

การศึกษาคุณสมบัติกายภาพของกระเบื้องยางผสมขยะพลาสติก
สิทธิพงษ์ เพิ่มพิทักษ์¹ วิติยา ปิตตังนาโพธิ์² กิริติ สัทธานนท์³ และ ศิโรดม เสือคล้าย⁴

The study on physical properties of rubber flooring with plastic waste

Sittipong Permpituck¹ Witiya Pittungnapoo² Kirati Sattanon³ and Sirodom Sueaklai⁴

¹⁻⁴ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ศิลปะและการออกแบบ มหาวิทยาลัยนเรศวร

¹⁻⁴ Faculty of architecture art and design Naresuan university

* Corresponding author. E-mail address: sittipong107@gmail.com

received: September 25,2024

revised: December 4,2024

accepted: January 18,2025

บทคัดย่อ

ยางพารา เป็นพืชที่ไม่เพียงแต่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย แต่ยังมีคามสำคัญทางสังคมและเศรษฐกิจ เนื่องจากยางพาราเป็นพืชที่ทำให้เกิดการสร้างงานและอาชีพในชนบทส่งผลให้เกิดความเข้มแข็งของชุมชน ประกอบกับประเทศไทยกำลังเผชิญกับปัญหามลพิษจากขยะพลาสติก 2 ล้านตันต่อปี จากปัญหาดังกล่าวจึงทำให้เกิดโครงการพัฒนาวัสดุปูพื้นกันลื่นจากขยะพลาสติกโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณขยะพลาสติกด้วยการนำกลับมาใช้ใหม่ เพื่อพัฒนาวัสดุปูพื้นกันลื่นจากขยะพลาสติกโดยทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพด้านต่าง ๆ ของกระเบื้องยางจากขยะพลาสติก ได้แก่ คุณสมบัติการทนต่อแรงดึง แรงฉีกขาด ความแข็งของชิ้นงานและคุณสมบัติการลื่นไถลตามมาตรฐาน ASTM โดยการปรับเปลี่ยนขนาดของพลาสติกพีท (PET) 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด 4.72 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 4), ขนาด 3.01 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 6) และขนาด 1.63 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 10) เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานเป็นวัสดุปูพื้นกันลื่น จากผลการศึกษาพบว่า กระเบื้องยางที่ผสมพลาสติกพีท ขนาด 3.01 มิลลิเมตร มีคุณสมบัติการทนต่อแรงดึง สูงที่สุดในจำนวนชิ้นงานที่นำมาทดสอบโดยมีค่าการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) 13.72 MPa ค่าการยืดตัวสูงสุด ณ จุดขาด (Elongation at break) ทุกชิ้นงานทดสอบมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน ASTM ซึ่งกำหนดไว้ 150 - 300% โดยกระเบื้องยางที่ผสมพลาสติกพีท ขนาด 3.01 มิลลิเมตร สามารถยืดตัวได้สูงสุดที่ 713.91 % ค่าด้านการทนต่อแรงฉีกขาดสูงสุด (Tear strength) โดยกระเบื้องยางที่ผสมพลาสติกพีท ขนาด 3.01 มิลลิเมตร มีค่าด้านการทนต่อแรงฉีกขาดสูงสุด (Tear strength) 27.20 MPa สำหรับความแข็งนั้นมีไว้เพื่อบอกความนุ่ม-แข็งของหน้ายางหากนิ่มเกินไป < 60 Shore A กระเบื้องมีโอกาสจะสึกหรอเร็วและทำความสะอาดได้ยากหรือหากแข็งเกินไป > 80 Shore A กระเบื้องจะกระด้างและสูญเสียประสิทธิภาพในการยึดเกาะ (Grip) ตามมาตรฐาน ASTM กำหนดไว้ที่ 65±5 Shore A ซึ่งในการทดลองนี้กระเบื้องทุกชิ้นงานที่นำมาทดสอบจำเป็นต้องมีการปรับปรุงในเพื่อให้มีความแข็งผ่านมาตรฐาน การทดสอบการลื่นไถลนั้นมาตรฐาน ASTM กำหนดไว้ที่ 36 PTV ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดการทดสอบขณะพื้นเปียกผลการทดสอบชิ้นงานทั้งหมดพบว่าน้ำมีส่วนอย่างมากในการลดความสามารถในการป้องกันการลื่นไถลโดยผลการทดสอบเมื่อพื้นแห้งนั้นค่าความสามารถในการป้องกันการลื่นไถลของชิ้นงานทดสอบมีค่าสูงแต่เมื่อทำการทดสอบขณะพื้นเปียกค่าดังกล่าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ : กระเบื้องยาง ขยะพลาสติก คุณสมบัติ ปูพื้น

