

ประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดของข้าวไฟฟ้าจากถ่านคาร์บอนที่ได้จากซังข้าวโพด

Performance of supercapacitor electrodes made from corn cob-derived activated carbon

อาทิตย์ หู้เต็ม¹ จิราพัชร มากคำ² และศานิตย์ สุวรรณวงศ์^{2*}

Artit Hutem¹, Chirapat Markkham², and Sanit Suwanwong^{2*}

¹ สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000

² สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000

¹ Division of Science Education, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun 67000

² Division of Physics, Faculty of Science and Technology, Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun 67000

*Corresponding author E-mail: sanit.suw@pcru.ac.th

บทคัดย่อ

ข้าวโพดเป็นพืชทางเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ ทั้งในด้านบริโภคและอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งก่อให้เกิดสิ่งที่เหลือทิ้งได้แก่ซังข้าวโพด ซึ่งสามารถนำมาสังเคราะห์เป็นถ่านคาร์บอนที่มีรูพรุนสูง นำมาประดิษฐ์เป็นข้าวไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวดได้ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดโดยการเติมคาร์บอนแบล็คในสัดส่วน 1:4 2:3 และ 1:1 บดด้วยเครื่องบดย่อยแบบลูกบอล เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วเคลือบเป็นฟิล์มคาร์บอนบนแผ่นอะลูมิเนียมด้วยเทคนิคสเปรย์ จะได้ข้าวไฟฟ้าของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด และที่ผสมกับคาร์บอนแบล็ค จากนั้นตรวจสอบพื้นผิวบนฟิล์มคาร์บอนที่ใช้ทำข้าวไฟฟ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า อนุภาคของคาร์บอนแบล็คแทรกเข้าไปบนพื้นผิวของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด แล้วตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของข้าวไฟฟ้าด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR) พบว่า สัดส่วน 2:3 มีค่าการดูดกลืนมากที่สุดที่พันธะ O-H stretch และ C-N stretch จากนั้นประกอบเป็นตัวเก็บประจุยิ่งยวดแบบเซลล์ทรงเหรียญ (coin cell) พบว่า ตัวเก็บประจุยิ่งยวดของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ด้วยการเติมคาร์บอนแบล็คถึง 2.7 เท่า จึงเหมาะสมในการประดิษฐ์เป็นตัวเก็บประจุยิ่งยวดเพื่อใช้เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานต่อไป

คำสำคัญ : ตัวเก็บประจุยิ่งยวด ถ่านคาร์บอน ซังข้าวโพด

Abstract

Corn is a significant economic crop in the country, utilized for consumption and in the food production industry. The residual byproduct, corn cobs, can be synthesized into highly porous carbon, which can then be fabricated into electrodes for supercapacitors. In this research, the performance of the supercapacitors was enhanced by incorporating carbon black (CB) in ratios of 1:4, 2:3, and 1:1. The mixtures were ball-milled for 24 hours and subsequently coated as carbon films onto aluminum foil using a spray technique. This process yielded both pure corn cob-derived carbon electrodes and those mixed with carbon black. Surface morphology of the resulting carbon films was examined using Scanning Electron Microscopy (SEM). The results

indicated that the carbon black nanoparticles were intercalated into the surface of the corn cob-derived carbon. Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) analysis was conducted to investigate the functional groups of the electrodes; the 2:3 ratio exhibited the highest absorption values at the O-H stretch and C-N stretch bonds. Finally, the materials were assembled into coin-cell supercapacitors. It was found that the corn cob-derived carbon supercapacitors could achieve a 2.7-fold increase in efficiency with the addition of carbon black. Therefore, this material is suitable for fabrication into supercapacitors to be utilized as an energy storage source.

