วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.08.015

บทความวิจัย

ประสิทธิภาพในการต้านทานความล้าของแผ่นพื้นคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดขนาดเสมือนจริง

ศุภณัฐชัย เขียวรอด[1] และ กิตติภูมิ รอดสิน[2*]

[1] ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2] ศูนย์วิจัยพลศาสตร์โครงสร้างและการจัดการเมือง (CESD), วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[*] ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: kittipoom.r@cit.kmutnb.ac.th

วันที่รับบทความ: 3 เมษายน 2568; วันที่ทบทวนบทความ: 21 กรกฎาคม 2568; วันที่ตอบรับบทความ: 30 กรกฎาคม 2568
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 22 สิงหาคม 2568

บทคัดย่อ: การแตกร้าวของพื้นสะพานคอนกรีตเป็นปัญหาที่ทำให้ต้องซ่อมแซมสะพานก่อนเวลาอันควร สาเหตุหลักเกิดจากพื้นสะพานรับแรงกระทำซ้ำไปมา ซึ่งทำให้เกิดความล้าและผลของความล้าทำให้พื้นสะพานแตกร้าวจนเกิดความเสียหาย การใช้เม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียดเป็นส่วนผสมในคอนกรีตนั้นได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการลดการแตกร้าว งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากความล้าของพื้นสะพานคอนกรีต โดยมีการกำหนดตัวแปรของการทดลองให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง และเปรียบเทียบผลการลดรอยแตกร้าวของพื้นคอนกรีต ขนาด 2.00 x 8.00 x 0.20 เมตร ที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียดแทนที่ทรายร้อยละ 25 ของปริมาตรทราย โดยนำพื้นสะพานมาทดสอบในรูปแบบการรับแรงแบบสองทาง (Two Way Slab) จำนวน 8 ตัวอย่าง ตัวอย่างทดสอบแรกของคอนกรีตทั้ง 2 ประเภทถูกนำมาทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของพื้นสะพานเป็นตัวอย่างที่ 1 และ 2 หลังจากนั้นจะทำการทดสอบความล้าโดยการให้แรงกระทำเป็น 40 55 และ 70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงสูงสุดเป็นตัวอย่างที่ 3 ถึง 8 ตามลำดับเพื่อหาความสามารถของความต้านทานความล้าของการผสมเม็ดยางรถยนต์เพื่อลดรอยแตกร้าว การทดสอบจะนำรอยแตกร้าว 40 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ เทียบกับจำนวนรอบของแรงกระทำและอัตราส่วนแรงกระทำต่อกำลังรับน้ำหนักของพื้นสะพานเพื่อวิเคราะห์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ในช่วงอัตราส่วนแรงกระทำต่อกำลังรับน้ำหนักของพื้นสะพานที่มีค่าน้อยกว่า 0.5 พื้นสะพาน CRC มีความสามารถในการต้านทานความล้าสูงกว่าพื้นสะพาน NC 93.08% และในช่วงอัตราส่วนแรงกระทำต่อกำลังรับน้ำหนักของพื้นสะพานที่มีค่ามากกว่า 0.5 พื้นสะพาน CRC มีค่าใกล้เคียงกับพื้นสะพาน NC

คำสำคัญ: ยางรถยนต์เก่าบดละเอียด; ความสามารถการต้านทานความล้า; การทดสอบความล้า; แผ่นพื้นคอนกรีต

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.08.015

บทความวิจัย

Fatigue Performance of Full-scale Crumb Rubber Concrete Slabs

Supanatchai Khieorod[1] and Kittipoom Rodsin[2*]

[1] Construction Engineering Technology, Department of Civil and Environmental Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[2] Center of Excellence in Structural Dynamics and Urban Management (CESD), College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[*] Corresponding author, E-mail: kittipoom.r@cit.kmutnb.ac.th

Received: 3 April 2025; Revised: 21 July 2025; Accepted: 30 July 2025
Online Published: 22 August 2025

Abstract: Cracking of concrete bridge decks is a significant issue that leads to premature maintenance and repair of bridges. The primary cause of this problem is the repeated loading applied to the bridge decks, which induces fatigue and eventually results in cracking and damage. The use of finely ground recycled rubber particles from waste tires as a concrete additive has been proven to be an effective method for reducing cracking. This research aims to address the problem of fatigue-induced cracking in concrete bridge decks. The experimental variables were designed to closely simulate real-life applications. The study compares the crack reduction performance of concrete bridge decks with dimensions of 2.00 x 8.00 x 0.20 meters, constructed using both conventional concrete and concrete incorporating finely ground recycled rubber particles, replacing 25% of the sand volume. A total of 8 specimens were tested under two-way slab loading conditions. The first specimens of each concrete type were subjected to static loading tests to determine the maximum load-bearing capacity (specimens 1 and 2). Subsequently, fatigue tests were conducted on specimens 3 through 8 by applying loads at 40% 55% and 70% of the maximum load capacity to evaluate the fatigue resistance provided by the rubberized concrete in reducing cracking. The fatigue performance was assessed by measuring the area of cracking equivalent to 40% of the total slab surface, comparing the number of load cycles and the load ratio relative to the ultimate load capacity of the slabs. The test results indicated that, in the range where the load ratio to the ultimate load capacity was less than 0.5, the CRC slabs exhibited 93.08% higher fatigue resistance compared to the NC slabs. In the range where the load ratio exceeded 0.5, the fatigue performance of CRC slabs was comparable to that of NC slabs.

