



สมบัติเชิงกล เชิงแสง และสมบัติเชิงไฟฟ้าของวัสดุคอมโพสิตคอปเปอร์ออกไซด์-พอลิโพรไพลีน

อนุชิต ฮันเย็ก*

สาขาวิชาศึกษาทั่วไป-วิทยาศาสตร์ (ฟิสิกส์) คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตวังไกลกังวล

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 3261 8500 ต่อ 4820 อีเมล: anuchit.hun@rmutr.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2019.03.008

รับเมื่อ 12 พฤศจิกายน 2561 แก้ไขเมื่อ 8 มกราคม 2562 ตอรับเมื่อ 4 กุมภาพันธ์ 2562 เผยแพร่ออนไลน์ 20 มีนาคม 2562

© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ แผ่นพอลิโพรไพลีนคอมโพสิตถูกสังเคราะห์โดยการเคลือบคอปเปอร์อะซีเตตผสมกับพอลิโพรไพลีน ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบว่าคลัสเตอร์ของคอปเปอร์ออกไซด์กระจายตัวในเฟสพอลิโพรไพลีน และขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความต้านทานต่อแรงดัดลดลงเมื่อทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแบบบอเนกประสงค์ ผลการศึกษาสมบัติทางแสงพบว่าการดูดกลืนแสงเป็นฟังก์ชันกับปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ นอกจากนี้ค่าเพอร์มิตติวิตีก็ยังมีเปลี่ยนแปลงตามปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ที่ความถี่ใดๆ ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากการสะสมประจุบริเวณผิวที่เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: คอปเปอร์ออกไซด์-พอลิโพรไพลีนคอมโพสิต สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงแสง สมบัติเชิงไฟฟ้า



Mechanical, Optical and Electrical Properties of Copper Oxide-Polypropylene Composite

Anuchit Hunyek*

Program of General Education - Science (Physics), Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Wang Klai Kangwon Campus, Prachuap Khiri Khan, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 3261 8500 Ext. 4820, E-mail: anuchit.hun@rmutr.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2019.03.008

Received 12 November 2018; Revised 8 January 2019; Accepted 4 February 2019; Published online: 20 March 2019

© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

In this research work, polypropylene composites were synthesized using copper acetate mixed with polypropylene. SEM results showed the distribution of copper oxide cluster in polypropylene matrix, which increases in size with increasing copper oxide content. The bending strength decreases with increasing copper oxide. The outcome was confirmed by the universal testing machine. The optical absorption can be increased with increasing copper oxide content. In addition, the permittivity of these polypropylene composites are linearly altered with copper oxide content, probably due to surface charge accumulation.

Keywords: Copper Oxide-Polypropylene Composites, Mechanical Properties, Optical Properties, Electrical Properties

1. บทนำ

การผสม (Blend) วัสดุที่มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ตั้งแต่ 2 ประเภทขึ้นไป ผลของการผสมอาจจะเข้ากันแบบ สร้างพันธะหรือแบบไม่สร้างพันธะก็ได้ การผสมระหว่างโลหะ ด้วยกันเรียกว่า อัลลอย (Alloy) แต่ถ้าเป็นการผสมวัสดุใดๆ ลงในพอลิเมอร์จะเรียกว่า พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer Composites) ซึ่งวัสดุใดๆ อาจจะอยู่ในรูปของเส้นใย เม็ดกลม แผ่น ซึ่งเป็นได้ทั้งเซมิคอนดักเตอร์ โลหะ เซรามิก หรือพอลิเมอร์ ด้วยกัน โดยมีเฟสกระจาย (Dispersed Phase) อยู่ในพอลิเมอร์ ที่เป็นเมทริกซ์ (Matrix) และเนื่องจากวัสดุแต่ละชนิดจะมีสมบัติเด่นและสมบัติด้อยแตกต่างกัน เช่น โลหะจะมีความเหนียว ความแข็งแรงสูง แต่เป็นสนิมง่าย น้ำหนักมาก ราคาสูง ขณะที่เซรามิกมีความแข็งแรงสูง ทนการสึกหรอ ผุกร่อน นำความร้อนได้ดี และนำไฟฟ้าได้บ้าง (บางชนิด) แต่เปราะแตกหักง่าย ราคาสูง ส่วนพอลิเมอร์จะมีน้ำหนักเบา ความแข็งแรงต่ำ เปลี่ยนแปลงสถานะจากความร้อนได้ง่าย ความเหนียวต่ำ นำไฟฟ้าไม่ได้ ราคาถูก ดังนั้นการสังเคราะห์วัสดุคอมโพสิตของพอลิเมอร์ผสมกับสารกึ่งตัวนำคอปเปอร์ออกไซด์ ที่เป็นเซรามิก นอกจากจะช่วยเสริมแรงในกับพอลิเมอร์แล้วยังสามารถแสดงสมบัติเด่นของคอปเปอร์ออกไซด์ที่ผสมอยู่ (Combined Property) ออกมาด้วย ทำให้วัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตที่ได้มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ ตลอดจนช่วยปรับปรุงสมบัติคอปเปอร์ออกไซด์เอง ให้สามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้ง่าย มีน้ำหนักน้อยลง สมบัติเชิงกลดี เหนียว ไม่เปราะแตกหักง่าย ราคาถูกลง [1] อัตราการผลิตผลิตภัณฑ์จากคอปเปอร์ออกไซด์ในเชิงพาณิชย์สูงขึ้น โดยสามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น เช่น ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์เพื่อป้องกันการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ภายนอกของอุปกรณ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ [2] วัสดุทำลวดลายบนแผ่นปริ้นซ์ (Printed Circuit Board; PCB) ที่มีน้ำหนักเบาและเหนียว เป็นสารควบคุมการปลดปล่อยยา (Drug Release Intelligent Coat Material) ในระบบนำส่งยาตามเป้าหมาย (Target Drug Delivery) ผลิตกลัมน้ำเนื้อเทียม [1] วัสดุป้องกันปัญหาจากไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge; ESD) [3] วัสดุโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic) ที่สามารถ

ยืดหยุ่นได้ และเป็นทรานซิสเตอร์ (Transistor) สำหรับสวิตช์ อิเล็กทรอนิกส์ [4], [5] เป็นต้น

คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) โดยทั่วไปเป็นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductors) ชนิดพี (P-type) มีโครงสร้างผลึกแบบ โมโนคลินิก (Monoclinic) มีช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (Band Gap) แคบอยู่ในช่วง 1.2-1.8 อิเล็กตรอนโวลต์ [6] จัดเป็นสารใจแอนท์ไดอิเล็กตริก (Giant Dielectric) คือ มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูงประมาณ 104 [7] ขณะเดียวกัน Loss Factor ก็ค่อนข้างสูงด้วยเช่นกัน แต่สามารถเตรียมได้ง่าย องค์ประกอบไม่ซับซ้อน มีราคาถูก [8] มีคุณสมบัติที่น่าสนใจมากมาย เช่น เป็นตัวนำความร้อนที่ดี (Super Thermal Conductivity) มีคุณสมบัติโฟโตโวลตาอิก มีความเสถียรทางเคมีสูง และมีฤทธิ์ต่อต้านจุลชีพ (Antimicrobial Activity) [9] ด้วยคุณสมบัติข้างต้น คอปเปอร์ออกไซด์จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆ ได้แก่ ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalysts) ตัวตรวจจับแก๊ส (Gas Sensor) [10] สื่อบันทึกข้อมูล (Magnetic Storage Media) ขั้วอิเล็กโทรดของเซลล์ลิเทียมไอออน (Lithium-ion Electrode Material) อุปกรณ์ปลดปล่อยอิเล็กตรอน (Field Emission Devices) อุปกรณ์สำหรับเซลล์สุริยะ [11] และอุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (Microelectronics Devices) [8] แต่ตัววัสดุคอปเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นเซรามิกสามารถแตกหักได้ง่าย รองรับความเค้นได้น้อย [1] รวมถึงการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างยุ่งยากเมื่อเทียบกับพอลิเมอร์ ดังนั้นเพื่อแก้ข้อด้อยของคอปเปอร์ออกไซด์ที่เป็นเซรามิก จึงมีแนวคิดที่จะผสมกับเทอร์โมพลาสติก กลุ่มพอลิโอเลฟินส์ (Polyolefins) ซึ่งเป็นพลาสติกหลักที่มีการผลิตทั่วโลกกว่า 55.5% ของผลิตภัณฑ์พลาสติกทุกชนิดทั่วโลก ประกอบด้วยพอลิเอทิลีน (PE) ชนิด HDPE 15.5%, LLDPE/LDPE 17.5% และพอลิโพรพิลีน (PP) 22.5% [12] โดยพอลิโพรพิลีน [13] เป็นพลาสติกที่นิยมใช้มากที่สุด

ดังนั้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับผลิตบรรจุภัณฑ์ป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สารควบคุมการปลดปล่อยยาในระบบนำส่งยาตามเป้าหมาย ผลิตกลัมน้ำเนื้อเทียม เป็นวัสดุโฟโตโวลตาอิกที่สามารถยืดหยุ่นได้ และเป็นสารพลาสติกต่อต้านจุลชีพ สำหรับทำบรรจุภัณฑ์ จึงเลือกคอมโพสิตที่เตรียมจากผง



คอปเปอร์ออกไซด์กับพอลิโพรไพลีน เพราะพอลิโพรไพลีน เป็นกลุ่มเทอร์โมพลาสติกที่มีจุดเด่นคือ เหนียว ทนแรงกระแทก ได้ดี จุดหลอมเหลวสูง ทำให้ทนความร้อนได้ดี เมื่อผสมกับ คอปเปอร์ออกไซด์ที่เป็นเซรามิก จะช่วยให้คอปเปอร์ออกไซด์ มีกระบวนการแปรรูปง่ายคล้ายพลาสติกและสามารถผลิต ชิ้นงานที่ซับซ้อนได้สะดวกมากขึ้น ทำให้อัตราการผลิตชิ้นงาน เชิงพาณิชย์สูงขึ้น มีราคาถูกลง และใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ การ วิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ที่จะผสมผงอนุภาคคอปเปอร์ ออกไซด์ลงในพอลิโพรไพลีน แล้ววิเคราะห์ผลของปริมาณผง คอปเปอร์ออกไซด์ ต่อสมบัติเชิงกล เชิงแสง และเชิงไฟฟ้าซึ่ง สามารถสร้างองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับพอลิเมอร์กึ่งตัวนำ

2. วิธีการวิจัย

สังเคราะห์คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการแคลไซน์สาร ตั้งต้นคอปเปอร์อะซิเตท (Sigma Aldrich, 99.90%) ที่ผ่านการวิเคราะห์พฤติกรรมทางความร้อนด้วยเครื่อง TGA ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น TGA7 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการหาอุณหภูมิ ที่เหมาะสมในการแคลไซน์ หลังจากแคลไซน์แล้วจะได้ ผลิตภัณฑ์เป็นผง นำมาบดอีกครั้งด้วยครกบดสาร วิเคราะห์ โครงสร้างพื้นฐานจาก XRD pattern ที่วัดด้วยเครื่อง XRD ยี่ห้อ Phillips รุ่น X'Pert MPD ซึ่งใช้ทองแดงเป็นเป้าสำหรับ กำหนดรังสีเอ็กซ์ (K_{α} ; Wavelength = 1.54058 Å) ความ ต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทดกับเป้า 40 กิโลโวลต์ สแกนมุม 2θ จาก 10 ถึง 80° เพื่อยืนยันว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นคอปเปอร์ ออกไซด์ และคำนวณหาขนาดผลึกโดยใช้สมการของเชอเรอร์ (Scherrer's Formula) [14] ดังสมการที่ (1)

$$d = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta_B} \quad (1)$$

เมื่อ λ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์

β Full Width at Half Maximum (FWHM)

นำคอปเปอร์ออกไซด์ผสมกับเม็ดพลาสติกพอลิโพรไพลีน ตามสัดส่วน 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 phr (Part Per Hundred) ภายในบีกเกอร์ ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน แล้วเทใส่ เครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer) เพื่อให้เกิดการผสมกัน

ตัดผลิตภัณฑ์ที่ได้ให้มีขนาดเล็กกลง เพื่อสะดวกในการเตรียม เป็นแผ่นคอมโพสิต ด้วยเครื่องอัดเบ้า (Compression Molding) แล้วนำมาตัดเป็นชิ้นตัวอย่างสำหรับศึกษาสมบัติ เชิงกลแบบแรงดัด (Bending Test) ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติ ทางกลแบบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ยี่ห้อ Instron รุ่น 55R4502 โดยทำให้ชิ้นตัวอย่างดัดด้วยความเร็วหัวกด 1 มิลลิเมตรต่อนาที ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง ผลทดสอบแสดงเป็นความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานต่อ แรงดัดและมอดูลัสกับปริมาณผงคอปเปอร์ออกไซด์ ตรวจสอบ ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้อง SEM ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM6301F เพื่อตรวจสอบดูการกระจายตัวของผง คอปเปอร์ออกไซด์ วิเคราะห์สมบัติเชิงแสงด้วย UV-Visible Spectrophotometer ยี่ห้อ Agilent รุ่น Cary 5000 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการดูดกลืนแสงกับค่า ความยาวคลื่น และวัดค่าเพอร์มิตติวิตี (ϵ^*) เชิงซ้อน ด้วย เครื่องวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ของวัสดุ ยี่ห้อ Hewlett-Packard รุ่น HP16453A ในช่วงความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์ -1 จิกะเฮิรตซ์ เพื่อหากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าเพอร์มิตติวิตีส่วนจริง (ϵ') และส่วนจินตภาพ (ϵ'') กับช่วงความถี่