Keywords : Supercapacitor, Activated carbon, Corn cob

บทนำ

ข้าวโพดเป็นพืชทางเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศ เมล็ดใช้ในการรับประทานและผลิตอาหาร โดยมีสิ่งเหลือทิ้ง ได้แก่ เปลือกฝักข้าวโพด ชังข้าวโพด และสามารถนำชังข้าวโพดมาสังเคราะห์เป็นถ่านคาร์บอน (activated carbon) ที่มีรูพรุนสูง มีพื้นที่ผิวมาก (Liu et al., 2020) เมื่อนำวัสดุบางชนิดมาเติมลงในถ่านคาร์บอนที่สังเคราะห์ได้จากพืช (Wang et al., 2018) จะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้า (Xiong et al., 2011) ใช้ประดิษฐ์เป็นอิเล็กทรอนิกส์ เช่น แบตเตอรี่ ตัวเก็บประจุ ตัวเก็บประจุยิ่งยวด เป็นต้น สำหรับแบตเตอรี่ใช้เวลาในการอัดประจุนานแต่มีรอบอัดประจุต่ำ ส่วนตัวเก็บประจุ (capacitor) สามารถอัดประจุได้รวดเร็วแต่มีการเก็บประจุต่ำกว่าและคายประจุเร็วมาก และตัวเก็บประจุยิ่งยวด (supercapacitor) สามารถอัดประจุได้รวดเร็วและเก็บประจุได้สูงกว่าตัวเก็บประจุเป็นอย่างมาก คายประจุไฟฟ้าได้นาน และมีส่วนประกอบ ได้แก่ สารอิเล็กโทรไลต์ และแผ่นคั่นระหว่างกลางของขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ซึ่งประกอบเป็นตัวเก็บประจุยิ่งยวด

ดังนั้นการประดิษฐ์ขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวดใช้ถ่านคาร์บอนที่มีรูพรุนสูง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ชังข้าวโพดในการสังเคราะห์เป็นถ่านคาร์บอน เพื่อทำเป็นขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวด และในการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดของถ่านคาร์บอนจากชังข้าวโพดด้วยการเติมคาร์บอนแบล็ค (Li et al., 2024) ในสัดส่วน ดังนี้ 1:4 2:3 และ 1:1 โดยทั่วไปการเคลือบฟิล์มเพื่อทำขั้วไฟฟ้าใช้วิธีการปาด (doctor blade) บนแผ่นอะลูมิเนียมซึ่งจะต้องใช้เวลานานในการเตรียมขั้วไฟฟ้า ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เทคนิคสเปรย์ที่ช่วยลดเวลาและขั้นตอนในการเตรียมขั้วไฟฟ้าด้วย (Say et al., 2020) จากนั้นตรวจสอบพื้นผิวของขั้วไฟฟ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แล้วตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของขั้วไฟฟ้าด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR) ในการตรวจสอบประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดแบบเซลล์ทรงเหรียญ (coin cell) เพื่อหาค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะ (Specific capacitance) ของตัวเก็บประจุยิ่งยวดเพื่อใช้เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานที่ได้จากแหล่งผลิตไฟฟ้า เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลม เครื่องปั่นไฟ เป็นต้น ในแง่การผลิตและอุตสาหกรรมเป็นการเพิ่มความสะดวกในการผลิตต่อไป

วิธีการดำเนินการวิจัย

1. การสังเคราะห์ถ่านคาร์บอนจากชังข้าวโพด

นำชังข้าวโพดดังภาพที่ 1 (ก) มาล้างด้วยน้ำกลั่น (DI water) แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดให้เป็นชิ้นเล็กดังภาพที่ 1 (ข) แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เรียกกระบวนการนี้ว่า before activation corn cob carbon (BA-CC) ต่อมาเตรียมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โดยนำ KOH ละลายกับน้ำกลั่นที่ความเข้มข้น 3M แล้วทำการกระตุ้นด้วยการเทสารละลาย

KOH ลงใน BA-CC ไปเผาที่อุณหภูมิ 450°C จะได้ CC-KOH สุดท้ายแล้วนำ CC-KOH มาล้างด้วยน้ำกลั่นสลับกับกรดไฮโดรคลอริก (HCl) จนมีค่า pH เป็น 7 แล้วนำไปอบให้แห้ง จะได้ถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดที่ถูกกระตุ้นแล้ว (CC) จากนั้นทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวและความพรุนด้วยเครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและความพรุน (Brunauer, Emmett, and Teller; BET) ยี่ห้อ Micromeritics รุ่น 3Flex พบว่า ถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดมีพื้นที่ผิว $58.2173\text{ m}^2/\text{g}$ และมีขนาดรูพรุนที่ 0.5693 nm สำหรับคาร์บอนแบล็คมีพื้นที่ผิว $61.6079\text{ m}^2/\text{g}$ และมีขนาดรูพรุนที่ 0.7731 nm



