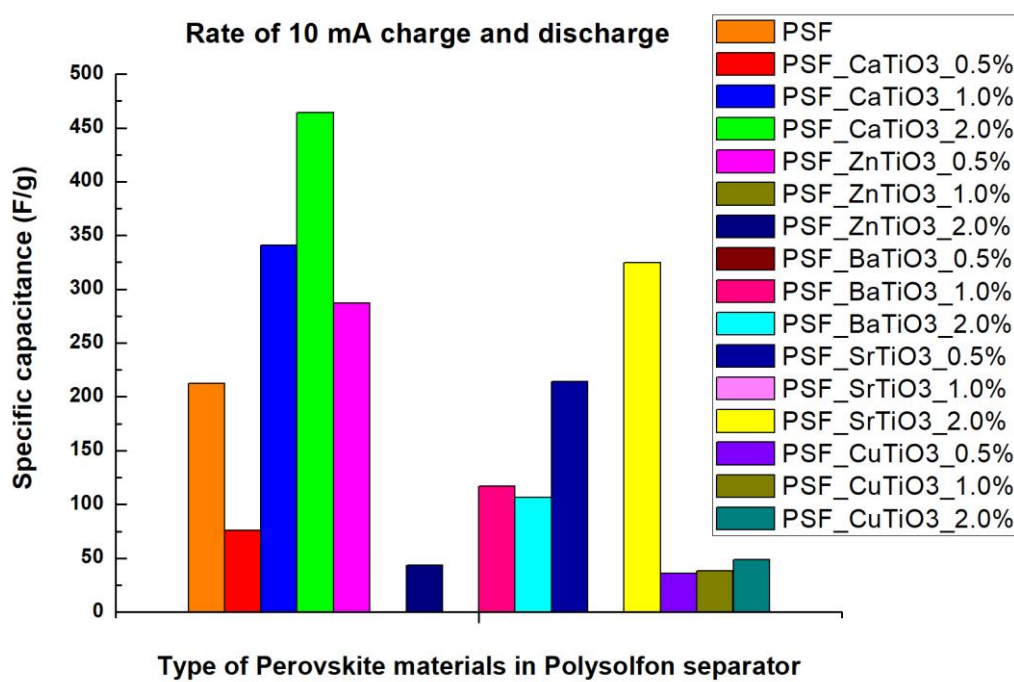
จากการศึกษาตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากโครงสร้างนาโนสารเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์ ดังตารางที่ 4-1 โดยใช้ขั้วไฟฟ้าเป็นนาโนคาร์บอน และใช้เยื่อเลือกผ่าน (separator) ที่ใช้สารโพลีซัลโฟน 15% โดยน้ำหนัก และเติมสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์ ได้แก่ CaTiO_3 , ZnTiO_3 , BaTiO_3 , SrTiO_3 และ CuTiO_3 โดยใช้สัดส่วนผสมโดยน้ำหนักเป็น 0.5% 1% และ 2% ในตัวทำละลาย Dimethylacetamide (DMAc) ด้วยการอัดประจุและคายประจุไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 10 mA โดยใช้เครื่อง Battery Testers system ยี่ห้อ NEWARE รุ่น BTS 3000 เพื่อทำการวัดความจุไฟฟ้าจำเพาะ (Specific capacitance), พลังงานจำเพาะ (Specific energy) และประสิทธิภาพการอัดและคายประจุ (Charge/discharge efficiency) ดังรูปที่ 4-8 พบว่า ตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ใช้เยื่อเลือกผ่านเป็น PSF มีค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะ 212.57 F/g พลังงานจำเพาะ 1.8452 mWh/g และประสิทธิภาพการอัดและคายประจุ 87.398%

สำหรับตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ใช้เยื่อเลือกผ่านที่เติมสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์ พบว่า ค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะของสารตัวอย่างที่เติม CaTiO_3 น้อย 2.0% (ดังรูปที่ 4-8 PSF_ CaTiO_3 2.0%, สีเขียว) มีค่าสูงที่สุดเป็น 464.31 F/g รองลงมา คือ CaTiO_3 1.0%, SrTiO_3 2.0%, ZnTiO_3 0.5% และ SrTiO_3 0.5% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ใช้เยื่อเลือกผ่านเป็น PSF อย่างเดียว จึงเหมาะสมกับการนำมาประดิษฐ์เป็นตัวเก็บประจุยิ่งยวด แต่สำหรับสารตัวอย่างที่เหลือมีค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะน้อยกว่าตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ใช้เยื่อเลือกผ่านเป็น PSF อย่างเดียว

