



คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual)

คู่มือปฏิบัติงาน
คู่มือทดสอบวัสดุในงานก่อสร้าง

ฝ่ายวิศวกรรมสำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดกลางที่ ๘
สำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดกลางที่ ๘
กองพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลาง
กรมชลประทาน

กันยายน ๒๕๖๐

คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual)

คู่มือปฏิบัติงาน คู่มือทดสอบวัสดุในการก่อสร้าง

รหัสคู่มือ กพก/ฟวค.๒/๒๕๖๐

หน่วยงานที่จัดทำ

ฝ่ายวิศวกรรมสำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดกลางที่ ๘
สำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดกลางที่ ๘
กองพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลาง

ที่ปรึกษา

นายประพิศ จันทร์มา

พิมพ์ครั้งที่ ๑

จำนวน เล่ม

เดือนกันยายน พ.ศ. ๒๕๖๐

คำนำ

คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual) คู่มือทดสอบวัสดุในงานก่อสร้างฉบับนี้จัดทำขึ้นตามคำสั่งกพก. ที่ 5/2560 ลงวันที่ 11 พฤษภาคม 2560 เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการย่อยจัดทำและดำเนินการตามแผนปฏิบัติการจัดการความรู้ ของกองพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลาง ซึ่งดำเนินการโดยคณะทำงานย่อยฝ่ายวิศวกรรม

คู่มือการปฏิบัติงานการทดสอบวัสดุในงานก่อสร้างฉบับนี้ ประกอบด้วยรายละเอียดการทดสอบวัสดุในงานก่อสร้าง สำหรับสำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดกลาง กองพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลาง กรมชลประทาน ซึ่งเป็นหน่วยงานที่สามารถดำเนินการทดสอบวัสดุในงานก่อสร้างในบางการทดสอบ โดยไม่จำเป็นต้องประสานขอเจ้าหน้าที่หรือส่งวัสดุไปทดสอบที่สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน ทั้งนี้ในคู่มือฉบับนี้ประกอบไปด้วยรายละเอียด ขั้นตอนวิธีการทดสอบวัสดุ การคำนวณ และตัวอย่างแบบฟอร์มรายการคำนวณต่างๆ โดยอ้างอิงข้อมูลจากเอกสารมาตรฐานการทดสอบโดยสำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน และ American Society of Testing and Materials , ASTM Standard.

คณะทำงานย่อยจัดทำคู่มือทดสอบวัสดุในงานก่อสร้างหวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือปฏิบัติงานฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ในการปฏิบัติงานสำหรับผู้บริหาร ผู้ปฏิบัติงาน อาทิ วิศวกร นายช่าง นิสิต นักศึกษา รวมทั้งบุคคลทั่วไปที่สนใจ และเนื่องจากคู่มือฉบับนี้ได้จัดทำขึ้นเป็นครั้งแรก คณะทำงานย่อยฯต้องขออภัยในความบกพร่องต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น และขอขอบคุณผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ ให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะต่างๆ รวมทั้งผู้ที่สนับสนุนในการจัดทำคู่มือจนเสร็จเรียบร้อยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะทำงานย่อยจัดทำคู่มือการทดสอบวัสดุในงานก่อสร้าง
สิงหาคม 2560

สารบัญ

	หน้า
วัตถุประสงค์	1
ขอบเขต	1
คำจำกัดความ	3
หน้าที่ความรับผิดชอบ	5
Work Flow	6
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	8
การหาความชื้นโดยให้ความร้อนโดยตรง	9
การหาความชื้นโดยไม่โครเวฟ	12
การวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ	16
การหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของมวลรวมหยาบ	22
การหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของมวลรวมละเอียด	25
การหาหน่วยน้ำหนักและปริมาณช่องว่างของมวลรวม	30
การหาอินทรีย์สารเจือปนในมวลรวมละเอียดสำหรับคอนกรีต	35
การหาความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องลอสมองเจลิส	38
การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	43
การทดสอบความชื้นเหลวของคอนกรีต โดยการหาค่าความยุบตัว	51
การทำตัวอย่างแท่งคอนกรีตและการบ่ม	55
การทดสอบกำลังอัดแท่งคอนกรีต	57
การหาขนาดคละของดินด้วยตะแกรง	63
ความถ่วงจำเพาะของดิน	69
การหาค่า California Bearing Ratio (CBR)	77
ขีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดพลาสติก	89
การบดอัดแบบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ	95
การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการ	101
การหาค่าความแน่นของวัสดุบดอัดโดยวิธีแทนที่ด้วยทราย	107
ระบบติดตามประเมินผล	112
เอกสารอ้างอิง	118
ภาคผนวก	119

คู่มือปฏิบัติงาน

คู่มือทดสอบวัสดุในงานก่อสร้าง

1. วัตถุประสงค์

1.1 เพื่อจัดทำคู่มือปฏิบัติงานที่ชัดเจน เป็นลายลักษณ์อักษร แสดงถึงรายละเอียดขั้นตอนการปฏิบัติงานของกิจกรรม/กระบวนการต่างๆ ของงานทดสอบวัสดุในการก่อสร้าง และสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงานที่มุ่งไปสู่การบริการคุณภาพทั่วทั้งองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ เกิดผลของงานที่ได้มาตรฐานเป็นไปตามเป้าหมาย ได้ผลผลิตหรือการบริการที่มีคุณภาพ และบรรลุข้อกำหนดที่สำคัญของกระบวนการงานทดสอบวัสดุในการก่อสร้าง

1.2 เพื่อเป็นหลักฐานแสดงวิธีการทำงานทดสอบวัสดุในงานก่อสร้างที่สามารถถ่ายทอดให้กับผู้เข้ามาปฏิบัติงานใหม่ พัฒนาให้การทำงานเป็นมืออาชีพ และใช้ประกอบการประเมินผลการปฏิบัติงานของบุคลากร รวมทั้งแสดงหรือเผยแพร่ให้บุคคลภายนอก หรือผู้ให้บริการ ให้สามารถเข้าใจและใช้ประโยชน์จากกระบวนการดังกล่าวได้

1.3 เพื่อให้บุคคลภายใน บุคคลภายนอก ตระหนักถึงความสำคัญของการทดสอบวัสดุในงานก่อสร้างที่มีต่องานชลประทาน สามารถพิจารณาลำดับความสำคัญและความจำเป็นที่จะต้องใช้อ้างอิงข้อมูลด้านการทดสอบวัสดุ ซึ่งข้อมูลจากการทดสอบวัสดุใช้เป็นข้อมูลสำหรับการตรวจสอบคุณภาพการปฏิบัติงานก่อสร้างต่อไป

2. ขอบเขตงานทดสอบวัสดุในงานก่อสร้าง

2.1 คู่มือการปฏิบัตินี้ ครอบคลุมขั้นตอนการรับแจ้งความต้องการการทดสอบคุณภาพวัสดุในงานก่อสร้าง จนถึงขั้นตอนการส่งข้อมูลผลการทดสอบคุณภาพวัสดุสำหรับรายการทดสอบที่สำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดกลางสามารถดำเนินการเองได้ ผู้ใช้บริการคือหน่วยงานภายในสำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดกลางที่ 8 กองพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลาง ได้แก่ ฝ่ายก่อสร้าง 1-4

2.2 งานทดสอบวัสดุในการก่อสร้าง ครอบคลุมการทดสอบทั้งหมด 19 รายการ คือ

- 2.2.1 การหาความชื้นโดยให้ความร้อนโดยตรง
- 2.2.2 การหาความชื้นโดยไม่โครเวฟ
- 2.2.3 การวิเคราะห์ขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ
- 2.2.4 การหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของมวลรวมหยาบ
- 2.2.5 การหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของมวลรวมละเอียด
- 2.2.6 การหาหน่วยน้ำหนักและปริมาณช่องว่างของมวลรวม
- 2.2.7 การหาอินทรีย์สารเจือปนในมวลรวมละเอียดสำหรับคอนกรีต
- 2.2.8 การหาความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องลอสมองเจลีส์
- 2.2.9 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต
- 2.2.10 การทดสอบความชื้นเหลือของคอนกรีต โดยการหาค่าความยุบตัว
- 2.2.11 การทำตัวอย่างแท่งคอนกรีตและการบ่ม
- 2.2.12 การทดสอบกำลังอัดแท่งคอนกรีต
- 2.2.13 การหาขนาดคละของดินด้วยตะแกรง
- 2.2.14 ความถ่วงจำเพาะของดิน

2.2.15 การหาค่า California Bearing Ratio (CBR)

2.2.16 ชีตจำกัดเหลวและชีตจำกัดพลาสติก

2.2.17 การบดอัดแบบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ

2.2.18 การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการ

2.2.19 การหาค่าความแน่นของวัสดุบดอัดโดยวิธีแทนที่ด้วยทราย

2.3 ขอบเขตการปฏิบัติงานทดสอบวัสดุในงานก่อสร้าง

2.3.1 การหาความชื้นโดยให้ความร้อนโดยตรง เป็นการหาปริมาณน้ำ หรือความชื้น (Water Content หรือ Moisture Content) ของวัสดุโดยวิธีการให้ความร้อนโดยตรง

2.3.2 การหาความชื้นโดยไมโครเวฟ เป็นการหาปริมาณน้ำ หรือความชื้น (Water Content หรือ Moisture Content) ของวัสดุ โดยวิธีการอบตัวอย่างให้แห้งด้วยไมโครเวฟ

2.3.3 การวิเคราะห์ขนาดผลของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบเป็นวิธีการทดสอบหาขนาดผล (Gradation) ขนาดโตสุด (Maximum Size) และโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) ของมวลรวม โดยการร่อนผ่านตะแกรงตามขนาดที่กำหนด

2.3.4 การหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของมวลรวมหยาบเป็นการทดสอบหาค่าหาความหนาแน่น (Density) ที่ไม่รวมปริมาตรช่องว่างระหว่างอนุภาคและค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity or Relative Density) แบบต่างๆ รวมถึงค่าการดูดซึม (Absorption) ของมวลรวมหยาบ

2.3.5 การหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของมวลรวมละเอียดเป็นการทดสอบหาค่าหาความหนาแน่น (Density) ที่ไม่รวมปริมาตรช่องว่างระหว่างอนุภาค และค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) แบบต่างๆ รวมถึงค่าการดูดซึม (Absorption) ของมวลรวมละเอียด

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

2.3.7 การหาอินทรีย์สารเจือปนในมวลรวมละเอียดสำหรับคอนกรีตเป็นวิธีการทดสอบเพื่อหาอินทรีย์สารเจือปน (Organic Impurities) ในมวลรวมละเอียดที่เป็นอันตรายต่อมอร์ตาร์ หรือคอนกรีต โดยวิธีเทียบสีกับสารละลายสีมาตรฐานหรือกระจกสีมาตรฐาน

2.3.8 การหาความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องลอสมองเจลิสเป็นวิธีการทดสอบหาความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบ โดยใช้เครื่องลอสมองเจลิส (Los Angeles Machine) ซึ่งเป็นคุณสมบัติด้านความคงทน (Durable)

2.3.9 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเป็นวิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต หรือการหาสัดส่วนส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมของวัสดุผสม เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ทั้งในสภาพคอนกรีตสด คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว และประหยัด

2.3.10 การทดสอบความชื้นเหลวของคอนกรีต โดยการหาค่าความยุบตัวเป็นการหาค่ายุบตัว (Sump) ของคอนกรีตสดทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม เพื่อหาความชื้นเหลว (Consistency) และตรวจสอบความสามารถเทได้ (Workability) ของคอนกรีตโดยคอนกรีตที่ทดสอบต้องมีมวลรวมหยาบขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 1 ½ นิ้ว (37.5 มิลลิเมตร) ซึ่งถ้าหากคอนกรีตมีมวลรวมหยาบขนาดใหญ่สุดเกิน 1 ½ นิ้ว ให้ร่อนออกด้วยตะแกรงก่อนทดสอบ นอกจากนี้ไม่ควรใช้วิธีการนี้ทดสอบกับคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวน้อยกว่า 1/2 นิ้ว หรือมากกว่า 9 นิ้ว

2.3.11 การทำตัวอย่างแท่งคอนกรีตและการบ่มเป็นวิธีการเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีตด้วยการหล่อในแบบหล่อเล็กเพื่อการทดสอบกำลังอัดเฉพาะแท่งทดสอบรูปทรงกระบอก ขนาด $\varnothing$ 6x12 นิ้ว ($\varnothing$ 15x30 เซนติเมตร) และรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 6x6x6 นิ้ว (15x15x15 เซนติเมตร)

2.3.12 การทดสอบกำลังอัดแท่งคอนกรีตเป็นวิธีการทดสอบหาลำกำลังอัดแท่งคอนกรีต Compressive (Strength of Concrete) เฉพาะแท่งทดสอบรูปทรงกระบอกและรูปทรงลูกบาศก์ด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Machine)

2.3.13 การหาขนาดคละของดินด้วยตะแกรงเป็นการหาขนาดเม็ดดินโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถแยกเป็นเม็ดดินขนาดต่างๆ และแต่ละขนาดมีปริมาณเป็นจำนวนร้อยละเท่าใดของปริมาณทั้งหมด สำหรับพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน

2.3.14 ความถ่วงจำเพาะของดินเป็นการหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 หรือมีขนาดโตสุดไม่เกิน 4.75 มิลลิเมตร

2.3.15 การหาค่า California Bearing Ratio (CBR) การทดสอบ CBR เป็นการทดสอบ ที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นวิธีในการคัดเลือกหรือพิจารณาความเหมาะสมของวัสดุในการใช้งาน เช่น ถนน และสนามบินในส่วนของการขึ้นดินเดิม ดินบดอัด วัสดุคัดเลือก ดินลูกรัง (ชั้นรองพื้นทาง) และหินคลุก (ชั้นพื้นทาง) เป็นต้น โดยทำการ เปรียบเทียบหน่วยแรงต้านทานแรงกดของวัสดุดังกล่าวต่อหน่วยแรงต้านทานแรงกดของหินคลุกบดอัดมาตรฐาน (Standard Unit Load) ในระดับความลึกหรือระยะจมของแท่งกดที่เท่ากัน

2.3.16 ชีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดพลาสติก ชีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) เป็นปริมาณความชื้นในดินที่ทำให้ดินมีสภาพเหมือนของไหล สามารถไหลตัวได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง หรือเป็นปริมาณความชื้นที่ทำให้ดินในเครื่องมือทดสอบ Liquid Limit Device ไหลมาชนกันเป็นแนวยาว 12.7 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) เมื่อทำการเคาะเครื่องมือทดสอบโดยมีระยะตกแบบอิสระสูง 10 มิลลิเมตร และได้จำนวนครั้งการเคาะเท่ากับ 25 ครั้งพอดีขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) เป็นปริมาณความชื้นในดินที่ทำให้ดินเปลี่ยนจากสภาพยึดหยุ่นตัวสมบูรณ์หรือพลาสติกเป็นกึ่งของแข็งที่มีลักษณะยึดหยุ่นตัวน้อยลง หรือเป็นปริมาณความชื้นของดินในสภาพที่เมื่อนำดินมาคลึงเป็นเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) และเกิดรอยแตกขึ้นที่ผิวดินพอดี

2.3.17 การบดอัดแบบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction) ในห้องปฏิบัติการ คือการทดสอบบดอัดดินเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดินหรือค่าการบดอัดโดยใช้พลังงานในการบดอัดดินเท่ากับ 12,400 ฟุต-ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต (600 กิโลนิวตัน-เมตรต่อลูกบาศก์เมตร) ในห้องปฏิบัติการ

2.3.18 การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction) ในห้องปฏิบัติการ คือการทดสอบบดอัดดินเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดินหรือค่าการบดอัดโดยใช้พลังงานในการบดอัดดินเท่ากับ 56,000 ฟุต-ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต (2,700 กิโลนิวตัน-เมตรต่อลูกบาศก์เมตร) ในห้องปฏิบัติการ

2.3.19 การหาค่าความแน่นของวัสดุบดอัดโดยวิธีแทนที่ด้วยทรายเป็นการหาค่าความแน่นของวัสดุบดอัดโดยวิธีแทนที่ด้วยทราย ใช้กับวัสดุที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 1½ นิ้ว

3. คำจำกัดความ

1. การหาความชื้นโดยให้ความร้อนโดยตรง เป็นการหาปริมาณน้ำ หรือความชื้น (Water Content หรือ Moisture Content) ของวัสดุโดยวิธีการให้ความร้อนโดยตรง

2. การหาความชื้นโดยไมโครเวฟเป็นการหาปริมาณน้ำ หรือความชื้น (Water Content หรือ Moisture Content) ของวัสดุโดยวิธีการอบตัวอย่างให้แห้งด้วยไมโครเวฟ

3. การวิเคราะห์ขนาดผลของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบเป็นวิธีการทดสอบหาขนาดผล (Gradation) ขนาดโตสุด (Maximum Size) และโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) ของมวลรวม โดยการร่อนผ่านตะแกรงตามขนาดที่กำหนด

4. การหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของมวลรวมหยาบเป็นการทดสอบหาค่าหาความความหนาแน่น (Density) ที่ไม่รวมปริมาตรช่องว่างระหว่างอนุภาคและค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity or Relative Density) แบบต่างๆ รวมถึงค่าการดูดซึม(Absorption) ของมวลรวมหยาบ

5. การหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของมวลรวมละเอียดเป็นการทดสอบหาค่าหาความความหนาแน่น (Density) ที่ไม่รวมปริมาตรช่องว่างระหว่างอนุภาค และค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) แบบต่างๆ รวมถึงค่าการดูดซึม(Absorption) ของมวลรวมละเอียด

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

7. การหาอินทรีย์สารเจือปนในมวลรวมละเอียดสำหรับคอนกรีตเป็นวิธีการทดสอบเพื่อหาอินทรีย์สารเจือปน (Organic Impurities) ในมวลรวมละเอียดที่เป็นอันตรายต่อมอร์ตาร์ หรือคอนกรีต โดยวิธีเทียบสีกับสารละลายสีมาตรฐานหรือกระจกสีมาตรฐาน

8. การหาความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องลอสมองเจลีส์เป็น วิธีการทดสอบหาความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบ โดยใช้เครื่องลอสมองเจลีส์ (Los Angeles Machine) ซึ่งเป็นคุณสมบัติด้านความคงทน (Durable)

9. การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเป็นวิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต หรือการหาสัดส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมของวัสดุผสม เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ทั้งในสภาพคอนกรีตสด คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว และประหยัด

10. การทดสอบความชื้นเหลวของคอนกรีต โดยการหาค่าความยุบตัวเป็นการหาค่ายุบตัว (Sump) ของคอนกรีตสดทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม เพื่อหาความชื้นเหลว (Consistency) และตรวจสอบความสามารถได้ (Workability) ของคอนกรีตโดยคอนกรีตที่ทดสอบต้องมีมวลรวมหยาบขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 1 ½ นิ้ว (37.5 มิลลิเมตร) ซึ่งถ้าหากคอนกรีตมีมวลรวมหยาบขนาดใหญ่สุดเกิน 1 ½ นิ้ว ให้ร่อนออกด้วยตะแกรงก่อนทดสอบ นอกจากนี้ไม่ควรใช้วิธีการนี้ทดสอบกับคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวน้อยกว่า 1/2 นิ้ว หรือมากกว่า 9 นิ้ว

11. การทำตัวอย่างแท่งคอนกรีตและการบ่มเป็นวิธีการเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีตด้วยการหล่อในแบบหล่อเล็กเพื่อการทดสอบกำลังอัดเฉพาะแท่งทดสอบรูปทรงกระบอก ขนาด Ø 6x12 นิ้ว (Ø 15x30 เซนติเมตร) และรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 6x6x6 นิ้ว (15x15x15 เซนติเมตร)

12. การทดสอบกำลังอัดแท่งคอนกรีต เป็นวิธีการทดสอบหาลำลังอัดแท่งคอนกรีต Compressive (Strength of Concrete) เฉพาะแท่งทดสอบรูปทรงกระบอกและรูปทรงลูกบาศก์ด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Machine)

13. การหาขนาดผลของดินด้วยตะแกรงเป็นการหาขนาดเม็ดดินโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็ก เพื่อให้สามารถแยกเป็นเม็ดดินขนาดต่างๆ และแต่ละขนาดมีปริมาณเป็นจำนวนร้อยละเท่าใดของปริมาณทั้งหมด สำหรับพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน

14. ความถ่วงจำเพาะของดินเป็นการหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 หรือมีขนาดโตสุดไม่เกิน 4.75 มิลลิเมตร

15. การหาค่า California Bearing Ratio (CBR) การทดสอบ CBR เป็นการทดสอบ ที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นวิธีในการคัดเลือกหรือพิจารณาความเหมาะสมของวัสดุในการใช้งาน เช่น ถนน และสนามบินในส่วนของชั้นดินเดิม ดินบดอัด วัสดุคัดเลือก ดินลูกรัง (ชั้นรองพื้นทาง) และหินคลุก (ชั้นพื้นทาง) เป็นต้น โดยทำการ เปรียบเทียบหน่วยแรงต้านทานแรงกดของวัสดุดังกล่าวต่อหน่วยแรงต้านทานแรงกดของหิน คลุกบดอัดมาตรฐาน (Standard Unit Load) ในระดับความลึกหรือระยะจมของแท่งกดที่เท่ากัน

16. ชีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดพลาสติก ชีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) เป็นปริมาณความชื้นในดินที่ทำให้ดินมีสภาพเหมือนของไหล สามารถไหลตัวได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง หรือเป็นปริมาณความชื้นที่ทำให้ดินในเครื่องมือทดสอบ Liquid Limit Device ไหลมาชนกันเป็นแนวยาว 12.7 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) เมื่อทำการเคาะเครื่องมือทดสอบโดยมีระยะตกแบบอิสระสูง 10 มิลลิเมตร และได้จำนวนครั้งการเคาะเท่ากับ 25 ครั้ง พอดีขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) เป็นปริมาณความชื้นในดินที่ทำให้ดินเปลี่ยนจากสภาพยืดหยุ่นตัวสมบูรณ์หรือพลาสติกเป็นกึ่งของแข็งที่มีลักษณะยืดหยุ่นตัวน้อยลง หรือเป็นปริมาณความชื้นของดิน ในสภาพที่เมื่อนำดินมาคลึงเป็นเส้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) และเกิดรอยแตกขึ้นที่ผิวดินพอดี

17. การบดอัดแบบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ การบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction) ในห้องปฏิบัติการ คือการทดสอบบดอัดดินเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดินหรือโค้งการบดอัดโดยใช้พลังงานในการบดอัดดินเท่ากับ 12,400 ฟุต - ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต (600 กิโลนิวตัน - เมตรต่อลูกบาศก์เมตร) ในห้องปฏิบัติการ

18. การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการ การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction) ในห้องปฏิบัติการ คือการทดสอบบดอัดดินเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดินหรือโค้งการบดอัดโดยใช้พลังงานในการบดอัดดินเท่ากับ 56,000 ฟุต-ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต (2,700 กิโลนิวตัน-เมตรต่อลูกบาศก์เมตร) ในห้องปฏิบัติการ

19. การหาค่าความแน่นของวัสดุบดอัดโดยวิธีแทนที่ด้วยทรายเป็นการหาค่าความแน่นของวัสดุบดอัดโดยวิธีแทนที่ด้วยทราย ใช้กับวัสดุที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 1½ นิ้ว

บุคลากรในสังกัด ได้แก่ วิศวกรชลประทาน, นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม, พนักงานขับรถยนต์, คนงาน

4. หน้าที่ความรับผิดชอบ

บุคลากรในกระบวนการทดสอบวัสดุในการก่อสร้าง ประกอบด้วย

4.1 ผสภ. รับผิดชอบการดำเนินการในกระบวนการคืออำนาจการให้การบริหารงานและควบคุมการดำเนินงานทั้งหมด ให้บรรลุเป้าประสงค์ที่กำหนดไว้

4.2 วศ. พก. รับผิดชอบการประสานงาน ให้การจัดสรรงบประมาณการสำรวจเป็นไปด้วยความรวดเร็ว และถูกต้อง

4.3 ตว.พภ. รับผิดชอบการบริหารงานอย่างมีประสิทธิภาพ ให้การสำรวจข้อมูลทางด้านธรณีวิทยาและปฐพีกลศาสตร์ให้เป็นไปตามแผนงาน และแผนเงิน

4.4 ช่างก่อสร้าง รับผิดชอบงานสนามและเป็นผู้ช่วยนายช่างชลประทาน ในการปฏิบัติงานภาคสนาม

4.5 ช่างฝีมือสนาม รับผิดชอบงานสนามและเป็นผู้ช่วยนายช่างชลประทาน ในการปฏิบัติงานภาคสนาม

- 4.6 พนักงานขับรถยนต์ รับผิดชอบการใช้ยานพาหนะในการลำเลียงบุคลากร อุปกรณ์ เครื่องจักร และเครื่องมือ รวมทั้งดูแลรักษา ตรวจสอบ สภาพยานพาหนะ ให้อยู่ในสภาพเรียบร้อยพร้อมใช้งาน
- 4.7 คนงาน รับผิดชอบเป็นแรงงานทั่วไปในการปฏิบัติงานทดสอบวัสดุในงานก่อสร้าง

5. Work Flowกระบวนการ

ลำดับ ที่	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา (วัน)	รายละเอียดงาน	ผู้รับผิดชอบ
1.	เริ่มกระบวนการ	1	ฝ่ายก่อสร้าง/ผู้รับจ้าง ส่งวัสดุเข้ามา	ฝ่ายก่อสร้าง
2.	มอบหมายงานให้กลุ่มงานในสังกัด ไปดำเนินการ	1	แจ้งมอบหมายงานให้งาน ตรวจสอบและวิเคราะห์ไป ดำเนินการ	วศ.พก.
3.	ตรวจสอบความถูกต้อง ปริมาณ จำนวนวัสดุที่ส่งมา	1	งานตรวจสอบและวิเคราะห์ฯ	ตว.พก.
4.	งานภาคสนาม/งานในห้อง Lab/ สำนักวิจัยฯ	ตาม ปริมาณ งาน	ดำเนินการตรวจสอบ/ทดสอบ วัสดุ/ส่งให้สำนักวิจัยฯ เพื่อ ดำเนินการ	ตว.พก./ สำนักวิจัยฯ
5.	ตรวจสอบ/แก้ไข	2	ตรวจสอบว่าถูกต้องตาม หลักเกณฑ์หรือไม่	ตว.พก./ สำนักวิจัยฯ
6.	รายงานผลการทดสอบ	ขึ้นอยู่กับ วัสดุที่ ดำเนินการ ทดสอบ	จัดทำเอกสารรายงานผลการ ทดสอบ	ตว.พก./ สำนักวิจัยฯ
7.	ผสก./ผส.วพ. ลงนามรับรอง รายงานผลการทดสอบ	1	ผสก./ผส.วพ. ลงนามรับรอง รายงานผลการทดสอบและ แจ้งให้ผู้เกี่ยวข้องทราบ	ผสก./ผส.วพ.

กระบวนการทดสอบวัสดุโดยสำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดกลาง

ลำดับ ที่	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา (วัน)	รายละเอียดงาน	ผู้รับผิดชอบ
1.		1	ฝ่ายก่อสร้าง/ผู้รับจ้าง ส่งวัสดุเข้ามา	ฝ่ายก่อสร้าง
2.		1	แจ้งมอบหมายงานให้งาน ตรวจสอบและวิเคราะห์ฯ ไป ดำเนินการ	วศ.พก.
3.		1	งานตรวจสอบและวิเคราะห์ฯ	ตว.พก.
4.		ตาม ปริมาณ งาน	ดำเนินการตรวจสอบ/ทดสอบ วัสดุ/ส่งให้สำนักวิจัยฯ เพื่อ ดำเนินการ	ตว.พก.
5.		2	ตรวจสอบว่าถูกต้องตาม หลักเกณฑ์หรือไม่	ตว.พก.
6.		ขึ้นอยู่กับ วัสดุที่ ดำเนินการ ทดสอบ	จัดทำเอกสารรายงานผลการ ทดสอบ	ตว.พก./ วศ.พก.
7.		1	ผลก. ลงนามรับรองรายงาน ผลการทดสอบและแจ้งผลการ ทดสอบให้แก่ฝ่ายก่อสร้าง	ผลก.

6. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

1. การหาความชื้นโดยให้ความร้อนโดยตรง
2. การหาความชื้นโดยไม่โครเวฟ
3. การวิเคราะห์ขนาดผลของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ
4. การหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของมวลรวมหยาบ
5. การหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของมวลรวมละเอียด
6. การหาหน่วยน้ำหนักและปริมาณช่องว่างของมวลรวม
7. การหาอินทรีย์สารเจือปนในมวลรวมละเอียดสำหรับคอนกรีต
8. การหาความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องลอสมองเจลีส
9. การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต
10. การทดสอบความชื้นเหลวของคอนกรีต โดยการหาค่าความยุบตัว
11. การทำตัวอย่างแท่งคอนกรีตและการบ่ม
12. การทดสอบกำลังอัดแท่งคอนกรีต
13. การหาขนาดผลของดินด้วยตะแกรง
14. ความถ่วงจำเพาะของดิน
15. การหาค่า California Bearing Ratio (CBR)
16. ซีดจำกัดเหลวและซีดจำกัดพลาสติก
17. การบดอัดแบบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ
18. การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการ
19. การหาค่าความแน่นของวัสดุบดอัดโดยวิธีแทนที่ด้วยทราย

มาตรฐานการทดสอบ การหาความชื้นโดยให้ความร้อนโดยตรง

1. ขอบข่าย

เป็นการหาปริมาณน้ำ หรือความชื้น (Water Content หรือ Moisture Content) ของวัสดุโดยวิธีการให้ความร้อนโดยตรง

2. เครื่องมือ

- 2.1 อุปกรณ์ให้ความร้อนที่ทำให้วัสดุมีอุณหภูมิสูงกว่า 110 องศาเซลเซียส ได้ เช่นเตาไฟฟ้า เตาแก๊ส Hotplates หลอดไฟ ไดรเปาผม เป็นต้น
- 2.2 เครื่องชั่ง มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 กรัม
- 2.3 ภาชนะใส่ตัวอย่าง ทำด้วยวัสดุทนความร้อน
- 2.4 ถังมือกันความร้อน
- 2.5 แท่งกวน ทำด้วยโลหะ เช่น Spatular ไม้ หรือแท่งแก้ว



รูปที่ 1 Hotplates อุปกรณ์ให้ความร้อน

3. วิธีการทดลอง

3.1 กรวด และหินย่อย

- 3.1.1 ชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 1,000 – 2,000 กรัม ใส่ลงภาชนะที่มีขนาดเหมาะสม (W1)
- 3.1.2 นำตัวอย่างพร้อมภาชนะไปให้ความร้อนอย่างทั่วถึงและเท่าเทียม โดยคนหรือกวนตัวอย่างด้วยแท่งกวนเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันไม่ใหตัวอย่างไหม้สังเกตได้จากสีตัวอย่างที่มีความสม่ำเสมอจนกระทั่งเห็นว่าตัวอย่างแห้งสนิท
- 3.1.3 นำตัวอย่างและภาชนะออกจากแหล่งให้ความร้อน ชั่งน้ำหนักขณะร้อน (ควรมีอุปกรณ์ป้องกันเครื่องชั่งที่อาจเสียหายจากความร้อน)
- 3.1.4 นำตัวอย่างพร้อมภาชนะไปให้ความร้อนอีกครั้งจนตัวอย่างแห้งสนิท โดยคนหรือกวนตัวอย่างด้วยแท่งกวนเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันไม่ใหตัวอย่างไหม้

3.1.5 ให้ความร้อนจนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ (W2) ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำ ถ้าปริมาณน้ำที่สูญหายแตกต่างมากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัวอย่างวัสดุก่อนให้ความร้อนครั้งสุดท้าย ให้ทำซ้ำเช่นเดิมอีก

3.2 ทฤษฎี

3.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 500–1,000 กรัม ใส่ลงในภาชนะที่มีขนาดเหมาะสม (W1)

3.2.2 นำตัวอย่างพร้อมภาชนะไปให้ความร้อนอย่างทั่วถึงและเท่าเทียม โดยคนหรือกวนตัวอย่างด้วยแท่งกวนเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างไหม้สังเกตได้จากสีตัวอย่างที่มีความสม่ำเสมอจนกระทั่งเห็นว่า ตัวอย่างแห้งสนิท

3.2.3 นำตัวอย่างและภาชนะออกจากแหล่งให้ความร้อน ชั่งน้ำหนักขณะร้อน (ควรมีอุปกรณ์ป้องกันเครื่องชั่งที่อาจเสียหายจากความร้อน)

3.2.4 นำตัวอย่างพร้อมภาชนะไปให้ความร้อนอีกครั้งจนตัวอย่างแห้งสนิท โดยคนหรือกวนตัวอย่างด้วยแท่งกวนเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างไหม้

3.2.5 ให้ความร้อนจนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ (W2) ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำ ถ้าปริมาณน้ำที่สูญหายแตกต่างมากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัวอย่างวัสดุก่อนให้ความร้อนครั้งสุดท้าย ให้ทำซ้ำเช่นเดิมอีก

3.3 ดิน

3.3.1 ชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 300 – 500 กรัม ใส่ลงในภาชนะที่มีขนาดเหมาะสม (W1)

3.3.2 นำตัวอย่างพร้อมภาชนะไปให้ความร้อนอย่างทั่วถึงและเท่าเทียม โดยคนหรือกวนตัวอย่างด้วยแท่งกวนเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างไหม้สังเกตได้จากสีตัวอย่างที่มีความสม่ำเสมอจนกระทั่งเห็นว่าตัวอย่างแห้งสนิท

3.3.3 นำตัวอย่างและภาชนะออกจากแหล่งให้ความร้อน ชั่งน้ำหนักขณะร้อน (ป้องกันเครื่องชั่งที่อาจเสียหายจากความร้อน)

3.3.4 นำตัวอย่างพร้อมภาชนะไปให้ความร้อนอีกครั้งจนตัวอย่างแห้งสนิท โดยคนหรือกวนตัวอย่างด้วยแท่งกวนเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างไหม้

3.3.5 ให้ความร้อนจนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ (W2) ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำ ถ้าปริมาณน้ำที่สูญหายแตกต่างมากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัวอย่างวัสดุก่อนให้ความร้อนครั้งสุดท้าย ให้ทำซ้ำเช่นเดิมอีก

4. การคำนวณ

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

โดยที่ W1 คือ น้ำหนักวัสดุก่อนให้ความร้อน เป็นกรัม
W2 คือ น้ำหนักวัสดุแห้ง เป็นกรัม

5. การรายงานผล

5.1 ค่าปริมาณน้ำ (ความชื้น) เป็นร้อยละ มีความละเอียดเป็นทศนิยม 1 ตำแหน่ง

6. เอกสารอ้างอิง

Project	Lab. No.
Location	
Boring No.	Test No.
Soil Description	Depth
Tested by	Date
Checked by	Date

11

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 ถังมือกันความร้อน
- 2.5 แท่งกวน ทำด้วยโลหะ เช่น Spatula มีด หรือแท่งแก้ว



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

3. วิธีการทดลอง

3.1 กรวด และหินย่อย

- 3.1.1 ชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 1,000 – 2,000 กรัม (W1)
- 3.1.2 อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 10 นาที นำไปชั่งน้ำหนักขณะร้อน (ควรมีอุปกรณ์ป้องกันเครื่องชั่งที่อาจเสียหายจากความร้อน) คนวัสดุให้ทั่วด้วยแท่งกวน และเติมน้ำที่เกาะผนังภายในตู้ไมโครเวฟให้แห้ง
- 3.1.3 อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟอีกครั้งเป็นเวลา 3 นาที ชั่งน้ำหนักขณะร้อน

3.1.4 ให้ความร้อนจนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ (W2) ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำถ้ามากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัวอย่างวัสดุก่อนเข้าอบครั้งสุดท้าย ต้องอบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟต่ออีก 3 นาที

3.2 ทราย

3.2.1 ชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 500 – 1,000 กรัม (W1)

3.2.2 อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 10 นาที คนวัสดุให้ทั่วด้วยแท่งกวนและเติมน้ำที่เกาะผนังภายในตู้ไมโครเวฟให้แห้ง

3.2.3อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟอีก 5 นาที ชั่งน้ำหนักขณะร้อน (ควรมีอุปกรณ์ป้องกันเครื่องชั่งที่อาจเสียหายจากความร้อน) คนวัสดุให้ทั่วด้วยแท่งกวน และเติมน้ำที่เกาะผนังภายในตู้ไมโครเวฟให้แห้ง

3.2.4 อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟ 3 นาที ชั่งน้ำหนักขณะร้อน

3.2.5 ให้ความร้อนจนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ (W2) ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำ ถ้ามากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัวอย่างวัสดุก่อนเข้าอบครั้งสุดท้าย ต้องอบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟต่ออีก 3 นาที

3.3 ดิน

3.3.1 ชั่งตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 300 – 500 กรัม (W1)

3.3.2 อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 10 นาที คนวัสดุให้ทั่วด้วยแท่งกวนและเติมน้ำที่เกาะผนังภายในตู้ไมโครเวฟให้แห้ง

3.3.3อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟอีก 5 นาที ชั่งน้ำหนักขณะร้อน (ควรมีอุปกรณ์ป้องกันเครื่องชั่งที่อาจเสียหายจากความร้อน) คนวัสดุให้ทั่วด้วยแท่งกวน และเติมน้ำที่เกาะผนังภายในตู้ไมโครเวฟให้แห้ง

3.3.4 อบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟอีก 5 นาที ชั่งน้ำหนักขณะร้อน และเติมน้ำที่เกาะผนังภายในตู้ไมโครเวฟให้แห้ง

3.3.5 ให้ความร้อนจนกระทั่งตัวอย่างมีน้ำหนักคงที่ (W2) ตรวจสอบเปอร์เซ็นต์การสูญหายของน้ำ ถ้ามากกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัวอย่างวัสดุก่อนเข้าอบครั้งสุดท้าย ต้องอบตัวอย่างด้วยไมโครเวฟต่ออีก 3 นาที



รูปที่ 2 อบตัวอย่างทราย



รูปที่ 3 อบตัวอย่างหินย้อย

4. การคำนวณ

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

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

Lab. No.

Test No.

Depth

Date

Date

[illegible]

มาตรฐานการทดสอบ

การวิเคราะห์ขนาดผลของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

1. ขอบข่าย

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

2. เครื่องมือ

- 2.1 เครื่องชั่ง มีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 กรัม สำหรับทดสอบมวลรวมละเอียดและมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.5 กรัม สำหรับการทดสอบมวลรวมหยาบ
- 2.2 ตะแกรงมาตรฐาน (Standard Sieve) พร้อมด้วยภาตรอง และฝาปิด
- 2.3 เครื่องเขย่าตะแกรง (Mechanical Sieve Shaker)
- 2.4 ตู้อบ และ/หรือตู้อบไมโครเวฟ

3. วิธีการทดลอง

3.1 การหาขนาดโตสุด

การหาขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบทำได้โดยสุ่มตัวอย่างมวลรวมมาประมาณ 5 กิโลกรัม นำไปชั่งน้ำหนักแล้วร่อนผ่านตะแกรงที่ละขนาดและหาน้ำหนักที่ค้างบนตะแกรงเป็นร้อยละเริ่มจากตะแกรงขนาดใหญ่ไปหาขนาดเล็ก เมื่อมวลรวมค้างบนตะแกรงเท่ากับร้อยละ 15 ขนาดโตสุดของมวลรวมคือขนาดของตะแกรงนั้น ถ้ามากกว่าร้อยละ 15 ขนาดโตสุดของมวลรวมคือขนาดของตะแกรงที่ใหญ่กว่าหนึ่งขนาด แต่ถ้าน้อยกว่าร้อยละ 15 จะต้องใช้ตะแกรงขนาดที่เล็กกว่าหนึ่งขนาดร่อนตัวอย่างมวลรวมต่อไปจนกว่าจะมีมวลรวมค้างสะสมบนตะแกรงไม่น้อยกว่าร้อยละ 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 ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ทดสอบขนาดละเอียดตามขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ

ขนาดโตสุดของมวลรวม นิ้ว (มิลลิเมตร)	น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ กิโลกรัม
3/8 (9.51)	1
1/2 (12.7)	2
3/4 (19.0)	5
1 (25.4)	10
1 1/2 (38.1)	15
2 (50.8)	20
2 1/2 (64.0)	35
3 (76.1)	60
3 1/2 (91.4)	100
4 (100)	150
5 (125)	300

3.3 การทดสอบ

3.3.1 อบตัวอย่างให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักไว้

3.3.2 เลือกขนาดตะแกรงให้เหมาะสมกับขนาดของมวลรวม นำตะแกรงมาเรียงซ้อนกันโดยให้ตะแกรงที่มีช่องใหญ่กว่าอยู่ด้านบน แล้วเรียงขนาดเล็กลงมาตามลำดับจนถึงตะแกรงขนาดเล็สุดและถาดรอง (Pan) ติดตั้งตะแกรงทั้งหมดกับเครื่องเขย่าตะแกรง เทมวลรวมลงในตะแกรงชั้นบนสุด ปิดฝาและยึดให้แน่น

3.3.3 เพื่อให้ผลการทดสอบมีความถูกต้องยิ่งขึ้น เมื่อเขย่าตะแกรงเสร็จจึงล้นปริมาณของตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรงต้องไม่เกินกว่าที่กำหนดดังนี้

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) ต้องมีมวลรวมค้างบนตะแกรงได้ไม่เกินผลจากการคำนวณ $2.5 \times (\text{ขนาดช่องเปิด เป็นมิลลิเมตร}) \times (\text{พื้นที่ประสิทธิภาพของตะแกรงเป็นตารางเมตร})$ ค่าที่คำนวณได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 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	3 1/2 นิ้ว	-	-	15.1	27.6	48.5
75	3 นิ้ว	-	8.6	12.6	23.0	40.5
63	2 1/2 นิ้ว	-	7.2	10.6	19.3	34.0
50	2 นิ้ว	3.6	5.7	8.4	15.3	27.0
37.5	1 1/2 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	3/4 นิ้ว	1.4	2.2	3.2	5.8	10.2
12.5	1/2 นิ้ว	0.89	1.4	2.1	3.8	6.7
9.5	3/8 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 เดินเครื่องเขย่าตะแกรงจนมวลรวมที่ค้ำบนตะแกรงไม่ลอดผ่านไปยังตะแกรงชั้นถัดไป โดยหลังจากการทดลองเสร็จสิ้นต้องตรวจสอบดูว่าจะต้องไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงแต่ละขนาดเกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก เมื่อเทียบกับปริมาณวัสดุที่ค้ำบนแต่ละตะแกรงซึ่งทำได้โดยร่อนวัสดุด้วยการเขย่าตะแกรงแต่ละขนาดด้วยมืออย่างต่อเนื่องติดต่อกันเป็นเวลา 1 นาที

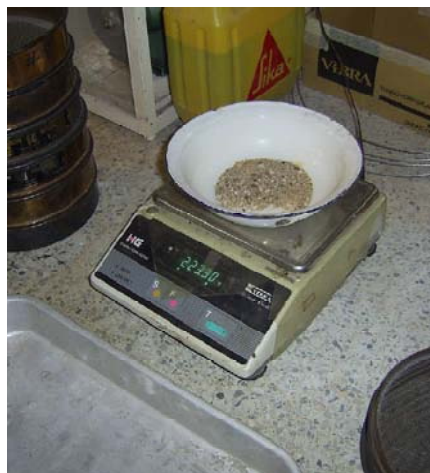
3.3.5 ในกรณีที่วัสดุขนาดเดียวกันกระจุกตัวอยู่บนตะแกรง 2 หรือ 3 ขนาด ให้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ครั้ง เพื่อป้องกันตะแกรงรับน้ำหนักมากเกินไป



รูป 1.1 ติดตั้งตะแกรงกับเครื่องเขย่า
ใส่ตัวอย่างที่เตรียมไว้ลงไป



รูปที่ 1.2 เดินเครื่องเขย่า



รูปที่ 1.3 แยกตัวอย่างที่ค้ำบนแต่ละตะแกรง รูปที่ 1.4 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ค้ำตะแกรงออกจากตะแกรง แต่ละขนาด

รูปที่ 1 การทดสอบขนาดผลรวมละเอียดด้วยเครื่องเขย่า



รูป 2.1 ติดตั้งตะแกรงกับเครื่อง
ใส่ตัวอย่างที่เตรียมไว้ลงไป

รูปที่ 2.2 เดินเครื่องเขย่า



รูปที่ 2.3 แยกตัวอย่างที่ค้ำแต่ละตะแกรง รูปที่ 2.4 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ค้ำตะแกรงแต่ละขนาด
ออกจากตะแกรง

รูปที่ 2 การทดสอบขนาดผลรวมหยาบด้วยเครื่องเขย่า

4. การคำนวณ

$$4.1 \text{ ร้อยละน้ำหนักรีดบีบตะแกรง} = \frac{\text{น้ำหนักมวลรวมค้ำแต่ละตะแกรง} \times 100}{\text{น้ำหนักมวลรวมทั้งหมด}}$$

$$4.2 \text{ ร้อยละน้ำหนักรีดบีบตะแกรงสะสม} = \text{ผลบวกสะสมค่าร้อยละน้ำหนักรีดบีบตะแกรง}$$

$$4.3 \text{ ร้อยละน้ำหนักรีดผ่านตะแกรง} = 100 - \text{ร้อยละน้ำหนักรีดบีบตะแกรงสะสม}$$

4.4 โมดูลัสความละเอียด (F.M.) ค่าโมดูลัสความละเอียดคือค่าร้อยละสะสมของมวลรวมที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 100 และหยาบกว่า หาด้วย 100 โดยใช้ค่าร้อยละน้ำหนักรีดบีบตะแกรงสะสมที่มีขนาดช่องเปิดโตขึ้นเป็น 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

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

GRADATION OF COARSE AGGREGATE TEST TEST				
ขนาดตะแกรง	น้ำหนักข้าง กรัม	ร้อยละน้ำหนัก ข้าง %	ร้อยละน้ำหนัก ข้างสะสม %	ร้อยละน้ำหนัก ผ่านตะแกรง %
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"				
3/8"				
No.4				
No.8				
No.16				
No.30				
No.50				
No.100				
Pan				
Total				

พิกัดความละเอียด = _____
= _____

ขนาดโตสุด = _____ นิ้ว

มาตรฐานการทดสอบ การหาความหนาแน่นความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมหยาบ

1. ขอบข่าย

เป็นการทดสอบหาค่าหาความหนาแน่น (Density) ที่ไม่รวมปริมาตรช่องว่างระหว่างอนุภาคและค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity or Relative Density) แบบต่างๆรวมถึงค่าการดูดซึม (Absorption)ของมวลรวมหยาบ

2. เครื่องมือ

- 2.1 เครื่องชั่งแบบมีแกนสำหรับยึดจับภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างสามารถชั่งได้ละเอียด 0.5 กรัม
- 2.2 ตู้อบหรือตู้อบไมโครเวฟ
- 2.3 ภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างเป็นตะกร้าถักด้วยเส้นลวดมีขนาดตาข่ายไม่ใหญ่กว่า 3.35 มิลลิเมตร (เบอร์ 6) หรือเป็นถังที่มีความกว้างเท่ากับความลึกมีปริมาตรระหว่าง 4 ถึง 7 ลิตร
- 2.4 บ่อน้ำหรือถังบรรจุน้ำ
- 2.5 ตะแกรงเบอร์ 4 ขนาดช่องเปิด 4.75 มิลลิเมตร

3. วิธีการทดลอง

3.1 นำมวลรวมหยาบที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) ด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่างหรือสุ่มตัวอย่างด้วยการแบ่งสี่ (Quartering) มาร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 4 นำส่วนที่ค้างมาประมาณ 5 กิโลกรัมแล้วนำมาแช่น้ำไว้ 24 ± 4 ชั่วโมง

3.2 นำตัวอย่างที่แช่ไว้ในน้ำขึ้นมาเช็ดด้วยผ้าแห้งที่ดูดซับน้ำได้ดีที่ละก้อนจนผิวแห้งอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated-Surface-Dry : SSD) ชั่งน้ำหนักบันทึกค่าไว้ (B)

3.3 นำตัวอย่างใส่ในภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างติดตั้งกับเครื่องชั่งแล้วชั่งน้ำหนักในน้ำและต้องให้ทั้งภาชนะและตัวอย่างจมอยู่ในน้ำขณะชั่งก่อนชั่งควรสั่นตะกร้าเบาๆเพื่อไล่อากาศบันทึกค่าไว้ (C)

3.4 อบตัวอย่างให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่ (Oven-Dry : OD) ปล่อยให้เย็นแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักอีกครั้งบันทึกค่าไว้ (A)



รูปที่ 1 สุ่มตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่างรูปที่ 2 เช็ดตัวอย่างที่แช่น้ำไว้ให้มีสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง



รูปที่ 3 ซั่งตัวอย่างในน้ำรูปที่ 4 อบตัวอย่างให้แห้ง

4. การคำนวณ

4.1 ความถ่วงจำเพาะ

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

เมื่อ A คือน้ำหนักตัวอย่างอบแห้งซึ่งในอากาศเป็นกรัม

B คือน้ำหนักตัวอย่างสภาพอิ่มตัวผิวแห้งซึ่งในอากาศเป็นกรัม

C คือน้ำหนักตัวอย่างสภาพอิ่มตัวซึ่งในน้ำเป็นกรัม

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

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

4.2 ความหนาแน่น

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

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

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

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

5. การรายงานผล

5.1 ค่าความถ่วงจำเพาะไม่มีหน่วยมีความละเอียดเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง

5.2 ค่าความหนาแน่นเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเป็นจำนวนเต็ม

5.3 ค่าการดูดซึมเป็นร้อยละมีความละเอียดเป็นทศนิยม 1 ตำแหน่ง

6. เอกสารอ้างอิง

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

ProjectFeature

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)			
น้ำหนักตัวอย่างสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ซึ่งในอากาศ (ก.) (B)			
น้ำหนักตัวอย่างสภาพอิ่มตัวซึ่งในน้ำ (ก.) (C)			
น้ำหนัก B-C (ก.)			
น้ำหนัก A-C (ก.)			
น้ำหนัก B-A (ก.)			
ค่าความถ่วงจำเพาะ (อบแห้ง, OD)			
ค่าความถ่วงจำเพาะ (อิ่มตัวผิวแห้ง, SSD)			
ค่าความถ่วงจำเพาะ (ปรากฏ, Apparent)			
ค่าความหนาแน่น (อบแห้ง, OD) (กก./ลบ.ม.)			
ค่าความหนาแน่น (อิ่มตัวผิวแห้ง, SSD) (กก./ลบ.ม.)			
ค่าความหนาแน่น (ปรากฏ, Apparent) (กก./ลบ.ม.)			
ค่าการดูดซึม (ร้อยละ)			

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 ตูบ 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 แท่งตำโลหะ (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 (เช่นเครื่องเป่าลมที่ใช้เฉพาะลมเย็น) เป่าให้ตัวอย่างสม่ำเสมอเพื่อกำจัดน้ำส่วนเกินให้ออกไปเร็วขึ้น จนกระทั่งตัวอย่างอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturate-Surface-Dry) ซึ่งตรวจสอบได้

โดยนำตัวอย่างใส่แบบกรวยโลหะที่วางอยู่บนพื้นเรียบและไม่ดูดน้ำ จากนั้นใช้แท่งตำโลหะตกระทบตัวอย่างจำนวน 25 ครั้ง



รูปที่ 2 แบ่งตัวอย่างทรายด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง



รูปที่ 3 ใส่ตัวอย่างทรายลงในกรวย



รูปที่ 4 ใช้แท่งตำโลหะตกระทบตัวอย่าง



รูปที่ 5 ลักษณะรูปทรงทราย

เมื่อมีจำนวน 25 ครั้ง สภาพอิมตัวผิวแห้ง(เติมวัสดุจนล้น ปล่อยแท่งตำตกระทบ 10 ครั้ง เติมวัสดุจนล้นปล่อยเหล็กกระทุ้งตกระทบอีก 10 ครั้ง ใช้มือหุ้มปากแบบรูปกรวยเติมวัสดุลงในอุ้งมือแล้วปล่อยเหล็กกระทุ้งตกระทบอีก 5 ครั้ง) โดยถือแท่งตำให้ปลายอยู่เหนือผิวตัวอย่างประมาณ 5 มิลลิเมตร ปล่อยลงด้วยน้ำหนักตัวเอง เมื่อครบแล้วปาดผิวหน้าให้เรียบเสมอขอบ และกำจัดตัวอย่างที่ตกหล่นรอบแบบกรวยออกก่อนยกกรวยขึ้นตรงๆในแนวตั้ง ถ้าตัวอย่างยังมีน้ำที่ผิวอยู่ ตัวอย่างจะยังคงรูปกรวยไว้ได้ ให้กำจัดน้ำส่วนเกินต่อไปแต่ถ้าหากตัวอย่างเริ่มพลั่งทลายโดยอิสระไม่เป็นรูปกรวยแสดงว่าตัวอย่างถึงจุดอิมตัวผิวหน้าแห้งแล้ว

3.3 ชั่งตัวอย่างที่อยู่ในสภาพอิมตัวผิวแห้งหนัก 500 ± 10 กรัม (S) ใส่ลงในขวดพิกโนมิเตอร์หรือกระบอกตวงแทนได้ เติมน้ำลงในขวดให้มีปริมาตรร้อยละ 90 ของความจุ แล้วทำการไล่ฟองอากาศในตัวอย่างออกให้หมด เติมน้ำลงไปอีกจนถึงขีด 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักไว้ (C)



รูปที่ 6 ใส่ตัวอย่างทรายลงในกระบอกตวง รูปที่ 7 เติมน้ำให้ถึงขีด 500 ลบ.ซม.

