การใช้หินภูเขาไฟเหลือทิ้งในผลิตภัณฑ์บล็อกปูพื้น

The Use of Volcanic Rock Waste in Paving Block Products

ประชุม คำพุฒ[1/] กิตติพงษ์ สุวีโร[2/] สมพิศ ตันตวรนาท[1/] และธงเทพ ศิริโสดา[3/]

Prachoom Khamput[1/], Kittipong Suweero[2/], Sompit Tantaworanart[1/] and Thongtep Sirisoda [3/]

(Received: 8 December 2014; Accepted: 12 February 2015)

Abstract: This research aims to study the use of volcanic rock waste (basalt) in paving block products. The mix ratios of Portland cement type1: volcanic rock waste: tap water are 1:6:0.4, 1:7:0.4, 1:8:0.4, 1:9:0.4, 1:10:0.4, and 1:11:0.4 by weight. The paving block samples are cast in 30 x 30 x 5 centimeter blocks. The paving block sample testing follows the TIS 378-2531 standard on concrete flooring tiles. From the experiment, bending strength and thermal conductivity of paving blocks with high quantity of volcanic rock waste are lower than paving blocks with low quantity of volcanic rock waste but the water absorption of paving blocks with high quantity of volcanic rock waste are higher. However, all of volcanic rock waste paving block samples with lower volcanic rock waste content than the 1:7:0.4 ratio pass the standards for concrete flooring tiles.

Keywords: Paving block, volcanic rock waste, basalt, quarry dust, transverse bending strength

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้หินภูเขาไฟเหลือทิ้ง (หินบะซอลต์) สำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกปูพื้น กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1: หินภูเขาไฟเหลือทิ้ง: น้ำประปา เท่ากับ 1:6:0.4, 1:7:0.4, 1:8:0.4, 1:9:0.4, 1:10:0.4 และ 1:11:0.4 โดยน้ำหนัก ขึ้นรูปบล็อกปูพื้น ขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร ทำการทดสอบตามมาตรฐาน มอก.378 – 2531 เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น ผลการทดสอบ พบว่าบล็อกปูพื้นที่มีปริมาณหินภูเขาไฟเหลือทิ้งมาก มีความต้านทานแรงดัดตามขวาง และสัมประสิทธิ์ การนำความร้อนต่ำกว่าบล็อกปูพื้นที่มีปริมาณหินภูเขาไฟเหลือทิ้งน้อย ส่วนการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อบล็อกปูพื้นมีปริมาณหินภูเขาไฟเหลือทิ้งมาก อย่างไรก็ตามบล็อกปูพื้นอัตราส่วนที่มีหินภูเขาไฟเหลือทิ้งน้อยกว่าอัตราส่วน 1:7:0.4 มีสมบัติผ่านตามที่มาตรฐานกำหนด

คำสำคัญ: บล็อกปูพื้น หินภูเขาไฟเหลือทิ้ง หินบะซอลต์ หินฝุ่น ความต้านทานแรงดัดตามขวาง

[1/] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

[1/] Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand

[2/] หน่วยจัดการทรัพย์สินทางปัญญาและถ่ายทอดเทคโนโลยี แห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

[2/] Technology Licensing Office Rajamangala University of Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand

[3/] คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

[3/] Faculty of Architecture, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani 12110, Thailand

คำนำ

พื้นที่จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างนิยมใช้หินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์มาผลิตเป็นหินเพื่อการก่อสร้าง เช่น การทำถนน การถมที่ดิน และการประดับสวน เป็นต้น เนื่องจากในพื้นที่นี้ไม่มีแหล่งของหินปูนดังเช่นพื้นที่อื่น ๆ หินบะซอลต์ เป็นหินอัคนีผุ เนื้อละเอียด ส่วนมากมีสีเทาถึงดำ น้ำตาลแกมแดง ม่วงปนดำ เกิดจากหินหนืดขึ้นมาเย็นตัวบนพื้นโลกโดยอาศัยรอยแตกของเปลือกโลกหรือปล่องภูเขาไฟ (ดนุพล, 2553) สำหรับชนิดของหินบะซอลต์ที่ใช้ในงานก่อสร้าง คือ ชนิดปนโทลิไอต์หรือหินไดอะเบส (diabase) ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญ ได้แก่ ซิลิกา อะลูมินา เหล็ก แคลไซต์ และแมกนีไซต์ (El-Alfi *et al*., 2004)

