

ST-013

คุณสมบัติคอนกรีตพูนจากเศษยางรถยนต์เก่า

Properties of Pervious Concrete with Shredded Waste Tire Rubber

ทวีศักดิ์ วังไพศาล^{1,*}, เฉลิมศักดิ์ กระโพธิ์², ณัฐชญาภา รวยดี³ และ ตรีสสุวรรณ เนืองนนท์⁴

Thaveesak Vangpaisal^{1,*}, Chaleamsuk Grapho², Natchayapa Ruaidee³

and Treesuwan Nueangnan⁴

^{1,2,3,4}ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

^{1,2,3,4}The Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchathani University

*Corresponding author's e-mail: hksubu@gmail.com

บทคัดย่อ

เศษยางรถยนต์เก่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีปริมาณมากและมีความคงทนสิ่งแวดล้อม จึงมีปัญหาในการกำจัด บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำเศษยางรถยนต์เก่าที่สับเป็นชิ้นเล็กๆ มาใช้แทนที่มวลรวมหยาบบางส่วนในคอนกรีตพูน โดยศึกษาผลของปริมาณเศษยางที่มีต่อสมบัติของคอนกรีตพูน โดยมีอัตราส่วนการแทนที่มวลรวมหยาบด้วยเศษยางรถยนต์เก้าร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 โดยน้ำหนักของมวลรวมทั้งหมด ใช้เศษยางรถยนต์เก่าขนาด 2.00 – 4.75 มิลลิเมตร (ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ค้างตะแกรงเบอร์ 10) กำหนดส่วนผสมให้มีปริมาณเพสต์ ร้อยละ 15 ในทุกตัวอย่าง ผลการทดสอบพบว่า กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตพูนที่อายุ 28 วัน อยู่ในช่วง 6.31 ถึง 83.76 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยกำลังรับแรงอัดจะมีค่าลดลงเมื่อมีปริมาณเศษยางที่ผสมเพิ่มขึ้น โดยตัวอย่างที่มีเศษยางร้อยละ 15-25 มีกำลังรับแรงอัดลดลงมากกว่าร้อยละ 50 ของตัวอย่างปกติที่ไม่ผสมเศษยาง ค่าความพูนของคอนกรีตพูนอยู่ในช่วงร้อยละ 9.17 ถึง 16.18 และมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีปริมาณการผสมเศษยางเพิ่มขึ้น ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำ (k) มีค่าอยู่ในช่วง 0.007-0.016 เมตรต่อวินาที โดยค่า k จะลดลงเมื่อมีปริมาณเศษยางที่ผสมเพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่มีเศษยางตั้งแต่ร้อยละ 15 ขึ้นไป จะมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ใน ACI 522R-10 ซึ่งอาจจะไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานคอนกรีตพูนที่ต้องการการระบายน้ำสูง การใช้เศษยางรถยนต์เก่าแทนที่มวลรวมหยาบในการผลิตคอนกรีตพูนในอัตราร้อยละ 5-10 ของมวลรวมหยาบ จะทำให้คอนกรีตพูนยังคงมีสมบัติทางวิศวกรรมที่เพียงพอในการรับแรงอัด และมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำที่ยังใช้งานในการระบายน้ำได้

คำสำคัญ: คอนกรีตพูน เศษยางรถยนต์เก่าสับ ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำ

ABSTRACT

Waste tire rubber is a major environmental concern due to its large volume and slow degradation. This study investigates the use of shredded waste tire rubber as a partial replacement for coarse aggregate in pervious concrete. The objective is to evaluate the effects of waste tire rubber content on the properties of pervious concrete. Waste tire rubber particles sized between 2.00 and 4.75 mm (passing sieve No. 4 and retained on sieve No. 10) were used to replace coarse aggregate at proportions of 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% by weight of total aggregate. The paste content was maintained at 15% for all mixtures. The 28-day compressive strength of the specimens ranged from 6.31 to 83.76 kg/cm², showing a decreasing trend with increasing waste tire rubber content. Mixtures with 15–25% waste tire rubber exhibited a reduction in compressive strength of more than 50% compared to the control mix. The measured porosity ranged from 9.17% to 16.18% and tended to decrease with higher waste tire rubber replacement levels. The water permeability coefficient (k) varied between 0.007 and 0.016 m/s, with lower values observed as the waste tire rubber content increased. Mixtures containing 15% or more waste tire rubber fell below the permeability criteria specified in ACI 522R-10, suggesting they may be unsuitable for applications requiring high drainage capacity. However, replacing 5–10% of coarse aggregate with shredded waste tire rubber still provides pervious concrete with acceptable compressive strength and adequate water permeability, making it a viable option for sustainable construction.

Keywords: Pervious concrete, Shredded waste tire rubber, Compressive strength,

Water permeability coefficient

บทนำ

ปัจจุบันมีน้ำท่วมขังตามพื้นผิวที่เป็นคอนกรีต เนื่องจากพื้นที่ที่ปูผิวด้วยคอนกรีตนั้นไม่สามารถระบายน้ำได้ จึงทำให้เกิดการทึบน้ำเมื่อเวลามีฝนตกหนักหรือจากการใช้น้ำอุปโภค จะทำให้เกิดการท่วมขังและการไหลนองของน้ำ ด้วยเหตุดังนี้จึงต้องมีการระบายน้ำออกจากพื้นที่นั้นๆ แนวคิดหนึ่งในการแก้ไขปัญหาที่ท่วมขังคือการทำให้พื้นผิวคอนกรีตมีความสามารถระบายน้ำได้ โดยการทำเป็นคอนกรีตพรุนที่มีความสามารถใน

การระบายน้ำได้ดี America Concrete Institute (ACI) ได้จัดทำรายงานเกี่ยวกับคอนกรีตพูน (ACI 522R 2010) โดยรายงานนี้ให้ข้อมูลทางเทคนิคเกี่ยวกับการใช้งานคอนกรีตพูน วิธีการออกแบบ วัสดุ คุณสมบัติ การแบ่งสัดส่วนของส่วนผสม วิธีการก่อสร้าง การทดสอบ และการตรวจสอบ เพื่อเป็นแนวทางการตรวจสอบ คุณสมบัติและการใช้งานคอนกรีตพูน ตัวอย่างการศึกษาการทำคอนกรีตพูน ได้แก่ ธรรมบุญ โสมะพันธ์ อัมรินทร์ รามไชย และ ยาโกบ หิมะหมัด. (2552) และณัดกิจ ชาริรัตน์ ปริญญา จินดาประเสริฐ และ Shigemitsu Hatanaka. (2551) และมีการศึกษาถึงการผลิตคอนกรีตพูนโดยใช้จีโอพอลิเมอร์เป็นวัสดุเชื่อมประสาน (Sata, Wongsas and Chindaprasirt 2013; Tho-in, Chindaprasirt and Jaturapitakkul 2012) อีกด้วย

