



## โครงการทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

การผลิตพลังงานจากของเสียชีวภาพเปลือกมะนาวผสมโพลิเมอร์

Bio-waste lemon peel and polymer hybrid for efficient energy  
harvesting

โดย

นายภูธเนศ ทองมา

ภาควิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2565



ใบรับรองโครงการทางวิทยาศาสตร์ชีวภาพ  
ภาควิชาวิทยาศาสตร์คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์ชีวภาพ)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์ชีวภาพ

สาขา

วิทยาศาสตร์

ภาควิชา

เรื่อง การผลิตพลังงานจากของเสียชีวภาพเปลือกมะนาวผสมโพลีเมอร์

BIO-WASTE LEMONPEELANDPOLYMERHYBRIDFOREFFICIENTENERGYHARVESTING

นามผู้วิจัย นายภูธเนศ ทองมา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(อาจารย์พุทธพร ส่องศรี, D.Eng)

ภาควิชาวิทยาศาสตร์คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์แดงอ่อน พรหมมี, ปร.ด.)

หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2565

# การผลิตพลังงานจากของเสียชีวภาพเปลือกมะนาวผสมโพลิเมอร์

ภูธนศ ทองมา และ พุทธพร ส่องศรี

## บทคัดย่อ

เปลือกมะนาวที่เป็นของเสียทางชีวภาพได้ถูกนำมาพัฒนาให้เป็นสารผสมที่สามารถให้พลังงานทางไฟฟ้าได้และเป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพมากเนื่องจากในปัจจุบันมีขยะชีวภาพจำนวนมากที่เป็นของเหลือจากภาคครัวเรือนและมะนาวเป็นหนึ่งในขยะชีวภาพที่เป็นของเหลือทิ้งมากที่สุด ดังนั้นการกำจัดของเสียทางชีวภาพจึงต้องใช้การฝังกลบแต่วิธีนี้จะส่งผลให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจำนวนมาก จึงมีความพยายามที่จะใช้ขยะชีวภาพให้เกิดประโยชน์ในหลายด้านโดยขยะชีวภาพที่เลือกใช้คือเปลือกมะนาวเนื่องจากภายในเปลือกมะนาวมีสารที่มีอนุภาคที่สามารถใช้เป็นสารที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าได้โดยผ่านการผสมกับสารชนิดอื่น ๆ ที่สามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้เช่นกัน สารผสมนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานโดยให้พลังงานไม่สูงมาก การศึกษานี้ได้รวบรวมและนำเสนอข้อมูลจากวารสารวิชาการระดับนานาชาติเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเปลือกมะนาวยังไม่มีผลการทดลองจริง

คำสำคัญ: ขยะชีวภาพ, เปลือกมะนาว, พลังงาน, ความหนาแน่นของพลังงาน

# BIO-WASTE LEMON PEEL AND POLYMER HYBRID FOR EFFICIENT ENERGY HARVESTING

Phutanet Thongmaand PuttapornSongsri

---

## ABSTRACT

Bio-waste lime peels have been developed into electric and energy-efficient blends. Due to the large amount of bio-waste that is left over from the household sector and lime is one of the most bio-waste wastes, bio-waste disposal requires landfill. causing a lot of pollution to the environment Therefore, there are efforts to use bio-waste to benefit in many ways. The bio-waste that has been chosen is lemon peel because the inside of the lemon peel contains particulate matter that can be used as a substance that generates electricity through mixing with it. Other substances that can provide electrical energy as well. The mixture was created as a low-energy source of energy. This study compiles and presents data from an international academic journal on the utilization of bioactive substances from lemon peels. Area for abstract which is strictly translated from Thai abstract sentence by sentence.

