

การทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดของ แผ่นพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด

Ultimate Load-Carrying Capacity Test of Crumb Rubber Reinforced Concrete Bridge Slab

ศุภณัฐชัย เขียวรอด^{1*} กิตติภูมิ รอดสิน² ศุภกร รอดการทุกซ์³ ปณณวัชร สิริพัฒน์ธิดา⁴ และ รัตนชัย มีอำพล⁵

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพมหานคร

² ศูนย์วิจัยพลศาสตร์โครงสร้างและการจัดการเมือง (CESD), วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

จ.กรุงเทพมหานคร

^{3,4,5} สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

*Corresponding author; E-mail address: s6603062810011@email.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมีจำนวนมากเพื่อศึกษาเกี่ยวกับการนำเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมาทำการปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตเพื่อนำมาใช้แก้ปัญหาคอนกรีตแตกร้าวเนื่องจากความล้าแต่ด้วยงานวิจัยส่วนใหญ่ได้ทำการทดลองกับพื้นสะพานขนาดทดลอง หรือตัวอย่างทดสอบขนาดเล็ก เพื่อให้การนำเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียดไปใช้ในการก่อสร้างจริงจึงจำเป็นต้องมีการทดสอบพื้นสะพานขนาดเสมือนจริง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักสูงสุดของพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดเสมือนจริงที่ผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด โดยการทดสอบจะทำการก่อสร้างแผ่นพื้นสะพานจำลอง ขนาด 2.00x8.00x0.20 เมตร ทั้งหมด 6 แผ่นพื้น ซึ่งแบ่งออกเป็นพื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ จำนวน 3 แผ่นพื้น และคอนกรีตที่มีการแทนที่ทรายด้วยเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียดร้อยละ 25 โดยปริมาตรจำนวน 3 แผ่นพื้น และนำตัวอย่างทดสอบมาทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักสูงสุด จากการทดสอบพบว่า พื้นสะพาน CRC มีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเฉลี่ยต่ำกว่าพื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ 14.40% แต่ค่าการเสียรูปสูงสุดของพื้นสะพานนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก

คำสำคัญ: กำลังรับน้ำหนักสูงสุด, คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียด, พื้นสะพานจำลองขนาดเสมือนจริง

Abstract

In recent years, a considerable number of studies have investigated the use of ground waste tire rubber as an additive in concrete to enhance its performance, particularly in mitigating fatigue-induced cracking. However, most of these studies have

been limited to small-scale specimens or model bridge slabs. To advance the practical application of crumb rubber in real-scale construction, it is essential to evaluate its performance in full-scale elements. Therefore, this study aims to investigate the ultimate load-carrying capacity of full-scale reinforced concrete (RC) bridge slabs incorporating ground waste tire rubber. A total of six slab specimens with dimensions of 2.00 × 8.00 × 0.20 meters were constructed. Of these, three slabs were cast with conventional concrete, while the other three were cast with concrete in which 25% of the fine aggregate (by volume) was replaced with ground waste tire rubber. All specimens were subjected to ultimate load testing. The test results revealed that the bridge slabs incorporating crumb rubber concrete (CRC) exhibited an average reduction in ultimate load capacity of approximately 14.40% compared to the conventional concrete slabs. However, the maximum deflections recorded for both slab types were found to be very similar.

Keywords: Ultimate load capacity, crumb rubber concrete, near full-scale bridge deck slab

1. บทนำ

การปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตด้วยเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียดเพื่อแก้ไขปัญหาคอนกรีตแตกร้าวเนื่องจากความล้าเป็นทางออกที่ยั่งยืนและมีประโยชน์กับสิ่งแวดล้อมด้วยเนื่องจากขยะรถยนต์ถือเป็นขยะที่ส่งมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมทั้งด้านมลพิษทางดิน มลพิษทางน้ำ และมลพิษทางอากาศ [1] อีกทั้งการนำเม็ดยางมาแทนที่ทรายในส่วนผสมคอนกรีตนั้นยัง

สามารถช่วยเพิ่มความเหนียว (Toughness), ความสามารถในการดูดซับพลังงาน (Damping Ratio), ความทนทานต่อความล้า (Fatigue Resistance) และความสามารถในการต้านทานแรงกระแทก (Impact Resistance) [2-3] ทั้งนี้จากการศึกษาการเพิ่มความสามารถในการต้านทานความล้าของพื้นสะพานด้วยการแทนที่ทรายด้วยเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียดนั้นมีความเหมาะสมเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่เม็ดยาง [4] ซึ่งการเพิ่มปริมาณเม็ดยางรถยนต์เก่าในส่วนผสมคอนกรีตส่งผลให้คอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงอัดลดลง แต่ความสามารถในการต้านทานความล้าเพิ่มมากขึ้นจากผลการศึกษาพบว่า การแทนที่เม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียดนั้นไม่ควรเกินร้อยละ 25 โดยปริมาตรทราย [5] งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบพื้นสะพานขนาดเสมือนจริงโดยใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีการแทนที่ทรายด้วยเม็ดยางเก่ากับร้อยละ 25 โดยปริมาตรทราย เพื่อนำไปประยุกต์ใช้จริง โดยจะทำการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงของพื้นสะพานคอนกรีตผสมยางรถยนต์บดละเอียดรวมไปถึงเปรียบเทียบกำลังรับแรงของพื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (Normal concrete, NC) กับพื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียด (Crumb rubber concrete, CRC) ในการทดสอบนี้จะทำการก่อสร้างพื้นสะพานจำลองทั้งหมด 6 แผ่นพื้น โดยแผ่นที่ 1 ถึง 3 คือพื้นสะพาน NC และ แผ่นที่ 4 ถึง 6 คือพื้นสะพาน CRC จากนั้นนำพื้นสะพานทั้งหมดมาทดสอบกำลังรับแรงจากนั้นนำผลการสอบและรูปแบบการวิบัติมาเปรียบเทียบถึงความสามารถในการรับแรงของพื้นสะพาน CRC พบว่าพื้นสะพาน CRC นั้นมีความสามารถในการรับแรงต่ำกว่าพื้นสะพาน NC เพียง 15% แต่ค่าการเสียรูปสูงสุดของพื้นสะพานนั้นใกล้เคียงกันมาก

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

2.1 ส่วนผสมคอนกรีต

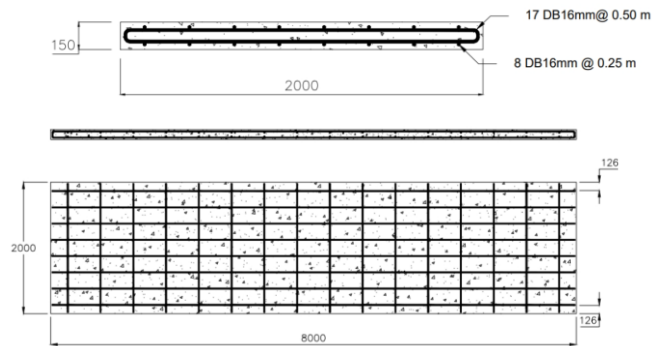
การก่อสร้างพื้นสะพานจำลองจะทำการหล่อในพื้นที่ทดสอบที่ได้จัดเตรียมไว้ จากการศึกษาคุณสมบัติของขนาดเม็ดยางรถยนต์บดละเอียด จึงเลือกใช้คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดขนาด 2-3 มิลลิเมตร (Coarse Crumb Rubber, CCR) มาทำการแทนที่ทรายร้อยละ 25 โดยปริมาตรเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้จริง โดยสัดส่วนผสมคอนกรีตแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมคอนกรีต

ประเภทของพื้นสะพาน	ส่วนผสม (kg/m ³)				
	ซีเมนต์	มวลรวมละเอียด	มวลรวมหยาบ	น้ำ	เม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียด
Normal concrete (NC)	457	599	1303	165	-
Crumb Rubber Concrete (CRC)	457	450	1303	165	42

2.2 รายละเอียดการเสริมเหล็ก

การก่อสร้างพื้นสะพานจำลองขนาดกว้าง 2 เมตร ยาว 8 เมตร หนา 0.20 เมตร จำเป็นต้องมีเหล็กเสริมเพื่อเพิ่มกำลังรับแรงดึงของโครงสร้าง จึงได้มีการเสริมเหล็ก DB16 SD40 ตามแนวยาวทั้งหมด 8 เส้น และเสริมเหล็ก DB16 SD40 ตามแนวขวางทั้งหมด 17 เส้น โดยมีระยะหุ้มคอนกรีต (Concrete Covering) 3 เซนติเมตรแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 รายละเอียดการเสริมเหล็กของพื้นสะพานจำลอง

