



อิทธิพลของอัตราส่วนตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีผลต่อสมบัติทางกลและค่าการนำความร้อนของ
แผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโฟมเหลือทิ้ง

THE EFFECT OF ORGANIC SOLVENT RATIOS ON MECHANICAL PROPERTIES AND
THERMAL CONDUCTIVITY OF WALKWAY BLOCK FROM WASTE FOAM RESIDUE

กิตติชาติ เผ่าพงษ์ไพบูลย์^{1*} กรกนก บุญเสริม² วีระ หอสกุลไท³ และปริญญ์ จินดาประเสริฐ⁴

¹อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

²อาจารย์ สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

³รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

⁴ศาสตราจารย์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสังเคราะห์แผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษ โฟมเหลือทิ้งที่มีค่าการนำความร้อนต่ำโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ร่วมกับความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนที่แตกต่างกันของตัวทำละลายอินทรีย์ คือ น้ำมันพืชต่อเศษโฟมเหลือทิ้งเท่ากับ 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 และศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆ กับแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์ซึ่งใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 เมื่อตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินมีอายุครบ 3 วัน จะนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดและแรงคด หน่วยน้ำหนักการดูดซึมน้ำ และการนำความร้อน จากผลการทดสอบพบว่ากรดปริมาณอัตราส่วนของน้ำมันพืชต่อเศษโฟมเหลือทิ้ง จะทำให้แผ่นปูพื้นทางเดินมีค่าหน่วยน้ำหนักและค่าการนำความร้อนลดลง ในขณะที่กำลังรับแรงอัดและแรงคดจะมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่ากำลังรับแรงอัดและแรงคดของแผ่นปูพื้นทางเดินที่สังเคราะห์ขึ้นนี้มีค่าสูงกว่าแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์ แต่ค่าหน่วยน้ำหนักและค่าการนำความร้อนของแผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษ โฟมเหลือทิ้งจะมีค่าต่ำกว่าแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์ โดยแผ่นปูพื้นทางเดินที่สังเคราะห์ขึ้นจะมีคุณสมบัติทางกลและค่าการนำความร้อนที่ดีกว่าแผ่นปูพื้นทางเดินทางการค้าซึ่งผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก.378-2531) ที่กำหนดไว้ ทั้งนี้จะพบว่าแผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโฟมเหลือทิ้งสามารถใช้เป็นแผ่นพื้นฉนวนกันความร้อนที่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคาร

คำสำคัญ: แผ่นปูพื้นทางเดิน, เศษโฟมเหลือทิ้ง, สมบัติทางกล, วัสดุฉนวนกันความร้อน

Kittichat Paopongpaiboon^{1*} Kornkanok Boonserm² Veera Horsakulthai³ and Prinya Chindaprasit⁴

¹Lecturer, Department of Civil Engineering Technology and Architecture, Faculty of Industrial Technology, Surindra Rajabhat University

²Lecturer, Department of Applied Chemistry, Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology

³Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

⁴Professor, Sustainable Infrastructure Development and Research Center, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,

ABSTRACT

This research was fabricated low thermal conductivity walkway block from waste foam residue which activated by organic solvent and heat treatment process. The effect of various ratios of organic solvent such as soybean oil to waste foam residue at the level of 0.4, 0.5, 0.6 and 0.7 were investigated. These walkway blocks were compared with the other from cement paste at water to cement ratio of 0.5. All specimens at the age of 3 days were tested for compressive and flexural strength, unit weight, water absorption, and thermal conductivity. The test results showed that the decreasing of soybean oil to waste foam residue ratio resulted in the reducing of unit weight and thermal conductivity while increasing of compressive and flexural strength values. Moreover, the compressive and flexural strength values of the walkway blocks form waste foam residue were higher than that of the walkway blocks form cement paste while the unit weight, water absorption, and thermal conductivity values were lower than that of the other. The synthesized walkway blocks had better mechanical properties and thermal conductivity values than that of commercial block which passed the standard set by Thai Industrial Standard (TIS 378-2531) for concrete flooring tiles. In addition, these walkway blocks form waste foam residue can be used as thermal insulation flooring tile which suited for in-outdoor area of the buildings.

KEYWORDS: Walkway block / Waste foam residue / Mechanical properties / Thermal insulating material

1. บทนำ

จากข้อมูลสถานการณ์ปริมาณขยะมูลฝอยในประเทศไทย พบว่า ในปี พ.ศ. 2559 ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยสูงถึง 27.06 ล้านตัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2551 ที่มีปริมาณขยะมูลฝอยอยู่ที่ 23.93 ล้านตัน คิดเป็นร้อยละ 13.07 สาเหตุเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร การขยายตัวของชุมชนเมือง พฤติกรรมการบริโภคของประชาชนและการเติบโตของการท่องเที่ยว [1] ซึ่งในปี พ.ศ. 2559 มีปริมาณขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกและโฟมเกิดขึ้น 3.1 ล้านตัน หรือคิดเป็นอัตราการเกิดขยะมูลฝอยประเภทพลาสติกและโฟมเฉลี่ยประมาณ 8400 ตันต่อวัน ขยะมูลฝอยประเภทโฟมเมื่อนำไปฝังกลบ ทำให้สิ้นเปลืองพื้นที่ฝังกลบและใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายนาน และเมื่อไม่ได้รับการจัดการที่ถูกต้องจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางบกและทางทะเล [2] และประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตที่มีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นประกอบด้วยภาวะโลกร้อน ทำให้อาคารและบ้านเรือนมีการใช้ไฟฟ้าเนื่องจากเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น ความร้อนที่เกิดจากดวงอาทิตย์เกิดขึ้นทั้งแบบโดยตรงและแบบโดยอ้อมจากการคายความร้อนที่วัสดุสะสมความร้อนไว้ การพัฒนาให้แผ่นปูพื้นทางเดินมีค่าการนำความร้อนต่ำเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดค่าไฟฟ้าจากการเปิดเครื่องปรับอากาศลงได้

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่าได้มีการนำเศษโฟมเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ เพื่อลดปริมาณขยะมูลฝอยประเภทโฟมและลดค่าการนำความร้อนของวัสดุ โดยงานวิจัยของ Boontositrakul และคณะ [3] ได้ใช้เศษโฟมบรรจุภัณฑ์เหลือทิ้งมาผสมในแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูป ทำให้ค่าการนำความร้อนของแผ่นผนังคอนกรีตสำเร็จรูปลดลงตามปริมาณส่วนผสมของเศษโฟมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเศษโฟมเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Sirivallop และคณะ [4] ได้นำโฟมพอลิสไตรีนมาละลายในโทลูอีน ทินเนอร์ อะซิโตน น้ำมันสน และตัวทำละลายผสม ผลิตเป็นวัสดุเชิงประกอบระหว่างโฟมพอลิสไตรีนรีไซเคิลกับเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยกล้วย และจากงานวิจัยของ Masri และคณะ [5] ได้นำขยะโฟมพอลิสไตรีนมาละลายในเบนซีนผสมกับเส้นใยปาล์มผลิตเป็นวัสดุเชิงประกอบเพื่อใช้ในงานวัสดุตกแต่ง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะนำเศษโฟมเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ โดยการนำเศษโฟมเหลือทิ้งมาละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ประเภทน้ำมันพืชร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เพื่อผลิตแผ่นปูพื้นทางเดินทดแทนการใช้ปูนซีเมนต์ ซึ่งมีต้นทุนสูงและเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาภาวะโลกร้อน โดยศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโฟมเหลือทิ้งที่มีต่อสมบัติทางกลและค่าการนำความร้อนของแผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโฟมเหลือทิ้ง ซึ่งเพสต์โฟมที่สังเคราะห์ขึ้นนี้จะถูกนำไปศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติด้านการรับแรงและการเป็นฉนวนกันความร้อนกับแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์ที่ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับ นอกจากนี้จะศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของแผ่นปูพื้นทางเดินจากเพสต์โฟมกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น มอก.378-2531 [6] เพื่อเป็นแนวทางสำหรับผู้สนใจศึกษาพัฒนาต่อออกการผลิตแผ่นปูพื้นทางเดินจากมอร์ตาร์โฟมและคอนกรีตโฟมต่อไป ผลที่เกิดขึ้นจากงานวิจัยนี้นอกจากจะสามารถลดปริมาณขยะมูลฝอยประเภทโฟมได้แล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับขยะมูลฝอยประเภทโฟม ลดปัญหาด้านมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากขยะโฟมเหลือทิ้ง ทำให้แผ่นปูพื้นทางเดินมีน้ำหนักเบาขึ้น ช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านการเป็นฉนวนกันความร้อนของแผ่นปูพื้นทางเดิน และลดปัญหาภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นกับผู้คนในเมืองได้

2. วัสดุและวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

2.1.1 เศษโฟมเหลือทิ้ง ชนิด Expandable Polystyrene (EPS) มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.020 g/cm^3 โดยนำโฟมมาทำความสะอาดก่อนนำมาใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 1

2.1.2 น้ำมันพืช ในงานวิจัยนี้ใช้น้ำมันพืชที่ผลิตจากถั่วเหลือง 100 % มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.91 g/cm^3 [7]

2.1.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15-2547 มีความถ่วงจำเพาะ 3.15

2.1.4 น้ำประปา



รูปที่ 1 เศษโฟมเหลือทิ้ง

2.2 อัตราส่วนผสม

อัตราส่วนผสมของตัวอย่างจากเศษโฟมเหลือทิ้ง ใช้อัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโฟมเหลือทิ้ง เท่ากับ 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 โดยแทนสัญลักษณ์ $O/F = 0.4$, $O/F = 0.5$, $O/F = 0.6$ และ $O/F = 0.7$ ตามลำดับ ส่วนอัตราส่วนผสมของตัวอย่างจากซีเมนต์เพสต์ มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.5 โดยแทนสัญลักษณ์ $W/C = 0.5$ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างอัตราส่วนผสม (กิโลกรัม)