ดังนั้น ตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ใช้เยื่อเลือกผ่านที่เติม CaTiO_3 น้อย 2.0% ให้ค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะสูงที่สุดและมากถึง 2.18 เท่า เมื่อเทียบกับตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ใช้เยื่อเลือกผ่านเป็น PSF อย่างเดียว และให้ค่าพลังงานจำเพาะสูงที่สุดเช่นกัน คือ 4.0305 mWh/g ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพการอัดและคายประจุได้ถึง 79.856% จึงเหมาะสมกับการนำมาประดิษฐ์เป็นตัวเก็บประจุยิ่งยวดมากที่สุด เมื่อเทียบกับสารตัวอย่างทุกตัว ส่วนสารตัวอย่างที่เติม ZnTiO_3 1.0% มีประสิทธิภาพการอัดและคายประจุสูงถึง 121.5% แต่มีค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะที่ต่ำมาก คือ 0.21 F/g จึงไม่เหมาะสมกับการนำมาทำตัวเก็บประจุยิ่งยวด

ตารางที่ 4-1 ค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะ พลังงานจำเพาะ และประสิทธิภาพการอัดและคายประจุที่
กระแสไฟฟ้า 10 mA ของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

ลำดับ	สารตัวอย่าง	ความจุไฟฟ้าจำเพาะ (F/g)	พลังงานจำเพาะ (mWh/g)	ประสิทธิภาพการ อัดและคายประจุ (%)
1	PSF	212.57	1.8452	87.398
2	PSF_CaTiO ₃ _0.5%	75.84	0.6583	97.599
3	PSF_CaTiO ₃ _1.0%	341.03	2.9603	79.170
4	PSF_CaTiO ₃ _2.0%	464.31	4.0305	79.856
5	PSF_ZnTiO ₃ _0.5%	287.23	2.4933	60.859
6	PSF_ZnTiO ₃ _1.0%	0.21	0.0018	121.5
7	PSF_ZnTiO ₃ _2.0%	43.45	0.3772	45.840
8	PSF_BaTiO ₃ _0.5%	0.05	0.0004	39.184
9	PSF_BaTiO ₃ _1.0%	116.92	1.0149	38.860
10	PSF_BaTiO ₃ _2.0%	106.64	0.9257	77.264
11	PSF_SrTiO ₃ _0.5%	214.33	1.8605	84.303
12	PSF_SrTiO ₃ _1.0%	0.13	0.0011	41.322
13	PSF_SrTiO ₃ _2.0%	324.41	2.8161	77.340
14	PSF_CuTiO ₃ _0.5%	35.98	0.3123	38.098
15	PSF_CuTiO ₃ _1.0%	38.51	0.3343	43.304
16	PSF_CuTiO ₃ _2.0%	48.78	0.4234	41.506



รูปที่ 4-8 การอัดและคายประจุไฟฟ้าที่กระแสไฟฟ้า 10 mA ของตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ใช้เยื่อเลือกผ่านที่เติมสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

5.1.1 การเตรียมสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์ ผสมกันตามสัดส่วน 1: 1 โดยโมล แล้วเผาผนึก อนุภาคที่อุณหภูมิ $1,000^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึก ตรวจสอบ ด้วยเทคนิค XRD เป็นสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์ ดังนี้ SrTiO_3 , ZnTiO_3 , BaTiO_3 , CaTiO_3 , และ CuTiO_3 ซึ่งสอดคล้องกับระนาบของสารเพอร์รอฟสไกต์ โดยมีค่าแลตทิซ เป็น 0.3892 nm , 0.8455 nm , 0.4039 nm , 0.6334 nm และ 0.3045 nm ตามลำดับ

