โชคชัย ไตรยสุทธิ์ : ประสิทธิภาพของเศษคอนกรีตเหลือทิ้งปรับปรุงด้วยเถ้าหนักจีโอโพลีเมอร์และน้ำยางพาราธรรมชาติสำหรับวัสดุชั้นพื้นทาง รองพื้นทาง (PERFORMANCE OF NATURAL RUBBER LATEX MODIFIED BOTTOM ASH-BASED GEOPOLYMER STABILIZED RECYCLED CONCRETE AGGREGATE AS PAVEMENT BASE AND SUBBASE MATERIALS)
อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. Menglim Hoy, 128 หน้า

คำสำคัญ : เศษคอนกรีต, เถ้าหนัก, น้ำยางพาราธรรมชาติ, จีโอโพลีเมอร์, โครงสร้างจุลภาค, กำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด, การออกแบบชั้นทาง, การปรับปรุงคุณภาพดิน

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เถ้าก้นเตา (Bottom ash, BA) จีโอโพลีเมอร์ และน้ำยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber Latex, NRL) ปรับปรุงคุณภาพเศษคอนกรีต (Recycled Concrete Aggregate, RCA) เพื่อใช้เป็นวัสดุพื้นทาง และรองพื้นทางอย่างยั่งยืน การศึกษาประกอบด้วยการทดสอบทางวิศวกรรม โครงสร้างทางจุลภาค และองค์ประกอบทางเคมี เพื่อให้คลอบคลุมความต้องการสำหรับใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง (BASE) และรองพื้นทาง (Subbase) การทดสอบในส่วนแรกเป็นการศึกษาการพัฒนากำลังของ RCA-BA จีโอโพลีเมอร์ การสังเคราะห์ RCA-BA จีโอโพลีเมอร์ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) เป็นสารกระตุ้นส่วนผสม RCA-BA ที่ใช้ในการควบคุมเตรียมขึ้นจากการผสม RCA, BA และน้ำ เพื่อใช้เป็นวัสดุควบคุมในการศึกษาอิทธิพลของสารกระตุ้นต่อกำลังของ RCA-BA จีโอโพลีเมอร์ โดยกำหนดแทนที่ RCA-BA ที่อัตราส่วน 90:10,80:20,70:30,60:40 และ 50:50 อัตราส่วนสารกระตุ้น Na_2SiO_3:NaOH (G/N) ที่ 1:1, 1:1.5 และ 1:2 ตามลำดับ

การทดสอบในส่วนที่สองเป็นการศึกษาอิทธิพลของน้ำยางพาราธรรมชาติ (Natural Rubber Latex, NRL) ต่อกำลังและการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคของ ระหว่าง RCA-BA และ RCA-BA จีโอโพลีเมอร์ โดยกำหนดอัตราส่วน RCA-BA (70:30) อัตราส่วนสารกระตุ้น Na_2SiO_3: NaOH (G/N) ที่ 1:1, 1:1.5 และ 1:2 และผันแปรปริมาณน้ำยางพาราที่ 0.1,0.2 และ 0.3 โดยน้ำหนักของวัสดุทั้งสองส่วนทำการตรวจวัดกำลังด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัดแกนเดียว (UCS) ผลการทดสอบ X-Ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscope (SEM) และ Energy Dispersive X-Ray Analysis (EDX) ใช้วิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคและอิทธิพลการชะละลายของสารกระตุ้นที่มีต่อกำลังอัด การเกิดปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์ไรเซชั่นและการก่อตัวของเจล N–A–S–H และ C–S–H และรอยแตกภายในโครงสร้าง พร้อมทั้งอิทธิพลของปริมาณน้ำยางพาราเคลือบผิวของจีโอโพลีเมอร์ที่มีผลต่อกำลังและโครงสร้างทางจุลภาคของ RCA-BA จีโอโพลีเมอร์ และ NRL-RCA-BA จีโอโพลีเมอร์

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าส่วนผสม RCA90BA10 ที่มี G/N = 1:2 สามารถพัฒนากำลังอัดได้สูงถึง 9.14 MPa ภายใน 7 วัน ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดโดยกรมทางหลวง ทางหลวงชนบท (2.413 MPa) อย่างมาก และทุกสูตรผสมที่ผ่านการเสริมด้วยจีโอพอลิเมอร์มีค่ากำลังที่สูงกว่ามาตรฐานขั้นต่ำที่กำหนด การทดสอบความเหนียว (Toughness) พบว่า อัตราส่วนนี้มีความสามารถในการดูดซับพลังงานได้สูงถึง 107.89 N·m การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์และการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

ยืนยันการเกิดปฏิกิริยาจีโอพอลิเมอร์อย่างสมบูรณ์ โดยพบการก่อตัวของเจล N–A–S–H และ C–S–H ที่ช่วยสร้างโครงสร้างที่หนาแน่นและมีความแข็งแรงสูง ขณะเดียวกัน เมื่อมีการเติม NRL ในปริมาณที่เหมาะสม 0.1% ร่วมกับ G/N = 1:1 พบว่ากำลังอัดสูงสุดที่ 28 วันมีค่า 5.17 MPa ซึ่งสูงกว่าข้อกำหนดขั้นต่ำของ AASHTO (2008) สำหรับวัสดุชั้นรองทางอย่างชัดเจน การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคยืนยันการก่อตัวของเมทริกซ์จีโอพอลิเมอร์ที่หนาแน่นและเป็นเนื้อเดียวกัน โดยฟิล์ม NRL ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างอนุภาค RCA และ BA ช่วยลดความพรุนและป้องกันการแพร่กระจายของรอยแตกร้าว ในขณะที่เจล N–A–S–H และ C–S–H ที่เกิดจากกระบวนการจีโอพอลิเมอร์ช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุ อย่างไรก็ตาม การใช้อัตราส่วน G/N ที่สูงเกินไปหรือการเติม NRL ในปริมาณมากเกินไปอาจก่อให้เกิดเจลที่อุดมด้วยซิลิกาและฟิล์มยางที่หนาเกินไป ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของกำลังลดลง

ผลจากการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้แสดงให้เห็นว่า RCA-BA จีโอโพลีเมอร์ ทั้งที่มีและไม่มีการปรับปรุงด้วย NRL เป็นวัสดุที่มีศักยภาพสูงสำหรับใช้เป็นชั้นรองพื้นทางในงานก่อสร้างถนน ด้วยสมรรถนะทางวิศวกรรมที่เหนือกว่าวัสดุดั้งเดิม อีกทั้งยังสนับสนุนการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ลดการใช้มวลรวมธรรมชาติ ลดปริมาณกากอุตสาหกรรมที่ต้องกำจัด และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงถือเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่ยั่งยืนของประเทศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธาและการบริหารงานก่อสร้าง ลายมือชื่อนักศึกษา .....
ปีการศึกษา 2568 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

CHOKCHAI TRAIYASUT : PERFORMANCE OF NATURAL RUBBER LATEX MODIFIED BOTTOM ASH-BASED GEOPOLYMER STABILIZED RECYCLED CONCRETE AGGREGATE AS PAVEMENT BASE AND SUBBASE MATERIALS.
THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. Dr. Menglim Hoy. 128 PP.

Keyword : Recycled concrete aggregate, Bottom ash, Natural rubber latex, Geopolymer Microstructure, Unconfined compressive strength, Pavement geotechnics Ground improvement

This thesis explores the feasibility of using bottom ash (BA) geopolymer and natural rubber latex (NRL) to enhance the properties of recycled concrete aggregate (RCA) for sustainable pavement base and subbase applications. The study includes two engineering approaches, microstructure analysis and chemical component testing, aiming to thoroughly assess its suitability for pavement base and subbase use.

The first part focused on the strength development of RCA–BA geopolymers. The geopolymer synthesis employed sodium hydroxide (NaOH) and sodium silicate (Na_2SiO_3) as alkaline activators. RCA–BA mixtures prepared from RCA, BA, and water were used as the control to examine the effect of activators on strength. Replacement ratios of RCA:BA were set at 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, and 50:50, with alkaline activator ratios (Na_2SiO_3:NaOH, G/N) of 1:1, 1:1.5, and 1:2 respectively.

The second part examined the influence of NRL on the strength and microstructural characteristics of RCA–BA geopolymers. Mixtures were prepared at an RCA:BA ratio of 70:30 with G/N ratios of 1:1, 1:1.5, and 1:2, incorporating NRL at 0.1%, 0.2%, and 0.3% by weight of aggregate. The strength was evaluated through unconfined compressive strength (UCS) testing, while X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) were employed to analyze microstructural features, geopolymerization reactions, gel formation (N–A–S–H and C–S–H), microcracking, and the influence of NRL coatings within the geopolymer matrix.

The results showed that the RCA90BA10 mixture with G/N = 1:2 achieved a UCS of 9.14 MPa at 7 days, significantly exceeding the Department of Highways (DOH, Thailand) requirement of 2.413 MPa. All geopolymer-stabilized mixtures surpassed the minimum standards. Toughness testing revealed an energy absorption capacity of 107.89 N·m for the optimal formulation. Microstructural analysis confirmed complete geopolymerization with the formation of dense N–A–S–H and C–S–H gels. Moreover,

the addition of 0.1% NRL with G/N = 1:1 resulted in a maximum UCS of 5.17 MPa at 28 days, far surpassing the AASHTO (2008) requirement of 1.72 MPa for subbase materials. SEM images confirmed the formation of a dense and homogeneous geopolymer matrix, with NRL films bridging RCA and BA particles, reducing porosity, and limiting crack propagation. However, excessively high G/N ratios or excessive NRL content led to silica-rich gels or overly thick NRL films, which hindered geopolymerization and reduced strength.

In conclusion, the findings demonstrate that RCA–BA geopolymers, with or without NRL modification, are highly promising materials for pavement subbase construction. They provide superior engineering performance compared with conventional materials while promoting resource efficiency, reducing the consumption of natural aggregates, minimizing industrial waste disposal, and lowering CO_2 emissions. This approach therefore represents a practical pathway toward sustainable infrastructure development.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Civil Engineering and Construction Management Student's Signature.....

Academic Year 2025 Advisor's Signature.....