

บทที่ 3

การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ

3.1 วัสดุที่ใช้ทำการทดสอบ

ดินลูกรังที่ใช้ในการวิจัย

ดินลูกรังที่ใช้ในการวิจัยได้ทำการเก็บจากบ่อดินลูกรัง 3 แหล่งด้วยกันโดยมีที่ตั้งของแหล่งดินและสัญลักษณ์ของดินแต่ละแหล่งแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แหล่งดินลูกรังที่ทำการศึกษาและสัญลักษณ์ประจำแหล่ง

สัญลักษณ์	แหล่งดินลูกรังที่ทำการศึกษา
SA	กม. 139+200 ของทางหลวงหมายเลข 317 จันทบุรี – สระแก้ว บริเวณซ้ายทาง 4.5กม. ซึ่งอยู่ในเขตจังหวัดสระแก้ว
PR	กม. 131+800 ของทางหลวงหมายเลข 319 พนมสารคาม – โคกปีบ บริเวณขวาทาง 1.9กม. ซึ่งอยู่ในเขตจังหวัดปราจีนบุรี
CB	กม. 2+200 ของทางหลวงหมายเลข 332 หาดยาง - คลองไผ่ บริเวณซ้ายทาง 0.5กม. ซึ่งอยู่ในเขตจังหวัดชลบุรี

ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ทำการทดสอบเป็นพอร์ตแลนด์ซีเมนต์ Type I ตราช้างซึ่งตรงกับมาตรฐาน ASTM C150

น้ำ

น้ำที่ใช้ในการผสมดินลูกรังผสมซีเมนต์เป็นน้ำประปา

3.2 การทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรัง

การทดสอบในส่วนนี้จะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติเบื้องต้นทางฟิสิกส์ของดินลูกรัง โดยประกอบด้วย การทดสอบ และวิธีการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 3.2

ผลที่ได้จากการทดสอบในส่วนนี้จะถูกนำไปใช้ในการจำแนกประเภทของวัสดุตามหลักวิศวกรรม และบอกถึงลักษณะทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 3.2 การทดสอบ และวิธีการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นทางฟิสิกส์ของดินลูกรัง

การทดสอบ	วิธีทดสอบ
วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของดิน	ทล.-ท.101/2515
วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง	ทล.-ท.204/2516
วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit(L.L.) ของดิน	ทล.-ท.102/2515
วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit และ Plasticity Index ของดิน	ทล.-ท.103/2515
วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน	ทล.-ท.108/2517
วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR	ทล.-ท.109/2517
วิธีการทดลองหา Unconfined Compressive Strength ของดิน	ทล.-ท.105/2515

3.3 การทดสอบหาค่าปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรัง

การออกแบบส่วนผสมของดินลูกรังผสมซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษา จะทำการออกแบบตามข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ มาตรฐานกรมทางหลวงเลขที่ ทล.-ม 204/2533 “มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base)” ซึ่งให้ถือเอาค่า Unconfined Compressive Strength ของแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ได้จากการทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.105/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน” โดยอนุโลม ซึ่งแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ทำการทดสอบจะถูกบดอัดในแบบตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.108/2517 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” ภายหลังจากบ่มในถุงพลาสติกเพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วัน แล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง จะต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 17.5 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (250 psi)

สำหรับปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่าส่วนผสมที่ต้องการ ในการศึกษานี้ได้กำหนดปริมาณซีเมนต์ไว้ร้อยละ 0 ร้อยละ 3 ร้อยละ 5 ร้อยละ 7 และร้อยละ 9 ของน้ำหนักดิน ส่วนปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์ จะใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ซึ่งหาค่าได้จากการทดลองที่ ทล.-ท.108/2517 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน”

เมื่อได้ส่วนผสมของดินลูกรังผสมซีเมนต์ตามข้อกำหนดที่ต้องการแล้ว จะทำการศึกษาการพัฒนา กำลังของดินลูกรังผสมซีเมนต์ตามส่วนผสมดังกล่าว โดยจะทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดหลังจากทำการบ่มตัวอย่างเป็นเวลาเวลา 1วัน 7วัน 14วัน และ 28วัน

3.4 การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ของวัสดุดินลูกรังผสมซีเมนต์

การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ของดินลูกรังผสมซีเมนต์ในการศึกษานี้ จะทำการทดสอบโดยวิธี Repeated Load Unconfined Compressive Test โดยมีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

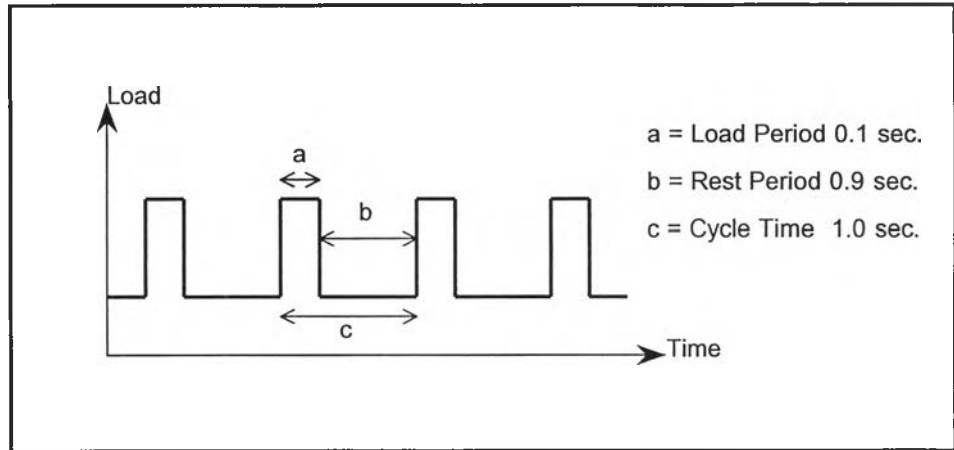
3.4.1 การเตรียมตัวอย่าง

เมื่อได้ส่วนผสมของดินลูกรังผสมซีเมนต์ตามข้อกำหนดที่ต้องการแล้ว จะใช้ส่วนผสมดังกล่าวในการเตรียมตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว (10.16 ซม.) สูง 4.584 นิ้ว (11.68 ซม.) โดยทำการบดอัดตามวิธีวิธีการทดลองที่ ทล.ท. 108/2517 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” ซึ่งตัวอย่างดังกล่าวจะถูกบ่มในถุงพลาสติกเป็นเวลา 28 วัน และแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมงก่อนนำไปทำการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว

3.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบหาค่า Resilient Modulus

เครื่อง Loading

เครื่อง Loading จะทำหน้าที่ควบคุมการป้อน Load ตามรูปแบบที่กำหนดทั้งระดับแรงที่กระทำ ระยะเวลาในการ Load และความถี่ในการ Load ส่วนใหญ่เครื่องมือที่ใช้จะเป็นระบบ Electro-hydraulic แต่ระบบ Electro-pneumatic ก็สามารถใช้งานได้เช่นกัน สำหรับการศึกษานี้ได้ใช้เครื่อง Loading ประเภท Electro-hydraulic ซึ่งมีชื่อว่า Servopulser ของ Shimadzu Corporation Model EHF-EB20-40L ซึ่งเครื่องดังกล่าวสามารถให้น้ำหนักได้หลายรูปแบบคือ Ram Load, Sine Wave, Rectangular Wave, Triangular Wave และตามรูปแบบที่กำหนดสัญญาณป้อนเข้าสู่เครื่องควบคุม สำหรับการศึกษานี้ได้เลือกใช้รูปแบบน้ำหนักกระทำตามสัญญาณที่ป้อนเข้าสู่เครื่องควบคุมโดยรับสัญญาณจากวงจร Integral Circuit โดยรูปแบบสัญญาณจากวงจรจะมีลักษณะเป็น Rectangular Wave ซึ่งมีความถี่ 1 Hz โดยมีช่วง Load Period 0.1 วินาที และช่วง Rest Period 0.9 วินาที รูปแบบสัญญาณจะแสดงดังรูปที่ 3.1



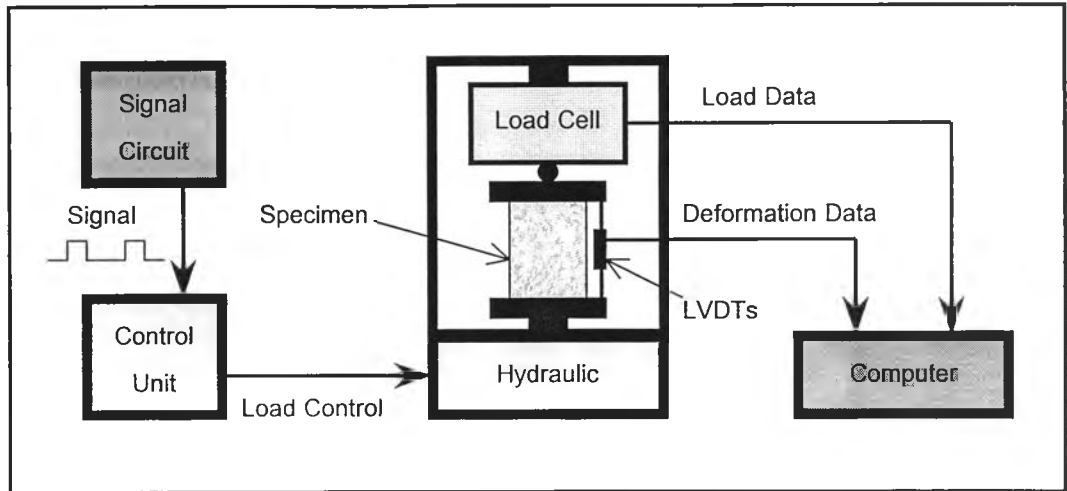
รูปที่ 3.1 รูปแบบสัญญาณที่ใช้ในการควบคุม Load ในการทดสอบ

ระบบการตรวจวัดค่าทดสอบ

ความสามารถในการวัดค่า Repeated-Load ที่กระทำต่อก้อนตัวอย่างรวมถึงการวัดค่า Recoverable Deformation ที่ถูกต้องนั้นเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่า โมดูลัสคืนตัว สำหรับการวัดค่าการให้Load นั้น ในการทดสอบจะทำการวัดค่าจาก Load Cell ซึ่งติดตั้งอยู่บนแท่นกด ส่วนการวัดค่า Deformations จะใช้อุปกรณ์ Linear Variable Differential Transducer (LVDTs) ในการวัดค่า ซึ่งสามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.001 นิ้ว(0.025mm)

ในรูปที่ 3.2 เป็นแผนภาพแสดงการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1 วงจรกำเนิดสัญญาณ (Signal Circuit) จะสร้างสัญญาณศักย์ไฟฟ้าตามรูปแบบสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 3.1 สัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งไปยังหน่วยควบคุม(Control Unit)
- 2 หน่วยควบคุม(Control Unit) จะทำหน้าที่ในการควบคุมการให้ Load เป็นไปตามสัญญาณที่ได้รับ โดยส่งการควบคุมไปยัง Hydraulic
- 3 Hydraulic จะทำการ Load ตัวอย่าง(Specimen) ที่อยู่บนแท่นกด ตามการควบคุมที่ได้รับ
- 4 ระหว่างที่ทำการทดสอบ Load Cell ซึ่งติดตั้งอยู่บนแท่นกดจะวัดค่า Load ที่กระทำต่อตัวอย่าง ส่วน LVDTs จะทำหน้าที่วัดการเกิด Deformation ซึ่งข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ทั้งสองจะส่งไปยัง Computer และทำการบันทึกผลไว้เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาโมดูลัสคืนตัว ต่อไป



รูปที่3.2 แผนภาพการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว(Resilient Modulus)

3.4.3 ขั้นตอนการทดสอบ

- นำตัวอย่างซึ่งทำการบ่มเป็นเวลา28วันมาทำการบันทึกความหนาและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่างทดสอบ
- แช่ก้อนตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา2ชั่วโมง จากนั้นมาทำการฉาบผิวหน้า(Capped)ให้เรียบด้วย Sulfur mortar
- วางก้อนตัวอย่างในแท่นกดน้ำหนัก จัดให้แกนของแท่งตัวอย่างอยู่ในแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกด
- เลื่อนแท่นกดให้สัมผัสกับแท่งตัวอย่าง โดยให้น้ำหนัก Preload เล็กน้อยเพื่อให้แน่ใจว่าก้อนตัวอย่างสัมผัสกับกับแท่งเหล็กถ่วงน้ำหนักเพื่อป้องกันการเกิดการกระแทก อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำหนักที่ Preload ควรระวังให้มีปริมาณน้อยที่สุด
- ติดตั้ง LVDTs เพื่อวัดค่า Deformation ที่เกิดขึ้นในแนวด้านตั้งในระหว่างการทดสอบ โดยทำการปรับแต่งให้สมดุลตามต้องการ
- เริ่มทำการ Load ก้อนวัสดุตัวอย่างด้วยลักษณะการ Load ตามรูปแบบที่ต้องการทำการ Load โดยกำหนดจำนวนรอบของการ Load ให้เพียงพอที่จะทำให้ค่า Recoverable Deformation อ่านได้สม่ำเสมอ โดยในการศึกษานี้จะทำการ Load จำนวน 200 ครั้ง สำหรับแรงที่ใช้ในการLoad จะกำหนดไว้ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของค่า Unconfined compressive strength

7. ขณะทำการทดสอบต้องทำการบันทึกค่า Load ที่กระทำและการเกิด Deformation ในแนวดิ่ง เพื่อนำผลดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณหาค่าโมดูลัสคืนตัว(Resilient Modulus) ต่อไป
8. การคำนวณหาค่าโมดูลัสคืนตัว(Resilient Modulus) สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

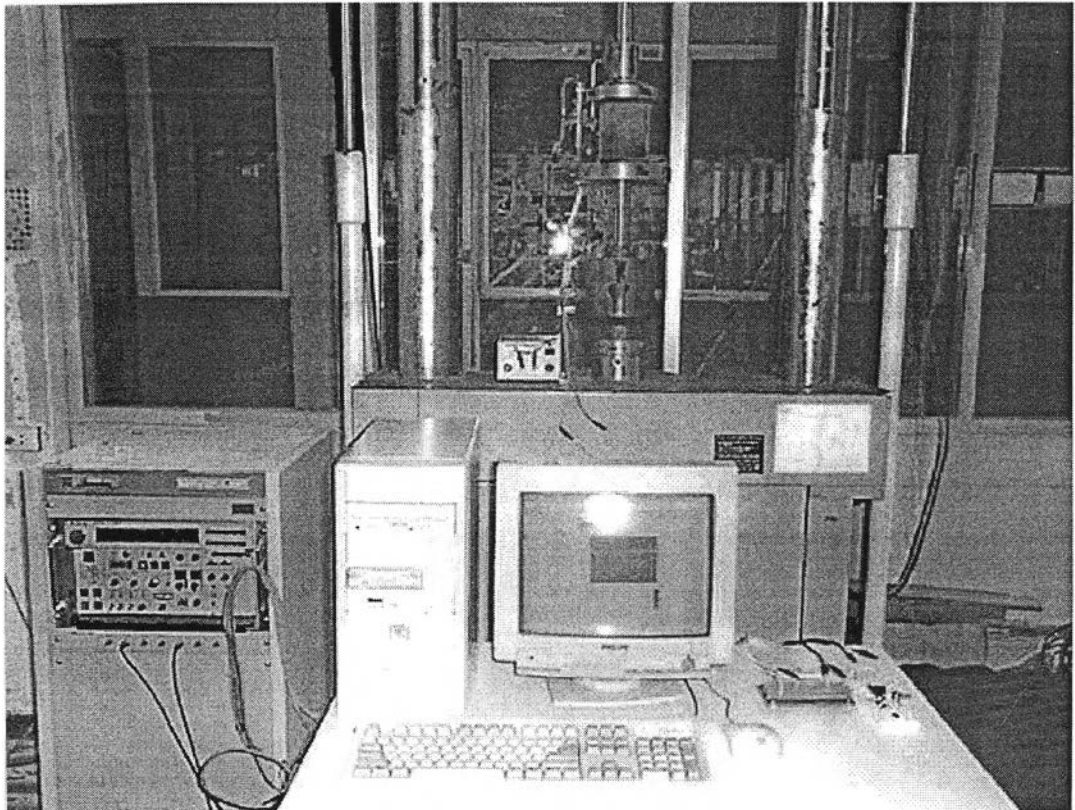
$$M_r = \sigma / \epsilon_r \quad (3.1)$$

เมื่อ M_r = Resilient Modulus (MPa)

σ = Load (MN) / Section Area of Sample (m^2)

ϵ_r = Recoverable Deformation(mm.) / High of Sample(mm.)

โดยค่า Load และค่า Recoverable Deformation ที่ใช้ในการคำนวณจะใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการLoad ตัวอย่าง 5รอบสุดท้าย



รูปที่ 3.3 ชุดอุปกรณ์ทดสอบ Repeated Load Unconfined Compressive Test

ในตารางที่ 3.3 จะสรุปประเภทการทดสอบ และจำนวนตัวอย่างที่ทำการทดสอบ สำหรับดินลูกรังผสมซีเมนต์แต่ละแหล่ง

ตารางที่ 3.3 ประเภทการทดสอบ และจำนวนตัวอย่างที่ทำการทดสอบดินลูกรังผสมซีเมนต์

ประเภทการทดสอบ	จำนวนตัวอย่าง		
	SA	PR	CB
ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดซึ่งมีปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสมต่างๆ ที่อายุบ่ม 7 วัน			
- ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 0 ของน้ำหนักดิน	5	5	5
- ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 3 ของน้ำหนักดิน	5	5	5
- ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 5 ของน้ำหนักดิน	5	5	5
- ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 7 ของน้ำหนักดิน	5	5	5
- ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 9 ของน้ำหนักดิน	5	5	5
ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุบ่มต่างๆ โดยใช้ปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสม			
- อายุบ่ม 1 วัน	5	5	5
- อายุบ่ม 7 วัน	5	5	5
- อายุบ่ม 14 วัน	5	5	5
- อายุบ่ม 28 วัน	5	5	5
ทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวด้วยการทดสอบการรับแรงอัดกระทำซ้ำ โดยใช้ปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมที่อายุบ่ม 28 วัน	30	30	30