5.1.2 ในการตรวจสอบพื้นผิวของแผ่นเมมเบรนที่ใช้เป็นเยื่อเลือกผ่านของตัวเก็บประจุ ยิ่งขูดเป็นภาพถ่ายจากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่า เป็นเยื่อเลือกผ่านจาก สาร Polysulfon (PSF) มีรูกว้างประมาณ 422 nm และเมื่อเติมสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์ออกไซด์ ให้มีร้อยละ 0.5, 1 และ 2 โดยน้ำหนัก จะทำให้อนุภาคของสารเพอร์รอฟสไกต์เข้าไปแทนที่บนผิว ของเยื่อเลือกผ่านมากขึ้น

5.1.3 ตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ใช้เยื่อเลือกผ่านเป็น PSF มีค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะ 212.57 F/g พลังงานจำเพาะ 1.8452 mWh/g และประสิทธิภาพการอัดและคายประจุ 87.398% สำหรับเยื่อเลือก ผ่านที่เติมสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์ที่เหมาะสมกับการนำมาประดิษฐ์เป็นตัวเก็บประจุยิ่งยวดมาก ที่สุด คือ เยื่อเลือกผ่านที่เติม CaTiO_3 น้ก 2.0% เนื่องจากให้ค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะสูงที่สุดเป็น 464.31 F/g รองลงมา คือ CaTiO_3 1.0%, SrTiO_3 2.0%, ZnTiO_3 0.5% และ SrTiO_3 0.5% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ใช้เยื่อเลือกผ่านเป็น PSF อย่างเดียว

ดังนั้น ตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ใช้เยื่อเลือกผ่านที่เติม CaTiO_3 น้ก 2.0% ให้ค่าความจุไฟฟ้า จำเพาะสูงที่สุดและมากถึง 2.18 เท่า เมื่อเทียบกับตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ใช้เยื่อเลือกผ่านเป็น PSF อย่างเดียว จึงเหมาะสมกับการนำมาประดิษฐ์เป็นตัวเก็บประจุยิ่งยวดมากที่สุด เมื่อเทียบกับสาร ตัวอย่างทุกตัว

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยทำการหาประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวด เพื่อต้องการเพิ่มประสิทธิภาพให้สูง ยิ่งขึ้น โดยจะทำการวิจัยและพัฒนาต่อไปในการเติมสารนาโนเพอร์รอฟสไกต์ ร่วมกับนาโน คาร์บอนในการพัฒนาขั้นต่อไป

บรรณานุกรม

- ชัยศักดิ์ อีสโร, วรุฒิ เมืองรัตน์ และพรเพ็ญ อาทรกิจวัฒน์. (2555). **วัสดุผสมของท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังหลายชั้นชนิดดัดแปรกับวัสดุไอโอโนเมอร์ เพื่อการประยุกต์ใช้ในการตรวจจับแก๊ส**, วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 17(2), 28 – 37.
- วรวิศ กอปรสิริพัฒน์. (2014). **ตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Supercapacitors): อุปกรณ์กักเก็บพลังงานไฟฟ้าที่กำลังมาแรง**, TEMCA magazine 2, 21, **AUGUST - OCTOBER**, 75 – 78.
- อภิชาติ ด้านวิทยากุล, **ท่อนาโนคาร์บอน: วัสดุในอนาคต**, วารสาร M.T.E.C, ตุลาคม – ธันวาคม 2553.
- Deng, M., Yang, B., and Hu, Y. (2005). **Polyaniline deposition to enhance the specific capacitance of carbon nanotubes for supercapacitors**, Journal of Materials Science, 40, 5021 – 5023.
- Gamby, J., Taberna, P.L., Simon, P., Fauvarque, J.F., and Chesneau, M. (2001). **Studies and characterisations of various activated carbons used for carbon/carbon supercapacitors**, Journal of Power Sources, 101, 109 – 116.
- Jaiban, P., Suwanwong, S., Namsar, O., Watcharapasorn, A. (2015). **Simultaneous tuning of the dielectric property and photo- induced conductivity in ferroelectric $\text{Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{TiO}_3$ via La doping**, Materials Letters, 147, 29 – 33.
- Lui, P., Lai, Y., Zeng, Y., Wu, S., Huang, Z. and Han, J. (2015). **Influence of sintering conditions on microstructure and electrical properties of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ (CCTO) ceramics**, Journal of Alloys and Compounds, 650, 59 – 64.
- Masingboon, C., Eknapakul, T., Suwanwong, S., Buaphet, P., Nakajima, H., Mo, S.-K., Thongbai, P., King, P.D.C., Maensili, S. and Meewasana, W. (2013). **Anomalous change in dielectric constant of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ under violet-to-ultraviolet irradiation**, Applied Physics Letters, 102, 202903.
- Perathoner, S., Ampelli, C., Chen, S., Passalacqua, R., Su, D. and Centi, G. (2017). **Photoactive materials based on semiconducting nanocarbons – A challenge opening new possibilities for photocatalysis**, Journal of Energy Chemistry, 26, 207–218.

