

การปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาเพื่องานก่อสร้างถนน Mountain Soil Stabilization for Road Construction

กิตติกร ศรีลานนท์*

Kittikorn Srilanont¹*

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

234 ถนนเลย-เชียงคาน ตำบลเมือง อำเภอมือง จังหวัดเลย 42000

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : kittikorncivillru@gmail.com

วันที่รับบทความ: 28 กุมภาพันธ์ 2566 / วันที่แก้ไขบทความ: ครั้งที่ 1 : 13 เมษายน 2566 / วันที่ตอบรับการตีพิมพ์: 26 เมษายน 2566

วันที่แก้ไขบทความ: ครั้งที่ 2 : 18 เมษายน 2566

วันที่แก้ไขบทความ: ครั้งที่ 3 : 25 เมษายน 2566

บทคัดย่อ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาด้วยเซรามิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 โดยออกแบบสูตรการทดลองทั้งหมด 10 สูตร ผลการทดลองพบว่า สูตรชุดที่ 1 soil: ceramic (S: C) นำดินภูเขาต้นแบบผสมเซรามิกเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินด้วยอัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาต้นแบบ โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.930-0.948 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมใกล้เคียงกับค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมของดินภูเขาต้นแบบเช่นกัน โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 8.80 - 10.10 ส่วนค่า CBR กลับมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของเซรามิกที่เพิ่มเข้าไปในส่วนผสม ส่วนสูตรชุดที่ 2 soil: ceramic: cement (S: C: C) นำดินภูเขาต้นแบบผสมเซรามิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน ด้วยอัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาต้นแบบ โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.906-0.999 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมใกล้เคียงกับค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมของดินภูเขาต้นแบบเช่นกัน โดยเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 9.20 – 9.45 แต่ค่า CBR มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ที่เพิ่มเข้าไปในส่วนผสม ซึ่งเป็นแนวทางที่สำคัญในการนำไปทดลองใช้จริงในงานก่อสร้างถนนต่อไป

คำสำคัญ: การปรับปรุงคุณภาพดิน, ดินภูเขา, เซรามิก, งานก่อสร้างถนน

Abstract This research was aimed to improve mountain soil with ceramic and type 1 Portland cement. The experiment was carried out with 10 formulas of the mixtures. The results were found that the formula 1, soil: ceramic ratio (S: C), with percentages of ceramic of 0, 5, 10, 15 and 20% yields the maximum dry density close to that of the original mountain soil. The average dry density ranges from 0.930-0.948 g/cm³. The optimum water contents are close to that of the original mountain soil averaging from 8.80-10.10%. The CBR values decrease with the amount of ceramic added to the mixtures. The formula 2, soil: ceramic: cement (S: C: C), with percentages of ceramic of 0, 5, 10, 15 and 20% yields the maximum dry density close to that of the original mountain soil. The average dry density ranges from 0.906-0.999 g/cm³. The optimum water contents are close to that of the original mountain soil averaging from

9.20-9.45%. The CBR value decreases with the amount of ceramic and the Portland cement added to the mixtures. This can be an important guideline to try in the actual road construction.

Keywords: Soil Stabilization, Mountain Soil, Ceramic, Road Construction

1. บทนำ

วัสดุดินในงานอุตสาหกรรมการก่อสร้างถนนถือว่าเป็นวัสดุหลักในการก่อสร้าง โดยดินที่ใช้ในการก่อสร้างถนนนั้นได้มาจากหลายแหล่ง ทั้งในส่วนของดินตัดส่วนเกินแนวถนนและดินจากบ่อดินถม ซึ่งแหล่งดินที่ใช้ในงานก่อสร้างรวมถึงระยะทางในการขนส่งจะส่งผลต่อราคางานก่อสร้างถนนโดยตรง จากค่าใช้จ่ายในการขนส่งดินทำให้สูญเสียค่าใช้จ่ายและทรัพยากรค่าขนส่งโดยใช่เหตุ ซึ่งบางครั้งการแสวงหาแหล่งวัสดุที่เหมาะสมยังต้องขุดทำลายระบบนิเวศเพื่อให้ได้ดินที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม ยิงงานก่อสร้างถนนในพื้นที่ภูเขา เช่น ในพื้นที่อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขา แหล่งดินในการก่อสร้างถนนเป็นดินภูเขา ที่ประกอบไปด้วยมวลรวมละเอียดไม่มีมวลรวมหยาบผสมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งการขนส่งวัสดุดินจากพื้นที่ภายนอกจะมีความลำบากในการขนส่งและมีราคาค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูงกว่าการก่อสร้างถนนในพื้นที่ราบมาก ดังนั้นหากสามารถนำดินที่อยู่ในพื้นที่การก่อสร้างมาใช้งานก่อสร้างถนนได้ โดยการปรับปรุงคุณภาพดินให้มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีขึ้น [1-4] เช่น กระบวนการเชิงกล การปรับปรุงโดยใช้สารเคมี หรือการเพิ่มมวลรวมหยาบลงไปดิน จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมให้สูงขึ้นจนสามารถนำมาเป็นวัสดุก่อสร้างถนนที่มีคุณภาพได้ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการดำเนินการก่อสร้างถนนได้อย่างมาก

