

**การเตรียมเส้นใยคาร์บอนจากเส้นใยผักตบชวาและการประยุกต์ใช้
ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะผง**
**PREPARATION OF WATER HYACINTH-BASED CARBON FIBERS AND
APPLICATION IN POWDER METAL FORMING**

วิวัฒน์ สิงห์สังข์^{1,*}, วิษณุ เจริญถนอม², ณัฐกฤตา ประเสริฐโสภะ², นวลละออง สระแก้ว²,
อนิวัตร หาสู² และ พีรวัส คงสง²
Witawat Singsang^{1,*}, Wissanu Charerntanom², Natkrita Prasoesopha²,
Nuan La-ong Srakaew², Aniwat Hasook² and Peerawas Kongsong²

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตชิ้นส่วนอากาศยาน คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

² สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ศูนย์กลางนครราชสีมา

¹Department of Aircraft Part Manufacturing Technology, Faculty of Industrial Technology,
Rambhai Barni Rajabhat University

²Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

Received: 23 December 2019

Revised: 2 December 2020

Accepted: 4 December 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมเส้นใยคาร์บอนจากเส้นใยผักตบชวา และนำไปประยุกต์ใช้
แทนผงแกรไฟต์ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะผง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการลด
ต้นทุนในกระบวนการขึ้นรูปโลหะผง เส้นใยผักตบชวาจะถูกนำมาเตรียมเป็นเส้นใยคาร์บอน
ผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ภายใต้สภาวะของก๊าซไนโตรเจนบริสุทธิ์ ผลของอุณหภูมิ
คาร์บอนไนเซชันที่แตกต่างกันที่มีต่อโครงสร้างของเส้นใยคาร์บอนจะได้รับการตรวจสอบ
นอกจากนี้ สัณฐานวิทยาของเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมได้จะได้รับการพิจารณาด้วยกล้อง
จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน อัตราส่วน

* ผู้ประสานงาน: วิวัฒน์ สิงห์สังข์

อีเมล: wittawat.s@rbru.ac.th

โครงสร้างแกรไฟต์ต่อโครงสร้างอสังฐานของคาร์บอนถูกวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโกปี สำหรับการประยุกต์ใช้งานเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมได้จะถูกนำไปผสมในผงเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316L และขึ้นรูปที่อุณหภูมิเผาผนึก 1300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 45 นาที ตัวอย่างทดสอบจะถูกทดสอบความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน JIS Z2241 เปรียบเทียบกับตัวอย่างทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผสมผงแกรไฟต์ ผลการวิเคราะห์พบว่า เส้นใยคาร์บอนที่เตรียมที่อุณหภูมิคาร์บอนไนเซชันสูงจะมีแนวโน้มให้เส้นใยคาร์บอนนั้นมีโครงสร้างแบบแกรไฟต์สูงกว่าเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ความต้านทานแรงดึงสูงสุดของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผสมเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมที่อุณหภูมิคาร์บอนไนเซชันสูงมีค่าสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผสมเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมที่อุณหภูมิคาร์บอนไนเซชันต่ำ และเหล็กกล้าไร้สนิมที่ผสมผงแกรไฟต์

คำสำคัญ: ผักตบชวา, เส้นใยคาร์บอน, เหล็กกล้าไร้สนิม

Abstract

This study aimed to examine the carbon fiber preparation from water hyacinth fibers which could be applied as graphite powder replacement in powder metallurgy process. The objective was to be the guideline for reducing costs in powder metallurgy process. The hyacinth fibers were fabricated into carbon fibers through the carbonization process. Under the condition of pure nitrogen gas, the effects of different carbonization temperatures on the carbon fiber structure were investigated. In addition, the morphology of the prepared carbon fibers was determined by scanning electron microscope and transmission electron microscope. Structural ratio of graphite to carbon amorphous structure was analyzed by Raman spectroscopy technique. According to the applications, the prepared carbon fibers were mixed in a 316L stainless steel powder and formed at a sintering at temperature of 1300 ° C for 45 minutes. The sample would be tested for tensile strength according to JIS Z2241 standard compared with a stainless-steel sample mixed with graphite powder. It was found that

the carbon fibers prepared at high carbonization temperatures tended to obtain a higher graphite structure than carbon fibers prepared at low temperatures. In addition, the tensile strength of carbon fiber-alloyed stainless steels prepared at high carbonization temperatures was higher than that of carbon-fiber-alloyed stainless steels prepared at low carbonization temperatures and stainless steel mixed with graphite powder.

