

ผลของวัฏจักรเปียกสลับแห้งต่อกำลังของวัสดุพื้นทางดินลูกรัง ปรับปรุงด้วยซีเมนต์

Effects of Wetting and Drying Cycles on Strength of Cement Stabilized Lateritic Soil as Base Course Material

จิระยุทธ สืบสุข* และอักรเดช ศิริพันธ์

Jirayut Suebsuk* and Agakaradate Siriphan

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถ.สุรนารายณ์ อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,
Rajamangala University of Technology Isan

744 Suranarai Road, Muang District, Nakhon Ratchasima 30000

* Email: jirayut.su@rmuti.ac.th, Tel: 09-1828-0696

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของวัฏจักรเปียกสลับแห้งต่อกำลังของชั้นพื้นทางดินลูกรังปรับปรุงด้วยซีเมนต์ การศึกษาทำโดยปรับเปลี่ยนปริมาณซีเมนต์ อายุบ่มและจำนวนรอบการทดสอบเปียกสลับแห้ง ในขณะที่ความชื้นเริ่มต้นและความหนาแน่นแห้งควบคุมให้คงที่ การทดสอบกำลังอัดแกนเดียวทำกับก้อนตัวอย่างทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านวัฏจักรเปียกสลับแห้ง จากผลการทดสอบพบว่า การปรับปรุงด้วยซีเมนต์ส่งผลต่อการต้านทานการวิบัติของดินชั้นพื้นทางเนื่องจากวัฏจักรเปียกสลับแห้ง นอกจากนั้นกำลังยังเพิ่มขึ้นตามรอบเปียกสลับแห้งจนถึง 6 รอบอันเนื่องจากการเกิดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันซ้ำและแรงดูด จากนั้นกำลังมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มจำนวนรอบเปียกสลับแห้ง กำลังของดินซีเมนต์ขึ้นตรงกับการดูดซึมน้ำของก้อนตัวอย่างในกระบวนการแช่น้ำ การดูดซึมน้ำของก้อนตัวอย่างเพิ่มขึ้นแต่กำลังลดลงตามรอบเปียกสลับแห้งที่เพิ่มขึ้น พันธะเชื่อมประสานจากซีเมนต์ช่วยให้ตัวอย่างแน่นขึ้นจึงสามารถต้านการเสียหายของโครงสร้างดินจากวัฏจักรเปียกสลับแห้งได้

ABSTRACT

This research has studied the effect of wetting and drying cycles on the strength of lateritic soil base course stabilized by cement. The cement content, curing time and a number of wetting and drying cycles were varied, while the initial moisture content and dry density were kept constant. The unconfined compressive tests were performed on samples with and without wetting and drying cycles. Based on the test result, it is found that the cement stabilization has played a significant role on the failure resistance of soil base due to the wetting and drying cycles. Moreover the strength increases during the wetting and drying cycles up to 6 cycles due to the rehydration and suction force, then strength trends to decrease with an increase in a number of wetting and drying cycles. The strength of soil-cement is directly related to water absorption of sample after wetting. The water absorption increases but strength decreases with an increase in a number of wetting and drying cycles. The structural bonding from cement makes the sample denser, which can resist the soil structure failure by wetting and drying processes.

1. บทนำ

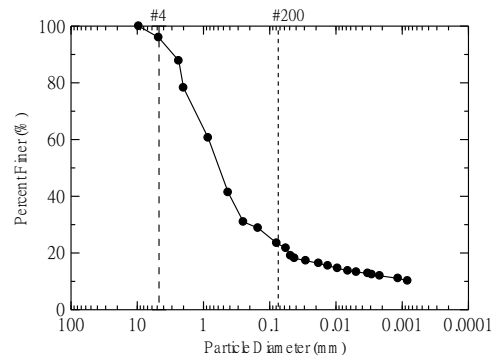
การซ่อมบำรุงผิวทางโดยวิธีดั้งเดิมทำโดยวิธีลอกผิวทางเดิมรวมถึงชั้นพื้นทางที่ชำรุดแล้วแทนที่โดยใช้วัสดุใหม่ทั้งหมด กระบวนการนี้ส่งผลกระทบต่อต้นทุนการซ่อมบำรุงที่ค่อนข้างสูงและต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติอันได้แก่วัสดุคัดเลือกสำหรับชั้นพื้นทางจำนวนมาก ในบางพื้นที่การหาวัสดุคัดเลือกที่เป็นไปตามมาตรฐานสำหรับชั้นพื้นทางแบบไม่ต้องปรับปรุงกำลัง (Unbound material) นั้นหาได้ยาก ดังนั้นการนำวัสดุในพื้นที่ เช่น ดินลูกรัง มาปรับปรุงด้วยซีเมนต์ [1] ซึ่งสามารถลดการใช้ทรัพยากรและงบประมาณในการจัดหาวัสดุคัดเลือกคุณภาพสูงจากนอกพื้นที่ได้