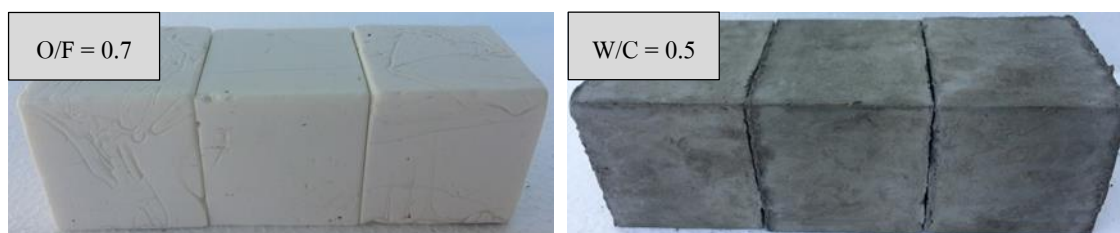
ส่วนผสม	เศษโฟมเหลือทิ้ง (kg)	น้ำมันพืช (kg)	ปูนซีเมนต์ (kg)	น้ำ (kg)
$O/F = 0.4$	1.00	0.40	-	-
$O/F = 0.5$	1.00	0.50	-	-
$O/F = 0.6$	1.00	0.60	-	-
$O/F = 0.7$	1.00	0.70	-	-
$W/C = 0.5$	-	-	1.00	0.50

2.3 การผสมตัวอย่าง

วิธีการผสมตัวอย่างจากเศษโฟมเหลือทิ้งทำได้โดยนำเศษโฟมเหลือทิ้งละลายในน้ำมันพืช ที่อุณหภูมิ 150 ± 10 องศาเซลเซียส และปั่นจน เป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นเทลงในแบบหล่อ ทิ้งไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำการถอดแบบแล้วนำไปไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส จนกระทั่งถึงเวลาทดสอบที่อายุ 3 วัน สำหรับวิธีการผสมตัวอย่างของซีเมนต์เพสต์ ทำได้โดยการผสมปูนซีเมนต์กับน้ำเป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้นเทลงในแบบหล่อทรงลูกบาศก์ตามมาตรฐาน ASTM C109 [8] ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการถอดแบบแล้วนำไปไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ 27 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 50% จนกระทั่งถึงเวลาทดสอบที่อายุ 3 วัน เพื่อจำลองสภาวะแวดล้อมให้คล้ายคลึงกับสภาวะที่อุตสาหกรรมการผลิตแผ่นปูพื้นทางเดินเลือกใช้ในการบ่มชิ้นงาน

2.4 การทดสอบกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศ

การทดสอบนี้ใช้ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ $5 \times 5 \times 5$ ซม. ดังแสดงในรูปที่ 2 ทำการทดสอบตัวอย่างที่อายุ 3 วัน โดยนำตัวอย่างมาวัดขนาดและชั่งน้ำหนักเพื่อหาหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศ ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C109 [8]



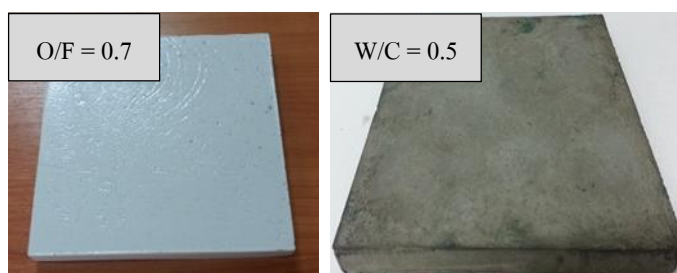
รูปที่ 2 ตัวอย่างทรงลูกบาศก์จากเศษโฟมเหลือทิ้งและจากซีเมนต์เพสต์ ขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร

2.5 การทดสอบกำลังรับแรงดัด

การทดสอบนี้ใช้ตัวอย่างขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 20 x 20 x 2 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 3 ทำการทดสอบตัวอย่างที่อายุ 3 วัน ทดสอบกำลังรับแรงดัดโดยใช้แรงกดหนึ่งจุดที่กึ่งกลางแผ่นปูพื้นทางเดิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C293 [9] ดังแสดงในรูปที่ 4 กำลังรับแรงดัด (R) คำนวณหาได้จากสมการที่ 1

$$R = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

โดยที่ R คือ กำลังรับแรงดัด (กก./ซม.) P คือ แรงกดสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบ (กก.) L คือ ช่วงความยาวของแผ่นปูพื้นทางเดิน (ซม.) b คือ ความกว้างของแผ่นปูพื้นทางเดิน (ซม.) และ d คือ ความหนาของแผ่นปูทางเดิน (ซม.)



รูปที่ 3 ตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโพลีเอทิลีนและจากซีเมนต์เพสต์ ขนาด 20 x 20 x 2 เซนติเมตร



รูปที่ 4 การทดสอบกำลังรับแรงดัดโดยใช้แรงกดที่กึ่งกลางของแผ่นปูพื้นทางเดิน

2.6 การทดสอบค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity)

การทดสอบนี้ใช้ตัวอย่างขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 20 x 20 x 2 ซม. ทำการทดสอบตัวอย่างที่อายุ 3 วัน โดยใช้เครื่องวัดค่าการนำความร้อน รุ่น ISOMET 2114 (Applied Precision Ltd.) ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยวางหัววัด (probe) ทดสอบบนผิวแผ่นปูพื้นทางเดิน ใช้ระยะเวลาทดสอบ 30 นาที เครื่องจะแสดงค่าการนำความร้อนในหน่วยวัตต์ต่อเมตร-เคลวิน (W/m.K)



รูปที่ 5 การทดสอบค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity) ของแผ่นปูพื้นทางเดิน

2.7 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

การทดสอบนี้ใช้ตัวอย่างขนาดกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 20 x 20 x 2 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 3 ทำการทดสอบตัวอย่างที่อายุ 3 วัน ทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 378-2531 [6] โดยนำตัวอย่างไปแช่น้ำเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ใช้ผ้าซับผิวภายนอกให้แห้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักก่อนน้ำ (w_2) จากนั้นวางตัวอย่างในตู้อบที่อุณหภูมิ 65 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างออกจากตู้อบ ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักอบแห้ง (w_1) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณการดูดซึมน้ำ (Water absorption) ตามสมการที่ 2

$$\text{Water absorption} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ Water absorption คือ การดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์) w_1 คือ น้ำหนักอบแห้ง (กรัม) และ w_2 คือ น้ำหนักก่อนน้ำ (กรัม)

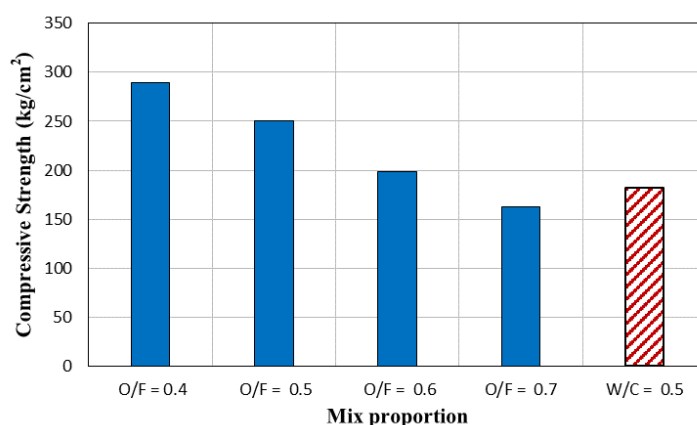
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

ในขั้นตอนการสังเคราะห์ตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินด้วยการนำเศษโพลีโพรพิลีนเหลือทิ้งมาละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดน้ำมันพืชร่วมกับความร้อนนั้น พบว่าเศษโพลีโพรพิลีนเหลือทิ้งจะเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปอยู่ในสถานะของเหลวเนื่องจากเศษโพลีโพรพิลีนเหลือทิ้งเป็นสารพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วสามารถละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วเช่นน้ำมันพืชได้ แต่จำเป็นต้องมีการให้ความร้อนร่วมในการทำปฏิกิริยา โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษานี้เท่ากับ 150 องศาเซลเซียส ± 10 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิ T_g (Glass transition temperature) ของโพลีโพรพิลีนที่จะเปลี่ยนสถานะจากของแข็ง (Glassy state) ไปเป็นสถานะของเหลว (Rubbery state) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยโครงสร้างของเศษโพลีโพรพิลีนเหลือทิ้งที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิดังกล่าวจะเกิดการขยับตัวและทำให้เกิดช่องว่างภายในโครงสร้าง (Free volume) ส่งผลให้น้ำมันพืชสามารถแทรกเข้าไปอยู่ภายในช่องว่างที่เกิดขึ้นได้ ในขณะที่โครงสร้างที่เป็นผลึกของโพลีโพรพิลีน จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการศึกษานี้ต่ำกว่าอุณหภูมิ T_m หรือจุดหลอมเหลวของโพลีโพรพิลีน ซึ่งมีค่าประมาณ 210-270 องศาเซลเซียส [10] ซึ่งโครงสร้างของสารละลายเศษโพลีโพรพิลีนเหลือทิ้งจะยังคงเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่พอลิเมอร์และไม่เปลี่ยนสภาพกลายเป็นโครงสร้างแบบสายโซ่สั้น โดยโครงสร้างแบบ

พอลิเมอร์นี้จะส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงที่ต่ำกว่าโครงสร้างที่มีลักษณะแบบมอนอเมอร์ [10] เมื่อตั้งสารละลายโพลีไธรีนทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง สารละลายโพลีเมอร์จะเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นสถานะของแข็งที่มีลักษณะเป็นพลาสติกแข็งอีกครั้ง

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดดังแสดงไว้ในรูปที่ 6 พบว่าตัวอย่างทรงลูกบาศก์ที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโพลีเอทิลีนที่ต่ำจะมีกำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าตัวอย่างทรงลูกบาศก์ที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโพลีเอทิลีนที่สูง เนื่องจากการใช้อัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโพลีเอทิลีนที่สูงจะทำให้มีเนื้อโพลีเมอร์ต่อปริมาตรน้อย และมีปริมาณน้ำมันพืชที่เหลือจากการเกิดปฏิกิริยาแทรกอยู่ภายในช่องว่างของโครงสร้างตัวอย่างในปริมาณมาก ส่งผลให้คุณสมบัติด้านการรับแรงของวัสดุลดลง ในขณะที่ตัวอย่างทรงลูกบาศก์ที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโพลีเอทิลีนที่ต่ำ จะมีปริมาณเนื้อโพลีเมอร์ต่อปริมาตรมากกว่า และมีปริมาณน้ำมันพืชที่ใช้เป็นตัวทำละลายเหลือในช่องว่างของโครงสร้างตัวอย่างน้อย ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดมีค่ามากกว่า โดยกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทรงลูกบาศก์ที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโพลีเอทิลีน (O/F) เท่ากับ 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 มีค่าเท่ากับ 290, 251, 199 และ 163 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ เมื่อนำค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้มาเปรียบเทียบกับตัวอย่างทรงลูกบาศก์จากซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 พบว่าตัวอย่างทรงลูกบาศก์จากเศษโพลีเอทิลีนที่มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าตัวอย่างทรงลูกบาศก์จากซีเมนต์เพสต์ ยกเว้นตัวอย่างทรงลูกบาศก์ส่วนผสมจากน้ำมันพืชต่อเศษโพลีเอทิลีน (O/F) เท่ากับ 0.7 เพียงส่วนผสมเดียวที่มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่าตัวอย่างทรงลูกบาศก์จากซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 183 กก./ตร.ซม. ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6

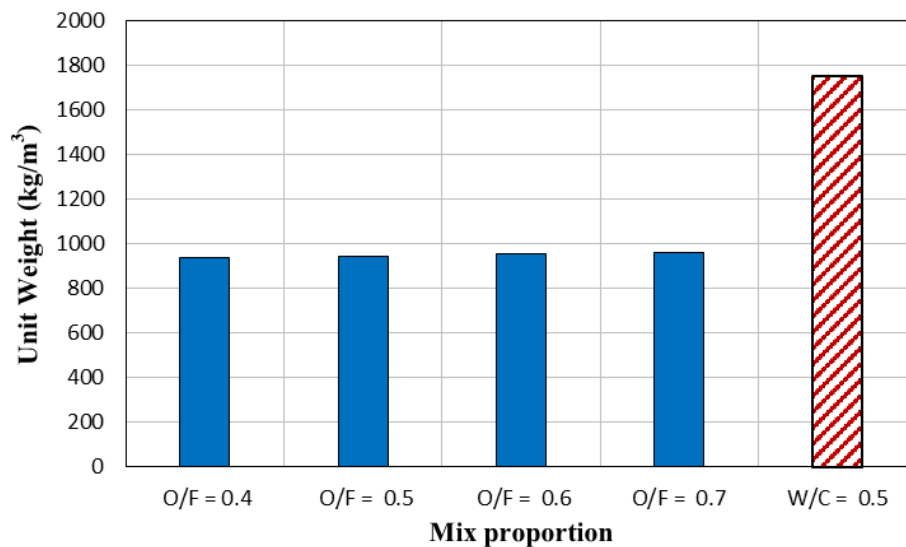


รูปที่ 6 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่อายุ 3 วัน

3.2 ผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

ผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศดังแสดงไว้ในรูปที่ 7 พบว่าตัวอย่างทรงลูกบาศก์ที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโพลีเอทิลีนที่ต่ำจะมีหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศที่ต่ำกว่าตัวอย่างทรงลูกบาศก์ที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโพลีเอทิลีนที่สูง เนื่องจากความหนาแน่นของน้ำมันพืชที่ผลิตจากถั่วเหลืองมีค่าสูงกว่าเศษโพลีเอทิลีน โดยหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศของตัวอย่างทรงลูกบาศก์ที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโพลีเอทิลีน (O/F) เท่ากับ 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 มีค่าเท่ากับ 938, 945, 954 และ 960 กก./ลบ.ม. ตามลำดับ เมื่อนำค่าหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศที่ได้มาเปรียบเทียบกับตัวอย่างทรงลูกบาศก์จากซีเมนต์เพสต์ที่มี

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 พบว่าตัวอย่างทรงลูกบาศก์จากเศษโคมเหลือทิ้งทุกอัตราส่วนผสมมีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศต่ำกว่าตัวอย่างทรงลูกบาศก์จากซีเมนต์เพสต์มาก ซึ่งตัวอย่างทรงลูกบาศก์จากซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 มีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศเท่ากับ 1753 กก./ลบ.ม. ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7 ซึ่งจะเห็นได้ว่า แผ่นปูพื้นทางเดินที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษโคมเหลือทิ้งทุกอัตราส่วนผสมสามารถเคลื่อนย้ายในการขนส่งและติดตั้งได้ง่ายซึ่งมีความสะดวกกว่าแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์

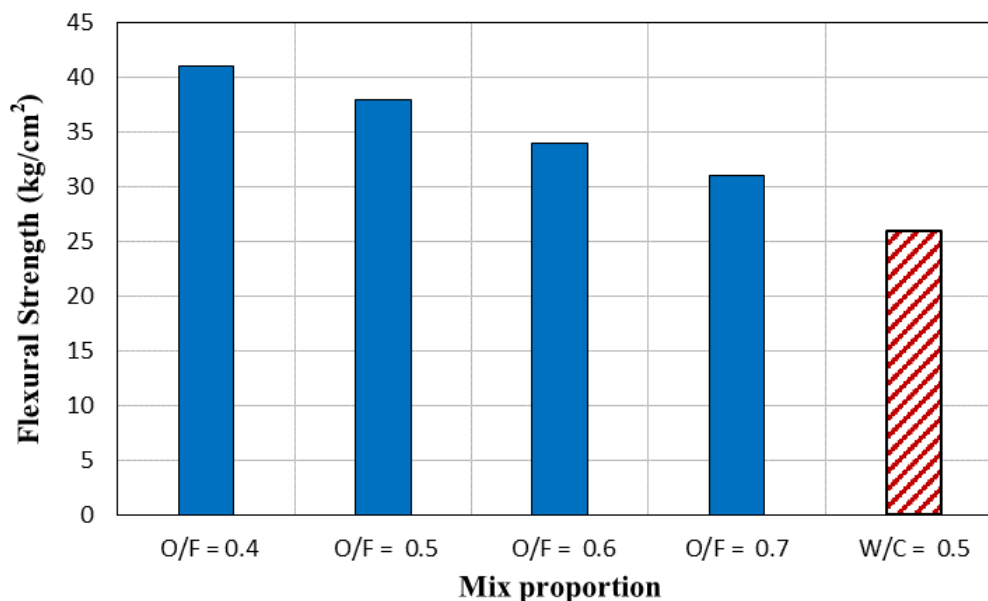


รูปที่ 7 หน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ที่อายุ 3 วัน

3.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดิน

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินดังแสดงไว้ในรูปที่ 8 พบว่าค่ากำลังรับแรงดัดของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโคมเหลือทิ้งจะมีแนวโน้มคล้ายกับค่ากำลังรับแรงดัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ โดยตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโคมเหลือทิ้งต่ำจะมีกำลังรับแรงดัดที่สูงกว่าตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโคมเหลือทิ้งสูง โดยกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโคมเหลือทิ้ง (O/F) เท่ากับ 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 มีค่าเท่ากับ 41, 38, 34 และ 31 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ เมื่อนำค่ากำลังรับแรงดัดที่ได้มาเปรียบเทียบกับตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 พบว่าตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโคมเหลือทิ้งทุกอัตราส่วนผสมมีค่ากำลังรับแรงดัดสูงกว่าตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์ดังแสดงไว้ในรูปที่ 8 และเมื่อนำค่ากำลังรับแรงดัดที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น มอก.378-2531 [6] ซึ่งได้กำหนดให้กำลังรับแรงดัดของกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสคัล (30.59 กก./ตร.ซม.) พบว่าตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษโคมเหลือทิ้งทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้แต่ตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 มีค่ากำลังรับแรงดัดเท่ากับ 26 กก./ตร.ซม. ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้เนื่องจากที่อายุ 3 วัน ปฏิกิริยาไฮเดรชันของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์ยังเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์

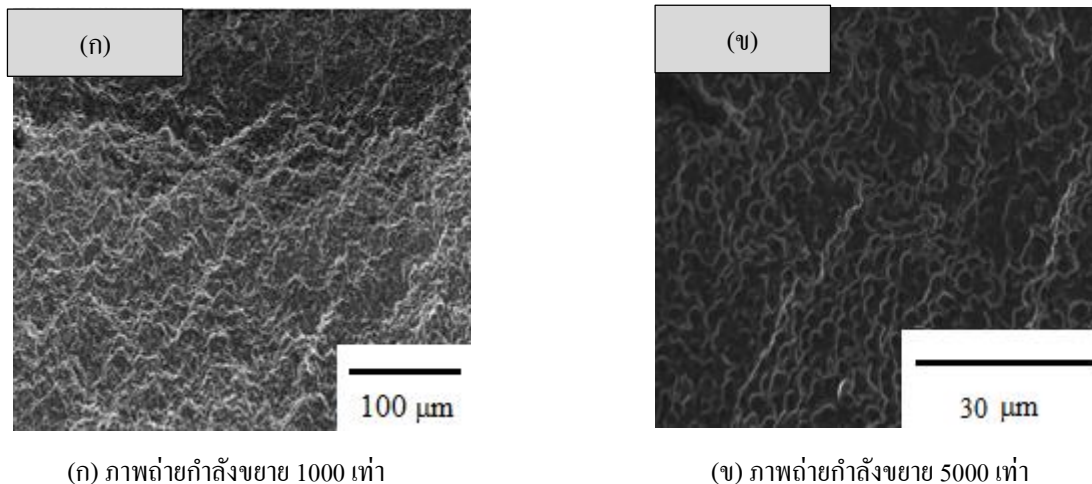
จึงส่งผลให้มีค่ากำลังรับแรงคดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยแผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโพลีเอทิลีนที่สังเคราะห์ขึ้นนี้สามารถนำไปใช้งานได้จริงที่อายุ 3 วัน ซึ่งสามารถตอบโจทย์ความต้องการของภาคอุตสาหกรรมในเรื่องระยะเวลาการบ่มได้เป็นอย่างดี เนื่องจากใช้ระยะเวลาการบ่มน้อยกว่าแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ระยะเวลาในการบ่มนานถึง 28 วัน จึงจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ และผ่านมาตรฐานด้านการรับแรงและการดูดซึมน้ำตามที่ มอก.กำหนดไว้



รูปที่ 8 กำลังรับแรงคดของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่อายุ 3 วัน

3.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดิน

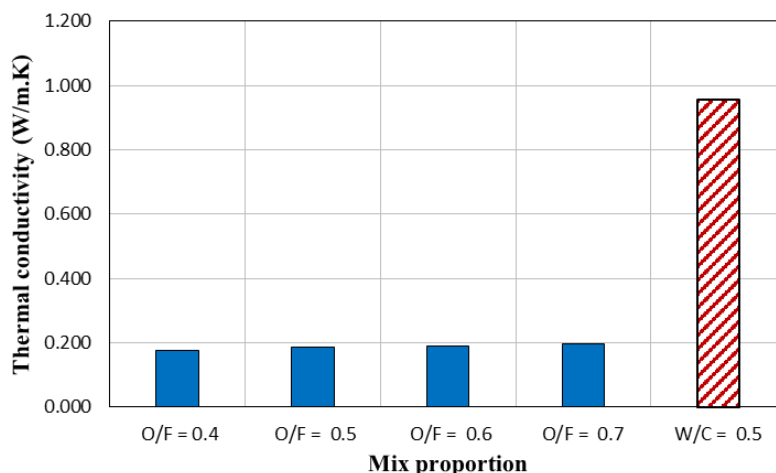
ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดิน พบว่าตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษโพลีเอทิลีนที่ทุกอัตราส่วนผสมมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 0 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น มอก.378-2531 [6] ซึ่งกำหนดไว้ให้ค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 โดยเมื่อพิจารณาจากผลการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคของส่วนผสมตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโพลีเอทิลีน (O/F) เท่ากับ 0.7 ดังแสดงในรูปที่ 9 (ก) พบว่าลักษณะของส่วนผสมจะมีความแน่นและเป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อทำการศึกษาด้วยกำลังขยายที่เพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 9 (ข) พบว่าลักษณะผิวของส่วนผสมมีความเรียบเป็นเนื้อเดียวกันและพบรูพรุนหรือช่องว่างภายในโครงสร้างน้อยมาก ซึ่งผลการทดสอบนี้มีความสอดคล้องกับผลค่าการดูดซึมน้ำที่มีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งแผ่นปูพื้นทางเดินที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษโพลีเอทิลีนนี้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานทั้งภายในและภายนอกอาคาร โดยเฉพาะบริเวณที่มีน้ำขังเป็นระยะเวลายาวนานเนื่องจากแผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโพลีเอทิลีนที่มีเสถียรภาพที่ดีและสามารถกันน้ำได้ ทำให้สามารถลดผลกระทบต่อการทรุดตัวของดินได้ แต่ตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 18 ซึ่งมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ เนื่องจากที่อายุ 3 วัน เป็นระยะเวลาในช่วงต้นที่ระบบโพรงของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์พัฒนาได้ไม่สมบูรณ์ จึงส่งผลให้มีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน



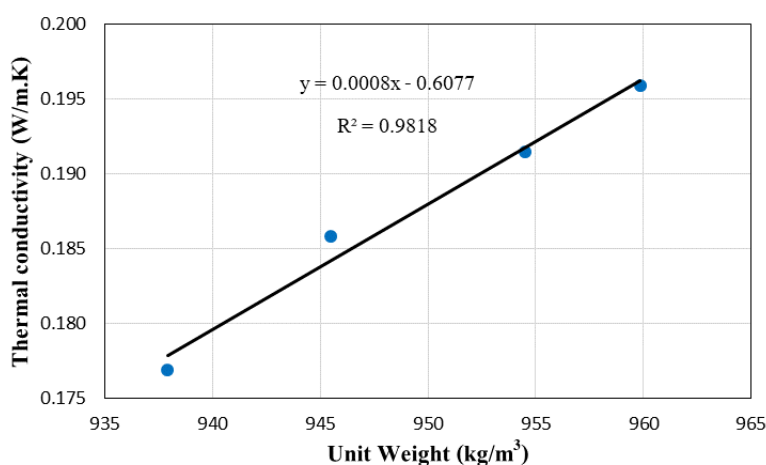
รูปที่ 9 ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างแผ่นอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโฟมเหลือทิ้ง เท่ากับ 0.7

3.5 ผลการทดสอบการนำความร้อนของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดิน

ผลการทดสอบการนำความร้อนของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินดังแสดงไว้ในรูปที่ 10 พบว่าตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโฟมเหลือทิ้งต่ำจะมีการนำความร้อนที่ต่ำกว่าตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโฟมเหลือทิ้งสูง เนื่องจากน้ำมันพืชมีค่าการนำความร้อนที่สูงกว่าเศษโฟมเหลือทิ้ง โดยการนำความร้อนของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโฟมเหลือทิ้ง (O/F) เท่ากับ 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 มีค่าเท่ากับ 0.177, 0.186, 0.192 และ 0.196 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ตามลำดับ และจากรูปที่ 11 ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อนกับหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษโฟมเหลือทิ้ง มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นลักษณะแนวโน้มเชิงเส้น โดยที่ค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้นแปรผันตรงตามค่าหน่วยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Posi และคณะ [11] และงานวิจัยของ Zaetang และคณะ [12] ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อนกับหน่วยน้ำหนักของวัสดุเป็นลักษณะแนวโน้มเชิงเส้นด้วยเหมือนกัน โดยสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อนกับหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษโฟมเหลือทิ้งได้สมการ $y = 0.0008x - 0.6077$ เมื่อ y คือค่าการนำความร้อน (วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน) และ x คือ หน่วยน้ำหนักของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดิน (กก./ลบ.ม.) เมื่อนำค่าการนำความร้อนที่ได้มาเปรียบเทียบกับตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 พบว่าตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโฟมเหลือทิ้งทุกอัตราส่วนผสมมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์มาก ซึ่งตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.956 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 11 เนื่องจากแผ่นปูพื้นทางเดินที่สังเคราะห์ขึ้นจากเศษโฟมเหลือทิ้งเป็นวัสดุพอลิเมอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี [3] สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปูพื้นเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้



รูปที่ 10 การนำความร้อนของของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่อายุ 3 วัน



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อนกับหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่อายุ 3 วัน

4. สรุป

จากผลการวิจัยการพัฒนาแผ่นปูพื้นทางเดินค่าการนำความร้อนต่ำจากเศษโฟมเหลือทิ้ง โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ร่วมกับความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโฟมเหลือทิ้ง (O/F) เท่ากับ 0.4, 0.5, 0.6 และ 0.7 เปรียบเทียบกับแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์ที่มีอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.5 และค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น มอก.378-2531 พบว่า

4.1 ตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโฟมเหลือทิ้งต่ำ มีกำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัดสูงกว่าตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโฟมเหลือทิ้งสูง ส่วนหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศและการนำความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อเศษโฟมเหลือทิ้งสูงขึ้น ในขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโฟมเหลือทิ้งทุกส่วนผสมจะมีค่าเท่ากับร้อยละ 0

4.2 ตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโฟมเหลือทิ้ง มีกำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดัดสูงกว่าแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์ ยกเว้นส่วนผสมจากน้ำมันพืชต่อเศษโฟมเหลือทิ้ง (O/F) เท่ากับ 0.7 เพียงส่วนผสมเดียวที่มีค่ากำลังรับแรงดัดต่ำกว่าแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์ และแผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโฟมเหลือทิ้งทุกส่วนผสม มีหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศ การดูดซึมน้ำและการนำความร้อนมีค่าต่ำกว่าแผ่นปูพื้นทางเดินจากซีเมนต์เพสต์มาก ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแผ่นพื้นฉนวนกันความร้อนเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศได้

4.3 เมื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซึมน้ำและกำลังรับแรงดัดของแผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโฟมเหลือทิ้งกับกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำและกำลังรับแรงดัดของแผ่นปูพื้นทางเดินจากเศษโฟมเหลือทิ้งทุกอัตราส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการทดสอบการหาค่าการนำความร้อน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pollution control department of ministry of natural resources and environment. *Situation report of solid waste in Thailand in 2016*. Bangkok: Bureau of Waste Management and Hazardous Substances, 2017.
- [2] Pollution control department of ministry of natural resources and environment. *Come to learn about plastic and foam to reduce environmental problems*. Bangkok: Hezec Company Limited, 2018.
- [3] Boontositrakul, K., Choosit, P., Weeranukul, P. and Suweero, K. Light-Weight Precast Concrete Wall Panel from Container Foam Waste. *Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University*, 2017, 7 (2), pp. 67-82.
- [4] Sirivallop, A. *Composite material from recycled polystyrene foam and natural fibers*. MSc Thesis, Technology and Environmental Management, Prince of Songkla University, 2014.
- [5] Masri, T., Ounis, H., Sedira, L., Kaci, A. and Benchabane, A. Characterization of new composite material based on date palm leaflets and expanded polystyrene wastes. *Construction and Building Materials*, 2018, 164, pp. 410- 418.
- [6] Thai Industrial Standard Institute. TIS 378: 2531. *Standard for Concrete flooring tiles*. Bangkok: TISI, 1988.
- [7] Sinprasertchok, C. and Srinophakun, P. Waste Cooking Oil: The Raw Material for Biodiesel Production. *Kasetsart Engineering Journal*, 2016, 97, pp. 1- 12.
- [8] American Society for Testing and Materials. ASTM C109/C109M: 2013. *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*. USA: ASTM, 2013.
- [9] American Society for Testing and Materials. ASTM C293: 2002. *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading)*. USA: ASTM, 2002.
- [10] García, M.T., Gracia, I., Duque, G. Lucas, A.D. and Rodríguez, J.F. Study of the solubility and stability of polystyrene wastes in a dissolution recycling process. *Waste Management*, 2009, 29, pp. 1814-1818.
- [11] Posi, P., Lertnimoolchai, S., Sata, V. and Chindaprasirt, P. Pressed lightweight concrete containing calcined diatomite aggregate. *Construction and Building Materials*, 2013, 47, pp. 896-901.
- [12] Zaetang, Y., Wongsat, A., Sata, V. and Chindaprasirt, P. Use of Lightweight Aggregates in Pervious Concrete. *Construction and Building Materials*, 2013, 48, pp. 585-591.