- Suwanwong, S., Eknapakul, T., Rattanachai, Y., Masingboon, C., Rattanasuporn, S., Phatthanakun, R., Nakajima, H., King, P.D.C., Hodak, S.K. and Meewasana, W. (2015). **The dynamics of ultraviolet-induced oxygen vacancy at the surface of insulating SrTiO₃ (001).** Applied Surface Science, 355, 210 – 212.
- Suwanwong, S., Kullapapinyokul, J., Eknapakul, T., Buaphet, P., Phatthanakun, R. and Meewasana, W. (2015). **Resistivity change in SrTiO₃ upon irradiation and its application in light sensing.** Suranaree Journal Science Technology, 22(1), 93 – 98.
- Sudhan, N., Subramani, K. Karnan, K., Ilayaraja, N. and Sathish, M. (2017). **Biomass-Derived Activated Porous Carbon from Rice Straw for a High-Energy Symmetric Supercapacitor in Aqueous and Non-aqueous Electrolytes,** Energy Fuels, 31, 977 – 985.
- Xiong, W., Liu, M., Gan, L., Lv, Y., Yang, L, Yang, L. Xu, Z., Hao, Z., Liu, H., and Chen, L. (2011). **A novel synthesis of mesoporous carbon microspheres for supercapacitor electrodes,** Journal of Power Sources, 196, 10461 – 10464.
- Yan, J., Liu, J., Fan, Z., Wei, T., and Zhang, L. (2012). **High-performance supercapacitor electrodes based on highly corrugated graphene sheets,** C A R B O N, 5 0, 2 1 7 9 – 2 1 8 8.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วัสดุอุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์ มีดังต่อไปนี้

- 1) ปีกเกอร์ ขนาด 50 ml , 100 ml
- 2) กระบอกตวง
- 3) แท่งแก้วคนสาร
- 4) ที่ลึบสาร
- 5) ฟิล์มหุ้มอาหาร
- 6) ช้อนตักสาร
- 7) แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์
- 8) แผ่นพาราฟิล์ม
- 9) โกรกและสาบดสาร
- 10) ถ้วยอะลูมินา (Alumina crucible)
- 11) Coin cell
- 12) แผ่นกระจกใส
- 13) เตารอบไฟฟ้า
- 14) เตาเผา ขนาด 0 – 1,100 °C
- 15) เครื่องอัดไฮโดรลิกส์
- 16) เครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก
- 17) เครื่องทำความสะอาดด้วยการสั่น (Ultrasonic Cleaner)
- 18) เครื่อง X-ray diffractometer (ยี่ห้อ Bruker D2 PHASER)
- 19) เครื่อง Scanning Electron Microscope (ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น AURIGA)
- 20) เครื่อง Battery Testers system (ยี่ห้อ NEWARE รุ่น BTS 3000)

ภาคผนวก ข

สารเคมี

สารเคมี มีดังต่อไปนี้

- 1) นาโนคาร์บอน
- 2) เอทานอล (Ethanol)
- 3) น้ำกลั่น (DI water)
- 4) สตรอนเทียมเปอร์ออกไซด์ (SrO_2)
- 5) ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)
- 6) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)
- 7) แบเรียมออกไซด์ (BaO)
- 8) แคลเซียมออกไซด์ (CaO)
- 9) ทองแดงเปอร์ออกไซด์ (CuO)
- 10) กาว LA 133 Water-based Binder
- 11) สาร Polysulfon (PSF)
- 12) สาร Dimethylacetamide (DMAc)
- 13) สาร Tetraethylammonium tetrafluoroborate (TT)

ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล นายศานิตย์ สุวรรณวงศ์
Mr. Sanit Suwanwong
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3100800542286
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก
สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000
โทรศัพท์ 056-717100, 087-0115315 E-mail: sanit.suw@gmail.com
5. ประวัติการศึกษา
วท.ม. (ฟิสิกส์)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ศษ.บ. (ฟิสิกส์-คณิตศาสตร์)
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง
โครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์
วัสดุศาสตร์ทางแสงและไฟฟ้า
ไดโอดเปล่งแสงและตัวเก็บประจุยิ่งยวด
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่
ศานิตย์ สุวรรณวงศ์ และอาทิตย์ หูเต็ม. (2561). การนำไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 5 ประจำปี 2561 “งานวิจัยและนวัตกรรมเพื่อพัฒนาท้องถิ่น”, 8 - 9 มีนาคม 2561.
ศานิตย์ สุวรรณวงศ์. (2559). การเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงโดยใช้สารสกัดของข้าวเหนียวลิ้มผัวภายใต้การฉายแสง. การประชุมสวนสุนันทาวิชาการระดับชาติ ด้าน “การวิจัยเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน” ครั้งที่ 4, 26 สิงหาคม 2559.

- ศานิตย์ สุวรรณวงศ์, สุพจน์ เกติมี, อาทิตย์ หู้เต็ม, ไพฑูรย์ บานเย็นงาม และพงษ์ศักดิ์ คำสร. (2559). การเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสงภายใต้การฉายแสง. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ครั้งที่ 8, 31 มี.ค. – 1 เม.ย. 2559.
- Sanit Suwanwong and Artit Hutem. (2018). **Structural and Dielectric Properties of Zn_2TiO_4 Ceramic from Sol-Gel Method**. URU International Conference on Science and Technology 2018, 2 – 3 August, 2016.
- Jaiban, P., Suwanwong, S., Namsar, O., and Watcharapasorn, A. (2015). **Simultaneous tuning of the dielectric property and photo- induced conductivity in ferroelectric $\text{Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{TiO}_3$ via La doping**, Materials Letters, 147, 29 – 33.
- Suwanwong, S., Eknapakul, T., Rattanachai, Y., Masingboon, C., Rattanasuporn, S., Phatthanakun, R., Nakajima, H., King, P.D.C., Hodak, S.K. and Meewasana, W. (2015). **The dynamics of ultraviolet-induced oxygen vacancy at the surface of insulating SrTiO_3 (001)**. Applied Surface Science, 355, 210 – 212.
- Suwanwong, S., Kullapapinyokul, J., Eknapakul, T., Buaphet, P., Phatthanakun, R. and Meewasana, W. (2015). **Resistivity change in SrTiO_3 upon irradiation and its application in light sensing**. Suranaree Journal of Science and Technology, 22(1), 93 – 98.
- Masingboon, C., Eknapakul, T., Suwanwong, S., Buaphet, P., Nakajima, H., Mo, S.-K., Thongbai, P., King, P.D.C., Maensili, S. and Meewasana, W. (2013). **Anomalous change in dielectric constant of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ under violet-to-ultraviolet irradiation**, Applied Physics Letters, 102, 202903.

ประวัติผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล ดร. อาทิตย์ หู้เต็ม
Dr. Artit Hutem
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3620400302046
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก
สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000
โทรศัพท์ 056-717100, E-mail: magoohootem@yahoo.com
5. ประวัติการศึกษา
ปร.ด. (ฟิสิกส์)
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วท.ม. (ฟิสิกส์)
มหาวิทยาลัยนเรศวร
วท.บ. (ฟิสิกส์)
มหาวิทยาลัยนเรศวร
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
กลศาสตร์ควอนตัม
เทอร์โมไดนามิกส์
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่
Artit Hutem and Chanun Sricheewin (TPTP Naresuan U.). 2008. **Ground-state energy eigenvalue calculation of the quantum mechanical well $V(x) = (1/2)kx^2 + ax^4$ via. EUROPEAN JOURNAL OF PHYSICS.**
Artit Hutem. 2009. **Ground-state Energy eigenvalue Calculation of Potential Well $V(x) = (1/2)kx^2 + \lambda x^6$.** Published in The 2nd Science Research Conference 9-10 March 2009.
Artit Hutem. 2011. **Comment on failure of excited-state analytical transfer matrix method for the potential $V(x) = \frac{1}{2} kx^2 + \lambda x^4$.** Journal Computational Mathematics and Mathematical Physics.

