



Journal of Thailand Concrete Association

วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

DEVELOPMENT OF WALKWAY BLOCK FROM RECYCLED WASTE FOAM WITH CHEMICAL AND THERMAL METHODS

การพัฒนาแผ่นปูพื้นทางเดินจากขยะโฟมรีไซเคิลด้วยวิธีทางเคมีร่วมกับความร้อน

กิตติชาติ เฝ้าพงษ์ไพบูลย์¹ กรรณก บัญเสริม² วีระ หอสกุลไท³ ปริญา จินดาประเสริฐ⁴

¹อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

²อาจารย์ สาขาวิชาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

³รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

⁴ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ARTICLE INFO:

Received: November 8, 2017

Received Revised Form:

November 10, 2017

Accepted: November 15, 2017

ABSTRACT:

This research studied the feasibility of using waste foam to replace cement and treated waste foam by using chemical and thermal methods for producing walkway blocks. Moreover, the development of mechanical properties of walkway blocks by addition of sand and dust rock were also investigated. Soy bean oil to waste foam ratio of 0.42 and the mixed fine aggregate levels of waste foam with sand or dust rock of 0, 20, 40 and 60 % by weight of recycled waste foam combined fine aggregate were used in this study. The cube specimen size of 5 x 5 x 5 cm was used for compressive strength and unit weight tests. In additions, the walkway block size of 30 x 30 x 2 cm was tested for flexural strength and water absorption at the age of 3 days. The test results showed that the specimens mixed of waste foam with dust rock at 40% level resulted in higher compressive and flexural strength values than those with specimens mixed of waste foam with sand and pure waste foam specimens. The unit weight increased with the mixed level of sand and dust rock increased while the water absorption values of all specimens were steady at 0%. However, the synthesized walkway blocks can be used as the commercial block in pavement works and passed the standard set by Thai Industrial Standard (TIS 378-2531) for concrete flooring tiles.

KEYWORDS: Walkway block, Recycled waste foam, Thermal

**Corresponding Author,*

Email address: abjen@hotmail.com

บทคัดย่อ:

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ขยะโฟมมาทดแทนปูนซีเมนต์โดยนำขยะโฟมมารีไซเคิลด้วยวิธีทางเคมีร่วมกับความร้อนเพื่อผลิตแผ่นปูพื้นทางเดิน และพัฒนาสมบัติทางกลของแผ่นปูพื้นทางเดินด้วยการผสมมวลรวมละเอียดประเภททรายและหินฝุ่นเป็นวัสดุผสมเพิ่มใช้อัตราส่วนน้ำมันถั่วเหลืองต่อขยะโฟมเท่ากับ 0.42 และผสมมวลรวมละเอียดในอัตราร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของขยะโฟมรวมกับมวลรวมละเอียด ทำการศึกษากำลังรับแรงอัด และหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร ศึกษา กำลังรับแรงดัดและการดูดซึมน้ำของแผ่นปูพื้นทางเดินขนาด $30 \times 30 \times 2$ เซนติเมตร ที่อายุ 3 วัน จากผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างขยะโฟมผสมหินฝุ่นในปริมาณ ร้อยละ 40 มีค่ากำลังรับแรงอัดและแรงดัดสูงกว่าตัวอย่างขยะโฟมผสมทรายและตัวอย่างขยะโฟมล้วน ค่าหน่วยน้ำหนักของตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการผสมทรายและหินฝุ่น ในขณะที่ค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทุกส่วนผสมจะมีค่าคงที่เท่ากับร้อยละ 0 โดยแผ่นปูพื้นทางเดินที่สังเคราะห์ขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ได้จริงเทียบเท่ากับแผ่นปูพื้นทางเดินทางการค้าและมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก.378-2531) ที่กำหนดไว้