เติมน้ำ และไล่ฟองอากาศออก และชั่งน้ำหนักไว้

3.4 เทตัวอย่างออกจากขวดพิกโนมิเตอร์ หรือกระบอกตวง ทำให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่ด้วยตู้อบ หรือตู้อบไมโครเวฟ จากนั้นปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา $1 \pm 1/2$ ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักไว้ (A)

3.5 หาน้ำหนักของขวดพิกโนมิเตอร์หรือกระบอกตวงที่เติมน้ำจนถึงขีด 500 ลูกบาศก์ เซนติเมตร (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 น้ำหนักตัวอย่างสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง เป็นกรัม

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

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

4.2 ความหนาแน่น

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

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

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

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

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)			
น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ หรือกระบอกตวงที่เติมน้ำจนถึงขีดที่กำหนด (500 ลบ.ซม.) (ก.) (B)			
น้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ หรือกระบอกตวงที่ใส่ตัวอย่าง และเติมน้ำจนถึงขีดที่กำหนด (500 ลบ.ซม.) (ก.) (C)			
น้ำหนักตัวอย่างสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) (ก.) (S)			
น้ำหนัก (B+S-C) (ก.)			
น้ำหนัก (B+A-C) (ก.)			
น้ำหนัก (S-A) (ก.)			
ค่าความถ่วงจำเพาะ (อบแห้ง, OD)			
ค่าความถ่วงจำเพาะ (อิ่มตัวผิวแห้ง, SSD)			
ค่าความถ่วงจำเพาะ (ปรากฏ, Apparent)			
ค่าความหนาแน่น (อบแห้ง, OD) (กก./ลบ.ม.)			
ค่าความหนาแน่น (อิ่มตัวผิวแห้ง, SSD) (กก./ลบ.ม.)			
ค่าความหนาแน่น (ปรากฏ, Apparent) (กก./ลบ.ม.)			
ค่าการดูดซึม (ร้อยละ)			

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 จากปากถึงกันเรียบตรงกัน และพื้นผิวมีความทนทานต่อแรงกระแทกและการขัดสี ถังตวงควรมีความสูงเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางแต่ถังตวงที่มีความสูงมากกว่า 0.80 เท่า แต่ไม่เกิน 1.50 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางอนุโลมให้ใช้ได้ โดยขนาดความจุของถังตวงที่ใช้ทดสอบให้เป็นไปตามตารางที่ 1 ซึ่งขึ้นกับขนาดโตสุดของมวลรวม

2.4 พลั่วหรือช้อนตัก (Shovel or Scoop) มีขนาดเหมาะสมในการโรยตัวอย่างลงในถังตวง

2.5 เหล็กสำหรับปาดตัวอย่าง (Straightedge)

2.6 ตู้อบ สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส หรือตู้อบโครเวฟ

2.7 อุปกรณ์สอบเทียบ (Calibration Equipment) ประกอบด้วย แผ่นกระจกหนาไม่น้อยกว่า $\frac{1}{4}$ นิ้ว (6 มิลลิเมตร) และมีขนาดใหญ่กว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของถังตวงที่จะสอบเทียบไม่น้อยกว่า 1 นิ้ว (25 มิลลิเมตร) และจารบี (Grease) ที่สามารถใช้ทาตามขอบของถังตวงเพื่อป้องกันน้ำรั่วซึมได้



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

3. วิธีการทดลอง

3.1 ตัวอย่างทดสอบ

ปริมาณตัวอย่างที่ใช้ทดสอบควรมีจำนวนระหว่าง 1.25 ถึง 2.00 เท่าของปริมาณตัวอย่างเมื่อใส่เต็มถึงดวง และต้องอบตัวอย่างให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่ก่อนการทดสอบนอกจากนี้ควรหลีกเลี่ยงการทำใดๆ ที่ทำให้ตัวอย่างเกิดการแยกตัว (Segregation)

ตารางที่ 1 ความจุของถังดวงที่เหมาะสมกับขนาดโตะสุดของมวลรวม

ขนาดโตะสุดของมวลรวม		ความจุของถังดวง ลิตร (ลูกบาศก์เมตร)
นิ้ว	มิลลิเมตร	
1/2	12.5	2.8 (0.0028)
1	25.0	9.3 (0.0093)
1 1/2	37.5	14 (0.014)
3	75	28 (0.028)
4 1/2	112	70 (0.070)
6	150	100 (0.100)

3.2 การสอบเทียบถังดวง

3.2.1 ใส่ น้ำที่อุณหภูมิห้องลงในถังดวงจนเต็ม ใช้แผ่นกระจกปิดปากถังดวงโดยกำจัดน้ำส่วนเกินและฟองอากาศออกให้หมด

3.2.2 หาน้ำหนักน้ำในถังดวง โดยชั่งด้วยเครื่องชั่ง

3.2.3 วัดอุณหภูมิน้ำเพื่อหาค่าความหนาแน่นของน้ำตามตารางที่ 2

3.2.4 คำนวณปริมาตรของถังดวง ด้วยการหารน้ำหนักของน้ำที่ใส่เต็มถึงดวงด้วยความหนาแน่นของน้ำนั้น

3.2.5 ถังดวงควรมีการสอบเทียบอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง หรือเมื่อเกิดข้อสงสัยในความถูกต้องหลังจากการสอบเทียบ

ตารางที่ 2 ความหนาแน่นของน้ำ

อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	ความหนาแน่นกิโลกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร	อุณหภูมิ องศาเซลเซียส	ความหนาแน่นกิโลกรัมต่อ 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

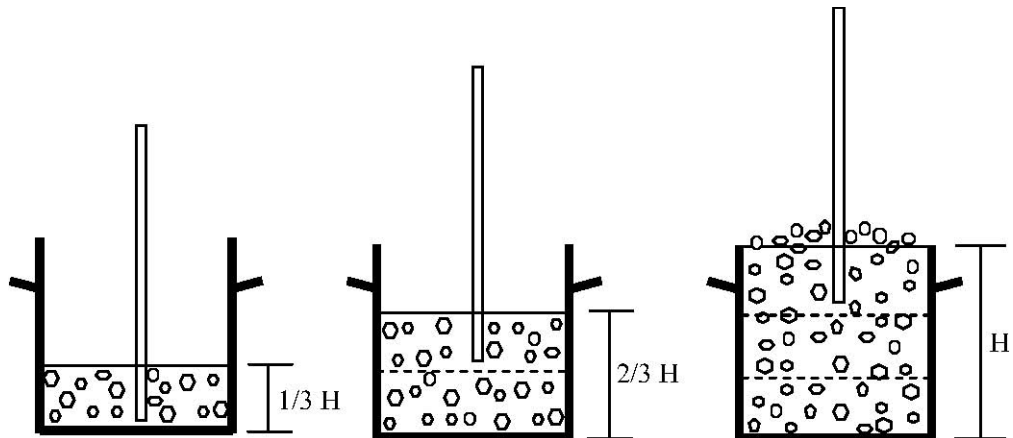
การทดสอบหน่วยน้ำหนักของมวลรวมแบ่งออกเป็น การทดสอบแบบหลวม และแบบอัดแน่น โดยการทดสอบแบบอัดแน่นแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบตามวิธีการทำให้แน่นคือ ใช้การกระทุ้ง (Roding Procedure) ซึ่งใช้ทดสอบมวลรวมที่มีขนาดโตสุด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว (37.5 มิลลิเมตร) หรือเล็กกว่า และใช้การกระแทก (Jigging Procedure) ที่ใช้ทดสอบมวลรวมที่มีขนาดโตสุดใหญ่กว่า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

3.3.1 การทดสอบหน่วยน้ำหนักและปริมาณช่องว่างแบบอัดแน่นโดยใช้เหล็กกระทุ้ง

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



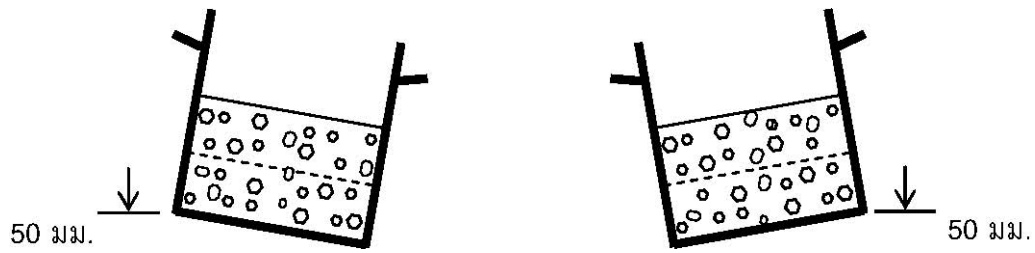
(ก) การกระทุ้งชั้นที่ 1 (ข) การกระทุ้งชั้นที่ 2 (ค) การกระทุ้งชั้นที่ 3

รูปที่ 2 ระดับการใส่ตัวอย่างมวลรวม และการทำให้แน่นโดยใช้การกระทุ้ง

3.3.2 การทดสอบหน่วยน้ำหนักและปริมาณช่องว่างแบบอัดแน่นโดยใช้การกระแทก

3.3.2.1 ใส่ตัวอย่างมวลรวมแบ่งเป็น 3 ชั้นเท่าๆ กัน เช่นเดียวกับข้อ 3.3.1.1 ทำตัวอย่างมวลรวมแต่ละชั้นให้แน่นโดยวางถังตวงบนพื้นที่มีความมั่นคงแข็งแรงเช่นพื้นคอนกรีต ยกถังตวงขึ้นเพียงด้านเดียวสูงประมาณ 2 นิ้ว (50 มิลลิเมตร) จากนั้นปล่อยถังตวงให้ตกกระแทกพื้นอย่างอิสระเป็นจำนวน 25 ครั้ง และยกถังตวงอีกด้านหนึ่งแล้วปล่อยให้ตกกระแทกพื้นอย่างอิสระจำนวน 25 ครั้ง เท่ากัน ซึ่งจะทำให้มวลรวมมีสภาพแน่น หลังจากกระแทกชั้นสุดท้ายเสร็จ ปรับระดับมวลรวมให้เรียบเสมอขอบถังตวงด้วยเหล็กสำหรับปาดตัวอย่าง 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 ซึ่งต้องกระทำโดยป้องกันไม่ให้มวลรวมเกิดการแยกตัว ปรับระดับมวลรวมให้เรียบเสมอขอบถังตวงด้วยเหล็กสำหรับปาดตัวอย่าง 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)

$$M_{SSD} = 1 + \frac{A}{100}$$

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

ProjectFeature

Laboratory No. Source

Tested by Date

Checked by Date

การทดสอบหน่วยน้ำหนัก	แบบอัดแน่นโดยใช้เหล็กกระทุ้ง
----------------------	------------------------------

รายการ	ครั้งที่		
	1	2	3
ปริมาตรถังตวง, V ลบ.ม.			
น้ำหนักมวลรวมพร้อมถังตวง, G กก.			
น้ำหนักถังตวง, T กก.			
น้ำหนักมวลรวม กก.			
หน่วยน้ำหนักของมวลรวม, M กก./ลบ.ม.			
หน่วยน้ำหนักของมวลรวมเฉลี่ย กก./ลบ.ม.			
ความถ่วงจำเพาะสภาพแห้งของมวลรวม, S			
ปริมาณช่องว่างของมวลรวม, Voids ร้อยละ			
ปริมาณช่องว่างของมวลรวมเฉลี่ย ร้อยละ			

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 มีฝาปิดชนิดก้นน้ำได้ และไม่ละลายหรือทำปฏิกิริยาเมื่อสัมผัสกับสารเคมีที่ใช้ทดลอง มีขีดแบ่งบอกปริมาตรบนขวดแก้วมีหน่วยเป็นมิลลิลิตร หรือออนซ์สำหรับขวดแก้วที่ไม่มีขีดแบ่งบอกปริมาตรให้ผู้ทดสอบเทียบ แล้วทำเครื่องหมายแสดงไว้ได้ 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 ขวดแก้วและกระจกสีมาตรฐาน

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 การเตรียมตัวอย่างสุ่มตัวอย่างมวลรวมละเอียดเพื่อใช้ทดสอบด้วยวิธีการแบ่งสี 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 หลังจากตั้งขวดแก้วทิ้งไว้ตามข้อ 3.3.3 ให้เติมสารละลายสีมาตรฐานลงในขวดแก้วเปล่าประมาณ 75 มิลลิลิตร ($2\frac{1}{2}$ ออนซ์) ซึ่งสารละลายดังกล่าวต้องเตรียมไว้ล่วงหน้าไม่เกิน 2 ชั่วโมง เปรียบเทียบสีสารละลายในขวดแก้วทั้งสองโดยถือขวดชิดกันแล้วมองผ่าน เพื่อเปรียบเทียบสีสารละลายเหนือตัวอย่างมวลรวมละเอียดที่ทดสอบว่าเข้มกว่า อ่อนกว่า หรือเท่ากันกับสีของสารละลายสีมาตรฐาน บันทึกค่าไว้

3.4.2 วิธีเทียบสีกับกระจกสีมาตรฐาน เป็นการจำแนกสีของสารละลายเหนือตัวอย่าง มวลรวมละเอียดให้ละเอียดยิ่งขึ้น ทำได้โดยเปรียบเทียบกับกระจกสีมาตรฐานจำนวน 5 สี ที่เทียบกับสีมาตรฐานการ์ดเนอร์ (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 หรือเท่ากัน

4.2 เปรียบเทียบสีกับกระจกสีมาตรฐาน

ให้รายงานความเข้มสีของสารละลายเหนือมวลรวมละเอียด 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
โดยใช้เครื่องลอสมองเจลิส

1. ขอบข่าย

เป็นวิธีการทดสอบหาความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบ โดยใช้เครื่องลอสมองเจลิส (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

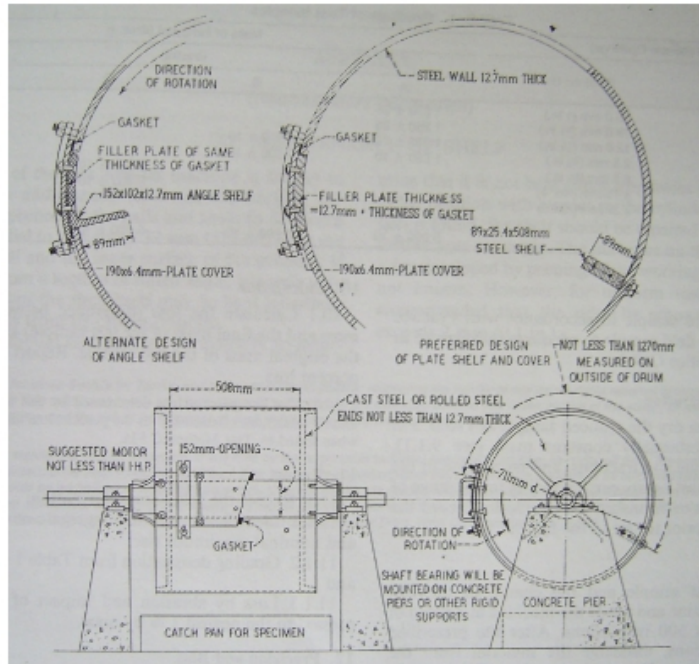
2.3 เครื่องลอสมองเจลิส มีขนาดและมิติดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยถังเหล็กรูปทรงกระบอกกลวงปลายปิดทั้งสองด้านที่มีความหนาไม่น้อยกว่า 12.4 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 711 ± 5 มิลลิเมตร (28 ± 0.2 นิ้ว) และความยาวด้านใน 508 ± 5 มิลลิเมตร (20 ± 0.2 นิ้ว) ถังเหล็กดังกล่าวมีจุดรองรับที่ปลายทั้งสอง ที่ปลายนี้มีแกนเหล็กติดอยู่กับถังและไม่ทะลุเข้าไปด้านใน โดยสามารถหมุนรอบแกนในแนวนอนได้ ที่ผิวถังมีช่องเปิดสำหรับใส่ตัวอย่างที่จะทดลองและลูกเหล็กลงไปได้ โดยฝาช่องเปิดนี้ควรเป็นแบบยึดติดถึงเหล็กได้ง่ายและแนบสนิทเพื่อป้องกันฝุ่นฟุ้งกระจายออกมา นอกจากนี้ต้องติดแผ่นเหล็กกว้าง 89 ± 2 มิลลิเมตร (3.5 ± 0.1 นิ้ว) ที่ด้านในตลอดความยาวของถังเหล็กในตำแหน่งซึ่งทำให้ตัวอย่างทดสอบและลูกเหล็กไม่ตกกระทบฝาช่องเปิดและบริเวณใกล้เคียงในขณะทดสอบ 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 จำนวนลูกเหล็กที่ใช้ทดสอบเมื่อเลือกใช้เกรดของมวลรวมหยาบที่กำหนด

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



รูปที่ 1 ขนาดและมิติของเครื่องลอสแองเจลีส์



รูปที่ 2 เครื่องลอสแองเจลีส์



รูปที่ 3 ลูกเหล็กและตะแกรงมาตรฐาน

3. วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.1.1 ในกรณีที่ตัวอย่างทดสอบเป็นหินย่อยให้สุมตัวอย่างมวลรวมหยาบให้ได้ตามปริมาณที่กำหนดในตารางที่ 2 นำมาล้างให้สะอาด และอบให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่

3.1.2 ในกรณีที่ตัวอย่างทดสอบเป็นหินใหญ่ให้เริ่มจากเลือกเกรดที่จะทดสอบว่าเป็น E, F หรือ G ซึ่งโดยทั่วไปมักเลือกทดสอบเกรด E เนื่องจากใช้เวลาในการย่อยให้เหมือนมวลรวมหยาบน้อยที่สุด จากนั้นลงมือย่อยตัวอย่างให้มีขนาดเล็กลงจนมีปริมาณของตัวอย่างใน

ตารางที่ 2 น้ำหนักของตัวอย่าง จำนวนลูกเหล็ก และจำนวนรอบที่หมุนเครื่องในการทดสอบความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบเกรดต่างๆ

ขนาดตะแกรง (ช่องเปิดรูปสี่เหลี่ยม)		น้ำหนักของตัวอย่างแต่ละขนาด (กรัม)						
ผ่าน	ค้าง	เกรด						
		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

แต่ละขนาดไม่น้อยกว่าเกรดที่เลือกไว้ด้วยค้อนปอนด์ แต่เนื่องจากการทุบให้แตกจะทำให้ตัวอย่างบางส่วนมีรูปร่างแบน บริเวณขอบของแต่ละก้อนมีเหลี่ยมมุมและไม่แข็งแรง และบางก้อนเกิดรอยร้าว จึงจำเป็นต้องตรวจสอบเนื้อตัวอย่างแต่ละก้อนว่ามีรอยแตกร้าวหรือไม่ หากมีต้องย่อยตัวอย่างก้อนนั้นให้มีขนาดเล็กลงอีก จากนั้นใช้ค้อนเหล็กปลายแหลมทุบแต่งตัวอย่างแต่ละก้อนให้มีเหลี่ยมมนน้อยลงจนมีรูปร่างค่อนข้างกลม เมื่อได้ปริมาณที่เหมาะสมแล้วนำมาล้างให้สะอาด และอบให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่

3.1.3 นำตัวอย่างมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเพื่อเลือกเกรดที่ใกล้เคียงกับขนาดคละของมวลรวมหยาบมากที่สุด ซึ่งน้ำหนักมวลรวมหยาบที่ค้างบนตะแกรงขนาดต่างๆตามปริมาณที่กำหนดของเกรดที่เลือก

3.1.4 นำมวลรวมหยาบนั้นมาผสมกันอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งน้ำหนักไว้ เป็นน้ำหนักก่อนทดสอบ

3.2 การทดสอบ

3.2.1 ใส่ตัวอย่างมวลรวมหยาบที่เตรียมไว้และลูกเหล็กตามจำนวนที่ระบุในตารางที่ 2 ลงในเครื่องทดสอบเองเจสิส หมุนเครื่องด้วยความเร็ว 30 ถึง 33 รอบต่อนาที โดยมวลรวมหยาบเกรด A, B, C และ D ตั้งเครื่องให้หมุนจำนวน 500 รอบ ส่วนมวลรวมหยาบเกรด E, F และ G ตั้งเครื่องให้หมุนจำนวน 1,000 รอบ



รูปที่ 3 ใส่ตัวอย่างและลูกเหล็กลงใน



รูปที่ 4 แยกตัวอย่างออกจากลูกเหล็ก

เครื่องทดสอบหลังจากหมุนเครื่องครบตามจำนวนรอบที่กำหนด

3.2.2 หลังจากหมุนเครื่องครบตามจำนวนรอบที่กำหนดแล้ว ให้นำตัวอย่างมวลรวมหยาบ และลูกเหล็กทั้งหมดออกจากเครื่องลอสแองเจลีส์ และแยกตัวอย่างมวลรวมหยาบและลูกเหล็กออกจากกัน

3.2.3 ร่อนตัวอย่างมวลรวมหยาบด้วยตะแกรงเบอร์ 12 โดยนำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 12 มาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ หรือในกรณีที่ต้องการความละเอียดสูง ให้นำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 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 โดยมีความละเอียดเป็น ทศนิยม 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

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

การทดสอบความทนทานต่อการขัดสีของมวลรวมหยาบ								
ขนาดตะแกรง		เกรด						
ผ่าน	ค้าง	A	B	C	D	E	F	G
จำนวนลูกเหล็ก								
จำนวนรอบที่หมุน								
น้ำหนักก่อนการทดสอบ (กรัม)								
น้ำหนักหลังการทดสอบ (กรัม)								
ร้อยละของการขัดสี								

มาตรฐานการทดสอบ

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

1. ขอบข่าย

เป็นวิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต หรือการหาสัดส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมของวัสดุผสม เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ทั้งในสภาพคอนกรีตสดคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วและประหยัด

2. ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ

2.1 หลักการในการออกแบบส่วนผสม

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

2.1.2 คำนวณหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดและการใช้งานที่ต้องการทั้งในสภาพคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

2.2 กำลังรับแรงอัด

ค่ากำลังอัดของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์(Water Cement Ratio; w/c) โดยค่ากำลังอัดจะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ โดยถ้าอัตราส่วนของน้ำตอปูนซีเมนต์มาก กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะต่ำ แต่ถ้าอัตราส่วนของน้ำตอปูนซีเมนต์ต่ำกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะสูง ซึ่งในการผสมคอนกรีตถ้าสามารถรักษาอัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ให้คงที่แล้ว แม้ส่วนผสมอื่นจะเปลี่ยนแปลงไปบ้าง แต่กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะไม่มีเปลี่ยนแปลงมากนัก

2.3 ความสามารถเทได้

ความสามารถเทได้ของคอนกรีตมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณน้ำในส่วนผสมโดยปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นความสามารถเทได้ของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น (หรือคอนกรีตเหลวขึ้น)คอนกรีตสดควรมีความชื้นเหลือพอเหมาะที่จะเทเข้าแบบได้สะดวก เพราะถ้าคอนกรีตชื้นหรือแห้งเกินไปการทำให้แน่นยากอาจทำให้เกิดรูโพรง แต่ถ้าคอนกรีตเหลวเกินไปจะทำให้เกิดการแยกตัวขณะลำเลียงและเท และทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำลง ไม่ทนทาน และมีโอกาสแตกร้าวง่าย ซึ่งการวัดความสามารถเทได้ควรกำหนดวิธีที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 วิธีการวัดความสามารถเทได้ของคอนกรีต

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

2.4 ความทนทาน

คอนกรีตที่ใช้งานในสภาพปกติโดยทั่วไปจะมีความทนทานอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจอยู่แล้วแต่ถ้าคอนกรีตอยู่ในสภาวะที่เกิดการกัดกร่อนรุนแรง เช่น โครงสร้างในน้ำทะเล โครงสร้างในดินที่มีซัลเฟตหรือโครงสร้างคอนกรีตที่อยู่ในสภาวะเปียกสลับแห้ง ความทนทานของคอนกรีตจะลดลง ซึ่งอัตราส่วนระหว่างน้ำตอปูนซีเมนต์มีผลต่อความทนทานของคอนกรีตดังนั้นจึงมีการกำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำตอปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมกับคอนกรีตที่สภาวะต่างๆ

3. วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

3.1 มาตรฐานการออกแบบคอนกรีต

หลักในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดมากกว่ากำลังอัดของงานที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เพื่อสร้างความเชื่อมั่นว่าเมื่อนำคอนกรีตไปใช้งานแล้วจะมีกำลังอัดไม่น้อยกว่ากำลังอัดของที่กำหนด แม้ว่าส่วนผสมคอนกรีตจะมีความผิดเพี้ยนไปบ้างไม่ว่าจะเกิดจากสาเหตุใดก็ตาม 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

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจำเป็นต้องหาจากแห่งตัวอย่าง จำนวนอย่างน้อย 30 ค่า จึงจะให้ความเชื่อถือทางสถิติได้เพียงพอ แต่ถ้าการทดสอบน้อยกว่า 30 ค่า ค่าคงที่ k ในตารางที่ 2 นอกเหนือให้ใช้ได้ โดยใช้ตัวคูณ 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 หรือมีผลการทดสอบน้อยกว่า 15 ค่า กำลังอัดของคอนกรีตที่จะต้องผลิตต้องสูงกว่ากำลังอัดที่กำหนด ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ส่วนเพื่อเมื่อไม่มีผลทดสอบกำลังอัดแท่งตัวอย่าง

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 Modulus, F.M.)
- หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ

โดยมีขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ดังนี้

1. เลือกค่ายู่บตัวที่เหมาะสม ค่าแนะนำตามตารางที่ 5
2. เลือกขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ ให้พิจารณาเลือกใช้ขนาดใหญ่ที่สุดแต่ต้องไม่เกินกว่า

2.1 ขนาด $\frac{1}{5}$ ของส่วนที่แคบที่สุดของโครงสร้างที่ไม่เสริมเหล็ก

2.2 ขนาด $\frac{3}{4}$ ของระยะเรียงเหล็กเสริมที่แคบที่สุดหรือระหว่างเหล็กเสริมกับแบบหล่อ

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

3. ประมาณปริมาณน้ำและฟองอากาศที่จะเกิดขึ้นในคอนกรีต (ปริมาตร 1 ลบ.ม.) ค่าแนะนำตามตารางที่ 6

4. เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ ค่าแนะนำตามตารางที่ 7

5. คำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ = ขั้นตอนที่ 3 ÷ ขั้นตอนที่ 4

6. คำนวณปริมาณมวลรวมหยาบ = ปริมาตรของมวลรวมหยาบ (ตารางที่ 9) x 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. หากเหมาะสมให้หยุดการทดลอง 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
คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (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
คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (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 กักฟองอากาศ	คอนกรีตที่กระจาย กักฟองอากาศ
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 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง

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 ปริมาตรของมวลรวมหยาบ ต่อคอนกรีตปริมาตร 1 ลบ.ม.