- Artit Huteem and Sutee Boonchui. 2012. **Numerical evaluation of second and third virial coefficients of some inert gases via classical cluster expansion.** Journal of Mathematical Chemistry.
- Artit Huteem and Sutee Boonchui. 2012. **Excited-State Energy Eigenvalue and Wave-Function Evaluation of the Gaussian Symmetric Double-Well Potential Problem via Numerical Shooting Method 1.** *Journal of Mathematical Chemistry*.
- Artit Huteem and Supoj Kerdmee. 2013. **Physics Learning Achievement Study: Projectile, using Mathematica program of Faculty of Science and Technology Phetchabun Rajabhat University Students.** European J of Physics Education.
- Jiravatt Rewrujirek and Artit Huteem and Sutee Boonchui. 2014. **Calculation of the tunneling time using the extended probability of the quantum histories approach.** *Physics Letters A*, 2014, no. 378, pp 985 – 989.
- Artit Huteem. 2014. **Evaluate correlation function for excited-state of the harmonics oscillator Sine asymmetric potential via numerical shooting method.** Advanced Studies in Theoretical Physics, Vol. 8: 17, 701 – 710.
- Artit Huteem and Surachest Iamsamang. 2014. **Correlation Function of Gaussian-Sine Asymmetric Potential by Shooting Method.** Advanced Studies in Theoretical Physics, Vol.8: 19, 825 – 320.
- Artit Huteem, Treenuch Ellis and Achira Sujarit. 2014. **Determine Impulse Response Displacement Function of Exponential-Cosine Decaying Forcing Function from Green's Function Technique.** Advanced Studies in Theoretical Physics, Vol.8: 24, 1089 – 1094.
- Piyarut Moonsri and Artit Huteem. 2014. **Evaluation of Density Matrix and Helmholtz Free Energy for Harmonic Oscillator Asymmetric Potential via Feynmans Approach.** Advances in Physical Chemistry, 912054, 9.
- Artit Huteem and Piyarut Moonsri. 2015. **Evaluated Excited-State Time-Independent Correlation Function and Eigenfunction of the Harmonics Oscillator Cosine Asymmetric Potential via Numerical Shooting Method.** Physics Research International, 609495, 10.

ประวัติผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล ดร. ฉลาด ยืนยาว
Dr. Chalad Yuenyao
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3420900363151
3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก
สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000
โทรศัพท์ 056-717100, E-mail: chalady_2012@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา
ปร.ค. (ฟิสิกส์)
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (วิทยาเขตหาดใหญ่)
วท.ม. (ฟิสิกส์)
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (วิทยาเขตหาดใหญ่)
วท.บ. (ฟิสิกส์)
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
เมมเบรนพอลิเมอร์
การปรับปรุงสมบัติผิวพอลิเมอร์ด้วยพลาสมา
การประยุกต์นิวเคลียร์รังสีในด้านการเกษตร
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่
C. Kaew-on, T. Chittrakarn, S. Ruangdit, Y. Tirawanichakul and C. Yuenyao. Inpress.
Modification of asymmetric polysulfone membrane surface using mixed Ar/O₂ plasma
technique. Walailak Journal of Science and Technology. 16(6). 423-431.
T.Chittrakarn, Y.Tirawanichkul, S.Sirijarukul and C.Yuenyao. 2016. Plasma induced graft
polymerization of hydrophilic monomers on polysulfone gas separation membrane
surfaces. Surface and Coatings Technology. 296. 157-163.