คำสำคัญ: แผ่นปูพื้นทางเดิน, ขยะโฟมรีไซเคิล, ความร้อน

1. บทนำ

ปัจจุบันปริมาณการใช้บรรจุภัณฑ์สินค้า และกล่องอาหารที่ทำจากโฟมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลการสำรวจปริมาณขยะประเภทโฟมในช่วงปี พ.ศ. 2552 - 2556 พบว่ามีปริมาณการใช้โฟมจากเดิม 34 ล้านชิ้นต่อวัน เพิ่มขึ้นเป็น 61 ล้านชิ้นต่อวัน ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมตามมาเนื่องจากขยะโฟมต้องใช้เวลาย่อยสลายนานกว่า 100 ปี และใช้พื้นที่ในการฝังกลบมากกว่าขยะมูลฝอยประเภทอื่นๆ [1] ฉะนั้นจึงได้มีนักวิจัยคิดค้นหาแนวทางในการนำขยะโฟมกลับมาใช้เกิดประโยชน์ เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในอิฐบล็อก นำโฟมมาละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ประเภทน้ำมันเบนซิน หรือทินเนอร์ เพื่อใช้เป็นกาอุดรอยรั่วในงานก่อสร้าง หรือนำโฟมที่ละลายในเบนซิน ทินเนอร์ และอะซิโตน ผสมกับเส้นใยธรรมชาติผลิตเป็นวัสดุเชิงประกอบเพื่อใช้ในงานวัสดุตกแต่ง [2, 3] อย่างไรก็ตาม การนำขยะโฟมมาใช้ประโยชน์ในงานข้างต้นสามารถใช้ได้ในปริมาณน้อย งานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดที่จะช่วยลดปริมาณขยะโฟมที่เกิดขึ้นจากชุมชนในปริมาณสูง โดยการนำโฟมมาละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ประเภทน้ำมันถั่วเหลืองร่วมกับการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสใช้เป็นเพสต์โฟม (Foam Paste) เพื่อผลิตแผ่นปูพื้นทางเดินทดแทนการใช้เพสต์ซีเมนต์ (Cement Paste) ซึ่งมีต้นทุนสูงและเป็นสาเหตุของปัญหาภาวะโลกร้อน นอกจากนี้ยังได้

ศึกษาการพัฒนาสมบัติเชิงกลและความทนทานของแผ่นปูพื้นทางเดินที่ผลิตจากมอร์ตาร์โฟม (Foam Mortar) โดยการผสมทรายธรรมชาติเข้ากับเพสต์โฟมเพื่อช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านกำลัง และลดการหดตัวของวัสดุ [4, 5] ในขณะเดียวกันได้ทำการเติมหินฝุ่นซึ่งเป็นวัสดุพลอยได้จากอุตสาหกรรมโรงโม่หินเข้าไปในส่วนผสมเช่นเดียวกับทรายธรรมชาติ ซึ่งหินฝุ่นจะมีคุณสมบัติด้านการรับแรงและเป็นมวลรวมละเอียดที่มีความทนทานที่ดีเช่นเดียวกับทราย [6, 7] ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำขยะโฟมทดแทนปูนซีเมนต์ผสมรวมกับมวลรวมละเอียด เป็นมอร์ตาร์โฟมเพื่อผลิตแผ่นปูพื้นทางเดิน ผลการศึกษานี้ นอกจากจะสามารถนำขยะโฟมเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดแล้ว ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของขยะโฟมรวมทั้งช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมและปัญหาภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นกับผู้คนในชุมชนได้

2. วัสดุและวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

2.1.1 ขยะโฟม

ขยะโฟมที่ใช้ในการวิจัยเป็นขยะโฟมบรรจุภัณฑ์สินค้าประเภทโฟม Expandable Polystyrene (EPS) มีความหนาแน่น

เท่ากับ 16 kg/m^3 โดยนำโฟมมาทำความสะอาดก่อนใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขยะโฟมเหลือทิ้งประเภทบรรจุภัณฑ์สินค้า

2.1.2 น้ำมันพืช

น้ำมันพืชที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำมันพืชที่ผลิตจากถั่วเหลือง

100 %

ตารางที่ 1 ตัวอย่างปฏิกิริยาส่วนผสม (หน่วยกิโลกรัม)

ส่วนผสม	ขยะโฟม (kg)	น้ำมันพืช (kg)	ทราย (kg)	หินปูน (kg)
F100	1.000	0.420	0	0
FS20	0.800	0.336	0.200	0
FS40	0.600	0.252	0.400	0
FS60	0.400	0.168	0.600	0
FR20	0.800	0.336	0	0.200
FR40	0.600	0.252	0	0.400
FR60	0.400	0.168	0	0.600