ABSTRACT

Natural rubber is not only a key driver of Thailand's economic development but also plays a significant role in its social and rural economies, as it generates employment and strengthens community resilience. Concurrently, Thailand is facing a critical environmental challenge from plastic waste, exceeding 2 million tons annually. In response, this study proposes the development of anti-slip rubber flooring tiles incorporating recycled plastic waste, aiming to reduce plastic waste through material reuse while enhancing product value. The research focuses on the physical properties of rubber tiles blended with recycled polyethylene terephthalate (PET), evaluated in accordance with ASTM standards. Key performance indicators include tensile strength, tear strength, hardness, and slip resistance. PET particles were prepared in three sizes: 4.72 mm (sieve No. 4), 3.01 mm (sieve No. 6), and 1.63 mm (sieve No. 10), to determine the optimal size for anti-slip flooring applications. The results indicate that rubber tiles containing PET particles of 3.01 mm exhibited the highest mechanical performance among all samples. Specifically, the tensile strength reached 13.72 MPa, while the elongation at break exceeded ASTM standards (150–300%) for all samples, with a maximum value of 713.91%. Similarly, the highest tear strength was recorded at 27.20 MPa for the same particle size. In terms of hardness, ASTM specifies an optimal range of 65 ± 5 Shore A. However, all tested samples fell outside this range, indicating the need for further material formulation improvements. Regarding slip resistance, ASTM standards require a minimum value of 36 PTV under wet conditions. The findings reveal that water significantly reduces slip resistance performance. While all samples demonstrated high slip resistance under dry conditions, their performance decreased substantially when tested on wet surfaces. In conclusion, the incorporation of recycled PET, particularly at a particle size of 3.01 mm, shows strong potential for enhancing the mechanical properties of rubber flooring tiles. However, further optimization is required to meet hardness standards and improve slip resistance under wet conditions, ensuring suitability for practical applications.

Keyword :

บทนำ

ประเทศไทยเป็นหนึ่งในผู้ผลิตยางพาราธรรมชาติรายใหญ่ของโลก โดยคิดเป็นสัดส่วนมากกว่า 30% ของอุปทานทั่วโลกในปี 2022 อุตสาหกรรมยางพาราของประเทศไทยจ้างงานผู้คนจำนวนมาก โดยเกษตรกรรายย่อยเป็นผู้จัดหายางพาราธรรมชาติ (Natural rubber : NR) รายหลักประมาณ 90% ในขณะที่ 10% มาจากสวนยางหรือที่ดินขนาดใหญ่ การปลูกสวนยางในประเทศไทยเริ่มต้นจากการปลูกด้วยเมล็ดพันธุ์ที่เป็นพันธุ์พื้นเมืองนำเข้ามาจากประเทศมาเลเซีย ปลูกในประเทศไทยครั้งแรกในเขตพื้นที่ภาคใต้ จังหวัดตรัง ในปี พ.ศ.2443 โดยพระยารัษฎานุประดิษฐ์ มหิศรภักดี พื้นที่ปลูกยางมากที่สุดของประเทศไทยเป็นพื้นที่ทางภาคใต้ พื้นที่บางส่วนของภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และ ภาคตะวันตก โดยส่วนใหญ่ยังเป็นการทำเกษตรกรรมแบบปลูกพืชเชิงเดี่ยว คือปลูกยางพาราเพียงอย่างเดียว เกษตรกรจึงมีรายได้หลักจากสวนยาง ซึ่งการหวังรายได้ทางเดียวจากการปลูกพืชเชิงเดียวนั้นมีความเสี่ยงสูง จากปัญหาความผันผวนของราคายางซึ่งเกิดขึ้นเป็นประจำทำให้เกิดปัญหาทางเศรษฐกิจและสังคมของเกษตรกรผู้ปลูกยางพารา ส่งผลให้รัฐบาลจะต้องเข้ามาช่วยเหลือในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น (ข้อมูลวิชาการยางพารา, 2561 ; การยางแห่งประเทศไทย.)

ยางพาราไม่เพียงแต่จะมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย แต่ยังมีความสำคัญทางสังคม เนื่องจากยางพาราเป็นพืชที่ทำให้เกิดการจ้างงานและสร้างอาชีพในพื้นที่ชนบทซึ่งส่งผลให้เกิดความเข้มแข็งของชุมชน อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมยางต้องเผชิญกับความท้าทายหลายประการเนื่องจากความผันผวนของอุปสงค์และอุปทาน เช่น เมื่อความต้องการยางพาราในตลาดโลกลดลงจะส่งผลกระทบต่อชาวสวนยางที่พึ่งพาการขายยางเพื่อเลี้ยงชีพ เนื่องจากผลผลิตยางพาราในประเทศไทยส่วนใหญ่เน้นการส่งออกในรูปแบบวัตถุดิบ นอกจากนี้โครงสร้างตลาดยางโลกและความพยายามในการรักษาเสถียรภาพยังเน้นให้เห็นถึงความซับซ้อนของพลวัตด้านราคา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของยางธรรมชาติและความเชื่อมโยงกับยางสังเคราะห์

ปัญหามลพิษจากขยะพลาสติกเป็นอีกหนึ่งปัญหาหลักด้านสภาวะแวดล้อม โดยประเทศไทยผลิตขยะพลาสติกที่จัดการไม่ถูกต้องประมาณ 16.8 กิโลตันต่อปี โดยแหล่งที่มาแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่นอกจากนี้ ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาประเทศไทย

ผลิตขยะพลาสติกประมาณ 2 ล้านตันต่อปี แต่มีเพียงหนึ่งในสี่เท่านั้นที่ได้รับการเก็บรวบรวมและนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างถูกต้อง เพื่อแก้ไขปัญหานี้ รัฐบาลไทยได้ดำเนินการมาตรการต่าง ๆ เช่น แผนแม่บทการจัดการขยะพลาสติก พ.ศ. 2561-2573 และ แผนปฏิบัติการแห่งชาติว่าด้วยขยะพลาสติกในทะเล อย่างไรก็ตาม ยังคงมีอุปสรรคอยู่ ได้แก่ ความจำเป็นในการปรับปรุงระบบ การคัดแยกและรวบรวมขยะ การส่งเสริมการคัดแยกขยะในหมู่ผู้บริโภค และการปรับใช้หลักการความรับผิดชอบของผู้ผลิตที่ ขยายออกไปเพื่อรวมผู้ผลิตพลาสติกในการจัดการขยะ