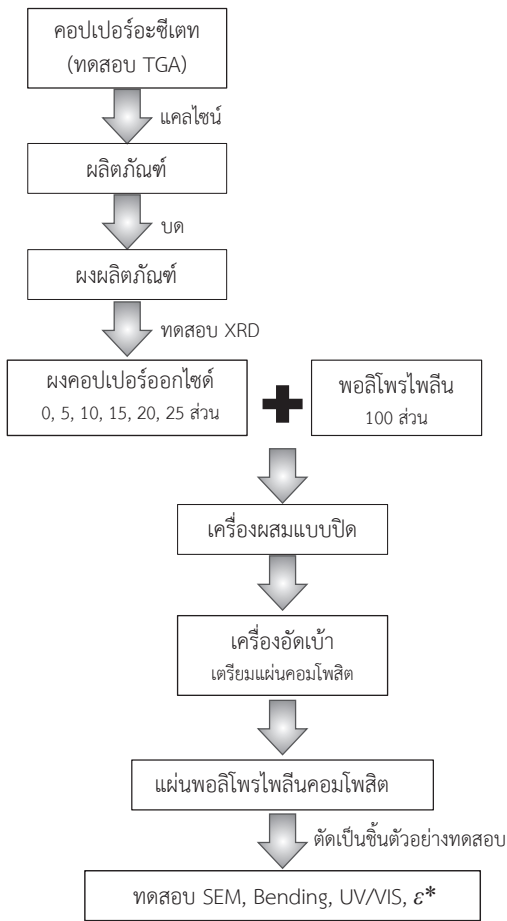
3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการศึกษาผงคอปเปอร์ออกไซด์

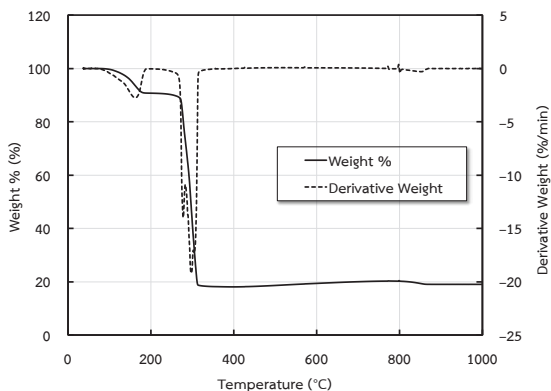
3.1.1 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมทางความร้อนของ คอปเปอร์ออกไซด์

การวิเคราะห์พฤติกรรมทางความร้อนเป็นการศึกษา เฟอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก เมื่อเทียบกับตอนเริ่มต้น (Weight%) และอนุพันธ์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (Derivative Weight%) โดยเริ่มต้นที่อุณหภูมิห้องจนถึง 1000°ซ แสดง ดังรูปที่ 2

เมื่อพิจารณากราฟ TGA ของคอปเปอร์อะซิเตท โมโนไฮเดรต เพื่อประเมินอุณหภูมิของการสลายตัวและการ เปลี่ยนแปลงเฟส สำหรับใช้เป็นอุณหภูมิแคลไซน์ จะเห็นว่า ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่เปลี่ยนไปเมื่อ เพิ่มอุณหภูมิมี 4 ช่วง คือ ช่วงแรกอุณหภูมิห้อง ถึง 190°ซ มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก คิดเป็นเฟอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไป



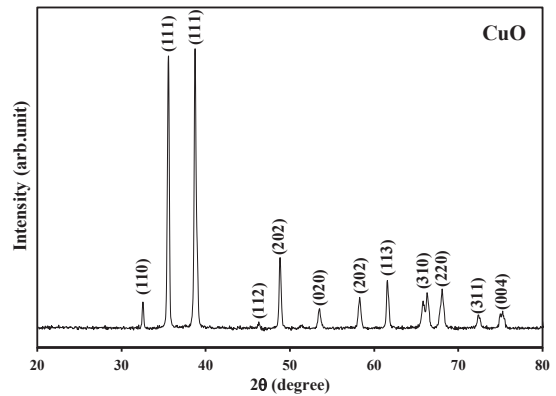
รูปที่ 1 สรุปขั้นตอนการสังเคราะห์คอปเปอร์ออกไซด์-พอลิโพรไพลีนคอมโพสิต



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักกับที่อุณหภูมิต่างๆ ของคอปเปอร์ออกไซด์



รูปที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของผงที่สังเคราะห์ได้



รูปที่ 4 XRD Pattern ของคอปเปอร์ออกไซด์

เทียบกับน้ำหนักเริ่มต้นประมาณ 10% ส่วนช่วงอุณหภูมิจาก 190–270°ซ เป็นช่วงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก ขณะที่ช่วงอุณหภูมิจาก 270–310°ซ เป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดประมาณ 70% ช่วงสุดท้ายที่อุณหภูมิมากกว่า 310°ซ เป็นช่วงที่ไม่มีการสูญเสียน้ำหนัก ดังนั้นจึงเลือกใช้อุณหภูมิที่มากกว่า 310°ซ ในการแคลไซน์และกำหนดเวลา 5 ชั่วโมง เป็นตัวแปรควบคุม

3.1.2 ผลการวิเคราะห์เฟสของผงคอปเปอร์ออกไซด์

ผงคอปเปอร์ออกไซด์หลังการแคลไซน์ ก่อนนำไปผสมกับพอลิโพรไพลีน ตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมดเป็นผลึกเดี่ยวดีค้ำเข้ม ลักษณะดังรูปที่ 3 วิเคราะห์และยืนยันเฟสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (รูปที่ 4)

จากพีคของรังสีเอ็กซ์ตามรูปที่ 4 สามารถเทียบกับ

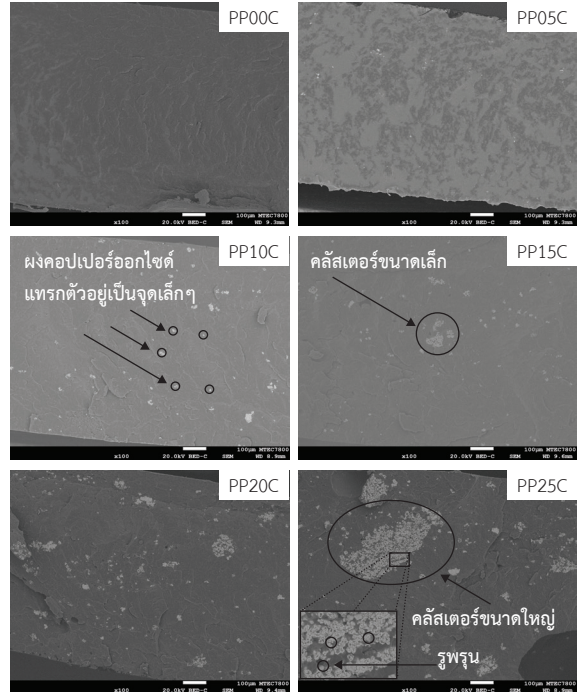
ฐานข้อมูลอ้างอิง (JCPDS 45-0937) ว่าเกิดเฟสคอปเปอร์ออกไซด์ ที่มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิกในทุกตัวอย่าง โดยพีคที่มุม 32.5° , 35.5° , 38.7° , 46.2° , 48.7° , 53.4° , 58.3° , 61.5° , 66.3° และ 68.04° สอดคล้องกับการเลี้ยวเบนจากระนาบ (110), (111), (111), (112), (202), (020), (202), (113), (311) และ (220) ตามลำดับ ทำให้สามารถประเมินเบื้องต้นได้ว่า การสังเคราะห์ตามเงื่อนไขเวลาและอุณหภูมิที่ได้จากผลการวิเคราะห์พฤติกรรมทางความร้อน ปรากฏเพียงพีคที่แสดงเฟสของคอปเปอร์ออกไซด์ โดยไม่ปรากฏพีคที่แสดงถึงการเจือปนของเฟสอื่นๆ หมายความว่าสามารถสังเคราะห์คอปเปอร์ออกไซด์เป็นเฟสที่สมบูรณ์ได้ และเมื่อนำข้อมูล XRD Pattern ในการวิจัยนี้ หาขนาดผลึกด้วยสมการเชอร์เรอร์พบว่าขนาดอยู่ที่ประมาณ 46.35 นาโนเมตร และผลึกมีแนวโน้มจะเกิดการเกาะกันเป็นคลัสเตอร์ในระดับไมโคร ซึ่งมีโอกาสเกิดได้สูง

3.2 ผลการศึกษาพอลิโพรไพลีนคอมโพสิต

3.2.1 ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

ศึกษาภาพถ่ายลักษณะทางสัณฐานวิทยาจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยายประมาณ 4,000 เท่า เพื่อดูลักษณะการกระจายตัวภายในพอลิโพรไพลีนของคอปเปอร์ออกไซด์ที่ผสมอยู่ ดังรูปที่ 5

จากรูปพบลักษณะพื้นผิวของพลาสติกพอลิโพรไพลีนที่ไม่ผสมคอปเปอร์ออกไซด์ (PP00C) มีลักษณะค่อนข้างราบเรียบ เมื่อผสมคอปเปอร์ออกไซด์ 5 phr (PP05C) สามารถสังเกตเห็นอนุภาคบางส่วนแทรกตัวอยู่เป็นจุดเล็กๆ โดยจำนวนจุดจะมากขึ้นเมื่อผสมคอปเปอร์ออกไซด์ 10 phr (PP10C) และเริ่มเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนหรือคลัสเตอร์ขนาดเล็กเมื่อผสมคอปเปอร์ออกไซด์ 15 phr ขนาดของคลัสเตอร์อยู่ที่ประมาณ 15 ไมโครเมตร และคลัสเตอร์จะมีขนาดใหญ่ และมีจำนวนมากขึ้นเกินกว่า 15 ไมโครเมตร เมื่อผสมคอปเปอร์ออกไซด์ 20 และ 25 phr ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ภายในคลัสเตอร์ และช่องว่างระหว่างคลัสเตอร์กับเมทริกซ์ ส่งผลให้เกิดรูพรุนของคอมโพสิตมองเห็นผิวพอลิโพรไพลีนหยาบขึ้นตามขนาดคลัสเตอร์

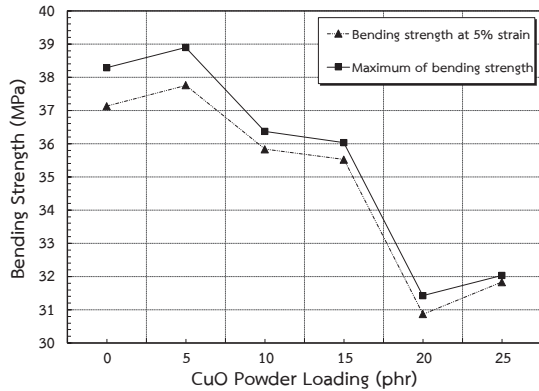


รูปที่ 5 ภาพถ่ายคอปเปอร์ออกไซด์-พอลิโพรไพลีนคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

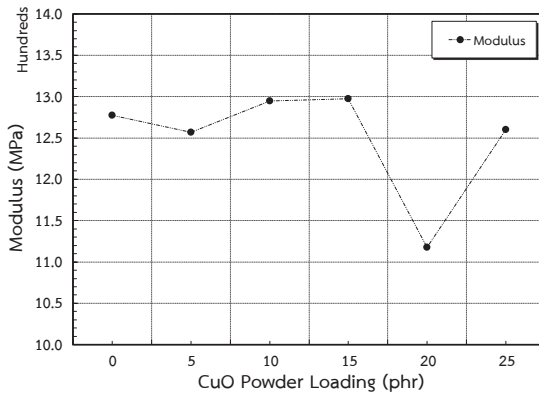
3.2.2 ผลการวิเคราะห์แรงดัด

ผลการวิเคราะห์แรงดัด ใช้สำหรับประมาณค่าความต้านทานต่อแรงดึง เนื่องจากเป็นวิธีที่เหมาะสมกับพลาสติกแข็งเปราะ [15] และใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่า ผลที่ได้แสดงเป็นค่าความต้านทานต่อแรงดัดเมื่อความเครียด 5% ค่าความต้านทานต่อแรงดัดสูงสุด (รูปที่ 6) และค่ามอดูลัส (รูปที่ 7) กับปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์

จากรูปค่าความต้านทานต่อแรงดัดเมื่อความเครียด 5% และความต้านทานต่อแรงดัดสูงสุด มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานของ Das และ Satapathy [16] ที่ได้ผสมเส้นใยหินปริมาณต่างๆ ลงในพอลิโพรไพลีน แล้วอธิบายว่าเป็นผลมาจากรูปร่างของฟิลเลอร์ที่เป็นตัวกำหนดค่าความต้านทานต่อแรงดัด งานของ Ahem *et al.* [17] ผสมพอลิเอสเทอร์กับอนุภาคของเม็ดปาล์มขนาดต่างๆ และงานของ Arunith *et al.* [15] ที่ผสมพอลิเอสเทอร์กับอะลูมินาไตรไฮดรอกไซด์ (Alumina



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของความต้านทานต่อแรงดัดกับปริมาณผงคอปเปอร์ออกไซด์



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของมอดูลัสกับปริมาณผงคอปเปอร์ออกไซด์

Trihydrate) ทั้งสองคณะได้สรุปผลว่าเกิดจากลักษณะฟิลเลอร์ที่มีรูปร่างแตกต่างกัน นอกจากนี้การผสมผงซีเถ้ากับพอลิโพรไพลีนในงานของ Gummadi *et al.* [18] แล้วเปรียบเทียบผลของขนาดอนุภาคต่อความต้านทานต่อแรงดัด แสดงให้เห็นว่าอนุภาคที่ใหญ่กว่าทำให้ความต้านทานต่อแรงดัดลดลง และงานของ Zhang *et al.* [19] ที่ผสมเกลบสัดส่วนต่างๆ ลงในพอลิเอทีลีนชนิดความหนาแน่นสูง พบว่าความต้านทานต่อแรงดัดลดลงตามปริมาณของฟิลเลอร์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกาะกลุ่มกันของฟิลเลอร์เป็นคลัสเตอร์ขนาดใหญ่ ส่งผลต่ออันตรกิริยาระหว่างเมทริกซ์และฟิลเลอร์อ่อนลง ความต้านทานต่อแรงดัดจึงลดลง และเนื่องจากเป็น

ที่ทราบกันว่าพอลิโพรไพลีนเป็นพอลิเมอร์แบบกึ่งผลึก [20] คือ มีบริเวณที่เป็นผลึก (Crystalline Region) หรือบริเวณที่สายโซ่โมเลกุลจัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบ และบริเวณที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous Region) หรือบริเวณที่สายโซ่โมเลกุลจัดเรียงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ จึงมีสมมุติฐานสำหรับผลการวิเคราะห์แรงดัดเพิ่มเติมจากงานวิจัยอื่นๆ โดยเปรียบเทียบกับงานของ Malini *et al.* [21] ที่ทดสอบแรงดึงของยางธรรมชาติผสมนิกเกิลเฟอร์ไรต์ ซึ่งเป็นการให้แรงกระทำกับวัสดุคอมโพสิตเช่นเดียวกันว่า เมื่อให้แรงกระทำโซ่โมเลกุลที่อยู่ในบริเวณอสัณฐานจะเกิดการแลกซ์เพื่อลดความเค้นที่ได้รับ และจัดเรียงสายโซ่ตามแนวแรงจนทำให้เกิดบริเวณที่เป็นระเบียบมากขึ้น (บริเวณที่เป็นผลึก) ส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดัดของพอลิโพรไพลีนสูง แต่เมื่อเติมผงคอปเปอร์ออกไซด์ลงไป โดยไม่มีการสร้างพันธะใดๆ กับพอลิโพรไพลีน เพียงแต่ไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่โมเลกุลเท่านั้น การจัดเรียงสายโซ่โมเลกุลตามแนวแรงจึงถูกยับยั้งหรือขัดขวาง ทำให้การจัดเรียงตัวเกิดได้ยาก ความต้านทานต่อแรงดัดลดลง โดยปกติแล้วฟิลเลอร์ที่เติมลงไปจะช่วยเสริมแรงนั้น ต้องมีความเข้ากันได้หรือมีการเชื่อมต่อกันระหว่างโครงสร้างเมทริกซ์กับฟิลเลอร์ ดังนั้นผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดัดของพอลิโพรไพลีนที่ผสมคอปเปอร์ออกไซด์จึงเป็นผลมาจากลักษณะรูปร่าง ขนาดอนุภาค และการกระจายตัวของคอปเปอร์ออกไซด์ [22] โดยไม่ช่วยเสริมแรงใดๆ ให้กับพอลิโพรไพลีน

ขณะที่ผลของปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ต่อค่ามอดูลัสของพอลิโพรไพลีนมีแนวโน้มอยู่ในช่วงระหว่าง 12.5–13.0 เมกะปาสกาล ยกเว้นเมื่อคอปเปอร์ออกไซด์ 20% มอดูลัสจะลดลงมาต่ำจนอยู่ในช่วง 11.0–11.5 เมกะปาสกาล อย่างเห็นได้ชัด แตกต่างกับค่ามอดูลัสที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณเม็ดถ่านที่ผสมลงในพอลิโพรไพลีน ในงานของ Das และ Satapathy [16] ที่กล่าวไว้ก่อนหน้า และงานของ Mirijalili *et al.* [23] ที่ผสมอนุภาคนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ลงในพอลิโพรไพลีน ทั้งสองคณะอธิบายว่าเกิดจากความแข็งโดยธรรมชาติของฟิลเลอร์ที่เติมลงไป ขณะที่งานของ Gummadi *et al.* [18] ได้ผลการทดลองว่าที่ขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้นทำให้มอดูลัสลดลง

ส่วนงานของ Liang [24] ผสมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ลงในพอลิโพรไพลีน ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นตามปริมาณของฟิลเลอร์เช่นกัน แต่อธิบายด้วยสมการที่ 2 คือ

$$E_f = \alpha + \beta\phi_f \quad (2)$$

เมื่อ E_f คือ ค่ามอดูลัส

ϕ_f คือ Weight Fraction

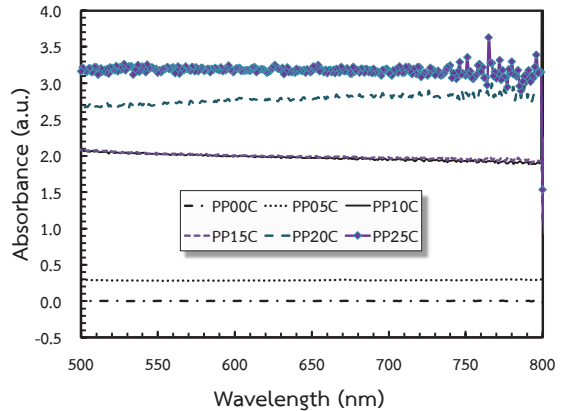
α และ β คือ พารามิเตอร์ของการตัด ที่ใช้วิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นเป็นตัวกำหนด