- C.Yuenyao, T.Chittrakarn, Y.Tirawanichakul and S.Sirijarakul. 2016. Surface modification of asymmetric polysulfone/polyethylene glycol membranes by DC Ar-glow discharge plasma. International Journal of Polymer Science. ID4759150. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/4759150>.
- C.Yuenyao, Y.Tirawanichakul and T.Chittrakarn. 2015. Asymmetric polysulfone gas separation membranes treated by low pressure DC glow discharge plasmas. Journal of Applied Polymer Science. 132(24). <http://doi.org/10.1002/app.42116>.
- S. Ruangdit, T. Chittrakarn, S. Anuchit, Y. Tirawanichakul and C. Yuenyao. 2017. Surface modification of PSF/TiO₂ membranes using silane coupling agents and DC plasma technique. Malaysian Journal of Analytical Sciences. 21(2). 372-380.
- C. Yuenyao, T. Chittrakarn, Y. Tirawanichakul and H. Nakajima. 2017. Low pressure DC-plasma system for the modification of polymeric membrane surfaces. SainsMalaysiana. 46(5). 783-793.
- C. Yuenyao, S. Ruangdit and T. Chittrakarn. 2017. Tuning of preparational factors affecting the morphological structure and gas separation property of asymmetric polysulfone membranes. Journal of Physics: Conference Series. 901. ID 012165. Doi:10.1088/1742-6596/901/1/012165.
- P. Tekasakul, A. Kumar, C. Yuenyao, P. Kirirat and G. Prateepchaikul. 2017. Assesment of sensible heat storage and fuel utilization efficiency enhancement in rubber sheet drying. Journal of Energy Storage. 10. 67-74.
- C. Yuenyao, T. Chittrakarn, Y. Tirawanichkul, P. Saeung and W. Taweepreda, "The Effects of Argon and Oxygen Plasma on the Surface Morphology of Polysulfone Membrane", 2012; Thai Journal of Physics, Series 8, pp.41-44.

ประวัติผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยรัตน์ มวลศรี
Associate Professor Dr. Piyarut Moonsri
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3501300387530
3. ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000
โทรศัพท์ 056-717100 ต่อ 8200, E-mail: piyarutto@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา
วท.ค. (เคมี)
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2551
วท.ม. (เคมี)
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2543
วท.บ. (เคมีอุตสาหกรรม)
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2540
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
Biomaterial Synthesis & Applications, Theoretical in Physical Chemistry, Science & Technology of Fuel, Colloid Chemistry and Environment.
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่
Moonsri, P., Hutem, A., and Suwanwong, S. (2020). Development of Groundwater Treatment Equipment Sets for Consumption to Tackle Drought of Community. *The 1st National Conference on Smart Community Development in the Asia Pacific (nSCAP2020) February 20-21, 2020 at Asian Development College for Community Economy and Technology Chiang Mai Rajabhat University, Thailand* :109-117.
Moonsri, P. and Hutem, A. (2019). Evaluation of Specific Heat Capacity and Entropy of Particle Bound Harmonics Oscillator Cosine Asymmetric Potential by Partition Function. *Applied Mechanics and Materials*, Vol.886 : 194-200.

- Apiratigosol, M., Jeeradit, K., Keawpeai, P., Hutem, S., Hutem, A., Suwanwong, S., and Moonsri, P. (2019). Determine the Specific Heat Capacity, the Entropy, and the Standard Deviation of Particle Vibration Bound-State under the Anharmonic Oscillator Asymmetric Potential by Partition Function Method. *Applied Mechanics and Materials*, Vol.886 : 206-212.
- Moonsri, P., and Hutem, A. (2018). Biomass-briquettes fuel from local wisdom for producer gas production. *Kasem Bundit Engineering Journal*. 2018 (8) special issue, 286-295.
- Moonsri, P. 2017. Preparation of Micro-Porous Fibroin Membrane by Emulsion Method. *SNRU Journal of Science and Technology*. Vol. 9(3) : 552-559.
- Panpraneecharoen, S., Moonsri, P. & Wantang. (2017). Production of Biodiesel from Used Vegetable Oil by Using Calcium Oxide Catalyst. *The 2nd IEEE International Conference on Science and Technology 7-8 December 2017 Faculty of Science and Technology Rajamangala University of Technology Thanyaburi Bangkok* (169-172).
- Moonsri, P., Pongpian, W., & Moonsri, P. (2016). Production of Activated Carbon from Moldy Damaged Tamarind-Pod. *Applied Mechanics and Materials*, Vol.855 : 137-142.