การพัฒนาผิวทางคอนกรีตโดยใช้เม็ดยางจากเศษยางรถยนต์แทนที่วัสดุมวลรวมละเอียด

Development of Concrete Pavement with Crumb Rubber from Recycled Tire

ณัชพล ชูสาย[1,*] พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม[2] และ ธีวรา สุวรรณ[3]

[1,2,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

**Corresponding author; E-mail address: Nutchapon_ch@cmu.ac.th*

บทคัดย่อ

ชั้นผิวทางสามารถแบ่งตามลักษณะของผิวทางที่เป็นผิวทางแบบยืดหยุ่นและผิวทางคอนกรีต โดยผิวทางแบบยืดหยุ่น เช่น ผิวทางแอสฟัลส์ จะให้ความรู้สึกสบายในการขับขี่มากกว่า แต่ความทนทานและความแข็งแรงน้อยกว่าเมื่อเทียบกับผิวทางคอนกรีต โดยแนวทางที่สามารถพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้นคือคอนกรีตที่มีเม็ดยางเป็นส่วนประกอบ ซึ่งการนำเศษยางรถยนต์มาทำการบดละเอียดเพื่อใช้ทดแทนวัสดุมวลรวมตามธรรมชาติในคอนกรีตดังกล่าว ถือเป็นวัสดุหนึ่งที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น เนื่องจากเม็ดยางมีคุณสมบัติที่โดดเด่นในด้านความยืดหยุ่น ความโค้งงอได้ และการดูดซับพลังงาน จึงเป็นแนวทางที่จะทำให้พื้นผิวคอนกรีตมีความสบายได้ใกล้เคียงกับผิวทางแบบยืดหยุ่น งานวิจัยผิวทางคอนกรีตเม็ดยางนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตที่มีการใช้ปริมาณเม็ดยางในการแทนที่มวลรวมละเอียดในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 40 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียด จากการทดสอบขั้นต้นพบว่าปริมาณเม็ดยางที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตทำให้ความสามารถในการรับแรงอัด ความสามารถในการรับแรงดึงแยก และความสามารถในการรับแรงดัดของคอนกรีตนั้นลดลง แต่อย่างไรก็ตามสัดส่วนการแทนที่ของเม็ดยางที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานอยู่ที่ร้อยละ 10 ในการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดเนื่องจากส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลน้อยมากเมื่อเทียบกับสัดส่วนแทนที่อื่น อีกทั้งงานวิจัยนี้เป็นอีกหนึ่งการพัฒนาแนวทางการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเม็ดยาง เพื่อเพิ่มการใช้งานและมูลค่าทางเศรษฐกิจ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากเทคโนโลยีผิวทางคอนกรีต

คำสำคัญ: คอนกรีตเม็ดยาง, คุณสมบัติทางกล, ผิวทางคอนกรีต

Abstract

In general, pavement can be classified as rigid pavement (e.g., Concrete pavement) and flexible pavement (e.g., Asphaltic concrete pavement). The flexible pavement provides a more comfortable and softer driving impression than the rigid ones, however, it has some drawbacks of less durability and strength than regular rigid concrete. In fact, there are many approaches to enhancing the properties of concrete pavement to be more flexible and one among those is rubberized concrete. Rubberized concrete from recycled tires crumb rubber is one of the environmentally friendly materials that receive much more attention as a fine aggregate replacement in concrete. With its outstanding properties of rubber, e.g., flexibility, bendability and energy absorption, it could function to improve flexibility and more driving comfort for road users. This development of the rubberized concrete pavement was carried out by replacing crumb rubber of 10% 20% and 40% to fine aggregate (sand). The mechanical properties test found that the increasing amount of crumb rubber affected the mechanical properties of concrete, compressive strength tensile strength and flexural strength of the concrete are reduced. However, the replacement of crumb rubber 10% had a little effect on a mechanical properties compared the others. Furthermore, this rubberized mix design could also help to increase the usage, and the economic value, and reduce the environmental impact of concrete pavement technology.