Keywords: Water hyacinth, Carbon fibers, Stainless steel

บทนำ

ผักตบชวาเป็นพืชน้ำที่เจริญเติบโตและแพร่ขยายไปได้อย่างรวดเร็ว ปริมาณผักตบชวาที่มีมากในแม่น้ำเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ (นพพล เกตุประสาท, 2561) ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องกำจัดผักตบชวาท่ออกจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ในปัจจุบันมีความพยายามนำผักตบชวามาใช้ประโยชน์ เช่น การทำอาหารเลี้ยงสัตว์ (Hossain et al., 2015) การทำปุ๋ยชีวภาพ (Vidya & Girish, 2014) การทำเป็นวัสดุกำจัดสารพิษและโลหะหนัก (Anudechakul et al., 2015 และ Elias et al., 2014) และการใช้เส้นใยผักตบชวาเป็นวัสดุเสริมแรง (พัชรี คำธิตา, 2556) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม แนวทางดังกล่าวยังมีข้อจำกัดในหลายๆประการ ทั้งในเรื่องมูลค่าของผลิตภัณฑ์ที่ได้ และในแง่ของการผลิตแปรรูป การพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผักตบชวาที่แตกต่างจากแนวทางที่ใช้อยู่แล้วจึงมีความสำคัญ

ผักตบชวามีองค์ประกอบหลักเป็นเส้นใยเซลลูโลส (นัยนันท์ อริยกานนท์, 2561) ซึ่งจากการศึกษาพบว่า เส้นใยเซลลูโลสนั้นสามารถเปลี่ยนให้เป็นเส้นใยคาร์บอนได้ผ่านกระบวนการให้ความร้อน ด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสม ในสภาวะที่ปราศจากก๊าซออกซิเจน หรือที่เรียกว่ากระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Marsh & Rodríguez-Reinoso, 2006) เส้นใยคาร์บอนจัดเป็นวัสดุชนิดใหม่ที่มีสมบัติดีเยี่ยมในแง่ของความแข็งแรงเมื่อเทียบกับขนาด และน้ำหนักเบา ทำให้ในปัจจุบันเส้นใยคาร์บอนถูกใช้ในวัสดุผสมต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะกับอุตสาหกรรมยานยนต์และอากาศยานโดยทั่วไป เส้นใยคาร์บอนจะถูกผลิตมาจากเส้นใยพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการแปรสภาพให้เป็นเส้นใยคาร์บอน ภายใต้อุณหภูมิที่สูงและสภาวะที่เหมาะสม ด้วยวัตถุดิบตั้งต้นที่มาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและความซับซ้อนของ

กระบวนการผลิต ทำให้เส้นใยคาร์บอนมีราคาสูง ดังนั้น จึงมีนักวิจัยพยายามนำเส้นใยเซลลูโลสจากพืชต่าง ๆ มาเตรียมเป็นเส้นใยคาร์บอน (Soheil et al., 2009, Eduardo et al., 2008 และ Macías-García et al., 2012) อย่างไรก็ตาม การนำเส้นใยผักตบชวามาเตรียมเป็นเส้นใยคาร์บอนและนำไปประยุกต์ใช้ยังมีการศึกษาอยู่น้อยมาก