นอกจากนั้น ปัจจุบันยังมีปัญหาจากภาวะโลกร้อนที่เกิดจากมลพิษหรือวัสดุเหลือทิ้งที่มีปริมาณมาก การใช้เศษวัสดุเก่าซึ่งใช้ประโยชน์ไม่ได้แล้วกลับมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่หรือการรีไซเคิลวัสดุ (Material recycling) ยังได้รับการยอมรับมากขึ้นในปัจจุบัน เพราะนอกจากช่วยแก้ไขปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อมได้ดีจากการทำให้ปริมาณขยะและย่อยสลายยากลดลงแล้ว ยังได้ผลิตภัณฑ์ใหม่หมุนเวียนกลับมาใช้ได้ เช่น ขวดพลาสติก ถังพลาสติก วัสดุอันตราย และยางรถยนต์ เป็นต้น วันชัย สะตะ (2556) ได้ศึกษาการนำเศษวัสดุมาใช้เป็นมวลรวมหยาบในงานคอนกรีตพูน โดย ทำการศึกษาสมบัติของคอนกรีตพูนที่ใช้เศษวัสดุจากเศษคอนกรีตหลากหลายชนิดเปรียบเทียบกับ จะเห็นได้ถึงทางเลือกของการใช้วัสดุเหลือทิ้งในการผลิตคอนกรีตพูนได้

ในประเทศไทยมีปริมาณการจำหน่ายยางรถยนต์ภายในประเทศในปี 2559 ปริมาณสูงถึง 176 ล้านเส้น (สถาบันพลาสติก 2561) ทำให้มียางรถยนต์เก่าที่เป็นของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละปีในปริมาณมากด้วย เนื่องจากยางรถยนต์เป็นวัสดุที่มีความคงทนสูง ทำให้เป็นปัญหาในการกำจัดด้วยวิธีการที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ยางรถยนต์เก่าบางส่วนถูกนำไปใช้งาน ได้แก่ การนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใช้สอย สำหรับใช้ประโยชน์ การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมซีเมนต์ อุตสาหกรรมกระดาษ และการผลิตกระแสไฟฟ้า การนำไปทำให้สลายตัวทางความร้อนเพื่อให้ได้น้ำมัน การแปรรูปเป็นยางผงเพื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ การนำไปผสมกับยางมะตอยเพื่อใช้ทำถนน เป็นต้น (พงษ์ธร แซ่ฮุย 2555) นอกจากนี้ ยังมีการนำยางรถยนต์เก่ามาเป็นวัสดุเสริมกำลังของกำแพงกันดิน การนำยางรถยนต์เก่ามาบดเป็นเป็นชั้นหรือผงเพื่อเป็นวัสดุทดแทนหรือวัสดุผสมสำหรับงานทาง (Federal Highway Administration 2008) อย่างไรก็ตาม ยังมียางรถยนต์เก่าที่เหลือเป็นของเสียที่ต้องกำจัดทิ้งอยู่เป็นจำนวนมาก การหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากยางรถยนต์เก่าในรูปแบบต่างๆ จะมีส่วนช่วยในการแก้ปัญหาการจัดการของเสีย ทำให้เกิดผลดีต่อสิ่งแวดล้อมและเกิดประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจอีกทางหนึ่งด้วย

จากปัญหาที่กล่าวมา จึงได้คิดปรับเปลี่ยนจากคอนกรีตพูนธรรมดาที่มีหินเป็นมวลรวมหยาบเป็นคอนกรีตพูนที่มีส่วนผสมจากของเหลือใช้ที่เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อม โดยการนำเศษรถยนต์เก่าที่สับเป็น

ขึ้นเล็ก ๆ แล้ว มาเป็นส่วนผสมที่ใช้แทนมวลรวมหยาบบางส่วน โดยศึกษาถึงผลของปริมาณเศษยางรถยนต์เก่าต่อคุณสมบัติหลักของคอนกรีตพูนคือ กำลังรับแรงอัด และค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาการใช้ประโยชน์จากเศษยางรถยนต์ต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตพูนที่ใช้เศษยางรถยนต์เก่าเป็นส่วนผสมทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วน
2. เพื่อหาอัตราส่วนการแทนที่มวลรวมหยาบด้วยเศษยางรถยนต์เก่าที่เหมาะสมในการผลิตเป็นคอนกรีตพูน

กรอบแนวคิดการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับกำลังรับแรงอัด การทดสอบหาความพรุนของคอนกรีตพูนและทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำ โดยการใช้เศษยางรถยนต์เก่าสับ มาใช้เป็นส่วนมวลรวมหยาบทดแทนหินในปริมาณต่างๆ กัน ซึ่งแนวคิดการศึกษาเป็นดังภาพที่ 1

