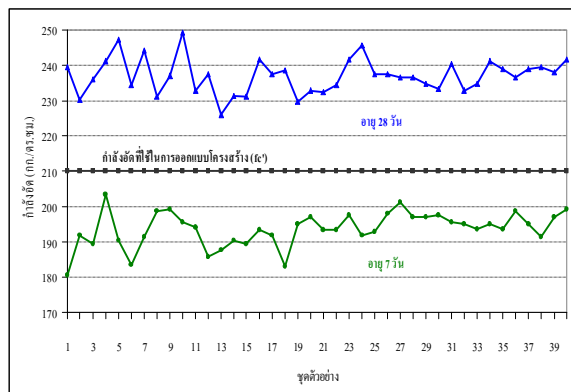
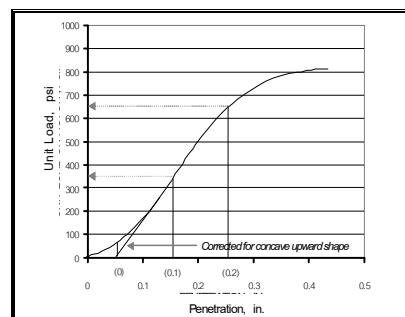


มาตรฐานการทดสอบวัสดุด้านวิศวกรรม สำหรับหน่วยงานทดสอบประจำภูมิภาค ของกรมชลประทาน



ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิศวกรรม
สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน
มิถุนายน 2552

คำนำ

การจัดทำคู่มือมาตรฐานการทดสอบวัสดุด้านวิศวกรรมสำหรับหน่วยงานทดสอบประจำภูมิภาคของกรมชลประทาน มีจุดประสงค์เพื่อสร้างมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงด้านการทดสอบวัสดุวิศวกรรมให้เป็นหนึ่งเดียวและเป็นปัจจุบันของกรมชลประทาน มาตรฐานการทดสอบฯ ในเล่มนี้ รวบรวมมาจากมาตรฐานเก่าที่เคยใช้มาในอดีตและปรับปรุงให้ทันสมัยเข้ากับภาวะปัจจุบันของมาตรฐานทางวิชาการที่มีการปรับปรุงตลอดเวลาในขอบเขตที่ห้องปฏิบัติการทดสอบประจำภูมิภาคของกรมชลประทานมีศักยภาพพอที่จะปฏิบัติงานได้ รวม 24 การทดลอง มาตรฐานการทดสอบฯ นี้ อาจจะมีข้อผิดพลาดอยู่บ้าง คณะผู้จัดทำต้องขออภัยและขอน้อมรับคำติชม ข้อเสนอแนะ เพื่อแก้ไข และปรับปรุงให้ดีขึ้น เพื่อประโยชน์สูงสุดในการนำไปปฏิบัติงานให้เกิดประสิทธิภาพต่อกรมชลประทานต่อไป

คณะผู้จัดทำ

สำนักวิจัยและพัฒนา

สารบัญ

ลำดับที่		หน้า
1	คำนำ	ก
2	สวพ.ทล.101 : การหาปริมาณความชื้น โดยให้ความร้อนโดยตรง	1
3	สวพ.ทล.102 : การหาความชื้นในดิน โดยใช้ตู้ไมโครเวฟ	5
4	สวพ.ทล.201 : การวิเคราะห์ขนาดผลของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ	9
5	สวพ.ทล.202 : การหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการดูดซึมของมวลรวมหยาบ	16
6	สวพ.ทล.203 : การหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการดูดซึมของมวลรวมละเอียด	20
7	สวพ.ทล.204 : การหาหน่วยน้ำหนักและปริมาณช่องว่างของมวลรวม	26
8	สวพ.ทล.205 : การหาอินทรีย์สารเจือปนในมวลรวมละเอียด	33
9	สวพ.ทล.206 : การหาความต้านทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องลอสเองเจลิส	37
10	สวพ.ทล.207 : การหาค่าความคงตัวของมวลรวม โดยใช้โซเดียมซัลเฟต	43
11	สวพ.ทล.208 : การการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	52
12	สวพ.ทล.209 : การทดสอบหาค่าความชื้นเหลวของคอนกรีตโดยการหาค่าการยุบตัว	63
13	สวพ.ทล.210 : การทำตัวอย่างแท่งคอนกรีตและการบ่ม	68
14	สวพ.ทล.211 : การทดสอบกำลังอัดแท่งคอนกรีต	71
15	สวพ.ทล.212 : การหาค่าเฉลี่ยกำลังอัดโดยวิธี Moving Average	78
16	สวพ.ทล.213 : การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตด้วยเครื่อง Schmidt's Hammer	85
17	สวพ.ทล.214 : การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตเจาะ	89
18	สวพ.ทล.301 : การหาขนาดผลของดินด้วยตะแกรง	94
19	สวพ.ทล.302 : การหาขนาดผลของดินด้วยไฮโดรมิเตอร์	101
20	สวพ.ทล.303 : การหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน	109

ลำดับที่		หน้า
21	สวพ.ทล.304 : การหาขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) และขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) ของดิน	117
22	สวพ.ทล.305 : การบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction) ในห้องปฏิบัติการ	125
23	สวพ.ทล.306 : การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction) ในห้องปฏิบัติการ	132
24	สวพ.ทล.307 : การหาค่า California Bearing Ratio (CBR)	139
25	สวพ.ทล.308 : การหาค่าความแน่นของวัสดุบดอัดโดยวิธีแทนที่ด้วยทราย	153

มาตรฐานการทดสอบ การหาความชื้นโดยให้ความร้อนโดยตรง

1. ขอบข่าย

เป็นการหาปริมาณน้ำ หรือความชื้น (Water Content หรือ Moisture Content) ของวัสดุ โดยวิธีการให้ความร้อนโดยตรง

2. เครื่องมือ

- 2.1 อุปกรณ์ให้ความร้อนที่ทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงกว่า 110 องศาเซลเซียส ได้ เช่น เตาไฟฟ้า เตาแก๊ส Hotplates หลอดไฟ ใต้เป่าผม เป็นต้น
- 2.2 เครื่องชั่ง มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 กรัม
- 2.3 ภาชนะใส่ตัวอย่าง ทำด้วยวัสดุทนความร้อน
- 2.4 ถังมือกันความร้อน
- 2.5 แห้งกวน ทำด้วยโลหะ เช่น Spatular มีด หรือแท่งแก้ว



รูปที่ 1 Hotplates อุปกรณ์ให้ความร้อน

3. วิธีการทดลอง

3.1 กรวด และหินย่อย

- 3.1.1 ชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 1,000 – 2,000 กรัม ใส่ลงภาชนะที่มีขนาดเหมาะสม (W_1)

3.1.2 นำตัวอย่างพร้อมภาชนะไปให้ความร้อนอย่างทั่วถึงและเท่าเทียม โดยคนหรือกวนตัวอย่างด้วยแท่งกวนเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตัวอย่างไหม้ สังเกตได้จากสีตัวอย่างที่มีความสม่ำเสมอ จนกระทั่งเห็นว่าตัวอย่างแห้งสนิท

3.1.3 นำตัวอย่างและภาชนะออกจากแหล่งให้ความร้อน ชั่งน้ำหนักขณะร้อน (ควรมีอุปกรณ์ป้องกันเครื่องชั่งที่อาจเสียหายจากความร้อน)

3.1.4 นำตัวอย่างพร้อมภาชนะไปให้ความร้อนอีกครั้งจนตัวอย่างแห้งสนิท โดยคนหรือกวนตัวอย่างด้วยแท่งกวนเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตัวอย่างไหม้

3.1.5 ให้ความร้อนจนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ (W_2) ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำ ถ้าปริมาณน้ำที่สูญหายแตกต่างมากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัวอย่างวัสดุก่อนให้ความร้อนครั้งสุดท้าย ให้ทำซ้ำเช่นเดิมอีก

3.2 ทราบ

3.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 500 – 1,000 กรัม ใส่ลงในภาชนะที่มีขนาดเหมาะสม (W_1)

3.2.2 นำตัวอย่างพร้อมภาชนะไปให้ความร้อนอย่างทั่วถึงและเท่าเทียม โดยคนหรือกวนตัวอย่างด้วยแท่งกวนเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตัวอย่างไหม้ สังเกตได้จากสีตัวอย่างที่มีความสม่ำเสมอ จนกระทั่งเห็นว่าตัวอย่างแห้งสนิท

3.2.3 นำตัวอย่างและภาชนะออกจากแหล่งให้ความร้อน ชั่งน้ำหนักขณะร้อน (ควรมีอุปกรณ์ป้องกันเครื่องชั่งที่อาจเสียหายจากความร้อน)

3.2.4 นำตัวอย่างพร้อมภาชนะไปให้ความร้อนอีกครั้งจนตัวอย่างแห้งสนิท โดยคนหรือกวนตัวอย่างด้วยแท่งกวนเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตัวอย่างไหม้

3.2.5 ให้ความร้อนจนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ (W_2) ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำ ถ้าปริมาณน้ำที่สูญหายแตกต่างมากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัวอย่างวัสดุก่อนให้ความร้อนครั้งสุดท้าย ให้ทำซ้ำเช่นเดิมอีก

3.3 ดิน

3.3.1 ชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 300 – 500 กรัม ใส่ลงในภาชนะที่มีขนาดเหมาะสม (W_1)

3.3.2 นำตัวอย่างพร้อมภาชนะไปให้ความร้อนอย่างทั่วถึงและเท่าเทียม โดยคนหรือกวนตัวอย่างด้วยแท่งกวนเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตัวอย่างไหม้ สังเกตได้จากสีตัวอย่างที่มีความสม่ำเสมอ จนกระทั่งเห็นว่าตัวอย่างแห้งสนิท

3.3.3 นำตัวอย่างและภาชนะออกจากแหล่งให้ความร้อน ชั่งน้ำหนักขณะร้อน (ป้องกันเครื่องชั่งที่อาจเสียหายจากความร้อน)

3.3.4 นำตัวอย่างพร้อมภาชนะไปให้ความร้อนอีกครั้งจนตัวอย่างแห้งสนิท โดยคนหรือกวนตัวอย่างด้วยแท่งกวนเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างไหม้

3.3.5 ให้ความร้อนจนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ (W_2) ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำ ถ้าปริมาณน้ำที่สูญหายแตกต่างมากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัวอย่างวัสดุก่อนให้ความร้อนครั้งสุดท้าย ให้ทำซ้ำเช่นเดิมอีก

4. การคำนวณ

$$4.1 \text{ ค่าปริมาณน้ำ (ความชื้น) ทั้งหมด} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

โดยที่ W_1 คือ น้ำหนักวัสดุก่อนให้ความร้อน เป็นกรัม

W_2 คือน้ำหนักวัสดุแห้ง เป็นกรัม

5. การรายงานผล

5.1 ค่าปริมาณน้ำ (ความชื้น) เป็นร้อยละ มีความละเอียดเป็นทศนิยม 1 ตำแหน่ง

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : D 4959-94

มาตรฐานการทดสอบ การหาความชื้นโดยไมโครเวฟ

1. ขอบข่าย

เป็นการหาปริมาณน้ำ หรือความชื้น (Water Content หรือ Moisture Content) ของวัสดุ โดยวิธีการอบตัวอย่างให้แห้งด้วยไมโครเวฟ

2. เครื่องมือ

- 2.1 ไมโครเวฟ (ค่าพลังงานที่เหมาะสม 700 วัตต์)
- 2.2 เครื่องชั่ง มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 กรัม
- 2.3 ภาชนะใส่ตัวอย่าง ทำจากวัสดุที่ใช้สำหรับไมโครเวฟ
- 2.4 ถูมือกันความร้อน
- 2.5 แห้งกวน ทำด้วยโลหะ เช่น Spatula มีด หรือแท่งแก้ว



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

3. วิธีการทดลอง

- 3.1 กรวด และหินย่อย
 - 3.1.1 ชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 1,000 – 2,000 กรัม (W_1)

3.1.2 อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 10 นาที นำไปชั่งน้ำหนักขณะร้อน (ควรมีอุปกรณ์ป้องกันเครื่องซึ่งที่อาจเสียหายจากความร้อน) คนวัสดุให้ทั่วด้วยแท่งกวน และเช็ดน้ำที่เกาะผนังภายในตู้ไมโครเวฟให้แห้ง

3.1.3 อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟอีกครั้งเป็นเวลา 3 นาที ชั่งน้ำหนักขณะร้อน

3.1.4 ให้ความร้อนจนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ (W_2) ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำ ถ้ามากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัวอย่างวัสดุก่อนเข้าอบครั้งสุดท้าย ต้องอบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟต่ออีก 3 นาที

3.2 ทราบ

3.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 500 – 1,000 กรัม (W_1)

3.2.2 อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 10 นาที คนวัสดุให้ทั่วด้วยแท่งกวน และเช็ดน้ำที่เกาะผนังภายในตู้ไมโครเวฟให้แห้ง

3.2.3 อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟอีก 5 นาที ชั่งน้ำหนักขณะร้อน (ควรมีอุปกรณ์ป้องกันเครื่องซึ่งที่อาจเสียหายจากความร้อน) คนวัสดุให้ทั่วด้วยแท่งกวน และเช็ดน้ำที่เกาะผนังภายในตู้ไมโครเวฟให้แห้ง

3.2.4 อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟ 3 นาที ชั่งน้ำหนักขณะร้อน

3.2.5 ให้ความร้อนจนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ (W_2) ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำ ถ้ามากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัวอย่างวัสดุก่อนเข้าอบครั้งสุดท้าย ต้องอบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟต่ออีก 3 นาที

3.3 ดิน

3.3.1 ชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 300 – 500 กรัม (W_1)

3.3.2 อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 10 นาที คนวัสดุให้ทั่วด้วยแท่งกวน และเช็ดน้ำที่เกาะผนังภายในตู้ไมโครเวฟให้แห้ง

3.3.3 อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟอีก 5 นาที ชั่งน้ำหนักขณะร้อน (ควรมีอุปกรณ์ป้องกันเครื่องซึ่งที่อาจเสียหายจากความร้อน) คนวัสดุให้ทั่วด้วยแท่งกวน และเช็ดน้ำที่เกาะผนังภายในตู้ไมโครเวฟให้แห้ง

3.3.4 อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟอีก 5 นาที ชั่งน้ำหนักขณะร้อน และเช็ดน้ำที่เกาะผนังภายในตู้ไมโครเวฟให้แห้ง

3.3.5 ให้ความร้อนจนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ (W_2) ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำ ถ้ามากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัวอย่างวัสดุก่อนเข้าอบครั้งสุดท้าย ต้องอบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟต่ออีก 3 นาที



รูปที่ 2 อบตัวอย่างทราย



รูปที่ 3 อบตัวอย่างหินย้อย

4. การคำนวณ

$$4.1 \text{ ค่าปริมาณน้ำ (ความชื้น) ทั้งหมด} = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

โดยที่ W1 คือ น้ำหนักวัสดุก่อนให้ความร้อน เป็นกรัม

W2 คือ น้ำหนักวัสดุแห้ง เป็นกรัม

5. การรายงานผล

5.1 ค่าปริมาณน้ำ (ความชื้น) เป็นร้อยละ มีความละเอียดเป็นทศนิยม 1 ตำแหน่ง

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : D 4643-93

มาตรฐานการทดสอบ

การวิเคราะห์ขนาดผลของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

1. ขอบข่าย

เป็นวิธีการทดสอบหาขนาดผล (Gradation) ขนาดโตสุด (Maximum Size) และโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) ของมวลรวม โดยการร่อนผ่านตะแกรงตามขนาดที่กำหนด

2. เครื่องมือ

2.1 เครื่องชั่ง มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 กรัม สำหรับทดสอบมวลรวมละเอียด และมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.5 กรัม สำหรับการทดสอบมวลรวมหยาบ

2.2 ตะแกรงมาตรฐาน (Standard Sieve) พร้อมด้วยถาดรอง และฝาปิด

2.3 เครื่องเขย่าตะแกรง (Mechanical Sieve Shaker)

2.4 ถูบ และ/หรือตุ้มโครเวฟ

3. วิธีการทดลอง

3.1 การหาขนาดโตสุด

การหาขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบทำได้โดยสุ่มตัวอย่างมวลรวมมาประมาณ 5 กิโลกรัม นำไปชั่งน้ำหนักแล้วร่อนผ่านตะแกรงที่ละขนาดและหาน้ำหนักที่ค้างบนตะแกรงเป็นร้อยละเริ่มจากตะแกรงขนาดใหญ่ไปหาขนาดเล็ก เมื่อมวลรวมค้างบนตะแกรงเท่ากับร้อยละ 15 ขนาดโตสุดของมวลรวมคือขนาดของตะแกรงนั้น ถ้ามากกว่าร้อยละ 15 ขนาดโตสุดของมวลรวมคือขนาดของตะแกรงที่ใหญ่กว่าหนึ่งขนาด แต่ถ้าน้อยกว่าร้อยละ 15 จะต้องใช้ตะแกรงขนาดเล็กกว่าหนึ่งขนาดร่อนตัวอย่างมวลรวมต่อไปจนกว่าจะมีมวลรวมค้างบนตะแกรงไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 แล้วพิจารณาว่ามวลรวมมีขนาดโตสุดเป็นเท่าใดด้วยหลักเกณฑ์ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

3.2 การสุ่มตัวอย่าง

3.2.1 สุ่มเก็บตัวอย่างจากสนามประมาณ 4 เท่าของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโตสุดของมวลรวม ดังแสดงในตารางที่ 1

3.2.2 คลุกเคล้าตัวอย่างให้เข้ากัน จากนั้นลดปริมาณตัวอย่างที่ใช้ทดสอบลงให้เหลือตามปริมาณที่กำหนดตามตารางที่ 1

3.2.3 ตัวอย่างมวลรวมละเอียดให้ใช้ปริมาณทดสอบเมื่อแห้งต่ำสุด 300 กรัม (เพื่อความเหมาะสม ในการทดสอบควรใช้ปริมาณ 500 กรัม แล้วตรวจสอบตามข้อ 3.3.3.1 ถ้ามีมวลรวมค้างบนตะแกรงเกินกว่า 200 กรัม ให้ใช้ปริมาณในการทดสอบ 300 กรัม)

3.2.4 ตัวอย่างมวลรวมหยาบให้ใช้ปริมาณทดสอบเมื่อแห้งตามที่กำหนดตามตารางที่ 1

3.2.5 ตัวอย่างมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบผสมกันให้ใช้ปริมาณทดสอบเมื่อแห้งตามที่กำหนดตามตารางที่ 1 เช่นเดียวกับการทดสอบมวลรวมหยาบ

ตารางที่ 1 ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ทดสอบขนาดละเอียดแยกตามขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ

ขนาดโตสุดของมวลรวม หยาบ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ กิโลกรัม
$\frac{3}{8}$ (9.51)	1
$\frac{1}{2}$ (12.7)	2
$\frac{3}{4}$ (19.0)	5
1 (25.4)	10
$1\frac{1}{2}$ (38.1)	15
2 (50.8)	20
$2\frac{1}{2}$ (64.0)	35
3 (76.1)	60
$3\frac{1}{2}$ (91.4)	100
4 (100)	150
5 (125)	300

3.3 การทดสอบ

3.3.1 อบตัวอย่างให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักไว้

3.3.2 เลือกขนาดตะแกรงให้เหมาะสมกับขนาดของมวลรวม นำตะแกรงมาเรียงซ้อนกันโดยให้ตะแกรงที่มีช่องใหญ่กว่าอยู่ด้านบน แล้วเรียงขนาดเล็กลงมาตามลำดับจนถึงตะแกรงขนาดเล็กลที่สุดและถาดรอง (Pan) ติดตั้งตะแกรงทั้งหมดกับเครื่องเขย่าตะแกรง เทมวลรวมลงในตะแกรงชั้นบนสุด ปิดฝาและยึดให้แน่น

3.3.3 เพื่อให้ผลการทดสอบมีความถูกต้องยิ่งขึ้น เมื่อเขย่าตะแกรงเสร็จสิ้น ปริมาณของตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรงต้องไม่เกินกว่าที่กำหนดดังนี้

3.3.3.1 ตะแกรงขนาดช่องเปิดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร (ตะแกรงเบอร์ 4) ต้องมีมวลรวมค้างบนตะแกรงได้ไม่เกิน 7 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งถ้าหากทดสอบโดยใช้ตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว จะมีมวลรวมค้างบนตะแกรงได้สูงสุด 200 กรัม

3.3.3.2 ตะแกรงขนาดช่องเปิดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร (ตะแกรงเบอร์ 4) ต้องมีมวลรวมค้ำบนตะแกรงได้ไม่เกินผลจากการคำนวณ $2.5 \times$ (ขนาดช่องเปิด เป็น มิลลิเมตร) $\times$ (พื้นที่ประสิทธิผลของตะแกรง เป็นตารางเมตร) ค่าที่คำนวณได้ดังแสดงไว้ใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณวัสดุสูงสุดที่ยอมให้ค้ำบนตะแกรงแต่ละขนาด เป็นกิโลกรัม

ขนาด ช่องเปิด (มิลลิเมตร)	ขนาด ตะแกรง	ตะแกรง				
		Ø8 นิ้ว	Ø10 นิ้ว	Ø12 นิ้ว	14x14 นิ้ว	16x24 นิ้ว
		พื้นที่ตะแกรง (ตารางเมตร)				
		0.0285	0.0457	0.0670	0.1225	0.2158
125	5 นิ้ว	-	-	-	-	67.4
100	4 นิ้ว	-	-	-	30.6	53.9
90	3½ นิ้ว	-	-	15.1	27.6	48.5
75	3 นิ้ว	-	8.6	12.6	23.0	40.5
63	2½ นิ้ว	-	7.2	10.6	19.3	34.0
50	2 นิ้ว	3.6	5.7	8.4	15.3	27.0
37.5	1½ นิ้ว	2.7	4.3	6.3	11.5	20.2
25.0	1 นิ้ว	1.8	2.9	4.2	7.7	13.5
19.0	¾ นิ้ว	1.4	2.2	3.2	5.8	10.2
12.5	½ นิ้ว	0.89	1.4	2.1	3.8	6.7
9.5	⅜ นิ้ว	0.67	1.1	1.6	2.9	5.1
4.75	เบอร์ 4	0.33	0.54	0.8	1.5	2.6

3.3.4 เดินเครื่องเขย่าตะแกรงจนมวลรวมที่ค้ำบนตะแกรงไม่ลอดผ่านไปยัง ตะแกรงชั้นถัดไป โดยหลังจากการทดลองเสร็จสิ้นต้องตรวจสอบดูว่าจะต้องไม่มีวัสดุผ่าน ตะแกรงแต่ละขนาดเกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เมื่อเทียบกับปริมาณวัสดุที่ค้ำบนแต่ละตะแกรง ซึ่งทำได้โดยร่อนวัสดุด้วยการเขย่าตะแกรงแต่ละขนาดด้วยมืออย่างต่อเนื่องติดต่อกันเป็นเวลา 1 นาที

3.3.5 ในกรณีที่มีวัสดุขนาดเดียวกันกระจุกตัวอยู่บนตะแกรง 2 หรือ 3 ขนาด ให้ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ครั้ง เพื่อป้องกันตะแกรงรับน้ำหนักมากเกินไป



รูป 1.1 ติดตั้งตะแกรงกับเครื่องเขย่า ใส่
ตัวอย่างที่เตรียมไว้ลงไป



รูปที่ 1.2 เดินเครื่องเขย่า



รูปที่ 1.3 แยกตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรง
ออกจากตะแกรง



รูปที่ 1.4 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ค้างตะแกรง
แต่ละขนาด

รูปที่ 1 การทดสอบขนาดละเอียดมวลรวมละเอียดด้วยเครื่องเขย่า



รูป 2.1 ติดตั้งตะแกรงกับเครื่อง ใส่ตัวอย่าง
ที่เตรียมไว้ลงไป



รูปที่ 2.2 เดินเครื่องเขย่า



รูปที่ 2.3 แยกตัวอย่างที่ค้างแต่ละตะแกรง
ออกจากตะแกรง



รูปที่ 2.4 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ค้างตะแกรง
แต่ละขนาด

รูปที่ 2 การทดสอบขนาดผลรวมรวมหยาบด้วยเครื่องเขย่า

4. การคำนวณ

$$4.1 \text{ ร้อยละน้ำหนักร้อยบนตะแกรง} = \frac{\text{น้ำหนักรวมค้างแต่ละตะแกรง}}{\text{น้ำหนักรวมทั้งหมด}} \times 100$$

$$4.2 \text{ ร้อยละน้ำหนักค้ำบนตะแกรงสะสม} = \frac{\text{ผลบวกสะสมค่าร้อยละน้ำหนักร้อยละน้ำหนักค้ำบนตะแกรง}}{\text{ตะแกรง}}$$

$$4.3 \text{ ร้อยละน้ำหนักผ่านตะแกรง} = 100 - \text{ร้อยละน้ำหนักร้อยละน้ำหนักค้ำบนตะแกรงสะสม}$$

4.4 โมดูลัสความละเอียด (F.M.)

ค่าโมดูลัสความละเอียดคือค่าร้อยละสะสมของมวลรวมที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 100 และหยาบกว่า หาด้วย 100 โดยใช้ค่าร้อยละน้ำหนักร้อยละน้ำหนักค้ำบนตะแกรงสะสมที่มีขนาดช่องเปิดโตขึ้นเป็น 2 เท่า ได้แก่ เบอร์ 100, เบอร์ 50, เบอร์ 30, เบอร์ 16, เบอร์ 8, เบอร์ 4, $\frac{3}{8}$, $\frac{3}{4}$, $1\frac{1}{2}$, 3 และ 6 นิ้ว ตามลำดับ

5. การรายงานผล

5.1 ค่าร้อยละของมวลรวมผ่านตะแกรง มีความละเอียดเป็นทศนิยม 1 ตำแหน่ง

5.2 ค่าโมดูลัสความละเอียด ไม่มีหน่วย โดยมีความละเอียดเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 136-05

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.201/2551

Project _____	Feature _____
Laboratory No. _____	Source _____
Tested by _____	Date _____
Checked by _____	Date _____

GRADATION OF COARSE AGGREGATE TEST TEST				
ขนาดตะแกรง	น้ำหนักค้าง กรัม	ร้อยละน้ำหนัก ค้าง %	ร้อยละน้ำหนัก ค้างสะสม %	ร้อยละน้ำหนัก ผ่านตะแกรง %
1½"	0	0	0	100.0
1"	1,080.0	10.71	10.71	89.3
¾"	5,810.5	57.64	68.35	31.6
½"	2,320.5	23.02	91.37	8.6
⅜"	560.0	5.56	96.93	3.1
No.4	140.3	1.39	98.32	1.7
No.8	80.1	0.79	99.11	0.9
No.16	50.7	0.50	99.62	0.4
No.30	0.0	0.00	99.62	0.4
No.50	0.0	0.00	99.62	0.4
No.100	0.0	0.00	99.62	0.4
Pan	38.8	0.38	100.00	-
Total	10,080.9	0	0	

$$\text{พิกัดความละเอียด} = \frac{(99.62+99.62+99.62+99.62+99.11+98.32+96.93+68.35+0)/100}{= 7.61}$$

$$\text{ขนาดโตสุด} = 1 \text{ นิ้ว}$$

มาตรฐานการทดสอบ

การหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

1. ขอบข่าย

เป็นการทดสอบหาค่าหาความหนาแน่น (Density) ที่ไม่รวมปริมาตรช่องว่างระหว่างอนุภาค และค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity or Relative Density) แบบต่างๆ รวมถึงค่าการดูดซึม (Absorption) ของมวลรวมหยาบ

2. เครื่องมือ

2.1 เครื่องชั่งแบบมีแกนสำหรับยึดจับภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่าง สามารถชั่งได้ละเอียด 0.5 กรัม

2.2 ตู้อบ หรือตู้อบไมโครเวฟ

2.3 ภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่าง เป็นตะกร้าถักด้วยเส้นลวด มีขนาดตาข่ายไม่ใหญ่กว่า 3.35 มิลลิเมตร (เบอร์ 6) หรือเป็นถังที่มีความกว้างเท่ากับความลึก มีปริมาตรระหว่าง 4 ถึง 7 ลิตร

2.4 ป้อน้ำ หรือถังบรรจุน้ำ

2.5 ตะแกรงเบอร์ 4 ขนาดช่องเปิด 4.75 มิลลิเมตร

3. วิธีการทดลอง

3.1 นำมวลรวมหยาบที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) ด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง หรือสุ่มตัวอย่างด้วยการแบ่งสี่ (Quartering) มาร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 4 นำส่วนที่ค้างมา ประมาณ 5 กิโลกรัม แล้วนำมาแช่น้ำไว้ 24 ± 4 ชั่วโมง

2. นำตัวอย่างที่แช่ไว้ในน้ำขึ้นมาเช็ดด้วยผ้าแห้งที่ดูดซับน้ำได้ดีที่ละก้อนจนผิวแห้งอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated-Surface-Dry : SSD) ชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าไว้ (B)

3. นำตัวอย่างใส่ในภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่าง ติดตั้งกับเครื่องชั่ง แล้วชั่งน้ำหนักในน้ำ และต้องให้ทั้งภาชนะและตัวอย่างจมอยู่ในน้ำขณะชั่ง ก่อนชั่งควรสั่นตะกร้าเบาๆ เพื่อไล่อากาศ บันทึกค่าไว้ (C)

4. อบตัวอย่างให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่ (Oven-Dry : OD) ปลอ่ยให้เย็นแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกค่าไว้ (A)



รูปที่ 1 สุ่มตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง

รูปที่ 2 เช็ดตัวอย่างที่แช่น้ำไว้ให้มีสภาพ
อิมตัวผิวแห้ง

รูปที่ 3 ชั่งตัวอย่างในน้ำ



รูปที่ 4 อบตัวอย่างให้แห้ง

4. การคำนวณ

4.1 ความถ่วงจำเพาะ

$$4.1.1 \text{ ความถ่วงจำเพาะ (อบแห้ง, OD)} = \frac{A}{(B - C)}$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักตัวอย่างอบแห้งซึ่งในอากาศ เป็นกรัม

B คือ น้ำหนักตัวอย่างสภาพอิมตัวผิวแห้งซึ่งในอากาศ เป็นกรัม

C คือ น้ำหนักตัวอย่างสภาพอิมตัวซึ่งในน้ำ เป็นกรัม

$$4.1.2 \text{ ความถ่วงจำเพาะ (อิมตัวผิวแห้ง, SSD)} = \frac{B}{(B - C)}$$

$$4.1.3 \text{ ความถ่วงจำเพาะ (ปรากฏ, Apparent)} = \frac{A}{(A - C)}$$

4.2 ความหนาแน่น

$$4.2.1 \text{ ความหนาแน่น (อบแห้ง, OD)} = 997.5 \cdot \frac{A}{(B - C)}$$

$$4.2.2 \text{ ความหนาแน่น (อิมั้วผิวแห้ง, SSD)} = 997.5 \cdot \frac{B}{(B - C)}$$

$$4.2.3 \text{ ความหนาแน่น (ปรากฏ, Apparent)} = 997.5 \cdot \frac{A}{(A - C)}$$

$$4.3 \text{ ค่าการดูดซึม} = 100 \cdot \frac{(B - A)}{A}$$

5. การรายงานผล

5.1 ค่าความถ่วงจำเพาะ ไม่มีหน่วย มีความละเอียดเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง

5.2 ค่าความหนาแน่น เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นจำนวนเต็ม

5.3 ค่าการดูดซึม เป็นร้อยละ มีความละเอียดเป็นทศนิยม 1 ตำแหน่ง

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 127-01

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.202 /2551

Project _____	Feature _____
Laboratory No. _____	Source _____
Tested by _____	Date _____
Checked by _____	Date _____

DENSITY, SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION OF COARSE AGGREGATE TEST			
Determination No.	1	2	3
น้ำหนักถาด (ก.)			
น้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง + ถาด (ก.)			
น้ำหนักตัวอย่างสภาพอิ่มตัวผิวแห้งซึ่งในอากาศ + ถาด (ก.)			
น้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง (OD) (ก.) (A)	3,825		
น้ำหนักตัวอย่างสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ซึ่งในอากาศ (ก.) (B)	3,843		
น้ำหนักตัวอย่างสภาพอิ่มตัว ซึ่งในน้ำ (ก.) (C)	2,425		
น้ำหนัก B-C (ก.)	1,418		
น้ำหนัก A-C (ก.)	1,400		
น้ำหนัก B-A (ก.)	18		
ค่าความถ่วงจำเพาะ (อบแห้ง, OD)	2.70		
ค่าความถ่วงจำเพาะ (อิ่มตัวผิวแห้ง, SSD)	2.71		
ค่าความถ่วงจำเพาะ (ปรากฏ, Apparent)	2.73		
ค่าความหนาแน่น (อบแห้ง, OD) (กก./ลบ.ม.)	2,693.2		
ค่าความหนาแน่น (อิ่มตัวผิวแห้ง, SSD) (กก./ลบ.ม.)	2,703.2		
ค่าความหนาแน่น (ปรากฏ, Apparent) (กก./ลบ.ม.)	2,723.2		
ค่าการดูดซึม (ร้อยละ)	0.47		

มาตรฐานการทดสอบ
การหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึม
ของมวลรวมละเอียด

1. ขอบข่าย

เป็นการทดสอบหาค่าหาความหนาแน่น (Density) ที่ไม่รวมปริมาตรช่องว่างระหว่างอนุภาค และค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) แบบต่างๆ รวมถึงค่าการดูดซึม (Absorption) ของมวลรวมละเอียด

2. เครื่องมือ

- 2.1 เครื่องชั่ง ชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม
- 2.2 ถูบ หรือตู้ไมโครเวฟ
- 2.3 เครื่องเป่าลม
- 2.4 ขวดพิกโนมิเตอร์ (Pycnometer) หรือกระบอกตวง มีขนาดความจุ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร
- 2.5 แบบกรวยโลหะปลายตัด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบน 40±3 มิลลิเมตร ด้านล่าง 90±3 มิลลิเมตร สูง 75±3 มิลลิเมตร และมีความหนาอย่างน้อย 0.8 มิลลิเมตร
- 2.6 แท่งดำโลหะ (Tamper) น้ำหนัก 340±15 กรัม มีหน้าตัดวงกลมแบนเส้นผ่านศูนย์กลาง 25±3 มิลลิเมตร



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

3. วิธีการทดลอง

3.1 นำมวลรวมละเอียดประมาณ 1,000 กรัม ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) ด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง หรือสุ่มตัวอย่างด้วยการแบ่งสี่ (Quartering) มาแช่น้ำไว้ 24 ± 4 ชั่วโมง

3.2 นำตัวอย่างที่แช่น้ำไว้แล้วมาเกลี่ยกระจายบนพื้นเรียบที่ไม่ดูดซึมน้ำ พลิกตัวอย่างกลับไปกลับมา หรืออาจใช้เครื่องเป่าลม (เช่นเครื่องเป่าผมที่ใช้เฉพาะลมเย็น) เป่าให้ตัวอย่างสม่ำเสมอเพื่อกำจัดน้ำส่วนเกินให้ออกไปเร็วขึ้น จนกระทั่งตัวอย่างอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturate-Surface-Dry) ซึ่งตรวจสอบได้โดยนำตัวอย่างใส่แบบกรวยโลหะที่วางอยู่บนพื้นเรียบและไม่ดูดน้ำ จากนั้นใช้แท่งตำโลหะตบกระแทกตัวอย่างจำนวน 25 ครั้ง (เติมวัสดุจนล้น ปล่อย



รูปที่ 2 แบ่งตัวอย่างทรายด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง รูปที่ 3 ใส่ตัวอย่างทรายลงในกรวย



รูปที่ 4 ใช้แท่งตำโลหะตบกระแทกตัวอย่าง
จำนวน 25 ครั้ง

รูปที่ 5 ลักษณะรูปทรงทรายเมื่อมี
สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง

แท่งดำตกกระทบบ 10 ครั้ง เติมวัสดุจนล้นปล่อยเหล็กกระท่งตกกระทบบอีก 10 ครั้ง ใช้มือหุ้มปากแบบรูปกรวยเติมวัสดุลงในอุ้งมือแล้วปล่อยเหล็กกระท่งตกกระทบบอีก 5 ครั้ง) โดยถือแท่งดำให้ปลายอยู่เหนือผิวตัวอย่างประมาณ 5 มิลลิเมตร ปล่อยลงด้วยน้ำหนักตัวเอง เมื่อครบแล้วปาดผิวหน้าให้เรียบเสมอขอบ และกำจัดตัวอย่างที่ตกหล่นรอบแบบกรวยออกก่อนยกกรวยขึ้นตรงๆ ในแนวตั้ง ถ้าตัวอย่างยังมีน้ำที่ผิวอยู่ ตัวอย่างจะยังคงรูปกรวยไว้ได้ ให้กำจัดน้ำส่วนเกินต่อไป แต่ถ้าหากตัวอย่างเริ่มพังทลายโดยอิสระไม่เป็นรูปกรวยแสดงว่าตัวอย่างถึงจุดอิ่มตัวผิวหน้าแห้งแล้ว

3.3 ชั่งตัวอย่างที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งหนัก 500 ± 10 กรัม (S) ใส่ลงในขวดพิกโนมิเตอร์ หรือกระบอกตวงแทนได้ เติมน้ำลงในขวดให้มีปริมาตรร้อยละ 90 ของความจุ แล้วทำการไล่ฟองอากาศในตัวอย่างออกให้หมด เติมน้ำลงไปอีกจนถึงขีด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักไว้ (C)



รูปที่ 6 ใส่ตัวอย่างทรายลงในกระบอกตวง
เติมน้ำ และไล่ฟองอากาศออก



รูปที่ 7 เติมน้ำให้ถึงขีด 500 ลบ.ซม.
และชั่งน้ำหนักไว้

3.4 เทตัวอย่างออกจากขวดพิกโนมิเตอร์ หรือกระบอกตวง ทำให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่ด้วยตู้อบหรือตู้อบไมโครเวฟ จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา $1 \pm 1/2$ ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักไว้ (A)

3.5 หาน้ำหนักของขวดพิกโนมิเตอร์หรือกระบอกตวงที่เติมน้ำจนถึงขีด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร (B)



รูปที่ 8 เทตัวอย่างออกจากกระบอกตวง



รูปที่ 9 อบตัวอย่างให้แห้งก่อนชั่งน้ำหนัก

4. การคำนวณ

4.1 ความถ่วงจำเพาะ

$$4.1.1 \text{ ความถ่วงจำเพาะ (อบแห้ง, OD)} = \frac{A}{(B + S - C)}$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักตัวอย่างสภาพอบแห้ง เป็นกรัม

B คือ น้ำหนักขวดพิกโนมิเตอร์ หรือกระบอกตวงที่เติมน้ำจนถึงขีดที่กำหนด (500 ลูกบาศก์เซนติเมตร) เป็นกรัม

C คือ น้ำหนักขวดพิกโนมิเตอร์ หรือกระบอกตวงที่ใส่ตัวอย่างและเติมน้ำจนถึงขีดที่กำหนด (500 ลูกบาศก์เซนติเมตร) เป็นกรัม

S คือ น้ำหนักตัวอย่างสภาพอิมตัวผิวแห้ง เป็นกรัม

$$4.1.2 \text{ ความถ่วงจำเพาะ (อิมตัวผิวแห้ง, SSD)} = \frac{S}{(B + S - C)}$$

$$4.1.3 \text{ ความถ่วงจำเพาะ (ปรากฏ, Apparent)} = \frac{A}{(B + A - C)}$$

4.2 ความหนาแน่น

$$4.2.1 \text{ ความหนาแน่น (อบแห้ง, OD)} = 997.5 \frac{A}{(B + S - C)}$$

$$4.2.2 \text{ ความหนาแน่น (อิมตัวผิวแห้ง, SSD)} = 997.5 \frac{S}{(B + S - C)}$$

$$4.2.3 \text{ ความหนาแน่น (ปรากฏ, Apparent)} = 997.5 \frac{A}{(B + A - C)}$$

4.3 ค่าการดูดซึม

$$\text{ค่าการดูดซึม} = 100 \cdot \frac{(S - A)}{A}$$

5. การรายงานผล

- 5.1 ค่าความถ่วงจำเพาะ ไม่มีหน่วย มีความละเอียดเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 5.2 ค่าความหนาแน่น เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เป็นจำนวนเต็ม
- 5.3 ค่าการดูดซึม เป็นร้อยละ มีความละเอียดเป็นทศนิยม 1 ตำแหน่ง

6. เอกสารอ้างอิง

- 6.1 American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 128-01

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.203 /2551

Project _____	Feature _____
Laboratory No. _____	Source _____
Tested by _____	Date _____
Checked by _____	Date _____

DENSITY, SPECIFIC GRAVITY AND ABSORPTION OF FINE AGGREGATE TEST			
Determination No.	1	2	3
น้ำหนักถาด (ก.)	-		
น้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง + ถาด (ก.)	-		
น้ำหนักตัวอย่างสภาพอิ่มตัวผิวแห้งซึ่งในอากาศ + ถาด (ก.)	-		
น้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง (OD) (ก.) (A)	495.4		
น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ หรือกระบอกตวงที่เติมน้ำจนถึงขีดที่กำหนด (500 ลบ.ซม.) (ก.) (B)	856.8		
น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ หรือกระบอกตวงที่ใส่ตัวอย่างและเติมน้ำจนถึงขีดที่กำหนด (500 ลบ.ซม.) (ก.) (C)	1,164.4		
น้ำหนักตัวอย่างสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) (ก.) (S)	500.0		
น้ำหนัก (B+S-C) (ก.)	192.4		
น้ำหนัก (B+A-C) (ก.)	187.8		
น้ำหนัก (S-A) (ก.)	4.6		
ค่าความถ่วงจำเพาะ (อบแห้ง, OD)	2.57		
ค่าความถ่วงจำเพาะ (อิ่มตัวผิวแห้ง, SSD)	2.60		
ค่าความถ่วงจำเพาะ (ปรากฏ, Apparent)	2.64		
ค่าความหนาแน่น (อบแห้ง, OD) (กก./ลบ.ม.)	2,563.6		
ค่าความหนาแน่น (อิ่มตัวผิวแห้ง, SSD) (กก./ลบ.ม.)	2,593.5		
ค่าความหนาแน่น (ปรากฏ, Apparent) (กก./ลบ.ม.)	2,633.4		
ค่าการดูดซึม (ร้อยละ)	0.92		

มาตรฐานการทดสอบ การหาหน่วยน้ำหนักและปริมาณช่องว่างของมวลรวม

1. ขอบข่าย

เป็นวิธีการทดสอบเพื่อหาหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) แบบหลวม (Loose Condition) หรือแบบอัดแน่น (Compacted Condition) และปริมาณช่องว่าง (Voids) ของมวลรวมที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 6 นิ้ว

2. เครื่องมือ

2.1 เครื่องชั่ง (Balance) มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 20 กรัม

2.2 เหล็กกระทุ้ง (Tamping Rod) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\frac{5}{8}$ นิ้ว (16 มิลลิเมตร)

ยาว 24 นิ้ว (600 มิลลิเมตร) ปลายกลมมน

2.3 ถังตวง (Measure) ทำด้วยโลหะรูปทรงกระบอก มีที่จับ น้ำไม่รั่ว จากปากถึงกัน เรียบตรงกัน และพื้นผิวมีความทนทานต่อแรงกระแทกและการขัดสี ถังตวงควรมีความสูงเท่ากับ เส้นผ่านศูนย์กลาง แต่ถังตวงที่มีความสูงมากกว่า 0.80 เท่า แต่ไม่เกิน 1.50 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางอนุโลมให้ใช้ได้ โดยขนาดความจุของถังตวงที่ใช้ทดสอบให้เป็นไปตามตารางที่ 1 ซึ่ง ขึ้นกับขนาดโตสุดของมวลรวม

2.4 พลั่วหรือช้อนตัก (Shovel or Scoop) มีขนาดเหมาะสมในการโรยตัวอย่างลงใน ถังตวง

2.5 เหล็กสำหรับปาดตัวอย่าง (Straightedge)

2.6 ตู้อบ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส หรือตู้ไมโครเวฟ

2.7 อุปกรณ์สอบเทียบ (Calibration Equipment) ประกอบด้วย แผ่นกระจกหนาไม่ น้อยกว่า $\frac{1}{4}$ นิ้ว (6 มิลลิเมตร) และมีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของถังตวงที่จะสอบเทียบ ไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว (25 มิลลิเมตร) และจารบี (Grease) ที่สามารถใช้ทาตามขอบของถังตวงเพื่อ ป้องกันน้ำรั่วซึมได้



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

3. วิธีการทดลอง

3.1 ตัวอย่างทดสอบ

ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ทดสอบควรมีจำนวนระหว่าง 1.25 ถึง 2.00 เท่าของปริมาณตัวอย่างเมื่อใส่เต็มถึงตวง และต้องอบตัวอย่างให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่ก่อนการทดสอบ นอกจากนี้ควรหลีกเลี่ยงการทำใดๆ ที่ทำให้ตัวอย่างเกิดการแยกตัว (Segregation)

ตารางที่ 1 ความจุของถังตวงที่เหมาะสมกับขนาดโตสุดของมวลรวม

ขนาดโตสุดของมวลรวม		ความจุของถังตวง ลิตร (ลูกบาศก์เมตร)
นิ้ว	มิลลิเมตร	
$\frac{1}{2}$	12.5	2.8 (0.0028)
1	25.0	9.3 (0.0093)
$1\frac{1}{2}$	37.5	14 (0.014)
3	75	28 (0.028)
$4\frac{1}{2}$	112	70 (0.070)
6	150	100 (0.100)

3.2 การสอบเทียบถังตวง

3.2.1 ใส่ น้ำ ที่อุณหภูมิห้องลงในถังตวงจนเต็ม ใช้แผ่นกระจกปิดปากถังตวงโดยกำจัดน้ำส่วนเกินและฟองอากาศออกให้หมด

3.2.2 หาน้ำหนักน้ำในถังตวง โดยชั่งด้วยเครื่องชั่ง

3.2.3 วัดอุณหภูมิน้ำเพื่อหาค่าความหนาแน่นของน้ำตามตารางที่ 2

3.2.4 คำนวณปริมาตรของถังตวง ด้วยการหารน้ำหนักของน้ำที่ใส่เต็มถังตวงด้วยความหนาแน่นของน้ำนั้น

3.2.5 ถังตวงควรมีการสอบเทียบอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง หรือเมื่อเกิดข้อสงสัยในความถูกต้องหลังจากการสอบเทียบ

ตารางที่ 2 ความหนาแน่นของน้ำ

อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	ความหนาแน่น กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร	อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	ความหนาแน่น กิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร
20	998	30	996
21	998	31	995
22	998	32	995
23	998	33	995
24	997	34	994
25	997	35	994
26	997	36	994
27	997	37	993
28	996	38	993
29	996	39	992

3.3 การทดสอบ

การทดสอบหน่วยน้ำหนักของมวลรวมแบ่งออกเป็น การทดสอบแบบหลวม และแบบอัดแน่น โดยการทดสอบแบบอัดแน่นแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบตามวิธีการทำให้แน่นคือ ใช้การกระทุ้ง (Roding Procedure) ซึ่งใช้ทดสอบมวลรวมที่มีขนาดโตสุด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว (37.5 มิลลิเมตร) หรือเล็กกว่า และใช้การกระแทก (Jigging Procedure) ที่ใช้ทดสอบมวลรวมที่มีขนาดโตสุดใหญ่กว่า $1\frac{1}{2}$ นิ้ว (37.5 มิลลิเมตร) แต่ต้องไม่ใหญ่กว่า 6 นิ้ว (150 มิลลิเมตร)

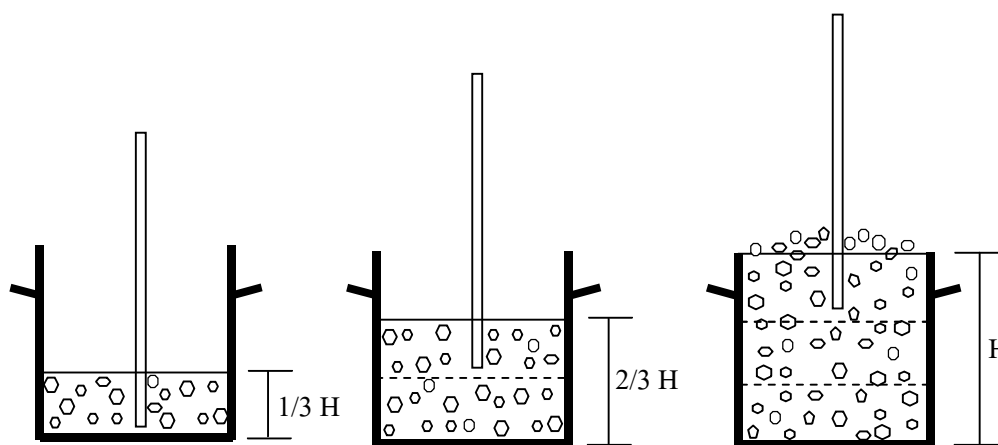
3.3.1 การทดสอบหน่วยน้ำหนักและปริมาณช่องว่างแบบอัดแน่นโดยใช้เหล็กกระทุ้ง

3.3.1.1 ใส่ตัวอย่างมวลรวมให้ถึงระดับ $\frac{1}{3}$ ของความจุถังตวง กระทุ้งมวล

รวมให้ทั่วจำนวน 25 ครั้ง ใส่มวลรวมเพิ่มจนถึงระดับ $\frac{2}{3}$ ของความจุถังตวง กระทุ้งมวลรวมให้ทั่วอีก 25 ครั้ง จากนั้นใส่มวลรวมให้เต็มจนล้น แล้วกระทุ้งมวลรวมให้ทั่วอีก 25 ครั้ง ปรับระดับมวลรวมให้เรียบเสมอขอบถังตวงด้วยเหล็กสำหรับปาดตัวอย่าง และจัดให้มวลรวมที่อยู่ผิวหน้ามีช่องว่างใกล้เคียงกับที่อยู่ภายในถังตวง

3.3.1.2 การกระทุ้งมวลรวมในชั้นแรกไม่อนุญาตให้เหล็กกระทุ้งกระแทกกับก้นถังตวง และการกระทุ้งในชั้นถัดไปให้กระทุ้งอย่างแรงเต็มที่ แต่ไม่แรงเกินไปจนเหล็กกระทุ้งทะลุเลยชั้นมวลรวมถัดลงไป ดังแสดงในรูปที่ 2

3.3.1.3 ชั่งน้ำหนักของมวลรวมพร้อมถังตวง บันทึกค่าไว้



(ก) การกระทุ้งชั้นที่ 1

(ข) การกระทุ้งชั้นที่ 2

(ค) การกระทุ้งชั้นที่ 3

รูปที่ 2 ระดับการใส่ตัวอย่างมวลรวม และการทำให้แน่นโดยใช้การกระทุ้ง

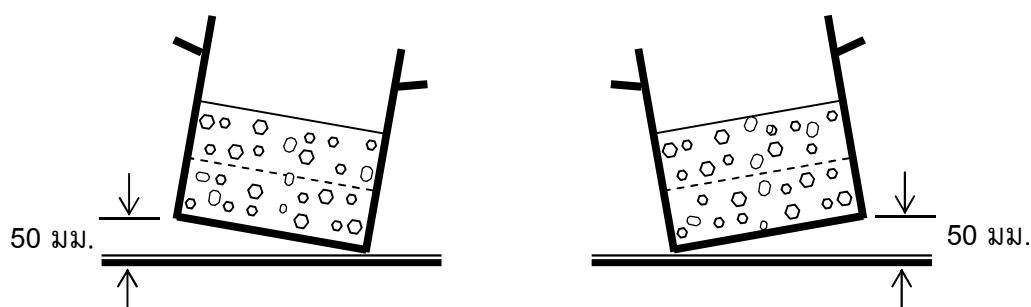
3.3.2 การทดสอบหน่วยน้ำหนักและปริมาณช่องว่างแบบอัดแน่นโดยใช้การกระแทก

3.3.2.1 ใส่ตัวอย่างมวลรวมแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่าๆ กัน เช่นเดียวกับข้อ

3.3.1.1 ทำตัวอย่างมวลรวมแต่ละชั้นให้แน่นโดยวางถังตวงบนพื้นที่มีความมั่นคงแข็งแรง เช่น พื้นคอนกรีต ยกถังตวงขึ้นเพียงด้านเดียวสูงประมาณ 2 นิ้ว (50 มิลลิเมตร) จากนั้นปล่อยถังตวงให้ตกกระแทกพื้นอย่างอิสระเป็นจำนวน 25 ครั้ง และยกถังตวงอีกด้านหนึ่งแล้วปล่อยให้ตกกระแทกพื้นอย่างอิสระจำนวน 25 ครั้ง เท่ากัน ซึ่งจะทำให้มวลรวมมีสภาพแน่น หลังจาก

กระแทกชั้นสุดท้ายเสร็จ ปรับระดับมวลรวมให้เรียบเสมอขอบถังด้วยเหล็กสำหรับปาดตัวอย่าง และจัดให้มวลรวมที่อยู่ผิวหน้ามีช่องว่างใกล้เคียงกับที่อยู่ภายในถังตวง

3.3.2.2 ชั่งน้ำหนักของมวลรวมพร้อมถังตวง บันทึกค่าไว้



รูปที่ 3 การทำให้แน่นโดยใช้การกระแทก

3.3.3 การทดสอบหน่วยน้ำหนักและปริมาณช่องว่างแบบหลวม

3.3.3.1 ตักตัวอย่างมวลรวมด้วยพลั่วหรือช้อนตักโรยใส่ถังตวงให้เต็มจนล้น และมีความสูงไม่เกิน 2 นิ้ว (50 มิลลิเมตร) เหนือปากถังตวง ซึ่งต้องกระทำโดยป้องกันไม่ให้น้ำหนักเกิดการแยกตัว ปรับระดับมวลรวมให้เรียบเสมอขอบถังด้วยเหล็กสำหรับปาดตัวอย่าง และจัดให้มวลรวมที่อยู่ผิวหน้ามีช่องว่างใกล้เคียงกับที่อยู่ภายในถังตวง

3.3.3.2 ชั่งน้ำหนักของมวลรวมพร้อมถังตวง บันทึกค่าไว้

4. การคำนวณ

หน่วยน้ำหนักและปริมาณช่องว่างของมวลรวมสามารถคำนวณได้ดังนี้

4.1 หน่วยน้ำหนักของมวลรวม

$$M = \frac{G - T}{V}$$

เมื่อ M คือ หน่วยน้ำหนักของมวลรวม เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

G คือ น้ำหนักของมวลรวมพร้อมถังตวง เป็นกิโลกรัม

T คือ น้ำหนักของถังตวง เป็นกิโลกรัม

V คือ ปริมาตรของถังตวง เป็นลูกบาศก์เมตร

4.2 หน่วยน้ำหนักของมวลรวมสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturate Surface Dry, SSD)

$$M_{SSD} = M \left(1 + \frac{A}{100} \right)$$

เมื่อ M_{SSD} คือ หน่วยน้ำหนักของมวลรวมสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

A คือ ค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวม เป็นร้อยละ ได้จากการทดสอบตาม สวพ.ทล.202/2551 หรือ สวพ.ทล.203/2551

4.3 ปริมาณช่องว่างของมวลรวม

$$\text{Voids} = \frac{(S \cdot W) - M}{S \cdot W} \cdot 100$$

เมื่อ Voids คือ ปริมาณช่องว่างของมวลรวม เป็นร้อยละ

S คือ ค่าความถ่วงจำเพาะสภาพแห้งของมวลรวม ได้จากการทดสอบตาม สวพ.ทล.202/2551 หรือ สวพ.ทล.203/2551

W คือ ความหนาแน่นของน้ำ มีค่าเท่ากับ 998 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส)

5. การรายงานผล

5.1 ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวม เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความละเอียดเป็นจำนวนเต็มสิบ

5.2 ค่าปริมาณช่องว่างของมวลรวม เป็นร้อยละ โดยมีความละเอียดเป็นจำนวนเต็ม

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 29/C 29M – 97

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.204/2551

Project	_____	Feature	_____
Laboratory No.	_____	Source	_____
	Tested by _____	Date	_____
	Checked by _____	Date	_____

การทดสอบหน่วยน้ำหนัก		แบบอัดแน่นโดยใช้เหล็กกระทุ้ง		
รายการ		ครั้งที่		
		1	2	3
ปริมาตรถังตวง, V	ลบ.ม.	0.014	0.014	0.014
น้ำหนักมวลรวมพร้อมถังตวง, G	กก.	30.58	30.44	30.48
น้ำหนักถังตวง, T	กก.	8.92	8.92	8.92
น้ำหนักมวลรวม	กก.	21.66	21.52	21.56
หน่วยน้ำหนักของมวลรวม, M	กก./ลบ.ม.	1,547.14	1,537.14	1540.00
หน่วยน้ำหนักของมวลรวมเฉลี่ย	กก./ลบ.ม.	1,541.43		
ความถ่วงจำเพาะสภาพแห้งของมวลรวม, S		2.71	2.71	2.71
ปริมาณช่องว่างของมวลรวม, Voids	ร้อยละ	42.80	43.16	43.06
ปริมาณช่องว่างของมวลรวมเฉลี่ย	ร้อยละ	43.01		

มาตรฐานการทดสอบ การหาอินทรีย์สารเจือปนในมวลรวมละเอียดสำหรับคอนกรีต

1. ขอบข่าย

เป็นวิธีการทดสอบเพื่อหาอินทรีย์สารเจือปน (Organic Impurities) ในมวลรวมละเอียดที่เป็นอันตรายต่อมอร์ตาร์ หรือคอนกรีต โดยวิธีเทียบสีกับสารละลายสีมาตรฐานหรือกระจกสีมาตรฐาน

2. เครื่องมือ

2.1 ขวดแก้ว (Glass Bottles) ทำด้วยแก้วใสไม่มีสี มีความจุ 350 ถึง 470 มิลลิลิตร (12 ถึง 16 ออนซ์) โดยประมาณ มีฝาปิดชนิดกันน้ำได้ และไม่ละลายหรือทำปฏิกิริยาเมื่อสัมผัสกับสารเคมีที่ใช้ทดลอง มีขีดแบ่งบอกปริมาตรบนขวดแก้วมีหน่วยเป็นมิลลิลิตร หรือออนซ์ สำหรับขวดแก้วที่ไม่มีขีดแบ่งบอกปริมาตรให้ผู้ทดสอบเทียบแล้วทำเครื่องหมายแสดงไว้ได้ โดยขีดบอกปริมาตรที่ต้องการมีเพียง 3 จุด ดังนี้

2.1.1 ระดับสารละลายสีมาตรฐานที่ 75 มิลลิลิตร ($2\frac{1}{2}$ ออนซ์)

2.1.2 ระดับมวลรวมละเอียดที่ 130 มิลลิลิตร ($4\frac{1}{2}$ ออนซ์)

2.1.3 ระดับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ 200 มิลลิลิตร (7 ออนซ์)

2.2 กระจกสีมาตรฐาน (Glass Color Standard)



รูปที่ 1 ขวดแก้ว และกระจกสีมาตรฐาน

3. วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมสารเคมี และสารละลายสีมาตรฐาน

3.1.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ความเข้มข้นร้อยละ 3) ทำได้โดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Reagent Grade) จำนวน 3 ส่วน ในน้ำสะอาดจำนวน 97 ส่วน

3.1.2 การเตรียมสารละลายสีมาตรฐาน ทำได้โดยละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ในกรดซัลฟูริกเข้มข้น (Reagent Grade, ความถ่วงจำเพาะ 1.84) ในอัตรา 0.250 กรัมต่อปริมาตรกรด 100 มิลลิลิตร โดยสารละลายนี้ต้องเตรียมขึ้นใหม่ทุกครั้งก่อนการเปรียบเทียบสี และอาจให้ความร้อนน้อยๆ แก่สารละลายเพื่อให้ปฏิกิริยาเร็วขึ้น

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

สุมตัวอย่างมวลรวมละเอียดเพื่อใช้ทดสอบ ด้วยวิธีการแบ่งสี หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างประมาณ 450 กรัม

3.3 วิธีทดสอบ

3.3.1 ใส่ตัวอย่างมวลรวมละเอียดลงในขวดแก้วถึงระดับ 130 มิลลิลิตร ($4\frac{1}{2}$ ออนซ์)

3.3.2 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้จนปริมาตรของสารละลายและมวลรวมละเอียดหลังเขย่าขวดแก้วถึงระดับ 200 มิลลิลิตร (7 ออนซ์)

3.3.3 ปิดฝาขวดแก้วแล้วเขย่าแรงๆ จากนั้นตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

3.4 การวัดค่าสี

3.4.1 วิธีเทียบสีกับสารละลายสีมาตรฐาน ในตอนปลายชั่วโมงที่ 24 หลังจากตั้งขวดแก้วทิ้งไว้ ตามข้อ 3.3.3 ให้เติมสารละลายสีมาตรฐานลงในขวดแก้วเปล่าประมาณ 75 มิลลิลิตร ($2\frac{1}{2}$ ออนซ์) ซึ่งสารละลายดังกล่าวต้องเตรียมไว้ล่วงหน้าไม่เกิน 2 ชั่วโมง เปรียบเทียบสีสารละลายในขวดแก้วทั้งสอง โดยถือขวดชิดกันแล้วมองผ่าน เพื่อเปรียบเทียบสีสารละลายเหนือตัวอย่างมวลรวมละเอียดที่ทดสอบว่าเข้มกว่า อ่อนกว่า หรือเท่ากันกับสีของสารละลายสีมาตรฐาน บันทึกค่าไว้

3.4.2 วิธีเทียบสีกับกระຈฉสีมาตรฐาน เป็นการจำแนกสีของสารละลายเหนือตัวอย่างมวลรวมละเอียดให้ละเอียดยิ่งขึ้น ทำได้โดยเปรียบเทียบกับกระຈฉสีมาตรฐานจำนวน 5 สี ที่เทียบกับสีมาตรฐานการ์เดนอร์ (Gardner Color Standard) ดังแสดงในตารางที่ 1 ว่าใกล้เคียงหรือเหมือนกับสีเบอร์ใด

ตารางที่ 1 สีมาตรฐานการ์ดเนอร์เทียบกับกระจกสีมาตรฐาน

สีมาตรฐานการ์ดเนอร์ เบอร์	กระจกสีมาตรฐาน เบอร์
5	1
8	2
11	3 (สีมาตรฐาน)
14	4
16	5



รูปที่ 2 เปรียบเทียบสีสารละลายกับกระจกสีมาตรฐาน

3.5 การแปลความหมาย

ถ้าสีของสารละลายเหนือตัวอย่างมวลรวมละเอียดเข้มกว่าสารละลายสีมาตรฐานหรือเข้มกว่ากระจกสีมาตรฐาน เบอร์ 3 แสดงว่ามวลรวมละเอียดที่นำมาทดสอบมีอินทรีย์สารเจือปนที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต

4. การรายงานผล

4.1 เปรียบเทียบสีกับสารละลายสีมาตรฐาน

ให้รายงานสีของสารละลายเหนือมวลรวมละเอียด เป็น เข้มกว่า อ่อนกว่า หรือ เท่ากัน

4.2 เปรียบเทียบสีกับกระจกสีมาตรฐาน

ให้รายงานความเข้มสีของสารละลายเหินือมวลรวมละเอียด เป็น เบอร์ 1, 2, 3, 4 และ 5

5. เอกสารอ้างอิง

5.1 American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 40 – 04

มาตรฐานการทดสอบ
การหาความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบ
โดยใช้เครื่องลอสมองเจลีส์

1. ขอบข่าย

เป็นวิธีการทดสอบหาความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบ โดยใช้เครื่องลอสมองเจลีส์ (Los Angeles Machine) ซึ่งเป็นคุณสมบัติด้านความคงทน (Durable)

2. เครื่องมือ

2.1 เครื่องชั่ง มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 กรัม

2.2 ตะแกรงมาตรฐาน (Standard Sieve to ASTM) ขนาด $3, 2\frac{1}{2}, 2, 1\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{8}, \frac{1}{4}$ นิ้ว, เบอร์ 4, เบอร์ 8 และเบอร์ 12

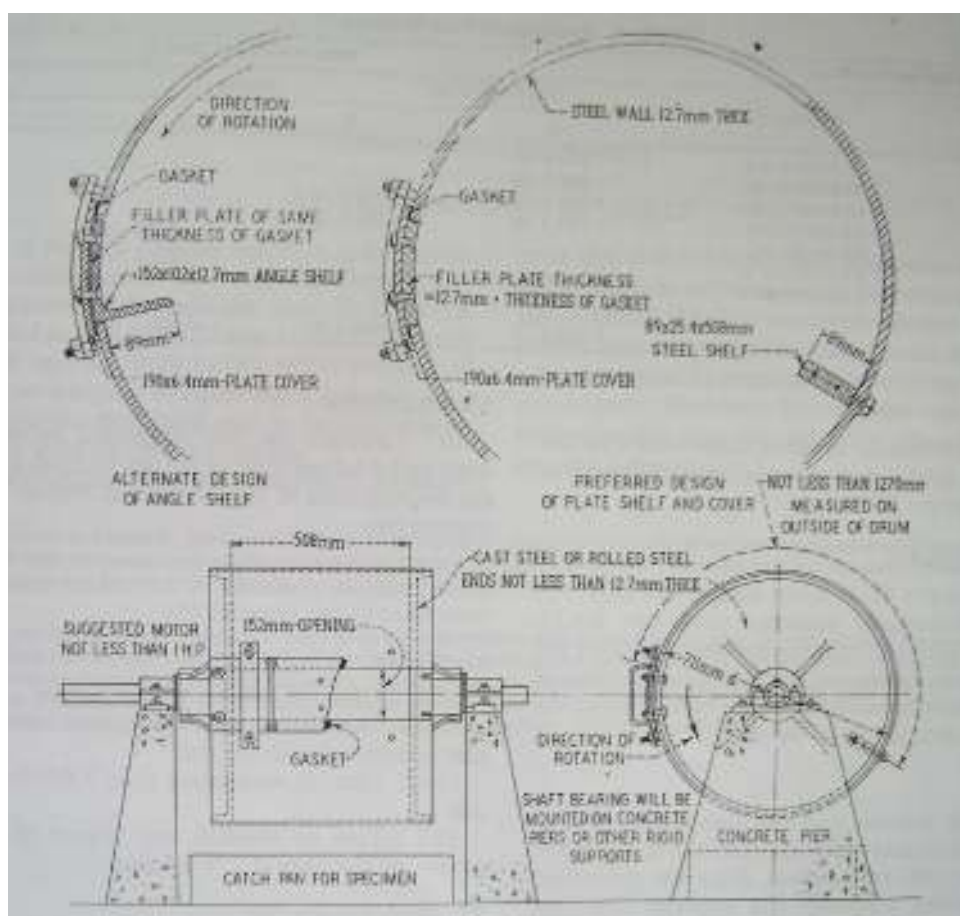
2.3 เครื่องลอสมองเจลีส์ มีขนาดและมิติดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยถังเหล็กรูปทรงกระบอกกลวงปลายปิดทั้งสองด้านที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 12.4 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 711 ± 5 มิลลิเมตร (28 ± 0.2 นิ้ว) และความยาวด้านใน 508 ± 5 มิลลิเมตร (20 ± 0.2 นิ้ว) ถังเหล็กดังกล่าวมีจุดรองรับที่ปลายทั้งสอง ที่ปลายนี้มีแกนเหล็กติดอยู่กับถังและไม่ทะลุเข้าไปด้านใน โดยสามารถหมุนรอบแกนในแนวนอนได้ ที่ผิวถังมีช่องเปิดสำหรับใส่ตัวอย่างที่จะทดสอบและลูกเหล็กลงไปได้ โดยฝาช่องเปิดนี้ควรเป็นแบบยึดติดถังเหล็กได้ง่ายและแนบสนิทเพื่อป้องกันฝุ่นฟุ้งกระจายออกมา นอกจากนี้ต้องติดแผ่นเหล็กกว้าง 89 ± 2 มิลลิเมตร (3.5 ± 0.1 นิ้ว) ที่ด้านในตลอดความยาวของถังเหล็กในตำแหน่งซึ่งทำให้ตัวอย่างทดสอบและลูกเหล็กไม่ตกกระทบฝาช่องเปิดและบริเวณใกล้เคียงในขณะที่ทดสอบ ซึ่งจุดที่ติดตั้งแผ่นเหล็กให้วัดจากช่องเปิดตามแนวรอบของถังเหล็กด้านนอกเป็นระยะไม่น้อยกว่า 1,270 มิลลิเมตร (50 นิ้ว)

2.4 ลูกเหล็ก (Abrasive Charge) ประกอบด้วยลูกเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 47 มิลลิเมตร ($1\frac{27}{32}$ นิ้ว) แต่ละลูกมีน้ำหนักระหว่าง 390 ถึง 445 กรัม ซึ่งการเลือกจำนวนลูกเหล็กขึ้นอยู่กับเกรดของมวลรวมหยาบ ดังแสดงในตารางที่ 1

2.5 ตู้อบ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส หรือตู้ไมโครเวฟ

ตารางที่ 1 จำนวนลูกเหล็กที่ใช้ทดสอบเมื่อเลือกใช้เกรดของมวลรวมหายาที่กำหนด

เกรด	จำนวนลูกเหล็ก	น้ำหนักของลูกเหล็ก กรัม
A	12	$5,000 \pm 25$
B	11	$4,584 \pm 25$
C	8	$3,330 \pm 20$
D	6	$2,500 \pm 15$
E	12	$5,000 \pm 25$
F	12	$5,000 \pm 25$
G	12	$5,000 \pm 25$



รูปที่ 1 ขนาดและมิติของเครื่องลอสแองเจลีส์



รูปที่ 2 เครื่องลอสเองเจลีส



รูปที่ 3 ลูกเหล็ก และตะแกรงมาตรฐาน

3. วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.1.1 ในกรณีที่ตัวอย่างทดสอบเป็นหินย่อยให้สุมตัวอย่างมวลรวมหยาบให้ได้ตามปริมาณที่กำหนดในตารางที่ 2 นำมาล้างให้สะอาด และอบให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่

3.1.2 ในกรณีที่ตัวอย่างทดสอบเป็นหินใหญ่ให้เริ่มจากเลือกเกรตที่จะทดสอบว่าเป็น E, F หรือ G ซึ่งโดยทั่วไปมักเลือกทดสอบเกรต E เนื่องจากใช้เวลาในการย่อยให้เหมือนมวลรวมหยาบน้อยที่สุด จากนั้นลงมือย่อยตัวอย่างให้มีขนาดเล็กลงจนมีปริมาณของตัวอย่างใน

ตารางที่ 2 น้ำหนักของตัวอย่าง จำนวนลูกเหล็ก และจำนวนรอบที่หมุนเครื่องในการทดสอบความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบเกรตต่างๆ

ขนาดตะแกรง (ช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยม)		น้ำหนักของตัวอย่างแต่ละขนาด (กรัม)						
		เกรต						
ผ่าน	ค้าง	A	B	C	D	E	F	G
3 นิ้ว	2 ½ นิ้ว	---	---	---	---	2,500 ± 50	---	---
2 ½ นิ้ว	2 นิ้ว	---	---	---	---	2,500 ± 50	---	---
2 นิ้ว	1 ½ นิ้ว	---	---	---	---	5,000 ± 50	5,000 ± 50	---
1 ½ นิ้ว	1 นิ้ว	1,250 ± 25	---	---	---	---	5,000 ± 25	5,000 ± 25
1 นิ้ว	¾ นิ้ว	1,250 ± 25	---	---	---	---	---	5,000 ± 25
¾ นิ้ว	½ นิ้ว	1,250 ± 10	2,500 ± 10	---	---	---	---	---
½ นิ้ว	⅜ นิ้ว	1,250 ± 10	2,500 ± 10	---	---	---	---	---
⅜ นิ้ว	¼ นิ้ว	---	---	2,500 ± 10	---	---	---	---
¼ นิ้ว	เบอร์ 4	---	---	2,500 ± 10	---	---	---	---
เบอร์ 4	เบอร์ 8	---	---	---	5,000 ± 10	---	---	---
น้ำหนักรวม		5,000 ± 10	5,000 ± 10	5,000 ± 10	5,000 ± 10	10,000 ± 100	10,000 ± 75	10,000 ± 50
จำนวนลูกเหล็ก		12	11	8	6	12	12	12
จำนวนรอบที่หมุน		500	500	500	500	1,000	1,000	1,000

แต่ละขนาดไม่น้อยกว่าเกรตที่เลือกไว้ด้วยค้อนปอนด์ แต่เนื่องจากการทุบให้แตกจะทำให้ตัวอย่างบางส่วนมีรูปร่างแบน บริเวณขอบของแต่ละก้อนมีเหลี่ยมมุมและไม่แข็งแรง และบางก้อนเกิดรอยร้าว จึงจำเป็นต้องตรวจสอบเนื้อตัวอย่างแต่ละก้อนว่ามีรอยแตกร้าวหรือไม่ หากมีต้องย่อยตัวอย่างก้อนนั้นให้มีขนาดเล็กลงอีก จากนั้นใช้ค้อนเหล็กปลายแหลมทุบแต่งตัวอย่างแต่ละก้อนให้มีเหลี่ยมมุมน้อยลงจนมีรูปร่างค่อนข้างกลม เมื่อได้ปริมาณที่เหมาะสมแล้วนำมาล้างให้สะอาด และอบให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่

3.1.3 นำตัวอย่างมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเพื่อเลือกเกรตที่ใกล้เคียงกับขนาดผลของมวลรวมหยาบมากที่สุด ซึ่งน้ำหนักมวลรวมหยาบที่ค้างบนตะแกรงขนาดต่างๆ ตามปริมาณที่กำหนดของเกรตที่เลือก

3.1.4 นำมวลรวมหยาบนั้นมาผสมกันอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งน้ำหนักไว้ เป็นน้ำหนักก่อนการทดสอบ

3.2 การทดสอบ

3.2.1 ใส่ตัวอย่างมวลรวมหยาบที่เตรียมไว้และลูกเหล็กตามจำนวนที่ระบุในตารางที่ 2 ลงในเครื่องลอสมองเจลีส หมุนเครื่องด้วยความเร็ว 30 ถึง 33 รอบต่อนาที โดยมวลรวมหยาบเกรต A, B, C และ D ตั้งเครื่องให้หมุนจำนวน 500 รอบ ส่วนมวลรวมหยาบเกรต E, F และ G ตั้งเครื่องให้หมุนจำนวน 1,000 รอบ



รูปที่ 3 ใส่ตัวอย่างและลูกเหล็กลงในเครื่องทดสอบ



รูปที่ 4 แยกตัวอย่างออกจากลูกเหล็กหลังจากหมุนเครื่องครบตามจำนวนรอบที่กำหนด

3.2.2 หลังจากหมุนเครื่องครบตามจำนวนรอบที่กำหนดแล้ว ให้นำตัวอย่างมวลรวมหยาบและลูกเหล็กทั้งหมดออกจากเครื่องลอสมองเจลีส และแยกตัวอย่างมวลรวมหยาบและลูกเหล็กออกจากกัน

3.2.3 ร่อนตัวอย่างมวลรวมหยาบด้วยตะแกรงเบอร์ 12 โดยนำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 12 มาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ หรือในกรณีที่ต้องการความละเอียดสูงให้นำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 12 มาล้างให้สะอาด เพื่อกำจัดฝุ่นที่เกาะตามผิวมวลรวมหยาบออกไป และอบให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่ เป็นน้ำหนักหลังการทดสอบ



รูปที่ 5 ร่อนตัวอย่างด้วยตะแกรงเบอร์ 12



รูปที่ 6 ชั่งตัวอย่างที่ค้างตะแกรงเบอร์ 12 เพื่อหาน้ำหนักหลังการทดสอบ

4. การคำนวณ

ความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละของการขัดสี} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนการทดสอบ (กรัม)} - \text{น้ำหนักหลังการทดสอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักก่อนการทดสอบ (กรัม)}} \times 100$$

5. การรายงานผล

ความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบ เป็นร้อยละ โดยมีความละเอียดเป็นทศนิยม 1 ตำแหน่ง

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 131-03

6.2 American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 535-03

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.206/2551

Project	_____	Feature	_____
Laboratory No.	_____	Source	_____
	Tested by _____	Date	_____
	Checked by _____	Date	_____

การทดสอบความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบ								
ขนาดตะแกรง		เกรด						
ผ่าน	ค้าง	A	B	C	D	E	F	G
3 นิ้ว	2½ นิ้ว							
2½ นิ้ว	2 นิ้ว							
2 นิ้ว	1½ นิ้ว							
1½ นิ้ว	1 นิ้ว	1,251.8						
1 นิ้ว	¾ นิ้ว	1,249.0						
¾ นิ้ว	½ นิ้ว	1,248.8						
½ นิ้ว	⅜ นิ้ว	1,252.1						
⅜ นิ้ว	¼ นิ้ว							
¼ นิ้ว	เบอร์ 4							
เบอร์ 4	เบอร์ 8							
จำนวนลูกเหล็ก		12	11	8	6	12	12	12
จำนวนรอบที่หมุน		500	500	500	500	1,000	1,000	1,000
น้ำหนักก่อนการทดสอบ (กรัม)		5,001.7						
น้ำหนักหลังการทดสอบ (กรัม)		3,974.7						
ร้อยละของการขัดสี		20.5						

มาตรฐานการทดสอบ ความคงตัวของมวลรวมโดยใช้โซเดียมซัลเฟต

1. ขอบข่าย

เป็นวิธีการทดสอบเพื่อคาดคะเนความคงตัว (Soundness) ของมวลรวม เมื่อใช้ในงานคอนกรีต หรืองานอื่นๆ ที่อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเผชิญกับอิทธิพลของสภาพอากาศ ด้วยการหาส่วนสูญหายเมื่อแช่มวลรวมในสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Sodium Sulfate Solution) จำนวน 5 รอบ

2. เครื่องมือ

2.1 เครื่องชั่ง (Balance) มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 กรัม สำหรับทดสอบมวลรวมละเอียด และมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 1 กรัม สำหรับทดสอบมวลรวมหยาบ

2.2 ตะแกรงมาตรฐาน (Standard Sieve) ขนาดช่องเปิด 150 ไมโครเมตร (เบอร์ 100), 300 ไมโครเมตร (เบอร์ 50), 600 ไมโครเมตร (เบอร์ 30), 1.18 มิลลิเมตร (เบอร์ 16), 2.36 มิลลิเมตร (เบอร์ 8), 4.00 มิลลิเมตร (เบอร์ 5), 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4), 8.0 มิลลิเมตร ($\frac{5}{16}$ นิ้ว), 9.5 มิลลิเมตร ($\frac{3}{8}$ นิ้ว), 12.5 มิลลิเมตร ($\frac{1}{2}$ นิ้ว), 16.0 มิลลิเมตร ($\frac{5}{16}$ นิ้ว), 19.0 มิลลิเมตร ($\frac{3}{4}$ นิ้ว), 25.0 มิลลิเมตร (1 นิ้ว), 31.5 มิลลิเมตร ($1\frac{1}{4}$ นิ้ว), 37.5 มิลลิเมตร ($1\frac{1}{2}$ นิ้ว), 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว), 63 มิลลิเมตร ($2\frac{1}{2}$ นิ้ว) และตะแกรงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทุก 12.5 มิลลิเมตร ($\frac{1}{2}$ นิ้ว)

2.3 ภาชนะใส่ตัวอย่าง (Container) เป็นภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างมวลรวมแช่ในสารละลาย โดยยอมให้สารละลายเข้าถึงตัวอย่างมวลรวมได้อย่างทั่วถึง และสามารถแยกตัวอย่างมวลรวมออกจากสารละลายได้

2.4 ตู้อบ สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียสได้

2.5 ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) มีความละเอียด 0.001 ใช้สำหรับวัดค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลาย

2.6 สารละลายโซเดียมซัลเฟต เตรียมได้โดยละลายโซเดียมซัลเฟตที่ไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ (Anhydrous Na_2SO_4) หรือโซเดียมซัลเฟตที่อยู่ในรูปผลึกและมีน้ำเป็นองค์ประกอบ (Crystalline $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ในน้ำจนอิ่มตัว เมื่อวัดด้วยไฮโดรมิเตอร์แล้วมีค่า

ความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1.151 ถึง 1.174 (ใช้โซเดียมซัลเฟตที่ไม่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ 350 กรัม หรือใช้โซเดียมซัลเฟตที่อยู่ในรูปผลึกและมีน้ำเป็นองค์ประกอบ 750 กรัม ต่อน้ำ 1 ลิตร) โดยสารละลายต้องเตรียมไว้ก่อนการทดสอบเป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง นอกจากนี้ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ทดสอบต้องมีปริมาตรอย่างน้อย 5 เท่า ของปริมาตรเนื้อแท้ (Solid Volume) ของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

2.7 สารละลายแบเรียมคลอไรด์ (Barium Chloride Solution) ความเข้มข้นร้อยละ 5 เตรียมได้โดยละลายแบเรียมคลอไรด์ (BaCl_2) 5 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

3. วิธีการทดลอง

3.1 ตัวอย่างทดสอบ

3.1.1 มวลรวมละเอียด

มวลรวมละเอียดที่ใช้ทดสอบเป็นมวลรวมที่ผ่านตะแกรงขนาด 9.5 มิลลิเมตร ($\frac{3}{8}$ นิ้ว) โดยมวลรวมละเอียดที่ใช้ทดสอบแต่ละชุดจะต้องมีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 100 กรัม กรณีที่แต่ละชุดมีปริมาณไม่ถึงร้อยละ 5 ของทุกชุดรวมกัน ชุดนั้นๆ ไม่ต้องนำมาทดสอบ

ตารางที่ 1 ขนาดมวลรวมละเอียดและน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ

ชุดที่	ตะแกรง ผ่าน – ค้าง	น้ำหนัก กรัม
1	3/8 นิ้ว – เบอร์ 4	100±0.5
2	เบอร์ 4 – เบอร์ 8	100±0.5
3	เบอร์ 8 – เบอร์ 16	100±0.5
4	เบอร์ 16 – เบอร์ 30	100±0.5
5	เบอร์ 30 – เบอร์ 50	100±0.5

3.1.2 มวลรวมหยาบ

มวลรวมหยาบที่ใช้ทดสอบเป็นมวลรวมที่ร่อนส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ออกหมดแล้ว ซึ่งมวลรวมหยาบที่นำมาทดสอบแต่ละชุดจะต้องมีปริมาณคิดเป็นร้อยละ 5 หรือมากกว่า

ตารางที่ 2 ขนาดมวลรวมหยาบและน้ำหนักที่ใช้ทดสอบ

ชุดที่	ตะแกรง ผ่าน – ค้าง	น้ำหนัก กรัม
1	2 1/2 นิ้ว – 1 1/2 นิ้ว ประกอบด้วย	5,000±300
	2 1/2 นิ้ว – 2 นิ้ว	3,000±300
	2 นิ้ว – 1 1/2 นิ้ว	2,000±200
2	1 1/2 นิ้ว - 3/4 นิ้ว ประกอบด้วย	1,500±50
	1 1/2 นิ้ว – 1 นิ้ว	1,000±50
	1 นิ้ว – 3/4 นิ้ว	500±30
3	3/4 นิ้ว - 3/8 นิ้ว ประกอบด้วย	1,000±10
	3/4 นิ้ว – 1/2 นิ้ว	670±10
	1/2 นิ้ว – 3/8 นิ้ว	330±5
4	3/8 นิ้ว – เบอร์ 4	300±5

หมายเหตุ กรณีที่มวลรวมหยาบมีขนาดใหญ่กว่า $2\frac{1}{2}$ นิ้ว ทำการทดสอบโดยให้มวลรวมหยาบในชุดตัวอย่างถัดไปมีขนาดต่างกัน 1 นิ้ว และใช้น้ำหนักในการทดสอบ 7,000±1,000 กรัม

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

3.2.1 มวลรวมละเอียด

ล้างตัวอย่างมวลรวมละเอียดที่ใช้ทดสอบผ่านตะแกรงเบอร์ 50 อบตัวอย่างให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่ แยกตัวอย่างมวลรวมละเอียดออกเป็นชุดๆ ให้มีน้ำหนักตามตารางที่ 1 ใส่ตัวอย่างลงในภาชนะใส่ตัวอย่างเพื่อรอการทดสอบต่อไป

3.2.2 มวลรวมหยาบ

ล้างตัวอย่างมวลรวมหยาบที่ใช้ทดสอบ อบตัวอย่างให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่ แยกตัวอย่างมวลรวมหยาบให้มีขนาดและน้ำหนักตามตารางที่ 2 บันทึกน้ำหนักตัวอย่างแต่ละชุดไว้ แยกตัวอย่างแต่ละขนาดใส่ลงในภาชนะใส่ตัวอย่างเพื่อรอการทดสอบต่อไป

3.3 การทดสอบ

3.3.1 แช่ตัวอย่างในสารละลาย นำตัวอย่างทดสอบแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตที่เตรียมไว้ โดยให้ผิวของสารละลายอยู่เหนือตัวอย่างทดสอบอย่างน้อย $\frac{1}{2}$ นิ้ว เป็นเวลา 16 ถึง 18 ชั่วโมง โดยปิดฝาให้มิดชิดเพื่อป้องกันการระเหย หรือสิ่งแปลกปลอมตกลงไป



รูปที่ 2 แช่ตัวอย่างในสารละลายโซเดียมซัลเฟต

3.3.2 ทำตัวอย่างให้แห้ง หลังจากแช่ตัวอย่างในสารละลายครบตามเวลาที่กำหนด ให้แยกสารละลายและตัวอย่างออกจากกันให้หมดภายในเวลา 15 ± 5 นาที จากนั้นนำตัวอย่างเข้าตู้อบที่มีอุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส อบตัวอย่างจนกระทั่งมีน้ำหนักคงที่ (ใช้เวลา 2 ถึง 4 ชั่วโมง) แล้วปล่อยตัวอย่างให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

3.3.3 ทำซ้ำข้อ 3.3.1 และ 3.3.2 อีกจนครบ 5 รอบ

3.3.4 หลังจากครบ 5 รอบ และตัวอย่างเย็นลงแล้ว ล้างตัวอย่างให้สะอาด ปราศจากโซเดียมซัลเฟตเกาะด้วยน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 43 ± 6 องศาเซลเซียส ซึ่งการทดสอบว่าตัวอย่างสะอาดแล้วหรือไม่ ให้ทดสอบโดยหยดสารละลายแบเรียมคลอไรด์ที่เตรียมไว้ลงในน้ำล้างตัวอย่าง หากยังขุ่นอยู่แสดงว่ายังล้างตัวอย่างไม่สะอาด



รูปที่ 3 ล้างตัวอย่างให้สะอาด

3.3.5 หลังจากล้างโซเดียมซัลเฟตออกหมดแล้ว อบตัวอย่างให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่ จากนั้นนำตัวอย่างไปร่อนผ่านตะแกรง โดยตัวอย่างมวลรวมหยาบให้ร่อนผ่านตะแกรงโดยใช้มือเขย่า ซึ่งขนาดของตะแกรงที่ใช้ร่อนเป็นดังนี้

3.3.5.1 มวลรวมละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาดเดิมตามตารางที่ 1

3.3.5.2 มวลรวมหยาบร่อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขนาดตะแกรงที่ใช้ร่อนมวลรวมหยาบ

ชุดที่	ขนาดมวลรวมหยาบ	ขนาดตะแกรงที่ใช้ร่อน
1	2 1/2 นิ้ว – 1 1/2 นิ้ว	1 1/4 นิ้ว
2	1 1/2 นิ้ว – 3/4 นิ้ว	5/8 นิ้ว
3	3/4 นิ้ว – 3/8 นิ้ว	5/16 นิ้ว
4	3/8 นิ้ว – เบอร์ 4	เบอร์ 5

นำตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดไปชั่งหาน้ำหนัก โดยผลต่างของน้ำหนักก่อนการทดสอบกับน้ำหนักหลังการทดสอบคือน้ำหนักที่หายไป บันทึกค่าไว้

3.3.6 ในบางครั้งตัวอย่างมวลรวมบางชุดมีจำนวนน้อยไม่สามารถร่อนให้มีน้ำหนักตามที่ระบุในตารางที่ 1 และ 2 ได้ ดังนั้นเพื่อให้การทดสอบส่วนสูญหายเมื่อทดลองด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟตดำเนินต่อไปได้และเป็นทิศทางเดียวกัน ให้ปฏิบัติตามข้อแนะนำดังนี้

3.3.6.1 สำหรับการทดสอบตัวอย่างมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ หากตัวอย่างชุดบนสุดหรือชุดล่างสุดที่มีวัสดุค้างอยู่และมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 5 ไม่ต้องทดสอบตัวอย่างชุดนั้น แต่ในการคำนวณร้อยละส่วนสูญหายให้ใช้ค่าเท่ากับร้อยละส่วนสูญหายของชุดติดกัน

3.3.6.2 สำหรับการทดสอบตัวอย่างมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ หากตัวอย่างชุดใดที่ไม่ใช่ชุดบนสุดหรือชุดล่างสุดที่มีวัสดุค้างอยู่และมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 5 ไม่ต้องทดสอบตัวอย่างชุดนั้น แต่ในการคำนวณร้อยละส่วนสูญหายให้ใช้ค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยร้อยละส่วนสูญหายของชุดที่อยู่สูงกว่าและต่ำกว่า

3.3.6.3 สำหรับการทดสอบตัวอย่างมวลรวมหยาบ หากตัวอย่างชุดใดถึงแม้จะมีปริมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 แต่น้ำหนักของวัสดุที่ค้างบนตะแกรงหนึ่งมีน้อยกว่าที่กำหนดไว้ ให้ทดสอบตัวอย่างชุดนั้นด้วย โดยให้เพิ่มน้ำหนักที่ค้างอีกตะแกรงหนึ่งจนน้ำหนักรวมของตัวอย่างชุดนั้นเป็นไปตามข้อกำหนด แล้วดำเนินการทดสอบต่อไป

4. การคำนวณ

$$\text{ส่วนสูญหาย} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนการทดสอบ} - \text{น้ำหนักหลังการทดสอบ})}{\text{น้ำหนักก่อนการทดสอบ}} \times 100$$

5. การรายงานผล

ส่วนสูญหายเมื่อทดลองด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟตเป็นร้อยละ โดยมีความละเอียดเป็นทศนิยม 1 ตำแหน่ง

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 88 – 99a

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.207/2551

Project _____	Feature _____
Laboratory No. _____	Source _____
Tested by _____	Date _____
Checked by _____	Date _____

สารละลาย				โซเดียมซัลเฟต (Na ₂ SO ₄)					
ชุดที่	ขนาดตะแกรงผ่าน - ค้าง	ร้อยละ		น้ำหนักตัวอย่าง			น้ำหนักที่หายไป	ส่วนสูญหาย	
		ที่ค้างบนตะแกรง		ก่อนทดสอบ	แต่ละชุด	หลังทดสอบ		แต่ละชุด	รวม
		แต่ละตะแกรง	แต่ละชุด						
1	2 1/2 นิ้ว – 2 นิ้ว	-	-	-	-	-	-	-	-
	2 นิ้ว – 1 1/2 นิ้ว	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1 1/2 นิ้ว – 1 นิ้ว	1.1*	49.0	85.1	1501.4	1485.9	15.5	1.03	0.50
	1 นิ้ว – 3/4 นิ้ว	47.9		1416.3					
3	3/4 นิ้ว – 1/2 นิ้ว	33.6	45.7	671.1	1002.0	985.3	16.7	1.67	0.76
	1/2 นิ้ว – 3/8 นิ้ว	12.1		330.9					
4	3/8 นิ้ว – เบอร์ 4	5.3	5.3	298.8	298.8	295.2	3.6	1.20	0.06
	รวม	100	-	-	-	-	-	-	-
ส่วนสูญหายเมื่อทดลองด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟต (ร้อยละ)									1.3

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.207/2551

Project _____	Feature _____
Laboratory No. _____	Source _____
Tested by _____	Date _____
Checked by _____	Date _____

สารละลาย		โซเดียมซัลเฟต				
ขนาดตะแกรง ผ่าน - ค้าง	ร้อยละ ที่ค้างบน ตะแกรง	น้ำหนักตัวอย่าง		น้ำหนัก ที่หายไป กรัม	ส่วนสูญหาย	
		ก่อนทดสอบ กรัม	หลังทดสอบ กรัม		แยก ร้อยละ	รวม ร้อยละ
1 1/2 นิ้ว – 1 นิ้ว	6.1	1011.1	988.1	23.0	2.3	0.1
1 นิ้ว – 3/4 นิ้ว	44.9	502.3	490.8	11.5	2.3	1.0
3/4 นิ้ว – 1/2 นิ้ว	33.6	671.1	662.2	8.9	1.3	0.4
1/2 นิ้ว – 3/8 นิ้ว	12.1	330.9	323.3	7.6	2.3	0.3
3/8 นิ้ว – เบอร์ 4	3.3	-	-	-	2.3*	0.1
รวม	100	-	-	-	-	1.9
ส่วนสูญหายเมื่อทดลองด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟต				1.9	%	

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.207/2551

Project	_____	Feature	_____
Laboratory No.	_____	Source	_____
	Tested by _____	Date	_____
	Checked by _____	Date	_____

สารละลาย		โซเดียมซัลเฟต				
ขนาดตะแกรง ผ่าน - ค้าง	ร้อยละ ที่ค้างบน ตะแกรง	น้ำหนักตัวอย่าง		น้ำหนัก ที่หายไป กรัม	ส่วนสูญหาย	
		ก่อนทดสอบ กรัม	หลังทดสอบ กรัม		แยก ร้อยละ	รวม ร้อยละ
3/8 นิ้ว – เบอร์ 4	1.0	100.0	98.8	1.2	1.2	0.0
เบอร์ 4 – เบอร์ 8	14.8	100.0	97.1	2.9	2.9	0.4
เบอร์ 8 – เบอร์ 16	34.4	100.0	99.0	1.0	1.0	0.3
เบอร์ 16 – เบอร์ 30	3.8	-	-	-	1.2*	0.0
เบอร์ 30 – เบอร์ 50	23.5	100.0	98.6	1.4	1.4	0.3
เบอร์ 50 – เบอร์ 100	19.6	-	-	-	-	-
เบอร์ 100 หรือเล็กกว่า	2.9	-	-	-	-	-
รวม	100	-	-	-	-	1.0
ส่วนสูญหายเมื่อทดลองด้วยสารละลายโซเดียมซัลเฟต				1.0		%

มาตรฐานการทดสอบ การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

1. ขอบข่าย

เป็นวิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต หรือการหาสัดส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมของวัสดุผสม เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ทั้งในสภาพคอนกรีตสด คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว และประหยัด

2. ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ

2.1 หลักการในการออกแบบส่วนผสม

2.1.1 เพื่อเลือกวัสดุผสมคอนกรีตที่เหมาะสม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ มวลรวมหยาบ (หินย่อย) มวลรวมละเอียด (ทราย) น้ำ และสารเคมีผสมเพิ่มสำหรับคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน

2.1.2 คำนวณหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดและการใช้งานที่ต้องการทั้งในสภาพคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

2.2 กำลังรับแรงอัด

ค่ากำลังอัดของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water-Content Ratio; w/c) โดยค่ากำลังอัดจะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ โดยถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์มาก กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะต่ำ แต่ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะสูง ซึ่งในการผสมคอนกรีตถ้าสามารถรักษาอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ให้คงที่แล้ว แม้ส่วนผสมอื่นจะเปลี่ยนแปลงๆ ไปบ้าง แต่กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

2.3 ความสามารถเทได้

ความสามารถเทได้ของคอนกรีตมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณน้ำในส่วนผสม โดยปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นความสามารถเทได้ของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น (หรือคอนกรีตเหลวขึ้น) คอนกรีตสดควรมีความข้นเหลวพอเหมาะที่จะเทเข้าแบบได้สะดวก เพราะถ้าคอนกรีตข้นหรือแห้งเกินไปการทำให้แน่นยาก ทำให้เกิดรูโพรง แต่ถ้าคอนกรีตเหลวเกินไปจะทำให้เกิดการแยกตัวขณะลำเลียงและเท และทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำลง ไม่ทนทาน และมีโอกาสแตกร้าวง่าย ซึ่งการวัดความสามารถเทได้ควรกำหนดวิธีที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิธีการวัดความสามารถเทได้ของคอนกรีต

ประเภทของคอนกรีต	วิธีวัดความสามารถเทได้
(1) คอนกรีตแข็งหรือกระด้างมาก	- วัดโดยหาค่าเวลาวิบี (Vebe Test)
(2) คอนกรีตทั่วๆ ไป	- วัดค่ายุบตัว (Slump Test)
(3) คอนกรีตเหลวมาก	- วัดเส้นผ่าศูนย์กลางของคอนกรีตที่แผ่กระจายออก (Flow Test)

2.4 ความทนทาน

คอนกรีตที่ใช้งานในสภาพปกติโดยทั่วไปจะมีความทนทานอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ แต่ถ้าคอนกรีตอยู่ในสภาวะที่เกิดการกัดกร่อนรุนแรง เช่น โครงสร้างในน้ำทะเลความทนทานจะลดลง อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์มีผลต่อความทนทานของคอนกรีต ดังนั้นจึงมีการกำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมกับคอนกรีตที่สภาวะต่างๆ

3. วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

3.1 มาตรฐานการออกแบบคอนกรีต

ในการออกแบบจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดมากกว่ากำลังอัดของงานที่กำหนดไว้ ดังสมการ

$$f_{cr} = f'_c + ks$$

เมื่อ	f_{cr}	คือ	กำลังอัดที่ต้องการผลิต
	f'_c	คือ	กำลังอัดที่กำหนดไว้ในแบบ
	ks	คือ	ส่วนเผื่อกำลังอัด ซึ่งประกอบด้วย
	k	คือ	ค่าคงที่ ดังตารางที่ 2
	s	คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดจากก้อนตัวอย่าง 30 ค่า หรือมากกว่า

ตารางที่ 2 ค่าคงที่ k

ค่าร้อยละของกำลังที่ต่ำกว่า f_c'	ค่า k
20	0.842
10	1.282
5	1.645
2.5	1.960
2	2.054
1	2.326
0	3.000

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจำเป็นต้องหาจากแท่งตัวอย่าง อย่างน้อย 30 ค่า จึงจะให้ความเชื่อถือทางสถิติได้เพียงพอ แต่ถ้การทดสอบน้อยกว่า 30 ค่า ค่าคงที่ k ในตารางที่ 2 อนุโลมได้โดยใช้ตัวคูณ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อตัวอย่างน้อยกว่า 30 ค่า

จำนวนตัวอย่าง	ตัวคูณสำหรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
น้อยกว่า 15	ใช้ตารางที่ 4
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 หรือมากกว่า	1.00

ในกรณีที่ไม่มีผลการทดสอบแท่งตัวอย่าง หรือผลการทดสอบน้อยกว่า 15 ค่า กำลังอัดของคอนกรีตที่จะต้องผลิตต้องสูงกว่ากำลังอัดที่กำหนด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ส่วนเผื่อเมื่อไม่มีผลทดสอบกำลังอัดแท่งตัวอย่าง

ค่ากำลังอัดที่กำหนด (f_c')	กำลังอัดที่ต้องเพิ่ม
น้อยกว่า 210	70
210 – 350	85
350 หรือมากกว่า	100

3.2 การออกแบบตามมาตรฐานอเมริกา

ในการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา (Normal Weight Concrete) ตามมาตรฐานของอเมริกานี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบต้องทราบคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต ดังนี้

ปูนซีเมนต์

- ความถ่วงจำเพาะ (สามารถใช้ค่า 3.15 สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1)

มวลรวม

- ขนาดคละ
- ความถ่วงจำเพาะ
- ความชื้น
- พิกัดความละเอียดของมวลรวมละเอียด (Fineness Modulua, F.M.)
- หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ

โดยมีขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ดังนี้

1. เลือกค่ายุบตัวที่เหมาะสม คำนะนำตามตารางที่ 5
2. เลือกขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ ให้พิจารณาเลือกใช้ขนาดใหญ่ที่สุดแต่ต้อง

ไม่เกินกว่า

$$2.1 \text{ ขนาด} \frac{1}{5} \text{ ของส่วนที่แคบที่สุดของดครงสร้างที่ไม่เสริมเหล็ก}$$

$$2.2 \text{ ขนาด} \frac{3}{4} \text{ ของระยะเรียงเหล็กเสริมที่แคบที่สุดหรือระหว่างเหล็กเสริมกับ}$$

แบบหล่อ

$$2.3 \text{ ขนาด} \frac{1}{3} \text{ ของความหนาแผ่นพื้นที่ยาวอยู่บนดิน}$$

3. ประมาณปริมาณน้ำและฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นในคอนกรีต (ปริมาตร 1 ลบ.ม.)

คำนะนำตามตารางที่ 6

4. เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ คำนะนำตามตารางที่ 7

$$5. \text{ คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์} = \text{ขั้นตอนที่ 3} / \text{ขั้นตอนที่ 4}$$

$$6. \text{ คำนวณปริมาณมวลรวมหยาบ} = \text{ปริมาตรของมวลรวมหยาบ (ตารางที่ 9)} \times$$

หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ

7. คำนวณปริมาณของมวลรวมละเอียด มี 2 วิธี คือ

7.1 วิธี Absolute Volume

ปริมาตรของมวลรวมละเอียด = ปริมาตรของคอนกรีต - ปริมาตรของวัสดุผสมยกเว้นมวลรวมละเอียด

น้ำหนักมวลรวมละเอียด = ปริมาตรของมวลรวมละเอียด x ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด x หน่วยน้ำหนักของน้ำ

7.2 วิธี Weight Method

น้ำหนักมวลรวมละเอียด = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (ตารางที่ 10) - น้ำหนักของวัสดุผสมยกเว้นมวลรวมละเอียด

8. ปรับส่วนผสมตามสภาพความชื้นของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

9. ทำการทดลองผสมเพื่อตรวจสอบดูความสามารถเทได้และกำลังอัดของคอนกรีต

10. หากเหมาะสมหยุดการทดลอง แต่ถ้าหากไม่เหมาะสมให้กลับไปดำเนินการตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ใหม่

ตารางที่ 5 ค่ายุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ

ประเภทของงาน	ค่ายุบตัว (เซนติเมตร)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	7.5	2.5
พื้นถนน	8.0	3.0
โครงสร้างทั่วไป	10.0	5.0
เสาหรือผนังบาง	12.5	7.5
โครงสร้างที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น	15.0	10.0

ตารางที่ 6 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่ายุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่างๆ

ค่ายุบตัว (เซนติเมตร)	ปริมาณน้ำ เป็นกิโลกรัม ต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร สำหรับวัสดุผสมขนาดต่างๆ							
	$\frac{3}{8}$ นิ้ว	$\frac{1}{2}$ นิ้ว	$\frac{3}{4}$ นิ้ว	1 นิ้ว	$1\frac{1}{2}$ นิ้ว	2 นิ้ว	3 นิ้ว	6 นิ้ว
คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายก๊าซฟองอากาศ (Non-Air Entraining Concrete)								
2.5 – 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 – 10	228	216	205	193	181	169	145	124
12.5 – 15.0	243	228	216	202	190	178	160	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
คอนกรีตที่มีสารกระจายก๊าซฟองอากาศ (Air Entraining Concrete)								
2.5 – 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 – 10	202	193	184	175	165	157	133	119
12.5 – 15.0	216	205	197	184	174	166	154	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตที่ไม่กระจาย ก๊าซฟองอากาศ	คอนกรีตที่กระจาย ก๊าซฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

ตารางที่ 8 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะ
เปิดเผยรุนแรง

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลา หรือมีการเยือกแข็งและการ ละลายของน้ำสลับกันบ่อยๆ (เฉพาะคอนกรีตกระจายกัก ฟองอากาศเท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำทะเล หรือสัมผัสกับซัลเฟต
(1) โครงสร้างบางที่มีเหล็ก หุ้มน้อยกว่า 3 ซม.	0.45	0.40 [*]
(2) โครงสร้างอื่นๆ ทั้งหมด	0.50	0.45 [*]

* หากใช้ปูนซีเมนต์ต้านทานซัลเฟต (ประเภท 5) อาจเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ได้อีก 0.05

ตารางที่ 9 ปริมาตรของมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของ มวลรวมหยาบ นิ้ว (มม.)	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตร ของคอนกรีตสำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมละเอียดต่างๆ กัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
$\frac{3}{8}$ (9.5)	0.50	0.48	0.46	0.44
$\frac{1}{2}$ (12.5)	0.59	0.57	0.55	0.53
$\frac{3}{4}$ (19)	0.66	0.64	0.62	0.60
1 (25)	0.71	0.69	0.67	0.65
$1\frac{1}{2}$ (37.5)	0.76	0.74	0.72	0.70
2 (50)	0.78	0.76	0.74	0.72
3 (75)	0.81	0.79	0.77	0.75
6 (100)	0.87	0.85	0.83	0.81

ตารางที่ 10 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ

ขนาดโตสุด ของมวลรวมหยาบ นี้ (มม.)	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต	
	คอนกรีตที่ไม่ใช้สารกระจาย กักฟองอากาศ	คอนกรีตที่ใช้สารกระจายกัก ฟองอากาศ
3/8 (10 มม.)	2,280	2,200
1/2 (12.5 มม.)	2,310	2,230
3/4 (20 มม.)	2,345	2,275
1 (25 มม.)	2,380	2,290
1 1/2 (40 มม.)	2,410	2,350
2 (50 มม.)	2,445	2,345
3 (75 มม.)	2,490	2,405
6 (150 มม.)	2,530	2,435

4. ตัวอย่างการคำนวณออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีต

ข้อกำหนด

- ชนิดโครงสร้าง = โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป
- กำลังอัด (f_c') = 175 กก./ตร.ซม. ทดสอบตัวอย่างทรงกระบอก $\phi 15 \times 30$ ซม. ที่อายุ 28 วัน
- โอกาสที่ตัวอย่างแท่งคอนกรีตมีกำลังอัดต่ำกว่าที่กำหนดร้อยละ 20 และค่า $S = 30$ กก./ตร.ซม.
- ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

- ปูนซีเมนต์ ค่าความถ่วงจำเพาะ = 3.15
- มวลรวมละเอียดใช้ทราย มีค่าความถ่วงจำเพาะ = 2.6, ค่าการดูดซึมน้ำ = 0.7%, ค่าพิกัดความละเอียด (F.M.) = 2.40
- มวลรวมหยาบใช้หินย่อยขนาดโตสุด 3/4 นิ้ว มีค่าความถ่วงจำเพาะ = 2.7, ค่าการดูดซึมน้ำ = 0.5%, หน่วยน้ำหนักแห้งอัดแน่น = 1,440 กก./ลบ.ม.
- น้ำใช้น้ำประปา (น้ำสะอาด) มีค่าความถ่วงจำเพาะ = 1, หน่วยน้ำหนัก = 1,000 กก./ลบ.ม.

ขั้นตอนการคำนวณ

การดำเนินการคำนวณออกแบบส่วนผสมตงหา fcr หรือกำลังอัดของคอนกรีตที่ต้องการผลิตก่อน จากข้อกำหนดโอกาสที่ตัวอย่างแท่งคอนกรีตมีกำลังอัดต่ำกว่าที่กำหนดร้อยละ 20 จากตารางที่ 2 ได้ค่า $k = 0.842$ ดังนั้น $fcr = 175 + 0.842 \times 30 = 200.3$ กก./ตร.ซม. ดังนั้นเราต้องออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่มีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 200 กก./ตร.ซม.

ขั้นตอนการคำนวณตาม ACI วิธี Absolute Volume (คิดต่อคอนกรีตปริมาตร 1 ลบ.ม.)

1. เลือกค่ายู่บตัวที่เหมาะสม (ดูตารางที่ 5)

เนื่องจากเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ดังนั้นเลือกใช้ค่ายู่บตัวระหว่าง 5 – 10 ซม.

2. ขนาดโตสุดของมวลรวม (Max Size)

เนื่องจากเป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป ดังนั้นโครงสร้างหลักจึงเป็นระบบพื้น คาน เสา เลือกใช้หินย้อยขนาดโตสุด 3/4 นิ้ว หรือ 19 มม. ตามตัวอย่างกำหนด

3. เลือกใช้ปริมาณน้ำและปริมาณฟองอากาศ (ดูตารางที่ 6)

จากหินย้อยขนาดโตสุด 3/4 นิ้ว และค่ายู่บตัวที่ต้องการ 5 - 10 ซม. จะได้

- ปริมาณน้ำ ควรใช้ระหว่าง 190 – 205 กก. เลือกใช้ 200 กก.
- ปริมาณฟองอากาศ ใช้ร้อยละ 2 ของปริมาตรคอนกรีต

4. เลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ หรือ w/c (ดูตารางที่ 7)

จากตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่า w/c แปรผกผันกับกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งจากกำลังอัดคอนกรีตที่ต้องการผลิต (fcr) = 200 กก./ตร.ซม. ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่า w/c = 0.70

5. คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์

จากขั้นตอน 3 และขั้นตอน 4 จะได้ปริมาณปูนซีเมนต์ (c) = $w/0.70 = 200/0.70 = 286$ กก.

6. คำนวณปริมาณหินย้อย (ดูตารางที่ 9)

หินย้อยขนาดโตสุด 3/4 นิ้ว (จากขั้นตอนที่ 2) มีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งแบบอัดแน่น = 1,440 กก./ลบ.ม. และค่าพิกัดความละเอียดของทราย (F.M.) = 2.40

จากตารางที่ 9 จะได้ปริมาตรของหินย้อยแบบแห้ง = 0.64 ลบ.ม. หรือมีน้ำหนักแห้ง (D_D) = $0.64 \times 1,440 = 922$ กก. แต่เนื่องจากน้ำหนักของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบถูกกำหนดให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ดังนั้นจึงต้องแปลงน้ำหนักของหินย้อยที่คำนวณได้ให้อยู่ในรูปอิ่มตัวผิวแห้ง (D_{SSD}) ด้วย โดย $D_{SSD} = D_D \times (1 + (W/100))$ และ W คือ ค่าการดูดซึ่มของหินย้อยจากการทดลองหรือใช้ค่าประมาณ ดังนั้นน้ำหนักของหินย้อยสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (D_{SSD}) = $922 \times (1 + 0.5/100) = 927$ กก.

7. คำนวณปริมาณทราย โดยหา Absolute Volume ของวัสดุแต่ละชนิดจาก

$$\text{ปริมาตรของวัสดุ} = \frac{\text{น้ำหนักของวัสดุ}}{\text{ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุ} \times \text{หน่วยน้ำหนักของน้ำ}}$$

- ปริมาตรของน้ำ	200/(1.00x1000)	= 0.2000	ลบ.ม.
- ปริมาตรของปูนซีเมนต์	= 286/(3.15x1000)	= 0.0908	ลบ.ม.
- ปริมาตรของหินย่อย	= 927/(2.70x1000)	= 0.3433	ลบ.ม.
ปริมาตรของฟองอากาศ	= 2/100x1	= 0.0200	ลบ.ม.
ปริมาตรของวัสดุผสมยกเว้นมวลรวมละเอียด		= 0.6541	ลบ.ม.
ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้	= 1 – 0.6541	= 0.3459	ลบ.ม.
ดังนั้น ปริมาณทราย (SSD)	= 0.3459x2.60x1000	= 899	กก.

ปริมาณวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต 1 ลบ.ม.

ปูนซีเมนต์	= 286	กก.
น้ำ	= 200	กก.
ทราย (SSD)	= 899	กก.
หินย่อย (SSD)	= 927	กก.
น้ำหนักคอนกรีตรวม	= 2,312	กก.

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วนผสมคอนกรีตโดยน้ำหนัก} &= \frac{286}{286} : \frac{899}{286} : \frac{927}{286} \\ &= 1 : 3.14 : 3.24 \\ \text{w/c} &= \frac{200}{286} = 0.70 \end{aligned}$$

8. ทดลองผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนผสมที่คำนวณได้ เพื่อตรวจสอบค่ายุบตัว และความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด และทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว หากพบว่ามีความเหมาะสมให้นำไปใช้งานได้ แต่ถ้าไม่เหมาะสม เช่น ค่ายุบตัวไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด มีการแยกตัวของวัสดุผสม หรือกำลังอัดต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ให้ออกแบบส่วนผสมใหม่ โดยเริ่มพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ด้วยการปรับค่าที่แนะนำตามตารางต่างๆ ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น เช่น หากต้องการเพิ่มค่ายุบตัวของคอนกรีตให้เพิ่มปริมาณน้ำที่จะใช้ แต่ถ้าต้องการลดค่ายุบตัวของคอนกรีตให้ลดปริมาณน้ำที่จะใช้ หรือถ้าต้องการให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดที่สูงขึ้นให้ลดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ลง เป็นต้น

5. เอกสารอ้างอิง

5.1 สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย : ปูนซีเมนต์ ปอชโซลาน และคอนกรีต

5.2 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and
Mass Concrete : ACI 211.1-91

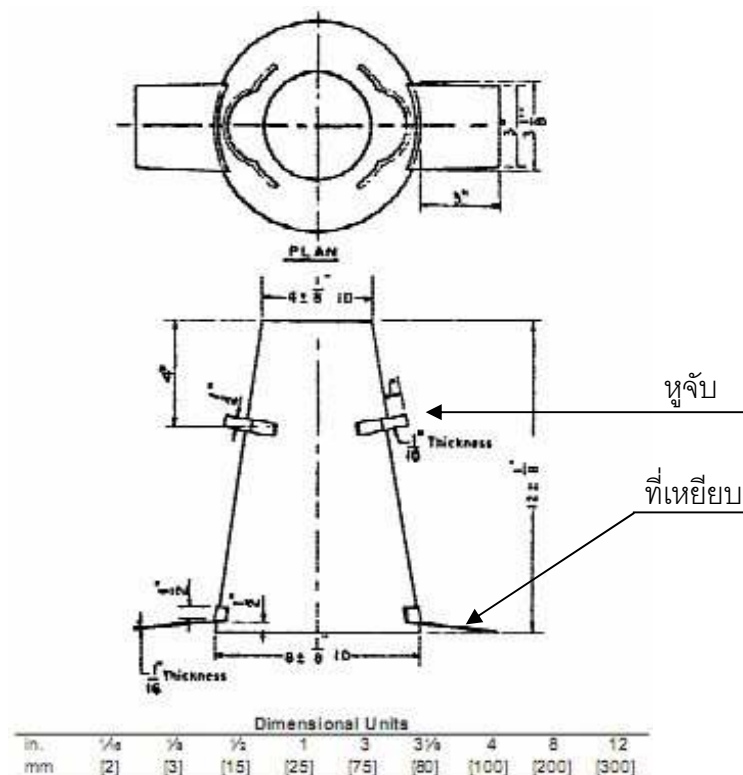
มาตรฐานการทดสอบ การทดสอบความชื้นเหลวของคอนกรีต โดยการหาค่าความยุบตัว

1. ขอบข่าย

เป็นการหาค่ายุบตัว (Sump) ของคอนกรีตสดทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม เพื่อหาความชื้นเหลว (Consistency) และตรวจสอบความสามารถเทได้ (Workability) ของคอนกรีต โดยคอนกรีตที่ทดสอบต้องมีมวลรวมหยาบขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 1 ½ นิ้ว (37.5 มิลลิเมตร) ซึ่งถ้าหากคอนกรีตมีมวลรวมหยาบขนาดใหญ่สุดเกิน 1 ½ นิ้ว ให้ร่อนออกด้วยตะแกรงก่อนทดสอบ นอกจากนี้ไม่ควรใช้วิธีการนี้ทดสอบกับคอนกรีตที่มีค่ายุบตั้น้อยกว่า 1/2 นิ้ว หรือมากกว่า 9 นิ้ว

2. เครื่องมือ

2.1 กรวยทดสอบค่ายุบตัว (Slump Cone) ทำด้วยเหล็กหนาไม่น้อยกว่า 1.5 มิลลิเมตร เป็นรูปทรงกรวยปลายตัด เส้นผ่านศูนย์กลางฐานกรวย 8 นิ้ว (200 มิลลิเมตร) เส้นผ่านศูนย์กลางปากกรวย 4 นิ้ว (100 มิลลิเมตร) ความสูงกรวย 12 นิ้ว (300 มิลลิเมตร) มีที่เหยียบและหุ้บ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 1 รูปร่างและมิติของกรวยทดสอบค่ายุบตัว

2.2 เหล็กกระท่ง (Tamping Rod) เป็นแท่งเหล็กกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5/8 นิ้ว (16 มิลลิเมตร) ยาวประมาณ 24 นิ้ว (600 มิลลิเมตร) มีปลายด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านมีลักษณะกลมมน

2.3 ถาดเหล็ก

2.4 ช้อนตัก

2.5 แกววัดระยะ หรือบรรทัดเหล็ก

3. วิธีการทดลอง

3.1 ทำให้กรวยทดสอบค่ายุบตัวขึ้น วางบนพื้นแข็งแรง ผิวหน้าเรียบ ไม่ดูดซับน้ำ เหยียบด้วยเท้าทั้งสองข้างของผู้ทดสอบบนที่เหยียบให้มั่นคง

3.2 ตักคอนกรีตทดสอบด้วยช้อนตักใส่ลงในกรวยทดสอบค่ายุบตัว โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น ในแต่ละชั้นมีความสูง 1/3 ของปริมาตรกรวย (ชั้นล่างสุดสูงจากพื้น 70 มิลลิเมตร ส่วนชั้นที่สองสูงจากพื้น 160 มิลลิเมตร)



รูปที่ 2 ตักคอนกรีตใส่กรวย 1/3 ของปริมาตร



รูปที่ 3 กระท่งชั้นละ 3 ชั้นๆ 25 ครั้ง

3.3 ในแต่ละชั้นกระท่งด้วยเหล็กกระท่งจำนวน 25 ครั้ง กระจายให้ทั่วและสม่ำเสมอ สำหรับชั้นล่างสุดให้เอียงเหล็กกระท่งเล็กน้อยเพื่อกระท่งประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนครั้งในการกระท่งทั้งหมดตามแนวเอียงบริเวณรอบขอบนอก และกระท่งจำนวนครั้งที่เหลือในแนวตั้งวนรอบแกนกลาง กระท่งคอนกรีตชั้นล่างสุดให้ผ่านตลอดความหนา (ถึงพื้น) ส่วนชั้นที่สองและชั้นบนสุดให้กระท่งทะลุผ่านชั้นที่ผ่านมามากน้อย

3.4 ในชั้นบนสุดให้ใส่คอนกรีตจนเต็มและกองสูงกว่าปากกรวยก่อนเริ่มกระท่ง ในระหว่างการกระท่งให้เติมคอนกรีตเพื่อรักษาระดับคอนกรีตให้สูงกว่าปากกรวยตลอดเวลา หลังจากกระท่งครบ 25 ครั้ง หมุนเหล็กกระท่งบนปากกรวยเพื่อปาดคอนกรีตส่วนเกินออกให้

เรียบเสมอปากกรวย จากนั้นให้ใช้มือกดที่หุ้บทั้งสองของข้างของกรวยและเอาคอนกรีตที่ตกหล่นบริเวณรอบกรวยออกให้หมด ก่อนยกกรวยขึ้นตรงๆ ออกจากคอนกรีตจนมีระยะสูง 12 นิ้ว (300 มิลลิเมตร) ภายในเวลา 5 ± 2 วินาที โดยใช้เวลาทดสอบตั้งแต่เริ่มจนเสร็จสิ้นการทดสอบภายในเวลา $2 \frac{1}{2}$ นาที



รูปที่ 4 ปาดผิวหน้าให้เรียบเสมอปากกรวย



รูปที่ 5 ยกกรวยขึ้นตรงๆ ในแนวดิ่ง

3.5 วัดค่ายุบของตัวคอนกรีตด้วยแถบวัดระยะในทันที โดยวัดความแตกต่างระหว่างความสูงของกรวยซึ่งเป็นความสูงดั้งเดิมกับผิวหน้าของคอนกรีตที่ทดสอบ แต่ถ้าหากการทรุดตัวของคอนกรีตเกิดขึ้นในรูปของการเนือไปด้านใดด้านหนึ่งให้ยกเลิกผลการทดสอบแล้วทำการทดสอบตัวอย่างใหม่ (ถ้าหากผลการทดสอบ 2 ครั้ง ติดต่อกันยังเกิดขึ้นในรูปแบบของการเนือ แสดงว่าคอนกรีตขาดความเหนียว และมีแรงยึดเหนี่ยวน้อย)



รูปที่ 6 วัดค่ายุบตัวพร้อมทั้งสังเกตลักษณะการทรุดตัว

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.209/2551

4. การรายงานผล

4.1 ค่ายุบตัว เป็นนิ้ว (เซนติเมตร) มีความละเอียด 1/4 นิ้ว (0.5 เซนติเมตร)

5. เอกสารอ้างอิง

5.1 American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 143-03

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.209/2551

Project	งานวิจัยกลุ่มงานคอนกรีต	Lab.No.	CM.1 / 2550
Location	จ.นนทบุรี		
Ingredient of Concrete	1 : 2.62 : 3.25 by wt.	w/c	0.68
Tested by		Date	
Checked by		Date	

Determination No.	1	2	3
Mixing Time	09:30		
Test Time	09:42		
Total Time (Minutes)	12		
Height of Slump Cone (cm)	-		
Height of Concrete	-		
Slump (cm)	8.0		
Average Slump (cm)			
Remark			

มาตรฐานการทดสอบ การทำตัวอย่างแท่งคอนกรีตและการบ่ม

1. ขอบข่าย

เป็นวิธีการเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีตด้วยการหล่อในแบบหล่อเล็กเพื่อการทดสอบกำลังอัดเฉพาะแท่งทดสอบรูปทรงกระบอก ขนาด $\varnothing 6 \times 12$ นิ้ว ($\varnothing 15 \times 30$ เซนติเมตร) และรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด $6 \times 6 \times 6$ นิ้ว ($15 \times 15 \times 15$ เซนติเมตร)

2. เครื่องมือ

- 2.1 แบบหล่อเหล็กรูปทรงกระบอก ขนาด $\varnothing 6 \times 12$ นิ้ว
- 2.2 แบบหล่อเหล็กรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด $6 \times 6 \times 6$ นิ้ว
- 2.3 เหล็กกระทุ้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $5/8$ นิ้ว (16 มิลลิเมตร) ยาว 24 นิ้ว ปลายกลมมน
- 2.4 เครื่องสั่นคอนกรีตชนิดจุ่ม (ในกรณีหล่อแท่งคอนกรีตด้วยเครื่องสั่น)
- 2.5 อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง เช่น ถาดเหล็ก ช้อนตัก เกรียงเหล็ก
- 2.6 น้ำมันทาแบบ
- 2.7 แปรงเหล็ก

3. วิธีการทดลอง

3.1 ประกอบแบบหล่อเหล็กให้เรียบร้อย ถ้ามีเศษปูน หรือคราบสนิมติดอยู่ให้ขัดด้วยแปรงเหล็กออกให้หมด แล้วทาด้วยน้ำมันทาแบบที่ไม่ทำให้แบบหล่อและคอนกรีตเสียหาย เพื่อป้องกันคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วติดกับแบบหล่อ ซึ่งทำให้ถอดแบบยาก

3.2 การหล่อแท่งคอนกรีตโดยใช้เหล็กกระทุ้ง สำหรับการหล่อแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก ตักคอนกรีตใส่แบบหล่อ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่าๆ กัน ($1/3$ ของปริมาตรแบบหล่อ) แล้วใช้เหล็กกระทุ้งทุ้งแต่ละชั้น 25 ครั้ง ส่วนการหล่อแท่งคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ให้ตักคอนกรีตใส่แบบหล่อ โดยแบ่งเป็น 2 ชั้นเท่าๆ กัน ($1/2$ ของปริมาตรแบบหล่อ) แล้วใช้เหล็กกระทุ้งทุ้งแต่ละชั้น 36 ครั้ง โดยกระทุ้งให้กระจายทั่วพื้นที่ผิวอย่างสม่ำเสมอและให้ปลายเหล็กกระทุ้งผ่านลงไปในชั้นผ่านมาเล็กน้อย เมื่อกระทุ้งชั้นบนสุดเสร็จ ใช้เกรียงเหล็กปาดคอนกรีตส่วนที่เกินออก แต่งผิวหน้าให้เรียบ

3.3 การหล่อแท่งคอนกรีตโดยใช้เครื่องสั่นคอนกรีตชนิดจุ่ม ตักคอนกรีตใส่แบบหล่อ โดยแบ่งเป็น 2 ชั้นเท่าๆ กัน หัวจุ่มจะต้องอยู่ในแนวตั้งและห่างจากผิวด้านข้างแบบประมาณ 20 มิลลิเมตร การสั่นจะต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องและหยุดเมื่อถึงจุดที่ไม่ปรากฏฟองอากาศ

ขนาดใหญ่และมีมอร์ตาร์เป็นชั้นบางๆ ปรากฏขึ้นที่ผิวหน้าของคอนกรีต นำหัวสั่นออกจากแบบหล่ออย่างช้าๆ ใช้เกรียงเหล็กแต่งผิวหน้าให้เรียบ

3.4 การถอดแบบหล่อควรถอดหลังการหล่อประมาณ 18 ถึง 24 ชั่วโมง เมื่อถอดแบบหล่อแล้วให้ทำบันทึกวันที่เก็บตัวอย่าง และข้อมูลอื่นที่จำเป็นบนแท่งคอนกรีต ระหว่างนั้นต้องป้องกันแท่งคอนกรีตไม่ให้เกิดการสั่นสะเทือนและการระเหยของน้ำก่อนจะนำไปบ่มต่อไป



รูปที่ 1 การหล่อแท่งคอนกรีตโดยใช้เหล็กกระทุ้ง



รูปที่ 2 การหล่อแท่งคอนกรีตโดยใช้เครื่องสั่นคอนกรีตชนิดจุ่ม

3.5 การบ่มตัวอย่างแท่งคอนกรีตให้บ่มด้วยน้ำ โดยแช่แท่งคอนกรีตในน้ำจนมิดและรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 21 – 25 องศาเซลเซียส จนกว่าจะถึงเวลาทดสอบที่กำหนดไว้



รูปที่ 3 การบ่มแท่งตัวอย่างด้วยน้ำ

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต มอก.409 – 2525

6.2 American Society of Testing and Materials; ASTM C192

6.3 British Standard Institute; BS 1881 : Part 3

มาตรฐานการทดสอบ การทดสอบกำลังอัดแท่งคอนกรีต

1. ขอบข่าย

เป็นวิธีการทดสอบหาลำกำลังอัดแท่งคอนกรีต (Compressive Strength of Concrete) เฉพาะแท่งทดสอบรูปทรงกระบอกและรูปทรงลูกบาศก์ ด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Machine)

2. เครื่องมือ

- 2.1 เครื่องทดสอบกำลังอัด
- 2.2 เวอร์เนียคาลิปเปอร์
- 2.3 อุปกรณ์เคลื่อนผิวหน้าแท่งตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

3. วิธีการทดลอง

3.1 วัดและบันทึกค่าความกว้างและความยาวของแท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์เพื่อหาพื้นที่หน้าตัด ถ้าเป็นแท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกให้วัดและบันทึกค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพื่อหาพื้นที่หน้าตัด



รูปที่ 1 วัดขนาดแท่งตัวอย่างรูปทรง
ลูกบาศก์



รูปที่ 2 วัดขนาดแท่งตัวอย่างรูปทรง
กระบอก

3.2 ก่อนทำการทดสอบแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก ปลายทั้งสองด้านจะต้องเรียบ เป็นระนาบตั้งฉากกับแนวแกน กรณีที่ปลายของแท่งตัวอย่างไม่เรียบ จะต้องทำการตัดหรือ เคลือบผิวหน้า แท่งตัวอย่างทั้งสองด้านด้วยวัสดุเคลือบผิวที่สามารถรับแรงอัดได้สูงกว่าแรงอัด ของแท่งตัวอย่างคอนกรีต เช่นก้ำมะถันกับผงฝุ่นหินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 ด้วยอัตราส่วน 3 ต่อ 1 โดยให้ห่อมเหลวของผสมนี้ที่อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 180 ถึง 210 องศาเซลเซียส แล้วจึงเท ของเหลวลงบนแบบเหล็ก คั่วและอัดแท่งตัวอย่างลงบนของผสมนี้อย่างสม่ำเสมอ การเคลือบ ปลายทั้งสองของแท่งตัวอย่างจะต้องเคลือบให้ตั้งฉากกับแนวแกนของแท่งตัวอย่าง ส่วนแท่ง ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ไม่ต้องเคลือบผิว



รูปที่ 3 การเคลือบผิวหน้าแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกด้วยก้ำมะถันห่อมเหลว

3.3 นำแท่งตัวอย่างวางบนกึ่งกลางของแท่นทดสอบโดยจัดให้แกนของแท่ง ตัวอย่างอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่นกด



รูปที่ 4 การนำแท่งตัวอย่างวางบนกึ่งกลางของแท่นทดสอบ

3.4 เดินเครื่องทดสอบกำลังอัด ให้นำน้ำหนักดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ โดยให้นำน้ำหนักด้วยอัตราคงที่ อยู่ในช่วง 1.43 ถึง 3.47 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที สำหรับแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก และ 1.12 ถึง 2.72 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที สำหรับแท่งตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ ในการควบคุมเครื่องทดสอบในช่วงครึ่งแรกของน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งตัวอย่างจะรับได้ ยอมให้ใช้อัตราการกดสูงกว่ากำหนดได้ หลังจากนั้นให้ปรับน้ำหนักกดด้วยอัตราคงที่ตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 5 การทดสอบกำลังอัดโดยให้น้ำหนักกดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

3.5 กดแท่งตัวอย่างจนวิบัติ บันทึกค่าแรงกดที่ได้ แล้วนำค่าแรงกดและพื้นที่หน้าตัดที่ได้มาหาค่ากำลังอัดต่อไป



รูปที่ 6 แท่งตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่กดจนวิบัติ



รูปที่ 7 แท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่ทดสอบบีบอัด

4. การคำนวณ

$$4.1 \quad f_c = \frac{P_{\max}}{A}$$

เมื่อ

f_c	คือ	ค่ากำลังอัด เป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
$P_{\max}$	คือ	แรงกดสูงสุด เป็น กิโลกรัม
A	คือ	พื้นที่รับแรงกด เป็น ตารางเซนติเมตร

ในกรณีที่ต้องการแปลงค่ากำลังอัดจากแท่งรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 6x6x6 นิ้วเป็นค่ากำลังอัดแท่งรูปทรงกระบอก ขนาด $\varnothing 6 \times 12$ นิ้ว ให้ใช้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

ขนาดหินย่อยใหญ่สุด 1 ½ นิ้ว	$Y = 0.916 \cdot X - 23.962$
ขนาดหินย่อยใหญ่สุด 1 นิ้ว	$Y = 0.895 \cdot X - 15.207$
ขนาดหินย่อยใหญ่สุด ¾ นิ้ว	$Y = 0.933 \cdot X - 9.687$
ขนาดหินย่อยใหญ่สุด ½ นิ้ว	$Y = 0.960 \cdot X - 6.215$

เมื่อ X = ค่ากำลังอัดแท่งคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 6x6x6 นิ้ว

Y = ค่ากำลังอัดแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก ขนาด $\varnothing 6 \times 12$ นิ้ว

5. การรายงานผล

- 5.1 รายงานผลค่ากำลังอัดแท่งคอนกรีตเป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- 5.2 ความละเอียดไม่มีทศนิยม

6. เอกสารอ้างอิง

- 6.1 ผลการวิจัยเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดคอนกรีตเมื่อหล่อด้วยแบบ CUBE และแบบ CYLINDER ส่วนทดลองและตรวจสอบด้านวิศวกรรม สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน พ.ศ.2544
- 6.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต มอก.409-2525
- 6.3 American Society of Testing and Materials; ASTM C 192
- 6.4 British Standard Institute; BS 1881 : Part 3

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.211/2551

การทดสอบหาแรงอัดแท่งคอนกรีต

ลำดับงานที่ CM. 700 / 2552

วันที่ 15 ตุลาคม 2551

โครงการ ส่วนวิศวกรรมบริหาร สขป.11 (สัญญาเลขที่ จ.65 / 2551)

ผู้ทดสอบ.....

ขนาดแท่งตัวอย่าง ขนาดทรงกระบอก Ø 15 X 30 ซม.

ผู้ตรวจสอบ.....

ลำดับ ตัวอย่าง	รหัส ตัวอย่าง	ความยุบตัว (ซม.)	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	อายุ (วัน)	แรงอัดสูงสุด		หมายเหตุ
					(กก.)	(กก./ตร.ซม.)	
1	A1	8.0	15 ก.ย.41	7	60,000	339	
2	A2	"	"	"	55,000	311	
3	A3	"	"	"	59,000	334	
4	A4	8.0	15 ก.ย.41	28	66,000	373	
5	A5	"	"	"	67,000	379	
6	A6	"	"	"	66,500	376	

หมายเหตุ 1. กำลังอัดที่อายุ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 350 กก./ตร.ซม.

มาตรฐานการทดสอบ

การควบคุมกำลังอัดของคอนกรีตในสนามโดยวิธี Moving Average

1. ขอบข่าย

เป็นการหาค่าเฉลี่ยกำลังอัดของคอนกรีตโดยใช้แผนภาพแสดงกำลังอัดเฉลี่ย 5 ค่าติดต่อกัน (Moving Average) เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมกำลังอัดของคอนกรีตในสนามขณะก่อสร้าง

2. การคำนวณ

ความรู้พื้นฐานทางสถิติ

ค่าฟังก์ชันต่างๆ ที่ควรทราบเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

2.1 ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เป็นค่าเฉลี่ยกำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีต

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

เมื่อ $x_1, x_2, x_3, x_4 \dots x_n$ คือ ค่ากำลังอัดของแต่ละแท่งตัวอย่างคอนกรีต
เป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

n คือ จำนวนแท่งตัวอย่างคอนกรีต

2.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (s) เป็นค่าที่ใช้วัดการกระจายกำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตจากค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)

$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}}$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานนี้จะเป็นตัวกำหนดรูปแบบรวมของเส้นโค้งการแจกแจงความถี่แบบปกติ ซึ่งทำให้ทราบถึงระดับการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตได้ ในกรณีที่มีการควบคุมคุณภาพของคอนกรีตดี ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะน้อย นั่นคือกำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตส่วนใหญ่จะมีค่าใกล้เคียงกับ ค่าเฉลี่ย (เส้นโค้งการแจกแจงความถี่แบบปกติโด่งขึ้นและแคบลง) ในกรณีที่การควบคุมคุณภาพของคอนกรีตไม่ดี ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่ามาก ค่ากำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตก็จะกระจายออกจากค่าเฉลี่ยมาก (เส้นโค้งการแจกแจงความถี่เตี้ยลงและแบนออก)

การเก็บข้อมูล

ค่าเฉลี่ยหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่หาได้นั้น จะถูกต้องมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับวิธีการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ข้อมูลที่เก็บโดยวิธีการสุ่มจะเป็นตัวแทนที่แท้จริง นอกจากนี้จำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ก็เป็นปัจจัยสำคัญอีกด้วย โดยมาตรฐานทั่วไป กำหนดว่า จำนวนข้อมูลที่จะถือว่าน่าเชื่อถือได้ ต้องมาจากกำลังของแท่งตัวอย่างคอนกรีตไม่น้อยกว่า 30 ค่า

แผนภาพการควบคุมคุณภาพ

แผนภาพการควบคุมคุณภาพนี้ มีการใช้อย่างแพร่หลายในการควบคุมคุณภาพคอนกรีตโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในเรื่องกำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีต ทั้งนี้เพราะแผนภาพนี้จะแสดงให้เห็นทุกขณะว่า กำลังคอนกรีตมีการผันแปรมากน้อยเท่าใด

โดยทั่วไป แผนภาพที่ใช้ในงานควบคุมคุณภาพ กำลังอัดคอนกรีต มีอยู่ 2 แผนภาพ ดังนี้

(1) แผนภาพแสดงกำลังอัดเฉลี่ยของแท่งตัวอย่างคอนกรีต

(2) แผนภาพแสดงกำลังอัดเฉลี่ย 5 ค่าติดต่อกัน

แผนภาพกำลังอัดเฉลี่ยของแท่งตัวอย่าง

แผนภาพนี้ได้จากการนำข้อมูลของกำลังอัดเฉลี่ยที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน มาเขียนความสัมพันธ์ โดยให้

- แกนนอนแสดงจำนวนชุดตัวอย่าง
- แกนตั้งแสดงกำลังอัด หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

แผนภาพกำลังอัดเฉลี่ย 5 ค่าติดต่อกัน

แผนภาพนี้ได้จากการนำข้อมูลของกำลังอัดเฉลี่ย 5 ค่าติดต่อกัน ที่อายุ 7 และ 28 วัน มาเขียนความสัมพันธ์ โดยให้

- แกนนอนแสดงจำนวนชุดตัวอย่าง
- แกนตั้งแสดงกำลังอัด หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

การประเมินผลจากแผนภาพ

เมื่อได้แผนภาพแล้ว จะนำมาทำการวิเคราะห์ และประเมินผล ดังนี้

1. การประเมินผลจากแผนภาพกำลังอัดเฉลี่ยของแท่งตัวอย่าง แผนภาพแสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอในการควบคุมคุณภาพคอนกรีต

2. การประเมินผลจากแผนภาพกำลังอัดเฉลี่ย 5 ค่าติดต่อกัน ซึ่งการวิเคราะห์และประเมินผล ดูได้จากแนวโน้มของเส้นในแผนภาพ

- ถ้าเส้นที่ได้มีค่าความลาดเอียงขึ้น แสดงว่าแนวโน้มกำลังอัดสูงขึ้นจากเดิม
- ถ้าเส้นที่ได้มีค่าความลาดเอียงลง แสดงว่าแนวโน้มกำลังอัดลดลงจากเดิม
- ถ้าเส้นที่ได้มีค่าความลาดเอียงเป็นศูนย์ แสดงว่าแนวโน้มกำลังอัดคงที่

การไปใช้งาน

1. หาค่า f_{cr} และออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้งานจริงในสนามให้มีค่ากำลังอัดสูงกว่ากำลังอัดที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้าง ดังนี้

$$f_{cr} = f_c' + z_s$$

โดยที่ f_{cr} = กำลังอัดที่ออกแบบใช้งานจริงในสนาม

f_c' = กำลังอัดที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้าง

s = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (ปกติมีค่าระหว่าง 30-40 กก./ตร.ซม.)

z = ค่าคงที่ทางสถิติ เทียบกับร้อยละของกำลังอัดที่ต่ำกว่า f_c'

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ Z

ร้อยละของกำลังอัดที่ต่ำกว่า f_c'	ค่าคงที่ทางสถิติ (z)
30	0.52
25	0.67
20	0.84
15.9	1.00
15	1.04
10	1.28
5	1.65
2.5	1.96
2.3	2.00
1	2.33
0.5	2.58
0.13	3.00

2. ออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตเพื่อไว้รวม 3 อัตราส่วน พร้อมใช้งานได้ทันที ดังนี้

- อัตราส่วนที่ 1 ส่วนผสมคอนกรีตที่มีกำลังอัดเท่ากับกำลังอัดที่ออกแบบใช้งานจริงในสนาม (f_{cr}) ตามข้อ 1

- อัตราส่วนที่ 2 ส่วนผสมคอนกรีตที่มีค่า W/C ลดลง 0.05 เมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมที่ 1

- อัตราส่วนที่ 3 ส่วนผสมคอนกรีตที่มีค่า W/C เพิ่มขึ้น 0.05 เมื่อเทียบกับอัตราส่วนผสมที่ 1

3. ทำงานสนามโดยใช้อัตราส่วนผสมคอนกรีตที่ 1 ก่อน โดยการเลือกใช้ส่วนผสมคอนกรีตอัตราส่วนที่ 2 หรือ 3 มีข้อพิจารณาดังนี้

3.1 ถ้าเส้นกราฟที่ได้จากการ Moving Average มีแนวโน้มลดลง ซึ่งคาดว่าจะต่ำกว่าเส้นกำลังอัดที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างต่อไปได้ ให้เปลี่ยนมาใช้ส่วนผสมคอนกรีตอัตราส่วนที่ 2

3.2 ถ้าเส้นกราฟที่ได้จากการ Moving Average มีแนวโน้มสูงขึ้น และสูงจากเส้นกำลังอัดที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างมาก ให้เปลี่ยนมาใช้ส่วนผสมคอนกรีตอัตราส่วนที่ 3

3. ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนด $f_c' = 200$ กก./ตร.ซม.

$s = 30$ กก./ตร.ซม.

$z = 1.04$ (ยอมให้คอนกรีตมีกำลังอัดที่ต่ำกว่า f_c' เท่ากับร้อยละ 15)

ดังนั้น กำลังอัดที่ออกแบบใช้งานจริงในสนาม (f_{cr}) = $200 + (30 \times 1.04)$

= 231 กก./ตร.ซม.

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.212/2551

Project งานวิจัยคอนกรีต

Lab No. CM. 10 / 2550

Location

Test by

Date

ชุดที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	กำลังอัดที่อายุ 7 วัน (กก./ตร.ซม.)					กำลังอัดที่อายุ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
		X1	X2	X3	$\bar{X}$	XMOV	X1	X2	X3	$\bar{X}$	XMOV
1	1/6	192	168	182	181	-	218	256	244	239	-
2		191	176	208	192	-	223	226	241	230	-
3		182	209	178	190	-	248	255	234	236	-
4		190	211	210	204	-	258	242	224	241	-
5	3/6	178	195	198	190	191	255	246	241	247	241
6		189	185	175	183	192	236	220	247	234	239
7		194	238	196	209	192	240	234	259	244	243
8		196	200	201	199	194	225	246	222	231	239
9	4/6	198	202	198	199	193	223	242	246	237	238
10		199	198	190	196	194	255	245	248	249	239
11		189	196	197	194	196	240	232	226	233	239
12		168	189	201	186	195	230	243	239	238	238
13	7/6	193	181	189	188	192	217	240	221	226	237
14		191	195	185	190	191	241	216	238	231	235
15		186	194	189	190	189	231	224	238	231	232
16		188	198	193	193	189	245	231	248	242	233
17		190	185	200	192	190	231	245	236	238	233
18		186	183	180	183	189	244	232	240	238	236
19	9/6	199	194	192	195	190	225	230	234	230	236
20		189	203	198	197	192	235	229	235	233	236
21		194	189	197	193	192	240	230	227	232	234
22		196	184	199	193	192	232	225	245	234	233
23		191	203	198	197	195	248	241	236	242	234
24		195	184	196	192	195	241	248	247	245	238
25		193	199	186	193	194	246	247	220	238	238
26	10/6	198	194	202	198	195	240	229	244	238	238
27		200	203	200	201	196	238	231	241	237	240
28		194	196	201	197	196	238	231	241	237	240
29		194	200	197	197	197	246	235	223	235	236
30	11/6	195	199	198	197	198	220	243	237	233	235
31		200	188	198	195	197	245	236	239	240	235
32		190	196	198	195	196	224	234	241	233	235

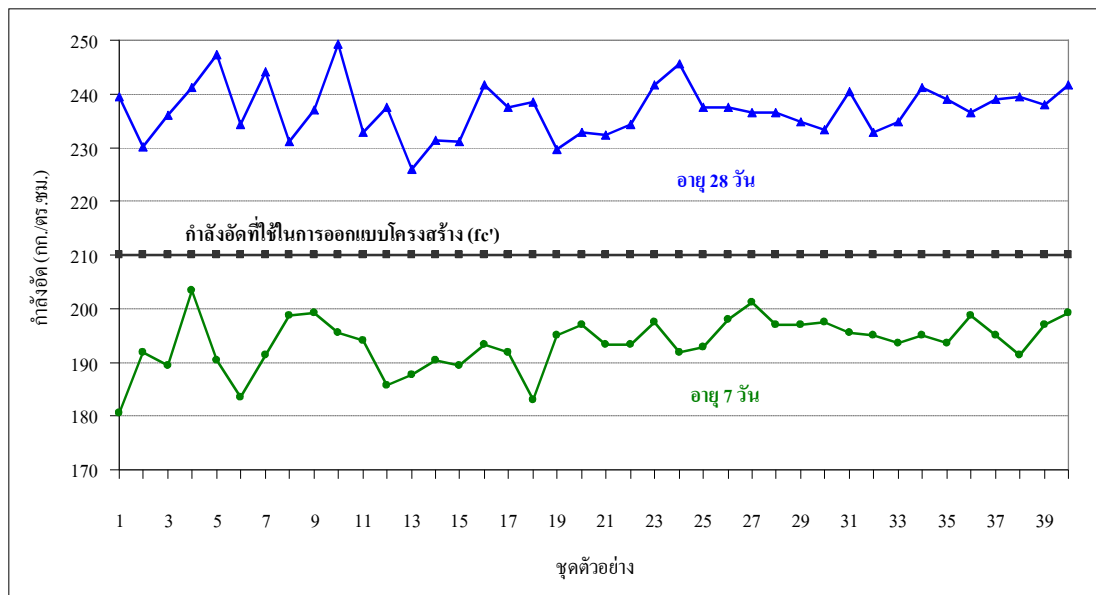
สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.212/2551

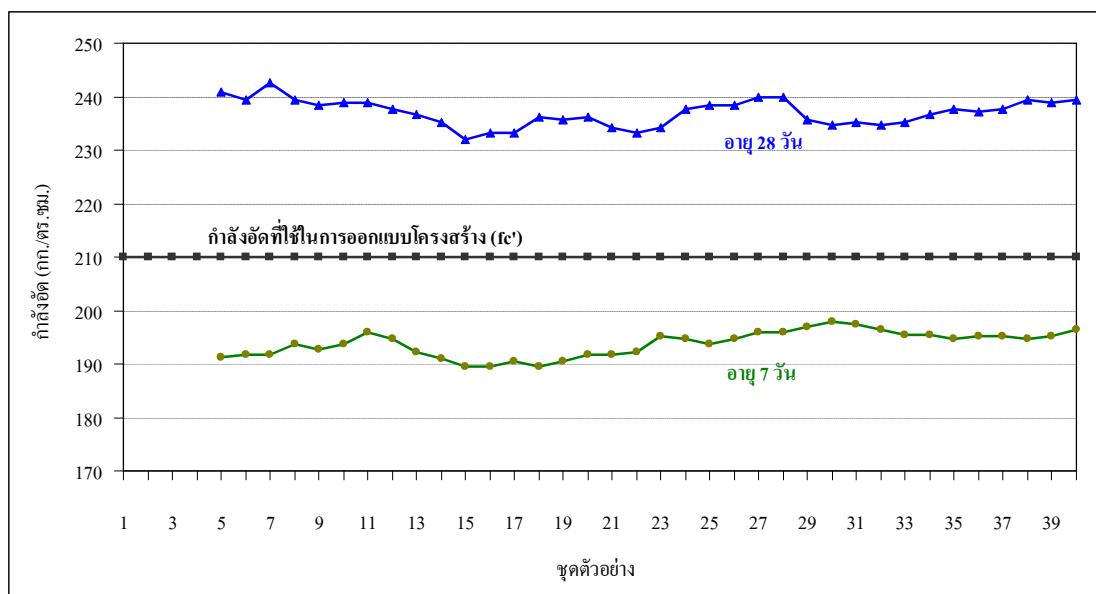
Project							Lab No.				
Location							Test by		Date		
ชุดที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	กำลังอัดที่อายุ 7 วัน (กก./ตร.ซม.)					กำลังอัดที่อายุ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)				
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
		X1	X2	X3	$\bar{X}$	XMOV	X1	X2	X3	$\bar{X}$	XMOV
33	12/6	202	195	185	194	196	226	240	238	235	235
34		186	200	199	195	196	236	242	246	241	237
35		188	195	197	194	195	232	245	239	239	238
36		197	196	204	199	195	231	238	240	237	237
37		191	198	196	195	195	231	245	239	239	238
38	15/6	195	193	186	191	195	241	247	230	239	239
39		197	193	200	197	195	245	239	231	238	239
40		199	196	204	196	196	238	243	244	242	239

หมายเหตุ

- ช่องที่ 1 คือ ชุดที่
- ช่องที่ 2 คือ วันที่หล่อแท่งตัวอย่าง
- ช่องที่ 3 – 5 คือ ค่ากำลังอัดแท่งตัวอย่างที่อายุ 7 วัน
- ช่องที่ 6 คือ ค่าเฉลี่ยกำลังอัดแท่งตัวอย่างที่อายุ 7 วัน (ค่าเฉลี่ยจากช่องที่ 3 – 5)
- ช่องที่ 7 คือ ค่ากำลังอัดแท่งตัวอย่างเฉลี่ย 5 ค่าติดต่อกันที่อายุ 7 วัน
- ช่องที่ 8 – 10 คือ ค่ากำลังอัดแท่งตัวอย่างที่อายุ 28 วัน
- ช่องที่ 11 คือ ค่าเฉลี่ยกำลังอัดแท่งตัวอย่างที่อายุ 28 วัน (เฉลี่ยจากช่องที่ 8 – 10)
- ช่องที่ 12 คือ ค่ากำลังอัดแท่งตัวอย่างเฉลี่ย 5 ค่าติดต่อกันที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 1 แผนภาพกำลังอัดเฉลี่ยของแท่งตัวอย่างคอนกรีต



รูปที่ 2 แผนภาพกำลังอัดเฉลี่ย 5 ค่าติดต่อกัน (Moving Average)

มาตรฐานการทดสอบ การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตด้วยเครื่อง Schmidt's Hammer

1. ขอบข่าย

เป็นการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตแบบไม่ทำลายโครงสร้างด้วยเครื่อง Schmidt's Hammer

2. เครื่องมือ

2.1 เครื่อง Schmidt's Hammer ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่อง Schmidt's Hammer

3. วิธีการทดลอง

3.1 กดแกนทดสอบกับพื้นหรือผนังเพื่อคลายล็อคให้แกนทดสอบยืดออกพร้อมที่จะใช้งาน

3.2 กดแกนทดสอบตรงจุดที่จะทำการทดสอบในแนวตั้งฉากจนกระทั่งเกิดการสะท้อนกลับ (Rebound) กดปุ่มล็อคแล้วอ่านค่าพร้อมจดบันทึกค่าดัชนีสะท้อนกลับ (Rebound Number)

3.3 ทำการทดสอบตามข้อ 3.2 ไม่น้อยกว่า 10 จุด โดยแต่ละจุดมีระยะห่างไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว

3.4 หากค่าเฉลี่ย 10 จุด ค่าที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ย 10 จุดเกิน 6 ให้ตัดทิ้ง และนำค่าเฉลี่ยของจุดที่เหลือไปใช้งาน หากมีค่าที่แตกต่างจากค่าเฉลี่ย 10 จุด มากกว่า 2 ค่า ให้ทำการทดสอบใหม่

3.5 ผลการทดสอบคือค่าเฉลี่ยของจุดที่ยอมรับ

3.6 หลังเสร็จสิ้นการใช้งาน ต้องตรวจสอบเครื่อง Schmidt's Hammer ให้อยู่ในสภาพที่เกณฑ์ทดสอบลือคในตำแหน่งขีดอ่านอยู่ตรงเลขศูนย์



รูปที่ 2 ขัดทำความสะอาดด้วยหินขัดบริเวณพื้นผิวทดสอบให้เรียบ



รูปที่ 3 กัดเกณฑ์ทดสอบตรงจุดที่จะทำการทดสอบในแนวตั้งฉากจนกระทั่งเกิดการสะท้อนกลับ

4. การคำนวณ

4.1 นำค่าเฉลี่ยของจุดที่ยอมรับ ไปอ่านค่ากำลังอัดคอนกรีตจากกราฟความสัมพันธ์ของเครื่อง Schmidt's Hammer ที่ใช้ทดสอบ

4.2 ในกรณีที่กราฟความสัมพันธ์ของเครื่อง Schmidt's Hammer ที่ใช้ทดสอบแสดงค่ากำลังอัดทรงลูกบาศก์ การแปลงค่าเป็นกำลังอัดทรงกระบอกทำได้โดยนำค่ากำลังอัดทรงลูกบาศก์คูณด้วย 0.85

5. การรายงานผล

5.1 รายงานผลเป็นค่ากำลังอัดคอนกรีต เป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

5.2 ความละเอียด ไม่มีทศนิยม

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C805-02

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.213/2551

การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

ลำดับงานที่ CM. 701 / 2551

วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2542

โครงการ ส่วนวิศวกรรมบริหาร สขบ.11 (สัญญาเลขที่ จ.65 / 2551)

ผู้ทดสอบ.....

วิธีทดสอบ ใช้เครื่องยัดคอนกรีต (Schmidt Hammer)

ผู้ตรวจสอบ.....

Structure	Placing Date	Testing Date	Age (days)	Average Rebound Number; N	Cylinder Compressive Strength (ksc)	Correction Factor to 28 days	Compressive Strength (ksc) at 28 days
เสาชั้น 4	19 พ.ย. 41	10 ก.พ. 42	83	38.4	326	-	326

หมายเหตุ

มาตรฐานการทดสอบ การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตเจาะ

1. ขอบข่าย

เป็นวิธีการทดสอบกำลังอัดคอนกรีต โดยการเจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีตจากตำแหน่งที่ต้องการของโครงสร้างนำมาทดสอบค่ากำลังอัดสูงสุด ด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Machine)

2. เครื่องมือ

- 2.1 เครื่องเจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีต (Core Drilling Machine)
- 2.2 กระบอกเจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีตหัวเพชร (Diamond bit)
- 2.3 เลื่อยตัดคอนกรีต (SAW)



รูปที่ 1 เครื่องเจาะแท่งคอนกรีตพร้อมหัวเจาะ

3. วิธีการทดลอง

3.1 ใช้กระบอกระเบียงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 3 เท่าของขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (Nominal Maximum Aggregate Size) แต่ต้องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 2 นิ้ว

3.2 ติดตั้งเครื่องเจาะเก็บแท่งตัวอย่างบนตำแหน่งของโครงสร้างคอนกรีตที่ต้องการจะเจาะเก็บตัวอย่าง โดยปรับให้แนวแกนหมุนตั้งฉากกับผิวของคอนกรีต

3.3 เจาะเก็บแท่งตัวอย่างคอนกรีต ให้มีอัตราส่วนความยาว (L) ต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) หรือ L : D Ratio เท่ากับ 2 : 1 โดยแท่งตัวอย่างที่มีเหล็กเสริมหรือวัสดุอื่นๆ ผิวยังไม่ควรนำมาใช้ในการทดสอบกำลังอัด

3.4 ใช้ผ้าเช็ดทำความสะอาดคราบสกรกแท่งตัวอย่างคอนกรีต แล้วนำไปเก็บไว้เพื่อหากล้างอัดต่อไป ถ้าแท่งตัวอย่างคอนกรีตที่เจาะเก็บจากโครงสร้างที่ใช้ทดสอบงานอยู่ในสภาพที่แห้ง ต้องทิ้งให้แห้งในร่มอย่างน้อย 5 วัน ก่อนทดสอบ ในขณะที่แท่งตัวอย่างคอนกรีตที่เจาะเก็บจากโครงสร้างที่ใช้ทดสอบอยู่ในสภาพเปียก ควรทดสอบในสภาพเปียกโดยแช่น้ำไว้นานอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ก่อนทดสอบ

3.5 ตัดแต่งแท่งตัวอย่างคอนกรีตให้มีขนาดอัตราส่วนความยาว (L) ต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) หรือ L : D Ratio เท่ากับ 2 : 1 โดยใช้เลื่อยตัดคอนกรีต ตัดส่วนให้เรียบตั้งฉากทั้งสองด้าน และนำไปหล่อหัวแท่งตัวอย่างคอนกรีตด้วยกัมมะถัน



รูปที่ 2 ลักษณะตัวอย่างแท่งคอนกรีตที่เจาะจากโครงสร้าง



รูปที่ 3 ตัดตัวอย่างตัวเลื่อยตัดคอนกรีต

3.6 วัดขนาดหาค่าเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างคอนกรีตพร้อมจดบันทึกค่าไว้ แล้วนำแท่งตัวอย่างคอนกรีต เข้าเครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Machine) กดจนกระทั่งแท่งตัวอย่างคอนกรีตแตก และบันทึกค่าแรงอัดสูงสุดที่ได้

4. การคำนวณ

$$4.1 \text{ กำลังอัดคอนกรีต } f_c = \frac{P_{MAX}}{A}$$

เมื่อ f_c คือ กำลังอัด เป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

P_{MAX} คือ แรงอัดสูงสุด เป็นกิโลกรัม

A คือ พื้นที่รับแรงอัด เป็นตารางเซนติเมตร

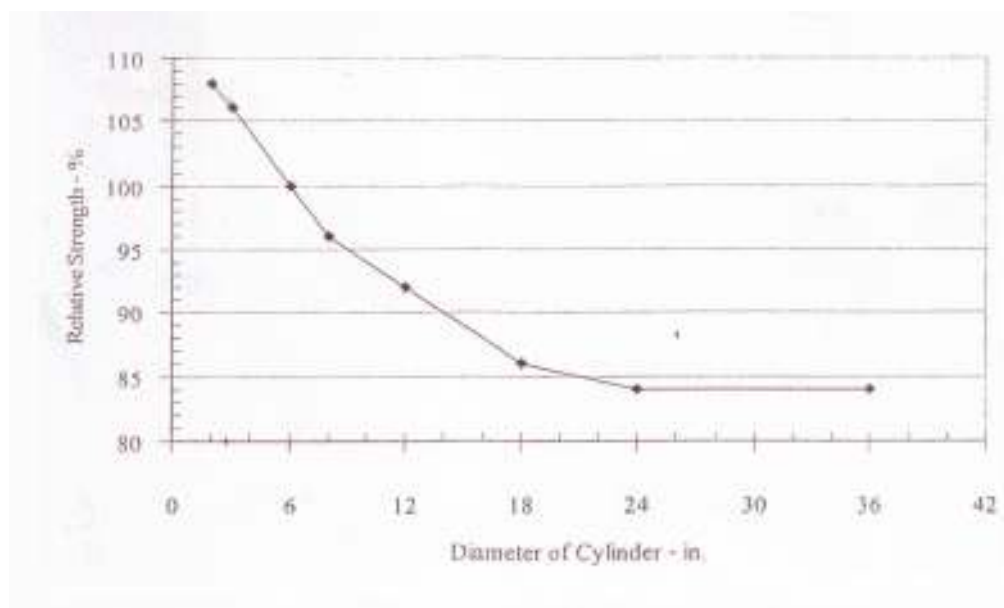
$$4.2 \text{ ปรับแก้ค่ากำลังอัด } = f_c \times \frac{r_1}{r_2} \times 100$$

เมื่อ r_1 คือ ค่าปรับแก้อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางตามตารางที่ 1

r_2 คือ ค่าปรับเทียบค่าปรับเทียบกำลังอัดรูปทรงกระบอกมาตรฐานตามรูปที่ 2

ตารางที่ 4.1 อัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางกับตัวคูณที่ใช้ในการปรับแก้กำลังอัด

อัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่าน ศูนย์กลาง	ตัวคูณที่ใช้ในการปรับแก้	
	ASTM C42	มอก.409
1.75	0.98	0.99
1.50	0.96	0.97
1.25	0.93	0.94
1.00	0.97	0.91



รูปที่ 4.2 ค่าเปรียบเทียบกำลังอัดรูปทรงกระบอกมาตรฐาน

5. การรายงานผล

5.1 รายงานผลค่ากำลังอัดคอนกรีต เป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

5.2 ความละเอียด ไม่มีทศนิยม

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C42/C42M-04

6.2 มาตรฐานการทำงานคอนกรีต วสท.

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.214/2551

ลำดับงานที่ CM. 5/2550

วันที่ 30 กรกฎาคม 2549

โครงการ งานวิจัยกลุ่มงานคอนกรีต

ผู้ทดสอบ.....

ลักษณะตัวอย่าง คอนกรีตเจาะรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง (D) = 7.50 ซม. ตาม ASTM C42

ผู้ตรวจสอบ.....

หมายเลข ตัวอย่าง	วันที่เจาะ คอนกรีต	วันที่ทดสอบ แรงอัด	อายุ คอนกรีต (วัน)	ความยาว (L) (ซม.)	L/D	แรงอัด สูงสุด (กก.)	กำลังอัด สูงสุด (กก./ตร.ซม.)	r1	r2	กำลังอัด ที่ปรับแก้ค่า (กก./ตร.ซม.)	หมายเหตุ
1	23 ก.ค. 49	29 ก.ค. 49	54	13.13	1.75	6,000	136	0.98	106	126	

หมายเหตุ 1. โครงสร้างกำแพง

2. คอนกรีตเทเมื่อวันที่ 3 มิถุนายน 2542

มาตรฐานการทดสอบ

การหาขนาดผลของดินด้วยตะแกรง

1. ขอบข่าย

เป็นการหาขนาดเม็ดดินโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถแยกเป็นเม็ดดินขนาดต่าง ๆ และแต่ละขนาดมีปริมาณเป็นจำนวนร้อยละเท่าใดของปริมาณทั้งหมด สำหรับพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน

2. เครื่องมือ

- 2.1 ตะแกรง (Sieves) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ซึ่งมีขนาดช่องผ่านหลายขนาดตามต้องการ
- 2.2 เครื่องเขย่าตะแกรง (Sieve Shaker) เป็นเครื่องสำหรับเขย่าตะแกรงเพื่อให้เม็ดดินที่เล็กกว่าตะแกรงนั้นๆ ลอดผ่านให้มากที่สุด
- 2.3 เครื่องชั่ง มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.01 กรัม
- 2.4 เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter)
- 2.5 ตู้อบ สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียสได้ หรือตู้ไมโครเวฟ
- 2.6 แปรงขนอ่อน แปรงทองเหลือง และภาดใส่ดิน

3. วิธีการทดลอง

3.1 เตรียมตัวอย่างโดยนำมาผสมและคลุกให้เข้ากันดี ทำการคัดเลือกตัวอย่างทั้งหมดด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่างในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้นเล็กน้อยเพื่อลดการแยกตัว โดยปริมาณตัวอย่างที่ใช้ทดสอบให้เป็นไปตามตารางที่ 1

3.2 ถ้าตัวอย่างที่คัดเลือกแล้วจับตัวติดกันเป็นก้อนโต ให้ใช้ค้อนยางทุบให้แยกออกจากกันแต่ไม่ทำให้เม็ดดินแตก แล้วนำไปอบแห้งจนน้ำหนักคงที่ด้วยตู้อบ จากนั้นนำไปชั่งและบันทึกน้ำหนักไว้

3.3 วิธีการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

3.3.1 วิธีทดลองโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้างน้ำ

3.3.1.1 นำตะแกรงมาเรียงซ้อนกันโดยให้ตะแกรงที่มีขนาดช่องใหญ่อยู่ด้านบนแล้วเรียงขนาดเล็กลงมาตามลำดับจนถึงตะแกรงขนาดเล็กสุดและภาดรอง (pan) ตามลำดับ

3.3.1.2 นำตัวอย่างดินแห้งเทใส่ลงบนตะแกรงอันบนสุด ปิดฝาแล้วนำเข้าเครื่องเขย่าตะแกรง ใช้เวลาเขย่าอย่างน้อย 10 นาที ถ้าเป็นเม็ดดินขนาดเล็กก็ควรใช้เวลาเขย่านานขึ้นกว่าปกติหรือประมาณ 15 นาที

ตารางที่ 1 ขนาดโตสุดของเม็ดดินและปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาดโตสุดของเม็ดดิน นิ้ว (มิลลิเมตร)	ปริมาณตัวอย่างทดสอบอย่างน้อย กรัม
$\frac{3}{8}$ (9.5)	500
$\frac{3}{4}$ (19.0)	1,000
1 (25.4)	2,000
$\frac{1}{1-2}$ (38.1)	3,000
2 (50.8)	4,000
3 (76.2)	5,000

3.3.1.3 หาน้ำหนักตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรงและถาดรองโดยเทตัวอย่างจากตะแกรงลงในถาด ใช้แปรงปัดปัดจนไม่มีตัวอย่างเหลือติดอยู่ นำถาดใส่ตัวอย่างไปชั่งและหักลงน้ำหนักของถาดออก บันทึกน้ำหนักไว้และกระทำไปเช่นนี้จนครบทุกตะแกรง

3.3.2 วิธีทดลองโดยผ่านตะแกรงแบบล้างน้ำ

3.3.2.1 นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใช้ล้างตัวอย่าง เทน้ำลงไปในภาชนะจนท่วมดินตัวอย่าง แช่น้ำไว้ประมาณ 3 ถึง 4 ชั่วโมง



รูปที่ 1 แซ่ตัวอย่างในน้ำ

3.3.2.2 ล้างตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) โดยใช้ ตะแกรงเบอร์ 16 ช้อนไว้ข้างบนเพื่อลดปริมาณตัวอย่างบนตะแกรงเบอร์ 200 ใช้น้ำล้าง จนกระทั่งไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อีกต่อไป เทตัวอย่างที่ค้างตะแกรงทั้งหมดลงในภาคน้ำไปอบแห้งจนน้ำหนักคงที่



รูปที่ 2 การล้างตัวอย่าง



รูปที่ 3 การล้างตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยมีตะแกรงเบอร์ 16 วางซ้อนไว้ด้านบน

3.3.2.3 กรณีที่จะหาขนาดผลของดินโดยไฮโดรมิเตอร์ ต้องเก็บน้ำและดินที่ล้างผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไว้ ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนน้ำใส รินน้ำทิ้ง เก็บตัวอย่างดินที่เหลือไว้ทดสอบตาม สวพ.ทล.302/2551 การหาขนาดผลของดินด้วยไฮโดรมิเตอร์ ต่อไป

3.3.2.4 นำตัวอย่างดินที่อบแห้งแล้วไปทดสอบตามข้อ 3.3.1.1 ถึง 3.3.1.3 ต่อไป

3.4 เขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคเม็ดดินกับร้อยละของดินผ่านตะแกรง เพื่อแสดงลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน



รูปที่ 4 ตัวอย่างส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 200 สำหรับการร่อนผ่านตะแกรง



รูปที่ 5 ตัวอย่างส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 สำหรับการทดสอบขนาดผลโดยไฮโดรมิเตอร์



รูปที่ 6 การร่อนตัวอย่างผ่านตะแกรง

4. การคำนวณ

$$4.1 \text{ ร้อยละน้ำหนักค้ำตะแกรง} = \frac{\text{น้ำหนักดินค้ำแต่ละตะแกรง}}{\text{น้ำหนักดินแห้งทั้งหมด}} \times 100$$

$$4.2 \text{ ร้อยละน้ำหนักค้ำตะแกรงสะสม} = \text{ผลบวกสะสมค่าร้อยละน้ำหนักค้ำตะแกรง}$$

$$4.3 \text{ ร้อยละน้ำหนักผ่านตะแกรง} = 100 - \text{ร้อยละน้ำหนักค้ำตะแกรงสะสม}$$

5. การรายงานผล

5.1 ค่าร้อยละของดินผ่านตะแกรง มีความละเอียดเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง

5.2 แผนภูมิการกระจายตัวของเม็ดดิน

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D 422-63
(Reapproved 2002)

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.301/2551

Project	อ่างเก็บน้ำลำปาว	Lab. No. SE.	83/2548
Location	จ. กาฬสินธุ์		
Boring No.	DH-L1	Test No.	1
Soil Description		Depth	162.00 –161.00 m
Tested by		Date	28 ต.ค. 2548
Checked by		Date	9 พ.ย. 2548

Sieve Analysis

Weight of dry soil 931.65 g

Sieve No.	Weight Retain g	Retain %	Cumulative Retain %	Passing %
1"	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	18.16	1.95	1.95	98.05
4"	10.76	1.15	3.10	96.90
8"	7.12	0.76	3.87	96.13
16"	5.91	0.63	4.50	95.50
30"	8.93	0.96	5.46	94.54
50"	41.24	4.43	9.89	90.11
100"	114.86	12.33	22.22	77.78
200"	95.78	10.28	32.50	67.50
Pan	628.89	67.50	100.00	

หมายเหตุ Retain คือ ร้อยละน้ำหนักค้างตะแกรง
 Cumulative Retain คือ ร้อยละน้ำหนักค้างตะแกรงสะสม
 Passing คือ ร้อยละน้ำหนักผ่านตะแกรง

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

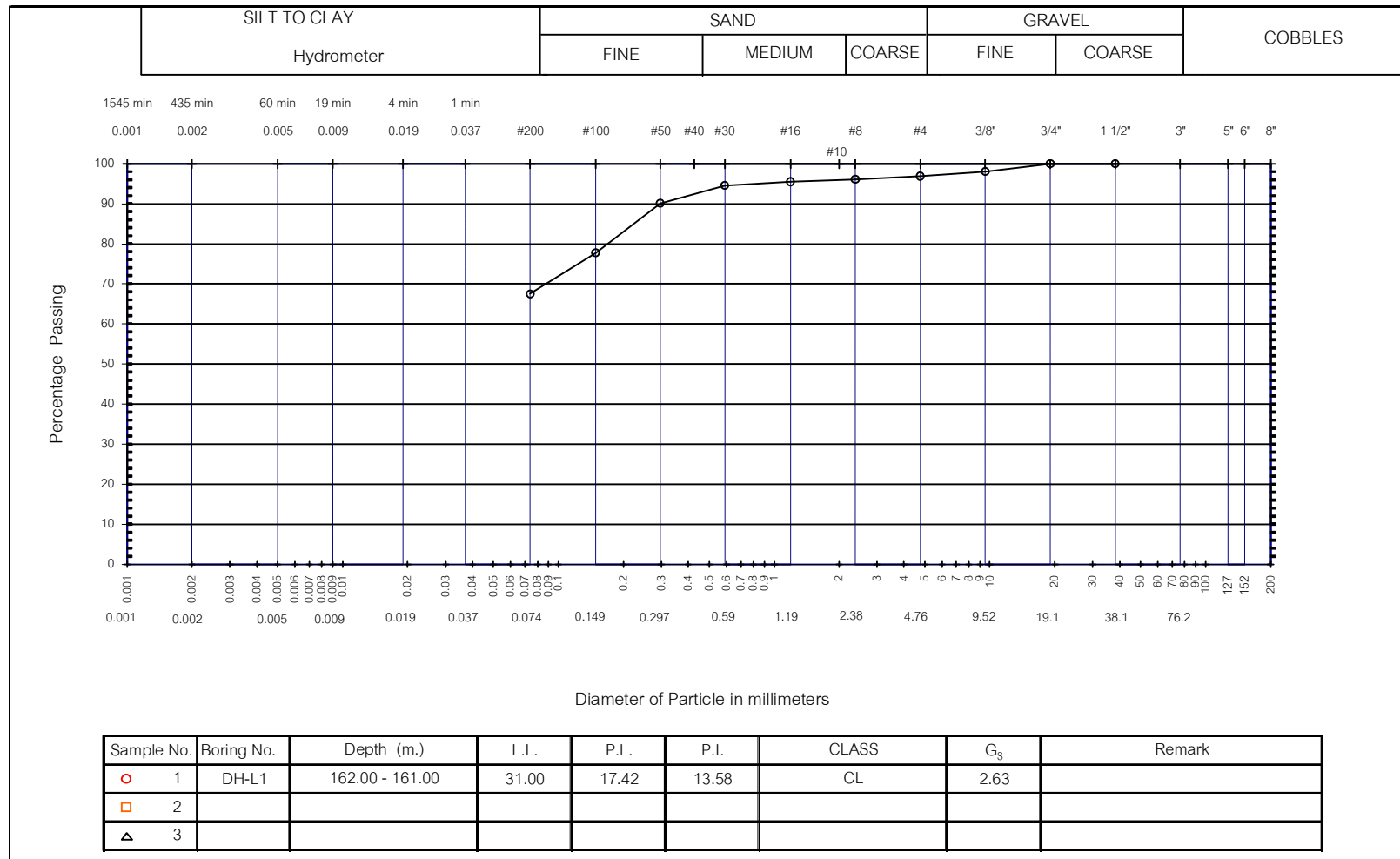
สวพ.ทล.301/2551

Office of Research and Development Royal Irrigation Department

Project อ่างเก็บน้ำลำปาว จ.กาฬสินธุ์

GRADATION TEST

Lab.No.SE. 83/2548



Drawn Checked Date Sheet of

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.301/2551

มาตรฐานการทดสอบ การหาขนาดผลของดินด้วยไฮโดรมิเตอร์

1. ขอบข่าย

เป็นการหาขนาดและปริมาณของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) สำหรับพิจารณาการกระจายตัวของเม็ดดินส่วนที่เป็นเม็ดละเอียด

2. เครื่องมือ

- 2.1 ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer) ชนิด 152H
- 2.2 เครื่องกวน (Stirring Apparatus)
- 2.3 กระบอกตวงทำด้วยแก้ว มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 60 มิลลิเมตร ($2\frac{1}{2}$ นิ้ว) สูงประมาณ 460 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร จำนวน 2 กระบอก
- 2.4 ถังน้ำสำหรับแช่กระบอกตวงที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่สม่ำเสมอ
- 2.5 เทอร์โมมิเตอร์ วัดอุณหภูมิได้ละเอียดถึง 0.5 องศาเซลเซียส
- 2.6 เครื่องชั่งน้ำหนัก มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.01 กรัม
- 2.7 ถ้วยแก้วขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.8 นาฬิกาจับเวลา



รูปที่ 1 ไฮโดรมิเตอร์



รูปที่ 2 เครื่องกวนดิน

2.9 สารละลาย Sodium Hexametaphosphate หรือ Sodium Silicate ความเข้มข้นร้อยละ 4 เตรียมโดยใช้สาร Sodium Hexametaphosphate หรือ Sodium Silicate จำนวน 40 กรัม เติมน้ำกลั่นลงไปจนได้ปริมาตรสารละลาย 1,000 มิลลิลิตร

2.10 ตู้อบ สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียสได้

2.10 กระบอกจืดน้ำ

2.11 น้ำกลั่น

3. วิธีการทดลอง

3.1 นำตัวอย่างดินอบแห้งที่ได้จากการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แบบล้างน้ำจากการทดสอบหาขนาดผลของดินด้วยตะแกรงตาม สวพ.ทล.301/2551 การหาขนาดผลของดินด้วยตะแกรง ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 50 ถึง 100 กรัม ใส่ถ้วยแก้ว เติมสารละลาย Sodium Hexametaphosphate หรือ Sodium Silicate ความเข้มข้นร้อยละ 4 จำนวน 125 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจนทั่วแช่ทิ้งไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมง

3.2 เมื่อแช่จนครบกำหนดให้นำตัวอย่างดินใส่ลงในกระบอกกวนโดยใช้น้ำจืดล้างออกจากถ้วยจนหมด แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปให้สูงประมาณ 3 ส่วนใน 4 ส่วนของกระบอกกวน นำเข้าเครื่องกวนและกวนดินเป็นเวลาประมาณ 1 นาที เพื่อให้เม็ดดินแยกตัวออกจากกัน

3.3 นำดินในกระบอกกวนเทใส่ลงในกระบอกตวงโดยใช้กระบอกจืดน้ำล้างดินในกระบอกกวนออกจนหมด เติมน้ำกลั่นลงไปจนกระทั่งของผสมมีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร พอดีต่อจากนั้นใช้ฝ่ามือหรือฝ่าจุกยางปิดปากกระบอกตวง พลิกกลับไปกลับมาจนผสมกันทั่วเป็นเวลา 1 นาที นำกระบอกตวงแช่ในถังน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่

3.4 ใส่ไฮโดรมิเตอร์ลงในกระบอกตวงและอ่านค่าที่เวลา 1, 4, 19, 60, 435 และ 1,545 นาที ตามลำดับนับตั้งแต่วางกระบอกตวงลงในถังน้ำ หรือจะอ่านค่าไฮโดรมิเตอร์นอกเหนือไปจากเวลาดังกล่าวตามความเหมาะสม การอ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ต้องใส่ไฮโดรมิเตอร์ลงในกระบอกตวงก่อนที่จะอ่านค่าประมาณ 20 ถึง 25 วินาที เพื่อให้ไฮโดรมิเตอร์หยุดนิ่งก่อน โดยอ่านค่าจากขีดตรงส่วนบนสุดของน้ำที่จับข้างหลอดไฮโดรมิเตอร์

3.5 นำไฮโดรมิเตอร์ออกจากกระบอกตวงและเก็บในกระบอกตวงอีกอันหนึ่งที่บรรจุน้ำกลั่นซึ่งอยู่ในถังน้ำเดียวกัน นอกจากนี้ให้ใช้เทอร์โมมิเตอร์อ่านอุณหภูมิของน้ำขณะทดลองทันทีทุกครั้ง



รูปที่ 3 การใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดค่าเพื่อหาขนาดเม็ดดิน



รูปที่ 4 การเก็บไฮโดรมิเตอร์ในขณะรอเวลาทดสอบ

4. การคำนวณ

4.1 ค่าปรับแก้ของไฮโดรมิเตอร์ 152H เนื่องจากเม็ดดินมีความถ่วงจำเพาะต่างไปจาก 2.65

$$a = \frac{1.65 G_s}{2.65 (G_s - 1)}$$

เมื่อ a คือ ค่าปรับแก้ไฮโดรมิเตอร์เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของดิน

G_s คือ ความถ่วงจำเพาะของดิน

4.2 ค่าปรับแก้เนื่องจากสารละลายที่ผสมลงไปในสภาพอุณหภูมิต่างๆ (C_{2T}) เมื่อผสมสารละลายลงในน้ำเพื่อให้เม็ดดินกระจายไม่จับตัวกันเป็นก้อน ก็จะทำให้ความถ่วงจำเพาะของน้ำที่ผสมสารละลายมีค่ามากขึ้น และเมื่อใส่ไฮโดรมิเตอร์ลงไปก็จะลอยสูงกว่าในน้ำที่ไม่ผสมสารละลาย แต่ในทางตรงกันข้ามอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้ไฮโดรมิเตอร์ลอยต่ำลง ดังนั้นจึงต้องทำการปรับแก้ค่าการอ่านดังกล่าวโดยวิธีสอบเทียบ (Calibration) ไฮโดรมิเตอร์ที่จะนำมาใช้งาน ดังนี้คือ เตรียมสารละลาย Sodium Hexametaphosphate หรือ Sodium Silicate ความเข้มข้นร้อยละ 4 จำนวน 125 มิลลิลิตร ใส่ลงในกระบอกตวงใบหนึ่งและเติมน้ำกลั่นลงไปจนถึงขีดบอก

ระดับ 1,000 มิลลิเมตรพอดี ทำการเขย่าจนส่วนผสมเข้ากันดีและวางลงในถังน้ำสำหรับควบคุมอุณหภูมิ นำไฮโดรมิเตอร์ใส่ลงในกระบอกตวงแล้วทำการอ่านค่าไฮโดรมิเตอร์ (C_{ZT}) และอุณหภูมิของน้ำขณะนั้น บันทึกค่าเก็บไว้และทำเช่นนี้ซ้ำอีกหลายครั้งแต่เปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำทุกครั้งจนครอบคลุมอุณหภูมิของน้ำที่จะใช้ในการทดลอง ก็จะได้ค่าปรับแก้เนื่องจากสารละลายในสภาพอุณหภูมิต่างๆ สำหรับใช้งานต่อไป

4.3 ค่าการปรับแก้ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer Correction)

$$R_C = R_A + C_{ZT}$$

เมื่อ R_C คือ ค่าการปรับแก้ไฮโดรมิเตอร์
 R_A คือ ค่าที่อ่านจากไฮโดรมิเตอร์
 C_{ZT} คือ ค่าปรับแก้เนื่องจากสารละลายในสภาพอุณหภูมิต่างๆ

4.4 ระยะทางที่เม็ดดินตกตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 5

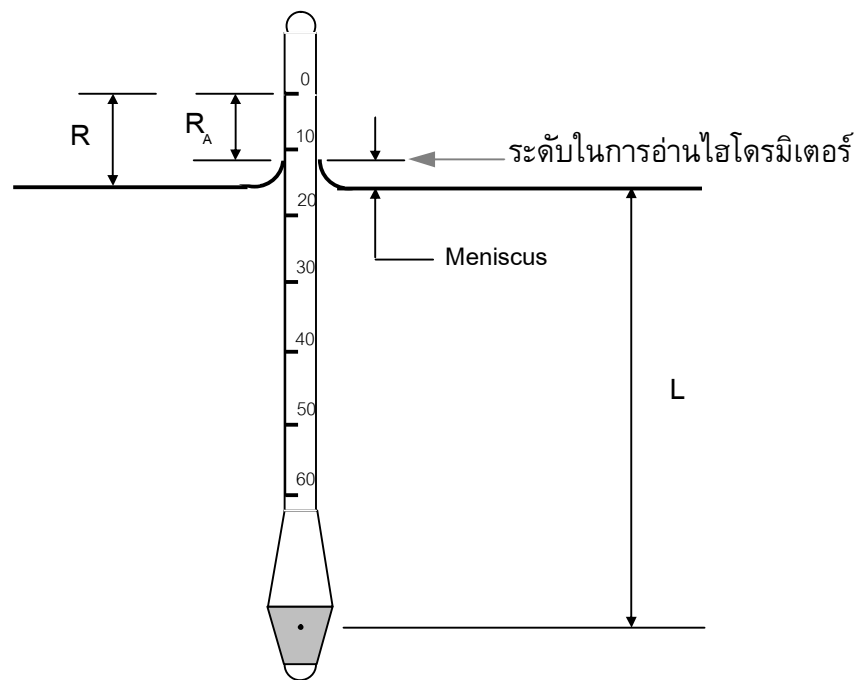
$$L = 16.3 - 0.164 R$$

เมื่อ L คือ ระยะทางที่เม็ดดินตกตะกอน เป็นเซนติเมตร
 R คือ ค่าที่อ่านจากไฮโดรมิเตอร์และปรับแก้เนื่องจากส่วนโค้งของผิวน้ำ (Meniscus) โดย $R = R_A + \text{Meniscus}$ และค่า Meniscus นี้ได้จากการอ่านค่าส่วนโค้งของผิวน้ำในวิธีสอบเทียบไฮโดรมิเตอร์

4.5 ขนาดเม็ดดิน (Diameter of Soil)

$$D = K \cdot \frac{L}{t}$$

เมื่อ D คือ ขนาดเม็ดดิน เป็นมิลลิเมตร
 K คือ ค่าคงที่แสดงอยู่ในตารางที่ 1
 L คือ ระยะทางที่เม็ดดินตกตะกอน เป็นเซนติเมตร
 t คือ ระยะเวลาการตกตะกอนของเม็ดดิน เป็นนาที



รูปที่ 5 ไฮโดรมิเตอร์ 152H

ตารางที่ 1 ค่า K สำหรับการคำนวณขนาดเม็ดดิน

อุณหภูมิ องศา เซลเซียส	ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
16	0.01510	0.01505	0.01481	0.01457	0.01435	0.01414	0.01394	0.01374	0.01356
17	0.01511	0.01486	0.01462	0.01439	0.01417	0.01396	0.01376	0.01356	0.01338
18	0.01492	0.01467	0.01443	0.01421	0.01399	0.01378	0.01359	0.01339	0.01321
19	0.01474	0.01449	0.01425	0.01403	0.01382	0.01361	0.01342	0.01323	0.01305
20	0.01456	0.01431	0.01408	0.01386	0.01365	0.01344	0.01325	0.01307	0.01289
21	0.01438	0.01414	0.01391	0.01369	0.01348	0.01328	0.01309	0.01291	0.01273
22	0.01421	0.01397	0.01374	0.01353	0.01332	0.01312	0.01294	0.01276	0.01258
23	0.01404	0.01381	0.01358	0.01337	0.01317	0.01297	0.01279	0.01261	0.01243
24	0.01388	0.01365	0.01342	0.01321	0.01301	0.01282	0.01264	0.01246	0.01229
25	0.01372	0.01349	0.01327	0.01306	0.01286	0.01267	0.01249	0.01232	0.01215
26	0.01357	0.01334	0.01312	0.01291	0.01272	0.01253	0.01235	0.01218	0.01201
27	0.01342	0.01319	0.01297	0.01277	0.01258	0.01239	0.01221	0.01204	0.01188
28	0.01327	0.01304	0.01283	0.01264	0.01244	0.01225	0.01208	0.01191	0.01175
29	0.01312	0.01290	0.01269	0.01249	0.01230	0.01212	0.01195	0.01178	0.01162
30	0.01298	0.01276	0.01256	0.01236	0.01217	0.01199	0.01182	0.01165	0.01149

4.6 ร้อยละของขนาดเม็ดดิน

$$P = \frac{R_c \cdot a}{W_s} \cdot 100$$

เมื่อ	P	คือ	ร้อยละของขนาดเม็ดดิน
	R _c	คือ	ค่าการปรับแก้ไฮโดรมิเตอร์
	a	คือ	ค่าปรับแก้ไฮโดรมิเตอร์เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของดิน
	W _s	คือ	น้ำหนักดินแห้งที่ใช้ในการทดสอบ

5. การรายงานผล

- 5.1 ขนาดเม็ดดิน เป็นมิลลิเมตร มีความละเอียดเป็นทศนิยม 3 ตำแหน่ง
- 5.2 ค่าร้อยละของขนาดเม็ดดิน มีความละเอียดเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง
- 5.3 แผนภูมิการกระจายตัวของเม็ดดิน

6. เอกสารอ้างอิง

American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D 422-63
(Reapproved 2002)

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.302/2551

Project	อ่างเก็บน้ำลำปาว	Lab. No.	SE 83/2548
Location	จ. กาฬสินธุ์		
Boring No.	TPA 4	Test No.	1
Soil Description		Depth	0.00 – 4.00 m
Tested by		Date	14 พ.ย. 2548
Checked by		Date	15 พ.ย. 2548

HYDROMETER ANALYSIS

Hydrometer No.	1	Specific gravity of soil	2.62
Weight of dry soil g	50	Starting time	07:39

Time	Temperature	Hydrometer Reading	Hydrometer Correction	Corrected Hydrometer Reading	Passing %	Particle Size mm
min.	°C					
1	27.5	32.0	1.30	33.30	43.60	0.042
4	27.5	25.5	1.30	26.80	35.09	0.022
19	27.0	21.5	1.13	22.63	29.63	0.010
60	27.0	18.0	1.13	19.13	25.05	0.006
435	27.0	12.0	1.13	13.13	17.19	0.002
1,545	26.0	8.0	0.78	8.78	11.50	0.001

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

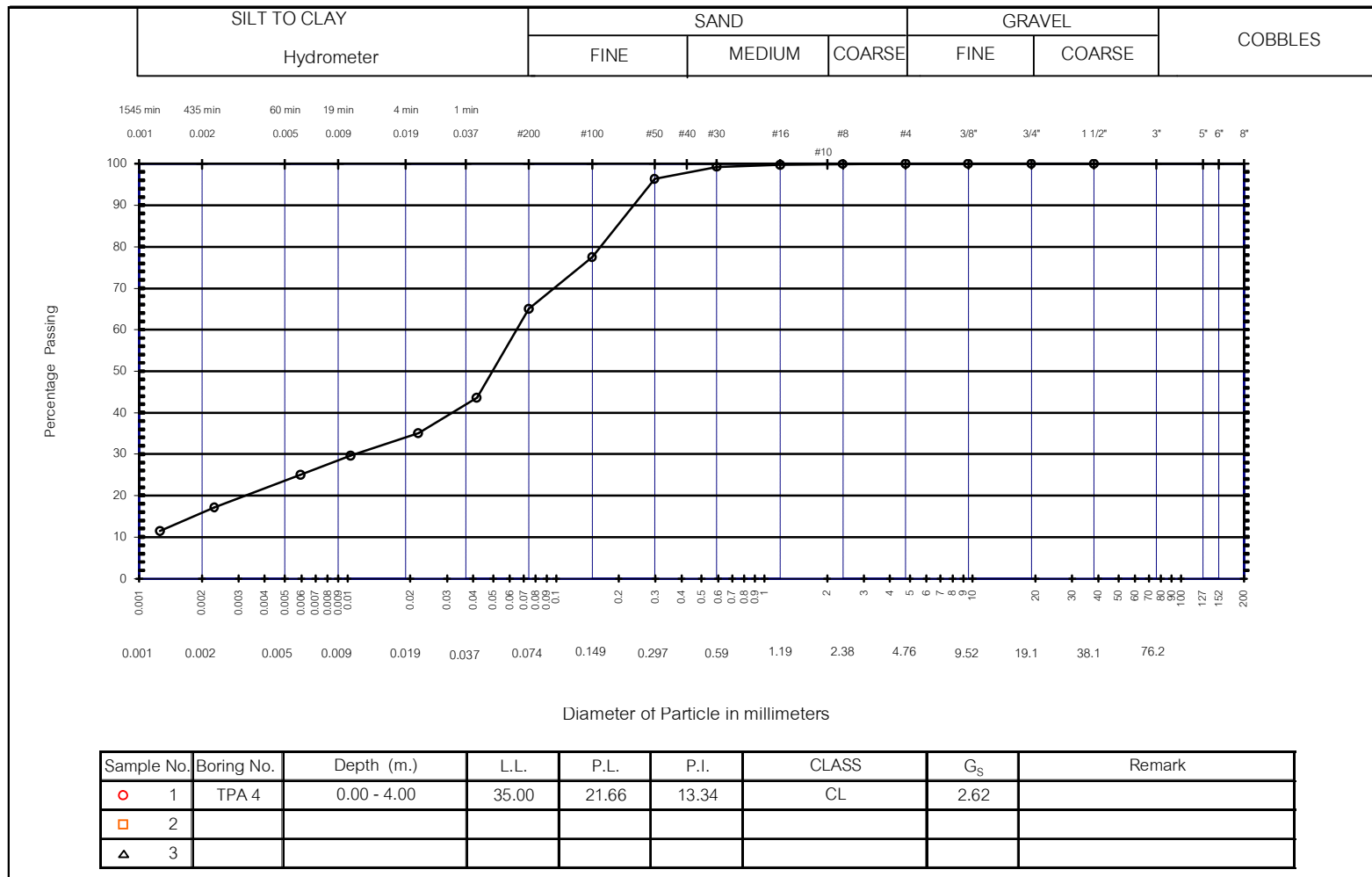
สวพ.ทล.302/2551

Office of Research and Development Royal Irrigation Department

Project อ่างเก็บน้ำลำปาว จ.กาฬสินธุ์

GRADATION TEST

Lab.No.SE.83/2548



Drawn _____ Checked _____ Date _____ Sheet _____ of _____

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.302/2551

มาตรฐานการทดสอบ ความถ่วงจำเพาะของดิน

1. ขอบข่าย

เป็นการหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 หรือมีขนาดโตสุดไม่เกิน 4.75 มิลลิเมตร

2. เครื่องมือ

- 2.1 Pycnometer แบบ Volumetric Flask ขนาดความจุไม่น้อยกว่า 250 มิลลิลิตร
- 2.2 เครื่องทำสุญญากาศ ได้แก่ ปั๊มดูดอากาศ (Vacuum Pump) สามารถทำให้เกิดแรงดูดอากาศมีความดันเทียบเท่าความสูงของปรอทที่ 660 มิลลิเมตร หรือ 26 นิ้ว
- 2.3 เครื่องชั่ง (Balance) ชั่งได้ละเอียด 0.01 กรัม
- 2.4 ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4
- 2.5 เทอร์โมมิเตอร์
- 2.6 กระบอกฉีดน้ำ
- 2.7 ตู้อบ สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส หรือตู้ไมโครเวฟ
- 2.8 กระจกไฟฟ้าแบบเรียบ (Hot Plate)
- 2.9 กรวย



รูปที่ 1 Pycnometer แบบ Volumetric Flask, เทอร์โมมิเตอร์ และกระบอกฉีดน้ำ

3. วิธีการทดลอง

3.1 นำตัวอย่างดินในสภาพแห้งในอากาศมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เพื่อเตรียมตัวอย่างก่อนการทดลอง

3.2 การเตรียมตัวอย่าง ทำได้ 2 วิธีคือ

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างแบบมีความชื้น (Moisture Specimens) หรือตัวอย่างในสภาพแห้งในอากาศ ถ้าไม่ได้มีการกำหนดให้เตรียมตัวอย่างแบบแห้ง ให้ใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างแบบนี้ นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่มีความเหมาะสมกับดินบางประเภทเช่น ดินอินทรีย์สาร ดินเม็ดละเอียดและดินที่มีความเหนียวสูง เป็นต้น วิธีการทดสอบแสดงอยู่ในข้อ 3.3

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างแบบแห้ง (Oven-Dry Specimens) หรือตัวอย่างที่นำไปอบแห้งจนมีน้ำหนักคงที่ วิธีการทดสอบแสดงอยู่ในข้อ 3.4

สำหรับปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองแสดงอยู่ในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นปริมาณของตัวอย่างสภาพแบบแห้งกับดินชนิดต่างๆ และขนาด Pycnometer

ตารางที่ 1 ปริมาณตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบของดินชนิดต่างๆ

ชนิดดิน	น้ำหนักอบแห้งเมื่อใช้ Pycnometer ขนาด 250 มิลลิลิตร	น้ำหนักอบแห้งเมื่อใช้ Pycnometer ขนาด 500 มิลลิลิตร
SP, SP-SM	60 ± 10	100 ± 10
SP-SC, SM, SC	45 ± 10	75 ± 10
Silt or Clay	35 ± 5	50 ± 10

3.3 การทดสอบดินในสภาพที่มีความชื้น นำตัวอย่างดินชื้นที่มีน้ำหนักเมื่ออบแห้งตามตารางที่ 1 ใส่ลงในเครื่องกวนดินหรือเครื่องผสมอื่นๆ ที่มีน้ำกลั่นอยู่ประมาณ 100 มิลลิลิตร ผสมดินและน้ำให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องกวนจนมีลักษณะเป็นน้ำโคลนเหลว วางกรวยลงบนขวด Pycnometer และเทน้ำโคลนดังกล่าวลงไป ต่อจากนั้นฉีดน้ำล้างดินในกรวยให้ลงไปในช่วงจนหมด นำกรวยออกจากขวด และทดสอบตามข้อ 3.5 ต่อไป

3.4 การทดสอบดินในสภาพแบบแห้ง ใช้ช้อนตักตัวอย่างดินตามปริมาณที่กำหนดในตารางที่ 1 ใส่ลงในขวด Pycnometer ผ่านกรวยที่วางบนขวดอีกที และฉีดน้ำล้างดินในกรวยให้ลงไปในช่วงจนหมด แล้วนำกรวยออกจากขวด

3.5 เติมน้ำลงไปจนมีระดับน้ำอยู่ระหว่าง $\frac{1}{3}$ ถึง $\frac{1}{2}$ ของความสูงขวด Pycnometer แล้วเขย่าหรือแกว่งขวดไปมาจนส่วนผสมเป็นน้ำโคลน และฉีดน้ำล้างดินที่ติดอยู่ข้างขวดให้ไหลลงไปใต้น้ำโคลนจนหมด

3.6 การไล่ฟองอากาศในน้ำโคลนทำได้ 3 วิธีคือ

3.6.1 ใช้ความร้อนโดยการนำไปต้มจนน้ำโคลนเดือดและมีฟองอากาศปุดขึ้นมา หลังจากนั้นใช้ความร้อนพอประมาณทำการต้มต่อไปเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง และเขย่าขวดเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ดินแห้งเกาะติดอยู่ข้างขวด

3.6.2 ใช้เครื่องทำสุญญากาศสำหรับดูดอากาศที่แทรกอยู่ระหว่างเม็ดดินพร้อมกับเขย่าหรือแกว่งขวดไปมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ดินอยู่ในสภาพแขวนลอยตลอดเวลาเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ลักษณะการดูดอากาศมีความสม่ำเสมอและมีแรงดูดเพียงพอที่จะทำให้เกิดฟองอากาศปุดขึ้นมาตั้งแต่ระยะเริ่มต้นของการไล่ฟองอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2

3.6.3 ใช้ทั้งความร้อนและเครื่องทำสุญญากาศไปพร้อมๆ กัน โดยการแช่ขวดในน้ำอุ่นมีอุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส และรักษาระดับน้ำด้านนอกขวดให้ต่ำกว่าในขวดเล็กน้อยพร้อมกับดูดอากาศเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง และเขย่าขวดเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ดินแห้งเกาะติดอยู่ข้างขวด



รูปที่ 2 การติดตั้งขวด Pycnometer เข้ากับเครื่องทำสุญญากาศ

3.7 เติมน้ำที่ไล่ฟองอากาศออกแล้ว (โดยการต้มหรือดูดอากาศออก) ลงในขวดด้วยกระบอกจัดน้ำอย่างช้าๆ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้มีฟองอากาศเกิดขึ้นในขวด และถ้าในขวดเกิดฟองขึ้นมา ให้รักษาระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าขีดเครื่องหมายบนขวดและเติมน้ำส่วนที่เหลือในวันถัดไป

3.8 เติมน้ำจนกระทั่งระดับท้องน้ำอยู่ที่ขีดเครื่องหมายบนขวด เช็ดทำความสะอาดด้านนอกขวดให้แห้งและนำไปชั่งน้ำหนักขวดรวมดินและน้ำที่อยู่ข้างใน บันทึกค่าไว้

3.9 ใช้เทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงในน้ำเพื่อวัดอุณหภูมิและบันทึกค่าไว้

3.10 ทำการทดสอบซ้ำโดยใช้ตัวอย่างใหม่อีกอย่างน้อย 1 ครั้ง ในกรณีที่ความถ่วงจำเพาะมีค่าต่างกันมากกว่า 0.02 ต้องทำการทดลองใหม่ แต่ถ้าต่างกันไม่เกินค่าที่กำหนดให้รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะดังกล่าว

4. การคำนวณ

4.1 ความถ่วงจำเพาะของดิน

$$G_s = \frac{K \cdot W_s}{W_s + W_a - W_b}$$

- เมื่อ G_s คือ ความถ่วงจำเพาะของดิน
 W_s คือ น้ำหนักดินแห้ง เป็นกรัม
 W_a คือ น้ำหนักขวด Pycnometer และน้ำ เป็นกรัม
 (วิธีการหาค่าแสดงอยู่ในภาคผนวก)
 W_b คือ น้ำหนักขวด Pycnometer รวมกับดินและน้ำที่อยู่ข้างใน เป็นกรัม
 K คือ ค่าปรับแก้สำหรับเปลี่ยนความถ่วงจำเพาะของดินที่อุณหภูมิน้ำต่าง ๆ ไปเป็นความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความหนาแน่นของน้ำและค่าปรับแก้สำหรับน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	ความหนาแน่นของน้ำ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	ค่าปรับแก้ (K)
16	0.99897	1.0007
17	0.99880	1.0006
18	0.99862	1.0004
19	0.99843	1.0002
20	0.99823	1.0000
21	0.99802	0.9998
22	0.99780	0.9996
23	0.99757	0.9993

ตารางที่ 2 (ต่อ) ความหนาแน่นของน้ำและค่าปรับแก้สำหรับน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	ความหนาแน่นของน้ำ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร	ค่าปรับแก้ (K)
24	0.99732	0.9991
25	0.99707	0.9988
26	0.99681	0.9986
27	0.99654	0.9983
28	0.99626	0.9980
29	0.99597	0.9977
30	0.99567	0.9974
31	0.99540	0.9972
32	0.99510	0.9969
33	0.99470	0.9965
34	0.99440	0.9962
35	0.99410	0.9959

4.2 ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของดินที่มีเม็ดดินขนาดใหญ่กว่า 4.75 มิลลิเมตร (ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4) และขนาดเล็กกว่าผสมรวมกันอยู่ คำนวณได้ดังนี้

$$G_{avg} = \frac{1}{\frac{R}{100 \cdot G_1} + \frac{P}{100 \cdot G_2}}$$

- เมื่อ G_{avg} คือ ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของดิน
 R คือ ปริมาณดินค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 เป็นร้อยละ
 P คือ ปริมาณดินผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 เป็นร้อยละ
 G_1 คือ ความถ่วงจำเพาะของดินค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
 G_2 คือ ความถ่วงจำเพาะของดินผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

5. การรายงานผล

5.1 ความถ่วงจำเพาะของดิน ไม่มีหน่วย มีความละเอียดเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D 854-02

ภาคผนวก

การสอบเทียบ (Calibration) เครื่องมือ Pycnometer แบบ Volumetric Flask

1. เติมน้ำที่ไล่ฟองอากาศออกแล้วลงในขวด Pycnometer ให้ถึงขีดเครื่องหมายบนขวดโดยให้ท้องน้ำอยู่ระดับเดียวกับขีดพอดี และพยายามไม่ให้มีฟองอากาศเกิดขึ้นในน้ำ
2. ชั่งน้ำหนักขวด Pycnometer และน้ำ บันทึกค่าไว้ดังแสดงในรูปผนวกที่ 1
3. ใช้เทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงในน้ำเพื่อวัดอุณหภูมิและบันทึกค่าไว้คู่กัน ดังแสดงในรูปผนวกที่ 2
4. ทดลองตามข้อ 1 ถึง 3 หลายๆ ครั้ง ที่อุณหภูมิของน้ำต่างๆ กัน และรวบรวมข้อมูลทั้งหมดไว้สำหรับการทดสอบต่อไป ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1 และรูปผนวกที่ 3



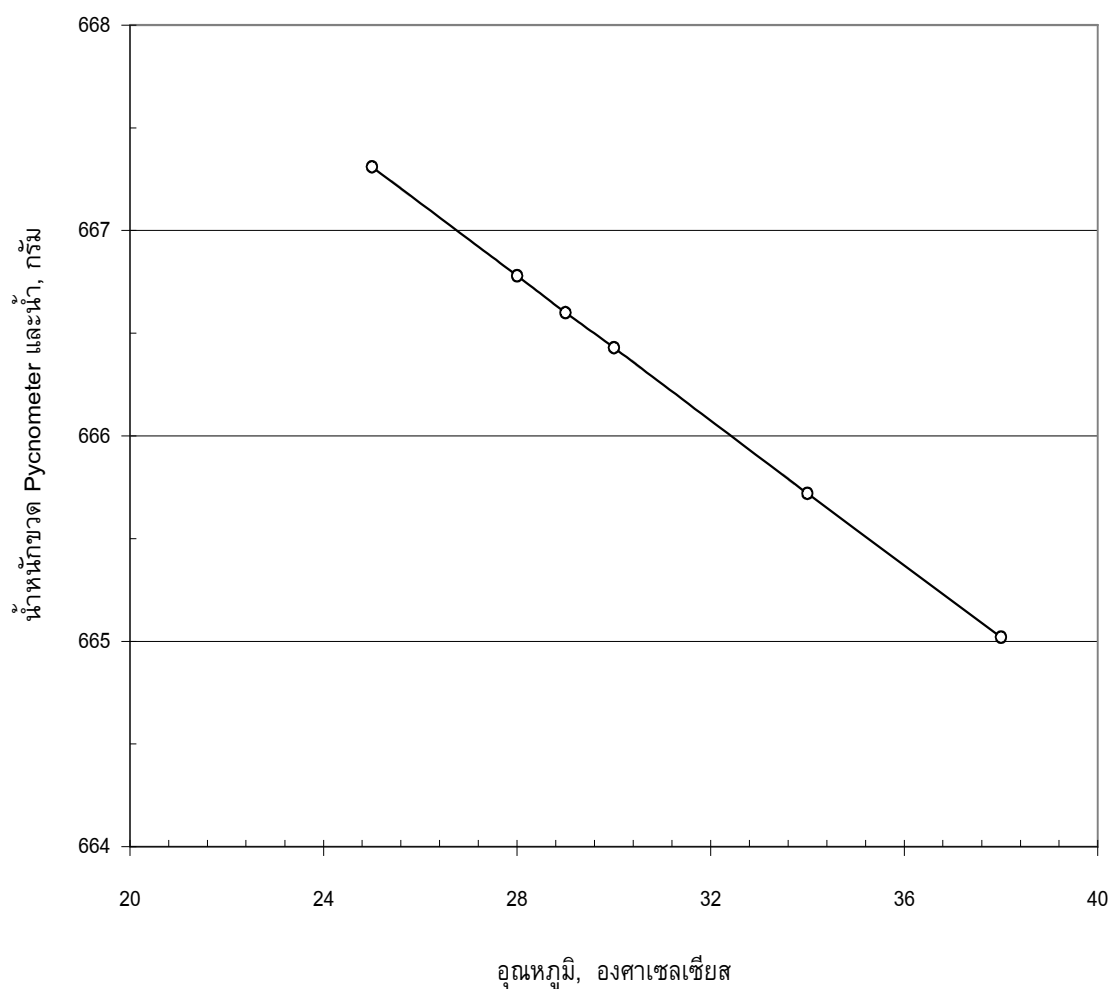
รูปผนวกที่ 1 ชั่งน้ำหนักขวด Pycnometer และน้ำ



รูปผนวกที่ 2 วัดอุณหภูมิของน้ำ

ตารางผนวกที่ 1 ค่าการสอบเทียบเครื่องมือ Pycnometer แบบ Volumetric Flask

การทดลองครั้งที่	อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	น้ำหนักขวด Pycnometer และน้ำ กรัม
1	25	667.31
2	28	666.78
3	29	666.60
4	30	666.43
5	34	665.72
6	38	665.02



รูปผนวกที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักขวด Pycnometer และน้ำที่อุณหภูมิต่างๆ

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.303/2551

โครงการ รังสิตเหนือ จ. ปทุมธานี		
ลำดับงานที่ SE25/2549	ผู้ทดสอบ อุบล	วันที่ 15 ก.ค. 2549
	ผู้ตรวจสอบ สมบัติ	วันที่ 15 ก.ค. 2549

การทดสอบความถ่วงจำเพาะของดิน

Boring No. TPA 1	Soil Description ดินสีเทาดำ
Sample No. 1	Depth 0.00 – 2.00 m

Determination No.	1	2	
Pycnometer No.	12	12	
Wt. Pycnometer + Water + Soil, W_b	g 702.15	700.80	
Temperature	°C 28.0	29.0	
Wt. Pycnometer + Water, W_a	g 666.78	666.60	
Evaporating Dish No.	A1	A1	
Wt. Dish + Dry Soil	g 495.59	493.92	
Wt. Dish	g 438.92	438.92	
Wt. Dry Soil, W_s	g 56.67	55.00	
Correction Factor, K	0.9980	0.9977	
Specific Gravity of Soil, $G_s = \frac{K \cdot W_s}{W_s + W_a - W_b}$	2.66	2.64	

 G_s

2.65

มาตรฐานการทดสอบ ขีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดพลาสติก

1. ขอบข่าย

ขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) เป็นปริมาณความชื้นในดินที่ทำให้ดินมีสภาพเหมือนของไหล สามารถไหลตัวได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง หรือเป็นปริมาณความชื้นที่ทำให้ดินในเครื่องมือทดลอง Liquid Limit Device ไหลมาชนกันเป็นแนวยาว 12.7 มิลลิเมตร ($\frac{1}{2}$ นิ้ว) เมื่อทำการเคาะเครื่องมือทดลองโดยมีระยะตกแบบอิสระสูง 10 มิลลิเมตร และได้จำนวนครั้งการเคาะเท่ากับ 25 ครั้งพอดี

ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) เป็นปริมาณความชื้นในดินที่ทำให้ดินเปลี่ยนจากสภาพยืดหยุ่นตัวสมบูรณ์หรือพลาสติกเป็นกึ่งของแข็งที่มีลักษณะยืดหยุ่นตัวน้อยลง หรือเป็นปริมาณความชื้นของดินในสภาพที่เมื่อนำดินมาคลึงเป็นเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร ($\frac{1}{8}$ นิ้ว) และเกิดรอยแตกขึ้นที่ผิวดินพอดี

2. เครื่องมือ

2.1 อุปกรณ์ทดสอบ Liquid Limit มีส่วนประกอบสำคัญคือถ้วยทองเหลือง และฐานเป็นแท่นยางแข็งมีค่าความแข็งโดย Durometer Type D ระหว่าง 80 ถึง 90 และมีการทดสอบคุณสมบัติด้านการกระดอนของแท่นยางแสดงไว้ในภาคผนวก

2.2 เครื่องมือปาดร่องดิน (Grooving Tool)

2.2 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 115 มิลลิเมตร ($4\frac{1}{2}$ นิ้ว)

2.3 มีดปาดดิน (Spatula) ยาว 75 มิลลิเมตร (3 นิ้ว) กว้าง 20 มิลลิเมตร ($\frac{3}{4}$ นิ้ว)

2.4 ตะแกรงเบอร์ 40 (ขนาดช่องเปิด 0.425 มิลลิเมตร)

2.5 แผ่นกระจก ขนาดกว้างและยาวประมาณ 150 มิลลิเมตร (6 นิ้ว)

2.6 เครื่องชั่ง มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.01 กรัม

2.7 ตู้อบ สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียสได้ หรือตู้ไมโครเวฟ

2.8 ภาชนะอบดินสำหรับตู้อบ หรือตู้ไมโครเวฟ

2.9 กระบอกฉีดน้ำ



รูปที่ 1 อุปกรณ์ทดสอบขีดจำกัดเหลว

3. วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.1.1 การเตรียมตัวอย่างแบบเปียก (Wet Preparation) ถ้าไม่ได้มีการกำหนดให้เตรียมตัวอย่างแบบแห้ง ให้ใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างแบบเปียก ดังนี้

3.1.1.1 นำตัวอย่างแช่น้ำเพื่อให้ดินที่จับตัวกันเป็นก้อนแยกตัวจากกันเป็นขนาดเม็ดตามธรรมชาติ โดยให้มีปริมาณตัวอย่างที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 อยู่ประมาณ 150 ถึง 200 กรัม

3.1.1.2 ล้างตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ลงในภาชนะและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน

3.1.1.3 รินน้ำใสที่อยู่บนตัวอย่างดินออก โดยระวังไม่ให้ดินไหลตามไปด้วย วางภาชนะใส่ตัวอย่างทิ้งไว้หรือใช้เครื่องเป่าลมร้อนให้ตัวอย่างมีความชื้นลดลงจนอยู่ในสภาพที่จะทำการทดสอบขีดจำกัดเหลวโดยมีจำนวนครั้งการเคาะอยู่ที่ประมาณ 25 ถึง 35 ครั้ง และบ่มตัวอย่างในภาชนะปิดเป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง

3.1.2 การเตรียมตัวอย่างแบบแห้ง (Dry Preparation)

3.1.2.1 นำตัวอย่างดินไปตากแห้งที่อุณหภูมิห้องหรืออบแห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส จนแห้งพอที่จะใช้ค้อนยางทุบเพื่อให้ดินที่จับตัวเป็นก้อนแยกออกจากกันเป็นขนาดเม็ดตามธรรมชาติโดยไม่ทำให้เม็ดดินแตกไปด้วย

3.1.2.2 ร่อนตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ให้ได้ประมาณ 150 ถึง 200 กรัม

3.1.2.3 ผสมน้ำให้ตัวอย่างมีความชื้นสม่ำเสมอ อยู่ในสภาพที่จะทำการทดสอบขีดจำกัดเหลวโดยมีจำนวนครั้งการเคาะอยู่ที่ประมาณ 25 ถึง 35 ครั้ง และบ่มตัวอย่างในภาชนะปิดเป็นเวลาอย่างน้อย 16 ชั่วโมง

3.2 การทดสอบขีดจำกัดเหลว

3.2.1 แบ่งตัวอย่างส่วนหนึ่งที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างในข้อ 3.1 ใส่ถ้วยกระเบื้องเคลือบ ทำการผสมให้เข้ากันด้วยมีดปาดดินอีกครั้งก่อนทำการทดลอง

3.2.2 ตรวจสอบอุปกรณ์ทดสอบ Liquid Limit ให้มีระยะตกกระทบของถ้วยทองเหลืองเท่ากับ 10 มิลลิเมตร โดยใช้ตามของเครื่องมือปาดร่องดินวัดระยะตกกระทบของถ้วยทองเหลืองดังกล่าวและปรับสกรูยึดถ้วยทองเหลืองในตำแหน่งที่เหมาะสมจนกระทั่งมีระยะตามที่กำหนด

3.2.3 ใส่ตัวอย่างลงในบริเวณตอนล่างของถ้วยทองเหลืองด้วยมีดปาดดิน กดและปาดดินโดยไม่ให้มีฟองอากาศอยู่ภายในจนเรียบและอยู่ในแนวระดับ มีความหนาของดินส่วนที่หนาที่สุดเท่ากับ 10 มิลลิเมตร

3.2.4 จับยึดถ้วยทองเหลืองให้แน่น ใช้เครื่องมือปาดร่องดินทำการปาดตัวอย่างให้เป็นร่องตรงกลางจนเห็นพื้นถ้วย เพื่อแบ่งดินออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กันดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การปาดตัวอย่างให้เป็นร่องตรงกลาง

3.2.5 หมุนเคาะถ้วยทองเหลืองให้ตกกระทบกับแท่นรองในทันทีด้วยอัตรา 2 ครั้งต่อวินาที พร้อมกับนับจำนวนครั้งการเคาะไปด้วย จนกระทั่งดินเคลื่อนที่เข้ามาสัมผัสกันเป็นแนวยาว 12.7 มิลลิเมตร จึงหยุดเคาะ

3.2.6 ใช้มีดปาดดินตัดตัวอย่างในบริเวณที่ดินเคลื่อนที่มาสัมผัสกันในทิศทางที่ตั้งฉากกับแนวร่อง และนำตัวอย่างใส่ภาชนะอบดิน ปิดฝาให้แน่น นำไปชั่ง บันทึกน้ำหนักพร้อมกับจำนวนครั้งการเคาะที่ทดลองได้

3.2.7 นำดินที่เหลืออยู่ในถ้วยทองเหลืองกลับไปผสมกับดินในถ้วยกระเบื้องเคลือบตามเดิม ใช้กระบอกรีดน้ำเติมลงไปจนมีความชื้นเพิ่มขึ้น แล้วผสมให้เข้ากัน ทำความสะอาดถ้วยทองเหลืองและเครื่องมือปาดร่องดินจนสะอาด และดำเนินการทดลองตามข้อ 3.2.3 ถึง 3.2.6 เพื่อทำการทดลองอย่างน้อย 4 ครั้ง แต่แต่ละครั้งควรมีจำนวนการเคาะอยู่ระหว่างช่วงดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนการเคาะที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบขีดจำกัดเหลว

ครั้งที่	จำนวนการเคาะ (ครั้ง)
1	30 ถึง 35
2	25 ถึง 30
3	20 ถึง 25
4	15 ถึง 20

3.2.8 หาความชื้น (Moisture Content) ของตัวอย่างโดยใช้ตุ้บ หรือตาม สวพ.ทล.302/2551 มาตรฐานการทดสอบความชื้นด้วยตุ้บไมโครเวฟ

3.3 การทดสอบขีดจำกัดพลาสติก

3.3.1 แบ่งตัวอย่างดินส่วนหนึ่งจากการเตรียมตัวอย่างในข้อ 3.1 ประมาณ 20 กรัม แฉกระจ่ายดินออกสลับกับการนำมารวมกันเป็นก้อนเพื่อลดปริมาณความชื้นในดินลงจนกระทั่งไม่ติดมือเมื่อนำมาปั้น

3.3.2 แบ่งตัวอย่างดินประมาณ 1.5 ถึง 2.0 กรัม นำไปคลึงด้วยฝ่ามือหรือนิ้วมือบนแผ่นกระจกใสอัตรา 80 ถึง 90 ครั้ง (คลึงไปและกลับ) ต่อหน้าที่ จนเป็นเส้นขนาดสม่ำเสมอมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร ในเวลาไม่เกิน 2 นาที ถ้าไม่ปรากฏรอยแตกที่ผิวของดิน ให้แฉกระจ่ายดินนั้นออกและนำไปคลึงเป็นเส้นใหม่อีกครั้ง จนกระทั่งเกิดรอยแตกขึ้นที่ผิวดินพอดี ดังแสดงในรูปที่ 3 นำเส้นตัวอย่างใส่ภาชนะอบดิน ปิดฝาให้แน่น

3.3.3 แบ่งตัวอย่างดินมาอีก 1.5 ถึง 2.0 กรัม ทำเช่นเดียวกับข้อ 3.3.2 จนได้เส้นตัวอย่างในภาชนะอบดินมีน้ำหนักอย่างน้อย 6 กรัม นำไปชั่ง บันทึกน้ำหนักไว้

3.3.4 ทำการทดลองตามข้อ 3.3.2 ถึง 3.3.3 ใหม่อีกครั้ง แต่ใส่ตัวอย่างในภาชนะอบดินอีกใบหนึ่ง

3.3.5 หาความชื้นของตัวอย่างโดยใช้ตุ้บ หรือตาม สวพ.ทล.302/2551 มาตรฐานการทดสอบความชื้นด้วยตุ้บไมโครเวฟ ในกรณีที่ความชื้นมีค่าต่างกันมากกว่า 2.6 ต้องทำการทดลองใหม่ แต่ถ้าไม่เกินค่าดังกล่าวให้รายงานค่าเฉลี่ยของความชื้นเป็นขีดจำกัดพลาสติก



รูปที่ 3 ลักษณะรอยแตกบนผิวดินของเส้นตัวอย่าง

4. การคำนวณ

4.1 การคำนวณความชื้น

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \cdot 100$$

เมื่อ w คือ ค่าความชื้นในวัสดุ เป็นร้อยละ

W_1 คือ น้ำหนักของวัสดุเปียก เป็นกรัม

W_2 คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง เป็นกรัม

4.2 สร้างเส้น Flow Curve โดยนำค่าจำนวนการเคาะ (No. of Blows) และความชื้นไปเขียนในแผนภูมิแบบ Semi-Log และลากเส้นตรงผ่านจุดดังกล่าว และความชื้นที่จำนวนการเคาะ 25 ครั้ง คือขีดจำกัดเหลว

5. การรายงานผล

5.1 ค่าขีดจำกัดเหลว เป็นร้อยละ โดยมีความละเอียดเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง

5.2 ค่าขีดจำกัดพลาสติก เป็นร้อยละ โดยมีความละเอียดเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D 4318-00

ภาคผนวก

การทดสอบคุณสมบัติด้านการกระดอนของแท่นยาง

การทดสอบคุณสมบัติด้านการกระดอนของแท่นยาง มีอุปกรณ์ทดสอบคือหลอดพลาสติกใส มีฐานสี่เหลี่ยมเจาะรูตรงกลาง แผ่นแม่เหล็ก และลูกเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ($\frac{5}{16}$ นิ้ว) มีวิธีการทดสอบโดยวางหลอดพลาสติกใสบนแท่นยางที่จะทดสอบ ให้ส่วนฐานของหลอดอยู่ด้านบน ต่อจากนั้นใช้แผ่นแม่เหล็กจับยึดลูกเหล็กหย่อนลงในรูของฐานสี่เหลี่ยมและเลื่อนแผ่นแม่เหล็กออกจากฐานเพื่อปล่อยลูกเหล็กลงในหลอดพลาสติกใสที่ระดับความสูง 25 เซนติเมตร จากแท่นยาง ถ้าลูกเหล็กกระดอนกลับขึ้นมาได้ร้อยละ 77 (19.25 เซนติเมตร) ถึง 90 (22.50 เซนติเมตร) ของความสูงดังกล่าว จึงจะมีคุณสมบัติตามมาตรฐานการทดสอบนี้ ดังแสดงในรูปผนวกที่ 1

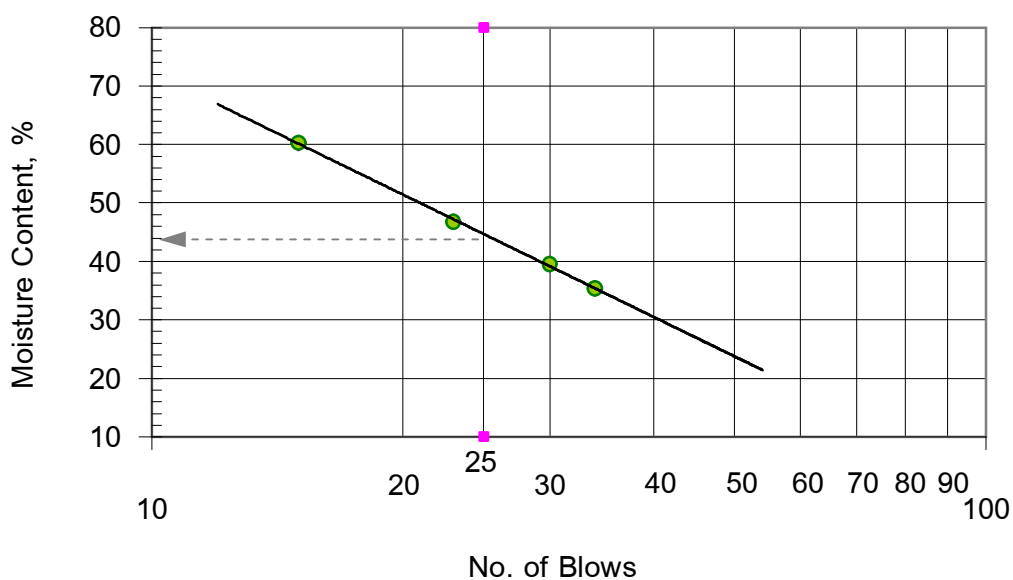


รูปผนวกที่ 1 ทดสอบการกระดอนบนแท่นยางของอุปกรณ์ทดสอบ Liquid Limit

LIQUID LIMIT

Can No.		1	2	3	4	5
No. of Blows		15	23	30	34	
Wt. Can + Wet Soil	g	142.00	146.00	152.00	153.00	
Wt. Can + Dry Soil	g	101.00	110.00	118.00	121.40	
Wt. Can	g	33.00	33.00	32.00	32.00	
Wt. Water	g	41.00	36.00	34.00	31.60	
Wt. Dry Soil	g	68.00	77.00	86.00	89.40	
Moisture Content	%	60.30	46.80	39.50	35.35	

FLOW CURVE



LIQUID LIMIT	44.70 %
--------------	---------

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.304/2551

PLASTIC LIMIT

Can No.		1	2	3	4
Wt. Can + Wet Soil	g	143.00	135.00		
Wt. Can + Dry Soil	g	116.40	111.00		
Wt. Can	g	32.00	33.00		
Wt. Water	g	26.60	24.00		
Wt. Dry Soil	g	84.40	78.00		
Moisture Content	%	31.50	30.80		
Average Moisture Content		31.15 %			

มาตรฐานการทดสอบ การบดอัดแบบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ

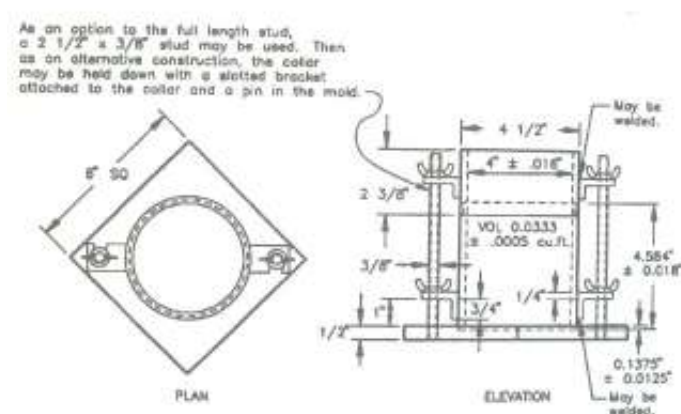
1. ขอบข่าย

การบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction) ในห้องปฏิบัติการ คือการทดสอบบดอัดดินเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดินหรือโคงการบดอัดโดยใช้พลังงานในการบดอัดดินเท่ากับ 12,400 ฟุต-ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต (600 กิโลนิวตัน-เมตรต่อลูกบาศก์เมตร) ในห้องปฏิบัติการ

2. เครื่องมือ

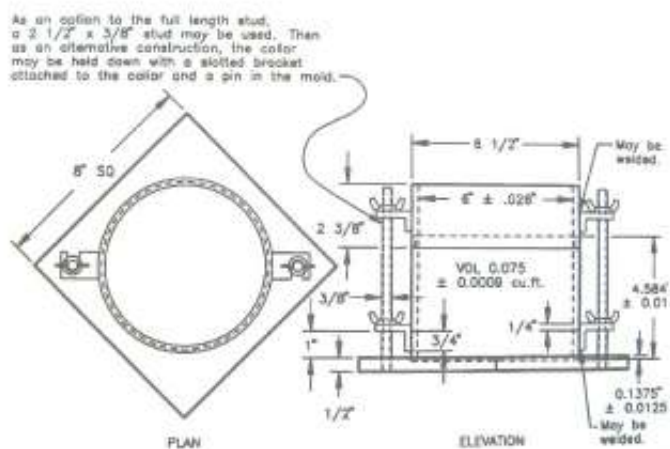
2.1 แบบเหล็ก (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งรูปทรงกระบอกกลวงมี 2 ขนาดดังนี้

2.1.1 แบบเหล็ก 4 นิ้ว มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.0 ± 0.016 นิ้ว (101.6 ± 0.4 มิลลิเมตร) สูง 4.584 ± 0.018 นิ้ว (116.4 ± 0.5 มิลลิเมตร) มีปริมาตร 0.0333 ± 0.0005 ลูกบาศก์ฟุต (944 ± 14 ลูกบาศก์เซนติเมตร) ยึดติดกับฐาน (Base Plate) บริเวณด้านบนมีปลอกเหล็ก (Collar) ขนาดเดียวกับแบบเหล็กยึดติดอยู่ดังแสดงในรูปที่ 1



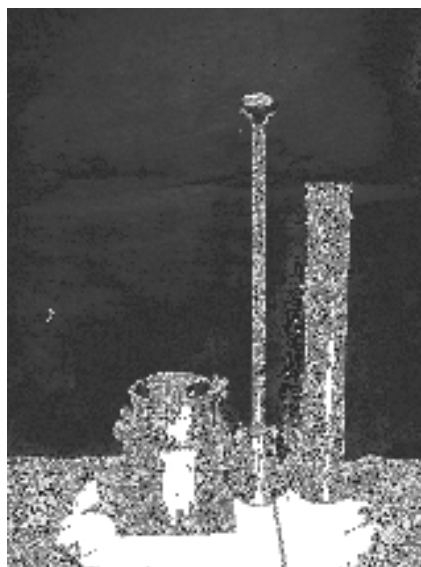
รูปที่ 1 แบบเหล็ก 4 นิ้ว

2.1.2 แบบเหล็ก 6 นิ้ว มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6.0 ± 0.026 นิ้ว (152.4 ± 0.7 มิลลิเมตร) สูง 4.584 ± 0.018 นิ้ว (116.4 ± 0.5 มิลลิเมตร) มีปริมาตร 0.075 ± 0.0009 ลูกบาศก์ฟุต ($2,124 \pm 25$ ลูกบาศก์เซนติเมตร) ยึดติดกับฐาน และมีปลอกเหล็กขนาดเดียวกับแบบเหล็กยึดติดอยู่ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบเหล็ก 6 นิ้ว

2.2 ค้อน (Rammer) ใช้บดอัดตัวอย่างทดสอบในแบบ ทำด้วยโลหะมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 ± 0.005 นิ้ว (50.8 ± 0.13 มิลลิเมตร) น้ำหนักค้อนเท่ากับ 5.5 ± 0.02 ปอนด์ (2.5 ± 0.01 กิโลกรัม) และมีระยะยกสูงจากผิวหน้าของตัวอย่างเท่ากับ 12 ± 0.05 นิ้ว (304.8 ± 1.3 มิลลิเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แบบเหล็ก และ ค้อน

2.3 เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder) ใช้สำหรับดันตัวอย่างดินบดอัดออกจากแบบเหล็ก

2.4 เครื่องชั่ง (Balance) ชั่งได้ละเอียด 1 กรัม

2.5 เครื่องชั่ง (Balance) ชั่งได้ละเอียด 0.01 กรัม

2.6 เหล็กสำหรับปาดตัวอย่าง (Straightedge) เป็นเหล็กที่มีความแข็งและตรงตลอดความยาว มีความยาวไม่น้อยกว่า 10 นิ้ว (254 มิลลิเมตร)

2.7 ตะแกรงมาตรฐานช่องเปิด $\frac{3}{4}$ นิ้ว (19 มิลลิเมตร), $\frac{3}{8}$ นิ้ว (9.5 มิลลิเมตร) และเบอร์

4 (4.75 มิลลิเมตร)

2.8 เครื่องมือผสมตัวอย่าง เป็นอุปกรณ์จำเป็น ที่ใช้ผสมตัวอย่างทดสอบเช่น ถาดช้อนตักตัวอย่าง เป็นต้น

3. วิธีการทดลอง

3.1 นำตัวอย่างดินไปผึ่งให้แห้งในอากาศ หรืออบในตู้อบที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง ถ้าเม็ดดินมีการจับตัวกันเป็นก้อนจนมีขนาดใหญ่ ควรใช้ค้อนยางทุบให้เม็ดดินเหล่านั้นแยกออกจากกัน

3.2 ร่อนตัวอย่างดินผ่านตะแกรงตามวิธี A, B หรือ C โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดผลของตัวอย่างดิน ดังแสดงในตารางที่ 2

3.3 เตรียมดินในข้อ 3.2 อย่างน้อย 4 ตัวอย่าง ให้มีน้ำหนักตัวอย่างละประมาณ 3 กิโลกรัม และเตรียมดินให้มีความชื้นใกล้เคียงกับความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ในสภาพความหนาแน่นแห้งสูงสุดขึ้นมาก่อน และตัวอย่างที่เหลือก็เตรียมให้มีความชื้นอยู่ทางด้านเปียกและแห้งของความชื้นเหมาะสมดังกล่าวอย่างละประมาณ 2 ตัวอย่าง โดยความชื้นในแต่ละตัวอย่างควรมีค่าต่างกันประมาณร้อยละ 2 และไม่เกินร้อยละ 4 และบ่มตัวอย่างไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ถึง 16 ชั่วโมง แล้วแต่ชนิดของดินดังแสดงในตารางที่ 3

3.4 ประกอบแบบเหล็ก ปลอกเหล็ก ยึดติดกับฐานให้เรียบร้อย นำไปวางบนพื้นที่มีลักษณะแข็งเช่น แท่นคอนกรีตที่มีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 90 กิโลกรัม และยึดติดกับพื้นนั้นให้แน่น

3.5 แบ่งการบดอัดเป็น 3 ชั้น โดยภายหลังการบดอัดแล้วดินแต่ละชั้นควรมีความหนาโดยประมาณใกล้เคียงกัน ก่อนการบดอัดในแต่ละชั้นให้ใส่ตัวอย่างลงในแบบเหล็กและปรับให้มีความหนาสม่ำเสมอเท่ากันตลอด กระทั่งเบาๆ ด้วยค้อนเพื่อปรับตัวอย่างจนอยู่ในสภาพที่ไม่หลวม ทำการบดอัดตามวิธีที่กำหนดจนทั่วพื้นที่ ภายหลังการบดอัดดินในแต่ละชั้นเสร็จ ให้ทำการตรวจสอบและตัดดินที่ติดอยู่บริเวณด้านข้างของแบบเหล็กและยังไม่ได้รับการบดอัดออกไป ก่อนต่อจากนั้นจึงใส่ตัวอย่างและดำเนินการบดอัดดินในชั้นถัดไปจนเสร็จสิ้นชั้นสุดท้าย

3.6 ถอดปลอกเหล็กออกจากแบบและตรวจสอบความสูงของตัวอย่างบดอัดจากแบบเหล็กต้องไม่เกิน $\frac{1}{4}$ นิ้ว (6 มิลลิเมตร) แต่ถ้าตัวอย่างมีความสูงมากกว่านี้หรือต่ำกว่าแบบเหล็กให้ทำการทดสอบใหม่

ตารางที่ 2 วิธีการบดอัดดินแบบมาตรฐานและการใช้งาน

วิธี	เส้นผ่านศูนย์กลางแบบเหล็กนิ้ว	จำนวนชั้น	จำนวนครั้งต่อชั้น	การเตรียมตัวอย่าง	ปริมาณตัวอย่างโดยประมาณ กิโลกรัม	การใช้งาน
A	4	3	25	ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4	15	วัสดุค้างสะสมบนตะแกรงเบอร์ 4 เท่ากับหรือไม่เกินร้อยละ 20
B	4	3	25	ร่อนผ่านตะแกรง $\frac{3}{8}$ นิ้ว	15	วัสดุค้างสะสมบนตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าร้อยละ 20 และวัสดุค้างสะสมบนตะแกรง $\frac{3}{8}$ นิ้ว เท่ากับหรือไม่เกินร้อยละ 20
C	6	3	56	ร่อนผ่านตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว	30	วัสดุค้างสะสมบนตะแกรง $\frac{3}{8}$ นิ้วมากกว่าร้อยละ 20 และวัสดุค้างสะสมบนตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว ไม่เกินร้อยละ 30

หมายเหตุ ปริมาณตัวอย่างในตารางเป็นน้ำหนักของตัวอย่างในสภาพดินแห้ง

ตารางที่ 3 ระยะเวลาในการบ่มตัวอย่าง

กลุ่มดิน	ระยะเวลาอย่างน้อยสำหรับการบ่มตัวอย่าง ชั่วโมง
GW, GP, SW, SP	ไม่กำหนด
GM, SM	3
ดินประเภทอื่น	16

3.7 ใช้เหล็กสำหรับปาดตัวอย่าง ค่อยๆ ปาดแต่งดินที่อยู่เหนือแบบเหล็กออกจนได้พื้นผิวเป็นระนาบเสมอกับขอบแบบเหล็ก ในกรณีที่มีรูหรือโพรงก็อัดดินลงไปด้วยมือจนเต็มช่องว่างดังกล่าว

3.8 ถอดแบบเหล็กออกจากฐาน นำแบบเหล็กที่มีดินบดอัดไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าไว้ จากนั้นดันก้อนตัวอย่างดินในแบบเหล็กออกด้วยเครื่องดันตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างในบริเวณส่วนกลางของก้อนประมาณ 100 ถึง 500 กรัม สำหรับหาความชื้นต่อไป

4. การคำนวณ

4.1 การคำนวณความชื้น (Moisture Content)

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \cdot 100$$

เมื่อ w คือ ค่าความชื้นในวัสดุ เป็นร้อยละ
 W_1 คือ น้ำหนักของวัสดุเปียก เป็นกรัม
 W_2 คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง เป็นกรัม

4.2 การคำนวณความหนาแน่นเปียก (Wet Density)

$$\rho_t = \frac{W_t}{V}$$

เมื่อ ρ_t คือ ความหนาแน่นเปียก เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
 W_t คือ น้ำหนักของวัสดุบดอัดในแบบเหล็ก เป็นกรัม
 V คือ ปริมาตรของวัสดุบดอัดในแบบเหล็กหรือปริมาตรของแบบเหล็กเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

4.3 การคำนวณความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \frac{w}{100}}$$

เมื่อ ρ_d คือ ความหนาแน่นแห้ง เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
 ρ_t คือ ความหนาแน่นเปียก เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
 w คือ ความชื้น เป็นร้อยละ

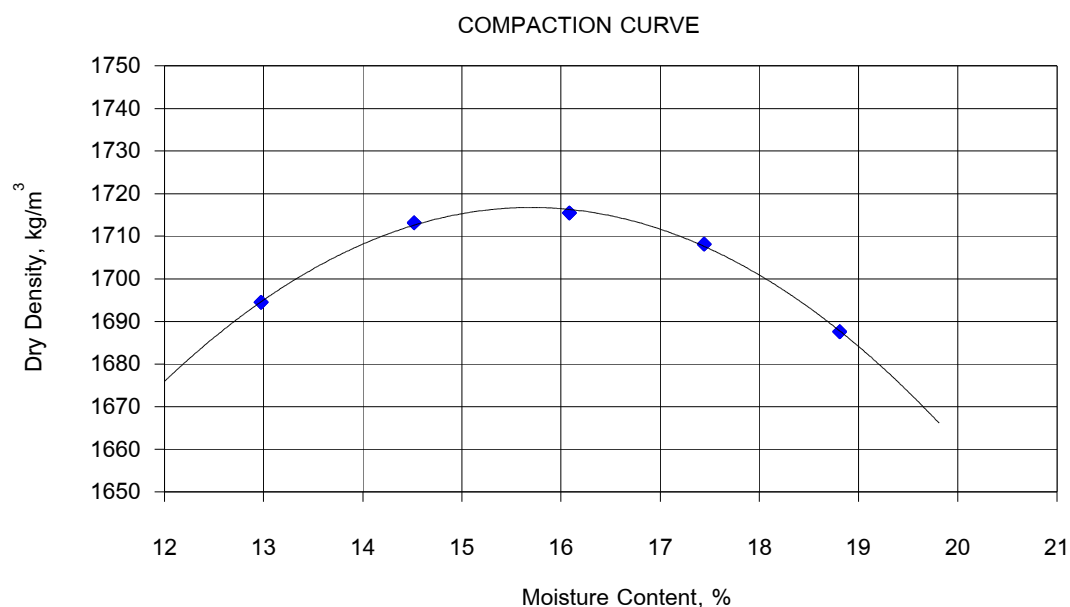
5. การรายงานผล

5.1 เขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งเป็นแกนตั้งและความชื้นเป็นแกนนอน ของค่าที่ได้จากการทดลอง และลากเส้นโค้งการบดอัดผ่านจุดดังกล่าว เพื่อหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density, ρ_{dmax}) และความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ในสภาพดังกล่าว

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D 698-00a^{๘1}

STANDARD COMPACTION TEST						
Method of Compaction		A	Mold Volume		948.09	cm ³
Moisture Content Data						
Determination No.		1	2	3	4	5
Can No.		A1	A2	A3	A4	A5
Wet Soil + Can		g	180.44	183.96	179.20	190.00
Dry Soil + Can		g	163.61	165.18	158.98	166.79
Wt. of Can		g	33.91	35.82	33.25	33.73
Wt. of Water		g	16.83	18.78	20.22	23.21
Wt. of Dry Soil		g	129.70	129.36	125.73	133.06
Moisture Content		%	12.98	14.52	16.08	17.44
Density Data						
Wt. of Soil + Mold		g	3,617	3,662	3,690	3,704
Wt. of Mold		g	1,802	1,802	1,802	1,802
Wt. of Soil		g	1,815	1,860	1,888	1,902
Wet Density		kg/m ³	1,914	1,962	1,991	2,006
Dry Density		kg/m ³	1,695	1,713	1,715	1,708



Maximum Dry Density, ρ_{dmax}	1,717 kg/m ³	Optimum Moisture Content, OMC	15.70 %
------------------------------------	-------------------------	-------------------------------	---------

มาตรฐานการทดสอบ การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการ

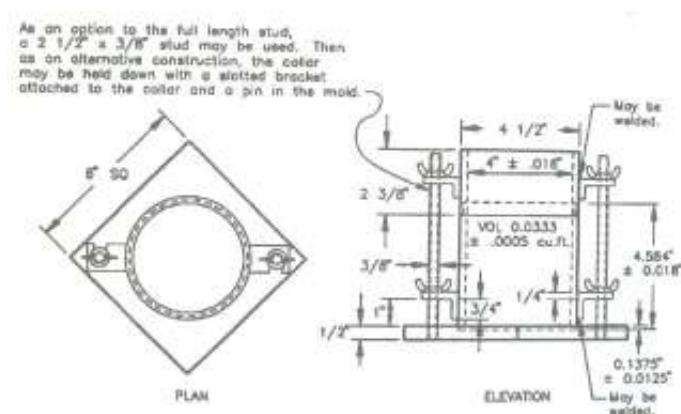
1. ขอบข่าย

การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction) ในห้องปฏิบัติการ คือการทดสอบบดอัดดินเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดินหรือโคลง การบดอัดโดยใช้พลังงานในการบดอัดดินเท่ากับ 56,000 ฟุต-ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต (2,700 กิโลนิวตัน-เมตรต่อลูกบาศก์เมตร) ในห้องปฏิบัติการ

2. เครื่องมือ

2.1 แบบเหล็ก (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งรูปทรงกระบอกกลวงมี 2 ขนาดดังนี้

2.1.1 แบบเหล็ก 4 นิ้ว มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.0 ± 0.016 นิ้ว (101.6 ± 0.4 มิลลิเมตร) สูง 4.584 ± 0.018 นิ้ว (116.4 ± 0.5 มิลลิเมตร) มีปริมาตร 0.0333 ± 0.0005 ลูกบาศก์ฟุต (944 ± 14 ลูกบาศก์เซนติเมตร) ยึดติดกับฐาน (Base Plate) บริเวณด้านบนมีปลอกเหล็ก (Collar) ขนาดเดียวกับแบบเหล็กยึดติดอยู่ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบเหล็ก 4 นิ้ว

2.1.2 แบบเหล็ก 6 นิ้ว มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6.0 ± 0.026 นิ้ว (152.4 ± 0.7 มิลลิเมตร) สูง 4.584 ± 0.018 นิ้ว (116.4 ± 0.5 มิลลิเมตร) มีปริมาตร 0.075 ± 0.0009 ลูกบาศก์ฟุต ($2,124 \pm 25$ ลูกบาศก์เซนติเมตร) ยึดติดกับฐาน และมีปลอกเหล็กขนาดเดียวกับแบบเหล็กยึดติดอยู่ดังแสดงในรูปที่ 2

2.5 เครื่องชั่ง (Balance) ชั่งได้ละเอียด 0.01 กรัม

2.6 เหล็กสำหรับปาดตัวอย่าง (Straightedge) เป็นเหล็กที่มีความแข็งและตรงตลอดความยาว มีความยาวไม่น้อยกว่า 10 นิ้ว (254 มิลลิเมตร)

2.7 ตะแกรงมาตรฐานช่องเปิด $\frac{3}{4}$ นิ้ว (19 มิลลิเมตร), $\frac{3}{8}$ นิ้ว (9.5 มิลลิเมตร) และเบอร์

4 (4.75 มิลลิเมตร)

2.8 เครื่องมือผสมตัวอย่าง เป็นอุปกรณ์จำเป็น ที่ใช้ผสมตัวอย่างทดสอบเช่น ถาดช้อนตักตัวอย่าง เป็นต้น

3. วิธีการทดลอง

3.1 นำตัวอย่างดินไปผึ่งให้แห้งในอากาศ หรืออบในตู้อบที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง ถ้าเม็ดดินมีการจับตัวกันเป็นก้อนจนมีขนาดใหญ่ ควรใช้ค้อนยางทุบให้เม็ดดินเหล่านั้นแยกออกจากกัน

3.2 ร่อนตัวอย่างดินผ่านตะแกรงตามวิธี A, B หรือ C โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดผลของตัวอย่างดิน ดังแสดงในตารางที่ 2

3.3 เตรียมดินในข้อ 3.2 อย่างน้อย 4 ตัวอย่าง ให้มีน้ำหนักตัวอย่างละประมาณ 3 กิโลกรัม และเตรียมดินให้มีความชื้นใกล้เคียงกับความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ในสภาพความหนาแน่นแห้งสูงสุดขึ้นมาก่อน และตัวอย่างที่เหลือก็เตรียมให้มีความชื้นอยู่ทางด้านเปียกและแห้งของความชื้นเหมาะสมดังกล่าวอย่างละประมาณ 2 ตัวอย่าง โดยความชื้นในแต่ละตัวอย่างควรมีค่าต่างกันประมาณร้อยละ 2 และไม่เกินร้อยละ 4 และบ่มตัวอย่างไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ถึง 16 ชั่วโมง แล้วแต่ชนิดของดินดังแสดงในตารางที่ 3

3.4 ประกอบแบบเหล็ก ปลอกเหล็ก ยึดติดกับฐานให้เรียบร้อย นำไปวางบนพื้นที่มีลักษณะแข็งเช่น แท่นคอนกรีตที่มีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 90 กิโลกรัม และยึดติดกับพื้นนั้นให้แน่น

3.5 แบ่งการบดอัดเป็น 5 ชั้น โดยภายหลังการบดอัดแล้วดินแต่ละชั้นควรมีความหนาโดยประมาณใกล้เคียงกัน ก่อนการบดอัดในแต่ละชั้นให้ใส่ตัวอย่างลงในแบบเหล็กและปรับให้มีความหนาสม่ำเสมอเท่ากันตลอด กระทั่งเบาๆ ด้วยค้อนเพื่อปรับตัวอย่างจนอยู่ในสภาพที่ไม่หลวม ทำการบดอัดตามวิธีที่กำหนดจนทั่วพื้นที่ ภายหลังการบดอัดดินในแต่ละชั้นเสร็จ ให้ทำการตรวจสอบและตัดดินที่ติดอยู่บริเวณด้านข้างของแบบเหล็กและยังไม่ได้รับการบดอัดออกไป ก่อนต่อจากนั้นจึงใส่ตัวอย่างและดำเนินการบดอัดดินในชั้นถัดไปจนเสร็จสิ้นชั้นสุดท้าย

3.6 ถอดปลอกเหล็กออกจากแบบและตรวจสอบความสูงของตัวอย่างบดอัดจากแบบเหล็กต้องไม่เกิน $\frac{1}{4}$ นิ้ว (6 มิลลิเมตร) แต่ถ้าตัวอย่างมีความสูงมากกว่านี้หรือต่ำกว่าแบบเหล็กให้ทำการทดสอบใหม่

ตารางที่ 2 วิธีการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานและการใช้งาน

วิธี	เส้นผ่านศูนย์กลางแบบเหล็กนิ้ว	จำนวนชั้น	จำนวนครั้งต่อชั้น	การเตรียมตัวอย่าง	ปริมาณตัวอย่างโดยประมาณ กิโลกรัม	การใช้งาน
A	4	5	25	ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4	15	วัสดุค้างสะสมบนตะแกรงเบอร์ 4 เท่ากับหรือไม่เกินร้อยละ 20
B	4	5	25	ร่อนผ่านตะแกรง $\frac{3}{8}$ นิ้ว	15	วัสดุค้างสะสมบนตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าร้อยละ 20 และวัสดุค้างสะสมบนตะแกรง $\frac{3}{8}$ นิ้ว เท่ากับหรือไม่เกินร้อยละ 20
C	6	5	56	ร่อนผ่านตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว	30	วัสดุค้างสะสมบนตะแกรง $\frac{3}{8}$ นิ้วมากกว่าร้อยละ 20 และวัสดุค้างสะสมบนตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว ไม่เกินร้อยละ 30

หมายเหตุ ปริมาณตัวอย่างในตารางเป็นน้ำหนักของตัวอย่างในสภาพดินแห้ง

ตารางที่ 3 ระยะเวลาในการบ่มตัวอย่าง

กลุ่มดิน	ระยะเวลาอย่างน้อยสำหรับการบ่มตัวอย่าง ชั่วโมง
GW, GP, SW, SP	ไม่กำหนด
GM, SM	3
ดินประเภทอื่น	16

3.7 ใช้เหล็กสำหรับปาดตัวอย่าง ค่อยๆ ปาดแต่งดินที่อยู่เหนือแบบเหล็กออกจนได้พื้นผิวเป็นระนาบเสมอกับขอบแบบเหล็ก ในกรณีที่มีรูหรือโพรงก็อัดดินลงไปด้วยมือจนเต็มช่องว่างดังกล่าว

3.8 ถอดแบบเหล็กออกจากฐาน นำแบบเหล็กที่มีดินบดอัดไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าไว้ จากนั้นดันก้อนตัวอย่างดินในแบบเหล็กออกด้วยเครื่องดันตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างในบริเวณส่วนกลางของก้อนประมาณ 100 ถึง 500 กรัม สำหรับหาความชื้นต่อไป

4. การคำนวณ

4.1 การคำนวณความชื้น (Moisture Content)

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \cdot 100$$

เมื่อ w คือ ค่าความชื้นในวัสดุ เป็นร้อยละ
 W_1 คือ น้ำหนักของวัสดุเปียก เป็นกรัม
 W_2 คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง เป็นกรัม

4.2 การคำนวณความหนาแน่นเปียก (Wet Density)

$$\rho_t = \frac{W_t}{V}$$

เมื่อ ρ_t คือ ความหนาแน่นเปียก เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
 W_t คือ น้ำหนักของวัสดุบดอัดในแบบเหล็ก เป็นกรัม
 V คือ ปริมาตรของวัสดุบดอัดในแบบเหล็กหรือปริมาตรของแบบเหล็กเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

4.3 การคำนวณความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \frac{w}{100}}$$

เมื่อ ρ_d คือ ความหนาแน่นแห้ง เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
 ρ_t คือ ความหนาแน่นเปียก เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
 w คือ ความชื้น เป็นร้อยละ

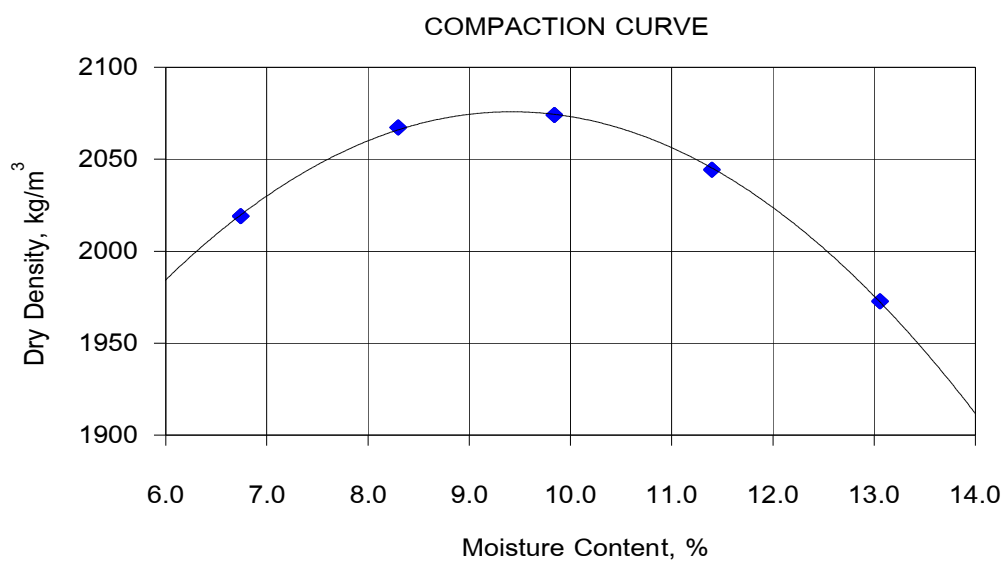
5. การรายงานผล

5.1 เขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งเป็นแกนตั้งและความชื้นเป็นแกนนอน ของค่าที่ได้จากการทดลอง และลากเส้นโค้งการบดอัดผ่านจุดดังกล่าว เพื่อหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density, ρ_{dmax}) และความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ในสภาพดังกล่าว

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D1557-02a^{ε1}

MODIFIED COMPACTION TEST							
Method of Compaction		C	Mold Volume		2,130.61	cm ³	
Moisture Content Data							
Determination No.		1	2	3	4	5	
Can No.		A1	A2	A3	A4	A5	
Wet Soil + Can		g	346.00	320.00	330.00	329.50	330.20
Dry Soil + Can		g	333.76	307.68	315.40	312.99	311.00
Wt. of Can		g	152.22	159.16	167.02	168.14	164.00
Wt. of Water		g	12.24	12.32	14.60	16.51	19.20
Wt. of Dry Soil		g	181.54	148.52	148.38	144.85	147.00
Moisture Content		%	6.74	8.30	9.84	11.40	13.06
Density Data							
Wt. of Soil + Mold		g	7,360	7,538	7,622	7,620	7,520
Wt. of Mold		g	2,768	2,768	2,768	2,768	2,768
Wt. of Soil		g	4,592	4,770	4,854	4,852	4,752
Wet Density		kg/m ³	2,155	2,239	2,278	2,277	2,230
Dry Density		kg/m ³	2,019	2,067	2,074	2,044	1,973



Maximum Dry Density, ρ_{dmax}	2,076 kg/m ³	Optimum Moisture Content, OMC	9.42 %
------------------------------------	-------------------------	-------------------------------	--------

มาตรฐานการทดสอบ การหาค่า California Bearing Ratio (CBR)

1. ขอบข่าย

การทดสอบ CBR เป็นการทดสอบที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นวิธีในการคัดเลือกหรือพิจารณาความเหมาะสมของวัสดุในการใช้งาน เช่น ถนน และสนามบิน ในส่วนของชั้นดินเดิม ดินบดอัด วัสดุคัดเลือก ดินลูกรัง (ชั้นรองพื้นทาง) และหินคลุก (ชั้นพื้นทาง) เป็นต้น โดยทำการเปรียบเทียบหน่วยแรงต้านทานแรงกดของวัสดุตั้งกล่าวต่อหน่วยแรงต้านทานแรงกดของหินคลุกบดอัดมาตรฐาน (Standard Unit Load) ในระดับความลึกหรือระยะจมของแท่งกดที่เท่ากัน

2. เครื่องมือ

2.1 เครื่องกด (Loading Machine) มีขีดความสามารถให้แรงกดไม่น้อยกว่า 10,000 ปอนด์ (ประมาณ 5,000 กิโลกรัม) อาจเป็นเครื่องชนิดใช้มือหมุนหรือมอเตอร์ไฟฟ้าที่ทำให้ฐานหรือแท่งกดเคลื่อนที่ด้วยอัตรา 0.05 นิ้ว (1.27 มิลลิเมตร) ต่อนาที เพื่อใช้ดันให้แท่งกดจมลงในตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วในแบบเหล็ก และความละเอียดของแรงกดให้อ่านได้ไม่เกิน 10 ปอนด์ (4.4 กิโลกรัม)

2.2 แท่งกด (Piston) เป็นแท่งโลหะทรงกระบอกตันมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.95 นิ้ว มีพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว ยาวไม่น้อยกว่า 4 นิ้ว

2.3 แบบเหล็ก (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียวรูปทรงกระบอกกลวงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 นิ้ว (152.4 มิลลิเมตร) สูง 7 นิ้ว (177.8 มิลลิเมตร) ยึดติดกับฐาน (Base Plate) ความหนา $\frac{3}{8}$ นิ้ว (9.5 มิลลิเมตร) ที่มีรูปขนาดของรูไม่เกิน $\frac{1}{16}$ นิ้ว (1.58 มิลลิเมตร) บริเวณด้านบนมีปลอกเหล็ก (Collar) ขนาดเดียวกับแบบสูง 2 นิ้ว (50.8 มิลลิเมตร)

2.4 แท่งโลหะรอง (Spacer Disc) เป็นแท่งโลหะทรงกระบอกตัน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง $5\frac{15}{16}$ นิ้ว (150.8 มิลลิเมตร) สูง 2.416 นิ้ว (61.4 มิลลิเมตร) ใช้รองด้านล่างในแบบเพื่อให้ได้ตัวอย่างสูง 4.584 นิ้ว (116.4 มิลลิเมตร)

2.5 ค้อน (Rammer) ใช้บดอัดตัวอย่างทดสอบในแบบ ทำด้วยโลหะมีขนาดและน้ำหนักตามมาตรฐานการทดสอบที่ สวพ.ทล.305/2551 การบดอัดแบบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ หรือตามมาตรฐานการทดสอบที่ สวพ.ทล.306/2551 การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการ

2.6 แผ่นเหล็กวัดการบวมตัว (Swell Plate) ใช้สำหรับวัดค่าการบวมตัวของตัวอย่างทดสอบ ทำด้วยโลหะที่ไม่เป็นสนิมง่าย มีเส้นผ่านศูนย์กลาง $5\frac{7}{8}$ นิ้ว (149.2 มิลลิเมตร)หนา $\frac{1}{4}$ นิ้ว (6.4 มิลลิเมตร) มีก้านที่สามารถปรับให้สูงหรือต่ำได้และมีรูพูนเพื่อใช้ติดตั้งกับ

Dial Gauge สำหรับอ่านค่าการบวมตัว

2.7 สามขา (Tripod) ใช้ประกอบสำหรับวัดค่าการบวมตัวของตัวอย่างทดสอบ ทำด้วยโลหะและมีรูตรงส่วนบนเพื่อติดตั้ง Dial Gauge วัดได้ละเอียด 0.001 นิ้ว วัดได้ 1 นิ้ว (หรือจะใช้ที่วัดได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร วัดได้ 25 มิลลิเมตร แทนก็ได้) สำหรับวัดการบวมตัว

2.8 น้ำหนักกดทับตัวอย่าง (Surcharge Weight) มีน้ำหนัก 5 ปอนด์ (2,268 กรัม) ใช้วางบนตัวอย่างทดสอบ เป็นเหล็กทรงกระบอกแบนรูปวงกลมมีรูตรงกลาง หรือรูปเกือกม้ามีเส้นผ่านศูนย์กลาง $5\frac{7}{8}$ นิ้ว (149.2 มิลลิเมตร) รูตรงกลางมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ $2\frac{1}{8}$ นิ้ว (54 มิลลิเมตร) เพื่อให้แท่งกดสอดผ่านไปได้

2.9 Dial Gauge สำหรับอ่านค่าระยะจมของแท่งกด วัดได้ละเอียด 0.001 นิ้ว หรือ 0.01 มิลลิเมตร



รูปที่ 1 ชุดเครื่องมือทดสอบ CBR

2.10 เครื่องมือประกอบการทดลอง

2.10.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบบดอัดดิน (Compaction) ทั้งหมดยกเว้นตัวแบบเหล็ก

2.10.2 ตะแกรงมาตรฐาน ช่องเปิด $\frac{3}{4}$ นิ้ว (19 มิลลิเมตร) และเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

2.10.3 เครื่องแบ่งตัวอย่าง

2.10.4 กระดาษกรอง

2.10.5 เครื่องมือผสม เป็นอุปกรณ์จำเป็นต่างๆ ที่ใช้ผสมตัวอย่างทดสอบกับน้ำ เช่น ถาด ช้อน กระบอกตวงวัดปริมาตรน้ำ

3. วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.1.1 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุดมีขนาดเล็กกว่า $\frac{3}{4}$ นิ้ว หรือไม่มีส่วน

ค้ำบนตะแกรงขนาดดังกล่าว ให้ทำการคัดเลือกตัวอย่างโดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างออกมา 8 ชุด ชุดละประมาณ 5 กิโลกรัม แล้วนำตัวอย่างสำหรับทดสอบ CBR จำนวน 3 ชุด เข้าตุ๋น ส่วนอีก 5 ชุด ใช้ทดสอบการบดอัดเพื่อหาค่าความชื้นที่เหมาะสม (OMC) ตามมาตรฐานการทดสอบที่ สวพ.ทล.305/2551 การบดอัดแบบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ หรือตามมาตรฐานการทดสอบที่ สวพ.ทล.306/2551 การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการ โดยใช้การบดอัดประเภท C (Type C) จากนั้นให้ดำเนินการตามข้อ 3.1.3

3.1.2 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุดมีขนาดใหญ่กว่า $\frac{3}{4}$ นิ้ว ให้ดำเนินการดังนี้

3.1.2.1 คัดเลือกตัวอย่างโดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างประมาณ 10 กิโลกรัม

อบแห้ง ชั่งน้ำหนักและบันทึกไว้ จากนั้นล้างตัวอย่างด้วยน้ำผ่านตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว แล้วนำส่วนที่

ค้ำทั้งหมด อบแห้ง ชั่งน้ำหนักและบันทึกไว้ นำค่าที่บันทึกคำนวณหาร้อยละของส่วนค้ำตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว ไว้สำหรับคำนวณส่วนที่จะชดเชย

3.1.2.2 คัดเลือกตัวอย่างโดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างประมาณ 50 กิโลกรัม

อบแห้ง ส่วนวัสดุที่เหลือร้อนผ่านตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว และค้ำบนตะแกรงเบอร์ 4 ให้มีปริมาณ เท่ากับหรือมากกว่าส่วนที่จะชดเชย นำไปล้างน้ำแล้วอบแห้ง

3.1.2.3 ทำการเตรียมตัวอย่างจำนวน 8 ชุด ชุดละประมาณ 5.5 กิโลกรัม คิดเป็นปริมาณวัสดุแห้งทั้งหมดเท่ากับ 5.5×8 หรือ 44 กิโลกรัม สมมติว่าตัวอย่างมีร้อยละ

ของส่วนค้ำตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว เท่ากับ 10 ดังนั้นวัสดุแห้งที่ค้ำบนตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว เท่ากับ $44 \times \frac{10}{100}$ หรือ 4.4 กิโลกรัมและส่วนของวัสดุแห้งที่ผ่านตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว มีค่าเท่ากับ

$44 - 4.4$ หรือ 39.6 กิโลกรัม

3.1.2.4 ทำการร่อนตัวอย่างในข้อ 3.2.2 ผ่านตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว เป็นจำนวน 39.6 กิโลกรัม และทิ้งส่วนที่ค้ำไป แล้วชดเชยด้วยวัสดุที่ร่อนผ่านตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว และค้ำบน ตะแกรงเบอร์ 4 เป็นจำนวน 4.4 กิโลกรัม ใส่ลงไปและผสมให้ทั่วกันตลอดได้ปริมาณวัสดุแห้ง ทั้งหมดเท่ากับ $39.6 + 4.4$ หรือ 44 กิโลกรัม

3.1.2.5 นำวัสดุที่ได้จากข้อ 3.1.2.4 มาทำการคัดเลือกตัวอย่างโดยใช้ เครื่องแบ่งตัวอย่างเป็นจำนวน 8 ชุด ชุดละประมาณ 5.5 กิโลกรัม แล้วนำตัวอย่างจำนวน 5 ชุด ไปทดสอบการบดอัดเพื่อหาความชื้นที่เหมาะสมตามมาตรฐานการทดสอบที่ สวพ. ทล.305/2551 การบดอัดแบบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ หรือตามมาตรฐานการทดสอบที่ สวพ.ทล.306/2551 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการ โดยใช้การบดอัดประเภท C (Type C) ส่วนอีก 3 ชุด ใช้ทดสอบ CBR

3.2 เตรียมดิน 3 ชุดสำหรับทดสอบ CBR ให้มีความชื้นตามความชื้นที่เหมาะสม แล้ว บ่มตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในภาชนะกั้นความชื้น

3.3 ชั่งน้ำหนักแบบเหล็ก จดบันทึกไว้แล้วประกอบแบบกับส่วนฐาน และปลอกเหล็ก

3.4 ใส่แท่งโลหะรองลงในแบบ แล้ววางกระดาษกรองทับลงไป

3.5 ใส่วัสดุลงไปแบบแล้วบดอัดแต่ละชุดด้วยพลังงานที่ต่างกันดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน

ชุดที่	การบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction)			การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction)		
	ขนาดก้อน (ปอนด์)	จำนวนชั้น	จำนวนครั้งต่อชั้น	ขนาดก้อน (ปอนด์)	จำนวนชั้น	จำนวนครั้งต่อชั้น
1	5.5	3	56	10	5	56
2	5.5	3	25	10	5	25
3	5.5	3	10	10	5	10

3.6 ทำการบดอัดชุดที่ 1 เป็นชั้นๆ ขึ้นมาโดยแต่ละชั้นมีปริมาณดินใกล้เคียงกัน และในชั้นสุดท้ายห้ามต่ำกว่าแบบเหล็ก และควรสูงกว่าแบบเหล็กประมาณ 10 มิลลิเมตร ในขณะที่ทำการบดอัดให้หาความชื้นของตัวอย่างไว้ตามข้อ 4.1

3.7 ถอดปลอกเหล็กออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับตอบนบนของแบบเหล็ก ในกรณีมีหลุมบนผิวหน้าให้เติมตัวอย่างลงไป ใช้เหล็กปาดวางทับแล้วใช้ค้อนยางทุบจนกระทั่งเหล็กปาดยุบลงถึงขอบแบบเหล็ก และปาดแต่งหน้าอีกครั้งจนเรียบ ถอดแบบเหล็กพร้อมตัวอย่างที่บดอัดแล้วออกจากฐานเพื่อนำไปชั่งน้ำหนักสำหรับคำนวณความหนาแน่นของตัวอย่างตามข้อ 4.2 และ 4.3

3.8 ประกอบแบบเหล็กพร้อมตัวอย่างดังกล่าวกลับไปยังฐานโดยนำแท่งโลหะรองออกจากฐานก่อนและวางกระดาษกรองแผ่นใหม่ลงบนฐาน แล้วพลิกแบบเหล็กโดยให้ด้านล่างของแบบเหล็กอยู่ด้านบนเป็นตัวอย่างสำหรับชุดที่ 1 ต่อจากนั้นทำการเตรียมตัวอย่างอีก 2 ชุด ที่เหลือเป็นตัวอย่างสำหรับทดสอบค่า CBR เป็นจำนวนทั้งสิ้น 3 ตัวอย่าง

3.9 กรณีที่เป็นการทดสอบ CBR แบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked Sample) ก็ดำเนินการตามข้อ 4.11

3.10 กรณีที่เป็นการทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ (Soaked Sample) ให้วางแผ่นเหล็กวัดการบวมตัวลงบนตัวอย่างทั้ง 3 แล้วตามด้วยน้ำหนักกดทับซึ่งต้องคำนึงถึงสภาพการรับน้ำหนักในพื้นที่จริง แต่ถ้าไม่ได้มีการกำหนดไว้ ให้ใช้น้ำหนักเท่ากับ 10 ปอนด์ หรือประมาณ 4.4 กิโลกรัม วางทับลงไป

3.11 แช่ตัวอย่างทั้ง 3 ชุดลงในน้ำโดยให้ระดับน้ำสูงกว่าผิววัสดุประมาณ 1 นิ้ว วางก้านสามขาพร้อม Dial gauge ลงบนแบบเหล็กและจัดให้ก้านของ Dial Gauge สัมผัสอยู่กึ่งกลางบนแกนของแผ่นเหล็กวัดการบวมตัว แล้วจึงปรับเข็มบน Dial Gauge ไว้ที่เลขศูนย์บันทึกเป็นค่าเริ่มต้น และให้ทำการบันทึกค่าการบวมตัวของตัวอย่างทดสอบทุกๆ 24 ชั่วโมงจาก Dial gauge จนกระทั่งครบ 96 ชั่วโมง หรือเมื่อตัวอย่างทดสอบหยุดการบวมตัวแล้วตั้ง

แสดงในรูปที่ 2 เสร็จแล้วให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ยกแผ่นเหล็กวัดการบวมตัวพร้อมน้ำหนักกดทับออก และเอียงแบบเหล็กให้น้ำไหลออกประมาณ 15 นาที จนไม่มีน้ำขังบนผิวหน้าและระวังอย่าให้ผิวหน้าของตัวอย่างเสียหาย ถอดแบบเหล็กออกจากฐาน ชั่งน้ำหนักไว้สำหรับหาน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบต่อไป

3.12 นำน้ำหนักกดทับเดิมหรือน้ำหนักเท่ากับ 10 ปอนด์ วางลงบนตัวอย่าง แล้วนำตัวอย่างขึ้นตั้งบนที่ตั้งของเครื่องกดโดยตั้งให้แท่งกดอยู่ตรงพอดีกับรูตรงกลางของน้ำหนักกดทับ และค่อยๆ ปรับให้แท่งกดสัมผัสกับผิวหน้าของตัวอย่างจนกระทั่งน้ำหนักกดที่อ่านได้จากเครื่องกดมีค่าเท่ากับ 10 ปอนด์ ปรับตั้งหน้าปัทม์ของเครื่องวัดแรงและหน้าปัทม์ของ Dial gauge สำหรับวัดระยะจมของแท่งกดให้เป็นศูนย์ดังแสดงในรูปที่ 3

3.13 เริ่มกดแท่งกดลงบนตัวอย่างทดสอบในอัตราการกดเท่ากับ 0.05 นิ้ว (1.27 มิลลิเมตรต่อนาที) อย่างสม่ำเสมอโดยการเคลื่อนที่ของเข็มเท่ากับ 50 ซีดต่อนาที ถ้า Dial Gauge วัดได้ละเอียด 0.001 นิ้ว หรือการเคลื่อนที่ของเข็มเท่ากับ 127 ซีดต่อนาที ถ้า Dial Gauge วัดได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร



รูปที่ 2 วิธีวัดค่าการบวมตัวของตัวอย่าง
ทดสอบแบบแช่น้ำ



รูปที่ 3 การตั้งให้แท่งกดอยู่ตรงพอดีกับรูตรง
กลางของน้ำหนักกดทับ

3.14 ทำการบันทึกค่าแรงกด (Load) ที่ระยะจม (Penetration) ของแท่งกดเท่ากับ 0.025, 0.05, 0.075, 0.1, 0.125, 0.15, 0.175, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 นิ้ว หรือเท่ากับ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 7.5, 10.0 และ 12.5 มิลลิเมตร ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4 เสร็จแล้วคลายแรงกด แล้วนำตัวอย่างพร้อมแบบเหล็กออกจากแท่นของเครื่องกดเพื่อนำไปเก็บตัวอย่างหาความชื้นในดินต่อไป

3.15 ดำเนินการทดสอบตามวิธีในข้อ 3.12 ถึง 3.14 กับตัวอย่างที่เตรียมไว้อีก 2 ตัวอย่าง

3.16 เขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกด (Unit Load) กับระยะจมของแท่งกดดังแสดงไว้ในรูปที่ 6 เพื่อหาค่า CBR ตามข้อ 4.5

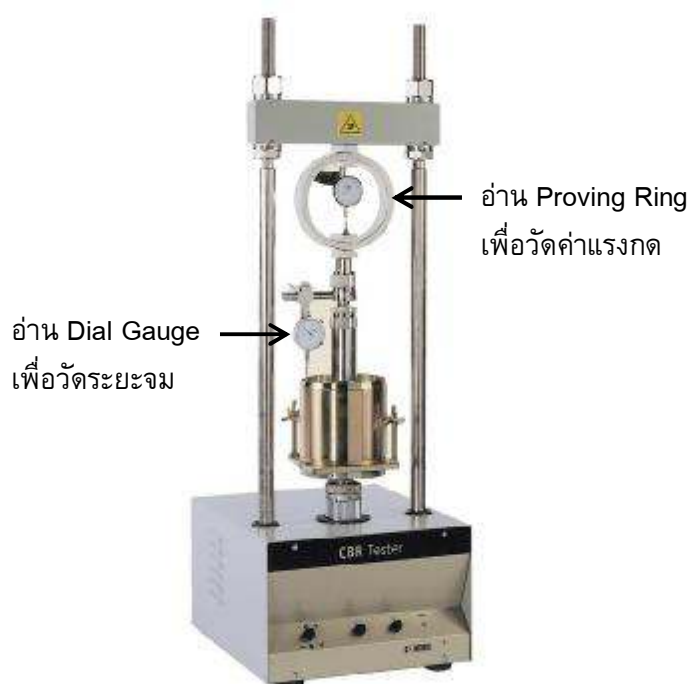
3.17 เขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR กับค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่าง (ภายหลังการบดอัด) ทั้ง 3 ค่า เพื่อหาค่า CBR ที่ร้อยละของการบดอัดที่ต้องการต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 7

4. การคำนวณ

4.1 การคำนวณความชื้น (Moisture Content)

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \cdot 100$$

เมื่อ w คือ ค่าความชื้นในวัสดุ เป็นร้อยละ
 W_1 คือ น้ำหนักของวัสดุเปียก เป็นกรัม
 W_2 คือ น้ำหนักของวัสดุแห้ง เป็นกรัม



รูปที่ 4 การทดสอบแรงกดที่ระยะจมต่างๆ ของแท่งกดบนตัวอย่างทดสอบ

4.2 การคำนวณความหนาแน่นเปียก (Wet Density)

$$\rho_t = \frac{W_t}{V}$$

เมื่อ ρ_t คือ ความหนาแน่นเปียก เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
 W_t คือ น้ำหนักของวัสดุบดอัดในแบบเหล็ก เป็นกรัม
 V คือ ปริมาตรของวัสดุบดอัดในแบบเหล็กหรือปริมาตรของแบบเหล็กเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

4.3 การคำนวณความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \frac{w}{100}}$$

เมื่อ ρ_d คือ ความหนาแน่นแห้ง เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
 ρ_t คือ ความหนาแน่นเปียก เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
 w คือ ความชื้น เป็นร้อยละ

4.4 การคำนวณค่าการบวมตัว (Swell)

$$S = \frac{R}{H} \cdot 100$$

เมื่อ S คือ ค่าการบวมตัว เป็นร้อยละ
 R คือ ผลต่างระหว่างการอ่านค่าครั้งแรกและครั้งสุดท้ายของ Dial Gauge ที่วัดการบวมตัวในขณะแช่น้ำ เป็นมิลลิเมตร (นิ้ว)
 H คือ ความสูงเริ่มต้นของตัวอย่างก่อนแช่น้ำ เป็นมิลลิเมตร (นิ้ว)

4.5 การคำนวณค่า CBR

การคำนวณค่า CBR ของวัสดุเป็นการเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงกดของวัสดุกับค่าหน่วยแรงกดของหินคลุกมาตรฐาน (Standard Unit Load) ที่ระยะจมของแท่งกดเท่ากับ

0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว ตามลำดับ ในการใช้งานกำหนดค่าหน่วยแรงกดของหินคลุกมาตรฐานไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าหน่วยแรงกดของหินคลุกมาตรฐาน

ระยะจมของแท่งกด (นิ้ว)	หน่วยแรงกดของหินคลุกมาตรฐาน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
0.1 (2.54 มิลลิเมตร)	1,000 (70.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
0.2 (5.08 มิลลิเมตร)	1,500 (105.46 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
0.3 (7.62 มิลลิเมตร)	1,900 (133.59 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
0.4 (10.16 มิลลิเมตร)	2,300 (161.71 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
0.5 (12.70 มิลลิเมตร)	2,600 (182.81 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

$$CBR = \frac{T}{ST} \cdot 100$$

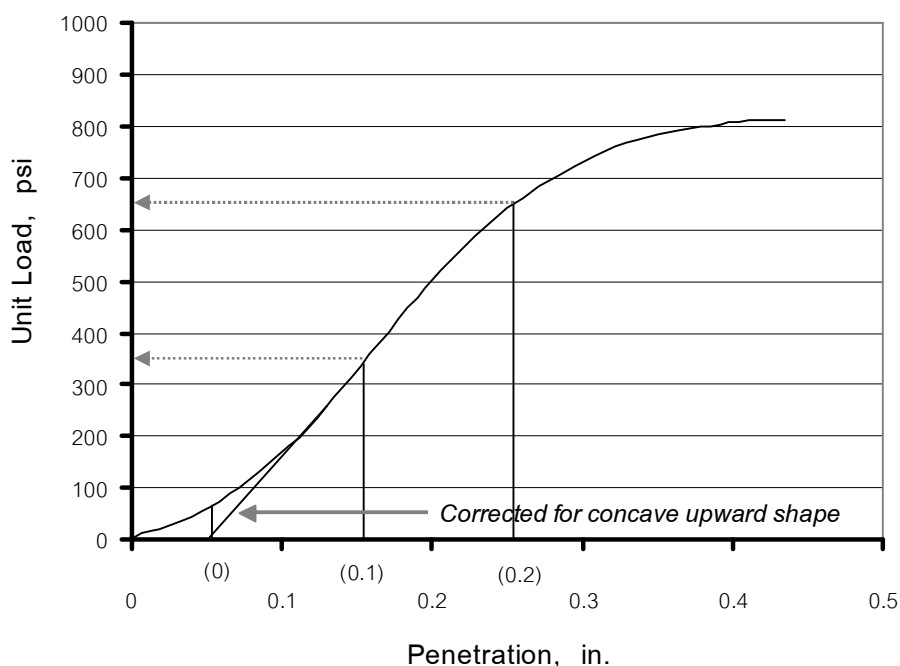
เมื่อ CBR คือ ค่า CBR เป็นร้อยละ

T คือ หน่วยแรงกดของวัสดุ เป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว
(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

ST คือ หน่วยแรงกดของหินคลุกมาตรฐาน เป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว
(กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

5. การรายงานผล

5.1 เขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงกดเป็นแกนตั้งและระยะจมของแท่งกดเป็นแกนนอนของทั้งสามตัวอย่าง ถ้าความสัมพันธ์มีลักษณะโค้งคว่ำ ไม่ต้องทำการปรับแก้ แต่ถ้ามีลักษณะหงายขึ้นซึ่งเกิดจากการอ่อนยุบที่ผิวหน้าของตัวอย่างในขณะแช่น้ำต้องทำการปรับแก้เส้นแสดงความสัมพันธ์โดยการลากเส้นตรงให้สัมผัสกับแนวที่ชันที่สุด ตัดแกนนอนที่จุดใดให้ถือว่าจุดดังกล่าวเป็นจุดศูนย์ใหม่ของแกนนอนพร้อมกับเปลี่ยนตำแหน่งสเกลใหม่ให้ถูกต้องดังแสดงในรูปที่ 5 แล้วจึงดำเนินการหาค่า CBR ต่อไป



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดและระยะจม

การเปรียบเทียบค่า CBR มีข้อพิจารณาดังนี้

5.1.1 ถ้าค่า CBR ที่ระยะจม 0.1 นิ้ว มากกว่าที่ระยะจม 0.2 นิ้ว ให้รายงานผลที่ระยะจม 0.1 นิ้ว

5.1.2 ถ้าค่า CBR ที่ระยะจม 0.2 นิ้ว มากกว่าที่ระยะจม 0.1 นิ้ว ให้ทำการเตรียมตัวอย่างทดสอบใหม่

5.1.3 ในการทดสอบใหม่ถ้าค่า CBR ที่ระยะจม 0.2 นิ้ว ยังคงมากกว่าที่ระยะจม 0.1 นิ้ว ให้รายงานผลที่ระยะจม 0.2 นิ้ว

5.2 เขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งเป็นแกนตั้งและค่า CBR เป็นแกนนอน เมื่อได้ค่า CBR ของทั้งสามตัวอย่างแล้วแสดงในรูปที่ 7 เพื่อนำไปหาค่า CBR ที่ร้อยละของการบดอัดหรือความหนาแน่นที่ต้องการต่อไป

5.3 ค่าการบวมตัวเป็นร้อยละ

6. เอกสารอ้างอิง

American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D 1883-99

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

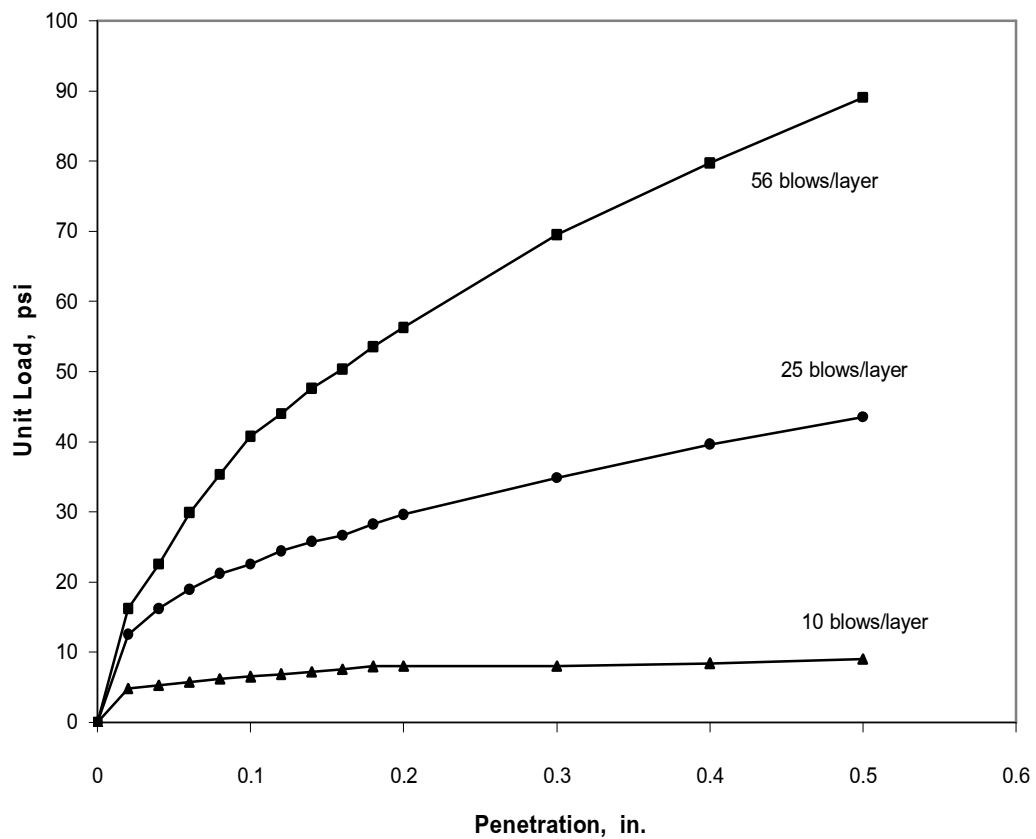
สวพ.ทล.307/2551

Moisture Content and Unit Weight of Test Sample										
Description		Mold No. 1			Mold No. 2			Mold No. 3		
No. of Layers		3			3			3		
No. of Blows per Layer		56			25			10		
Condition of Sample		Before Soaking	After Soaking		Before Soaking	After Soaking		Before Soaking	After Soaking	
Wt. Wet Sample + Mold	g	6875.6	6977.5		6314.8	6593.8		6106.2	6436.7	
Wt. of Mold	g	2722.0	2722.0		2769.0	2769.0		2771.0	2771.0	
Ht. of Sample	cm	11.37	11.37		11.37	11.37		11.39	11.390	
Vol. of Sample	cm ³	2072.55	2072.55		2066.75	2066.75		2075.29	2075.29	
Wet Density	g/cm ³	2.000	2.053		1.720	1.850		1.610	1.766	
Moisture Content										
Can No.		B1	C1		B2	C2		B3	C3	
Wt. Wet Sample + Can	g	113.30	141.02		129.41	159.21		127.89	175.70	
Wt. Dry Sample + Can	g	104.35	126.44		119.93	138.36		117.65	148.69	
Wt. Water	g	8.95	14.58		9.48	20.85		10.24	27.01	
Wt. Can	g	35.48	35.85		35.71	35.77		35.86	35.86	
Wt. Dry Sample	g	68.87	90.59		84.22	102.59		81.79	112.83	
Moisture Content	%	13.00	16.09		11.26	20.32		12.52	23.94	
Dry Density	g/cm ³	1.774	1.769		1.542	1.538		1.428	1.425	
Swell Data										
Date	Time	Mold No. 1			Mold No. 2			Mold No. 3		
		Gauge	Swell		Gauge	Swell		Gauge	Swell	
		Reading	mm	%	Reading	mm	%	Reading	mm	%
20 เม.ย. 2544	10:30	0	0		0	0		0	0	
21 เม.ย. 2544	10:30	116	1.16	1.02	72	0.72	0.63	41	0.41	0.36
22 เม.ย. 2544	10:30	170	1.70	1.49	120	1.20	1.06	58	0.58	0.51
23 เม.ย. 2544	10:30	208	2.08	1.83	162	1.62	1.43	69	0.69	0.61
24 เม.ย. 2544	10:30	228.8	2.29	2.01	194.7	1.95	1.72	76.5	0.77	0.68

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน

สวพ.ทล.307/2551

Penetration Data										
Penetration div.	Penetration in.	Mold No. 1			Mold No. 2			Mold No. 3		
		Load	Load	Unit load	Load	Load	Unit load	Load	Load	Unit load
		div.	lb	psi	div.	lb	psi	div.	lb	psi
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0.02	28	48.6	16.2	20	37.6	12.6	3	14.4	4.8
100	0.04	42	67.7	22.6	28	48.6	16.2	4	15.8	5.2
150	0.06	58	89.6	29.9	34	56.8	18.9	5	17.2	5.7
200	0.08	70	105.9	35.3	39	63.6	21.2	6	18.5	6.2
250	0.10	82	122.4	40.8	42	67.7	22.6	6.8	19.6	6.5
300	0.12	89	131.9	44.0	46	73.2	24.4	7.5	20.6	6.9
350	0.14	97	142.8	47.6	49	77.3	25.8	8.2	21.5	7.2
400	0.16	103	151.0	50.4	51	80.0	26.7	9.1	22.8	7.6
450	0.18	110	160.6	53.5	54.5	84.8	28.3	9.9	23.8	7.9
500	0.20	116	168.8	56.3	57.5	88.9	29.6	10	24.0	8.0
750	0.30	145	208.4	69.5	69	104.6	34.9	10	24.0	8.0
1000	0.40	167.5	239.2	79.7	79.5	118.9	39.6	10.9	25.2	8.4
1250	0.50	188	267.2	89.1	88	130.6	43.5	12.2	27.0	8.9



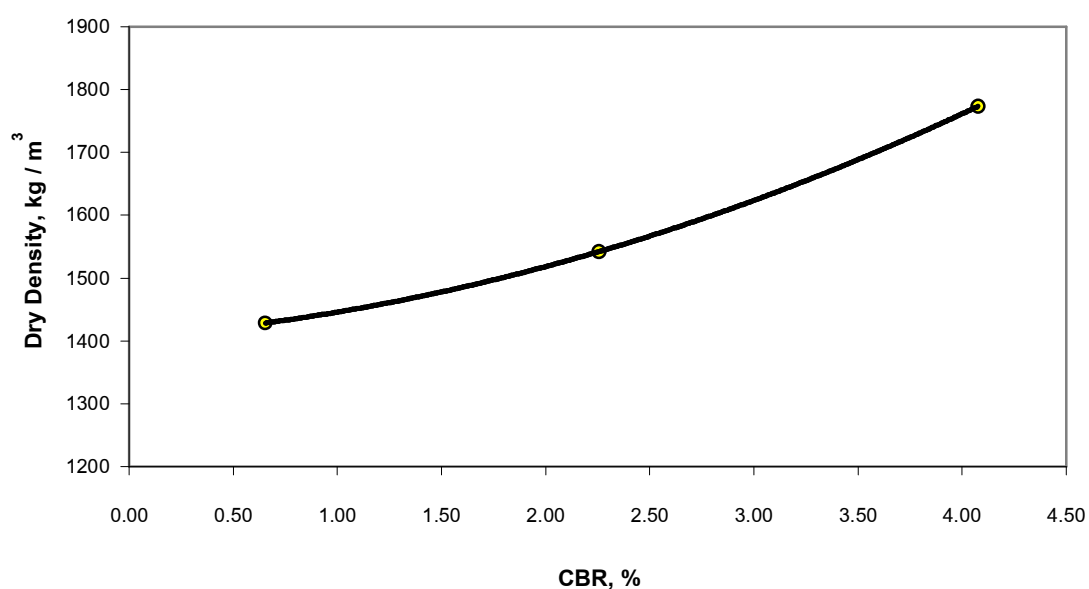
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดและระยะจม

ตารางที่ 3 แสดงค่าหน่วยแรงกดและ CBR ของตัวอย่างทดสอบ

Mold No.	Unit Load		CBR		CBR
	psi		%		
	at 0.1 in.	at 0.2 in.	at 0.1 in.	at 0.2 in.	
1 (56 blows/layer)	40.8	56.3	4.08	3.75	4.08
2 (25 blows/layer)	22.6	29.6	2.26	1.98	2.26
3 (10 blows/layer)	6.5	8.0	0.65	0.53	0.65

ตารางที่ 4 ค่าความหนาแน่นแห้งและ CBR ของตัวอย่างทดสอบ

Mold No.	Dry Density kg/m ³	CBR %
1	1774	4.08
2	1542	2.26
3	1428	0.65



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและค่า CBR

มาตรฐานการทดสอบ

การหาค่าความแน่นของวัสดุบดอัดโดยวิธีแทนที่ด้วยทราย

1. ขอบข่าย

เป็นการหาค่าความแน่นของวัสดุบดอัดโดยวิธีแทนที่ด้วยทราย ใช้กับวัสดุที่มีขนาดโคสคูไม่เกิน 1½ นิ้ว

2. เครื่องมือ

2.1 Sand Cone Density Apparatus

2.2 ทรายสะอาด ผ่านตะแกรง No.10 ค้างตะแกรง No.60 (ยอมให้ผ่านตะแกรง No.60 ได้ไม่เกิน 3%)

2.3 เครื่องชั่ง ความละเอียดไม่น้อยกว่า 1 กรัม

2.4 ตะแกรง No.10 และ No.60

2.5 จอบ

2.6 สິ่ว

2.7 ค้อน

2.8 ช้อนตักดิน

2.9 ก่องหรือถุงพลาสติกกันความชื้น ขนาดไม่น้อยกว่า 5 ลิตร

2.10 แปรงทาสี (กว้าง 2 นิ้ว)

2.11 ช้อนแต่งหลุม

2.12 โมล Calibrated ทราย

2.13 เหล็กปาดหน้าดิน

การ Calibrate ทรายที่ใช้ในการทดลอง

1. แบ่งตัวอย่างทรายด้วยวิธีการแบ่งสี่ หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง ประมาณ 6-8 กิโลกรัม
2. เตรียมโมลที่มีขนาดต่างกัน 2 ใบ หาปริมาตรใบที่หนึ่งเป็น V_1 ใบที่สองเป็น V_2 (ในการหาปริมาตร ให้หาโดยวิธีแทนที่น้ำ)



รูปที่ 1 การ Calibrated ทราย

3. นำทรายในข้อที่ 1 มาใส่ในขวด Sand Cone (แห้งและสะอาด) ซึ่งประกอบเข้ากับกรวย โดยเปิดวาล์วให้ทรายไหลลงในขวด เมื่อทรายเต็มขวดแล้วจึงปิดวาล์ว แล้วเททรายที่เหลือออกให้หมด ชั่งน้ำหนัก

4. วาง plate บนโมลไบท์หนึ่ง จากนั้นนำขวด Sand Cone ไปวางคว่ำ โดยหมุนขวด Sand Cone ให้อยู่ในตำแหน่งที่แนบสนิท (ทำเครื่องหมายระหว่างกรวยและ Plate ในตำแหน่งที่แนบสนิทอย่างน้อย 3 ตำแหน่ง เพื่อนำไปใช้งานในครั้งต่อไป)

5. เปิดวาล์วให้ทรายไหลลงในโมลไบท์ให้สังเกตเมื่อทรายในขวดหยุดไหลแล้วปิดวาล์ว นำขวด Sand Cone ไปชั่งน้ำหนัก คำนวณน้ำหนักของทรายที่ใช้ (W_1)

6. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 3 ถึง ข้อ 5 โดยใช้โมลไบท์ 2 คำนวณหาน้ำหนักของทรายที่ใช้ (W_2)

7. คำนวณหาน้ำหนักของทรายในกรวย + Plate

สมมุติ น้ำหนักทรายในกรวย + Plate = x กรัม

เนื่องจากกรวย Plate และทรายที่ใช้เป็นชุดเดียวกัน ทำให้ความแน่นของทรายในการทดลองทั้ง 2 ครั้งต้องเท่ากันเสมอ ดังนั้น

$$\text{โมลใบที่ 1} \quad \gamma_{d1} = \frac{W_1 - x}{V_1} \quad \text{เป็นสมการที่ 1}$$

$$\text{โมลใบที่ 2} \quad \gamma_{d2} = \frac{W_2 - x}{V_2} \quad \text{เป็นสมการที่ 2}$$

$$\gamma_{d1} = \gamma_{d2}$$

$$\begin{aligned} \frac{W_1 - x}{V_1} &= \frac{W_2 - x}{V_2} \\ x &= \frac{V_1 W_2 - V_2 W_1}{V_1 - V_2} \end{aligned}$$

8. คำนวณหาค่าความแน่นของทรายในขวด โดยแทนค่า x (น้ำหนักทรายในกรวย + plate) ในสมการที่ 1

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad W_1 - \left[\frac{V_1 W_2 - V_2 W_1}{V_1 - V_2} \right] \\ \gamma_d = \frac{\quad}{V_1} \end{aligned}$$

$$\gamma_d = \frac{W_1 (V_1 - V_2) - (V_1 W_2 - V_2 W_1)}{(V_1 - V_2) V_1}$$

$$\gamma_d = \frac{V_1 (W_1 - W_2)}{V_1 (V_1 - V_2)}$$

$$\gamma_d = \frac{(W_1 - W_2)}{(V_1 - V_2)}$$

9. บันทึกค่าความแน่นของทรายเอาไว้ แล้วทดลองซ้ำใหม่อีก 2 ครั้ง แล้วเปรียบเทียบค่าความแน่นของทรายทั้ง 3 ค่า โดยตรวจสอบค่าทางสถิติ ซึ่งค่า Coefficient of Variation ที่ได้จะต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 5 จึงนำค่าเฉลี่ยไปใช้ในการคำนวณความแน่นของวัสดุบดอัดในสนามต่อไป

3. วิธีการทดลอง

- 3.1 ชั่งน้ำหนักขวด Sand Cone ซึ่งมีทรายบรรจุอยู่
- 3.2 ปรับพื้นผิวในตำแหน่งที่จะทดสอบให้เรียบ
- 3.3 วาง base plate ตอกยึดที่มุมทั้งสี่ ด้วยตะปูขนาด 2 นิ้ว 4 มุม
- 3.4 ขุดหลุมลงไปในแนวตั้งฉากกับ Plate ความลึกตามตารางดังต่อไปนี้

ขนาดโตสุดของวัสดุ (นิ้ว)	ความลึกต่ำสุด (นิ้ว)
$\frac{1}{2}$	2.6
1	3.9
$1 \frac{1}{2}$	5.2

(ตามปกติเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงาน ให้ใช้ความลึกประมาณ 5.2 นิ้ว)



รูปที่ 2 การทดสอบความแน่นในสนาม

3.5 แต่งกันหลุมให้เรียบ เก็บตัวอย่างวัสดุรวมกันในภาชนะกันความชื้น คั่วขวด Sand Cone ลงบน Base Plate หมุนให้ได้ตำแหน่งที่ได้ทำเครื่องหมายเอาไว้ตอน Calibrate ทราย

3.6 เปิดวาล์วจนสุด ให้ทรายไหลลงไปในหลุม (ขณะทำการทดสอบให้หลีกเลี่ยงการกระทบกระเทือน) เมื่อทรายหยุดไหล ให้ปิดวาล์วให้สนิท แล้วยกขวด Sand Cone ขึ้น นำขวดไปชั่งน้ำหนัก

3.7 เก็บทรายที่อยู่ในหลุมเพื่อนำไปใช้งานในครั้งต่อไป (หลังจากผ่านการทำความสะอาดแล้ว)

3.8 หาน้ำหนักดินแห้ง โดยนำวัสดุจากข้อ 3.5 ไปชั่งน้ำหนัก แล้วแบ่งตัวอย่างวัสดุมาครึ่งหนึ่ง ไปหาความชื้น เมื่อได้ความชื้นแล้วให้คำนวณเทียบกลับไปหาน้ำหนักดินแห้งจากตัวอย่างทั้งหมด

4. การคำนวณ

$$\text{ปริมาตรของหลุมเจาะ} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนทดลอง} - \text{น้ำหนักหลังทดลอง} - X)}{\text{ความหนาแน่นทรายที่ Calibrate}}$$

$$\text{เมื่อ } X = \text{น้ำหนักทรายในกรวย} + \text{plate (จากขั้นตอนของการ calibrate ทราย)}$$

$$\text{ความหนาแน่นแห้งของวัสดุบดอัด} = \frac{\text{น้ำหนักวัสดุแห้งในหลุมเจาะ}}{\text{ปริมาตรของหลุม}}$$

5. การรายงานผล

5.1 ความหนาแน่นแห้งของวัสดุบดอัด เป็น กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D 1556-00

FIELD DENSITY TEST
(SAND CONE METHOD)

PROJECT	อ่างฯ ห้วยหนองโรง	Lab No.	SOIL 1/2547
LOCATION	จ. ชัยนาท		
TESTED BY	ประกอบ	DATE	30 พ.ค. 47
CHECKED BY	สุรพล	DATE	30 พ.ค. 47

Sand Calibration	1.625	g./cm ³
Lab. Max. Dry Densi	1702.5	kg./m ³
Opt. Moisture Conter	15.0	%

Test Hole No.		TH1	TH2	TH3		
Station		0+200	0+500	0+805		
Offset from C _L		2.5 L	2.5 R	0.35 R		
Elevation		+98.0 m.	+102.5 m.	+100.5 m.		
1 Initial Wt. Sand	g.	6500.0	6400.0	6500.0		
2 Wt. Sand Residue	g.	4210.0	4170.0	4210.0		
3 Wt. Sand Used (1)-(2)	g.	2290.0	2230.0	2290.0		
4 Sand Calibration	g./cm ³	1.625	1.625	1.625		
5 Vol. Sand Used (3)/(4)	cm ³	1409.23	1372.31	1409.23		
6 Vol. Sand in Cone	cm ³	420.00	419.00	420.00		
7 Vol. Test Hole (5)-(6)	cm ³	989.23	953.31	989.23		
8 Wt. Wet Total Soil	g.	1875.0	1867.0	1875.0		
9 Field Soil Wet Density (8)/(7)*1000	kg./cm ³	1895.4	1958.4	1895.4		
10 Field Soil Dry Density (9)/(1+(16)/100)	kg./cm ³	1633.6	1675.7	1633.6		
11 % Compaction	%	96.0	98.4	96.0		
<u>Field Moisture Content</u>						
12 Can No.		a1	a2	b1		
13 Wt. Can + Wet Soil	g.	125.5	127.5	125.5		
14 Wt. Can + Dry Soil	g.	113.0	114.0	113.0		
15 Wt. Can	g.	35.0	34.0	35.0		
16 Field Moisture Content ((13)-(14))/((14)-(15))*100	%	16.0	16.9	16.0		
17 ±OMC	%	1.0	1.9	1.0		