

บันทึกวิชาการฉบับที่ 13

การเสริมเสถียรภาพดินด้วยซีเมนต์ (Soil - Cement Stabilization)

บันทึกวิชาการฉบับที่ 13
การเสริมเสถียรภาพดินด้วยซีเมนต์
(Soil - Cement Stabilization)

สารบัญ

	หน้า
1. คำนำ	1
2. การเสริมเสถียรภาพดินด้วยซีเมนต์	1
3. การนำมาประยุกต์ใช้	2
4. องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของดิน - ซีเมนต์	2
5. วิธีการก่อสร้าง	10
6. การทดสอบในห้องทดลอง	10
7. การทดสอบควบคุมในสนาม	20
8. สรุป	21
รูปที่ 1 : ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและกำลังรับแรงอัด ตัวอย่างทดสอบลูกบาศก์ 4 นิ้ว	8
รูปที่ 2 : ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอายุสำหรับดิน - ซีเมนต์ โดยใช้ดินเหนียวปนทราย ทั้งนี้ปริมาณซีเมนต์ที่แตกต่างกันไปที่ Optimum Moisture Content และความหนาแน่นแห้งสูงสุด	9
รูปที่ 3 : การเปรียบเทียบผลของการทดสอบในสนาม และในห้องทดลอง กับทรายสะอาดผสมซีเมนต์ในสัดส่วนต่าง ๆ กัน	13
รูปที่ 4 : ผลทดสอบการบดอัดกับดินเหนียวปนทรายโดยมีปริมาณซีเมนต์แตกต่างกันไป	
ตารางที่ 1 : กำลังแรงอัดของดิน, คอนกรีต และวัสดุดิน - ซีเมนต์ (ใช้ซีเมนต์ผสมประมาณ 10%)	3
ตารางที่ 2 : กำลังแรงอัดของส่วนผสมดิน - ซีเมนต์แสดงกำลังที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์	5
ตารางที่ 3 : กลุ่มดิน - ซีเมนต์	19

การเสริมเสถียรภาพดินด้วยซีเมนต์ (Soil - Cement Stabilization)

1. คำนำ

ปัจจุบันมีการก่อสร้างถนนเป็นจำนวนมาก โดยหน่วยงานของทางราชการหลายหน่วยงานด้วยกัน ปรับปรุงถนนที่มีผิวเป็นกรวด เป็นลูกรังหรือเป็นหินผุ ให้เป็นผิวลาดยาง การปรับปรุงดังกล่าวได้เกิดผล กระทบอย่างมากกล่าวคือ การก่อสร้างจะต้องมีชั้นพื้นทาง (Base) ส่วนใหญ่เป็นหินย่อย (Crushed Rock) ใช้ กรวดย่อยเป็นส่วนน้อย ซึ่งต้องขนมาจากแหล่งโม่หินที่อยู่ไกลออกไป การขนส่งดังกล่าว ส่วนใหญ่จะ บรรทุกมา “เต็มพิกัด” เท่าที่กะบะท้ายรถจะอำนวยให้ รวมทั้งเส้นทางที่ต้องได้รับการ “เปิดไฟเขียว” จาก บางหน่วยงานจึงผ่านมาได้ การบรรทุก “เต็มพิกัด” ผ่านมาตามเส้นทางต่าง ๆ ก่อนถึงเส้นทางที่จะทำการ ก่อสร้าง ย่อมก่อให้เกิดความทรุดโทรมอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการบรรทุกเต็มพิกัดดังกล่าว ซึ่งมีการกล่าวในเชิง สุนุกสนานว่า “สร้างถนนเสร็จเส้นหนึ่ง ถนนพังไปอีก 2 เส้น” ดังนั้นเป็นต้น อาจกล่าวได้ว่าเป็นสมการไม่รู้จบ สร้างงานหมุนเวียนตลอดเวลา แต่โดยภาพรวมอาจจะไม่ดีนัก ด้วยต้องใช้เงินทองเป็นจำนวนมากกับการ ซ่อมสร้าง (Reconstruction) อีกประการหนึ่งก็คือ หินย่อยหรือหินคลุกจะเป็นวัสดุที่มีราคาแพง เนื่องจาก Demand มากกว่า Supply และ Supply นั้นก็มีหน่วยงานสิ่งแวดล้อมควบคุม ไม่อาจทำงานได้สะดวกเหมือน อดีต ความเข้มข้นของการควบคุมคงจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ กล่าวสรุปได้ว่าวัสดุหินย่อยหรือหินคลุกที่ใช้เป็นพื้น ทาง จะแพงขึ้นเป็นลำดับและหายากขึ้น จำเป็นที่จะต้องพัฒนารูปแบบการก่อสร้างชั้นพื้นทางใหม่ ให้ ประหยัด และไม่เป็นการทำลายทรัพยากรสินของชาติ ในขณะเดียวกัน การเสริมเสถียรภาพดินด้วยซีเมนต์เป็น หนทางหนึ่งที่น่าจะช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว

2. การเสริมเสถียรภาพดินด้วยซีเมนต์

ในการเสริมเสถียรภาพดินด้วยซีเมนต์ จะใช้ซีเมนต์ผสมด้วยปริมาณ 5 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ โดย น้ำหนัก เข้ากับดินเป็นวัสดุที่เรียกว่า ดิน - ซีเมนต์ ซึ่งแน่นอนว่ามีคุณสมบัติแข็งแรง และทนทานกว่าดินที่ ไม่ถูกปรุงแต่ง และใช้เป็นชั้นพื้นทางหรือชั้นรองพื้นทางของถนน วิธีการดังกล่าวได้ดำเนินการมาแล้วกว่า 60 ปี นอกจากนี้ ดิน - ซีเมนต์ ยังนำมาใช้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัย เช่นทำเป็นอิฐก่อกำแพง (Building Block) หรือเป็นฐานของอาคาร บ้านเรือน (Foundation for Houses)

3. การนำมาประยุกต์ใช้

การนำวัสดุดิน - ซีเมนต์ มาใช้ในการก่อสร้างถนน ขึ้นกับชนิดของดิน (Soil Type) สภาพพื้นที่ และปริมาณจราจร ตารางที่ 1 เป็นกำลังแรงอัดของวัสดุดิน - ซีเมนต์จากดินหลาย ๆ ประเภท นอกจากนี้ในตารางยังได้แสดงดินที่ยังไม่มีการปรุงแต่งและคอนกรีต รวมทั้งการประยุกต์ใช้วัสดุแต่ละชนิด กำลังแรงอัดที่แสดงเป็นเพียงการแนะนำโดยทั่วไป ไม่ใช่เป็นข้อกำหนดการก่อสร้าง

4. องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของดิน - ซีเมนต์

องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของดิน - ซีเมนต์ ได้แก่ ชนิดของดิน ปริมาณซีเมนต์ วิธีการผสม และการบดอัด ทั้งหมดนี้ชนิดของดินมีความสำคัญสูงสุด ทั้งนี้ถ้าดินไม่เหมาะสม การปรับปรุงดินด้วยซีเมนต์ให้มีความเหมาะสมได้ผลน้อยมาก

(ก) ชนิดของดิน

ในเรื่องชนิดของดินจะเกี่ยวข้องกับการกระจายของขนาดเม็ดดิน (Particle Size Distribution) และสารเคมีที่อยู่ในเนื้อดินนั้น อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่า ดินอะไรก็ตามที่ทำให้แตกได้ (Pulverize) สามารถสร้างเสถียรภาพด้วยซีเมนต์ได้ แต่อาจไม่ประหยัดในดินบางชนิด อาทิ เช่น ดินเหนียวมาก ๆ (Heavy Clay) สำหรับดินที่สามารถสร้างเสถียรภาพโดยประหยัดมีลักษณะดังนี้

การกระจายของเม็ดดิน :-

- ขนาดใหญ่ที่สุด 3 นิ้ว
- ผ่านตะแกรง 3/16 นิ้ว > 50%
- ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 > 15%
- ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 < 50%

ขีดจำกัดความเหนียว (Plasticity Test Limits) :-

- Liquid Limit < 40%
- Plasticity Index < 18%

ตารางที่ 1

กำลังแรงอัดของดิน, คอนกรีต และวัสดุดิน - ซีเมนต์ (ใช้ซีเมนต์ผสมประมาณ 10%)

