

คุณสมบัติของคอนกรีตผสมเศษยางรถยนต์รีไซเคิล

Properties of Concrete Mixed with Recycled Crumb Rubber-Tires

สุธางค์ โพธิ์ทรัพย์¹ ปรัชญา ก้านบัว^{1*} และณัฐวุฒิ อินทบุตร์¹

Sutang Phohirun¹ Prachya Kanbua^{1*} and Nuttawut Intaboot¹

Received: December 6, 2022; Revised: January 25, 2023; Accepted: February 4, 2023

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตผสมเศษยางรถยนต์บด โดยทดสอบค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง กำลังรับแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น และโมดูลัสแตกร้าว การศึกษาใช้เศษยางรถยนต์บดแทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักของทราย จากการทดสอบพบว่า ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง กำลังรับแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น และโมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีตที่ผสมเศษยางรถยนต์บดมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มปริมาณเศษยางรถยนต์บด อย่างไรก็ตามความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำที่ลดลงแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตมีน้ำหนักเบาและทึบน้ำมากขึ้น อีกทั้งคอนกรีตมีความสามารถในการแอ่นตัวสูงสุดก่อนเกิดการวิบัติเพิ่มขึ้น และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบมีค่าแตกต่างจากการคำนวณอยู่ประมาณร้อยละ 60 ถึง 70

คำสำคัญ : คอนกรีตผสมเศษยาง; ยางรถยนต์บดละเอียด; โมดูลัสยืดหยุ่น; กำลัง

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

¹ Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

* Corresponding Author, Tel. 08 6877 4155, E - mail: prachya.k@rmutsb.ac.th

Abstract

The objective of this paper was to study the physical and mechanical properties of concrete mixed with recycled crumb rubber-tires. The density, water absorption, compressive strength, tensile strength, bending strength, modulus of elasticity and modulus of rupture were tested. This study replaced sand with crumb rubber-tires in the ratios of 5, 10, 15 and 20 percent by weight. The results revealed that the density, water absorption, compressive strength, tensile strength, bending strength, modulus of elasticity and modulus of rupture of concrete mixed with recycled crumb rubber-tires decreased with an increase in the amount of crumb rubber-tires. However, the reduction in density and water absorption showed that concrete was lighter and more impermeable. In addition, the concrete had an increased maximum deflection before failure and the modulus of elasticity obtained by the test was about 60-70 percent different from the calculation.

Keywords: Concrete Mixed with Crumb Rubber-tires; Crumb Rubber-tires; Modulus of Elasticity; Strength

บทนำ

ยางรถยนต์เก่าที่ใช้แล้วนั้นเป็นปัญหาใหญ่ระดับประเทศและระดับโลก เพราะยากต่อการกำจัดซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะ และเป็นต้นกำเนิดไฟไหม้ในหลายพื้นที่ เพราะมีส่วนผสมจากสารเคมีและสารสังเคราะห์อื่น ๆ อีกมากมาย นอกจากนั้นการย่อยสลายของยางรถยนต์เป็นไปได้ยาก การทำลายโดยวิธีเผาไหม้โดยสมบูรณ์ในเตาระบบปิด อาจเป็นวิธีแก้ แต่อย่างไร ก็ตามในการเผาไหม้ยังต้องใช้พลังงานในการทำลายยางรถยนต์อยู่มาก และจากผลการสำรวจข้อมูลของระบบฐานข้อมูลเชิงลึกอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางและไม้ยางพาราของสำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม ดำเนินการสำรวจข้อมูลโดยสถาบันพลาสติก โดยใช้ข้อมูลการสำรวจจากผู้ประกอบการ อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์จำนวน 23 ราย มีผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย ยางนอกรถกระบะ ยางนอกรถบรรทุก และรถโดยสารและยางนอกรถยนต์นั่ง พบว่าการผลิตยางรถยนต์เกือบทุกประเภทมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นทุกปี ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการผลิตและอัตราการใช้อยางในประเทศไทย [1]

