JPAGS
Journal of Physics & General Science

เงื่อนไขที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ถ่านคาร์บอนจากไม้ไผ่เพื่อประยุกต์ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

Optimization of Synthesis of Charcoal Carbon Derived from Bamboo to be Applied as an electrode of Super Capacitor Electrodes

สุไรดา สาดะ ฮาซานี สามะ และปาวีณา ดุลยเสรี*

Suraida Sada, Hasanee Sama and Paweena Dulyaseree*

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา จังหวัดยะลา

Physics Program, Faculty of Science Technology and Agriculture, Yala Rajabhat University, Yala

*Corresponding author e-mail: paweena.d@yru.ac.th

(Received: October 31, 2019, Revised: December 13, 2019, Accepted: December 30, 2019)

บทคัดย่อ

การสังเคราะห์ถ่านคาร์บอนเพื่อประยุกต์ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวด ในงานวิจัยนี้ทำการหาเงื่อนไขการกระตุ้นทางเคมีเพื่อสังเคราะห์ถ่านคาร์บอน โดยมีวัสดุตั้งต้น คือ ไม้ไผ่ เป็นวัสดุที่หาได้ทั่วไปในทุกพื้นที่ทางการเกษตร การสังเคราะห์ถ่านคาร์บอนจากไม้ไผ่ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ กระบวนการทำให้เป็นถ่าน กระบวนการกระตุ้นด้วยกรดไนตริก และกระบวนการกระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในขั้นตอนแรกมีการเตรียมไม้ไผ่ โดยทำการเผาที่ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที จากนั้นนำไปกระตุ้นด้วยกรดไนตริก ที่ความเข้มข้น 0.1, 1 และ 10 โมลาร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้ความร้อน 300 องศาเซลเซียส และขั้นตอนสุดท้ายนำไปกระตุ้นด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อผ่านกระบวนการกระตุ้นเรียบร้อย นำถ่านคาร์บอนที่ได้ไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR) และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีไฟฟ้า จากผลการทดลองการเปรียบเทียบสเปกตรัมของถ่านคาร์บอนที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดไนตริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ มีค่าความจุจำเพาะสูงที่สุด คือ 2.97 ฟารัดต่อกรัม อาจเกิดจากการมีหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิลมากกว่าความเข้มข้นอื่น ทำให้โครงสร้างของคาร์บอนไม่สมบูรณ์และพื้นที่ผิวมีความชอบน้ำ ส่งผลให้สารละลาย อิเล็กโตรไลค์สามารถแทรกซึมไปยังขั้วไฟฟ้าได้ง่ายจึงทำให้ขั้วไฟฟ้ามีความสามารถในการเก็บประจุได้ดีกว่า

คำสำคัญ: ถ่านคาร์บอน ไม้ไผ่ ค่าความจุจำเพาะ

ABSTRACT

Optimization of synthesis of charcoal carbon (CC) derived from bamboo for supercapacitor electrodes was investigated. The synthesis of charcoal carbon from bamboo consists of 3 steps: firstly, bamboo powder was synthesized at 500 ºC for 90 minutes. Second step, bamboo powder was activated by nitric acid (HNO_3) at various concentrated in 0.1, 1 and 10 molars, respectively for 3 hours at 300 ºC and third step, bamboo powder was activated by 1 molar in sodium hydroxide (NaOH). After that it was washed and dried at 100 ºC for overnight. Bamboo powder was characterized by Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR) and electrochemical properties. One molar potassium hydroxide (KOH) was used as electrolyte. At 1 molar of HNO_3, a high specific capacitance of 2.97 F/g was obtained. The capacitance improvement was attributed to the increase in carboxyl group.

Keywords: carbon charcoal, Bamboo, specific capacity

บทนำ

ในปัจจุบันการผลิตถ่านคาร์บอนจากวัสดุทางการเกษตร สำหรับอุปกรณ์กักเก็บพลังงานมีขั้นตอนในการผลิตหรือกระตุ้นหลายรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป โดยทั่วไปแล้วผลิตเพื่อใช้แทนพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากในปัจจุบันมีแหล่งพลังงานจำนวนมากเกิดขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการ การใช้พลังงานของผู้คนไม่ว่าจะทั้งในด้านอุตสาหกรรมหรือในชีวิตประจำวัน โดยจะนำพลังงานบางส่วนที่ได้เก็บไว้ในอุปกรณ์กักเก็บพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ ตัวเก็บประจุไฟฟ้า ตัวเก็บประจุไฟฟ้ายิ่งยวด เป็นต้น [1] ณ ตอนนี้แบตเตอรี่ประสบปัญหาที่สำคัญคือ มีความหนาแน่นกำลังต่ำ มีอายุการใช้งานสั้น ส่วนตัวเก็บประจุจะมีความหนาแน่นพลังงานต่ำ จึงทำให้มีการพัฒนาอุปกรณ์กักเก็บพลังงานประเภทตัวเก็บประจุยิ่งยวด ข้อดีของตัวเก็บประจุยิ่งยวดก็คือ มีความหนาแน่นพลังงานและกำลังที่สูง โดยมีค่าความหนาแน่นพลังงานที่สูงกว่าตัวเก็บประจุ และมีค่าความหนาแน่นของกำลังที่สูงกว่าแบตเตอรี่ นอกจากนี้สามารถชาร์จไฟได้อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามยังมีความต้องการตัวเก็บประจุให้มีค่าความหนาแน่นของพลังงานได้เท่าเทียมแบตเตอรี่และประดิษฐ์ในราคาต่ำและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

การพัฒนาประสิทธิภาพของตัวเก็บประจุยิ่งยวดนั้นสามารถทำได้โดยเลือกใช้วัสดุที่มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่สูง ซึ่งส่วนใหญ่เลือกใช้เป็นถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มีรูพรุนขนาดต่าง ๆ มีพื้นที่ผิวสูง ส่งผลให้ถ่านกัมมันต์มีสมบัติการดูดซับที่ดีและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน วัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตถ่านกัมมันต์ เช่น ไม้ไผ่ แกลบ กะลามะพร้าว และเปลือกกล้วย เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยเฉพาะทางเล่มนี้สนใจไม้ไผ่เป็นสารตั้งต้นในการผลิตถ่านคาร์บอน เนื่องจากไม้ไผ่ในประเทศไทยมีการเพาะปลูกทางเกษตรกรรมเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีความสนใจที่จะนำวัสดุทางการเกษตรมาผลิตเป็นถ่านคาร์บอน ซึ่งไม้ไผ่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายตั้งแต่การบริโภคหน่ออ่อน ซึ่งไม้ไผ่ในประเทศไทยมี 17 สกุล 72 ชนิด [2] และเกือบทั้งหมดเป็นไผ่ที่เจริญเติบโตเป็นกอไผ่ สามารถเจริญเติบโตขึ้นได้เกือบทุกพื้นที่ รวมถึงพื้นที่ป่าเสื่อมโทรม ประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนมีปริมาณของไม้ไผ่อยู่ประมาณ 2,850,000 ไร่ คิดเป็นปริมาตรไม้ประมาณ 17.6 ล้านลูกบาศก์เมตร

ดังนั้นในงานวิจัยเฉพาะทางนี้สนใจที่จะนำไม้ไผ่เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ถ่านคาร์บอน เนื่องจากไม้ไผ่เป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่ายในภูมิภาคทางภาคใต้ จึงสนใจที่นำไม้ไผ่มาประยุกต์เพื่อใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการสังเคราะห์ถ่านคาร์บอนเพื่อให้ได้ถ่านคาร์บอนที่มีรูพรุนสูงและต้นทุนต่ำ เหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นตัวเก็บประจุ โดยการเตรียมไม้ไผ่ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที และกระตุ้นด้วยสารเคมี 2 ชนิด คือ กรดไนตริก ที่ความเข้มข้น 0.1, 1 และ 10 โมลาร์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์

วัตถุประสงค์

หาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการผลิตถ่านคาร์บอนจากไม้ไผ่ โดยมีการกระตุ้นทางเคมี โดยใช้กรดไนตริก ที่ความเข้มข้น 0.1, 1 และ 10 โมลาร์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

วิธีการวิจัย

ศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการผลิตถ่านคาร์บอนจากไม้ไผ่ เพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวด มีขั้นตอนการวิจัย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมวัสดุตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ถ่านคาร์บอน การกระตุ้นทางเคมี การวิเคราะห์สมบัติของถ่านคาร์บอน และการวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมีของถ่านคาร์บอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การเตรียมวัสดุตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ถ่านคาร์บอน

ขั้นตอนการเตรียมวัสดุตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์ถ่านคาร์บอน โดยการนำไม้ไผ่มาตัดได้ขนาดประมาณ 4 – 7

เซนติเมตร ล้างและทำให้แห้ง ระยะเวลา 4 – 7 วัน หลังจากนั้น นำไปเข้าสู่กระบวนการคาร์บอไนเซชันที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที นำถ่านคาร์บอนที่ผ่านการคาร์บอไนเซชันมาบดให้ละเอียด เพื่อเข้าสู่กระบวนการถัดไป

ตอนที่ 2 การกระตุ้นทางเคมี

นำถ่านคาร์บอนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส น้ำหนัก 15 กรัม ไปกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดไนตริก ที่ความเข้มข้น 0.1, 1 และ 10 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และปรับรอบ 1000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนำมาล้างด้วยน้ำปลอดประจุ และกรองจนกว่าสารละลายมีค่า pH เป็นกลาง นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยแสดงสัญลักษณ์เป็น BA-0.1, BA-1 และ BA-10 ตามลำดับ เมื่อผ่านกระบวนการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดเรียบร้อยแล้ว นำไปกระตุ้นทางเคมีด้วยเบส โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปรับรอบ 1000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้น นำมาล้างด้วยน้ำปลอดประจุและกรองจนกว่าสารละลายมีค่า pH เป็นกลาง จึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แสดงสัญลักษณ์เป็น BA-0.1, BA-1 และ BA-10 ตามลำดับ จึงได้วัสดุสำหรับทำเป็นขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุยิ่งยวด

ตอนที่ 3 การวิเคราะห์สมบัติของถ่านคาร์บอน

การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพื้นที่ผิวถ่านคาร์บอนด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR) รุ่น Lasco FT/IR-6800 เพื่อศึกษาหมู่ฟังชันของสารอินทรีย์บนพื้นผิวถ่านคาร์บอน โดยนำผงถ่านคาร์บอนเทลงบนฐานที่เตรียมไว้ของเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR) นำไปวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวของถ่านกัมมันต์

ตอนที่ 4 การวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าเคมีของถ่านคาร์บอน

นำถ่านคาร์บอนที่ผ่านกระบวนการกระตุ้น น้ำหนัก 0.5 กรัม ละลายด้วยเอทานอลและหยดลงบนขั้วไฟฟ้า รอจนกว่าสารละลายจะแห้ง หลังจากนั้น นำขั้วไฟฟ้าที่เตรียมไว้ไปจุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ เพื่อวัดสมบัติทางเคมีไฟฟ้าและคำนวณหาค่าความจุจำเพาะ (ฟารัดต่อกรัม) จากสมการ

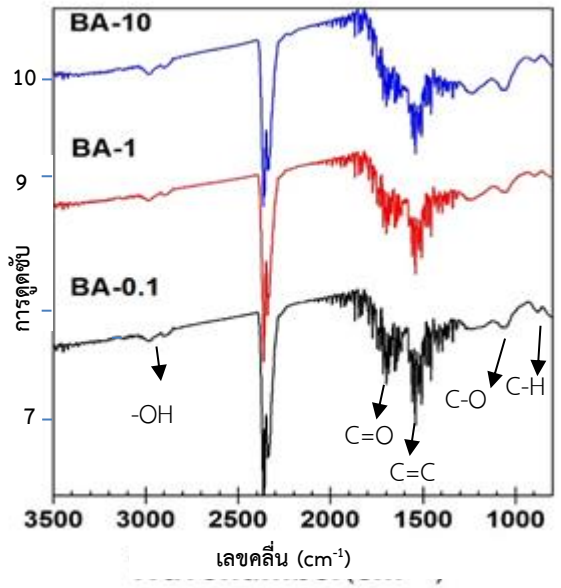
$$C = \frac{\int Idv}{V \times m \times \Delta V} \quad (1)$$

เมื่อ $\int Idv$ คือ พื้นที่ผิวใต้กราฟ, V คือ ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์), m คือ น้ำหนักของถ่านคาร์บอน (กรัม) และ ΔV คือ อัตราการสแกนศักย์ไฟฟ้า (โวลต์ต่อวินาที)

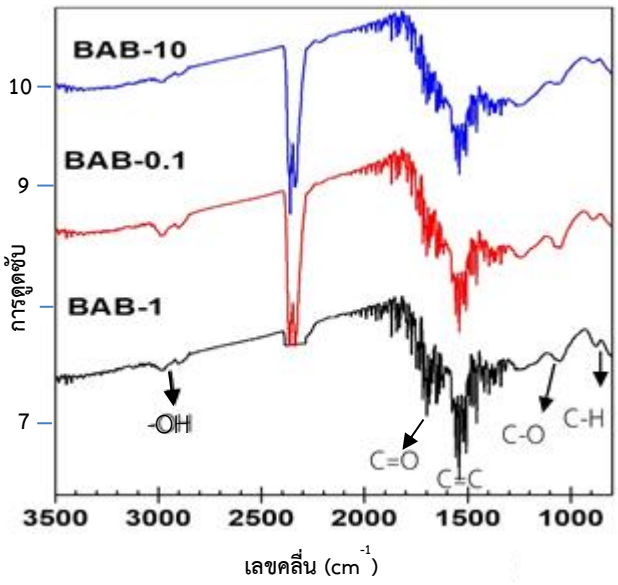
ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพื้นที่ผิวคาร์บอนที่ผ่านการกระตุ้นด้วยกรดไนตริก (ภาพที่ 1) มีตำแหน่งในอินฟราเรดสเปกตรัมเกิดขึ้น 5 ตำแหน่ง ดังนี้ ตำแหน่งการสั่นที่ต่ำกว่า 950 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของอัลเคน (C-H), ตำแหน่งการสั่นในช่วง 1000-1260 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิลิก (C-O), ตำแหน่งการสั่น 1599 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของอะโรมาติก (C=C), ตำแหน่งการสั่น 1710 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิล (C=O) และตำแหน่งการสั่นในช่วง 2800-3000 cm^{-1} แสดงหมู่ฟังก์ชันของไฮดรอกซิล (-OH) จากตำแหน่งที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า เมื่อผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยกรด ส่งผลให้โครงสร้างของคาร์บอนไม่สมบูรณ์ [3-5] ในภาพที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบถ่านคาร์บอนไม้ไผ่ที่ผ่านการกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ พบว่าที่ความเข้มข้นของกการกระตุ้นด้วยกรดไนตริก 1 โมลาร์ และที่ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ (BAB-1) มีหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิลิก

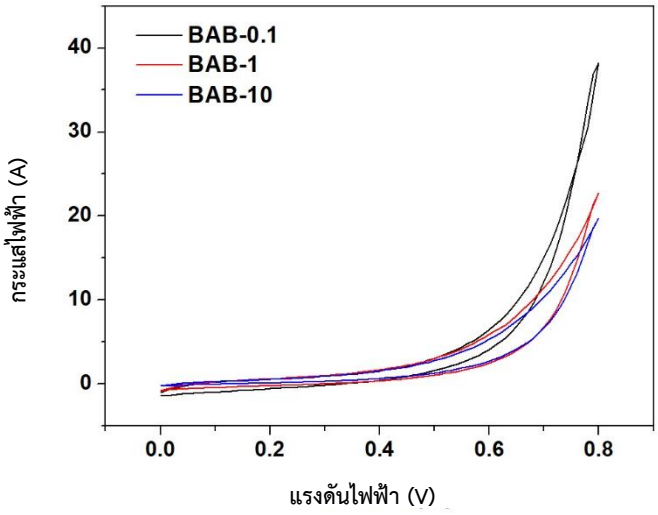
(C-O) และหมู่ฟังก์ชันของไฮดรอกซิล (-OH) มากกว่าความเข้มข้นอื่น แสดงให้เห็นว่านอกจากจะมีโครงสร้างของคาร์บอนไม่สมบูรณ์แล้วพื้นผิวของถ่านคาร์บอนไม้ไผ่ยังมีคุณสมบัติชอบน้ำ ส่งผลให้อิออนของอิเล็กโทรไลต์สามารถแทรกซึมไปยังขั้วไฟฟ้าของตัวเก็บประจุได้ง่าย มีโอกาสในการเก็บประจุได้สูงกว่าความเข้มข้นอื่น ซึ่งจะทำการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าเคมีในลำดับถัดไป



ภาพที่ 1 เปรียบเทียบหมู่ฟังก์ชันของถ่านคาร์บอนไม้ไผ่ซึ่งกระตุ้นด้วยกรดไนตริกความเข้มข้น 0.1, 1 และ 10 โมลาร์



ภาพที่ 2 เปรียบเทียบหมู่ฟังก์ชันของถ่านคาร์บอนไม้ไผ่ซึ่งกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์



ภาพที่ 3 เปรียบเทียบค่าความจุจำเพาะของถ่านคาร์บอนจากไม้ไผ่ที่ผ่านกระตุ้นด้วยกรดไนตริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เงื่อนไขต่างกัน

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าเคมีของถ่านคาร์บอนไม้ไผ่ที่ผ่านกระบวนการกระตุ้นด้วยกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 0.1, 1 และ 10 โมลาร์ และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ดังภาพที่ 3 พบว่าที่ความเข้มข้นของกรดไนตริก 1 โมลาร์และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ (BAB-1) นั้น มีพื้นที่ใต้กราฟมากที่สุด ส่งผลให้เมื่อคำนวณหาค่าความจุจำเพาะจากสมการที่ 1 มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 2.97 ฟารัดต่อกรัม รองลงมาคือความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ เท่ากับ 2.22 ฟารัดต่อกรัม และสุดท้ายที่ความเข้มข้น 10 โมลาร์ เท่ากับ 2.17 ฟารัดต่อกรัม การเพิ่มขึ้นของค่าความจุจำเพาะเกิดจากการมีหมู่ฟังก์ชันที่แสดงสมบัติของการชอบน้ำ ซึ่งสมบัตินี้ทำให้อิออนของอิเล็กโทรไลต์เคลื่อนที่ได้ง่ายและเก็บสะสมประจุบริเวณขั้วไฟฟ้าได้ดีกว่าเงื่อนไขอื่น ๆ นอกจากนั้น ยังสอดคล้องกับผลการทดลองใน [6] ด้วย

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ถ่านคาร์บอนจากไม้ไผ่ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมถ่านคาร์บอนจากจากไม้ไผ่ โดยวิธีการกระตุ้นด้วยกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ และกระตุ้นด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ มีเงื่อนไขดีที่สุดในการสังเคราะห์ถ่านคาร์บอน และมีค่าความจุจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 2.97 ฟารัดต่อกรัม เนื่องจากเงื่อนไขนี้แสดงหมู่ฟังก์ชันของคาร์บอกซิลิก (C-O) และหมู่ฟังก์ชันของไฮดรอกซิล (-OH) มากกว่าความเข้มข้นอื่น หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ทำให้พื้นผิวของวัสดุมีความชอบน้ำ ส่งผลให้อิออนของอิเล็กโทรไลต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าได้ง่ายและสามารถเก็บประจุได้ดี

การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

จากงานวิจัยนี้ทำให้ทราบค่าความจุจำเพาะของตัวเก็บประจุยิ่งยวดจากถ่านไม้ไผ่เบื้องต้น ซึ่งสามารถพัฒนาต่อยอดให้ถ่านคาร์บอนจากไม้ไผ่มีความสามารถในการกักเก็บพลังงานได้มากกว่านี้ โดยการปรับปรุงพื้นที่ผิวของวัสดุให้มีพื้นที่ผิวที่สูงขึ้นเพื่อผลิตเป็นวัสดุในการกักเก็บพลังงาน

กิตติกรรมประกาศ

วิจัยนี้ลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งจากสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร และขอขอบคุณศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการวิเคราะห์ผลวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] J. R. Miller and P. Simon, “Electrochemical Capacitors for Energy Management,” *Science*, vol. 321, pp. 651, 2008.

[2] ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก และสากล ลำดวนหอม, “การศึกษาการเจริญเติบโตของไผ่,” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 5, ฉ. 3, น. 256-254, 2559.

[3] อานีสะ หะยีดือราแม และวันอานีตา หะซา, “การศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับถ่านกัมมันต์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร,” ใน *รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ครั้งที่ 4*, นครศรีธรรมราช, 2561, น. 342-347.

[4] M. S. Islam, B. C. Ang, S. Gharehkhani and A. B. M. Afifi, “Adsorption capability of activated carbon synthesized from coconut shell,” *Carbon Letters*, vol. 20, pp. 1-9, 2016.

[5] S. Shi, J. Jang, S. H. Yoon and I. Mochida, "A study on the effect of heat treatment on functional groups of pitch based activated carbon fiber using FTIR," *Carbon*, vol. 35, no. 12, pp. 1739-1743, 1997.

[6] H. Zanina, E. Saito, H. J. Ceragioli, V. Baranauskas and E. J. Corat, "Reduced graphene oxide and vertically aligned carbon nanotubes superhydrophilic films for supercapacitors devices," *Materials Research Bulletin*, vol. 49, pp. 487-493, 2014.