วัสดุ	กำลังแรงอัด (กก/ซม ²)	การนำไปประยุกต์ใช้
<u>ดินที่ไม่มีการปรุงแต่ง</u>		
ดินเหนียว	น้อยกว่า 0.7	} ชั้นงานดิน
ดินเหนียวปนทรายบดอัดแน่น	0.7 - 2.8	
ดินเหนียวปนกรวดและทราย		
บดอัดแน่น	2.8 - 7.0	
<u>คอนกรีต</u>		
คอนกรีตหยาบ (Lean - mix Concrete)	35.0 - 140.0	พื้นทางหรือชั้นรองพื้นทาง
คอนกรีต	140.0 - 350.0	ผิวถนนคอนกรีต
<u>ดิน - ซีเมนต์ จากส่วนผสมของซีเมนต์และดินดังต่อไปนี้</u>		
ดินเหนียว, ดินอินทรีย์	น้อยกว่า 3.5	ไม่ควรนำไปใช้
ดินทรายแป้ง (Silts)	3.5 - 10.5	ชั้นรองพื้นทางบนดินฐานรากที่ไม่ดีนัก
ดินเหนียวปนทรายแป้ง		
ทรายขนาดลดหลั่นไม่ดีนัก		
ดินมีอินทรีย์สารปนเล็กน้อย		
ดินเหนียวปนทรายแป้ง	7.0 - 17.5	ชั้นรองพื้นทางบนดินฐานรากไม่ดีนัก
ดินเหนียวปนทราย		
กรวดและทรายขนาดลดหลั่นไม่ดีนัก		
ทรายปนทรายแป้ง	17.5 - 35.0	พื้นทางสำหรับถนนท้องถิ่นในสภาพอากาศปกติ ชั้นรองพื้นทางสำหรับถนนสายหลัก
ดินเหนียวปนทราย		
กรวดปนทราย		
ดินเหนียวปนทรายมีขนาดลดหลั่นที่ดี	28.0 - 105.0	พื้นทางสำหรับถนนท้องถิ่นในสภาพอากาศไม่ดีนัก พื้นทางสำหรับถนนชั้นปานกลาง ในสภาพอากาศปกติ ชั้นรองพื้นทางสำหรับถนนสายหลัก
ดินเหนียวปนทรายและกรวด		
และกรวดปนทราย		

ดินที่สามารถสร้างเสถียรภาพได้ดี จะมีส่วนดินเหนียวไม่เกินร้อยละ 30 ซึ่งต้องใช้ซีเมนต์ผสมปริมาณร้อยละ 12 ถึงร้อยละ 15 สำหรับดินเหนียวปนทรายซึ่งจะได้ทั้งกำลังและความคงทนสูงสุด ใช้ซีเมนต์ผสมปริมาณร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 8 ฝุ่นโรงโม่และหิน Shale บางอย่านำมาทำดิน - ซีเมนต์ ได้ผลดีพอสมควร ดินที่นำมาทำวัสดุดิน - ซีเมนต์ ควรมีอินทรีย์สารปนอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ทั้งนี้เนื่องจากส่วนประกอบส่วนนี้ จะทำให้ความแข็งแรงของดิน - ซีเมนต์ลดลง โดยทั่วไปจะจำกัดปริมาณอินทรีย์สารไม่เกินร้อยละ 2

นอกจากอินทรีย์สารที่อยู่ในเนื้อดินแล้ว ส่วนประกอบทางเคมีของดินก็มีส่วนสำคัญ เช่นมีปริมาณเกลือในเนื้อดิน จะมีผลคล้ายคลึงกับคอนกรีต ซึ่งส่วนผสมคือ Fine หรือ Coarse Aggregate มีเกลือปน ซึ่งจะเกิดผลในทางลบ

(ข) ปริมาณซีเมนต์

ดิน - ซีเมนต์ อาจใช้ปริมาณซีเมนต์เพียงร้อยละ 4 เท่านั้น แต่ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องใช้ปริมาณซีเมนต์มากถึงร้อยละ 20 - 25 เพื่อให้ได้ความแข็งแรงตามต้องการ แม้ว่าการใช้ปริมาณซีเมนต์เช่นนั้นจะไม่เป็นการประหยัดก็ตาม

ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้พิจารณาจาก การรับแรงอัดของตัวอย่าง ดิน - ซีเมนต์ ที่ปริมาณต่าง ๆ กัน เมื่อซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำ ความแข็งแรงของดิน - ซีเมนต์ จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์สูงขึ้น โดยทั่วไปปริมาณซีเมนต์กำหนดโดยน้ำหนักเป็นร้อยละ ตารางที่ 2 แสดงกำลังแรงอัดที่เพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มปริมาณซีเมนต์สำหรับส่วนผสมดิน - ซีเมนต์ต่าง ๆ ดินประเภทที่ 1 ซึ่งเป็นดินเหนียวปนด้วยทรายแป้ง (Silty Clay) การเพิ่มปริมาณซีเมนต์จะเพิ่มกำลังแรงอัดได้ไม่มากนัก ซึ่งแตกต่างจากดินประเภทที่ 4 ซึ่งเป็นดินปนทราย (Sandy Soils) ถ้ามีมวลรวมหยาบปน ส่วนผสมที่มีปริมาณซีเมนต์น้อย (Lean Mix) จะได้กำลังอัดค่อนข้างต่ำ แต่ถ้าปริมาณซีเมนต์สูง (Rich Mix) จะได้กำลังสูง

ตารางที่ 2

กำลังแรงอัดของส่วนผสมดิน - ซีเมนต์ แสดงกำลังที่เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์

ประเภทดิน	ปริมาณ ซีเมนต์ (%)	กำลังแรงอัด (อายุ 7 วัน) (ปอนด์/นิ้ว ²)	ความหนาแน่น แห้ง (ปอนด์/ลบ.ฟุต)	ปริมาณ ความชื้น %
1. ดินเหนียว ปนด้วยทรายแป้ง (Silty Clay)	7 10 13	350 400 450	111 111 111	16
2. ดินเหนียว ปนทราย (Sandy Clay)	7 10 13	260 380 530	117 118 118	
3. ทรายปน ดินเหนียว (Clayey Sand)	7 10 13	240 280 390	111 113 115	
4. ทรายสะอาด Clean Sand (Uniformly Graded)	7 10 13	210 410 860	111 115 118	10
5. กรวด Gravel (Poorly Graded)	7 10 13	160 360 560	124 125 127	

โดยปกติทั่วไป ดินส่วนมากเมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์จะเพิ่มกำลังแรงอัดพร้อมกับเพิ่มความคงทน (Durability) ถ้าดินไม่มีลักษณะเช่นนี้ ไม่เหมาะสมที่จะนำมาก่อสร้าง ดิน - ซีเมนต์ จากการทดสอบพบว่า ดินบางประเภทอัตราการเพิ่มกำลังแรงอัดในระยะเริ่มต้นหลังจากผสมและบดอัดเมื่อมีปริมาณซีเมนต์แตกต่างกันไปนั้น เมื่อทดสอบกำลังอัดโดยตัวอย่างแท่งลูกบาศก์จะมีกำลังใกล้เคียงกัน ไม่ว่าปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 12 หรือร้อยละ 8 แต่ถ้าปล่อยแท่งทดสอบไว้ 7 วัน หรือนานกว่านั้น โดยส่วนใหญ่ลักษณะดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้นโดยแท่งทดสอบที่มีปริมาณซีเมนต์สูงจะได้กำลังอัดสูงกว่า การทดสอบโดยทั่วไปสำหรับวัสดุดิน - ซีเมนต์ จะไม่รอจนอายุ 28 วัน

(ค) ปริมาณความชื้น

ผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อคุณภาพวัสดุ ดิน - ซีเมนต์ โดยส่วนใหญ่เกิดจากผลที่มีต่อการบดอัด การบดอัดได้ดีมีความจำเป็นเพื่อวัสดุมีความหนาแน่นแห้งสูง (Maximum Dry Density) ปริมาณความชื้นที่ดีที่สุดสำหรับการบดอัดนั้นขึ้นกับประเภทของดินและวิธีการบดอัด แนวความคิดของอัตราส่วน น้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้กันในงานคอนกรีตไม่อาจนำมาใช้กับการเสริมเสถียรภาพดินด้วยซีเมนต์ได้ จากการทดสอบพบว่า แนวโน้มกำลังแรงอัดเพิ่มขึ้นพร้อมกับปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นที่ความหนาแน่นแห้งที่กำหนดให้ มีรายงานการทดสอบพบอีกว่ากำลังแรงอัดสูงสุดเมื่อเตรียมตัวอย่างทดสอบบดอัดที่ความชื้นต่ำกว่า Optimum เล็กน้อย แต่ผลการทดสอบความคงทนดีที่สุด เมื่อความชื้นสูงกว่า Optimum

