

การประยุกต์พลาสติกผสมกากกาแฟสำหรับโคมไฟแบบหลอดแอลอีดี

The application of plastic with mixed spent coffee grounds for LED lamp

นุชจิรา ดีแจ้ง^{1*}

^{1*}สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ต้าโพธิ์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000

^{1*}E-mail: nuchjirad@nu.ac.th

บทคัดย่อ

วัสดุคอมโพสิตพลาสติกผสมกากกาแฟที่อัตราการเติมกากกาแฟ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม ต่อพลาสติกโพลีเอทิลีน 20 กรัม เตรียมด้วยการกวนผสม บนเตาให้ความร้อน (Hot plate) อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ทำการอัดขึ้นรูปให้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมที่มีความหนา 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร ผลการเติมกากกาแฟลงในพลาสติกพบว่าค่าความหนาแน่นของพลาสติกผสมกากกาแฟมีค่าลดลง ลักษณะสีของแผ่นพลาสติกมีความทึบแสงเพิ่มขึ้นมีสีเป็นสีน้ำตาลเข้ม ผลจากความต้านทานการส่องผ่านของแสงในแผ่นคอมโพสิตพลาสติกทำให้พลาสติกมีความสามารถดูดซับแสงเพิ่มขึ้น สอดคล้องค่าการนำความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น ความร้อนจากหลอดไฟฟ้าแอลอีดีไหลผ่านได้ดีในแผ่นพลาสติกส่งผลให้โครงสร้างทำให้เกิดการโค้งหรืออ่อนตัวเมื่อมีแรงมากระทำ กล่าวได้ว่า ปริมาณของกากกาแฟส่งผลต่อสมบัติทางความร้อนของพลาสติกคอมโพสิตอย่างชัดเจน

คำสำคัญ: ค่าการนำความร้อน พลาสติกคอมโพสิต กากกาแฟ โคมไฟ หลอดแอลอีดี

* Corresponding author, e-mail: nuchjirad@nu.ac.th

Submission date: January 27, 2021/ Acceptance date: April 30, 2021/ Published date: May 11, 2021

Abstract

The plastic composite with spent coffee ground addition 1, 2, 3, 4 and 5 g per Polyethylene 20 g, there were mixed with hot plate temperature 100 °C It formed to shape by plastic plate mold with varying thickness 1, 2 and 3 mm. The result of addition spent coffee ground, the plastic composites were presented the decreased density, opaque characteristic and trended to dark brown color. The effect of transparent resistance of plastic composite plastic improved the adsorb the light incident that corresponded with increasing thermal conductivity. The plastic composite was good conducted the heat flow from the leading light source. It affected the bended structure of plastic under loading force. The conclusion that it was clearly dominated the thermal property in plastic composite by the spent coffee ground content.

Keywords: Thermal conductivity, plastic composite, coffee ground, lamp, LED

1. บทนำ

การเติมกากกาแฟแทนกาแฟสำเร็จรูปเป็นที่นิยมในปัจจุบัน การนำเมล็ดกาแฟมาคั่วบดมาผ่านความร้อนเพื่อนำน้ำกาแฟออกมา ทำให้เกิดกากกาแฟจำนวนมากตามความนิยมการบริโภค การกำจัดกากกาแฟสามารถทำได้โดยการนำไปเป็นปุ๋ย หรือแปรรูปนำไปใช้ประโยชน์ เช่น วัสดุดูดความชื้น ผลิตภัณฑ์เสริมความงาม พลาสติกคอมโพสิตที่ผสมกากกาแฟ และบรรจุภัณฑ์ทางอาหารที่ทำจากพลาสติกคอมโพสิตที่ผสมกากกาแฟ เป็นต้น [1-7] จากการศึกษาพบว่ากากกาแฟ มีส่วนประกอบของ Lignocellulosic จึงเหมาะต่อการนำไปเป็นส่วนผสมเพื่อเสริมแรงในโพลิเมอร์ นอกจากนี้ขยะพลาสติกมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามปริมาณประชากรและกิจกรรมในแต่ละวัน พลาสติกวัสดุที่ย่อยสลายได้ยากทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม [8, 9] โคมไฟในปัจจุบันถูกออกแบบให้เหมาะกับการใช้งานกับหลอดไฟแอลอีดี หลอดแอลอีดีเป็นหลอดไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานและมีการปลดปล่อยความร้อนต่ำกว่าหลอดไส้ การนำวัสดุเหลือใช้มาพัฒนาเพื่อก่อให้เกิดการนำไปใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตาม หลอดแอลอีดียังคงมีการปลดปล่อยความร้อนตลอดการใช้งาน ส่งผลให้เกิดความร้อนในตัววัสดุ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ ได้ ความหนาแน่น การส่องผ่านแสง ความยืดหยุ่น ภายใต้สภาวะการรับความร้อนจากหลอดแอลอีดี และค่าการนำความร้อนของพลาสติกผสมกากกาแฟ เป็นต้น ของพลาสติกผสมกากกาแฟที่เหมาะสมสำหรับการทำเป็นวัสดุโคมไฟแบบหลอดแอลอีดี นำศึกษาวัสดุพลาสติกคอมโพสิตที่เติมกากกาแฟในปริมาณแตกต่างกัน ทำการศึกษาค่าความหนาแน่น ค่าการนำความร้อน ความโปร่งแสง และการโค้งงอที่ได้รับความร้อนจากหลอดแอลอีดีที่กำลังไฟฟ้าแตกต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

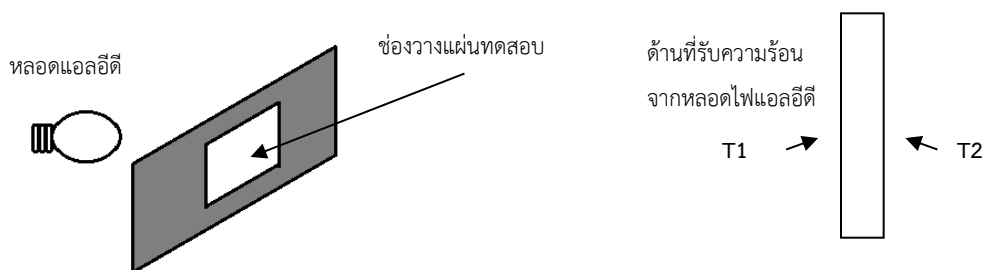
2. วิธีการทดลอง

2.1 ขั้นตอนการผสมและขึ้นรูปแผ่นพลาสติกผสมกากกาแฟ

กากกาแฟไปปั่นบดละเอียดตากให้แห้งสนิท ทำการอบผงกากกาแฟที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อไล่ความชื้นมีค่า นำเม็ดพลาสติกโพลีเอทธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low density polyethylene, LDPE) ปริมาณ 20 กรัม ต่อการเติมกากกาแฟปริมาณ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม ทำการกวนผสมให้พลาสติกด้วยมือ จนกระทั่งกากกาแฟกระจายตัวโดยให้ความร้อนแก่เม็ดพลาสติกช่วงอุณหภูมิ 100 บน hot plate องศาเซลเซียส ทำการกวนผสมตลอดเพื่อป้องกันการไหม้ของกากกาแฟ นำพลาสติกที่ผสมกากกาแฟเทลงบนแผ่นโลหะเพื่อรีดให้เป็นแผ่นบางที่ความหนาแตกต่างกัน 1, 2 และ 3 มิลลิเมตร

2.2 การทดสอบทางกายภาพของแผ่นพลาสติกผสมกากกาแฟ

ทำการหาค่าความหนาแน่นของแผ่นพลาสติกผสมกากกาแฟที่มีปริมาณการเติมแตกต่างกัน และตัดขนาดแผ่นพลาสติกผสมกากกาแฟที่ได้มีขนาด 6x6 ตารางเซนติเมตร นำมาทดสอบการส่องผ่านแสงของแผ่นพลาสติกผสมกากกาแฟที่เตรียมได้ ด้วยเปรียบเทียบแสงที่ส่องผ่านแสงจากหลอดไฟแอลอีดีกำลังไฟ 7 วัตต์ ที่ระยะห่าง 4 เซนติเมตร ภายในห้องทึบแสง บันทึกภาพถ่ายของแผ่นพลาสติกที่แสงส่องผ่าน ทำการทดสอบสมบัติการนำความร้อน นำชิ้นงานทดสอบวางทดสอบภายในกล่องเก็บกักความร้อนที่ไม่มีการรบกวนจากความร้อนภายนอก ภายในกึ่งกลางกล่องมีไม้หนา 5 มิลลิเมตร เจาะช่องตรงกลางขนาด กว้างxยาว = 5x5 ตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 1 สำหรับวัสดุทดสอบการนำความร้อน โดยมีหลอดไฟแอลอีดีชนิดแสงสีขาวที่กำลังวัตต์ 7, 9 และ 12 วัตต์ เป็นแหล่งให้ความร้อน แก่วสดุทดสอบ ที่ผิวชิ้นงานทดสอบมีเทอร์โมคัปเปิล Type K สำหรับวัดอุณหภูมิที่ผิวพลาสติก 2 ตำแหน่ง คือ ด้านหน้า (T1) และด้านหลัง (T2) ของแผ่นพลาสติกที่รับความร้อนจากหลอดไฟ ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิทุกๆ 5 วินาที เป็นเวลา 30 นาที ด้วย Datalogger นำค่าอุณหภูมิที่ได้มาคำนวณหาการนำความร้อนผ่านตัวกลางตามกฎของฟูเรียร์ (Fourier's law) ดังสมการที่ 1 [10]



รูปที่ 1 แสดงลักษณะการจัดวางอุปกรณ์เพื่อวัดค่าการนำความร้อน

$$Q_x = KA \frac{\Delta T}{\Delta L} \quad (1)$$

เมื่อ K = ค่าสภาพการนำความร้อน (วัตต์/เมตร·เคลวิน)

Q_x = แหล่งความร้อนความร้อน (วัตต์)

A = พื้นที่ (ตารางเมตร)

ΔT = ผลต่างอุณหภูมิ ด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นพลาสติก (เคลวิน)

ΔL = ความหนา (เมตร)

การทดสอบแรงดัดงอการโค้งงอ แบบ 3 point bending [11] โดยมีหลอดแอลอีดีเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อน วางแผ่นพลาสติกผสมกากกาแฟบนคานรับชิ้นงานที่ระยะห่าง 4.5 เซนติเมตร จากหลอดแอลอีดีที่มีกำลังไฟฟ้า 7, 9 และ 12 วัตต์ เมื่อครบ 1 ชั่วโมง นำแผ่นพลาสติกที่ได้รับความร้อนมาทดสอบการโค้งงอโดยใช้ลูกตุ้มที่มีน้ำหนัก 200 กรัม วางไว้บนกึ่งกลางแผ่นชิ้นงาน ดังรูปที่ 2 บันทึกภาพการโค้งงอและวัดค่ามุมโค้งงอของแผ่นพลาสติกจากภาพถ่ายด้วย โปรแกรม ImageJ นำค่าที่ได้มาคำนวณหาแรงในแผ่นพลาสติก ดังสมการ 2 ทำการทดสอบ จนครบ 3 ชั่วโมง และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

$$T = \frac{mg}{2 \sin \theta} \quad (3)$$

เมื่อ T = แรงภายในแผ่นพลาสติก (N)

θ = มุมการโค้งงอ

m = น้ำหนักที่ใช้ถ่วง (kg)

นำค่าแรงดึง T ที่ได้มาคำนวณหาค่ามอดูลัสด้วยสมการที่ (4)

$$\text{ความเค้น} = \frac{T}{A} \quad (4)$$

$$\text{ความเครียด} = \frac{\Delta L}{L_o} \quad (5)$$

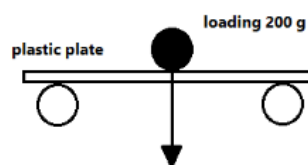
$$Y = \frac{T / A}{\Delta L / L} \quad (6)$$

เมื่อ Y = มอดูลัส (นิวตันต่อตารางเมตร)

A = พื้นที่หน้าตัดรับแรง (ตารางเมตร)

ΔL = ส่วนที่ยืดออกของวัสดุ (เมตร)

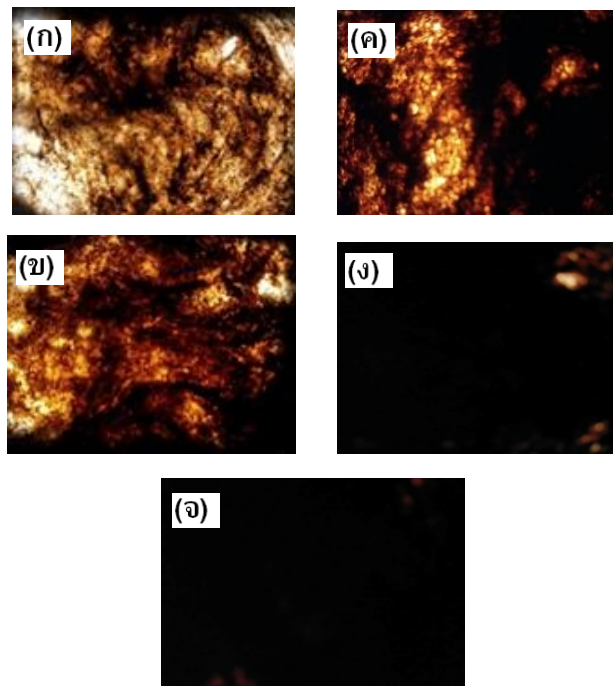
L_o = ความยาวเดิมของวัสดุ (เมตร)



รูปที่ 2 การทดสอบการโค้งงอของแผ่นพลาสติกแบบ 3 point bending

3. ผลการวิจัย

ค่าความหนาแน่นของวัสดุคอมโพสิตมีค่าลดลงตามปริมาณการเติมกากกาแฟ ดังตารางที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 0.62-1.25 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่การเติมกากกาแฟ 1-3 กรัม พบว่าค่าความหนาแน่นของแผ่นพลาสติกมีค่าลดลงอัตรา 0.15 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อการเติมกากกาแฟ 1 กรัม และความหนาแน่นมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเติมกากกาแฟมากกว่า 3 กรัม และมีความหนาแน่นน้อยที่สุดที่ปริมาณการเติมกากกาแฟ 5 กรัม ลักษณะทางกายภาพความโปร่งแสงของแผ่นพลาสติกผสมกากกาแฟที่มีปริมาณการเติมกากกาแฟแตกต่างกันดังรูปที่ 3 พบว่าแผ่นพลาสติกที่มีเติมกากกาแฟที่ 1-3 กรัม มีการกระจายตัวของผงกากกาแฟแบบไม่สม่ำเสมอและมีการกระจุกตัวของกากกาแฟในเนื้อพลาสติกกลุ่มก้อน ทั้งนี้อาจเกิดจากกระบวนการผสมที่ทำการผสมด้วยมือและความหนืดของพลาสติกทำให้กระจายกระจายตัวของกากกาแฟในพลาสติกได้น้อย แผ่นพลาสติกที่ได้มีลักษณะโปร่งแสงที่มีแสงทะลุผ่านและทึบบางส่วนของเนื้อวัสดุ สีของแผ่นพลาสติกที่ปรากฏมีลักษณะเป็นสีน้ำตาลอ่อนและเข้มปริมาณกากกาแฟที่เติม ที่ปริมาณการเติมกากกาแฟ 4 และ 5 กรัม แสงไม่สามารถทะลุผ่านได้มีความทึบแสงเพิ่มขึ้น



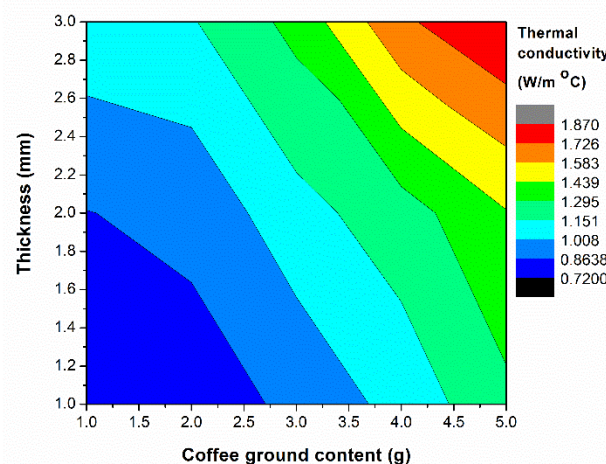
รูปที่ 3 ความโปร่งแสงของแผ่นพลาสติกผสมกากกาแฟ (ก)-(จ) ที่ปริมาณการเติมกากกาแฟ 1, 2, 3, 4 และ 5 กรัม

ค่าการนำความร้อนของแผ่นพลาสติกผสมกากกาแฟมีค่าอยู่ในช่วง 0.72 – 1.87 วัตต์/เมตร·เคลวิน และมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมกากกาแฟและความหนาของแผ่นพลาสติก ทั้งนี้ค่าการนำความร้อนของแผ่นพลาสติกผสมกากกาแฟการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของจากกราฟความสัมพันธ์ค่าการนำความร้อนและความหนาของแผ่นพลาสติกผสมกากกาแฟ ดังรูปที่ 5 พบว่าลักษณะการนำความร้อนที่ปรากฏสามารถแบ่งตามปริมาณการเติมกากกาแฟและความหนาของแผ่นพลาสติกออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 การเติมกากกาแฟ 1-2.7 กรัม ที่ความหนาของแผ่นพลาสติกระหว่าง 1-2 มิลลิเมตร ค่าการนำความร้อนมีค่าต่ำสุดระหว่าง 0.72-0.86 วัตต์/เมตร·เคลวิน ช่วงที่ 2 การ

เติมกากกาแฟมากกว่า 2.7 กรัม ที่ความหนา 2-2.6 มิลลิเมตร จะมีค่าการนำความร้อนในช่วง 0.86-1.0 วัตต์/เมตร·เคลวิน และความหนามากกว่า 2.6 มิลลิเมตร ค่าการนำความร้อนที่ได้มีค่ามากกว่า 1 การนำความร้อนที่ปรากฏเป็นผลจากการถ่ายเทความร้อนได้ดีภายในแผ่นพลาสติกคอมโพสิต

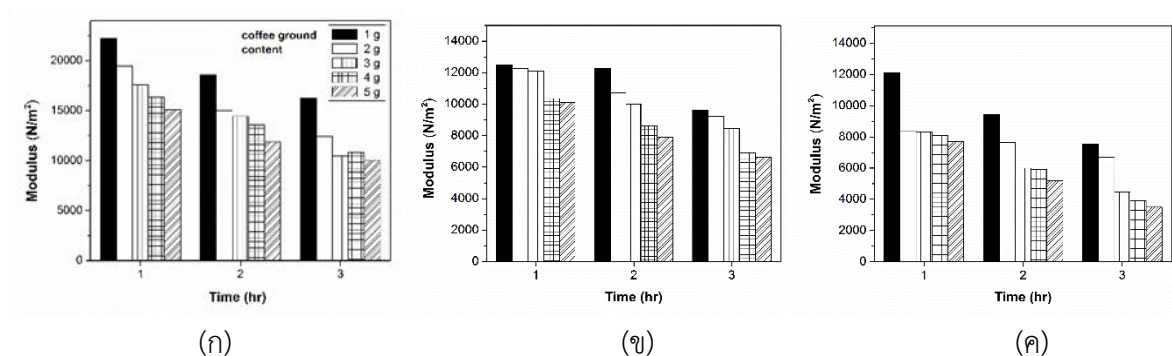
ตารางที่ 1 แสดงค่าความหนาแน่นและค่าการนำความร้อนของพลาสติกผสมกากกาแฟ

กากกาแฟ (กรัม)	ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์ เซนติเมตร)	ค่าการนำความร้อน (วัตต์/เมตร·เคลวิน) ของแผ่นพลาสติกที่ความหนา		
		1 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร	3 มิลลิเมตร
1	1.25	0.72	0.86	1.10
2	1.10	0.80	0.90	1.14
3	0.95	0.89	1.10	1.34
4	0.82	1.06	1.23	1.70
5	0.62	1.26	1.43	1.87