ภาพที่ 1 (ก) ซังข้าวโพด และ (ข) ซังข้าวโพดที่ถูกบดแล้ว

2. การผสมถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดกับคาร์บอนแบล็ค

การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดโดยการนำถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด (CC) ผสมกับคาร์บอนแบล็ค (CB) โดยใช้น้ำหนักตามสัดส่วนดังตารางที่ 1 ทำการผสมตามสัดส่วนด้วยเครื่องบดย่อยแบบลูกบอลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้ถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดที่ผสมกับคาร์บอนแบล็ค (CC-CB)

ตารางที่ 1 ถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดที่เติมด้วยคาร์บอนแบล็ค

สารตัวอย่าง	สัดส่วน	น้ำหนัก (กรัม)	
		ถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด	คาร์บอนแบล็ค
CC	1:0	1	0
CC1-CB4	1:4	1	4
CC2-CB3	2:3	2	3
CC1-CB1	1:1	2.5	2.5

3. การเตรียมฟิล์มคาร์บอน

การเตรียมฟิล์มคาร์บอนโดยเริ่มจากการเตรียมสารละลายกาว LA 133 (บริษัท Linyi Gelon LIB Co., Ltd.) 10 กรัม ลงในน้ำกลั่น 20 ml แล้วคนให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที จะได้สารละลายกาว จากนั้นเทถ่านคาร์บอนที่เตรียมไว้มา 5 กรัม ตามตารางที่ 1 ลงในสารละลายกาวแล้วคนต่ออีก 1 ชั่วโมงให้เข้ากัน จากนั้นนำสารละลายกาวเทลงกระบอกสเปรย์ แล้วพ่นสเปรย์ที่มีสารละลายกาวบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ที่มีขนาด

10 x 22 cm แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C ใช้เวลา 30 นาที จะได้ฟิล์มคาร์บอนด้วยเทคนิคสเปรย์เพื่อทำขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวด ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ฟิล์มคาร์บอนใช้เป็นขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวด



ภาพที่ 3 (ก) ส่วนประกอบของเซลล์ทรงเหรียญ และ (ข) ตัวเก็บประจุยิ่งยวดที่ประกอบเสร็จแล้วแบบเซลล์ทรงเหรียญ

4. การประกอบตัวเก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวดของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด

เริ่มต้นด้วยตัดแผ่นฟิล์มคาร์บอนของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดเป็นวงกลมจำนวน 2 แผ่นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.6 cm ต่อมาเตรียมอิเล็กโทรไลต์ โดยนำสาร Tetraethylammonium tetrafluoroborate ละลายในสาร Acetonitrile 20 ml ให้มีความเข้มข้น 1 M คนให้เข้ากัน เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จะได้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ จากนั้นนำฟิล์มคาร์บอนและอิเล็กโทรไลต์ ประกอบเป็นตัวเก็บประจุยิ่งยวดแบบเซลล์ทรงเหรียญ แสดงดังภาพที่ 3 (ก) ตามลำดับจากบนลงล่างดังนี้ ฝาข้าวบวก, ขั้วไฟฟ้า, อิเล็กโทรไลต์, แผ่นคั่นระหว่างกลาง, อิเล็กโทรไลต์, ขั้วไฟฟ้า, แผ่นรองขั้วเซลล์, สปริง และ ฝาข้าวลบ สุดท้ายใช้เครื่องอัดไฮโดรลิก กดด้วยแรง 0.3 ton เป็นเวลา 5 นาที จะได้ตัวเก็บประจุยิ่งยวดแบบทรงเหรียญ แสดงดังภาพที่ 3 (ข)

5. ภาพถ่ายพื้นผิวของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด

ภาพถ่ายพื้นผิวของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ยี่ห้อ thermo SCIENTIFIC รุ่น Phenom XL เพื่อตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มคาร์บอนจากซังข้าวโพดและที่ผสมกับคาร์บอนแบล็คบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์

6. ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด

ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของถ่านคาร์บอนด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบของสารโดยใช้หลักการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Spectrum Two เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันที่ส่งผลต่อการนำไฟฟ้าของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดและที่ผสมกับคาร์บอนแบล็ค

7. การวัดประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวด

การวัดประสิทธิภาพตัวเก็บประจุยิ่งยวดแบบเซลล์ทรงเหรียญด้วยใช้เครื่องระบบทดสอบแบตเตอรี่ (Battery Testers System) ยี่ห้อ NEWARE รุ่น BTS 3000 ได้ค่าความหนาแน่นของพลังงาน (Specific energy density, E_D) เพื่อนำมาหาค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะ (Specific capacitance, C_S) ของตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากสมการที่ 1 (Sahin et al., 2020)

$$ED = \frac{1}{2} C_S (\Delta V)^2 = \frac{1}{2} \frac{C}{m} (\Delta V)^2 \quad (1)$$

เมื่อ E_D คือ ความหนาแน่นพลังงาน (mWh/g)

C_S คือ ความจุไฟฟ้าจำเพาะ หรือความจุไฟฟ้าต่อมวล (F/g)

C คือ ความจุไฟฟ้ารวม (F)

ΔV คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

m คือ มวลของถ่านคาร์บอน (g)

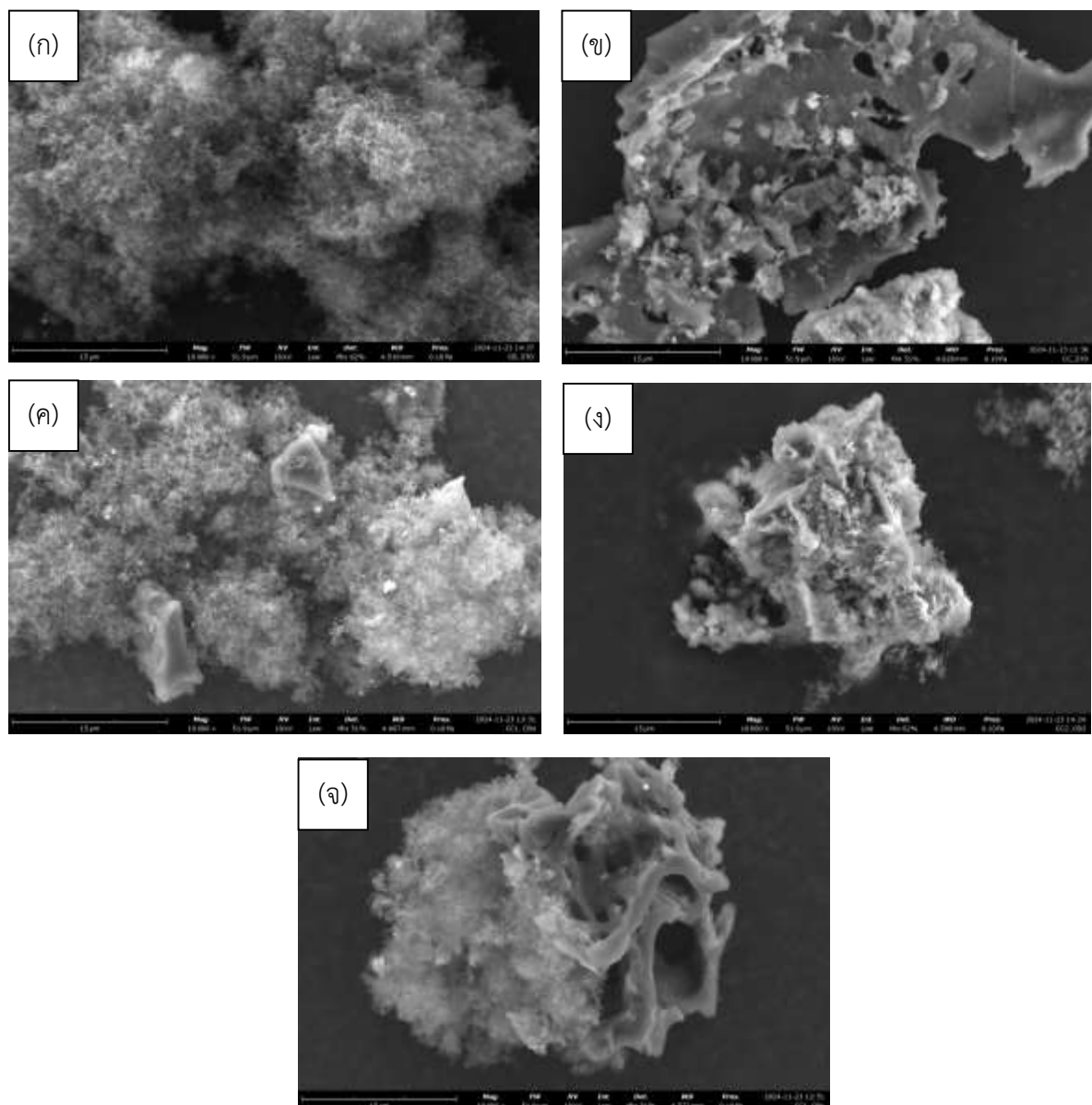
ผลการวิจัย

1. พื้นผิวของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด

ภาพถ่ายพื้นผิวของถ่านคาร์บอนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงดังภาพที่ 4 (ก) พบว่าโดยทั่วไปแล้วพื้นผิวของคาร์บอนแบล็ค มีลักษณะที่มีพื้นที่ผิวและรูพรุนสูงดังผลด้วยเครื่อง BET มีพื้นที่ผิว