Keywords: Bio-waste, Lemon peel, Energy, Power density

## บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันการบริโภคเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างมากเนื่องจากมีประชากรเพิ่มมากขึ้นทั่วโลกซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบเศรษฐกิจและทรัพยากรทั่วโลกและจากการที่ประชากรมนุษย์เพิ่มขึ้นทำให้มีการบริโภคเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้มีขยะชีวภาพที่เกิดจากการบริโภคมากยิ่งขึ้นดังนั้นก็มีการคิดค้นวิธีการใช้ประโยชน์จากขยะชีวภาพให้เกิดประโยชน์ได้มากที่สุดเพื่อเป็นการกำจัดและใช้ประโยชน์จากขยะในเวลาเดียวกันซึ่งในการวิจัยนี้เราจะนำเสนอข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการนำขยะชีวภาพมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยขยะชีวภาพที่เลือกมาคือเปลือกมะนาวซึ่งมีการใช้และเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากจากครัวเรือนมีความพยายามหลายครั้งในการสร้างเครื่องกำเนิดนาโนหรือนำไปแปรรูปให้อยู่ในรูปแบบหิน(K. Surya \*, M.S.Michael) ที่สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้แต่ในการทำวิจัยครั้งนี้เราจะนำเปลือกมะนาวมาใช้ในการผลิตเซลล์พลังงานโดยเซลล์ที่ผลิตขึ้นมานั้นจะมีคุณสมบัติเป็นเพียโซอิเล็กทริก d(Gaur, A., Kumar, C., Shukla, R., Maiti, P., 2017)ซึ่งจะต้องมีธาตุต่อไปนี้ เช่น ZnO, PMN-PT, BaTiO<sub>3</sub>, ZnSnO<sub>3</sub>, PZT

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมและนำเสนอข้อมูลจากวารสารวิชาการระดับนานาชาติเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเปลือกมะนาวโดยศึกษาองค์ประกอบของเปลือกมะนาวการนำไฟฟ้าของเปลือกมะนาวเพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์จากเปลือกมะนาวและนำไปสู่การสร้างพลังงานที่เรียกว่าเพียโซอิเล็กทริกโดยนำเปลือกมะนาวมาผ่านกระบวนการต่างๆแล้วนำมาผสมกับโพลีเมอร์หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งคือ LE-ENERGY เพื่อทำให้เกิดการยืดหยุ่นเพื่อที่จะนำไปทำการทดสอบค่าพลังงานที่ได้จากวัสดุผสมดังกล่าว

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1. การเตรียมตัวอย่างเปลือกมะนาว

การเตรียมตัวอย่างเปลือกมะนาวจะตัดแปลงมาจากการศึกษาของ(Anupama Gaur et al.,2020.)โดยนำเปลือกมะนาวไปทำความสะอาดเพื่อขจัดสิ่งสกปรกและนำไปตากจนแห้งเป็นเวลา 2-3วันหลังจากนั้นนำไปบดให้เป็นผงละเอียดเพื่อใช้เป็นสารในการผสมกับวัสดุโพลีเมอร์ระหว่างนี้ควรเก็บในที่ที่ปราศจากความชื้นเพื่อป้องกันเชื้อรา

### 2. การเตรียมตัวอย่างวัสดุ

การเตรียมตัวอย่างวัสดุจะตัดแปลงมาจาก(Anupama Gaur et al.,2020.)โดยละลายโพลีไวนิลลิซีนในไดเมทิลฟอร์มาไมด์ที่อุณหภูมิ 60 °Cหลังจากละลายโพลีไวนิลลิซีนในไดเมทิลฟอร์มาไมด์อย่างสมบูรณ์แล้วให้ลดอุณหภูมิลงและผสมผงเปลือกมะนาวกับสารละลายโพลีเมอร์และกวนสารละลายให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ให้แห้งเมื่อแห้งสนิทให้นำไปอบในเตาอบสูญญากาศเป็นเวลาหนึ่งคืน