เป็นที่ทราบกันดีว่า วัสดุจำพวกโลหะนั้นถูกนำมาใช้ผลิตเป็นชิ้นส่วนอุตสาหกรรมมากมาย เนื่องจากคุณสมบัติเชิงกลที่ดีเยี่ยม โดยโลหะสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นชิ้นงานได้ด้วยกระบวนการหลากหลาย เช่น การหล่อขึ้นรูป การขึ้นรูปร้อน การขึ้นรูปเย็น และกระบวนการขึ้นรูปโลหะผง เป็นต้น สำหรับกระบวนการขึ้นรูปโลหะผงนั้นเป็นกระบวนการที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถขึ้นรูปชิ้นงานโลหะที่มีความซับซ้อนได้ ได้ชิ้นงานโลหะที่มีน้ำหนักเบา และเป็นการขึ้นรูปที่ไม่เกิดการสูญเสียเนื้อวัสดุ เป็นต้น อย่างไรก็ตามกระบวนการขึ้นรูปโลหะผงมีข้อจำกัดในเรื่องของคุณสมบัติของชิ้นงานที่ได้และต้นทุนในการผลิตที่สูง ดังนั้น การผสมวัสดุอื่นเพื่อปรับปรุงสมบัติของโลหะผง หรือลดเนื้อของโลหะลง จะสามารถลดข้อจำกัดดังกล่าวได้ จากการศึกษาพบว่าผงแกรไฟต์เป็นวัสดุที่นิยมเติมลงในโลหะเพื่อเพิ่มความแข็งแรง นอกจากนี้อนุพันธ์ของคาร์บอน เช่น ท่อคาร์บอนระดับนาโนก็ถูกนำมาศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติของโลหะผงด้วยเช่นกัน (Biao et al., 2015, Rashad et al., 2015 และ Li et al., 2013) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงศึกษาการเตรียมเส้นใยคาร์บอนจากเส้นใยผักตบชวาและนำไปประยุกต์ใช้แทนผงแกรไฟต์ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะผง เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนในกระบวนการขึ้นรูปโลหะผง หรือเป็นสารเสริมแรงสำหรับการทำวัสดุผสมที่มีโลหะเป็นวัสดุหลักได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมเส้นใยคาร์บอนจากเส้นใยผักตบชวา

เส้นใยผักตบชวาจะถูกเตรียมโดยการนำผักตบชวาที่ผ่านการล้างน้ำแล้วนำไปอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่ จากนั้นจะเตรียมเป็นเส้นใยคาร์บอนผ่านปฏิกิริยาคาร์บอนเซชันด้วยเตาเผาชนิดควบคุมบรรยากาศได้ที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะของก๊าซไนโตรเจน ซึ่งเป็นวิธีการเตรียมเส้นใยคาร์บอนที่ดัดแปลงจากงานวิจัยหลายงานที่ได้ศึกษามา (Soheil et al., 2009, Eduardo et al., 2008 และ Macías-García et al., 2012)

2. การวิเคราะห์สมบัติเชิงโครงสร้างและกายภาพของเส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ผักตบชวาจะถูกนำไปวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA/DSC1, METTLER TOLEDO) เพื่อพิจารณาถึงช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเตรียมเป็นเส้นใยคาร์บอน โดยการทดสอบในช่วงอุณหภูมิ 50-800 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้สภาวะก๊าซไนโตรเจน

เส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะถูกบดเป็นผงและติดตั้งบนแผ่นเทปคาร์บอน หลังจากนั้น จะนำตัวอย่างดังกล่าวไปเคลือบผิวด้วยทองคำ ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของบริษัท HITACHI ที่กำลังขยายต่าง ๆ เพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของเส้นใยผักตบชวาที่เตรียมได้

เส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะถูกนำมาบดเป็นผงละเอียดและวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (MiniFlex, Rigaku) โดยใช้รังสี $\text{Cu K}\alpha$ ($\alpha = 0.154 \text{ nm}$) โดยการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ผลของการวิเคราะห์จะบ่งบอกถึงรูปแบบโครงสร้างผลึกของตัวอย่างวิเคราะห์

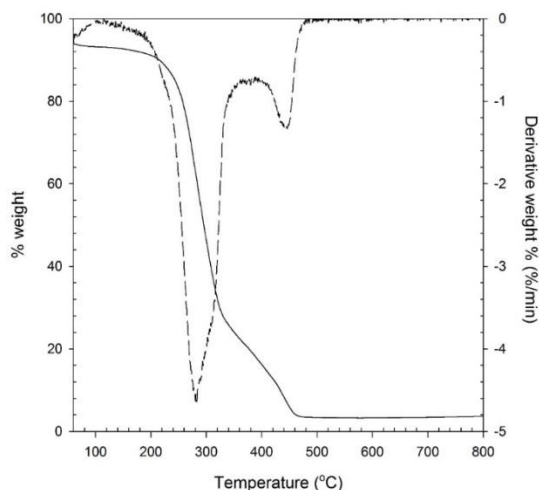
ตัวอย่างเส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะถูกนำมาวิเคราะห์อัตราส่วนของส่วนที่ไม่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นโครงสร้างแกรไฟต์ในวัสดุกลุ่มคาร์บอนด้วยเครื่องรามานสเปกโตรสโกปี (NTEGRA Spectra) ณ ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ

3. การประยุกต์ใช้เส้นใยคาร์บอนในกระบวนการขึ้นรูปโลหะผง

ผงแกรไฟต์และผงเส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะถูกนำมาผสมกับผงเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316L โดยมีซิงก์สเตียเรทเป็นสารหล่อลื่น (1% โดยน้ำหนัก) แล้วนำไปอัดขึ้นรูปในแม่พิมพ์ที่มีความดัน 400 MPa ในการศึกษาในแต่ละชุดตัวอย่างจะเติมผงแกรไฟต์หรือผงเส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการคาร์บอนในเซชันที่อุณหภูมิต่าง ๆ ผสมกับผงเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ในอัตราส่วน 0.3% โดยน้ำหนัก จากนั้นนำไปทำการเผาผนึกภายใต้สภาวะของไฮโดรเจน ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที และนำไปทดสอบทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile test) ตามมาตรฐาน JIS Z 2241:1998

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

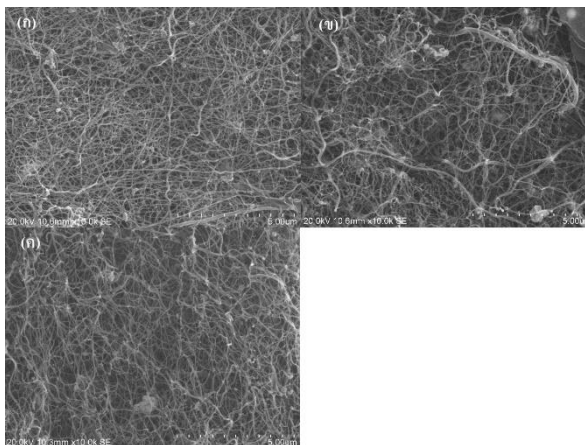
เส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการทำความสะอาดและอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะถูกนำมาเตรียมเป็นตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Thermogravimetric analysis เพื่อการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงในช่วง 50-800 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะก๊าซไนโตรเจน ผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของเส้นใยผักตบชวา ในช่วงอุณหภูมิ 50-800 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะก๊าซไนโตรเจน

จากรูปที่ 1 จะพบว่าน้ำหนักของสารตัวอย่างจะมีการลดลงในช่วงอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นการลดลงเนื่องจากการหายไปของความชื้นในเส้นใยผักตบชวา หลังจากนั้นที่อุณหภูมิประมาณ 200 - 350 องศาเซลเซียส จะเกิดการลดลงของน้ำหนักของตัวอย่างค่อนข้างมาก ซึ่งจากการศึกษาของงานวิจัยของ Ying et al. (2013) พบว่า เป็นอุณหภูมิที่ลิกนินและเฮมิเซลลูโลสในเส้นใยธรรมชาติเกิดการสลายตัว จากนั้น ที่ช่วงอุณหภูมิ 350 - 460 องศาเซลเซียส จะเกิดการลดลงของน้ำหนักสารตัวอย่าง เนื่องจากการสลายตัวของเซลลูโลสจนเหลือประมาณ 5% ของน้ำหนักเริ่มต้น และน้ำหนักจะคงที่ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 500 - 800 องศาเซลเซียส ซึ่งเกิดขึ้นในลักษณะเดียวกับวัสดุชีวมวลอื่น ๆ ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลส เช่น ฟางข้าว (บุศรินทร์ ทวีคุณ, 2562) เป็นต้น ดังนั้น อุณหภูมิในช่วง 500 - 800 องศาเซลเซียสจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เตรียมเส้นใยผักตบชวาผ่านกระบวนการคาร์บอนเซชันต่อไป

