

## กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นผสมยางรถยนต์ใช้แล้ว Cement Mortar Floor Tiles Mixed Waste Tire Rubber

ชูเกียรติ ชูสกุล<sup>1</sup> ทวิช กล้าแท้<sup>2</sup> ดุสิต ชูพันธ์<sup>3</sup> สุพร ฤทธิภักดี<sup>4,\*</sup> ขวัญชีวา หงษ์สตาร์<sup>5</sup> และ สุนันท์ มนต์แก้ว<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> สาขาวิศวกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ. นครศรีธรรมราช

<sup>5</sup> สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ. ตรัง

<sup>6</sup> สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จ. กรุงเทพมหานคร

\*Corresponding author; E-mail address: suporn.r@rmutsv.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำผงยางรถยนต์แทนที่ทรายในการผลิตกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น มีขนาด 30 × 30 × 5 เซนติเมตร ซึ่งใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ทราย เท่ากับ 1 : 2.75 โดยน้ำหนัก และนำยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมาใช้แทนที่ทรายร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10 โดยปริมาตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ได้จากการทดสอบการไหลของมอร์ตาร์ ทำการทดสอบความต้านทานแรงดัดตามขวางในสภาพแห้งที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ทดสอบการดูดซึมน้ำ และความต้านทานการขีดสีที่อายุ 28 วัน ซึ่งพิจารณาเปรียบเทียบกับ มอก.826-2531 ผลการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณผงยางรถยนต์แทนที่ทรายเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำ ความต้านทานการขีดสี และค่าความต้านทานแรงดัดตามขวางลดลง อัตราส่วนผงยางรถยนต์แทนที่ทรายร้อยละ 0, 2.5, 5 และ 7.5 ผ่านตามเกณฑ์ มอก.826-2531 โดยอัตราส่วนกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นที่ใช้ผงยางรถยนต์แทนที่ทรายร้อยละ 7.5 เหมาะสมที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งมีค่าความต้านทานแรงดัดตามขวางในสภาพแห้ง 5.08 เมกะพาสคาล ค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 2.23 และค่าความต้านทานการขีดสี 0.086 กรัม ที่อายุการป่น 28 วัน

คำสำคัญ: กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น, ความต้านทานแรงดัดตามขวาง, ผงยางรถยนต์เก่า, ยางผง

### Abstract

The objective of this research was to study the use of waste tire rubber powder instead of sand in the production of cement mortar floor tiles, measuring 30 × 30 × 5 centimeters, which uses a cement-sand ratio of 1: 2.75 by weight, and using finely ground waste tire rubber powder to replace sand at 0, 2.5, 5, 7.5 and 10% by volume. The water-cement ratio (W/C) was obtained from the mortar flow table test. Transverse bending resistance test in dry conditions at 7, 14 and 28 days, water absorption and abrasion resistance test at 28 days, compared with TIS 826-2531. The results of the experiment showed that as the amount of waste tire rubber powder replaced by sand increased. As a result, the value of water absorption, abrasion resistance and transverse bending resistance decreased. Waste tire rubber ratios instead of sand 0, 2.5, 5 and 7.5% by volume passed the threshold. TIS 826-2531, where the ratio of cement mortar floor tiles using waste tire rubber powder instead of sand was the most appropriate in this study, with a transverse bending

resistance in dry conditions of 5.08 MPa, water absorption value of 2.23% and abrasion resistance of 0.086 g at 28 days.

Keywords: Cement Mortar Floor Tiles, Crumb Rubber, Transverse Bending Resistance, Waste Tire Rubber Powder

### 1. บทนำ

ปี 2564 ประเทศไทยมีจำนวนรถจดทะเบียนทั้งสิ้น 40.97 ล้านคัน เพิ่มขึ้นจากปี 2563 คิดเป็นร้อยละ 2 [1] ค่าเฉลี่ยของรถยนต์แต่ละคันจะเปลี่ยนยางกันทุกๆ 3 ปี หรือในแต่ละปีจะมียางหมดสภาพถึง 50 ล้านเส้น ยางรถยนต์เก่าก็เป็นขยะชิ้นใหญ่ที่กำจัดได้ยาก มีแนวโน้มที่จะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุง การกำจัดยางรถยนต์ที่ใช้แล้วด้วยการเผาหรือการฝังกลบนั้นไม่เป็นที่ยอมรับกันเนื่องจากวิธีการดังกล่าวได้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อทางด้านสิ่งแวดล้อม ปัญหามลภาวะทางอากาศนับวันจะรุนแรงขึ้น โดยเฉพาะปัญหา PM 2.5 สาเหตุหลักของปัญหานี้มาจากการเผาไหม้ ทำให้เกิดฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการรีไซเคิลยางรถยนต์ที่ใช้แล้วจำนวนมากนี้จึงเป็นคำตอบที่ไม่อาจจะหลีกเลี่ยงได้ด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย ยางรถยนต์ที่ใช้แล้วสามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าและนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ได้ [2]

ยางรถยนต์เก่าที่เสื่อมสภาพจากการใช้งาน การกำจัดโดยการบดเป็นอีกหนึ่งวิธีการรีไซเคิลที่นิยมกันในปัจจุบัน ยางรถยนต์บดจัดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนำเศษยาง ล้อยางเก่า ครีดยาง ยางตกเกรดหรือยางอื่นๆ ที่เป็นของเหลือใช้ผ่านกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องชนิดต่างๆ เพื่อให้ยางมีขนาดเล็กลงและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งการแปรรูปเศษยางและขยะยางเหล่านี้ด้วยกระบวนการบดจัดเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่ายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบในอุตสาหกรรม เช่น การทำแผ่นยางและบล็อกยางปูพื้น พรมปูพื้น ยางบังโคลน ท่อยาง การนำไปผสมกับยางมะตอยเพื่อใช้ทำถนน [3] การนำยางรถยนต์เก่ามาบดเป็นชิ้นหรือเป็นผงเพื่อเป็นวัสดุทดแทนหรือวัสดุผสมสำหรับงานทาง [4] นอกจากนี้สามารถนำไปขึ้นรูปเป็นยางรีไซเคิล และเป็นวัสดุผสมในการลาดผิวถนนหรือนำมาเป็นส่วนผสมในคอนกรีตได้ [5-6] ดังนั้นหากมีวิธีการที่สามารถนำยางเก่าหรือยางเสื่อมสภาพเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์จะช่วยให้ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญที่จะทำการศึกษาการใช้ยางรถยนต์บดเป็นวัสดุผสมรวม ในการผลิตกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นตามมาตรฐาน มอก.826-2531 [7] โดยนำเอาผงยางรถยนต์มาแทนที่ทรายหยาบ เพื่อเป็นการลดปริมาณขยะที่เกิดจากยางรถยนต์ ทำให้มีการกำจัดยางรถยนต์ด้วย

วิธีการเผาไหม้และฝึกลงน้อยลง ซึ่งจะได้กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นที่ช่วยยกระดับความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมของวัสดุก่อสร้าง

## 2. วิธีการศึกษา

### 2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

#### 2.1.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement)

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.14

#### 2.1.2 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)

มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการวิจัยนี้ใช้ทรายแม่น้ำที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (ขนาด 4.75 มม.) และค้ำตะแกรงเบอร์ 200 (ขนาด 0.075 มม.) ดังแสดงในรูปที่ 1 มีความถ่วงจำเพาะอิมตัวผิวแห้งเท่ากับ 2.59 ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 1.16 ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,620 กก./ม.<sup>3</sup> และค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.18 โดยมีขนาดละเอียดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C33 [8] ขนาดละเอียดของทรายหยาบดังแสดงในรูปที่ 3



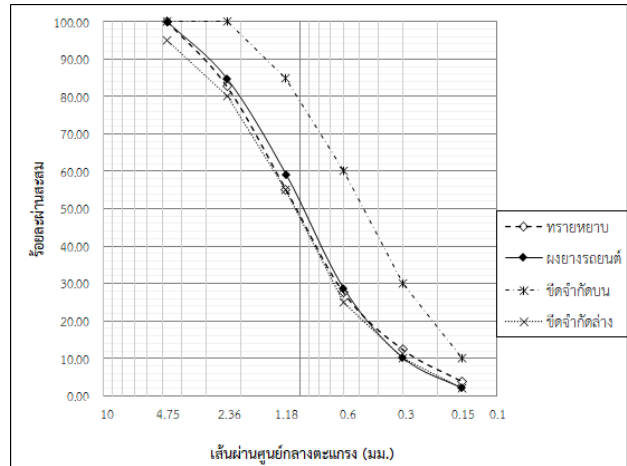
รูปที่ 1 ทรายแม่น้ำ

#### 2.1.3 ผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว (Waste Tire Rubber Powder)

ใช้ผงยางรถยนต์ที่ได้จากการรีไซเคิลด้วยวิธีการบดละเอียด มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร หรือร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 แต่จะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร หรือค้ำบนตะแกรงเบอร์ 200 เพื่อให้ขนาดมีความใกล้เคียงกับทรายหยาบ ดังแสดงในรูปที่ 2 มีความถ่วงจำเพาะอิมตัวผิวแห้งเท่ากับ 0.77 สอดคล้องกับงานวิจัยของ [9-10] ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 1.04 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sukontasukkul and Tiamlom [11] ค่าหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 485 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยค่าหน่วยน้ำหนักของผงยางรถยนต์มีค่าต่ำกว่าทรายประมาณ 3.3 เท่า สอดคล้องกับงานวิจัยของ ธรรพร และ นิพนธ์ [12] ค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 3.19 และขนาดละเอียดของผงยางรถยนต์เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C33 [8] ขนาดละเอียดดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 ผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วบดละเอียด



รูปที่ 3 ขนาดละเอียดของทรายหยาบและผงยางรถยนต์

### 2.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม

ในการออกแบบอัตราส่วนผสมกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นในครั้งนี้ กำหนดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมละเอียดเท่ากับ 1: 2.75 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ซึ่งได้จากการทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ ตามมาตรฐาน ASTM C1437 [13] และใช้ผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้ว แทนที่ทรายหยาบในอัตราส่วนร้อยละ 0, 2.5, 5, 7.5 และ 10.0 โดยปริมาตร อัตราส่วนผสมกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นต่อการผลิต 1 แผ่น ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นต่อ 1 แผ่น

ตัวอย่าง	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C)	อัตราส่วนผสม (กิโลกรัม)			
		ปูนซีเมนต์	ทรายหยาบ	ยางรถยนต์	น้ำ
Control	0.50	2.48	6.82	0	1.24
TR2.5	0.48	2.48	6.65	0.05	1.20
TR5.0	0.49	2.48	6.47	0.10	1.22
TR7.5	0.50	2.48	6.30	0.15	1.24
TR10.0	0.51	2.48	6.15	0.20	1.26

หมายเหตุ: Control = กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นควบคุม

TR2.5 = กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นแทนที่ทรายหยาบด้วยผงยางรถยนต์ 2.5%

ขึ้นรูปตัวอย่างการทดสอบกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น ขนาด 30 × 30 × 5 เซนติเมตร แบบพิมพ์ลายสานเส้น กระทั่งทำให้แน่นด้วยมือ เมื่ออัดขึ้นรูปแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จึงถอดแบบ จากนั้นนำกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นไปบ่มในสภาพอากาศปกติ โดยไม่มีกรบมด้วยน้ำ เพื่อให้เหมือนกับสภาพการผลิตจริง ก่อนที่จะนำไปทดสอบตามระยะเวลาที่ต้องการ

### 2.3 วิธีการทดสอบ

#### 2.3.1 ทดสอบค่าการดูดซึมน้ำกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น

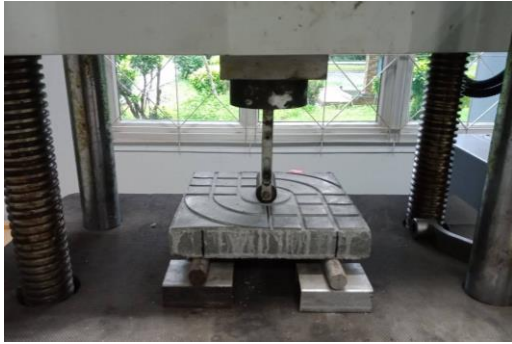
ทดสอบตาม มอก. 378-2531 [14] ที่อายุ 28 วัน

#### 2.3.2 ทดสอบค่าความหนาแน่นกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นที่

ทดสอบตาม ASTM C138 [15] ที่อายุ 28 วัน

#### 2.3.3 ทดสอบความต้านทานแรงดัดตามขวางในสภาพแห้งกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น

ทดสอบตาม มอก. 378-2531 [14] โดยยกเว้นการแช่กระเบื้องตัวอย่างในน้ำ ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทดสอบความต้านทานแรงอัดตามขวาง

### 2.3.4 ทดสอบความทนการขัดสีกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น

โดยใช้ผงขัดชนิดซิลิกอนคาร์ไบด์ เบอร์ 16 ติดตั้งเครื่องขัดสีแบบทิ้งทราย (Drop Sand Abrasion Tester) ที่ความสูง 110 เซนติเมตร โดยขึ้นงานทำมุม 45 องศากับแนวระดับ ทดสอบตาม มอก. 38-2531 [16] ที่อายุ 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การทดสอบความต้านทานการขัดสี

## 3. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

### 3.1 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C)

ผลการทดสอบการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ โดยควบคุมการไหลแผ่เท่ากับร้อยละ 110 ± 5 เพื่อหาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) ของมอร์ตาร์ผสมผงยางรถยนต์แทนที่ทรายหยาบในอัตราร้อยละ 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 โดยปริมาตร ดังตารางที่ 1 พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลดลงเมื่อใส่ผงยางรถยนต์ร้อยละ 2.5 และ 5.0 แต่เมื่อใส่ผงยางรถยนต์ร้อยละ 7.5 และ 10.0 ความต้องการน้ำของมอร์ตาร์จะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากผงยางรถยนต์เป็นวัสดุที่ไม่มีรูพรุน และมีค่าดูดซึมน้ำต่ำกว่าทรายหยาบ นอกจากนี้ยังสรุปได้ว่ามอร์ตาร์ที่มีผงยางผสมมีขนาดสม่ำเสมอจะง่ายต่อการไหล [17] แต่เมื่อใส่ในปริมาณมากจะทำให้มอร์ตาร์เกิดความหนืดเพิ่มขึ้น การยุบตัวและการไหลตัวของมอร์ตาร์ก็จะลดลงด้วย

### 3.2 ความหนาแน่นเชิงปริมาตรและการดูดซึมน้ำของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น

ค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตรและการดูดซึมน้ำของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น ที่อายุ 28 วัน ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่ากระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นผสมผงยางรถยนต์มีค่าความหนาแน่นน้อยกว่ากระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นควบคุม โดย

ความหนาแน่นจะลดลงตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของร้อยละผงยางรถยนต์แทนที่ทรายหยาบ สอดคล้องกับงานวิจัยของ [18-19] ความหนาแน่นของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นที่ลดลงเกิดจากการใช้วัสดุผสมที่เบากว่า เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะของผงยางรถยนต์มีค่าต่ำกว่าทรายหยาบมาก (ประมาณ 70%) อีกทั้งผงยางรถยนต์มีค่าน้ำหนักต่ำกว่าทรายหยาบ (ประมาณ 3.3 เท่า) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Siddique and Naik [20] ในส่วนด้านการดูดซึมน้ำของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นเมื่อปริมาณร้อยละของผงยางรถยนต์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การดูดซึมน้ำของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sukontasukkul and Wiwatpattanapong [18] ทั้งนี้เนื่องจากผงยางรถยนต์ไม่มีรูพรุน เมื่อเติมลงไปใ้ในกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นจึงไม่เป็นการเพิ่มรูพรุนในเนื้อของกระเบื้องซีเมนต์ อีกทั้งผงยางรถยนต์มีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าทรายหยาบ จากการพิจารณาการดูดซึมน้ำตาม มอก. 826-2531 [7] ที่กำหนดไม่เกินร้อยละ 10 ปรากฏว่ากระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นทุกอัตราส่วนการผสมผ่านเกณฑ์ดังกล่าว

ตารางที่ 2 ค่าความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น ที่อายุ 28 วัน

ตัวอย่าง	ค่าความหนาแน่น (กก./ม. <sup>3</sup> )	ค่าการดูดซึมน้ำ (%)
Control	2,202	2.44
TR2.5	2,147	2.38
TR5.0	2,132	2.31
TR7.5	2,125	2.23
TR10.0	2,061	2.18

### 3.3. ความต้านทานแรงอัดตามขวางในสภาพแห้งของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น

ตารางที่ 3 ความต้านทานแรงอัดตามขวางในสภาพแห้งของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น

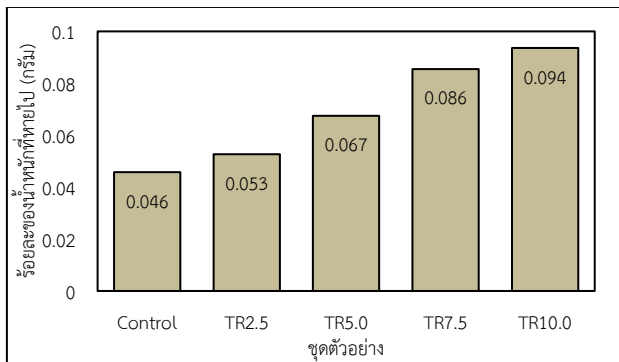
ตัวอย่าง	ความต้านทานแรงอัดตามขวาง MPa (ร้อยละ)		
	7 วัน	14 วัน	28 วัน
Control	3.81 (100)	4.91 (100)	5.62 (100)
TR2.5	3.22 (85)	4.51 (92)	5.39 (96)
TR5.0	3.17 (83)	4.48 (91)	5.27 (94)
TR7.5	3.10 (81)	4.26 (87)	5.08 (90)
TR10.0	2.98 (78)	4.04 (82)	4.91 (87)

ผลการทดสอบความต้านทานแรงอัดตามขวางในสภาพแห้งของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น ตามตารางที่ 3 พบว่าค่าความต้านทานแรงอัดตามขวางจะแปรผันตรงกับอายุการบ่ม กล่าวคือ เมื่อกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นมีอายุการบ่มมากขึ้นทำให้ความต้านทานแรงอัดตามขวางสูงขึ้น ซึ่งระยะเวลาในการบ่มที่เพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เกิดเป็นผลิตภัณฑ์แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (CSH) มากขึ้นและขยายตัวเข้าไปในโพรงจะเชื่อมโยงถึงกันและเกิดการยึดเกาะกันขึ้น ทำให้ซีเมนต์เพสต์มีโครงสร้างที่แน่นยิ่งขึ้น [21] ในขณะที่ความต้านทานแรงอัดตามขวางจะลดลงเมื่อปริมาณร้อยละของผงยางรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น [17, 19, 22] ปัจจัยที่ทำให้การลดลงของความต้านทานแรงอัดตามขวางคือ การขาดการยึดเกาะที่ดีระหว่างอนุภาคของผงยางรถยนต์กับซีเมนต์เพสต์ [10,22] ซึ่งมีส่วนทำให้ความแข็งแรงในการยึดเกาะน้อยลง จากงานวิจัยของ Gupta et al.[23] รายงานว่า การลดลงของความต้านทานแรงอัดโดยทั่วไปขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของผงยาง เนื่องจากอนุภาคผงยางมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ ส่วนเชื่อมต่อระหว่างผงยางกับซีเมนต์เพสต์จึงเป็นช่องว่างสำหรับน้ำระหว่างการสั่นสะเทือนและการบ่ม นอกจากนี้เนื่องจากผิวเรียบของผงยางรถยนต์

ความแข็งแรงของส่วนประสานจึงลดลงไปอีก สิ่งเหล่านี้นำไปสู่การแพร่กระจายของรอยแตกเมื่อรับแรงกระทำ เมื่อพิจารณาตาม มอก.826-2531 [7] ซึ่งกำหนดให้ค่าความต้านทานแรงดัดตามขวางในสภาพแห้งต้องไม่ต่ำกว่า 5.0 เมกกะพาสคาล ปรากฏว่าที่อายุการบ่ม 7 และ 14 วัน กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นทุกอัตราส่วนผสมไม่เป็นไปตามเกณฑ์ แต่ที่อายุ 28 วัน มีเพียงกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นผสมผงยางรถยนต์ร้อยละ 10 เท่านั้นที่ไม่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าว โดยกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นควบคุมมีค่าความต้านทานแรงดัดตามขวางในสภาพแห้งสูงที่สุด

### 3.4 ความต้านทานการขีดสีของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น

ค่าความต้านทานการขีดสีของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น ที่อายุ 28 วัน ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่าน้ำหนักที่หายไปของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการเพิ่มขึ้นของผงยางรถยนต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Bisht and Ramana [24] ซึ่งรายงานว่าระหว่างการสั่นสะเทือนของคอนกรีตผสมผงยางรถยนต์ ผงยางรถยนต์มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่เข้าหาผิวของก้อนคอนกรีต เนื่องจากผงยางรถยนต์มีค่าความถ่วงจำเพาะน้อยกว่า ซึ่งส่งผลให้แรงยึดเกาะระหว่างผงยางรถยนต์กับซีเมนต์เพสต์ลดลง ช่วยให้เกิดการสึกกร่อนได้ง่ายกว่ากระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นควบคุม แสดงว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงยางรถยนต์จะทำให้กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นมีความต้านทานการขีดสีลดลง เมื่อพิจารณาตาม มอก. 826-2531 [7] ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 0.1 กรัม พบว่ากระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นทุกอัตราส่วนการผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าว



รูปที่ 6 ความทนทานการขีดสีของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น ที่อายุ 28 วัน

## 4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสมบัติของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นโดยใช้ผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วแทนที่ทรายหยาบในอัตราส่วนร้อยละ 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 โดยปริมาตร ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมละเอียดเท่ากับ 1: 2.75 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับ มอก. 826-2531 ครั้งนี้ สรุปได้ว่า

- 1) การใช้ผงยางรถยนต์แทนที่ทรายหยาบช่วยให้ความหนาแน่นของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นลดลง
- 2) การใช้ผงยางรถยนต์แทนที่ทรายหยาบส่งผลให้ค่าการดูดซึมน้ำของกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นลดลง ถึงแม้ว่าความหนาแน่นลดลงก็ตาม
- 3) กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นผสมผงยางรถยนต์แทนที่ทรายหยาบจะมีค่าความต้านทานแรงดัดตามขวางในสภาพแห้ง และค่าความต้านทานการขีดสีต่ำกว่ากระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นควบคุม

4) อัตราส่วนการแทนที่ทรายหยาบของผงยางรถยนต์ที่ร้อยละ 2.5, 5.0 และ 7.5 กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นมีสมบัติเป็นไปตาม มอก. 826-2531 ที่อายุ 28 วัน

5) ผงยางรถยนต์สามารถพัฒนาสมบัติด้านการดูดซึมน้ำและหน่วยน้ำหนักให้กับกระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น สามารถลดปัญหาจากการทำลายยางรถยนต์เก่า และเป็นแนวทางในการนำยางรถยนต์ที่ใช้แล้วไปใช้ประโยชน์ทางวิศวกรรม

6) เมื่อพิจารณาสมบัติเปรียบเทียบกับ มอก. 826-2531 พบว่ากระเบื้องซีเมนต์ปูพื้นผสมผงยางรถยนต์แทนที่ทรายหยาบในอัตราส่วนร้อยละ 7.5 โดยปริมาตร เหมาะสมที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ โดยมีความหนาแน่นเท่ากับ 2,125 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 2.23 ค่าความต้านทานแรงดัดตามขวางในสภาพแห้งเท่ากับ 5.08 เมกกะพาสคาล และค่าความต้านทานการขีดสีเท่ากับ 0.086 กรัม ที่อายุ 28 วัน

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้เป็นอย่างดี ได้รับการสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ และห้องทดสอบ จากหลักสูตรวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และใคร่ขอขอบคุณ นายศุภวัฒน์ จันทร์ปราง นายวราเทพ สิทธิมนต์ และนายวีรพงศ์ ธีรอรบ ที่ช่วยเก็บข้อมูลงานวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมการขนส่งทางบก (2564). *หนังสือรายงานประจำปี 2564*. สืบค้นเมื่อ 6 เมษายน 2565, เข้าถึงได้จาก <https://www.dlt.go.th/th/annual-report/>
- [2] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2553). *ยางรถยนต์ : ส่วนประกอบและอันตรายจากสารเคมี*. สืบค้นเมื่อ 7 เมษายน 2565, เข้าถึงได้จาก : <http://www.nstda.or.th/sci-kids-menu/1636-tyre>
- [3] สถาบันพลาสติก (2557). *ยางผง*. สืบค้นเมื่อวันที่ 7 เมษายน 2565, เข้าถึงได้จาก : <http://rubber.oie.go.th/ELibrary.aspx?cid=75>
- [4] Federal Highway Administration (2016). *User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction; Scrap Tires*. สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2565, เข้าถึงได้จาก : <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/st.1.cfm>
- [5] Shu, X. and Huang, B. (2014). Recycling of waste tire rubber in asphalt and Portland cement concrete: An overview. *Construction and Building Materials*, 67, pp. 217–224.
- [6] Khan, I. M., Kabir, S., Alhussain, M. A. and Almansoor, F. F. (2016). Asphalt Design using Recycled Plastic and Crumb-rubber Waste for Sustainable Pavement Construction. *Procedia Engineering*, 145, pp. 1557–1564.
- [7] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2531). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องซีเมนต์ปูพื้น. มอก. 826-2531. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [8] American Society for Testing and Materials. (2011). ASTM C33 Standard Specification for Concrete Aggregates. ASTM International, Philadelphia, Vol. 04.02.



- [9] Valente, M. and Sibai, A. (2019). Rubber/crete: Mechanical properties of scrap to reuse tire-derived rubber in concrete; A review. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 17(1\_suppl), 2280800019835486.
- [10] Siddika, A., Al Mamun, M. A., Alyousef, R., Amran, Y. M., Aslani, F., & Alabduljabbar, H. (2019). Properties and utilizations of waste tire rubber in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 224, 711-731.
- [11] Sukontasukkul, P. and Tiamlom, K. (2012). Expansion under water and drying shrinkage of rubberized concrete mixed with crumb rubber with different size. *Construction and Building Materials*, 29, 520-526.
- [12] ธรพร บุคย์น้ำเพชร และ นิพนธ์ ต้นไพบูลย์กุล (2559). สมบัติของคอนกรีตมวลเบาผสมยางรถยนต์ที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน. *Veridian E-journal Science and Technology Silpakorn University*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 4, หน้า 62-75.
- [13] American Society for Testing and Materials. (2007). ASTM C1437 Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar. ASTM International, Philadelphia, Vol. 04.01.
- [14] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2531). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น. มอก. 378-2531. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [15] American Society for Testing and Materials. (2011). ASTM C138 Standard Test Method for Density ("Unit Weight"), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete, ASTM International, Philadelphia, Vol. 04.02.
- [16] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2531). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องดินเผาโมเสก มอก. 38-2531. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.
- [17] Siringi, G. M., Abolmaali, A. and Aswath, P. B. (2013). Properties of concrete with crumb rubber replacing fine aggregates (Sand). *Advances in Civil Engineering Materials*, 2(1), pp. 218-232.
- [18] Sukontasukkul, P. and Wiwatpattanapong, S. (2009). Lightweight concrete mixed with superfine crumb rubber powder Part 1: Insulation properties. *The Journal of KMUTNB*, 19(3), pp. 1-10.
- [19] Roychand, R., Gravina, R. J., Zhuge, Y., Ma, X., Yousf, O. and Mills, J. E. (2020). A comprehensive review on the mechanical properties of waste tire rubber concrete. *Construction and Building Materials*, 237, 117651.
- [20] Siddique, R. and Naik, T. R. (2004). Properties of concrete containing scrap-tire rubber—an overview. *Waste management*, 24(6), pp. 563-569.
- [21] ปริญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2556). ปูนซีเมนต์ปอซโซลานและคอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 7, สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ, หน้า 49-50.
- [22] Sofi, A. (2018). Effect of waste tyre rubber on mechanical and durability properties of concrete – A review. *Ain Shams Engineering Journal*, 9, pp. 2691-2700.
- [23] Gupta, T., Chaudhary, S. and Sharma, R. K. (2014). Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber tire as fine aggregate. *Construction and building Materials*, 73, pp. 562-574.
- [24] Bisht, K. and Ramana, P. V. (2017). Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete. *Construction and building materials*, 155, pp. 811-817.