### 3. การเตรียมตัวอย่างวัสดุที่ใช้ทดสอบค่าพลังงาน

การเตรียมตัวอย่างวัสดุที่ใช้ทดสอบค่าพลังงานจะตัดแปลงมาจาก (Anupama Gaur et al.,2020.)โดยหลังจากเตรียมตัวอย่างวัสดุเสร็จแล้วในขั้นตอนนี้เราจะนำตัวอย่างวัสดุที่ได้มาทำให้พร้อมเพื่อที่จะทดสอบค่าพลังงานโดยนำวัสดุดังกล่าวมาเคลือบด้วยซิลเวอร์เพสต์และต่อสายทองแดงทั้งสองข้างเพื่อใช้วัดค่าพลังงานแล้วพันรอบด้วยเทปโพลีโพรพิลีน

### 4. ศึกษาลักษณะโครงสร้างของวัสดุ

เป็นการศึกษาโครงสร้างภายในของเปลือกมะนาวเพื่อให้ทราบว่าภายในเปลือกมะนาวมีสารตัวไหนบ้างที่สามารถให้พลังงานได้โดยการศึกษาโครงสร้างภายในจะศึกษาดังนี้

1.การยิงรังสี:โดยยิงรังสีเข้าไปในวัสดุเพื่อศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีXRDโดยใช้ Rigaku Miniflex 600 X-ray diffractometer

2.ฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR): การวัด FTIR จะวัดในโหมดสะท้อนแสงที่อุณหภูมิห้อง

3.การส่องกล้อง: โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์เพื่อศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในของวัสดุ LE-ENERGY

4.การแสดกน: โดยใ้ก้ล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนศึษาโครงสร้างพื้นผิวของวัสดุผสมเพื่อที่จะสามารถมองเห็นโครงสร้างภายในได้อย่างชัดเจนจากการใช้กำลังขยาย 40x

### 5.การศึกษาค่าพลังงานจากการกระทำต่างๆต่อวัสดุ

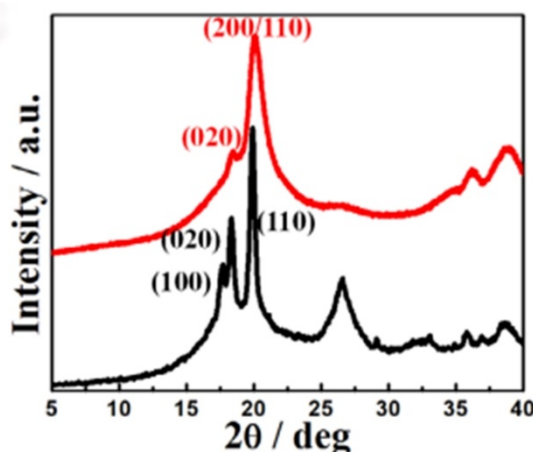
วัดแรงดันไฟฟ้าในวงจรเปิดโดยใช้ออสซิลโลสโคปแบบจับเก็บข้อมูลดิจิทัล Tektronix TBS1072B สำหรับการวัดกำลังไฟฟ้า แรงดันไฟขาออกจะถูกวัดโดยเทียบกับค่าความต้านทานที่ต่างกันและนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้าโดยการทดสอบค่าพลังงานจะมีการกระทำสิ่งต่างๆต่อวัสดุไม่ว่าจะเป็นการบิด กัดงอ หรือกับทุบเพื่อศึกษาว่าวิธีการใดที่กระทำต่อวัสดุแล้วทำให้วัสดุLE-ENERGY ให้พลังงานที่สูงที่สุด

### ผลการศึกษาจากงานวิจัยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

#### 1.ลักษณะและโครงสร้าง

##### 1.1)ศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสี XRD

จากการศึกษาพบว่าการยั้งรังสีเพื่อศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสี XRDโดยใช้ Rigaku Miniflex 600 X-ray diffractometerโดยใช้เปลือกมะนาวและโพลีเมอร์เป็นตัวทดสอบพบว่าวัสดุLE-ENERGY มีรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบ XRDดังนี้