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
$\frac{1}{8}$ (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
$1\frac{3}{4}$ (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 นิ้ว (มม.)	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (กก./ลบ.ม.)	
	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 $\varnothing 15 \times 30$ 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

การดำเนินการคำนวณออกแบบส่วนผสมต้องหา f_{cr} หรือกำลังอัดของคอนกรีตที่ต้องการผลิตก่อนจากข้อกำหนดโอกาสที่ตัวอย่างแท่งคอนกรีตมีกำลังอัดต่ำกว่าที่กำหนดร้อยละ 20 จากตารางที่ 2 ได้ค่า $k = 0.842$ ดังนั้น $f_{cr} = 175 + 0.842 \times 30 = 200.3$ 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 เลือกใช้หินย่อยขนาดโตสุด 3/4 นิ้ว หรือ 19 มม. ตามตัวอย่างกำหนด

3. เลือกใช้ปริมาณน้ำและปริมาณฟองอากาศ (ดูตารางที่ 6)

จากหिनย้อยขนาดโตสุด 3/4 นิ้ว และค่ายุบตัวที่ต้องการ 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. คำนวณปริมาณหिनย้อย (ดูตารางที่ 9)

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

จากตารางที่ 9 จะได้ปริมาตรของหिनย้อยแบบแห้ง = 0.64 ลบ.ม. หรือมีน้ำหนักแห้ง (D_D) = $0.64 \times 1,440 = 922$ กก. แต่เนื่องจากน้ำหนักของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบถูกกำหนดให้อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ดังนั้นจึงต้องแปลงน้ำหนักของหिनย้อยที่คำนวณได้ให้อยู่ในรูปอิ่มตัวผิวแห้ง (D_{SSD}) ด้วยโดย $D_{SSD} = D_D \times (1 + (W/100))$ และ W คือ ค่าการดูดซึมของหिनย้อยจากการทดลองหรือใช้ค่าประมาณ ดังนั้นน้ำหนักของหिनย้อยสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (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	= $200 / (1.00 \times 1000) = 0.2000$	ลบ.ม.
- ปริมาตรของปูนซีเมนต์	= $286 / (3.15 \times 1000) = 0.0908$	ลบ.ม.
- ปริมาตรของหินย้อย	= $927 / (2.70 \times 1000) = 0.3433$	ลบ.ม.
ปริมาตรของฟองอากาศ	= $2 / 100 \times 1 = 0.0200$	ลบ.ม.
ปริมาตรของวัสดุผสมยกเว้นมวลรวมละเอียด	= 0.6541	ลบ.ม.
ปริมาตรของทรายที่ต้องใช้	= $1 - 0.6541 = 0.3459$	ลบ.ม.
ดังนั้น ปริมาณทราย (SSD)	= $0.3459 \times 2.60 \times 1000 = 899$	กก.

ปริมาณวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต 1 ลบ.ม.

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

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

8. ทดลองผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนผสมที่คำนวณได้ เพื่อตรวจสอบค่ายุบตัวและความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด และทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว หากพบว่ามีค่าเหมาะสมให้นำไปใช้งานได้ แต่ถ้าไม่เหมาะสม เช่น ค่ายุบตัวไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดมีการแยกตัวของวัสดุผสม หรือ กำลังอัดต่ำกว่าที่กำหนดไว้ 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

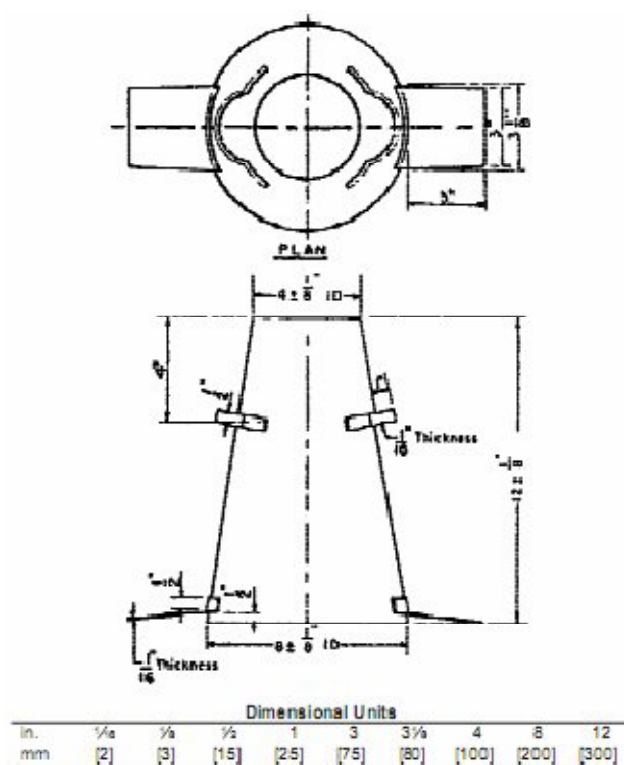
มาตรฐานการทดสอบ การทดสอบความชื้นเหลวของคอนกรีต โดยการหาค่าความยุบตัว

1. ขอบข่าย

เป็นการหาค่ายุบตัว (Slump) ของคอนกรีตสดทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม เพื่อหาความชื้นเหลว (Consistency) และตรวจสอบความสามารถได้ (Workability) ของคอนกรีตโดยคอนกรีตที่ทดสอบต้องมีมวลรวมหยาบขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 1 ½ นิ้ว (37.5 มิลลิเมตร) ซึ่งถ้าหากคอนกรีตมีมวลรวมหยาบขนาดใหญ่สุดเกิน 1 ½ นิ้ว ให้ร่อนออกด้วยตะแกรงก่อนทดสอบ นอกจากนี้ไม่ควรใช้วิธีการนี้ทดสอบกับคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวน้อยกว่า 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) มีที่เหยียบและหูจับ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 1 รูปร่างและมิติของกรวยทดสอบค่ายุบตัว

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

2.3 ถาดเหล็ก

2.4 ช้อนตัก

2.5 แถบวัดระยะ หรือบรรทัดเหล็ก

3. วิธีการทดลอง

3.1 ทำให้กรวยทดสอบค่ายุบตัวขึ้น วางบนพื้นแข็งแรง ผิวหน้าเรียบ ไม่ดูดซับน้ำเหยียบด้วยเท้าทั้งสองข้างของผู้ทดสอบบนที่เหยียบให้มั่นคง

3.2 ตักคอนกรีตทดสอบด้วยข้อตักใส่ลงในกรวยทดสอบค่ายุบตัว โดยแบ่งเป็น 3 ชั้นในแต่ละชั้นมีความสูง $\frac{1}{3}$ ของปริมาตรกรวย (ชั้นล่างสุดสูงจากพื้น 70 มิลลิเมตร ส่วนชั้นที่สองสูงจากพื้น 160 มิลลิเมตร)



รูปที่ 2 ตักคอนกรีตใส่กรวย $\frac{1}{3}$ ของปริมาตร



รูปที่ 3 กระทุ้งชั้นละ 3 ชั้นๆ 25 ครั้ง

3.3 ในแต่ละชั้นกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้งจำนวน 25 ครั้ง กระจ่ายให้ทั่วและสม่ำเสมอสำหรับชั้นล่างสุดให้เอียงเหล็กกระทุ้งเล็กน้อยเพื่อกระทุ้งประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนครั้งในการกระทุ้งทั้งหมดตามแนวเอียงบริเวณรอบขอบนอก และกระทุ้งจำนวนครั้งที่เหลือในแนวตั้งวนรอบแกนกลาง กระทุ้งคอนกรีตชั้นล่างสุดให้ผ่านตลอดความหนา (ถึงพื้น) ส่วนชั้นที่สองและชั้นบนสุดให้กระทุ้งทะลุผ่านชั้นที่ผ่านมามากน้อย

3.4 ในชั้นบนสุดให้ใส่คอนกรีตจนเต็มและกองสูงกว่าปากกรวยก่อนเริ่มกระทุ้ง ในระหว่างการกระทุ้งให้เติมคอนกรีตเพื่อรักษาระดับคอนกรีตให้สูงกว่าปากกรวยตลอดเวลาหลังจากกระทุ้งครบ 25 ครั้ง หมุนเหล็กกระทุ้งบนปากกรวยเพื่อปาดคอนกรีตส่วนเกินออกให้เรียบเสมopakกรวย จากนั้นให้ใช้มือกดที่หูจับทั้งสองข้างของกรวยและเอาคอนกรีตที่ตกหล่นบริเวณรอบกรวยออกให้หมด ก่อนยกกรวยขึ้นตรงๆ ออกจากคอนกรีตจนมีระยะสูง 12 นิ้ว (300 มิลลิเมตร) ภายในเวลา 5 ± 2 วินาที โดยใช้เวลาทดสอบตั้งแต่เริ่มจนเสร็จสิ้นการทดสอบภายในเวลา 2 ½ นาที



รูปที่ 4 ปาดผิวหน้าให้เรียบเสมopakกรวย



รูปที่ 5 ยกกรวยขึ้นตรงๆ ในแนวตั้ง

3.5 วัดค่ายุบของตัวคอนกรีตด้วยแถบวัดระยะในทันที โดยวัดความแตกต่างระหว่างความสูงของกรวยซึ่งเป็นความสูงดั้งเดิมกับผิวหน้าของคอนกรีตที่ทดสอบ แต่ถ้าหากการทรุดตัวของคอนกรีตเกิดขึ้นในรูปของการเลื่อนไปด้านใดด้านหนึ่งให้ยกเลิกผลการทดสอบแล้วทำการทดสอบตัวอย่างใหม่ (ถ้าหากผลการทดสอบ 2 ครั้ง ติดต่อกันยังเกิดขึ้นในรูปแบบของการเลื่อนแสดงว่าคอนกรีตขาดความเหนียว และมีแรงยึดเหนี่ยวน้อย)



รูปที่ 6 วัดค่ายุบตัวพร้อมทั้งสังเกตลักษณะการทรุดตัว

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

ProjectLab.No.....

Location

Ingredient

of Concretew/c

Tested byDate.....

Checked byDate.....

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

มาตรฐานการทดสอบ การทำตัวอย่างแท่งคอนกรีตและการบ่ม

1. ขอบข่าย

เป็นวิธีการเตรียมตัวอย่างแท่งคอนกรีตด้วยการหล่อในแบบหล่อเล็กเพื่อการทดสอบกำลังอัด เฉพาะแท่งทดสอบรูปทรงกระบอก ขนาด $\varnothing$ 6x12 นิ้ว ($\varnothing$ 15x30 เซนติเมตร) และรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 6x6x6 นิ้ว (15x15x15 เซนติเมตร)

2. เครื่องมือ

- 2.1 แบบหล่อเหล็กรูปทรงกระบอก ขนาด $\varnothing$ 6x12 นิ้ว
- 2.2 แบบหล่อเหล็กรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 6x6x6 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) แล้วใช้เหล็กกระทุ้งกระทุ้งแต่ละชั้น 25 ครั้ง ส่วนการหล่อแท่งคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ให้ตักคอนกรีตใส่แบบหล่อ โดยแบ่งเป็น 2 ชั้นเท่าๆ กัน (1/2 ของปริมาตรแบบหล่อ) แล้วใช้เหล็กกระทุ้งกระทุ้งแต่ละชั้น 36 ครั้ง โดยกระทุ้งให้กระจายทั่วพื้นที่ผิวอย่างสม่ำเสมอและให้ปลายเหล็กกระทุ้งผ่านลงไปชั้นผ่านมาเล็กน้อย เมื่อกระทุ้งชั้นบนสุดเสร็จ ใช้เกรียงเหล็กปาดคอนกรีตส่วนที่เกินออก แต่งผิวหน้าให้เรียบ

3.3 การหล่อแท่งคอนกรีตโดยใช้เครื่องสั่นคอนกรีตชนิดจุ่ม ตักคอนกรีตใส่แบบหล่อโดยแบ่งเป็น 2 ชั้นเท่าๆ กัน หัวจุ่มจะต้องอยู่ในแนวตั้งและห่างจากผิวด้านข้างแบบประมาณ 20 มิลลิเมตร การสั่นจะต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องและหยุดเมื่อถึงจุดที่ไม่ปรากฏฟองอากาศขนาดใหญ่และมีมอร์ตาร์เป็นชั้นบางๆ ปรากฏขึ้นที่ผิวหน้าของคอนกรีต นำหัวสั่นออกจากแบบหล่ออย่างช้าๆ ใช้เกรียงเหล็กแต่งผิวหน้าให้เรียบ

3.4 การถอดแบบหล่อควรถอดหลังการหล่อประมาณ 18 ถึง 24 ชั่วโมง เมื่อถอดแบบหล่อแล้วให้ทำบันทึกวันที่เก็บตัวอย่าง และข้อมูลอื่นที่จำเป็นบนแท่งคอนกรีต ระหว่างนั้นต้องป้องกันแท่งคอนกรีตไม่ให้มีการสั่นสะเทือนและการระเหยของน้ำก่อนจะนำไปบ่มต่อไป



รูปที่ 1 การหล่อแท่งคอนกรีตโดยใช้เหล็กกระทุ้ง



รูปที่ 2 การหล่อแท่งคอนกรีตโดยใช้เครื่อง
สั่นคอนกรีตชนิดจุ่ม

3.5 การบ่มตัวอย่างแท่งคอนกรีตให้บ่มด้วยน้ำ โดยแช่แท่งคอนกรีตในน้ำจนอิ่มตัวและรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 21 – 25 องศาเซลเซียส จนกว่าจะถึงเวลาทดสอบที่กำหนดไว้



รูปที่ 3 การบ่มแท่งตัวอย่างด้วยน้ำ

4. เอกสารอ้างอิง

4.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต
มอก.409 – 2525

4.2 American Society of Testing and Materials; ASTM C192

4.3 British Standard Institute; BS 1881 : Part 3

มาตรฐานการทดสอบ การทดสอบกำลังอัดแท่งคอนกรีต

1. ขอบข่าย

เป็นวิธีการทดสอบหาลำกำลังอัดแท่งคอนกรีต Compressive (Strength of Concrete) เฉพาะแท่งทดสอบรูปทรงกระบอกและรูปทรงลูกบาศก์ด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Machine)

2. เครื่องมือ

- 2.1 เครื่องทดสอบกำลังอัด
- 2.2 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์
- 2.3 อุปกรณ์เคลือบผิวหน้าแท่งตัวอย่างแท่งกรัทรูปทรงกระบอก

3. วิธีการทดลอง

3.1 วัดและบันทึกค่าความกว้างและความยาวของแท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ เพื่อหาพื้นที่หน้าตัดถ้าเป็นแท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกให้วัดและบันทึกค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพื่อหาพื้นที่หน้าตัด



รูปที่ 1 วัดขนาดแท่งตัวอย่างรูปทรง
ลูกบาศก์



รูปที่ 2 วัดขนาดแท่งตัวอย่างรูปทรง
กระบอก

3.2 ก่อนทำการทดสอบแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก ปลายทั้งสองด้านจะต้องเรียบเป็นระนาบตั้งฉากกับแนวแกน กรณีที่ปลายของแท่งตัวอย่างไม่เรียบเรียบ จะต้องทำการตัดเคลือบผิวหน้าแท่งตัวอย่างทั้งสองด้านด้วยวัสดุเคลือบผิวที่สามารถรับแรงอัดได้สูง ของแท่งตัวอย่างกรัทร เช่น กำมะถันกับผงฝุ่นหินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 ด้วยอัตราส่วน 3 ต่อ 1 โดยให้ห่อหุ้มเหลวของผสมนี้ที่อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 180 ถึง 210 องศาเซลเซียส แล้วจึงเทของเหลวลงบนแบบเหล็ก คว่ำและอัดแท่งตัวอย่างบนของผสมนี้อย่างสม่ำเสมอ การเคลือบปลายทั้งสองของแท่งตัวอย่างจะต้องเคลือบให้ตั้งฉากกับแนวแกนของแท่งตัวอย่าง ส่วนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ไม่ต้องเคลือบผิว



รูปที่ 3 การเคลือบผิวหน้าแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกด้วยกัมมะถันหลอมเหลว

3.3 นำแท่งตัวอย่างบนกึ่งกลางของแท่นทดสอบโดยจัดให้แกนของแท่งตัวอย่างอยู่ในแนวศูนย์กลางของแท่นกด



รูปที่ 4 การนำแท่งตัวอย่างบนกึ่งกลางของแท่นทดสอบ

3.4 เดินเครื่องทดสอบกำลังอัด ให้น้ำหนักกดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ โดยให้น้ำหนักกดด้วยอัตราคงที่ อยู่ในช่วง 1.43 ถึง 3.47 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที สำหรับแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอก และ 1.12 ถึง 2.72 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาทีสำหรับแท่งตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ในการควบคุมเครื่องทดสอบในช่วงครึ่งแรกของน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งตัวอย่างจะรับได้ยอมให้ใช้อัตราการกดสูงกว่ากำหนดได้ หลังจากนั้นให้ปรับน้ำหนักกดด้วยอัตราคงที่ตามที่กำหนดไว้



รูปที่ 5 การทดสอบกำลังอัดโดยให้น้ำหนักกดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

3.5 กดแท่งตัวอย่างจนวิบัติ บันทึกค่าแรงกดที่ได้ แล้วนำค่าแรงกดแรงกดและพื้นที่หน้าตัดที่ได้มาหาค่ากำลังอัดต่อไป



รูปที่ 6 แท่งตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ที่กดจนวิบัติ



รูปที่ 7 แท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่กวดจนวิบัติ

4. การคำนวณ

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

เมื่อ

f_c	คือ	ค่ากำลังอัดเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
P_{max}	คือ	แรงกดสูงสุด เป็นกิโลกรัม
A	คือ	พื้นที่รับแรงกด เป็นตารางเซนติเมตร

ในกรณีที่ต้องการแปลงค่ากำลังอัดจากแท่งรูปทรงรูปบาศก์ 6x6x6 นิ้วเป็นค่าขนาด 6x6x6 นิ้ว เป็นค่ากำลังอัดแท่งรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6x12 นิ้ว ให้ใช้ความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

ขนาดหินย้อยใหญ่สุด 1½ นิ้ว	Y	= 0.916 • X – 23.962
ขนาดหินย้อยใหญ่สุด 1 นิ้ว	Y	= 0.895 • X – 15.207
ขนาดหินย้อยใหญ่สุด ¾ นิ้ว	Y	= 0.933 • X – 9.687
ขนาดหินย้อยใหญ่สุด ½ นิ้ว	Y	= 0.960 • X – 6.215

เมื่อ X = ค่ากำลังอัดแท่งคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 6x6x6 นิ้ว
 Y = ค่ากำลังอัดแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก Ø ขนาด 6x12 นิ้ว

5. การรายงานผล

- 5.1 รายงานผลค่ากำลังอัดแท่งคอนกรีตเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
- 5.2 ความละเอียดไม่มีทศนิยม

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 ผลการวิจัยเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดคอนกรีตเมื่อหล่อด้วยแบบ CUBE และแบบ CYLINDER ส่วนทดลองและตรวจสอบด้านวิศวกรรม สำนักวิจัยและพัฒนากรมชลประทาน 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

การทดสอบหาแรงอัดแท่งคอนกรีต

ลำดับงานที่ CM. 700 / 2552

วันที่ 15 ตุลาคม 2551

โครงการส่วนวิศวกรรมบริหารสัญญาเลขที่ (จ.65 / 2551)

ผู้ทดสอบ.....

ขนาดแท่งตัวอย่างขนาดทรงกระบอก Ø15 X 30 ซม.

ผู้ตรวจสอบ.....

ลำดับ ตัวอย่าง	รหัส ตัวอย่าง	ความยวบตัว (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

การหาขนาดผลของดินด้วยตะแกรง

1. ขอบข่าย

เป็นการหาขนาดเม็ดดินโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็กเพื่อให้สามารถแยกเป็นเม็ดดินขนาดต่างๆและแต่ละขนาดมีปริมาณเป็นจำนวนร้อยละเท่าใดของปริมาณทั้งหมดสำหรับพิจารณาลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน

2. เครื่องมือ

- 2.1 ตะแกรง(Sieves) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง8 นิ้วซึ่งมีขนาดช่องผ่านหลายขนาดตามต้องการ
- 2.2 เครื่องเขย่าตะแกรง(Sieve Shaker) เป็นเครื่องสำหรับเขย่าตะแกรงเพื่อให้เม็ดดินที่เล็กกว่าตะแกรงนั้นๆลอดผ่านให้มากที่สุด
- 2.3 เครื่องชั่งมีความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.01 กรัม
- 2.4 เครื่องแบ่งตัวอย่าง(Sample Splitter)
- 2.5 ตู้อบสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียสได้ หรือตู้ไมโครเวฟ
- 2.6 แปรงขนอ่อนแปรงทองเหลืองและภาดใส่ดิน

3. วิธีการทดลอง

- 3.1 เตรียมตัวอย่างโดยนำมาผสมและคลุกให้เข้ากันดีทำการคัดเลือกตัวอย่างทั้งหมด ด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่างในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้นเล็กน้อยเพื่อลดการแยกตัวโดยปริมาณตัวอย่างที่ใช้ทดสอบให้เป็นไปตามตารางที่ 1
- 3.2 ถ้าตัวอย่างที่คัดเลือกแล้วจับตัวติดกันเป็นก้อนโตให้ใช้ค้อนยางทุบให้แยกออกจากกันแต่ไม่ทำให้เม็ดดินแตกแล้วนำไปอบแห้งจนน้ำหนักคงที่ด้วยตู้อบจากนั้นนำไปชั่งและบันทึกน้ำหนักไว้
- 3.3 วิธีการทดลอง แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ
 - 3.3.1 วิธีทดลองโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้างน้ำ
 - 3.3.1.1 นำตะแกรงมาเรียงซ้อนกันโดยให้ตะแกรงที่มีขนาดช่องใหญ่อยู่ด้านบนแล้วเรียงขนาดเล็กลงมาตามลำดับจนถึงตะแกรงขนาดเล็กสุดและภาตรอง (pan) ตามลำดับ
 - 3.3.1.2 นำตัวอย่างดินแห้งเทใส่ลงบนตะแกรงอันบนสุด ปิดฝาแล้วนำเข้าเครื่องเขย่าตะแกรง ใช้เวลาเขย่าอย่างน้อย10 นาทีถ้าเป็นเม็ดดินขนาดเล็กก็ควรใช้เวลาเขย่านานขึ้นกว่าปกติหรือประมาณ 15 นาที

ตารางที่1 ขนาดโตสุดของเม็ดดินและปริมาณตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

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

3.3.1.3 หาน้ำหนักตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรงและถาดรองโดยเทตัวอย่างจากตะแกรงลงในถาด ใช้แปรงปัดจนไม่มีตัวอย่างเหลือติดอยู่ นำถาดใส่ตัวอย่างไปชั่งและหักกลบน้ำหนักของถาดออก บันทึกน้ำหนักไว้และกระทำไปเช่นนี้จนครบทุกตะแกรง

3.3.2 วิธีทดลองโดยผ่านตะแกรงแบบล้างน้ำ

3.3.2.1 นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใช้ล้างตัวอย่างเทน้ำลงไปในภาชนะจนท่วมดินตัวอย่าง แขน้ำไว้ประมาณ3 ถึง 4 ชั่วโมง



รูปที่ 1 แช่ตัวอย่างในน้ำ

3.3.2.2 ล้างตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์200 (0.075 มิลลิ เมตร) โดยใช้ตะแกรงเบอร์16 ซ้อนไว้ข้างบนเพื่อลดปริมาณตัวอย่างบนตะแกรงเบอร์200 ใช้น้ำล้างจนกระทั่งไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์200 อีกต่อไปเทตัวอย่างที่ค้างตะแกรงทั้งหมดลงในถาดนำไปอบแห้งจนน้ำหนักคงที่



รูปที่ 2 การล้างตัวอย่าง

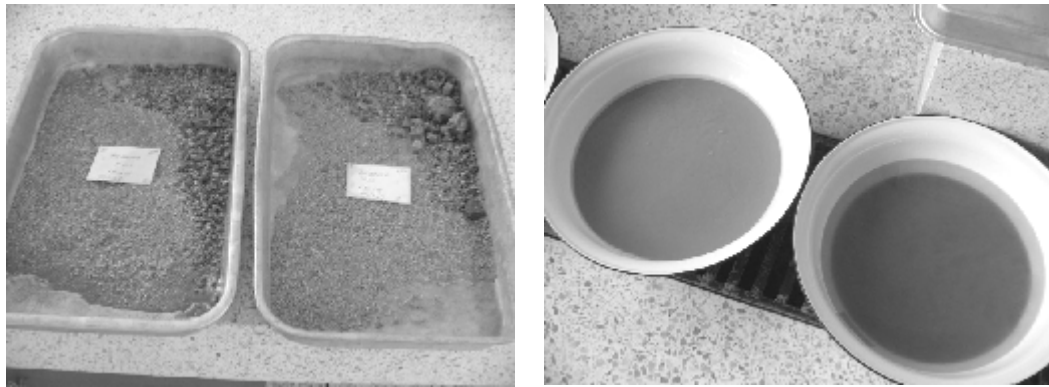


รูปที่ 3 การล้างตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 200 โดยมีตะแกรงเบอร์ 16 วางซ้อนไว้ด้านบน

3.3.2.3 กรณีที่จะหาขนาดคละของดินโดยไฮโดรมิเตอร์ ต้องเก็บน้ำและดินที่ล้างผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไว้ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนจนน้ำใส รินน้ำทิ้ง เก็บตัวอย่างดินที่เหลือไว้ทดสอบตามสวพ. ทล.302/2551 การหาขนาดคละของดินด้วยไฮโดรมิเตอร์ต่อไป

3.3.2.4 นำตัวอย่างดินที่อบแห้งแล้วไปทดสอบตามข้อ 3.3.1.1ถึง3.3.1.3 ต่อไป

3.4 เขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคเม็ดดินกับร้อยละของดินผ่านตะแกรงเพื่อแสดงลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน



รูปที่ 4 ตัวอย่างส่วนที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 200 รูปที่ 5 ตัวอย่างส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 สำหรับการร่อนผ่านตะแกรงสำหรับการทดสอบขนาดผลโดยไฮโดรมิเตอร์



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 ค่าร้อยละของดินผ่านตะแกรงมีความละเอียดเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง

5.2 แผนภูมิการกระจายตัวของเม็ดดิน

6. เอกสารอ้างอิง

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

Project	_____	Lab.No.	SE.	_____
Location	_____			
Boring No.	_____	Test No.		_____
Soil Description	_____	Depth		_____
Tested by	_____	Date		_____
Checked by	_____	Date		_____

Sieve

Analysis Weight of dry soil _____ g

Sieve No.	Weight Retain g	Retain %	Cumulative Retain %	Passing %

หมายเหตุ	Retain คือ ร้อยละ น้ำหนัก ค้าง ตะแกรง Cumulative Retain คือ ร้อยละ น้ำหนัก ค้าง ตะแกรง สะสม Passing คือ ร้อยละ น้ำหนัก ผ่าน ตะแกรง
----------	--

GRADATION TEST

Lab.No.SE.

