

หลังคayangมะตอยจากส่วนผสมของ ขยะถุงพลาสติก

รจนา วัฒนศิลป์¹

ภาควิชาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
warojana@hotmail.com

สิงห์ อินทรชูโต²

ภาควิชาวิศวกรรมอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
singhman@ku.th

Received 2019-07-08; Revised 2019-09-12; Accepted 2019-10-24

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการพัฒนาหลังคayangมะตอยจากส่วนผสมของขยะพลาสติก ซึ่งขยะพลาสติกที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้คือถุงหิ้วพลาสติกที่มีจำนวนมากและตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยนำขยะถุงหิ้วพลาสติกมาทำความสะอาดและตัดเป็นชิ้นขนาดเล็ก ผสมกับยางมะตอยโดยใช้ความร้อน แล้วนำไปทำเป็นชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบหาคุณสมบัติของหลังคayangมะตอยจากส่วนผสมของขยะถุงพลาสติกในห้องปฏิบัติการ ทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และทดสอบการลามไฟ ผลการทดลองพบว่าขยะถุงหิ้วพลาสติกสามารถเพิ่มค่าความต้านทานแรงฉีกขาดของหลังคayangมะตอยได้ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนขยะถุงหิ้วพลาสติกที่เพิ่มขึ้นในแต่ละอัตราส่วนผสม ทั้งยังมีค่าความต้านทานแรงฉีกขาดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ ASTM D3462 ที่กำหนดค่าความต้านทานแรงฉีกขาดของหลังคayangมะตอยไว้ไม่ต่ำกว่า 16.7 N ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมีแนวโน้มลดลงตามจำนวนขยะถุงหิ้วพลาสติกที่เพิ่มขึ้นในแต่ละอัตราส่วนผสม และต่ำกว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นหลังคayangมะตอยที่ขายในท้องตลาด ส่วนการลามไฟ ขึ้นทดสอบมีการลามไฟ ลักษณะใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับการลามไฟของแผ่นหลังคayangมะตอยที่ขายในท้องตลาด

คำสำคัญ: ขยะถุงพลาสติก ถุงหิ้วพลาสติก ถุงพลาสติก หลังคayangมะตอย อัฟไซเคิล

¹ นิสิตหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอาคาร)

² รองศาสตราจารย์ ดร.

Asphalt Shingle Roof from a Mixture of Plastic Bag Waste

*Rojana Wattanasil*³

*Department of Building Innovation, Faculty of Architecture, Kasetsart University
warojana@hotmail.com*

*Singh Intrachooto*⁴

*Department of Building Innovation, Faculty of Architecture, Kasetsart University
singhman@ku.th*

Abstract

This research investigates the use of plastic waste in the production of asphalt shingle roofing. The plastic waste used in this research came from plastic bags that were salvaged from the environment. The plastic bags were cleaned and cut into small pieces and then mixed with asphalt using heat before finally making the asphalt plastic composite material samples for testing. The tests involve tear strength testing, thermal conductivity testing and a fire resistance test. The experiment results have shown that adding plastic waste to the mixture increases the tear strength of the asphalt shingle roof. Furthermore, it tends to increase as the amount of plastic waste increases in each formula and creates a higher than standard tear strength of at least 16.7 N. As stipulated in the ASTM D3462 for asphalt shingle roofs. Thermal conductivity tends to be lower as plastic bag content increases and is lower than the thermal conductivity of the asphalt shingle roofing on the market. The fire resistance test showed similar results when compared to the asphalt shingle roof sold on the market.

Keywords: plastic bag waste, plastic handle bag, plastic bag, asphalt shingle roof, upcycle

³ Master's degree in architecture (Building innovation) student

⁴ Associate Professor Dr.

บทนำ

มลพิษขยะพลาสติกกลายเป็นวิกฤตสำคัญด้านสิ่งแวดล้อมของทั้งประเทศไทยและนานาชาติ ทั้งปัญหาขยะพลาสติกบนบกและขยะพลาสติกในทะเล เนื่องจากมีปริมาณขยะพลาสติกเกิดขึ้นจำนวนมากในทุกปี (มติชน 2561b) การช่วยกันลดการใช้ (reduce) การใช้ซ้ำ (reuse) และการนำมาแปรรูปใหม่ (recycle) จึงน่าจะเป็นวิธีที่ช่วยลดปริมาณขยะตกค้างได้ดีที่สุด เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสอดคล้องกับนโยบาย 3Rs (Reduce, Reuse, Recycle) ของภาครัฐที่กำลังรณรงค์เพื่อแก้ปัญหาขยะของประเทศ ในขณะนี้ พลาสติกเป็นวัสดุที่มีประสิทธิภาพมาก มีความแข็งแรง ยืดหยุ่นสูง ขึ้นรูปง่าย และหลอมละลายได้ด้วยความร้อน ส่วนมากมีแหล่งกำเนิดจากปิโตรเลียม ซึ่งรวมถึงน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (สถาบันพลาสติก 2556) ประกอบกับที่พลาสติกมีอายุที่ยาวนานมาก ใช้เวลาในการย่อยสลายเองตามธรรมชาติเฉลี่ยถึง 450 ปี (มติชน 2561a) จึงสมควรอย่างยิ่งที่จะนำขยะพลาสติกมารีไซเคิล

หลังคายางมะตอย หรือที่รู้จักกันในชื่อ Asphalt Shingle Roof เป็นหลังคาที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในต่างประเทศ และกำลังแพร่หลายในประเทศไทย เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ช่วยประหยัดโครงสร้าง ติดตั้งง่ายและรวดเร็ว ใช้ได้กับหลังคาหลากหลายรูปทรง และมีความสวยงาม

เป็นธรรมชาติ แต่เนื่องจากยังไม่มีผู้ผลิตหลังคายางมะตอยในประเทศไทยจึงทำให้หลังคายางมะตอยมีราคาที่สูงกว่าหลังคาที่ใช้กันทั่วไปในประเทศไทย หลังคายางมะตอยนั้นผลิตจากเส้นใยไฟเบอร์กลาสหุ้มด้วยยางมะตอยที่อยู่ในสภาวะของเหลวด้วยความร้อน และโรยผิวหน้าด้วยหินเกล็ด ซึ่งยางมะตอยหรือแอสฟัลต์นั้นเป็นวัสดุที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือได้จากการกลั่นปิโตรเลียมดิบ มีปิทูเมนเป็นส่วนผสมหลักซึ่งเป็นสารที่ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน มีคุณสมบัติยึดประสาน มีสถานะกึ่งของแข็ง หนืดเหนียว อยู่ในสภาวะของเหลวเมื่อโดนความร้อนและแข็งตัวเมื่อเย็นลง สีดำหรือค่อนข้างดำ (วัชรินทร์ วิทยกุล 2543)

จากปัญหาและคุณสมบัติข้างต้นของขยะพลาสติกและศักยภาพของหลังคายางมะตอย จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาหลังคายางมะตอยขึ้น โดยการนำขยะพลาสติกมาผสมกับยางมะตอย เพื่อเป็นหลังคายางมะตอย และจากการศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของพลาสติกและยางมะตอย จะเห็นว่าแหล่งกำเนิดของพลาสติกและยางมะตอยนั้น ล้วนมาจากปิโตรเลียม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับในสายงานการผลิตแล้ว จะเห็นว่าพลาสติกเป็นวัสดุที่มีชั้นคุณภาพสูงกว่ายางมะตอย จึงวางแผนการนำพลาสติกมาผสมลงไปในยางมะตอยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่หลังคายางมะตอย ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการเลือกขยะพลาสติกที่มีคุณสมบัติเป็นพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก สามารถ



ภาพที่ 1 ขยะถุงหูหิ้วพลาสติก
ที่มา : ผู้วิจัย

นำมาหลอมได้ด้วยความร้อน มีความแข็งแรง มีความเหนียว ทนทาน ทนแรงกระแทก อีกทั้งเป็นขยะที่เกิดขึ้นและตกค้างเป็นจำนวนมากในประเทศไทย นั่นคือ ขยะถุงหูหิ้วพลาสติก ดังแสดงในภาพที่ 1 นำมาทำการทดลองผสมกับยางมะตอยชนิด AC60/70 ที่เป็นยางมะตอยเกรดที่ใช้ทำถนนทั่วไปและหาได้ง่ายในประเทศไทย

ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

พลาสติก

พลาสติก ที่ใช้กันมากในปัจจุบันที่อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นั้นส่วนมากมีแหล่งกำเนิดมาจากปิโตรเลียม ซึ่งรวมถึงน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติ เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติใต้ผิวดิน โดยกระบวนการผลิตพลาสติกนั้น เริ่มต้นจากการนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบมาทำปฏิกิริยากันจนได้เป็นสายโซ่ยาว เรียกว่าพอลิเมอร์ โดยพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้นี้จะถูกนำไปขึ้นรูปเป็นเม็ดพลาสติกและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

พลาสติกสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามโครงสร้าง ได้แก่ (1) เทอร์โมเซตติง พลาสติกที่หลอมเหลวได้ในขั้นตอนการขึ้นรูปครั้งแรกเท่านั้น ไม่สามารถหลอมเหลวขึ้นรูปได้ใหม่ถึงแม้จะโดนความร้อน แต่จะสลายตัวหรือไหม้ในที่สุด เช่น เมลามีน พอร์มาลดีไฮด์ ฟีนอลฟอร์มาดีไฮด์ อีพ็อกซี โพลีเอสเตอร์ โพลียูรีเทน (PU) ซิลิโคน (SI) (2) เทอร์โมพลาสติก พลาสติกที่สามารถ

นำมาหลอมซ้ำได้ด้วยความร้อนและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือที่เรียกว่ารีไซเคิล เช่น โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) โพลีโพรพิลีน (PP) โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) โพลีเอทิลีนเทเรฟทาเลท (PET) โพลิสไตรีน (PS) ไนลอน 66 อะคริลไนไตรล์ บิวทาไดอีน สไตรีน (ABS) พอลิเมทิลเมทาครีเลต (PMMA) (สถาบันพลาสติก 2556) ซึ่งพลาสติกที่สามารถนำมารีไซเคิลได้นั้น ได้มีการใส่สัญลักษณ์ เพื่อให้ง่ายต่อการแยกประเภท ซึ่งสัญลักษณ์จะมีลักษณะเป็นตัวเลข 7 ตัว และมีรูปสามเหลี่ยมที่มีลูกศรสามตัววิ่งตามกัน ดังแสดงในภาพที่ 2

พลาสติกที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ถุงหูหิ้วพลาสติก ซึ่งส่วนใหญ่จะผลิตจากโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) จัดอยู่ในพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก มีสัญลักษณ์การรีไซเคิลหมายเลข 2 มีคุณสมบัติเหนียวและยืดได้มาก มีความแข็งแรงสูง ไม่แตกง่าย มีสีส้ม ยอมให้อุณหภูมิร้อนสูงแต่ไม่ทนความเย็น (อรุณี ศุภสินสาธิต 2556)

ยางมะตอย

ยางมะตอย หรือ แอสฟัลต์ (Asphalt) คือ วัสดุประสานสีน้ำตาลแก่อิ่งสีดำ เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือได้จากการกลั่นปิโตรเลียมดิบ มีบิทูเมนเป็นส่วนผสมหลักซึ่งเป็นสารที่ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbons) มีคุณสมบัติยึดประสาน มีสถานะกึ่งของแข็ง หนืดเหนียว สีดำหรือค่อนข้างดำ แอสฟัลต์ที่ใช้สำหรับปูผิวทาง



ภาพที่ 2 สัญลักษณ์ตัวเลขพลาสติกชนิดรีไซเคิลได้
ที่มา : อรุณี ศุภสินสาธิต 2556

ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ ได้แก่ (1) แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt cement: AC) ยางมะตอยพื้นฐานที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ (2) คัทแบคแอสฟัลต์ (Cut-back asphalt) ยางมะตอยที่ได้จากการผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์กับตัวทำละลายเพื่อลดความหนืด (3) แอสฟัลต์อิมัลชัน (Asphalt emulsion) ยางมะตอยที่ได้จากการผสมระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์กับน้ำและเติมสารอิมัลซิไฟด์เพื่อให้ยางมะตอยสามารถรวมตัวกับน้ำได้ดี (วัชรินทร์ วิทยกุล 2543) ซึ่งแอสฟัลต์มีคุณสมบัติที่ดีหลากหลาย เช่น มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานที่ดี ป้องกันน้ำซึมผ่าน ให้ความร้อนแล้วกลายเป็นของเหลวและแข็งตัวเมื่อเย็นลง ทนทานต่อทุกสภาพอากาศ มีความยืดหยุ่น ทนต่อแรงกดและแรงสั่นสะเทือนได้ดี

ชนิดยางมะตอยที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ ยางมะตอยพื้นฐานที่ได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบจะเป็นส่วนที่ข้นและหนักที่สุด มีลักษณะแข็งและเหนียว ซึ่งมีการแบ่งเกรดตามช่วงมาตรฐานของความข้นเหลว โดยใช้การทดสอบหาค่าเพนิเทรชันเป็นมาตรฐานในการวัด แบ่งออกเป็นเกรดมาตรฐาน 5 เกรด ได้แก่ 40/50,

60/70, 85/100, 120/150 และ 200/300 ในงานวิจัยนี้เลือกใช้เกรด 60/70 ซึ่งเป็นเกรดที่นิยมนำมาใช้สำหรับงานทางและหาได้ทั่วไปในประเทศไทย (วัชรินทร์ วิทยกุล 2543) AC60/70 นอกจากจะใช้สำหรับงานทางแล้ว AC60/70 ยังเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทำหลังคา พื้นผลิตภัณฑ์กันน้ำ กาว ตัวเชื่อมประสานและผลิตภัณฑ์ป้องกันการกัดกร่อน โดยมีคุณลักษณะตามมาตรฐานอุตสาหกรรมเลขที่ มอก.851-2542 ดังแสดงในตารางที่ 1

วิธีการทดลอง

การผลิตแผ่นขึ้นตัวอย่าง

การวิจัยเรื่องหลังคายางมะตอยจากส่วนผสมของขยะถุงพลาสติก เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยขั้นแรกได้ทำการออกแบบแผ่นขึ้นตัวอย่างหลังคายางมะตอยจากส่วนผสมของขยะถุงพลาสติกให้มีลักษณะใกล้เคียงกับแผ่นหลังคายางมะตอยที่วางขายตามท้องตลาด ประกอบกับอ้างอิงจากมาตรฐาน ASTM D3462 โดย

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของยางมะตอยชนิด AC60/70 (ข้อกำหนดเป็นไปตามมาตรฐานอุตสาหกรรมเลขที่ มอก.851-2542)

คุณลักษณะ	หน่วย	ข้อกำหนด
เพนิเทรชัน (penetration) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส น้ำหนักกด 100 กรัม เวลา 5 วินาที	0.1 มิลลิเมตร	60-70
จุดวาบไฟ ไม่น้อยกว่า	องศาเซลเซียส	232
จุดอ่อนตัว	องศาเซลเซียส	45-55
การยืดดึง (ductility) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส อัตราเร็วของเครื่องดึง 5 เซนติเมตรต่อนาที : เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า	เซนติเมตร	100
การละลายในไตรคลอโรเอทิลีน : ร้อยละโดยน้ำหนัก ไม่น้อยกว่า	เซนติเมตร	99

ที่มา : บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน) 2546

ให้แผ่นขึ้นตัวอย่างมีความหนา 3 มิลลิเมตร และได้ออกแบบส่วนผสมหลักของแผ่นขึ้นตัวอย่าง ซึ่งใช้ปริมาณยางมะตอย AC60/70 น้ำหนัก 300 กรัม ในการขึ้นรูปแผ่นขึ้นตัวอย่าง ขนาด 35x35x0.3 เซนติเมตร ใช้หินเกร็ด เบอร์ 5 น้ำหนัก 200 กรัม ในการโรยตกแต่งผิวหน้าแผ่นขึ้นตัวอย่าง และใช้ขยะถุงหิ้วพลาสติกสำหรับผสมกับยางมะตอย โดยมีอัตราส่วนผสมคือ 8% 10% 15% 20% และ 25% โดยน้ำหนักของยางมะตอยซึ่งค่าตั้งต้นของอัตราส่วนขยะถุงหิ้วพลาสติกกับยางมะตอยที่เริ่มต้นจาก 8% โดยน้ำหนักของยางมะตอยนั้น ได้อ้างอิงมาจากโครงการถนนพลาสติกกรีซเคิล ซึ่งเป็นโครงการที่ร่วมมือกันระหว่างเอสซีจีและกลุ่มบริษัท ดาว ประเทศไทย (rubberplasma.com 2561) ทั้งนี้สามารถสรุปอัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของแผ่นหลังคายางมะตอยจากส่วนผสมของขยะถุงพลาสติก ดังแสดงในตารางที่ 2

ขั้นที่สอง การเตรียมวัสดุอุปกรณ์ ได้แก่ ยางมะตอยชนิด AC60/70 ของบริษัท ทิปโก้แอสฟัลต์ จำกัด มหาชน ขยะถุงหิ้วพลาสติกที่ได้ทำการล้างและสับย่อยละเอียด แผ่นเส้นใยไฟเบอร์กลาส ชนิดใยผ้า (woven roving) E-glass cloth #100 หินเกล็ด ขนาดเบอร์ 5 แบบหล่อไม้ ขนาด 35x35x0.3 เซนติเมตร เตาแก๊สและถังแก๊ส หม้อต้มยางมะตอย เครื่องช่างน้ำหนักดิจิตอล เป็นต้น

ขั้นที่สาม การขึ้นรูป โดยนำยางมะตอย ขยะถุงหิ้วพลาสติก และหินเกร็ด ที่เตรียมไว้มาชั่งน้ำหนักตามอัตราส่วนที่ได้คำนวณไว้แล้วในตารางที่ 2 ดังแสดงในภาพที่ 3 จากนั้นนำยางมะตอยที่ได้ชั่งน้ำหนักแล้วตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ไปต้มในหม้อต้ม ให้ยางมะตอยละลายจนอยู่ในสภาวะของเหลว นำขยะถุงหิ้วพลาสติกที่สับย่อยละเอียดใส่ลงไปในหม้อต้มยางมะตอย โดยใช้อุณหภูมิประมาณ 180-220 องศาเซลเซียส ต้มจนยางมะตอยและขยะถุงหิ้วพลาสติกละลายผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งใช้เวลาประมาณ 3-4 นาที ดังแสดงในภาพที่ 4 หลังจากนั้นนำยางมะตอยที่ผสมขยะถุงหิ้วพลาสติกที่แล้วเสร็จเจลงในแบบหล่อที่ได้ติดตั้งแผ่นไฟเบอร์กลาสเตรียมไว้ พร้อมปรับแต่งผิวหน้าแผ่นยางมะตอยผสมขยะถุงหิ้วพลาสติกให้เรียบเสมอกัน เมื่อปรับแต่งผิวหน้าแผ่นยางมะตอยผสมขยะถุงหิ้วพลาสติกให้เรียบเสมอกันแล้ว จึงนำหินเกล็ดขนาดเบอร์ 5 มาโรยผิวหน้าให้ทั่ว ทั้งนี้ต้องทำการโรยหินเกล็ดในขณะที่แผ่นยางมะตอยผสมขยะถุงหิ้วพลาสติกยังไม่เปลี่ยนสภาวะเป็นของแข็ง จากนั้นทำการกดหินเกล็ดที่โรยไว้ให้ยึดติดกับผิวหน้าของแผ่นยางมะตอยผสมขยะถุงหิ้วพลาสติกโดยนำแกนกระดาษมาลึงทับให้หินเกล็ดยึดติดเสมอกันทั่วทั้งแผ่น ดังแสดงในภาพที่ 5 เมื่อขึ้นตัวอย่างแข็งตัวแล้วให้นำออกจากแบบหล่อ ก็จะได้ขึ้นตัวอย่างขนาด 35x35x0.3 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 6

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของแผ่นหลังคายางมะตอยจากส่วนผสมของขยะถุงพลาสติก

ส่วนผสม	อัตราส่วนขยะถุงหิ้วพลาสติก				
	8%	10%	15%	20%	25%
ยางมะตอย AC70/60 (กรัม)	276	270	255	240	225
ขยะถุงหิ้วพลาสติก (กรัม)	24	30	45	60	75
หินเกล็ดเบอร์ 5 (กรัม)	200	200	200	200	200

ที่มา : ผู้วิจัย



(1)

(2)

(3)

ภาพที่ 3 การนำวัสดุมาชั่งน้ำหนัก
ที่มา : ผู้วิจัย



(1)

(2)

(3)

ภาพที่ 4 ขั้นตอนการต้มยางมะตอยผสมขยะถุงหิ้วพลาสติก (1) ต้มยางมะตอยให้ละลายจนอยู่ในสถานะของเหลว (2) ใส่ขยะถุงหิ้วพลาสติกที่สับย่อยละเอียดลงไปในยางมะตอย (3) คนยางมะตอยให้ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกับพลาสติก
ที่มา : ผู้วิจัย



(1)

(2)

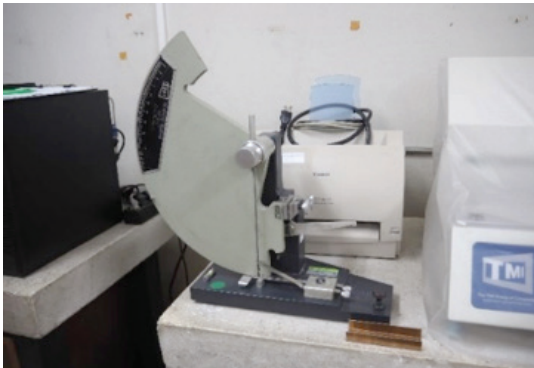
(3)

(4)

ภาพที่ 5 ขั้นตอนการเทยางมะตอยที่ผสมขยะพลาสติกลงในแบบหล่อ (1) แบบหล่อพร้อมติดตั้งแผ่นไฟเบอร์กลาส (2) เทยางมะตอยที่ผสมขยะพลาสติกเรียบร้อยแล้วลงในแบบหล่อ (3) โรยหินเกล็ดลงบนแผ่นยางมะตอย (4) ใช้แกนกระดาษกลิ้งทับผิวหน้า
ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 6 ชิ้นตัวอย่างแผ่นหลังคายางมะตอยจากส่วนผสมของขยะถุงพลาสติกที่เสร็จสมบูรณ์ขนาด 35x35x0.3 เซนติเมตร
ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 7 เครื่อง Elmendorf Tearing Tester
ที่มา : ผู้วิจัย

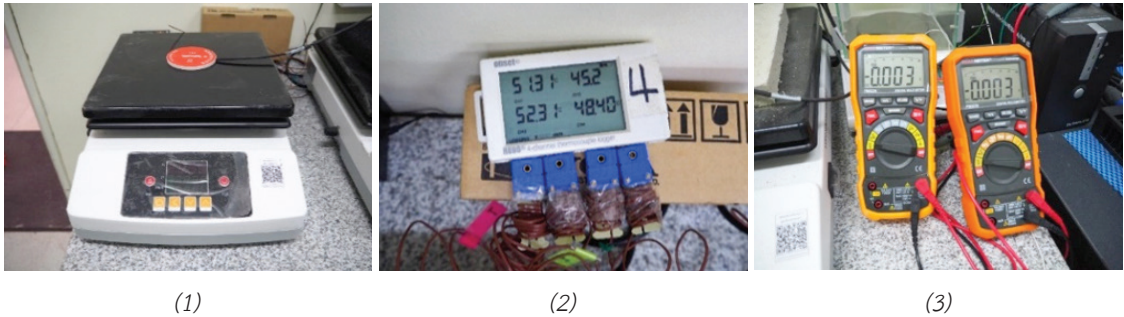
การทดสอบคุณสมบัติของแผ่นหลังคายางมะตอยจากส่วนผสมของขยะถุงพลาสติก

การทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด (tear strength) ตามมาตรฐาน ASTM D228 ด้วยเครื่อง Elmendorf Tearing Tester, Model: No.83-10 ขนาด 6400 กรัม ดังแสดงในภาพที่ 7 ทดสอบโดยการนำชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการขึ้นรูป ขนาด 35x35 เซนติเมตร มาตัดให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน ASTM D228 กำหนด คือ 76x63 มิลลิเมตร $\pm 3\%$ จำนวน 10 ชิ้นทดสอบต่อ 1 อัตราส่วนผสม แล้วนำไปทดสอบ กับเครื่อง Elmendorf Tearing Tester ขนาด 6,400 กรัม ภาวะการทดสอบ อุณหภูมิ 27 ± 1 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ $62 \pm 2\%$ แต่เนื่องด้วยเกิดค่าความคลาดเคลื่อนสูง ค่าที่อ่านได้ไม่แม่นยำ จึงได้มีการปรับขนาดชิ้นทดสอบให้เล็กลงในช่วงของความยาว อยู่ที่ขนาด 63x65 มิลลิเมตร (อ้างอิงจากการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของกระดาษ ASTM D689) ดังแสดงในภาพที่ 8 จากนั้นนำผลที่ได้จากการทดสอบมาหาค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงฉีกขาดของแต่ละอัตราส่วนผสม แล้วนำมาสรุปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานความต้านทานแรงฉีกขาดของแผ่นหลังคายางมะตอยตามมาตรฐาน ASTM D3462

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K) อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C177 ด้วยชุดเครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ซึ่งประกอบด้วย (1) เครื่อง Ceramic Top Hotplate Stirrer Model: ZNCLBS1280 และเครื่องวัดการถ่ายเทความร้อน Heat



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาด เรียงลำดับ 1-4
ที่มา : ผู้วิจัย



ภาพที่ 9 ชุดเครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (1) เครื่อง Intelligent Ceramic Top Hotplate Stirrer Model: ZNCLBS1280 และ Heat flux sensor (2) เครื่อง HOBO 4-channel thermocouple logger (3) เครื่อง PEAKMETER PM8236
ที่มา: ผู้วิจัย



ภาพที่ 10 การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
ที่มา: ผู้วิจัย

flux sensor, HFP01 (2) เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ HOBO 4-channel thermocouple logger (3) เครื่องวัดและทดสอบแรงดันไฟฟ้า PEAKMETER PM8236 ดังแสดงในภาพที่ 9 ทดสอบโดยการนำชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการขึ้นรูป ขนาด 35x35 เซนติเมตร มาตัดให้ได้ขนาด 20x20 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานที่สามารถใช้ในการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน จำนวน 3 ชิ้นทดสอบต่อ 1 อัตราส่วนผสม แล้วนำไปทดสอบกับชุดเครื่องทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ภาวะการทดสอบ อุณหภูมิ 23±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50±5% โดยทำการบันทึกผล ในทุกๆ 10 นาที จนกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าจะคงที่ ในการทดสอบนี้จะใช้เวลาบันทึกผล 1 ชั่วโมงครึ่ง ดังแสดงในภาพที่ 10 แล้วนำค่าต่างๆ ที่

ได้บันทึกผลไว้ ไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K) จากนั้นนำค่าเฉลี่ยมาสรุปเปรียบเทียบผลในแต่ละอัตราส่วนผสมและเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของแผ่นหลังคayangมะตอยที่มีขายในท้องตลาด

การทดสอบการลามไฟ ตามมาตรฐาน ISO 11925 ด้วยเครื่อง Flammability Test Furnace, Model : HST-2 ดังแสดงในภาพที่ 11 ทดสอบโดยนำชิ้นตัวอย่างที่ได้จากการขึ้นรูป ขนาด 35x35 เซนติเมตร มาตัดให้ได้ขนาด 10x25 เซนติเมตร ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานที่สามารถใช้ในการทดสอบหาค่าการลามไฟได้ จำนวน 6 ชิ้นทดสอบต่อ 1 อัตราส่วนผสม โดยจะใช้ทดสอบในแนวตั้ง 3 ชิ้นทดสอบต่อ 1 อัตราส่วนผสม และใช้ทดสอบในแนวนอน 3 ชิ้นทดสอบต่อ 1 อัตราส่วนผสม ภาวะการทดสอบ อุณหภูมิ 30±5 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 50±5% เริ่มทดสอบโดยการติดตั้งชิ้นทดสอบ และทำการจุดไฟที่เตาแอลกอฮอล์ นำเปลวไฟไปจ่อที่ชิ้นทดสอบ เริ่มจับเวลาตั้งแต่เริ่มนำเปลวไฟไปจ่อชิ้นทดสอบจนถึง 15 วินาที ดูชิ้นทดสอบหากติดไฟให้นำเปลวไฟออกมา หากยังไม่ติดไฟให้จ่อเปลวไฟที่ชิ้นทดสอบต่อไปจนถึง 30 วินาที สังเกตการติดไฟและการลามไฟจนกว่าชิ้นทดสอบจะไหม้หมดหรือไฟมอดดับไปเอง ทำการบันทึกผล ดังแสดงในภาพที่ 12 และ 13 จากนั้นสรุปลักษณะการลามไฟของชิ้นทดสอบเทียบกับการลามไฟของแผ่นหลังคayangมะตอยที่มีขายในท้องตลาด



ภาพที่ 11 เครื่อง Flammability Test Furnace,
Model : HST-2
ที่มา: ผู้วิจัย



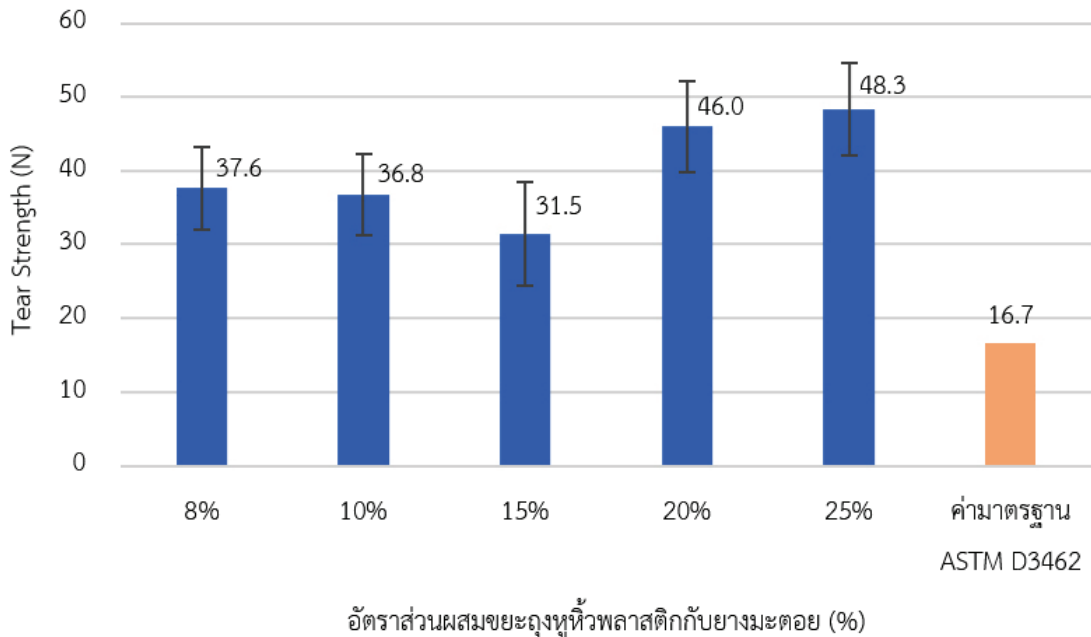
ภาพที่ 12 ขั้นตอนการทดสอบการลามไฟแนวตั้ง เรียงลำดับ 1-4
ที่มา: ผู้วิจัย



ภาพที่ 13 ขั้นตอนการทดสอบการลามไฟแนวนอน เรียงลำดับ 1-4
ที่มา: ผู้วิจัย

ผลการวิจัย

ผลการทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดของ ชิ้นตัวอย่างแผ่นหลังคayangมะตอยจากส่วน ผสมของขยะถุงพลาสติก

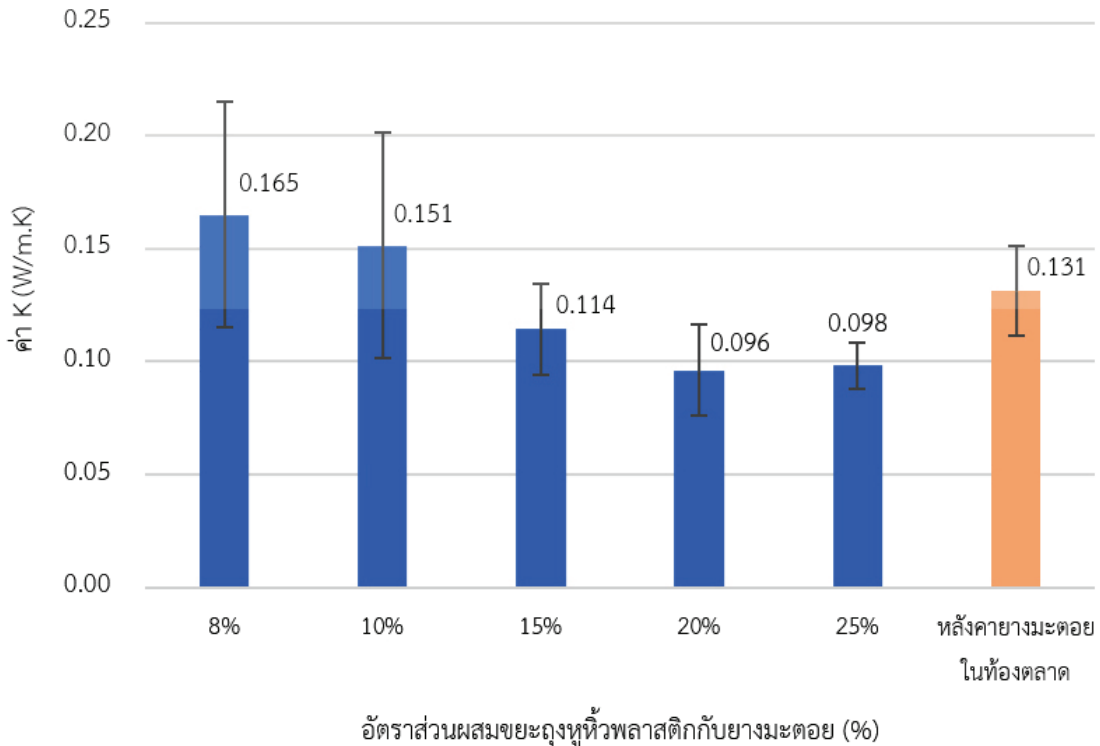


ภาพที่ 14 แผนภูมิแท่งผลการทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดเฉลี่ย
ที่มา: ผู้วิจัย

จากการทดสอบความต้านทานแรงฉีกขาดพบว่า ชิ้นทดสอบอัตราส่วนผสม 8% มีค่าความต้านทานแรงฉีกขาดเฉลี่ยที่ 37.6 ± 5.6 N อัตราส่วนผสม 10% มีค่าความต้านทานแรงฉีกขาดเฉลี่ยที่ 36.8 ± 5.5 N อัตราส่วนผสม 15% มีค่าความต้านทานแรงฉีกขาดเฉลี่ยที่ 31.5 ± 7.0 N อัตราส่วนผสม 20% มีค่าความต้านทานแรงฉีกขาดเฉลี่ยที่ 46 ± 6.2 N และอัตราส่วนผสม 25% มีค่าความต้านทานแรงฉีกขาดเฉลี่ยที่ 48.3 ± 6.3 N โดยชิ้นทดสอบที่มีค่าความต้านทานแรงฉีกขาดเฉลี่ยสูงสุดคือ อัตราส่วนผสม 25% เนื่องจากมีปริมาณของขยะถุงพลาสติกที่มากที่สุด จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าขยะถุงพลาสติกสามารถเพิ่มค่าความต้านทานแรงฉีกขาดของ

หลังคayangมะตอยได้ และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นตามจำนวนขยะถุงพลาสติกที่เพิ่มขึ้นในแต่ละอัตราส่วนผสม อีกทั้งยังมีค่าที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของ ASTM D3462 ที่กำหนดค่าความต้านทานแรงฉีกขาดของแผ่นหลังคayangมะตอยไว้ต้องไม่ต่ำกว่า 16.7 N ดังแสดงในภาพที่ 14 ให้เห็นว่ากรรมผสมขยะถุงพลาสติกสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้แก่แผ่นหลังคayangมะตอยได้ แต่เนื่องจากการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอของพลาสติกในยางมะตอยของชิ้นทดสอบนั้น มีผลทำให้ค่าความต้านทานแรงฉีกขาดเฉลี่ยของอัตราส่วนผสม 10% และอัตราส่วนผสม 15% น้อยกว่าค่าความต้านทานแรงฉีกขาดเฉลี่ยของอัตราส่วนผสม 8%

ผลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K) ของชิ้นตัวอย่างแผ่นหลังคายางมะตอยจากส่วนผสมของขยะถุงพลาสติก



ภาพที่ 15 แผนภูมิแท่งแสดงผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า K) ที่มา: ผู้วิจัย

จากการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนพบว่า ชิ้นทดสอบอัตราส่วนผสม 8% มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยที่ 0.165 ± 0.05 W/m.K อัตราส่วนผสม 10% มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยที่ 0.151 ± 0.05 W/m.K อัตราส่วนผสม 15% มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยที่ 0.114 ± 0.02 W/m.K อัตราส่วนผสม 20% มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยที่ 0.096 ± 0.02 W/m.K และอัตราส่วนผสม 25% มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยที่ 0.098 ± 0.01 W/m.K โดยชิ้นทดสอบที่มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ อัตราส่วนผสม 20%

ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยของแผ่นหลังคายางมะตอยที่ขายในท้องตลาด ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยที่ 0.131 ± 0.02 W/m.K พบว่า ชิ้นทดสอบอัตราส่วนผสม 15% 20% และ 25% มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเฉลี่ยของแผ่นหลังคายางมะตอยที่ขายในท้องตลาด ดังแสดงในภาพที่ 15 สรุปได้ว่าการผสมขยะถุงหั่วพลาสติกลงในแผ่นหลังคายางมะตอยนั้นสามารถลดค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลงได้ และมีแนวโน้มจะลดลงตามจำนวนขยะถุงหั่วพลาสติกที่เพิ่มมากขึ้นในแต่ละอัตราส่วนผสม

**ผลการทดสอบการลามไฟของชิ้นตัวอย่างแผ่น
หลังคายางมะตอยจากส่วนผสมของขยะถุง
พลาสติก**

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการลามไฟของชิ้นทดสอบ ขนาด 10x25x0.3 เซนติเมตร จำนวน 6 ชิ้นทดสอบต่อ 1 อัตราส่วนผสม

ชิ้นงาน			ลักษณะการลามไฟ (ระยะเวลา)				
อัตราส่วน	No.	การติดตั้ง	เริ่มติดไฟหลัง จากจุด 15 วินาที	เริ่มติดไฟหลัง จากจุด 30 วินาที	ไฟดับเองหรือเผาไหม้หมด		
					เวลา (นาที)	ไฟดับ เอง	เผาไหม้ หมด
8%	1	แนวตั้ง	X		4.00		X
	2	แนวตั้ง		X	4.34		X
	3	แนวตั้ง		X	0.40	X	
	4	แนวนอน		X	2.37	X	
	5	แนวนอน		X	0.40	X	
	6	แนวนอน		X	2.33	X	
10%	1	แนวตั้ง		X	1.16	X	
	2	แนวตั้ง		X	1.05	X	
	3	แนวตั้ง		X	5.25		X
	4	แนวนอน		X	4.22		X
	5	แนวนอน		X	4.03		X
	6	แนวนอน		X	0.30	X	
15%	1	แนวตั้ง		X	0.30	X	
	2	แนวตั้ง		X	0.30	X	
	3	แนวตั้ง		X	0.60	X	
	4	แนวนอน		X	1.19	X	
	5	แนวนอน		X	0.36	X	
	6	แนวนอน		X	1.40	X	

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการลามไฟของชั้นทดสอบ ขนาด 10x25x0.3 เซนติเมตร จำนวน 6 ชั้นทดสอบต่อ 1 อัตราส่วนผสม (ต่อ)

ชั้นงาน			ลักษณะการลามไฟ (ระยะเวลา)				
อัตราส่วน	No.	การติดตั้ง	เริ่มติดไฟหลัง จากจุด 15 วินาที	เริ่มติดไฟหลัง จากจุด 30 วินาที	ไฟดับเองหรือเผาไหม้หมด		
					เวลา (นาที)	ไฟดับ เอง	เผาไหม้ หมด
20%	1	แนวตั้ง		X	0.38	X	
	2	แนวตั้ง		X	4.10		X
	3	แนวตั้ง		X	1.50	X	
	4	แนวนอน		X	3.53	X	
	5	แนวนอน		X	0.38	X	
	6	แนวนอน		X	7.16		X
25%	1	แนวตั้ง		X	4.22		X
	2	แนวตั้ง		X	0.43	X	
	3	แนวตั้ง		X	1.09	X	
	4	แนวนอน		X	0.44	X	
	5	แนวนอน		X	0.42	X	
	6	แนวนอน	X		3.26	X	
ตัวอย่าง แผ่น หลังคา ยาง มะตอยใน ท้องตลาด	1	แนวตั้ง		X	1.20	X	
	2	แนวตั้ง		X	1.19	X	
	3	แนวตั้ง		X	1.19	X	
	4	แนวนอน		X	1.36	X	
	5	แนวนอน		X	1.37	X	
	6	แนวนอน		X	2.12	X	

ที่มา: ผู้วิจัย

จากการทดสอบการลามไฟพบว่า มีการลามไฟของแผ่นหลังคayangมะตอยจากส่วนผสมของขยะถุงพลาสติก โดยขึ้นทดสอบจำนวน 2 ชั้น จุดติดไฟที่ 15 วินาที ในขณะที่ขึ้นทดสอบจำนวน 28 ชั้น จุดติดไฟที่ 30 วินาที เช่นเดียวกับขึ้นตัวอย่างแผ่นหลังคayangมะตอยในท้องตลาดที่นำมาทดสอบจำนวน 6 ชั้น ลักษณะการเผาไหม้มี 2 ลักษณะคือ (1) จุดติดไฟลามไฟและดับเอง จำนวน 22 ชั้น ใช้เวลาเผาไหม้อยู่ระหว่าง 0.30-3.53 นาที (2) จุดติดไฟลามไฟจนเผาไหม้หมด จำนวน 8 ชั้น ใช้เวลาเผาไหม้อยู่ระหว่าง 4.00-7.16 นาที ซึ่งต่างกับขึ้นตัวอย่างแผ่นหลังคayangมะตอยในท้องตลาดที่มีลักษณะการเผาไหม้ลักษณะเดียวคือ จุดติดไฟลามไฟและดับเองทั้ง 6 ชั้น ใช้เวลาเผาไหม้อยู่ระหว่าง 1.19-2.12 นาที และพบว่าลักษณะของควันที่เกิดขึ้นในขณะที่เผาไหม้เป็นสีดำ มีกลิ่นไหม้ฉุนฉุน ระหว่างที่ขึ้นทดสอบลามไฟตัวขึ้นทดสอบจะละลายและหยุด เมื่อเย็นแล้วชิ้นเผาไหม้มีลักษณะเป็นสีดำเหนียวและแข็ง ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับขึ้นตัวอย่างแผ่นหลังคayangมะตอยในท้องตลาด ดังแสดงในตารางที่ 3