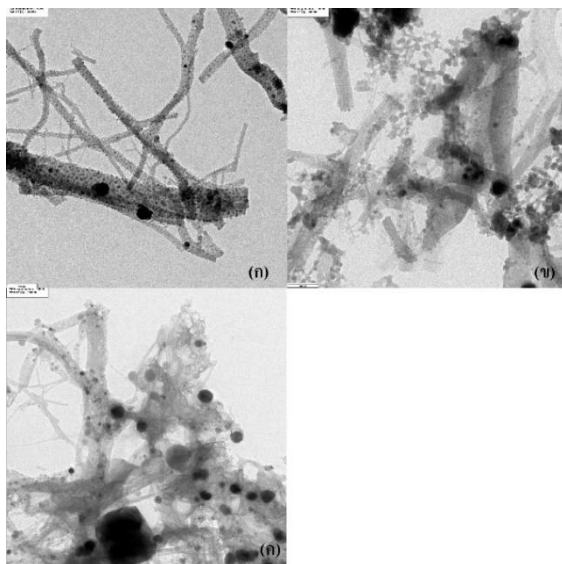
เส้นใยผักตบชวาจะถูกนำมาเผาที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิคาร์บอนไนเซชันที่มีต่อการเตรียมเส้นใยคาร์บอน โดยเส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการทำความสะอาดและอบแห้งแล้วนั้นจะถูกนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิห้อง ด้วยอัตราการให้ความร้อน 5 องศาเซลเซียสต่อนาที จนถึงอุณหภูมิที่กำหนด หลังจากนั้นจะถูกแช่ในอุณหภูมิที่กำหนดต่อเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะของก๊าซไนโตรเจน เมื่อครบตามกำหนดแล้ว ตัวอย่างจะถูกปล่อยตัวให้เย็นในเตาเผาและควบคุมสภาวะด้วยก๊าซไนโตรเจนก่อนเอาออกมาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ซึ่งได้ภาพถ่ายเส้นใยคาร์บอนดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 10000 เท่า ของเส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการเผาในสภาวะก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิ (ก) 600 องศาเซลเซียส (ข) 700 องศาเซลเซียส และ (ค) 800 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

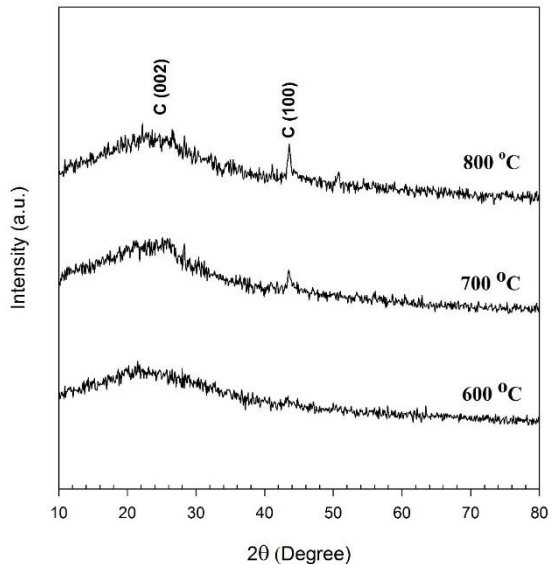
จากภาพถ่าย SEM ในรูปที่ 2 พบว่า เส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการเผาในช่วงอุณหภูมิ 600 - 800 องศาเซลเซียส จะมีลักษณะเป็นเส้นใยขนาดเล็ก และมีความหนาแน่นแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิคาร์บอนไนเซชัน โดยเส้นใยที่ผ่านการเผาในช่วงอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส จะมีขนาดความหนาแน่นน้อยกว่าเส้นใยที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 และ 700 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ด้วยภาพถ่ายจากเทคนิค TEM ในรูปที่ 3 จะพบว่า ในกรณีเส้นใยที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส จะปรากฏอนุภาคทรงกลมของ

คาร์บอนรวมตัวกันบนเส้นใยค่อนข้างมาก โดยอนุภาคทรงกลมนี้จะลดลง เมื่ออุณหภูมิคาร์บอนเซชันเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิคาร์บอนเซชันส่งผลต่อการจัดเรียงโครงสร้างของเส้นใยคาร์บอนที่ได้