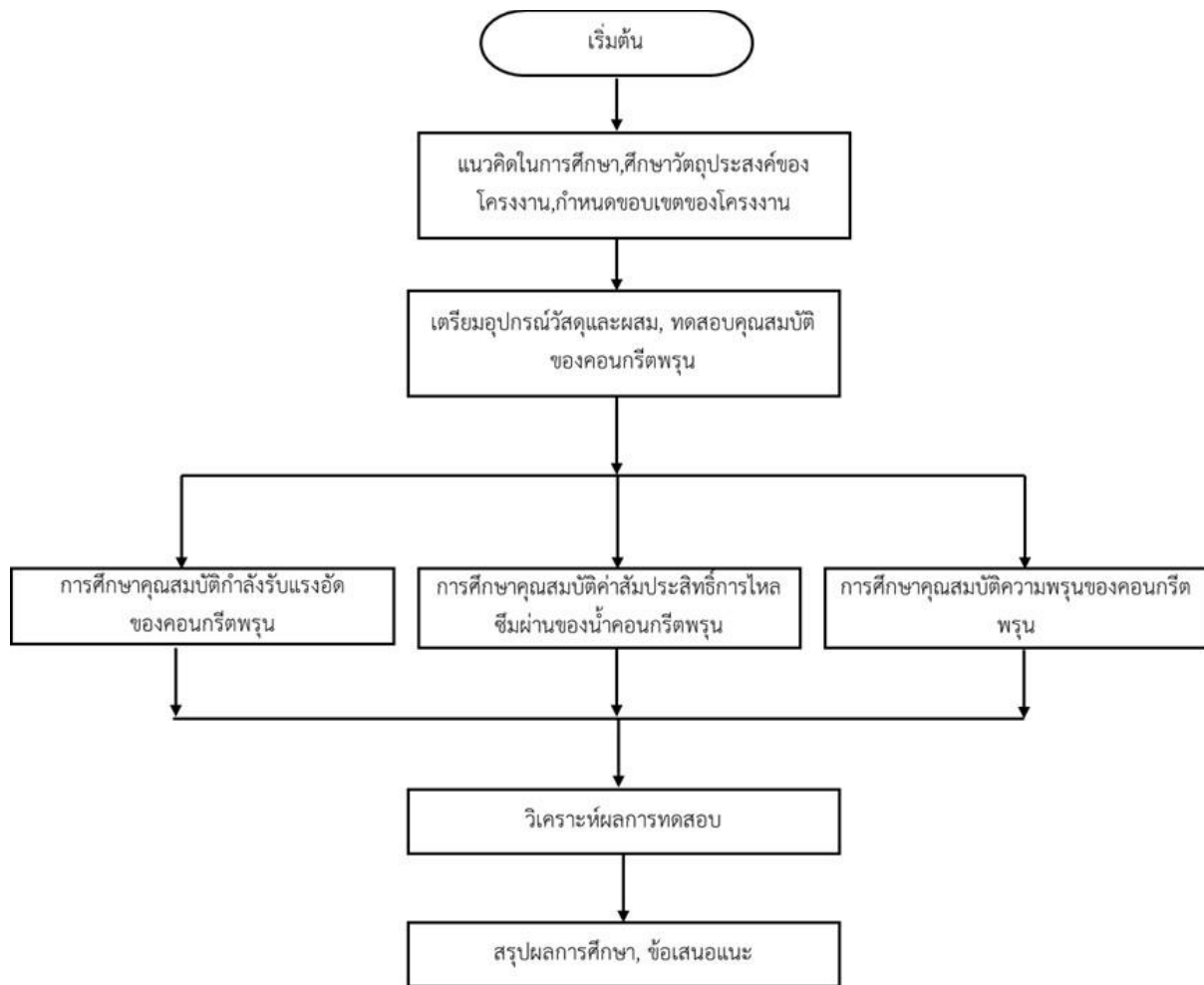
วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.80-2517 โดยเป็นปูนซีเมนต์ที่ใหม่ ไม่จับตัวเป็นก้อน บรรจุแยกไว้ในถุงพลาสติก และชั่งน้ำหนักเตรียมไว้ก่อนการผสมคอนกรีต
2. มวลรวมหยาบเป็นหินบะซอลต์จากโรงโม่หิน นำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8 ค้างตะแกรงเบอร์ 4 และมวลรวมหยาบที่เป็นเศษยางรถยนต์เก่าบดย่อย สั่งซื้อจากผู้ผลิตที่ได้คัดขนาดไว้แล้ว โดยใช้ขนาดที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 10 ผ่านตะแกรงเบอร์ 4

การหล่อตัวอย่างคอนกรีตพูน

1. เตรียมหิน และชิ้นส่วนเศษยางรถยนต์เก่าสับ โดยใช้เศษยางรถยนต์เก่าแทนที่หินในส่วนผสมที่เป็นมวลรวมหยาบในปริมาณ ร้อยละ 0,5,10,15,20 และ 25 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ
2. นำอัตราส่วนผสมในแต่ละกลุ่มที่ออกแบบไว้มาผสมเพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำมาหล่อในแบบขนาด 15x15x15 เซนติเมตร แล้วทิ้งไว้ 48 ชั่วโมง
3. นำตัวอย่างออกจากแบบและทำการบ่มชื้นโดยวิธีบ่มด้วยการชั่งน้ำที่อายุการบ่ม 7,14 และ 28 วัน ก่อนนำไปทำการทดสอบ



ภาพที่ 1 แนวคิดในการศึกษา

การทดสอบคอนกรีตพูน

1. ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C192 ที่อายุ 7, 14 และ 28 วันตามลำดับ โดยการทดสอบตัวอย่างแต่ละอัตราส่วนผสม และแต่ละอายุบ่ม เป็นชุดละ 3 ก้อน ทำการบันทึกและรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยจากตัวอย่าง 3 ก้อน

2. การทดสอบค่าความพูน ความพูนเป็นคุณสมบัติสำคัญของคอนกรีตพูนที่ส่งผลต่อการซึมผ่านของน้ำและความแข็งแรงของวัสดุ ACI 522R ได้กำหนดแนวทางที่เหมาะสมให้ความพูนอยู่ในช่วงร้อยละ 15-25 เพื่อให้คอนกรีตพูนมีประสิทธิภาพในการใช้งานจริง การควบคุมค่าความพูนจึงเป็นปัจจัยสำคัญใน

การออกแบบและพัฒนาคอนกรีตพูนที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งาน ทำการทดสอบหาค่าความพูนตามมาตรฐาน ASTM C1754

3. การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2434 โดยใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้วเป็นแบบหล่อตัวอย่าง เป็นการทดสอบหาค่าการซึมผ่านของน้ำแบบแรงดันคงที่ (Constant Head Test)

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตพูน

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตพูนยังไม่มีมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับและใช้งานทั่วไปเหมือนกับคอนกรีตธรรมดา อย่างไรก็ตาม ACI 522R-10 ได้แนะนำแนวทางในการออกแบบคอนกรีตพูน โดยคอนกรีตพูนที่มีปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร ประกอบด้วยมวลรวมหยาบที่อยู่ชิดกันในลักษณะที่หลวมกว่าสภาพอัดแน่นเล็กน้อย เพสต์จะเคลือบผิวมวลรวมและแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวม ซึ่งลักษณะการกระจายตัวของมวลรวมในคอนกรีตขึ้นอยู่กับสมบัติของเพสต์ ปริมาณเพสต์ และพลังงานที่ใช้ในการอัดแน่น