61.6079 m^2/g และมีขนาดรูพรุนที่ 0.7731 nm ในขณะที่พื้นผิวของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดมีลักษณะที่มีรูพรุนต่ำกว่าดังผลจากเครื่อง BET มีพื้นที่ผิว 58.2173 m^2/g และมีขนาดรูพรุนที่ 0.5693 nm ดังแสดงในภาพที่ 4 (ข) ตามลำดับ

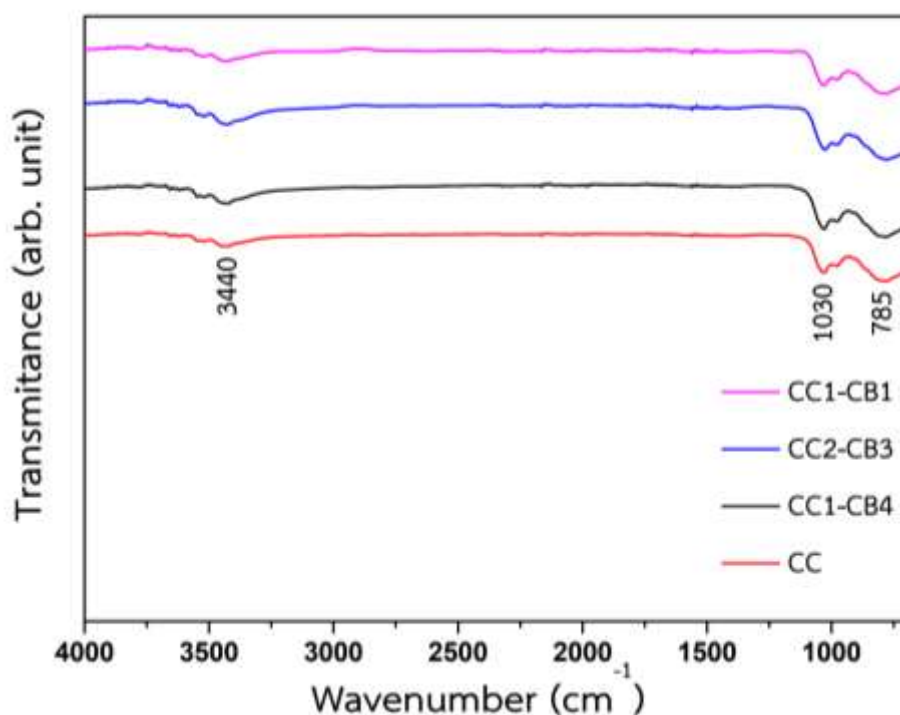
สำหรับในสารตัวอย่างที่มีการเติมคาร์บอนแบล็คลงในถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด ในสัดส่วน 1:4 (CC1-CB4) พบว่าคาร์บอนแบล็คแทรกตัวและเกาะตามบริเวณพื้นผิวของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด ดังแสดงในภาพที่ 4 (ค) เมื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอนแบล็คลงในถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด ในสัดส่วน 2:3 (CC2-CB3) และ 1:1 (CC1-CB1) พบว่า คาร์บอนแบล็คแทรกตัวและเกาะตามบริเวณพื้นผิวของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดหนาแน่นมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4 (ง) และ (จ) ตามลำดับ



ภาพที่ 4 ภาพถ่ายบริเวณพื้นผิวของ (ก) คาร์บอนแบล็ค (CB) (ข) ถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด (cc) และ ถ่านคาร์บอนที่เติมด้วยคาร์บอนแบล็คในสัดส่วนต่าง ๆ ดังนี้ (ค) CC1-CB4 (ง) CC2-CB3 และ (จ) CC1-CB1