โดยงานวิจัยที่แสดงค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นตามปริมาณฟิลเลอร์เป็นผลจากความเข้ากันได้ระหว่างเมทริกซ์กับฟิลเลอร์ทำให้เกิดการเสริมแรง แต่ในงานวิจัยนี้มีผลการทดลองที่สอดคล้องกับงานของ Daniel *et al.* [25] ที่ค่ามอดูลัสเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งได้ให้เหตุผลว่าเกิดจากการเกาะกันเป็นคลัสเตอร์ที่ใหญ่ขึ้นของฟิลเลอร์ ทำให้เกิดปริมาตรว่างและจุดอ่อนของคอมโพสิต โดยไม่มีการเชื่อมต่อโครงสร้างกันระหว่างเมทริกซ์กับฟิลเลอร์ ทำให้ไม่เกิดการเสริมแรง และใช้เหตุผลเดียวกันในการอธิบายผลการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงด้วย จากเหตุผลในงานของ Daniel *et al.* นี้ จึงมีสมมุติฐานสำหรับค่ามอดูลัสที่สัดส่วน 20 phr ในงานวิจัยนี้เพิ่มเติมว่าเกิดจากปริมาตรว่างภายในคลัสเตอร์ และรูพรุนที่อยู่ในบริเวณที่มีการให้แรงกระทำพอดี จึงทำให้ค่ามอดูลัสหรือค่าความเหนียว (Stiffness) ของวัสดุแสดงออกมาได้น้อยส่งผลให้สัดส่วนนี้มีค่ามอดูลัสแตกต่างกับสัดส่วนอื่นๆ

3.2.3 ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนแสง

การวิเคราะห์การดูดกลืนแสงเป็นเทคนิคที่ใช้ทดสอบสมบัติเชิงแสงของคอปเปอร์ออกไซด์-พอลิโพรไพลีนคอมโพสิต ในงานวิจัยนี้ ผลการวิเคราะห์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) กับความยาวคลื่น แล้วเปรียบเทียบผลของปริมาณฟิลเลอร์ต่อค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 500–800 นาโนเมตร ดังรูปที่ 8

จากรูปจะเห็นค่าการดูดกลืนคลื่นแสงเปลี่ยนแปลงเป็นฟังก์ชันกับปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ โดยมีค่าการดูดกลืนสูงสุดเมื่อผสมคอปเปอร์ออกไซด์ 25 phr แต่ไม่ปรากฏค่า



รูปที่ 8 สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงของคอปเปอร์ออกไซด์-พอลิโพรไพลีนคอมโพสิต

การดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดที่ค่าความยาวคลื่นใดๆ สอดคล้องกับงานของ Monica *et al.* [26] ที่ผสมอะลูมิเนียมออกไซด์กับพอลิโพรไพลีน แล้วทดสอบค่าการทะลุผ่านของแสง (Transmittance) พบว่าค่าลดลงเมื่อปริมาณอะลูมิเนียมออกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากความทึบแสงของฟิลเลอร์ที่เติมลงไป ขณะที่งานของ Hamdalla *et al.* [27] ได้ผสมเออร์เบียมออกไซด์ลงในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ พบว่าค่าการทะลุผ่านของแสงลดลงกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณเออร์เบียมออกไซด์ เนื่องจากความไม่เป็นระเบียบของเฟสที่เป็นผลึกในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ เพราะการเข้าไปแทรกตัวของเออร์เบียมออกไซด์ เช่นเดียวกับงานของ Abdelaziz [28] ที่ผสมซีเซียมลงในพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ แล้วอธิบายว่าฟิลเลอร์ที่เติมลงไปทำให้โครงสร้างของพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เปลี่ยนแปลงส่งผลให้ช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน (Band gap; Eg) ลดลงตามความสัมพันธ์ในสมการที่ (3) [29], [30] คือ

$$(ah\nu)^2 = A(h\nu - E_g) \quad (3)$$

เมื่อ E_g คือ ช่องว่างของแถบพลังงาน

A คือ ค่าคงที่

$h\nu$ คือ พลังงานโฟตอน

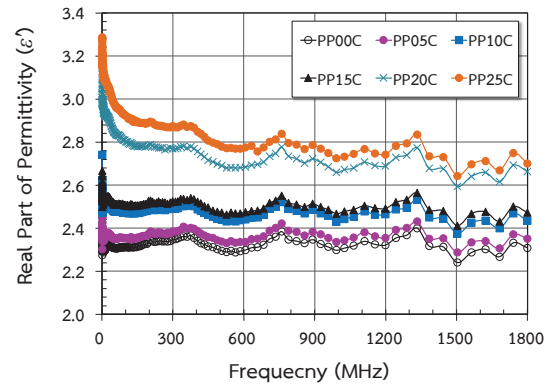
α คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืน

การลดลงของระดับช่องว่างระหว่างแถบพลังงานนี้ จะนำไปสู่การเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนจากแถบเวเลนซ์ ไปสู่แถบนำไฟฟ้าได้ง่ายและใช้พลังงานน้อยลง ตามปริมาณ ของคอปเปอร์ออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อแสงตกกระทบวัสดุ คอมโพสิต พลังงานโฟตอนจะเกิดการสะท้อน ดูดกลืน หรือ ทะลุผ่าน ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยความทึบแสงโดยธรรมชาติ ของฟิลเลอร์ และการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของ อิเล็กตรอน ที่เป็นผลพวงมาจากโครงสร้างของเฟสผลึกและ ออสัณฐานของเมทริกซ์พอลิเมอร์ที่เปลี่ยนแปลงไป

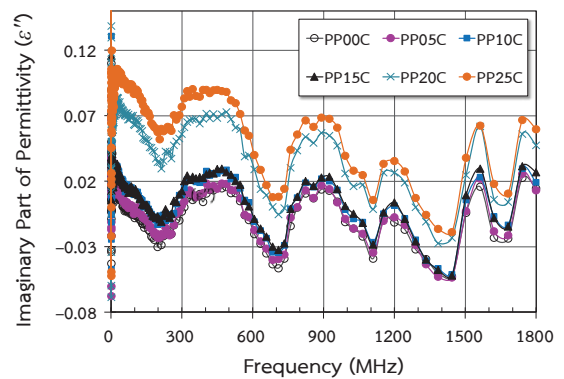
3.2.4 ผลการวัดค่าเพอร์มิตติวิตี

ค่าเพอร์มิตติวิตีนี้เป็นค่าเฉพาะที่แสดงถึงความสามารถ ในการต้านทานทางไฟฟ้าของวัสดุ เมื่ออยู่ภายใต้อิทธิพลของ สนามไฟฟ้าแบบเชิงซ้อนประกอบด้วยค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ที่เป็นส่วนจริง ซึ่งเป็นค่าที่มีความเกี่ยวข้องกับพลังงาน สะสมภายในวัสดุ และค่าการสูญเสียไดอิเล็กทริกที่เป็นส่วน จินตภาพ ซึ่งเป็นค่าที่มีความเกี่ยวข้องกับพลังงานสูญเสีย ภายในวัสดุ ผลการวิเคราะห์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า เพอร์มิตติวิตีส่วนจริงและส่วนจินตภาพกับความยาวคลื่นดัง รูปที่ 9 (ก) และ 9 (ข) ตามลำดับ

ผลการวัดค่าเพอร์มิตติวิตีส่วนจริง (ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก) ของพอลิโพรไพลีนมีค่า 2.37 ที่ 1 เมกะเฮิร์ตซ์ และลดลงตาม ความถี่ถึง 2.30 ที่ 1.8 กิกะเฮิร์ตซ์ และส่วนจินตภาพ (ค่าการ สูญเสียไดอิเล็กทริก) มีค่า 0.1 ที่ 1 เมกะเฮิร์ตซ์ ลดลงตาม ความถี่ถึง 0.01 ที่ 1.8 GHz แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลง ตามความถี่ที่มีค่าน้อย และหลังจากผสมคอปเปอร์ออกไซด์ (5–25 phr) ค่าเพอร์มิตติวิตีมีการเปลี่ยนแปลงเป็นฟังก์ชัน กับปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์แบบเชิงเส้น โดยทั่วไปค่า เพอร์มิตติวิตีของคอมโพสิตจะถูกกำหนดด้วยปริมาณประจุที่ เกิดจากการโพลาริเซชันบริเวณผิวรอยต่อระหว่างฟิลเลอร์กับ เมทริกซ์และระยะเวลาที่ศึกษาโพลาริเซชันของประจุ [31] ดังนั้น ค่าเพอร์มิตติวิตีของพอลิโพรไพลีนที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณ คอปเปอร์ออกไซด์ จึงเกิดจากการสะสมประจุบริเวณผิวรอยต่อ ที่มากขึ้น จึงมีข้อสันนิษฐานเบื้องต้นสำหรับคอปเปอร์ออกไซด์- พอลิโพรไพลีนคอมโพสิตที่เตรียมด้วยการผสมกับเครื่อง ผสมแบบปิด (Internal Mixer) ว่าทำให้การกระจายตัว



(ก)



(ข)

รูปที่ 9 ค่าเพอร์มิตติวิตีส่วนจริง (ก) ส่วนจินตภาพ (ข) ของ คอปเปอร์ออกไซด์-พอลิโพรไพลีนคอมโพสิต เป็น ฟังก์ชันของความถี่

ของอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ เกิดรูพรุนหรือปริมาตรว่าง ที่ไม่ส่งผลต่อการสะสมประจุบริเวณระหว่างผิวรอยต่อ การโพลาริเซชันจึงเป็นฟังก์ชันกับปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ [32] สำหรับการโพลาริเซชันที่บริเวณผิวพอลิโพรไพลีนจะเป็น ตัวกำหนดลักษณะกราฟของค่าเพอร์มิตติวิตีส่วนจริงและ ส่วนจินตภาพที่แกว่งอย่างเป็นระบบ [33] เนื่องจากกราฟ ที่ได้มีลักษณะเหมือนกันทั้งกรณีผสมและไม่ผสมคอปเปอร์ ออกไซด์ นั่นคือลักษณะกราฟจะถูกกำหนดด้วยความสามารถ ในการกลับทิศโพลาริเซชันของประจุบริเวณผิวพอลิโพรไพลีน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการขยับตัวของสายโซ่พอลิโพรไพลีน [34] ใน แต่ละความถี่เท่านั้น



4. สรุป

คอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ ยืนยันผลด้วยกราฟ XRD Pattern และเป็นสารไดอิเล็กตริกก่อนการผสมปรากฏชัดเจน เมื่อนำไปผสมกับพอลิโพรไพลีนด้วยเครื่องผสมแบบปิด ตรวจสอบลักษณะทางสัญญาณวิทยาพบว่ามีการกระจายตัวในเมทริกซ์ของพอลิโพรไพลีน และเกาะกลุ่มกันเป็นคลัสเตอร์เมื่อปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น ขณะที่ค่าแรงดันมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้น แต่ค่ามอดูลัสคอนข้างคองที่ส่วนค่าการดักคลื่นคลื่นแสงเป็นฟังก์ชันกับปริมาณของคอปเปอร์ออกไซด์ สำหรับผลการวัดค่าเพอร์มิตติวิตีที่ส่วนจริงและส่วนจินตภาพ มีการเปลี่ยนแปลงตามความถี่น้อย แต่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ชัดเจน เนื่องจากการสะสมประจุบริเวณระหว่างผิวรอยต่อที่มากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากงบประมาณเงินแผ่นดิน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ประจำปี 2560 ภายใต้เลขที่สัญญา A45/2560

เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Li, J. Chen, H. Dai, D. Liu, H. Xiang, and Z. Chen, "Dielectric properties of $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ -silicone rubber composites," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 26, pp. 312–316, 2015.
- [2] S. D. Khan, M. Arora, M. A. Wahab, and P. Saini, "Permittivity and electromagnetic interference shielding investigations of activated charcoal loaded acrylic coating compositions," *Journal of Polymer*, vol. 2014, pp. 1–7, 2014.
- [3] M. H. Al-Saleh, "Influence of conductive network structure on the EMI shielding and electrical percolation of carbon nanotube/polymer nanocomposites," *Synthetic Metals*, vol. 205, pp. 78–84, 2015.
- [4] J. Xu and C. P. Wong, "Effect of the polymer matrices on the dielectric behavior of a percolative high-k polymer composite for embedded capacitor applications," *Journal of Electronic Materials*, vol. 35, no.5, pp. 1087–1094, 2006.
- [5] J. K. Rao, A. Raizada, D. Ganguly, M. M. Mankad, S. V. Satayanarayana, and G. M. Madhu, "Investigation of structural and electrical properties of novel CuO-PVA nanocomposite films," *Journal of Materials Science*, vol. 50, no. 21, pp. 7064–7074, 2015.
- [6] P. D. Gacia, L. K. Shrestha, P. Bairi, N. M. Sanchez-Ballester, J. P. Hill, A. Boczkowska, H. Abe, and K. Ariga, "Low-temperature synthesis of copper oxide (CuO) nanostructures with temperature-controlled morphological variations," *Ceramics International*, vol. 41, no. 8, pp. 9426–9432, 2015.
- [7] S. Sarkar, P. K. Jana, B. K. Chaudhuri, and H. Sakata, "Copper (II) oxide as a giant dielectric material," *Applied physics Letters*, vol. 89, no. 21, 2006.
- [8] M. Aparicio, A. Jitianu, and L. C. Klein, *Sol-gel Processing for Conventional and Alternative Energy*. New York, USA: Springer Science+Business Media, 2012.
- [9] V. Usha, S. Kalyanaraman, R. Thangavel, and R. Vettumperumal, "Effect of catalysts on the synthesis of CuO nanoparticles: Structural and optical properties by sol-gel method," *Superlattices and Microstructures*, vol. 86, pp. 203–210, 2015.
- [10] M. Promsawat, A. Watcharapason, and S.



- Jiansirisomboon, "Effects of CuO nanoparticles addition on properties of PMNT ceramics," *Ceramics International*, vol. 39, pp. S69–S73, 2013 (in Thai).
- [11] X. Wang, C. Hu, H. Liu, G. Du, X. He, and Y. Xi, "Synthesis of CuO nanostructures and their application for nonenzymatic glucose sensing," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 144, no. 1, pp. 220–225, 2010.
- [12] Plasteurope. (2012, January). Global Plastics Consumption 2011. Plasteurope [Online]. Available: <http://www.plasteurope.com>
- [13] A. R. Shah, D. W. Lee, Y. Q. Wang, A. Wasy, K. C. Ham, K. Jayaraman, B. S. Kim, and J. I. Song, "Effect of concentration of ATH on mechanical properties of polypropylene/ aluminium trihydrate (PP/ATH) composite," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 24, no. 1, pp. s81–s89, 2014.
- [14] N. Adeela, K. Maaz, U. Khan, S. Karim, A. Nisar, M. Ahmad, G. Ali, X. F. Han, and J. L. Duan, "Influence of manganese substitution on structural and magnetic properties of CoFe_2O_4 nanoparticles," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 639, pp. 533–540, 2015.
- [15] A. Aruniit, J. Kers, and K. Tall, "Influence of filler proportion on mechanical and physical properties of particulate composite," *Agronomy Research Biosystem Engineering*, pp. 23–29, 2011.
- [16] A. Das and B. K. Satapathy, "Structural, thermal, mechanical and dynamic mechanical properties of cenosphere filled polypropylene composites," *Materials and Design*, vol. 32, no. 3, pp. 1477–1484, 2011.
- [17] A. O. Ameh, M. T. Isa, and I. Sanusi, "Effect of particle size and concentration on the mechanical properties of polyester/date palm seed particulate composites," *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, vol. 14, no. 26, pp. 65–78, 2015.
- [18] J. Gummadi, G. V. Kumar, and G. Rajesh, "Evaluation of flexural properties of fly ash filled polypropylene composites," *International Journal of Modern Engineering Research*, vol. 2, no. 4, pp. 2584–2590, 2012.
- [19] Q. Zhang, Y. Li, H. Cai, X. Lin, W. Yi, and J. Zhang, "Properties comparison of high density polyethylene composites filled with three kinds of shell fibers," *Results in Physics*, vol. 12, pp. 1542–1546, 2019.
- [20] I. M. Ward and D. W. Hadley, "The structure of polymers," in *Mechanical Properties of Solid Polymers*, 2nd ed. Chichester, England: John Wiley & Sons Inc, 1985, pp. 1–14.
- [21] K. A. Malini, P. Kurian, and M. R. Anantharaman, "Loading dependence similarities on the cure time and mechanical properties of rubber ferrite composites containing nickel zinc ferrite," *Material Letter*, vol. 57, no. 22–23, pp. 3381–3386, 2003.
- [22] H. Ismail, S. T. Sam, A. F. Mohd Noor, and A. A. Bakar, "Properties of ferrite-filled natural rubber composites," *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, vol. 46, no. 6, pp. 641–650, 2007.
- [23] F. Mirjalili, L. Chuah, and E. Salahi, "Mechanical and morphological properties of polypropylene/nano $\alpha\text{-Al}_2\text{-O}_3$ composites," *The Scientific World Journal*, vol. 2014, pp. 1–12, 2014.
- [24] J. Z. Liang, "Tensile and flexural properties of



- polypropylene composites filled with highly effective flame retardant magnesium hydroxide,” *Polymer Testing*, vol. 60, pp. 110–116, 2017.
- [25] I. T. Daniel, D. C. Nenge, and T. L. Tyovenda, “Effects of filler content and particle size on the mechanical properties of unsaturated polyester resin reinforced with rice husk-coconut shell particles,” *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, vol. 4, no. 8, pp. 637–643, 2017.
- [26] Monika, P. Upadhyaya, V, Kumar, and N. Chand, “Studies on morphology, mechanical and optical properties of PP/HDPE/EVA blend modified with Al_2O_3 particles for cast film,” *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 47–50, 2013.
- [27] T. A. Hamdalla, T. A. Hanafy, and A. E. Bekheet, “Influence of erbium ions on the optical and structural properties of polyvinyl alcohol,” *Journal of Spectroscopy*, vol. 2015, pp. 1–7, 2015.
- [28] M. Abdelaziz, “Cerium(III) doping effects on optical and thermal properties of PVA films,” *Physica B: Condensed Matter*, vol. 406, no. 6–7, pp. 1300–1307, 2011.
- [29] B. Troudi, O. Halimi, M. Sebais, B. Boudine, and A. Djebli, “Synthesis, structural and optical properties of CuO nanocrystals embedded in polyvinyl chloride (PVC) thin films,” *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 115–119, 2017.
- [30] B. H. Rabee and N. Jabar, “The optical properties of copper oxide nanoparticles with (polyvinyl alcohol-polyethylene glycol) Blend,” *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, vol. 9, no. 5, pp. 310–314, 2017.
- [31] S. M. Abbas, A. K. Dixit, R. Chatterjee, and T. C. Goel, “Complex permittivity, complex permeability and microwave absorption properties of ferrite-polymer composites,” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 309, no. 1, pp. 20–24, 2007.
- [32] K. Borah and N. S. Bhattacharyya, “Magnetodielectric composite with ferrite inclusions as substrates for microstrip patch antennas at microwave frequencies,” *Composites Part B: Engineering*, vol. 43, no. 3, pp. 1309–1314, 2012.
- [33] I. Kong, S. H. Ahmad, M. H. Abdullah, D. Hui, A. N. Yusoff, and D. Puryanti, “Magnetic and microwave absorbing properties of magnetite-thermoplastic natural rubber nanocomposites,” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 322, no. 21, pp. 3401–3409, 2010.
- [34] A.P. Singh, S. Saxena, and A. Govindan, “Studies on the dielectric constant and conductivity of $CaCu_3Ti_4O_{12}$:PET and $CaCu_3Ti_4O_{12}$:PVC ceramic polymer composites,” *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 3, no. 12, pp. 871–874, 2014.