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตพูนในเบื้องต้นจึงต้องมีการทดลองเพื่อหาปริมาณมวลรวมหยาบและปริมาณเพสต์ที่เหมาะสมกับระดับพลังงานที่ใช้ในการอัดแน่น สำหรับปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตพูน เมื่อกำหนดปริมาตรของซีเมนต์เพสต์และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์แล้ว สามารถคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์และปริมาณน้ำที่เหมาะสมได้จากสมการที่กำหนดใน ACI 522R-10 โดยทั่วไป ปริมาณเพสต์ที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตพูนจะอยู่ระหว่างร้อยละ 15-25 การศึกษาครั้งนี้กำหนดสัดส่วนผสมคอนกรีตพูนผสมเศษยางรถยนต์เก่าดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมคอนกรีตพูนผสมเศษยางรถยนต์เก่า

ขนาดหิน	สูตร (ร้อยละ)	ปริมาตรเพสต์ (ลบ.ม.)	หิน		เศษยางรถยนต์	
			น้ำหนัก (กก.)	(ร้อยละ)	น้ำหนัก (กก.)	(ร้อยละ)
#4	0	0.15	445.50	100	0	0
#4	5	0.15	423.23	95	22.28	5
#4	10	0.15	400.95	90	44.55	10
#4	15	0.15	378.68	85	66.83	15
#4	20	0.15	356.40	80	89.10	20
#4	25	0.15	334.12	75	111.38	25

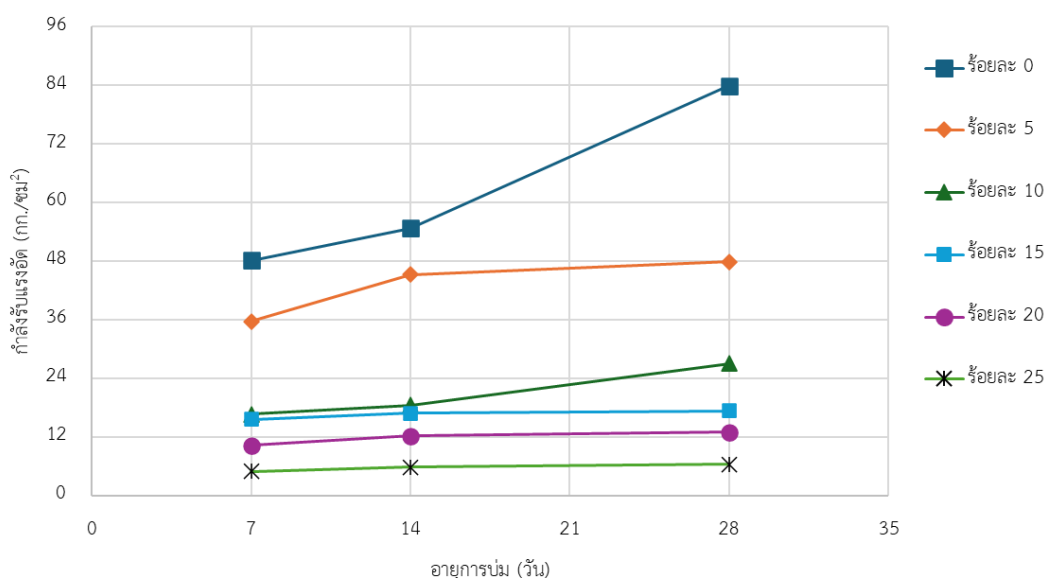
หมายเหตุ ; ใช้ น้ำหนักปูนซีเมนต์ เท่ากับ 209 กก. , น้ำหนักน้ำ เท่ากับ 83.6 กก.

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการใช้เศษยางรถยนต์เก่าสับเป็นส่วนผสมแทนที่มวลรวมหยาบในคอนกรีตพูน ประกอบด้วยผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด ค่าความพูน และค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำ มีรายละเอียดดังนี้

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

การพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนที่มีอายุการบ่มต่างกัน โดยใช้เศษยางรถยนต์แทนมวลรวมหยาบในอัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10, 15, 20 และ 25 แสดงในภาพที่ 2 ตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ทดสอบเป็นทรงลูกบาศก์ขนาด 150×150×150 มิลลิเมตร จะเห็นว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม อย่างไรก็ตาม ค่าแรงอัดสูงสุดยังคงพบในคอนกรีตที่ไม่มีเศษยาง (ร้อยละ 0) โดยมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่ชัดเจนเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้นจาก 7 วันไปจนถึง 28 วัน คอนกรีตที่มีเศษยางผสมในอัตราส่วนที่น้อย เช่น ร้อยละ 5 และ 10 มีค่ากำลังรับแรงอัดลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่มีเศษยาง แต่ยังคงแสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม สำหรับคอนกรีตที่มีเศษยางแทนที่มวลรวมหยาบตั้งแต่ร้อยละ 15 ขึ้นไป พบว่ากำลังรับแรงอัดมีค่าต่ำตลอดช่วงการบ่ม และมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกรณีของเศษยางร้อยละ 25 ค่าแรงอัดต่ำสุดเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนอื่น ๆ



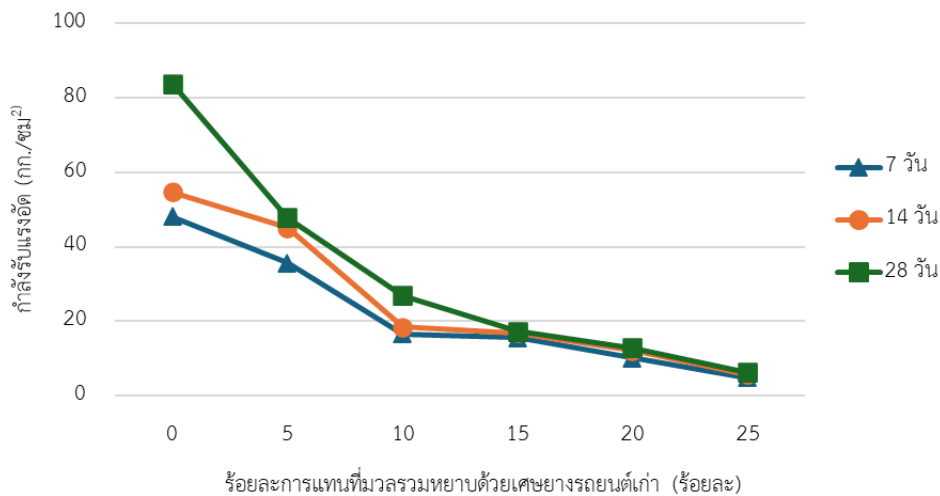
ภาพที่ 2 การพัฒนากำลังรับแรงอัดตามอายุการบ่มของคอนกรีตพูนแทนที่มวลรวมหยาบ