2. หมู่ฟังก์ชันของชีวไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของชีวไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวดของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด (CC) และที่ผสมกับคาร์บอนแบล็ค (CC-CB) ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบของสารด้วยคลื่นรังสีอินฟราเรด (FT-IR) ดังภาพที่ 5 พบว่า สัดส่วน 2:3 (CC2-CB3) มีการดูดกลืนมากที่สุด ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3440 cm^{-1} มีพันธะ O-H stretch ซึ่งส่งผลต่อการเกิดมีชีวและการแตกตัวเป็นไอออนได้ดีในสารละลาย จึงส่งผลให้มีการนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น รองลงมา 1:4 (CC1-CB4) และ 1:1 (CC1-CB1) มีการดูดกลืนน้อยที่สุด สำหรับตำแหน่งเลขคลื่น 1030 cm^{-1} มีพันธะ C-N stretch ส่งผลต่อการเกิดมีชีวและการแตกตัวเป็นไอออนในสารละลายเช่นกัน ซึ่งทั้ง 4 สารตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกัน และตำแหน่งเลขคลื่น 785 cm^{-1} มีพันธะ C-H stretch ซึ่งไม่มีชีวและไม่สามารถแตกตัวเป็นไอออนจึงไม่ส่งผลต่อการนำไฟฟ้า



ภาพที่ 5 หมู่ฟังก์ชันของชีวไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวดของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด (CC) และถ่านคาร์บอนที่เติมด้วยคาร์บอนแบล็คในสัดส่วนต่าง ๆ ดังนี้ CC1-CB4 CC2-CB3 และ CC1-CB1

3. ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวดของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด

ประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดแบบทรงเหรียญ โดยใช้เครื่องระบบทดสอบแบตเตอรี่ ได้ค่าความหนาแน่นของพลังงาน (Specific energy density, ED) เพื่อนำมาหาค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะ (Specific capacitance, C_s) จากตารางที่ 2 พบว่า ตัวเก็บประจุยิ่งยวดของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด (CC) มีค่าความหนาแน่นของพลังงาน 1.24 mWh/g และค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะ 1.76 F/g

ในการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวดของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด ด้วยการเติมคาร์บอนแบล็ค ตามสัดส่วนต่าง ๆ ดังนี้ 1:4 (CC1-CB4), 2:3 (CC2-CB3) และ 1:1 (CC1-CB1) ดังตารางที่ 2 พบว่า ที่สัดส่วน 2:3 (CC2-CB3) มีค่าความหนาแน่นของพลังงาน 3.36 mWh/g และค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะ 4.77 F/g ซึ่งมีค่าสูงที่สุดถึง 2.7 เท่าเมื่อเทียบกับถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้เติมคาร์บอนแบล็ค (Li et al., 2024)

ซึ่งสอดคล้องกับผลการดูดกลืนมากที่สุด ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3440 cm^{-1} มีพันธะ O-H stretch รองลงมาสัดส่วน 1:4 (CC1-CB4) และ 1:1 (CC1-CB1) ตามลำดับ เห็นได้ว่าความจุไฟฟ้าจำเพาะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้เติมคาร์บอนแบล็ค ฉะนั้นตัวเก็บประจุยิ่งยวดของซังไฟฟ้าจากถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพด (Xu et al., 2021) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ด้วยการเติมคาร์บอนแบล็ค จึงเหมาะสมในการใช้ประดิษฐ์เป็นตัวเก็บประจุยิ่งยวดเพื่อใช้เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานได้

ตารางที่ 2 ความหนาแน่นพลังงาน และความจุไฟฟ้าจำเพาะของตัวเก็บประจุยิ่งยวดของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดที่เติมด้วยคาร์บอนแบล็ค

สารตัวอย่าง	สัดส่วน	ความหนาแน่นของพลังงาน (mWh/g)	ความจุไฟฟ้าจำเพาะ (F/g)
CC	1:0	1.24	1.76
CC1-CB4	1:4	2.10	2.98
CC2-CB3	2:3	3.36	4.77
CC1-CB1	1:1	1.35	1.92

