

ธี ธี อ็อก คิวิน ตรีน: การปรับปรุงประสิทธิภาพของดินซีเมนต์บดอัดโดยการแทนที่มวลรวมบางส่วนด้วยวัสดุรีไซเคิลและน้ำยางธรรมชาติเพื่อประยุกต์ใช้งานถนน (IMPROVED PERFORMANCE OF CEMENT-STABILIZED LATERITIC SOIL USING RECYCLED MATERIALS REPLACEMENT AND NATURAL RUBBER LATEX FOR PAVEMENT APPLICATIONS) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. MENGLIM HOY, Ph.D., 184 PP.

คำสำคัญ: วัสดุรีไซเคิล/การปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์/น้ำยางธรรมชาติ/ถนนชั้นพื้นทาง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าคุณภาพของการใช้วัสดุรีไซเคิลและน้ำยางธรรมชาติ (NRL) ในการปรับปรุงสมรรถนะของดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์สำหรับประยุกต์ใช้ในงานถนน งานวิจัยนี้ใช้ตะกรันเหล็ก (SS) และมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (RCA) แทนที่ในดินลูกรังร้อยละ 50 และ 70 ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 และใช้อัตราส่วนยางแห้งต่อปริมาณปูนซีเมนต์ (r/c) ร้อยละ 0 3 5 10 และ 15 แพลคเตอร์อิทธิพล เช่น อัตราส่วนตะกรันเหล็กต่อดินลูกรัง (SS:LS) อัตราส่วนมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลต่อดินลูกรัง (RCA:LS) และอัตราส่วนยางแห้งต่อปริมาณปูนซีเมนต์ (r/c) ถูกตรวจสอบผ่านการทดสอบทางธรณีเทคนิคในห้องปฏิบัติการ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 การทดสอบกำลังอัดแกนเดียว (UCS) กำลังดึงทางอ้อม (ITS) และการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และการวิเคราะห์ห่อหุ้มประกอบทางเคมี (XRD) ส่วนที่ 2 การทดสอบโมดูลัสคืนตัวเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม (IT<sub>M</sub>) และการล้าเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม (IT<sub>F<sub>n</sub></sub>) เพื่อประเมินโมดูลัสคืนตัวและอายุการล้าของดินลูกรังผสมวัสดุรีไซเคิลปรับปรุงด้วยซีเมนต์และน้ำยางธรรมชาติภายใต้แรงกระทำพลวัต และส่วนที่ 3 การทดสอบความทนทานต่อวงจรเปียกสลับแห้งของดินลูกรังผสมวัสดุรีไซเคิลปรับปรุงด้วยซีเมนต์และน้ำยางธรรมชาติ โดยการพิจารณาจากค่า UCS การสูญเสียน้ำหนัก การดูดซึมน้ำ และโครงสร้างทางจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงไปภายใต้วงจรเปียกสลับแห้ง

ผลการศึกษาด้านกำลังของดินลูกรังผสมวัสดุรีไซเคิลปรับปรุงด้วยซีเมนต์และน้ำยางธรรมชาติ แสดงให้เห็นถึงความสามารถต่อการใช้เป็นวัสดุพื้นทาง โดยที่กำลังของวัสดุผ่านมาตรฐานด้านกำลังที่กำหนดโดยกรมทางหลวงของประเทศไทย ปฏิกริยาร่วมระหว่างผลิตภัณฑ์ไฮเดรชันของซีเมนต์และโครงข่ายฟิล์มจากน้ำยางธรรมชาติที่ก่อตัวขึ้นที่อัตราส่วน r/c เหมาะสม สามารถลดช่องว่างภายในโครงสร้างของดินซีเมนต์และเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค ส่งผลให้เกิดการพัฒนา กำลังของส่วนผสมที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และน้ำยางธรรมชาติ อัตราส่วน r/c ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงดินลูกรังผสมตะกรันเหล็กปรับปรุงด้วยซีเมนต์และยางธรรมชาติ และดินลูกรังผสมมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิลปรับปรุงด้วยซีเมนต์และยางธรรมชาติ มีค่าเท่ากับร้อยละ 3 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งจะให้ค่า UCS ITS IT<sub>M</sub> และ IT<sub>F<sub>n</sub></sub> สูงที่สุดและมีค่าสูงกว่าดินลูกรังผสมตะกรันเหล็กปรับปรุงด้วย

ซีเมนต์และดินลูกรังผสมมวลรวมคอนกรีตซีเมนต์ไซเคิลปรับปรุงด้วยซีเมนต์ อย่างไรก็ตาม เมื่ออัตราส่วน  $r/c$  สูงกว่าค่าเหมาะสม น้ำยางธรรมชาติที่มากเกินไปจะทำให้เกิดชั้นฟิล์มหนาและขัดขวางกระบวนการเกิดผลิตภัณฑ์ไฮเดรชันของซีเมนต์ทำให้การพัฒนากำลังลดลง ดินลูกรังผสมตะกรันเหล็กปรับปรุงด้วยซีเมนต์และน้ำยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลและสมบัติการล้าเหนือกว่าดินลูกรังผสมมวลรวมคอนกรีตซีเมนต์ไซเคิลปรับปรุงด้วยซีเมนต์และยางธรรมชาติ นอกจากนี้ ดินลูกรังผสมวัสดุซีเมนต์ไซเคิลปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และน้ำยางธรรมชาติ ที่ใช้อัตราส่วนการแทนที่ดินลูกรังด้วยวัสดุซีเมนต์ร้อยละ 70 มีสมบัติเชิงกลและสมบัติการล้าสูงกว่าตัวอย่างที่มีการแทนที่ดินลูกรังด้วยวัสดุซีเมนต์ร้อยละ 50 สมบัติเชิงกลและสมบัติการล้าของวัสดุผสมที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และน้ำยางธรรมชาติขึ้นอยู่กับอัตราส่วน  $r/c$  ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่าง UCS ITS IT  $M_r$  และ IT  $F_n$  และอัตราส่วน  $r/c$  ค่าต่างๆ ของดินลูกรังผสมตะกรันเหล็กปรับปรุงด้วยซีเมนต์และน้ำยางธรรมชาติ และดินลูกรังผสมมวลรวมคอนกรีตซีเมนต์ไซเคิลปรับปรุงด้วยซีเมนต์และยางธรรมชาติ จึงถูกสร้างขึ้นด้วยความแม่นยำสูง ผลทดสอบความทนทาน แสดงให้เห็นว่า UCS<sub>w-d</sub> ของวัสดุผสมที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และน้ำยางธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้นตามรอบการทดสอบเปียกสลับแห้งที่เพิ่มขึ้นจนถึงรอบการทดสอบที่สามและมีค่าลดลงหลังจากผ่านรอบการทดสอบที่สาม ภาพถ่าย SEM ปรากฏแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติภายในช่องว่างและรอยแตกขนาดเล็กของโครงสร้างดินลูกรังผสมตะกรันเหล็กปรับปรุงด้วยซีเมนต์และน้ำยางธรรมชาติ และโครงสร้างดินลูกรังผสมมวลรวมคอนกรีตซีเมนต์ไซเคิลปรับปรุงด้วยซีเมนต์และยางธรรมชาติ ซึ่งส่งผลให้ UCS<sub>w-d</sub> มีค่าสูงกว่า การสูญเสียน้ำหนักและการดูดซึมน้ำมีค่าต่ำกว่า เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีผสมน้ำยางธรรมชาติ

งานวิจัยนี้จะให้ข้อมูลเชิงลึกใหม่เกี่ยวกับการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของดินลูกรังผสมซีเมนต์ด้วยการแทนที่ด้วยวัสดุซีเมนต์ไซเคิลและการผสมน้ำยางธรรมชาติสำหรับประยุกต์ใช้ในงานถนน การประยุกต์ใช้วัสดุซีเมนต์ไซเคิลไม่เพียงปรับปรุงสมบัติที่บดพร่องของดินลูกรังให้เป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับถนนที่มีปริมาณจราจรสูงของหน่วยงานระดับนานาชาติและหน่วยงานในท้องถิ่น แต่ยังมีส่วนช่วยในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของวัสดุเหลือทิ้ง ด้วยสมบัติยืดหยุ่นและแรงดึงที่คล้ายคลึงกันกับวัสดุผสมเพิ่มจำพวกโพลีเมอร์สังเคราะห์ น้ำยาพาราธรรมชาติจึงจัดเป็นวัสดุผสมเพิ่ม "สีเขียว" เพื่อการปรับปรุงโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของวัสดุที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ทดแทนการใช้โพลีเมอร์สังเคราะห์ ข้อต่อของวัสดุที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ เช่น พฤติกรรมแบบเปราะและความทนทานต่ำ ยังสามารถปรับปรุงด้วยน้ำยาพาราได้อีกด้วย

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

THI NGOC QUYNH TRAN: IMPROVED PERFORMANCE OF CEMENT-STABILIZED LATERITIC SOIL USING RECYCLED MATERIALS REPLACEMENT AND NATURAL RUBBER LATEX FOR PAVEMENT APPLICATIONS.

THESIS ADVISOR: ASST. PROF. DR. MENGLIM HOY, Ph. D., 184 PP.

Keywords: Recycled Materials/Cement Stabilization/Natural Rubber Latex/Pavement Base Applications

This research aims to study the potential of using recycled materials and natural rubber latex (NRL) in improving the performance of cement-stabilized lateritic soil for pavement applications. The steel slag (SS) and recycled concrete aggregate (RCA) replacement ratios of 50% and 70% were studied. The cement content of 5% by weight and dry rubber to cement (r/c) ratios of 0%, 3%, 5%, 10%, and 15% were examined. Geotechnical laboratory experimental programs were investigated under several influent factors such as steel slag-to-lateritic soil (SS:LS) ratios, recycled concrete aggregate-to-Lateritic soil (RCA:LS) ratios, dry rubber-to-cement (r/c) ratios in order to clarify three main objectives of the research. Firstly, unconfined compressive strength (UCS) and indirect tensile strength (ITS) tests, and microstructure analysis including scanning electron microscope (SEM) and X-ray diffraction (XRD) were performed. Secondly, indirect tensile resilient modulus (IT M<sub>r</sub>) and indirect tensile fatigue (IT F<sub>n</sub>) tests were conducted in order to assess the resilient modulus and fatigue life of cement-NRL stabilized recycled materials and lateritic soil blends under cyclic loading conditions. Finally, the durability against wetting-drying (w-d) cycles test of cement-NRL stabilized recycled materials and lateritic soil blends was performed. The unconfined compressive strength (UCS<sub>w-d</sub>), weight loss, water absorption, and microstructural change were considered as the results of the w-d cycles test.

The strength results showed that the cement-NRL stabilized recycled materials and lateritic soil blends can be used as pavement base course materials as their strength meets the minimum strength requirement specified by Department of Highway, Thailand. The coexistence of cement hydration products and NRL films

formed by optimum NRL content (optimum r/c ratio) can reduce the pore space and enhance the interparticle bond strength, resulting in the strength development of cement-NRL stabilized blends. The optimum r/c ratio was found to be 3% and 5% for cement-NRL stabilized SS:LS and RCA:LS blends, respectively producing the highest values of UCS, ITS, IT  $M_r$ , and IT  $F_n$ , which were higher than those of cement stabilized SS:LS and RCA:LS blends. However, beyond the optimum r/c ratio, the excessive amount of NRL generated thick NRL films and retarded the cement hydration process, resulting in low-strength development. The cement-NRL stabilized SS:LS blends exhibited higher mechanical strength properties and fatigue properties than the cement-NRL stabilized RCA:LS blends. In addition, for both types of recycled materials, the cement-NRL stabilized SS/RCA:LS blends with 70% recycled material replacement ratio exhibited superior mechanical strength and fatigue properties than the samples with 50% recycled material replacement ratio. It was also found that the mechanical strengths and fatigue properties of cement-NRL stabilized studied blends reliant on the r/c ratio. Hence, the relationship between UCS, ITS, IT  $M_r$ , and IT  $F_n$  of cement-NRL stabilized SS:LS and RCA:LS samples at various r/c ratios was established with high accuracy. The durability test result showed that the  $UCS_{w-d}$  of cement-NRL stabilized blends increased with the increase of the number of w-d cycles, up to the third cycle and then decreased beyond 3 cycles. The SEM images also indicated that the presence of NRL films infiltrates pores and cracks of cement-stabilized structure, resulting in the higher  $UCS_{w-d}$  and lower weight loss and water absorption of cement-NRL stabilized SS:LS and RCA:LS blends compared to the cement stabilized SS:LS and RCA:LS blends.

This research will provide new insights into improved mechanical of cement-stabilized lateritic soil using recycled materials replacement and natural rubber latex for pavement applications. Recycled materials applications are not only improving the unfavorable properties of lateritic soil to comply with the specifications for high volume roads designated by international or local road authorities but also contribute to solving the environmental burden due to the increasing waste materials. With similar elastic and tensile properties to synthetic polymer additives, NRL is recognized as a "green" additive to improve the microstructure and mechanical properties of



cement-stabilized materials alternate to Synthetic polymer additives. The shortcoming of cement-stabilized materials such as brittle behavior as well as durability can also be enhanced by using natural rubber latex.



School of Civil Engineering

Academic year 2022

Student's Signature.....

Advisor's Signature.....

Co-Advisor's Signature.....