SILT TO CLAY						SAND			GRAVEL		COBBLES									
Hydrometer						FINE	MEDIUM	COARSE	FINE	COARSE										
1545 min	435 min	60 min	10 min	4 min	1 min	#200	#100	#50	#40	#30	#16	#8	#4	3/8"	3/4"	1 1/2"	3"	5"	6"	8"
0.001	0.002	0.005	0.009	0.019	0.037															

Percentage Passing

Diameter of Particle in millimeters

Sample No.	Boring No.	Depth (m.)	L.L.	P.L.	P.I.	CLASS	G _s	Remark
○ 1								
□ 2								
△ 3								

Drawn Checked Date Sheet of

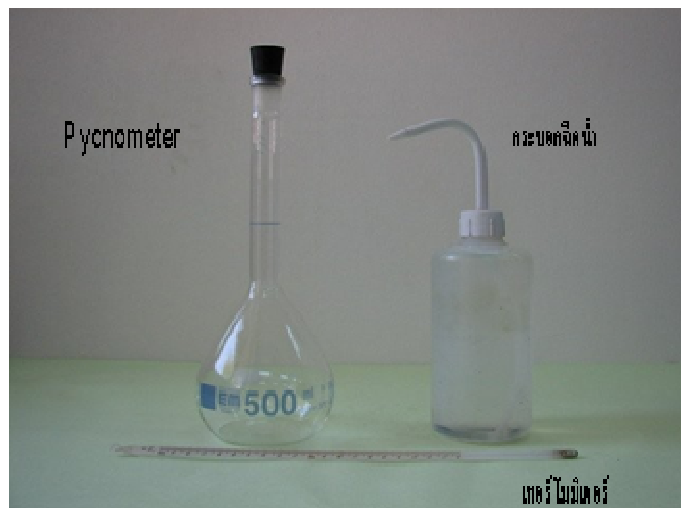
มาตรฐานการทดสอบ ความถ่วงจำเพาะของดิน

1. ขอบข่าย

เป็นการหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 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 หรือตู้อบไมโครเวฟ
- 2.8 กระทะไฟฟ้าแบบเรียบ (Hot Plate)
- 2.9 กรวย



รูปที่ 1 Pycnometer แบบ Volumetric Flask, เทอร์โมมิเตอร์ และกระบอกฉีดน้ำ

3. วิธีการทดลอง

- 3.1 นำตัวอย่างดินในสภาพแห้งในอากาศมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เพื่อเตรียมตัวอย่างก่อนการทดลอง
- 3.2 การเตรียมตัวอย่าง ทำได้ 2 วิธี คือ

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 $\pm$ 10	100 $\pm$ 10
SP-SC, SM, SC	45 $\pm$ 10	75 $\pm$ 10
Silt or Clay	35 $\pm$ 5	50 $\pm$ 10

3.3 การทดสอบดินในสภาพที่มีความชื้น นำตัวอย่างดินชั้นที่มีน้ำหนักเมื่ออบแห้งตามตารางที่ 1 ใส่ลงในเครื่องกวนดินหรือเครื่องผสมอื่นๆ ที่มีน้ำกลั่นอยู่ประมาณ 100 มิลลิลิตร ผสมดินและน้ำให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องกวนจนมีลักษณะเป็นน้ำโคลนเหลว วางกรวยลงบนขวด Pycnometer และเทน้ำโคลนดังกล่าวลงไปต่อจากนั้นฉีดน้ำล้างดินในกรวยให้ลงไปในขวดจนหมด นำกรวยออกจากขวด และทดสอบตามข้อ 3.5 ต่อไป

3.4 การทดสอบดินในสภาพแบบแห้ง ใช้ช้อนตักตัวอย่างดินตามปริมาณที่กำหนดใน ตารางที่ 1 ใส่ลงในขวด Pycnometer ผ่านกรวยที่วางบนขวดอีกที และฉีดน้ำล้างดินในกรวยให้ลงไปในขวดจนหมด แล้วนำกรวยออกจากขวด

3.5 เติมน้ำลงไปจนมีระดับน้ำอยู่ระหว่าง 1/3 ถึง 1/2 ของความสูงขวด Pycnometer แล้วเขย่าหรือแกว่งขวดไปมาจนส่วนผสมเป็นน้ำโคลน และฉีดน้ำล้างดินที่ติดอยู่ข้างขวดให้ไหลลงไปในน้ำโคลนจนหมด

3.6 การไล่ฟองอากาศในน้ำโคลนทำได้ 3 วิธี คือ

3.6.1 ใช้ความร้อนโดยการนำไปต้มจนน้ำโคลนเดือดและมีฟองอากาศปุดขึ้นมา หลังจากนั้นใช้ความร้อนพอประมาณทำการต้มต่อไปเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง และเขย่าขวดเป็นระยะ ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ดินแห้งเกาะติดอยู่ข้างขวด

3.6.2 ใช้เครื่องทำสุญญากาศสำหรับดูดอากาศที่แทรกอยู่ระหว่างเม็ดดินพร้อมกับเขย่าหรือแกว่งขวดไปมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ดินอยู่ในสภาพแขวนลอยตลอดเวลาเป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ลักษณะการดูดอากาศมีความสม่ำเสมอและมีแรงดูดเพียงพอที่จะทำให้ เกิดฟองอากาศปุดขึ้นมาตั้งแต่ระยะเริ่มต้นของการไล่ฟองอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2

3.6.3 ใช้ความร้อนและเครื่องทำสุญญากาศไปพร้อมๆ กัน โดยการแช่ขวดในน้ำอุ่นมีอุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส และรักษาระดับน้ำด้านนอกขวดให้ต่ำกว่าในขวดเล็กน้อยพร้อมกับดูดอากาศเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง และเขย่าขวดเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันไม่ให้ดินแห้งเกาะติดอยู่ข้างขวด



รูปที่ 2 การติดตั้งขวด Pycnometer เข้ากับเครื่องทำสุญญากาศ

3.7 เติมน้ำที่ไล่ฟองอากาศออกแล้ว (โดยการต้มหรือดูดอากาศออก) ลงในขวดด้วยกระบอกฉีดยาอย่างช้าๆ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้มีฟองอากาศเกิดขึ้นในขวด และถ้าในขวดเกิดฟองขึ้นมา ให้รักษาระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าขีดเครื่องหมายบนขวดและเติมน้ำส่วนที่เหลือในวันถัดไป

3.8 เติมน้ำจนกระทั่งระดับต้องน้ำอยู่ที่ขีดเครื่องหมายบนขวด เช็ดทำความสะอาดด้านนอกขวดให้แห้งและนำไปชั่งน้ำหนักขวดรวมดินและน้ำที่อยู่ข้างในบันทึกค่าไว้

3.9 ใช้เทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงในน้ำเพื่อวัดอุณหภูมิและบันทึกค่าไว้

3.10 ทำการทดสอบซ้ำโดยใช้ตัวอย่างใหม่อีกอย่างน้อย 1 ครั้ง ในกรณีที่ความถ่วงจำเพาะมีค่าต่างกันมากกว่า 0.02 ต้องทำการทดลองใหม่ แต่ถ้าต่างกันไม่เกินค่าที่กำหนด ให้รายงานผลเป็นค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะดังกล่าว

4. การคำนวณ

4.1 ความถ่วงจำเพาะของดิน

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

เมื่อ	G_s	คือความถ่วงจำเพาะของดิน
	W_s	คือน้ำหนักดินแห้งเป็นกรัม
	W_a	คือน้ำหนักขวด Pycnometer และน้ำ เป็นกรัม (วิธีการหาค่าแสดงอยู่ในภาคผนวก)
	W_b	คือน้ำหนักขวด Pycnometer รวมกับดินและน้ำที่อยู่ข้างใน เป็นกรัม
	K	คือค่าปรับแก้สำหรับเปลี่ยนความถ่วงจำเพาะที่อุณหภูมิต่างๆ 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
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) และขนาดเล็กกว่าผสมรวมอยู่ คำนวณได้ดังนี้

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

- เมื่อ
- G_{avg} คือความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของดิน
 - R คือปริมาณดินค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 เป็นร้อยละ
 - P คือปริมาณดินผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 เป็นร้อยละ
 - G₁ คือความถ่วงจำเพาะของดินค้ำบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส
 - G₂ คือความถ่วงจำเพาะของดินผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

5. การรายงานผล

5.1 ความถ่วงจำเพาะของดิน ไม่มีหน่วย มีความละเอียดเป็นทศนิยม 2 ตำแหน่ง

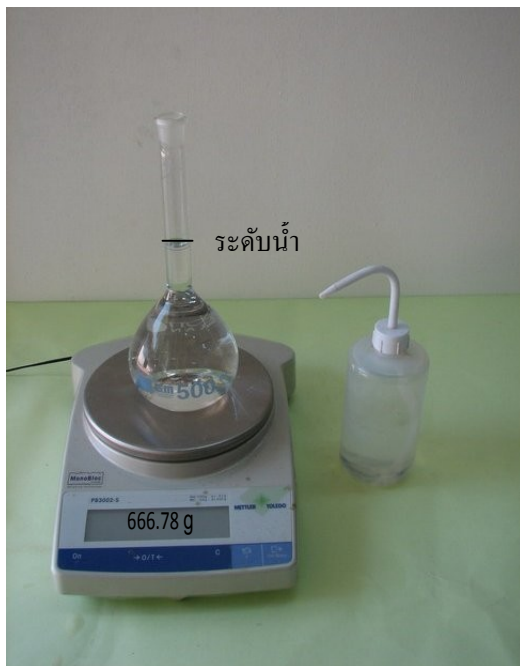
6. เอกสารอ้างอิง

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

ภาคผนวก

การสอบเทียบ (Calibration) เครื่องมือ Pycnometer แบบ Volumetric Flask

1. เติมน้ำไล่ฟองอากาศออกแล้วลงในขวด Pycnometer ให้ถึงขีดเครื่องหมายบน ขวดโดยให้ท้องน้ำอยู่ระดับเดียวกับขีดพอดี และพยายามไม่ให้มีฟองอากาศเกิดขึ้นในน้ำ
2. ชั่งน้ำหนักขวด Pycnometer และน้ำ บันทึกค่าไว้ดังแสดงในรูปผนวกที่ 1
3. ใช้เทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงในน้ำเพื่อวัดอุณหภูมิและบันทึกค่าไว้คู่กัน ดังแสดงในรูปผนวกที่ 2
4. ทดลองตามข้อ 1 ถึง 3 หลายๆ ครั้ง ที่อุณหภูมิของน้ำต่างๆ กัน และรวบรวมข้อมูลทั้งหมดไว้สำหรับใช้ในการทดสอบต่อไป ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1 และรูปผนวกที่ 3



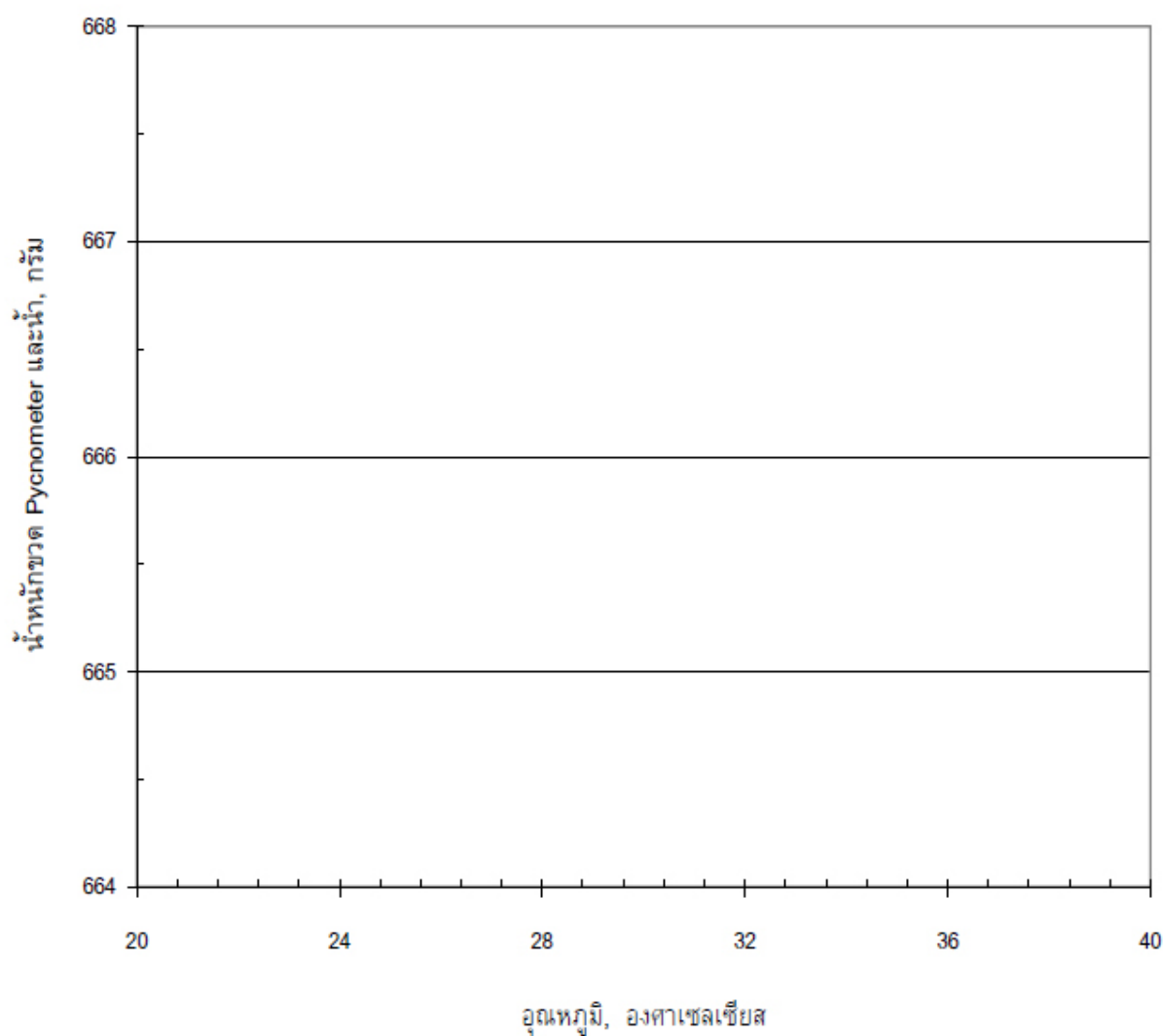
รูปผนวกที่ 1 ชั่งน้ำหนักขวด Pycnometer และน้ำ



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

โครงการ		
ลำดับงานที่	ผู้ทดสอบ	วันที่
	ผู้ตรวจสอบ	วันที่

การทดสอบความถ่วงจำเพาะของดิน

Boring No.	Soil Description
Sample No.	Depth m

Determination No.			
Pycnometer No.			
Wt.Pycnometer+Water+Soil, W_b	g		
Temperature	$^{\circ}C$		
Wt.Pycnometer+Water, W_a	g		
Evaporating Dish No.			
Wt.Dish+DrySoil	g		
Wt.Dish	g		
Wt. DrySoil, W_s	g		
Correction Factor, K			
Specific Gravity of Soil, $G_s = \frac{K \cdot W_s}{W_s + W_a - W_b}$			

มาตรฐานการทดสอบ การหาค่า California Bearing Ratio (CBR)

1. ขอบข่าย

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

2. เครื่องมือ

2.1 เครื่องกด (Loading Machine) มีขีดความสามารถให้แรงกดไม่น้อยกว่า 10,000 ปอนด์ (ประมาณ 5,000 กิโลกรัม) อาจเป็นเครื่องชนิดใช้มือหมุนหรือมอเตอร์ไฟฟ้าที่ทำให้ฐาน หรือแท่งกดเคลื่อนที่ ด้วยอัตรา 0.05 นิ้ว (1.27 มิลลิเมตร) ต่อนาที เพื่อใช้ดันให้แท่งกดจมลงใน ตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วในแบบเหล็ก และความละเอียดของแรงกดให้อ่านได้ไม่เกิน 10 ปอนด์ (4.4 กิโลกรัม)

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

2.3 แบบเหล็ก (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียวรูปทรงกระบอกกลวงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายใน 6 นิ้ว (152.4 มิลลิเมตร) สูง 7 นิ้ว (177.8 มิลลิเมตร) ยึดติดกับฐาน (Base Plate) ความหนา 3/8 นิ้ว (9.5 มิลลิเมตร) ที่มีรูพุนขนาดของรูไม่เกิน 1/16 นิ้ว (1.58 มิลลิเมตร) บริเวณด้านบนมีปลอกเหล็ก (Collar) ขนาดเดียวกับแบบสูง 2 นิ้ว (50.8 มิลลิเมตร)

2.4 แท่งโลหะรอง (Spacer Disc) เป็นแท่งโลหะทรงกระบอกตัน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 (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 ทำด้วยโลหะมีขนาดและน้ำหนักตาม มาตรฐานการทดสอบที่ สวพ.ทล.305/2551 การบดอัดแบบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการหรือตามมาตรฐานการ ทดสอบที่ สวพ.ทล.306/2551 การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการ

2.6 แผ่นเหล็กวัดการบวมตัว (Swell Plate) ใช้สำหรับวัดค่าการบวมตัวของตัวอย่างทดสอบ ทำด้วยโลหะที่ไม่เป็นสนิมง่าย มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 7/8 นิ้ว (149.2 มิลลิเมตร) หนา 1/4 นิ้ว (6.4 มิลลิเมตร) มีก้านที่สามารถปรับให้สูงหรือต่ำได้และมีรูพุนเพื่อใช้ติดตั้งกับDial Gauge สำหรับอ่านค่าการบวมตัว

2.7 สามขา (Tripod) ใช้ประกอบสำหรับวัดค่าการบวมตัวของตัวอย่างทดสอบ ทำด้วย โลหะ และมีรูตรงส่วนบนเพื่อติดตั้ง 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) ใช้วางบน ตัวอย่างทดสอบ เป็นเหล็กทรงกระบอกแบนรูปวงกลมมีรูตรงกลาง หรือรูปเกือกม้ามีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 7/8 นิ้ว (149.2 มิลลิเมตร) รูตรงกลางมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 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 3/4 นิ้ว (19 มิลลิเมตร) และเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

2.10.3 เครื่องแบ่งตัวอย่าง

2.10.4 กระดาษกรอง

2.10.5 เครื่องมือผสม เป็นอุปกรณ์จำเป็นอย่างอื่นที่ใช้ผสมตัวอย่างทดสอบกับน้ำ เช่น ถาด ช้อน กระบอกลงวัดปริมาตรน้ำ

3. วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.1.1 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุดมีขนาดเล็กกว่า 3/4 นิ้ว หรือไม่มีส่วนค้ำบน ตะแกรงขนาดดังกล่าว ให้ทำการคัดเลือกตัวอย่างโดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างออกมา 8 ชุด ชุดละประมาณ 5 กิโลกรัม แล้วนำตัวอย่างสำหรับทดสอบ CBR จำนวน 3 ชุด เข้าตู้อบ 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 3/4 นิ้ว ให้ดำเนินการดังนี้

3.1.2.1 คัดเลือกตัวอย่างโดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างประมาณ 10 กิโลกรัมอบแห้ง ซึ่งน้ำหนักและบันทึกไว้ จากนั้นล้างตัวอย่างด้วยน้ำผ่านตะแกรง 3/4 นิ้ว แล้วนำส่วนที่ค้ำทั้งหมด อบแห้ง ซึ่งน้ำหนักและบันทึกไว้ นำค่าที่บันทึกคำนวณหาร้อยละของส่วนค้ำตะแกรง 3/4 นิ้ว ไว้สำหรับคำนวณส่วนที่จะชดเชย

3.1.2.2 คัดเลือกตัวอย่างโดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างประมาณ 50 กิโลกรัมอบแห้ง ส่วนวัสดุที่เหลือร่อนผ่านตะแกรง 3/4 นิ้ว และค้ำบนตะแกรงเบอร์ 4 ให้มีปริมาณเท่ากับหรือมากกว่าส่วนที่จะชดเชย นำไปล้างน้ำแล้วอบแห้ง

3.1.2.3 ทำการเตรียมตัวอย่างจำนวน 8 ชุด ชุดละประมาณ 5.5 กิโลกรัม คิดเป็นปริมาณวัสดุแห้งทั้งหมดเท่ากับ 5.5×8 หรือ 44 กิโลกรัม สมมติว่าตัวอย่างมีร้อยละของส่วนค้ำตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว เท่ากับ 10 ดังนั้นวัสดุแห้งที่ค้ำบนตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว เท่ากับ $44 \times (10/100)$ หรือ 4.4 กิโลกรัม และส่วนของวัสดุแห้งที่ผ่านตะแกรง $\frac{3}{4}$ 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 และค้ำบนตะแกรงเบอร์ 4 เป็นจำนวน 4.4 กิโลกรัม ใส่ลงไปและผสมให้ทั่วกันตลอดได้ปริมาณวัสดุแห้งทั้งหมดเท่ากับ $39.6 + 4.4$ หรือ 44 กิโลกรัม

3.1.2.5 นำวัสดุที่ได้จากข้อ 3.1.2.4 มาทำการคัดเลือกตัวอย่างโดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างเป็นจำนวน 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 แล้วบ่มตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในภาชนะกันความชื้น

3.3 ชั่งน้ำหนักแบบเหล็ก จดบันทึกไว้แล้วประกอบแบบกับส่วนฐาน และบล็อกเหล็ก

3.4 ใส่แท่งโลหะรองลงในแบบ แล้ววางกระดาษกรองทับลงไป

3.5 ใส่วัสดุลงไปแบบแล้วบดอัดแต่ละชุดด้วยพลังงานที่ต่างกัันดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดการบดอัดแบบมาตรฐานและสูงกว่ามาตรฐาน

ชุดที่	การบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction)			การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction)		
	ขนาดค้อน (ปอนด์)	จำนวนชั้น	จำนวนครั้งต่อชั้น	ขนาดค้อน (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 ถอดบล็อกเหล็กออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับตอนบนของแบบเหล็ก ในกรณีมีหลุมบนผิวหน้าให้เติมตัวอย่างลงไป ใช้เหล็กปาดวางทับแล้วใช้ค้อนยางทุบ จนกระทั่งเหล็กปาดยุบลงถึงขอบแบบเหล็ก และปาดแต่งหน้าอีกครั้งจนเรียบ ถอดแบบเหล็กพร้อมตัวอย่างที่บดอัดแล้วออกจากฐานเพื่อนำไปชั่งน้ำหนักสำหรับคำนวณความหนาแน่นของตัวอย่างตามข้อ 4.2 และ 4.3

3.8 ประกอบแบบเหล็กพร้อมตัวอย่างดังกล่าวกลับไปยังฐานโดยนำแท่งโลหะรองออก จากฐานก่อนและวางกระดาษกรองแผ่นใหม่ลงบนฐาน แล้วพลิกแบบเหล็กโดยให้ด้านล่างของแบบเหล็กอยู่ด้านบนเป็นตัวอย่างสำหรับชุดที่ 1 ต่อจากนั้นทำการเตรียมตัวอย่างอีก 2 ชุดที่เหลือเป็นตัวอย่างสำหรับทดสอบค่า CBR เป็นจำนวนทั้งสิ้น 3 ตัวอย่าง

3.9 กรณีที่เป็นการทดสอบ CBR แบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked Sample) ก็ดำเนินการตามข้อ 4.11

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

3.11 แช่ตัวอย่างทั้ง 3 ชุดลงในน้ำโดยให้ระดับน้ำสูงกว่าผิววัสดุประมาณ 1 นิ้ว วางก้านสามขาพร้อม Dial gauge ลงบนแบบเหล็กและจัดให้ก้านของ Dial Gauge สัมผัสอยู่ กึ่งกลางบนแกนของแผ่นเหล็กวัดการบวมตัว แล้วจึงปรับเข็มบน Dial Gauge ไว้ที่เลขศูนย์ บันทึกเป็นค่าเริ่มต้น และให้ทำการบันทึกค่าการบวมตัวของตัวอย่างทดสอบทุกๆ 24 ชั่วโมง จาก Dial gauge จนกระทั่งครบ 96 ชั่วโมง หรือเมื่อตัวอย่างทดสอบหยุดการบวมตัวแล้วแสดงในรูปที่ 2 เสร็จแล้วให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ยกแผ่นเหล็กวัดการบวมตัวพร้อมน้ำหนักกดทับออก และเอียงแบบเหล็กให้น้ำไหลออกประมาณ 15 นาที จนไม่มีน้ำขังบนผิวหน้าและระวังอย่าให้ผิวหน้าของตัวอย่างเสียหาย ถอดแบบเหล็กออกจากฐาน ซึ่งน้ำหนักไว้สำหรับหาน้ำหนักของตัวอย่างทดสอบต่อไป

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

3.13 เริ่มกดแท่งกดลงบนตัวอย่างทดสอบในอัตราการกดเท่ากับ 0.05 นิ้ว (1.27 มิลลิเมตรต่อ นาที) 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 การตั้งให้แท่งกดอยู่ตรงพอดีกับรูตรงกลางของน้ำหนักรีดทับ

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)

$$w = \frac{W1 - W2}{W2} * 100$$

เมื่อ	W	คือ	ค่าความชื้นในวัสดุ เป็นร้อยละ
	W1	คือ	น้ำหนักของวัสดุเปียก เป็นกรัม
	W2	คือ	น้ำหนักของวัสดุแห้ง เป็นกรัม



รูปที่ 4 การทดสอบแรงกดที่ระยะจมนต่างๆ ของแท่งกบดินตัวอย่างทดสอบ

4.2 การคำนวณความหนาแน่นเปียก (Wet Density)

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

เมื่อ ρ_t คือความหนาแน่นเปียก เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

W_t คือน้ำหนักของวัสดุบดอัดในแบบเหล็ก เป็นกรัม

V คือปริมาตรของวัสดุบดอัดในแบบเหล็กหรือปริมาตรของแบบ เหล็กเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

4.3 การคำนวณความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)

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

เมื่อ ρ_d คือความหนาแน่นแห้ง เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ρ_t คือความหนาแน่นเปียก เป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

w คือความชื้น 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 ของวัสดุเป็นการเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงกดของวัสดุ กับค่าหน่วยแรงกดของหินคลุกมาตรฐาน (Standard Unit Load) ที่ระยะจมของแท่งกดเท่ากับ 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว ตามลำดับ ในการใช้งานกำหนดค่าหน่วยแรงกดของหินคลุกมาตรฐานไว้ดัง ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าหน่วยแรงกดของหินคลุกมาตรฐาน

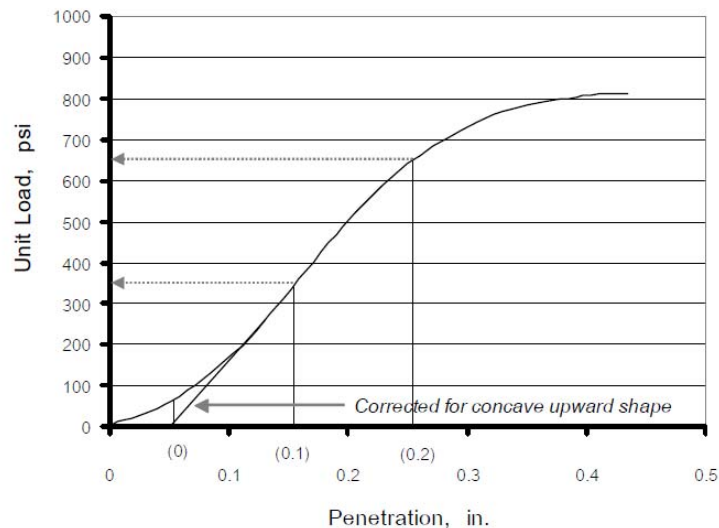
ระยะจมของแท่งกด (นิ้ว)	หน่วยแรงกดของหินคลุกมาตรฐาน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)
0.1 (2.54มิลลิเมตร)	1,000 (70.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
0.2 (5.08มิลลิเมตร)	1,500 (105.46 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
0.3 (7.62มิลลิเมตร)	1,900 (133.59 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
0.4 (10.16มิลลิเมตร)	2,300 (161.71 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
0.5 (12.70มิลลิเมตร)	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 แต่ถ้ามีลักษณะหงายขึ้น ซึ่งเกิดจากการอ่อนยุบที่ผิวหน้าของตัวอย่างในขณะแช่น้ำต้อง ทำการปรับแก้เส้นแสดงความสัมพันธ์โดยการลากเส้นตรงให้สัมผัสกับแนวที่ชันที่สุด ตัดแกนนอนที่จุดใดให้ถือว่าจุดดังกล่าวเป็นจุดศูนย์ใหม่ของแกนนอนพร้อมกับเปลี่ยนตำแหน่งสเกลใหม่ให้ถูกต้องดังแสดงในรูปที่ 5 แล้วจึงดำเนินการหาค่า CBR ต่อไป



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดและระยะจม

การเปรียบเทียบค่า CBR มีข้อพิจารณา ดังนี้

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 ให้ทำการเตรียมตัวอย่าง

ทดสอบใหม่

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

5.2 เขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งเป็นแกนตั้งและค่า CBR เป็นแกนนอน เมื่อได้ค่า CBR ของทั้งสามตัวอย่างแล้วดังแสดงในรูปที่ 7 เพื่อนำไปหาค่า CBR ที่ร้อยละของการบดอัดหรือความหนาแน่นที่ต้องการต่อไป

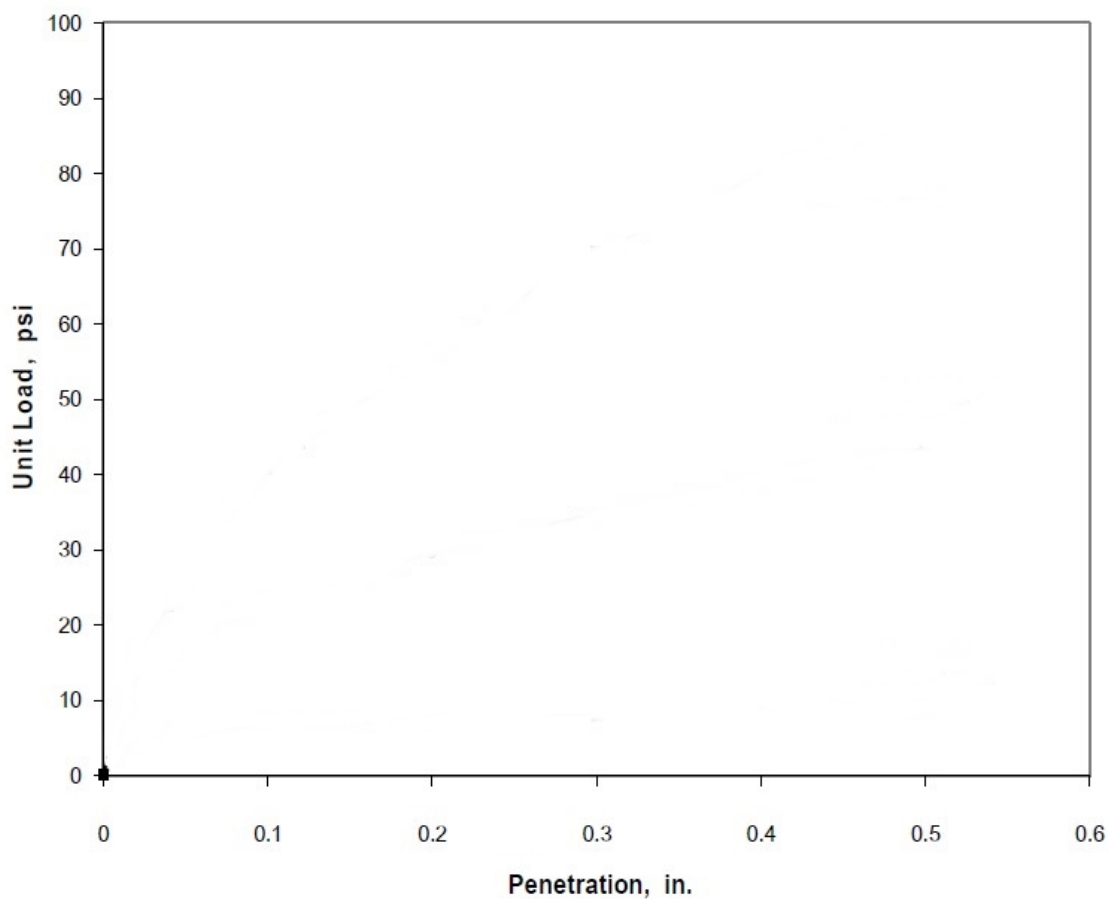
5.3 ค่าการบวมตัวเป็นร้อยละ

6. เอกสารอ้างอิง

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

Moisture Content and Unit Weight of Test Sample										
Description		Mold No. 1			Mold No. 2			Mold No. 3		
No. of Layers										
No. of Blows per										
Condition of Sample		Before Soaking	After Soaking		Before Soaking	After Soaking		Before Soaking	After Soaking	
Wt. Wet Sample +										
Wt.ofMold g										
Ht.ofSample cm										
Vol.ofSample cm ³										
WetDensity g/cm ³										
Moisture Content										
Can No.		B1	C1		B2	C2		B3	C3	
Wt.WetSample+Can g										
Wt.DrySample+Can										
Wt.Water g										
Wt.Can g										
Wt.DrySample g										
MoistureContent %										
DryDensity										
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	%

Penetration Data										
Penetration	Penetration	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										
100										
150										
200										
250										
300										
350										
400										
450										
500										
750										
1000										
1250										



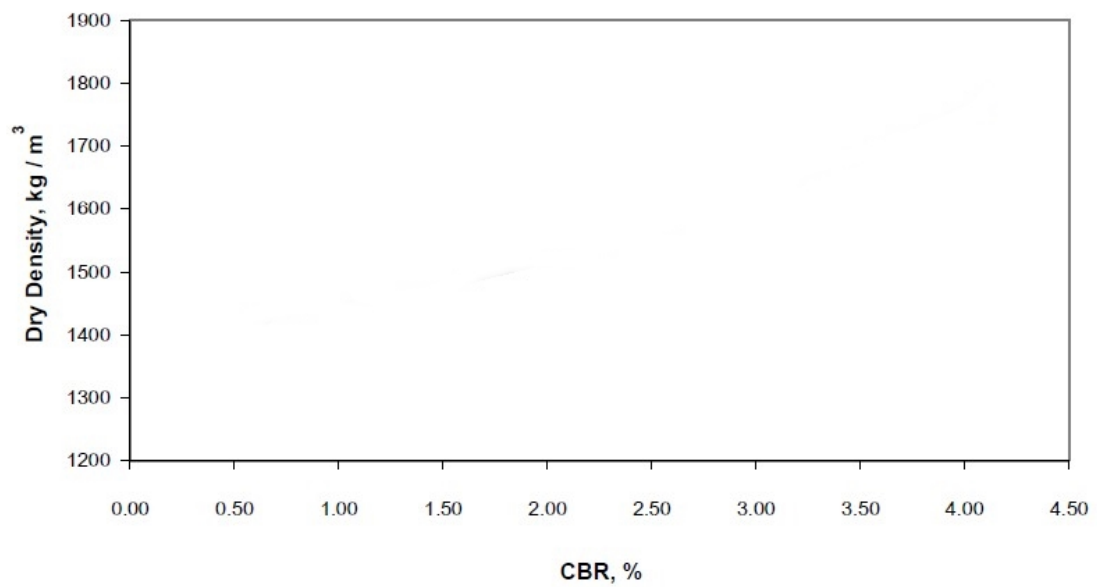
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดและระยะจม

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)					
2 (25 blows/layer)					
3 (10 blows/layer)					

ตารางที่ 4 ค่าความหนาแน่นแห้งและ CBR ของตัวอย่างทดสอบ

Mold No.	Dry Density kg/m ³	CBR %
1		
2		
3		



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและค่า CBR

มาตรฐานการทดสอบ ขีดจำกัดเหลวและขีดจำกัดพลาสติก

1. ขอบข่าย

ขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) เป็นปริมาณความชื้นในดินที่ทำให้ดินมีสภาพเหมือนของไหลสามารถไหลตัวได้ด้วยน้ำหนักของตัวเอง หรือเป็นปริมาณความชื้นที่ทำให้ดินในเครื่องมือทดลอง Liquid Limit Device ไหลมาชนกันเป็นแนวยาว 12.7 มิลลิเมตร ($\frac{1}{2}$ นิ้ว) เมื่อทำการเคาะเครื่องมือทดลองโดยมีระยะตกแบบอิสระสูง 10 มิลลิเมตร และได้จำนวนครั้งการเคาะเท่ากับ 25 ครั้งพอดีขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) เป็นปริมาณความชื้นในดินที่ทำให้ดินเปลี่ยนจากสภาพยึดหยุ่นตัวสมบูรณ์หรือพลาสติกเป็นกึ่งของแข็งที่มีลักษณะยึดหยุ่นตัวน้อยลง 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 ($4\frac{1}{8}$ 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 กระบอกฉีดยา



รูปที่ 1 อุปกรณ์ทดสอบขีดจำกัดเหลว

3. วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.1.1 การเตรียมตัวอย่างแบบเปียก (Wet Preparation) ถ้าไม่ได้มีการกำหนดให้เตรียมตัวอย่างแบบแห้ง ให้ใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างแบบเปียก ดังนี้

3.1.1.1 นำตัวอย่างแช่น้ำเพื่อทำให้ดินที่จับตัวกันเป็นก้อนแยกตัวจากกันเป็นขนาดเม็ดตามธรรมชาติ 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 จนแห้งพอที่จะใช้ค้อนยางทุบเพื่อทำให้ดินที่จับตัวเป็นก้อนแยกออกจากกันเป็นขนาดเม็ดตามธรรมชาติโดยไม่ทำให้เม็ดดินแตกไปด้วย

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 โดยใช้ด้ามของเครื่องมือปาดร่องดินวัดระยะตกกระทบของถ้วยทองเหลืองดังกล่าวและปรับสกรูยึดถ้วยทองเหลืองในตำแหน่งที่เหมาะสมจนกระทั่งมีระยะตามที่กำหนด

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 ใช้กระบอกลูกเหล็กเติมลงไปจนมีความชื้นเพิ่มขึ้น 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

3.3 การทดสอบขีดจำกัดพลาสติก

3.3.1 แบ่งตัวอย่างดินส่วนหนึ่งจากการเตรียมตัวอย่างในข้อ 3.1 ประมาณ 20 กรัม แผ่กระจายดินออกสลับกับการนำมารวมกันเป็นก้อนเพื่อลดปริมาณความชื้นในดินลงจนกระทั่งไม่ติดมือเมื่อนำมาปั้น

3.3.2 แบ่งตัวอย่างดินประมาณ 1.5 ถึง 2.0 กรัม นำไปคลึงด้วยฝ่ามือหรือนิ้วมือบนแผ่นกระจกในอัตรา 80 ถึง 90 ครั้ง (คลึงไปและกลับ) ต่อนาที จนเป็นเส้นขนาดสม่ำเสมอมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร ในเวลาไม่เกิน 2 นาที ถ้าไม่ปรากฏรอยแตกที่ผิวของดิน ให้แผ่กระจายดินนั้นออกและนำไปคลึงเป็นเส้นใหม่อีกครั้ง จนกระทั่งเกิดรอยแตกขึ้นที่ผิวดินพอดีดังแสดงในรูปที่ 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 มาตรฐานการทดสอบความชื้นด้วยตู้อบไมโครเวฟ 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
	W1	คือ	น้ำหนักของวัสดุเปียก เป็นกรัม
	W2	คือ	น้ำหนักของวัสดุแห้ง เป็นกรัม

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

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

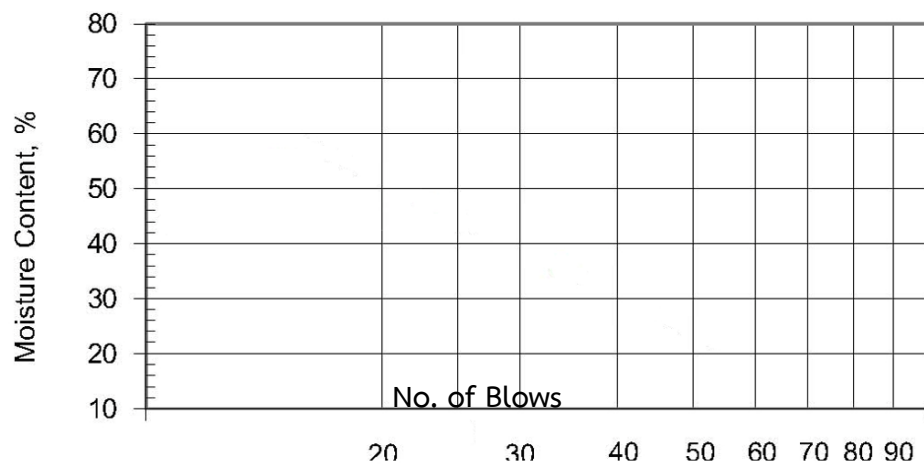


รูปผนวกที่ 1 ทดสอบการกระดอนบนแท่นยางของอุปกรณ์ทดสอบ Liquid Limit

LIQUID LIMIT

Can No.	1	2	3	4	5
No. of Blows					
Wt. Can + Wet Soil g					
Wt. Can + Dry Soil g					
Wt. Can g					
Wt. Water g					
Wt. Dry Soil g					
Moisture Content %					

FLOW CURVE



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

PLASTIC LIMIT

Can No.	1	2	3	4
Wt. Can + Wet Soil g				
Wt. Can + Dry Soil g				
Wt. Can g				
Wt. Water g				
Wt. Dry Soil g				
Moisture Content %				
Average Moisture Content	%			

มาตรฐานการทดสอบ การบดอัดแบบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ

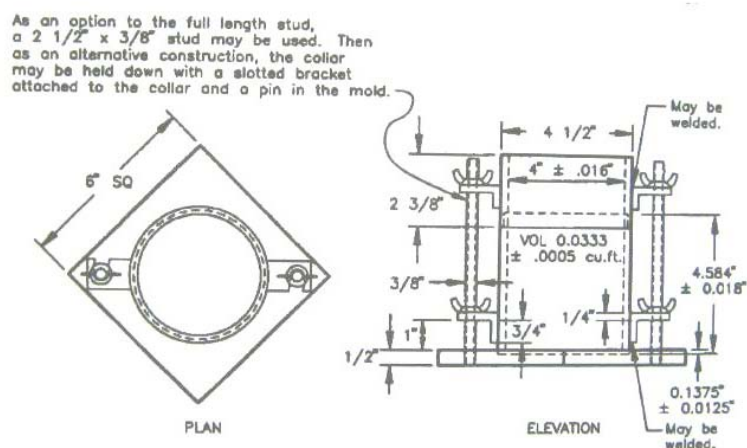
1. ขอบข่าย

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

2. เครื่องมือ

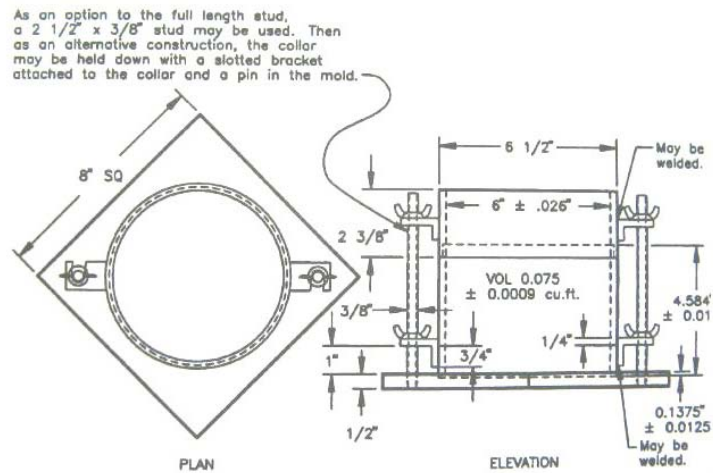
2.1 แบบเหล็ก (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งรูปทรงกระบอกกลวงมี 2 ขนาดดังนี้

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



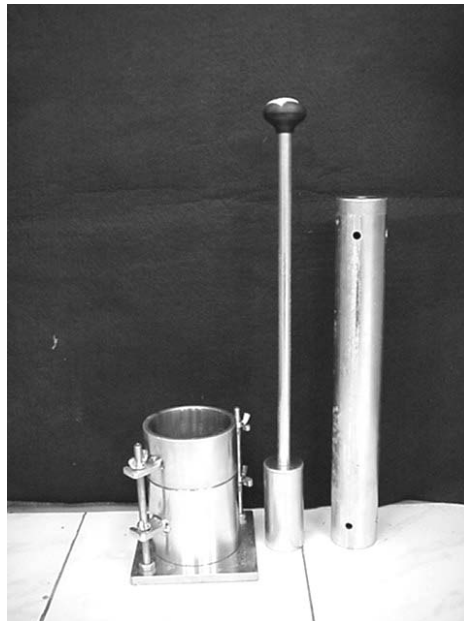
รูปที่ 1 แบบเหล็ก 4 นิ้ว

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 ($2,124 + 25$ 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 โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดคละของตัวอย่างดิน ดังแสดงในตารางที่ 2

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

3.4 ประกอบแบบเหล็ก ปลูกเหล็ก ยึดติดกับฐานให้เรียบร้อย นำไปวางบนพื้นที่มีลักษณะแข็ง เช่น แผ่นคอนกรีตที่มีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 90 กิโลกรัม และยึดติดกับพื้นนั้นให้แน่น

3.5 แบ่งการบดอัดเป็น 3 ชั้น โดยภายหลังการบดอัดแล้วดินแต่ละชั้นควรมีความหนาโดยประมาณใกล้เคียงกัน ก่อนการบดอัดในแต่ละชั้นให้ใส่ตัวอย่างลงในแบบเหล็กและปรับให้มีความหนาสม่ำเสมอเท่ากันตลอด กระทั่งเบาๆ ด้วยค้อนเพื่อปรับตัวอย่างจนอยู่ในสภาพที่ไม่หลวม ทำการบดอัดตามวิธีที่กำหนดจนทั้งพื้นที่ ภายหลังการบดอัดดินในแต่ละชั้นเสร็จ ให้ทำการตรวจสอบและตัดดินที่ติดอยู่บริเวณด้านข้างของแบบเหล็กและยังไม่ได้รับการบดอัดออกไปก่อน ต่อจากนั้นจึงใส่ตัวอย่างและดำเนินการบดอัดดินในชั้นถัดไปจนเสร็จสิ้นชั้นสุดท้าย

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

ตารางที่ 2 วิธีการบดอัดดินแบบมาตรฐานและการใช้งาน

วิธี	เส้นผ่านศูนย์กลางแบบเหล็กนิ้ว	จำนวนชั้น	จำนวนครั้งต่อชั้น	การเตรียมตัวอย่าง	ปริมาณตัวอย่างโดยประมาณ กิโลกรัม	การใช้งาน
A	4	5	25	ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4	15	วัสดุข้างสะสมบนตะแกรงเบอร์ 4 เท่ากับหรือไม่เกินร้อยละ 20
B	4	5	25	ร่อนผ่านตะแกรง $\frac{3}{8}$ นิ้ว	15	วัสดุข้างสะสมบนตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่าร้อยละ 20 และวัสดุข้างสะสมบนตะแกรง $\frac{3}{8}$ นิ้ว เท่ากับหรือไม่เกินร้อยละ 20
C	6	5	56	ร่อนผ่านตะแกรง $\frac{3}{4}$ นิ้ว	30	วัสดุข้างสะสมบนตะแกรง $\frac{3}{8}$ นิ้ว มากกว่าร้อยละ 20 และวัสดุข้างสะสมบนตะแกรง $\frac{3}{8}$ 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 ในกรณีที่มิรุหรือโพรงก็อัดดินลงไปด้วยมือจนเต็มช่องว่างดังกล่าว

3.8 ถอดแบบเหล็กออกจากฐาน นำแบบเหล็กที่มีดินบดอัดไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าไว้จากนั้นดันก้อนตัวอย่างดินในแบบเหล็กออกด้วยเครื่องดันตัวอย่าง 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 ปริมาตรของวัสดุบดอัดในแบบเหล็กหรือปริมาตรของแบบเหล็ก เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

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

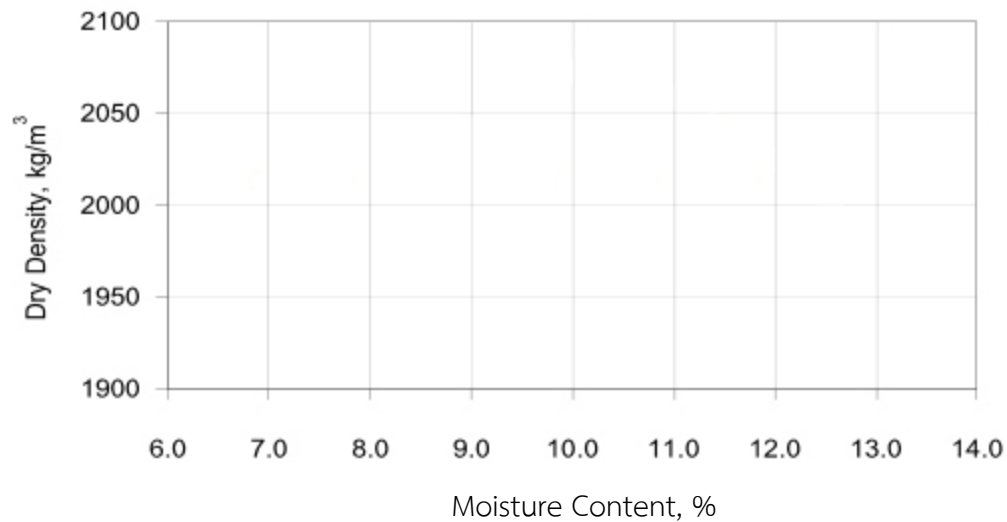
5.1 เขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งเป็นแกนตั้งและความชื้นเป็นแกนนอน ของค่าที่ได้จากการทดลอง และลากเส้นโค้งการบดอัดผ่านจุดดังกล่าว เพื่อหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density, ρ_{dmax}) และความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ในสภาพดังกล่าว

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D1557-02a^{๕1}

MODIFIED COMPACTION TEST					
Method of Compaction C		Mold Volume cm ³			
Moisture Content Data					
Determination No.	1	2	3	4	5
Can No.	A1	A2	A3	A4	A5
Wet Soil + Can g					
Dry Soil + Can g					
Wt. of Can g					
Wt. of Water g					
Wt. of Dry Soil g					
Moisture Content %					
Density Data					
Wt. of Soil + Mold g					
Wt. of Mold g					
Wt. of Soil g					
Wet Density kg/m ³					
Dry Density kg/m ³					

COMPACTION CURVE



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

มาตรฐานการทดสอบ การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการ

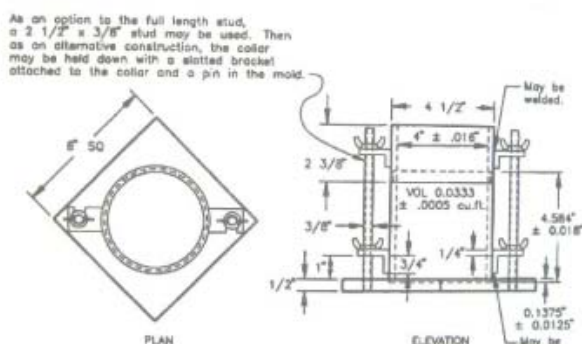
1. ขอบข่าย

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

2. เครื่องมือ

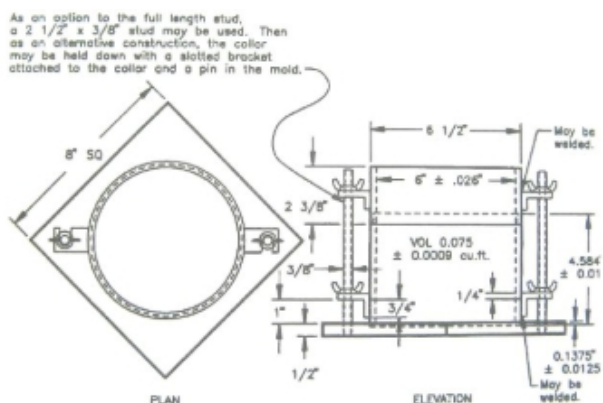
2.1 แบบเหล็ก (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งรูปทรงกระบอกกลวงมี 2 ขนาดดังนี้