ในการจัดการปัญหาเกี่ยวกับขยะนั้นมีความจำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วนประกอบกับการให้ความรู้แก่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องเนื่องจากขยะมีความแตกต่างกันตามแหล่งกำเนิด เช่น ขยะจากครัวเรือน ซึ่งประกอบด้วยขยะหลายประเภท ทั้งพลาสติกและขยะอินทรีย์ ขยะติดเชื้อและขยะจากการเกษตร เป็นต้น ซึ่งในการจัดการขยะแต่ละประเภทยังมีแนวทาง ในการจัดการที่แตกต่างกันและสามารถจัดการได้หลากหลาย เช่น ขยะอินทรีย์ สามารถจัดการได้โดยการนำไปปรับปรุงเป็นปุ๋ย หมักทำก๊าซชีวภาพหรือนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวล ขยะพลาสติกสามารถนำไปเข้ากระบวนการเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ หรือ แปรรูปเป็นวัสดุอย่างอื่น

การนำขยะพลาสติกมาพัฒนาเป็นวัสดุต่าง ๆ ก็เป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการเพื่อลดปริมาณขยะพลาสติก ซึ่งเป็นแนวทาง หนึ่งในการช่วยสร้างสภาพแวดล้อมที่ดีและนอกจากนั้นยังเป็นการช่วยลดต้นทุนในการกำจัดขยะและลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมได้อีกทางหนึ่ง ผลผลิตที่ได้ยังมีส่วนช่วยในการก่อให้เกิดการหมุนเวียนทางเศรษฐกิจอันเป็นการยกระดับ คุณภาพชีวิตของประชากรของประเทศได้อีกทางหนึ่งด้วย ในปัจจุบันมีการศึกษาแนวทางการพัฒนาวัสดุจากขยะพลาสติก ในหลาย ๆ ลักษณะ ทั้งการนำขยะดังกล่าวมาพัฒนาเป็นวัสดุปูพื้น เช่น การพัฒนากระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติก เอทิลีนไวไวนิลอะซิเตทแบบละเอียด เพื่อใช้ในการปูพื้นตกแต่งอาคารเพื่อความสวยงาม สำหรับโครงการพัฒนาวัสดุปูพื้นจากขยะ พลาสติกนี้จะมีมุ่งเน้นในการนำพลาสติกเพท (PET) ซึ่งเป็นพลาสติกที่ใช้บรรจุน้ำดื่มเนื่องจากเป็นพลาสติกที่ค่อนข้างสะอาดและ นำมาใช้ในการพัฒนาต่อยอดได้ด้วยกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

โครงการพัฒนาวัสดุปูพื้นกันลื่นจากขยะพลาสติกเป็นโครงการศึกษาที่มุ่งลดปริมาณขยะพลาสติกโดยการนำขยะพลาสติก ดังกล่าวมาพัฒนาเป็นวัสดุปูพื้นกันลื่นอันจะนำมาสู่การสร้างสภาพแวดล้อมที่ดี

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิหาร์ ตีปัญญา และกิตติพงษ์ สุวิโร.(2561). ได้ทำการพัฒนากระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติก เอทิลีน ไวนิลอะซิเตทแบบละเอียดเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติกเอทิลีนไวไวนิลอะซิเตท (พลาสติกอีวี เอ) แบบความละเอียด โดยใช้ยางธรรมชาติแท้ STR20 ในปริมาณเท่ากับ 100 phr ต่อเศษขยะพลาสติกอีวีเอที่ผ่านการย่อย ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ในปริมาณ 0, 5, 10, 20, 40, และ 80 phr ตามลำดับ และผสมปริมาณสารเคมีในอัตราส่วนคงที่ ประกอบด้วย ซิงค์ออกไซด์ เท่ากับ 5 phr กรดสเตียริก เท่ากับ 2 phr เมอร์แคปโทเบนโซไทเอซอล เท่ากับ 0.5 phr ไดฟีนิลกว นิดินเท่ากับ 0.2 phr และกำมะถัน เท่ากับ 3 phr ทำการบดผสมด้วยเครื่องบดแบบสองลูกกลิ้ง แล้วอัดขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดแบบ ร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ได้แผ่นยางธรรมชาติ ขนาด 30x30x0.2 เซนติเมตร ทดสอบสมบัติตามมาตรฐาน ASTM พบว่ากระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกอีวีเอ อัตราส่วน 10 phr มีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำไปปูพื้น เนื่องจากมีค่าความ แข็ง ความต้านทานแรงดึง และความต้านทานการสึกหรอที่มากขึ้น ส่วนความหนาแน่นและสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีค่า ลดต่ำลงเมื่อเทียบกับกระเบื้องยางธรรมชาติที่ไม่มีพลาสติกอีวีเอ

วสุวัตต์ เหมือนขาว, โชคชัย แจวจารณ, ศรีณัญญ์ กาญจนทัตและชัยยุทธ มิงาม. (2565). ศึกษาการพัฒนายางธรรมชาติผสม คาร์บอนแบล็คสำหรับผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้นรักษ์โลก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้นรักษ์โลกโดยผ่าน กระบวนการอัดขึ้นรูป และเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นปูพื้นรักษ์โลก วัสดุสำหรับผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้นรักษ์โลกประกอบด้วย ยางธรรมชาติ 1 กิโลกรัม คาร์บอนแบล็คที่ได้จากการขยะพลาสติก 3.30 phr และ 23.30 phr อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 5 phr กรดฟอริก 80 ml กำมะถัน 5 phr และหินเกล็ด โดยทำการขึ้นรูปด้วยยางธรรมชาติและส่วนผสม อบที่อุณหภูมิ 60 องศา เซลเซียส จำนวน 25 ชั่วโมง และอัดด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิกและตั้งอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการ ตรวจสอบทางกายภาพ และทดสอบสมบัติทางกล ผลการศึกษาพบว่า แผ่นปูพื้นรักษ์โลกมีลักษณะทางกายภาพ เป็นไปตาม มาตรฐาน มอก. 2377-2559 ความต้านแรงดัด เท่ากับ 4.824 และ 5.760 MPa ค่าความต้านทานแรงดึง เท่ากับ 188.33 และ 234.33 MPa ค่าความแข็งของแผ่นปูพื้นรักษ์โลกแข็งในระดับปานกลาง ตามมาตรฐาน มอก. 2377-2559 และการดูดซับน้ำเป็น

ตามมาตรฐาน มอก. 387-2531 แผ่นปูพื้นรักษ์โลกมีคุณสมบัติสำหรับปูพื้นนอกอาคาร เนื่องจากมีความแข็งแรงปานกลาง มีความต้านแรงดัด และมีความยืดหยุ่นสูง

ประชุม คำพูน.(2561). ได้ทำการศึกษาพัฒนาแผ่นบุผนังป้องกันเสียงผลิตจากยางธรรมชาติผสมเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท ซึ่งในการพัฒนาผู้วิจัยได้ใช้ยางธรรมชาติเป็นวัสดุประสานโดยนำยางธรรมชาติผสมกับเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกเอทิลีนไวนิลอะซิเตท (อีวีเอ) จากผลการทดสอบคุณสมบัติของพลาสติกอีวีเอ พบว่า พลาสติกอีวีเอที่นำมาใช้มีค่าความหนาแน่น 190 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ด้านความแข็งแรง เท่ากับ 43 ชอร์เอ และความต้านทานแรงดึง เท่ากับ 4.2 เมกะพาสคัล นำพลาสติกอีวีเอดังกล่าวไปย่อยผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) และผสมเข้ายางธรรมชาติแท่ง STR20 ซึ่งคือออกไซด์กรดสเตียริก กำมะถัน เมอร์แคปโทเบนโซไทเอซอล ไดฟีนิลกัวนิดิน และออกซิเบสเบนซีนซัลโฟนิลไฮดราไซด์สำหรับขึ้นรูปแผ่นบุผนังป้องกันเสียง ออกแบบอัตราส่วนของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงโดยใช้ปริมาณเศษพลาสติกอีวีเอเท่ากับ 0, 5, 10, 20, 40 และ 80 พิเอชอาร์ด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง และอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันเสียง คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางกล ทำให้ได้แผ่นบุผนังป้องกันเสียงจากยางธรรมชาติผสมเศษพลาสติกอีวีเอที่อัตราส่วน 40 พิเอชอาร์เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดและผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของแผ่นบุผนังป้องกันเสียงดังกล่าว มีค่าอยู่ระหว่าง 0.4 ถึง 0.51 แตกต่างตามความหนา แผ่นบุผนังป้องกันเสียงที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์

วิธีการวิจัย

ในการวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุปูพื้นกันสั่นจากขยะพลาสติกเพ็ทนั้น เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์วัสดุปูพื้นกันสั่นจากยางธรรมชาติ (Natural Rubber ; NR) ผสมกับขยะพลาสติกเพ็ท การดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนนั้นมีการใช้เครื่องมือและสารเคมีต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

วัสดุและอุปกรณ์

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ขวดพลาสติกเพ็ท (PET) ซึ่งนำมาย่อยเป็นขนาดต่าง ๆ ซึ่งคือออกไซด์ (ZnO), กรดสเตียริก (Stearic Acid), เมอร์แคปโทเบนโซไทเอซอล (Mercaptobenzthiazole Disulfide, MBT) กำมะถัน (Sulphur, S8), เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล แบบหล่อแผ่นกระเบื้องยาง ขนาด 15 x 15 x 0.2 เซนติเมตร ชุดอุปกรณ์ทดสอบความหนาแน่น เครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (Two - Roll Mill) เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Compression Molding) เครื่องทดสอบการคงรูป (Oscillating Disc Rheometer, ODR) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine, UTM) เครื่องวัดความแข็งแบบชอร์เอ (Shore A) และเครื่องตัดตัวอย่าง

การออกแบบอัตราส่วนผสม

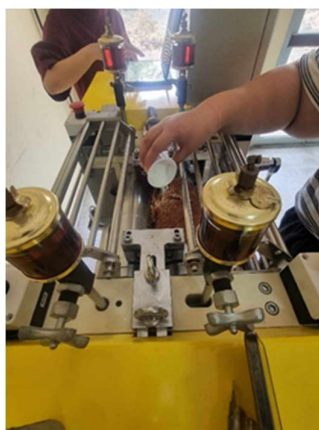
ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระเบื้องยางจากยางธรรมชาตินั้นมีความจำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัติของยางธรรมชาติโดยการเติมสารเคมีเพื่อปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของยางธรรมชาติเพื่อให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ โดยการศึกษาได้กำหนดอัตราส่วนผสมหรือสูตรของแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกเพ็ท ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน 100 ออกไซด์ (ZnO) 5, กรดสเตียริก (Stearic Acid) 2, เมอร์แคปโทเบนโซไทเอซอล (Mercaptobenzthiazole Disulfide, MBT) 1, กำมะถัน (Sulphur, S8) 3, พลาสติกเพ็ท(PET) 10 จากสูตรดังกล่าว จะมีการปรับเปลี่ยนขนาดของเศษพลาสติกเพ็ท (PET) 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด 4.72 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 4), ขนาด 3.01 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 6) และขนาด 1.63 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 10) เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความเรียบเนียนของพื้นผิวแผ่นกระเบื้องยางธรรมชาติผสมพลาสติกเพ็ท (PET) การทนต่อแรงดึง แรงฉีกขาด และความแข็งแรงของชิ้นงาน การเตรียมยางสำหรับการขึ้นรูปกระเบื้องยางนั้นเริ่มด้วยนวดยางธรรมชาติด้วยเครื่องบดผสม 2 ลูกกลิ้ง (Two roll mill) เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติม ZnO และ Stearic acid ลงไปนวดผสม เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงเติมตัวเร่งปฏิกิริยา (TMTD, MBT) ลงไปนวดผสมเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นจึงเติมกำมะถันลงไป ทำการบดต่อไปอีก 5 นาที เพื่อให้สารเคมีกระจายในยางคอมพาวนด์ได้ดี