ปี	ยางนอกรถกระบะ			ยางนอกรถบรรทุกและรถโดยสาร			ยางนอกรถยนต์นั่ง		
	Capacity	Production	Cap. U	Capacity	Production	Cap. U	Capacity	Production	Cap. U
2557	7,952,045	7,547,521	94.9%	6,477,595	3,578,860	55.2%	50,436,872	46,347,367	91.9%
2558	8,256,783	8,035,578	97.3%	6,911,862	3,694,634	53.5%	54,151,897	49,370,852	91.2%
2559	10,080,751	8,524,664	84.6%	9,107,170	5,961,610	65.5%	64,394,824	54,264,323	84.3%
2560	12,831,073	9,502,428	74.1%	13,043,820	7,224,289	55.4%	77,186,286	60,241,602	78.0%
2561	39,218,745	15,574,304	39.7%	46,988,783	11,980,665	25.5%	202,654,822	79,149,716	39.1%
2562	50,219,412	18,305,088	36.5%	46,801,652	13,775,301	29.4%	223,360,178	74,976,576	33.6%

ยางรถยนต์มีคุณสมบัติในการยึดหยุ่นสูง มีความเหนียวและทนต่อแรงดึงได้ดีแม้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น เนื่องจากต้องรองรับน้ำหนักของรถยนต์ในการเคลื่อนที่บิดไปกับพื้นและต้องสัมผัสกับพื้นผิวหลายรูปแบบ อายุการใช้งานโดยเฉลี่ยแล้วจะอยู่ที่ 3.5 ปี หรือประมาณ 50,000 กิโลเมตร เมื่อยางรถยนต์หมดอายุการใช้งานแล้ว จะเป็นวัสดุเหลือใช้ที่นำมาใช้งานแปรรูปเป็นรูปแบบต่าง ๆ หรือกระทั่งเผาทำลาย ซึ่งจะก่อให้เกิดมลพิษได้ เนื่องจากยางรถยนต์มีสารเคมีที่ใช้เป็นส่วนผสมค่อนข้างมากที่ผ่านมายางรถยนต์ได้ถูกนำมาใช้ในงานคอนกรีตแล้ว [2] โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้เถ้าลอยแทนที่ซีเมนต์และการใช้ผงยางรถยนต์แทนที่ทรายสำหรับผลิตคอนกรีตมวลเบาในอัตราส่วนโดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์:ทราย:ปูนขาว:อลูมิเนียมเท่ากับ 30:50:20:0.1 และใช้ผงยางรถยนต์แทนทรายในอัตราส่วนตั้งแต่ร้อยละ 0 จนถึงร้อยละ 40 โดยน้ำหนัก จากการศึกษาพบว่าสามารถนำมาทำบล็อกรับน้ำหนักที่ผ่านเกณฑ์ มอก. 57-2533 ได้ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยในด้านนี้ยังไม่แพร่หลายนัก ต่อมาทีมงานวิจัยที่ใช้ผงยางรถยนต์มาเป็นส่วนผสมทดแทนมวลรวมบางส่วนในการศึกษาถึงพฤติกรรมของคอนกรีต โดยนำผงกากยางรถยนต์เข้ามาผสมในคอนกรีตบล็อกปูผิวทางแบบอ่อน [3] จากการศึกษาพบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผสมผงยางรถยนต์มีกำลังรับแรงอัดที่ลดลงแต่มีแนวโน้มในการดูดซับพลังงานได้ดีขึ้น และต่อมามีการศึกษาสมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่ใช้ผงยางรถยนต์เป็นส่วนผสม [4] โดยทดสอบคุณสมบัติด้านการรับแรงอัดและสภาพการนำความร้อน พบว่าความสามารถในการรับแรงอัดและการนำความร้อนลดลงตามปริมาณผงยางรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้ ทางผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่าเศษยางรถยนต์บดเป็นอีกหนึ่งในวัสดุเหลือใช้ ซึ่งมีความยืดหยุ่นสูงและมีความเหนียว จึงมีความเป็นไปได้ที่จะประยุกต์นำเศษยางรถยนต์บดละเอียดมาใช้แทนที่ทรายในคอนกรีต โดยมีสมมุติฐานที่ว่าเศษยางรถยนต์นั้นจะช่วยเพิ่มความสามารถในด้านการยึดหยุ่นหรือการรับพลังงานให้กับคอนกรีตได้ และศึกษาถึงพฤติกรรมทางกลของคอนกรีตที่ผสมเศษยาง เพื่อเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์และลดปริมาณการใช้วัสดุใหม่จากธรรมชาติให้มากที่สุด เนื่องจากวัสดุที่มีตามธรรมชาตินั้นเป็นทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด

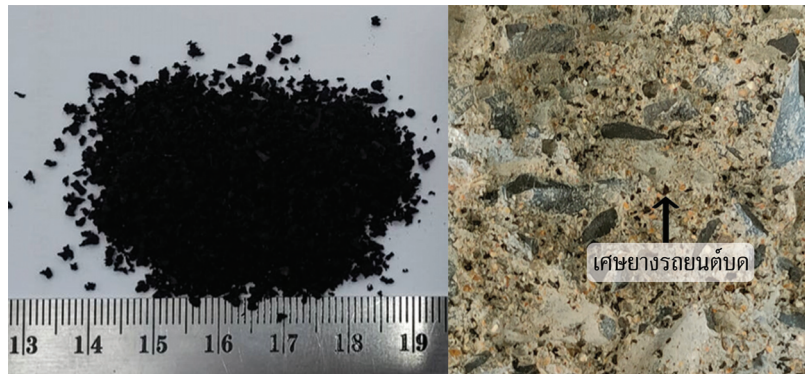
วิธีดำเนินงานวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วย อัตราส่วนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ต่อทรายและหินเป็น 1:2:4 โดยน้ำหนัก มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักเท่ากับ 0.55 ปริมาณของเศษยางรถยนต์บดละเอียดเบอร์ 20 ดังรูปที่ 1 ใส่แทนที่ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 5 10 15 20 ของน้ำหนักทราย และมีสัญลักษณ์ที่ใช้เรียกคือ XXCon55 โดย XX คือปริมาณร้อยละของเศษยางรถยนต์บดละเอียดดังตารางที่ 2 และคุณสมบัติพื้นฐานของหิน ทราย และเศษยางรถยนต์บดละเอียด ได้แก่ ความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ และโมดูลัสความละเอียด มีค่าดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตผสมเศษยางรถยนต์

Symbol	Cement (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Gravel (kg/m ³)	Crumb Rubber Tires (kg/m ³)	Water (kg/m ³)
Con55	282	676	1288	0	155
5Con55	282	642	1288	34	155
10Con55	282	608	1288	68	155
15Con55	282	574	1288	101	155
20Con55	282	540	1288	135	155



รูปที่ 1 เศษยางรถยนต์บดและการกระจายตัวของเศษยางรถยนต์ในคอนกรีต

ตารางที่ 3 คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย [5]

Aggregate	Bulk Density (kg/m ³)	Specific Gravity	Water Absorption (%)	Fineness Modulus
Sand	1678.85	2.65	1.85	3.00
Gravel	1600.20	2.60	1.00	6.03
Crumb Rubber	589.80	0.89	1.70	2.62

2. วิธีการทดสอบ

การทดสอบจะใช้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่างในแต่ละส่วนผสมเพื่อหาค่าเฉลี่ยสำหรับการรายงานผลแต่ละการทดสอบรายละเอียดการทดสอบประกอบด้วย ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM C642 [6] การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 39 [7] การทดสอบกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 496 [8] โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C 469 [9] โดยทำการทดสอบดังกล่าวใช้ตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ดังรูปที่ 2 และทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตทำตามมาตรฐาน ASTM C 78 [10] เพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมกำลังรับแรงดัดของคานคอนกรีตผสมเศษยางรถยนต์บดละเอียด จะใช้การทดสอบคานคอนกรีตแบบแรงกระทำ 3 จุด (Third - Point Loading) โดยที่คานคอนกรีตมีขนาดหน้าตัด 15 ซม. X 15 ซม. ยาว 60 ซม. และอ่านค่าการแอ่นตัวที่ระยะ 1 ใน 3 ของความยาวจากเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ดังรูปที่ 3

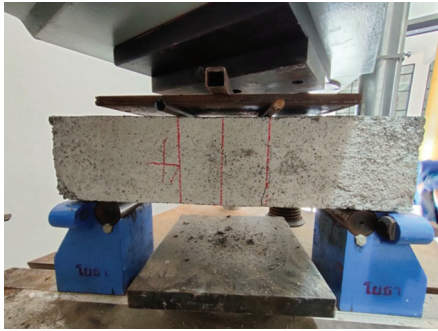


(ก) การทดสอบกำลังรับแรงอัด



(ข) การทดสอบกำลังรับแรงดึงผ่าซีก
ของคอนกรีตผสมเศษยางรถยนต์

รูปที่ 2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด แรงดึงผ่าซีกของคอนกรีตผสมเศษยางรถยนต์



(ก) การติดตั้งตัวอย่างทดสอบแรงอัด (ข) หน้าตัดตัวอย่างทดสอบหลังเกิดการวิบัติ

รูปที่ 3 การทดสอบแรงอัดของคอนกรีตผสมเศษยางรถยนต์

สำหรับการวิเคราะห์ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ร้อยละ 40 [11] โมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการคำนวณและโมดูลัสแตกกร้าว หาได้จากสมการที่ (1) - (3)

$$E_{40} = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.00005} \quad (1)$$

เมื่อ

- E_{40} หมายถึง โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ร้อยละ 40 (ksc)
 S_2 หมายถึง ความเค้นอัดของคอนกรีตที่ร้อยละ 40 ของกำลังอัดประลัย (ksc)
 S_1 หมายถึง ค่าความเค้นอัดที่เกิดความเครียดเท่ากับ 0.00005 (ksc)
 ε_2 หมายถึง ค่าความเครียดที่ทำให้เกิดความเค้นเท่ากับ S_2

$$E_c = 15100\sqrt{f'_c} \quad (2)$$

เมื่อ

- E_c หมายถึง โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต (ksc)
 f'_c หมายถึง กำลังอัดประลัยของคอนกรีต (ksc)

$$R = PL / bd^2 \quad (3)$$

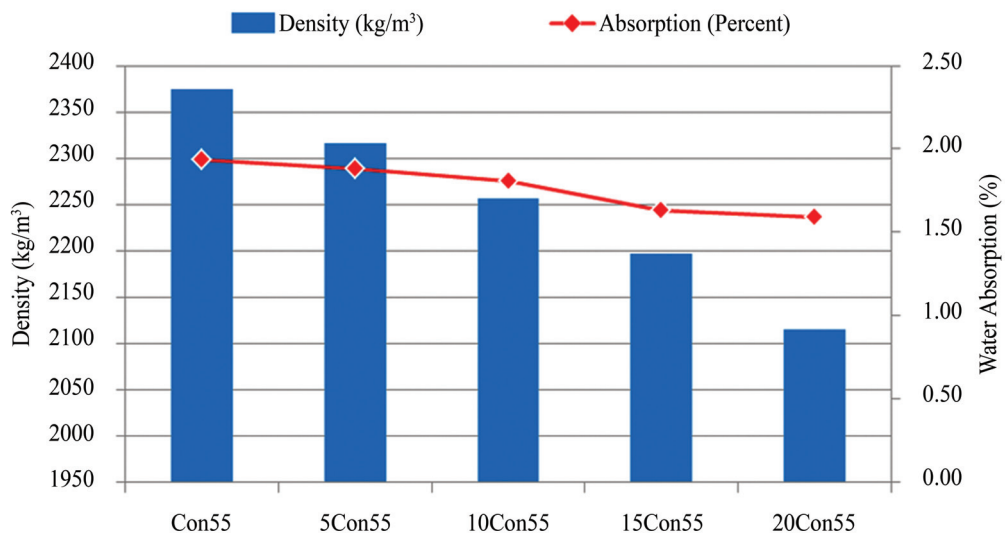
เมื่อ

- R หมายถึง โมดูลัสแตกกร้าว (ksc)
 P หมายถึง แรงกระทำสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ (kg)
 L หมายถึง ความยาวของช่วงระหว่างจุดรองรับ (cm)
 b หมายถึง ความกว้างของตัวอย่างทดสอบ (cm)
 d หมายถึง ความลึกหรือความสูงของตัวอย่างทดสอบ (cm)

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ (Density and Water Absorption)

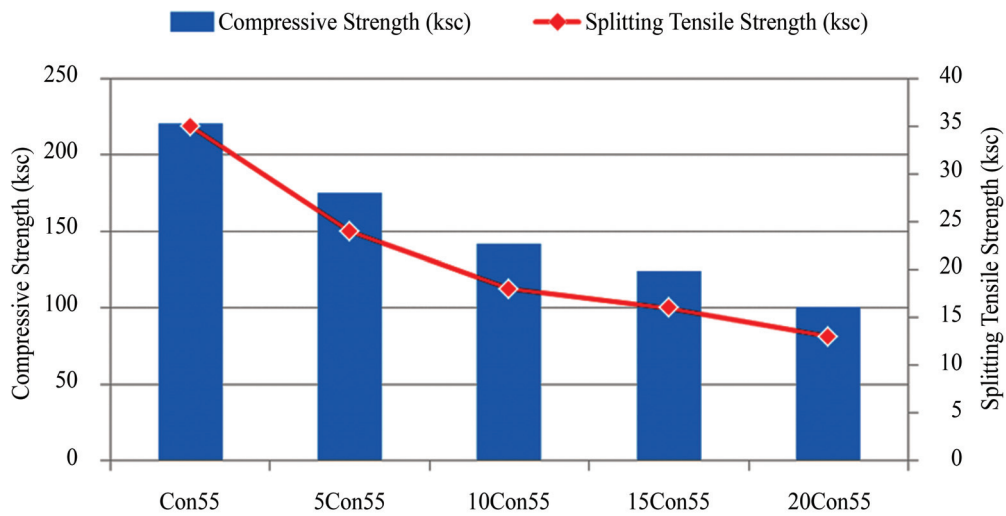
การทดสอบความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ มีค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบในแต่ละอัตราส่วนผสม ดังรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณเศษยางรถยนต์บดละเอียดเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำจะลดลง เนื่องจากยางรถยนต์บดละเอียดมีส่วนผสมทั้งยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีเป็น สารไฮโดรคาร์บอน เช่นผงเขม่าดำ (Carbon Black) และอื่น ๆ [12] จึงมีความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำ น้อยกว่าทรายดังตารางที่ 3 ส่งผลทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาลง ความหนาแน่นลดลงและการดูดซึมน้ำน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของแต่ละอัตราส่วนผสมกับคอนกรีตควบคุม พบว่าความหนาแน่น จะลดลงประมาณร้อยละ 2.5 และการดูดซึมน้ำลดลงประมาณร้อยละ 3 - 5 ทุก ๆ การเพิ่มปริมาณยางรถยนต์ บดละเอียดร้อยละ 5



รูปที่ 4 ความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตผสมเศษยางรถยนต์

2. กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก (Compressive Strength and Splitting Tensile Strength)

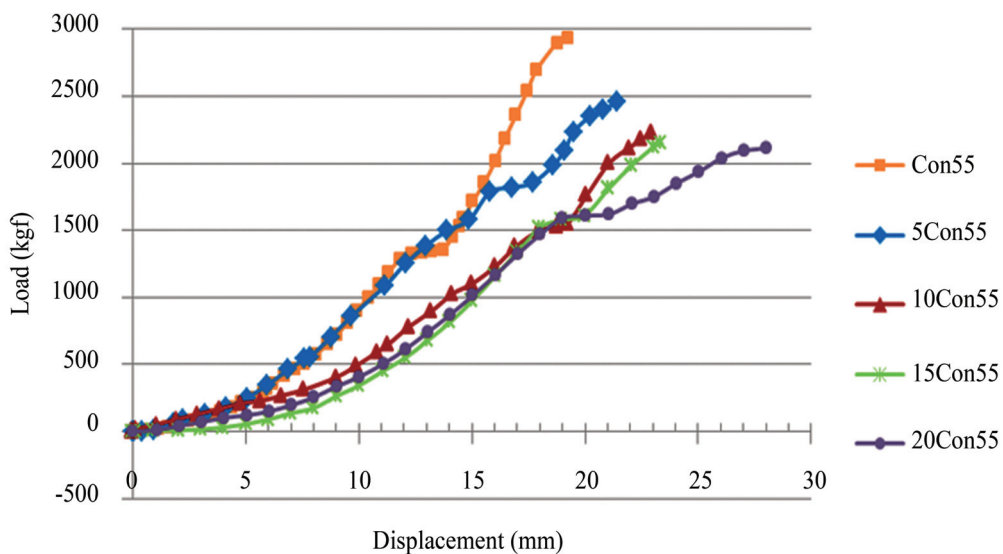
การทดสอบกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีก มีค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบในแต่ละอัตราส่วนผสมดังรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของตัวอย่างทดสอบ มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของยางรถยนต์บดละเอียดที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเศษยางรถยนต์บดละเอียด มีการยึดเกาะกับซีเมนต์ไม่ดีและเกิดรอยร้าวขนาดเล็ก (Micro Crack) จึงส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลง และยางรถยนต์บดละเอียดไม่ได้เพิ่มกำลังรับแรงดึงให้กับคอนกรีต เนื่องจากมวลรวมจะแยกตัวออกจากกัน เมื่อคอนกรีตรับแรงดึงและยางรถยนต์บดละเอียดไม่ได้มีแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีต จึงไม่มีส่วนช่วย ในการรับแรงดึง [13] - [14]



รูปที่ 5 กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมเศษยางรถยนต์

3. กำลังรับแรงดัด (Flexural Strength)

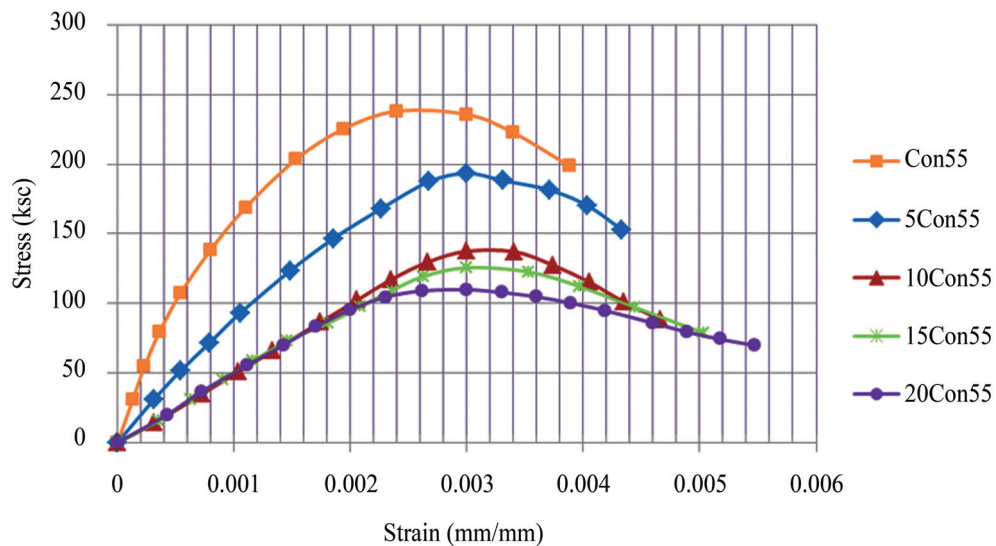
การทดสอบกำลังรับแรงดัดมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกดสูงสุดและการแอ่นตัว (วัดการแอ่นตัวที่ตำแหน่งของแรงกระทำหรือ 1 ใน 3 ของช่วงความยาวด้วยเครื่อง UTM เพื่อใช้คำนวณการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลาง) ของตัวอย่างทดสอบในแต่ละอัตราส่วนผสมดังรูปที่ 6 จะเห็นว่าส่วนผสมที่ไม่ใส่เศษยางรถยนต์จะมีค่าการแอ่นตัวอยู่ที่ 19.3 มิลลิเมตร เมื่อผสมเศษยางรถยนต์มากขึ้นค่าการแอ่นตัวจะเพิ่มขึ้น จนกระทั่งส่วนผสมที่ใส่เศษยางรถยนต์มากที่สุดที่ร้อยละ 20 จะมีค่าการแอ่นตัวได้ถึง 28 มิลลิเมตร ส่วนน้ำหนักกดสูงสุดจะมีค่าลดลงตามปริมาณเศษยางรถยนต์ที่เพิ่มขึ้น สาเหตุที่น้ำหนักกดสูงสุดลดลงเนื่องจากเมื่อเกิดแรงดัดพื้นที่เหนือแกนสะเทินจะเกิดหน่วยแรงอัดและพื้นที่ใต้แกนสะเทินจะเกิดหน่วยแรงดึง ซึ่งจากกราฟในรูปที่ 5 การใส่เศษยางรถยนต์เพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงลดลงดังนั้นจึงส่งผลให้กำลังรับแรงดัดลดลงด้วยเช่นกัน [15]



รูปที่ 6 แรงกระทำและการแอ่นตัวของคอนกรีตผสมเศษยางรถยนต์

4. โมดูลัสยืดหยุ่นและโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Elasticity and Modulus of Rupture)

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดข้างต้น สามารถเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดโดยนำตัวแทนของแต่ละอัตราส่วนผสมมาแสดงได้ดังรูปที่ 7 และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดมีลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของความเค้นและความเครียดของคอนกรีตทั่วไป [16] - [17] โดยมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ร้อยละ 40 ของกำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ได้จากการทดสอบเปรียบเทียบกับค่าคำนวณ และค่าโมดูลัสแตกร้าวที่ได้จากการทดสอบ ดังตารางที่ 4



รูปที่ 7 ความเค้นและความเครียดของคอนกรีตผสมเศษยางรถยนต์

ตารางที่ 4 โมดูลัสยืดหยุ่นและโมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีตผสมเศษยางรถยนต์

Symbol	Modulus of Elasticity at 40 % E_{40} (ksc)	Modulus of Elasticity from Calculation (ksc)	Percent Differential of Modulus of Elasticity (%)	Modulus of Rupture R (ksc)
Con55	207100	233019	11.12	39.10
5Con55	88500	210076	57.87	32.79
10Con55	55000	177027	68.93	29.75
15Con55	51300	169261	69.69	28.67
20Con55	47800	158247	69.79	28.18

จากกราฟในรูปที่ 7 และค่าในตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและโมดูลัสแตกร้าวมีค่าลดลงตามปริมาณยางรถยนต์บดละเอียดที่เพิ่มขึ้น [13] เมื่อนำค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการคำนวณพบว่ามีความแตกต่างกันประมาณร้อยละ 10 ในส่วนของคอนกรีตควบคุม (Con55) แต่สำหรับคอนกรีตที่ผสมเศษยางรถยนต์มีความแตกต่างกันมากถึงประมาณร้อยละ 60 - 70 ทำให้สมการประมาณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทั่วไปอาจไม่สามารถใช้กับคอนกรีตประเภทนี้ได้ ส่วนโมดูลัสแตกร้าวมีแนวโน้มลดลงสาเหตุเนื่องจากเศษยางรถยนต์บดละเอียดมีการยึดเกาะกับซีเมนต์ที่ไม่ดี (ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน) [18] เมื่อคอนกรีตรับแรงอัดจะมีส่วนที่รับหน่วยแรงอัดและหน่วยแรงดึง ในส่วนที่รับหน่วยแรงดึงมวลรวมจะแยกตัวออกจากกัน จึงส่งผลให้ค่าโมดูลัสแตกร้าวมีค่าลดลง

สรุปผลการวิจัย

การเพิ่มเศษยางรถยนต์บดละเอียดเข้าไปเป็นส่วนผสมของคอนกรีตแทนที่ทรายโดยน้ำหนักในอัตราส่วนร้อยละ 5 10 15 และ 20 ทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง กำลังรับแรงดัด โมดูลัสยืดหยุ่น และโมดูลัสแตกร้าวลดลง โดยคอนกรีตมีความหนาแน่นลดลงประมาณร้อยละ 2.5 การดูดซึมน้ำลดลงประมาณร้อยละ 3 - 5 กำลังรับแรงอัดลดลงประมาณร้อยละ 20 กำลังรับแรงดึงลดลงประมาณร้อยละ 15 - 30 ทุก ๆ การเพิ่มปริมาณยางรถยนต์บดละเอียดร้อยละ 5 แต่จะไปช่วยเสริมข้อดีในด้านที่ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบาและการยึดตัวสูงสุดก่อนการวิบัติเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังช่วยในเรื่องการทิบน้ำที่เพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นไม่สามารถใช้สมการประมาณค่าเหมือนคอนกรีตควบคุมได้ เนื่องจากค่าที่ได้จากการทดสอบแตกต่างจากสมการมากถึงประมาณร้อยละ 60 - 70 สุดท้ายแล้วการใช้เศษยางรถยนต์บดละเอียดผสมเข้าไปในคอนกรีตอาจเป็นทางเลือกหนึ่งที่ช่วยลดขยะและลดปริมาณมลพิษที่เกิดจากการเผาทำลายยางรถยนต์เก่า ซึ่งเป็นการรีไซเคิลของเสียจากอุตสาหกรรมรถยนต์ คอนกรีตชนิดนี้จึงเหมาะแก่การนำไปใช้กับชิ้นส่วนโครงสร้างที่ต้องการน้ำหนักเบาหรือชิ้นส่วนโครงสร้างที่ต้องการความสามารถในการแอ่นตัวหรือยึดตัวได้มากขึ้น เช่น คานที่รับน้ำหนักบรรทุกไม่มาก (คานรัศมีหัวเสา) หรือจุดเชื่อมต่อที่มักเกิดการขยับตัว (รอยต่อคานและเสาสำเร็จรูป) เป็นต้น ดังนั้นควรมีการทดสอบในส่วนของคานคอนกรีตผสมเศษยางรถยนต์บดเสริมเหล็กหรือทดสอบการนำคอนกรีตชนิดนี้ไปใช้กับจุดเชื่อมต่อของโครงสร้างต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์และนักศึกษาสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี ที่มีส่วนช่วยให้การทดสอบในงานวิจัยนี้สำเร็จ ล่วงไปได้ด้วยดี

References

- [1] Institute of Plastics. (2014). **Rubber Particles**. Access (1 April 2022). Available (<http://rubber.oie.go.th/ELibrary.aspx?cid=75>)
- [2] Budnumpetch, T. and Tanpaiboonkul, N. (2016). Properties of Lightweight Concrete Containing Crumb Rubber and Cement Replacing with Fly Ash from Coal Power Plant. *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University*. Vol. 3, No. 4, pp. 62-75. (in Thai)
- [3] Chaikaew, C. (2004). Study on The Use of Wasted Tire Particles on Soft Surface Concrete Paving Block. In **4th International Conference on Concrete under Severe Conditions: Environment and Loading (CONSEC04)**. Korea: Seoul National University
- [4] Duangseang, C. and Kiatwongtong, S. (1998). **Mechanical Properties Study of Concrete Using Tire Particles as Ingredient**. Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology. Access (1 December 2021). Available (<https://uatscimath.ipst.ac.th/2021/project-computer/item/6404-2016-09-09-03-49-35-6404>)
- [5] Intaboot, N. and Kanbua, P. (2021). Investigation of Concrete Blocks Mixed with Recycled Crumb Rubber: A Case Study in Thailand. *Engineering and Applied Science Research*. Vol. 49, No. 3, pp. 413-424. DOI: 10.14456/easr.2022.42

- [6] ASTM C642. (1997). **Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete**. Annual Book of ASTM Standard. Vol.04.02.
- [7] ASTM C39. (2021). **Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens**. Annual Book of ASTM Standard. Vol.04.02.
- [8] ASTM C496. (1996). **Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens**. Annual Book of ASTM Standard. Vol.04.02.
- [9] ASTM C469. (2014). **Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression**. Annual Book of ASTM Standard. Vol.04.02.
- [10] ASTM C78. (1994). **Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)**. Annual Book of ASTM Standard. Vol.04.02.
- [11] Pangdaeng, S., Ngamtavee, S., Tho-in, T., Hanjitsuwan, S., and Phoo-ngernkham, T. (2021). Mechanical Properties of Fly Ash Geopolymer Concrete Incorporating Clay Residue and Silica Fume. **RMUTI JOURNAL Science and Technology**. Vol. 15, No. 2, pp. 1-10 (in Thai)
- [12] Karnjana worawanit, B. (2004). **Tires**. Article of National Metal and Materials Technology Center. Access (6 November 2022). Available (https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/214_20-24.pdf)
- [13] Khaloo, A. R., Dehestani, M., and Rahmatabadi, P. (2008). Mechanical Properties of Concrete Containing a High Volume of Tire-Rubber Particles. **Waste Management**. Vol. 28, Issue 12, pp. 2472-2482. DOI: 10.1016/j.wasman.2008.01.015
- [14] Eldin, N. N. and Senouci, A. B. (1993). Rubber-Tire Particles as Concrete Aggregates. **American Society of Civil Engineers**. Vol. 5, Issue 4, pp. 478-496
- [15] Miah, M. J., Babafemi, A. J., Paul, S. C., Kong, S. Y., Li, Y., and Jang, J. G. (2022). Eco-Friendly Concrete with Chemically Treated End-of-Life Tires: Mechanical Strength, Shrinkage and Flexural Performance of RC Beams. **Construction and Building Materials**. Vol. 351, p. 128970. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128970
- [16] Jiravacharadet, M. (2014). **Reinforced Concrete Design (Strength Design Method)**. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology. pp. 4-5
- [17] Seangatith, S. (2013). **Mechanical Properties of Polyester Polymer Concrete under Compressive and Flexural Loads**. **Research Reports**. Access (25 December 2022). Available (<https://http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/5415/2/Fulltext.pdf>)
- [18] Hanjitsuwan, S., Tho-in, T., and Phoo-ngernkham, T. (2021). Influence of NaOH Concentration and Sand to Binder Ratio on Hybrid Cement Mortar for Filled Materials in Notched Concrete Beam. **RMUTI JOURNAL Science and Technology**. Vol. 15, No. 1, pp. 1-10 (in Thai)