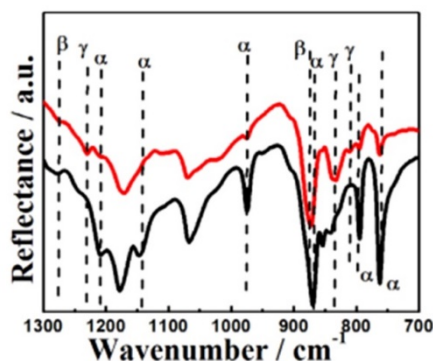
ภาพที่1เป็นกราฟแสดงค่าการยั้งรังสีของวัสดุ LE-ENERGYและวัสดุโพลีเมอร์บริสุทธิ์โดยสีแดง

เป็นกราฟแสดงค่าของวัสดุ LE-ENERGYและสีดำเป็นกราฟแสดงค่าของวัสดุโพลีเมอร์บริสุทธิ์พบว่าที่ 2 theta 20องศาวัสดุทั้ง2ชนิดมีค่า Intensity สูงที่สุด

ที่มา:(Shah et al., 2004; Lopes et al., 2011).

## 1.2) ศึกษาการสะท้อนแสงที่อุณหภูมิห้อง

จากการศึกษาพบว่าค่าการสะท้อนแสงจากการยิงอินฟราเรดจากเครื่องฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีโดยใช้เปลือกมะนาวและโพลีเมอร์เป็นตัวทดสอบพบว่าวัสดุ LE-ENERGY และโพลีเมอร์บริสุทธิ์ที่มีค่าการสะท้อนแสงดังนี้



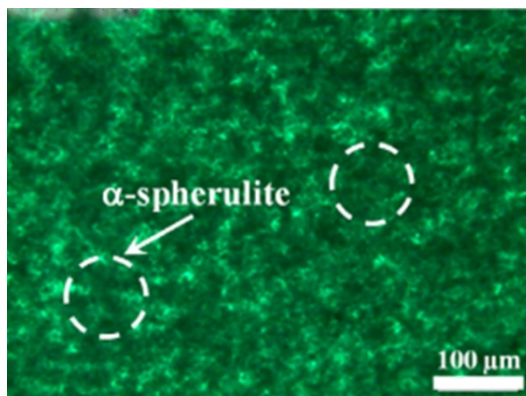
ภาพที่ 2 เป็นกราฟแสดงค่าการยิงรังสีของวัสดุ LE-ENERGY และวัสดุโพลีเมอร์บริสุทธิ์โดยสีแดงเป็นกราฟแสดงค่าของวัสดุ LE-ENERGY และสีดำเป็นกราฟแสดงค่าของวัสดุโพลีเมอร์บริสุทธิ์ โดยค่าพีคของวัสดุ LE-ENERGY แสดงเป็นค่า  $\alpha$  ที่ 760, 796, 866, 975 และ 1210  $\text{cm}^{-1}$

ที่มา: (Kumar et al., 2019; Martins et al., 2014; Tiwari et al., 2019).

## 1.3) ศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์

จากการศึกษาโครงสร้างของวัสดุ LE-ENERGY เปรียบเทียบกับวัสดุโพลีเมอร์พบว่าวัสดุโพลีเมอร์ (รูปที่ 1) มีเนื้อวัสดุที่ค่อนข้างใหญ่เห็นได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเราเรียกช่องว่างระหว่างเนื้อวัสดุว่าแอลฟาสไฟรูไลต์ในขณะเดียวกันวัสดุ LE-ENERGY (รูปที่ 2) มีเนื้อวัสดุที่ค่อนข้างละเอียดกว่าและอัดแน่นกว่าเนื่องจากการผสมรวมกันระหว่างโพลีเมอร์กับเปลือกมะนาวโดยเราเรียกชื่อการอัดแน่นระหว่างอนุภาคของวัสดุ LE-ENERGY ว่า แกรมม่าเฟส

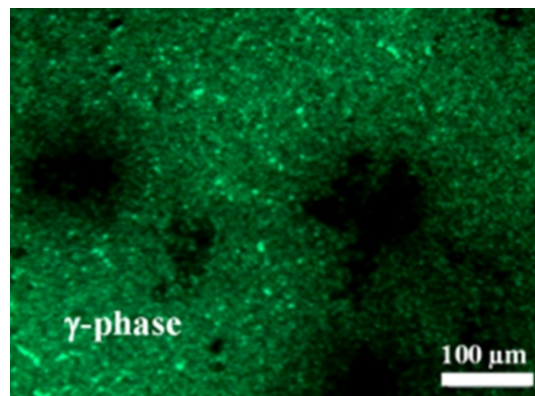




ภาพที่ 1

เป็นภาพโครงสร้างภายในของวัสดุโพลีเมอร์จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์

ที่มา:(Shalini and Gupta, 2010; Gaur et al., 2017).

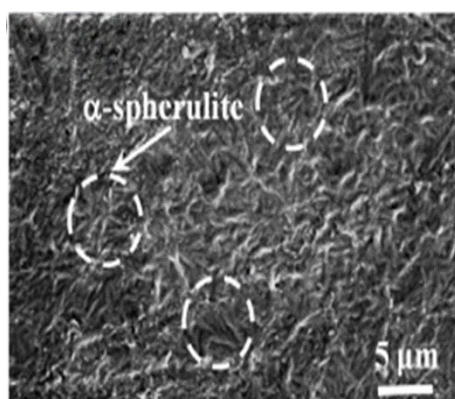


ภาพที่ 2

เป็นภาพโครงสร้างภายในของวัสดุ LE-ENERGY จากการส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงโพลาไรซ์

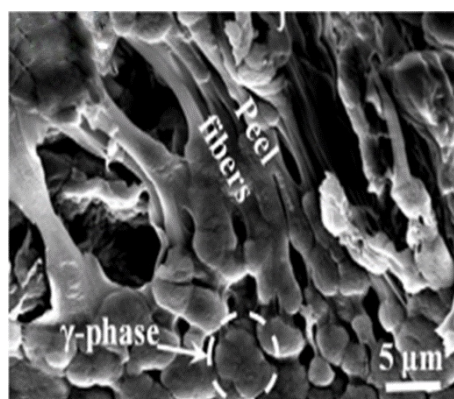
1.4) ผลจากการสแกนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเพื่อศึกษาโครงสร้างพื้นผิวของวัสดุโพลีเมอร์และวัสดุLE-ENERGY

จากการสแกนโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเพื่อศึกษาโครงสร้างพื้นผิวของวัสดุโพลีเมอร์และวัสดุ LE-ENERGY พบว่าโครงสร้างของวัสดุโพลีเมอร์(ภาพที่1)มีโครงสร้างที่เล็กและการเรียงตัวของเนื้อเยื่อแบบมั่วๆส่วนโครงสร้างของวัสดุ LE-ENERGY(ภาพที่2)มีโครงสร้างที่ใหญ่กว่าและมีการเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบอย่างเห็นได้ชัด



ภาพที่ 1

เป็นภาพโครงสร้างพื้นผิวของวัสดุโพลีเมอร์จากการสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน



ภาพที่ 2

เป็นภาพโครงสร้างภายในของวัสดุ LE-ENERGY จากการสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

ที่มา:(Alam and Mandal, 2016).