Keywords: Rubberized Concrete, Mechanical Properties, Rigid Pavement

1. บทนำ

ในประเทศไทยการคมนาคมขนส่งทางถนนถือได้ว่าเป็นรูปแบบการคมนาคมหลักเนื่องจากประเทศไทยนั้นมีโครงข่ายการคมนาคมขนส่งทางถนนที่ครอบคลุมในเชิงพื้นที่ทั่วประเทศ สามารถเชื่อมโยงการคมนาคมขนส่งระหว่างเมืองต่างๆได้เป็นอย่างดี โดยพบว่าความยาวของถนนประเภทต่าง ๆ โดยไม่คำนึงถึงหน่วยงานรับผิดชอบ มีปริมาณมากถึง 702,567 กิโลเมตร [1] ถนนโดยทั่วไปนั้นสามารถแบ่งโครงสร้างชั้นทางได้ตามลักษณะผิวทาง ได้แก่ ผิวทางถนนลาดยางหรือแอสฟัลต์ (Flexible Pavement) และ ผิวทางถนนคอนกรีต (Rigid Pavement) ซึ่งทางหน่วยงานที่รับผิดชอบในการก่อสร้างถนนเส้นนั้น ๆ จะเป็นผู้ตัดสินใจเลือกโครงสร้างที่เหมาะสมตามสภาพการจราจรและการใช้งาน โดยถนน

คอนกรีตนั้นมีความต้องการเพิ่มขึ้นเนื่องจากผิวทางถนนคอนกรีตถือว่าเป็นผิวทางที่มีประสิทธิภาพสูงมีความแข็งแรง ทนทานต่อสารเคมีและทนทานต่อการใช้งาน อย่างไรก็ตามเนื่องจากวัสดุคอนกรีตนั้นเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติการหดและขยายตัวจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นรวมทั้งสภาพอากาศได้ง่าย โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมนั้นสามารถส่งผลให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีตที่มากกว่ากำลังดึงที่สามารถรับได้ของคอนกรีต ดังนั้นการก่อสร้างผิวทางถนนคอนกรีต ส่วนใหญ่จึงจะมีการทำรอยต่อ (Joints) และการเสริมเหล็กกันร้าว เพื่อลดปัญหาการแตกร้าว โดยบังคับให้คอนกรีตแตกร้าวในบริเวณที่กำหนด ทำให้การก่อสร้างถนนผิวทางชนิดคอนกรีตนี้มีระยะเวลาก่อสร้างทั่วไปที่มากกว่าผิวทางลาดยาง นอกจากระยะเวลาการก่อสร้างที่มากกว่าแล้วนั้น ความรู้สึกในการขับขี่ที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างผิวทางทั้งสองชนิดนั้น เป็นผลมาจากสมบัติของคอนกรีตที่มีความแข็งแรงสูงและรอยต่อที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง ดังนั้นหากสามารถเพิ่มความเหนียว เพิ่มความยืดหยุ่น ลดการใช้เหล็กเสริมและเพิ่มระยะรอยต่อของผิวทางคอนกรีตได้นั้นจะเป็นการพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่สามารถตอบโจทย์ด้านการใช้งานได้อย่างยั่งยืน

วัสดุก่อสร้างที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายอย่าง คอนกรีต นั้นคือวัสดุผสมที่ประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์, น้ำ, และมวลรวม (ทั้งมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด) สำหรับโครงสร้างของถนนชนิดผิวทางคอนกรีตนั้น มักประกอบไปด้วย ชั้นดินเดิม, ชั้นดินบดอัด และชั้นผิวคอนกรีต ซึ่งในการก่อสร้างผิวทางคอนกรีตจะมีการเสริมเหล็กอุณหภูมิหรือเหล็กกันร้าว โดยการใช้ปูนซีเมนต์และเหล็กเป็นจำนวนมากย่อมส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมที่มีความเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตและการใช้งาน โดยในการผลิตและใช้งานปูนซีเมนต์ 1 กิโลกรัม จะมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ถึง 0.9 กิโลกรัม [2]

ปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุนี้มักเกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุทดแทน วัสดุแทนที่ รวมไปถึงวัสดุผสมเพิ่มเพื่อลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์หรือทดแทนวัสดุที่ขาดแคลนในท้องถิ่นนั้น โดยวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม หรือวัสดุรีไซเคิลจากภาคอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ถูกนำมาศึกษาวิจัยพัฒนาให้สามารถใช้งานจริงมากขึ้น โดยล้อยางเป็นองค์ประกอบหนึ่งของยานพาหนะที่ใช้ในการคมนาคมทางถนนเนื่องจากยางเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติเด่นในด้านของความยืดหยุ่น ความสามารถในการดัดงอ ความสามารถในการดูดซับแรงและพลังงานคุณสมบัติของยางนั้นช่วยลดแรงกระแทก และสั่นสะเทือนจากพื้นถนนถึงตัวรถซึ่งเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความสบาย และความปลอดภัยแก่ผู้ขับขี่ ปัจจุบันความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์ยางสูงขึ้นเรื่อย ๆ ส่งผลให้ขยะยางนั้นสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วยเช่นกัน การจัดการกับขยะยางเหล่านี้ถือเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก กระบวนการย่อยสลายยางตามธรรมชาติใช้ระยะเวลานานส่งผลให้ผลิตภัณฑ์จากยางเก่าเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมจึงต้องมีแนวทางในการกำจัดขยะยางอย่างถูกวิธี โดยการทำให้ขยะยางนั้นสามารถกลับมามีประโยชน์ได้อีกครั้ง โครงสร้างของล้อยางมีส่วนประกอบสำคัญคือ เนื้อยาง โครงยาง และขอบลวด โดยการแปรรูปยางที่เป็นส่วนประกอบหลักให้เป็นผงแล้วนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนมวลรวมในคอนกรีตถือเป็นแนวทางในการจัดการกับปัญหาขยะยางที่ทำได้ง่ายและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในปี 2014 กลุ่มนักวิจัยนำโดย Gesoglu และคณะ [3] พบว่าการเปลี่ยนแปลงของโมดูลัสความยืดหยุ่นและกำลังรับแรงอัด มีความสัมพันธ์กับการเติมเม็ดยางลงในคอนกรีตที่สามารถลดโมดูลัสความยืดหยุ่นลงเป็นอย่างมาก เนื่องจากความสามารถในการรับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง ซึ่งได้ข้อสรุปว่าโมดูลัสความยืดหยุ่นจะลดลงถึงร้อยละ 17 – 25 สำหรับกรณีที่มีเม็ดยางแทนที่วัสดุมวลรวมหยาบที่ร้อยละ 5 –10 โดยปริมาตรมวลรวมหยาบ และสำหรับสำหรับกรณีที่มีเม็ดยางแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดที่ร้อยละ 18 – 36 โดยปริมาตรมวลรวมละเอียด ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของการใช้คอนกรีตเม็ดยาง จึงไม่ควรใช้เม็ดยางแทนที่มวลรวมในปริมาณที่เกินความเหมาะสม เพราะนอกจากโมดูลัสความยืดหยุ่นที่ลดลงแล้วกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตก็ลดลงอย่างมากเช่นกัน [4]

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้จะดำเนินการพัฒนาวัสดุต้นแบบคอนกรีตเม็ดยางสำหรับงานก่อสร้างผิวทางถนนแบบแข็งที่ปราศจากการเสริมเหล็กแบบดั้งเดิม (JPCP) โดยการนำวัสดุเหลือใช้จำพวกขยะยางมาใช้ในการบดละเอียด (Crumb Rubber) เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

2. วัสดุและวิธีการดำเนินงานวิจัย

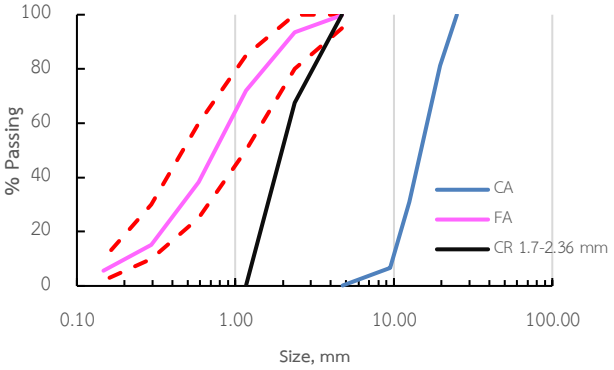
2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

2.1.1 ปูนซีเมนต์

วัสดุที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกชนิดใช้งานทั่วไป (GU) มีส่วนประกอบจากปูนเม็ด ยิปซั่ม ส่วนประกอบแคลเซียมและสารเพิ่มความแข็งแรง ทำให้กำลังอัดสูง เหมาะสำหรับงานโครงสร้างต้องการแข็งแรงทนทาน อีกทั้งยังเป็นปูนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2.1.2 วัสดุมวลรวม

วัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate, CA) ที่มีขนาดโตสุด 19.05 มิลลิเมตร (3/4") ความถ่วงจำเพาะ 2.60 และวัสดุมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate, FA) มีค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M) 2.8 ค่าของความถ่วงจำเพาะในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งเท่ากับ 2.59 วัสดุมวลรวมละเอียด และวัสดุมวลรวมหยาบที่มีลักษณะการกระจายตัวตามที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขนาดคละของมวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด และเม็ดยาง

2.1.3 เม็ดยางบดละเอียด

เม็ดยางบดละเอียด (Crumb Rubber, CR) มีองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 1 โดยเป็นเม็ดยางที่ได้จากการรีไซเคิลขยะยางยางรถยนต์ มีขนาดเม็ดยาง 1.70 - 2.36 มิลลิเมตรค่าความถ่วงจำเพาะในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งเท่ากับ 1.09 การกระจายตัวของเม็ดยางบดละเอียดแสดงในรูปที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดยาง Crumb Rubber

Chemical Name	Percentage
Recycled Tire Rubber Powder	74.0
Naphthenic/ Aromatic Extender Oil	2.0
Carbon Black	16.7
Talc	5.0
Zinc Oxid	2.0
Sulphur	0.3

รูปที่ 2 เม็ดยางบดละเอียดขนาด 1.70 - 2.36 มิลลิเมตร

2.1.4 สารผสมเพิ่ม

สารผสมเพิ่มชนิดลดน้ำพิเศษ (Superplasticizer) ประเภท Naphthalene Sulfonate ที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการไหลให้กับคอนกรีตโดยไม่ต้องมีการเพิ่มน้ำเพื่อให้ง่ายต่อการเทและการแต่งผิวอีกทั้งลดความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดการแยกตัวระหว่างมวลรวมกับปูนซีเมนต์ (Segregation)

2.2 สัดส่วนผสมคอนกรีต

ออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตตาม ACI สัดส่วนของการออกแบบคอนกรีตแรงอัดไม่ต่ำกว่า 350 kg/cm^2 (ทรงกระบอก) ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยทำการออกแบบค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดที่ 7.5± 2 ซม. และใช้เม็ดยางบดละเอียดในการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดร้อยละ 10, 20, 40 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียด ทำการผสมโดยใช้เครื่องช่วยผสมโดยการทำการผสมในอัตราเร็วคงที่ไม่เกิน 30 รอบ/นาทีแล้วทำการหล่อตัวอย่างขนาด 200 x 100 มม. (ความสูง x เส้นผ่านศูนย์กลาง) ในการทดสอบกำลังอัด การทดสอบกำลังรับแรงดึงแยก และตัวอย่างขนาด 150x150x500 มม. (กว้าง x ยาว x สูง) การทดสอบกำลังรับแรงดัดคานคอนกรีต โดยในทุกสัดส่วนภายหลังจากทำการหล่อคอนกรีตในแบบทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงแล้วนำไปบ่มในน้ำสะอาดจนครบอายุการทดสอบ

ตารางที่ 2 สัดส่วนผสมคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

Mix	ปูนซีเมนต์	น้ำ	มวลรวมหยาบ	มวลรวมละเอียด	เม็ดยางบดละเอียด	SP (L/m^3)
Control	417	186	987	791	-	2.5
R-10	417	186	987	712	18	2.5
R-20	417	186	987	633	36	2.5
R-40	417	186	987	475	72	2.5

2.3 การเตรียมเม็ดยางบดละเอียด

ในการเติมเม็ดยางลงในส่วนผสมของคอนกรีตต้องมีการคำนึงถึงความเป็นเนื้อเดียวกันของเม็ดยางและคอนกรีตเนื่องจากความแตกต่างของคุณสมบัติของปริมาตรของเม็ดยางและวัสดุมวลรวมที่มีความแตกต่างกันจึงต้องมีการนำเม็ดยางแช่ในน้ำอย่างน้อย 24 ชั่วโมงเพื่อให้เม็ดยางอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) แล้วจึงนำเม็ดยางเข้าผสมกับคอนกรีต [5]

2.4 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

2.4.1 ทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตสด

ในการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตสดเพื่อหาค่าข้นเหลวของคอนกรีตเม็ดยางนั้นทำการทดสอบโดยใช้การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump Test) ตามมาตรฐาน ASTM C143 [6]โดยการวัดค่าที่ได้จากการทดสอบการยุบตัวคอนกรีต และการทดสอบโดยใช้โต๊ะการไหล (Flow test) ตามมาตรฐาน ASTM C124 [7] โดยการวัดค่าการกระจายของคอนกรีตที่ได้จากการใช้โต๊ะการไหลมาตรฐานซึ่งถูกยก และปล่อยให้ลงเป็นระยะ 12.7 มิลลิเมตร เป็นจำนวน 15 ครั้งภายใน 15 วินาทีทำให้คอนกรีตกระจายแผ่ไปรอบด้านทำการวัดหาค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีตที่กระจายออกไปแล้วหาค่าการไหลแผ่ได้ตามสมการที่ (1)

$$\text{Flow}(\%) = \frac{D - D_0}{D_0} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ D_0 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเดิมของคอนกรีตที่ฐาน
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีตที่แผ่กระจายออก

2.4.2 ทดสอบคุณสมบัติคอนกรีตแข็งตัว

ในการทดสอบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตแข็งตัวแล้วนั้นทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด การทดสอบกำลังดึงแยก และการทดสอบกำลังรับแรงดัดคานคอนกรีต โดยตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอก 3 ตัวอย่างขนาด 200 x 100 มม. (ความสูง x เส้นผ่านศูนย์กลาง) ที่อายุคอนกรีต 3, 7 และ 28 วันในการทดสอบกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึงแยกตามมาตรฐาน ASTM C39 [6] และ ASTM C496 [8] ตามลำดับ และตัวอย่างคานขนาด 150x150x500 มม. (กว้าง x ยาว x สูง) [9] 3 ตัวอย่างที่อายุคอนกรีต 28 วันทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 192 [10]

3. ผลการทดสอบ

3.1 คุณสมบัติของคอนกรีตสด

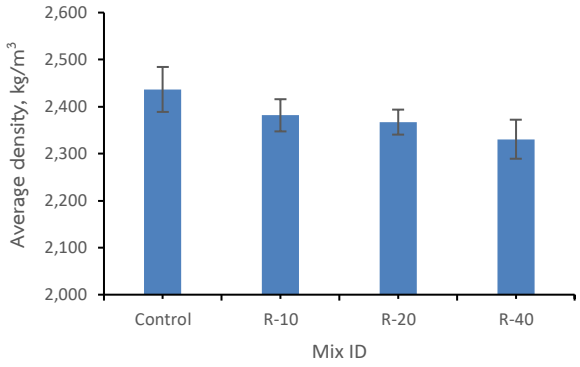
จากการทดสอบคุณสมบัติความข้นเหลวของคอนกรีตสดเพื่อศึกษาถึงความสามารถในการทำงานได้โดยได้มีการออกแบบค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ 7.5± 2 ซม. โดยเมื่อมีการใช้สารลดน้ำพิเศษ Type F พบว่าค่าการยุบตัวของคอนกรีตนั้นเท่ากับ 12 ซม. และมีอัตราการไหลแผ่ที่ 37% โดยเมื่อมีการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดด้วยเม็ดยางบดละเอียดพบว่าความสามารถในการทำงานได้จากการทดสอบค่าการยุบตัว รวมไปถึงการทดสอบสอบการไหลแผ่นั้นเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 3 โดยเมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบค่าการยุบตัวนั้นพบว่าคอนกรีตเม็ดยางนั้นมีลักษณะของความข้นเหลวอยู่ในสภาวะเปียก และเมื่อพิจารณาจากค่าอัตราการไหลแผ่คอนกรีตเม็ดยางนั้นมีลักษณะของความข้นเหลวปานกลาง[11]

ตารางที่ 3 ความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตสด

Mix.	SP (L/m³)	Slump (cm)	Flow (%)
Control	2.5	12	37
R10	2.5	13	68
R20	2.5	14	71
R40	2.5	16	71

3.2 หน่วยน้ำหนัก

ในการหาค่าความหนาแน่นของคอนกรีตนั้นทำโดยการวัดปริมาตรของตัวอย่างทดสอบโดยพบว่าการใช้เม็ดยางในการแทนที่มวลรวมละเอียดนั้นส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตผสมยางนั้นลดลงกว่าคอนกรีตทั่วไป โดยเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ ของเม็ดยางเพิ่มขึ้นความหนาแน่นของคอนกรีตเม็ดยางจะลดลง ความหนาแน่นของคอนกรีตขึ้นอยู่กับปริมาณ ช่องว่างของอากาศ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของมวลรวม โดยการเพิ่มปริมาณยาง ในคอนกรีตจะเพิ่มปริมาณช่องว่างอากาศซึ่งลดความหนาแน่น (หน่วยน้ำหนัก) ของคอนกรีต [12] จากผลการการทดสอบรูปที่ 4 และตารางที่ 4 พบว่าคอนกรีตเม็ดยางมีค่าความหนาแน่นลดลง 2.3%, 2.9% และ 4.3% ของค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตควบคุม



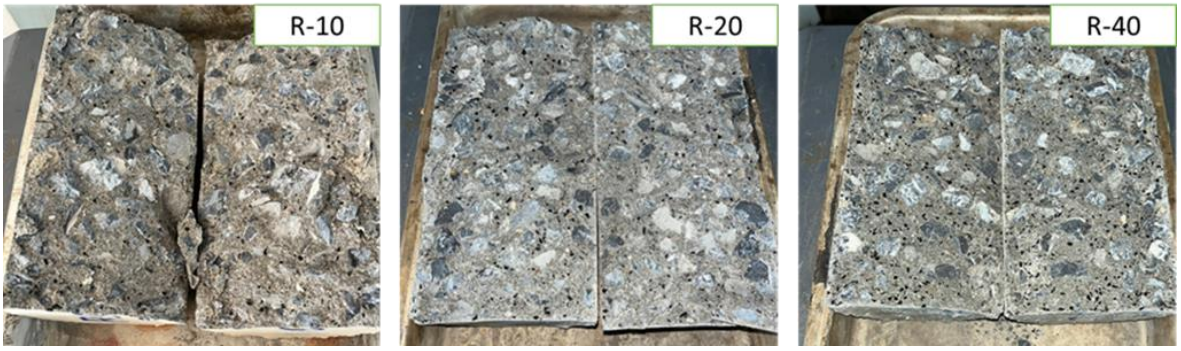
รูปที่ 4 หน่วยน้ำหนักคอนกรีตอายุ 28 วัน

3.3 กำลังรับแรงอัด

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตจากตัวอย่างทดสอบทรงกระบอกที่อายุ 3, 7 และ 28 วันผลการทดสอบพิจารณาจากรูปที่ 5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ 28 วันของคอนกรีตควบคุมอยู่ที่ 354.1 ksc โดยพบว่าการใช้เม็ดยางบดละเอียดในการแทนที่มวลรวมละเอียดในสัดส่วน 10%, 20% และ 40% นั้นส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง 6% 28% และ 38% ตามลำดับโดยการลดลงของกำลังรับแรงอัดที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจาก ITZ ที่เกิดขึ้นที่ผิวระหว่างเม็ดยางและซีเมนต์เพสต์ [13] ซึ่งเป็นความพรุนที่เกิดขึ้นโดยรอบบริเวณของคอนกรีตเม็ดยาง

3.4 กำลังดึงแยก

ผลการทดสอบกำลังดึงแยกคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 7 แสดงถึงกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตนั้นลดลงเมื่อมีการใช้เม็ดยางในการแทนที่มวลรวมละเอียดในทุกสัดส่วนโดยการลดลงของกำลังรับแรงดึงของคอนกรีตแสดงในตารางที่ 4 นั้นอยู่ที่ 3.6%, 7.2% และ 20% เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตควบคุม



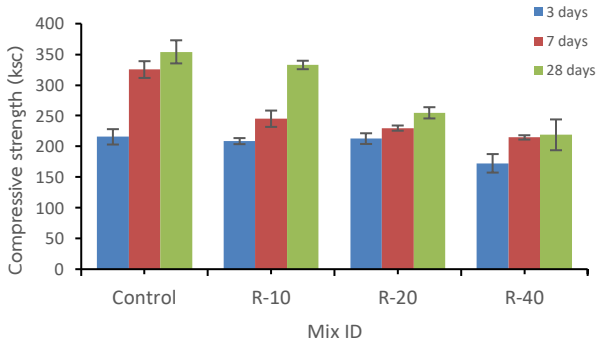
รูปที่ 3 การกระจายตัวของเม็ดยางในแต่ละสัดส่วนการแทนที่ของเม็ดยาง

3.5 กำลังรับแรงดัด

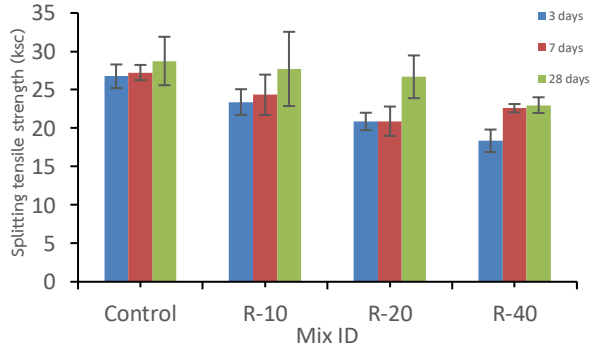
ผลจากการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตในแต่ละสัดส่วนผสมแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 7 แสดงถึงค่าของกำลังรับแรงดัดที่ลดลงเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณเม็ดยางที่ใช้ในการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดโดยการลดลงของกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตที่ลดลงนั้นเป็นผลจากพันธะระหว่างเม็ดยางกับซีเมนต์เพสต์ในส่วนของ ITZ ที่ส่งผลให้กำลังรับแรงดัดนั้นลดลงแต่อย่างก็ตามจากการสังเกตลักษณะการพังในระหว่างการทดสอบพบว่าคอนกรีตเม็ดยางจะมีความเหนียวมากกว่าคอนกรีตปกติที่จะมีลักษณะการพังแบบเปราะ

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตเม็ดยาง

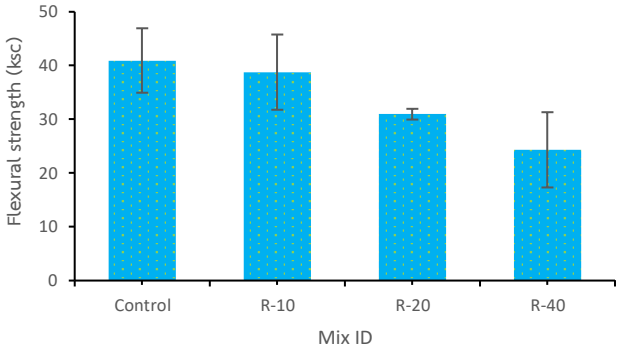
	Density (kg/m^3)	Compressive Strength (ksc)	Tensile Strength (ksc)	Flexural Strength (ksc)
Control	2437	354.1	28.7	40.9
R-10	2382	332.7	27.7	38.7
R-20	2367	254.7	26.7	30.9
R-40	2331	218.9	23.0	24.3



รูปที่ 5 กำลังรับแรงอัดคอนกรีตปกติและคอนกรีตเม็ดยางที่อายุ 3 7 และ 28 วัน



รูปที่ 6 กำลังรับดึงแยกคอนกรีตปกติและคอนกรีตเม็ดยางที่อายุ 3 7 และ 28 วัน



รูปที่ 7 กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตแต่ละสัดส่วนผสมที่ 28 วัน

4. บทสรุป

จากผลการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตเม็ดยางโดยการทดสอบกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึงแยก และกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตเม็ดยางสามารถสรุปผลได้ดังนี้

4.1 ปริมาณมาณของเม็ดยางนั้นส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตโดยเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเม็ดยางในการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดนั้นจะส่งผลให้ความสามารถของกำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึงแยก รวมไปถึงความสามารถในการรับแรงดัดของคอนกรีตนั้นลดลง

4.2 การเพิ่มปริมาณเม็ดยางบดละเอียดในการแทนที่มวลรวมละเอียดนั้นสามารถช่วยลดหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลงได้โดยลดลง 2.3%, 2.9% และ 4.3% ของค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตควบคุมตามลำดับ

4.3 คอนกรีตเม็ดยางที่มีการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียด 10% จะมีค่ากำลังอัด กำลังรับแรงดึงแยก รวมไปถึงความสามารถในการรับแรงดัดลดลง 6%, 3.6%, 5.3% ตามลำดับซึ่งเป็นสัดส่วนที่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณสัดส่วนของการแทนที่ด้วยเม็ดยาง 20% และ 40% ที่จะผลต่อการลดลงของความสามรถในการรับแรงอัด แรงดึงแยก และแรงดัดมากกว่าคอนกรีตที่มีการแทนมวลรวมละเอียดที่ 10 %

สัดส่วนการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดที่ 10% นั้นเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดของงานผิวทางคอนกรีตคือเนื่องจากคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตนั้นผ่านตามมาตรฐานงานผิวจราจรคอนกรีต [14] อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการนำวัสดุขยะยางเหลือทิ้งนำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ต่อสภาพแวดล้อมอย่างยั่งยืน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัท ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด (CPAC) ที่ให้ความอนุเคราะห์ สารลดน้ำพิเศษและค่อยให้คำปรึกษาจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา และศูนย์วิศวกรรมโยธา และฐานรากระบบรางขั้นสูงมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่อนุเคราะห์เครื่องมือสำหรับใช้ในการทดสอบงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร สำนักแผนความปลอดภัย กระทรวงคมนาคม. (2563). *รายงานการวิเคราะห์สถานการณ์อุบัติเหตุทางถนนของกระทรวงคมนาคม*, หน้า 1-4.

[2] Malhotra VM (2002). Introduction Sustainable development and concrete technology. ACI Concrete International, 7-24

[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.

[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] 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.

[6] ASTMC 143. (2015). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete ASTM International*. USA. Annual Book of ASTM Standard.

[7] ASTM C124. (1971). *Standard test method of Test for Flow of Portland-Cement Concrete by Use of the Flow Table*. Annual Book of ASTM Standard.

[8] ASTM C39. (2021). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Annual Book of ASTM Standard.

[9] ASTM C496. (2017). *Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens*. Annual Book of ASTM Standard.

[10] ASTM C78. (2002). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)ASTM International*. USA. Annual Book of ASTM Standard.

[11] ASTM C192. (2015). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*. Annual Book of ASTM Standard.

[12] 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.

[13] M. Emiroglu, M.H. Kelestemur, S. Yildiz. (2007). An investigation on ITZ microstructure of the concrete containing waste vehicle tire, in: 8th *International Fracture Conference*, Istanbul,

[14] กรมทางหลวงชนบท. (2562). *รายงานฉบับสมบูรณ์: มาตรฐานผิวทางจราจรคอนกรีต (Concrete Pavement).* กรมทางหลวงชนบท, กระทรวงคมนาคม.