อิทธิพลของปริมาณดินเม็ดละเอียดและปริมาณซีเมนต์ต่อกำลังอัดแกนเดียวของดินลูกรังผสมซีเมนต์

Effects of Fine Content and Cement Content on Unconfined Compressive Strength of Lateritic Soil-Cement

สุทธิพงศ์ คำดี[1*] สุริยะ ทองมุณี[2] และ พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม[3]

[1,2,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่

**Corresponding author; E-mail address: sutti2525@gmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณดินเม็ดละเอียดและปริมาณซีเมนต์ต่อกำลังอัดแกนเดียวของดินลูกรังผสมซีเมนต์ ดินลูกรังที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวงจากอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ได้ถูกนำมาเป็นวัสดุตัวอย่างในการศึกษา โดยนำมาปรับให้มีปริมาณเม็ดละเอียดเท่ากับร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 ของน้ำหนักดินแห้งรวม จากนั้นทำการปรับปรุงเสถียรภาพดินแต่ละตัวอย่างโดยการผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราส่วนร้อยละ 0, 4, 6 และ 8 ของน้ำหนักดินแห้งรวม เตรียมตัวอย่างโดยการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานที่ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและบ่มที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ตามลำดับ จากนั้นทำการทดสอบหากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างทั้งหมดตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ผลการศึกษาพบว่า ที่ปริมาณเม็ดละเอียด 20% เป็นจุดแบ่งของคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังอัดแกนเดียว เทียบกับร้อยละปริมาณเม็ดละเอียด โดยค่ากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างที่ผสมซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 4 มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณเม็ดละเอียดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 20 จากนั้นค่ากำลังลดลงและแสดงค่าแนวโน้มที่ค่อนข้างจะคงที่ ส่วนตัวอย่างที่ผสมซีเมนต์อัตราส่วนร้อยละ 6 และ ร้อยละ 8 พบว่าค่ากำลังอัดแกนเดียวลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อปริมาณเม็ดละเอียดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0 ถึง 20 จากนั้นค่ากำลังลดลงและแสดงค่าแนวโน้มที่ค่อนข้างจะคงที่ เมื่อปริมาณดินเม็ดละเอียดเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ปริมาณซีเมนต์ และอายุบ่มที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะตัวอย่างที่มีสัดส่วนดินเม็ดละเอียด ร้อยละ 0

คำสำคัญ: ดินลูกรัง, ดินเม็ดละเอียด, ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, การปรับปรุงคุณสมบัติของดิน, กำลังอัดแกนเดียว

Abstract

This study aimed to investigate the effects of fine contents and cement contents on the unconfined compressive strength (UCS) of the lateritic soil-cement mixtures. The sub-standard lateritic soil used in the study was collected from a local borrow pit site, Doi Saket, Chiangmai, Thailand. A series of the fine contents of 0, 20, 30, and 40% of a dry mass and the cement contents of 0, 4, 6, and 8% of a dry soil mass were targeted. For the sample preparation, lateritic soil-cement test samples were fabricated based on the modified proctor compaction test results (at optimum moisture contents and 100% maximum dry unit weight) and curing periods of 7, 14, and 28 days. The UCS tests were carried out following the Department of Highway (DOH) standard. The results revealed that at the fine content of 20%, the trend of UCS against fine contents separates into two characteristics. Firstly, the UCS of 4% cement content samples increases when the fine content increased up to 20% and gradually decreases beyond that. Secondly, the UCS of 6% and 8% cement content samples dramatically decrease with an increase in the fine contents from 0 to 20% and then, a gradually decreases. Furthermore, UCS will increase significantly relating to the cement content and curing period especially at 0% fine content.

Keywords: Lateritic Soil, Fine-Grain Soil, Portland Cement, Soil Stabilization, Compressive Strength

1. บทนำ

ดินลูกรังเป็นวัสดุธรรมชาติ ซึ่งเป็นวัสดุหลักที่นำมาใช้ทำการก่อสร้างชั้นรองพื้นทางของโครงสร้างทาง โดยต้องมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมตามมาตรฐานที่กรมทางหลวงกำหนด การก่อสร้างในพื้นที่ห่างไกลจากแหล่งลูกรังที่ได้มาตรฐานนั้นจะเกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัสดุ และระยะเวลาก่อสร้างเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้มูลค่าการก่อสร้างทางเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดที่จะพัฒนาวิธีการออกแบบและปรับปรุงชั้นโครงสร้างทาง รวมไปถึงทำการปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังใกล้พื้นที่ก่อสร้างที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมต่ำกว่ามาตรฐาน ให้มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมใกล้เคียงกับดินลูกรังมาตรฐานซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการขนส่งวัสดุจากแหล่งอื่น ช่วยแก้ปัญหาในการขาดแคลนวัสดุ และเป็นการใช้แหล่งวัสดุธรรมชาติให้เกิด

ประโยชน์สูงสุด แนวคิดการปรับปรุงวัสดุชั้นรองพื้นทางที่ต่ำกว่ามาตรฐานสามารถทำได้โดยการผสมสารผสมเพิ่มเติม (Stabilizing Agent) ซึ่งเป็นการปรับปรุงดินด้วยวิธีการทางเคมี โดยส่วนมากแล้วสารที่ผสมเข้าไปในดินเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินนั้นจะใช้ซีเมนต์เป็นสารผสมเพิ่มหรือที่เรียกว่าการปรับปรุงเสถียรภาพด้วยซีเมนต์ (Cement Stabilization) และเรียกดินที่ถูกปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์ว่า ดินซีเมนต์ (Soil-Cement) [1],[2]

การออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ของกรมทางหลวง ทั้งในชั้นพื้นทางและชั้นรองพื้นทางนั้นต้องทำการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของดินที่จะนำมาใช้ทำดินซีเมนต์ โดยการพิจารณาจากปริมาณสัดส่วนของดินเม็ดละเอียดเป็นอันดับแรก โดยการทดลองหาร้อยละที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์200) ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 40 สำหรับวัสดุชั้นรองพื้นทางและการทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) และขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Index) ก่อนที่จะนำดินไปทดลองหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมโดยวิธีทดลองหาส่วนผสม (Trial Mixed) เพื่อให้ได้กำลังรับแรงอัดตามมาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงคือต้องที่ค่าไม่น้อยกว่า 6.9 ksc. ที่อายุการบ่ม 7 วัน [4] ซึ่งที่ผ่านมีการศึกษาเกี่ยว ปริมาณดินเม็ดละเอียด และการแนะนำปริมาณซีเมนต์ สำหรับการปรับปรุงคุณภาพดินให้มีความเหมาะสมกับประเภทดิน

Davidson et al. [5] ได้ทำการทดลองโดยใช้ทรายผสมดินเหนียวในอัตราส่วนทรายต่อดินเหนียว 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 พบว่าปริมาณดินเหนียวที่เกินกว่าร้อยละ 25 เมื่อผสมกับดินจำพวกที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesionless Soil) จะทำให้กำลังของดินซีเมนต์ลดลงอย่างเด่นชัด และที่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 8 ปริมาณสัดส่วนของทรายต่อดินเหนียว75:25 ให้กำลังอัดสูงสุด

Robbins และ Mueller [6] แนะนำว่าดินที่ปริมาณผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ระหว่างร้อยละ 5 – 35 เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ทำดินซีเมนต์

Portland Cement Association [7] ได้แนะนำช่วงปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการใช้สำหรับดินประเภทต่างๆ จำแนกประเภทกลุ่มดินตามวิธีการของ AASHTO ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการใช้จะอยู่ในช่วง 3-16% ของน้ำหนักดินแห้ง ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของดินและคุณสมบัติของดินที่ต้องการ โดยทั่วไปปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นจะสอดคล้องกับปริมาณดินเหนียวที่เพิ่มขึ้นในดิน

จากการศึกษาที่ผ่านจะเห็นได้ว่าปริมาณดินเม็ดละเอียด และ ปริมาณซีเมนต์นั้นมีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณดินเม็ดละเอียดและปริมาณซีเมนต์ต่อกำลังอัดแกนเดียว ที่เกิดขึ้นในดินลูกรังที่ถูกปรับปรุงเสถียรภาพด้วยซีเมนต์สำหรับนำมาใช้เป็นวัสดุโครงสร้างชั้นรองพื้นทาง