ในขณะที่ประเทศไทยมีอุตสาหกรรมเซรามิกจำนวนมากตามอัตราการผลิตและการใช้ที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งในกระบวนการผลิตมีเศษเซรามิกเกิดขึ้นจำนวนมากจากรูปทรงของผลิตภัณฑ์ไม่ได้มาตรฐาน ต้องนำไปทุบ

ทำลายทิ้ง [5] จากข้อมูลศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิกกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม พบว่ามีเศษเซรามิก ที่ไม่ได้มาตรฐานในกระบวนการผลิตสูงถึงร้อยละ 7 ต่อปี หรือ 175,000 ตันต่อปี จากกำลังการผลิตทั้งหมด 2,500,000 ตันต่อปี แต่หากนำเศษเซรามิกเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์เป็นมวลรวมหยาบนามาผสมกับดินภูเขาซึ่งเป็นมวลรวมละเอียด โดยนำเศษเซรามิกที่ทุบแล้วมีขนาด 1-2 นิ้ว ซึ่งมีความแข็งแรงเหมือนหินมาผสมในดินภูเขา ก็จะส่งผลต่อขนาดผลของดินที่ดีขึ้น มวลรวมของดินมีขนาดที่หลากหลายขึ้นย่อมทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินมีคุณภาพที่ดีขึ้นจนสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างถนนได้ดี [6] N. K. Ameta และคณะ (2013) ได้ปรับปรุงดินในทะเลทราย (dune sand) ด้วยเศษเซรามิกกระเบื้องปูพื้น ผลการศึกษาพบว่า ดินทะเลทรายซึ่งปกติอยู่ในสภาพหลวมแปรสภาพเป็นมวลดินที่มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นจากการปรับปรุงด้วยเศษเซรามิก ซึ่งการนำเศษเซรามิกมาปรับปรุงคุณภาพดินให้มีคุณภาพดีขึ้นนี้ นอกจากก่อให้เกิดมูลค่ากับเศษเซรามิกและประโยชน์ทางเศรษฐกิจจากภาคอุตสาหกรรมแล้ว ยังลดการขุดทำลายระบบนิเวศจากบ่อดินถม ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งดินจากนอกพื้นที่ก่อสร้าง และยังลดระยะเวลาในการก่อสร้างให้น้อยลงอีกด้วย

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

งานวิจัยเรื่องนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อพิจารณาผลจากการปรับปรุงดินภูเขาในพื้นที่ห่างไกลขาดแหล่งดินคุณภาพดี โดยการผสมเซรามิก และปูนซีเมนต์

ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินด้วยอัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 แล้วทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรมของดินภูเขาเพื่องานก่อสร้างถนน เพื่อหาค่าอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม และค่าความสามารถรับน้ำหนักของตัวอย่างดินบดอัด

ขั้นตอนการวิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาเพื่องานก่อสร้างถนนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เตรียมวัสดุทดสอบงานวิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาเพื่องานก่อสร้างถนน ได้แก่ ดินภูเขาที่ใช้ในการทดสอบได้จากการสุมเก็บตัวอย่างดินจากถนนสายภูเรือ-ปลาบ่า อำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ปูนซีเมนต์ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 และเศษวัสดุเซรามิกขนาด 1-2 นิ้ว ดังรูปที่ 1 และทำการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาเพื่องานก่อสร้างถนน ตามสูตรการทดลองที่ออกแบบไว้ ดังตารางที่ 1



รูปที่ 1 ดินภูเขา ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 และวัสดุเซรามิก

2. ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน [7-8] ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาเพื่องานก่อสร้างถนน ดังนี้

2.1 ทดสอบหาค่าอัตราเบอร์ก (Atterberg's limits) เพื่อศึกษาพฤติกรรมของมวลดินภายใต้การเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่ความชื้นต่างๆ สถานภาพมวลดินตามธรรมชาติและการยุบหรือการพองตัวของดิน

2.2 ทดสอบการกระจายขนาดผลของเม็ดดินโดยวิธีตะแกรงร่อน (sieve analysis) เพื่อศึกษาการกระจายขนาดผลของดินเม็ดหยาบ

2.3 ทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified proctor test) เป็นการพิจารณาอัตราส่วนและความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของวัสดุผสมเพิ่ม เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่ให้กำลังมากที่สุดของวัสดุผสมเพิ่ม

2.4 ทดสอบแคลิฟอร์เนียเบียร์เรโซ (California bearing ratio, CBR) ซึ่งบดอัดที่ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม เพื่อศึกษากำลังรับน้ำหนักของดินที่บดอัด

3. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

4. สรุปและอภิปรายผลการทดสอบ

ตารางที่ 1 สูตรสัดส่วนการออกแบบส่วนผสมการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขา

soil: ceramic	
1.	soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 100: 00
2.	soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 95: 05
3.	soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 90: 10
4.	soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 85: 15
5.	soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 80: 20
soil : ceramic: cement	
1.	soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 100: 00: 00
2.	soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 90: 05: 05
3.	soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 80: 10: 10
4.	soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 70: 15: 15
5.	soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 60: 20: 20

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการวิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาเพื่อ
งานก่อสร้างถนน แบ่งผลการทดสอบและการวิเคราะห์
ออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ ดังต่อไปนี้

3.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมของดินภูเขา

จากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและ
ทางวิศวกรรมของดินภูเขาเพื่อนำมาพิจารณานำมาใช้เป็น
วัสดุงานก่อสร้างถนน พบข้อมูลดังนี้



3.1.1 สีและรูปร่างของดินภูเขา (color and shape of soil)

มีสีแดงเข้มปนน้ำตาล มีปริมาณของดินเม็ด
ละเอียด (fine grained soil size) ปนอยู่ค่อนข้างมาก ส่วน
ปริมาณดินเม็ดหยาบ (coarse grained soil size) มีน้อยมาก
รูปร่างของดินภูเขามีสลักษณะเป็นเหลี่ยม (blocky) ดังรูปที่
2 และจากการทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นตาม
ธรรมชาติ (natural moisture content) ของดินภูเขา พบว่า
ค่าปริมาณความชื้นตามธรรมชาติเท่ากับ ร้อยละ 12.78

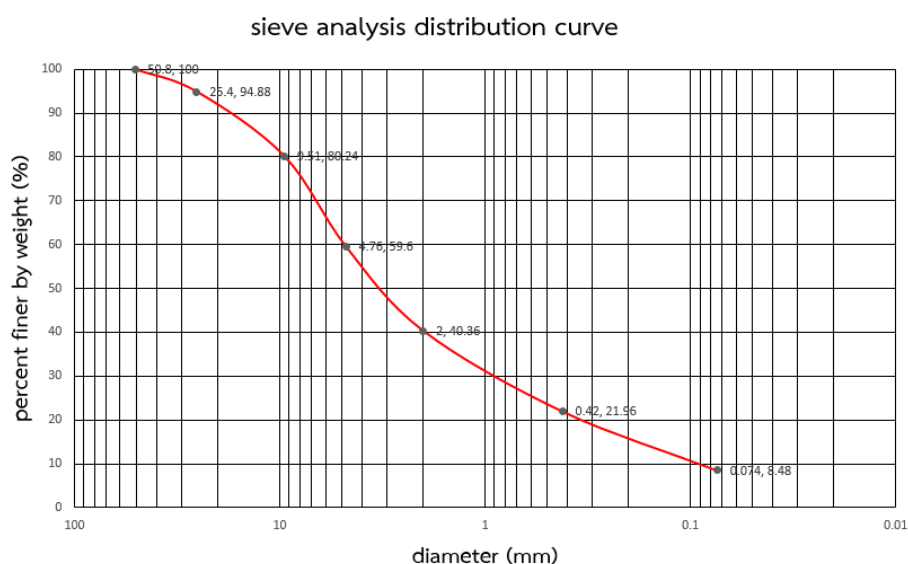


รูปที่ 2 สีและรูปร่างของดินดินภูเขา

3.1.2 ค่าขนาดผลและการกระจายตัวของมวลดิน (gradation and size distribution of soil)

ผลการทดสอบพบว่า ดินภูเขาที่นำมาทดสอบ ประกอบด้วยปริมาณของกรวด (gravel) ขนาดเม็ดดิน ตั้งแต่ 4.75-75 มิลลิเมตร เท่ากับร้อยละ 40.40 ปริมาณของทราย (sand) ขนาดเม็ดดินตั้งแต่ 0.075-4.75 มิลลิเมตร เท่ากับร้อยละ 51.12 และปริมาณของตะกอนทรายหรือดินเหนียว (silt or clay) ขนาดเม็ดดินเล็กกว่า 0.075

มิลลิเมตร เท่ากับร้อยละ 8.48 เมื่อพิจารณาลักษณะการกระจายขนาดของเม็ดดิน พบว่าดินภูเขาจัดเป็นดินประเภทขนาดผละกันดี (well grade soil) โดยมีค่า D₁₀ เท่ากับ 0.09 มิลลิเมตร ค่า D₃₀ เท่ากับ 0.90 มิลลิเมตร ค่า D₆₀ เท่ากับ 4.90 มิลลิเมตร ค่า C_u เท่ากับ 54.44 และค่า C_c เท่ากับ ดังรายละเอียดในรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟการกระจายขนาดผละของดินภูเขา

3.1.3 ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (bulk specific gravity, GS)

เป็นคุณสมบัติพื้นฐานสำคัญอีกค่าหนึ่งทำให้สามารถคำนวณหาปริมาตรช่องว่าง (void volume) ความอิ่มตัว (degree of saturation) ความพรุน (porosity) รวมถึงการจำแนกดิน และการพิจารณานำดินไปใช้ในงานวิศวกรรม จากการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินภูเขาที่ทำการเก็บตัวอย่างดินจากดินตัดถนนสาย ภูเขา-ปลาบ่า อำเภอกู่เรือ จังหวัดเลย ผลการทดสอบพบว่า ดิน

ภูเขา มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.50 ซึ่งถือว่ามีความค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับค่าความถ่วงจำเพาะของดินทั่วไป ซึ่งมีค่าเฉลี่ยจะอยู่ในระหว่าง 2.60 ถึง 2.80 ตามทฤษฎีความถ่วงจำเพาะเป็นอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่าความหนาแน่นของวัตถุกับค่าความหนาแน่นของของไหลมาตรฐาน ดังนั้นวัตถุที่ค่าความถ่วงจำเพาะต่ำย่อมมีแนวโน้มถึงค่าความหนาแน่นต่ำด้วย ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของดิน และเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของดินในการพิจารณานำไปใช้งานทางวิศวกรรม

3.1.4 ค่าขีดจำกัดอัตราเบอร์ก (Atterberg's limits)

ดินประเภทเม็ดละเอียด (fine grain soil) มีสถานะของมวลดินหลายสถานะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในมวลดิน โดยปริมาณน้ำในมวลดินก็จะส่งผลต่อกำลังของดินแต่ละประเภทด้วย จากการทดสอบหาค่าขีดจำกัดอัตราเบอร์กของดินภูเขา พบว่าดินภูเขามีค่าขีดจำกัดเหลว (liquid limit, LL) เท่ากับร้อยละ 26.00 ขีดจำกัดพลาสติก (plastic limit, PL) เท่ากับร้อยละ 22.14 และดัชนีพลาสติก (plastic index) เท่ากับร้อยละ 3.86

3.2 คุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมของดินภูเขาปรับปรุงด้วยเชรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

3.2.1 ค่าการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified compaction test)

วิธีบดอัดดินให้ได้ความแน่น (density) จะต้องอาศัยน้ำเป็นตัวหล่อลื่น ถ้าน้ำมีอยู่มากเกินไป น้ำจะไปหุ้มเคลือบรอบๆ มวลดิน ทำให้อณูของเม็ดดินแยกตัวห่างจากกัน แต่ถ้าน้ำมีอยู่น้อยเกินไป การหล่อลื่นจะไม่ดีพอส่งผลต่อค่าความหนาแน่นของดินเช่นกัน ดังนั้นมีความสำคัญมากในการค้นหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุด (optimum moisture content) ที่ใช้ในการบดอัดดิน

แต่ละชนิดเพื่อให้ได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry unit weight)

จากการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานของดินภูเขา ดังรูปที่ 4 ได้ผลการทดสอบเป็น 2 ส่วนหลัก โดยในส่วนที่ 1 ของสูตรการทดสอบได้นำดินภูเขามาปรับปรุงคุณภาพด้วยการผสมเชรามิกตามอัตราส่วนที่ออกแบบ มีผลการทดสอบดังตารางที่ 2 และกราฟแสดงค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสมของสูตร soil: ceramic (S: C) ดังรูปที่ 5

ซึ่งสูตรการทดสอบดังกล่าวได้นำดินภูเขาดินแบบผสมเชรามิกเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินด้วยอัตราส่วนต่างๆ โดยเพิ่มเชรามิกขึ้นร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบพบว่า ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขา มีค่าเท่ากับ 0.939 g/cm^3 และจากกราฟแนวโน้มค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาปรับปรุงคุณภาพด้วยเชรามิก มีค่าค่อนข้างคงที่และใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาดินแบบ ถึงแม้ว่าการเพิ่มเชรามิกจะมากขึ้นจนถึงร้อยละ 20 ก็ตาม ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง $0.930\text{--}0.948 \text{ g/cm}^3$

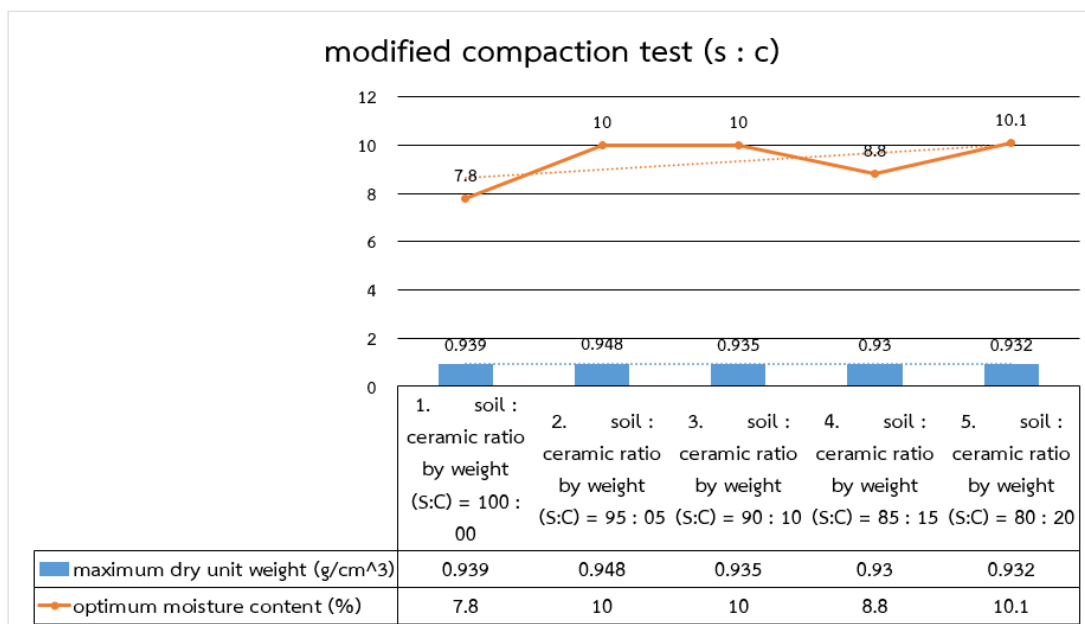
ส่วนค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุด พบว่ามีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย ตามจำนวนร้อยละของเชรามิกที่ผสมในดินภูเขา โดยค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดของดินภูเขาดินแบบมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.80 และเมื่อผสมเชรามิกในดินภูเขาเพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน พบค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 8.80 - 10.10



รูปที่ 4 การทดสอบการบดอัดดินของดินภูเขา

ตารางที่ 2 ข้อมูลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน สูตร soil: ceramic (S: C)

modified compaction test		
soil: ceramic	maximum dry unit weight (g/cm ³)	optimum moisture content (%)
1. soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 100: 00	0.939	7.80
2. soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 95: 05	0.948	10.00
3. soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 90: 10	0.935	10.00
4. soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 85: 15	0.930	8.80
5. soil: ceramic ratio by weight (S: C) = 80: 20	0.932	10.10



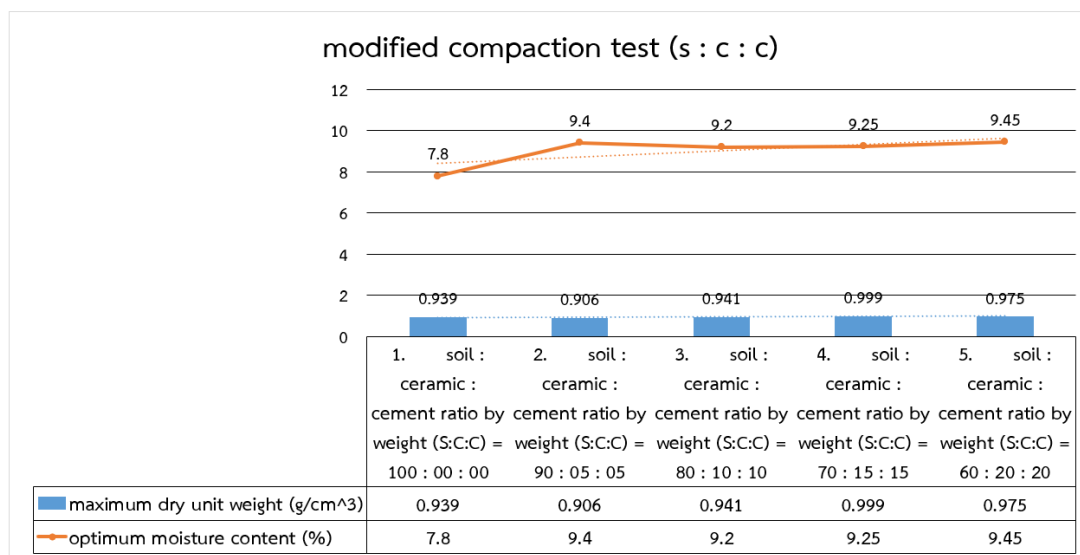
รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสมของสูตร soil: ceramic (S: C)

ในส่วนที่ 2 ของสูตรการทดสอบ ซึ่งได้นำดิน
ภูเขา มาปรับปรุงคุณภาพดินด้วยการผสมเซรามิกและ
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตามอัตราส่วนที่

ออกแบบ มีผลการทดสอบดังตารางที่ 3 และกราฟแสดง
ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสม
ของสูตร soil: ceramic: cement (S: C: C) ดังรูปที่ 6

ตารางที่ 3 ข้อมูลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน สูตร soil: ceramic: cement (S: C: C)

modified compaction test		
soil: ceramic: cement	maximum dry unit weight (g/cm ³)	optimum moisture content (%)
1. soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 100: 00: 00	0.939	7.80
2. soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 90: 05: 05	0.906	9.40
3. soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 80: 10: 10	0.941	9.20
4. soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 70: 15: 15	0.999	9.25
5. soil: ceramic: cement ratio by weight (S: C: C) = 60: 20: 20	0.975	9.45



รูปที่ 6 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสมของสูตร soil: ceramic: cement (S: C: C)

จากข้อมูลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน และกราฟแสดงค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณน้ำที่เหมาะสมของสูตร soil: ceramic: cement (S: C: C) ข้างต้น สูตรดังกล่าวได้นำดินภูเขาต้นแบบ ผสมเซรามิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินด้วยอัตราส่วนต่างๆ โดยเพิ่มเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ขึ้นร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ผลการทดสอบพบว่า ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาต้นแบบ มีค่าเท่ากับ 0.939 g/cm^3 และจากกราฟค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาปรับปรุงคุณภาพด้วยเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขา ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง $0.906 - 0.999 \text{ g/cm}^3$

ค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุด พบว่าค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดของดินภูเขาต้นแบบมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 7.80 และเมื่อเพิ่มปริมาณเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ในดินภูเขาเพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน พบค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 9.20 – 9.45 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

3.2.2 ค่าแคลิฟอร์เนียแบร์ริงเรโซ (California bearing ratio, CBR)

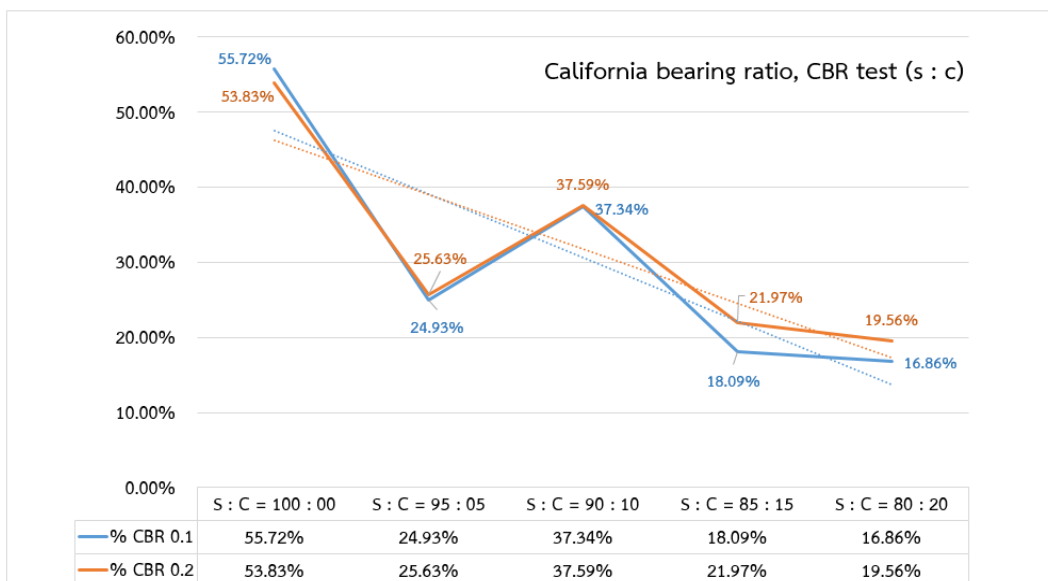
การทดสอบแคลิฟอร์เนียแบร์ริงเรโซเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความสามารถการรับน้ำหนักของ

ตัวอย่างดินบดอัด เป็นวิธีมาตรฐานสำหรับการออกแบบงานก่อสร้างสนามบิน และถนน โดยเทียบเคียงกับค่า standard unit load ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานจากการบดอัดหินคลุกแล้วกด piston ที่พื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว ด้วยอัตรา 0.05 นิ้ว/นาาที และให้ค่าเปอร์เซ็นต์ CBR ณ ตำแหน่งการทดสอบ CBR ของดินภูเขา (แบบไม่แช่น้ำ, unsoaked sample) ที่แบ่งการทดสอบตามสูตรของงานวิจัย โดยแบ่งเป็น 2 สูตรหลักคือ สูตร soil: ceramic (S: C) และสูตร soil: ceramic: cement (S: C: C) ได้ผลการทดสอบดังนี้

สูตรชุดที่ 1 สูตร soil: ceramic (S: C) ซึ่งสูตรดังกล่าวนี้ ได้นำดินภูเขาต้นแบบผสมเซรามิกเพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน ด้วยอัตราส่วนต่างๆ โดยเพิ่มเซรามิก ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 4 ผลการทดสอบพบว่า ค่า CBR ของดินภูเขาต้นแบบ มีค่าเท่ากับร้อยละ 55.72 (% CBR @ 0.1") และร้อยละ 53.83 (% CBR @ 0.2") ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถใช้ดินภูเขาในการก่อสร้างชั้นทางบางชั้นได้โดยตรง แต่ต้องพิจารณาปัจจัยด้านอื่นด้วย เช่น การบวมตัว และจากกราฟค่า CBR ของดินภูเขาปรับปรุงคุณภาพด้วยเซรามิก พบว่า มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของเซรามิกที่เพิ่มเข้าไปในส่วนผสม และเมื่อใส่เซรามิกเข้าไปในส่วนผสมที่ร้อยละ 20 ส่งผลให้ค่า CBR ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 16.86 (% CBR @ 0.1") และร้อยละ 19.56 (% CBR @ 0.2") ดังกราฟ รูปที่ 7

ตารางที่ 4 ข้อมูลผลการทดสอบค่า CBR สูตร soil: ceramic (S: C)

CBR / S: C	S: C 100: 00	S: C 95: 05	S: C 90: 10	S: C 85: 15	S: C 80: 20
% CBR @ 0.1"	55.72%	24.93%	37.34%	18.09%	16.86%
% CBR @ 0.2"	53.83%	25.63%	37.59%	21.97%	19.56%



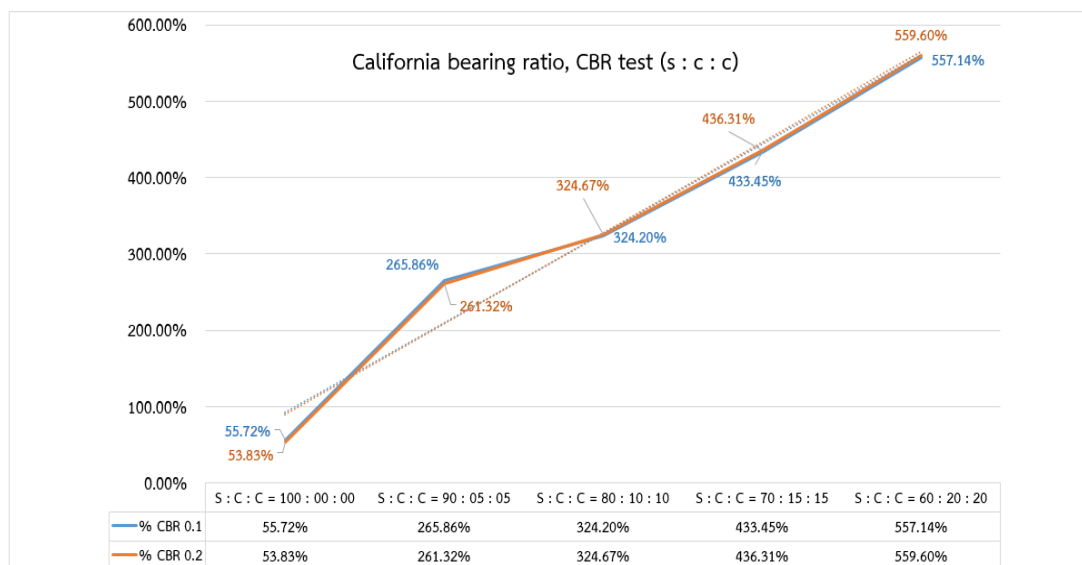
รูปที่ 7 กราฟแสดงค่า CBR สูตร soil: ceramic (S: C)

สูตรชุดที่ 2 สูตร soil: ceramic: cement (S: C: C) ซึ่งสูตรดังกล่าวได้นำดินภูเขาต้นแบบ ผสมเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน ด้วยอัตราส่วนต่างๆ โดยเพิ่มเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 5 ผลการทดสอบพบว่า ค่า CBR ของดินภูเขาต้นแบบ มีค่าเท่ากับร้อยละ 55.72 (% CBR @ 0.1") และร้อยละ 53.83 (% CBR @ 0.2")

และจากกราฟค่า CBR ของดินภูเขาปรับปรุงคุณภาพด้วยเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 พบว่า มีค่า CBR เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ที่เพิ่มเข้าไปในส่วนผสม และเมื่อใส่เซรามิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เข้าไปในส่วนผสมที่ร้อยละ 20 ส่งผลให้ค่า CBR สูงถึงร้อยละ 557.14 (% CBR @ 0.1") และร้อยละ 559.60 (% CBR @ 0.2") ดังกราฟ รูปที่ 8

ตารางที่ 5 ข้อมูลผลการทดสอบค่า CBR สูตร soil: ceramic: cement (S: C: C)

CBR / S: C: C	S: C: C 100: 0: 0	S: C: C 90: 5: 5	S: C: C 80: 10: 10	S: C: C 70: 15: 15	S: C: C 60: 20: 20
% CBR @ 0.1"	55.72%	265.86%	324.20%	433.45%	557.14%
% CBR @ 0.2"	53.83%	261.32%	324.67%	436.31%	559.60%



รูปที่ 8 กราฟแสดงค่า CBR สูตร soil: ceramic: cement (S: C: C)

4. สรุปผล

ดินภูเขาดินแบบที่นำมาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรม จากข้อมูลผลการทดสอบสามารถจำแนกประเภทของดินภูเขาโดยระเบียบวิธีของ AASHTO ที่กรมทางหลวงใช้เป็นมาตรฐานในการจำแนกดิน [9] พบว่าเป็นดินกลุ่ม A-1-a (0) โดยมีค่า % passing No.10 (2.00 mm) เท่ากับร้อยละ 40.36 ค่า % passing No.40 (0.425 mm) เท่ากับร้อยละ 21.96 ค่า % passing No.200 (0.075 mm) เท่ากับร้อยละ 8.48 และเมื่อนำมาไปเปรียบเทียบกับคุณลักษณะของดินในการใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทาง (general rating as a subgrade) พบว่า ชนิดของวัสดุ (usual types of significant constituent materials) จัดเป็นดินชนิดหิน กรวด และทราย (stone fragments, gravel and sand) มีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การใช้งานเป็นดินชั้นทางในเกณฑ์ดีเยี่ยมถึงดี (excellent to good) และเพียงพอที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทาง และสามารถใช้เป็นดินชั้นแบบในการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาในงานก่อสร้างถนนได้ และจากการปรับปรุง

คุณภาพดินภูเขา โดยการผสมเซรามิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เพื่อปรับปรุงคุณภาพดิน ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินภูเขา เพื่อศึกษาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry unit weight) ค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสม (optimum moisture content) และค่าความสามารถการรับน้ำหนักของตัวอย่างดินบดอัด (California bearing ratio, CBR) พบว่า ดินภูเขาดินแบบมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด เท่ากับ 0.939 g/cm³ และค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ ร้อยละ 7.80 และค่า CBR เท่ากับร้อยละ 55.72 (% CBR @ 0.1") และร้อยละ 53.83 (% CBR @ 0.2")

เมื่อผสมเซรามิกอย่างเดียวยตามสูตรการทดลองชุดที่ 1 สูตร soil: ceramic (S: C) ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาปรับปรุงคุณภาพด้วยเซรามิก มีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาดินแบบ คือมีค่าอยู่ระหว่าง 0.930-0.948 g/cm³ ส่วนค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสม พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมของดินภูเขาดินแบบเช่นกัน โดยมีค่าระหว่างร้อยละ 8.80 - 10.10 แต่ค่า CBR กลับพบว่า มีค่า

ลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของเซรามิกที่เพิ่มเข้าไปในส่วนผสม ยิ่งเพิ่มปริมาณเซรามิกก็ยิ่งส่งผลให้ค่า CBR ลดลง และเมื่อใส่เซรามิกเข้าไปในส่วนผสมร้อยละ 20 ส่งผลให้ค่า CBR ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 16.86 (% CBR @ 0.1”) และร้อยละ 19.56 (% CBR @ 0.2”) เท่านั้นเอง จากข้อมูลเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า การผสมเซรามิกในการปรับปรุงคุณภาพดินไม่มีผลทำให้ดินภูเขาเพิ่มค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมสูงขึ้นแต่อย่างใด แต่ส่งผลต่อค่าความสามารถการรับน้ำหนักของตัวอย่างดินบดอัด (ค่า CBR) มีค่าลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัชชัย อภินันท์ติยา (2558) [10] วิจัยการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้วยเซรามิกและจีโอโพลีเมอร์ พบว่า ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมของดินลูกรังผสมเศษเซรามิก มีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินลูกรังไม่ผสมเศษเซรามิก เพราะเซรามิกเป็นวัสดุไม่ดูดซับน้ำทำให้ความต้องการใช้น้ำในการจัดเรียงตัวของอนุภาคเม็ดดินไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ค่า CBR (unsoaked sample) ของดินลูกรังผสมเศษเซรามิกกลับมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณเศษเซรามิกที่ผสมเพิ่มลงไป ซึ่งดินลูกรังมีขนาดกะทัดรัดมากกว่าดินภูเขา ผลการวิจัยในครั้งนี้ แสดงว่า ชนิดของดินที่ใช้เซรามิกปรับปรุงคุณภาพมีผลต่อค่า CBR นั้นหมายถึงเซรามิกเหมาะกับการปรับปรุงคุณภาพด้านวิศวกรรมกับดินบางชนิดเท่านั้น และอาจรวมถึงขนาดของเซรามิกที่ใช้ผสมด้วย จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในประเด็นดังกล่าว

แต่เมื่อนำดินภูเขามาปรับปรุงคุณภาพด้วยเซรามิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตามสูตรการทดลองชุดที่ 2 สูตร soil: ceramic: cement (S: C: C) พบว่า ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินภูเขาต้นแบบ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.906 - 0.999 g/cm³ ค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมพบว่า มีค่าใกล้เคียงกับค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดของดินภูเขาต้นแบบเช่นกัน โดยมีค่าที่ร้อยละ 9.20 – 9.45 แต่

ค่า CBR กลับพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ที่เพิ่มเข้าไปในส่วนผสม แตกต่างจากค่า CBR ของสูตรชุดที่ 1 ที่มีค่าลดลง และเมื่อใส่เซรามิกและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เข้าไปในส่วนผสมที่ ร้อยละ 20 ส่งผลให้ค่า CBR สูงถึงร้อยละ 557.14 (% CBR @ 0.1”) และร้อยละ 559.60 (% CBR @ 0.2”) จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาโดยการผสมเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ไม่ได้ส่งผลต่อค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและค่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมของดินภูเขาเท่าใดนัก แต่ส่งผลต่อค่าความสามารถการรับน้ำหนักของตัวอย่างดินบดอัด (CBR) อย่างมาก ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีที่ทำให้ดินมีความแข็งแรง และสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ค่า CBR ของชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทางที่มีค่า CBR สูงกว่า 80% จัดเป็นกลุ่มวัสดุดินที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมดีเยี่ยม แต่การนำมาใช้งานจริงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยด้านอื่นประกอบด้วย และจากผลการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาด้วยการผสมวัสดุเซรามิก และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 น่าจะเป็นแนวทางสำคัญที่ควรเลือกใช้มากกว่าการปรับปรุงคุณภาพดินภูเขาผสมวัสดุเซรามิกเพียงอย่างเดียว เพื่อใช้ในการทดลองนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างถนนในงานจริงต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทดลองงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Inthapichai and P. Voottipruex, Soil Mechanics, Siam Sport Syndicate, 2004. (in Thai)
- [2] P.L. Capper and W.F. Cassie, The Mechanics of Engineering Soil, E.& F.N. Spon, 1969.

- [3] B.M. Das, Advanced Soil Mechanics, McGraw-Hill, 1983.
- [4] T.H. Wu, Soil Mechanics, Allyn and Bacon, 1976.
- [5] MTEC A Member Of NSTDA, The situation of ceramics in Thailand, 2013. (in Thai)
- [6] N. K. Ameta, A. S. Wayal, and P. Hiranandani, “Stabilization of Dune Sand with Ceramic Tile Waste as Admixture,” American Journal of Engineering Research (AJER), vol. 02, Issue. 09, pp. 133-139, 2013.
- [7] Department of Rural Road, (2022, sep. 26). “Pavement Material Standards” [Online]. Available: <http://research.drr.go.th/node/500?1349288890=1>. (in Thai)
- [8] S. Koowichicharu, Soil Laboratory Testing, Library Nine, 1998. (in Thai)
- [9] T. W. Lambe, and R. V. Whitman, Soil Testing for Engineering, John Wiley & Sons, 1951.
- [10] C. Aphinanthitaya, “Soil Stabilized with Ceramics and Geopolymers,” Student’s Project, Dep. Civil Eng. and Edu., KMUTNB., 2015. (in Thai)

ประวัติผู้ประพันธ์



ผู้ประพันธ์: ผศ. กิตติกร ศรีวานนท์
การศึกษา: ค.อ.บ. (วิศวกรรมโยธา),
 ค.อ.ม. (โยธา)
สถานที่ทำงาน: สาขาวิศวกรรมโยธา
 และบริหารงานก่อสร้าง คณะ
 เทคโนโลยีอุตสาหกรรม
 มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย