

การประยุกต์ใช้คอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดสำหรับก่อสร้างพื้นทางเท้า

Application of Concrete Pavement Mixed with Crumb Rubber for Sidewalk Construction

ศุภกร รอดการทุกข์^{1,*} ปณณวัชร สิริพัฒน์นิติ² รัตนชัย มีอำพล³ และ พรชัย ศิลาสมย์⁴

^{1,2,3} สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง

⁴ แขวงทางหลวงกรุงเทพ สำนักงานทางหลวงที่ 13 กรมทางหลวง

*Corresponding author, E-mail address: supakorn_38@hotmail.com, punna.si@doh.go.th, ratan.me@doh.go.th, pornc.si@doh.go.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการนำยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมาใช้แทนที่ทรายในส่วนผสมคอนกรีตได้กลายเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ การศึกษานี้ประเมินศักยภาพของการใช้ยางรถยนต์บดละเอียดในคอนกรีตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความยั่งยืนในงานก่อสร้าง โดยได้ศึกษาสองตัวแปร ได้แก่ การแทนที่ทรายบางส่วนและการลดปริมาณปูนซีเมนต์ ในการทดลองแรกได้แทนที่ทรายด้วยเศษยางในสัดส่วน 25%, 30% และ 40% ของปริมาณทรายทั้งหมด พร้อมคงปริมาณปูนซีเมนต์ที่ 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนการทดลองที่สองลดปริมาณปูนซีเมนต์เหลือ 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยแทนที่ทราย 20% ซึ่งทั้งสองการทดลองคงอัตราส่วนปริมาตรทรายต่อปริมาตรหินบดทรายให้คงเดิม และกำหนดกำลังคอนกรีตให้เหมาะสมกับการใช้งานพื้นทางเท้า ผลการทดลองพบว่าการใช้เศษยางสามารถลดการใช้ทรายและปูนซีเมนต์ได้ แม้ว่ากำลังรับแรงอัดจะลดลง แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการใช้งานพื้นทางเท้า พร้อมทั้งยังคงคุณสมบัติด้านความทนทานและความแข็งแรงของคอนกรีตในระดับที่เหมาะสม โดยการลดการใช้ทรายจากธรรมชาติและการใช้วัสดุที่ไม่สามารถย่อยสลายโดยต้องมีการควบคุมในการกำจัดซึ่งทำให้ปล่อยมลพิษ อีกทั้งการทดสอบนี้ยังชี้ให้เห็นว่าการนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุส่วนผสมเพิ่มเติมในทางเท้าได้

คำสำคัญ: คอนกรีต, ทางเท้า, ยางบดละเอียด, กำลังอัดแกนเดียว, ความต้านทานแรงดึงทางอ้อม

Abstract

Currently, the use of crumb rubber as a substitute for sand in concrete mixtures has become an interesting alternative. This study evaluates the potential of using crumb rubber as an ingredient in concrete mixtures to enhance performance and promote sustainability in the construction industry. The research examines the impact of using crumb rubber by studying two variables: partial replacement of sand and reduction of cement content in the concrete mixture. In the first experiment, sand in the concrete was partially replaced

with crumb rubber at proportions of 25%, 30%, and 40% of the total sand volume, while maintaining a fixed cement content of 500 kilograms per cubic meter. The second experiment reduced the cement content to 350 kilograms per cubic meter with crumb rubber at proportions of 20%. Both experiments aimed to produce concrete mixtures suitable for sidewalk pavement applications, which do not require high compressive strength. The results show that using crumb rubber effectively reduces sand and cement usage while maintaining acceptable compressive strength, durability, and overall performance for sidewalk construction. By reducing the use of natural sand and utilizing non-biodegradable materials that would otherwise require disposal processes leading to pollution, this test demonstrates the potential for applying such materials as additional components in sidewalk construction.

Keywords: Concrete, Sidewalk, Crumb rubber, Unconfined compressive strength, Indirect tensile strength

1. คำนำ

วัสดุก่อสร้างที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายอย่าง คอนกรีต นั้น คือวัสดุผสมที่ประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์, น้ำ, และมวลรวม (ทั้งมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด) สำหรับโครงสร้างของถนนชนิดผิวทาง คอนกรีตนั้นมักประกอบไปด้วย ชั้นดินเดิม, ชั้นดินบดอัด และชั้นผิว คอนกรีต ซึ่งในการก่อสร้างผิวทางคอนกรีตจะมีการเสริมเหล็กอุณหภูมิหรือ เหล็กกันรั่ว โดยการใช้ปูนซีเมนต์และเหล็กเป็นจำนวนมากย่อมส่งผลต่อ สิ่งแวดล้อมที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและการใช้งาน โดยในการผลิตและใช้งานปูนซีเมนต์ 1 กิโลกรัม จะมีการปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ประมาณ 0.5 ถึง 0.9 กิโลกรัม [1] และในส่วนของทรายจะมีการปล่อยก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ประมาณ 0.005 กิโลกรัม [2]

ปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนี้มักเกี่ยวข้องกับ การใช้วัสดุทดแทน วัสดุแทนที่ รวมไปถึงวัสดุผสมเพิ่มเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์หรือทดแทนวัสดุที่ขาดแคลนในท้องถิ่นนั้น โดยวัสดุเหลือทิ้งจาก

อุตสาหกรรม หรือวัสดุรีไซเคิลจากภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ได้นำมาศึกษาวิจัยพัฒนาให้สามารถใช้งานจริงมากขึ้น โดยล้อยางรถยนต์เป็นองค์ประกอบ หนึ่งของยานพาหนะที่ใช้ในการคมนาคมทางถนนเนื่องจากยางเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติเด่นในด้านของความยืดหยุ่น ความสามารถในการดัดงอ ความสามารถในการดูดซับแรงและพลังงาน คุณสมบัติของยางนั้น ช่วยลดแรงกระแทก และสิ้นเปลือง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความสบาย และความปลอดภัยแก่ผู้สัญจร ปัจจุบันความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์ยางสูงขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้ขยะยางนั้นสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วยเช่นกัน การจัดการกับขยะยางเหล่านี้ถือเป็นเรื่องที่ยังยาก กระบวนการย่อยสลายตามธรรมชาติใช้ระยะเวลานานส่งผลให้ผลิตภัณฑ์จากยางเก่าเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมจึงต้องมีแนวทางในการกำจัดขยะยางอย่างถูกวิธี โดยการทำให้ขยะยางนั้นสามารถกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกครั้ง โครงสร้างของล้อยางมีส่วนประกอบสำคัญคือ เนื้อยาง โครงยาง และขอบลวด โดยการแปรรูปยางที่เป็นส่วนประกอบหลักให้เป็นผงแล้วนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนมวลรวมในคอนกรีตถือเป็นแนวทางในการจัดการกับปัญหาขยะยางที่ทำได้ง่ายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ในปี 2014 กลุ่มนักวิจัยนำโดย Gesoglu และคณะ [3] พบว่าการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสความยืดหยุ่น และกำลังรับแรงอัด มีความสัมพันธ์กับการเติมเม็ดยางลงในคอนกรีตที่สามารถลดโมดูลัสความยืดหยุ่นลงเป็นอย่างมาก เนื่องจากความสามารถในการรับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง ซึ่งได้ข้อสรุปว่าโมดูลัสความยืดหยุ่นจะลดลงถึงร้อยละ 17 – 25 สำหรับกรณีที่มีเม็ดยางแทนที่วัสดุมวลรวมหยาบที่ร้อยละ 5 – 10 โดยปริมาตรมวลรวมหยาบ และสำหรับสำหรับ กรณีที่มีเม็ดยางแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดที่ร้อยละ 18 – 36 โดยปริมาตร มวลรวมละเอียด ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของการใช้คอนกรีต เม็ดยาง จึงไม่ควรใช้เม็ดยางแทนที่มวลรวมในปริมาณที่เกินความเหมาะสม เพราะนอกจากโมดูลัสความยืดหยุ่นที่ลดลงแล้วกำลังรับแรงอัดของ คอนกรีตก็ลดลงอย่างมากเช่นกัน [4]

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จะดำเนินการพัฒนาวัสดุต้นแบบคอนกรีต เม็ดยางสำหรับงานก่อสร้างผิวทางเท้าที่ปราศจากการเสริมเหล็ก โดยการนำวัสดุเหลือใช้จำพวกขยะยางมาใช้ในการบดละเอียด (Crumb Rubber) เพื่อหาประสิทธิภาพของการใช้ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดมาใช้ในสัดส่วนที่ได้มากที่สุดและสามารถนำไปใช้งานเป็นวัสดุสำหรับงานพื้นทางเท้าได้

2. วัสดุและวิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

2.1.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็น ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (Ordinary Portland Cement Type I; OPC Type I) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการก่อสร้างทั่วไป เนื่องจากมีคุณสมบัติให้กำลังอัดสูงและเหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตทั่วไป ปูนซีเมนต์ที่ใช้ได้รับการรับรองตามมาตรฐาน มอก. 15-2555 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์)

2.1.2 วัสดุมวลรวม

วัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate, CA) ที่มีขนาดโตสุด 19.05 มิลลิเมตร (3/4") ความถ่วงจำเพาะ 2.60 และวัสดุมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate, FA) ค่าของความถ่วงจำเพาะในสถานะอิ่มตัวแห้งเท่ากับ 2.59 และมีค่าความหนาแน่น 2,635.4 kg/m³



รูปที่ 1 ปูนซีเมนต์ มวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียด

2.1.3 เม็ดยางบดละเอียด

เม็ดยางบดละเอียด (Crumb Rubber, CR) มีองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 1 โดยเป็นเม็ดยางที่ได้จากการรีไซเคิลขยะยางรถยนต์ มีขนาดเม็ดยาง 2 - 3 มิลลิเมตร มีค่าความหนาแน่น 750 kg/m³ โดยมีอัตราส่วนขององค์ประกอบโดยประมาณของเม็ดยางบดละเอียดแสดงในรูปที่ 2 และมีองค์ประกอบโดยประมาณของเม็ดยาง (Crumb Rubber) ดัง



ตารางที่ 1

รูปที่ 2 เม็ดยางบดละเอียดขนาด 2 - 3 มิลลิเมตร

ตารางที่ 1 องค์ประกอบโดยประมาณของเม็ดยาง (Crumb Rubber) จากยางรถยนต์โดยทั่วไป

องค์ประกอบ	ปริมาณโดยประมาณ (%)
โพลีเมอร์ (SBR, NR, BR)	40 - 60

ฟิลเลอร์ (Fillers)	20 - 35	Concrete				
น้ำมันและสารเติมแต่ง (Oils and Additives)	10 - 15	500-CRC-30%	500	419.30	1303	286.86
สารกันเสื่อมและและสารเติมแต่ง (Antioxidants & Antiozonants)	1 - 5	Concrete				
สารเร่งการวัลคาไนซ์และสาร ช่วยวัลคาไนซ์ (Curing Agents & Accelerators)	1 - 3	500-CRC-40%	500	359.40	1303	286.86
สิ่งเจือปน (โลหะ, เส้นใย)	5 - 10	Concrete				
		350-CRC20%	350	479.20	1405	286.86
						34.09

โดยทั่วไปการดูดน้ำ (Water Absorption) ของ crumb rubber หรือยางบดละเอียดจะอยู่ในช่วงประมาณ 5% – 15% โดยน้ำหนัก แต่พบว่ายางเก่า หรือ ยางที่ผ่านสภาพการใช้งานมานาน จะมีโครงสร้างที่พรุนกว่าดูดน้ำได้มากขึ้น และขนาดเล็ก (fine crumb rubber) จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสต่อปริมาตรสูงจึงทำให้ดูดน้ำเพิ่มขึ้นอาจมากถึง 10% - 18% [5]

2.2 สัดส่วนผสมคอนกรีต

ออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตตาม ACI สัดส่วนของการออกแบบคอนกรีตแรงอัดไม่ต่ำกว่า 350 kg/cm² (ทรงกระบอก) เป็นตัวควบคุมในกรณีของ Normal Concrete (NC) ดังแสดงในตารางที่ 2 และใช้ เม็ดยางบดละเอียดในการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดร้อยละ 25, 30, 40 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียด และร้อยละ 20 ที่มีการลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ โดยมีสัดส่วนผสมของคอนกรีตต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร สำหรับกรณีการทดสอบที่ไม่ได้ลดปริมาณคอนกรีตลงโดยทำการออกแบบค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดที่ 7.5 ± 2 ซม. ดังตารางที่ 2 ทำการผสมโดยใช้เครื่องช่วยผสมแล้วทำการหล่อตัวอย่าง ขนาดมาตรฐาน: เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว (100 มม.) สูง 8 นิ้ว (200 มม.) ในการทดสอบกำลังอัด การทดสอบกำลังรับแรงดึงแยก โดยในทุกสัดส่วนภายหลังจากทำการหล่อคอนกรีตในแบบทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วนำไป บ่มในน้ำสะอาดจนครบอายุการทดสอบ ที่ 7 วัน และ 28 วัน

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

Mix	ปูนซีเมนต์ (Cement) (kg/m ³)	มวลรวม ละเอียด (Fine aggregate) (kg/m ³)	มวลรวม หยาบ (Coarse aggregate) (kg/m ³)	น้ำ (Water) (kg/m ³)	เม็ดยาง บดละเอียด (Coarse Crumb Rubber) (kg/m ³)
Normal Concrete (NC)	500	599	1303	286.86	-
Concrete 500-CRC- 25%	500	449.25	1303	286.86	42.62



รูปที่ 3 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

2.3 การเตรียมเม็ดยางบดละเอียด

ในการเติมเม็ดยางลงในส่วนผสมของคอนกรีตต้องมีการคำนึงถึงความเป็นเนื้อเดียวกันของเม็ดยางและคอนกรีตเนื่องจากความแตกต่างของคุณสมบัติของปริมาตรของเม็ดยางและวัสดุมวลรวมที่มีความแตกต่างกันจึงต้องมีการนำเม็ดยางแช่น้ำอย่างน้อย 24 ชั่วโมงเพื่อให้เม็ดยางอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) แล้วจึงนำเม็ดยางเข้าผสมกับคอนกรีต [6]

2.4 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

2.4.1 ทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตแข็งตัว

ในการทดสอบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตแข็งตัวแล้วนั้นทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด การทดสอบกำลังดึงแยก โดยตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก 3 ตัวอย่างขนาด 200 x 100 มม. (ความสูง x เส้นผ่านศูนย์กลาง) ที่อายุคอนกรีต 7 และ 28 วันในการทดสอบกำลังรับแรงอัดกำลังรับแรงดึงแยกตามมาตรฐาน ASTM C39 [7] และ ASTM C496 [8] ตามลำดับ 3 ตัวอย่างที่อายุคอนกรีต 28 วันทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 192 [9]

3. ผลการทดสอบ

3.1 คุณสมบัติของคอนกรีตสด

จากการทดสอบคุณสมบัติความชื้นเหลวของคอนกรีตสดเพื่อศึกษาถึงความสามารถในการทำงานได้โดยการวิจัยในครั้งนี้มีการกำหนดโดยทำการออกแบบค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดที่ 7.5 ± 2 ซม. สำหรับกรณี Normal Concrete และ Concrete 500-CRC-25%/30%/40% แต่ไม่ได้กำหนดค่าการยุบตัวของคอนกรีต ในกรณีของตัวอย่างการทดสอบ Concrete 350-CRC20% เนื่องจากมีการลดปริมาณคอนกรีตในส่วนผสม ดังนั้นจากการทดสอบค่าการยุบตัวจึงมีค่าที่มากอยู่ในช่วง 21 – 25 เซนติเมตร ซึ่งในทุกกรณีที่ศึกษาได้มีการใช้ปริมาณน้ำที่เท่ากัน โดยส่วนใหญ่จะมีความแตกต่างกันของอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ และปริมาณของยางรถยนต์เก่าบดละเอียด เมื่อมีการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดด้วยเม็ดยางบดละเอียดพบว่า ความสามารถในการทำงานได้จากการทดสอบค่าการยุบตัว รวมไปถึงการ ทดสอบสอบการไหลผ่านนั้นเพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบค่าการยุบตัวนั้นพบว่าคอนกรีตเม็ดยางนั้นมีลักษณะของความชื้นเหลวอยู่ในสภาวะเปียก และเมื่อพิจารณาจากค่าอัตราการไหลผ่านคอนกรีตเม็ดยางนั้นมีลักษณะของความชื้นเหลวปานกลางถึงค่อนข้างมาก โดยเฉพาะกรณีของ Concrete 350-CRC20% ที่ไม่ได้มีการลดปริมาณน้ำทำให้ระดับการไหลอยู่ในช่วงที่สูง ตามมาตรฐาน EFNARC (European Federation of National Associations Representing for Concrete)

3.2 หน่วยน้ำหนัก

ในการหาค่าความหนาแน่นของคอนกรีตนั้นทำได้โดยการวัดปริมาตรของตัวอย่างทดสอบโดยพบว่าการใช้เม็ดยางในการแทนที่มวลรวมละเอียดนั้นส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตผสมยางนั้นลดลงกว่าคอนกรีตทั่วไป โดยเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ ของเม็ดยางเพิ่มขึ้นความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมเม็ดยางจะลดลง ความหนาแน่นของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปริมาณช่องว่างของอากาศ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของมวลรวม โดยการเพิ่มปริมาณยาง ในคอนกรีตจะเพิ่มปริมาณช่องว่างอากาศซึ่งจะลดความหนาแน่น (หน่วยน้ำหนัก) ของคอนกรีต [10]

จากผลการทดสอบ พบว่าคอนกรีตเม็ดยางมีความหนาแน่นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตควบคุม เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเม็ดยางบดละเอียดในการแทนที่ปริมาณของมวลรวมละเอียดนั้นสามารถช่วยลดหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลงได้โดยลดลงเมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมของคอนกรีตในกรณีที่ไม่ได้การใช้เม็ดยางบดละเอียดไปแทนที่ปริมาตรของมวลรวมละเอียดนั้น ซึ่งจะลดลงโดยประมาณ 3.99%(C500CRC25%), 4.78%(C500CRC30%), 6.38%(C500CRC25%) และ 4.98%(C350CRC20%) ของค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตควบคุมตามลำดับ



การกระจายตัวของเม็ดยางในส่วนผสม กรณี(C500CRC30%)



การกระจายตัวของเม็ดยางในส่วนผสม กรณี(C500CRC40%)



การกระจายตัวของเม็ดยางในส่วนผสม กรณี(C350CRC20%)

รูปที่ 4 การกระจายตัวของเม็ดยางในแต่ละสัดส่วนการแทนที่ของเม็ดยางเก่าบดละเอียด

3.3 กำลังรับแรงอัด

- แบบที่ 1 คอนกรีต 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดขนาด 2-3 มิลลิเมตร (Coarse Crumb Rubber, CCR) แทนที่ทรายส่วนร้อยละ 30,40 ของปริมาตรทรายจำนวนอย่างละ 3 ลูก
- แบบที่ 2 คอนกรีต 350 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียดขนาด 2-3 มิลลิเมตร (Coarse Crumb Rubber, CCR) แทนที่ทรายส่วนร้อยละ 25 ของปริมาตรทรายจำนวน 3 ลูก

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตมีดังนี้

1. เครื่องทดสอบแรงกดมาตรฐานแบบไฮดรอลิก
2. อุปกรณ์ตรวจวัดความเครียดภายในโครงสร้าง
3. อุปกรณ์สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Logger)



รูปที่ 5 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดยางที่มีปริมาณคอนกรีตไม่เท่ากัน และอัตราส่วนของเม็ดยางแทนที่มวลรวมละเอียดที่ 20% 25% 30% และ 40% ที่อายุ 7 และ 28 วัน

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตจากตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกที่อายุ 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบพิจารณาผลกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 28 วันของคอนกรีตควบคุมอยู่ที่ 308 - 321 ksc โดยพบว่าการใช้เม็ดยางบดละเอียดในการแทนที่มวลรวมละเอียดในสัดส่วน 20%, 25%, 30% และ 40% นั้นส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของ คอนกรีตลดลงโดยการลดลงของกำลังรับ แรงอัดที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากรอยต่อระหว่างเมทริกซ์ของปูนและหิน (Interfacial Transition Zone : ITZ) ที่เกิดขึ้นที่ผิวระหว่างเม็ดยางและซีเมนต์เพสต์ [11] ซึ่งเป็นความพรุนที่เกิดขึ้นโดยรอบบริเวณของคอนกรีตเม็ดยาง

3.4 กำลังดึงแยก

ผลการทดสอบกำลังดึงแยกคอนกรีต แสดงถึงกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตนั้นลดลงเมื่อมีการใช้เม็ดยางในการแทนที่มวลรวมที่มากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตผสมเศษยางในสัดส่วนต่าง ๆ พบว่ามีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเศษยางเพิ่มขึ้น โดยสามารถสรุปความแตกต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

- C500CRC30% เทียบกับ C500CRC40% ค่ากำลังรับแรงดึงลดลงจาก 74.69 - 77.45 ksc เป็น 64.35 - 69.58 ksc มีค่ามากกว่า 11.6 - 16.2%
- C500CRC30% เทียบกับ C350CRC20% ค่ากำลังรับแรงดึงของ C500CRC30% อยู่ที่ 74.69 - 77.45 ksc ในขณะที่ C350CRC20% อยู่ที่ 67.43 - 72.06 ksc มีค่ามากกว่า 6.4 - 12.9%
- C500CRC40% เทียบกับ C350CRC20% ค่ากำลังรับแรงดึงของ C500CRC40% อยู่ที่ 64.35 - 69.58 ksc ในขณะที่ C350CRC20% อยู่ที่ 67.43 - 72.06 ksc พบว่าค่ากำลังรับแรงดึงของ C350CRC20% มีค่ามากกว่า C500CRC40% ประมาณ 4.6 - 5.1%

จากผลการเปรียบเทียบข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณเศษยางในคอนกรีตมีแนวโน้มทำให้ค่ากำลังรับแรงดึงลดลง โดยเฉพาะในกรณีที่มีเศษยาง 40% ซึ่งค่ากำลังรับแรงดึงต่ำกว่ากรณีอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ

การเติม crumb rubber ลงในคอนกรีตทำให้กำลังรับแรงดึงแบบแยก (splitting tensile strength) ลดลง เนื่องจากคุณสมบัติของ crumb rubber ที่แตกต่างจากมวลรวมธรรมชาติหลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งแรงยึดเหนี่ยว (bond strength) ระหว่าง crumb rubber กับเนื้อปูนมีค่าต่ำกว่ามวลรวมทั่วไป ส่งผลให้การถ่ายโอนแรงระหว่างอนุภาคและเนื้อปูนเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ crumb rubber มีลักษณะไล่น้ำ (hydrophobic) ซึ่งนำไปสู่การกักเก็บฟองอากาศภายในเนื้อคอนกรีตมากขึ้น เพิ่มปริมาณช่องว่าง (voids) และลดความหนาแน่นของเนื้อวัสดุโดยรวม เมื่อคอนกรีตได้รับแรงดึง การกระจายตัวของฟองอากาศและการยึดเหนี่ยวที่อ่อนแอเหล่านี้จึงทำให้เกิดการแตกร้าวได้ง่ายขึ้นและลดความสามารถในการต้านทานแรงดึงของคอนกรีตลงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ [12]

กำลังรับแรงดึงแบบแยกของคอนกรีตผสม crumb rubber ลดลงในอัตราที่ต่ำกว่ากำลังรับแรงอัด ซึ่งอธิบายจาก crumb rubber ช่วยเชื่อมรอยร้าวที่เกิดขึ้นภายใต้แรงดึง ลดการขยายตัวของรอยร้าว และดูดซับพลังงานภายในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตสามารถรักษาความสามารถในการรับแรงดึงได้ดีกว่าที่คาดหมายไว้ แม้ในขณะที่โครงสร้างรับแรงอัดเสื่อมลงอย่างมาก

ผลของปรากฏการณ์นี้ทำให้อัตราส่วนระหว่างกำลังรับแรงดึงต่อกำลังรับแรงอัด (tensile to compressive strength ratio) ของคอนกรีตผสม crumb rubber มีค่าสูงกว่าคอนกรีตธรรมชาติอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งในหลายกรณีพบว่ามีค่าสูงกว่าค่าอ้างอิงถึง 30-40% เมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติที่มักมีค่าเพียง 10-15% เท่านั้น สะท้อนให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงพฤติกรรมจากวัสดุประาไปสู่วัสดุที่มีความเหนียวสูงขึ้นอย่างชัดเจน

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตเม็ดยาง

Density	Compressive	Tensile
---------	-------------	---------

	(kg/m ³)	Strength (ksc)	Strength (ksc)
Control NC500	2688.86	308 - 321	
C500CRC25%	2581.73	237 - 243	
C500CRC30%	2560.30	181.92 - 237.00	74.69 – 77.45
C500CRC40%	2517.45	175.40 - 219.11	64.35 – 69.58
C350CRC20%	2555.15	187.97 - 208.84	67.43 – 72.06

สรุปผลการทดสอบคอนกรีตที่มีการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียด 25%(C500CRC25%), 30%(C500CRC30%), 40%(C500CRC40%) และ 20%(C350CRC20%) จะมีค่ากำลังอัด 23.69%(ลดลง), 33.41%(ลดลง), 37.29%(ลดลง) และ 36.92%(ลดลง) ตามลำดับ

4. บทสรุป

จากผลการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตเม็ดยางโดยการทดสอบกำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดึงแยก สามารถสรุปผลได้ดังนี้

4.1 ปริมาณของเม็ดยางนั้นส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต โดยเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเม็ดยางในการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดนั้นจะส่งผลให้ความสามารถของกำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงดึงแยก นั้นลดลง

4.2 จากผลการทดสอบพบว่าสัดส่วนลดลงที่น้อยที่สุดในกรณีของสัดส่วนการแทนที่ด้วยเม็ดยางบดละเอียดคือที่ 25% อยู่ที่ประมาณ 23.69% แต่เมื่อเทียบกับปริมาตร ระหว่างสัดส่วนของการแทนที่ด้วยเม็ดยาง 30% และ 40% ที่จะส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการรับแรงอัด มากกว่าคอนกรีตที่มี การแทนมวลรวมละเอียดที่ 25 % อยู่มาก

ดังนั้นสัดส่วนการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดที่ 25% นั้นเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดที่ดีที่สุดเพราะเมื่อเปรียบเทียบการใช้ยางเก่าบดละเอียดแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดระหว่าง 25% กับ 30% มีค่าความแตกต่างของกำลังรับแรงอัดที่ค่อนข้างมากถึงร้อยละ 9.72%

4.3 เนื่องจากในปัจจุบันมีความต้องการที่จะลดการใช้วัสดุธรรมชาติ และลดการปล่อยมลพิษ จึงเกิดเป็นแนวคิดที่ต้องการจะลดปริมาณการใช้ งานคอนกรีตในส่วนผสมลงในกรณีสำหรับการนำมาปรับใช้กับงานทางเท้าที่ไม่ได้ต้องการกำลังของคอนกรีตมากนักคือส่วนผสม C350CRC20%

จากผลการทดสอบส่วนผสมทั้งหมดข้างต้นนั้น งานวิจัยในครั้งนี้ได้มีการใช้ตัวแปรควบคุมของปริมาณน้ำในส่วนผสมที่เท่าเดิมกับอัตราส่วนผสมที่ยังไม่ได้ลดปริมาณคอนกรีตเพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของคอนกรีตผสมยางรถยนต์เก่าบดละเอียด สำหรับการปฏิบัติที่หน้างานที่จะส่งผลให้กำลังของคอนกรีตลดลงที่จะเป็นไปได้มากที่สุด และในแง่ของเพื่อความสะดวกต่อการปฏิบัติงานมากที่สุดที่สามารถในการเทพื้นทางเท้า โดยทั่วไปทางเท้า

คอนกรีต จะมีกำลังรับแรงอัดอยู่ที่ 140-210 ksc ประมาณ 14-21 MPa ขึ้นอยู่กับการใช้งานและมาตรฐานที่ใช้

มาตรฐานทั่วไปของกำลังอัดคอนกรีตสำหรับทางเท้า:

- งานทางเท้าทั่วไป (คนเดิน, จักรยาน) ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะต้องอยู่ในช่วง 140 - 175 ksc (14 - 17.5 MPa)
- ทางเท้าสำหรับยานพาหนะขนาดเล็ก (จักรยานยนต์, รถยนต์เล็ก) ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะต้องอยู่ในช่วง 175 - 210 ksc (17.5 - 21 MPa)
- พื้นที่ที่ต้องรับน้ำหนักสูง (เช่น บริเวณขนส่งสาธารณะ, ลานจอดรถบนทางเท้า) ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะต้องอยู่ในช่วงมากกว่า 210 ksc (21 MPa ขึ้นไป)

ดังนั้นจากผลการทดสอบทั้งหมด จากอัตราส่วนผสมดังกล่าวในกรณี C350CRC20% แม้ไม่ได้มีการลดปริมาณน้ำลง เมื่อมีการลดปริมาณของคอนกรีตลง พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Cylinder) ยังอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการนำวัสดุขยะยาง เหลือทิ้งนำกลับมาใช้ใหม่รวมถึงการลดปริมาณการใช้คาร์บอนให้เกิดประโยชน์ต่อสภาพแวดล้อมอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยจากสำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ขอบขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้อาณัติ วัสดุ สถานที่ เครื่องมือสำหรับใช้ในการทดสอบงานวิจัยครั้งนี้ และคอยให้คำปรึกษา งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงขอขอบคุณ ขวัญทางหลวง กรุงเทพฯ สำนักงานทางหลวงที่ 13 สำหรับพื้นที่ในการทดลองปูพื้นทางเท้า สำหรับเป็นแปลงทดสอบที่ใช้ในการทดสอบงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วง และติดตามผลต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Global Cement and Concrete Association. (2024). *Cement Industry Net Zero Progress Report 2024/25*. Global Cement and Concrete Association.
- [2] National Stone, Sand & Gravel Association. (2021). *The Aggregates Industry Greenhouse Gases: Low Emissions, High Resiliency*.
- [3] Gesoglu, M., Güneyisi, E., Khoshnaw, G., & Ipek, S. (2014). Investigating properties of pervious concretes containing waste tire rubbers. *Construction and Building Materials*, 63, 206–213. 673–678. (In case of Journal)
- [4] Noaman, A. T., Abu Bakar, B. H., & Akil, H. M. (2016). Experimental investigation on compression toughness of rubberized steel fibre concrete. *Construction and Building Materials*, 115, 163–170.

- [5] Ling, T. C., Nor, H. M., & Lim, S. K. (2010). Using recycled waste tyres in concrete paving blocks. *Proceedings of the ICE - Waste and Resource Management*, 163(1), 37–45
- [6] Aslani, F., & Gedeon, R. (2019). Experimental investigation into the properties of self-compacting rubberised concrete incorporating polypropylene and steel fibers. *Structural Concrete*, 20(1), 267–281.
- [7] ASTM C39. (2021). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *Annual Book of ASTM Standard*.
- [8] ASTM C496. (2017). Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens. *Annual Book of ASTM Standard*.
- [9] ASTM C192. (2015). Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory. *Annual Book of ASTM Standard*.
- [10] Ganjian, E., Khorami, M., & Maghsoudi, A. A. (2009). Scrap tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete. *Construction and Building Materials*, 23(5), pp.1828–1836.
- [11] Emiroglu, M., Kelestemur, M. H., & Yildiz, S. (2007). An investigation on ITZ microstructure of the concrete containing waste vehicle tire. *Proceedings of the 8th International Fracture Conference, Istanbul, Turkey*, 453–459.
- [12] Liu, H., Wang, X., Jiao, Y., & Sha, T. (2016). Experimental investigation of the mechanical and durability properties of crumb rubber concrete. *Materials*, 9(3), 172. <https://doi.org/10.3390/ma9030172>