ตาราง 1 อัตราส่วนการผสมยางคอมพาวน์

ชุดทดสอบ	ยาง	ZnO	Stearic acid	MBT	TMTD	Sulfur	PET
	(phr)	(phr)	(phr)	(phr)	(phr)	(phr)	(phr)
PET ขนาด 4.72 มิลลิเมตร	100	5	2	1	0.1	3	10
PET ขนาด 3.01 มิลลิเมตร	100	5	2	1	0.1	3	10
PET ขนาด 1.63 มิลลิเมตร	100	5	2	1	0.1	3	10

การขึ้นรูปและทดสอบตัวอย่าง

การขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับการศึกษานี้ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D3182 โดยการขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อการทดสอบนั้นเริ่มด้วยการชั่งน้ำหนักส่วนผสมต่าง ๆ ตามที่ออกแบบ จากนั้นทำการบดยางแผ่นรมควันด้วยเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้งที่อุณหภูมิห้องด้วยความเร็วปานกลาง จากนั้นจึงทำการเติมสารเคมีที่เตรียมไว้ลงในยางที่กำลังบด เมื่อส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันดีแล้วจึงนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Compression Molding) โดยการขึ้นรูปด้วยความร้อนนั้นจะนำพลาสติกเพ็ท (PET) 4.5 กรัม วางในโมลเหล็กหนา 2 มิลลิเมตร โดยมีแผ่นใสประกบอุ่นที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นจึงนำยางคอมพาวน์ที่ได้ทำการผสมสารเคมีต่าง ๆ ดังกล่าวไว้แล้วปริมาณ 45 กรัม มาวางทับลงบนแผ่นพลาสติก ทำการกดอัดที่อุณหภูมิ 145 องศาเซลเซียส โดยในการกดอัดจะทำการกดไล่ฟองอากาศก่อนทำการกดอัดเป็นเวลา 10 นาที



ภาพ 1 การบดผสมยางคอมพาวน์ด้วยเครื่องบดผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง



ภาพ 2 การขึ้นรูปกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีพี ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน (Compression Molding)

ผลการศึกษา

ในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของขึ้นกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีพีนั้นจะทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านต่าง ๆ เพื่อการพิจารณาถึงสัดส่วนที่เหมาะสมสำหรับการนำไปพัฒนาเพื่อการใช้งานได้จริง ดังนั้นในการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพจึงได้พิจารณาถึงคุณสมบัติด้านการทนต่อแรงดึง การทนต่อแรงฉีกขาด ความแข็ง และสมบัติการลื่นไถล ซึ่งในการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ มีขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานที่แตกต่างกันดังนี้

การทดสอบคุณสมบัติการทนต่อแรงดึง

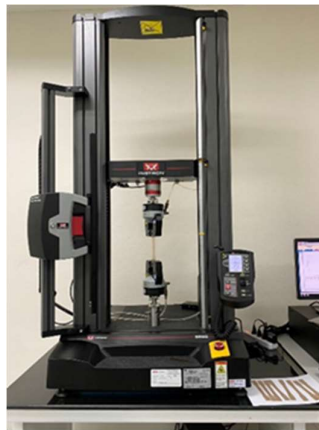
ในการทดสอบการทนต่อแรงดึงนั้นจะทำการทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 5965 โดยจะต้องทำการตัดชิ้นงานกระเบื้องยางพาราสำหรับทดสอบคุณสมบัติการทนต่อแรงดึงโดยใช้ใบมีดตัด Dumbbell ISO37, Type1 โดยทำการหาค่าการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ค่าการยืดตัวสูงสุด ณ จุดขาด (Elongation at break) และค่า 50% มอดูลัส ด้วยเครื่อง Tensile ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 5965 ด้วยอัตราเร็วในการดึง 500 mm/min Load cell 1 kN โดยทำการทดสอบ 5 ชิ้นงานต่อสูตร และนำผลการทดสอบที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยตามวิธีการทางสถิติ



ภาพ 3 ใบมีดตัดตัวอย่างสำหรับทดสอบการทนต่อแรงดึง ใช้หัว Dumbbell ISO37, Type 1

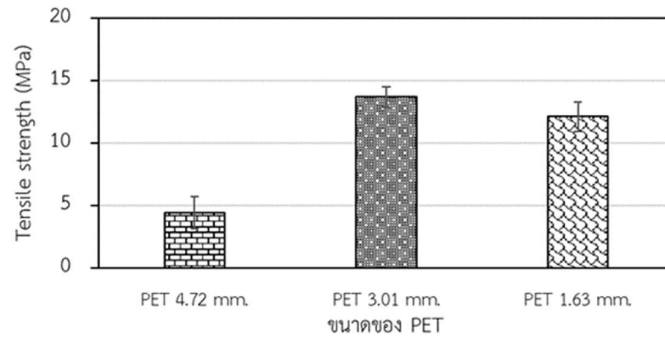


ภาพ 4 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความทนต่อแรงดึง

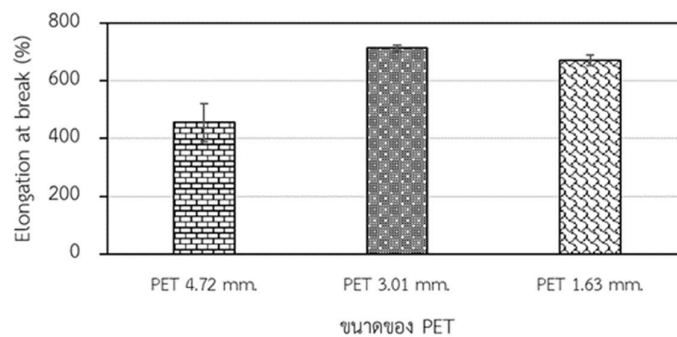


ภาพ 5 เครื่องทดสอบการทนต่อแรงดึง Universal testing machine ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 5965

ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) พบว่าแผ่นกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีทขนาด 3.01 มิลลิเมตร สามารถรับแรงดึงได้สูงสุดคือมีค่าเฉลี่ยการทนต่อแรงดึงได้ 13.72 MPa ซึ่งใกล้เคียงกับแผ่นกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีทขนาด 1.63 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าเฉลี่ยการทนต่อแรงดึงได้ 12.13 MPa โดยแผ่นกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีทขนาด 4.72 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยการทนต่อแรงดึงได้น้อยกว่าคือมีค่าเฉลี่ยการทนต่อแรงดึง 4.43 MPa ดังแสดงในภาพที่ 6 และเมื่อพิจารณาถึงค่าการยืดตัวสูงสุด ณ จุดขาด (Elongation at break) แล้วจะพบว่ากระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีทขนาด 3.01 มิลลิเมตรมีค่าการยืดตัวมากที่สุดคือ และแผ่นกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีทขนาด 4.72 มิลลิเมตรมีค่าการยืดตัวน้อยที่สุดดังแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งจากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นอิทธิพลของขนาดของส่วนผสมพลาสติกโดยส่วนผสมที่มีขนาดใหญ่ จะทำให้ความสามารถในการยืดตัวของชิ้นงานลดลง



ภาพ 6 ผลการทดสอบการทนต่อแรงดึง (Tensile strength)



ภาพ 7 ค่าการยืดตัวสูงสุด ณ จุดขาด (Elongation at break)

การทดสอบคุณสมบัติการทนต่อแรงฉีกขาด

ในการทดสอบคุณสมบัติการทนต่อแรงฉีกขาดตามมาตรฐาน ASTM D624 นั้นมีความจำเป็นต้องตัดชิ้นงาน Yang ที่จะทำให้การทดสอบคุณสมบัติการทนต่อแรงฉีกขาดโดยใช้ใบมีดตัด tear ISO34-1/ASTM D624, Angle tear without nick โดยทำการหาค่าการทนต่อแรงฉีกขาด (Tear strength) ด้วยเครื่อง Tensile ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 5965 ด้วยอัตราเร็วในการดึง 500 mm/min Load cell 1 kN โดยทำการทดสอบนั้นจะใช้ชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้นงานต่อสูตร แล้วจึงนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยตามวิธีการทางสถิติ

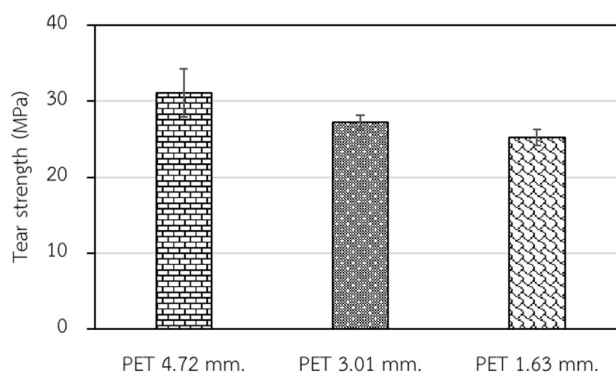


ภาพ 8 ใบมีดตัด tear ISO34-1/ASTM D624, Angle tear without nick



ภาพ 9 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบความทนต่อแรงฉีกขาด

ผลการทดสอบสมบัติด้านการทนต่อแรงฉีกขาด (Tear strength) พบว่าแผ่นกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีทขนาด 4.72 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงฉีกขาดได้สูงสุดคือ 31.11 MPa ขณะที่แผ่นกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีทขนาด 3.01 มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงฉีกขาดได้ 27.20 MPa โดยแผ่นกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีทขนาด 1.63 มิลลิเมตร มีค่าเฉลี่ยความทนต่อแรงฉีกขาดน้อยที่สุดเพียง 25.26 MPa ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าส่วนผสมที่มีขนาดใหญ่มีผลในการช่วยเพิ่มความต้านทานต่อแรงฉีกขาดได้มากกว่าส่วนผสมที่มีขนาดเล็กดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพ 10 ผลการทดสอบการทนต่อแรงฉีกขาด

การทดสอบคุณสมบัติความแข็ง

ในการทดสอบความแข็งด้วยเครื่องวัดความแข็ง Shore A ดังภาพที่ 11 นั้นจะกระทำโดยการนำชิ้นงานกระเบื้องยางพาราซึ่งมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร มาซ้อนทับกัน 6 ชั้นต่อสูตร จากนั้นทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดความแข็ง Shore A วัดค่า 5 ตำแหน่ง รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงาน



ภาพ 11 เครื่องวัดความแข็งของยาง Shore A

การทดสอบความแข็ง (Hardness Test) โดยใช้เครื่อง Shore A ในการวัดค่าความแข็งพบว่าแผ่นกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีทขนาด 3.01 มิลลิเมตร มีค่าใกล้เคียงกับแผ่นกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีทขนาด 4.72 มิลลิเมตร คือมีค่าความแข็ง 42 Shore A โดยแผ่นกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีทขนาด 1.63 มิลลิเมตร มีค่าความแข็ง 41 Shore A

ทดสอบคุณสมบัติการลื่นไถล

การทดสอบการลื่นไถลใช้หลักการวัดแรงเสียดทานด้วยการเหวี่ยงแท่งยางสัมผัสพื้นผิวทดสอบด้วยเครื่อง British Pendulum Number (BPN) การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E303 โดยการทดสอบจะทำ 2 ลักษณะคือ พื้นผิวแห้ง และพื้นผิวเปียก โดยใช้แผ่นยางขนาดกระเบื้องยางพาราขนาด $15 \times 15 \times 0.2$ เซนติเมตร ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมา 3 แบบ คือ กระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีทขนาด 4.72 มิลลิเมตรกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีทขนาด 3.01 มิลลิเมตรกระเบื้องยางพาราผสมพลาสติกพีทขนาด 1.63 มิลลิเมตร โดยการทดสอบจะทำการทดสอบจำนวน 5 ครั้งต่อสูตรโดยทำการทดสอบพื้นผิวแห้งก่อนจากนั้นจึงทำการทดสอบพื้นผิวเปียก



ภาพ 12 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการลื่นไถล



ภาพ 13 ทดสอบการลื่นไถลด้วยเครื่อง British Pendulum Number (BPN)

ผลการทดสอบพบว่าในขณะที่พื้นผิวแห้งกระเบื้องยางที่ผสมพลาสติกพีท ขนาด 4.72 มิลลิเมตร และ 1.63 มิลลิเมตร มีคุณสมบัติในการป้องกันการลื่นไถลได้ดีมากคือ มีค่า PTV เกิน 36 ขณะที่กระเบื้องยางที่ผสมพลาสติกพีท ขนาด 3.01 มิลลิเมตร มีค่าในการป้องกันการลื่นไถลปานกลาง และเมื่อทำการทดสอบโดยการทำให้พื้นผิวเปียกนั้น คุณสมบัติในการป้องกันการลื่นไถลของชุดทดสอบทั้งหมดมีค่าลดลง โดยกระเบื้องยางที่ผสมพลาสติกพีทขนาด 1.63 มิลลิเมตรนั้นยังคงมีคุณสมบัติในการป้องกันการลื่นไถลลดลงอย่างมากโดยมีค่า PTV เหลืออยู่ที่ 20.8 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานคือ

มากกว่าหรือเท่ากับ 36 PTV กระเบื้องยางที่ผสมพลาสติกพีท ขนาด 4.72 มิลลิเมตร มีค่าการป้องกันการลื่นไถลปานกลาง คือ 25.6 PTV ขณะที่กระเบื้องยางที่ผสมพลาสติกพีท ขนาด 3.01 มิลลิเมตร มีค่าในการป้องกันการลื่นไถลดต่ำคือมีค่า 19.8 PTV ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2

ตาราง 2 สมบัติการลื่นไถล

ชุดทดสอบ	พื้นผิว	ครั้งที่ 1 (PTV)	ครั้งที่ 2 (PTV)	ครั้งที่ 3 (PTV)	ครั้งที่ 4 (PTV)	ครั้งที่ 5 (PTV)	ค่าเฉลี่ย (PTV)
PET ขนาด 4.72 มิลลิเมตร	แห้ง	91	121	130	134	133	121
	เปียก	33	20	16	25	34	25.6
PET ขนาด 3.01 มิลลิเมตร	แห้ง	49	20	29	31	26	31
	เปียก	17	25	19	20	18	19.8
PET ขนาด 1.63 มิลลิเมตร	แห้ง	120	124	117	109	111	116.2
	เปียก	32	16	13	22	21	20.8

สรุป

การศึกษาคุณสมบัติกายภาพของกระเบื้องยางผสมขยะพลาสติกพีทโดยพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพในด้านต่าง ๆ ทั้งคุณสมบัติการทนต่อแรงดึง แรงฉีกขาด ความแข็งของชิ้นงานและสมบัติการลื่นไถล โดยการปรับเปลี่ยนขนาดของพลาสติกพีท(PET) 3 ขนาด ได้แก่ ขนาด 4.72 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 4), ขนาด 3.01 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 6) และขนาด 1.63 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 10) เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า กระเบื้องยางที่ผสมพลาสติกพีท ขนาด 3.01 มิลลิเมตร มีคุณสมบัติการทนต่อแรงดึง สูงที่สุดในจำนวนชิ้นงานที่นำมาทดสอบโดยมีค่าการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) 13.72 MPa และค่าดังกล่าวยังสูงกว่าค่าตามมาตรฐาน ASTM ที่กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 8 MPa ค่าการยืดตัวสูงสุด ณ จุดขาด (Elongation at break) ทุกชิ้นงานทดสอบมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน ASTM ซึ่งกำหนดไว้ 150 - 300% โดยกระเบื้องยางที่ผสมพลาสติกพีท ขนาด 3.01 มิลลิเมตร สามารถยืดตัวได้สูงสุดที่ 713.91 % ค่าด้านการทนต่อแรงฉีกขาดสูงสุด (Tear strength) ทุกชิ้นงานทดสอบยังคงมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน ASTM ซึ่งกำหนดไว้ 10±2 MPa โดยกระเบื้องยางที่ผสมพลาสติกพีท ขนาด 3.01 มิลลิเมตร มีค่าด้านการทนต่อแรงฉีกขาดสูงสุด (Tear strength) 27.20 MPa ซึ่งค่าทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นคือ ค่าการทนต่อแรงดึง ค่าการยืดตัวสูงสุด ณ จุดขาดและค่าการทนต่อแรงฉีกขาด แสดงให้เห็นว่ากระเบื้องยางที่ผสมพลาสติกพีท ขนาด 3.01 มิลลิเมตร สามารถรองรับความเสียหายหากพื้นพื้นนำไปมีการหลุดตัวได้ดี สำหรับความแข็งนั้นมีไว้เพื่อบอกความนุ่ม-แข็งของพื้นยางหากมีค่าเกิน 60 Shore A กระเบื้องมีโอกาสจะสึกหรอเร็วและทำความสะอาดได้ยากหรือหากแข็งเกินไป > 80 Shore A กระเบื้องจะกระด้างและสูญเสียประสิทธิภาพในการยึดเกาะ (Grip) ตามมาตรฐาน ASTM กำหนดไว้ที่ 65±5 Shore A ซึ่งในหัวข้อดังกล่าวกระเบื้องทุกชิ้นงานที่นำมาทดสอบล้วนมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ซึ่งจำเป็นต้องมีการปรับปรุงในเรื่องดังกล่าวโดยการปรับปรุงอาจกระทำโดยการปรับสูตรสารเคมีในช่วงการเตรียมผลิตชิ้นงาน ในการทดสอบการลื่นไถลนั้นมาตรฐาน ASTM กำหนดไว้ที่ 36 PTV ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดการทดสอบขณะพื้นเปียก โดยผลการทดสอบชิ้นงานทั้งหมดพบว่าพื้นมีส่วนอย่างมากในการลดความสามารถในการป้องกันการลื่นไถลโดยผลการทดสอบเมื่อพื้นแห้งนั้นค่าความสามารถในการป้องกันการลื่นไถลของชิ้นงานทดสอบมีค่าสูงแต่เมื่อทำการทดสอบขณะพื้นเปียกค่าดังกล่าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจต้องทำการปรับส่วนผสมของชิ้นงานและเพิ่มการออกแบบผิวกระเบื้องเพื่อให้สามารถกันลื่นได้มากขึ้น โดยผลการทดสอบทั้งหมดเทียบกับค่ามาตรฐานได้แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตาราง 3 คุณสมบัติการทนต่อแรงดึง แรงฉีกขาด และความแข็งของชิ้นงาน

ตัวอย่าง	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	50% Modulus (MPa)	Tear strength (MPa)	Hardness (Shore A)	Slip Resistance (PTV) DRY	Slip Resistance (PTV) Wet
PET ขนาด 4.72 มิลลิเมตร	4.43±1.26	456.54±66.03	0.60±0.01	31.11±3.22	42±2	121	25.6
PET ขนาด 3.01 มิลลิเมตร	13.72±0.81	713.91±11.03	0.64±0.02	27.20±0.94	42±1	31	19.8
PET ขนาด 1.63 มิลลิเมตร	12.13±1.19	672.06±19.02	0.62±0.02	25.26±1.06	41±1	116.2	20.8
ค่ามาตรฐาน ASTM	> 8	150 - 300	1.5 - 3.0	10±2	65±5	-	36

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2556). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย. กรุงเทพฯ : บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่งจำกัด (มหาชน).

ซัชชติภักษ์ เดชจิรณี และ พรชัย ชันทะวงค์. (2558). การผลิตแผ่นฉนวนกันความร้อนโดยใช้ขยะพลาสติก, สืบค้นเมื่อ 10 ธันวาคม 2566, จาก https://agkb.lib.ku.ac.th/ku/search_detail/download_digital_file/315424/90902

ประชุม คำพุด. (2561). แผ่นบุผนังป้องกันเสียงผลิตจากยางธรรมชาติผสมเศษผลิตภัณฑ์พลาสติกเอทิลีนไวไวนิลอะซิเตท. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย, 32 (2), 53-60 .

เวชสุวรรณค์ หล้ากาศ. (2562). บล็อกปูถนนรีไซเคิล โครงการแปรรูปขยะพลาสติกจากครัวเรือนให้เป็นบล็อกปูถนนทนทานแต่ต้นทุนต่ำ, สืบค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2565 จาก <https://readthecloud.co/>

วสวัตต์ดี เหมือนขาว, โชคชัย แจวจารณ์, ศรัณญ์ กาญจนทัต และชัยยุทธ มิ่งาม. (2565). ศึกษาการพัฒนาทางธรรมชาติผสมคาร์บอนแบล็คสำหรับผลิตภัณฑ์แผ่นปูพื้นรักษ์โลก, สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2565 . จาก <https://conference.thaince.org/index.php/ncce27/> 2022

วิหาร ดีปัญญา และกิตติพงษ์ สุวิโร. (2561). การพัฒนากระเบื้องยางธรรมชาติผสมเศษขยะพลาสติก เอทิลีนไวไวนิลอะซิเตทแบบละเอียด. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี, 16 (2), 85-94.