อภิปรายผล

ในการสังเคราะห์ถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดที่เคลือบฟิล์มบนแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ด้วยเทคนิคสเปรย์ และถ่านคาร์บอนที่ผสมกับคาร์บอนแบล็คตามสัดส่วน 1:4 2:3 และ 1:1 จากภาพถ่ายพื้นผิวด้วย SEM พบว่าบนพื้นผิวของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดถูกแทรกเข้าไปด้วยอนุภาคของคาร์บอนแบล็คเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนจากเทคนิค FT-IR เพื่อตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันบนฟิล์มคาร์บอนที่สัดส่วน 2:3 (CC2-CB3) มีค่าการดูดกลืนมากที่สุดที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3440 cm^{-1} มีพันธะ O-H stretch และมีค่าความจุไฟฟ้าจำเพาะ 4.77 F/g ซึ่งสูงที่สุดถึง 2.7 เท่าเมื่อเทียบกับถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดที่ยังไม่ได้เติมคาร์บอนแบล็ค ซึ่งสอดคล้องกับการดูดกลืนมากที่สุดจากเทคนิค FT-IR ที่มีพันธะ O-H stretch และ C-N stretch ซึ่งส่งผลต่อการเกิดขั้วและการแตกตัวเป็นไอออนได้ในสารละลาย จึงส่งผลให้มีการนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น

ดังนั้น ถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดสามารถนำมาประดิษฐ์เป็นตัวเก็บประจุยิ่งยวดได้ (Xu et al., 2021) และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ด้วยการเติมคาร์บอนแบล็ค (Li et al., 2024) ที่สามารถควบคุมความหนาและความสม่ำเสมอของฟิล์มได้ (Say et al., 2020) จึงเหมาะสมในการใช้ประดิษฐ์เป็นตัวเก็บประจุยิ่งยวดเพื่อใช้เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานได้ (Dubey et al., 2020)

สรุปผล

ถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดสามารถใช้ทำขั้วไฟฟ้าได้เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสูง ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดของถ่านคาร์บอนจากซังข้าวโพดด้วยการเติมคาร์บอนแบล็คได้ พบว่าที่สัดส่วน 2:3 (CC2-CB3) มีค่าความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวดสูงสุด ซึ่งสูงกว่าถ่านคาร์บอนที่ยังไม่ได้ผสมกับคาร์บอนแบล็ค

จึงเหมาะกับการนำมาประดิษฐ์เป็นขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวดเพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานเพื่อใช้ร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แบตเตอรี่ โซลาร์เซลล์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสาขาวิชาฟิสิกส์ สาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา งานศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ซึ่งได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัย พัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

เอกสารอ้างอิง

- Dubey, P., Shrivastav, V., Maheshwari, P.H., Sundriyal, S. (2020). Recent advances in biomass derived activated carbon electrodes for hybrid electrochemical capacitor applications: Challenges and opportunities, *Carbon*, 170, 1-29.
- Li, Y., Zhao, Z., Zhang, J., Chen, Z., Liu, X., Wang, K., Sobolev, A.V., Savilov, S.V., Chen, M. (2024). High pseudocapacitance electrode enabled by heterovalent doping and surface coating for rapid charge storage, *Surface and Coatings Technology*, 476, 130169.
- Liu, D., Wang, Y., Jia, B., Wei, J., Liu, C., Zhu, J., Tang, S., Wu, Z., Chen, G. (2020). Microwave-assisted hydrothermal preparation of corn straw hydrochar as supercapacitor electrode materials, *ACS Omega*, 5, 26084–26093.
- Sahin, M.E., Blaabjerg, F., Sangwongwanich, A. (2020). A review on supercapacitor materials and developments, *Turkish Journal of Materials*, 5(2), 10-24.
- Say, M.G., Brooke, R., Edberg, J., Grimaldi, A., Belaine, D., Engquist, I., Berggren, M. (2020). Spray-coated paper supercapacitors, *npj Flexible Electronics*, 4(14), 1-7.
- Wang, Q., Zhou, M., Zhang, Y., Liu, M., Xiong, W., Liu, S. (2018). Large surface area porous carbon materials synthesized by direct carbonization of banana peel and citrate salts for use as high-performance supercapacitors, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29, 4294–4300.
- 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.
- Xu, M., Huang, Q., Lu, J., Niu, J. (2021). Green synthesis of high-performance supercapacitor electrode materials from agricultural corn cob waste by mild potassium hydroxide soaking and a one-step carbonization, *Industrial Crops and Products*, 161, 113215.