

การสังเคราะห์วัสดุคอมพอสิตพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์-คาร์บอนกัมมันต์สำหรับแหล่งกำเนิดไฟฟ้านาโนแบบทริโบอิเล็กทริก

Fabrication of PVDF-Activated Carbon Composite for Triboelectric Nanogenerator Application

ชัยวัฒน์ ประสานวงศ์ (Chaiwat Prasanwong)* ดร.วิยะดา หาญชนะ (Dr.Viyada Harnchana)**

บทคัดย่อ

แหล่งกำเนิดไฟฟ้านาโนแบบทริโบอิเล็กทริก (Triboelectric nanogenerator : TENG) เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานเชิงกลให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าและไฟฟ้าสถิตย์ ในงานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์วัสดุคอมพอสิตระหว่างคาร์บอนกัมมันต์และพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุทริโบอิเล็กทริกเพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานเชิงกล โดยทำการศึกษาผลลัพธ์ทางไฟฟ้าของวัสดุคอมพอสิตที่มีปริมาณคาร์บอนกัมมันต์แตกต่างกัน ได้เงื่อนไขการทำงานแบบสัมผัส-แยกในแนวตั้งและมีขั้วไฟฟ้าเดี่ยว (Vertical contact-separation mode with single electrode) พบว่าพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์-คาร์บอนกัมมันต์ 0.7% ให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า 0.73 วัตต์ต่อตารางเมตร ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากคุณสมบัติในการเป็นวัสดุกักประจุของคาร์บอนกัมมันต์ ทำให้สามารถเพิ่มความหนาแน่นประจุและเพิ่มผลลัพธ์ทางไฟฟ้าได้

ABSTRACT

Triboelectric nanogenerator is an energy harvesting device that convert mechanical energy into electricity based on the triboelectrification effect and electrostatic induction between two difference materials. Polyvinylidene fluoride (PVDF) is one of the promising candidate materials for triboelectric nanogenerator (TENG) applications. In this work, we present electrical outputs of PVDF-activated carbon (AC) composite materials by vertical contact-separation mode with single electrode. It was found that PVDF-AC TENG at AC 0.7 %w/v can deliver the highest electrical power density 0.73 w/m². This is attributed to the charge trapping property of AC that can intensity triboelectric charge which can enhance the energy conversion performance of the PVDF-AC TENG.

คำสำคัญ: คาร์บอนกัมมันต์ พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ ทริโบอิเล็กทริก

Keywords: PVDF, Activated carbon, Triboelectric nanogenerator

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวัสดุศาสตร์และนาโนเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

พลังงานเชิงกลเป็นพลังงานที่พบได้อย่างมากมายในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างเช่น พลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของวัตถุต่างๆ พลังงานลม พลังงานจากน้ำตก รวมถึงการเคลื่อนที่ของมนุษย์ เป็นต้น พลังงานที่กล่าวมาข้างต้นเป็นพลังงานที่อยู่ในรูปของควมถี่ต่ำ ซึ่งมีความถี่ที่ต่ำกว่า 10 เฮิร์ตซ์ ด้วยความถี่ที่ต่ำนี้ทำให้ไม่มีประสิทธิภาพมากพอที่จะขับเคลื่อนแหล่งกำเนิดไฟฟ้าทั่วไปที่อาศัยหลักการทางแม่เหล็กไฟฟ้าได้ เกิดเป็นข้อจำกัดในการเก็บเกี่ยวพลังงาน ซึ่งในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีเกี่ยวกับการเก็บเกี่ยวพลังงานนั้น ได้มีการพัฒนาอย่างก้าวกระโดดซึ่งแหล่งกำเนิดไฟฟ้าชนิดใหม่ภายใต้หลักการของไฟฟ้าสถิตระหว่างผิววัสดุสองชนิดที่ต่างกัน เรียกแหล่งกำเนิดไฟฟ้าชนิดนาโนแบบทริโบอิเล็กทริก (Niu S and Z. L., 2015) ซึ่งมีประสิทธิภาพมากในการเก็บเกี่ยวพลังงานในย่านความถี่ที่ต่ำ วัสดุทางทริโบอิเล็กทริกนั้นเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงพลังงานเชิงกลอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยปรากฏการณ์ การเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้า และไฟฟ้าสถิต ที่เกิดขึ้นจากพื้นผิวของวัสดุที่มีค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอน(electron-affinity) ต่างกันมาสัมผัสกัน และเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างพื้นผิวของวัสดุทั้งสองในขณะที่มีการสัมผัสและแยกออกจากกัน ทำให้เกิดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น (Niu and Wang, 2013) พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ (PVDF) เป็นวัสดุโพลิเมอร์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้เคลือบลงไปพื้นผิวที่ต้องการความทนทานต่อสารละลายต่างๆ, กรด, เบส (มีจุดเดือดอยู่ที่ 177 องศาเซลเซียส) เพื่อรักษาสภาพของวัตถุที่แท้จริงให้คงทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ PVDF ถูกใช้อย่างแพร่หลายในการสังเคราะห์เป็นวัสดุทริโบอิเล็กทริก เนื่องจากมีคุณสมบัติในการขึ้นรูปที่ง่าย ราคาถูก และเป็นวัสดุคอมพอสิตที่ดี (Yu H., 2015). ถ่านกัมมันต์เป็นทางเลือกที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากความสามารถในการดูดซับที่ดีการดูดซับ, พื้นที่ผิวสูง, โครงสร้างที่มีรูพรุน, และขอบของถ่านกัมมันต์สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารตัวอื่นได้ดี (Ahmedna M., 2004) ดังนั้นจึงเลือกนำคาร์บอนกัมมันต์มาใช้เป็นวัสดุคอมพอสิต ในงานวิจัยนี้จะสังเคราะห์วัสดุทริโบอิเล็กทริกขั้วบวกสังเคราะห์วัสดุคอมพอสิตระหว่างพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์และคาร์บอนกัมมันต์ (PVDF-AC) ให้อยู่ในรูปของฟิล์มบนกระจกนำไฟฟ้าที่ใช้เป็นฐานรองเพื่อให้ค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอน ภายในวัสดุ PVDF มีค่าสูงขึ้น ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้เป็นขั้วลบได้แก่ เทฟลอน เนื่องจากมีค่าสัมพรรคภาพอิเล็กตรอนที่ต่ำที่สุดในตารางทริโบอิเล็กทริก

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. สังเคราะห์วัสดุคอมพอสิตพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์-คาร์บอนกัมมันต์ เพื่อใช้เป็นวัสดุขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าชนิดนาโนแบบทริโบอิเล็กทริก
2. ศึกษาผลลัพธ์ทางไฟฟ้าของวัสดุคอมพอสิตที่ปริมาณคาร์บอนกัมมันต์แตกต่างกัน
3. ศึกษาผลลัพธ์ทางไฟฟ้าของวัสดุคอมพอสิตที่ความถี่แตกต่างกัน
4. ศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุคอมพอสิตโดยทดสอบกับหลอด LEDs

วิธีการวิจัย

1. วัสดุคอมพอสิตพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์/คาร์บอนกัมมันต์

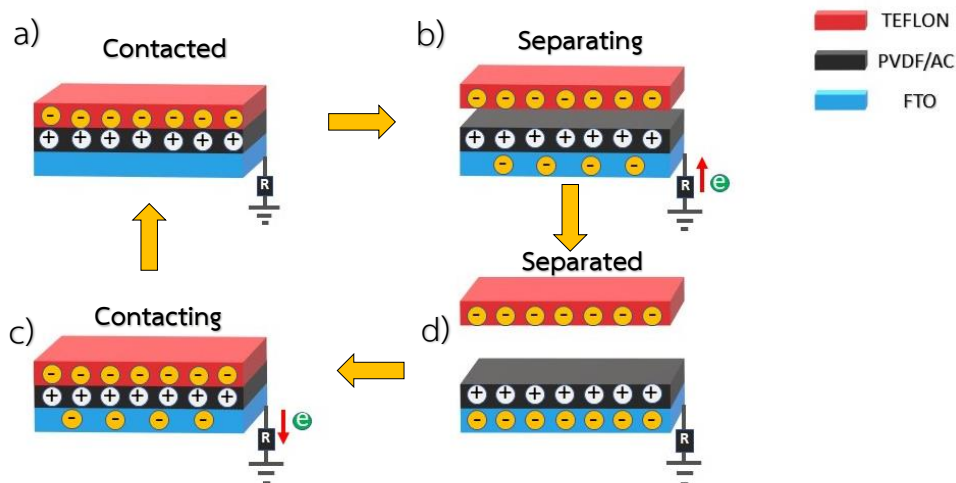
พอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์(PVDF) ถูกนำมาละลายในตัวทำละลาย N-Methyl-2-pyrrolidone (NMP) ได้เป็นสารละลายพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร นำคาร์บอนกัมมันต์(Activated carbon) ผสมเข้ากับสารละลายพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ในอัตราส่วน 0.3%, 0.5%, 0.7%, และ 0.9% ตามลำดับ จากนั้นนำไปคนจนเป็นเนื้อเดียวกันและนำไปขึ้นรูปเป็นฟิล์มบนกระจกนำไฟฟ้าขนาด 4x4 ตารางเซนติเมตร อบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

2. การวิเคราะห์เชิงวัสดุ

ลักษณะสัณฐานวิทยาและโครงสร้างผลึกวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM (Helios Nanolab G3 CX, FEI)), X-ray diffraction (XRD (PANalytical EMPYREAN))

3. การวัดผลลัพท์ทางไฟฟ้า

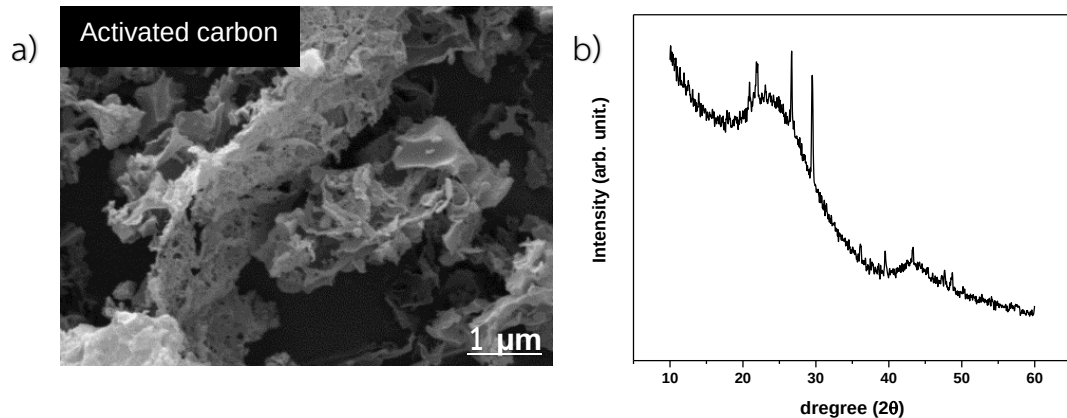
จะใช้กระบวนการวัดแบบการสัมผัสในแนวดิ่งแสดงดังรูปที่ 1. การทดลองปรากฏการณ์ทริโบอิเล็กทริก โดยใช้วัสดุสองชนิดคือ วัสดุคอมพอสิต และ แผ่นเทฟลอน เมื่อวัสดุเกิดการสัมผัสกันจะทำให้เกิดปรากฏการณ์อิเล็กทริกเฟสชัน ส่งผลให้เกิดประจุไฟฟ้าที่พื้นผิววัสดุดังรูปที่ 1a.) เมื่อวัสดุเริ่มแยกตัวออกจากกันจะส่งผลให้เกิดความต่างศักย์ที่พื้นผิววัสดุ ทำให้อิเล็กตรอนจากสายดินเคลื่อนที่มายังขั้ววัสดุดังรูปที่ 1b.) เมื่อวัสดุทั้งสองแยกออกจากกันโดยสมบูรณ์จะส่งผลให้ประจุไฟฟ้าเกิดความสมดุลดังรูปที่ 1d.) และเมื่อวัสดุทั้งสองเคลื่อนที่กลับเข้ามาสัมผัสกัน อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่กลับลงสายดินดังในรูปที่ 1c.) (Yang Z., 2013) ผลลัพท์ทางไฟฟ้าของความต่างศักย์และกระแส จะถูกวัดค่าโดยออสซิลโลสโคป (Tektronix DPO2002B) และ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Kiethley DMM6500) ตามลำดับ



รูปที่ 1 การทำงานแบบสัมผัส-แยกในแนวดิ่งและมีขั้วไฟฟ้าเดี่ยว

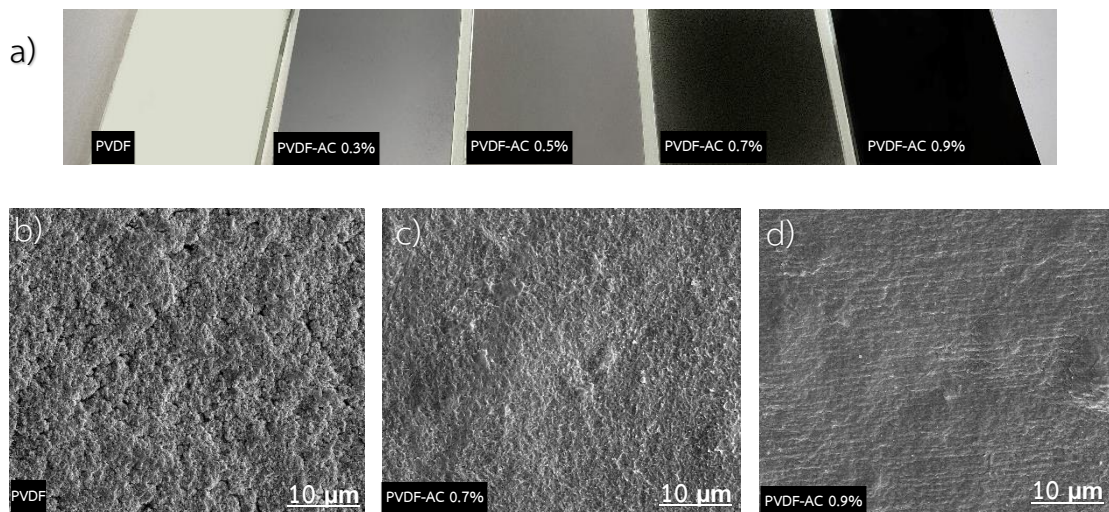
ผลการวิจัย

ลักษณะสัณฐานคาร์บอนกัมมันต์วิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ FE-SEM ซึ่งแสดงในรูปที่ 2a.) โดยมีลักษณะอนุภาคมีความเป็นรูพรุนตามขนาดที่แตกต่างกันไป รูปที่ 2b.) แสดงการผลขององค์ประกอบเฟสโครงสร้างคาร์บอนกัมมันต์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ปรากฏเฟสของคาร์บอนที่ตำแหน่งมุม 2θ ประมาณ 23.5 และ 46 องศา ซึ่งตรงกับตำแหน่งพีคของวัสดุคาร์บอน (Dandekar A, 1998)



รูปที่ 2 a) ภาพ SEM คาร์บอนกัมมันต์ b) สเปกตรัม XRD ของคาร์บอนกัมมันต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

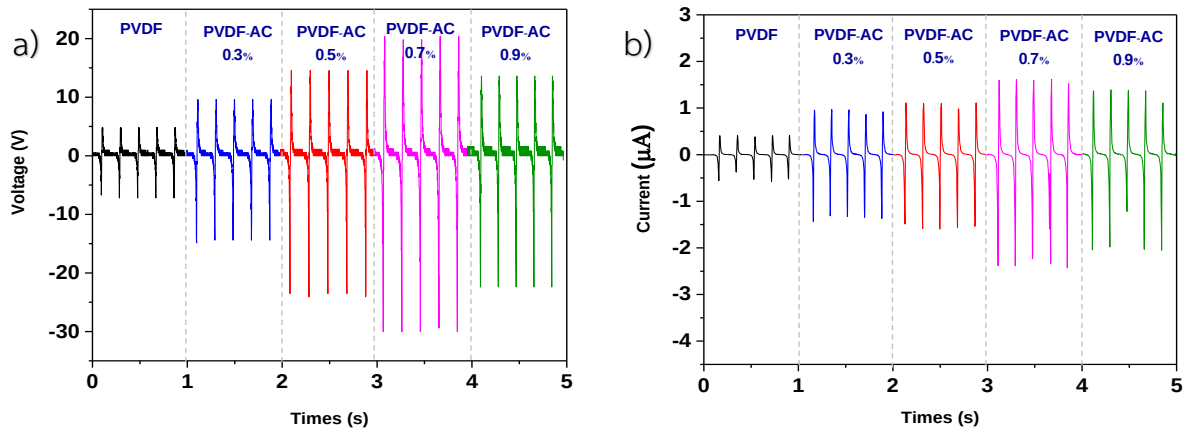
จากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของวัสดุคอมพอสิตดัง รูปที่ 3a.) สีของวัสดุคอมพอสิตจะมีสีเข้มขึ้นจนเป็นสีดำสนิทเมื่อเราทำการเพิ่มปริมาณของคาร์บอนจาก 0.3%-0.9% โครงสร้างจุลภาคของวัสดุคอมพอสิตจะศึกษาด้วยเทคนิค Field Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM) ในรูปที่ 3b, 3c และ 3d) เห็นได้ชัดว่าวัสดุคอมพอสิต PVDF-AC มีพื้นที่ผิวเรียบขึ้น เมื่อเทียบกับ PVDF เนื่องจากอนุภาคคาร์บอนเข้าไปแทรกตัวระหว่างช่องว่างของอนุภาคของพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ ทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างผิวของวัสดุคอมพอสิต PVDF-AC และเทพลอนมีการเปลี่ยนแปลงตามลำดับ



รูปที่ 3 a) สีวัสดุคอมพอสิตที่สังเคราะห์ได้ในอัตราส่วนคาร์บอนที่ต่างกัน 0.3%-0.9%, b), c) และ d) รูป SEM ของพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์บริสุทธิ์, วัสดุคอมพอสิตที่มีคาร์บอนเป็นส่วนผสม 0.7% และ 0.9% ตามลำดับ

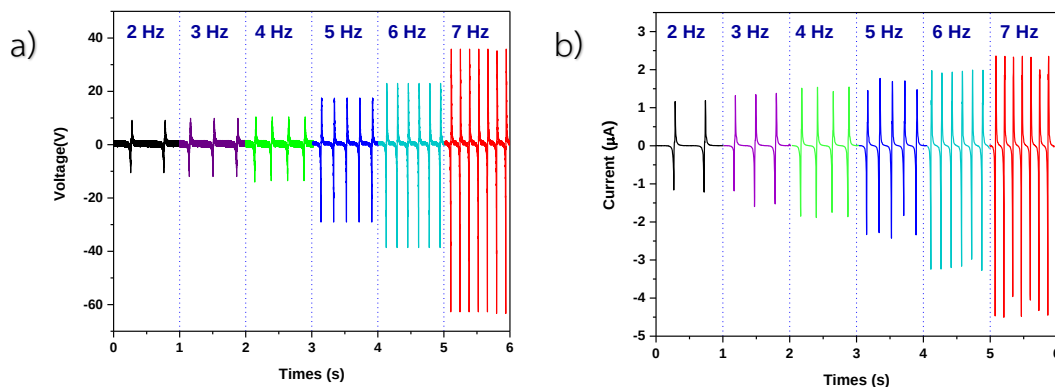
การศึกษาผลลัพธ์ทางไฟฟ้าของวัสดุคอมพอสิตที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้านาโนแบบทริโบอิเล็กทริก แสดง ดังรูปที่ 4 a.) และ รูปที่ 4 b.) คือค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าตามลำดับ สังเกตได้ว่าที่ความเข้มข้น 0.7% ให้ค่าผลลัพธ์ทางไฟฟ้าทางไฟฟ้ามากที่สุดโดยมีความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ที่ 48 โวลต์ และกระแส 3.7 ไมโครแอมแปร์ เมื่อเพิ่มปริมาณคาร์บอนจะส่งผลทำให้ผลลัพธ์ทางไฟฟ้าทางไฟฟ้าสูงขึ้นเป็นลำดับในช่วงตั้งแต่ PVDF-AC 0.3% จนถึง PVDF-AC 0.7% เนื่องจากคุณสมบัติการดักจับประจุของคาร์บอนกัมมันต์ที่เติมในวัสดุคอมพอสิต ทำให้วัสดุสามารถกัก

เก็บประจุไฟฟ้าได้ดี (Al-Sehemi and Abdullah G, 2017) และที่ AC 0.9% พบว่าค่าผลลัพธ์ทางไฟฟ้ามีค่าลดลงเนื่องมาจากพื้นผิวของวัสดุมีบริเวณที่สัมผัสน้อยลงดังภาพที่ ส่งผลทำให้วัสดุประจุไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้า ทำให้ค่าผลลัพธ์ทางไฟฟ้าลดลง



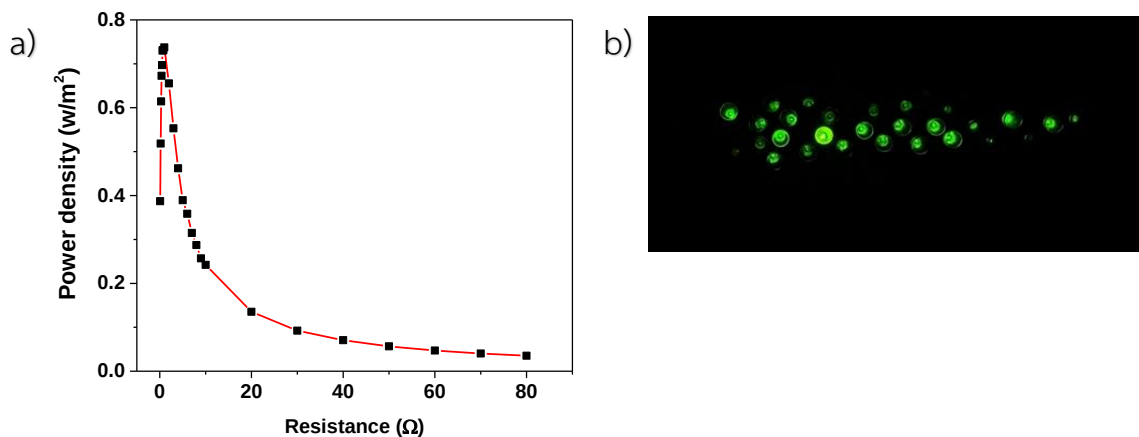
รูปที่ 4 ผลลัพธ์ทางไฟฟ้าของ PVDF และ วัสดุคอมพอสิต PVDF-AC 0.3-0.9%

การศึกษาค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของวัสดุคอมพอสิต PVDF-AC 0.7% ที่ความถี่ 2-7 เฮิร์ตซ์ เห็นได้ว่าเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น ค่าผลลัพธ์ทางไฟฟ้าทางไฟฟ้าจะเพิ่มตามไปด้วย เนื่องจากมีเกิดการการรบกวนเชิงกลมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าที่ผิววัสดุได้มากขึ้น (Wang and Z. L, 2017) ทำผลลัพธ์ทางไฟฟ้าทางไฟฟ้ามากขึ้นตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า วัสดุคอมพอสิต PVDF-AC 0.7% ที่ความถี่ 7 รอบต่อวินาที พบว่าค่าความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าสูงสุด 98 โวลต์ และ 6.4 ไมโครแอมแปร์



รูปที่ 5 ผลลัพธ์ทางไฟฟ้าของวัสดุคอมพอสิต PVDF-AC ที่ความถี่ 2-7 รอบต่อวินาที

การทดสอบการใช้งานจริงของวัสดุคอมพอสิต PVDF-AC 0.7% ที่ความถี่ 5 รอบต่อวินาที โดยศึกษาค่าความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า (power density) พบว่าที่ค่าความต้านทาน 1 โอห์ม ให้ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 0.73 วัตต์ต่อตารางเมตรดังรูปที่ 6a.) ประสิทธิภาพของวัสดุคอมพอสิต PVDF-AC 0.7% สามารถทำให้หลอด LEDs สว่างได้จำนวน 27 หลอด



รูปที่ 6 การทดสอบการใช้งานจริง a) ความหนาแน่นกำลังไฟฟ้า b) จ่ายไฟเข้า LEDs

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการนำอนุภาคคาร์บอนกัมมันต์มาเป็นสารคอมพอสิตกับพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์เพื่อใช้ประดิษฐ์เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้านาโนแบบทริโบอิเล็กทริก พบว่าเมื่อพิจารณาผิวของวัสดุคอมพอสิตพบว่าเมื่อเติมคาร์บอนกัมมันต์เข้าไปจะทำให้มีผลต่อพื้นที่ผิวของวัสดุ เนื่องจากอนุภาคของคาร์บอนกัมมันต์ได้เข้าไปแทนที่ช่องว่างระหว่างอนุภาคของ PVDF ภายในวัสดุ และเมื่อพิจารณาถึงผลลัพธ์ทางไฟฟ้า พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเติมคาร์บอนกัมมันต์ 0.7% โดยเทียบกับ PVDF ซึ่งมีค่าความต่างศักย์, กระแสไฟฟ้า และความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าเป็น 48 โวลต์, 3.4 ไมโครแอมแปร์ และ 0.73 วัตต์ต่อตารางเมตรตามลำดับ เนื่องมาจากคาร์บอนกัมมันต์นั้นเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูงจึงสามารถประจุตัวเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า ทำให้ประจุไฟฟ้ารวมตัวกันอยู่ที่บริเวณผิวของคอมพอสิตเป็นปริมาณมาก ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้านาโนแบบทริโบอิเล็กทริก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนการใช้เครื่องมือในการทางานวิจัยครั้งนี้ และขอขอบคุณ ผศ.ดร. วียะดา หาญชนะ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัยเป็นอย่างสูง ที่ให้คาปรึกษาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในทางานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Ahmedna M. The use of nutshell carbons in drinking water filters for removal of trace metals. Water Research 2014; 38(4): 1062-1068.
- Al-Sehemi, Abdullah G. Effect of Activated Carbons on the Dielectric and Microwave Properties of Natural Rubber Based Composites. Materials Research 2014; 20(5): 1211-1220.
- Dandekar A. Characterization of activated carbon, graphitized carbon fibers and synthetic diamond powder using TPD and DRIFTS. Carbon 1998; 36(12): 1821-1831.
- Niu S. Theoretical Study of Contact-Mode Triboelectric Nanogenerators as an Effective Power Source. Energy Environ. Sci 2013; 6: 3576.
- Niu S, Z. L. Theoretical Systems of Triboelectric Nanogenerators. Nano Energy 2015; 14: 161.

- Wang, Z. L. Toward the blue energy dream by triboelectric nanogenerator networks. Nano Energy 2017; 39: 9-23.
- Yang Y. Single-Electrode Based Triboelectric Nanogenerator as Self-Powered Tracking System. Adv. Mater 2013; 25: 6594.
- Yu H. Preparation and optimization of Polyvinylidene fluoride (PVDF) triboelectric nanogenerator via electrospinning. IEEE-NANO 2015; 197: 1485-1488