การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ ๗

The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 2023

การประชุมวิชาการ
วิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

The 7th ENGCON - RMUTP 2023

INNOVATION RESEARCH FOR DEVELOPMENT IN SUSTAINABLE ENERGY
AND ENVIRONMENTAL TECHNOLOTY

“การวิจัยเชิงนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาเทคโนโลยี พลังงาน และสิ่งแวดล้อม”

Proceedings of

The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 2023

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

19 พฤษภาคม 2566
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พิมพ์ครั้งที่ 1 เดือนพฤษภาคม 2566

เจ้าของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ที่อยู่ 1381 ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7
Proceedings of The 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology 202 พิมพ์ครั้งที่ 7.-- กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2566.
450 หน้า.

1. วิศวกรรมศาสตร์. I. ชื่อเรื่อง.

620
ISBN 978-974-625-991-0

พิมพ์ที่ ร้านเอ็มบีก๊อปปี้
ที่อยู่ 17 ถนนวงศ์สว่าง แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ
กรุงเทพมหานคร 10800
โทร 02-586-9885

รหัสบทความ	ชื่อเรื่อง	หน้า
โยธาและสิ่งแวดล้อม		
CE-807	การศึกษาคุณสมบัติด้านอุณหภูมิของมอร์ต้าผสมเม็ดโฟม *ภัทรชัย พงศ์โสภา บูชิต มาโห้ ธนพัฒน์ น้ำจันทร์ กฤษดา เสือเอี่ยม ขวัญชนก อุนทะอ่อน จักรพันธ์ แสงสุวรรณ และ ณัชพงศ์พล คงชะสิงห์*	315
CE-808	ผลกระทบจากความเค็มของน้ำเกลือต่อคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของคอนกรีต *บุรินทร์ ทองเกลี้ยง เดโช เผือกภูมิ และ กิตติเทพ เฟื่องขจร*	320
CE-809	การปรับปรุงคุณภาพชั้นพื้นทางด้วยมวลรวมจากพื้นทางเดิมผสมปูนซีเมนต์ กรณีศึกษาทางหลวงชนบท ปท.3028 *ชิษณุ อัมพรายน์ และ ไพจิตร ผาวัน*	326
CE-81	การประยุกต์ใช้เศษวัสดุก่อสร้างทดแทนทรายธรรมชาติสำหรับอิฐดินดิบที่ใช้ก่อสร้างบ้านดิน *ชัยภัทร ถาวรโลหะ สุพิชญ์ชญา ตันสุเมธ พัชรี เอียดสีทอง และ วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์*	332
CE-81	การประยุกต์ใช้แบบจำลองการถดถอยเพื่อพัฒนาการถอดปริมาณงานโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยซอฟท์แวร์บิม *ไพจิตร ผาวัน และ ภาสกร เมฆอากาศ*	337
การจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน		
IM-901	การปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงกะลาปาล์มด้วยกระบวนการทอร์รีแฟกชัน *ธเนศ อุ่นชัยศรี ปวีณ ชัยวัฒนเสฏฐ์ และ วราภรณ์ เมธาวิริยะศิลป์*	343
IM-905	การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนและเวลาในขั้นตอนแรกของกระบวนการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์มะม่วงน้ำดอกไม้อบแห้งโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน *สุธินนท์ พัชรัชต์วิรากุล และ สุวิทย์ แพงกันยา*	348
IM-90	การอบแห้งมะม่วงน้ำดอกไม้สุกโดยปราศจากการเติมสารละลายน้ำตาลด้วยอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนโดยใช้เทคนิคปรับลดอุณหภูมิลมร้อน *สุธินนท์ พัชรัชต์วิรากุล และ สุวิทย์ แพงกันยา*	353
IM-90	การจัดการบำรุงรักษาเชิงรุกของเครื่องจักรซีเอ็นซีในกระบวนการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป *ธนวัฒน์ แข็งแรง ศักดิ์ชาย รักการ และ จีรวัฒน์ ปล้องใหม่*	359