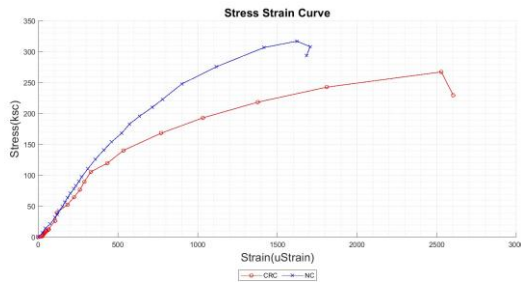
2.3 กำลังอัดคอนกรีต

ในการก่อสร้างพื้นสะพานจำลองจำเป็นต้องมีการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต NC และ CRC โดยทำการเก็บตัวอย่างคอนกรีต (Cylinder) ขนาด ขนาด 15 x 30 เซนติเมตร อย่างละ 3 ลูก ทำการบ่มเป็นเวลา 28 วัน หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างคอนกรีตมาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นผิวคอนกรีตตัวอย่างละ 3 ตัว และนำข้อมูลที่ได้อ่านและจัดทำเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress-Strain Curve) แสดงดังรูปที่ 2 ในการทดสอบจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ดังนี้ เครื่องทดสอบแรงกดมาตรฐานแบบไฮดรอลิก อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดภายในโครงสร้าง (Strain gauge, Kyowa 60 mm) และอุปกรณ์สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Logger, Kyowa UCAM-550A)



รูปที่ 2 การทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต

จากข้อมูลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตพบว่าคอนกรีต NC มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 320 ksc และคอนกรีต CRC มีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยอยู่ที่ 270 ksc โดยได้นำข้อมูลที่ได้อ่านจากการทดสอบมาจัดทำเป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress-Strain Curve) แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด (Stress-Strain Curve)

จากผลการทดสอบพบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต NC มีค่าสูงกว่าคอนกรีต CRC เท่ากับ 15.63% เนื่องจาก 2 ปัจจัยคือ 1) ทฤษฎีธรรมชาติเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงมากกว่าเมื่อยางที่เป็นวัสดุยืดหยุ่นจึงส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต CRC มีค่าต่ำกว่าคอนกรีต NC 2) การยึดเหนี่ยวระหว่างเมื่อยางกับเนื้อคอนกรีตที่ต่ำ ด้วยสาเหตุจากพื้นผิวของเมื่อยางมีลักษณะเรียบจึงทำให้การยึดติดกับเนื้อปูนไม่ดีและเกิดโพรงรอบๆ เมื่อยางส่งผลให้จุดที่รับแรงถูกตัดขาดเร็วกว่าคอนกรีต NC ที่มีการยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับเนื้อปูนมากกว่า อย่างไรก็ตามค่าความเครียดวิบัติของคอนกรีต CRC มีค่าที่สูงกว่าคอนกรีต NC เท่ากับ 36.59% เนื่องจากการแทนที่เมื่อยางในคอนกรีตมีผลทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการยืดหยุ่นสูง จึงทำให้ความเครียดวิบัติของคอนกรีต CRC มีค่าเพิ่มขึ้น

2.4 อุปกรณ์ทดสอบ

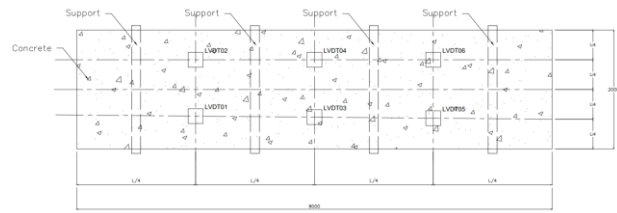
ในการทดสอบจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเพื่อสังเกตและติดตามพฤติกรรมพื้นสะพานจำลองระหว่างการทดสอบคือ อุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปของโครงสร้าง (LVDT, Kyowa 100mm) ตรวจวัดในรูปแบบระยะแอนตัวของโครงสร้างกำหนดให้เครื่องหมาย (-) เป็นการแอนตัวลงตามแนวนพื้นสะพานเครื่องหมาย (+) เป็นระยะแอนตัวขึ้นตามแนวนพื้นสะพานจำลอง แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 อุปกรณ์ตรวจวัดที่ใช้ในการทดสอบ

โดยตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวคาดการณ์จากพฤติกรรมการรับแรงที่เกิดขึ้นหากพื้นสะพานจำลองได้รับน้ำหนักกระทำบริเวณกึ่งกลาง ซึ่งจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดบริเวณที่เกิดโมเมนต์ดัดสูงสุดหรือระยะการเคลื่อนตัวสูงสุด ตำแหน่งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูป การติดตั้งอุปกรณ์

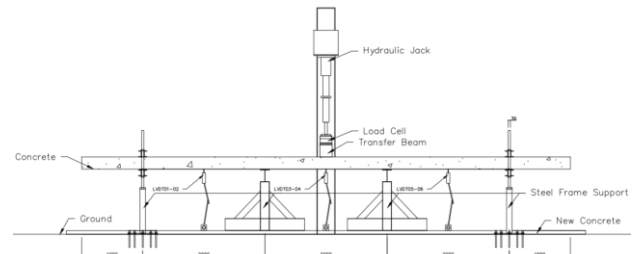
ตรวจวัดการเสียรูปบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่างรวมทั้งสิ้น 6 ตัวแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการเสียรูปบริเวณพื้นผิวคอนกรีตด้านล่าง

2.5 ขั้นตอนการทดสอบกำลังรับแรง

การทดสอบจะนำพื้นสะพานจำลองมาทดสอบภายใต้โครงเหล็กทดสอบและให้แรงกระทำแบบสถิตย์ (Static) บริเวณกึ่งกลางพื้นสะพานจำลองและทำการใส่แรงกระทำจากกระบอกไฮดรอลิก โดยแรงกระทำแบบจุดจะถูกเปลี่ยนเป็นแรงกระจายและกระทำลงบนพื้นสะพานจำลองบนจุดที่กำหนดด้วยคานถ่ายแรง (Transfer Beam) ซึ่งการติดตั้งพื้นสะพานรวมถึงอุปกรณ์ตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การติดตั้งพื้นสะพานจำลองและอุปกรณ์ตรวจวัด

โดยพื้นสะพานจำลองจะถูกนำไปทดสอบความสามารถในการรับแรงสูงสุดแสดงดังรูปที่ 7 ทั้งหมดจำนวน 6 แผ่นพื้น ประกอบไปด้วยพื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (Normal concrete, NC) แผ่นที่ 1 ถึง 3 และพื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมเมื่อยางรถยนต์เก่าบดละเอียด (Crumb rubber concrete, CRC) แผ่นที่ 4 ถึง 6 แสดงดังตารางที่ 2 ในการทดสอบใช้วิธีการให้แรงกระทำเพิ่มขึ้นทีละน้อยจนกว่าพื้นสะพานจำลองจะเกิดการวิบัติ เพื่อสังเกตพฤติกรรมการรับแรงของพื้นสะพานจำลอง



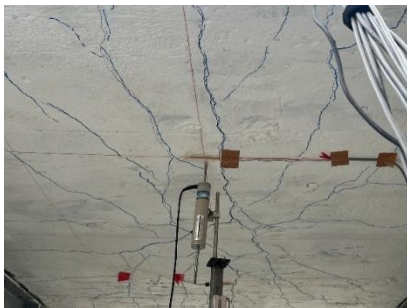
รูปที่ 7 การทดสอบกำลังรับแรงสูงสุดของพื้นสะพาน

ตารางที่ 2 ตัวอย่างทดสอบ

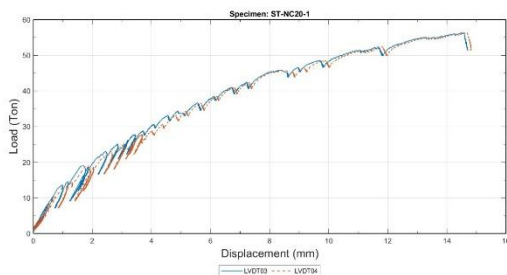
ลำดับ	ประเภทการทดสอบ	ประเภทคอนกรีต	ความหนา (เซนติเมตร)	ตัวอย่างทดสอบ
1	Static	NC	20	ST-NC20-1
2	Static	NC	20	ST-NC20-2
3	Static	NC	20	ST-NC20-3
4	Static	CRC	20	ST-CRC20-1
5	Static	CRC	20	ST-CRC20-2
6	Static	CRC	20	ST-CRC20-3

3. ผลการทดสอบกำลังรับแรงของพื้นสะพาน

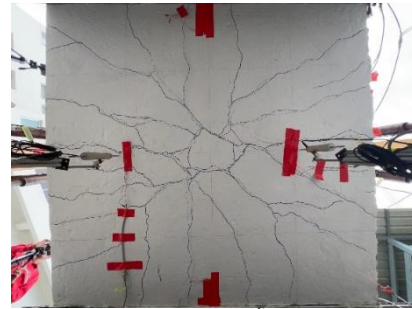
พบว่าพฤติกรรมของแผ่นพื้นจำลองที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติแผ่นที่ 1, 2 และ 3 เมื่อมีแรงกระทำเข้าสู่พื้นสะพานทดสอบเท่ากับ 14.20, 12.02 และ 12.03 ตันตามลำดับ ส่งผลให้พื้นสะพานเกิดรอยแตกกว้างแรกของพื้นสะพาน โดยระดับค่าการเสียรูปมีค่าสูงสุดที่บริเวณกลางพื้นสะพานเท่ากับ 15.01, 14.60 และ 16.23 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งแรงกระทำสูงสุดที่แผ่นพื้นรับได้อยู่ที่ 56.38, 56.42 และ 54.08 ตันตามลำดับแสดงดังรูปที่ 9 รูปที่ 11 และรูปที่ 13



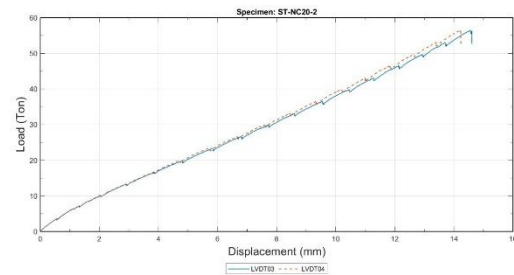
รูปที่ 8 รอยแตกกว้างบริเวณกลางพื้นสะพาน (ST-NC20-1)



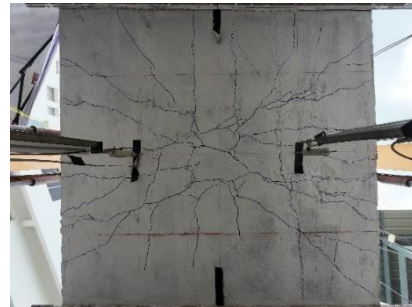
รูปที่ 9 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปบริเวณกลางพื้นสะพาน (ST-NC20-1)



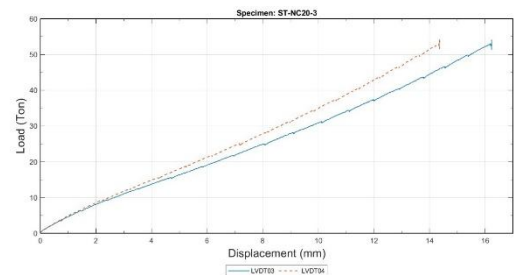
รูปที่ 10 รอยแตกกว้างบริเวณกลางพื้นสะพาน (ST-NC20-2)



รูปที่ 11 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปบริเวณกลางพื้นสะพาน (ST-NC20-2)

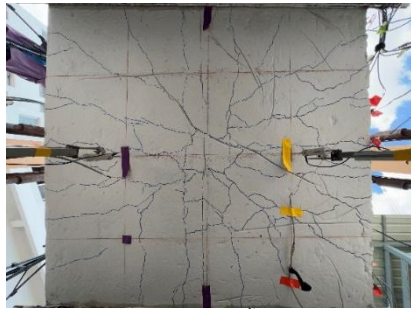


รูปที่ 12 รอยแตกกว้างบริเวณกลางพื้นสะพาน (ST-NC20-3)

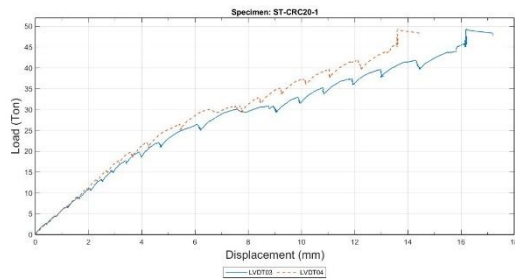


รูปที่ 13 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่าการเสียรูปบริเวณกลางพื้นสะพาน (ST-NC20-3)

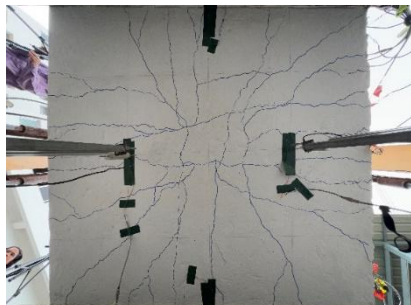
พื้นสะพานCRC แผ่นที่ 4, 5 และ 6 เกิดรอยร้าวแรกเมื่อมีแรงกระทำเท่ากับ 14.03, 14.02 และ 14.02 ตันตามลำดับ โดยระดับค่าการเสียรูปมีค่าสูงสุดที่บริเวณกลางพื้นสะพานเท่ากับ 16.22, 14.54 และ 16.82 มิลลิเมตรตามลำดับ ซึ่งแรงกระทำสูงสุดที่แผ่นพื้นรับได้อยู่ที่ 49.46, 43.16 และ 50.77 ตันตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 15 รูปที่ 17 และรูปที่ 19



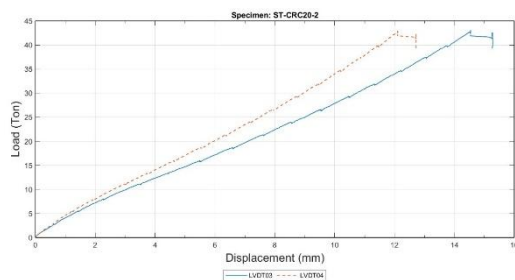
รูปที่ 14 รอยแตกร้าวบริเวณกลางพื้นสะพาน (ST-CRC20-1)



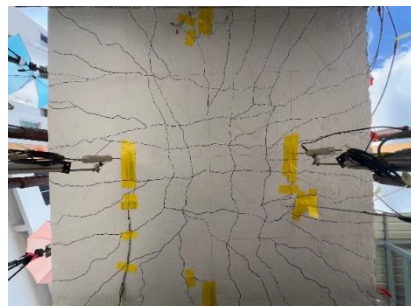
รูปที่ 15 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและการเสียรูปบริเวณ
กลางพื้นสะพาน (ST-CRC20-1)



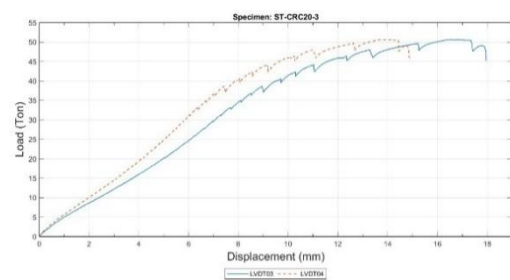
รูปที่ 16 รอยแตกร้าวบริเวณกลางพื้นสะพาน (ST-CRC20-2)



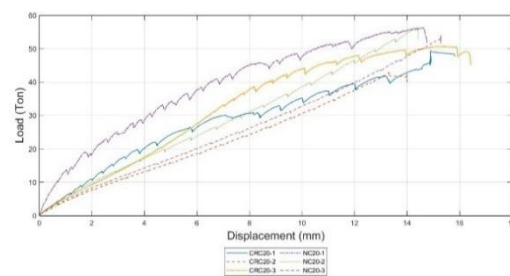
รูปที่ 17 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและการเสียรูปบริเวณ
กลางพื้นสะพาน (ST-CRC20-2)



รูปที่ 18 รอยแตกร้าวบริเวณกลางพื้นสะพาน (ST-CRC20-3)



รูปที่ 19 เส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและการเสียรูปบริเวณ
กลางพื้นสะพาน (ST-CRC20-3)



รูปที่ 20 การเปรียบเทียบเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกระทำและค่า
การเสียรูป

4. สรุปผลการศึกษา

รูปที่ 20 การทดสอบพื้นสะพานจำนวน 6 แผ่นพื้น แสดงให้เห็นว่าเส้นแสดงความสัมพันธ์ของพื้นสะพานทั้ง 6 แผ่นพื้นมีค่าใกล้เคียงกัน โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 พื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ กลุ่มที่ 2 พื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียด พบว่าพื้นสะพานกลุ่มที่ 1 ทั้ง 3 แผ่นพื้น มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักกระทำสูงสุด และค่าเฉลี่ยการเสียรูปสูงสุดมีค่าเท่ากับ 55.62 ตัน และ 14.76 มิลลิเมตร ตามลำดับ พื้นสะพานกลุ่มที่ 2 ทั้ง 3 แผ่นพื้น มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักกระทำสูงสุด และค่าเฉลี่ยการเสียรูปสูงสุดมีค่าเท่ากับ 47.61 ตัน และ 14.56 มิลลิเมตร ตามลำดับแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กำลังรับแรงสูงสุดของพื้นสะพาน

ตัวอย่าง	ค่าการเสียรูป สูงสุด (มิลลิเมตร)	ความสามารถใน การรับแรงสูงสุด (ตัน)	ค่าเฉลี่ยการเสีย รูปสูงสุด (มิลลิเมตร)	ความสามารถในการ รับแรงเฉลี่ยสูงสุด (ตัน)
ST-NC20-1	15.01	56.38	55.62	14.76
ST-NC20-2	14.60	56.42		
ST-NC20-3	16.23	54.08		
ST-CRC20-1	16.22	49.46	47.61	14.56
ST-CRC20-2	14.54	43.16		
ST-CRC20-3	16.82	50.77		

จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า พื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตปกติ (NC) มีค่ากำลังรับแรงสูงกว่าพื้นสะพานที่ก่อสร้างด้วยคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียด (CRC) เฉลี่ยร้อยละ 14.40 อย่างไรก็ตาม ค่าการเสียรูปสูงสุดของพื้นสะพานทั้ง 2 ประเภทมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียดสามารถรับแรงกระทำได้ในระดับที่เหมาะสมภายใต้ภาวะการเสียรูป จากผลการศึกษาครั้งนี้คอนกรีตผสมเม็ดยางรถยนต์เก่าบดละเอียดจึงมีศักยภาพในการนำมาใช้ในงานพื้นสะพานที่รองรับปริมาณจราจรจำนวนมากแต่ไม่ได้รับแรงบรรทุกสูงมากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการแตกร้าวจากแรงกระแทกเนื่องจากคุณสมบัติในการดูดซับแรงกระแทกและความยืดหยุ่นที่ดีกว่าคอนกรีตปกติ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก สำนักวิจัยและพัฒนา งานทาง กรมทางหลวง และขอขอบคุณ รศ.ดร.กิตติภูมิ รอดสิน และ ดร.ราชวัลลภ กัมพูพงศ์ สำหรับคำแนะนำในการทดสอบ และ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jagadale, S.C., Rajkumar, K., Chavan, R.P., Shinde, D.N. and Patil, C.L. (2015). Environmental concern of pollution in rubber industry. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(11), pp.187–188.
- [2] Xu, J., Yao, Z., Yang, G. and Han, Q. (2020). Research on crumb rubber concrete: From a multi-scale review. *Construction and Building Materials*, 232, 117282.
- [3] Assaggaf, R.A., Ali, M.R., Al-Dulaijan, S.U. and Maslehuddin, M. (2021). Properties of concrete with untreated and treated crumb rubber – A review. *Journal of Materials Research and Technology*, 11, pp.1753–1798.
- [4] Liu, F., Zheng, W., Li, L., Feng, W. and Ning, G. (2013). Mechanical and fatigue performance of rubber concrete. *Construction and Building Materials*, 47, pp.711–719.
- [5] Issa, C.A. and Salem, G. (2013). Utilization of recycled crumb rubber as fine aggregates in concrete mix design. *Construction and Building Materials*, 42, pp.48–52.