2.3 การผสมตัวอย่าง

ทำการละลายขยะโฟมในน้ำมันพืช ที่อุณหภูมิ 150 ± 10 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที เติมทรายหรือหินปูนตามปฏิกิริยาส่วนผสมที่ได้ออกแบบไว้เข้าไปผสมกับสารละลายโฟมเหลวเป็นระยะเวลา 5 นาที จากนั้นเทลงในแบบหล่อทิ้งไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ทำการถอดแบบแล้วนำไปไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส จนกระทั่งถึงเวลาทดสอบที่อายุ 3 วัน

2.1.3 มวลรวมละเอียด

มวลรวมละเอียดที่ใช้ เป็นทรายแม่น้ำจากอำเภอท่าตูม จังหวัดสุรินทร์ มีค่าโมดูลัสความละเอียด 1.78 และความถี่จำเพาะ 2.58 และหินฝุ่นจากอำเภอปราสาท จังหวัดสุรินทร์ มีค่าโมดูลัสความละเอียด 3.25 และความถี่จำเพาะ 2.71

2.2 ปฏิภาณส่วนผสม

ส่วนผสมของตัวอย่างที่ใช้มีอัตราส่วนน้ำมันพืชต่อขยะโฟมเท่ากับ 0.42 และผสมมวลรวมละเอียดในอัตราร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของขยะโฟมรวมกับมวลรวมละเอียด ตัวอย่างที่ใช้ขยะโฟมล้วนแทนด้วยสัญลักษณ์ F100 ส่วนตัวอย่างที่ผสมทรายในอัตราร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของขยะโฟมรวมกับทราย แทนด้วยสัญลักษณ์ FS20, FS 40 และ FS60 และตัวอย่างที่ผสมหินปูนในอัตราร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของขยะโฟมรวมกับหินปูน แทนด้วยสัญลักษณ์ FR20, FR40 และ FR60 ดังแสดงในตารางที่ 1

2.4 การทดสอบหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศและกำลังรับแรงอัด

การทดสอบนี้ใช้ขนาดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ $5 \times 5 \times 5$ ซม. ดังแสดงในรูปที่ 2 ทำการทดสอบตัวอย่างที่อายุ 3 วัน นำตัวอย่างมาวัดขนาดและชั่งน้ำหนักเพื่อหาหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศ ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C109 [8]



รูปที่ 2 ตัวอย่างทรงลูกบาศก์จากขี้พริ้ว (F100)
ขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร

2.5 การทดสอบกำลังรับแรงดัด

การทดสอบกำลังรับแรงดัด ใช้ขนาดของตัวอย่าง 30 x 30 x 2 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 3 ทำการทดสอบตัวอย่างที่อายุ 3 วัน ทดสอบกำลังรับแรงดัดโดยใช้แรงกดหนึ่งจุดที่กึ่งกลางแผ่นปูพื้นทางเดิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C293 [9] ดังแสดงในรูปที่ 4 กำลังรับแรงดัด (R) คำนวณได้จากสมการที่ (1)

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

เมื่อ R = กำลังรับแรงดัด (กก./ซม.²)

P = แรงกดสูงสุดที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบ (กก.)

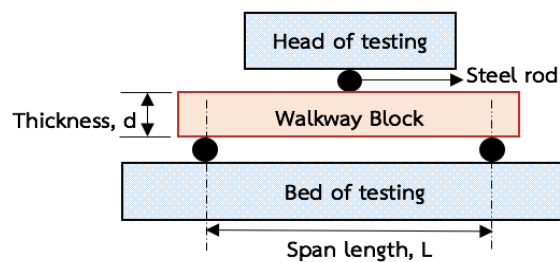
L = ช่วงความยาวแผ่นปูพื้นทางเดิน (ซม.)

b = ความกว้างแผ่นปูพื้นทางเดิน (ซม.)

d = ความหนาแผ่นปูพื้นทางเดิน (ซม.)



รูปที่ 3 ตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจากขี้พริ้ว (F100)
ขนาด 30 x 30 x 2 ซม.



