ความล่าช้าในการบดอัดวัสดุมวลรวมปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์

EFFECT OF COMPACTION DELAY ON THE STRENGTH OF CEMENT MODIFIED CRUSHED ROCK BASE

พัฒน์วิชญ์ ดาพรม[1], ณัฐพล อุ่นจางวาง[2], ธนันท์ แสงสา[2], อนุรักษ์ สีขาว[2] และ อภิชิต คำภาหล้า[2,*]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, จังหวัดสกลนคร, ประเทศไทย
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน, จังหวัดขอนแก่น, ประเทศไทย
*Corresponding author address: apichit.ku@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

เทคนิคการปรับปรุงดินด้วยซีเมนต์แบบผสมตื้น เป็นหนึ่งวิธีในการประยุกต์ใช้ซีเมนต์ในการปรับปรุงวัสดุงานทาง ซึ่งเป็นดินแข็งที่มีปริมาณความชื้นต่ำ ในการปรับปรุงดินด้วยวิธีนี้นั้นจำเป็นต้องมีกระบวนการบดอัดเพื่อให้อนุภาคดิน น้ำ และซีเมนต์รวมเป็นเนื้อเดียวกัน การพัฒนากำลังของดินซีเมนต์แบบเป็นจะผลมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เกิดขึ้นระหว่างซีเมนต์และน้ำ โดยการก่อตัวจะเริ่มขึ้นหลังจากที่ซีเมนต์สัมพันธ์กับน้ำแล้วประมาณ 2-3 ชั่วโมง ดังนั้น ในมาตรฐานการก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ของกรมทางหลวง ระยะเวลาในการทำงาน ตั้งแต่การการเริ่มผสมจนกระทั่งบดอัดแล้วเสร็จ ไม่ควรเกิน 2 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม ในบางพื้นที่ที่มีพื้นที่ในการก่อสร้างจำกัดและมีการเปิดการจราจรในเส้นทางที่ก่อสร้าง อาจทำให้เกิดความล่าในการบดอัด งานวิจัยนี้จะนำเสนอผลการทดสอบกำลังของดินตัวอย่างผสมซีเมนต์ เพื่อวัดความสามารถในการทำงาน โดยการทดสอบจะทำการแปรผันความล่าช้าในการบดอัดเป็นเวลา 1, 2, 3 และ 4 ชั่วโมง ภายหลังการผสม ผลจากการทดสอบ พบว่า การใช้ปริมาณซีเมนต์ที่สูงขึ้นมีผลทำให้สามารถมีเวลาในการบดอัดที่มากขึ้น การผสมซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักดินแห้ง สามารถทำการบดอัดได้ในภายในเวลา 2-3 ชั่วโมง สำหรับหินคลุกผสมซีเมนต์ และ การผสมซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักดินแห้ง สามารถทำการบดอัดได้ในภายในเวลา 2-3 ชั่วโมง สำหรับหินคลุกและวัสดุผิวทางหมุนเวียนผสมซีเมนต์

คำสำคัญ: *ดินซีเมนต์, การก่อตัว, ความล่าช้าในการบดอัด, การก่อสร้างถนน, การควบคุมการบดอัด*

Abstract

Shallow cement mixing is one of soil improvement techniques to blend cement into roadwork materials which is characteristically low water material. To do so, compaction procedure is required to homogenize soil particles, water and cement. The strength development of soil cement is due to hydration reaction of cement and water constituted within 2 to 3 hours afterward. In accordance with the standard of Department of Highways for the soil cement roadwork, the working time should not exceed 2 hours. However, the compaction is occasionally delayed due to some construction sites located in restricted area or partially allowed accessibility by transport services. This research is therefore to present the ability of soil cement for determining higher working time. The test differed compaction time after soil mixed with cement was 1, 2, 3 and 4 hours respectively. Results indicated that working time for compaction was contributed by the amount of cement. Cement mixture at 2% by weight of dry soil enables the compaction to perform within 2-3 hours for crushed rock mixed with cement. While crushed rock and recycled road materials mixed with cement requires cement mixture at 4% by weight of dry soil to perform the compaction for 2-3 hours.

Keywords: *Soil Cement, Curing Time, Compaction Delay, Road Construction*

1. คำนำ

การปรับปรุงหินคลุกโดยผสมซีเมนต์ที่มีขนาดคละแบบ B, C หรือ D ตามมาตรฐานทางหลวง และการปรับปรุงวัสดุหมุนเวียนจากงานชั้นทางด้วยซีเมนต์และหินคลุก หรือที่เรียกว่า ดินซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base) และหินคลุกผสมกับซีเมนต์ และวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled Asphalt Pavement, RAP) ตามลำดับ ซึ่งเป็นวัดสุที่มีความชื้นต่ำ นำมาบดอัดผสมกันเพื่อใช้เป็นวัสดุงานชั้นทางอีกครั้งนั้น จำเป็นต้องอาศัยปฏิกิริยาเชื่อมประสานของซีเมนต์ที่เรียกว่า “ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น” ระหว่างวัสดุมวลรวม น้ำและซีเมนต์ เพื่อพัฒนากำลังขึ้นมานั้น ซึ่งจะมีระยะเวลาการก่อตัว หรือเวลาในการทำงานของปฏิกิริยาดังกล่าว โดยประมาณ 2 ถึง 3 ชั่วโมง [1]

อย่างไรก็ตาม ในบางหน่วยงานของงานชั้นทางอาจเกิดความล่าช้า ที่ไม่สามารถดำเนินการบดอัดเพื่อปรับปรุงหินคลุกด้วยซีเมนต์และ หินคลุกผสมซีเมนต์ และ RAP ให้แล้วเสร็จภายเวลา 2 ชั่วโมง ได้หลังจากผสมซีเมนต์และน้ำแล้ว เนื่องมาจากเหตุปัจจัยภายนอก

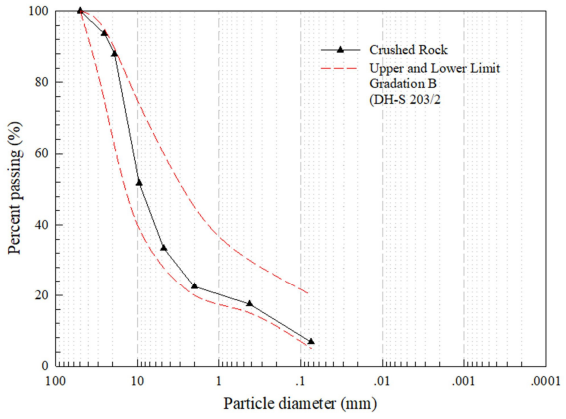
เช่น การจราจรที่หนาแน่น หรือสถานที่ดำเนินงานไม่เอื้ออำนวย เป็นต้น ความล่าช้าที่เกิดขึ้นนี้อาจจะส่งผลกระทบต่อการพัฒนากำลังรับน้ำหนักของดินซีเมนต์ [2] ด้วยเหตุปัจจัยดังกล่าว ควรจะมีการศึกษาความล่าช้าที่สามารถดำเนินการได้ในการบดอัดที่เกินกว่าช่วงเวลาการทำงานปรับปรุงชั้นทาง ทั้งนี้เพื่อให้งานชั้นทางยังมีประสิทธิภาพทางด้านกำลังต้านทาน ตามมาตรฐานทางหลวงกำหนด

งานวิจัยนี้ จะทำการตรวจสอบค่ากำลังต้านทานแรงอัดของหินคลุกและวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ผสมซีเมนต์ ภายใต้การจำลองความล่าช้าในการบดอัดที่ต่างกัน ของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างชั้นพื้นทาง หินคลุก (Cement Modified Crushed Rock Base) และ หินคลุกผสมวัสดุผิวทางนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled Asphalt Pavement, RAP) ผสมซีเมนต์ ผลกำลังที่ได้จะทำการเปรียบเทียบค่ากำลังที่เกิดขึ้นกับมาตรฐานของทางหลวง ซึ่งมีค่ากำลังต้านทานแรงอัด 24.5 ksc. และ 35.0 ksc. สำหรับค่ากำลังต้านทานแรงอัดที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน ตามลำดับ ตามมาตรฐาน ACI 230. 1R-90 [3] เทียบเท่ามาตรฐาน ทล.-ท.105 ของประเทศไทย [4] ในเทอมของอัตราส่วนกำลัง (Strength ratio) ประโยชน์ที่ได้จากงานนี้ สามารถประยุกต์ใช้ในการประมาณเวลาในการบดอัดในงานก่อสร้าง และปรับปรุงชั้นทาง

2. วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

2.1. หินคลุก

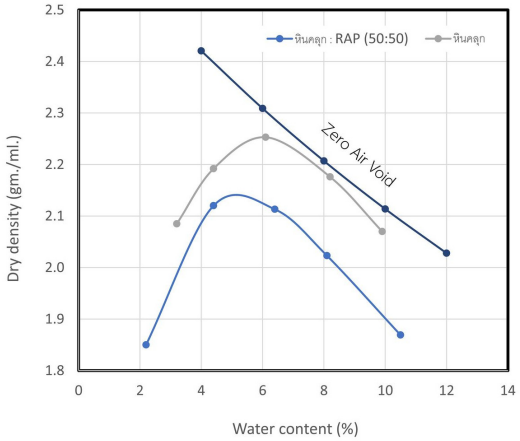
ตัวอย่างหินคลุกได้จากโรงโม่หินขุมเงิน-ขุมทอง จังหวัดนครราชสีมา หินคลุกตัวอย่างมีขนาดคละอยู่ในชั้น B ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ท. 205 เทียบค่ามาตรฐาน ASTM D1271 มีค่า C.B.R. 88% หน่วยน้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 2.26 กรัม/ซม.^{3} ที่ปริมาณน้ำเหมาะสม (O.W.C.) เท่ากับ 6.1 % กราฟแสดงการทดสอบขนาดคละของหินคลุก แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขนาดคละของตัวอย่างหินคลุก

2.2. หินคลุกผสมวัสดุผิวทางนำกลับมาใช้ใหม่ (RECYCLED ASPHALT PAVEMENT, RAP)

หินคลุกผสมวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ หรือ RAP ที่ได้จากการรื้อถอนของงานซ่อมแซมทางหลวงภายในเขตจังหวัดนครราชสีมา โดย RAP จะผสมกับหินคลุกในสัดส่วน 50:50 มีหน่วยน้ำหนักสูงสุดเท่ากับ 2.14 กรัม/ซม.^{3} ที่ปริมาณน้ำเหมาะสม (O.W.C.) เท่ากับ 6.4% สำหรับการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ท. 108/2517 ดังแสดงดังกราฟความสัมพันธ์ของหน่วยน้ำหนักแห้งและปริมาณน้ำ (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 ความหนาแน่นแห้งและปริมาณน้ำ ภายใต้การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (หินคลุกและ RAP)

3. การทดสอบ

3.1. การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน

หินคลุกตัวอย่างจะมีการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน ดังนี้

1.) การวิเคราะห์ขนาดคละของเม็ดดินโดยใช้ตะแกรงแบบไม่ล้างตามมาตรฐาน ทล.-ท. 204
2.) การทดสอบหาขีดจำกัดเหลว (LL) ตามมาตรฐาน ทล.-ท. 102
3.) การทดสอบหาขีดจำกัดพลาสติก (PL) ตามมาตรฐาน ทล.-ท. 103
4.) การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ตามมาตรฐาน ทล.-ท. 108

3.2. การทดสอบคุณสมบัติด้านกำลัง

หินคลุกตัวอย่าง จะถูกเตรียมด้วยการบดอัดด้วยวิธีแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) ที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเพื่อให้มีความหนาแน่นแห้งสูงที่สุด ในแม่พิมพ์ (mold) รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร สูง 116.4 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ทล.-ท.108/2517 หลังจากนำ

ตัวอย่างดินบดอัดตัวอย่างออกจากแม่พิมพ์ จะรักษาปริมาณความชื้นของตัวอย่าง ด้วยการห่อพลาสติกกันความชื้น จนถึงอายุบ่มที่กำหนด

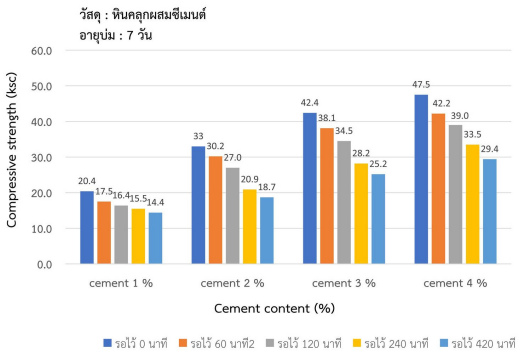
การทดสอบด้านกำลังของหินคลุกผสมซีเมนต์ และ ทดสอบการรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test) ตามมาตรฐาน ทล.-ท. 105/2515 ดำเนินการทดสอบแบบควบคุมความเครียดในอัตรา 1.4 มิลลิเมตร/นาที (ร้อยละ 1 ของความสูงตัวอย่างต่อนาที)

ตัวอย่างทดสอบที่ได้อายุตามกำหนด การทดสอบกำลังอัดตัวอย่างทดสอบที่ถูกจำลองความล่าช้าในการบดอัด 60, 120, 240 และ 420 นาที จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุดทดสอบหลังจากบ่มได้อายุตามกำหนดแล้ว ดังนี้ 1.) ตัวอย่างหินคลุมผสมซีเมนต์ แปรผันซีเมนต์ร้อยละ 1 ถึง 4 และ 2.) ตัวอย่างหินคลุกผสมกับซีเมนต์และวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ RAP ที่แปรผันซีเมนต์ร้อยละ 2 ถึง 5

4. ผลทดสอบและการอภิปรายผล

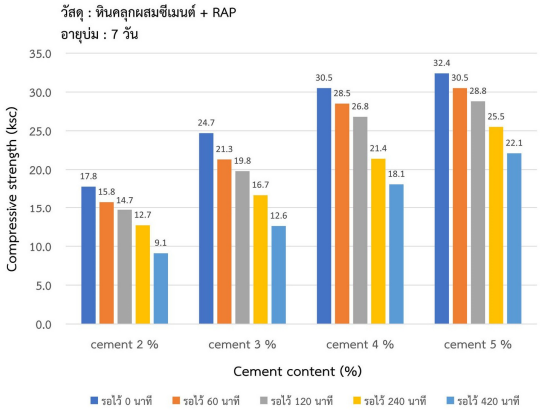
รูปที่ 3 แสดงผลของการหน่วงเวลาต่อกำลังต้านทานแรงอัดและปริมาณซีเมนต์ แปรผันตามความล่าช้าในการบดอัด สำหรับหินคลุกที่ผสมกับซีเมนต์ ทดสอบตัวอย่างที่อายุบ่ม 7 วัน พบได้ว่าทุกตัวอย่างทดสอบที่ผสมซีเมนต์จะมีกำลังลดลงตามความล่าช้าที่เพิ่มมากขึ้นซึ่งเกิดเนื่องจากการใช้ระยะเวลาการบดอัดนานขึ้น [2]

ค่ากำลังต้านทานแรงอัดในตัวอย่างทดสอบทุกเวลาความล่าช้าที่ปริมาณซีเมนต์ 1% มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ทางหลวง ในตัวอย่างทดสอบที่ปริมาณซีเมนต์ 2% ความล่าช้าในการบดอัดที่เวลา 0 ถึง 120 นาที จะมีค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงกว่ามาตรฐานทางหลวง แต่ตัวอย่างทดสอบที่ปริมาณซีเมนต์ 3% และ 4% ทุกเวลาความล่าช้าในการบดอัดมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานของทางหลวง



รูปที่ 3 กำลังต้านทานแรงอัดและปริมาณซีเมนต์แปรผันความล่าช้าในการบดอัดของหินคลุกผสมซีเมนต์ ทดสอบที่อายุบ่ม 7 วัน

รูปที่ 4 แสดงผลของการหน่วงเวลาต่อกำลังต้านทานแรงอัดและปริมาณซีเมนต์ แปรผันตามความล่าช้าในการบดอัด ของหินคลุกผสมซีเมนต์+RAP ทดสอบที่อายุบ่ม 7 วัน จากรูปพบว่า ทุก ๆ ปริมาณของซีเมนต์ ค่ากำลังต้านทานแรงอัดลดลงตามความล่าช้าที่เพิ่มมากขึ้น ลักษณะเดียวกันกับกับตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์ แต่ปริมาณซีเมนต์ที่เท่ากัน ค่ากำลังอัดของหินคลุกผสมซีเมนต์+RAP จะมีค่ากำลังน้อยกว่าหินคลุกผสมซีเมนต์ ซึ่งเป็นอิทธิพลของ RAP [5] โดยในตัวอย่างบดอัดที่ปริมาณซีเมนต์ 2% ค่ากำลังต้านทานแรงอัดน้อยกว่ามาตรฐานกรมทางในทุก ๆ เวลาความล่าช้าในการบดอัด ในตัวอย่างบดอัดปริมาณซีเมนต์ 3% ค่ากำลังต้านทานแรงอัดบดอัดทันทีเท่านั้น มีค่ากำลังต้านทานแรงอัดสูงตามมาตรฐานกรมทาง ในตัวอย่างบดอัดที่ปริมาณซีเมนต์ 4% มีค่ากำลังต้านทานแรงอัดความล่าช้า 0 ถึง 120 นาที ที่ให้กำลังต้านทานแรงอัดมากกว่ามาตรฐานกรมทาง และในตัวอย่างบดอัดที่ปริมาณซีเมนต์ 5% ที่เวลาล่าช้าที่ 420 นาทีตัวอย่างเดียวที่มีค่ากำลังต้านทานแรงอัดของตัวอย่างต่ำกว่ามาตรฐานกรมทาง



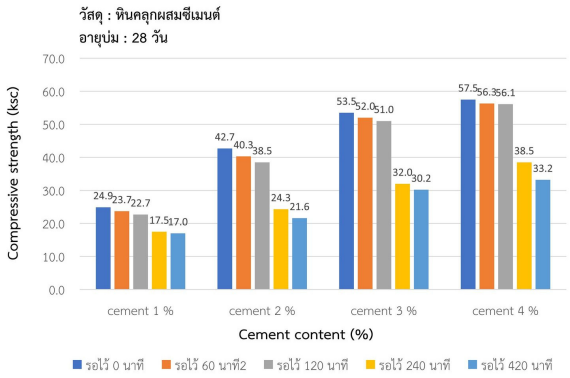
รูปที่ 4 กำลังต้านทานแรงอัดและปริมาณซีเมนต์แปรผันความล่าช้าในการบดอัดของหินคลุกและ RAP ผสมซีเมนต์และทดสอบที่อายุบ่ม 7 วัน

รูปที่ 5 และ 6 แสดงผลทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดและปริมาณซีเมนต์แปรผันความล่าช้าในการบดอัด ของหินคลุกผสมซีเมนต์ และ หินคลุกและ RAP ผสมซีเมนต์ ที่อายุบ่ม 28 วัน ตามลำดับ จากผลการทดสอบเมื่อเทียบกับผลการทดสอบที่อายุบ่ม 7 วัน ในปริมาณซีเมนต์ที่เท่ากัน พบว่า ค่ากำลังต้านทานแรงอัดที่อายุบ่ม 28 วัน มีค่าสูงกว่ากำลังต้านทานแรงอัดที่อายุบ่ม 7 วัน ผลการทดสอบนี้ แสดงถึงการพัฒนากำลังเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของทั้ง 2 ตัวอย่าง [6]

ผลของการหน่วงเวลาในการบดอัดต่อกำลังต้านทานแรงอัด มีลักษณะเดียวกันกับผลทดสอบที่อายุบ่ม 7 วัน ผลของการทดสอบจะถูกเทียบค่ากำลังสำหรับมาตรฐานกำลังต้านทานแรงอัดของดินซีเมนต์ สำหรับมาตรฐานดินซีเมนต์สำหรับงานทาง ที่อายุบ่ม 28 วัน ตามมาตรฐาน ACI 230. 1R-90 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 35.0 ksc.

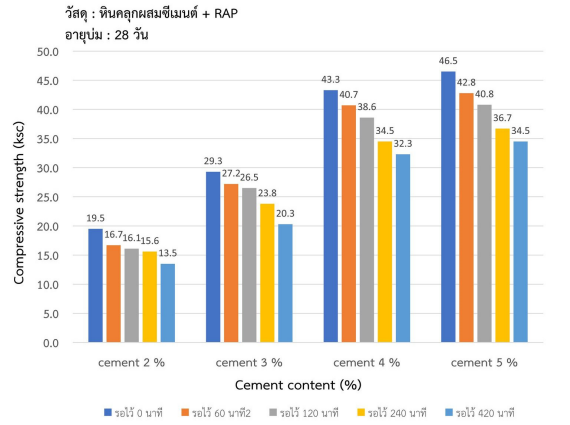
ค่ากำลังต้านทานแรงอัดของตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์ ที่ปริมาณซีเมนต์ 1% มีต่ำกว่ามาตรฐานงานทาง ทั้งหมด ที่ปริมาณซีเมนต์ 2% และ 3% มีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่ความล่าช้า 0 ถึง 120

นาที แต่ที่ปริมาณซีเมนต์ 4% จะมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่ 420 นาที เท่านั้น



รูปที่ 5 กำลังต้านทานแรงอัดและปริมาณซีเมนต์แปรผันตามความล่าช้าในการบดอัดของหินคลุก ผสมซีเมนต์ และทดสอบที่อายุบ่ม 28 วัน

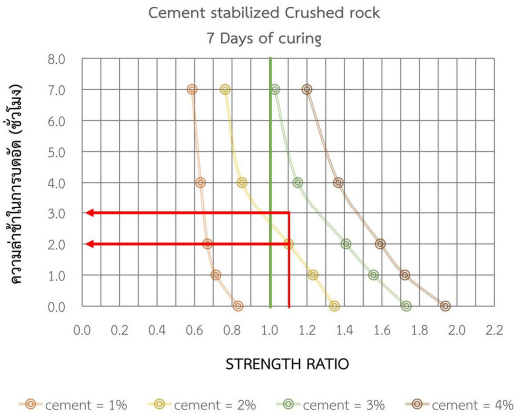
ค่ากำลังต้านทานแรงอัดของตัวอย่างหินคลุกและ RAP ผสมกับซีเมนต์ พบว่าที่ปริมาณซีเมนต์ 2% และ 3% จะไม่มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน ขณะที่ปริมาณซีเมนต์ 4% เวลาล่าช้าการบดอัดที่สูงกว่ามาตรฐานมีแค่ 0 ถึง 120 นาที เท่านั้นที่ผ่านมาตรฐาน สำหรับปริมาณซีเมนต์ 5% จะมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่ความล่าช้า 420 นาที



รูปที่ 6 กำลังต้านทานแรงอัดและปริมาณซีเมนต์แปรผันตามความล่าช้าในการบดอัดของหินคลุกและRAP ผสมซีเมนต์ และทดสอบที่อายุบ่ม 28 วัน

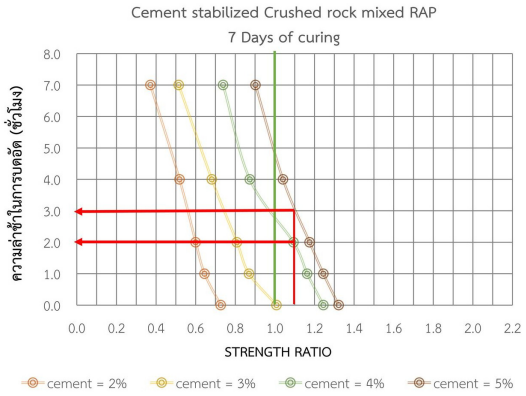
ผลการทดสอบกำลังของตัวที่แปรผันความล่าช้าในการบดอัดสามารถนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความล่าช้าในการบดอัดและ strength ratio เพื่อเปรียบเทียบค่ากำลังที่เกิดขึ้นกับมาตรฐานทางหลวง ดังแสดงในรูปที่ 7 ถึง รูปที่ 10

รูปที่ 7 แสดงผลของการหน่วงเวลาต่ออัตราส่วนกำลัง ของหินคลุกผสมซีเมนต์ (ทดสอบที่อายุบ่ม 7 วัน) เมื่ออัตราส่วนกำลัง (strength Ratio) คือสัดส่วนระหว่างค่ากำลังต้านทานแรงอัดได้จากการทดสอบภายใต้ความล่าช้าส่วนด้วยค่ากำลังต้านทานแรงอัด 24.5 ksc. ตามมาตรฐาน ACI 230. 1R-90 เทียบเท่ามาตรฐาน ทล.-ท.105 ของประเทศไทย พบว่า อัตราส่วนกำลังต้านทานแรงอัดของซีเมนต์ที่ 1% ต่ำกว่าอัตราส่วนกำลังต้านทานแรงอัดเท่ากับ 1 ที่ปริมาณซีเมนต์ 2% ถ้าคำนึงถึงประสิทธิภาพของการผสมให้เป็นไปตามมาตรฐานวิธีการก่อสร้าง ทล.-ม. 204/2556 อัตราส่วนกำลังต้านทานแรงอัด ต้องเท่ากับ 1.15 ต้องมีค่าความล่าช้าไม่เกิน 2 ชั่วโมง ถ้าไม่คิดประสิทธิภาพของการผสม อัตราส่วนกำลังต้านทานแรงอัดเท่ากับ 1จะสามารถมีค่าความล่าช้าไม่เกิน 3 ชั่วโมง ที่ปริมาณซีเมนต์ 3% และ 4% อัตราส่วนกำลังต้านทานแรงอัดเกิน 1 และ 1.15 ทุกๆ ความล่าช้า



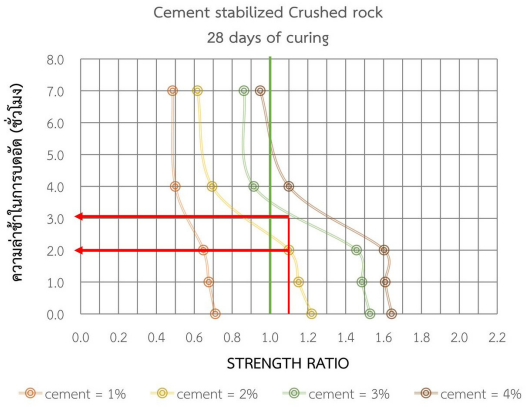
รูปที่ 7 ความล่าช้าในการบดอัดและอัตราส่วนกำลัง (strength ratio) ของหินคลุกผสมซีเมนต์ทดสอบที่อายุบ่ม 7

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความล่าช้าในการบดอัดและอัตราส่วนกำลัง ของหินคลุกผสมซีเมนต์+RAP (ทดสอบอายุบ่ม 7 วัน) พบว่า อัตราส่วนกำลังต้านทานแรงอัดของซีเมนต์ที่ 2% และ 3% ต่ำกว่าอัตราส่วนกำลังต้านทานแรงอัดเท่ากับ 1 ในขณะที่ปริมาณซีเมนต์ 4% ถ้าคำนึงถึงประสิทธิภาพของการผสม (อัตราส่วนกำลังต้านทานแรงอัด 1.15) ต้องมีค่าความล่าช้าไม่เกิน 2 ชั่วโมง ถ้าไม่คิดประสิทธิภาพของการผสม สามารถล่าช้าได้ไม่เกิน 3 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามที่ปริมาณซีเมนต์ 5% อัตราส่วนกำลังต้านทานแรงอัดเกิน 1 และ 1.15 ทั้งหมด



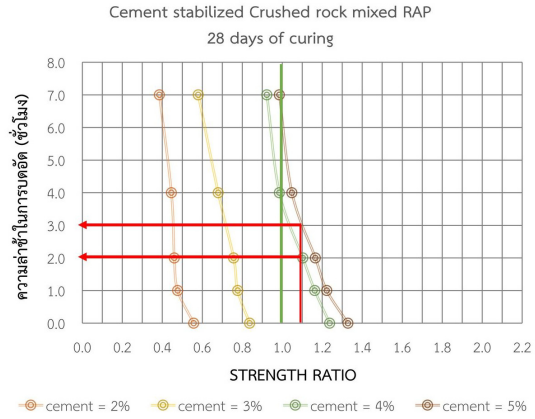
รูปที่ 8 ความล่าช้าในการบดอัดและอัตราส่วนกำลัง (strength ratio) ของหินคลุกผสมซีเมนต์+RAPทดสอบที่อายุบ่ม 7

รูปที่ 9 แสดงผลของการหน่วงเวลาต่ออัตราส่วนกำลัง ของหินคลุกผสมซีเมนต์ (ทดสอบที่อายุบ่ม 28 วัน) เมื่ออัตราส่วนกำลัง (strength Ratio) คือสัดส่วนระหว่างค่ากำลังต้านทานแรงอัดได้จากการทดสอบภายใต้ความล่าช้าส่วนด้วยค่ากำลังต้านทานแรงอัด 35.0 ksc. ตามมาตรฐาน ACI 230. 1R-90 อัตราส่วนกำลังต้านทานแรงอัดของซีเมนต์ที่ 1% ต่ำกว่าอัตราส่วนกำลังต้านทานแรงอัดเท่ากับ 1 ขณะที่ปริมาณซีเมนต์ 2% กรณีคำนึงถึงประสิทธิภาพของการผสม จะสามารถล่าช้าได้ไม่เกิน 2 ชั่วโมง ถ้าปริมาณซีเมนต์ 3% และ 4% สามารถล่าช้าได้เกิน 3 ชั่วโมง ทั้งที่คำนึงและไม่คำนึงถึงประสิทธิภาพการบดอัด



รูปที่ 9 ความล่าช้าในการบดอัดและอัตราส่วนกำลัง (strength ratio) ของหินคลุกผสมซีเมนต์ทดสอบที่อายุบ่ม 28

รูปที่ 10 แสดงแสดงผลของการหน่วงเวลาต่ออัตราส่วนกำลังของหินคลุกผสมซีเมนต์+RAP (ทดสอบที่อายุบ่ม 28 วัน) แสดงให้ทราบว่า อัตราส่วนกำลังต้านทานแรงอัดของซีเมนต์ที่ 1% และ 2% ต่ำกว่าอัตราส่วนกำลังต้านทานแรงอัดเท่ากับ 1 ขณะที่ปริมาณซีเมนต์ 4% สามารถล่าช้าได้ถึง 3 ชั่วโมง ในกรณีที่ไม่คำนึงถึงประสิทธิภาพของการผสม แต่ถ้าหากคำนึงถึงประสิทธิภาพของการผสม สามารถล่าช้าได้ 2 ชั่วโมง สำหรับปริมาณซีเมนต์ที 5% สามารถล่าช้าได้ถึง 3 ชั่วโมง ทุกกรณี



รูปที่ 10 ความล่าช้าในการบดอัดและอัตราส่วนกำลัง (strength ratio) ของหินคลุกผสมซีเมนต์+RAP ทดสอบที่อายุบ่ม 28

จากผลการทดสอบค่ากำลังต้านทานแรงอัดของหินคลุกและวัสดุนำกลับมาใช้ใหม่ผสมซีเมนต์ ภายใต้การจำลองความล่าช้าในการบดอัดที่ต่างกัน โดยควบคุมปริมาณความชื้นที่เหมาะสม แสดงให้ทราบว่ากำลังรับแรงอัดจะสูงขึ้นตามปริมาณของซีเมนต์ที่ผสมในตัวอย่างทดสอบ ซึ่งสอดคล้องกับ [7] water cement ratio (w/c) จากปฏิกิริยาเชื่อมประสาน ที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีของน้ำกับซีเมนต์ ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น แต่จะมีกำลังต้านทานแรงอัดลดลงเมื่อเกิดความล่าช้าในการบดอัดที่มากขึ้น

5. สรุป

จากผลการทดสอบ สรุปได้ดังนี้

1. ค่ากำลังต้านทานแรงอัดของหินคลุกผสมซีเมนต์ และหินคลุกผสมซีเมนต์ ผสมวัสดุผิวทางนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled Asphalt Pavement, RAP) เพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น
2. ค่ากำลังต้านทานแรงอัดของหินคลุกผสมซีเมนต์ และหินคลุกผสมซีเมนต์ผสมวัสดุผิวทางนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycled Asphalt Pavement, RAP) ลดลงตามความล่าช้าในการบดอัดที่เพิ่มขึ้น
3. ถ้าไม่คำนึงถึงประสิทธิภาพการผสม (strength ratio = 1) หินคลุกผสมซีเมนต์ปริมาณซีเมนต์ 2% สามารถทำงานล่าช้าได้ในเวลา 0-120 นาที
4. ถ้าไม่คำนึงถึงประสิทธิภาพการผสม (strength ratio = 1) หินคลุกผสมซีเมนต์ที่ 3% และ 4% สามารถทำงานได้ในเวลา 0 - 420 นาที

5. ถ้าไม่คำนึงถึงประสิทธิภาพการผสม strength ratio = 1) หินคลุกผสมซีเมนต์+RAP ปริมาณซีเมนต์ 4% และ 5% สามารถทำงานได้ในเวลา 0 – 420 นาที
6. ถ้าคำนึงถึงประสิทธิภาพการผสม (strength ratio = 1.15) หินคลุกผสมซีเมนต์ ที่ 3% สามารถทำงานได้ในเวลา 0 – 120 นาที
7. ถ้าคำนึงถึงประสิทธิภาพการผสม หินคลุกผสมซีเมนต์+RAP ปริมาณซีเมนต์ 4% และ 5% สามารถทำงานได้ในเวลา 0 – 420 นาที

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการพัฒนางานสร้างสรรค์สู่งานวิจัยเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีนักศึกษาระดับปริญญาตรี ประจำปีงบประมาณ 2563คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุน และขอขอบคุณโครงการก่อสร้างกรมทางหลวง สายบางปะอิน – สระบุรี – นครราชสีมา ตอนที่ 29 ช่วง กม.131+335.000 – กม.132+955.000ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุก่อสร้าง

7. การอ้างอิง

[1] Felt, E.J. (1955). Factors influencing physical properties of soil-cement mixtures. Highway Research Board, Bulletin. 108, pp. 38-63.

[2] Ingles, O.G. and Metcalf, J.B. (1972). Soil stabilization. Sydney, Butterworths, pp. 64-69.

[3] ACI 230.1R-90, 1997. State-of-the-Art Report on Soil Cement. ACI Committee 230, pp. 1-23.

[4] สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง, (2539), มาตรฐานงานทาง Standards for Highway Construction, กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, 120 หน้า

[5] Suebsuk, J., Horpibulsuk, S., Suksan, A., Suksiripattanapong, C., Phoo-ngernkham, T., Arulrajah, A. (2019). Strength prediction of cement-stabilised reclaimed asphalt pavement and lateritic soil blends. International Journal of Pavement Engineering, Volume 20, Issue 3

[6] Lambe, T.W., Mitchaels, A.S. and Moh, Z.C. (1959). Improvements of soil-cement with alkali compounds. Highway Research Board, Bulletin. 241, pp. 67-103.

[7] Horpibulsuk, S., Miura, N., and Nagaraj, T.S. (2003), “Assessment of strength development in cementadmixed high water content clays with Abrams’ law as a basis”, Geotechnique, Vol.53, No.4, pp. 439-444.