ความชื้นที่จำเป็นสำหรับการบดอัดให้ได้ความหนาแน่นสูงสุด เพียงพอสำหรับปฏิกิริยา Hydration ของซีเมนต์ ทั้งนี้จะต้องให้ความชื้นกระจายให้ทั่ว เพื่อให้ซีเมนต์สัมผัสกับความชื้น เนื่องจากดินเหนียวโดยธรรมชาติจะดึงความชื้น ดังนั้นควรเพิ่มความชื้นหลังจากผสมดินและซีเมนต์เข้ากันแล้ว ทั้งนี้จะต้องไม่เห็นบริเวณที่แห้งซึ่งซีเมนต์จะไม่ทำปฏิกิริยา Hydration

ปกติดินที่ขุดขึ้นมาจากบ่อขุด จะมีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับ Optimum Moisture Content แต่เมื่อนำมาเข้ากระบวนการผสมไม่ว่าจะเป็นการผสมในที่ (Mix - in - place), ผสมโดยเครื่องเคลื่อนที่ (Travelling Plant) หรือผสมโดยเครื่องอยู่กับที่ (Stationary Plant) ก็ตาม ดินจะแห้งลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องให้ความชื้นเพิ่มขึ้น น้ำที่ใช้มีข้อควรระวังเช่นเดียวกับน้ำที่ใช้กับงานคอนกรีต กล่าวคือ ต้องปราศจากน้ำมัน, ด่าง, เกลือ หรืออินทรีย์สารปน เป็นจำนวนมาก

(ง) การบดอัด

คุณภาพของวัสดุ ดิน - ซีเมนต์ ที่ดี จำเป็นต้องได้รับการบดอัดอย่างเพียงพอ ทั้งนี้จากผลการทดสอบในห้องทดลองพบว่าถ้าความหนาแน่นลดลง 1 ปอนด์/ลบ.ฟุต กำลังรับแรงอัดจะลดลงระหว่าง 20 ถึง 40 ปอนด์/ตร.นิ้ว และความคงทนจะลดลงด้วยสัดส่วนที่สูงกว่านั้น ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นแห้ง แสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นส่วนผสมดินเหนียวปนทรายด้วยซีเมนต์ 10 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่า การบดอัดสัมพัทธ์ที่ลดลงร้อยละ 5 ทำให้กำลังรับแรงอัดต่ำลง มากกว่าที่เกิดขึ้นเมื่อลดปริมาณซีเมนต์ลงร้อยละ 10 ถึง 15 นั่นคือลดปริมาณซีเมนต์จากร้อยละ 10 เหลือร้อยละ 9 ถึง $8\frac{1}{2}$

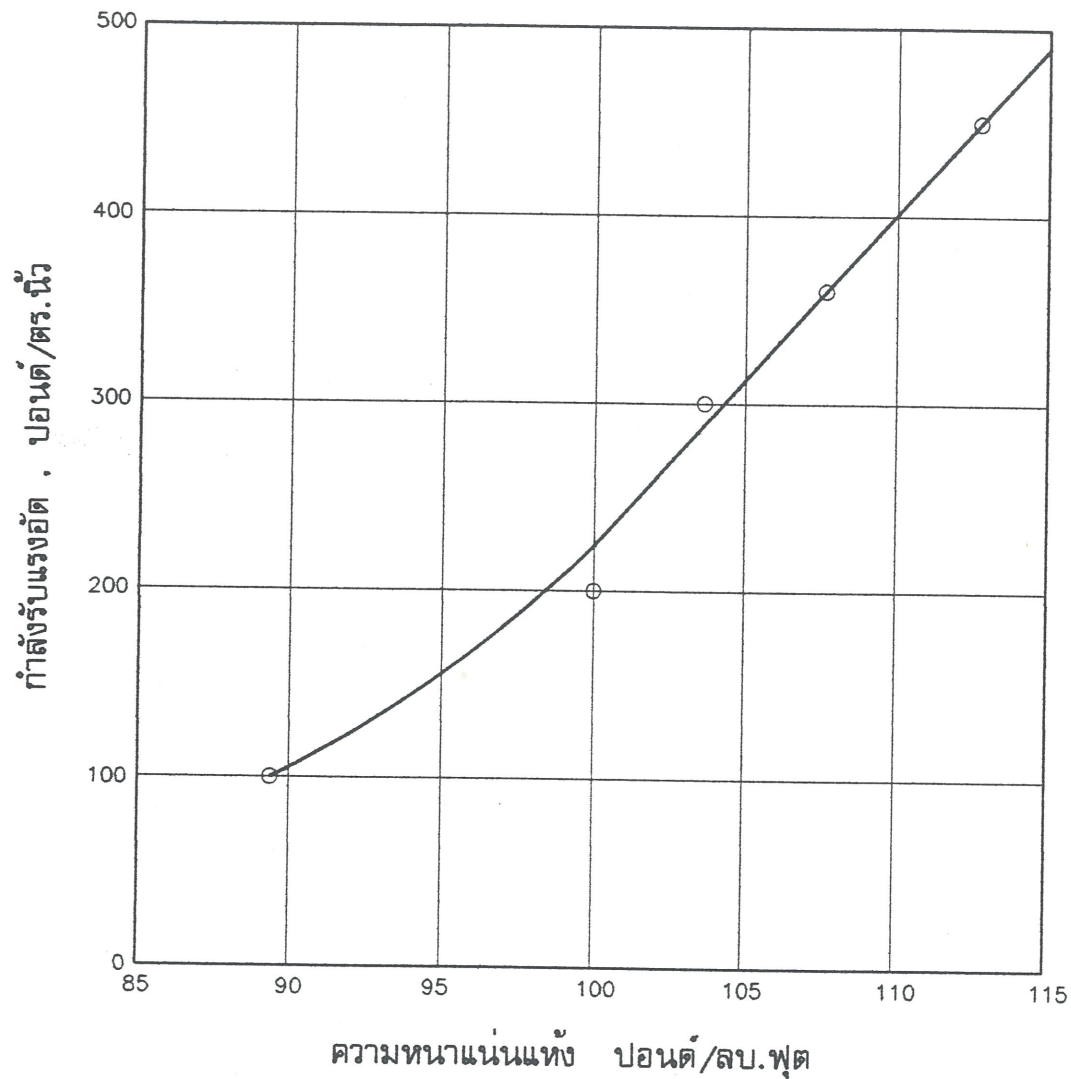
การทดสอบในห้องทดลอง พบว่าดินเหนียวปนทรายแข็ง เมื่อทำเป็นตัวอย่างทดสอบ โดยมีปริมาณซีเมนต์และปริมาณการบดอัดเท่ากัน แต่มีปริมาณความชื้นแตกต่างกันนั้น กำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ระดับความชื้นใกล้เคียงกับ Optimum Moisture Content การทดสอบยืนยันความจริงที่ว่าปริมาณความชื้นมีผลต่อคุณภาพของวัสดุดิน - ซีเมนต์ น้อยมาก ยกเว้นแต่ว่ามีผลกระทบต่อน้ำหนักแห้งจากการบดอัด

(จ) การผสม

เป็นที่ทราบดีว่า ส่วนผสมในห้องทดลองจะได้กำลังรับแรงอัดและความคงทนสูงกว่าส่วนผสมที่คล้ายคลึงกัน แต่กระทำในสนาม องค์ประกอบนี้ได้เพื่อใช้ในการทดสอบเบื้องต้นสำหรับมาตรฐานการยอมรับ นอกจากนี้ยังพบว่ากำลังรับแรงอัดของดิน - ซีเมนต์จากการผสมโดยใช้เครื่องจักรการเกษตรจะเท่ากับร้อยละ 40 ถึง ร้อยละ 60 ของส่วนผสมที่กระทำในห้องทดลอง ขณะที่ส่วนผสมโดยใช้เครื่องพรวนดินแบบหมุนที่มีประสิทธิภาพ (Efficient Rotary Tiller) จะได้กำลังรับแรงอัดร้อยละ 60 ถึง 80 ส่วนผสมในห้องทดลอง แต่มีดินบางชนิดอาจได้กำลังสูงกว่านั้น

(ฉ) อายุและการบ่ม

กำลังรับแรงอัด ของส่วนผสมดิน - ซีเมนต์ จะเพิ่มขึ้นตามอายุในลักษณะที่คล้ายคลึงกับคอนกรีต เชื่อกันว่าประเภทดินมีผลต่ออัตราการแข็งตัว แต่ยังไม่มียุทธวิธีที่แน่ชัดในจุดนี้ จากการทดสอบในห้องทดลองกับดินเหนียวปนทราย ได้ผลความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด และอายุดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความหนาแน่นแห้ง และกำลังรับแรงอัด
ตัวอย่างทดสอบลูกบาศก์ 4 นิ้ว

ในทางปฏิบัติจะทำการบ่มดิน - ซีเมนต์ หลังจากการบดอัดภายใต้สภาวะเพื่อมิให้ผิวหน้าแห้งในขณะช่วงเวลาเริ่มแรกที่กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น สภาพขณะทำการบ่มจะมีผลต่อคุณภาพวัสดุที่ทำการผลิตขึ้นมา ดีที่สุดเมื่ออากาศชื้น อย่างไรก็ตาม สภาพดังกล่าวไม่อาจป้องกันการเกิดเปลือกนอกบางแข็ง (Thin Hard Crust) ซึ่งอาจแตกร้าวและมีแนวโน้มหลุดร่อน (Flake off)

การทำ Prime Coat ด้วยยางมะตอยบนผิวดิน - ซีเมนต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อบ่มอาจทำให้ผิวบางหลุดลွ่ยบ้าง เป็นไปได้เนื่องจากการซึมของยางมะตอยทำให้ปฏิกิริยา Hydration ของซีเมนต์ไม่เกิดขึ้น การที่ดิน - ซีเมนต์ แห้งลง ทำให้รอยแตกขนาดเล็กเพราะการหดตัว (Fine Shrinkage Crack) ที่ผิว แต่เชื่อว่าจะไม่มีผลเสียหาย

5. วิธีการก่อสร้าง

วิธีการผสมดิน - ซีเมนต์ เข้าด้วยกันในสนามสำหรับการก่อสร้างถนน มีด้วยกัน 3 วิธีคือ

- การผสมในที่ (Mix - in Place)
- การผสมโดยใช้เครื่องเคลื่อนที่ (Travelling Plant)
- การผสมโดยใช้เครื่องอยู่กับที่ (Stationary Plant)

สำหรับงานขนาดเล็กควรใช้วิธีการผสมในที่ การผสมโดยใช้เครื่องเคลื่อนที่ เหมาะสำหรับงานขนาดใหญ่

6. การทดสอบในห้องทดลอง

การทดสอบในห้องทดลองดำเนินการเพื่อประเมินความเหมาะสมของดิน สำหรับการเสริมเสถียรภาพด้วยซีเมนต์ ประกอบด้วย

การทดสอบเพื่อบ่งชี้ (Identification Tests)

การทดสอบบดอัด (Compaction Test)

การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive Strength Test)

อาจดำเนินการทดสอบเพิ่มเติมในกรณีพิเศษ ดังนี้

การทดสอบความคงทน (Durability Tests)

การพิจารณาหาปริมาณอินทรีย์สาร

การพิจารณาปริมาณซัลเฟต

ที่สำคัญที่สุด คือ การทดสอบกำลังรับแรงอัด เพื่อพิจารณาออกแบบส่วนผสม ส่วนการทดสอบอื่น เป็นการเสริม การทดสอบเช่น การดูดซับน้ำ, การซึมผ่านหรือการหดตัว โดยปกติไม่ต้องการเนื่องจากดิน - ซีเมนต์ จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ได้คุณสมบัติเหมาะสมนั้นจะดูดซับน้ำได้น้อย และการซึมผ่านน้อยมาก

วัตถุประสงค์ของการทดสอบต่าง ๆ และข้อมูลหลักที่ได้จากการทดสอบ สรุปได้ดังนี้

การทดสอบ	วัตถุประสงค์และข้อมูลที่ได้มา
(1) การทดสอบเพื่อบ่งชี้	(ก) เพื่อขจัดดินที่มีคุณภาพเลวและทำการคัดเลือกดินที่น่าจะมีความเหมาะสมที่สุด เพื่อทำการทดสอบต่อไป
(2) การทดสอบบดอัด	(ก) เพื่อระบุปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการบดอัดในสนาม (ข) เพื่อระบุความหนาแน่นแห้งต่ำสุด ซึ่งการทำงานในสนามต้องให้ได้ตามนี้ (ค) เพื่อพิจารณาปริมาณความชื้นที่ใช้เตรียมแท่งตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงอัด
(3) การทดสอบกำลังรับแรงอัด	(ก) เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของดินต่อการปรับคุณภาพ และเพื่อเปรียบเทียบส่วนผสมที่แตกต่างกัน (ข) เพื่อระบุปริมาณซีเมนต์ใช้ในการก่อสร้าง (ค) เพื่อจัดเตรียมมาตรฐาน ซึ่งใช้ประเมินคุณภาพของขบวนการในสนาม
(4) การทดสอบความคงทน	(ก) เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของดินต่อการเสริมเสถียรภาพในกรณีที่ดินอยู่ในลักษณะใกล้ขอบเขต (Border - line Soils) การทดสอบนี้ใช้เป็นครั้งคราวเท่านั้น (ข) เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมของดินที่เสริมเสถียรภาพสำหรับนำไปใช้ในสภาพอากาศที่เลวร้าย
(5) การพิจารณาปริมาณซัลเฟตและอินทรีย์สาร	(ก) เพื่อช่วยในการคัดเลือกดินในเบื้องต้นต่อความเหมาะสมสำหรับการเสริมเสถียรภาพในพื้นที่ซึ่งสงสัยว่ามีปริมาณอินทรีย์สารหรือซัลเฟตอยู่สูง (ข) เพื่อแสดงเหตุผลสำหรับดินที่ไม่มีความเหมาะสม

การทดสอบเพื่อบ่งชี้ (Identification Tests)

ทำการทดสอบ วิเคราะห์ขนาดของเม็ดดินและทดสอบความเหนียว (Plasticity Test) กับดินธรรมชาติ ตามวิธีการทดสอบมาตรฐาน

จากการทดสอบดังกล่าว จะทำการคัดเลือกดินที่มีความเหมาะสมสำหรับการทดสอบต่อไป ดินซึ่งคุณสมบัติอยู่นอกขอบเขตคุณสมบัติที่ต้องการจะถูกปฏิเสธในทันทีว่าเป็นดินที่ไม่เหมาะสมต่อการเสริมสร้างเสถียรภาพ ในการคัดเลือกดินต่าง ๆ จำนวนหนึ่งซึ่งทั้งหมดมีความเหมาะสมนั้นจะให้ความสำคัญกับการกระจายของขนาดเม็ดดินที่ดี

ผลการทดสอบความเหนียว (Plasticity Test) จะนำไปใช้เพื่อบ่งชี้ความยากง่ายในการผสมในสนาม อาจประเมินปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการให้สูงขึ้นไปอีกเล็กน้อยเมื่อ Plasticity Index มีแนวโน้มสูงขึ้น และเมื่อเครื่องมือที่ใช้ผสมที่มีอยู่เป็นชนิดคุณภาพต่ำ ความเป็นไปได้สำหรับการผสมดินหยาบไม่เหนียว โดยใช้เครื่องผสมคอนกรีต อาจสรุปความเห็นได้จากผลการทดสอบเพื่อบ่งชี้

การทดสอบจะแสดงสภาพเนื้อผิวทาง (Surface Texture) โดยประมาณ และจากสภาพดังกล่าวอาจสรุปความเห็น ความต้านทานต่อการสึกหรอของผิวได้

การพิจารณาปริมาณอินทรีย์สารในดิน

ปริมาณอินทรีย์สารในดิน พิจารณาจากการทดสอบด้วย Dichromate Oxidation Method หรืออาจพิจารณาจากการใช้ Hydrogen Peroxide ก่อนทำการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดิน

การพิจารณาปริมาณซัลเฟตในดิน

การทดสอบนี้จะกระทำกับดินที่มีความสงสัยว่าจะมีปริมาณซัลเฟตสูง การทดสอบให้ดำเนินการตามวิธีการทดสอบมาตรฐาน

การทดสอบการบดอัด

ในกรณีที่ดินมีส่วนผ่านตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว ไม่น้อยกว่า ร้อยละ 80 (ดินเนื้อละเอียดและเนื้อปานกลาง) ให้ใช้การทดสอบ Standard Proctor ความแตกต่างอยู่ตรงใช้ตัวอย่างใหม่ทุกครั้งกับปริมาณความชื้นที่แตกต่างกัน ถ้าดินมีส่วนผ่านตะแกรง $1\frac{1}{2}$ นิ้ว ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ให้ใช้แบบเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 นิ้ว สูง 12 นิ้ว ตัวอย่าง ดิน - ซีเมนต์ ใส่ลงในแบบแบ่งเป็น 6 ชั้น เท่า ๆ กัน ใช้ฆ้อนหนัก 10 ปอนด์ ยกสูง 18 นิ้ว ปล่อยลงทุบดินจำนวน 25 ครั้งในแต่ละชั้น วัสดุที่มีขนาดใหญ่เกินไปให้คัดออก