รูปที่ 4 การทดสอบกำลังรับแรงดัดโดยใช้แรงกดที่กึ่งกลางของแผ่นปูพื้นทางเดิน

2.6 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

การทดสอบนี้ใช้ขนาดของตัวอย่าง 30 x 30 x 2 ซม. ดังแสดงในรูปที่ 3 ทำการทดสอบตัวอย่างที่อายุ 3 วัน ทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 378-2531 [10] โดยนำตัวอย่างไปแช่ในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ เช็ดผิวให้แห้ง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักทันที จะได้น้ำหนักอิมมersion จากนั้นนำตัวอย่างไปเข้าตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 65±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างออกมา ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักอบแห้ง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณการดูดซึมน้ำตามสมการที่ (2)

$$\text{Water absorption} = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ Water absorption = การดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)

W_1 = น้ำหนักอบแห้ง (กรัม)

W_2 = น้ำหนักอิมมersion (กรัม)

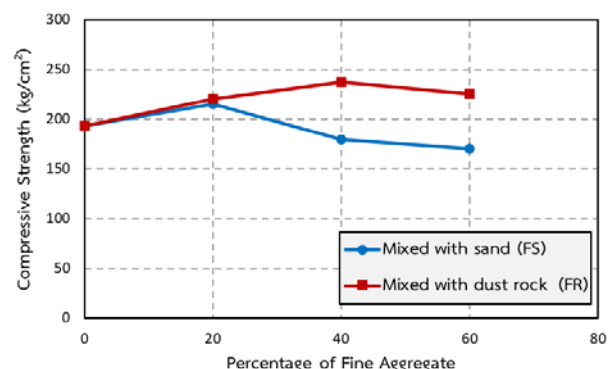
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

แผ่นปูพื้นทางเดินที่สังเคราะห์จากการนำขี้พริ้ว โพลีไตรีนมาละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดน้ำมันพืชร่วมกับ การให้ความร้อน จะทำให้ขี้พริ้วเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปอยู่ในสถานะของเหลว เนื่องจากขี้พริ้วโพลีไตรีนจัดเป็นสารไม่มีขั้ว จึงสามารถละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วเช่นน้ำมันได้ ทำให้โพลีไตรีนสามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำมัน แต่ทั้งนี้โครงสร้างของโพลีไตรีนจะไม่ทำปฏิกิริยากับตัวทำละลายแล้วเปลี่ยน