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าการนำขยะถุงหิ้วพลาสติกมาผสมลงไปในยางมะตอย สามารถเพิ่มศักยภาพให้กับแผ่นหลังคayangมะตอย เมื่อนำแผ่นหลังคayangมะตอยจากส่วนผสมของขยะถุงพลาสติกมาเปรียบเทียบกับแผ่นหลังคayangมะตอยที่ขายทั่วไปในท้องตลาดพบว่าคุณสมบัติโดยภาพรวมของแผ่นหลังคayangมะตอยจากส่วนผสมของขยะถุงพลาสติกมีแนวโน้มดีกว่าแผ่นหลังคayangมะตอยทั่วไป การกระจายตัวที่ทั่วถึงของพลาสติกในยางมะตอยมีผลต่อทั้งสมบัติทางกายภาพสมบัติทางกล และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน โดยอัตราส่วนผสมที่ดีที่สุดของหลังคayangมะตอยจากส่วนผสมของขยะถุงพลาสติกในการวิจัยครั้งนี้ คือ อัตราส่วนผสม 20% (ขยะถุงหิ้วพลาสติก 20% โดยน้ำหนักของยางมะตอย) ซึ่งสามารถนำขยะพลาสติกมาใช้ได้ถึง 0.49 กิโลกรัมต่อตารางเมตร นอกจากนี้มีข้อสังเกตว่า ความร้อนจากแสงอาทิตย์ และรังสีอัลตราไวโอเล็ตมีผลต่อ

ความเสื่อมของแผ่นหลังคาเมื่อนำมาใช้งาน ซึ่งไม่ได้อยู่ในขอบเขตงานวิจัยนี้

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของพลาสติกในยางมะตอย ซึ่งอยู่ในขั้นตอนการขึ้นรูปนั้น เป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลต่อค่าความแข็งแรง ค่าความต้านทานแรงฉีกขาด ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน และลักษณะการลามไฟของแผ่นหลังคayangมะตอยจากส่วนผสมของขยะถุงพลาสติก จึงควรพัฒนากระบวนการขึ้นรูปให้มีมาตรฐานมากยิ่งขึ้นในการศึกษารั้งต่อไป อีกทั้งในการศึกษารั้งต่อไปควรทดสอบเพิ่มเติมในด้านการทนต่อการรั่วซึมของน้ำ ปริมาณควันพิษที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการการผลิตซึ่งอาจส่งผลต่อสิ่งแวดล้อม และการวิเคราะห์ด้านความคุ้มทุน เป็นต้น

บรรณานุกรม

- บริษัท เจฟพีรีเมียมเฮาส์ จำกัด. “หลังคาชิงเกิ้ลรูฟ.” สืบค้น 21 ตุลาคม 2561. <http://www.roofjp.com/Shingle-roof.html>.
- บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน). *Technical Guideline*. กรุงเทพฯ: บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์, 2546.
- มดิชน. “ขยะพลาสติก หิ้วไทย 2 ล้านตันต่อปี ทส.ชี้วิกฤตโลก-ชวนลดปริมาณ.” สืบค้น 28 สิงหาคม 2561. https://www.matichon.co.th/local/quality-life/news_905531.

—————. “*ทส. แฉขยะพลาสติกไทย ปีละ 3.2 ล้านตัน ยูเอ็นเผยทั่วโลก 5 แสนล้านใบ 13 ล้านตันลงทะเล.*” สืบค้น 28 สิงหาคม 2561. https://www.matichon.co.th/local/quality-life/news_922622.

วัชรินทร์ วิทยกุล. *แอสฟัลต์เทคโนโลยีสำหรับถนนลาดยาง*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.

สถาบันพลาสติก. *รอบรู้เรื่องพลาสติก*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: วี พลัส กรุ๊ป (ไทยแลนด์) จำกัด, 2556.

อรุณี ศุภสินสาธิต. “พลาสติกและภัยจากพลาสติก.” *สิ่งแวดล้อม* 17, 3 (กรกฎาคม-กันยายน 2556): 1-19.

American Society for Testing and Materials (ASTM). *ASTM C177: Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus*. Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken, 2013.

—————. *ASTM D689: Standard Test Method for Internal Tearing Resistance of Paper*. Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken, 2017.

—————. *ASTM D3462: Standard Specification for Asphalt Shingles Made from Glass Felt and Surfaced with Mineral Granules*. Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken, 2018.

—————. *ASTM D228: Standard Test Methods for Sampling, Testing, and Analysis of Asphalt Roll Roofing, Cap Sheets, and Shingles Used in Roofing and Waterproofing*. Annual Book of ASTM Standards. West Conshohocken, 2018.

International Organization for Standardization (ISO). *ISO 11925-2: Reaction to Fire Tests - Ignitability of Building Products Subjected to Direct Impingement of Flame - Part 2: Single-Flame Source Test*. Geneva: ISO, 2002.

rubberplasma.com. “‘ถนน’ จาก ‘ขยะพลาสติก’ ทางเลือกใหม่ของการใช้ทรัพยากรหมุนเวียน.” สืบค้น 28 พฤศจิกายน 2561. <http://rubberplasma.com/2018/11/14/%E0%B8%96%E0%B8%99%E0%B8%99-%E0%B8%88%E0%B8%B2%E0%B8%81-%E0%B8%82%E0%B8%A2%E0%B8%B0%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%AA%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%8-%E0%B8%97/>.