การปรับปรุงวัสดุหินผุในจังหวัดอุตรดิตถ์เพื่อใช้เป็นวัสดุในงานชั้นพื้นทาง

Modification of Weathered Rock in Uttaradit Province for Use as Base Course Materials

ดุลยพล ชัยมงคล[1], เกษม ชูจารุกูล[2] และ จิรโรจน์ ศุกลรัตน์[3]

[1]นิสิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, E-mail: nong_ku19@hotmail.com

[2]ผศ.ดร., จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, E-mail: fcekcc@eng.chula.ac.th

[3]ดร., กรมทางหลวง, E-mail: sjiraroth@hotmail.com

บทคัดย่อ – ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าวัสดุที่จะนำมาก่อสร้างงานทางนั้นจำเป็นต้องใช้วัสดุที่ได้ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ในประเทศไทยวัสดุดังกล่าวนั้นเป็นวัสดุที่ค่อนข้างขาดแคลนในภาคเหนือทำให้ผู้ประกอบการต้องขนส่งวัสดุมาจากพื้นที่อื่น ก่อให้เกิดต้นทุนเพิ่มในการก่อสร้าง ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการนำวัสดุหินผุในจังหวัดอุตรดิตถ์มาใช้เป็นชั้นพื้นทาง โดยได้นำหินผุในจังหวัดอุตรดิตถ์มาทำการทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นคือ หาขนาดคละของวัสดุ หาค่า Atterberg Limit ค่า California Baring Ratio (CBR) และ Unconfined Compressive Strength (UCS) เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพวัสดุ จากนั้นจึงนำวัสดุหินผุที่ปรับปรุงแล้วมาทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมซึ่งประกอบด้วย ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และ ค่าความคงทน แสดงให้เห็นว่าวัสดุหินผุปรับปรุงในจังหวัดอุตรดิตถ์ มีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานที่ต้องการ

Abstract – It is widely known that construction materials for highway construction should meet Department of Highways standards. In Thailand, those materials are scarce in the Northern part; therefore, construction companies typically need to transport materials from other areas, resulting in a higher construction cost. This research aims to study the possibility of bringing weathered rock material in Uttaradit Province as base course. Such materials are subjected to preliminary tests for desired properties in terms of gradation, Atterberg Limit, California Baring Ratio (CBR), and Unconfined Compressive Strength (UCS). The stabilized materials are further tested for Resilient Modulus, and Durability Results show that stabilized materials in Uttaradit Province can satisfy the required standards.

Keywords – Soil Stabilization, Weathering Rock, Base Course, Cement Stabilization

1. บทนำ

ในการก่อสร้างงานทางนั้นจำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีมาตรฐานและคุณสมบัติ ตรงตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ปัจจุบันพบว่า วัสดุก่อสร้างทางสำหรับชั้นพื้นทางในเขตภาคเหนือเริ่มขาดแคลน ดังนั้นจึง ควรมีการทดสอบหาวัสดุทดแทน โดยงานวิจัยนี้ จะทำการเก็บตัวอย่างวัสดุท้องถิ่นในเขตพื้นที่จังหวัดอุตรดิตถ์ มาทดสอบหาความเป็นไปได้เพื่อใช้ทดแทนวัสดุชั้นพื้นทางที่ขาดแคลน โดยจะต้องมีการกำหนดคุณสมบัติเพื่อทดสอบวัสดุดังกล่าวเช่น คุณสมบัติการรับน้ำหนัก ความคงทน การบวมน้ำ เป็นต้น

ผลการวิจัยนี้จะทำให้สามารถนำวัสดุท้องถิ่นในจังหวัดอุตรดิตถ์มาเป็นวัสดุในการก่อสร้างชั้นพื้นทางได้และยังสามารถช่วยลดต้นทุนในการขนส่งและสะดวกในการใช้สอยได้มากยิ่งขึ้น

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มาตรฐานโครงสร้างทางของกรมทางหลวง

มาตรฐานของวัสดุโครงสร้างทางของกรมทางหลวงสรุปได้ดังตารางที่ 1

2.2 การปรับปรุงดินด้วยปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ (Cement Stabilization)

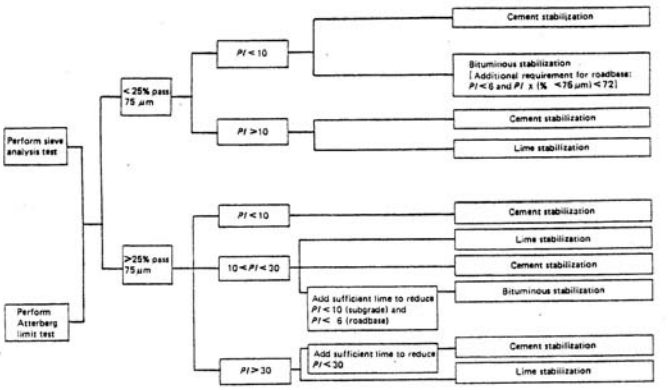
ในปัจจุบันการปรับปรุงดินโดยใช้ซีเมนต์เป็นวิธีที่สำคัญโดยปัจจัยที่ช่วยทำให้การใช้ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์เป็นที่นิยมเกือบทุกประเทศในโลก มีดังนี้

1) ซีเมนต์สามารถหาได้ง่ายในเกือบทุกประเทศ
2) ซีเมนต์มีการผลิตจำนวนมาก ทำให้ราคาถูก
3) การใช้ซีเมนต์สามารถดูแลและควบคุมได้ง่ายกว่าการปรับปรุงด้วยวิธีอื่น
4) ข้อมูลในการปรับปรุงดินด้วยซีเมนต์มีมากกว่าการปรับปรุงด้วยวิธีอื่น
5) ดินเกือบทุกประเภทสามารถปรับปรุงด้วยวิธีนี้ได้ ถ้ามีการใช้ซีเมนต์ น้ำ การบดอัด และการบ่มที่เหมาะสม

U.S. Air Force (2004) ได้มีการเสนอแนะการปรับปรุงดินด้วยวิธีต่างๆที่เหมาะสมดังรูปที่ 1 และได้แนะนำว่าค่าแนะนำสำหรับวัสดุที่จะทำการปรับปรุงด้วยซีเมนต์ ควรมีค่า PI < 30 เปอร์เซ็นต์ สำหรับดินทราย และ PI < 20 เปอร์เซ็นต์ และ LL < 40 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ

ตารางที่ 1 สรุปมาตรฐานโครงสร้างทางของกรมทางหลวง

ชั้นทาง	Swelling	ρ_d (kg/m^3)	Grain Size
ดินถมคันทาง	<4%	> 1,440	เล็กกว่า 50 มม.
ทรายถมคันทาง	-	-	เล็กกว่า 9.5 มม. และมีส่วนเล็กกว่า #200 < 25%
รองพื้นทาง วัสดุมวลรวม	-	-	ตารางที่ 2.1
พื้นทางหินคลุก	-	-	ตารางที่ 2.2



รูปที่ 1 แนวทางการเลือกวิธีปรับปรุงดินตามหลักเกณฑ์ U.S. Air Force (U.S. Air Force, 2004)

ดินเม็ดละเอียด นอกจากนี้ค่า PI ของดินที่ทำการปรับปรุงด้วยซีเมนต์จะต้องมีค่าไม่เกินค่าที่แนะนำในสมการที่ 1

$$PI \leq 20 + (50 - \%\text{material passing \#200})/4 \quad (1)$$

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Teeracharti and Somwang (1978) ได้ทำการสำรวจและทดสอบหินผุที่เกิดจากหินแกรนิต หรือที่เรียกว่า ดินแกรนิต (Granitic soil) ซึ่งดินชนิดนี้พบมากในภาคเหนือ และแถบคาบสมุทรทางภาคใต้ และเป็นดินที่มีขนาดคละที่ดีซึ่งส่วนมากจัดอยู่ในดินประเภท A – 1 หรือ A – 2 มีความเป็นพลาสติกต่ำ ผู้ทำการวิจัยได้แนะนำไว้ว่าดินชนิดดังกล่าวเหมาะสมอย่างมากในการนำมาสร้างชั้นดินถมคันทาง และใช้ได้ดีในการนำมาสร้างชั้นรองพื้นทาง และชั้นพื้นทางในถนนที่มีการจราจรต่ำ

Boonjune Nithi – Uthai (1969) ได้ศึกษาการปรับปรุงดินเหนียวด้วยซีเมนต์ โดยนำดินจากกรุงเทพฯ และดินเหนียวจากภาคตะวันออก (จังหวัดจันทบุรี) โดยดินเหนียวจากกรุงเทพฯ ใช้ส่วนผสมของซีเมนต์ 5 และ 10 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินเหนียวจากจันทบุรี ใช้สัดส่วน 5 และ 8 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบสรุปได้ว่าปริมาณซีเมนต์ 8 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสมในการปรับปรุงดินเหนียวจากจันทบุรีเพื่อใช้เป็นโครงสร้างชั้นพื้นทาง แต่ดินเหนียวจากกรุงเทพฯ ไม่พบปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมในการใช้เป็นโครงสร้างชั้นพื้นทาง

Kanchit Tongmark (1966) ได้ศึกษาแนวทางในการปรับปรุงดินลูกรังด้วยซีเมนต์ โดยนำดินลูกรังมาจากจังหวัดสระบุรี มาผสมซีเมนต์ในสัดส่วนต่างๆ กันจาก 6, 9 และ 12 เปอร์เซ็นต์ และบดอัด

โดยวิธี Modified Proctor จากผลการสำรวจพบว่าการผสมซีเมนต์ตั้งแต่ 6 เปอร์เซ็นต์ ที่ความหนาแน่นแห้ง 95 เปอร์เซ็นต์ จะผ่านเกณฑ์กำหนดของกรมทางหลวงคือจะได้ค่ากำลังอัด มากกว่า 250 ปอนด์/ตารางนิ้ว และสามารถใช้เป็นวัสดุพื้นทางได้

Teeracharti (1980) นำดินแกรนิตมาผสมกับซีเมนต์ที่ปริมาณซีเมนต์ 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักได้ค่า CBR มากกว่า 100 ค่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุดินแกรนิตที่นำมาวิจัยนั้นใช้ปริมาณซีเมนต์แค่ 3 – 4 เปอร์เซ็นต์ก็สามารถผ่านตามมาตรฐานดินซีเมนต์ของกรมทางหลวง และค่าโมดูลัส มีค่ามากกว่า 200 kN/m2 ตั้งแต่ที่เปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ 3 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ซึ่งจากค่าความแข็งแรงที่ได้กล่าวมาสรุปได้ว่า ปัจจัยสำคัญที่สุดในการเพิ่มความแข็งแรงได้แก่ ปริมาณซีเมนต์ และ ปริมาณของวัสดุที่ผ่านตระแกรง #100, #200 และ 3/8” และค่า CBR กับโมดูลัสมีความสัมพันธ์กัน

3. วิธีการดำเนินงานและวิธีการทดสอบ

3.1 วิธีการดำเนินงาน

1) ศึกษาค้นคว้าข้อมูล ทฤษฎี และผลการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ และวิธีการปรับปรุงคุณภาพวัสดุ เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุโครงสร้างทาง
2) ทำการเก็บตัวอย่างวัสดุในจังหวัดอุตรดิตถ์ โดยในโครงการนี้จะใช้วัสดุหินผุ โดยทำการเก็บตัวอย่างจากแหล่งที่แตกต่างกันจำนวน 3 แหล่ง
3) ทดสอบหา คุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินผุ
4) ปรับปรุงคุณภาพหินผุโดย ทำการจัดเตรียมตัวอย่าง และนำมาทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมของวัสดุที่ปรับปรุง
5) สรุปผลและความเหมาะสมในการนำวัสดุท้องถิ่นที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพไปใช้ในการก่อสร้าง

3.2 วิธีการทดสอบ

การทดสอบจะแบ่งเป็นสองช่วงคือ

การทดสอบก่อนการปรับปรุงจะใช้การทดสอบตามมาตรฐานกรมทางหลวงแบ่งเป็น 5 การทดสอบดังนี้

1) การทดสอบหาขนาดของเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง (Sieve Analysis)
2) การทดสอบหาค่า Liquid Limit (LL)
3) การทดสอบหาค่า Plastic Limit (PL)
4) การทดสอบ Compaction test แบบสูงกว่ามาตรฐาน
5) การทดสอบหาค่า California Baring Ratio (CBR) แบบแช่น้ำ (Soaked)

การทดสอบหลังการปรับปรุงมีสองการทดสอบดังนี้

1) การทดสอบ Unconfined Compressive Strength (UCS)
2) การทดสอบ Durability โดยวิธี Wet and Dry
3) การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุที่ไม่เกาะตัว

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบก่อนการปรับปรุง

การทดสอบก่อนการปรับปรุงสรุปได้ว่าวัสดุหินผุทั้งสามแหล่งไม่สามารถนำมาสร้างเป็นชั้นพื้นทางได้เนื่องจากค่าที่ได้จากการทดสอบเป็นดังนี้

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบของวัสดุหินผุ

	แหล่งที่ 1	แหล่งที่ 2	แหล่งที่ 3
LL	34.5	30.2	31.3
PI	13.5	8.4	9.3
CBR	13.4	36.7	34.0

4.2 ผลการทดสอบหลังการปรับปรุง

ผลการทดสอบหลังการปรับปรุงโดยการผสมซีเมนต์ที่ 2 4 6 8 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 3

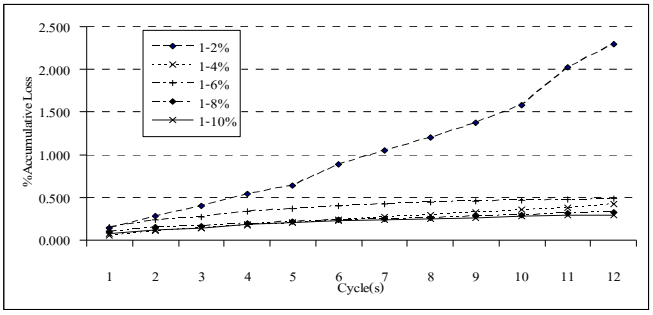
ตารางที่ 3 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง UCS กับ %Cement ของแหล่งต่างๆ

%Cement	UCS (ksc)		
	แหล่งที่ 1	แหล่งที่ 2	แหล่งที่ 3
0	3.18	2.36	3.17
2	7.23	8.29	6.59
4	12.78	25.56	10.75
6	16.09	29.06	13.58
8	21.65	46.51	16.77
10	22.90	-	20.50

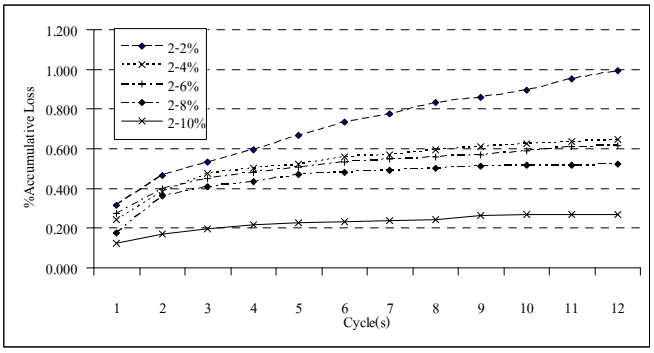
จากผลการทดสอบดังกล่าวทำให้ทราบเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงโดยเทียบจากมาตรฐานดินซีเมนต์ที่ค่า UCS 17.5 ksc จึงได้ปริมาณซีเมนต์ 6.6 2.7 และ 8.2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งจากค่าดังกล่าวได้นำมาผสมและทดสอบ Resilient Modulus และ ความคงทนได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4 และรูปที่ 2 3 และ 4

ตารางที่ 4 ค่าโมดูลัสการคืนตัวของวัสดุหินผุ

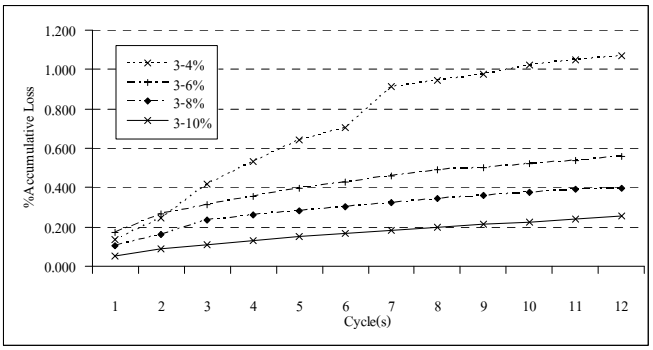
	วัสดุปรับปรุง			
แหล่งที่	Range (MPa)	Average (MPa)	R2	SD
1	251 - 307	290	86	18.6
2	209 - 290	249	86	22.9
3	234 – 288	262	93	18.5



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Accumulative Loss กับจำนวนครั้งของวัสดุแหล่งที่ 1



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Accumulative Loss กับจำนวนครั้งของวัสดุแหล่งที่ 2



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า % Accumulative Loss กับจำนวนครั้งของวัสดุแหล่งที่ 3

5. การวิเคราะห์ผล

5.1 ผลการวิเคราะห์ขนาดของเม็ดวัสดุกับค่า Unconfined Compressive Strength

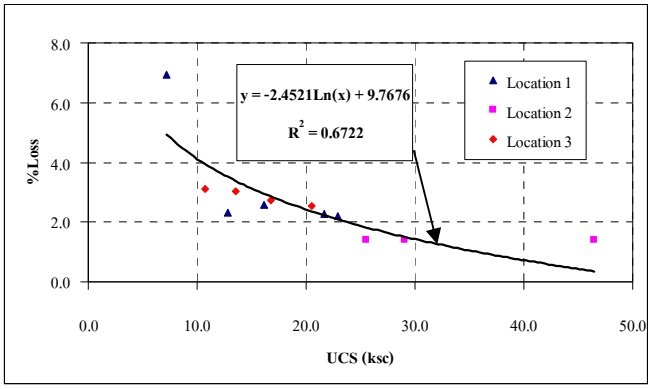
เมื่อพิจารณาขนาดคละของวัสดุทั้งสามแหล่งนั้นสามารถบอกได้ว่า วัสดุแต่ละแหล่งนั้นมีขนาดคละที่ต่างกันคือ ขนาดคละของแหล่งที่สองเป็นขนาดคละที่ดีที่สุดเนื่องจากสามารถจัดอยู่ในมาตรฐานขนาดคละของวัสดุชั้นรองพื้นทางแบบ B ได้ ส่วนแหล่งที่หนึ่งและสามเป็นขนาดคละที่รองลงมาตามลำดับและเมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ที่ผสม กับค่า UCS ของวัสดุที่มาจากแหล่งที่ต่างกันนั้น ไม่สามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์กันได้ เนื่องจากวัสดุที่นำมาวิจัยทั้งสามแหล่งมีขนาดคละที่แตกต่างกัน ดังนั้นค่า UCS ในวัสดุผสมซีเมนต์อาจจะขึ้นอยู่กับขนาดคละที่ดี ทั้งนี้เพราะการที่วัสดุมีความแข็งแกร่งเพิ่มขึ้น จะมีสาเหตุมาจากมีการเกาะตัวกันได้ดีของวัสดุกับวัสดุเชื่อมประสานนั้นคือซีเมนต์ ดังจะสังเกตได้ตามตารางที่ 5 วัสดุแหล่งที่สองมีค่า UCS สูงขึ้นอย่างมากเมื่อผสมกับซีเมนต์เนื่องจากมีขนาดคละที่ดี ในทางกลับกัน วัสดุแหล่งที่ 1 และ 3 นั้นมีขนาดคละที่ดีรองลงมาจึงมีค่า UCS ไม่สูงมากนั้นในปริมาณซีเมนต์เท่ากัน เนื่องจากวัสดุดังกล่าวมีปริมาณของวัสดุมวลละเอียด (ฝุ่นหรือผง) เป็นจำนวนมากจึงทำให้การยึดเกาะและความแข็งแรงต่ำกว่าแหล่งที่ 2

5.2 ผลการวิเคราะห์การเปรียบเทียบระหว่าง UCS กับ Durability

นำเอา ค่า UCS และ %Loss มาหาความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 5 ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วพบว่า วัสดุทั้งสามแหล่งนั้น สามารถอธิบายความสัมพันธ์โดยรวมได้ กล่าวคือ เมื่อมีค่า UCS เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่า UCS กับ แหล่งวัสดุ

%Cement	UCS (ksc) ของแหล่งที่		
	1	2	3
2	7.227	8.287	6.594
4	12.775	25.555	10.747
6	16.095	29.059	13.579
8	21.651	46.505	16.768
10	22.897	-	20.497



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง %Loss กับ UCS ของวัสดุปรับปรุง

ความสึกหรอ มีค่าลดต่ำลง ซึ่งจากรูปที่ 5 ยังสังเกตได้อีกว่าที่ค่า UCS ต่ำนั้นยังคงมีค่า %Loss ที่ต่ำกว่ามาตรฐานตาม ซึ่งทำให้ทราบว่าวัสดุปรับปรุงที่มีค่า UCS ต่ำนั้นยังไม่ได้หมายความว่าจะมีความสึกหรอสูงกว่ามาตรฐาน จึงเป็นแนวโน้มในอนาคตที่จะสามารถลดค่า UCS มาตรฐาน (17.5 ksc) ลงได้ถ้าพิจารณาจากค่าความสึกหรอ เพื่อลดปริมาณซีเมนต์ที่ผสมลงได้และแก้ปัญหาการ Crack ที่เกิดจากการผสมซีเมนต์ในปริมาณมากได้อีกด้วย

5.3 ผลการวิเคราะห์ค่า Resilient Modulus (MR)

จากค่า M_R ที่ได้จากวัสดุทั้งสามแหล่งเมื่อผสมปริมาณซีเมนต์ในปริมาณที่เหมาะสมแล้วจะได้ค่า M_R ที่ใกล้เคียงกันตามตารางที่ 4 และเมื่อเทียบกับมาตรฐานค่า MR ของพื้นทางหินคลุกตามตารางที่ 6 จะอยู่ในช่วงค่า M_R ของชั้นพื้นทาง ซึ่งค่าของวัสดุปรับปรุงทั้งสามแหล่งนั้นอยู่ในช่วงของวัสดุโครงสร้างทางที่ได้จากวัสดุที่ตรงตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

จึงสรุปได้ว่า วัสดุที่ถูกปรับปรุงด้วยซีเมนต์นั้นมีค่า Resilient Modulus ใกล้เคียงกับชั้นพื้นทาง ดังนั้นในการวิเคราะห์และออกแบบวิธี Analytical ที่ใช้ค่าโมดูลัสเป็นพารามิเตอร์นั้น วัสดุที่ปรับปรุงจะมีคุณสมบัติการยุบตัวใกล้เคียงกันกับวัสดุชั้นพื้นทาง จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้วัสดุปรับปรุงนี้ทดแทนวัสดุชั้นพื้นทางที่ขาดแคลน

ตารางที่ 6 ค่าโมดูลัสของวัสดุชั้นทาง (ธันวิน สวัสดิศานต์และคณะ, 2551)

วัสดุ	โมดูลัส (MPa)
พื้นทาง	170 – 230
รองพื้นทาง	99 – 191
ดินเดิม	50 – 105

6. สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยการปรับปรุงคุณภาพวัสดุหินผุทั้งสามแหล่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1) วัสดุทั้งสามแหล่งมีลักษณะโดยรวมใกล้เคียงกันโดยวัสดุแหล่งที่สองจะมี คุณภาพดีกว่าแหล่งที่หนึ่งและแหล่งที่สามเนื่องจากมีขนาดคละของวัสดุที่ต่างกันในส่วนของวัสดุมวลละเอียด
2) วัสดุปรับปรุงทั้งสามแหล่งสามารถนำมาใช้จริงได้โดยการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ที่ 6.1, 2.7 และ 8.2 เปอร์เซ็นต์ซีเมนต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ
3) เมื่อทำการปรับปรุงคุณภาพแล้วจะได้วัสดุที่มีค่า UCS เท่ากับ 17.5 ksc จะทำให้ค่า โมดูลัสการคืนตัว มีค่าใกล้เคียงกันโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 209 – 308 MPa และค่าโมดูลัสการคืนตัวดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับค่าของหินคลุก
4) ค่าความสึกหรอของวัสดุทั้งสาม โดยการทดสอบ Wet and Dry มีค่าที่ต่ำกว่าค่าที่กำหนด คืออยู่ที่ 1.0 ถึง 2.5 เปอร์เซ็นต์ และพบความสัมพันธ์ระหว่าง %Loss กับ UCS ของวัสดุปรับปรุง ซึ่งเมื่อค่า UCS มากขึ้นจะส่งผลให้ %Loss มีค่าลดลง และมีแนวโน้มที่จะลดค่า UCS ที่เป็นมาตรฐานของดินผสมซีเมนต์ได้ถ้าพิจารณาจากค่าความคงทนประกอบกันไปด้วย
5) เนื่องจากวัสดุแหล่งที่ 1 และ 3 ใช้ปริมาณซีเมนต์ในการผสมค่อนข้างสูงจึงอาจจะก่อให้เกิดปัญหาการแตกร้าวของพื้นทางเนื่องจากการหดตัวของซีเมนต์ ซึ่งในทางปฏิบัติจำเป็นต้องมีการทดสอบก่อนจะนำไปใช้งานจริง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ดิเรก ลาวัณย์ศิริ. การนำวัสดุท้องถิ่นมาใช้ในงานก่อสร้างถนน. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540

[2] ธันวิน สวัสดิสานต์, เศกชัย อนุเวชศิริเกียรติ, อภิสิทธิ์ กล่ำเหมี่ง. การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุโครงสร้างทางชนิดวัสดุมวลรวมที่ไม่เกาะตัว : รายงานฉบับที่ วพ. 260 กรุงเทพมหานคร: สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง, 2551

[3] Teeracharti Ruenkrairergsa and Somwang Changsuwarn. Some Sources and Basic Properties of Granitic Soil in Thailand. The International Conference on Materials of Construction for Developing Countries, Bangkok, 1978

[4] Boonjune Nithi-Uthai. Stabilization of Tropical clays with cement and secondary additive. Thesis of Asian Institute of Technology, 1969

[5] Kanchit Tongmark. Strength and Modulus of Elasticity of Lateric soil-cement. Thesis of Asian Institute of Technology, 1966

[6] Teeracharti Ruenkrairergsa. Strength Parameters of Cement Stabilized Granitic Soil by Soil Classification. The 6th Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Taiwan, 1980

[7] U. S. Air Force. Soil Stabilization for Pavements. United States, 2004

8. เกี่ยวกับผู้เขียน

ดุลยพล ชัยมงคล

นิสิตปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย