อิทธิพลของขนาดคละต่อกำลังรับแรงของหินคลุกผสมซีเมนต์พอลิเมอร์สำหรับชั้นพื้นทาง

EFFECTS OF GRADATION TO THE STRENGTH OF CEMENT-POLYMER CRUSHED ROCK ROAD BASE

ณัฐนนท์ คุ้มครุฑ[1], ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกฎ นุสิทธิ์[1], รองศาสตราจารย์ ดร.พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม[2],
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยาวุธ ประอ้าย[3] , ภัคพงศ์ หอมเนียม[1] และ ภูริชัย แก้วมา[1]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยนเรศวร, จังหวัดพิษณุโลก, 65000
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่
[3] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
*Corresponding author address: Nattanonk40@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดคละที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงของหินคลุกผสม ซีเมนต์-พอลิเมอร์ (Cement-Polymer mixture) สำหรับงานชั้นพื้นทาง โดยทำการปรับขนาดคละของหินคลุกแหล่งเดียวกัน แบ่งตัวอย่างเป็น 3 ประเภท คือ หินคลุกมวลรวมปกติ หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 20 และหินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 30 จากนั้นทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ พอลิเมอร์ (Polymer) ชนิดสไตรีนอะคริลิค (SA) เป็นสารผสมเพิ่มในอัตราส่วนผสมซีเมนต์ต่อพอลิเมอร์ 90:10 ที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน นำมาทดสอบกำลังรับแรงทั้งกำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test) และทดสอบหากำลังการรับแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength) และได้ทำการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (California Bearing Ratio) ที่อายุบ่ม 7 วัน จากผลการทดสอบพบว่าเมื่ออัตราส่วนของปริมาณมวลละเอียดเพิ่มขึ้น ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวและกำลังรับแรงดึงทางอ้อมที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน มีค่ากำลังรับแรงมีแนวโน้มที่ลดลง และเมื่ออัตราส่วนของปริมาณมวลละเอียดเพิ่มขึ้นทำให้ค่า CBR ของวิธีการทดสอบแบบแช่น้ำ และแบบไม่แช่น้ำ มีแนวโน้มลดลง

คำสำคัญ: *การปรับปรุงคุณภาพดิน , ดินซีเมนต์พอลิเมอร์ , หินคลุก , กำลังรับน้ำหนัก*

ABSTRACT

This research has an objective to study the effects of gradation to the strength of cement-polymer crushed rock road base (cement-Polymer mixture) for pavement. The amount of fine particle in the crushed rock was varied to obtain 3 different gradations of the same type of crushed rock. The standard-grade, 20%-fine, and 30%-fine crushed rocks were prepared in the laboratory using the same type of crushed rock. These three-gradation crushed rocks were further modified by Portland Cement Type I and styrene-acrylic (SA) polymer. The SA polymer was used as an additive in this research with the fixed ratio of cement to SA polymer equivalent to 90:10. The modified crushed rock samples were then cured at room temperature for 7 and 28 days. Three types of strength tests were conducted to assess the effects of gradation; this includes, the Unconfined Compression test, Indirect Tensile Strength test and California Bearing Ratio test. The testing results show that, increase in fine aggregate leads to the drops in compressive strength and indirect tensile strength of 7- and 28-day samples. Moreover, as the ratio of fine content increases, the California Bearing Ratio of soaked and unsoaked samples decreased and tend to be relatively stable.

Keywords: Soil Stabilization, Cement-Polymer mixture, Crushed rock, Compressive Strength

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบต่อถนนเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น อายุการใช้งานของถนนจึงสั้นลง จึงต้องมีการปรับปรุงซ่อมแซมอยู่บ่อยครั้ง เพื่อรองรับการจราจรต่อไปในอนาคต

การก่อสร้างชั้นพื้นทางแต่ละครั้งการทำงานหน้างานมักจะมีความแปรปรวนจากการออกแบบ เช่น ขนาดคละของมวลรวมและความชื้นของวัสดุ ซึ่งเป็นตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้จากการทำงานหน้างานจริงส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้งานของชั้นพื้นทางลดลงก่อให้เกิดการชำรุดของชั้นผิวทาง

ซึ่งในปัจจุบันมีผู้วิจัยพัฒนาการรับกำลังของดินชั้นพื้นทางด้วยซีเมนต์เพื่อพัฒนาการรับกำลังอัดและพอลิเมอร์(Polymer) เพื่อพัฒนากำลังการรับแรงดัดและความสามารถในการดูดซึมน้ำ[1-3] ซึ่งในงานวิจัยของกัญจน์และคณะ[1] ได้นำซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และพอลิเมอร์ชนิด Styrene Acrylic (SA) มาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างซีเมนต์และพอลิเมอร์ เพื่อนำมาเป็นสารผสมเพิ่มเพื่อ

ปรับปรุงใช้กับวัสดุงานทาง พบว่าอัตราส่วนซีเมนต์ต่อพอลิเมอร์ที่ร้อยละ 90:10 สามารถรับแรงได้ดีที่สุดทั้งการรับกำลังอัดและการรับแรงดึงที่สุด ทางผู้วิจัยเห็นว่าเป็นข้อมูลที่น่าเชื่อถือจึงนำอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์:พอลิเมอร์ที่ร้อยละ 90:10 มาใช้ในงานวิจัยนี้

วิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดคละต่อกำลังรับแรงของหินคลุกผสม ซีเมนต์-พอลิเมอร์ (Cement-Polymer mixture) สำหรับวัสดุก่อสร้างชั้นพื้นทาง โดยทำการปรับขนาดคละของหินคลุกแหล่งเดียวกัน แบ่งตัวอย่างเป็น 3 ประเภท คือ หินคลุกมวลรวมปกติ หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 20 และหินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 30

2. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

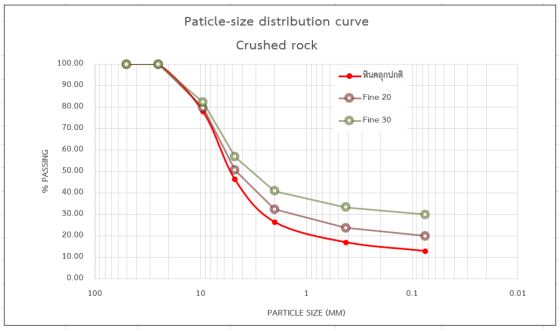
2.1. หินคลุก (Crushed Rock)

หินคลุกขนาดมาตรฐานที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ได้มาจากโรงโม่บ้านศิลา จังหวัดสุโขทัย มีผลการทดสอบเปรียบเทียบกับมาตรฐานพื้นทางหินคลุกซีเมนต์ตามตารางที่ 1

ตารางที่1 ผลการทดสอบหินคลุกตามมาตราฐานพื้นทางหินคลุกซีเมนต์

วิธีการทดสอบคุณสมบัติ	ผลการทดสอบ	เกณฑ์มาตรฐาน
Los Angeles Abrasion Test	32%	< 40
Soundness	2.15%	< 9
Liquid Limit (LL)	25%	< 25
Plastic Limit (PL)	22%	-
Plasticity Index (PI)	2.95%	< 6
CBR (Soaked)	66%	-
CBR (Unsoaked)	94%	> 80

มีขนาดคละดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขนาดคละ หินคลุกปกติ หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 20 และ หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 30

2.2. ปูนซีเมนต์

เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์นิยมใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป เช่น เสา คาน ฐานรากของอาคาร และ ถนนเป็นต้น

2.3. พอลิเมอร์

พอลิเมอร์ชนิด Styrene Acrylic (SA) นิยมใช้สำหรับเป็นสารผสมเพิ่มเพื่อเพิ่มกำลังรับแรงดึง เนื่องจากคุณสมบัติที่มีความเหนียวและยืดหยุ่น SA เป็นโคพอลิเมอร์แบบน้ำ น้ำยาอะคริลิค จะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นเนื่องจากแอมโมเนียหรืออะคริลิคและมีคุณสมบัติตามตารางที่ 2

รูปที่ 2 พอลิเมอร์ชนิด Styrene Acrylic (SA)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของพอลิเมอร์

Property	Styrene acrylic
รูปร่าง	ของเหลว
ร้อยละของแข็งทั้งหมด	54.0 – 56.0
pH	7.0 – 9.0
ความเหนียว (Brookfield RVT,CPS)	500 – 2,000
Ionic nature	Anionic
ความถ่วงจำเพาะ	1.000 - 1.100
ความหนาแน่นของไอ	< 1 water
จุดเดือด	100°c
การละลายน้ำ	กระจายน้ำในตัว

3. การเตรียมวัสดุและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

3.1. การเตรียมวัสดุมวลละเอียด

วัสดุมวลละเอียดคือมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) [4] เมื่อทำการเพิ่มมวลละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ในมวลรวมปกติจะทำให้ขนาดคละเปลี่ยนแปลงไปไม่เฉพาะที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่านั้น จึงได้ขนาดคละดังรูปที่1

3.1.1. วิธีการเตรียมวัสดุมวลละเอียด

นำหินคลุกมาผ่านตะแกรงตั้งแต่ขนาด 2 นิ้ว , 1 ½ นิ้ว , 1 นิ้ว , ¾ นิ้ว , ½ นิ้ว , 3/8 นิ้ว , เบอร์4 มาทำการบดเพื่อให้ได้วัสดุมวลละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion จากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงตั้งแต่เบอร์ 8, เบอร์ 30, เบอร์ 50, เบอร์ 80 เพื่อไม่ให้ตะแกรงเบอร์ 200 ได้รับความเสียหาย ดังรูปที่ 3 โดยวัสดุมวลละเอียดจะถูกนำไปอบและจัดเก็บในภาชนะปิดเพื่อป้องกันความชื้น ก่อนนำไปทดสอบ

รูปที่ 3 มวลละเอียดผ่านตะแกรง เบอร์ 200

3.1.2. วิธีการปรับขนาดคละมวลรวมโดยการเพิ่มมวลละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200

จากผลทดสอบขนาดคละวัสดุหินคลุก โรงโม่บ้านศิลา พบว่ามีปริมาณมวลละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ทั้งหมด ร้อยละ 13 ของมวลรวมทั้งหมด จากนั้นทางผู้วิจัยได้คำนวณย้อนกลับผ่านโปรแกรมMicrosoft excel เพื่อปรับขนาดคละให้มีปริมาณมวลละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ร้อยละ 20 และ 30

จากการคำนวณทางผู้วิจัยต้องเพิ่มปริมาณมวลละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ร้อยละ 8 และ ร้อยละ 20 ของปริมาณมวลรวมปกติเพื่อที่จะได้ปริมาณมวลละเอียดร้อยละ 20 และ 30 ตามลำดับ ตัวอย่างดังตารางที่ 3

ตารางที่3 อัตราส่วนผสมของหินคลุกและมวลละเอียดเพื่อปรับขนาดคละก่อนทำการทดสอบ

ประเภท	หินคลุก (กรัม)	เพิ่มมวลละเอียด (กรัม)
หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ13	3000	-
หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 20	2756	244
หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 30	2412	588

3.2. การทดสอบการบดอัด (Compaction test)

ในการศึกษาครั้งนี้ทำการจะทำการบดอัดแบบสูงกว่ามาตราฐาน (Modified Compaction) เพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม(Optimum Moisture Content) และ ค่า Maximum Dry Density (MDD) ตามมาตรฐานกรมทางหลวง (ทล.-ท 108/2517) Mold มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4นิ้ว) สูง 116.8 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) บดอัด 5 ชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง โดยทำการทดสอบในอัตราส่วนปริมาณมวลละเอียดดังนี้ หินคลุกปกติ หินคลุกที่มีมวลละเอียด ร้อยละ 20 และ หินคลุกที่มีมวลละเอียด ร้อยละ 30 ทำการทดสอบ 5 ตัวอย่าง ต่อ 1 อัตราส่วนปริมาณมวลละเอียด รวมทั้งหมด 15 ตัวอย่าง

รูปที่ 4 บ่มตัวอย่าง 7 วัน

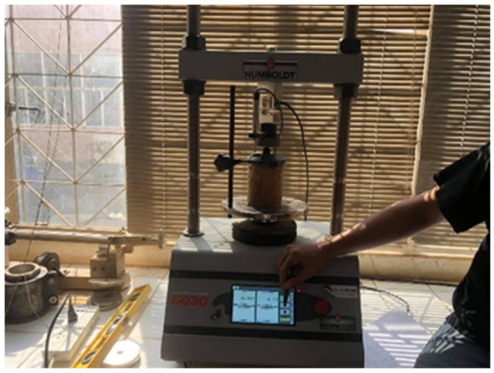
3.3. การออกแบบอัตราส่วนซีเมนต์พอลิเมอร์ที่เหมาะสม

ในการออกแบบหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะผสมกับหินคลุกและน้ำให้ถือเอาค่ากำลังรับแรงอัดแท่งตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์จากการทดลองตามมาตราฐานการออกแบบหินคลุกซีเมนต์ [5] โดยทำการเพิ่มปริมาณอัตราส่วนผสมซีเมนต์ต่อพอลิเมอร์ร้อยละ 2, 3, 4, 6 ทำการทดสอบวิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength (UCS)จากก้อนตัวอย่างที่ได้จากการบดอัดตามวิธีทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน ภายหลังการบ่มในถุงพลาสติกเพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วันแล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2,413 กิโลพาสคัล (350 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) โดยทำการทดสอบ 3 ตัวอย่าง ต่อ 1 ร้อยละอัตราส่วนผสม รวมทั้งหมด 12 ตัวอย่าง

3.4. การทดสอบกำลังอัดแกนเดียว

เมื่อออกแบบได้อัตราส่วนผสมซีเมนต์พอลิเมอร์ที่เหมาะสมกับหินคลุกปกติ นำมาทดสอบตามมาตรฐานของกรมทางหลวงการทดลองที่ ทล-ท. 105/2515 [6] ทำการขึ้นก้อนตัวอย่างตามข้อ 3.2 โดยทำการบ่มที่ 7 และ 28 วัน โดยบ่มก้อนตัวอย่างในถุงพลาสติกเพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงทำการวัดขนาดส่วนสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่าง จากนั้นจึงนำตัวอย่างเข้าเครื่องกด โดยให้

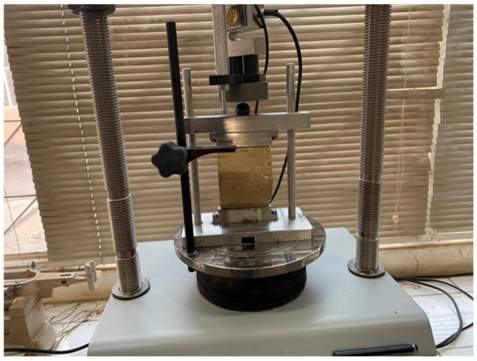
อัตราการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง ร้อยละ 2 ของความสูงตัวอย่างต่อนาที บันทึกค่าทุกๆ 10 วินาที จนค่าแรงกดลดลงจึงหยุดการทดสอบ ทำการทดสอบ 3 ตัวอย่าง ต่อ 1 อัตราส่วนผสม ต่อ 1 อายุการบ่ม รวม 18 ตัวอย่าง



รูปที่ 5 การทดสอบกำลังอัดแกนเดียว

3.5. การทดสอบแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength :IDT)

การทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อมก้อนตัวอย่างภายใต้มาตรฐาน ASTM D6931-2017 [7] โดยตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง101.6 มิลลิเมตร (4นิ้ว) สูงประมาณ 70 มิลลิเมตร โดยใช้หินคลุกและวัสดุมวลละเอียดรวมกันปริมาณ 1,200 กรัม บดอัด 3 ชั้น ชั้นละ25 ครั้ง ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน แกะตัวอย่างทำการวัดขนาดตัวอย่าง แล้วนำไปแช่น้ำ 2 ชั่วโมงจากนั้นพักไว้ 15 นาที วางตัวอย่างบนแท่นปรับให้ได้ตำแหน่งกึ่งกลางตัวอย่างทดสอบจากนั้นทำการตั้งอัตราการเคลื่อนที่แนวดิ่ง 50 mm/min ให้แรงจนตัวอย่างวิบัติ โดยทำการทดสอบ 3 ตัวอย่าง ต่อ 1 อัตราส่วนผสม ต่อ 1 อายุการบ่ม รวม 18 ก้อนตัวอย่าง



รูปที่ 6 การทดสอบแรงดึงทางอ้อม

3.6. การทดสอบหากำลังรับน้ำหนักของดินที่บดอัด (California Bearing Ratio Test: CBR)

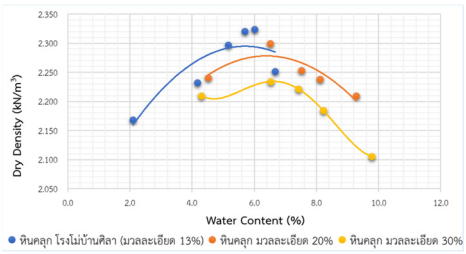
การทดสอบหากำลังรับน้ำหนักของดินที่บดอัดทำตามมาตรฐานของกรมทางหลวงการทดลองที่ ทล-ท. 109/2017 [8] โดยได้ทำการทดสอบ 2 วิธี คือ การทดสอบแบบแช่น้ำ (soaked) และ การทดสอบแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked) โดยใช้หินคลุกและมวลละเอียดรวมกันปริมาณ 6,000 กรัมต่อ 1 การทดสอบ ปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากการออกแบบในข้อ 3.3 จากนั้นทำการบดอัดที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม จำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 52 ครั้ง ทำการบ่มตัวอย่างไว้ภายใน mold ทดสอบเป็นเวลา 7 วัน โดยบ่มในถุงพลาสติกเพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลง จากนั้นเริ่มทำการทดสอบโดยการนำตัวอย่างขึ้นเครื่องทดสอบจากนั้นบันทึกแรงกด เมื่อ Penetration ถึงค่าที่กำหนดตามมาตรฐาน จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลเทียบกับค่า CBR มาตรฐาน โดยทำการทดสอบ 2 ตัวอย่าง ต่อ 1 อัตราส่วนผสม ต่อ 1 การทดสอบ รวมทั้งหมด 12 ตัวอย่าง

รูปที่ 7 การบ่มตัวอย่าง CBR เพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลง

4. ผลการทดสอบ

4.1. การบดอัด (Compaction Test)

การทดสอบหาค่าการบดอัดของหินคลุกโดยไม่ผสมซีเมนต์แบ่งเป็น 3 แบบ คือ หินคลุกโรงโม่บ้านศิลา, หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 20 และหินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 30 เพื่อหาค่าปริมาณความชื้นที่ความหนาแน่นสูงสุด Optimum Moisture Content (OMC) และความหนาแน่นแห้งสูงสุด Maximum Dry Density (MDD) โดยได้ค่าดังผลของการทดสอบการบดอัดของหินคลุก สามารถเขียนกราฟการบดอัดความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) และปริมาณน้ำ (Water Content) ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าปริมาณมวลละเอียดที่เพิ่มขึ้นทำให้ขนาดคละเปลี่ยนแปลงไปส่งผลทำให้ ค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) ลดลงที่ปริมาณความชื้นที่ความหนาแน่นสูงสุด Optimum Moisture Content (OMC) และใช้ปริมาณน้ำ (Water Content) ในการบดอัดเพิ่มขึ้น ดังในตารางที่4



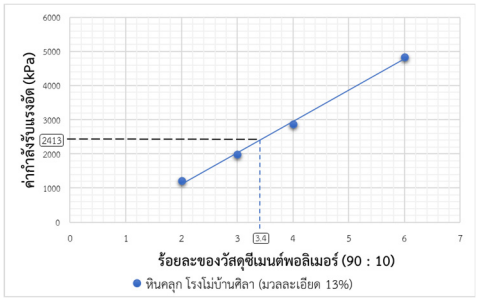
รูปที่ 8 ผลการทดสอบการบดอัด Compaction test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบ Compaction test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

ประเภท	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (kN/m3)	ปริมาณความชื้นที่ความหนาแน่นสูงสุด (%)
หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ13	2.295	5.7
หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 20	2.275	6.5
หินคลุก มวลละเอียดร้อยละ 30	2.233	6.7

4.2. การออกแบบอัตราส่วนผสมหินคลุกซีเมนต์พอลิเมอร์ที่เหมาะสม

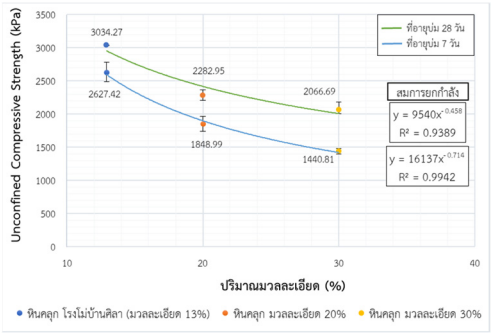
ผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามร้อยละของวัสดุผสมซีเมนต์พอลิเมอร์ ที่อัตราส่วนผสมซีเมนต์พอลิเมอร์ 90 ต่อ 10 และเมื่อนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐานชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ มาตรฐานที่ ทล.-ม. 203/2556 ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2413 กิโลพาสคัล (350 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) พบว่าหินคลุกโรงโม่บ้านศิลา ที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ผ่านมาตรฐานกรมทางหลวงที่ปริมาณซีเมนต์-พอลิเมอร์ร้อยละ 3.4 ดังแสดงรูปที่ 9



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์-พอลิเมอร์ และร้อยละของวัสดุซีเมนต์-พอลิเมอร์ (90 : 10)

4.3. ผลการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว

แสดงผลการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ของหินคลุกที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวัสดุผสมซีเมนต์พอลิเมอร์ร้อยละ 3.4 โดยทำการบ่มก้อนตัวอย่าง ที่ 7 วัน และ 28 วัน แสดงดังรูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวและปริมาณมวลละเอียดในส่วนผสมมวลรวม

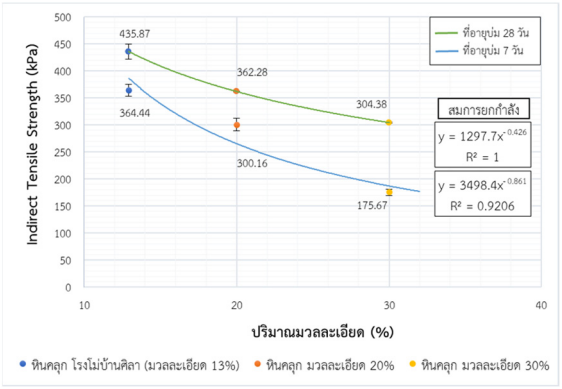


รูปที่10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว และปริมาณมวลละเอียด ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน

ผลการทดสอบพบว่าก้อนตัวอย่างที่ปรับปรุงด้วยวัสดุซีเมนต์พอลิเมอร์ ที่อัตราส่วนผสมซีเมนต์พอลิเมอร์ 90 ต่อ 10 มีการพัฒนาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวที่เพิ่มขึ้น ในแต่ละอัตราส่วนผสมต่างๆ ที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน โดยอิทธิพลของขนาดคละส่งผลถึงค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวให้มีค่าลดลงร้อยละ 29.63 และร้อยละ 45.16 เมื่อมีปริมาณมวลละเอียดร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ตามลำดับที่อายุบ่ม 7 วัน และค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวมีค่าลดลงร้อยละ 24.76 และ ร้อยละ 31.89 เมื่อมีปริมาณมวลละเอียดร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ตามลำดับที่อายุบ่ม 28 วัน

4.4. ผลการทดสอบแรงดึงทางอ้อม

แสดงผลการทดสอบเพื่อหาค่าแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength :IDT) ของหินคลุกที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวัสดุผสมซีเมนต์พอลิเมอร์ร้อยละ 3.4 โดยทำการบ่มก้อนตัวอย่างที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน แสดงดังรูปที่ 11



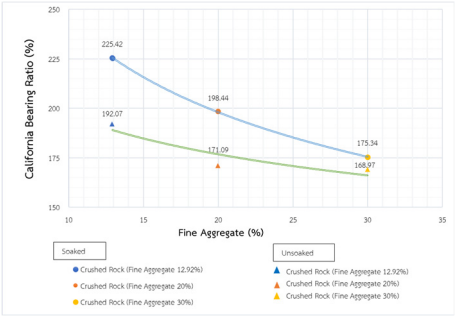
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อม และปริมาณมวลละเอียด ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน

ผลการทดสอบพบว่าก้อนตัวอย่างที่ปรับปรุงด้วยวัสดุซีเมนต์พอลิเมอร์ ที่อัตราส่วนผสมซีเมนต์พอลิเมอร์ 90 ต่อ 10 มีการพัฒนาค่าแรงดึงทางอ้อมที่เพิ่มขึ้น ในแต่ละอัตราส่วนผสมต่างๆ ที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน แต่อิทธิพลของขนาดคละจะส่งผลถึงค่าแรงดึงทางอ้อมโดยลดลงร้อยละ 17.63 และร้อยละ 51.80 เมื่อมีปริมาณ

มวลละเอียดเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ตามลำดับที่อายุบ่ม 7 วัน และค่าแรงดึงทางอ้อมมีค่าลดลงร้อยละ 16.88 และ ร้อยละ 30.16 เมื่อมีปริมาณมวลละเอียดร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ตามลำดับที่อายุบ่ม 28 วัน

4.5. ผลการทดสอบหากำลังรับน้ำหนักของดินที่บดอัดแน่น (California Bearing Ratio Test: CBR)

ผลการทดสอบค่า CBR ของหินคลุกที่ผ่านการปรับปรุงด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-พอลิเมอร์ร้อยละ 3.4 โดยทำการบ่มก้อนตัวอย่างที่อายุการบ่ม 7 วัน โดยวิธีการทดลองแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked) และวิธีการทดลองแบบแช่น้ำ (Soaked) โดยได้ทำการแช่น้ำอีก 4 วัน หลังจากการบ่ม 7 วัน ทำให้ผลการทดสอบแบบแช่น้ำ (Soaked) มีค่า CBR มากกว่าแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked) แสดงดังรูปที่12



รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR แบบแช่น้ำ (Soaked) และแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked) กับปริมาณมวลละเอียด

ผลการทดสอบแบบแช่น้ำ (Soaked) และแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked) ก้อนตัวอย่างที่ปรับปรุงด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-พอลิเมอร์ที่อัตราส่วนผสมซีเมนต์พอลิเมอร์ 90 ต่อ 10 หินคลุกโรงโม่บ้านศิลา (มวลละเอียดร้อยละ 13), หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 20 หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 30 มีค่าร้อยละ CBR ที่ Penetration 0.1 นิ้ว และ0.2 นิ้ว รวมถึงค่าการขยายตัว (Swell) แสดงดังตารางที่ 4 และตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบแบบแช่น้ำ (Soaked)

ประเภท	California Bearing Ratio (%)		การขยายตัว (%)
	Penetration 0.1 in	Penetration 0.2 in	
หินคลุก มวลละเอียดร้อยละ13	160.37	225.42	0
หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 20	148.00	198.44	0
หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 30	123.65	175.34	0

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked)

ประเภท	California Bearing Ratio (%)	
	Penetration 0.1 in	Penetration 0.2 in
หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 13	110.91	192.07
หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 20	116.90	171.09
หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 30	123.46	168.97

เนื่องจากการในการทดสอบค่า CBR พบว่าค่าPenetration 0.1 นิ้ว มีค่าต่ำกว่า Penetration 0.2 นิ้ว จึงได้มีการทำการทดสอบอีกครั้งแต่ค่ายังมีค่า CBR ที่ Penetration 0.1 นิ้ว ยังให้ค่าที่ต่ำกว่า Penetration 0.2 นิ้ว ทางผู้วิจัยจึงใช้ค่า CBR ที่ Penetration 0.2 นิ้ว มาวิเคราะห์ตามมาตรฐานกรมทางหลวงทล. -ท. 109/2517 [8]

ผลการทดสอบพบว่าก้อนตัวอย่างที่ปรับปรุงด้วยวัสดุซีเมนต์พอลิเมอร์ ที่อัตราส่วนผสมซีเมนต์พอลิเมอร์ 90 ต่อ 10 วิธีการทดสอบแบบแช่น้ำ (Soaked) และแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked) มีค่า CBR ที่ Penetration 0.2 นิ้ว มากกว่า Penetration 0.1 นิ้ว และการขยายตัวมีค่าร้อยละ 0 ในทุกอัตราส่วนผสมของมวลละเอียด ที่อายุการบ่ม 7 วัน เมื่ออัตราส่วนของปริมาณมวลละเอียดเพิ่มขึ้น อิทธิพลของขนาดคละจะส่งผลทำให้ค่า CBR ที่ Penetration 0.2 นิ้ว ลดลง

5. บทสรุป

จากการศึกษาผลกระทบของขนาดคละที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงของหินคลุกผสมซีเมนต์-พอลิเมอร์สำหรับชั้นพื้นทาง โดยเปรียบเทียบอัตราส่วนของปริมาณมวลละเอียด แบ่งเป็น 3 แบบ คือ หินคลุกโรงโม่บ้านศิลา (มวลละเอียดร้อยละ 13), หินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 20 และหินคลุกมวลละเอียดร้อยละ 30

1.หินคลุกโรงโม่บ้านศิลา (มวลละเอียดร้อยละ13) ที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ ในอัตราส่วนผสมซีเมนต์พอลิเมอร์ 90:10 ผ่านมาตรฐาน 2413 กิโลพาสคัลตามมาตรฐานชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์มาตรฐานที่ ทล.-ม. 203/2556 ที่ร้อยละ 3.4 เมื่ออัตราส่วนของปริมาณมวลละเอียดเพิ่มขึ้น ทำให้ขนาดคละเกิดการเปลี่ยนแปลง อิทธิพลของขนาดคละจะส่งผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดและค่ากำลังรับแรงดึงลดลง

2.อายุการบ่มตัวอย่าง ส่งผลต่อค่ากำลังรับแรง เมื่อทำการบ่มนานขึ้นจะทำให้ค่าการรับกำลังเพิ่มขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้จำกัดวัสดุหินคลุกเพียงแหล่งเดียว ควรศึกษาเพิ่มเติมจากวัสดุชนิดอื่น เช่น ดินลูกรัง หรือ ดินปลายตะแกรง เนื่องจากสองวัสดุนี้มีปริมาณมวลละเอียดที่มาก ยากต่อการควบคุมขณะทำงานจริง หรือวัสดุพอลิเมอร์ประเภทอื่น เช่น styrene-butadiene rubber (SBR) พอลิเมอร์ที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างอีก

ประเภทหนึ่ง

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทางภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดสอบต่างๆ

ขอขอบคุณทุนการศึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วิชาญ ภู่พัฒน์ เนื่องในโอกาสครบรอบ 25 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ทำการสนับสนุนงบประมาณการเผยแพร่งานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณนายเจษฎา สำลี, นายพัฒนธร ทองทา และ นายศิวกร โป้แล นิสิตปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ให้ความร่วมมือในการทำการทดสอบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

8. การอ้างอิง

[1] กัญจน์ สลีวงศ์., พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม., กรกฎ นุสิทธิ์. (2020). การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, 15-17 กรกฎาคม, ชลบุรี, ประเทศไทย.

[2] ไอรดาภรณ์ หาดแก้ว., กรกฎ นุสิทธิ์., ทวีศักดิ์ แตะกระโทก. (2020). คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินซีเมนต์ผสมยางพาราและดินซีเมนต์ผสมยางสไตรีนอะคริลิค. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, 15-17 กรกฎาคม, ชลบุรี, ประเทศไทย.

[3] Sepehr Rezaeimalek., Reza Nasouri., Jie Huang., Sazzad Bin-Shafique. (2018). Curing Method and Mix Design Evaluation of a Styrene- Acrylic Based Liquid Polymer for Sand and Clay Stabilization. Journal of Materials in Civil Engineering 30(9), 04018200.DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002396 American Association of State Highway and Transportation Officials. (1986).

[4] Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. Washington, D.C.

[5] สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง.,กรมทางหลวง.(2556). ทล.-ม.203/2556มาตรฐานพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์. กรุงเทพฯ

[6] สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง.,กรมทางหลวง.(2556). ทล.-ท.105/2515การทดสอบกำลังอัดแกนเดียว Unconfined Compressive Strength Test . กรุงเทพฯ

[7] American Society for Testing and Materials (2017). ASTM D 6931. Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Asphalt Mixtures. ASTM International.

[8] สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง.,กรมทางหลวง.(2517). ทล.-ท.109/2517 วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR (เทียบเท่า AASHTO T193). กรุงเทพฯ