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



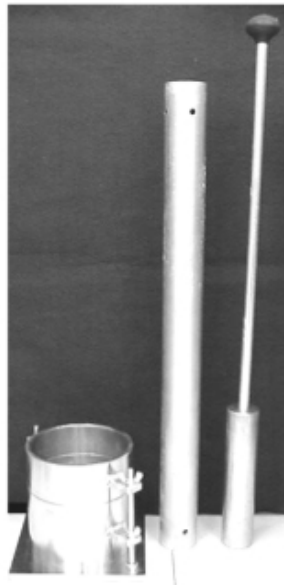
รูปที่ 1 แบบเหล็ก 4 นิ้ว

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 ($2,124 + 25$ 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 $10 + 0.02$ ปอนด์ ($4.54 + 0.01$ กิโลกรัม) และมีระยะยกสูงจากผิวหน้าของตัวอย่างเท่ากับ $18 + 0.05$ นิ้ว ($457.2 + 1.3$ 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 ถาดช้อนตัก ตัวอย่าง เป็นต้น

3. วิธีการทดลอง

3.1 นำตัวอย่างดินไปผึ่งให้แห้งในอากาศ หรืออบในตู้อบที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส จนแห้ง ถ้าเม็ดดินมีการจับตัวกันเป็นก้อนจนมีขนาดใหญ่ ควรใช้ค้อนยางทุบให้เม็ดดินเหล่านั้นแยกออกจากกัน

3.2 ร่อนตัวอย่างดินผ่านตะแกรงตามวิธี A, B หรือ C โดยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดคละของตัวอย่างดิน ดังแสดงในตารางที่ 2

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

3.4 ประกอบแบบเหล็ก ปลอกเหล็ก ยึดติดกับฐานให้เรียบร้อย นำไปวางบนพื้นที่มีลักษณะแข็ง เช่น แผ่นคอนกรีตที่มีน้ำหนักไม่น้อยกว่า 90 กิโลกรัม และยึดติดกับพื้นนั้นให้แน่น

3.5 แบ่งการบดอัดเป็น 5 ชั้น โดยภายหลังการบดอัดแล้วดินแต่ละชั้นควรมีความหนาโดยประมาณใกล้เคียงกัน ก่อนการบดอัดในแต่ละชั้นให้ใส่ตัวอย่างลงในแบบเหล็กและปรับให้มีความหนาสม่ำเสมอเท่ากันตลอด กระทั่งเบาๆ ด้วยค้อนเพื่อปรับตัวอย่างจนอยู่ในสภาพที่ไม่หลวม ทำการบดอัดตามวิธีที่กำหนดจนทั่วพื้นที่ ภายหลังการบดอัดดินในแต่ละชั้นเสร็จ ให้ทำการตรวจสอบและตัดดินที่ติดอยู่บริเวณด้านข้างของแบบเหล็กและยังไม่ได้รับการบดอัดออกไปก่อน ต่อจากนั้นจึงใส่ตัวอย่างและดำเนินการบดอัดดินในชั้นถัดไปจนเสร็จสิ้นชั้นสุดท้าย

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

ตารางที่ 2 วิธีการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานและการใช้งาน

วิธี	เส้นผ่านศูนย์กลางแบบเหล็ก นิ้ว	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 $\frac{3}{8}$ นิ้ว มากกว่าร้อยละ 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 ในกรณีที่มีรูหรือโพรงก็กดดินลงไปด้วยมือจนเต็มช่องว่างดังกล่าว

3.8 ถอดแบบเหล็กออกจากฐาน นำแบบเหล็กที่มีดินบดอัดไปชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าไว้จากนั้นดันก้อนตัวอย่างดินในแบบเหล็กออกด้วยเครื่องดันตัวอย่าง 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

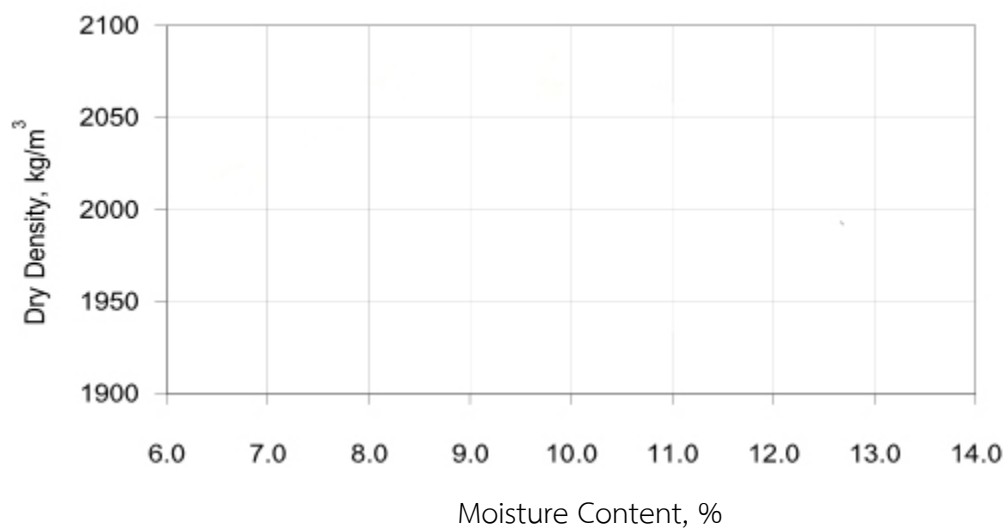
5.1 เขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งเป็นแกนตั้งและความชื้นเป็นแกนนอนของค่าที่ได้จากการทดลอง และลากเส้นโค้งการบดอัดผ่านจุดดังกล่าว เพื่อหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density, ρ_{dmax}) และความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ในสภาพดังกล่าว

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D1557-02a^{๕1}

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					
Dry Soil + Can g					
Wt. of Can g					
Wt. of Water g					
Wt. of Dry Soil g					
Moisture Content %					
Density Data					
Wt. of Soil + Mold g					
Wt. of Mold g					
Wt. of Soil g					
Wet Density kg/m ³					
Dry Density kg/m ³					

COMPACTION CURVE



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

มาตรฐานการทดสอบ
การหาค่าความแน่นของวัสดุบดอัดโดยวิธีแทนที่ด้วยทราย

1. ขอบข่าย

เป็นการหาค่าความแน่นของวัสดุบดอัดโดยวิธีแทนที่ด้วยทราย ใช้กับวัสดุที่มีขนาดโตสุดไม่เกิน 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 ส้อม

2.7 ค้อน

2.8 ช้อนตักดิน

2.9 กล้องหรือถุงพลาสติกกันความชื้น 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) ซึ่งประกอบเข้ากับกรวยโดยเปิดวาล์วให้ทรายไหลลงในขวด เมื่อทรายเต็มขวดแล้วจึงปิดวาล์ว แล้วเททรายที่เหลือออกให้หมด ชั่งน้ำหนัก

4. วาง plate บนโมลใบที่หนึ่ง จากนั้นนำขวด Sand Cone ไปวางคว่ำโดยหมุนขวด Sand Cone ให้อยู่ในตำแหน่งที่แนบสนิท (ทำเครื่องหมายระหว่างกรวยและ Plate ในตำแหน่งที่แนบสนิทอย่างน้อย 3 ตำแหน่ง เพื่อนำไปใช้งานในครั้งต่อไป)

5. เปิดวาล์วให้ทรายไหลลงโมลให้สังเกตเมื่อทรายในขวดหยุดไหลแล้วปิดวาล์วนำขวด Sand Cone ไปชั่งน้ำหนัก คำนวณน้ำหนักของทรายที่ใช้ (W_1)

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

7. คำนวณหาน้ำหนักของทรายในกรวย + Plate

สมมุติ น้ำหนักทรายในกรวย + Plate = x กรัม

เนื่องจากกรวย Plate และทรายที่ใช้เป็นชุดเดียวกัน ทำให้ความแน่นของทรายในการทดลองทั้ง 2 ครั้งต้องเท่ากันเสมอ ดังนั้น

$$\text{โมลใบที่ 1} \quad \gamma d_1 = \frac{W_1 - x}{V_1} \quad \text{เป็นสมการที่ 1}$$

$$\text{โมลใบที่ 2} \quad \gamma d_2 = \frac{W_2 - x}{V_2} \quad \text{เป็นสมการที่ 2}$$

$$\gamma d_1 = \gamma d_2$$

$$\frac{W_1 - x}{V_1} = \frac{W_2 - x}{V_2}$$

$$x = \frac{V_1 W_2 - V_2 W_1}{V_1 - V_2}$$

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

จะได้

$$\gamma d = \frac{W_1 \left(\frac{V_1 W_2 - V_2 W_1}{V_1 - V_2} \right)}{V_1}$$

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

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

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

9. บันทึกค่าความแน่นของทรายเอาไว้ แล้วทดลองซ้ำใหม่อีก 2 ครั้ง แล้วเปรียบเทียบค่าความแน่นของทรายทั้ง 3 ค่า โดยตรวจสอบค่าทางสถิติซึ่งค่า 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 ขุดหลุมลงไปแนวตั้งฉากกับ Plate ความลึกตามตารางดังต่อไปนี้

ขนาดโตสุดของวัสดุ (นิ้ว)	ความลึกต่ำสุด (นิ้ว)
1/2	2.6
1	3.9
1 1/2	5.2

(ตามปกติเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงาน ให้ใช้ความลึกประมาณ 5.2 นิ้ว)



รูปที่ 2 การทดสอบความแน่นในสนาม

3.5 แต่งกันหลุมให้เรียบ เก็บตัวอย่างวัสดุรวมกันในภาชนะกันความชื้น คว่ำขวด SandCone 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

ปริมาตรของหลุมเจาะ = $\frac{\text{น้ำหนักก่อนการทดสอบ} - \text{น้ำหนักหลังการทดสอบ} - X}{\text{ความหนาแน่นทรายที่ Calibrate}}$

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

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 _____ Lab No S _____
 LOCATION _____
 TESTED BY _____ DATE _____
 CHECKED BY _____ DATE _____

Sand Calibration _____ g./cm³
 Lab. Max. Dry Density _____ kg./m³
 Opt. Moisture Content _____ %

Test Hole No.					
Station					
Offset from C _L					
Elevation					
1 Initial Wt. Sand	g.				
2 Wt. Sand Residue	g.				
3 Wt. Sand Used	(1)-(2) g.				
4 Sand Calibration	g./cm ³				
5 Vol. Sand Used	(3)/(4) cm ³				
6 Vol. Sand in Cone	cm ³				
7 Vol. Test Hole	(5)-(6) cm ³				
8 Wt. Wet Total Soil	g.				
9 Field Soil Wet Density	(8)/(7)*1000 kg./cm ³				
10 Field Soil Dry Density	(9)/(1+(16)/100) kg./cm ³				
11 % Compaction	%				
<u>Field Moisture Content</u>					
12 Can No.					
13 Wt. Can + Wet Soil	g.				
14 Wt. Can + Dry Soil	g.				
15 Wt. Can	g.				
16 Field Moisture Content	((13)-(14))/((14)-(15))*100 %				
17 ±OMC	%				

7. ระบบติดตามประเมินผล

กระบวนการ	มาตรฐาน/คุณภาพงาน	วิธีการติดตามประเมินผล	ผู้ติดตาม/ ประเมินผล	ข้อเสนอแนะ
1.การหาความชื้นโดยให้ความร้อนโดยตรง	American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : D 4959-94	ได้ค่าปริมาณน้ำ (ความชื้น) ตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด	ผสภ., ตว.พภ., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	
2. การหาความชื้นโดยไม่โครเวฟ	American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : D 4959-94	ได้ค่าปริมาณน้ำ (ความชื้น) ตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด	ผสภ., ตว.พภ., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	
3. การวิเคราะห์ขนาดผลของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ	American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 136-05	- ได้ค่าร้อยละของมวลรวมผ่านตะแกรง ตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด - ได้ค่าโมดูลัสความละเอียด ตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด	ผสภ., ตว.พภ., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	
4. การหาค่าความหนาแน่น ความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของมวลรวมหยาบ	American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 127-01	- ได้ค่าความถ่วงจำเพาะ ตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด - ได้ค่าความหนาแน่น ตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด - ได้ค่าการดูดซึมตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด	ผสภ., ตว.พภ., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม ผสภ., ตว.พภ.,	

กระบวนการ	มาตรฐาน/คุณภาพงาน	วิธีการติดตามประเมินผล	ผู้ติดตาม/ ประเมินผล	ข้อเสนอแนะ
5. การหาค่าความหนาแน่น ความ ถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมของมวล รวมละเอียด	American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 128-01	- ได้ค่าความถ่วงจำเพาะ ตาม หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด - ค่าความหนาแน่น ตามหลักเกณฑ์ หรือมาตรฐานที่กำหนด - ค่าการดูดซึม ตามหลักเกณฑ์หรือ มาตรฐานที่กำหนด	นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	
6. การหาหน่วยน้ำหนักและปริมาณ ช่องว่างของมวลรวม	American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 29/C 29M – 97	- ได้ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวม ตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่ กำหนด - ค่าปริมาณช่องว่างของมวลรวมตาม หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด	ผสก., ตว.พก., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	
7. การหาอินทรีย์สารเจือปนในมวล รวมละเอียดสำหรับคอนกรีต	American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 40 – 04	- ได้สีกับสารละลายตามหลักเกณฑ์ หรือมาตรฐานที่กำหนด - ได้สีกับกระจกตามหลักเกณฑ์หรือ มาตรฐานที่กำหนด	ผสก., ตว.พก., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	
8. การหาความทนทานต่อการขัดสี ของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่อง ลอสมองเจลีส์	American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 131-03 American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 535-03	- ได้ความทนทานต่อการขัดสีตาม หลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด	ผสก., ตว.พก., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	

กระบวนการ	มาตรฐาน/คุณภาพงาน	วิธีการติดตามประเมินผล	ผู้ติดตาม/ ประเมินผล	ข้อเสนอแนะ
9. การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	- สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย : ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต - Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete : ACI 211.1-91	- ทดลองผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนผสมที่คำนวณได้ เพื่อตรวจสอบค่ายุบตัวและความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด และทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว หากพบว่ามีเหมาะสมให้นำไปใช้งานได้ แต่ถ้าไม่เหมาะสม เช่น ค่ายุบตัวไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดมีการแยกตัวของวัสดุผสม หรือกำลังอัดต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ให้ออกแบบส่วนผสมใหม่	ผสภ., ตว.พภ., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	
10. การทดสอบความชื้นเหลวของคอนกรีต โดยการหาค่าความยุบตัว	American Society of Testing and Materials; ASTM Standard : C 143-03	- ได้ค่ายุบตัว ตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด	ผสภ., ตว.พภ., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	
11. การทำตัวอย่างแท่งคอนกรีตและการบ่ม	- มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต มอก.409 – 2525 - American Society of Testing and Materials; ASTM C192 - British Standard Institute; BS 1881 : Part 3	- การบ่มตัวอย่างแท่งคอนกรีตให้บ่มด้วยน้ำ โดยแช่แท่งคอนกรีตในน้ำจนมิดและรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 21 – 25 องศาเซลเซียส จนกว่าจะถึงเวลาทดสอบที่กำหนดไว้	ผสภ., ตว.พภ., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	

กระบวนการ	มาตรฐาน/คุณภาพงาน	วิธีการติดตามประเมินผล	ผู้ติดตาม/ ประเมินผล	ข้อเสนอแนะ
12. การทดสอบกำลังอัดแท่งคอนกรีต	- ผลการวิจัยเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังอัดคอนกรีตเมื่อหล่อด้วยแบบ CUBE และแบบ CYLINDER ส่วนทดลองและตรวจสอบด้านวิศวกรรม สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน พ.ศ.2544 - มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่ง คอนกรีต มอก.409-2525 - American Society of Testing and Materials; ASTM C 192 - British Standard Institute; BS 1881 : Part 3	- ได้ค่ากำลังอัดแท่งคอนกรีตตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด	ผสภ., ตว.พภ., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	
13. การหาขนาดผลของดินด้วย ตะแกรง	American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D 422-63 (Reapproved 2002)	- ได้ค่าร้อยละของดินผ่านตะแกรงตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด - ได้แผนภูมิการกระจายตัวของเม็ดดินตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด	ผสภ., ตว.พภ., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	
14. ความถ่วงจำเพาะของดิน	American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D 854-02	- ได้ความถ่วงจำเพาะของดิน ตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด	ผสภ., ตว.พภ., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	

กระบวนการ	มาตรฐาน/คุณภาพงาน	วิธีการติดตามประเมินผล	ผู้ติดตาม/ ประเมินผล	ข้อเสนอแนะ
15. การหาค่า California Bearing Ratio (CBR)	American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D 1883-99	- เขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงกดเป็นแกนตั้งและระยะจมของแท่งกดเป็นแกนนอนของทั้งสามตัวอย่าง ถ้าความสัมพันธ์มีลักษณะโค้งคว่ำ ไม่ต้องทำการปรับแก้ แต่ถ้ามีลักษณะหงายขึ้นซึ่งเกิดจากการอ่อนยุ่ยที่ผิวหน้าของตัวอย่างในขณะแช่น้ำต้อง ทำการปรับแก้เส้นแสดงความสัมพันธ์โดยการลากเส้นตรงให้สัมผัสกับแนวที่ชันที่สุด ตัดแกนนอนที่จุดใดให้ถือว่าจุดดังกล่าวเป็นจุดศูนย์ใหม่ของแกนนอน พร้อมกับเปลี่ยนตำแหน่งสเกลใหม่ให้ถูกต้อง	ผสภ., ตว.พภ., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	
16. ซีดจำกัดเหลวและซีดจำกัดพลาสติก	American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D 4318-00	- ได้ค่าซีดจำกัดเหลว ตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด - ได้ค่าซีดจำกัดพลาสติก ตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด	ผสภ., ตว.พภ., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	
17. การบดอัดแบบมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ	American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D1557-02a ¹	เขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งเป็นแกนตั้งและความชื้นเป็นแกนนอน ของค่าที่ได้จากการทดลอง และลากเส้นโค้งการบดอัดผ่านจุดดังกล่าว เพื่อหาค่าความ	ผสภ., ตว.พภ., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	

กระบวนการ	มาตรฐาน/คุณภาพงาน	วิธีการติดตามประเมินผล	ผู้ติดตาม/ ประเมินผล	ข้อเสนอแนะ
18. การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานในห้องปฏิบัติการ	American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D1557-02a1	หนาแน่นแห้งสูงสุด(Maximum Dry Density, ρ_{dmax}) และความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ในสภาพดังกล่าว เขียนแผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งเป็นแกนตั้งและความชื้นเป็นแกนนอน ของค่าที่ได้จากการทดลอง และลากเส้นโค้งการบดอัดผ่านจุดดังกล่าว เพื่อหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density, ρ_{dmax}) และความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) ในสภาพดังกล่าว	ผสภ., ตว.พภ., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	
19. การหาค่าความแน่นของวัสดุบดอัดโดยวิธีแทนที่ด้วยทราย	American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard : D 1556-00	- ได้ความหนาแน่นแห้งของวัสดุบดอัด ตามหลักเกณฑ์หรือมาตรฐานที่กำหนด	ผสภ., ตว.พภ., นายช่างชลประทาน, ช่างก่อสร้าง, ช่างฝีมือสนาม	

8. เอกสารอ้างอิง

8.1 มาตรฐานการทดสอบวัสดุด้านวิศวกรรม สำหรับหน่วยงานทดสอบประจำภูมิภาคของกรมชลประทาน ส่วนวิจัยและพัฒนาด้านวิศวกรรม สำนักวิจัยและพัฒนากรมชลประทาน (ปรับปรุง) 17 พฤศจิกายน 2557

8.2 American Society of Testing and Materials ; ASTM Standard

ภาคผนวก

กระบวนการทดสอบวัสดุโดยสำนักวิจัยและพัฒนา

ลำดับ ที่	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา (วัน)	รายละเอียดงาน	ผู้รับผิดชอบ
1.	เริ่มกระบวนการ	1	ฝ่ายก่อสร้าง/ผู้รับจ้าง ส่งวัสดุเข้ามา	ฝ่ายก่อสร้าง
2.	มอบหมายงานให้กลุ่มงานในสังกัด ไปดำเนินงาน	1	แจ้งมอบหมายงานให้งาน ตรวจสอบและวิเคราะห์ไป ดำเนินการ	วศ.พก.
3.	ตรวจสอบความถูกต้อง/ปริมาณ/ จำนวน วัสดุที่ส่งมา	1	งานตรวจสอบและวิเคราะห์ฯ	ตว.พก.
4.	สำนักงานก่อสร้างชลประทาน ขนาดกลาง	1	จัดทำบันทึกเพื่อส่งให้ สำนักวิจัยฯ ดำเนินการต่อไป	ผสก.
5.	สำนักวิจัยฯ	1	รับเรื่องและวัสดุ	สำนักวิจัยฯ
6.	ดำเนินการทดสอบวัสดุ	ขึ้นอยู่กับ วัสดุที่ ดำเนินการ ทดสอบ	ดำเนินการตรวจสอบ/ ทดสอบวัสดุ	สำนักวิจัยฯ
7.	จัดทำรายงานผลการทดสอบและ ส่งรายงานผลการทดสอบ	2	ส่งเอกสารรายงานผลการ ทดสอบ (โทรสารแจ้งเบื้องต้น)	สำนักวิจัยฯ
8.	ผส.วพ. ลงนามรับรองรายงานผล การทดสอบ	1	ผส.วพ. ลงนามรับรองรายงาน ผลการทดสอบและแจ้งผลการ ทดสอบให้แก่สำนักงาน ก่อสร้างชลประทานขนาดกลาง	สำนักวิจัยฯ

กระบวนการทดสอบวัสดุโดยสำนักวิจัยและพัฒนากระบวนการ

ลำดับ ที่	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา (วัน)	รายละเอียดงาน	ผู้รับผิดชอบ
1.		1	ฝ่ายก่อสร้าง/ผู้รับจ้าง ส่งวัสดุเข้ามา	ฝ่ายก่อสร้าง
2.		1	แจ้งมอบหมายงานให้งาน ตรวจสอบและวิเคราะห์ไป ดำเนินการ	วศ.พก.
3.		1	งานตรวจสอบและวิเคราะห์ฯ	ตว.พก.
4.		1	จัดทำบันทึกเพื่อส่งให้ สำนักวิจัยฯ ดำเนินการต่อไป	ผส.ก.
5.		1	รับเรื่องและวัสดุ	สำนักวิจัยฯ
6.		ขึ้นอยู่กับ วัสดุที่ ดำเนินการ ทดสอบ	ดำเนินการตรวจสอบ/ ทดสอบวัสดุ	สำนักวิจัยฯ
7.		2	ส่งเอกสารรายงานผลการ ทดสอบ (โทรสารแจ้งเบื้องต้น)	สำนักวิจัยฯ
8.		1	ผส.วพ. ลงนามรับรองรายงาน ผลการทดสอบและแจ้งผลการ ทดสอบให้แก่สำนักงาน ก่อสร้างชลประทานขนาดกลาง	สำนักวิจัยฯ

ภาคผนวก



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ สำนักวิจัยและพัฒนา ส่วนทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ โทร. ๐ ๒๕๕๔ ๐๓๐๒

ที่ สว. ๖๐๖๐ / ๑๕๕๕ วันที่ ๒๖ พฤศจิกายน ๒๕๕๘

เรื่อง ขอบรับปริมาณขั้นต่ำของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ที่ต้องการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เรียน อธช. ผ่าน รร.

๒๕๕๘/๕๘
๒๖/๑๑/๕๘

ตามที่กรมชลประทาน ได้กำหนดให้มีการทดสอบวัสดุในห้องปฏิบัติการ (Laboratory) ทุก รายการไว้ เพื่อให้ได้วัสดุที่มีคุณสมบัติตามคุณลักษณะเฉพาะ (Specifications) ที่กำหนด ประกอบกับระเบียบ สำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการพัสดุ พ.ศ. ๒๕๓๕ ข้อ ๗๑ (๒) กำหนดให้ต้องมีการตรวจรับพัสดุให้ถูกต้อง ครบถ้วนตามหลักฐานที่ตกลงกันไว้ สำหรับกรณีที่มีการทดลองหรือตรวจสอบในทางเทคนิคหรือ ทางวิทยาศาสตร์ จะเชิญผู้ชำนาญการหรือผู้ทรงคุณวุฒิเกี่ยวกับพัสดุนั้น มาให้คำปรึกษาหรือส่งพัสดุนั้น ไปทดลอง หรือตรวจสอบ ณ สถานที่ของผู้ชำนาญการหรือผู้ทรงคุณวุฒิก็ได้ นั้น

เพื่อให้การตรวจสอบคุณภาพเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้าง เป็นไปด้วย ความคล่องตัว รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้จ่ายงบประมาณ รายจ่ายประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๙ จึงเห็นควรปรับปริมาณขั้นต่ำของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่ต้องการ ทดสอบในห้องปฏิบัติการ ตามคำสั่งกรมชลประทานที่ ๒๔/๒๕๕๕ ลงวันที่ ๒๒ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๕ ดังนี้

๑. ปริมาณขั้นต่ำของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ที่ต้องการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

กำหนดไว้เดิม

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ ๑๖ มม. หรือเล็กกว่า กำหนดไว้ ๒ ต้น
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุมากกว่า ๑๖ มม. กำหนดไว้ ๔ ต้น

ขอปรับใหม่

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ ๑๖ มม. หรือเล็กกว่า กำหนดเป็น ๑๐ ต้น
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุมากกว่า ๑๖ มม. กำหนด ๔ ต้น (เท่าเดิม)

๒. เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ที่มีการจัดซื้อในปริมาณต่ำกว่าขั้นต่ำที่กำหนดใหม่ข้างต้น ให้เชิญ ผู้ชำนาญการมาทำการตรวจสอบตามระเบียบพัสดุฯ และลงนามรับรองไว้เป็นหลักฐาน โดยผู้ชำนาญการนั้นๆ จะต้องเป็นผู้อำนวยการโครงการ หรือหัวหน้าฝ่ายวิศวกรรม หรือหัวหน้าฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบ ชลประทาน หรือหัวหน้าฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม ของสำนักงานชลประทานที่ ๑ - ๑๗ หรือ หัวหน้าฝ่ายวิศวกรรม ของสำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดใหญ่ที่ ๑ - ๑๓ หรือหัวหน้าฝ่ายวิศวกรรม ของ สำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดกลางที่ ๑ - ๑๖ หรือหัวหน้าฝ่ายวิศวกรรม ของสำนักงานจัดรูปที่ดินจังหวัด หรือเจ้าหน้าที่โครงการผู้ผ่านการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ หลักสูตรการปฏิบัติงานทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพงาน ก่อสร้างในสนาม (จัดโดย สำนักวิจัยและพัฒนา) หรือเจ้าหน้าที่ของส่วนทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ สำนักวิจัยและพัฒนา ซึ่งจะต้องเป็นผู้ที่ได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาโยธาระดับภาคีวิศวกรขึ้นไป

๓. สำนักวิจัยและพัฒนา ได้จัดทำแบบฟอร์มรายงานการรับรองคุณภาพเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต กรณีให้ผู้ชำนาญการเป็นผู้ลงนามรับรอง สำหรับผู้ที่นำไปปฏิบัติงานแนบมาพร้อมนี้แล้ว

ผ่าน

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา หากเห็นชอบจะได้แจ้งผู้เกี่ยวข้องทราบและถือปฏิบัติต่อไป

ผ.ล.นท.

- เสนอตามระเบียบ

(นายประดัด กลัดเข็มเพชร)

ผ.ล.วพ.

(นายสุเทพ น้อยไพโรจน์)

อธช.

ผ.ล.นท.
ผ.ล.วพ.

ว่าที่ร้อยตรี

(ไพเจน มากสุวรรณ)

รท.

๒๖ พ.ย. ๒๕๕๘

รายงานการรับรองคุณภาพเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

กรณี ให้ผู้ชำนาญการเป็นผู้ลงนามรับรอง

โครงการ.....งาน.....ใบเบิก/สัญญาเลขที่.....

ลำดับ	รายการ	ลักษณะและคุณสมบัติทั่วไป (ผ่าน/ไม่ผ่าน)
๑	ชื่อผู้ทำ หรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน (ยี่ห้อ)	
๒	ชื่อขนาด	
๓	ชั้นคุณภาพ	
๔	ความยาว เมตร	
๕	มีผิวเรียบเกลี้ยง ไม่ปรี ไม่แตกร้าว ไม่มีสนิมขุม หรือตำหนิอื่นๆ ซึ่งมีผลเสียต่อการใช้งาน	
๖	มวลต่อเมตร.....กิโลกรัม/เมตร	

ผู้รับรอง

(.....)

ตำแหน่ง.....

หมายเหตุ

๑. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลหรือแบบเชิงกลที่สามารถอ่านค่าความละเอียดไม่น้อยกว่า ๑ กรัม
๒. เครื่องวัดตามยาว ความละเอียดไม่น้อยกว่า ๑ มิลลิเมตร
๓. การทดสอบหาค่ามวลต่อเมตรควรใช้ตัวอย่างเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ยาวประมาณ ๑.๐๐ เมตร
๔. ค่ามวลต่อเมตรต้องอยู่ในเกณฑ์กำหนดตาม มอก.๒๐ และ มอก.๒๔
๕. การสุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบให้อ้างอิงตาม มอก.๒๐ และ มอก.๒๔
โดยให้สุ่มตรวจเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ๑ เส้น ต่อเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ๑๐๐ เส้น
หรือเศษของ ๑๐๐ เส้น ทุกขนาด



บันทึกข้อความ

สวพ. 1369 / 2664

ธธ. 2091 / 58

๒๖ พ.ย. ๕๘

ส่วนราชการ สำนักวิจัยและพัฒนา ส่วนทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ โทร. ๐ ๒๕๕๔ ๐๓๐๒

๓๓ 12644 / 59

ที่ สวพ. ๑๓๕๙ / ๒๖๖๔

วันที่ ๒๖

พฤศจิกายน ๒๕๕๘

เรื่อง ขอบรับเพิ่มปริมาณชิ้นต่ำของปูนซีเมนต์ที่ต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

๐๖๕. ๖๕๘๘ / ๕๘

เรียน อธช. ผ่าน รธว.

๒๖/11/๕๘

18.804

ตามหนังสือสำนักวิจัยและพัฒนา ส่วนทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ ที่ สวพ. ๑๒๓๙ / ๒๕๕๘ ลงวันที่ ๒๐ ตุลาคม ๒๕๕๘ กรมฯ ให้ความเห็นชอบในการขอรับเพิ่มปริมาณชิ้นต่ำของปูนซีเมนต์ที่ต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และสำนักวิจัยและพัฒนา ได้แจ้งเวียนให้ผู้เกี่ยวข้องทราบและถือปฏิบัติแล้ว นั้น

เพื่อให้การตรวจสอบคุณภาพปูนซีเมนต์ ที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้าง เป็นไปด้วยความคล่องตัว รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สนับสนุนและสอดคล้องกับมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้จ่ายงบประมาณรายจ่ายประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๙ จึงเห็นสมควรขอรับเพิ่มปริมาณชิ้นต่ำของปูนซีเมนต์ ที่ต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

- กำหนดไว้เดิม ๑๐๐ ต้น

- ขอปรับใหม่ เป็น ๑๗๐ ต้น

- การจัดซื้อในปริมาณต่ำกว่าชิ้นต่ำที่กำหนดใหม่ข้างต้น ให้เชิญผู้ชำนาญการมาทำการตรวจสอบตามระเบียบพัสดุฯ และลงนามรับรองไว้เป็นหลักฐาน โดยผู้ชำนาญการนั้นๆ จะต้องเป็นผู้ชำนาญการโครงการ หรือหัวหน้าฝ่ายวิศวกรรม หรือหัวหน้าฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทาน หรือหัวหน้าฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม ของสำนักงานชลประทานที่ ๑ - ๑๗ หรือหัวหน้าฝ่ายวิศวกรรม ของสำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดใหญ่ที่ ๑ - ๑๓ หรือหัวหน้าฝ่ายวิศวกรรม ของสำนักงานก่อสร้างชลประทานขนาดกลางที่ ๑ - ๑๖ หรือหัวหน้าฝ่ายวิศวกรรม ของสำนักงานจัดรูปที่ดินจังหวัด หรือเจ้าหน้าที่โครงการผู้ผ่านการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการหลักสูตรการปฏิบัติงานทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพงานก่อสร้างในสนาม (จัดโดย สำนักวิจัยและพัฒนา) หรือเจ้าหน้าที่ของส่วนทดสอบและวิเคราะห์วัสดุ สำนักวิจัยและพัฒนา ซึ่งจะต้องเป็นผู้ที่ได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมสาขาโยธาระดับภาคีวิศวกรขึ้นไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา หากเห็นชอบจะได้แจ้งผู้เกี่ยวข้องทราบและถือปฏิบัติต่อไป

ผ่าน

(นายประดับ กลัดเข็มเพชร)

ผส.วพ.

- นายสมบัติ เสนอ

๒๓ พ.ย. ๒๕๕๘

(นายสุเทพ น้อยไพโรจน์)

อธช.

ว่าที่ร้อยตรี

(โพธิ์งาม นามสุวรรณ)

รธว. ๕๖ พ.ย. ๒๕๕๘



บันทึกข้อความ

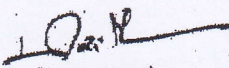
ส่วนราชการ สำนักวิจัยและพัฒนา ฝ่ายบริหารทั่วไป โทร. ๐ ๒๕๕๓ ๘๓๒๕ โทรสาร ๐ ๒๕๕๓ ๕๐๑๑
ที่ สวพ. ๑๓๕๒/๒๕๕๘ วันที่ ๒ ธันวาคม ๒๕๕๘

เรื่อง ขอรับเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนของปูนซีเมนต์ที่ต้องการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เรียน ผส.พญ., ผอ.พท. ผส.จต. และ ผส.ชป. ๑ - ๓๓

ด้วยกรมา เห็นชอบ เรื่อง ขอรับเพิ่มปริมาณชิ้นส่วนของปูนซีเมนต์ที่ต้องการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เมื่อวันที่ ๒๓ พฤศจิกายน ๒๕๕๘ ตามหนังสือสำนักวิจัยและพัฒนา ที่ สวพ.๑๓๕๘/๒๕๕๘ ลงวันที่ ๒๖ พฤศจิกายน ๒๕๕๘ ที่แนบมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และแจ้งให้ผู้เกี่ยวข้องทราบ และถือปฏิบัติต่อไป


(นายประดับ กลัดเข็มเพชร)

ผส.วพ.



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ สำนักวิจัยและพัฒนา ฝ่ายบริหารทั่วไป โทร. ๐ ๒๕๕๓ ๘๓๒๕ โทรสาร ๐ ๒๕๕๓ ๕๐๑๑

ที่ สวพ. ๑๓๕๓/๒๕๕๓ วันที่ ๒ ธันวาคม ๒๕๕๓

เรื่อง ขอบรับปริมาณชิ้นดำของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่ต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

เรียน ผศ.พญ., ผอ.พท. ผส.จต. และ ผส.ชป. ๑ - ๓๗

ด้วยกรมฯ เห็นชอบ เรื่อง ขอบรับปริมาณชิ้นดำของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่ต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เมื่อวันที่ ๒๗ พฤศจิกายน ๒๕๕๓ ตามหนังสือสำนักวิจัยและพัฒนา ที่ สวพ.๑๓๕๓/๒๕๕๓ ลงวันที่ ๒๖ พฤศจิกายน ๒๕๕๓ ที่แนบมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และแจ้งให้ผู้เกี่ยวข้องทราบ และถือปฏิบัติต่อไป

(นายประดัด กลิตต์เข็มเพชร)

ผส.วพ.



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ สำนักวิจัยและพัฒนา ฝ่ายบริหารทั่วไป โทร.๐๒ ๕๘๓ ๘๓๒๕

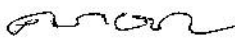
ที่ ศกพ.๒๒๓/๒๕๕๕ วันที่ ๒๕ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๕

เรื่อง คำสั่งกรมชลประทาน เรื่อง การทดลองและตรวจสอบวัสดุเพื่อควบคุมงานก่อสร้าง

เรียน ผส.ชป.๑-๑๗, ผส.พญ และ ผส.พก

ด้วยกรมฯ ได้ยกเลิกคำสั่งกรมฯ ด้านการทดลองและตรวจสอบวัสดุเพื่อควบคุมงานก่อสร้างตามคำสั่งกรมชลประทาน ที่ ๒๔๖/๒๕๕๓ ลงวันที่ ๒๐ ธันวาคม ๒๕๕๓ และกำหนดการทดลองและตรวจสอบวัสดุ เพื่อให้สำนักและหน่วยงานที่มีงานก่อสร้าง ถือปฏิบัติใหม่ ตามคำสั่งกรมชลประทานที่ ๒๔/๒๕๕๕ ลงวันที่ ๒๒ กุมภาพันธ์ ๒๕๕๕ ที่แนบมาพร้อมนี้

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และแจ้งให้ผู้เกี่ยวข้องทราบ และถือปฏิบัติต่อไป


(นายศุภชัย รุ่งศรี)
ผส.วพ.

เรียน ผู้เชี่ยวชาญ , ผอ.กลุ่ม , ผพช.วพ.

เพื่อโปรดทราบ และแจ้งให้

ผู้เกี่ยวข้องทราบ ทั้งนี้ได้ลงเว็บไซต์ ผอ.

สำนักแล้ว


(นายทิวาธร จันทนา)
อภ.วพ.
๒๕ กพ ๒๕๕๕

-ทราบ
-ในลบบล๊อค



(นายนิยต สุขใจ)
ผท.วพ.

27 ก.พ. 2555

สำเนาฉบับ

คำสั่งกรมชลประทาน

ที่ ๒๕ /๒๕๕๕

เรื่อง การทดลองและตรวจสอบวัสดุเพื่อควบคุมงานก่อสร้าง

ตามที่กรมชลประทานได้กำหนดให้มีการทดสอบวัสดุในห้องปฏิบัติการ (Laboratory) ทุก รายการไว้ เพื่อให้ได้วัสดุที่มีคุณสมบัติตามคุณลักษณะเฉพาะ (Specifications) ที่กำหนด ประกอบกับระเบียบ สำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการพัสดุ พ.ศ.๒๕๓๕ ข้อ ๗๑(๒) กำหนดให้ต้องมีการตรวจรับพัสดุให้ถูกต้อง ครบถ้วนตามหลักฐานที่ตกลงกันได้

เพื่อให้การทดลองและตรวจสอบ งานดิน คอนกรีต และวัสดุวิศวกรรมต่างๆ ที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้าง เป็นไปด้วยความคล่องตัว รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับโครงสร้างการแบ่งส่วน ราชการใหม่ ซึ่งมีการเพิ่มเติมสำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลาง (เป็นหน่วยงานภายใน) จึงยกเลิกคำสั่งกรม ชลประทานที่ ๒๔๖/๒๕๕๓ ลงวันที่ ๒๐ ธันวาคม ๒๕๕๓ โดยให้หน่วยงานที่มีงานก่อสร้าง ดำเนินการ ดังนี้

๑. ดำเนินการทดลองและตรวจสอบ งานดิน คอนกรีต และวัสดุวิศวกรรมต่างๆ เพื่อควบคุม คุณภาพงานก่อสร้างได้ทุกรายการทดสอบ โดยให้มีผู้รับรองผลการทดสอบ ดังนี้

๑.๑ ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่ หรือผู้อำนวยการสำนักงานก่อสร้าง ๑ - ๑๔ หรือผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรมบริหาร ๑ - ๑๔

๑.๒ ผู้อำนวยการสำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลาง หรือผู้อำนวยการสำนักงานก่อสร้าง ๑ - ๓๓

๑.๓ ผู้อำนวยการชลประทานที่ ๑ - ๑๗ หรือผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรม สำนักชลประทานที่ ๑ - ๑๗

๒. ในกรณีสำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่ สำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลาง สำนัก ชลประทานที่ ๑ - ๑๗ ไม่สามารถดำเนินการเองได้ตามข้อ ๑ รวมทั้งสำนักงานจัดรูปที่ดินกลาง และ หน่วยงานอื่นที่มีงานก่อสร้าง เนื่องจากขาดเครื่องมือหรือเจ้าหน้าที่ ให้ส่งตัวอย่างวัสดุไปทดลองและตรวจสอบ ที่สำนักวิจัยและพัฒนา หรือมหาวิทยาลัย หรือส่วนราชการอื่นที่มีความพร้อมของเครื่องมือ และมีวิศวกรที่ ได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมประเภทสามัญวิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา ขึ้นไปเป็น ผู้ทำการทดสอบ และลงนามรับรองผลการทดสอบ โดยต้องลงนามรับรองในสำเนาใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบ วิชาชีพวิศวกรรมควบคุมแบบประกอบด้วย

๓. การนำส่งตัวอย่างวัสดุเพื่อการทดสอบตามข้อ ๒ ให้ผู้รับรองรายงานผลการทดสอบตามข้อ ๑ ผู้อำนวยการสำนักจัดรูปที่ดินกลาง หรือผู้อำนวยการโครงการปฏิบัติการคันคูน้ำ ๑ - ๑๗ และผู้อำนวยการสำนัก ที่มีงานก่อสร้าง เป็นผู้ลงนามในหนังสือนำส่งตัวอย่างวัสดุส่งสำนักวิจัยและพัฒนา หรือมหาวิทยาลัย หรือส่วน ราชการอื่น แล้วแต่กรณี

๔. สำหรับวัสดุที่มีการจัดซื้อในปริมาณที่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในตารางแนบท้ายคำสั่งนี้ ให้ มอบหมายผู้ชำนาญการมาทำการตรวจสอบตามระเบียบพัสดุฯ และลงนามรับรองไว้เป็นหลักฐาน โดย ผู้ชำนาญการนั้นๆ จะต้องเป็นข้าราชการ ที่ได้รับใบอนุญาตเป็นผู้ประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุมประเภท ภาควิศวกร สาขาวิศวกรรมโยธา ขึ้นไป

/ให้สำนัก...

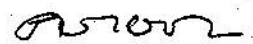
ให้สำนักวิจัยและพัฒนา เป็นผู้กำหนดมาตรฐานการทดลองและตรวจสอบวัสดุต่างๆ ให้คำปรึกษา คำแนะนำทางวิชาการ และถ่ายทอดความรู้แก่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานด้านการทดลองและตรวจสอบเป็นครั้งคราวตามที่เห็นสมควร หรือมีการร้องขอ รวมทั้งติดตามประเมินผลการทดลองและตรวจสอบงานดิน คอนกรีต และวัสดุวิศวกรรมต่างๆ ของกรมฯ ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ ๒๒ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๕๕



(นายชลิต ดำรงค์ดี)
อธิบดีกรมชลประทาน



(นายสุภชัย รุ่งศรี)

ผส.วพ.

/ร่าง
/พิมพ์
/ตรวจ

ตารางแสดงปริมาณวัสดุขั้นต่ำที่ต้องการทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ
แบบท้ายคำलगรณสหประทาน ที่ ๒๔ / ๒๕๕๕ ลงวันที่ ๒๒ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๕๕

ลำดับ	วัสดุ	รายละเอียดการทดสอบ	ปริมาณขั้นต่ำที่กำหนดให้ทดสอบ	ความถี่ของการทดสอบต่อตัวอย่าง
๑	ปูนซีเมนต์	- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) - ความละเอียด โดยเครื่องมือของเบลน (Fineness by Blaine Air Permeability Test) - ระยะเวลาก่อตัวโดยเครื่องมือไวเคตและกิลเมอร์ (Time of Setting by Vicat Test and Gillmore Test) - กำลังอัดของมอร์ต้า (Compressive Strength)	๓๐ ตัน	ทุกๆ ๕๐ เมตริกตัน
๒	ทราย	- ขนาดคละ (Gradation) - ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) - การดูดน้ำ (Absorption) - ตะกอนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ ๒๐๐ (Silt Test) - ก้อนดินหรือวัสดุเปราะ (Clay Lump) - ปริมาณสารอินทรีย์ (Organic Impurities)	๑๐๐ ลบ.ม.	ทุกๆ ๒,๐๐๐ ลบ.ม.
๓	หินย่อยหรือกรวด	- ขนาดคละ (Gradation) - ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) - การดูดน้ำ (Absorption) - การขัดสีโดยเครื่องลอสมงเลียส (Abrasion by Los Angeles Machine) - ความคงทนโดยแช่น้ำยาโซเดียมซัลเฟต (Soundness by Sodium Sulphate)	๑๐๐ ลบ.ม.	ทุกๆ ๒,๐๐๐ ลบ.ม.

ลำดับ	วัสดุ	รายละเอียดการทดสอบ	ปริมาณขั้นต่ำที่กำหนดให้ทดสอบ	ความถี่ของการทดสอบ ตัวอย่าง
๔	หินใหญ่	- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) - การดูดน้ำ (Absorption) - การซึบซึมโดยเครื่องดอสแอนเจลีส์ (Los Angeles Abrasion) - ความคงทนโดยแช่น้ำยาโซเดียมซัลเฟต (Soundness by Sodium Sulphate)	๑๐๐ ลิบ.ม.	ทุกๆ ๒,๐๐๐ ลิบ.ม.
๕	สารเคมีผสมเพิ่มคอนกรีต	- การหาปริมาณน้ำ (Water Content) - ระยะเวลาการก่อตัว (Time of Setting) - กำลังอัด (Compressive Strength) - สิ่งที่เหลือจากการอบ (Residue Materials) - ปริมาณที่เหมาะสมในการใช้ (Properly Quantity of Dosage)	๒๐๐ ลิตร	
๖	คอนกรีต	- กำลังอัด (Compressive Strength) - ทรงกระบอก (Cylinder) หรือ ลูกบาศก์ (Cube) - กำลังดัด (Flexural Strength)	๓๐ ลิบ.ม.	เก็บตัวอย่างเพื่อทดสอบ ครั้งที่มีการเท หรือทุกๆ ๕๐ ลิบ.ม. ต่อครั้ง

ลำดับ	วัสดุ	รายละเอียดการทดสอบ	ปริมาณขั้นต่ำที่กำหนดให้ทดสอบ	ความถี่ของการทดสอบ ตัวอย่าง
๗	เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต (แต่ละขนาด) -ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ ๑๖ มม. หรือเล็กกว่า (ทุกขนาด) -ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระบุ มากกว่า ๑๖ มม. (ทุกขนาด)	-มวลต่อเมตร (Mass) -แรงดึงและส่วนยืด (Tension and Elongation) -การดัดโค้งเย็น (Cold Bend Test)	๒ ตัน ๔ ตัน	-น้อยกว่า ๓๐ ตัน-เก็บ จำนวน ๓ ท่อน ต่อ ๑ ขนาด -ระหว่าง ๓๐ ... ๖๐ ตัน เก็บจำนวน ๕ ท่อน ต่อ ๑ ขนาด -มากกว่า ๖๐ ตัน เก็บ จำนวน ๗ ท่อน ต่อ ๑ ขนาด
๘	เหล็กรูปพรรณและเหล็กแผ่น	-แรงดึงและส่วนยืด (Tension and Elongation) -การดัดโค้งเย็น (Cold Bend Test)	๒ ตัน	-
๙	ลวดเหล็กแรงดึงสูง	-การวัดขนาด (Nominal Size) -แรงดึง (Tensile Strength) -การหาจุดยึดด้วยกราฟ (Proof Strength)	๔ ตัน	-
๑๐	กล่องลวดเหล็กเคลือบสังกะสี หรือเคลือบสังกะสีและหุ้ม พี. วี.ซี (Gabion หรือ Mattress)	-การวัดขนาด (Nominal Size) -แรงดึง (Tensile Strength) -น้ำหนักของสังกะสีที่เคลือบ (Zinc coating weight) -คุณสมบัติการหุ้มของ พี.วี.ซี. (Properties of polyvinyl chloride cover)	๑๐๐ กล่อง	เก็บทุก ๆ ๒๐๐ กล่อง

ลำดับ	วัสดุ	รายละเอียดการทดสอบ	ปริมาณขั้นต่ำที่กำหนดให้ทดสอบ	ความถี่ของการทดสอบ ตัวอย่าง
๑๑	ยางกันน้ำ	- การวัดขนาด (Nominal Size) - ความแข็งโดยชอร์ดูโรมิเตอร์ (Shore Durometer Hardness) - แรงดึงและส่วนยืด (Tension and Elongation) - การตายตัว (Compression Set) - การบ่มแรง (Aging Test) - การดูดซึมน้ำ (Water Absorption)	๑๐๐ เมตร	เก็บทุก ๆ ๒๐๐ เมตร
๑๒	แผ่นใยโสรยตอคอนกรีต	- ความหนาแน่น (Density) - การดูดซึมน้ำ (Water Absorption) - แรงกดและการสูญเสียน้ำหนัก (Compression and Loss of Bitumen) - การคืนตัวของแผ่นใย (Recovery) - การขยายตัว (การปลิ้น) (Extrusion) - ปริมาณแอสฟัลท์ (Asphalt Content)	๑๐๐ ตร.ม.	เก็บทุก ๆ ๕๐๐ ตร.ม.
๑๓	น้ำยาบ่มคอนกรีต	- ปริมาณน้ำที่สูญหายไป (Loss in Weight of Water) - อัตราการพ่นที่เหมาะสม (Rate of Spraying) - ระยะเวลาที่แห้งตัว (Time of Setting)	๒๐๐ ลิตร	เก็บทุก ๆ ๑,๐๐๐ ลิตร
๑๔	แผ่นใยสังเคราะห์ (Geotextile)	- หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) - อัตราการซึมผ่านของน้ำ (Rate of Flow) - แรงฉีกขาด (Trapezoidal Tear Strength)	๔๐๐ ตร.ม.	เก็บทุก ๆ ๒,๐๐๐ ตร.ม.

ลำดับ	วัสดุ	รายละเอียดการทดสอบ	ปริมาณขั้นต่ำที่กำหนดให้ทดสอบ	ความถี่ของการทดสอบต่อตัวอย่าง
(ต่อ)		- แรงดึงยืดจับ (Grab Tensile Strength) - แรงกดทะลุ (C.B.R. Puncture Resistance) - แรงดึงเต็มแผ่น (Tensile Strength)		
๑๕	ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับงานระบายน้ำ	- ขนาดระบุ (Nominal Size) - แรงกดที่ทำให้ท่อแยกและแรงกดสูงสุด (Three-Edge Bearing) - ปริมาณเหล็กเสริมตามขวางและตามยาว (Reinforcement)	๕๐ ท่อน	
๑๖	ดินลูกรัง หินคลุก และวัสดุคัดเลือก	- Sieve Analysis - Atterberg's Limit - การบดอัดในห้องทดลอง Compaction - C.B.R. - Los Angeles Abrasion	รายละเอียดที่กำหนดในสัญญา หรือในดุลยพินิจของผู้ควบคุมงาน	ตามรายละเอียดที่กำหนดในสัญญา และขึ้นอยู่กับสภาพของวัสดุขณะทำการก่อสร้างและดุลยพินิจของผู้ควบคุมงาน
๑๗	ดินกระจายตัว	- Pinhole Test - Double hydrometer Test - Dilution turbidity ration - Chemical Test - Crumb Test	ปริมาณขั้นต่ำที่กำหนดให้ทดสอบไม่มี (ต้องทำการทดสอบก่อนนำไปใช้ก่อสร้าง) หรือตามรายละเอียดที่กำหนดในสัญญา	-

หมายเหตุ

๑. หากปริมาณวัสดุมากกว่าปริมาณขั้นต่ำที่กำหนดนี้ ต้องนำวัสดุส่งไปทดสอบคุณสมบัติที่ห้องปฏิบัติการ
๒. หากปริมาณวัสดุน้อยกว่าปริมาณขั้นต่ำที่กำหนดนี้ ต้องให้ผู้ชำนาญการที่ได้รับมอบหมายเป็นผู้ลงนามรับรอง หรือไม่แน่ใจที่จะลงนามรับรองคุณสมบัติของวัสดุจากการตรวจพินิจให้นำส่งไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการ
๓. สำหรับงานจ้างเหมามีข้อกำหนดในการทดสอบคุณสมบัติวัสดุไว้แล้วให้ยึดรายละเอียดข้อกำหนดในสัญญาเป็นหลัก