โครงสร้างเป็นมอนอเมอร์ เนื่องจากการสลายตัวและการเปลี่ยนโครงสร้างของโพลิโพลิสไตรีนจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า 210 องศาเซลเซียส [11] โดยในการศึกษานี้ได้ทำการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของโพลิโพลิสไตรีน โดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ± 10 องศาเซลเซียส เนื่องจากความต้องการลักษณะโครงสร้างของโพลิโพลิสไตรีนที่อยู่ในรูปของสายโซ่พอลิเมอร์ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นในด้านการรับแรงของวัสดุ [11] เมื่อนำสารละลายโพลิเมอร์ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องของเหลวจะเปลี่ยนสถานะอีกครั้งกลายเป็นพลาสติกแข็งซึ่งมีคุณสมบัติในการรับแรงที่ดี จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดดังแสดงไว้ในรูปที่ 5 พบว่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างขยะโพลิลวัน (F100) มีค่าเท่ากับ 193 กก./ตร.ซม. และเมื่อผสมทรายในอัตราร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของขยะโพลิลวันรวมกับทราย ส่งผลทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าเท่ากับ 215, 180 และ 170 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 111, 93 และ 88 ของตัวอย่างขยะโพลิลวัน ตามลำดับ ในขณะที่ผสมหินปูนในอัตราร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของขยะโพลิลวันรวมกับหินปูน ทำให้กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างเพิ่มขึ้นเป็น 220, 237 และ 225 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 114, 123 และ 117 ของตัวอย่างขยะโพลิลวัน ตามลำดับ เนื่องจากหินปูนเป็นวัสดุผลพลอยได้จากการย่อยหินในอุตสาหกรรมโรงโม่หิน ที่มีความแข็งแรงกว่าทราย [6] นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะของหินปูนที่ผ่านการย่อยให้มีขนาดเล็ก ทำให้มีขนาดละเอียดดี มีพื้นผิวที่หยาบ เป็นเหลี่ยมเป็นมุม ในขณะที่ทรายแม่น้ำมีค่าโมดูลัสความละเอียดต่ำ ทำให้การกระจายขนาดของทรายไม่ดีและทรายแม่น้ำมีลักษณะที่กลมมนมากกว่า ทำให้พื้นที่ผิวในการยึดเกาะระหว่างพลาสติกเหลวกับหินปูนดีกว่าทรายแม่น้ำ [12, 13] เมื่อนำหินปูนไปผสมกับพลาสติกเหลว จึงทำให้เพิ่มความแข็งแรงได้มากกว่าทราย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chaisakulkiet และ Malai [6] ที่พบว่ากำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าถ่านหินและหินปูนจะมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าส่วนผสมที่ใช้ทรายทดแทนหินปูน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sresarakham และคณะ [13] ที่ศึกษาผลกระทบของความละเอียดของทรายแม่น้ำต่อการพัฒนากำลังของคอนกรีตผสมเถ้าลอย โดยพบว่า คอนกรีตที่ใช้ทรายหยาบ (โมดูลัสความละเอียดสูง) จะมีกำลังรับแรงอัดมากกว่าคอนกรีตที่ใช้ทรายละเอียด (โมดูลัสความละเอียดต่ำ) สำหรับตัวอย่างขยะโพลิลวัน ทรายร้อยละ 40 และ 60 มีกำลังรับแรงอัดลดลงต่ำกว่าตัวอย่างขยะโพลิลวัน (F100) เนื่องจากทรายที่ใช้เป็นทรายละเอียด ทำให้

ขนาดละเอียดของทรายไม่ดี ประกอบกับปริมาณขยะโพลิลวันที่ใช้ลดน้อยลงตามปริมาณทรายที่ผสมมากขึ้น ทำให้มีปริมาณพลาสติกเหลวที่มีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานมวลรวมลดลง ส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลง

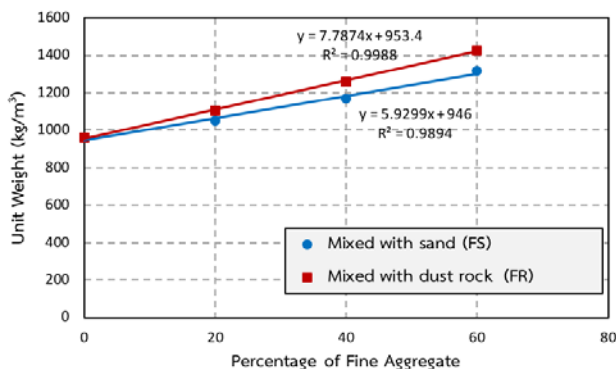


รูปที่ 5 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่อายุ 3 วัน

3.2 หน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์

ผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศดังแสดงไว้ในรูปที่ 6 พบว่าหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศของตัวอย่างขยะโพลิลวัน (F100) มีค่าเท่ากับ 959 กก./ลบ.ม. แต่เมื่อผสมทรายในอัตราร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของขยะโพลิลวันรวมกับทราย ส่งผลทำให้หน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศมีค่าสูงขึ้นเป็น 1,052, 1,168 และ 1,316 กก./ลบ.ม. ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 110, 122 และ 137 ของตัวอย่างขยะโพลิลวัน ตามลำดับ และเมื่อผสมหินปูนในอัตราร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของขยะโพลิลวันรวมกับหินปูน ทำให้หน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศของตัวอย่างยิ่งเพิ่มสูงขึ้นเป็น 1,104, 1,258 และ 1,427 กก./ลบ.ม. ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 115, 131 และ 149 ของตัวอย่างขยะโพลิลวัน ตามลำดับ เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของหินปูนมีค่ามากกว่าทราย และความถ่วงจำเพาะของทรายมากกว่าโพลิลวัน จึงทำให้ตัวอย่างมีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศสูงขึ้น และจากรูปที่ 6 ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศของตัวอย่างกับอัตราส่วนผสมทรายและหินปูน มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นลักษณะแนวโน้มเชิงเส้น โดยที่หน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศของตัวอย่างเพิ่มขึ้นแปรผันตรงตามปริมาณการผสมทรายและหินปูนที่เพิ่มขึ้น และสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศกับอัตราส่วนผสมทราย ได้สมการ $y = 5.9299x + 946$ และความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศกับอัตราส่วนผสมหินปูน ได้สมการ $y = 7.7874x + 953.4$ เมื่อ y คือหน่วย

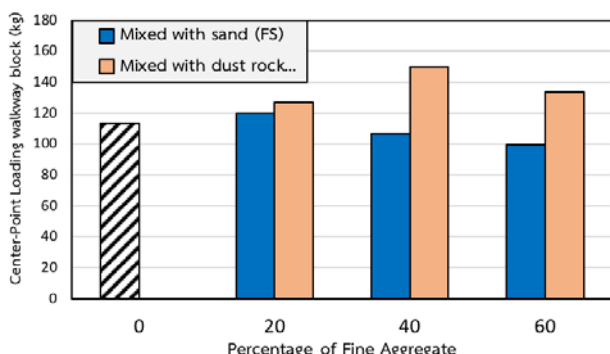
น้ำหนักแห้งในอากาศของตัวอย่าง (กก./ลบ.ม.) และ x คือ อัตราการผสมทรายหรือหินฝุ่น (%)



รูปที่ 6 หน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่อายุ 3 วัน

3.3 การรับแรงกดที่กึ่งกลางของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดิน

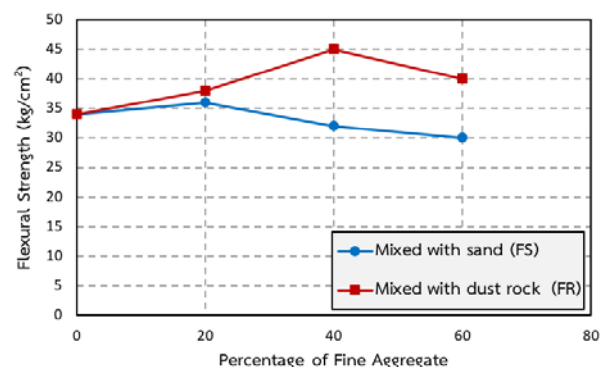
ค่าแรงกดที่กึ่งกลางแผ่นปูทางเดิน (P) ที่ได้จากการทดสอบกำลังรับแรงดัดแผ่นปูพื้นทางเดิน แสดงให้เห็นว่าแผ่นปูพื้นทางเดินสามารถรับแรงหรือน้ำหนักของคนได้มากน้อยเท่าไร ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7 พบว่าตัวอย่างขยะโพลีลวัน (F100) สามารถรับแรงกดได้เท่ากับ 113 กก. เมื่อผสมทรายในอัตราร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของขยะโพลีลวัน รวมกับทราย ส่งผลทำให้รับแรงกดได้เท่ากับ 120, 107 และ 100 กก. ตามลำดับ แต่เมื่อผสมหินฝุ่นในอัตราร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของขยะโพลีลวันรวมกับหินฝุ่น ทำให้สามารถรับแรงกดได้เพิ่มสูงขึ้นเป็น 127, 150 และ 133 กก. ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าแผ่นปูพื้นทางเดินทุกอัตราส่วนผสมสามารถรับน้ำหนักของคนได้



รูปที่ 7 การรับแรงกดที่กึ่งกลางของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่อายุ 3 วัน

3.4 กำลังรับแรงดัดของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดิน

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดดังแสดงไว้ในรูปที่ 8 พบว่าค่ากำลังรับแรงดัดของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินจะมีแนวโน้มคล้ายกับค่ากำลังรับแรงดัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ โดยกำลังรับแรงดัดของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินขยะโพลีลวัน (F100) มีค่าเท่ากับ 34 กก./ตร.ซม. เมื่อผสมทรายในอัตราร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของขยะโพลีลวันรวมกับทราย ส่งผลทำให้กำลังรับแรงดัดมีค่าเท่ากับ 36, 32 และ 30 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 106, 94 และ 88 ของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินขยะโพลีลวัน ตามลำดับ แต่เมื่อผสมหินฝุ่นในอัตราร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของขยะโพลีลวันรวมกับหินฝุ่น ทำให้กำลังรับแรงดัดของตัวอย่างเพิ่มสูงขึ้นเป็น 38, 45 และ 40 กก./ตร.ซม. ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 112, 132 และ 118 ของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินขยะโพลีลวัน ตามลำดับ เมื่อนำค่ากำลังรับแรงดัดที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น มอก.378-2531 [10] ซึ่งได้กำหนดให้กำลังรับแรงดัดของกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 3 เมกะพาสคัล (30.59 กก./ตร.ซม.) พบว่าตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่สังเคราะห์ขึ้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ยกเว้นส่วนผสมจากขยะโพลีลวันผสมทรายร้อยละ 60 เพียงส่วนผสมเดียวที่มีค่ากำลังรับแรงดัดเท่ากับ 30 กก./ตร.ซม. ซึ่งมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้

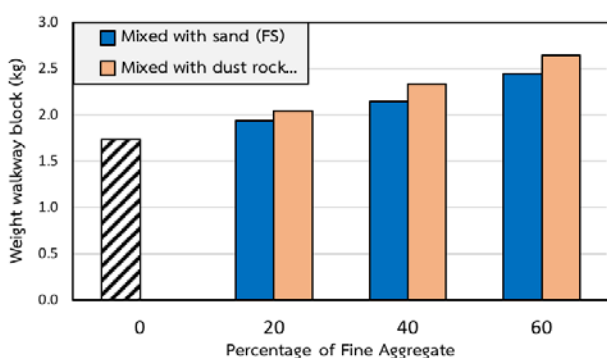


รูปที่ 8 กำลังรับแรงดัดของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่อายุ 3 วัน

3.5 น้ำหนักของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดิน

น้ำหนักของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดิน จะแสดงให้เห็นว่าแผ่นปูพื้นทางเดินสามารถขนส่งหรือเคลื่อนย้ายได้สะดวกเพียงใด ผลการทดสอบน้ำหนักของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดิน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 9 พบว่าน้ำหนักของตัวอย่าง แผ่นปูพื้นทางเดินขยะโพลีลวัน (F100) มีค่าเท่ากับ 1.7 กก. แต่เมื่อผสมทรายใน

อัตราร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของขยะโฟมรวมกับทราย ส่งผลทำให้น้ำหนักมีค่าสูงขึ้นเป็น 1.9, 2.1 และ 2.4 กก. ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 112, 124 และ 141 ของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินขยะโฟมล้วน ตามลำดับ และเมื่อผสมหินฝุ่นในอัตรา ร้อยละ 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของขยะโฟมรวมกับหินฝุ่น ทำให้น้ำหนักของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินยิ่งเพิ่มสูงขึ้นเป็น 2.0, 2.3 และ 2.6 กก. ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 118, 135 และ 153 ของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินขยะโฟมล้วน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า แผ่นปูพื้นทางเดินทุกอัตราส่วนผสมสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก



รูปที่ 9 น้ำหนักของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินที่อายุ 3 วัน

3.6 การดูดซึมน้ำของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดิน

จากผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดิน พบว่าแผ่นปูพื้นทางเดินทุกส่วนผสมมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 0 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น มอก.378-2531 [10] กำหนดไว้ โดยกำหนดให้ค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 ซึ่งแผ่นปูพื้นทางเดินที่สังเคราะห์ขึ้นนี้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานภายนอกอาคารที่ต้องเจอกับสภาวะอากาศที่ชื้นและสามารถกันน้ำได้เป็นอย่างดี

4. สรุป

จากผลการวิจัยการสังเคราะห์แผ่นปูพื้นทางเดินจากขยะโฟมเหลือทิ้งด้วยวิธีทางเคมีร่วมกับความร้อน และผสมทรายและหินฝุ่นในอัตราร้อยละ 0, 20, 40 และ 60 โดยน้ำหนักของขยะโฟมรวมกับทรายหรือหินฝุ่น จะพบว่า