วิธีการออกแบบหาอัตราส่วนผสมของดินซีเมนต์ใช้วิธีลองผิดลองถูก (Trial and error) โดยมักมุ่งที่การทำทดสอบเพื่อหาปริมาณซีเมนต์น้อยที่สุดที่ให้กำลังอัดของวัสดุผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐานสำหรับใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง แต่อย่างไรก็ดีความเข้าใจการเปลี่ยนแปลงและการพัฒนากำลังของดินซีเมนต์บดอัดที่สภาวะการใช้งานยังมีอยู่อย่างจำกัด กลไกการพัฒนา กำลังของดินซีเมนต์บดอัดจากงานวิจัยในอดีตมุ่งศึกษาที่กำลังอัดภายใต้สภาวะการทดสอบปกติในห้องปฏิบัติการ [2-15] ต่างจากการใช้งานวัสดุจริงในสนาม วัสดุในสนามต้องมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นและอุณหภูมิตลอดอายุการใช้งานซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังอัด การจำลองสภาวะการใช้งานในสนามภายในห้องปฏิบัติการทำได้โดยการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D559 [16] กระบวนการจำลองนี้เรียกว่า "วัฏจักรเปียกสลับแห้ง" หลังที่ตัวอย่างผ่านกระบวนการนี้แล้วจึงนำตัวอย่างไปทดสอบหากำลังอัดที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละรอบการทดสอบ งานวิจัยนี้ศึกษาความคงทนของดินซีเมนต์ชั้นพื้นทางบดอัดจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังอัดแกนเดียวหลังการผ่านวัฏจักรเปียกสลับแห้ง เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการเปลี่ยนแปลงกำลังของวัสดุเมื่อผ่านสภาวะการใช้งานในสนาม

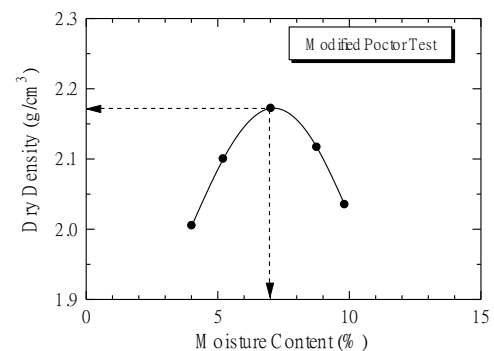
2. วัสดุและการทดสอบ

2.1 วัสดุที่นำมาศึกษา

ตัวอย่างดินลูกรัง (Lateritic Soil) ที่นำมาศึกษาในปริมาณกรวดร้อยละ 4 ทรายร้อยละ 72.5 และดินส่วนละเอียดร้อยละ 23.5 ส่วนละเอียดมีค่าขีดจำกัดของเหลวและขีดจำกัดพลาสติก [17] เท่ากับ 21.8 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีค่าความถ่วงจำเพาะ [18] เท่ากับ 2.68 การกระจายขนาดผลแสดงดังรูปที่ 1 ดินนี้จำแนกเป็นทรายปนดินเหนียว (SC) [19] พฤติกรรมการบดอัดของดินลูกรังที่พลังงานสูงกว่ามาตรฐาน [20] แสดงดังรูปที่ 2 ซีเมนต์ที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภทที่ 1 ที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 [21]



รูปที่ 1 ขนาดผลของดินลูกรังที่ศึกษา



รูปที่ 2 การบดอัดของดินลูกรังที่ศึกษา

ตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ศึกษาเตรียมที่ปริมาณความชื้นและความหนาแน่นเท่ากับปริมาณความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ปริมาณซีเมนต์ (C) ปรับเปลี่ยนเท่ากับร้อยละ 1 และ 5 ของ

น้ำหนักดินแห้งตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ งานจริงในสนาม การเตรียมตัวอย่างแบ่งเป็น 2 ชุดที่มี ส่วนผสมเหมือนกัน ชุดที่หนึ่งสำหรับทดสอบ กระบวนการเปียกสลับแห้ง ชุดที่สอง (ตัวอย่างอ้างอิง) ไม่ผ่านกระบวนการเปียกสลับแห้งแต่นำมาหาค่าลึงอัด อังอิงเปรียบเทียบกับก้อนตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการเปียก สลับแห้งที่อายุบ่มเท่ากัน