2. การเตรียมวัสดุและคุณสมบัติของวัสดุ

2.1 ดินลูกรัง

ดินตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้จะใช้ดินลูกรังที่ต่ำกว่ามาตรฐานชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวง จากแหล่งดินธรรมชาติอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ นำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (ขนาดช่องเปิด 0.075 มม.) แบบล้าง เพื่อแยกสัดส่วนระหว่างดินเม็ดละเอียดกับดินเม็ดหยาบเพื่อนำมาปรับให้ได้สัดส่วนของดินเม็ดละเอียดในปริมาณร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 ของน้ำหนักดินแห้ง ดังตารางที่ 1 โดยดินเม็ดหยาบที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 นั้น จะถูกนำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบ จากนั้นจะนำไปบรรจุไว้ในถุงพลาสติกเพื่อป้องกันความชื้น ส่วนดินเม็ดละเอียดที่ล้างผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จะถูกปล่อยให้ตกตะกอน ก่อนนำไปอบแห้ง เมื่ออบแห้งเสร็จดินเม็ดละเอียดจะมีลักษณะยึดเกาะเป็นแผ่น ก่อนนำไปเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบจะต้องทำการบดดินเม็ดละเอียดให้คืนสภาพเป็นผงแห้งโดยใช้เครื่องบดแร่ Batch Rod Mill ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 การบดดินเม็ดละเอียดอบแห้งด้วยเครื่อง Batch Rod Mill

2.2 ซีเมนต์

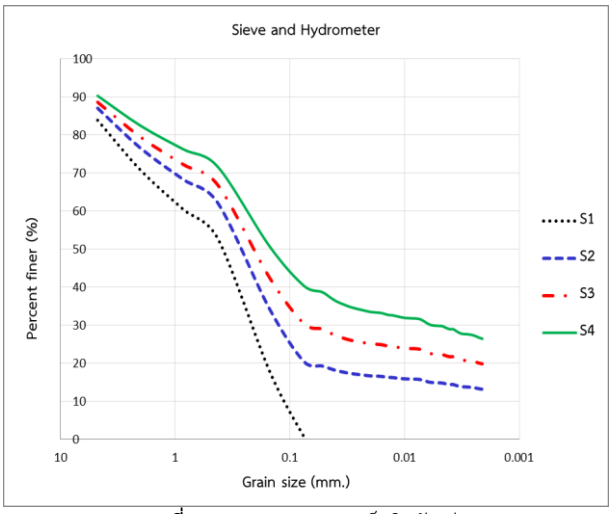
ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง ทำการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (ขนาดช่องเปิด 0.425 มม.) ก่อนนำมาทำการผสมดินตัวอย่าง ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมคือร้อยละ 0, 4, 8 และ 12 ของน้ำหนักดินแห้งในแต่ละตัวอย่าง

ตารางที่ 1 คุณสมบัติดินตัวอย่าง

คุณสมบัติของดิน	ดินตัวอย่าง			
	S1	S2	S3	S4
ปริมาณที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200, %	0	20	30	40
Specific Gravity	2.74	2.70	2.71	2.73
Liquid limit , %	NP	24.43	26.23	32.30
Plastic limit , %	NP	23.67	16.83	15.26
Plastic Index , %	NP	0.76	9.40	17.04
การจำแนกประเภทดิน USCS AASHTO	 SP A-3	 SM A-2-4	 SC A-2-4	 SC A-6
Optimum Moisture Content , %	7.8	8.3	10.6	11.7
Maximum Dry Density , kg/m^3	1,908	2,120	2,031	2,032

2.3 คุณสมบัติทางกายภาพดินตัวอย่าง

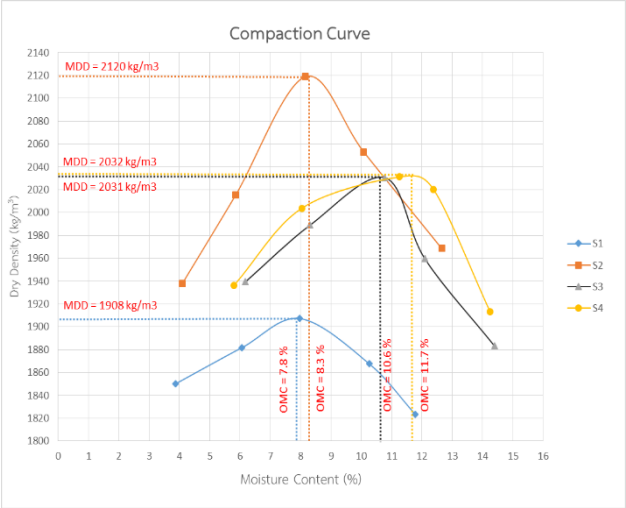
คุณสมบัติทางด้านกายภาพของดินมีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรม ซึ่งจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสัดส่วนระหว่างดินเม็ดหยาบและดินเม็ดละเอียด การทดสอบประกอบด้วย การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ, การทดสอบหาขนาดเม็ดดินโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง, การทดสอบขนาดเม็ดดินโดยใช้ Hydrometer, การทดสอบหาค่า Liquid Limit (LL) และ การทดสอบหาค่า Plastic Limit (PL) เพื่อหาการกระจายตัวขนาดเม็ดดิน และ จำแนกประเภทดิน ตามระบบของ USCS และ AASHTO ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพแสดงตามตารางที่ 1 อิทธิพลของปริมาณดินเม็ดละเอียดมีผลต่อค่า Plastic Index (PI) โดยที่ปริมาณสัดส่วนดินเม็ดละเอียดร้อยละ 20% มีค่า PI ต่ำที่สุด และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนดินเม็ดละเอียดเพิ่มมากขึ้น การจำแนกประเภทดิน ที่ปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 0 , 20, 30 และ 40 ตาม Unified Soil Classification สามารถจำแนกได้เป็น SP , SM , SC และ SC ตามลำดับ และจำแนกประเภทดินตาม AASHTO ได้เป็น A-2 , A-2-4 , A-2-4 และ A6 ตามลำดับ โดยมีลักษณะการกระจายตัวขนาดคละของเม็ดดินแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขนาดคละของขนาดเม็ดดินตัวอย่าง

2.4 คุณสมบัติการบดอัดดินตัวอย่าง

การทดสอบหาค่าการบดอัดของดินแต่ละตัวอย่างที่ไม่ผสมซีเมนต์ เพื่อหาค่า Maximum Dry Density (MDD) และ Optimum Moisture Content (OMC) โดยทำการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง (2530) การทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 แบบที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 101.6 มม. (4 นิ้ว) สูง 116.8 มม. (4.584 นิ้ว) บดอัดจำนวน 5 ชั้น ใช้จำนวนการบดอัด 25 ครั้งต่อชั้น ผลของการทดสอบการบดอัดของดินสามารถเขียนกราฟการบดอัด ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่าปริมาณดินเม็ดละเอียดที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่า OMC เพิ่มสูงขึ้น และตัวอย่างดินที่มีปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 20 ให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงที่สุดที่ปริมาณน้ำ OMC



รูปที่ 3 กราฟการบดอัดดินตัวอย่าง

ตารางที่ 2 อัตราการผสมตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ร้อยละปริมาณดินเม็ดละเอียด	ร้อยละปริมาณซีเมนต์	สัญลักษณ์ตัวอย่างตามระยะเวลาอายุบ่ม (จำนวนตัวอย่าง)		
		7 วัน	14 วัน	28 วัน
0	0	S1C0D7 (3)		
20	0	S2C0D7 (3)		
30	0	S3C0D7 (3)		
40	0	S4C0D7 (3)		
0	4	S1C4D7 (3)	S1C4D14 (3)	S1C4D28 (3)
20	4	S2C4D7 (3)	S2C4D14 (3)	S2C4D28 (3)
30	4	S3C4D7 (3)	S3C4D14 (3)	S3C4D28 (3)
40	4	S4C4D7 (3)	S4C4D14 (3)	S4C4D28 (3)
0	6	S1C6D7 (3)	S1C6D14 (3)	S1C6D28 (3)
20	6	S2C6D7 (3)	S2C6D14 (3)	S2C6D28 (3)
30	6	S3C6D7 (3)	S3C6D14 (3)	S3C6D28 (3)
40	6	S4C6D7 (3)	S4C6D14 (3)	S4C6D28 (3)
0	8	S1C8D7 (3)	S1C8D14 (3)	S1C8D28 (3)
20	8	S2C8D7 (3)	S2C8D14 (3)	S2C8D28 (3)
30	8	S3C8D7 (3)	S3C8D14 (3)	S3C8D28 (3)
40	8	S4C8D7 (3)	S4C8D14 (3)	S4C8D28 (3)

3. การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบกำลังรับแรงอัด

3.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินบดอัดนี้จะแบ่งตัวอย่างดินออกเป็น 2 ส่วนคือ ดินที่ไม่ผสมซีเมนต์ และดินที่ผสมซีเมนต์ ซึ่งมีรายละเอียดอัตราการผสมแสดงดังตารางที่ 2 ทำการผสมตัวอย่างโดยใช้ปริมาณน้ำ Optimum Moisture Content (OMC) ที่ได้จากการทดสอบในข้อ 2.4 ทำการบดอัดในแบบหล่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มม. (4 นิ้ว) สูง 116.8 มม. (4.584 นิ้ว) ใช้ค้อนหนัก 10 ปอนด์ ระยะยก 1.5 ฟุต แบ่ง

จำนวนชั้นเป็น 5 ชั้น กระทุ้งชั้นละ 25 ครั้ง ตัวอย่างที่นำออกจากแบบหล่อจะถูกห่อเก็บไว้ในถุงพลาสติก และนำไปบ่มในระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน

3.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

การทดสอบกำลังการรับแรงอัดแกนเดียว ทำตามมาตรฐานของกรมทางหลวงการทดลองที่ ทล.-ท. 105/2515 โดยการนำตัวอย่างที่บ่มครบอายุทดสอบมา ทำการชั่งน้ำหนัก วัดความสูงและขนาดเส้นเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง จากนั้นจึงนำตัวอย่างเข้าเครื่องกดโดยกดด้วยอัตราเร็ว 1 เปอร์เซ็นต์ของความสูง/นาที ในระหว่างการทดสอบให้บันทึกขนาดของน้ำหนักกดและความสูงที่เปลี่ยนแปลง โดยมี Proving Ring สำหรับใช้วัดแรงกระทำและมาตรวัดระยะการเคลื่อนตัว (Dial Gauges) ขนาดอ่านละเอียด 0.01 มม. สำหรับวัดการยุบตัวของตัวอย่างดิน นำค่าที่ได้จากการทดสอบมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกดกับความเครียดในแนวดิ่งเพื่อหาค่า Unconfined Compressive Strength (UCS)

4. ผลการทดสอบ วิเคราะห์ วิจารณ์

4.1 อิทธิพลของปริมาณดินเม็ดละเอียด และปริมาณซีเมนต์ ต่อกำลังอัดแกนเดียว

ผลการทดสอบการรับแรงอัดแบบแกนเดียวได้แสดงให้เห็นในตารางที่ 4 เมื่อนำผลการทดสอบ มาทำกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดดินละเอียดและค่ากำลังแรงอัดแบบแกนเดียว ที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 0, 4, 6 และ 8 แสดงดังรูปที่ 4, 5 และ 6

ตารางที่ 4 ค่ากำลังอัดแกนเดียว

ดินตัวอย่าง	ค่ากำลังอัดแกนเดียว (ksc.)		
	D7	D14	D28
S1C0	0	-	-
S2C0	5	-	-
S3C0	4	-	-
S4C0	4	-	-
S1C4	23	25	29
S2C4	32	33	52
S3C4	25	25	32
S4C4	24	24	34
S1C6	53	67	74
S2C6	42	48	68
S3C6	37	38	51
S4C6	35	36	53
S1C8	96	113	128
S2C8	53	56	83
S3C8	45	45	59
S4C8	46	45	63

4.1.1 อิทธิพลของปริมาณดินเม็ดละเอียด

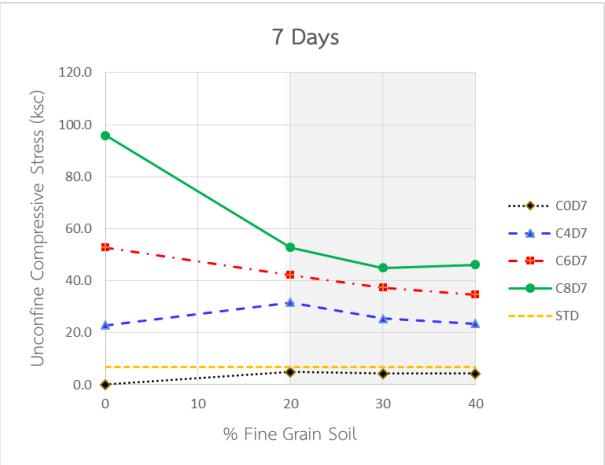
ตัวอย่างที่ไม่ผสมซีเมนต์ พบว่า ที่ปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 0 ไม่สามารถทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดได้เนื่องจากดินตัวอย่างไม่สามารถก่อตัวได้ ที่ปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 20, 30, และ 40 มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 6.9 ksc. ที่ปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 20 ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด สอดคล้องกับผลค่าความหนาแน่นจากการทดสอบการบดอัด

สำหรับดินตัวอย่างที่ผสมซีเมนต์นั้น อิทธิพลของปริมาณดินเม็ดละเอียดที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดจะขึ้นอยู่กับปริมาณซีเมนต์ด้วยซึ่งมีลักษณะแนวโน้มที่เหมือนกัน ทุกอายุการบ่ม จากรูปที่ 4, 5 และ 6 จะเห็นได้ว่า ที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 4 ปริมาณดินเม็ดละเอียดที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มสูงขึ้น จนถึงที่ปริมาณสัดส่วนดินเม็ดละเอียดร้อยละ 20 จะมีค่ากำลังอัดสูงสุด จากนั้นจะค่ากำลังอัดจะลดลง

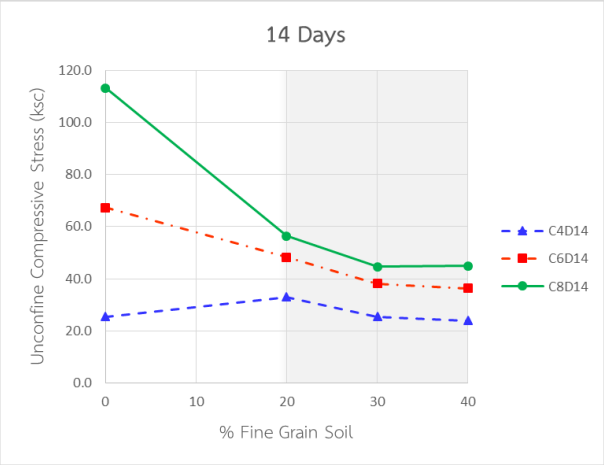
ตัวอย่างที่ผสมซีเมนต์ปริมาณร้อยละ 6 และ 8 นั้นพบว่าเมื่อปริมาณดินเม็ดละเอียดเพิ่มขึ้น จะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงอย่างเห็นได้ชัด จนถึงปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 30

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่า ในช่วงปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 0 – 20 ปริมาณดินเม็ดละเอียดที่เพิ่มขึ้นนั้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังอัด ที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 4 แต่ค่ากำลังอัดจะลดลงเมื่อมีปริมาณซีเมนต์สูงขึ้น

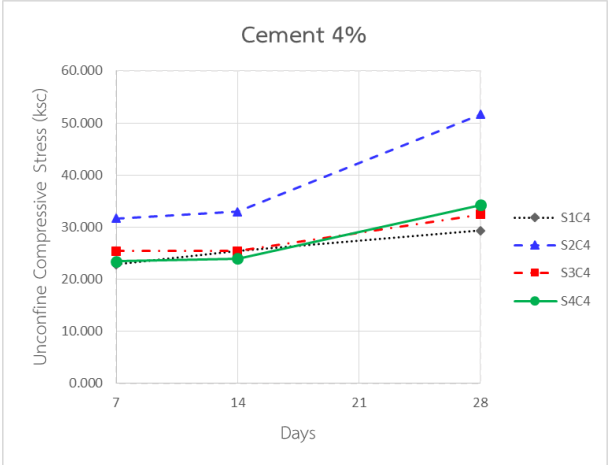
เมื่อพิจารณาจากปริมาณดินเม็ดละเอียดที่มากกว่าร้อยละ 20 ขึ้นไป ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ต่ำกว่ามาตรฐานวัสดุดินลูกรังชั้นรองพื้นทาง [2] และ เป็นช่วงปริมาณที่สามารถนำไปปรับปรุงด้วยซีเมนต์ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มการเปลี่ยนที่เหมือนกันทุกปริมาณซีเมนต์ และ ทุกอายุบ่ม โดยมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณดินเม็ดละเอียดมากกว่าร้อยละ 20 จนถึง ร้อยละ 30 จากนั้นค่ากำลังจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในช่วงปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 30 – 40



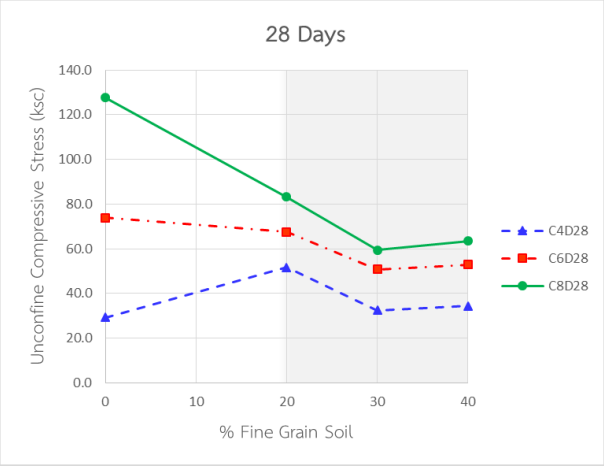
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินเม็ดละเอียดต่อค่ากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่าง ที่อายุบ่ม 7 วัน



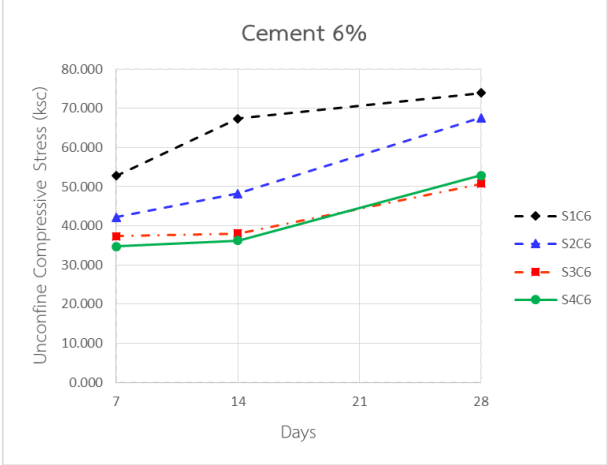
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินเม็ดละเอียดต่อค่ากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่าง ที่อายุบ่ม 14 วัน



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการบ่มและค่ากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างที่ผสมปริมาณซีเมนต์ ร้อยละ 4



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณดินเม็ดละเอียดต่อค่ากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่าง ที่อายุบ่ม 28 วัน



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการบ่มและค่ากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างที่ผสมปริมาณซีเมนต์ ร้อยละ 6

4.1.2 อิทธิพลของปริมาณซีเมนต์

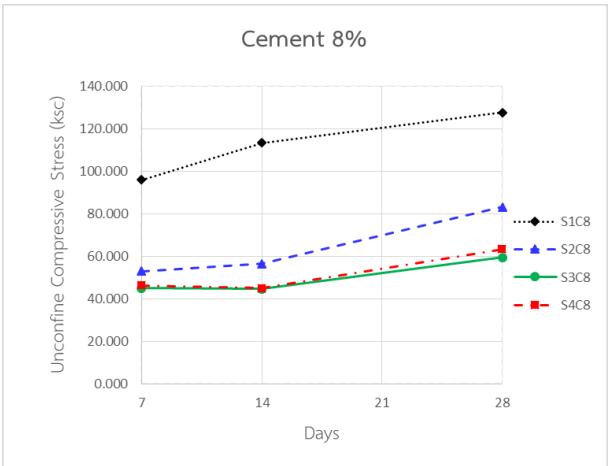
ตัวอย่างที่ผสมปริมาณซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 4 ขึ้นไปนั้นมีคุณสมบัติผ่านมาตรฐานดินซีเมนต์สำหรับวัสดุชั้นรองพื้นฐานของกรมทางหลวง

ปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มสูงขึ้น จะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นที่สัดส่วนดินเม็ดละเอียดเท่ากัน โดยเฉพาะตัวอย่างที่มีปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 0 จะมีการเพิ่มของค่ากำลังที่สูงเมื่อเปรียบกับค่ากำลังก่อนทำการปรับปรุงด้วยซีเมนต์

4.2 การพัฒนากำลังรับแรงอัด

จากรูปที่ 7 , 8 และ 9 จะเห็นได้ว่าเมื่ออายุบ่มเพิ่มขึ้น จะทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น

ดินตัวอย่างปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 0 เมื่อผสมปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 4 จะมีการพัฒนากำลังเล็กน้อยแบบต่อเนื่อง แต่เมื่อมีปริมาณซีเมนต์สูงขึ้นที่ร้อยละ 6 และ 8 นั้น การพัฒนากำลังจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 7-14 วัน



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างอายุการบ่มและค่ากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างที่ผสมปริมาณซีเมนต์ ร้อยละ 8

ดินตัวอย่างปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 20 มีแนวโน้มการพัฒนากำลังในลักษณะเหมือนกันที่ปริมาณซีเมนต์ต่าง ๆ คือในช่วงอายุบ่ม 7 – 14 วัน การพัฒนากำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และหลังจากอายุบ่ม 14 วัน การพัฒนากำลังรับแรงอัดจะเพิ่มสูงขึ้น

ดินตัวอย่างปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 30 และ ร้อยละ 40 มีแนวโน้มการพัฒนากำลังในลักษณะเหมือนกันคือในช่วงอายุบ่ม 7 – 14 วัน กำลังจะคงที่ และหลังจากอายุบ่ม 14 วัน กำลังรับแรงอัดจะเริ่มการพัฒนาเพิ่มสูงขึ้น

5. สรุปผลการศึกษา

จากการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของดินลูกรังที่มีสัดส่วนของดินเม็ดละเอียดในปริมาณร้อยละ 0, 20, 30 และ 40 ของน้ำหนักดินแห้ง ผสมกับซีเมนต์ปริมาณร้อยละ 0, 4, 8 และ 12 ของน้ำหนักดินแห้งในแต่ละตัวอย่างที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ผลการศึกษามีดังนี้

- ปริมาณดินเม็ดละเอียดในช่วงร้อยละ 0 - 20 เมื่อปริมาณดินเม็ดละเอียดเพิ่มขึ้น ทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 4 แต่กำลังอัดจะลดลงสำหรับตัวอย่างที่ผสมปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 6 และ 8
- ปริมาณดินเม็ดละเอียดในช่วงร้อยละ 20 - 40 เมื่อปริมาณดินเม็ดละเอียดเพิ่มขึ้นตั้งแต่ร้อยละ 20 ขึ้นไป ทำให้กำลังรับแรงอัดลงลดทุกปริมาณซีเมนต์ที่ผสม
- ที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 4 ทำให้ดินที่มีปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 0 – 40 มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ผ่านมาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ของกรมทางหลวง โดยปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้มีค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น
- เมื่ออายุบ่มเพิ่มขึ้น ทำให้ทุกสัดส่วนดินเม็ดละเอียดมีค่ากำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณดินเม็ดละเอียดร้อยละ 20-40 มีการหน่วงการพัฒนากำลังในช่วง 7-14 วัน

นอกจากการทดสอบค่ากำลังอัดแล้ว ควรมีการทดลองหาค่า CBR เป็นข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อเป็นแนวทางการเลือกใช้ปริมาณดินเม็ดละเอียดต่อปริมาณซีเมนต์สำหรับดินซีเมนต์ชั้นรองพื้นทางได้อย่างเหมาะสม และการศึกษาการวิเคราะห์เชิงลึกของดินตัวอย่าง เช่นตรวจสอบองค์ประกอบของแร่ธาตุด้วยวิธี X-Ray fluorescence (XRF), การตรวจโครงผลึกด้วยวิธี X-Ray Diffraction (XRD) และ การตรวจการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาค ด้วยวิธีกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope – SEM) เพื่อเป็นองค์ความรู้เชิงลึก ทำให้ทราบถึงประเภทและปริมาณของสารประกอบที่มีอยู่ในตัวอย่าง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง ซึ่งส่งผลต่อการพัฒนากำลังอัดของดินซีเมนต์ตามช่วงอายุการบ่มต่างๆ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้การสนับสนุนวัสดุและอุปกรณ์สำหรับงานทดสอบ รวมทั้ง คุณจักรพันธ์ ตรีจรูญ , คุณธนพล วงค์กำไร และ คุณนครินทร์ นาคอ้าย ที่ช่วยเหลือการเก็บรวบรวมข้อมูล และ งานทดสอบในห้องปฏิบัติการ ทำให้งานทดสอบดังกล่าวสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] จุฑา สุนิตย์สกุล ศุภกร วชิราภรณ์ และธันวิน สวัสดิศานต์ (2549). *คุณสมบัติของดินซีเมนต์*. รายงานฉบับที่ วพ. 229 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. กทม.

[2] ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และอนันต์ ทวีวรรณสดใส (2543). *คุณสมบัติความเค้นความเครียดของวัสดุปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ภายใต้การทดสอบกำลังรับแรงอัดแนวดิ่ง*. รายงานฉบับที่ วพ. 179 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. กทม.

[3] กรมทางหลวง (2532). *มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม, ทล.-ท. 205/2532*. กองวิเคราะห์และวิจัย.

[4] กรมทางหลวง (2532). *มาตรฐานรองพื้นดินซีเมนต์, ทล.-ท. 205/2532*. กองวิเคราะห์และวิจัย.

[5] Davidson, D.T., Piter, G.L., Mateos, M. and George, K.P., (1962). Moisture-Density, Moisture-Strength and Compaction Characteristics of Cement Treated Soil Mixtures. *Highway Research Board*, 353, pp. 42-63.

[6] Robbins, E.G. and Mueller, P.E., (1960). Development of a Test for a Test for Identifying Poorly Reaction Sandy Soils Encountered in Soil-Cement Construction. *Highway Research Board*, 267, pp. 46-50.

[7] Portland Cement Association-PCA, (1959). *Soil-Cement Laboratory Handbook*. Skokie, Portland Cement Association, pp. 0-242