จากกระบวนการผลิตหรือโม่หินบะซอลต์ของเหมือง (ภาพที่ 1) ทำให้ได้หินบะซอลต์ขนาดต่าง ๆ สำหรับใช้ในงานก่อสร้าง แต่เศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์เหลือทิ้งที่มีความละเอียดค่อนข้างมาก ซึ่งปะปนรวมกับหินผุ หรือที่เรียกว่า หินเกล็ดและหินฝุ่น (quarry dust) หินเกล็ดเป็นหินมีขนาดประมาณ 5-10 มิลลิเมตร ส่วนหินฝุ่นเป็นหินที่มีขนาดเล็กกว่า 5 มิลลิเมตรลงมา (กรมทรัพยากรธรณี, 2553) หินเหลือทิ้งเหล่านี้เป็นหินที่เหลือใช้ค่อนข้างมาก ดังภาพที่ 2 เนื่องจากมีปริมาณความต้องการใช้น้อยกว่าหินขนาดอื่น ๆ และไม่นิยมใช้ในงานก่อสร้างมากนัก

การใช้หินภูเขาไฟเหลือทิ้งสำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกปูพื้น จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับหินขนาดเล็กและหินผุที่เหลือทิ้งจากการโม่ในจังหวัดบุรีรัมย์ (ภาพที่ 3) โดยนำมาผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ตรงตามความต้องการของชุมชนในท้องถิ่น ซึ่งจะช่วยสร้างรายได้ให้กับชาวบ้าน ลดค่าใช้จ่ายและการใช้พลังงานในขั้นตอนขนส่งวัสดุก่อสร้างหรือวัตถุดิบจากพื้นที่อื่นได้มากอีกด้วย (ประชุม และกิตติพงษ์, 2556) โดยวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้หินภูเขาไฟเหลือทิ้งจากจังหวัดบุรีรัมย์สำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์บล็อกปูพื้น

Figure 1 Crushing process of volcanic rocks

Figure 2 Volcanic rock waste in basalt mine from Buri Ram province

อุปกรณ์และวิธีการ

วัสดุและอุปกรณ์

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

2) เศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์ที่เหลือทิ้งจากโรงโม่หินใน ตำบลเจริญสุข อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดบุรีรัมย์ ได้แก่ หินเกล็ด ขนาด 5-10 มิลลิเมตร และหินฝุ่น ขนาด 5 มิลลิเมตรลงมา อย่างละครึ่ง ดังภาพที่ 3

3) น้ำประปา

4) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล

5) เครื่องผสมคอนกรีต

6) แบบหล่อบล็อกปูพื้น ขนาด 30 x 30 x 5 เซนติเมตร ดังภาพที่ 4

7) ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ขนาดมวลรวม

8) ชุดอุปกรณ์ทดสอบการดูดซึมน้ำ

9) ชุดทดสอบสัมประสิทธิ์ การนำความร้อน

10) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (universal testing machine)

อัตราส่วนในการขึ้นรูป

ทำการออกแบบอัตราส่วนผสมให้ได้บล็อกปูพื้นที่มีความใกล้เคียงกับบล็อกปูพื้นในท้องตลาด พร้อมทำการปรับปริมาณเศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์เหลือทิ้งจากน้อยไปมาก ดังตารางที่ 1

การขึ้นรูปและการบ่ม

เริ่มจากทำการตวงส่วนผสมตามตารางที่ 1 จากนั้นผสมหินภูเขาไฟเหลือทิ้งกับปูนซีเมนต์ให้เข้ากันก่อน แล้วค่อย ๆ เติมน้ำโดยใช้ฝักบัวหรือหัวฉีดพ่นให้เป็นละอองกว้างในปริมาณที่พอเหมาะ ซึ่งสามารถสังเกตปริมาณน้ำที่พอเหมาะได้จากการใช้มือกำส่วนผสมว่า สามารถจับตัวกันเป็นก้อนได้ดี ทั้งนี้ปริมาณน้ำอาจต่ำกว่าที่กำหนดได้โดยเฉพาะเมื่อส่วนผสมมีความชื้นสูง ในการผสมมีการหยุดเครื่องเพื่อเกลี่ยส่วนผสมที่ติดอยู่ข้างเครื่องผสมออกเป็นระยะ ๆ ภายหลังจากผสมหินภูเขาไฟเหลือทิ้งและปูนซีเมนต์เข้ากันแล้ว ได้นำส่วนผสมดังกล่าวเข้าเครื่องอัดหรือแบบหล่อทันที เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ พร้อมทั้งทำการกระทุ้งเพื่อให้เนื้อบล็อกมีความแน่น ทิ้งไว้จนบล็อกปูพื้นมีความแข็งแรง จากนั้นแกะแบบได้บล็อกปูพื้น (ภาพที่ 5) นำมาจัดเรียงในที่ร่มจนมีอายุครบ 1 วัน เริ่มบ่มโดยรดน้ำด้วยฝักบัวหรือฉีดพ่นเป็นละอองให้ชุ่ม แล้วคลุมด้วยผ้าพลาสติกไม่ให้น้ำระเหยออก ทิ้งไว้ตามอายุที่ต้องการจึงนำไปทดสอบต่อไป

การทดสอบ

ทดสอบหินภูเขาไฟเหลือทิ้งและสมบัติของบล็อกปูพื้น ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.378-2531) เรื่อง กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น และมาตรฐานอื่น ๆ ดังนี้

1) โมดูลัสความละเอียด และความถ่วงจำเพาะของหินภูเขาไฟเหลือทิ้ง

2) ลักษณะทั่วไปของบล็อกปูพื้น ที่อายุการบ่ม 28 วัน จำนวนอัตราส่วนละ 5 ตัวอย่าง

3) การดูดซึมน้ำของบล็อกปูพื้น ที่อายุการบ่ม 28 วัน จำนวนอัตราส่วนละ 5 ตัวอย่าง

4) ความต้านทานแรงดัดตามขวางของบล็อกปูพื้น (ภาพที่ 6) ที่อายุการบ่ม 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน จำนวนอัตราส่วนละ 10 ตัวอย่าง

5) สัมประสิทธิ์ การนำความร้อนของบล็อกปูพื้น ตามมาตรฐาน ASTM C 177-10 (ASTM, 2010) ที่อายุการบ่ม 28 วัน จำนวนอัตราส่วนละ 5 ตัวอย่าง โดยส่งทดสอบ ณ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Figure 3 Volcanic rock waste from Buriram province

Figure 4 Mold of paving block

Table 1 Ratios of volcanic rock waste paving blocks (by weight)

Ratios	Cement	Volcanic rock waste	Water
1:6	1	6	0.4
1:7	1	7	0.4
1:8	1	8	0.4
1:9	1	9	0.4
1:10	1	10	0.4
1:11	1	11	0.4

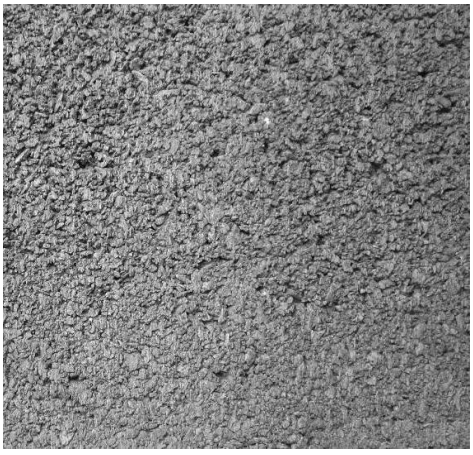

Figure 5 Surface of volcanic rock waste paving block

Figure 6 Transverse bending strength test of volcanic rock waste paving block

ผลการทดลองและวิจารณ์

โมดูลัสความละเอียดและความถ่วงจำเพาะ

เศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์เหลือทิ้งที่นำมาผสมเป็นบล็อกปูพื้นนั้น มีโมดูลัสความละเอียดและความถ่วงจำเพาะ ดังตารางที่ 2

เศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์เหลือทิ้งมีค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 6.53 และ 4.77 ถือว่า เป็นมวลรวมที่มีความละเอียดใกล้เคียงกับฝุ่นหินปูนที่นิยมใช้ในคอนกรีตบล็อก ซึ่งมีค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ ประมาณ 5.4 – 5.6 สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะของหินภูเขาไฟเหลือทิ้ง พบว่า หินภูเขาไฟเหลือทิ้งมีความถ่วงจำเพาะต่ำมีค่าเพียง 2.50 ซึ่งต่ำกว่าหินฝุ่นที่มีความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.60 – 2.80 (ดนุพล, 2552; 2553) ทำให้บล็อกปูพื้นที่มีส่วนผสมของหินภูเขาไฟเหลือทิ้งมีแนวโน้มของน้ำหนักที่เบากว่าบล็อกปูพื้นทั่วไปซึ่งใช้หินฝุ่นหินปูน

ลักษณะทั่วไป

จากการขึ้นรูปและสังเกตลักษณะโดยทั่วไปของบล็อกปูพื้นหินภูเขาไฟเหลือทิ้ง ทั้ง 6 อัตราส่วน สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3 พบว่าบล็อกปูพื้นจากหินภูเขาไฟเหลือทิ้งทุกอัตราส่วน สามารถขึ้นรูปตามที่ต้องการได้ทั้งหมด (ภาพที่ 5) แต่จากการทดสอบและสังเกตลักษณะโดยทั่วไป สรุปได้ว่าอัตราส่วนที่มีปริมาณหินภูเขาไฟเหลือทิ้งมาก ตั้งแต่ 1:9 ขึ้นไปถึง 1:11 มีการบิ่นของขอบบล็อกได้ง่าย จึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้งานจริงและไม่ผ่านตามที่มาตรฐาน มอก.378-2531 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531) กำหนด

การดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกปูพื้นจากหินภูเขาไฟเหลือทิ้ง สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 7 บล็อกปูพื้นจากหินภูเขาไฟเหลือทิ้งทุกอัตราส่วน มีค่าการดูดซึมน้ำที่ไม่สูงมาก โดยมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน มอก.378-2531 ที่กำหนดให้บล็อกปูพื้นต้องมีการดูดซึมน้ำ ไม่เกินร้อยละ 10 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531) และจากภาพที่ 7 แสดงให้เห็นแนวโน้มว่า การเพิ่มปริมาณของหินภูเขาไฟมีผลให้บล็อกปูพื้นมีการดูดซึมน้ำเข้าไปภายในบล็อกมากตามไปด้วย โดยอัตราส่วน 1:6 มีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด รองลงมา คือ อัตราส่วน 1:7, 1:8, 1:9, 1:10 และ 1:11 เป็นอัตราส่วนที่มีการดูดซึมน้ำสูงที่สุด ตามลำดับ เป็นผลมาจากความพรุนของเศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์เหลือทิ้งที่นำมาผสม (El-Alfi *et al.*, 2004; Youssef, *et al.*, 2004) โดยหินที่มีความพรุนมาก จะมีช่องว่างสำหรับอากาศและช่องว่างในการดูดซึมน้ำที่มาก (นันทชัย, 2556)

ความต้านทานแรงดัดตามขวาง

การทดสอบความต้านทานแรงดัดตามขวางหรือกำลังดัดตามขวางของบล็อกปูพื้นเศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์เหลือทิ้ง ที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน สามารถสรุปผลได้ ดังภาพที่ 8 พบว่า ความต้านทานแรงดัดตามขวางของบล็อกปูพื้นที่มีปริมาณมวลรวมจากเศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์เหลือทิ้งน้อยที่สุด คือ อัตราส่วน 1:6 มีค่าความต้านทานแรงดัดตามขวางสูงที่สุด รองลงมาคือ อัตราส่วน 1:7, 1:8, 1:9, 1:10 และ 1:11 เป็นอัตราส่วนที่มีความต้านทานแรงดัดตามขวางต่ำที่สุด

ตามลำดับ เป็นผลมาจากลักษณะเนื้อหินบะซอลต์ที่นำมาผสมมีความพรุนค่อนข้างสูง ทำให้มีพื้นที่รับแรงค่อนข้างต่ำ เมื่อผสมหินบะซอลต์ในปริมาณมาก จึงมีพื้นที่รับแรงดัดลดลง และความต้านทานแรงดัดตามขวางมีค่าลดลง (El-Alfi *et al*., 2004; Youssef *et al*., 2004; ประชุม และกิตติพงษ์, 2557) เมื่อเทียบค่าความต้านทานแรงดัดตามขวางของบล็อกปูพื้นที่ได้กับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.378-2531) เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2531) กำหนดให้ความต้านทานแรงดัดตามขวางของบล็อกปูพื้น ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยต้องไม่ต่ำกว่า 3 เมกะพาสคัล เห็นได้ว่าอัตราส่วนที่มีปริมาณหินภูเขาไฟเหลือทิ้ง 1:6 และ 1:7 ที่อายุการบ่ม 28 วัน สามารถผ่านมาตรฐานได้ โดยอัตราส่วน 1:6 มีความต้านทานแรงดัดตามขวาง เท่ากับ 3.2 เมกะพาสคัล และอัตราส่วน 1:7 เท่ากับ 3.1 เมกะพาสคัล ตามลำดับ