2.2 วิธีการทดสอบ

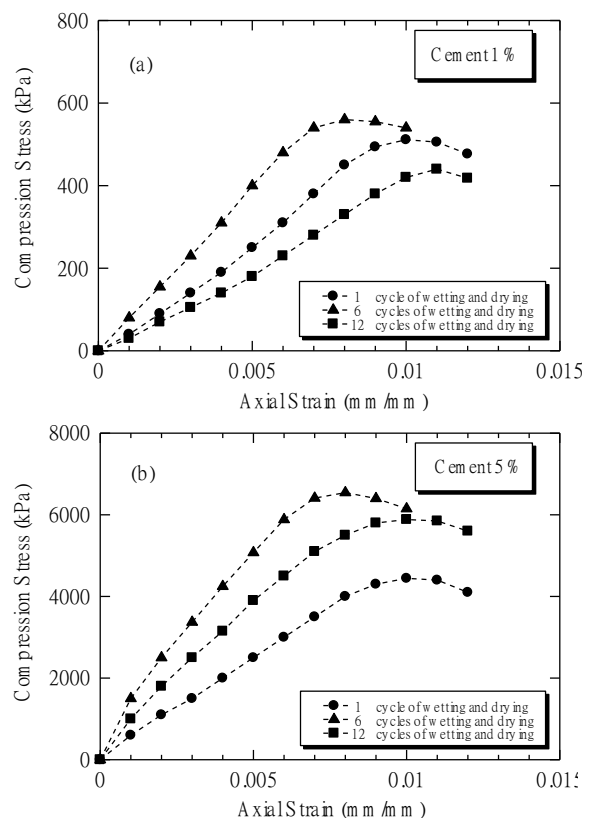
การทดสอบความคงทนโดยวิธีเปียกสลับแห้ง (Wetting and drying) ตามมาตรฐาน ASTM D559 [17] ทำโดยนำตัวอย่างที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน แช่น้ำที่ อุณหภูมิห้อง 5 ชั่วโมง และนำตัวอย่างอบในตู้อบที่ ความคุมอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นผึ่งตัวอย่างให้ผิวแห้งที่อุณหภูมิห้อง เมื่อสิ้น กระบวนการนี้ถือว่าเป็น 1 รอบการทดสอบ ในแต่ละรอบ การทดสอบเปียกสลับแห้งทำการบันทึกน้ำหนักของก้อน ตัวอย่างโดยการชั่งน้ำหนัก ตัวอย่างชุดที่หนึ่งเมื่อผ่านการ จำลองวัฏจักรเปียกสลับแห้งครบตามรอบที่กำหนดแล้ว พร้อมกับตัวอย่างชุดที่สองที่อายุบ่มเดียวกันถูกนำมา ทดสอบค่าลึงอัดแกนเดียวตามมาตรฐาน ASTM D5102 [22]

3. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

3.1 ผลของวัฏจักรเปียกสลับแห้งต่อความเค้นและ ความเครียด

พฤติกรรมความเค้นและความเครียดของดินลูกรัง ปรับปรุงด้วยซีเมนต์มีลักษณะคล้ายกับวัสดุเปราะ โดยมี ความเครียดที่จุดวิบัติอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 1.0 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะกราฟเป็นเส้นตรงจนถึงจุดคราก จากนั้นเริ่มโค้ง จนแตกวิบัติที่ค่าลึงอัดประลัย ผลการทดสอบค่าลึงอัดแกน เดียวของดินลูกรังผสมซีเมนต์ที่ปริมาณซีเมนต์เท่ากับ 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับอายุบ่ม 7 วันแสดงดังรูปที่ 3 จากกราฟพบว่าความแกร่ง (ความชันของกราฟ) เพิ่มขึ้น ตามจำนวนรอบการทดสอบเปียกสลับแห้งจนถึงรอบที่ 6 แต่รอบที่ 12 ความแกร่งกลับมีค่าลดลงและเป็นเช่นนี้กับ

ทั้งตัวอย่างที่ปริมาณซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 1 และ 5 ความ ชันที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับความเครียดที่กำลังอัดประลัยที่มี ค่าลดลงด้วย ความแกร่งที่ลดลงนี้สัมพันธ์กับกำลังอัด ประลัยที่ต่ำลงเช่นกัน สำหรับทุกปริมาณ ซีเมนต์ ความเครียดที่จุดวิบัติมีค่าเพิ่มขึ้นตามการลดลงของกำลัง อัด กำลังของดินซีเมนต์ไม่คงที่แต่ขึ้นกับวัฏจักรของการ เปลี่ยนแปลงความชื้นจากการแช่น้ำและการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ



รูปที่ 3 ผลของวัฏจักรเปียกสลับแห้งต่อกราฟความเค้น และความเครียดของตัวอย่างอายุบ่มก่อนทดสอบเท่ากับ 7 วัน (a) ซีเมนต์ร้อยละ 1 และ (b) ซีเมนต์ร้อยละ 5

3.2 ผลของวัฏจักรเปียกสลับแห้งต่อค่าลึงอัด

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าลึงอัดแกน เดียวกับรอบเปียกสลับแห้งของตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่าน รอบเปียกสลับแห้งที่อายุบ่มเดียวกันสำหรับการปรับปรุง ด้วยปริมาณซีเมนต์ต่ำ (C = 1%) ผลการทดสอบแสดงว่า ให้เห็นว่ากำลังของตัวอย่างที่อายุบ่ม 7 วันหลังจากผ่าน

รอบเปือกสลับแห้งมีค่าลดลงเล็กน้อยในรอบแรกและเพิ่มขึ้นที่รอบที่ 3 จากนั้นมีแนวโน้มลดลงโดยตลอดจนถึงรอบที่ 12 ส่วนตัวอย่างที่อายุบ่ม 28 วันหลังจากผ่านรอบเปือกสลับแห้งกำลังอัดลดลงเล็กน้อยในรอบที่แรกและเพิ่มขึ้นในทุกๆ รอบจนถึงรอบที่ 12 แต่อย่างไรก็ตามตัวอย่างอ้างอิงที่ไม่ผ่านรอบเปือกสลับแห้งที่มีอายุบ่มกันแสดงผลของการพัฒนากำลังอัดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เพิ่มขึ้นตามอายุบ่ม ส่วนต่างของกำลังอัดจากผลการทดสอบทั้งสองคือกำลังอัดที่ลดลงจากวัฏจักรเปือกสลับแห้ง สำหรับการปรับปรุงด้วยปริมาณซีเมนต์ต่ำแม้ว่าจะผ่านรอบเปือกสลับแห้งแล้วกำลังลดลงไม่มากแต่กำลังเริ่มต้นนั้นก็ยังมีค่าไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้ในงานพื้นทางตามมาตรฐาน [1]

รูปที่ 5 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวกับรอบเปือกสลับแห้งของตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านรอบเปือกสลับแห้งที่อายุบ่มเดียวกันสำหรับการปรับปรุงด้วยปริมาณซีเมนต์สูง ($C = 5\%$) ตัวอย่างที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 5 ทั้งที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน มีกำลังสูงกว่าปริมาณซีเมนต์ต่ำ ตัวอย่างที่ผ่านรอบเปือกสลับแห้งมีกำลังพัฒนาขึ้นตามรอบเปือกสลับแห้งทั้งที่อายุบ่มก่อนทดสอบ 7 และ 28 วัน โดยกำลังมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงรอบที่ 6 มีกำลังสูงสุดเท่ากับ 6,544 และ 7,126 กิโลปาสคาลสำหรับอายุบ่ม 7 และ 28 วัน ตามลำดับ จากนั้นกำลังอัดจึงมีแนวโน้มลดลงตามรอบเปือกสลับแห้ง โดยที่ตัวอย่างอ้างอิงที่ไม่ผ่านรอบเปือกสลับแห้งมีการพัฒนากำลังขึ้นตามอายุบ่มเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อพิจารณา 6 รอบกำลังของตัวอย่างที่ผ่านและไม่ผ่านรอบเปือกสลับแห้งแตกต่างกันร้อยละ 60 และ 45 สำหรับอายุบ่มเริ่มต้น 7 และ 28 วันตามลำดับ

3.3 ความสามารถในการดูดซึมน้ำระหว่างวัฏจักรเปือกสลับแห้ง

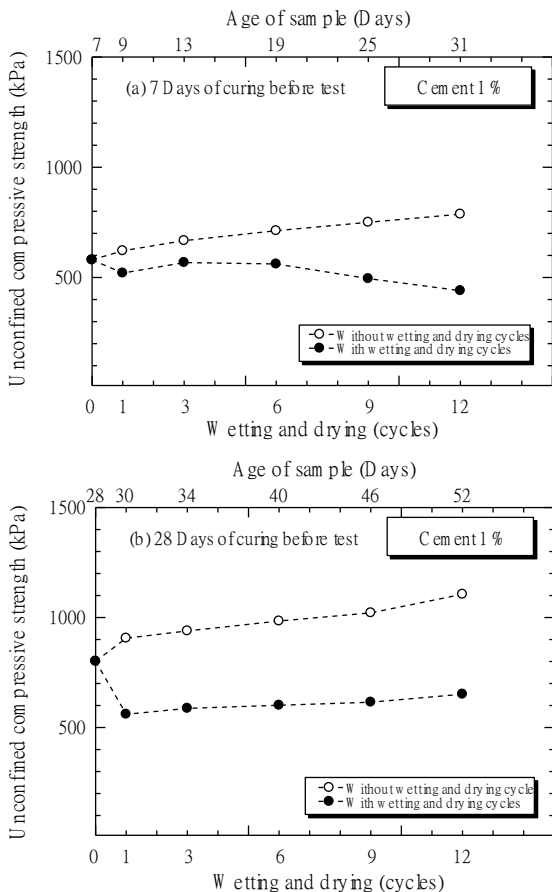
รูปที่ 6 และ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของก้อนตัวอย่างในแต่ละรอบเปือกสลับแห้ง วงกลมสีดำแสดงน้ำหนักหลังแช่น้ำ วงกลมสีขาวแสดงน้ำหนักหลังอบ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงที่ปริมาณ

ซีเมนต์ต่ำทั้งที่อายุบ่ม 7 และ 28 วันมีการสูญเสียของน้ำหนักของก้อนตัวอย่างระหว่างรอบเปือกสลับแห้งดังจะเห็นได้จากน้ำหนักหลังจากแช่น้ำที่ลดลงอย่างชัดเจน การสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอตามจำนวนรอบการทดสอบเปือกสลับแห้งที่เพิ่มขึ้น แต่ตัวอย่างที่ปริมาณซีเมนต์สูง ($C = 5\%$) อายุบ่ม 7 และ 28 วัน การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทดสอบเปือกสลับแห้งมีน้อยมากกำลังของดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil) ถูกควบคุมจากสองส่วนคือการเสียดทานระหว่างเม็ดดินและความดันด้านลบจาก Suction force [23] อย่างไรก็ตามก็ดีสำหรับดินปรับปรุงด้วยซีเมนต์บดอัดนั้น โครงสร้างดินซีเมนต์มีพันธะเชื่อมประสานจากปฏิกิริยาไฮเดรชันและความดันด้านลบจาก Suction force เนื่องจากดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ [14] แรง Suction ส่งผลให้การซึมของน้ำเข้าสู่ก้อนตัวอย่างจะเป็นไปได้ยากขึ้นเนื่องจากการไหลเข้าของน้ำเข้าสู่ในก้อนตัวอย่างแรงดันน้ำต้องสูงกว่าแรงดันที่เป็นลบ (แรงดูด) ที่มีอยู่ในก้อนตัวอย่าง

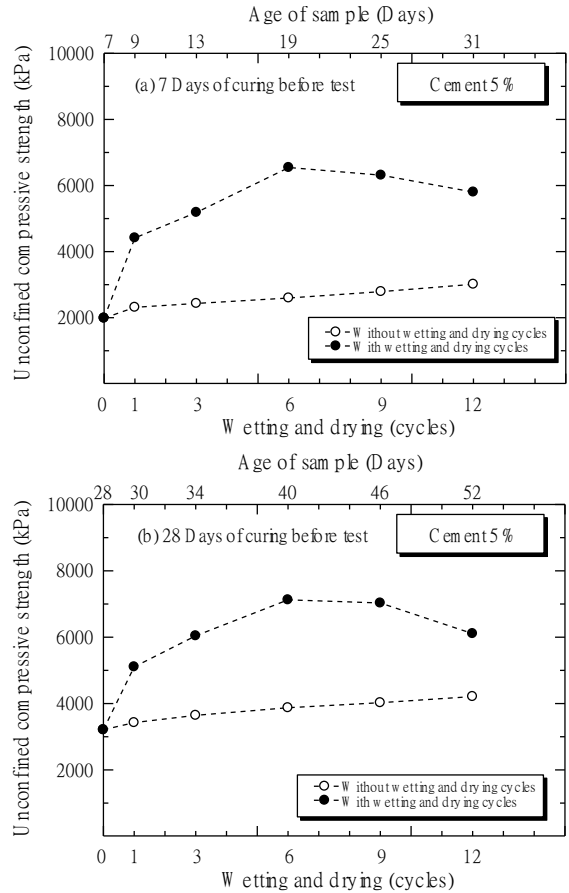
อัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังที่สูงสำหรับตัวอย่างที่อายุบ่ม 7 วัน (รูปที่ 5) เนื่องจากซีเมนต์ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำในช่วง 7 วันยังไม่หมดเมื่อผ่านรอบอบแห้งน้ำในตัวอย่างถูกไล่ออกด้วยความร้อนและเมื่อผ่านรอบเปียกน้ำที่ซึมเข้าตัวอย่างเข้าทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ที่เหลือทำให้โครงสร้างดินแน่นขึ้น ดังนั้นกระบวนการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์ชำระรวมไปถึงความดันที่เป็นลบจาก Suction force ส่งผลให้ตัวอย่างที่ผ่านรอบเปือกสลับแห้งมีกำลังสูงกว่าตัวอย่างอ้างอิงมาก แต่สำหรับตัวอย่างที่อายุบ่ม 28 วัน ตัวอย่างมีการพัฒนากำลังอัดเกือบสมบูรณ์ปริมาณซีเมนต์ที่เหลือในตัวอย่างน้อยและกำลังอัดของตัวอย่างอ้างอิงสูงกว่า ในขณะที่การพัฒนากำลังจากซีเมนต์ที่เหลือตามรอบเปือกสลับแห้งนั้นมีใกล้เคียงกับตัวอย่างที่อายุบ่ม 7 วัน จึงส่งผลให้อัตราการเพิ่มของกำลังอัดเทียบกับตัวอย่างอ้างอิงจึงมีค่าต่ำกว่า การเพิ่มขึ้นและลดลงของกำลังอัดของตัวอย่างที่ผ่านรอบเปือกสลับแห้งสามารถอธิบายได้จากความสามารถในการดูดซึมน้ำก่อนตัวอย่างที่ปริมาณซีเมนต์สูงดูดน้ำได้น้อยกว่าตัวอย่างที่ปริมาณ

ซีเมนต์ต่ำที่เวลาแช่น้ำเท่ากัน ผลการทดสอบเช่นนี้แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่มีปริมาณซีเมนต์สูงมีความแน่นมากกว่าเนื่องจาก

ผลของการพันธะเชื่อมประสานจากซีเมนต์ นอกจากนี้ความแน่นของก้อนตัวอย่างยังส่งผลกับความดันด้านลบในก้อนตัวอย่างไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ เนื่องจากน้ำในตัวอย่างระเหยออกขณะผ่านการอบแต่ไม่สามารถกลับเข้าไปในก้อนได้ในกระบวนการแช่น้ำเพราะดินซีเมนต์มีความพรุนลดลงกว่าดินปกติมาก ความดันด้านลบนี้จึงช่วยเพิ่มกำลังอัดในรอบการทดสอบช่วงแรก (1 ถึง 6 รอบ) อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามเมื่อรอบการทดสอบเพิ่มขึ้นพันธะเชื่อมประสานระหว่างเม็ดดินเริ่มถูกทำลาย ความพรุนเพิ่มมากขึ้น น้ำซึมเข้าตัวอย่างได้มากขึ้นแรงดูดมีค่าลดลงส่งผลให้กำลังอัดของก้อนตัวอย่างลดลงในรอบที่ 6 ถึง 12



รูปที่ 4 การทดสอบเป็ยกสลับแห้งต่อกำลังอัดที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 1



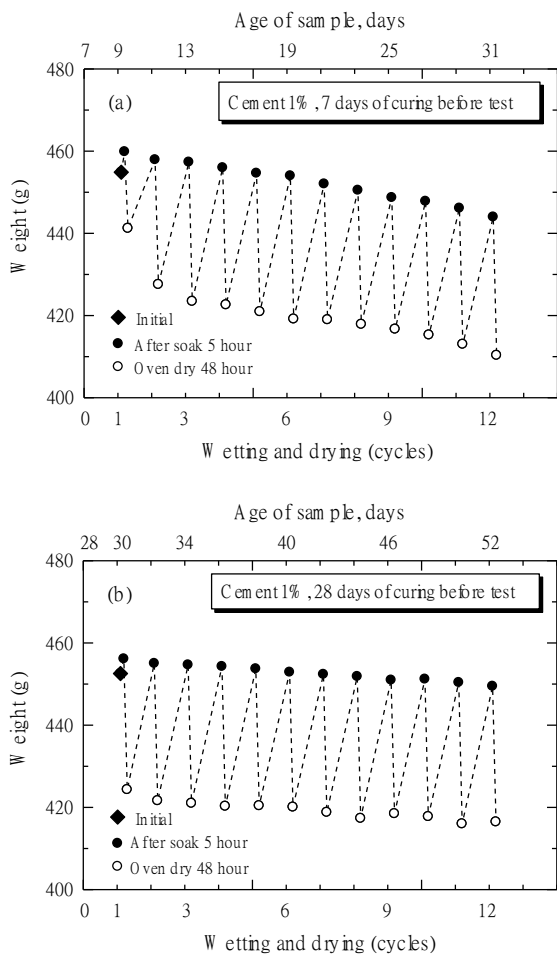
รูปที่ 5 การทดสอบเป็ยกสลับแห้งต่อกำลังอัดที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 5

ดังนั้นการออกแบบเพื่อเลือกปริมาณซีเมนต์ที่ใช้สำหรับดินซีเมนต์ชั้นพื้นทาง จำเป็นต้องพิจารณาความคงทนของก้อนตัวอย่างด้วย การเลือกใช้ปริมาณซีเมนต์ต่ำชั้นพื้นทางดินซีเมนต์อาจไม่สามารถทนทานสภาพการใช้งานที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะความชื้นตลอดเวลาได้และเกิดการวิบัติก่อนระยะเวลาที่ออกแบบไว้

4. บทสรุป

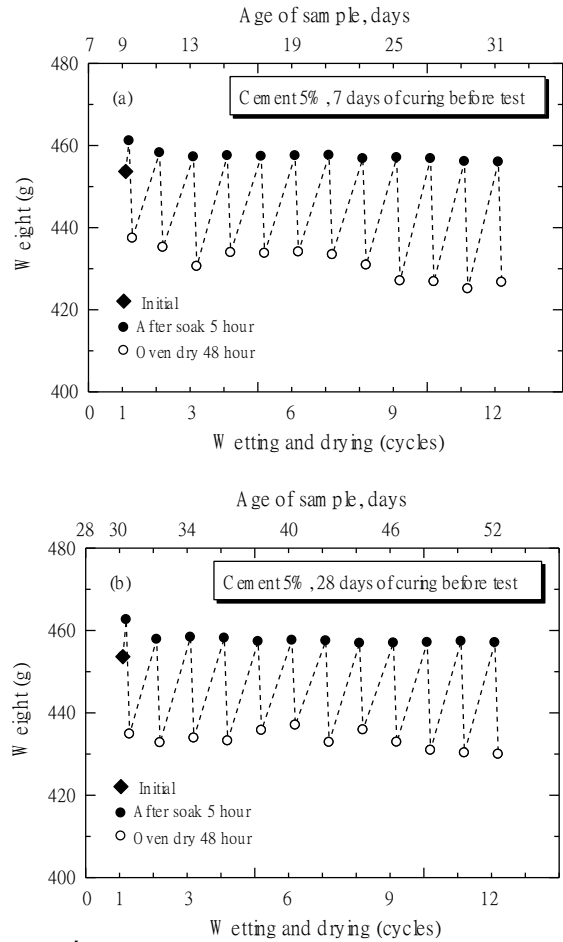
การวิจัยนี้ศึกษาความคงทนของดินซีเมนต์โดยการทดสอบเปรียบเทียบบำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ที่ผ่านและไม่ผ่านวัฏจักรเป็ยกสลับแห้ง จากผลการทดสอบสรุปได้ว่าดินลูกรังผสมซีเมนต์บดอัดมีค่าความแกร่งสูงขึ้นและค่าความเครียดที่จุดวิบัติมีค่าต่ำลงตามรอบการทดสอบเป็ยกสลับแห้งที่เพิ่มขึ้นจนถึงรอบที่ 6 แต่เมื่อรอบเป็ยก

สลับแห้งเพิ่มขึ้นจนถึงรอบที่ 12 ความแกร่งและกำลังอัด มีแนวโน้มลดต่ำลง



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวอย่างที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 1 และอายุบ่มเริ่มต้น (a) 7 วัน และ (b) 28 วัน

ตัวอย่างที่ปริมาณซีเมนต์ 1 เปอร์เซ็นต์ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วันมีการสูญเสียของน้ำหนักระหว่างการทดสอบเปียกสลับแห้งโดยน้ำหนักของก้อนตัวอย่างลดลงตามจำนวนรอบการทดสอบเปียกสลับแห้งที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่ปริมาณซีเมนต์ 5 เปอร์เซ็นต์อายุบ่ม 7 และ 28 วัน มีการสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทดสอบเปียกสลับแห้งน้อยมาก



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวอย่างที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 5 และอายุบ่มเริ่มต้น (a) 7 วัน และ (b) 28 วัน

กำลังอัดเปลี่ยนแปลงตามรอบเปียกสลับแห้ง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความพรุนของก้อนตัวอย่าง รอบเปียกสลับแห้งเพิ่มกำลังในช่วงรอบต้น (1 ถึง 6 รอบ) ความพรุนแปรผลจากความสามารถในการดูดซึมน้ำในรอบเปียกสลับแห้ง ความพรุนที่เปลี่ยนแปลงเกิดจากการทำปฏิกิริยาซ้ำของซีเมนต์ที่เหลือค้างและน้ำที่ซึมเข้าตัวอย่าง การปรับปรุงด้วยซีเมนต์ส่งผลให้ดินมีความทึบน้ำมากขึ้น สำหรับการแช่น้ำปกตินี้ไม่สามารถซึมเข้าก้อนตัวอย่างได้ ดังนั้นการปรับปรุงดินด้วยปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมจึงสามารถต้านทานการทำลายโครงสร้างดินจากกระบวนการเปียกสลับแห้งได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (งบประมาณ
รายจ่าย ปี 2559)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Highways. DH-S 204/2556 Standard of soil cement base. Thailand, 2013.
- [2] Czernin, W. Cement Chemistry and Physics for Civil Engineers. New York Chemical Publishing, 1962; 36-50.
- [3] Davidson, D.T. Soil stabilization with Portland cement. Highway Research Board, Bulletin 292, 1961; 45-151.
- [4] Davidson, D.T., Pitre, G.L., Matoes, M. and Kalankamary, P.G. Moisture-Density, Moisture-Strength and Compaction Characteristics of Cement Treated Soil Mixtures. Highway Research Board, Bulletin 353, 1962; 42-63.
- [5] Felt, E.J. Factor influencing physical properties of soil-cement mixtures. Highway Research Board, Bulletin 108, 1955; 138-163.
- [6] Lade, P.V. and Overton, D.D. Cementation Effects in Frictional Material. *Journal of Geotechnical Engineering*, 1989; 115(9): 1373-1387.
- [7] Redus, J.F. Study of soil-cement base courses on military airfields. Highway Research Board, Bulletin 198. 1958: 13-19.
- [8] Winterkorn, H.F. and Chandrasekhar, E.C. Lateritic soil and their stabilization. Highway Research Board, Bulletin 44, 1951; 10-29.
- [9] Terrel, R.J. Barenberg, E.J. Mitchell, J.M. and Thomson, M.R. Soil stabilization in pavement structure, a user's manual mixture design consideration. Washington D.C., Government Printing Office, 1979.
- [10] Ruenkairergsa, T. Principle of Soil Stabilization. Group Training in Road Construction, Bangkok, Thailand, 1982; 17-27.
- [11] Ruenkairergsa, T. Development of soil cement road in Thailand. Proc. 11th IRF World Meeting, 1989.
- [12] Ruenkairergsa, T. and Jaratkorn, S. Unconfined compressive strength of soil-cement under various density. Road Research and Development Center, Department of Highways, Thailand, 2001.
- [13] Mitchell, J. K. Soil improvement: State-of-the-art. Proc. 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, Sweden, 1981; 509-565.
- [14] Horpibulsuk, S., Katkan, W., Sirilerdwattana, W., and Rachan, R. Strength development in cement stabilized low plasticity and coarse grained soils: laboratory and field study. *Soils and Foundations*, 2006; 46(3): 351-366.
- [15] Mohammadinia, A., Arulrajah, A., Sanjayan, J., Disfani, M., Bo, M. and Darmawan, S. Laboratory evaluation of the use of cement-treated construction and demolition materials in pavement base and subbase applications. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2014; 27(6).
- [16] ASTM (2015). Standard test methods for wetting and drying compacted soil-cement mixtures. ASTM D559 / D559M-15, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA, 2015.
- [17] ASTM (2015). Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils. ASTM D4318-10e1, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA, 2015.

- [18] ASTM (2014). Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer, ASTM D854-14, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.
- [19] ASTM (2011). Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System), ASTM D2487-11, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.
- [20] ASTM (2012). Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³)), ASTM D1557-12e1, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.
- [21] ASTM (2015). Standard test method for density of hydraulic cement, ASTM C188-15, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.
- [22] ASTM (2009). Standard test method for unconfined compressive strength of compacted soil-lime mixtures, ASTM D5102-09, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.
- [23] Kohgo, Y., Nakaho, M. and Miyaki, T. (1993). Theoretical aspects of constitutive modeling for unsaturated soils. *Soils and Foundations*, 33(4), pp. 49-63.