Keywords: Crumb rubber concrete; Fatigue performance; Fatigue Test; Concrete slab

บทความวิจัย

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.08.015

1. บทนำ

พื้นสะพานถือเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างที่ได้รับแรงกระทำโดยตรงจากการจราจร และ บ่อยครั้งพื้นสะพานเกิดความเสียหายจากการใช้งานเป็นระยะเวลานาน ดังรูปที่ 1 ถึงแม้ขนาดของแรงกระทำมีขนาดน้อยกว่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ได้ออกแบบหรือเรียกว่าความล้า ซึ่งความเสียหายส่งผลกระทบโดยรวมต่อการรับน้ำหนักของโครงสร้างสะพานอันตรายต่อผู้ใช้ทางและเป็นภาระในการบำรุงรักษา

การแก้ไขปัญหาความล้าของพื้นสะพานสามารถทำได้โดยการเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้าง เช่น การเพิ่มความหนาของพื้นสะพาน และ การเพิ่มจำนวนคานรองรับ วิธีดังกล่าวถึงแม้จะทำให้กำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างเพิ่มขึ้น แต่จะเป็นการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกคงที่ให้กับโครงสร้างเดิมโดยไม่จำเป็น

อีกหนึ่งทางเลือกที่ได้รับความสนใจคือการนำเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมาแทนที่ทรายในส่วนผสมคอนกรีต (Crumb Rubber Concrete, CRC) การแทนที่เม็ดยางเข้าไปในคอนกรีตสามารถช่วยเพิ่มความเหนียว (Toughness) ความสามารถในการดูดซับพลังงาน (Damping Ratio) ความทนทานต่อความล้า (Fatigue Resistance) และ ความสามารถในการต้านทานแรงกระแทก (Impact Resistance) [1,2] วิธีนี้จึงเหมาะกับการนำไปใช้ในงานคอนกรีตที่ต้องการความเหนียว และ ทนแรงกระแทกสูง เช่น พื้นกันกระแทก โครงสร้างที่ต้องการลดแรงสั่นสะเทือน หรือโครงสร้างที่ต้องรับแรงกระทำซ้ำ เช่น พื้นสะพาน เป็นต้น [3] การพัฒนาการของความเครียดซึ่งแสดงถึงความสามารถในการลดแรงเค้น (Stress) และ ภายใน

รูปที่ 1 ความเสียหายของพื้นสะพาน

(Internal Stress Development) ของ CRC นั้นต่ำกว่าคอนกรีตปกติ เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน CRC นั้นมีความสามารถในการคลายความเครียดที่เกิดจากอุณหภูมิได้ดีกว่าคอนกรีตปกติ [4] CRC สามารถช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม จากขยะยางรถยนต์ ช่วยลดการใช้ทรัพยากรจากธรรมชาติ และ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [5]

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาคุณสมบัติของ CRC เพื่อแก้ปัญหาด้านความล้าจำนวนมาก สำหรับงานทางเท้าได้มีการสังเกตลักษณะความเสียหายโดยใช้เม็ดยางแทนที่มวลรวม พบว่าการผสมเม็ดยางในคอนกรีตสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติด้านความล้า และ เพิ่มความสามารถในการดูดซับพลังงานจากแรงกระทำได้ดีขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานความล้า และความสามารถในการลดการแตกร้าวเนื่องจากความล้าเพิ่มมากขึ้น [6] การประเมินสมรรถนะของ CRC ภายใต้แรงกระทำแบบความล้า โดยการใช้ขนาดของเม็ดยางที่

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.08.015

แตกต่างกัน และ นำมาแทนที่ทรายในปริมาณที่แตกต่างกัน พบว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางนั้นสามารถช่วยลดการแตกร้าว และ เพิ่มความสามารถในการต้านทานความล้าได้ [7] ในทางกลับกัน ได้มีการศึกษาคุณสมบัติของ CRC โดยได้ทำการทดลองแทนที่มวลรวมละเอียดและ หยาบในคอนกรีตด้วยเม็ดยาง ในสัดส่วน 5% 7.5% และ 10% ทดสอบกำลังรับแรงอัด และ กำลังรับแรงดัด ของ CRC พบว่า ความสามารถในการรับแรงดัดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณเม็ดยาง แต่กำลังรับแรงอัดลดต่ำลงเรื่อยๆ เมื่อเพิ่มปริมาณของเม็ดยาง [8] เพื่อแก้ไขปัญหาจึงมีการศึกษาผลกระทบของการใช้เม็ดยางผสมในคอนกรีต โดยการผสมคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเม็ดยางในสัดส่วน 0%, 10% และ 20% หล่อแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบรับแรงทางเดียวจำนวน 8 แผ่น นำมาทดสอบกำลังรับแรงดัดแบบ 4 จุด พบว่าการใช้ CRC ส่งผลให้กำลังอัด และ โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตลดลง ปริมาณเม็ดยางที่สูงเกินไปส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานความล้าลดลงเนื่องจากการยึดเกาะระหว่างเม็ดยาง และ ซีเมนต์เพสต์ลดลง [9] ด้วยเหตุนี้การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของ CRC ที่ผ่านการปรับปรุงสภาพยึดเกาะระหว่างเม็ดยางกับเนื้อซีเมนต์ นำมาทดสอบกำลังอัด และ กำลังดัดตามมาตรฐาน ASTM พบว่าเมื่อแทนที่เม็ดยางในส่วนผสมคอนกรีต 25% สามารถเพิ่มกำลังรับแรงดัดได้ 22% และ สามารถดูดซับพลังงานมากขึ้น 9-28% เมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติ [10] ความสามารถในการลดการแตกร้าวของโครงสร้าง CRC ทางจุลภาค พบว่าการใช้เม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียดทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเมทริกซ์ซีเมนต์ และ อนุภาคยาง ซึ่งช่วยป้องกันการแตกร้าวของโครงสร้างได้ดี [11] พฤติกรรมความล้าด้านแรงดัดของ CRC เมื่อแทนที่มวลรวมละเอียด 15% และ 20% ของปริมาตรทราย และ ทำการทดสอบความล้าภายใต้เครื่องทดสอบโดยใช้น้ำหนักกระทำที่ 0.9 0.85 0.80 0.75 0.70 และ 0.60 ของกำลังรับแรงสูงสุด ผลการทดสอบพบว่ากำลังต้านทานความล้าของ CRC นั้นเมื่อได้รับน้ำหนักกระทำซ้ำในระดับที่สูงขึ้น จะส่งผลให้ความสามารถในการต้านทานความล้าของ CRC นั้นมีค่าใกล้เคียงกับ NC มากขึ้นไปด้วย [12]

ในแง่ของโครงสร้างสะพานยังมีการศึกษาการใช้คอนกรีตผสมเม็ดยางอย่างจำกัด และ จำเป็นต้องมีความเข้าใจพฤติกรรมการรับน้ำหนัก พฤติกรรมความล้าของพื้นสะพาน โดยทั่วไปงานวิจัยที่ผ่านมาเน้นศึกษาผลการใช้งาน และ ประสิทธิภาพของ CRC ในบริบทของงานขนาดเล็ก แต่เมื่อนำไปใช้กับโครงสร้างสะพานจริงที่มีขนาดใหญ่อาจส่งผลให้พฤติกรรมเปลี่ยนแปลงไปจากห้องปฏิบัติการ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาความสามารถในการลดการแตกร้าวของพื้นสะพาน CRC และ พฤติกรรมของพื้นสะพาน CRC ขนาดเสมือนจริงเมื่อรับแรงกระทำแบบความล้าในระดับ 40% 55% และ 70% เพื่อให้การทดสอบสะท้อนพฤติกรรมที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากที่สุด [13]

2. ขั้นตอนการศึกษา

2.1 สมบัติวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

คอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ คอนกรีตปกติ (Normal Concrete: NC) และ คอนกรีตผสมเม็ดยางบดละเอียด (Crumb Rubber Concrete: CRC) โดยคอนกรีตปกติมีกำลังอัดเฉลี่ยที่

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.08.015

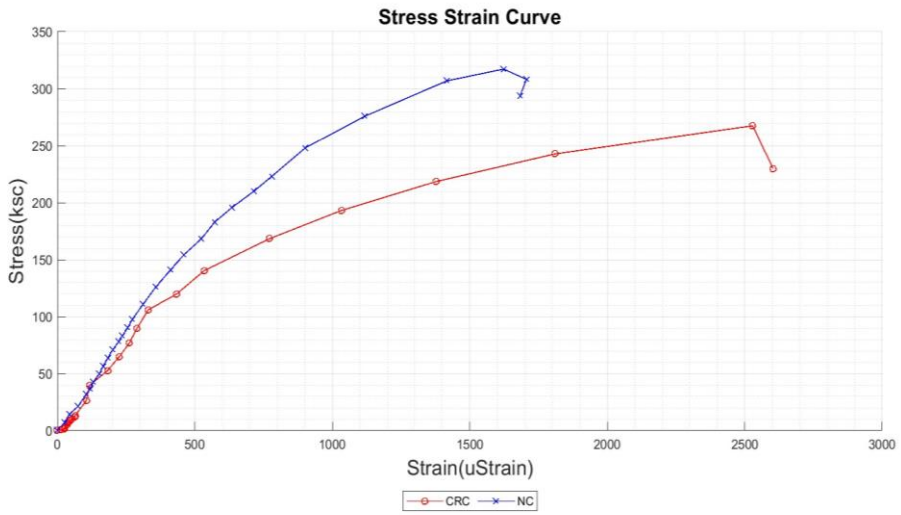
อายุ 28 วันเท่ากับ 320 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ค่าการไหลอยู่ที่ประมาณ 13.5 เซนติเมตร และ มีความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 2,245 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ขณะที่ CRC มีกำลังอัดเฉลี่ยที่อายุ 28 วันเท่ากับ 270 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีค่าการไหลอยู่ที่ประมาณ 14.1 เซนติเมตร และ มีความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 1,756 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตแสดงดังรูปที่ 2 สมบัติและแหล่งที่มาของวัสดุแสดงดังตารางที่ 1

2.2 อัตราส่วนของการผสมยาง

การศึกษานี้จะนำส่วนผสมคอนกรีตที่ได้ทำการออกแบบ นำมาแทนที่ทรายด้วยเม็ดยางบดละเอียดขนาดประมาณ 2 - 3 มิลลิเมตร (Coarse Crumb Rubber) เพื่อเพิ่มความสามารถในการต้านทานความล้าของคอนกรีต การนำเม็ดยางแทนที่ทรายในส่วนผสมคอนกรีตจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากปริมาตรของทรายทั้งหมด ซึ่งในการศึกษานี้ได้นำเม็ดยางบดละเอียดมาแทนที่ 25 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรทราย ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยอ้างอิงจากการศึกษาก่อนหน้า [14]

2.3 ตัวอย่างแผ่นพื้นสะพานที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างทดสอบแรกของคอนกรีตทั้ง 2 ประเภท ถูกนำมาทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพานเป็นตัวอย่างที่ 1 และ 2 โดยกำลังรับแรงสูงสุดที่ได้จะนำมาใช้ในการออกแบบการทดสอบความล้า ซึ่งกำลังรับแรงสูงสุดของพื้นสะพานคอนกรีตปกติมีค่าเท่ากับ 55.62 ตัน และ พื้นสะพานคอนกรีตผสมเม็ดยางมีค่ากำลังรับแรงสูงสุดเท่ากับ 47.6 ตัน หลังจากนั้นจะทำการทดสอบความล้าโดยการให้แรงกระทำเป็น 40 55 และ 70 เปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงสูงสุดเป็นตัวอย่างที่ 3 ถึง 8 ของแผ่นพื้นที่ไม่ผสมยาง และ ผสมยาง ตามลำดับ ดังตารางที่ 2



รูปที่ 2 ผลการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต (Stress – Strain curve)

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.08.015

ตารางที่ 1 สมบัติและที่มาของวัสดุ

วัสดุ	สมบัติ	แหล่งที่มา
ปูนซีเมนต์	ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ได้มอก. 15 เล่ม 1-2555	บริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน)
ทราย	ทรายหยาบผ่านการล้าง ได้มาตรฐาน มอก. 102-2514	บริษัท เค.จี.เทรดดิ้ง (ประเทศไทย) จำกัด
หิน	หินเบอร์ 1 ขนาด 3/4 ถึง 1 นิ้ว	
เม็ดยาง	ขนาด 2-3 มม. ความหนาแน่น 750 kg/m³	บริษัท เค.เค.ไอ. รีไซเคิล จำกัด
เหล็กเสริม	กำลังดึงขาด 4,338 kg/cm² ได้มอก. 20-2543	บริษัท ไทยสตีลโปรไฟล์ จำกัด

ตารางที่ 2 ตัวอย่างแผ่นพื้นที่ใช้ทดสอบความล้า

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์การผสมเม็ดยาง	เปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงสูงสุด
3	-	40%
4	-	55%
5	-	70%
6	25%	40%
7	25%	55%
8	25%	70%

2.4 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

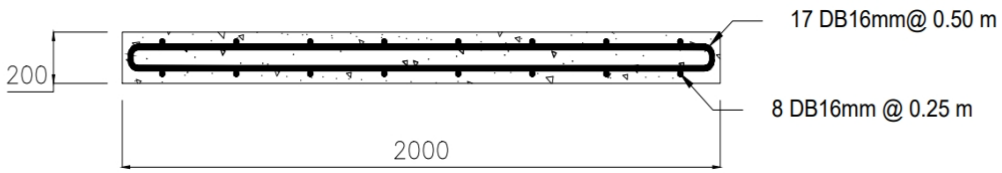
ในการศึกษาครั้งนี้ได้จัดเตรียมแผ่นพื้นคอนกรีตขนาดกว้าง 2.00 เมตร ยาว 8.00 เมตร และ หนา 0.20 เมตร จำนวนทั้งสิ้น 8 ตัวอย่าง โดยแบ่งออกเป็นคอนกรีตปกติ (Normal Concrete: NC) จำนวน 4 ตัวอย่าง และ คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียด (Crumb Rubber Concrete: CRC) อีก 4 ตัวอย่าง ซึ่งในส่วนของ CRC มีการแทนที่มวลรวมละเอียด (ทราย) ด้วยเม็ดยางในอัตราร้อยละ 25 โดยปริมาตรของทราย การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและ รายละเอียดการเสริมเหล็กเป็นไปตามแบบมาตรฐานของสำนักสำรวจและออกแบบกรมทางหลวง เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงดึงของโครงสร้าง จึงได้ทำการเสริมเหล็กข้ออ้อย DB16 ในแนวยาว จำนวน 8 เส้น โดยเว้นระยะห่างเท่ากับ 0.25 เมตร และ เสริมเหล็กในแนวขวางจำนวน 17 เส้นที่ระยะห่าง 0.50 เมตร พร้อมเว้นระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก (Covering) เท่ากับ 2.5 เซนติเมตร ตามมาตรฐานที่ใช้ในงานสะพานคอนกรีต ก่อนการหล่อคอนกรีตได้ดำเนินการติดตั้งแบบหล่อ และ วางเหล็กเสริมตามแบบดังแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 พร้อมตรวจสอบความมั่นคงของแบบ และ ความถูกต้องของตำแหน่งเหล็กเสริม จากนั้นผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้ โดยเฉพาะกลุ่ม CRC ได้มีการเตรียมเม็ด

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.08.015

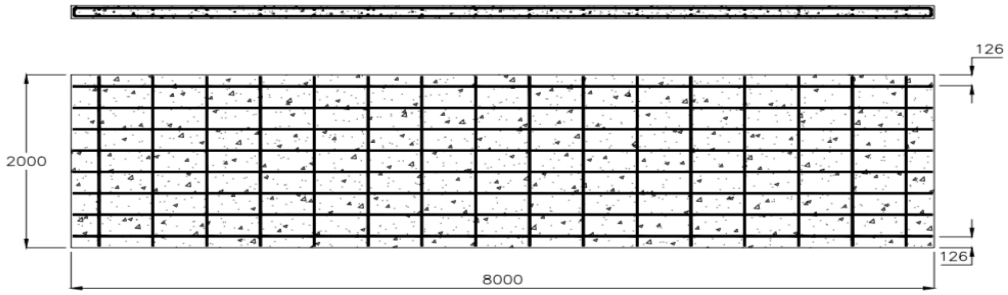
ยางขนาด 2 - 3 มิลลิเมตร และ นำมาแทนที่ทรายในอัตราร้อยละ 25 โดยปริมาตรของทราย คอนกรีตที่ผสมแล้วถูกเทลงในแบบหล่อ ใช้เครื่องสั่นเพื่อไล่อากาศออก และ อัดแน่นเนื้อคอนกรีตให้เต็มพื้นที่แบบอย่างสม่ำเสมอ หลังการหล่อคอนกรีตได้คลุมด้วยผ้าใบพลาสติก และ รดน้ำเพื่อบ่มคอนกรีตอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นปล่อยให้คอนกรีตบ่มตัวในสภาวะอากาศปกติจนครบอายุ 28 วัน ก่อนเข้าสู่กระบวนการทดสอบ

2.5 ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบพื้นสะพานจะกระทำภายใต้โครงเหล็กทดสอบดังแสดงในรูปที่ 5 พร้อมติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแรง และ บันทึกค่าเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและ การเสียรูปของพื้นสะพาน โดยเริ่มจากการติดตั้งแผ่นพื้นสะพานเข้ากับโครงเหล็ก โดยการทดสอบจะนำพื้นสะพานวางลงบนคานทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 6 เพื่อจำลองการรับน้ำหนัก และ แรงเบรคจากล้อรถบรรทุก ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดแรง (Load Cell) คานเหล็กกระจายแรง (Transfer Beam) และ กระบอก ไฮดรอลิคเข้ากับโครงเหล็กทดสอบ และ ทำการทาสีขาวที่พื้นทดสอบเพื่อช่วยให้สามารถสังเกตุเห็นรอยแตกร้าวได้ชัดเจนขึ้น แล้วจึงเริ่มทำการทดสอบกำลังต้านทานความล้าของพื้นสะพานดำเนินการโดยให้แรงกระทำแบบวัฏจักร (Cyclic) ความถี่ประมาณ 0.67 – 1.70 รอบต่อวินาที (Hz) ที่กึ่งกลางแผ่นพื้นสะพานจำลอง ขนาดของแรงกระทำมี 3 ระดับ ได้แก่ 40% 55% และ 70% ของกำลังรับแรงสูงสุดของพื้นสะพาน ระหว่างการทดสอบได้ทำการบันทึกข้อมูล และ ภาพถ่ายท้องพื้นสะพานเพื่อนำมาคำนวณเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว

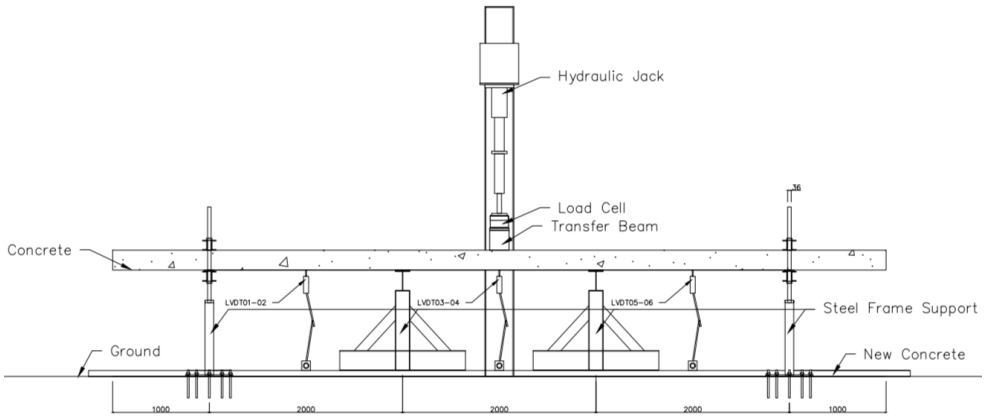


รูปที่ 3 รายละเอียดพื้นสะพานจำลอง



รูปที่ 4 รายละเอียดการเสริมเหล็กของพื้นสะพานจำลองความหนา 0.20 เมตร

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.08.015



รูปที่ 5 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปของพื้นสะพานจำลอง

รูปที่ 6 การทดสอบกำลังรับแรงในห้องปฏิบัติการ

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างตารางจำนวน 100 ช่อง เทียบกับจำนวนรอบของแรงกระทำ และ ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ เปอร์เซ็นต์รอยแตกร้าว 40% ของพื้นที่ท้องพื้นสะพานเป็นเกณฑ์สำหรับการประเมินพฤติกรรมความล้าของคอนกรีต เนื่องจากเป็นระดับความเสียหายที่ แสดงให้เห็นถึงการเสื่อมสภาพที่มีนัยสำคัญเชิงโครงสร้าง ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวแทนของช่วงเปลี่ยนผ่านจากพฤติกรรมยืดหยุ่น (Elastic) ไปสู่ช่วงเสื่อมสภาพอย่างถาวร (Plastic Failure Tendency) ได้อย่างเหมาะสม โดยจากงานวิจัยที่ได้ศึกษามามีการใช้เกณฑ์ 30% ถึง 50% ของพื้นที่รอยร้าว เพื่อประเมินพฤติกรรมความล้าเช่นเดียวกัน ทั้งนี้ เกณฑ์ 40% จึงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการประเมิน และ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุในระดับที่สามารถแสดงพฤติกรรมแตกต่างได้อย่างชัดเจนโดยไม่ถึงขั้นวิกฤตจนเกิดความล้มเหลวโดยสมบูรณ์ และ นำเปอร์เซ็นต์การแตกร้าวที่ 40% ของพื้นที่ท้องพื้นสะพานมาวิเคราะห์ และ จัดทำเส้นโค้งความล้า (Fatigue Curve) เพื่อประเมินความสามารถในการต้านทานความล้าของพื้นสะพาน [15]

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.08.015

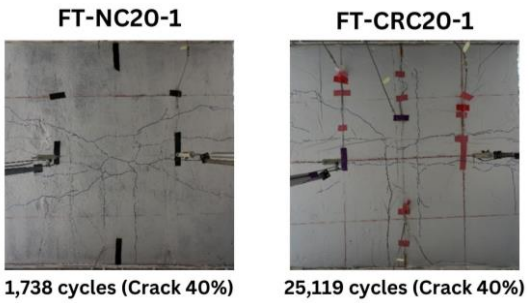
3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 พฤติกรรมการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ

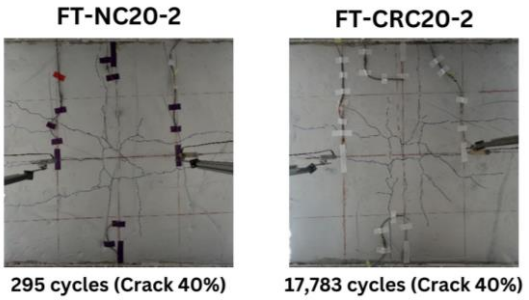
เพื่อนำเสนอผลการทดสอบพฤติกรรมความล้าของพื้นสะพานภายใต้แรงกระทำซ้ำอย่างชัดเจน ได้จัดทำ ตารางเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 3 ที่ส่งผลให้เกิดรอยแตกร้าวคิดเป็น 40% ของพื้นที่ท้องพื้นสะพาน โดยเปรียบเทียบระหว่างพื้นสะพาน NC และ พื้นสะพาน CRC จากผลการทดสอบพบว่าพื้นสะพานCRC มีค่าต้านทานต่อแรงกระทำซ้ำในช่วง P/Pu = 0.4 สูงกว่าพื้น NC ถึง 13.5 เท่า (CRC = 25,119 รอบและ NC = 1,738 รอบ) แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการต้านทานความล้าที่ยอดเยี่ยมของ CRC ในช่วงแรงกระทำระดับต่ำ (P/Pu = 0.40–0.55) โดยสามารถรองรับจำนวนรอบได้มากกว่าหลายเท่าตัว ขณะที่ในช่วงแรงกระทำสูง (P/Pu = 0.70) พื้น CRC ยังคงแสดงความสามารถในการต้านทานความล้าได้ดีกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้ได้มีการนำเสนอภาพความเสียหายของพื้นสะพานที่เกิดจากการทดสอบบริเวณกึ่งกลางพื้นสะพานจำลอง ขณะที่เกิดรอยแตกร้าว 40% เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ โดย แสดงให้เห็นถึงลักษณะการกระจายตัวของรอยร้าวในแต่ละระดับของแรงกระทำซ้ำแสดงดังรูปที่ 7 ถึง รูปที่ 9 ซึ่งพบว่ารอยแตกร้าวในพื้น CRC กระจายตัวละเอียด และต่อเนื่องมากกว่าใน NC ซึ่งเกิดรอยแตกร้าวที่เร็วกว่าที่จำนวนรอบน้อยกว่า สะท้อนถึงพฤติกรรมเชิงบวกของ CRC ต่อการใช้งานภายใต้สภาวะความล้า

ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบความล้าระหว่าง NC และ CRC

อัตราส่วนของแรงกระทำ (P/Pu)	พื้นสะพาน NC (รอบ)	พื้นสะพาน CRC (รอบ)
40%	1,738	25,119
55%	295	17,783
70%	16	25

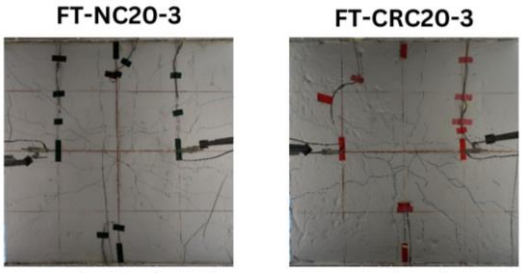


รูปที่ 7 ผลทดสอบพื้นสะพานเมื่อแรงกระทำซ้ำที่ 40%



รูปที่ 8 ผลทดสอบพื้นสะพานเมื่อแรงกระทำซ้ำที่ 55%

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.08.015

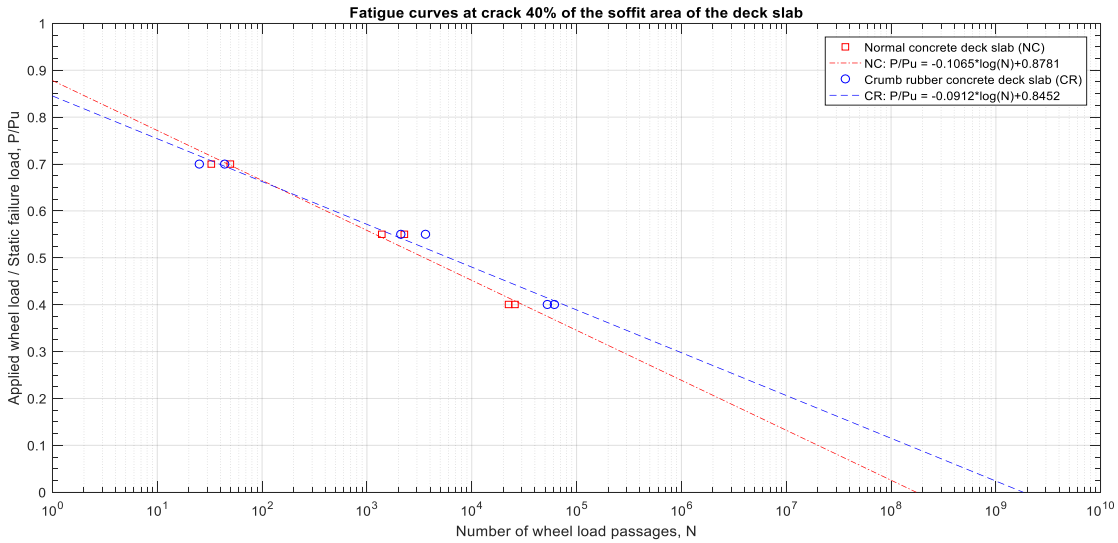


รูปที่ 9 ผลทดสอบพื้นสะพานเมื่อแรงกระทำซ้ำที่ 70%

3.2 การเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานความล้าของพื้นสะพาน

ในการวิเคราะห์ความล้าของโครงสร้างจำเป็นที่ต้องมีเส้นโค้งความล้า (Fatigue Curve) ของโครงสร้าง เส้นโค้งความล้าเป็นเส้นโค้งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำต่อกำลังรับน้ำหนักของพื้นสะพาน (P/Pu) กับจำนวนรอบที่ทำให้โครงสร้างเกิดเปอร์เซ็นต์การแตกร้าว 40% ของพื้นที่ท้องพื้นสะพาน (N) ซึ่งเส้นโค้งความล้าสร้างมาจากการทดสอบโครงสร้างภายใต้แรงกระทำซ้ำขนาดคงที่ ที่ระดับแรงกระทำ 40% 55% และ 70% แสดงดังรูปที่ 10

รูปที่ 10 แสดงให้เห็นถึงเส้นแนวโน้มจำนวนรอบของแรงกระทำกับปริมาณรอยแตกร้าวที่ 40% ของพื้นที่ท้องพื้นสะพาน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการต้านทานความล้าของพื้นสะพาน CRC โดยเมื่อพื้นสะพานถูกกระทำด้วยอัตราส่วนแรงกระทำต่อกำลังรับน้ำหนักของพื้นสะพานที่มีค่าน้อยกว่า 0.5 (P/Pu < 0.5) จะทำให้พื้นสะพาน CRC มีความสามารถในการต้านทานความล้าสูงกว่าพื้นสะพาน NC และ เมื่อแรงกระทำต่อกำลังรับน้ำหนักของพื้นสะพานมีขนาดสูงขึ้น พื้นสะพาน CRC จะมีกำลังต้านทานความล้าใกล้เคียงกับพื้นสะพาน NC อย่างไรก็ตาม การทดสอบในครั้งนี้



รูปที่ 10 เส้นโค้งความล้า (Fatigue Curve)

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.08.015

มีความสอดคล้องกับสภาวะการใช้งานจริง เนื่องจากเป็นการทดสอบตัวอย่างขนาดใหญ่ที่มีลักษณะเสมือนจริง จึงไม่สามารถดำเนินการทดสอบในปริมาณมากได้ ส่งผลให้ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบด้านความล้าครอบคลุมเฉพาะบางกรณีศึกษาเท่านั้น ทั้งนี้ผลการทดสอบ ยังคงสะท้อนพฤติกรรมของโครงสร้างในภาพรวมได้อย่างเหมาะสมสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ และ เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงวิศวกรรมต่อไป

4. สรุปผลการทดลอง

ผลการทดสอบพบว่าแนวโน้มของเส้นโค้งความล้าที่ได้จากงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้า อย่างไรก็ตาม ค่าความต้านทานความล้าของคอนกรีตผสมเม็ดยางบดละเอียดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน เนื่องจากมีการแทนที่เม็ดยางถึง 25% ของปริมาตรทราย ซึ่งสูงกว่างานวิจัยก่อนหน้าที่ใช้เพียง 15% ส่งผลให้พื้นสะพาน CRC มีค่าต้านทานความล้าที่สูงกว่า หรือใกล้เคียงกับ NC ในบางระดับของแรงกระทำซ้ำ โดยสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

1. ช่วงแรงกระทำต่ำ (P/Pu < 0.5)

พื้นสะพาน CRC แสดงค่าต้านทานความล้าสูงกว่าพื้น NC อย่างชัดเจน โดยเฉลี่ย มากกว่า 93.08% ของจำนวนรอบที่ทนได้ก่อนเกิดรอยแตกร้าว 40% เช่น ที่ P/Pu = 0.4 NC แตกร้าวที่ 1,738 รอบ CRC แตกร้าวที่ 25,119 รอบ เพิ่มขึ้นกว่า 13.5 เท่า เนื่องจาก CRC มีโครงสร้างที่สามารถดูดซับพลังงาน และ ยืดหยุ่นได้ดีกว่า ทำให้รอยร้าวเกิดขึ้นช้ากว่า

2. ช่วงแรงกระทำสูง (P/Pu > 0.5)

พื้น CRC และ NC แสดงค่าความล้าใกล้เคียงกัน เช่น ที่ P/Pu = 0.7 NC แตกร้าวที่ 16 รอบ CRC แตกร้าวที่ 25 รอบ เนื่องจากแรงกระทำเริ่มต้นมีค่ามาก ทำให้เกิดรอยร้าวรุนแรงตั้งแต่รอบแรก ส่งผลให้ CRC ไม่สามารถแสดงคุณสมบัติยืดหยุ่นได้อย่างเต็มที่ในสภาพโหลดสูงแบบทันที (Quasi-static High Stress)

3. ข้อเสนอแนะการใช้งานในภาคสนาม

พื้นสะพาน CRC มีศักยภาพสูงสำหรับการใช้งานในพื้นที่ที่มี โหลดซ้ำจากการจราจรในระดับปานกลางถึงต่ำ เช่น สะพานในพื้นที่ชนบท หรือจุดเชื่อมถนนที่มีการเคลื่อนไหวต่อเนื่อง แต่ไม่ใช่จุดรับน้ำหนักจุดสูงสุด แนะนำให้ใช้งานกับสภาวะโหลดเฉลี่ย ไม่เกิน 50% ของกำลังรับน้ำหนักที่ออกแบบ ($P/Pu \leq 0.5$) เพื่อให้ CRC แสดงประสิทธิภาพสูงสุดด้านความล้า ทั้งนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในด้านของการวิเคราะห์ความหนาของพื้นสะพาน และ จัดทำรายละเอียดการออกแบบเชิงไฟไนต์ เพื่อความเหมาะสมในการนำไปใช้ในงานจริง

5. ข้อจำกัดของการศึกษา

1. ผลการทดสอบขึ้นอยู่กับสัดส่วนเม็ดยางบดละเอียดขนาดเดียว (2–3 มม.) และ ปริมาณการแทนที่ 25% โดยไม่มีการเปรียบเทียบปริมาณการแทนที่เม็ดยางในระดับอื่นๆ เช่น 10% หรือ 15%

2. ขนาดของพื้นสะพานที่ใช้ในการทดสอบมีเพียงขนาดเดียว (ขนาดกว้าง 2.00 เมตร ยาว 8.00 เมตร และ หนา 0.20 เมตร)

6. ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อยอด

1. ศึกษาผลของการแทนที่เม็ดยางใน หลายระดับ (เช่น 10% 15% 20% 25% และ 30%) เพื่อสร้างเส้นแนวโน้มทางวิศวกรรมที่แม่นยำยิ่งขึ้น

2. ศึกษาในด้านการวิเคราะห์ และ ออกแบบความหนาพื้นสะพาน โดยอาศัยข้อมูลเชิงพฤติกรรมความล้าที่ได้จากการศึกษา

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.08.015

3. ศึกษาในด้านการจัดทำรายละเอียดการออกแบบเชิงไฟไนต์ (Finite Element Detail) และการพัฒนาแบบจำลองการวิเคราะห์ให้ครบถ้วนตามหลักเกณฑ์ของมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง (Design code)

7. กิตติกรรมประกาศ

วิจัยนี้รับทุนสนับสนุนจาก วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือตามสัญญาเลขที่ CIT-2023-GRAD-26 จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

8. เอกสารอ้างอิง

[1] J. Xu, Z. Yao, G. Yang and Q. Han, Research on crumb rubber concrete: From a multi-scale review, Construction and Building Materials, 2020, 232, 117282.

[2] R.A. Assaggaf, M.R. Ali, S.U. Al-Dulaijan and M. Maslehuddin, Properties of concrete with untreated and treated crumb rubber – A review, Journal of Materials Research and Technology, 2021, 11, 1753–1798.

[3] N.N. Gerges, C.A. Issa and S.A. Fawaz, Rubber concrete: Mechanical and dynamical properties, Case Studies in Construction Materials, 2018, 9, 00184.

[4] P. Baah, Cracking behavior of structural slab bridge decks, Thesis, The University of Akron, USA, 2014.

[5] R.A. Assaggaf, M. Maslehuddin, S.U. Al-Dulaijan, M.A. Al-Osta, M.R. Ali and M. Shameem, Cost-effective treatment of crumb rubber to improve the properties of crumb-rubber concrete, Case Studies in Construction Materials, 2022, 16, 00881.

[6] L. Feng, M. Liang-yu, N. Guo-Fang and L. Li-juan, Fatigue performance of rubber-modified recycled aggregate concrete (RRAC) for pavement, Construction and Building Materials, 2015, 95, 207-217.

[7] R. Pacheco-Torres, E. Cerro-Prada, F. Escolano and F. Varela, Fatigue performance of waste rubber concrete for rigid road pavements, Construction and Building Materials, 2018, 176, 530-548.

[8] A. Tayal, R. Garg, R. Singh, K. Arora and A. Sharma, Elastic crumb rubber concrete (ECRC)-I, International Journal of Engineering Research and Technology, 2019, 8(3), 216-219.

[9] J. Xie, Y. Zheng, Y. Guo, R. Ou, Z. Xie and L. Huang, Effects of crumb rubber aggregate on the static and fatigue performance of reinforced concrete slabs, Composite Structures, 2019, 228, 111371.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2025.08.015

[10] M. Alizadeh, M. R. Eftekhar, P. Asadi and D. Mostofinejad, Enhancing the mechanical properties of crumb rubber concrete through polypropylene mixing via a pre-mixing technique, Case Studies in Construction Materials, 2024, 23, 025690.

[11] X. Sun, S. Wu, J. Yang and R. Yang, Mechanical properties and crack resistance of crumb rubber modified cement-stabilized macadam, Construction and Building Materials, 2020, 250, 118708.

[12] N. Ganesan, J. Bharati Raj and A.P. Shashikala, Flexural fatigue behavior of self compacting rubberized concrete, Construction and Building Materials, 2013, 44, 7-14.

[13] G. Xue, H. Zhu, S. Xu and W. Dong, Fatigue performance and fatigue equation of crumb rubber concrete under freeze–thaw cycles, International Journal of Fatigue, 2023, 166, 107436.

[14] M. Liu, J. Lu, W. Jiang and P. Ming, Study on fatigue damage and fatigue crack propagation of rubber concrete, Journal of Building Engineering, 2022, 65, 105718.

[15] F. Liu, W. Zheng, L. Li, W. Feng and G. Ning, Mechanical and fatigue performance of rubber concrete, Construction and Building Materials, 2020, 231, 117118.