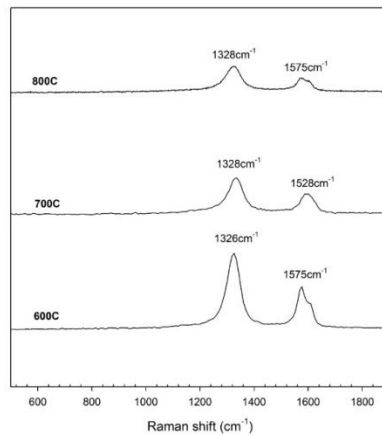
รูปที่ 3 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านที่กำลังขยาย 10000 เท่า ของเส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการเผาในสภาวะก๊าซไนโตรเจนที่อุณหภูมิ (ก) 600 องศาเซลเซียส (ข) 700 องศาเซลเซียส และ (ค) 800 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากรูปที่ 4 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของเส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการเผาในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการเตรียมเส้นใยคาร์บอนเพิ่มขึ้น ส่วนของคาร์บอนที่มีความเป็นผลึกหรือโครงสร้างแบบแกรไฟต์จะมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้พิจารณาได้จากการเกิดพีกที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 26° ซึ่งตรงกับพีกของแกรไฟต์ (002) และตำแหน่ง 43.5° ซึ่งตรงกับแกรไฟต์ (100) ตามที่ระบุด้วย JCPDS 75-1621 (Qin et al., 2012, Park et al., 2005 และ Afanasov et al., 2009)



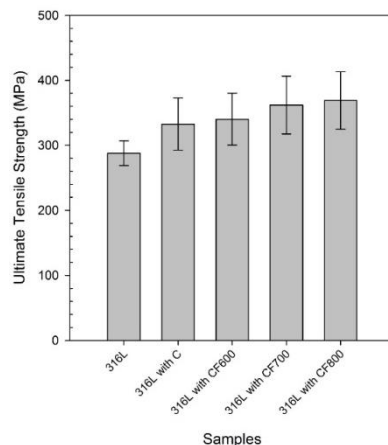
รูปที่ 4 การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของเส้นใยผักตบชวา ที่ผ่านการเผาในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เมื่อนำเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโกปีจะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 5 จากรูปจะพบว่ารามานสเปกตรัมของเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมได้จากอุณหภูมิทั้งสามนั้นจะปรากฏพีกขึ้น 2 พีก ที่บริเวณประมาณ $1320 - 1331 \text{ cm}^{-1}$ และ $1583 - 1590 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีกของโครงสร้างแบบอสัณฐานของคาร์บอน (D-band) และโครงสร้างแบบแกรไฟต์ (G-band) ตามลำดับ (Darmstadt et al., 1997) โดยอัตราส่วนของพื้นที่ส่วนที่เป็น D-band ต่อ G-band (I_D/I_G) ของเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียสเท่ากับ 1.29, 1.21 และ 1.15 ตามลำดับ ทั้งนี้ จะสังเกตได้ว่าที่อุณหภูมิการเตรียมเส้นใยคาร์บอน 800 °C จะมี I_D/I_G น้อยที่สุด ซึ่งบ่งชี้ว่ามีสัดส่วนของส่วนที่เป็นโครงสร้างแบบแกรไฟต์มากกว่าเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมได้จากอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลที่ได้จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD



รูปที่ 5 รามานสเปกตรัมของเส้นใยผักตบชวาที่ผ่านการเผาในสภาวะก๊าซไนโตรเจน ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เส้นใยคาร์บอนที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ถูกนำไปผสมกับผงเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316L และสารหล่อลื่นเพื่อเตรียมเป็นชิ้นงานทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐาน JIS Z 2241:1998 โดยชิ้นงานทดสอบจะมีการผสมเส้นใยคาร์บอนในอัตราส่วน 0.3% โดยน้ำหนัก และถูกอัดขึ้นรูปที่ความดัน 400 MPa ก่อนเผาผนึกที่ 1300 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Tensile strength) ของวัสดุผสมที่เตรียมขึ้นที่สูตรผสมต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม 316L เหล็กกล้าไร้สนิม 316L ที่ผสมผงแกรไฟต์ และ เหล็กกล้าไร้สนิม 316L ที่ผสมเส้นใยผักตบชวา ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากรูปที่ 6 จะพบว่าเหล็กกล้าไร้สนิม 316L มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยที่ 287.93 ± 19.06 MPa และเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ที่ผสมผงแกรไฟต์มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยที่ 332.63 ± 40.22 MPa ซึ่งการเติมแกรไฟต์ลงในเหล็กกล้าไร้สนิม 316L จะทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของกิตติคุณ เรืองชัย และคณะ (2559)

ในขณะที่เหล็กกล้าไร้สนิมที่เติมเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800 องศาเซลเซียสจะมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 340.21 ± 39.93 MPa, 362.10 ± 44.37 MPa และ 369.06 ± 44.17 MPa ตามลำดับ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมที่อุณหภูมิสูงจะมีแนวโน้มให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุ่มมากกว่าเส้นใยที่เตรียมที่อุณหภูมิต่ำกว่า ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการที่เส้นใยดังกล่าวมีส่วนความเป็นแกรไฟต์สูงกว่า ดังผลที่กล่าวถึงไปแล้วในการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์และรามานสเปกโตรสโกปี อย่างไรก็ตาม เหล็กกล้าไร้สนิมที่เติมเส้นใยคาร์บอนลงไปมีแนวโน้มจะให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุ่มมากกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมที่เติมแกรไฟต์เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่มีลักษณะเป็นเส้นใย จึงช่วยขัดขวางการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่อได้รับแรงดึง ซึ่งควรได้รับการศึกษาทดลองดังกล่าวต่อไป

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการเตรียมเส้นใยคาร์บอนจากเส้นใยผักตบชวาและการประยุกต์ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปโลหะผง พบว่า เส้นใยคาร์บอนสามารถเตรียมได้จากเส้นใยผักตบชวา โดยกระบวนการคาร์บอนในเซชัน ที่อุณหภูมิ 600-800 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ อุณหภูมิในการคาร์บอนในเซชันมีผลต่อสมบัติทางโครงสร้างของเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมได้ โดยอุณหภูมิคาร์บอนในเซชันที่สูงมีแนวโน้มให้เกิดเส้นใยคาร์บอนที่มีโครงสร้างผลึกแบบแกรไฟต์มากกว่าเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมที่อุณหภูมิต่ำกว่า นอกจากนี้ เมื่อนำเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมได้ไปประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปโลหะผง พบว่า เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316L ที่ผสมเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิคาร์บอนในเซชันสูงมีแนวโน้มให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุ่มมากกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316L ที่ผสมเส้นใยคาร์บอนที่เตรียมได้ที่อุณหภูมิคาร์บอนในเซชันต่ำกว่า และเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316L ที่ผสมแกรไฟต์ อย่างไรก็ตาม การกลไกหรือลักษณะโครงสร้างจุลภาคของเหล็กผสมดังกล่าวควรได้รับการศึกษาต่อไปในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ตามสัญญาเลขที่ NKR2561REV067 และความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการขึ้นรูปและทดสอบ พอลิเมอร์ สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา และได้รับทุนสนับสนุนการ เผยแพร่ผลงานจากคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี จังหวัด จันทบุรี

เอกสารอ้างอิง

- กิตติคุณ เรืองชัย, เรืองเดช ชงศรี, มนภาส มรกฏจิตา, รุ่งทิพย์ กระต่ายทอง, ธฤติ ต้นประยูร, ธิญพร ยอดแก้ว, นาทยา ต่อแสงธรรม, อัสสฎาวุฒิ ปาทาคา และ อัมพร เวียงมูล. (2559). ผลของคาร์บอนต่อโครงสร้างจุลภาคและความต้านทานการสึกหรอของ เหล็กกล้า Fe-Mo-Si-C ที่เตรียมโดยกรรมวิธีโลหะผง. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 22(ฉบับพิเศษ), 493-502.
- นพพล เกตุประสาท.(2561). *ผักตบชวา*.สืบค้นเมื่อวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2561จาก <http://clgc.agri.kps.ku.ac.th/>.
- นัยนันท์ อริยกานนท์. (2561). ผักตบชวากับการบำบัดสารมลพิษในน้ำ. *วารสารสิ่งแวดล้อม*, 22(3), 49-55.
- บุศรินทร์ ทวีคุณ. (2562). *การเตรียมนาโนไฟเบอร์จากฟางข้าวและการเตรียมฟิล์มคอมโพสิต ไวนิลแอลกอฮอล์* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). นครปฐม. มหาวิทยาลัย ศิลปากร.
- พัชรี คำธิตา. (2556). วัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตหอยสลายได้จากพอลิโอลลีฟินและผักตบชวา. ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยรังสิต ประจำปี 2556. วันที่ 4 เมษายน 2556. มหาวิทยาลัยรังสิต, จังหวัดปทุมธานี. หน้า 190-197.
- Afanasov, I. M., Shornikova, O. N., Avdeev, V. V., Lebedev, O. I., Van Tendeloo, G., & Matveev, A. T. (2009). Expanded graphite as a support for Ni/carbon composites. *Carbon*, 47(2), 513-518.

- Anudechakul, C., Vangnai, A. S., & Ariyakanon, N. (2015). Removal of Chlorpyrifos by Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and the Role of a Plant-Associated Bacterium. *International Journal of Phytoremediation*, 17, 678-685.
- Biao, C., Shufeng, L., Hisashi, I., Lei, J., Umeda, J., Takahashi, M., & Katsuyoshi, K. (2015). Carbon nanotube induced microstructural characteristics in powder metallurgy Al matrix composites and their effects on mechanical and conductive properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 651, 608-615.
- Darmstadt, H., Sümmchen, L., Ting, J. M., Roland, U., Kaliaguine, S., & Roy, C. (1997). Effects of surface treatment on the bulk chemistry and structure of vapor grown carbon fibers. *Carbon*, 35(10-11), 1581-1585.
- Eduardo, M. C., Antonio, M., Díaz-Díez, M. A., & Ortiz, A. L. (2008). Textural and morphological study of activated carbon fibers prepared from kenaf. *Microporous and Mesoporous Materials*, 111(1-3), 523-529.
- Elias, S. H., Mohamed, M., Anuar, A. N., Muda, K., Hassan, M. A. H. M., Othman, M. N., & Chelliapan, S. (2014). Water hyacinth bioremediation for ceramic industry wastewater treatment-application of rhizofiltration system. *Sains Malaysiana*, 43(9), 1397-1403.
- Hossain, M. E., Sikder, H., Kabir, M. H., & Sarma, S. M. (2015). Nutritive of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Journal of Animal and Feed Research*, 5(2), 40-44.
- Li, S., Sun, B., Imai, H., Mimoto, T., & Kondoh, K. (2013). Powder metallurgy titanium metal matrix composites reinforced with carbon nanotubes and graphite. *Composites: Part A*, 48, 57-66.
- Macías-García, A., Cuerda-Correa, E. M., Olivares-Marín, M., Díaz-Paralejo, A., & Díaz-Díez, M. (2012). Development and characterization of carbon-

- honeycomb monoliths from kenaf natural fibers: A preliminary study. *Industrial Crops and Products*, 35(1), 105-110.
- Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, F. (2006). CHAPTER 9 - Production and Reference Material. In *Activated Carbon*. London : Elsevier Science Ltd.,
- Park, S. H., Jo, S. M., Kim, D. Y., Lee, W. S., & Kim, B. C. (2005). Effects of iron catalyst on the formation of crystalline domain during carbonization of electrospun acrylic nanofiber. *Synthetic Metals*, 150(3), 265-270.
- Qin, Y., Jia, Y., Yue, J., Niu, D., Zhang, X., Zhou, X., Li, N., & Yuan, W. (2012). Controllable synthesis of carbon nanofiber supported Pd catalyst for formic acid electrooxidation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(9), 7373-7377.
- Rashad, M., Pan, F., Asif, M., & Li, L. (2015). Enhanced ductility of Mg-3Al-1Zn alloy reinforced with short length multi-walled carbon nanotubes using a powder metallurgy method. *Progress in Natural Science: Materials International*, 25, 276-281.
- Soheil, A., Alireza, K., & Sheydaei, M. (2009). Optimization of activated carbon fiber preparation from Kenaf using K_2HPO_4 as chemical activator for adsorption of phenolic compounds. *Bioresource technology*, 100(24), 6586-6591.
- Vidya, S., & Girish, L. (2014). Water hyacinth as a green manure for organic farming. *International journal of Research in Applied Natural and Social Sciences*, 2, 65-72.
- Ying, G., Xianhua, W., Jun, W., Xiangpeng L., Jianjun, Ch., Haiping, Y., & Hanping, Ch. (2013). Effect of residence time on chemical and structural properties of hydrochar obtained by hydrothermal carbonization of water hyacinth. *Energy*, 58, 376-383