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนของบล็อกปูพื้นจากเศษหินภูเขาไฟเหลือทิ้ง สามารถวัดได้จากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ซึ่งมีผลการทดสอบดังภาพที่ 9 แสดงให้เห็นว่าบล็อกปูพื้นผสมหินภูเขาไฟเหลือทิ้งมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี โดยเฉพาะเมื่อมีการผสมหินภูเขาไฟเหลือทิ้งในปริมาณที่มากขึ้น สังเกตได้จากค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ลดต่ำลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากลักษณะของหินภูเขาไฟเหลือทิ้งที่มีรูพรุนมาก (El-Alfi *et al*., 2004; Youssef *et al*., 2004) ทำให้สมบัติด้านการนำความร้อนต่ำ ความร้อนจึงผ่านเนื้อหินภูเขาไฟได้ช้า (สมพิศ และคณะ, 2555) ถือได้ว่าเศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์เหลือทิ้ง เป็นมวลรวมที่ดีด้านความเป็นฉนวนป้องกันความร้อน

Table 2 Fineness modulus (F.M.) and specific gravity (S.G.) of volcanic rock waste

Sizes of volcanic rock waste	F.M.	S.G.
5- 10 mm	6.53	2.50
Lower than 5 mm	4.77	2.50

Table 3 Characteristic of volcanic rock fragment paving blocks

Ratios	Flatness	Crack
1:6	Pass	No crack
1:7	Pass	No crack
1:8	Pass	No crack
1:9	Pass	Easy crack
1:10	Pass	Easy crack
1:11	Pass	Easy crack

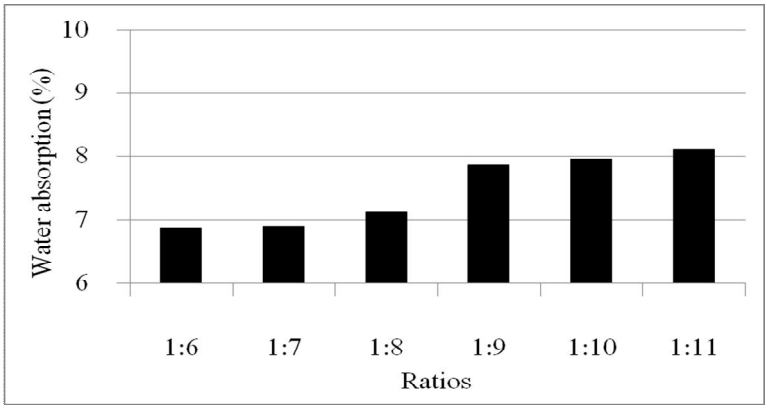

Figure 7 Water absorption of volcanic rock fragment paving blocks

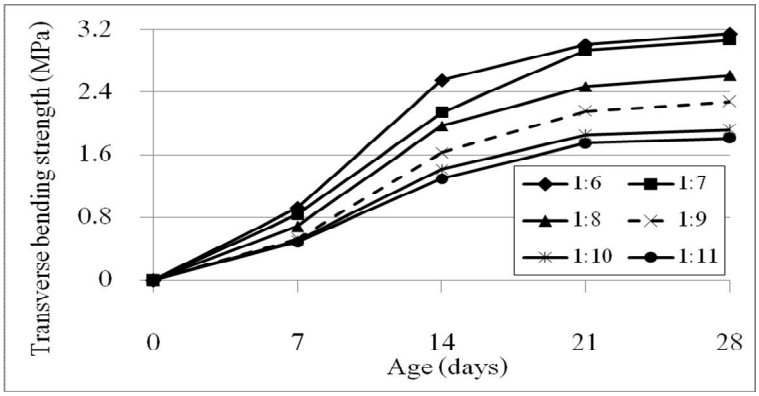

Figure 8 Transverse bending strength of volcanic rock fragment paving blocks

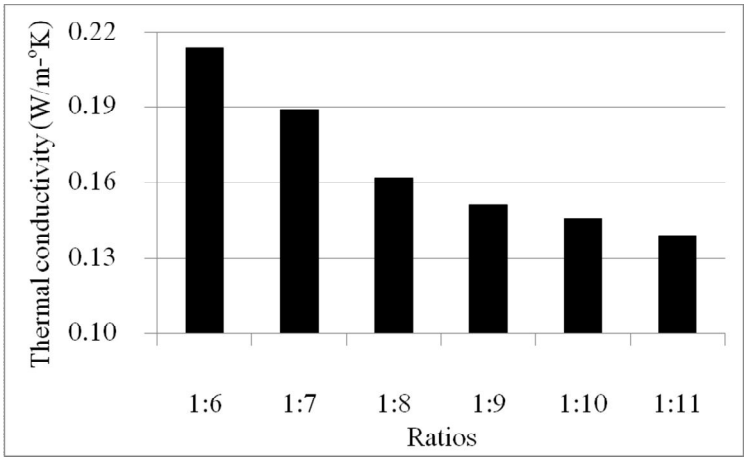

Figure 9 Thermal conductivity of volcanic rock fragment paving blocks

สรุป

เศษหินภูเขาไฟหรือหินบะซอลต์ในส่วนที่เหลือใช้จากโรงโม่หิน สามารถนำมาเป็นมวลรวมสำหรับผลิตบล็อกปูพื้นได้ดี โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมและมีการใช้หินภูเขาไฟเหลือทิ้งมากที่สุด คือ อัตราส่วน 1:7 หรืออัตราส่วนที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ต่อหินภูเขาไฟเหลือทิ้งต่อน้ำเท่ากับ 1:7:0.4 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนดังกล่าวมีสมบัติผ่านตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.378-2531) เรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้นกำหนด และจากแนวโน้มของผลการทดสอบทั้งหมด พบว่าปริมาณหินภูเขาไฟเหลือทิ้งที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น ความต้านทานแรงดัดตามขวางลดลง และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนลดลง อย่างไรก็ตามการผสมหินภูเขาไฟเหลือทิ้งในปริมาณมากนั้น มีแนวโน้มที่สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตบล็อกปูพื้นได้ดี

ในการวิจัยต่อไป ควรมีการทดสอบการทำสีบนผิวหน้าบล็อกปูพื้นจากเศษหินภูเขาไฟเหลือทิ้ง เพื่อให้สามารถใช้ในงานตกแต่งพื้นในสวนหรือพื้นที่ต่าง ๆ ได้มากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปี 2557 ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมทรัพยากรธรณี. 2553. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดบุรีรัมย์. กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากร ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

ดนุพล ตันนโยภาส. 2552. วิทยาแร่. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ดนุพล ตันนโยภาส. 2553. แร่และหิน. พิมพ์ครั้งที่ 2. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

นันทชัย ชูศิลป์. 2556. หน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนผสมกะลาปาล์มน้ำมัน. วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต 1(1):97-106.

ประชุม คำพุฒ และกิตติพงษ์ สุวีโร. 2556. การป้องกันสารพิษจากบ่อฝังกลบขยะซึมลงน้ำใต้ดินโดยใช้น้ำยางธรรมชาติ. วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต 1(2): 101-109.

ประชุม คำพุฒ และกิตติพงษ์ สุวีโร. 2557. การใช้เศษหินภูเขาไฟสำหรับพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19. 14-16 พฤษภาคม 2557. โรงแรมพลูแมน ขอนแก่น ราชาออร์คิด, ขอนแก่น.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.). 2531. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเรื่องกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก.378-2531). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

สมพิศ ตันตวรนาท ประชุม คำพุฒ และกิตติพงษ์ สุวีโร. 2555. การเพิ่มประสิทธิภาพการเป็นฉนวนความร้อนและการรับกำลังของคอนกรีตบล็อกผสมน้ำยางธรรมชาติ: กรณีผสมมวลรวมขนาดต่างกัน. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17. 9-11 พฤษภาคม 2555. โรงแรมเซ็นทาราโฮเทลแอนด์คอนเวนชั่นเซ็นเตอร์, อุดรธานี.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2010. Standard test method for steady-state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of guarded hot plate apparatus (ASTM C177 – 10). ASTM International, Conshohocken, PA.

El-Alfi, E.A., A.M. Radwan, and M.H. Ali. 2004. Physico-mechanical properties of basalt bricks. International Ceramic Review 53(3): 178–181.

Youssef, N.F., T.A. Osman, E. El-Shimy, and M.F. Abadir. 2004. Utilization of granite–basalt fine quarry waste in a ceramic floor tile mixture. Silicates Industrials 69(1–2): 7–13.