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณกากกาแฟ ความหนาและค่าการนำความร้อนของแผ่นพลาสติกผสมกากกาแฟ

จากรูปที่ 5 พิจารณาปริมาณความร้อนที่ได้จากแหล่งความร้อนหลอดแอลอีดีกำลังไฟฟ้า 7, 9 และ 12 วัตต์ พบว่าแผ่นพลาสติกที่มีการเติมกากกาแฟจะมีค่ามอดูล์ลดลงตามระยะเวลาที่ได้รับความร้อน [12] แผ่นพลาสติกที่มีการเติมกากกาแฟ 1 กรัม และได้รับความร้อนจากหลอดแอลอีดี 12 วัตต์ พบว่าค่ามอดูล์มีค่าน้อยกว่าการได้รับความร้อนจากหลอดแอลอีดี 7 และ 9 วัตต์ มีค่ามอดูล์มากที่สุดสำหรับการเติมกากกาแฟมากกว่า 3 กรัม มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจากหลอดแอลอีดี 12 วัตต์ กล่าวได้ว่า เป็นผลจากการที่ความร้อนจากหลอดแอลอีดีสามารถเคลื่อนที่ผ่านได้ดีทำให้มีความร้อนสะสมภายในวัสดุ กล่าวได้ว่า ปริมาณกากกาแฟส่งผลต่อพลาสติกให้มีการอ่อนตัว ปริมาณความร้อนที่ไหลผ่านได้ดีในแผ่นพลาสติกส่งผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้างทำให้เกิดการโค้งงอมากขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำ



รูปที่ 5 กราฟค่ามอดูลัสกับระยะเวลาที่ได้รับความร้อนจากหลอดไฟฟ้าแอลอีดีกำลังไฟฟ้า (ก) 7 (ข) 9 และ (ค) 12 วัตต์

4. สรุปผล

กล่าวได้ว่าแผ่นพลาสติกที่เติมกากกาแฟมีผลต่อสมบัติทางของแผ่นพลาสติกคอมโพสิต ได้แก่ ความหนาแน่น สีและค่ามอดูลัส ค่าการนำความร้อน เป็นต้น ความหนาแน่นมีค่าลดลง ลักษณะสีของแผ่นพลาสติกมีสีเข้มขึ้นทำให้การดูดซับความร้อนและการส่งผ่านความร้อนภายในวัสดุมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกากกาแฟที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การถ่ายโอนความร้อนแบบการนำความร้อนในพลาสติกมีค่ามากขึ้นสังเกตได้จากค่าการนำความร้อนที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมกากกาแฟ จำทำให้แผ่นพลาสติกมีความอ่อนตัวได้ดีเมื่อมีแรงมากกระทำ

นอกจากนี้ลักษณะสีที่ปรากฏในแผ่นพลาสติกคอมโพสิตเมื่อทดสอบการส่องแผ่นแสง แผ่นพลาสติกคอมโพสิตที่มีปริมาณกากกาแฟน้อยๆ จะปรากฏรูปแบบสีน้ำตาลอ่อนและการกระจายแบบไม่สม่ำเสมอทำให้เกิดความโดดเด่นของภาพที่เกิดบนแผ่นพลาสติก ขณะที่การเติมปริมาณกากกาแฟมากกว่า 3 กรัม แผ่นพลาสติกมีความหนาที่บ่งแสงสามารถส่งผ่านออกมาได้น้อย ดังนั้น การเลือกใช้งานแผ่นพลาสติกที่มีปริมาณเติมกาแฟที่ปริมาณน้อยกว่า 3 กรัม จะให้แผ่นพลาสติกผสมกากกาแฟที่เหมาะสมการนำไปใช้เป็นพลาสติกคอมโพสิแบบโปร่งแสง เนื่องจากความโปร่งแสงและมีลวดลายตามธรรมชาติของการกระจายตัวกากกาแฟในพลาสติก สำหรับการเติมกากกาแฟที่มีค่ามากกว่า 3 กรัม เป็นพลาสติกผสมกากกาแฟที่ทำคอมโพสิแบบบังแสงหรือลดแสงที่กระจายออกเพราะมีความทึบแสงสูง อย่างไรก็ตาม แผ่นพลาสติกที่มีการเติมกากกาแฟในปริมาณสูงการนำไปใช้งานควรคำนึงถึงการอ่อนตัวของวัสดุเมื่อได้รับความร้อน ทั้งนี้ผลของปริมาณกากกาแฟทำให้วัสดุเกิดการนำความร้อนได้ดี ส่งผลต่อตัวโครงสร้างของคอมโพสิที่อาจมีการอ่อนตัวเมื่อเปิดใช้ไฟนานๆ จากข้อมูลเบื้องต้นควรเลือกระยะห่างให้ไกลจากแหล่งความร้อนแอลอีดี คอมโพสิที่มีระยะพลาสติกบังแสงถึงหลอดไฟในระยะใกล้ควรเลือกใช้หลอดไฟที่มีกำลังไฟฟ้า 7 วัตต์ เนื่องจากมีค่าการนำความร้อนต่ำและการอ่อนตัวน้อย หากนำวัสดุผสมกากกาแฟที่มีปริมาณมากกว่า 3 กรัม จะต้องพิจารณาระยะระหว่างหลอดไฟกับตัวคอมโพสิให้มีระยะห่างที่เหมาะสม นอกจากนี้ความหนาแน่นของแผ่นพลาสติกที่การผสมกากกาแฟในปริมาณน้อยจะมีค่าความหนาแน่นมากกว่าทำให้การส่งผ่านความร้อนได้ยากกว่าสอดคล้องกับผลการทดสอบค่าการนำความร้อนและค่าความอ่อนตัวของแผ่นพลาสติกที่ผสมกากกาแฟ

5. กิตติกรรมประกาศ

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ในการอำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Garlotta, D. (2001). A literature review of poly (Lactic Acid), Journal of Polymers and the Environment, 63-84.
- [2] Jiang, H., Kamdem, DP. (2004). Development of polyvinyl chloride)/wood composites. A literature review, Journal Vinyl&additive Technology, 10, 59-69.
- [3] Chitra, N.J., Vasanthakumari, R., Amanulla, S. (2014). Preliminary studies of the effect of coupling agent on the properties of spent coffee grounds polypropylene biocomposites, International Journal of Engineering Research and Technology, 7, 9-16.
- [4] Palavras-chave. (2016). Coffee powder reused as composite material: step in the direction, Dissertations for master's degree in product and industrial design, University of Porto. Portugal.
- [5] Wu, H., Hu, W., Zhang, Y., Huang, L., Zhang, J., Tan, S., Cai, X., Liao, X. (2016). Effect of oil extraction on properties of spent coffee ground-plastic composites, Journal of Materials Science, 51, 10205–10214.
- [6] Cacciotti, I., Mori, S., Cherubini, V., Nanni, F. (2018). Eco-sustainable systems based on poly (lactic acid), diatomite and coffee grounds extract for food packaging, International Journal of Biological Macromolecules, 112, 567-575.
- [7] Oliveira, G., Passos, C. P., Ferreira, P., Coimbra, M. A., Gonçalves I. (2021) Coffee by-products and their suitability for developing active food packaging materials. Foods. 10(3). 638.
- [8] Zarrinbakhsh, N., Wang, T., Rodriguez, A., Misra, M., Mohanty A.K. (2016). Characterization of waste and coproducts from the coffee industry for composite material production, Bioresources, 11(3), 7637-7653.
- [9] Suaduang, N., Ross, S., Ross, G. M., Pratumshat, S., Mahasaranon, S. (2019). Effect of spent coffee grounds filler on the physical and mechanical properties of poly (lactic acid) bio-composite films. Materials Today Proceeding. 17(4), 2104-2110.
- [10] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J. (2018). Fundamental of physics 11th ed., ISBN 0-471-33235-6, John Wiley & Son, New York.
- [11] American Society for Testing and Materials Standard Test, ASTM D 790 – 03, Methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials 1, (2019).
- [12] Jordan, J. L., Casem, D. T., Bradley, J. M., Dwivedi, A. K., Brown E. N., Jordan, C. W. (2016). Mechanical properties of low density polyethylene, Journal of Dynamic Behavior of Materials, 2, 411–420.