4.1 ตัวอย่างทรงลูกบาศก์จากส่วนผสมของขยะโฟมผสมหินฝุ่นมีความสามารถรับกำลังอัดและกำลังดัดสูงกว่าตัวอย่าง

ขยะโฟมผสมทรายและตัวอย่างขยะโฟมล้วน โดยตัวอย่างทรงลูกบาศก์จากขยะโฟมผสมหินฝุ่นร้อยละ 40 จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดัดสูงที่สุด

4.2 หน่วยน้ำหนักแห้งในอากาศของตัวอย่างทรงลูกบาศก์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการผสมทรายและหินฝุ่น โดยอยู่ระหว่าง 959 – 1,427 กก./ลบ.ม.

4.4 แผ่นปูพื้นทางเดินที่สังเคราะห์ขึ้นทุกอัตราส่วนผสมสามารถรับแรงกดหรือน้ำหนักของคนได้ โดยส่วนผสมของแผ่นปูพื้นทางเดินจากขยะโฟมผสมหินฝุ่นร้อยละ 40 สามารถรับแรงกดหรือน้ำหนักได้สูงที่สุด

4.5 น้ำหนักของแผ่นปูพื้นทางเดินจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณการผสมทรายและหินฝุ่น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.7 – 2.6 กก.

4.6 แผ่นปูพื้นทางเดินทุกอัตราส่วนผสมมีการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 0 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531 ที่กำหนดไว้

4.7 เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงดัดของแผ่นปูพื้นทางเดินจากขยะโฟมกับกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.378-2531 พบว่าค่ากำลังรับแรงดัดของตัวอย่างแผ่นปูพื้นทางเดินผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ยกเว้นแผ่นปูพื้นทางเดินจากขยะโฟมผสมทรายร้อยละ 60 ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงดัดไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Jungrungruang. (2014, Dec 15). *Waste foam* [Online]. Available: <http://www.pcd.go.th/Public/News/GetNewsThai.cfm?task=lt2014&id=17237>
- [2] A. Sirivallop, "Composite material from recycled polystyrene foam and natural fibers", M.S. thesis, Dept. Technology and Environ. Manage., Prince of Songkla Univ., Songkla, Thailand, 2014.
- [3] T. Masri et al., "Characterization of new composite material based on date palm leaflets and expanded polystyrene wastes," *Construction and Building Materials*, Vol. 164, pp. 410-418, 2018.
- [4] A.M. Neville, "Properties of Aggregate," *Properties of Concrete*, 4th ed. Essex, England: Addison Longman Group Limited, 1995. pp. 118-202.

- [5] S. Mindess *et al.*, "Aggregate," *Concrete*, 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003. pp. 121-155.
- [6] U. Chaisakulkiet and A. Malai, "Strength development of mortar mixed with fly ash and crushed stone," *The Journal of KMUTNB*, Vol. 26, No. 1, pp. 13-18, 2016.
- [7] P. Wanthong and P. Khamput, "Study of compressive strength of mortar mixed with fly ash and dust rock," *The Journal of Engineering RMUTT*, Vol. 9, No. 1, pp. 20-25, 2007.
- [8] *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*, ASTM Standard C109/C109M, 2013.
- [9] *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading)*, ASTM Standard C293, 2002.
- [10] *Standard for Concrete flooring tiles*, TIS 378-2531, Ministry of Industry, Thailand, 1988, pp. 1-14.
- [11] M.T. Garcia *et al.*, "Study of the solubility and stability of polystyrene wastes in a dissolution recycling process," *Waste Management*, Vol. 29, pp. 1814-1818, 2009.
- [12] P. Chindaprasirt and C. Jaturapitakkul, "Aggregate," in *Cement Pozzolan and Concrete*, 5th ed. Bangkok, Thailand: Thailand concrete Association, 2008, pp. 65-96.
- [13] T. Sresarakham *et al.*, "Effect of river sand fineness on strength development of fly ash concrete," in *Proc. of the 14th National Convention on Civil Engineering Conf.*, Nakhon Ratchasima, 2009, pp. 1775-1780.