

ชาตรี อยู่ร่วมพฤษ : การใช้น้ำยางธรรมชาติและเถ้าลอยเป็นสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของผิวทางคอนกรีตที่ใช้มวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (NATURAL RUBBER LATEX AND FLY ASH AS ADDITIVES FOR IMPROVING THE MECHANICAL PROPERTIES OF RIGID PAVEMENT WITH RECYCLED CONCRETE AGGREGATE)

อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.สุชนันต์ หอพิบูลสุข, 157 หน้า

คำสำคัญ: วัสดุผสมคอนกรีตรีไซเคิล/น้ำยางธรรมชาติ/พื้นผิวทางเท้า

การนำมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (Recycled Concrete Aggregate: RCA) มาใช้ในงานผิวทางคอนกรีตแข็งเป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน เนื่องจากช่วยลดการใช้มวลรวมธรรมชาติและลดปริมาณของเสียจากงานก่อสร้าง อย่างไรก็ตาม มวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลมักมีข้อจำกัดด้านความพรุนสูง รอยแตกร้าวภายใน และสมบัติเชิงกลที่ด้อยลง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงสมบัติเชิงกล สมบัติความล้า และโครงสร้างจุลภาคของผิวทางคอนกรีตที่ใช้มวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล โดยการผสมผสานน้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex: NRL) และเถ้าลอย (Fly Ash: FA) เป็นวัสดุเติมแต่ง เพื่อพัฒนาคอนกรีตผิวทางที่มีสมรรถนะสูงและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

การทดลองครอบคลุมการทดสอบกำลังอัด (f_c) กำลังดัด (f_t) พฤติกรรมความล้าจากแรงดัดภายใต้การรับน้ำหนักซ้ำ และการศึกษาลักษณะโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ร่วมกับการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค Energy-Dispersive X-ray spectroscopy (EDX) และ X-ray diffraction (XRD) ตัวแปรหลักที่ศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนยางแห้งต่อตัวประสานหรือปูนซีเมนต์ (r/b หรือ r/c) อัตราส่วนน้ำต่อตัวประสาน (w/c) และอัตราการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยในช่วงร้อยละ 15–25 นอกจากนี้ ยังมีการประเมินการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (CO_2-e) และต้นทุนวัสดุ เพื่อพิจารณาความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ของส่วนผสมคอนกรีต

ผลการศึกษาพบว่า การเติมน้ำยางธรรมชาติส่งผลให้กำลังอัดลดลงในทุกระดับ r/b หรือ r/c เนื่องจากการหน่วงกระบวนการไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ อย่างไรก็ตามเมื่อเติมน้ำยางธรรมชาติในปริมาณปานกลาง (ประมาณ 0.5–1.0%) คอนกรีตแสดงพฤติกรรมกำลังดัด ความเหนียว และอายุความล้าที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนผสมที่ออกแบบด้วยอัตราส่วน w/c ที่เหมาะสม เช่น $w/c = 0.3$ ที่ $r/c \leq 1.0$ และ $w/c = 0.4$ ที่ $r/c = 0.5$ สามารถผ่านเกณฑ์กำลังอัดและกำลังดัดขั้นต่ำตามข้อกำหนดผิวทางของหน่วยงานกรมทางหลวงได้ ในทางตรงกันข้ามการเติมน้ำยางธรรมชาติในปริมาณสูงเกินไปทำให้เกิดฟิล์มน้ำยางต่อเนื่องที่กีดขวางปฏิกิริยาไฮเดรชัน ส่งผลให้กำลังอัดและกำลังดัดลดลงอย่างชัดเจน การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคนิยมนการเกิดฟิล์มน้ำยางที่แทรกตัวในเนื้อ

ปูนซีเมนต์และรอยต่อระหว่างมวลรวมกับเนื้อปูน ช่วยเชื่อมประสานช่องว่างและเพิ่มความสามารถในการรับแรงอัด ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและแร่ด้วยเทคนิค EDX และ XRD แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าปริมาณเฟสพอร์ตแลนด์ไดต์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่ออัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติต่อตัวประสานหรือปูนซีเมนต์ (r/b หรือ r/c) เพิ่มขึ้น ซึ่งสะท้อนถึงการชะลอของปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์อันเกิดจากการเคลือบผิวของอนุภาคปูนด้วยฟิล์มน้ำยาง ส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ไฮเดรชัน เช่น C-S-H เจล ลดลงในระดับมหภาค อย่างไรก็ตามในช่วงอัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติที่เหมาะสม (r/b หรือ r/c ประมาณ 0.5–1.0%) การลดลงของพอร์ตแลนด์ไดต์ไม่ส่งผลกระทบเชิงลบต่อสมบัติเชิงกลโดยรวม เนื่องจากฟิล์มน้ำยางทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานเชิงกายภาพช่วยลดความไม่ต่อเนื่องของโครงสร้างจุลภาค และปรับปรุงรอยต่อระหว่างมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลกับเนื้อปูนซีเมนต์ ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงอัด ความเหนียว และความต้านทานต่อการแตกร้าวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่ออัตราส่วนน้ำยางธรรมชาติสูงเกินช่วงที่เหมาะสม ฟิล์มน้ำยางที่เกิดขึ้นมีลักษณะต่อเนื่องและหนาแน่นมากขึ้น ทำหน้าที่เป็นสิ่งกีดขวางการแพร่ของน้ำและไอออน ส่งผลให้การพัฒนาโครงสร้างไฮเดรชันถูกจำกัดอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับผลการลดลงของกำลังอัดและกำลังดัดในระดับมหภาค นอกจากนี้ การใช้เถ้าลอยร่วมกับน้ำยางธรรมชาติมีบทบาทสำคัญในการชดเชยผลของการหน่วงไฮเดรชัน โดยเถ้าลอยทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกกับพอร์ตแลนด์ไดต์ที่เหลืออยู่ ส่งผลให้โครงสร้างเนื้อปูนมีความหนาแน่นมากขึ้นในระยะยาว และช่วยปรับสมดุลระหว่างสมบัติเชิงกลและความสามารถในการแปรรูปของคอนกรีต

ในมิติด้านความยั่งยืน ส่วนผสมที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 25 ร่วมกับการเติมน้ำยางธรรมชาติในอัตราส่วน r/b = 0.5% ให้ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ($\text{CO}_2\text{-e}$) ต่ำที่สุด เนื่องจากการลดปริมาณปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นแหล่งปล่อยคาร์บอนหลัก ขณะเดียวกัน ส่วนผสมที่ใช้เถ้าลอยร้อยละ 20 แสดงความคุ้มค่าด้านต้นทุนวัสดุสูงสุด โดยยังคงให้สมบัติเชิงกลและความต้านทานความล้าที่เพียงพอต่อข้อกำหนดผิวทางคอนกรีต ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยอาศัยหลักการสมดุลระหว่างสมรรถนะทางวิศวกรรม การลดคาร์บอน และต้นทุน สามารถนำไปสู่การพัฒนาผิวทางที่ยั่งยืนและเหมาะสมต่อการใช้งานจริง

โดยสรุป งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการออกแบบคอนกรีตผิวทางที่ใช้มวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลร่วมกับ เถ้าลอยและน้ำยางธรรมชาติในสัดส่วนที่เหมาะสม สามารถเพิ่มสมรรถนะทางวิศวกรรมและความต้านทานความล้า ควบคู่กับการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนวัสดุ สนับสนุนการพัฒนาผิวทางคอนกรีตคาร์บอนต่ำสำหรับโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืนในอนาคต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและการบริหารงานก่อสร้าง
ปีการศึกษา 2568

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

CHATREE YOUROMPHRUK : NATURAL RUBBER LATEX AND FLY ASH AS
ADDITIVES FOR IMPROVING THE MECHANICAL PROPERTIES OF RIGID PAVEMENT
WITH RECYCLED CONCRETE AGGREGATE.

THESIS ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., 157 PP.

Keywords: Recycled Concrete Aggregate/ Natural Rubber Latex /Surface Pavement

The use of Recycled Concrete Aggregate (RCA) in rigid pavement construction represents a promising approach for developing sustainable infrastructure by reducing the consumption of natural aggregates and minimizing construction waste. However, RCA generally exhibits inherent drawbacks, including high porosity, internal microcracking, and inferior mechanical properties. This study aims to investigate the enhancement of mechanical performance, fatigue behavior, and microstructural characteristics of rigid pavement concrete incorporating RCA through the combined use of Natural Rubber Latex (NRL) and Fly Ash (FA) as supplementary materials, with the objective of developing high-performance and environmentally friendly pavement concrete.

The experimental program comprised compressive strength (f_c), flexural strength (f_f), flexural fatigue performance under repeated loading, and microstructural characterization using Scanning Electron Microscopy (SEM), Energy-Dispersive X-ray spectroscopy (EDX), and X-ray diffraction (XRD). The primary variables investigated included the dry rubber-to-binder or cement ratio (r/b or r/c), the water-to-binder ratio (w/c), and FA replacement levels ranging from 15% to 25% by weight of cement. In addition, CO_2 -equivalent (CO_2-e) emissions and material costs were evaluated to assess the environmental and economic sustainability of the proposed concrete mixtures.

The results indicated that the incorporation of NRL led to a reduction in compressive strength at all r/b or r/c levels due to retardation of cement hydration. Nevertheless, when NRL was added at moderate dosages (approximately 0.5–1.0%), the concrete exhibited significant improvements in flexural strength, ductility, and fatigue life. Mixtures designed with appropriate w/c ratios, such as $w/c = 0.3$ at $r/c \leq 1.0$ and $w/c = 0.4$ at $r/c = 0.5$, consistently satisfied the minimum compressive and flexural strength requirements specified by the Thai Department of Highways for rigid pavement applications. In contrast, excessive NRL addition resulted in the formation of continuous

latex films that hindered hydration reactions, leading to pronounced reductions in both compressive and flexural strengths.

Microstructural analyses confirmed the presence of latex films embedded within the cement matrix and at the interfacial transition zone between RCA and cement paste, which effectively bridged microvoids and enhanced flexural performance. EDX and XRD analyses further revealed a continuous reduction in portlandite (Ca(OH)_2) content with increasing r/b or r/c ratios, reflecting hydration retardation caused by the coating of cement particles with latex films and the consequent reduction in hydration products such as C-S-H gel at the macroscopic scale. However, within the optimal NRL range (r/b or r/c $\approx$ 0.5–1.0%), the reduction in portlandite did not adversely affect overall mechanical performance, as the latex films acted as physical binders that improved microstructural continuity, enhanced the interfacial transition zone, and increased resistance to crack initiation and propagation. The incorporation of FA played a crucial role in compensating for hydration retardation by promoting pozzolanic reactions with the remaining portlandite, resulting in a denser cementitious matrix and improved long-term performance.

From a sustainability perspective, the mixture incorporating 25% FA and 0.5% r/b exhibited the lowest $\text{CO}_2\text{-e}$ emissions due to the substantial reduction in cement content, which is the primary source of carbon emissions. Meanwhile, the mixture containing 20% FA provided the most cost-effective solution while maintaining adequate mechanical properties and fatigue resistance to meet rigid pavement requirements. These findings demonstrate that optimizing concrete mixtures based on a balanced consideration of engineering performance, carbon reduction, and material cost can lead to the development of durable and sustainable rigid pavement concrete.

In conclusion, this study demonstrates that the appropriate combination of RCA, FA, and NRL can significantly enhance mechanical performance and fatigue resistance while simultaneously reducing environmental impact and material cost, thereby supporting the development of low-carbon rigid pavement materials for sustainable infrastructure applications.

School of Civil Engineering and Construction Management

Academic Year 2025

Student's Signature

Advisor's Signature

Co-Advisor's Signature