## 2.ผลของการศึกษาค่าพลังงานจากการกระทำต่างๆต่อวัสดุ

จากการศึกษาค่าพลังงานของวัสดุ LE-ENERGY โดยการบิด การงอ และการทุบผลปรากฏว่าการบิดวัสดุ LE-ENERGY สามารถให้พลังงานออกมาได้มากที่สุดเนื่องจากการบิดทำให้ทุกส่วนของวัสดุเกิดการเคลื่อนที่หรือเสียดสีกันระหว่างโมเลกุลภายในจึงมีผลให้มีการปล่อยกระแสพลังงานออกมา มากที่สุดและพลังงานที่ได้ค่อนข้างคงที่ต่อมาคือการงอวัสดุ LE-ENERGY ซึ่งการงอทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในได้บางส่วนดังนั้นค่าพลังงานที่ปล่อยออกมาจึงมีค่าพลังงานที่น้อยกว่าการทดสอบโดยการบิดและพลังงานที่ได้ไม่คงที่คงที่จะมีพลังงานเป็นลูกคลื่นสลับขึ้นลงมากและพลังงานจะมากที่สุดต่อเมื่อวัสดุทดสอบถึงจุดพีคที่สุดและสุดท้ายการทดสอบค่าพลังงานโดยการทุบวิธีการนี้เป็นวิธีที่ทำให้วัสดุ LE-ENERGY ปล่อยพลังงานออกมาน้อยที่สุดและพลังงานที่ได้ไม่สม่ำเสมอแต่จะได้พลังงานที่สูงที่สุด ณ ช่วงเวลาหนึ่งซึ่งพลังงานที่สูงที่สุดนี้มาจากการกระทบกันของโมเลกุลภายในที่เกิดจากการทุบทำให้ปล่อยพลังงานออกมาสูงสุดและหมดไป

## วิจารณ์ผลการศึกษา

เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรค COVID-19 ทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนแผนงานจากการทำงานวิจัยแบบที่มีปฏิบัติการมาเป็นรายงานการศึกษาค้นคว้าข้อมูลอย่างอิสระทดแทนจึงไม่สามารถนำเสนอข้อมูลหรือผลการทดลองจากการลงมือปฏิบัติจริงได้แต่จะเป็นการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ที่มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือในทางวิชาการ ซึ่งในปัจจุบันมีผู้วิจัยได้ศึกษาและรายงานการวิจัยที่เกี่ยวกับสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเปลือกมะนาว ทำให้ทราบว่าในเปลือกมะนาวมีสารที่อุดมไปด้วยเส้นใยโปรตีน น้ำมัน และสารฟลาโวนอยด์ และเปลือกมะนาวเป็นตัวอย่างเปลือกผลไม้ที่มีคุณสมบัติเพียโรซิโอเล็กทริกซึ่งเป็นขยะชีวภาพที่สามารถนำมาพัฒนาให้ดีขึ้นได้และจะช่วยลดมลพิษที่เป็นอันตรายโดยสารฟลาโวนอยด์ที่มีอยู่ในขยะเปลือกมะนาวที่ได้จากขั้นตอนต่างๆ ของการแปรรูปทางอุตสาหกรรม พบว่าจะมีอยู่ในเปลือกมากกว่าในน้ำ ซึ่งแสดงถึงศักยภาพทางอุตสาหกรรมที่ยอดเยี่ยมในการค้นพบฟลาโวนอยด์ที่ซ่อนอยู่ในเปลือกการที่เราจะได้มาซึ่งพลังงานที่ซ่อนอยู่ในเปลือกมะนาวนั้นเราต้องนำไปผ่านกระบวนการต่างๆ โดยกระบวนการดังกล่าวมีขั้นตอนที่ค่อนข้างซับซ้อนต้องผ่านการผสมกับวัสดุโพลีเมอร์เพื่อนำมาสร้างเป็นชิ้นงานและเป็นการเพิ่มค่าพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากในวัสดุโพลีเมอร์สามารถสร้างพลังงานได้จะแสดงให้เห็นในงานวิจัยของ(Gaur et al., 2018, 2016; Kumar et al., 2017).กล่าวไว้ว่าวัสดุโพลีเมอร์เมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะสามารถสร้างพลังงานในรูปแบบเพียโรซิโอเล็กทริกได้ซึ่งพลังงาน

ในรูปแบบเพียโซอิเล็กทริกได้ถูกอธิบายไว้ในงานวิจัยของ(Fukada, E., 2000). โดยมีใจความว่าในพอลิเมอร์ที่มีแหล่งกำเนิดทางชีวภาพ (เช่น เซลลูโลสและคอลลาเจน) เช่นเดียวกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่ออกฤทธิ์ทางแสง (เช่น โพลีเอไมด์และกรดพอลิแลกติก)

ดังนั้นการศึกษาการใช้ประโยชน์สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากเปลือกมะนาวในการศึกษานี้จะนำไปสู่การใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่อไป แต่เนื่องจากเปลือกมะนาวเน่าเสียง่ายจึงอาจจะต้องนำมาอบหรือตากแดดให้แห้งเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาก่อนที่จะนำไปสู่กระบวนการผลิตวัสดุเพื่อใช้ทดสอบค่าพลังงาน นับเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่าอีกทางหนึ่ง ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมและเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ได้เป็นอย่างดี

### สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่าภายในเปลือกมะนาวมีสารผสมที่สามารถให้พลังงานทางไฟฟ้าได้และเป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพมากเนื่องจากมีสารประกอบด้วยเซลลูโลสและโปรตีนต่างๆที่สามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริกได้ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดสารพอลิเมอร์ในเมทริกซ์โดยภายในเปลือกมะนาวมีอนุภาคขนาดเล็กมากซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดไฟฟ้าขึ้นเป็นช่วงๆโดยการศึกษาค่าพลังงานที่ได้จากเปลือกมะนาวต้องศึกษาองค์ประกอบอื่นร่วมด้วยเพื่อให้ทราบถึงโครงสร้างภายในทั้งนี้การศึกษาจะศึกษาวัสดุ 2 ชนิดได้แก่วัสดุพอลิเมอร์และวัสดุ LE-ENERGY โดยผลการศึกษาการยิงรังสีเอกซ์ด้วยเครื่อง XRD พบว่าที่ระนาบเดียวกัน LE-ENERGY มีการเลี้ยวเบนของรังสีน้อยกว่าพอลิเมอร์ต่อมาการทดสอบการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดด้วยเครื่อง FTIR พบว่า LE-ENERGY มีค่าแอลฟาเฟสสูงสุดที่ 760, 796, 866, 975 และ 1210  $\text{cm}^{-1}$  และจากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาจากการสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ POM พบว่า อนุภาคของ LE-ENERGY มีขนาดใหญ่กว่าพอลิเมอร์ และเมื่อนำมาศึกษาลักษณะโครงสร้างภายในจากการสแกนด้วยกล้อง SEM พบว่าโครงสร้างของ LE-ENERGY มีขนาดใหญ่และมองเห็นได้ชัดกว่าพอลิเมอร์เมื่อนำวัสดุ LE-ENERGY ไปทดสอบค่าพลังงานพบว่าค่าพลังงานที่ได้จากการบิดวัสดุไปมาสามารถให้พลังงานได้มากที่สุดและการทุบวัสดุสามารถปล่อยพลังงานออกมาได้น้อยที่สุดแต่อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงส่งนประกอบภายในของวัสดุทั้งสองเพิ่มเติมเพื่อนำไปพัฒนาต่อยอดในเชิงอุตสาหกรรมการผลิตไฟฟ้าทั้งนี้เพื่อเป็นการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากเปลือกมะนาวที่เหลือทิ้งจากภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมต่างๆให้เกิดประโยชน์สูงสุด

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ และ ฝ่ายกิจการนิสิต คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ให้ความสนับสนุนทุนการทำวิจัยในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- วันชัย เลิศวิจิตรจรัส,โกสินทร์ หาชะวี,อำนาจ สิทธิธรรมกุล. 2007. พัฒนาการของพอลิเมอร์นำไฟฟ้าและการนำไปใช้งาน. รายงานการวิจัย. ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
- Anupama Gaur, Chandan Kumar, PralayMaiti and Shivam Tiwari. 2020.Bio-waste orange peel and polymer hybrid for efficient energyharvesting.**Energy Reports** 6: 490-496.
- María Boluda-Aguilar, Antonio López-Gómez. 2013. Production of bioethanol by fermentation of lemon (Citrus limon L.) peel wastes pretreated with steam explosion. **Industrial Crops and Products**188-197.
- WaheedMiran, Mohsin Nawaz, Jiseon Jang, Dae Sung Lee. 2016. Sustainable electricity generation by biodegradation of low-cost lemon peel biomass in a dual chamber microbial fuel cell. **International Biodeterioration & Biodegradation** 106: 75-79.
- K. Surya \* , M.S. Michael. 2021. Hierarchical porous activated carbon prepared from biowaste of lemon peel for electrochemical double layer capacitors. **Biomass and Bioenergy**152:106175.
- Wen-Tien Hsiao 1 , Wen-Chi Kuo 1 , Hsin-Hon Lin 2,3,4 and Lu-Han Lai 1,\* . 2021. Assessment and Feasibility Study of Lemon Ripening Using X-ray Image of Information Visualization. **Applied Sciences**11, 3261
- M.H. Ahmed Abd El-ghfar1 ,Hayam M. Ibrahim1 \* , Ibrahim M. Hassan2 , A.A. Abdel Fattah2 and Marwa H. Mahmoud1. 2016. Peels of Lemon and Orange as Value-Added Ingredients: Chemical and Antioxidant Properties.**International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**5(12): 777-794.

- M. D. Mehare<sup>1,\*</sup>, A. D. Deshmukh<sup>2</sup>, and S. J. Dhoble<sup>3</sup>. 2021. Bio-waste lemon peel derived carbon based electrode in perspective of supercapacitor. **Mater Electron** 32:14057-14071
- Gaur, A., Kumar, C., Shukla, R., Maiti, P., 2017. Induced piezoelectricity in poly (vinylidene fluoride) hybrid as efficient energy harvester. **ChemistrySelect**. 2,8278–8287.
- Alam, M.M., Mandal, D., 2016. Native cellulose microfiber-based hybrid piezoelectric generator for mechanical energy harvesting utility. **ACS Appl. Mater. Interfaces**. 8, 1555–1558.
- Gaur, A., Kumar, C., Tiwari, S., Maiti, P. 2018. Efficient energy harvesting using processed poly (vinylidene fluoride) nanogenerator. **ACS Appl. Energy Mater**. 3019–3024.
- Fukada, E., 2000. History and recent progress in piezoelectric polymers. *IEEE Trans. Sonics Ultrason*. 47, 1277–1290.
- Shalini, R., Gupta, D.K., 2010. Utilization of pomace from apple processing industries: a review. *J. Food Sci. Technol*. 47, 365–371.
- Kumar, C., Gaur, A., Tiwari, S., Biswas, A., Rai, S.K., Maiti, P., 2019. Bio-waste polymer hybrid as induced piezoelectric material with high energy harvesting efficiency. **Compos. Commun**. 11, 56–61.
- Martins, P., Lopes, A., Lanceros-Mendez, S., 2014. Electroactive phases of poly (vinylidene fluoride): determination, processing and applications. *Prog. Polym. Sci*. 39, 683–706.
- Tiwari, S., Gaur, A., Kumar, C., Maiti, P., 2019. Enhanced piezoelectric response in nanoclay induced electrospun PVDF nanofibers for energy harvesting. **Energy** 171, 485–492.
- Shah, D., Maiti, P., Gunn, E., Schmidt, D.F., Jiang, D.D., Batt, C.A., Giannelis, E.P., 2004. Dramatic enhancements in toughness of polyvinylidene fluoride nanocomposites via nanoclay-directed crystal structure and morphology. **Adv. Mater**. 16, 1173–1177