ด้วยเศษยางรถยนต์เก่าสับในอัตราส่วนต่าง ๆ

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนที่บ่มอายุ 28 วัน พบว่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณเศษยางที่ใช้แทนที่มวลรวมหยาบเพิ่มขึ้น โดยในสูตรที่ไม่มีเศษยาง กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างมีค่าที่ 83.76 กก./ชม.² เมื่อเพิ่มปริมาณเศษยางเป็นร้อยละ 5 ร้อยละ 10 ร้อยละ 15 ร้อยละ 20 และร้อยละ 25 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างลดลงเหลือ 47.77 กก./ชม.² 26.92 กก./ชม.² 17.31 กก./ชม.² 12.95 กก./ชม.² และ 6.31 กก./ชม.² ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณเศษยางรถยนต์มีผลกระทบต่อโดยตรงต่อการลดค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูน แม้ว่าการเพิ่มระยะเวลาในการบ่มจะช่วยให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้น แต่ไม่สามารถชดเชยผลกระทบจากการใช้เศษยางในปริมาณมากได้ อาจสรุปได้ว่า การใช้เศษยางรถยนต์เก่าแทนที่มวลรวมหยาบใน คอนกรีตพูน ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ระดับสูงกว่า ร้อยละ 10 อาจทำให้คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพูน ลดลงมากจนไม่เหมาะสมกับงานโครงสร้างที่ต้องการรับแรงอัดสูง อย่างไรก็ตาม หากต้องการใช้เศษยางเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นหรือดูดซับแรงกระแทก อาจต้องพิจารณาปรับอัตราส่วนให้เหมาะสมเพื่อลดผลกระทบต่อความแข็งแรงของคอนกรีตพูน

จากภาพที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับร้อยละการแทนที่มวลรวมหยาบด้วยเศษยางรถยนต์เก่า พบว่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูน มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่มวลรวมหยาบด้วยเศษยางเพิ่มขึ้น โดยค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงสุดเกิดขึ้นที่การแทนที่ร้อยละ 0 และค่าต่ำสุดเกิดขึ้นที่ร้อยละ 25 ในทุกช่วงเวลาการบ่ม (7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มเศษยางใน คอนกรีตพูน ส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการรับแรงอัดตลอดทุกช่วงอายุการบ่ม

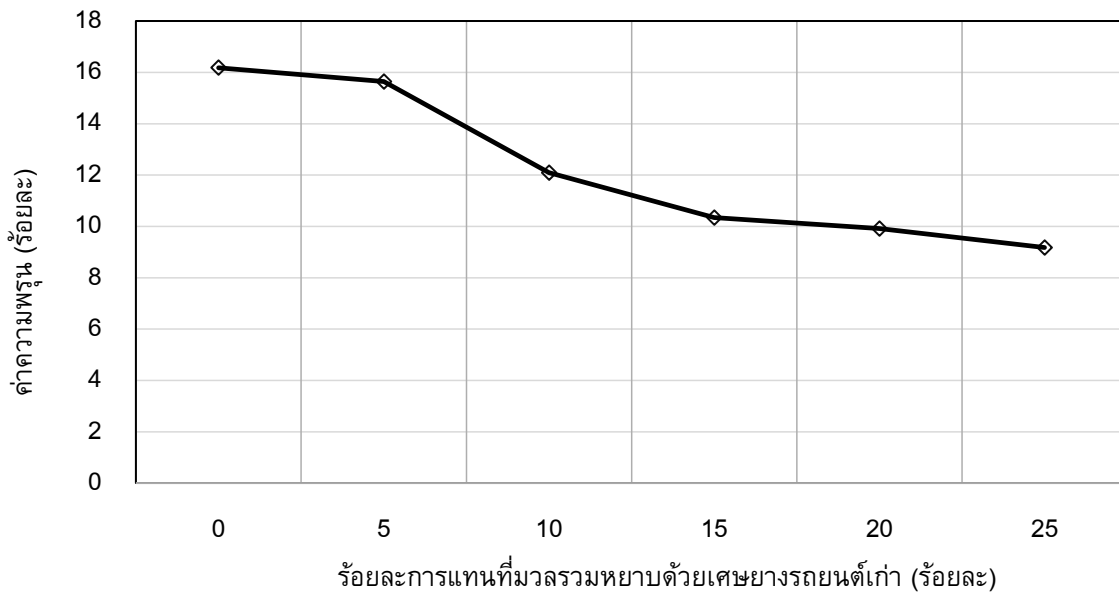
ในช่วงที่มีการแทนที่มวลรวมต่ำ ร้อยละ 0-5 กำลังรับแรงอัดลดลงเล็กน้อย แต่ยังคงอยู่ในระดับที่คอนกรีตสามารถรับแรงได้ดี เมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 10 ขึ้นไป กำลังรับแรงอัดลดลงอย่างชัดเจน และเมื่อถึงร้อยละ 15 ขึ้นไป การลดลงของกำลังรับแรงอัดเป็นไปอย่างต่อเนื่องจนถึงระดับต่ำสุดที่ร้อยละ 25 ซึ่งแสดงถึงผลกระทบที่สำคัญของเศษยางต่อโครงสร้างของคอนกรีตพูน ลักษณะของเส้นกราฟในแต่ละช่วงอายุของการบ่มแสดงให้เห็นว่าค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตที่บ่มเป็นระยะเวลา 28 วัน มีค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่บ่มเพียง 7 วัน และ 14 วัน ซึ่งเป็นไปตามพฤติกรรมของคอนกรีตทั่วไปที่ยังคงพัฒนาโครงสร้างเมื่อเวลาผ่านไป



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับร้อยละการแทนที่มวลรวมหยาบด้วยเศษยางรถยนต์เก่า

ผลการทดสอบความพรุน

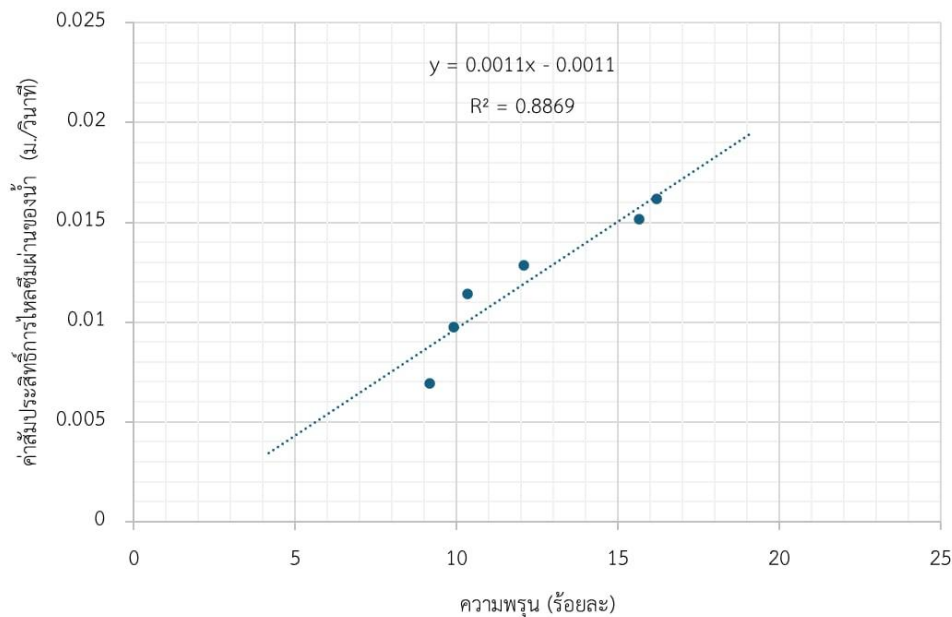
คอนกรีตพรุนเป็นวัสดุที่ถูกออกแบบให้มีช่องว่างอากาศสูง เพื่อให้สามารถระบายน้ำผ่านโครงสร้างได้ดี อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำขึ้นอยู่กับระดับความพรุนของคอนกรีต ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อทั้งความแข็งแรงเชิงกลและสมรรถนะในการใช้งานจริง จากภาพที่ 4 ค่าความพรุนจากกราฟมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่ด้วยเศษยางรถยนต์เก่าเพิ่มขึ้น จุดเริ่มต้นที่ไม่มีการแทนที่ร้อยละ 0 ค่าความพรุนอยู่ที่ประมาณร้อยละ 16 แต่เมื่อปริมาณเศษยางเพิ่มขึ้น ค่าความพรุนลดลงอย่างต่อเนื่องจนเหลือต่ำกว่าร้อยละ 10 ที่ระดับการแทนที่ร้อยละ 25 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวัสดุมีโครงสร้างที่แน่นขึ้นเมื่อเติมเศษยางลงไปมากขึ้น การลดลงของค่าความพรุนอาจเกิดจากเศษยางไปแทนที่ช่องว่างอากาศที่มีอยู่ในวัสดุ ทำให้เนื้อวัสดุแน่นขึ้น ขนาดและรูปร่างของเศษยางก็อาจมีผลต่อการจัดเรียงตัวของวัสดุ หากเศษยางสามารถเข้าไปเติมเต็มช่องว่างระหว่างอนุภาคได้ดี จะทำให้ค่าความพรุนลดลงอย่างชัดเจน ค่าความพรุนที่ลดลงส่งผลโดยตรงต่อคุณสมบัติของวัสดุ การมีช่องว่างอากาศน้อยลงทำให้ความสามารถในการซึมผ่านของน้ำลดลงไปด้วย วัสดุอาจสามารถรับแรงกดได้ดีขึ้นเพราะโครงสร้างที่แน่นขึ้น แต่ในกรณีที่ต้องการวัสดุที่มีการระบายน้ำดี อาจต้องจำกัดปริมาณเศษยางที่เติมเข้าไปให้เหมาะสม



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนกับร้อยละการแทนที่มวลรวมหยาดด้วยเศษยางรถยนต์เก่า

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำ

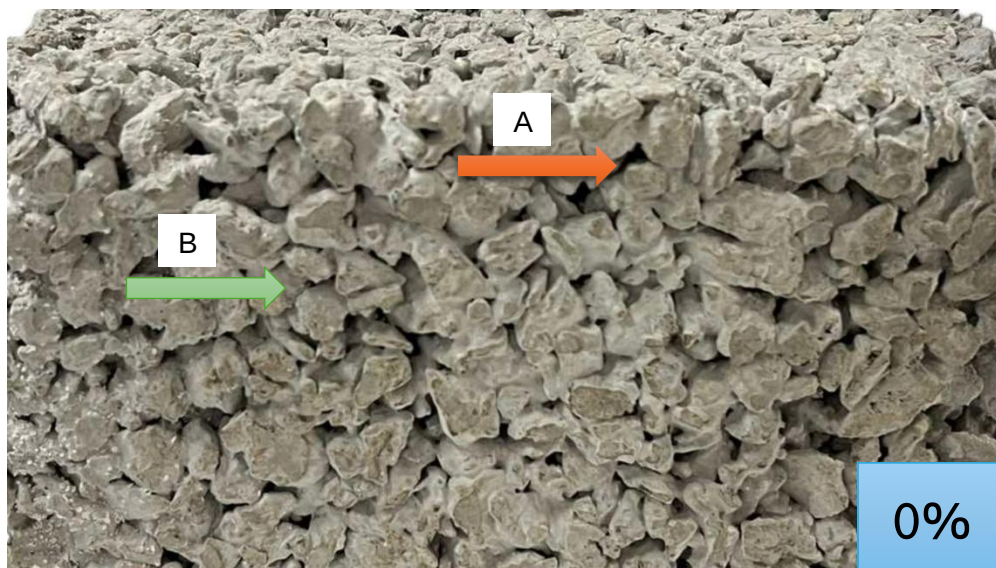
ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตพรุนอาจได้รับอิทธิพลจากหลายปัจจัย เช่น อัตราส่วนมวลรวมต่อปูนซีเมนต์ การกระจายตัวของมวลรวม และกระบวนการติดตั้ง หากค่าความสามารถในการไหลซึมผ่านต่ำ อาจเกิดการอุดตันของรูพรุน ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบระบายน้ำลดลง ภาพที่ 5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความพรุนของคอนกรีตพรุนและค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตพรุนที่ผสมด้วยเศษยางรถยนต์เก่าจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำที่ได้จากการทดสอบที่อยู่ในช่วง 0.007 - 0.016 เมตรต่อวินาทีนั้น สอดคล้องกับข้อกำหนดของ ACI 522R-10 (2010) ที่กำหนดให้คอนกรีตพรุนควรมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำ อยู่ในช่วง 0.0014 - 0.0122 เมตรต่อวินาที แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตพรุนที่ผสมเศษยางรถยนต์เก่ายังคงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้สำหรับการใช้งานด้านการระบายน้ำ การเพิ่มปริมาณเศษยางรถยนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตพรุน จะทำให้ค่าความพรุนที่ได้ยังมีค่าลดลง ความพรุนที่ลดลงนั้นเกิดจากการที่เศษยางรถยนต์ที่ใช้นั้นมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าหินที่ใช้เป็นมวลรวมหยาด จึงเข้าไปอุดช่องว่างภายในของคอนกรีตพรุน ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำจึงลดลงไปด้วย



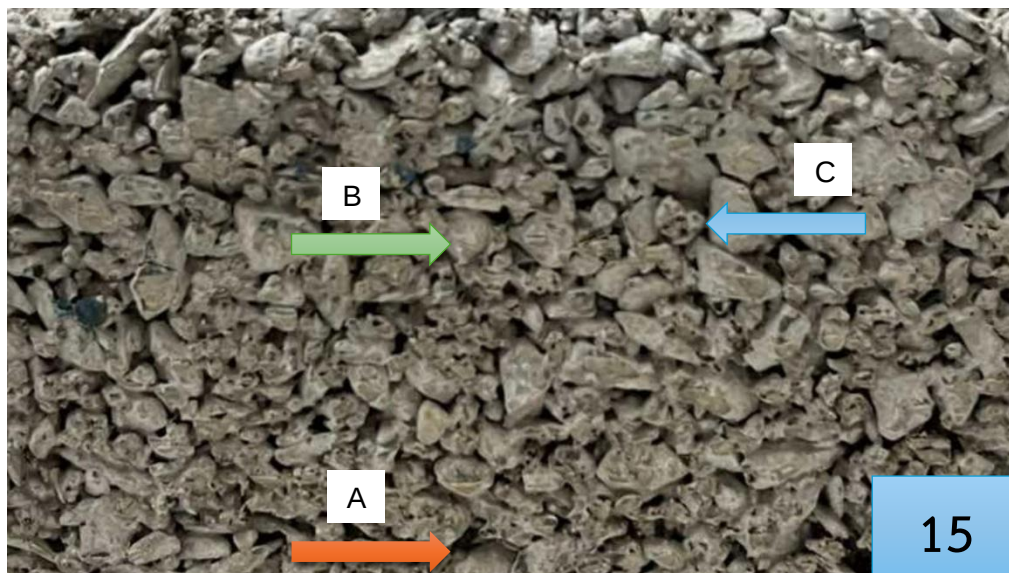
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความพรุนกับค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำ

ลักษณะทางกายภาพของคอนกรีตพรุนที่มีเศษยางรถยนต์เก่าเป็นส่วนผสม

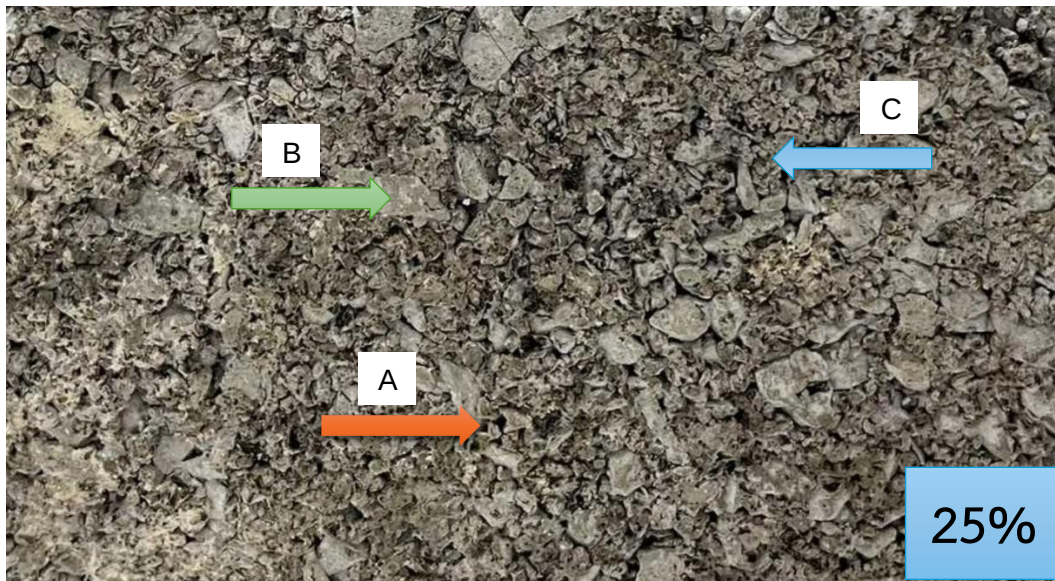
จากภาพที่ 6 คอนกรีตพรุนที่ไม่มีการผสมเศษยางรถยนต์เก่า (ร้อยละ 0) โครงสร้างมีความพรุนสูง และมีช่องว่างที่เชื่อมต่อกัน ทำให้สามารถระบายน้ำได้ดี กำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตพรุนที่มีเศษยาง เนื่องจากไม่มีวัสดุยืดหยุ่นมาแทนที่มวลรวมหยาบ ส่งผลให้คอนกรีตมีความแข็งแรงและทนทานเมื่อเพิ่มปริมาณเศษยางรถยนต์เก่าเข้าไปมากขึ้น (ร้อยละ 15) ดังภาพที่ 7 โครงสร้างยังคงมีความพรุนอยู่ แต่ช่องว่างระหว่างมวลรวมเริ่มลดลงมากขึ้น ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำลดลง ขณะที่กำลังรับแรงอัดลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเศษยางมีแรงยึดเกาะต่ำ อย่างไรก็ตาม คอนกรีตสูตรนี้มีความยืดหยุ่นสูงชันอย่างชัดเจน และสามารถดูดซับแรงกระแทกได้ดี เหมาะสำหรับ งานทางเดิน สนามเด็กเล่น หรือพื้นที่ที่ต้องการลดเสียงสะท้อน แต่อาจไม่เหมาะกับงานที่ต้องรองรับน้ำหนักมาก คอนกรีตพรุนผสมเศษยางรถยนต์เก่าร้อยละ 25 (ภาพที่ 8) มีโครงสร้างที่แสดงให้เห็นถึงการลดลงของช่องว่างระหว่างมวลรวมอย่างชัดเจน ส่งผลให้ความสามารถในค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำลดลงอย่างมาก ขณะเดียวกัน กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตสูตรนี้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด



ภาพที่ 6 ลักษณะคอนกรีตพูนผสมเศษยางรถยนต์เก่าในอัตราส่วนร้อยละ 0 ; (A) ช่องว่าง ; (B) หิน



ภาพที่ 7 ลักษณะคอนกรีตพูนผสมเศษยางรถยนต์เก่าในอัตราส่วนร้อยละ 15 ; (A) ช่องว่าง ; (B) หิน ; (C) เศษยางรถยนต์เก่าสับ



ภาพที่ 8 ลักษณะคอนกรีตพูนผสมเศษยางรถยนต์เก่าในอัตราส่วนร้อยละ 25 (A) ช่องว่าง ; (B) หิน ; (C)

เศษยางรถยนต์เก่าสับ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตพูนที่ผสมเศษยางรถยนต์เก่า เพื่อประเมินผลกระทบของการใช้เศษยางแทนที่มวลรวมหยาบบางส่วนในคอนกรีตพูน สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพูนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ที่ดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ค่ากำลังรับแรงอัดจึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเศษยางรถยนต์เก่าเข้าไปทดแทนมวลรวมหยาบที่เป็นหิน ค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ไม่ผสมเศษยางมีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยที่ 83.76 กก./ชม^2 และค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ผสมเศษยางร้อยละ 25 มีค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยที่ 6.31 กก./ชม^2 เป็นค่ากำลังรับแรงอัดที่ลดลงอย่างชัดเจน ตัวอย่างที่ได้จึงไม่เหมาะสำหรับงานที่ต้องรับแรงมาก แต่จะเหมาะกับงานที่ต้องการใช้ความยืดหยุ่นสูง

2. ค่าความพรุนแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณเศษยางในคอนกรีตมีผลต่อค่าความพรุนและคุณสมบัติการระบายน้ำของคอนกรีต โดยค่าความพรุนลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเศษยางเข้าไป เนื่องจากเศษยางรถยนต์ที่ใช้มีขนาดที่เล็กกว่าหินที่ใช้ เมื่อเพิ่มปริมาณยางรถยนต์ในคอนกรีตพูน จึงทำให้เศษยางรถยนต์นั้นไปอุดช่องว่างภายในโครงสร้างคอนกรีตพูนบางส่วน ทำให้ปริมาณโพรงและค่าความพรุนนั้นลดลง โดยสูตรที่มีเศษ

ยางร้อยละ 5-10 ยังคงรักษาค่าความพรุนที่เหมาะสมสำหรับการระบายน้ำ ตามค่าความพรุนที่แนะนำจาก ACI 522R ในช่วงร้อยละ 15-35

3. ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตพรุนมีแนวโน้มลดลงเมื่อมีการเพิ่มปริมาณเศษยาง ตัวอย่างที่มีเศษยางรถยนต์ร้อยละ 5-10 ให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำในอยู่ที่ 0.013 – 0.015 เมตรต่อวินาที อยู่ในช่วงค่าตามข้อแนะนำใน ACI 522R ซึ่งอยู่ในระดับที่ยังใช้งานได้ เหมาะสำหรับงานที่ต้องการการระบายน้ำ เช่น ทางเดิน ระบบพื้นผิวซึมผ่านน้ำ และลานจอดรถที่ต้องการลดปัญหาน้ำขัง การผสมเศษยางรถยนต์เก่าที่ร้อยละ 15 ขึ้นไป จะมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำต่ำ ซึ่งอาจไม่เหมาะสมสำหรับงานที่ต้องการการระบายน้ำ

ข้อเสนอแนะ

คอนกรีตพรุนที่มีเศษยางรถยนต์เก่าเป็นส่วนผสมอาจมีความแข็งแรงต่ำกว่าคอนกรีตพรุนที่มีมวลรวมหยาบเป็นหินตามปกติ จึงควรมีการทดสอบความสามารถในการใช้งานในสภาพแวดล้อมต่างๆ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความทนทานเมื่อสัมผัสกับสภาพแวดล้อมจริงในระยะยาว และการเปลี่ยนแปลงสมบัติของคอนกรีตพรุน เช่น การทนทานต่อการกัดกร่อน ผลกระทบของคุณสมบัติการยืดหยุ่นและการดูดซับแรงสั่นสะเทือนจากคุณสมบัติของเศษยางรถยนต์ต่อการใช้งาน เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

ณัดกิจ ชาริรัตน์, ปริญญา จินดาประเสริฐ และ Shigemitsu Hatanaka. (2551, 14-16 พฤษภาคม).

คอนกรีตพรุน: คอนกรีตที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่

13. โรงแรมจอมเทียน ปาล์ม บีช พัทยา.

ธรรมบุญ โสมะพันธ์ อัมรินทร์ งามไชย และ ยาโกบ หิมะหมัด. (2552). การศึกษาเบื้องต้นในการทำคอนกรีตพรุนเพื่อการระบายน้ำ [ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต]. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

พงษ์ธร แซ่ฮุย. (2555). เทคโนโลยีการไร้เชื้อเพลิง. วารสารเทคโนโลยีวัสดุ, 67(4), 40–50.

วันชัย สะตะ. (2556). การใช้เศษวัสดุเป็นมวลรวมหยาบในคอนกรีตพรุน. [รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์]. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สถาบันพลาสติก. (2561). บทวิเคราะห์ ทิศทางอุตสาหกรรมยางล้อของไทย. โครงการพัฒนาระบบฐานข้อมูลเชิงลึกอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางและไม้ยางพารา.

<http://rubber.oie.go.th/Article.aspx?aid=55473>

ACI 522R-10. (2010). *Report on pervious concrete*. American Concrete Institute.

Federal Highway Administration. (2008). *User Guidelines for Byproduct and Secondary Use Materials in Pavement Construction; Scrap Tires*. U.S. Department of Transportation, FHWA Publication Number: FHWA-RD-97-148.
<https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/st1.cfm>

Sata, V., Wongsu, A., and Chindaprasirt, P. (2013) Properties of Pervious Geopolymer Concrete Using Recycled Aggregates, *Construction and Building Materials*, 42(5), 33-39.

Tho-in, T., Sata, V., Chindaprasirt, P., and Jaturapitakkul, C. (2012). Pervious High-Calcium Fly Ash Geopolymer Concrete. *Construction and Building Materials*, 30, 366-371.