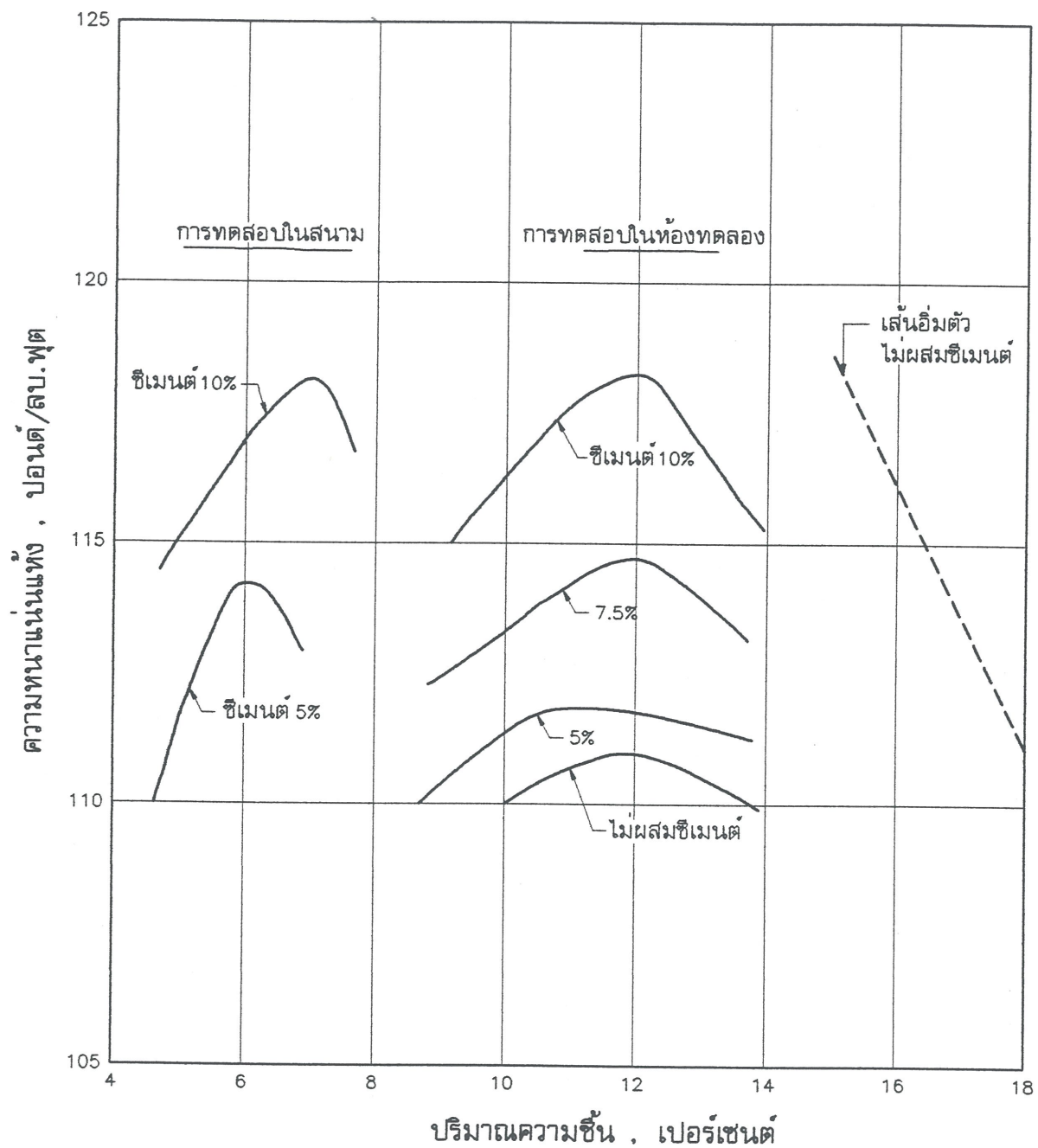
ตัวอย่างดินขนาดประมาณ 15 - 20 กิโลกรัม นำไปตากแห้ง และหาปริมาณความชื้นเมื่อตากแห้ง แบ่งตัวอย่างโดยใช้วิธี Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) ให้ได้ตัวอย่าง ๗ ละ 2 กิโลกรัม เพิ่มปริมาณน้ำเพื่อให้ปริมาณความชื้นแตกต่างกันและคลุม Optimum Moisture Content ปริมาณความชื้นให้ห่างกัน 1.5 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ ผสมน้ำให้เข้ากับดินและเก็บดินขึ้นไว้ 24 ชั่วโมง โดยใช้ที่เก็บอากาศเข้าไม่ได้ (Airtight Container) ทั้งนี้เพื่อให้ดินมีความชื้นสม่ำเสมอ

ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการผสมกับดิน โดยใช้เครื่องผสมในห้องทดลอง สำหรับดินปนทรายใช้ซีเมนต์ 8 เปอร์เซ็นต์ สำหรับดินเหนียวปนทราย 9 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับดินเหนียว 10 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์ ดินแต่ละตัวอย่างจะถูกบดในแบบ (Mold) ในลักษณะเดียวกับการทดสอบการบดอัดดิน หาความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นโดยเตาอบความร้อน 105 ถึง 110 องศาเซลเซียส

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง และปริมาณความชื้นของวัสดุดิน - ซีเมนต์ อาจหาได้จากการทดสอบในสนาม โดยมีปริมาณความชื้นแตกต่างกันไป โดยใช้เครื่องบดอัดที่ใช้ในการก่อสร้าง ความหนาแน่นแห้งที่ได้จากการก่อสร้างไม่ควรน้อยกว่าร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด จากการทดสอบในสนามหรือห้องทดลอง

จะเกิดประโยชน์โดยเฉพาะที่จะทำการทดลองการบดอัดในสนามเมื่อเกี่ยวข้องกับส่วนผสมทำจากทรายที่มีขนาดสม่ำเสมอ (Uniformly Graded Sands) ซึ่งมักจะทำการบดอัด โดยใช้วิธีการสั่นสะเทือน ทั้งนี้ Optimum Moisture Content ที่ได้โดยวิธีดังกล่าวจะต่ำกว่าที่ได้จากการบดอัดมาตรฐาน การบดอัดเบื้องต้นทดลองในสนามควรกระทำเท่าที่จะสามารถปฏิบัติได้

ตัวอย่างความแตกต่างระหว่างการทดสอบในสนามและในห้องทดลองดังนี้ ทรายนำมาทดสอบในห้องทดลองได้ Optimum Moisture Content 11 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์ และความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 112 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต โดยใช้ปริมาณซีเมนต์ 5 เปอร์เซ็นต์ ที่ปริมาณความชื้นดังกล่าว วัสดุดิน - ซีเมนต์ จะใกล้ถึงจุดอิ่มตัว ซึ่งโดยประสบการณ์การบดอัดควรใช้วิธีการสั่นสะเทือน (Vibration Method) โดยมีปริมาณความชื้นต่ำลงมา การทดลองบดอัดในสนามโดยใช้เครื่องสั่นสะเทือนได้ผลออกมาคือ Optimum Moisture Content 6 เปอร์เซ็นต์ และความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 114 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต **รูปที่ 3** แสดงผลการทดสอบในสนามและในห้องทดลอง และได้แสดงให้เห็นถึงความหนาแน่นแห้งที่เปลี่ยนไป เมื่อใช้ปริมาณซีเมนต์แตกต่างกันไป



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบผลของการทดสอบในสนามและในห้องทดลอง
กับทรายสะอาดผสมซีเมนต์ในสัดส่วนต่างๆกัน

ในกรณีของตัวอย่างข้างต้น ดินจะขาดส่วนของทรายแป้ง ซีเมนต์จะแก้ส่วนที่ขาดซึ่งเป็นผลเพิ่มความหนาแน่นแห้ง **รูปที่ 4** แสดงผลการทดสอบจากห้องทดลอง กับดิน ซึ่งมีส่วนผสมของทรายและทรายแป้งปนอยู่ในปริมาณพอสมควร ในกรณีการผสมซีเมนต์จะทำให้ลดความหนาแน่นแห้ง ขณะที่ทำการเพิ่มปริมาณซีเมนต์ ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า (3.15 เทียบกับดิน 2.65) ได้ผ่านการกระจายขนาดเม็ดดินที่บกพร่องแล้วจะทำให้ความหนาแน่นแห้งลดลง

การทดสอบการบดอัด

โดยปกติจะใช้แบบทรงกระบอก โดยมีอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 2 : 1 แบบจะมี 3 ขนาด ขึ้นกับการกระจายขนาดของเม็ดดิน ดังนี้

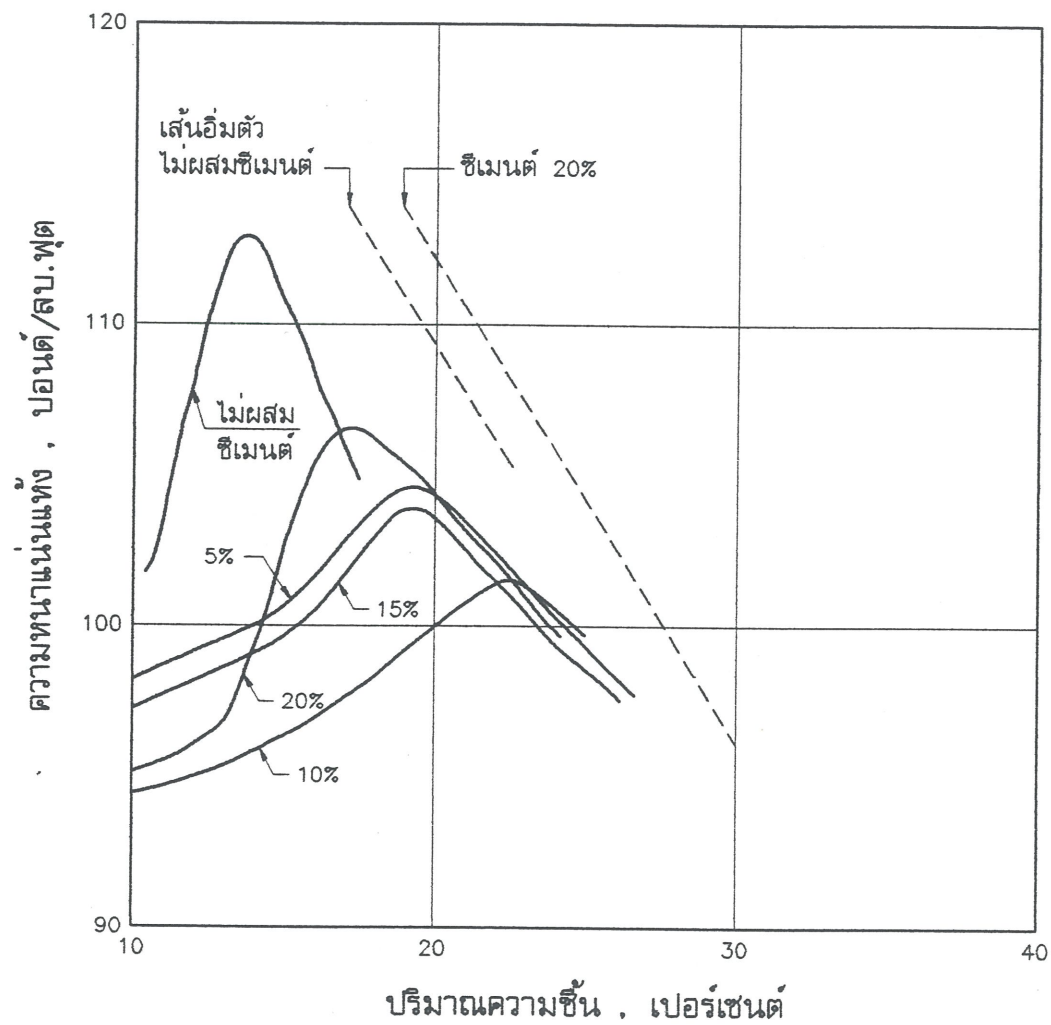
ดินเนื้อละเอียด มีส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 7 (BS Sieve) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ใช้แบบ (Mold) เส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว สูง 4 นิ้ว

ดินเนื้อปานกลาง มีส่วนผ่านตะแกรง 3/4 นิ้ว ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ใช้แบบ เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 8 นิ้ว

ดินเนื้อหยาบ มีส่วนผ่านตะแกรง $1\frac{1}{2}$ นิ้ว ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ใช้แบบ เส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 12 นิ้ว

ขนาดของแบบ (Mold) ที่ใช้เป็นขนาดเล็กสุดของ 3 ขนาด โดยต้องสอดคล้องกับขีดจำกัดข้างต้น

ตัวอย่างการทดสอบจัดเตรียมในแบบที่มี ปริมาตรคงที่ ซึ่งมีลูกสูบอัดตัวอย่างจนมีระยะห่างคงที่ โดยการคำนวณน้ำหนักของวัสดุ ทำการปรับความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างทดสอบให้มีค่าสูงสุดเท่ากับค่าที่ได้จากการทดสอบการบดอัด ตัวอย่างทดสอบลูกบาศก์ขนาด 4 นิ้ว จัดเตรียมโดยใช้แบบมีปริมาตรคงที่หรือใช้แบบหล่อลูกบุนคอนกรีตธรรมดาถ้ามีอยู่โดยเกี่ยวข้องกับงานอื่น



รูปที่ 4 ผลทดสอบการบดอัดกับดินเหนียวปนทราย
โดยมีปริมาณซีเมนต์แตกต่างกันไป

ทำการคำนวณปริมาณดินที่จะนำมาตากแห้งและปริมาณความชื้นเมื่อตากแห้ง ปริมาณดินที่ต้องการสำหรับตัวอย่างทดสอบของแต่ละขนาดของแบบที่ได้กล่าวไว้แล้วดังนี้ 400 - 600 กรัม, 1,500 - 2,500 กรัม และ 7,000 - 9,000 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้ต้องแยกกรวด, หินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 7 ตะแกรง 3/4 นิ้ว หรือตะแกรง $1\frac{1}{2}$ นิ้วออก ดินต้องผสมโดยใช้เครื่องผสมในห้องทดลองโดยผสมน้ำด้วยปริมาณเพียงพอให้ปริมาณความชื้นอยู่ต่ำกว่า Optimum Moisture Content 3 เปอร์เซ็นต์ ดินชื้นจะเก็บไว้ในที่เก็บอับอากาศ (Airtight Container) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นกระจายไปทั่วเนื้อดินอย่างสม่ำเสมอ ผสมซีเมนต์ตามปริมาณจากการคำนวณด้วยเครื่องผสมในห้องทดลองประมาณ 1 ถึง 2 นาที หลังจากนั้นให้ผสมน้ำส่วนที่เหลือ 3 เปอร์เซ็นต์ จะใช้เวลาผสมอีก 8 - 9 นาที

เมื่อเตรียมตัวอย่างทดสอบโดยใช้แบบปริมาตรคงที่ ให้คำนวณน้ำหนักของส่วนผสมดิน - ซีเมนต์ ที่ต้องการเพื่อลงในแบบ (Mold) จากปริมาตรสุดท้ายของตัวอย่างทดสอบที่ทราบและค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดจากการทดสอบการบดอัดกับส่วนผสมลักษณะเดียวกัน ใส่ส่วนผสมปริมาณดังกล่าวลงในแบบและอัดด้วยลูกสูบจนถึงตำแหน่งและรักษาตำแหน่งไว้ 2 - 3 วินาที ถ้าเป็นดินเหนียวให้ถอดตัวอย่างออกจากแบบได้ทันทีแต่ต้องระมัดระวังไม่ให้มุมหัก สำหรับดินปนทราย (Sandy soils) อาจต้องใช้ลูกสูบอัดพร้อมกับการสั่นสะเทือน และตัวอย่างทดสอบควรทิ้งอยู่ในแบบ 24 ชั่วโมง เพื่อให้แข็งตัวไปบ้างก่อนที่จะถอดออกจากแบบ

ในการทดสอบเบื้องต้น ถ้าเป็นตัวอย่างเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว ให้ใช้จำนวน 10 ตัวอย่าง ถ้า 4 หรือ 6 นิ้ว ใช้ 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างการทดสอบทั้ง 3 ประเภทให้ทำการบ่ม โดยเคลือบผิวตัวอย่างทดสอบด้วย Parafin Wax เพื่อรักษาระดับความชื้นในตัวอย่างทดสอบให้คงที่ และเก็บตัวอย่างในห้องควบคุมอุณหภูมิคงที่ เป็นเวลา 7 วัน หลังจากบ่มไว้ 7 วัน Wax ที่เคลือบไว้บนผิวระนาบของตัวอย่างทดสอบให้ครูดออก และนำตัวอย่างไปทดสอบกำลังรับแรงอัดด้วยอัตรา 250 ปอนด์/ตารางนิ้ว/นาที หรือด้วยอัตราความเครียด (Rate of Strain) ประมาณ 0.05 นิ้ว/นาที หาปริมาณความชื้นของตัวอย่างทดสอบหลังจากทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยใช้พื้นที่แตกย่อย และตรวจสอบความหนาแน่นแห้งด้วยการชั่งน้ำหนักและคำนวณ ทำการรายงานค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นในการทำส่วนผสมแต่ละครั้ง ซึ่งประกอบด้วยตัวอย่างทดสอบ 5 หรือ 10 ตัวอย่าง โดยทั่วไปกำลังรับแรงอัดขนาด 250 ปอนด์/ตารางนิ้วเมื่ออายุ 7 วัน กำหนดให้เป็นกำลังรับแรงอัดต่ำสุด ในสภาพอากาศที่เลวร้าย อาจต้องเพิ่มกำลังรับแรงอัดเช่น 400 - 500 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นต้น

การทดสอบความคงทน

การทดสอบนี้ริเริ่มโดย Portland Cement Association of America และได้อธิบายรายละเอียดไว้ในคู่มือ การทดสอบดำเนินการโดยจัดเตรียมตัวอย่างทดสอบทรงกระบอก 4 ตัวอย่างสำหรับแต่ละปริมาณซีเมนต์ที่ Optimum Moisture Content ในลักษณะเดียวกันกับการทดสอบการบดอัด 2 ตัวอย่าง นำไปทดสอบ Cycles of Wetting and Drying อีก 2 ตัวอย่างนำไปทดสอบ Freezing and Thawing

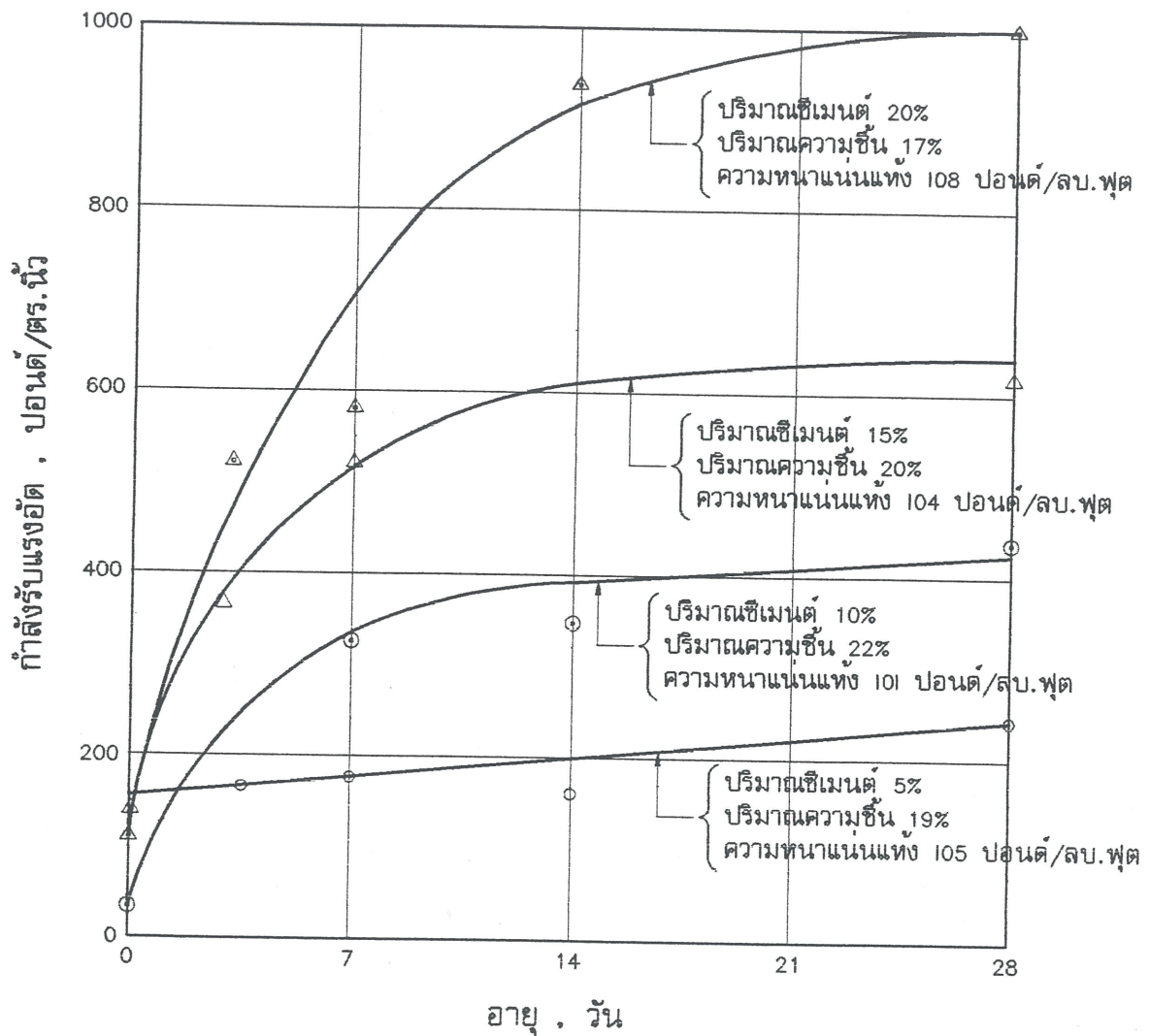
สำหรับการทดสอบ Wetting and Drying ภายหลังจากบ่มตัวอย่างทดสอบในอากาศขึ้นเป็นเวลา 7 วัน ให้นำตัวอย่างไปแช่น้ำไว้ 5 วัน หลังจากนั้นให้นำตัวอย่างทดสอบที่ 1 มาชั่งน้ำหนักและวัดขนาด และตัวอย่างทั้งสองเก็บไว้ในเตาอบ อุณหภูมิ 160 °F เป็นเวลา 42 ชั่วโมง เมื่อนำออกมาให้ชั่งน้ำหนักทั้ง 2 ตัวอย่าง วัดขนาดตัวอย่างที่ 1 ตัวอย่างที่ 2 ให้ใช้แปรงมาตรฐานแปรงที่ผิว และชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง ขบวนการดังกล่าวข้างต้นให้กระทำซ้ำรวมทั้งสิ้น 12 รอบ

สำหรับการทดสอบ Freezing and Thawing ภายหลังจากบ่มเป็นเวลา 7 วัน ให้นำตัวอย่างทดสอบไปวางบน Felt Pad หรือ Blotter (หมายถึงพวกกระดาษซับ) และเก็บไว้ในตู้เย็นอุณหภูมิไม่เกิน -10 °F เป็นเวลา 22 ชั่วโมง เมื่อนำออกมาให้ชั่งน้ำหนักวัดขนาดตัวอย่างที่ 3 ทั้งสองตัวอย่างให้เก็บไว้ในที่บรรยากาศขึ้นที่อุณหภูมิของห้องเป็นเวลา 22 ชั่วโมง จะต้องระมัดระวังให้ Felt Pad ขึ้นอยู่เสมอ หลังจากนั้นให้ชั่งน้ำหนักทั้งสองตัวอย่าง วัดขนาดตัวอย่างที่ 3 และตัวอย่างที่ 4 ให้แปรงและชั่งน้ำหนักในลักษณะเดียวกับตัวอย่างที่ 2 กระทำซ้ำกันจนครบ 12 รอบ คำนวณการขยายตัวสูงสุดของตัวอย่างที่ 1 และ 3 โดยวัดปริมาตรจากแบบ และหาน้ำหนักที่สูญหายไป ของตัวอย่างที่ 2 และ 4 โดยชั่งน้ำหนักแห้งโดยเตาอบ การขยายตัวสูงสุดที่ยินยอมคือ 2 เปอร์เซ็นต์ และการสูญเสียน้ำหนักสูงสุด แสดงในตารางที่ 3 ซึ่งสรุปผลของปริมาณซีเมนต์กับดินประเภทต่าง ๆ

โดยคำแนะนำทั่วไป จากผลการทดสอบพบว่าส่วนผสมดิน - ซีเมนต์ ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงจะมีคุณสมบัติด้านการสูญเสียในการทดสอบความคงทนสูงตามไปด้วย อาจมีข้อยกเว้นสำหรับกฎในข้อนี้ เช่น ส่วนผสม ซึ่งในดินเหนียวมากและมี Shale ปน และเชื่อกันว่า การทดสอบ Wetting and Drying มีประโยชน์เมื่อเกี่ยวข้องกับดินในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน (Tropical and Sub - tropical Areas)

ตารางที่ 3
กลุ่มดิน - ซีเมนต์

ประเภทดิน	PR Classification	A2, A3	A4, A5	A6 บางพวก, A7	A8, A6บางพวก A7
	Cassagrande Classification	GF, SF, GW SW, GP, SP	ML, CI, CL. MH	ML, CI, CL CH	Pt, OH, OL CH
		ดินปนกรวด หรือปนทราย	ดินปนทรายแป้ง	ดินเหนียว	ดินซากพืช (Peaty) และดินปนด้วย อินทรีย์สารสูง, ดินเหนียวมาก
ผลของซีเมนต์		แข็งตัวอย่าง มาก	แข็งตัว	แข็งตัวพอ สมควร	ไม่สามารถ ปรับปรุงภาพ ได้สำเร็จ
กำลังรับแรงอัดต่ำสุดยอมรับได้		250 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว	250 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว	250 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว	_____
ปริมาตรที่เปลี่ยนไปสูงสุดที่ยินยอม ในการทดสอบความคงทน		2%	2%	2%	_____
น้ำหนักที่สูญหายสูงสุดที่ยินยอม ในการทดสอบความคงทน		14%	10%	7%	_____
ปริมาณซีเมนต์โดยปกติ		6 - 10%	8 - 12%	10 - 14%	_____



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง กําลังรับแรงอัดและอายุ สำหรับดิน-ซีเมนต์ โดยใช้ดินเหนียวปนทรายทั้งนี้ ปริมาณซีเมนต์แตกต่างกันไป ที่ Optimum Moisture Content และความหนาแน่นแห้งสูงสุด

7. การทดสอบควบคุมในสนาม

ในการควบคุมคุณภาพของดิน - ซีเมนต์ ที่ผลิตในสนาม จะทำการทดสอบดังต่อไปนี้ :

- การพิจารณาหาปริมาณความชื้นในดิน และดิน - ซีเมนต์
- การทดสอบกำลังรับแรงอัด
- การพิจารณาหาความหนาแน่นแห้งของดิน - ซีเมนต์ในที่
- การพิจารณาหาปริมาณซีเมนต์

การพิจารณาหาปริมาณความชื้น

อาจใช้วิธีการ Sand - bath หรือโดย Pycnometer กับดิน หรือดิน - ซีเมนต์

การทดสอบกำลังรับแรงอัด

กระทำการทดสอบโดยการเก็บตัวอย่างจากส่วนผสมดิน - ซีเมนต์ ในทันทีก่อนการบดอัดและจัดเตรียมตัวอย่างทดสอบรูปทรงกระบอก โดยใช้แบบขนาดเหมาะสมกับขนาดของเม็ดดิน

สำหรับดินที่มีส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 7 (BS. Sieve) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ให้ใช้แบบเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว เป็นแบบโดยความสูงของตัวอย่างทดสอบอยู่ระหว่าง 4 ถึง $4\frac{1}{2}$ นิ้ว หลังจากบดอัดแล้ว การบดอัดใช้ฆ้อนทุบจำนวน 12 ครั้ง โดยยกฆ้อนสูง 12 นิ้ว จับแบบและตัวอย่างดินพลิกกับข้างและทำการบดอัดเช่นเดียวกัน ตัวอย่างทดสอบต่อชิ้นมาจนได้ความยาว 4 นิ้ว อยู่ในแบบส่วนที่เกิดปาดออก หลังจากนั้นจึงเคลือบด้วย Wax ป่มและทดสอบ

สำหรับดินที่มีส่วนผ่านตะแกรง 3/4 นิ้ว ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ให้ใช้แบบเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 นิ้ว และความสูง 8 นิ้ว และมีส่วนต่อที่ถอดออกได้บดอัดส่วนผสมดิน - ซีเมนต์ ภายในแบบโดยแบ่งเป็น 6 ชั้น ใช้ฆ้อนทุบ 25 ครั้งต่อชั้น ปริมาณส่วนผสม - ซีเมนต์ จะต้องเพียงพอที่ความสูงของตัวอย่างทดสอบไม่น้อยกว่า 8 นิ้ว ส่วนที่เกิดให้ปาดออก ตัวอย่างทดสอบที่ดันออกจากแบบแล้วให้เคลือบด้วย Wax ,ป่ม และทดสอบตามวิธีการที่ได้กล่าวไว้ก่อนแล้ว

วิธีการสำหรับดินที่มีส่วนผ่านตะแกรง $1\frac{1}{2}$ นิ้ว ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 จะคล้ายคลึงกัน แต่จะแตกต่างกันที่ขนาดของแบบซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 นิ้ว และความสูง 12 นิ้ว ดินบดอัด 6 ชั้นเท่า ๆ กัน ใช้ฆ้อนหนัก 10 ปอนด์ จำนวน 25 ครั้ง โดยยกฆ้อนสูง 18 นิ้ว

ดินสามประเภทดังกล่าว ส่วนผสมดิน - ซีเมนต์จะต้องร่อนผ่านตะแกรงก่อน (ตะแกรงเบอร์ 7, $\frac{3}{4}$ นิ้ว หรือ $1\frac{1}{2}$ นิ้ว) และคัดเม็ดขนาดใหญ่เกินออก

การพิจารณาความหนาแน่นแห้งของดิน - ซีเมนต์ในที่

อาจจะทำการทดสอบโดยใช้วิธีการแทนที่ด้วยทราย (Sand - replacement Method) ความหนาแน่นแห้งควรวัดเต็มความลึก และถ้าความลึกมากกว่า 6 นิ้ว ให้กระทำเป็น 2 ชั้น และใช้ค่าเฉลี่ย ยกตัวอย่าง เช่น จากผิวไปยังความลึก 5 นิ้ว และจากความลึก 5 นิ้ว ไปยังความลึก 10 นิ้ว ในกรณีความหนา 10 นิ้ว การพิจารณาความหนาแน่นแห้ง เป็นการตรวจสอบความหนาของชั้นดิน - ซีเมนต์ และให้ทำการจดบันทึกด้วย

การพิจารณาปริมาณซีเมนต์

กระทำโดยวิธีการทางเคมี โดยตัวอย่างดิน, ซีเมนต์ และส่วนผสมดิน - ซีเมนต์ ทำปฏิกิริยากับ Hydrochloric Acid และพิจารณาปริมาณ calcium ที่เกิดขึ้นจากส่วนผสม เนื่องจากวิธีการต้องใช้ห้องทดลองที่มีเครื่องมือครบ รวมทั้งนักวิเคราะห์ที่ชำนาญ จึงไม่เหมาะสมกับงานควบคุมในสนามโดยทั่วไป และปกติมักใช้วิเคราะห์งานที่แล้วเสร็จ

8. สรุป

การเสริมเสถียรภาพดินด้วยซีเมนต์มีการใช้อย่างแพร่หลาย สำหรับการก่อสร้างถนนและสนามบิน ดินเนื้อหยาบส่วนมากและดินเนื้อละเอียดจำนวนมาก โดยมีดินเหนียวไม่เกินร้อยละ 30 สามารถนำมาใช้ได้ แต่ดินที่มีอินทรีย์สารหรือมีสารเคมีที่มีผลเสียหาย โดยทั่วไปไม่ควรนำมาใช้ ปกติเมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์ จะทำวัสดุมคุณภาพดีขึ้น ปริมาณความชื้นจะมีผลต่อความสม่ำเสมอของการผสมและการบดอัด ในทางปฏิบัติปริมาณความชื้นให้สูงกว่า Optimum สำหรับการบดอัดสูงสุดจะมีความเหมาะสมมากที่สุด การบดอัดที่ดีเป็นความจำเป็นเพื่อให้ได้วัสดุมคุณภาพดี และจะต้องใช้ความระมัดระวังในลักษณะนี้กับการทำงานในสนาม วิธีการที่มีประสิทธิภาพที่สุดของการผสมในสนามเท่าที่ศึกษา มา จะได้วัสดุมกำลังไม่เกินร้อยละ 80 ของกำลังที่ได้จากการทดสอบในห้องทดลอง