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มทร.พระนคร ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th RMUTP Conference on Engineering and Technology

การปรับปรุงคุณภาพชั้นพื้นทางด้วยมวลรวมจากพื้นทางเดิมผสมปูนซีเมนต์ กรณีศึกษาทางหลวงชนบท ปท. 3028

Quality improvement of the road base by using the demolished road base as aggregate mixed with cement: Case study at rural road PTE.3028

ชิษณุ อัมพรายน์* และ ไพจิตร ผาวัน

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม 2410/2 ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

chisanu.am@spu.ac.th*, paijit.pa@spu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีเป้าหมายในการปรับปรุงคุณภาพของดินชั้นพื้นทางเดิมให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ด้วยการผสมดินพื้นทางเดิมกับปูนซีเมนต์ ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินพื้นทางเดิมพบว่ามีขนาดคละ และ ค่ากำลังของดินบดอัดวิธีแคลิเฟอร์เนีย แบริ่งเรโช (California Bearing Ratio: CBR) อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้พร้อมทั้งหาค่าความชื้นที่ทำให้เกิดความหนาแน่นสูงสุดได้เท่ากับร้อยละ 6.90 จากนั้นนำดินตัวอย่างมาผสมปูนซีเมนต์ที่ปริมาณร้อยละ 3, 4 และ 5 โดยน้ำหนักมวลรวมแล้วนำไปทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) พร้อมทั้งสร้างแบบจำลองสมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวได้เป็น UCS = 6.23 (% Cement) + 10.51 เมื่อกำหนดให้ค่า UCS เท่ากับ 17.50 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร จะทำนายปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมได้ที่ร้อยละ 1.12

คำสำคัญ : ดินชั้นพื้นทาง; การทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว; ร้อยละของปริมาณซีเมนต์โดยน้ำหนักมวลรวม

Abstract

This research aims to improve the quality of the original soil in base layer so that it can be reused by mixing with cement. The results of the original soil properties test showed that the gradation and %CBR were within the accepted criteria. The moisture content that produces the maximum density is equal to 6.90%. Then, the soil samples were mixed with cement at the amount of 3, 4 and 5 percent by total mass and tested for Unconfined Compressive Strength (UCS). The linear regression model was built as UCS = 6.23 (% Cement) + 10.51. The prediction of appropriate amount of cement is 1.12% when setting the UCS value to be 17.50 ksc.

Keywords: soil in base layer; Unconfined Compressive Strength (UCS); Percent cement by total soil sample mass

1. บทนำ

ถนนโครงข่ายเป็นโครงสร้างที่สำคัญในการพัฒนาประเทศ การยกระดับคุณภาพชีวิตและเศรษฐกิจด้วยการลดต้นทุนค่าขนส่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณภาพการให้บริการของระบบถนนโครงข่าย แต่การบำรุงรักษาทางก็ต้องใช้งบประมาณสูง เช่น กรมทางหลวงชนบทมีถนนในความรับผิดชอบประมาณ 48,974 กิโลเมตร [1] ในปีงบประมาณ 2565 กรมทางหลวงชนบทได้กำหนดงบประมาณสำหรับการบำรุงรักษาทางหลวงชนบทไว้ประมาณ 17,825 ล้านบาท จากงบประมาณรายจ่ายประจำปีทั้งหมด 46,242 ล้านบาท [2] ค่าบำรุงรักษาทางคิดเป็นร้อยละ 38.55 เมื่อเปรียบเทียบกับงบรายจ่ายประจำปี

การยกระดับอุตสาหกรรมการก่อสร้างตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรในการก่อสร้างอย่างคุ้มค่า สามารถนำวัสดุก่อสร้างมาใช้ซ้ำ (Reuse) หรือ การนำวัสดุก่อสร้างกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ดังนั้นการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการนำแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนมาประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างและบำรุงรักษาถนน โดยนำวัสดุชั้นพื้นทาง (Base layer) ที่ต้องรื้อทิ้งนำกลับมาใช้เป็นวัสดุในการปรับปรุงชั้นพื้นทางใหม่ ที่สามารถรับกำลังได้ตามมาตรฐาน

การปรับปรุงคุณสมบัติของดินชั้นพื้นทางผสมซีเมนต์ในการวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างดินพื้นทางที่รื้อออกของทางหลวงชนบท ปท.3028 มาเป็นวัสดุตั้งต้นเพื่อผสมซีเมนต์ให้ได้ค่ากำลังอัดตามเป้าหมายของดินผสมซีเมนต์ที่การบ่ม 7 วัน ต้องไม่น้อยกว่า 1,724 กิโลพาสคาล (17.57 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ตามมาตรฐาน ทล.-ม.204/2564 ที่สามารถใช้วิธีการทดสอบ [3] โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังต่อไปนี้

1. เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินชั้นพื้นทางที่รื้อออกจาก ทางหลวงชนบท ปท.3028
2. เพื่อออกแบบส่วนผสมของดินผสมซีเมนต์ (ดินตัวอย่าง)
3. เพื่อทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Stress: UCS) ของดินตัวอย่าง
4. เพื่อเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของดิน ชั้นพื้นทาง

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยหัวข้อ การปรับปรุงวัสดุชั้นพื้นทางด้วยปูนซีเมนต์ การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินชั้นพื้นทาง และ สมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียว

2.1 การปรับปรุงวัสดุชั้นพื้นทางด้วยปูนซีเมนต์

แบบมาตรฐานของกรมทางหลวงชนบท ได้กำหนดให้ถนนที่มีผิวทางแบบ Asphalt concrete ต้องมีชั้นพื้นทางที่มีค่าทดสอบกำลังของดินบดอัดวิธีแคลิเฟอร์เนีย แบริ่งเรโช (California Bearing Ratio: CBR) มากกว่าร้อยละ 80 ที่การบดอัดสูงกว่ามาตรฐานร้อยละ 95 (95% Modified Proctor) และในกรณีใช้วัสดุเป็นดินผสมซีเมนต์ต้องมีค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength: UCS) ไม่น้อยกว่า 17.5 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร ที่การบดอัดสูงกว่ามาตรฐานร้อยละ 95 (95% Modified Proctor) [4] การหาแหล่งดินหรือหินคลุกที่มีคุณสมบัติที่ดีอาจต้องหาจากแหล่งที่อยู่ห่างไกล ดังนั้นการนำปูนซีเมนต์มาผสมกับดินเพื่อก่อสร้างหรือปรับปรุงชั้นพื้นทาง จะเพิ่มประสิทธิภาพการรับน้ำหนักจากการจราจรและลดปัญหาการแตกร้าวลงได้ โดยค่ากำลังอัดของดินซีเมนต์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นลักษณะเส้นตรงตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของปริมาณซีเมนต์ ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดจะขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่ผสม ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่ม อุณหภูมิที่ใช้ในการบ่ม [5]

2.2 การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินชั้นพื้นทาง

การทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินชั้นพื้นทาง ประกอบด้วย การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve analysis) การทดสอบกำลังอัดของดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Compaction Test) การทดสอบกำลังของดินบดอัดวิธีแคลิเฟอร์เนีย แบริ่งเรโช (California Bearing Ratio : CBR) และ การทดสอบค่ากำลังอัดของดินแบบแกนเดียว Unconfined Compressive Strength (UCS) การคำนวณคุณสมบัติทางวิศวกรรมแสดงดังสมการที่ 1 ถึงสมการที่ 5

$$\gamma_d = W / (V (1+ w)) \quad (1)$$

เมื่อ γ_d คือ หน่วยน้ำหนักแห้ง
W คือ น้ำหนักของดินตัวอย่างขณะชื้น
V คือ ปริมาตรของโมล
w คือ ความชื้นของตัวอย่างดิน

$$\% \text{ CBR} = (\text{Test unit load} / \text{Standard unit load}) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ Test unit load = ค่าแรงกดที่อ่านได้จากเครื่องมือ
Standard unit load = ค่าแรงกดมาตรฐาน

$$\sigma_c = P / A \quad (3)$$

เมื่อ σ_c คือ หน่วยแรงกด
P คือ ค่าแรงกด
A คือ พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยที่แรงกดนั้นๆ

$$A = A_0 / (1-\varepsilon) \quad (4)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยที่แรงกดนั้นๆ
A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดเดิมของแท่งตัวอย่าง
ε คือ ความเครียดตามแนวดิ่งที่แรงกดนั้นๆ

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 \quad (5)$$

เมื่อ ε คือ ความเครียดตามแนวดิ่งที่แรงกดนั้นๆ
ΔL คือ ระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่างที่แรงกดใดๆ
L_0 คือ ความยาวเดิมของแท่งตัวอย่าง

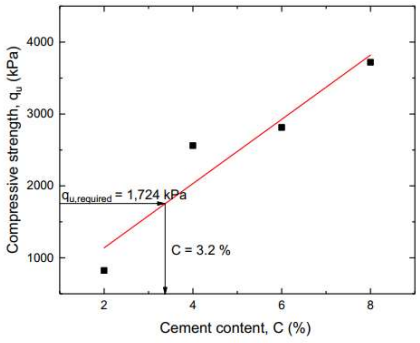
2.3 สมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียว

สมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียวเป็นแบบจำลองที่สร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Dependent Variable, y) กับตัวแปรอิสระ (Independent Variable, x) ในรูปแบบดังแสดงในสมการที่ 6 เมื่อสร้างแบบจำลองได้แล้วจะสามารถทำนายค่า y เมื่อ x เท่ากับค่าที่ต้องการวิเคราะห์ได้ โดยมีค่า R^2 เป็นตัวสถิติที่ใช้วัดความสมรูประหว่างข้อมูลกับแบบจำลอง โดยถ้าค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1.00 หมายถึงแบบจำลองกับข้อมูลมีความสมรูปกันมาก

$$y = a x + b \quad (6)$$

เมื่อ y คือ ตัวแปรตาม (Dependent variable)
x คือ ตัวแปรอิสระ (Independent variable)
a และ b คือค่าสัมประสิทธิของสมการ

ณัฐวุธ และ คณะ (2565) ได้ทำการสร้างแบบจำลองด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นตัวแปรเดียว โดยกำหนดให้ ค่ากำลังอัดทิศทางเดียว (Compressive Strength, q_u) เป็นตัวแปรตาม และ ปริมาณของซีเมนต์ (Cement content, C%) เป็นตัวแปรอิสระ พบว่าเมื่อกำหนดให้ค่ากำลังอัดทิศทางเดียวเท่ากับ 1,724 กิโลพาสคาล. จะสามารถทำนายค่าปริมาณของซีเมนต์ได้เท่ากับร้อยละ 3.2 [6] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดทิศทางเดียวกับปริมาณซีเมนต์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ การเตรียมวัสดุจากชั้นพื้นทางเดิม การหาอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ การทดสอบกำลังด้วยวิธีกำลังอัดแกนเดียว และ การสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 การเตรียมวัสดุจากชั้นพื้นทางเดิม

การเตรียมมวลรวมตัวอย่าง โดยนำดินชั้นพื้นทางจากทางหลวงชนบท ปท.3028 แยก ทล. 305-เลียบคลองเก้า ฝั่งตะวันตก ที่กม. 3+400 ถึง กม 3+700 มาผึ่งแล้วเข้าตู้อบที่อุณภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 2 จากนั้นทดสอบคุณสมบัติของดินตัวอย่าง ประกอบด้วย 1) การหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis) ตามมาตรฐานของ ทล.-ท. 205/2517 และ มทช.(ท) 501.8-2545 ดังแสดงในรูปที่ 3 2) ทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Compaction test) ตามมาตรฐานมทช.(ท) 501.2-2545 และ ทล.-ท. 108/2517 ดังแสดงในรูปที่ 4 และ 3) การทดสอบกำลังของดินบดอัดวิธีแคลิเฟอร์เนีย แบริ่งเรโช (California Bearing Ratio : CBR) ตามมาตรฐานของ มทช.(ท) 501.3-2545 และ ทล.-ท. 109/2517 ดังแสดงในรูปที่ 5

รูปที่ 2 การผึ่งและการอบดินชั้นพื้นทาง

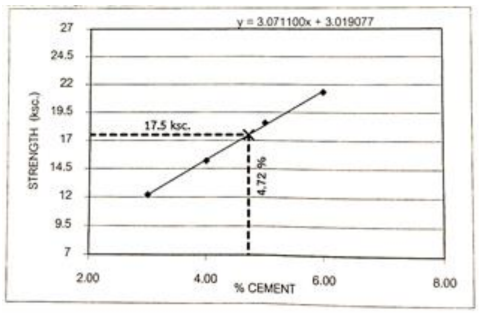
รูปที่ 3 การทดสอบการหาขนาดดิน

รูปที่ 4 การทดสอบการบดอัดดิน

รูปที่ 5 การทดสอบการทดสอบกำลังของดินบดอัดวิธีแคลิเฟอร์เนีย แบริ่งเรโช

3.2 การหาอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์

การหาอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์จะอ้างอิงตามการทดสอบค่ากำลังอัดของดินแบบแกนเดียว Unconfined Compressive Strength ตามมาตรฐานของ มทช. 242-2555 และ ทล.-ท. 105/2515 และตามคู่มือซ่อมบำรุงรักษาทางหลวง ได้กำหนดร้อยละของปูนซีเมนต์ที่มีค่ารับกำลังแรงอัดผ่านมาตรฐานที่ 17.5 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (ksc.) ทำให้ประมาณปริมาณปูนซีเมนต์ได้ร้อยละ 4.72 ดังแสดงในรูปที่ ทำให้ผู้วิจัยออกแบบสัดส่วนของปูนซีเมนต์ไว้ที่ร้อยละ 3 ร้อยละ 4 และร้อยละ 5 ต่อน้ำหนักมวลรวมของดิน โดยปูนซีเมนต์ที่ใช้ทดสอบเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 ประเภท 1 ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของดินกับร้อยละของซีเมนต์

เมื่อกำหนดให้ปริมาณดินพื้นทางต่อตัวอย่างเท่ากับ 3,000 กรัม ทำให้ต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 3, 4 และ 5 เป็น 90, 120 และ 150 กรัมตามลำดับ ส่วนปริมาณน้ำจะใช้ตามอัตราส่วนของ Optimum Moisture Content : OMC ที่ได้จากการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 1 และ รูปที่ 7

ตารางที่ 1 ปริมาณมวลรวมตัวอย่างและปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบ

% Cement	มวลรวมตัวอย่าง (กรัม)	ปูนซิเมนต์ (กรัม)
3	3,000	90
4	3,000	120
5	3,000	150

รูปที่ 7 การเตรียมมวลรวมตัวอย่างและปูนซีเมนต์

3.3 การทดสอบกำลังด้วยวิธีกำลังอัดแกนเดียว

การเตรียมตัวอย่างจะใช้จำนวน 3 ก้อนตัวอย่างต่อหนึ่งสัดส่วนผสม ดังแสดงในตารางที่ 2 หลังจากนั้นห่อตัวอย่างในถุงพลาสติกและบ่มเป็นเวลา 7 วัน ดังแสดงในรูปที่ ก่อนทดสอบกำลังรับแรงอัดนำตัวอย่างไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในรูปที่ 8

ตารางที่ 2 จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

% Cement	จำนวนตัวอย่างทดสอบ
3	3
4	3
5	3
รวมตัวอย่างทั้งหมด	9

รูปที่ 8 การนำมวลรวมตัวอย่างบ่มก่อนทดสอบ 7 วัน

3.4 การสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ผลทดสอบที่ได้จะนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนซีเมนต์ (% Cement) กับกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength : UCS) โดยที่จะใช้ร้อยละของปูนซีเมนต์ที่มีค่ารับกำลังแรงอัดแกนเดียวอยู่ที่ 17.57 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร เป็นสัดส่วนปูนซีเมนต์เสนอแนะในการปรับปรุงคุณภาพของดินชั้นพื้นทาง

4. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์

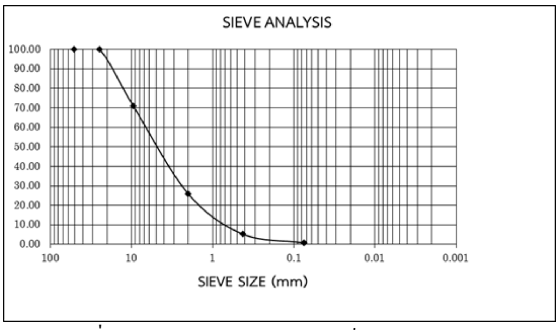
ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ ผลการทดสอบวัสดุจากชั้นพื้นทางเดิม ผลการทดสอบกำลังด้วยวิธีกำลังอัดแกนเดียว และ การสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 ผลการทดสอบวัสดุจากชั้นพื้นทางเดิม

ผลการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ พบว่า เป็นวัสดุที่มีขนาดคละกันไม่ดี จัดเป็นวัสดุที่มีขนาดเม็ดขาดช่วง (Gap Graded) โดยเป็นวัสดุที่มีแต่ขนาดใหญ่หรือขนาดเล็ก ขาดขนาดใดขนาดหนึ่งไป ดังแสดงในตารางที่ 3 และ รูปที่ 9 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ทล.-ท. 204/2564 ที่กำหนดให้ดินขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร ผ่านตระแกรงขนาด 2.00 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ไม่เกินร้อยละ 70 และผ่านตระแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่เกินร้อยละ 25 ก็พบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

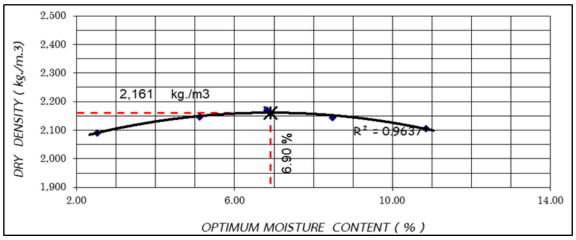
ตารางที่ 3 ผลการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ

เบอร์	นน.ค้าง (g)	% ค้าง	% ค้างสะสม	% ผ่าน
2”	-	0.00	0.00	100.00
1”	-	0.00	0.00	100.00
3/8”	811.02	29.03	29.03	70.97
#10	1,258.62	45.06	74.09	25.91
#40	576.72	20.65	94.74	5.26
#200	125.32	4.49	99.23	0.77
PAN	21.58	0.77	100.00	0.00



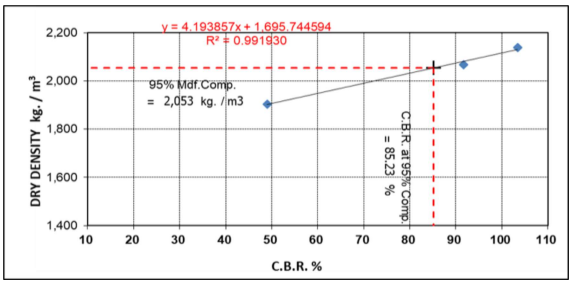
รูปที่ 9 ผลการทดสอบการหาขนาดเม็ดของวัสดุตัวอย่าง

ผลการทดสอบการบดอัดของวัสดุมวลรวมชั้นพื้นทางเดิมด้วยวิธี Modified Compaction พบว่าค่า Maximum Dry Density เท่ากับ 2,161 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ Optimum Moisture Content เท่ากับร้อยละ 6.90 ดังแสดงในรูปที่ 10 ทำให้สามารถคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ผสมดินตัวอย่างได้เท่ากับ 207 กรัม



รูปที่ 10 ผลการทดสอบการบดอัดดินตัวอย่าง

ผลการทดสอบผลการทดสอบได้ค่า CBR ที่ร้อยละ 95 (95% Modified Proctor) เท่ากับร้อยละ 85.23 ซึ่งผ่านเกณฑ์เมื่อเทียบกับมาตรฐานงานชั้นพื้นทางที่ต้องการค่า CBR (95% Modified Proctor) มากกว่าร้อยละ 80 ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 ผลการทดสอบ CBR

4.2 ผลการทดสอบกำลังด้วยวิธีกำลังอัดแกนเดียว

ผลการทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test: UCS) ของดินตัวอย่างที่ผสมปูนซิเมนต์ร้อยละ 3 ร้อยละ 4 และร้อยละ 5 พบว่า ค่า UCS เฉลี่ยเท่ากับ 29.79, 34.25 และ 42.25 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ ซึ่งทุกตัวอย่างมีค่า UCS มากกว่า 17.57 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตรทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 4

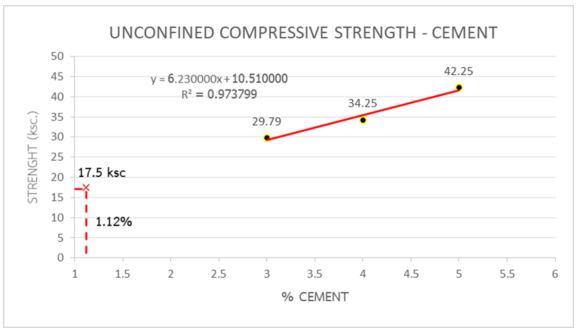
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบค่า UCS ของตัวอย่างทดสอบที่ 7 วัน

% Cement	UCS ที่ 7 วัน (ksc.)			
	Sample1	Sample2	Sample3	Average
3	32.93	26.44	29.98	29.79
4	38.81	32.00	31.94	34.25
5	44.73	40.07	41.54	42.25

4.3 การสร้างแบบจำลองถดถอยเชิงเส้นและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

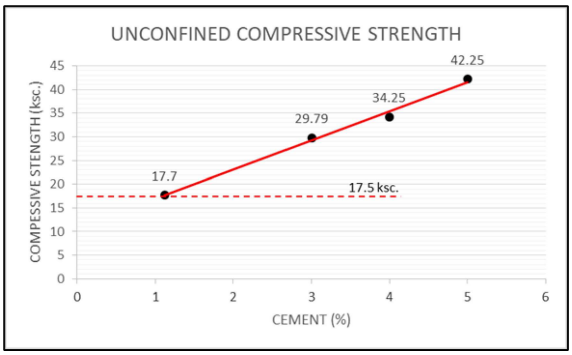
เมื่อนำข้อมูลผลการทดสอบค่า UCS ที่ได้จากตารางที่ มาสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น โดยกำหนดให้ค่า UCS เป็นตัวแปรตามและร้อยละของซีเมนต์ (% Cement) เป็นตัวแปรต้น จะสามารถสร้างความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 7 และ รูปที่ 12 ซึ่งพบว่ามีค่า R^2 เท่ากับ 0.97 ทำให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือสูง

$$UCS = 6.23\ (\%\ Cement) + 10.51 \quad (7)$$



รูปที่ 12 ผลการทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียวและการสร้างความสัมพันธ์

การทำนายค่าอัตราส่วนปูนซีเมนต์ (% Cement) โดยใช้สมการที่ 7 เมื่อกำหนดให้ค่ากำลังอัดของดินแบบแกนเดียว (UCS) เท่ากับ 17.50 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร พบว่าค่าอัตราส่วนปูนซีเมนต์ (% Cement) เท่ากับร้อยละ 1.12 ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและร้อยละของซีเมนต์

