P-ISSN 0858-4435
E-ISSN 2651-1231
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี Homepage : http://li01.tci-thaijo.org/index.php/tstj
ปีที่ 30 ฉบับที่ 6 (พฤศจิกายน-ธันวาคม 2565) หน้า [112-123]

# สมบัติทางกลของคอนกรีตที่ใช้เศษยางรถยนต์บดแทนที่มวลรวมละเอียด

# Mechanical Properties of Concrete Using Crumb Waste Tire Rubber as Fine Aggregate

รัตนศักดิ์ หงษ์ทอง[1], เซาฟีร์ ดือราแม[1,*], อภัย เบ็ญจพงศ์[1], อภิวิชญ์ ทองรักษา[1], ทวิช กล้าแท้[2]
*[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ กรุงเทพมหานคร 10120*
*[2]หลักสูตรวิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*
Rattanasak Hongthong[1], Saofee Dueramae[1,*], Apai Benchaphong[1],
Apiwish Thongraksa[1], Tawich Klathae[2]
*[1]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering,*
*Rajamangala University of Technology Krungthep, Bangkok 10120*
*[2]Department of Civil Engineering, College of Industrial Technology and Management,*
*Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla 90000*
Received 20 July 2022; Received in revised 13 August 2022; Accepted 5 October 2022

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้ได้ใช้เศษยางรถยนต์เก่าที่ผ่านกระบวนการบดย่อยให้เป็นเม็ดเพื่อใช้แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน โดยขนาดของอนุภาคของเศษยางรถยนต์รีไซเคิลส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 และค้างตะแกรงเบอร์ 16 นำมาแทนที่มวลรวมละเอียดในสัดส่วนร้อยละ 2, 5, 7.5 และ10 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด ศึกษาสมบัติของคอนกรีตสดและสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน นอกจากนั้นยังศึกษาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังดึงผ่าซีกของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตผสมเศษยางรถยนต์รีไซเคิลมีสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างจากคอนกรีตควบคุม โดยค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดมีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ด้วยเม็ดยางรีไซเคิลที่เพิ่มขึ้น ด้านกำลังรับแรงอัดและค่าโมดูลัสยืดหยุ่น พบว่าการเพิ่มปริมาณเม็ดยางรีไซเคิลส่งผลให้กำลังอัดและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีค่าลงลด โดยการแทนที่มวลรวมด้วยเม็ดยางรีไซเคิลในอัตราร้อยละ 2 โดยน้ำหนักนั้นให้กำลังอัดได้มากที่สุดซึ่งสามารถพัฒนากำลังอัดได้ถึง 362 กก/ซม$^2$ ที่อายุ 28 วัน โดยมีค่าสูงถึงร้อยละ 89 ของคอนกรีตควบคุม ส่วนด้านการรับกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเม็ดยางรีไซเคิลจะมีค่าประมาณร้อยละ 10 ของกำลังอัดเช่นเดียวกับคอนกรีตทั่วไป

**คำสำคัญ:** กำลังอัด; สมบัติทางกล; เศษยางรถยนต์

***ผู้รับผิดชอบบทความ:** saofee.d@mail.rmutk.ac.th **doi:**

## Abstract

This research used crumb waste tire rubber recycles as fine aggregate replacement in the concrete mixture. Most particles of the crumb waste tire rubbers are smaller than sieve number 4 and bigger than sieve number 16 and used as the acceptable aggregate replacement at the ratio of 2, 5, 7.5, and 10% by weight. The properties of fresh concrete and mechanical properties in terms of compressive strength of concrete at 7, 14, and 28 days were investigated. Moreover, the elastic modulus and splitting tensile strength of concrete were also investigated at 28 days.

According to the experiment results, it can be seen that the concrete mixed with crumb waste tire rubber exhibits different physical properties as compared with control concrete. The slump of fresh concrete was reduced with an increase in waste tire rubber replacement. For the mechanical properties, it was found that increasing the amount of waste tire rubber reduced the compressive strength and elastic modulus of concrete. The result shows that the concrete replaced with 2% crumb waste tire rubber provided the highest compressive strength, which could develop compressive strength up to 382 kg/cm$^2$ at 28 days or up to 89% of control concrete. For the splitting tensile strength of the concrete, all concretes replaced with crumb waste tire rubber had a tensile strength approximately 10% of the compressive strength, similar to standard concrete.

**Keywords:** Compressive strength; Mechanical properties; Crumb waste tire rubber

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์เติบโตอย่างรวดเร็ว ทั้งจากการใช้ยานยนต์ในภาคครัวเรือนและในภาคการขนส่ง มีการใช้ยานยนต์ประเภทรถยนต์และรถจักรยานยนต์เป็นจำนวนมากและมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี จากรายงานสถิติการขนส่งในประเทศไทย [1] พบว่า ในปี พ.ศ. 2564 มีจำนวนรถที่จดทะเบียนสะสม รวมทั้งสิ้นประมาณ 42.09 ล้านคัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2563 ถึงกว่า 1 ล้านคันหรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.92 และอาจมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การเพิ่มขึ้นของปริมาณรถในแต่ละปี ย่อมหมายถึงการเพิ่มความต้องการในการใช้ยางรถยนต์ และสิ่งที่ตามมาคือปริมาณขยะจากยางรถยนต์เสื่อมสภาพ ซึ่งโดยทั่วไปอายุของยางรถยนต์ 1 ชุดติดรถจะมีอายุใช้งานที่ผู้ผลิตแนะนำคือ 50,000 กม. หรือ 5 ปี ขึ้นอยู่กับว่าอย่างใดอย่างหนึ่งถึงก่อน จึงทำให้เกิดปริมาณขยะจากยางรถยนต์ที่เสื่อมสภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและยางรถยนต์เป็นสิ่งที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ การกำจัดเศษยางรถยนต์ที่เสื่อมสภาพเป็นปัญหาหลักทางนิเวศวิทยาทั่วโลก โดยทั่วไปในแต่ละปี ล้อยางหลายล้านเส้นถูกกำจัด ฝัง หรือทิ้ง ซึ่งเป็นอันตรายร้ายแรงต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาการย่อยสลายของวัสดุจำพวกยางนั้นมีระยะเวลาที่นาน นอกจากนี้วัสดุจำพวกยางรถยนต์ยังมีคุณสมบัติไวไฟสูง อาจเกิดปัญหาส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุที่เกี่ยวข้องกับเพลิงไหม้จากแหล่งกำจัดและยางเป็นวัสดุที่มีผลต่อการก่อให้เกิดก๊าซพิษหากติดไฟ [2] การนำเศษยางรถยนต์เหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นวิธีหนึ่งในการลดปัญหาดังกล่าว

จากงานวิจัยที่ผ่านมามีการศึกษาพบว่ามีการใช้เศษยางแทนที่ในส่วนผสมของคอนกรีตทั้งใช้สำหรับแทนที่ปูนซีเมนต์และใช้แทนที่มวลรวม ซึ่งการใช้เศษยางแทนที่ในส่วนผสมของคอนกรีตส่งผลต่อสมบัติของ

คอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงไป งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้เศษยางแทนที่ในส่วนผสมของคอนกรีตส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัด และโมดูลัสความยืดหยุ่นลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตทั่วไป [3,4] นอกจากนั้น Gupta และคณะ [5] ศึกษาผลของการใช้เส้นใยยางและผงยาง พบว่า กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง อย่างไรก็ตาม สามารถเพิ่มความต้านทานแรงกระแทก การล้า และความสามารถในการรับน้ำหนักการดัดงอของคอนกรีต ในขณะที่ Maher Al-Tayeb และคณะ [6] ได้ศึกษาผลของการใช้เศษยางรถยนต์ในงานคอนกรีต โดยใช้ยาง 2 รูปแบบ คือ ใช้เป็นลักษณะผงละเอียดในการแทนที่ปูนซีเมนต์ และใช้สำหรับแทนที่ส่วนของมวลรวมละเอียด พบว่า การใช้ใน 2 รูปแบบมีส่งผลต่อสมบัติคอนกรีตที่ต่างกัน โดยการใช้ผงยางรถยนต์แทนที่ปูนซีเมนต์ส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังอัดลดลงร้อยละ 19-53 ส่วนการใช้เศษยางรถยนต์แทนที่มวลรวมละเอียด ส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังอัดลดลงร้อยละ 11-19

อย่างไรก็ตามสมบัติของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยยางรถยนต์ขึ้นอยู่กับสมบัติของยางรถยนต์ที่นำมาใช้ เนื่องจากยางรถยนต์เป็นวัสดุเฉื่อยที่ไม่ทำปฏิกิริยากับส่วนผสมของซีเมนต์ การยึดติดระหว่างพื้นผิวของยางและเนื้อคอนกรีตส่งผลต่อการรับกำลังของคอนกรีต นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค ปริมาณที่ใช้ในการแทนที่ งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของการใช้เศษยางรถยนต์รีไซเคิลที่ได้จากเศษยางรถยนต์เก่าที่ผ่านกระบวนการบดย่อยให้เป็นเม็ดเพื่อใช้แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน ในอัตราร้อยละ 2, 5, 7.5 และ 10 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด โดยศึกษาสมบัติของคอนกรีตสดและสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ศึกษาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังดึงผ่าซีกของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาผลของการใช้เศษยางรถยนต์แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนที่มีต่อความสามารถในการเทได้ของคอนกรีต

2.2 เพื่อศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้เศษยางรถยนต์แทนที่มวลรวมบางส่วน

2.3 เพื่อศึกษาโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ใช้เศษยางรถยนต์แทนที่มวลรวมบางส่วน

2.4 เพื่อศึกษากำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตที่ใช้เศษยางรถยนต์แทนที่มวลรวมบางส่วน

## 3. วิธีการศึกษา

### 3.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

การศึกษานี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland cement) เป็นวัสดุประสานในการหล่อตัวอย่างคอนกรีต ใช้ทรายแม่น้ำเป็นมวลรวมละเอียด ซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.60 และใช้หินปูนย่อยเป็นมวลรวมหยาบ ซึ่งมีขนาดโตสุดไม่เกิน 19 มิลลิเมตร มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.73 นอกจากนั้นการศึกษานี้มีการนำเศษยางรถยนต์รีไซเคิล (Waste Tire Rubber) เพื่อใช้แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน ซึ่งได้จากเศษยางรถยนต์เก่าจากโรงงานในจังหวัดนครปฐม นำมาตัดขอบ แยกขอบลวดและชั้นผ้าใบออก จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการบดย่อย โดยเศษยางรถยนต์รีไซเคิลที่ใช้มีลักษณะเป็นเม็ด เมื่อนำไปร่อนผ่านตะแกรงพบว่าส่วนใหญ่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 และค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 16 จากการสุ่มตัวอย่างพบว่ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 ถึง 4 มิลลิเมตร แสดงดัง Figure 1 โดยเศษยางรถยนต์บดละเอียดที่ใช้มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.21 และมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 4.54

**Figure 1** Waste tire rubber.

### 3.2 ส่วนผสมของคอนกรีต

Table 1 แสดงอัตราส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสาน โดยควบคุมปริมาณของวัสดุประสานเท่ากันทุกส่วนผสม และกำหนดให้ทุกส่วนผสมมีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C Ratio) เท่ากับ 0.55 นอกจากนั้นศึกษาผลของการใช้เศษยางรถยนต์รีไซเคิล (Waste Tire Rubber) เพื่อใช้แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในอัตราส่วนร้อยละ 2, 5, 7.5, และ 10 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด เปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมที่ใช้ทรายแม่น้ำเป็นมวลรวมละเอียด

**Table 1** Mix proportion of concrete containing crumb waste tire rubber as a fine aggregate.

| Samples | Mix proportion (kg/m$^3$) | | | | | W/C ratios |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | OPC | Lime stone | Natural sand | Rubber waste | Water | |
| CT | 364 | 992 | 772 | 0 | 200 | 0.55 |
| WR 2 | 364 | 992 | 757 | 15 | 200 | 0.55 |
| WR 5 | 364 | 992 | 733 | 39 | 200 | 0.55 |
| WR 7.5 | 364 | 992 | 714 | 58 | 200 | 0.55 |
| WR 10 | 364 | 992 | 695 | 77 | 200 | 0.55 |

### 3.3 การทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต

การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต ทำการทดสอบมาตรฐาน ASTM C 143 [7] เพื่อหาความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตสด และเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตสดที่ใช้ยางรถยนต์แทนที่มวลรวมละเอียดในส่วนผสมกับคอนกรีตทั่วไปที่ใช้ปูนซีเมนต์และมวลรวมธรรมชาติ

### 3.4 การทดสอบกำลังอัด

กำลังอัดของคอนกรีตใช้ตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม.และ สูง 20 ซม. ตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบทำการถอดแบบหล่อคอนกรีตหลังจาก 24 ชั่วโมงแล้วนำไปบ่มน้ำจนถึงแต่ละอายุการทดสอบที่ 7, 14 และ 28 วัน ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด ตามมาตรฐาน ASTM C39 [8] โดยแต่ละอายุการทดสอบใช้ตัวอย่างคอนกรีต 3 ตัวอย่าง คอนกรีตเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

### 3.5 การทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต

การทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C469 [9] และ ASTM C496 [10] ตามลำดับ ซึ่งทำการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตที่อายุ 28 วัน โดยแต่ละอายุการทดสอบใช้ตัวอย่างคอนกรีต 3 ตัวอย่างคอนกรีตเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

## 4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

### 4.1 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด

ผลการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีตสด โดยทุกส่วนผสมมีอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C ratio) เท่ากัน พบว่า การผสมเศษยางรถยนต์รีไซเคิลลงไปแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในคอนกรีตส่งผลกระทบต่อค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ผสมในอัตราส่วนที่ต่างกันออกไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของเศษยางรถยนต์ที่ใช้แทนที่มวลรวมละเอียด โดยเมื่อมีการแทนที่ด้วยเม็ดยางที่มากขึ้น ค่าการยุบตัวของคอนกรีตจะลดลงตามปริมาณยางที่ใส่แทนที่ลงไป เมื่อพิจารณาผลของการแทนที่มวลรวมด้วยเศษยางรถยนต์ เห็นได้ว่าทุกส่วนผสมมีค่าการยุบตัวที่ต่ำกว่าคอนกรีตคุมคุม (CT) ซึ่งการแทนที่มวลรวมด้วยเศษยางรถยนต์ในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 5 (คอนกรีต WR2 และ WR5) ส่งผลต่อค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดเล็กน้อย แต่เมื่อแทนที่ในปริมาณที่สูงขึ้นจนถึงร้อยละ 7.5 – 10 (คอนกรีต WR7.5 และ WR10) ค่าการยุบตัวของคอนกรีตมีค่าลดลงอย่างมาก ดังแสดงใน Figure 2 ซึ่งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับผลการทดสอบของ Yilmaz และ Degirmenci [11] ที่ใช้เศษยางรถยนต์บดละเอียดที่มีขนาดที่แตกต่างกันเพื่อเป็นส่วนผสมของมอร์ต้าร์ พบว่า การใช้เศษยางรถยนต์แทนที่ส่วนผสมของมอร์ต้าร์ในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้มอร์ต้าร์มีความต้องการน้ำมากขึ้นและต้องใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่มากขึ้น เพื่อให้มอร์ต้าร์มีค่าการไหลแผ่อยู่ในช่วงระหว่าง 105 – 115 ตามมาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าการใช้เศษยางรถยนต์เพื่อแทนที่ในส่วนผสมของมอร์ต้าร์หรือคอนกรีตจะส่งผลต่อความสามารถในการทำงานได้ (workability) ที่ลดลง

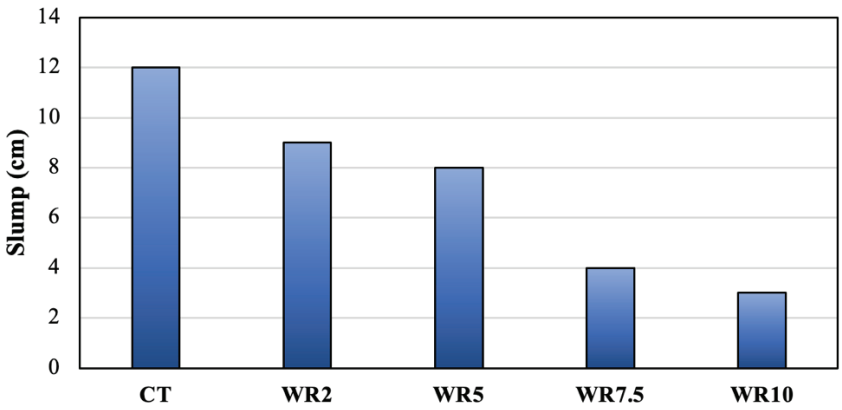


**Figure 2** Slump of fresh concrete.

### 4.2 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

Figure 3 แสดงค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต พบว่าคอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักมากที่สุดคือคอนกรีตควบคุม (CT) รองลงมาเป็นคอนกรีตที่แทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษยางรถยนต์รีไซเคิล ได้แก่ คอนกรีต WR2, WR5, WR7.5 และ WR10 ตามลำดับ โดยหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต WR2 มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2,347 – 2,374 กก/ม$^3$, WR5 มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2,322 – 2,370 กก/ม$^3$, WR7.5 มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2,324 – 2,364 กก/ม$^3$ และ WR10 มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2,244 – 2,293 กก/ม$^3$ จะเห็นได้ว่าการเศษยางรถยนต์รีไซเคิลแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลงเล็กน้อย ตามปริมาณยางที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของเศษยางรถยนต์รีไซเคิลที่ใช้นั้นมีค่าความถ่วงจำเพาะที่น้อยกว่าทรายแม่น้ำ โดยเศษยางรถยนต์รีไซเคิลมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.21 ขณะที่ทรายแม่น้ำมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.60 จึงส่งผลให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมีค่าลดลง

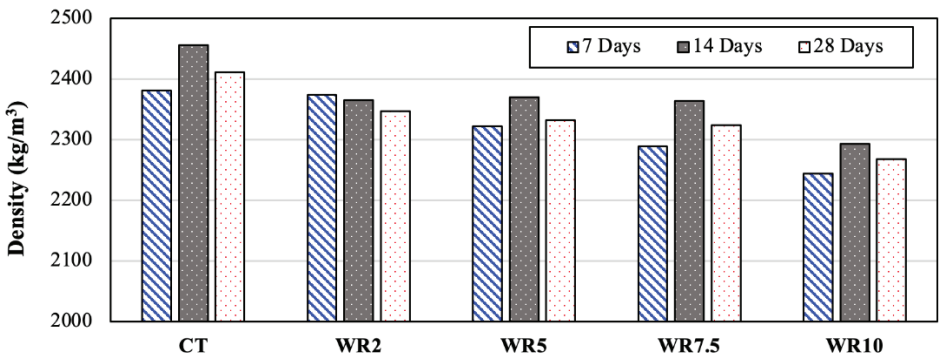


**Figure 3** Density of concrete.

### 4.3 กำลังอัดของคอนกรีต

ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษยางรถยนต์ (WR Concrete) เปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมที่ใช้ทรายแม่น้ำ (CT Concrete) แสดงดัง Figure 4 ผลการทดสอบพบว่า ทั้งคอนกรีตควบคุมและคอนกรีตที่แทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษยางรถยนต์ มีการพัฒนากำลังอัดได้มากขึ้นเมื่อคอนกรีตมีอายุการบ่มที่นานขึ้น โดยคอนกรีตควบคุมมีค่ากำลังอัด เท่ากับ 295, 330 และ 409 กก/ซม$^2$ ที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ ส่วนคอนกรีตที่ใช้เศษยางรถยนต์แทนที่มวลรวมละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 2, 5, 7.5 และ 10 พบว่า มีกำลังอัดลดลงตามปริมาณการแทนที่ที่มากขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 156 – 283 กก/ซม$^2$ ที่อายุ 7 ต่อมาที่อายุ 14 คอนกรีตมีค่ากำลังอัดอยู่ระหว่าง 185 – 300 กก/ซม$^2$ และเมื่อคอนกรีตมีอายุ 28 วัน พบว่ามีค่ากำลังอัดอยู่ระหว่าง 201 – 362 กก/ซม$^2$ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษยางรถยนต์รีไซเคิลส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีตที่ลดลง เนื่องจากเศษยางรถยนต์นั้นมีคุณสมบัติด้านความแข็งที่ต่ำกว่าทรายแม่น้ำค่อนข้างมาก ซึ่งทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่ต่ำลง [12] โดยเฉพาะเมื่อแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษยางรถยนต์ในปริมาณสูงถึงร้อยละ 7.5 และ 10 โดยน้ำหนัก นอกจากนั้นยังมีผลมาจากผลของการยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของเม็ดยางรีไซเคิลและซีเมนต์เพสต์ที่มีค่าต่ำกว่าการใช้มวลรวมละเอียดจากทรายแม่น้ำ เมื่อเกิดการรับกำลังทำให้การวิบัติที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างของเนื้อคอนกรีตเริ่มเกิดขึ้นบริเวณรอบๆ อนุภาคของเม็ดยางที่ทำการแทนที่เป็นจุดที่มีความแข็งต่ำ [13,14] อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้เศษยางรถยนต์แทนที่ปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 5 สามารถพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตได้กว่าร้อยละ 70 ของคอนกรีตควบคุมที่ใช้ทรายแม่น้ำเป็นมวลรวม โดยคอนกรีต WR2 มีค่ากำลังอัดคอนกรีตกรีตที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 362 กก/ซม$^2$ หรือคิดเป็นร้อยละ 89 ของคอนกรีตควบคุม ส่วนคอนกรีต WR5 ค่ากำลังอัดคอนกรีตกรีตที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 282 กก/ซม$^2$ หรือคิดเป็นร้อยละ 69 ของคอนกรีตควบคุม

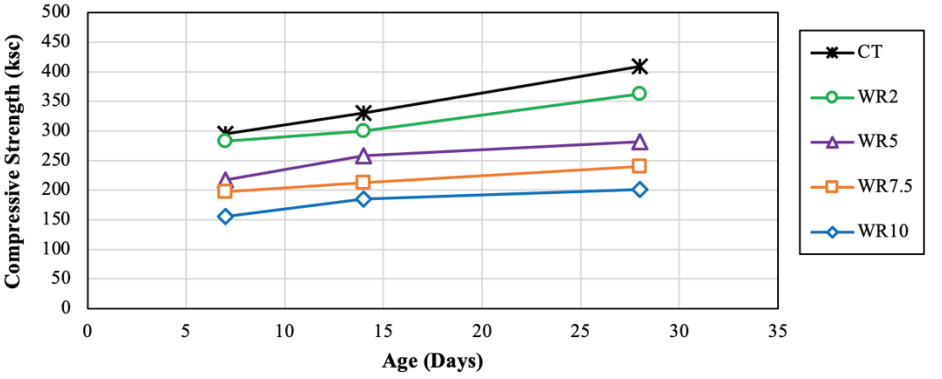


**Figure 4** Compressive strength of concrete.

**4.4 กำลังลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต**

ผลการทดสอบกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (Table 2) พบว่า คอนกรีต CT ที่ใช้ทรายแม่น้ำเป็นมวลรวม มีกำลังดึงแบบผ่าซีกเท่ากับ 35 กก/ซม$^2$ ในขณะที่กำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต WR2, WR5, WR7.5 และ WR 10 มีค่าเท่ากับ 33.6, 28.6, 23.3 และ 20.3 กก/ซม$^2$ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังดึงแบบซีกของคอนกรีตที่แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนด้วยเศษยางรถยนต์รีไซเคิลมีค่าลดลงตามปริมาณของการแทนที่ที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับผลการทดสอบกำลังอัด อย่างไรก็ตามหากพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและร้อยละกำลังดึงต่อกำลังอัดของคอนกรีต พบว่า คอนกรีตที่แทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษยางรถยนต์รีไซเคิลมีค่าอัตราส่วนของกำลังดึงต่อกำลังอัดของคอนกรีตอยู่ระหว่างร้อยละ 9.3 – 10.2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตทั่วไปที่มีค่ากำลังดึงผ่าซีกประมาณร้อยละ 10 ของกำลังอัด [15] จากผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่า ปริมาณการแทนที่มวลรวมด้วยเศษยางรถยนต์รีไซเคิลไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติด้านการรับแรงดึงของคอนกรีต โดยค่ากำลังดึงของคอนกรีตแปรผันกับกำลังอัดของคอนกรีตเช่นเดียวกับคอนกรีตทั่วไป ดัง Figure 5

**Table 2** Splitting tensile strength of concrete.

| Samples | Splitting tensile strength (ksc) – Normalized splitting tensile strength (%) | Ratios of spliting tensile strength to compressive strength (%) |
|---|---|---|
| CT | 35.0 – **100** | 8.6 |
| WR2 | 33.6 – **96** | 9.3 |
| WR5 | 28.6 – **82** | 10.2 |
| WR7.5 | 23.3 – **67** | 9.7 |
| WR10 | 20.3 – **58** | 10.1 |

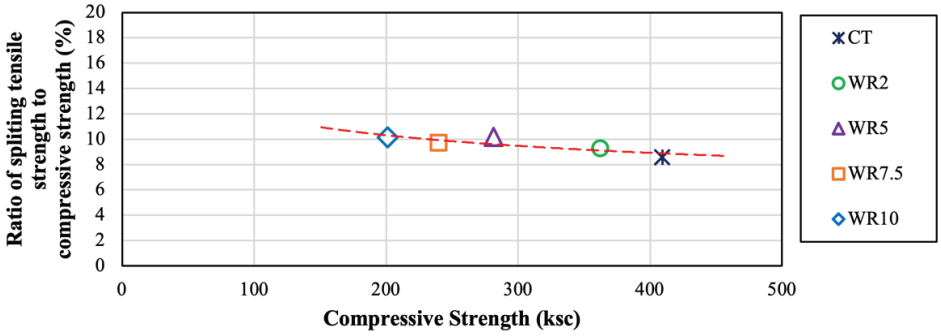


**Figure 5** Relationship between ratio of splitting tensile strength to compressive strength and compressive strength of concrete.

**4.5 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต**

Table 3 แสดงผลการทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตในงานวิจัยนี้ พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตควบคุมที่ใช้ทรายแม่น้ำเป็นมวลรวมละเอียด (CT concrete) มีค่าเท่ากับ 436,566 กก/ซม$^2$ ที่อายุ 28 วัน ในขณะที่กลุ่มของคอนกรีตที่แทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษยางรถยนต์รีไซเคิล (WR concrete) มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุ 28 วัน อยู่ระหว่าง 190,083 – 349,517 กก/ซม$^2$ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณในการแทนที่มวลรวมละเอียด เนื่องจากยางรถยนต์เป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นสูง มีค่าความแข็งต่ำ จึงเป็นสาเหตุทำให้คอนกรีตที่แทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษยางรถยนต์นั้นมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมที่ใช้ทรายแม่น้ำเป็นมวลรวม โดยเฉพาะการแทนที่ในปริมาณสูงกว่าร้อยละ 7.5 – 10 ส่งผลต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นค่อนข้างมาก จาก Figure 6 แสดงให้เห็นว่าทั้งค่ากำลังอัดและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีแนวโน้มลงลดตามปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษยางรถยนต์ในปริมาณมากขึ้น ซึ่งผลจากทดสอบในงานวิยังนี้มีแนวโน้มเช่นเดียวกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Záleská และคณะ [4] ซึ่งพบว่าการใช้เศษยางรถยนต์แทนที่มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบในส่วนผสมของคอนกรีต ส่งผลต่อค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ลงลดอย่างมีนัยสำคัญทั้งการทดสอบแบบโมดูลัสซีแคนท์และแบบโมดูลัสเชิงกลพลวัติ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Cai และคณะ [16] ซึ่งใช้เศษยางรถยนต์บดละเอียดซึ่งมีขนาดอยู่ระหว่างตะแกรงร่อนเบอร์ 40 และตะแกรงร่อนเบอร์ 60 พบว่าเมื่อให้เศษยางบดละเอียดแทนที่มวลรวมละเอียดในอัตราร้อยละ 10 ส่งผลให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีค่าลดลงกว่าร้อยละ 50 เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากธรรมชาติ

เมื่อนำค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและรากที่สองของกำลังอัดคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบ นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ ดังFigure 7 คอนกรีตที่ใช้เศษยางรถยนต์รีไซเคิลแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน สามารถทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโดยใช้สมการ $E_{WR} = 34{,}709\sqrt{fc'} - 311{,}370$ นอกจากนี้ยัง พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นแปรผันตามกำลังอัดของคอนกรีต กล่าวคือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าสูงขึ้นเมื่อคอนกรีตมีกำลังอัดเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามจากผลการทดสอบแม้ว่าคอนกรีตที่แทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษยางรถยนต์ จะส่งผลทำให้กำลังอัดและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลง แต่จากงานวิจัยของ Atahan และ Yücel [17] พบว่า การใช้เศษยางรถยนต์แทนที่ในส่วนผสมของคอกรีตทำให้คุณสมบัติในการต้านทานการรับแรงกระแทกที่มากขึ้นแม้ว่าคอนกรีตมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลง เนื่องจาก เศษยางรถยนต์มีค่าความแข็งที่ต่ำและมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อนำไปแทนที่ในส่วนผสมของคอนกรีตจะทำให้ความเปราะของคอนกรีตลดลง และช่วยให้สามารถดูดซับพลังงานจากการกระแทกได้มากขึ้น

**Table 3** Elastic modulus of concrete.

| Samples | Elastic Modulus (ksc) | 28 day-compressive strength (ksc) | $\sqrt{fc'}$ |
|---|---|---|---|
| CT | 436,566 | 409 | 20.2 |
| WR2 | 349,517 | 362 | 19.0 |
| WR5 | 280,304 | 282 | 16.8 |
| WR7.5 | 207,521 | 240 | 15.5 |
| WR10 | 190,083 | 201 | 14.2 |

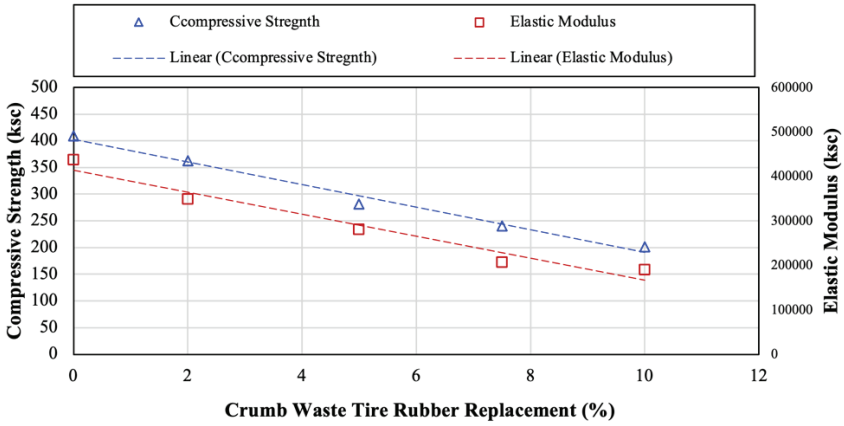


**Figure 6** Relationship between crumb waste tire rubber replacement, compressive strength and elastic modulus of concrete.

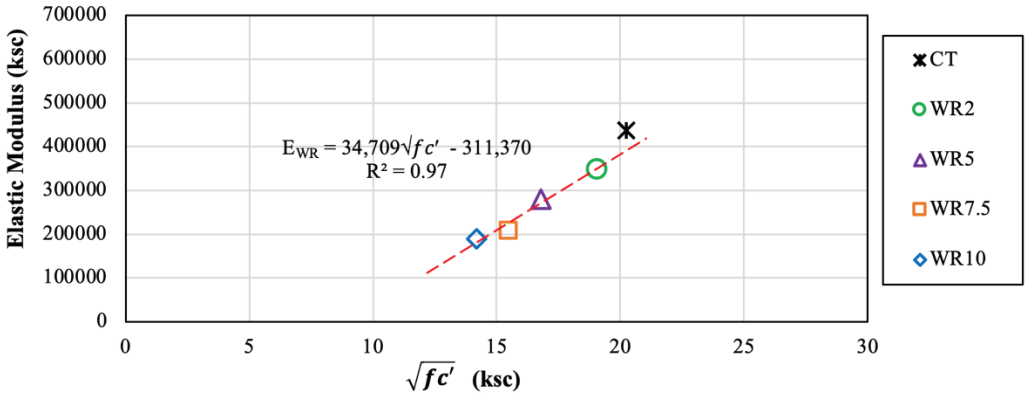


**Figure 7** Relationship between elastic modulus and square root of compressive strength of concrete.

## 5. สรุปผลการศึกษา

5.1 การใช้เศษยางรีไซเคิลแทนที่มวลรวมละเอียดส่งให้ให้คอนกรีตมีความสามารถในการทำงานได้ลดลง โดยการเพิ่มปริมาณเม็ดยางรีไซเคิลจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลงลดการแทนที่มวลรวมด้วยเศษยางรถยนต์ในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 5 ส่งผลต่อค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดเล็กน้อย แต่เมื่อมีการแทนที่ในปริมาณที่สูงขึ้นจนถึงร้อยละ 7.5 – 10 ส่งผลต่อค่าการยุบตัวของคอนกรีตค่อนข้างมาก

5.2 การเพิ่มปริมาณเศษยางรีไซเคิลจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าลงลด โดยการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยเศษยางรถยนต์รีไซเคิลในอัตราร้อยละ 2 โดยน้ำหนักนั้นให้กำลังอัดได้มากที่สุดซึ่งสามารถพัฒนากำลังอัดได้ถึง 362 กก/ซม$^2$ ที่อายุ 28 วัน หรือคิดเป็นร้อยละ 89 ของคอนกรีตควบคุม

5.3 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีค่าลงลดเมื่อคอนกรีตมีปริมาณการแทนที่ของมวลรวมละเอียดด้วยเศษยางรถยนต์ในปริมาณที่มากขึ้น โดยสามารถทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นโดยใช้สมการ $E_{WR} = 34{,}709\sqrt{FC'} - 311{,}370$

5.4 กำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเศษยางรถยนต์รีไซเคิลมีค่าแปรผันกับกำลังอัดของคอนกรีตเช่นเดียวกับคอนกรีตทั่วไป โดยมีค่ากำลังรับแรงดึงประมาณร้อยละ 10 ของกำลังอัด

5.5 การใช้เศษยางรถยนต์แทนที่มวลรวมละเอียดในอัตราส่วนไม่เกินร้อยละ 5 ส่งผลให้สมบัติของคอนกรีตสดและสมบัติทางกลของคอนกรีตมีแนวโน้มลงลดเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมที่ใช้มวลรวมจากทรายแม่น้ำ แต่เมื่อแทนที่ในอัตราที่สูงขึ้นมากกว่าร้อยละ 7.5 จะส่งผลต่อสมบัติของคอนกรีตสดและสมบัติทางกลของคอนกรีตค่อนข้างมาก

## 6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ภายใต้เงินงบประมาณเงินรายได้ พ.ศ. 2565 ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ได้อำนวยความสะดวก ในการใช้พื้นที่และเครื่องมือต่างๆ สำหรับการวิจัย

## 7. References

[1] Department of Land Transport 2021, Transport Statistics Report for year 2021, Transport Statistics Group, Planning Division, Department of Land Transport, 46 p. (in Thai).

[2] Kordoghli, S., Paraschiv, M., Kuncser, R., Tazerout, M., Prisecaru, M., Zagrouba, F. and Georgescu, I., 2014, Managing the environmental hazards of waste tires, J. Eng. Stud. Res. 20(4): 1-11.

[3] Thomas, B.S., Gupta, R.C. and Panicker, V.J., 2016, Recycling of waste tire rubber as aggregate in concrete: durability-related performance, J. Clean. Prod. 112: 504-513.

[4] Záleská, M., Pavlík, Z., Čítek, D., Jankovský, O. and Pavlíková, M., 2019, Eco-friendly concrete with scrap-tyre-rubber-based aggregate-Properties and thermal stability, Constr. Build. Mater. 225: 709-722.

[5] Gupta, T., Chaudhary, S. and Sharma, R.K., 2014, Assessment of mechanical and durability properties of concrete containing waste rubber tire as fine aggregate, Constr. Build. Mater. 73: 562-574.

[6] Al-Tayeb, M.M., Abu Bakar, B.H., Akil, H.M. and Ismail, H, 2012, Effect of partial replacements of sand and cement by waste rubber on the fracture character-

istics of concrete, Polym. Plast. Technol. Eng. 51(6): 583-589.

[7] ASTM C143, 2020, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, American Society for Testing and Materials.

[8] ASTM C39, 2014, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, American Society for Testing and Materials.

[9] ASTM C469, 2010, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, American Society for Testing and Materials.

[10] ASTM C496, 2017, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, American Society for Testing and Materials.

[11] Yilmaz, A. and Degirmenci, N., 2009, Possibility of using waste tire rubber and fly ash with Portland cement as construction materials. Waste Manage. 29(5): 1541-1546.

[12] Ling, T.C., 2011, Prediction of density and compressive strength for rubberized concrete blocks, Constr. Build. Mater. 25(11): 4303-4306.

[13] Liu, F., Zheng, W., Li, L., Feng, W. and Ning, G., 2013, Mechanical and fatigue performance of rubber concrete, Constr. Build. Mater. 47: 711-719.

[14] Feng, L. Y., Chen, A. J. and Liu, H. D., 2021, Effect of Waste Tire Rubber Particles on Concrete Abrasion Resistance Under High-Speed Water Flow. Int. J. Concr. Struct. Mate. 15(1): 1-14.

[15] Arioglu, N., Girgin, Z.C. and Arioglu, E., 2006, Evaluation of ratio between splitting tensile strength and compressive strength for concretes up to 120 MPa and its application in strength criterion. ACI Mater J. 103(1): 18-24.

[16] Cai, X., Zhang, L., Pan, W., Wang, W., Guan, Q., Zhai, S., Liu, L. and Zhang, Y., 2022, Study on evaluation of elastic modulus of crumb rubber concrete in meso-scale. Constr. Build. Mater. 331: 127247.

[17 Atahan, A.O. and Yücel, A.Ö., 2012, Crumb rubber in concrete: Static and dynamic evaluation. Constr. Build. Mater. 36: 617-622.