เมื่อนำตัวอย่างอัตราส่วนปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 1.12 ที่เวลา 7 วันมาทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวจำนวน 3 ตัวอย่าง พบว่า มีค่าเท่ากับ 18.42, 17.30 และ 17.38 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร มีค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดแกนเดียวเท่ากับ 17.70 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่ากำลังอัดที่ได้จากแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น (Regression model)

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้มีเป้าหมายในการปรับปรุงวัสดุดินชั้นพื้นทางเดิมให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยมีวิธีการปรับปรุงที่ไม่ซับซ้อนแต่มีค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) มากกว่า 17.57 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร ทำให้มีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

วัสดุพื้นทางเดิมที่ขุดออกมาเพื่อเตรียมตัวอย่างจะมีขนาดคละผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ทล.-ท.204/2564 ที่กำหนดให้ดินขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร ผ่านตระแกรงขนาด 2.00 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ไม่เกิน

ร้อยละ 70 และผ่านตระแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่เกินร้อยละ 25 และมีค่า %CBR มากกว่าร้อยละ 80 ทำให้มีข้อสังเกตว่าวัสดุจากชั้นพื้นทางเดิมจะมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมค่อนข้างดี และมีความเหมาะสมในการนำกลับมาใช้ใหม่

การหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่ทำให้ค่า UCS ไม่น้อยกว่า 17.50 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.12 โดยน้ำหนักมวลรวม เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ทล.-ท.204/2564 ที่กำหนดว่าส่วนผสมดินซีเมนต์จะต้องใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 3 โดยมวลของดิน หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบเป็นอย่างอื่น ผู้วิจัยมีความเห็นว่าควรเสนอให้ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 1.12 โดยน้ำหนักมวลรวมได้ เนื่องจากได้มีการทดสอบค่า UCS แล้วพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.70 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมากกว่า 17.50 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อพิจารณาค่า UCS ทั้งสามตัวอย่างทดสอบ พบว่ามี 1 ตัวอย่างที่ค่า UCS เท่ากับ 17.30 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (น้อยกว่า 17.50) แต่ก็ไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ของเกณฑ์ (85% ของ 17.50 เท่ากับ 14.875 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) ทำให้อนุมานได้ว่า การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 1.12 สามารถใช้ในการปรับปรุงดินพื้นทางได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม นายธัชชัย ไชยสุกุมาร นายภานุพงษ์ โพธิ์นอก นายจิระศักดิ์ นิติวิทยากุล นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ได้สนับสนุนการวิจัยเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] P. Chaipetch, C. Amprayn, P. Pawan and V. Ratanavaraha, “Analytical of multi criteria approach for identifying the weight and factor of rural road maintenance prioritizaton,” International Journal of Geomate, Vol.22, Issue91, pp.70-79, March 2022

[2] เอกสารงบประมาณ ฉบับที่ 3 งบประมาณรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 เล่มที่ 5 กรมทางหลวงชนบท

[3] มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์, มาตรฐานที่ ทล.-ม. 204/2564, กรมทางหลวง

[4] แบบมาตรฐานงานทาง พ.ศ. 2561 กรมทางหลวงชนบท มีนาคม 2561 หน้า ถน.-301/61-ถน.-305/61

[5] วสันต์ ปั้นสังข์, บารเมศ วรรธนะภูติ, กฤษณะ เพ็ญสมบูรณ์ และจิรโรจน์ ศุกลรัตน์ (2553). คุณสมบัติด้านความคงทนและความแข็งแรงของวัสดุชั้นพื้นทางที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ฉบับที่ 74 ปีที่ 23 พฤศจิกายน – ธันวาคม 2553

[6] ณัฐวุธ วิกสิตเจริญกุล, วรัช ก้องกิจกุล และ ฐิติกร โพธิ์ศรีบิ้ง, ผลกระทบของปูนซีเมนต์และสารผสมเพิ่มโพลิเมอร์ต่อกำลังอัดของดินลูกลังที่ใช้เป็นวัสดุพื้นทาง. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26 มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัดพะเยา