เอกสารประกอบการฝึกอบรม

หลักสูตรช่างวิเคราะห์และทดสอบวัสดุ

คู่มือปฏิบัติงานควบคุมคุณภาพวัสดุและมาตรฐานการทดสอบวัสดุ

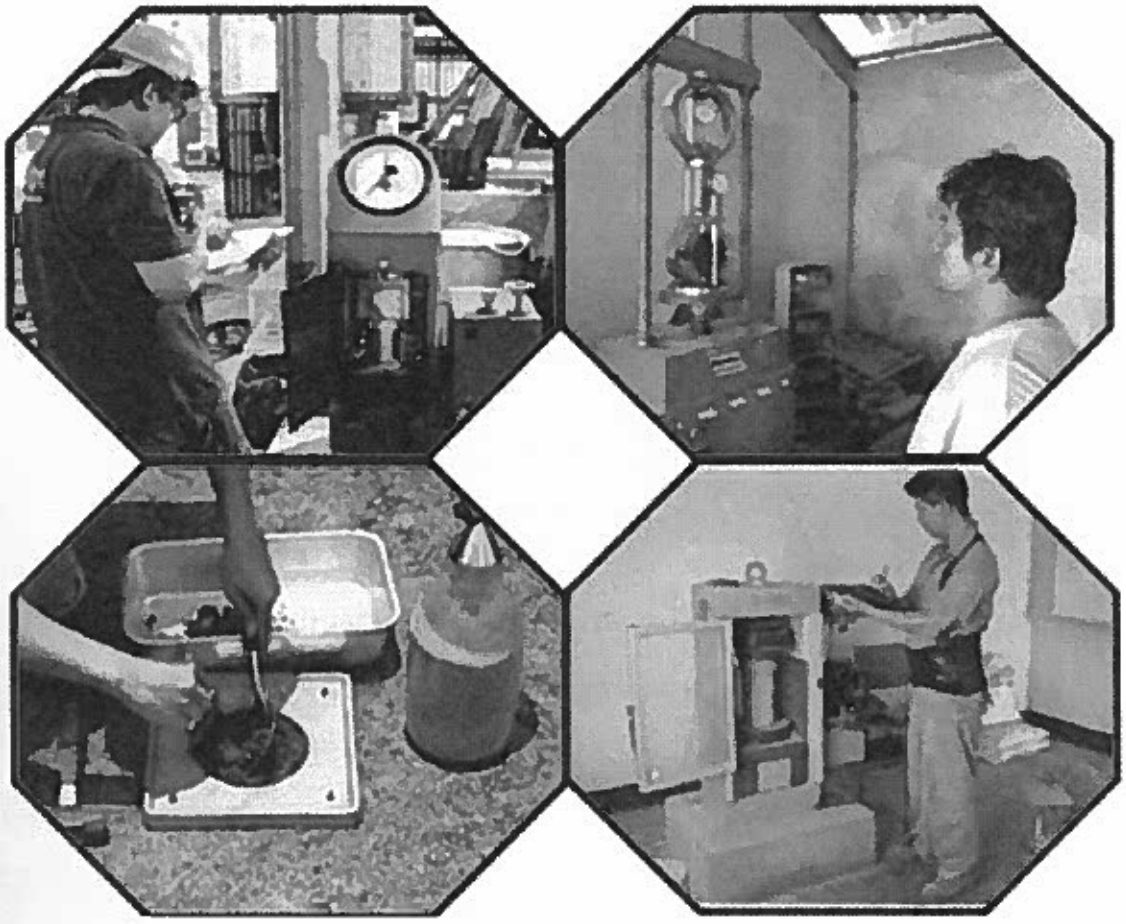
กรมทรัพยากรน้ำ

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เอกสารประกอบการฝึกอบรม

หลักสูตรช่างวิเคราะห์และทดสอบวัสดุ

คู่มือปฏิบัติงานควบคุมคุณภาพวัสดุและมาตรฐานการทดสอบวัสดุ



กรมทรัพยากรน้ำ

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

สารบัญ

หน้า

การควบคุมคุณภาพของวัสดุก่อสร้างและการคัดเลือกวัสดุ ๑

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

- การหาขนาดเม็ดของวัสดุ ๑๑
- การหาค่าขีดจำกัดแอตเตอร์เบิร์ก ๒๐
- การหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ ๔๐
- การบดอัด ๔๘
- การหาค่า ซี.บี.อาร์. ๕๙
- การหาความหนาแน่นของวัสดุงานทางในสนามโดยวิธีใช้ทรายแทนที่ ๗๘
- การหาความแน่นและความชื้นของดินในสนามโดยใช้วิธีนิวเคลียร์ ๘๘
- การหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินและค่าการดูดซึมน้ำ ๑๐๐
- การหาสารอินทรีย์เจือปน ๑๑๖
- คอนกรีต ๑๒๓
- เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ๑๓๔

วิธีการทดสอบและมาตรฐานการทดสอบ

- วิธีการทดสอบหาส่วนคละของวัสดุมวลรวม ๑๔๒
- วิธีการทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องทดสอบลอสแองเจลิส ๑๔๙
- วิธีทดสอบหาสารอินทรีย์เจือปน ๑๕๖
- วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบ ๑๖๐
- วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมละเอียด ๑๖๔
- วิธีการทดสอบหาค่าความชื้นของวัสดุมวลรวม ๑๖๘
- มาตรฐานการเก็บตัวอย่างคอนกรีตในหน้างานและการนำไปบำรุงรักษา ๑๗๒
- วิธีการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต ๑๗๗
- มาตรฐานการทดสอบน้ำที่ใช้ในงานคอนกรีต ๑๘๑
- มาตรฐานการทดสอบ ความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต ๑๘๕
- วิธีการทดสอบความแน่นแบบมาตรฐาน ๑๙๑
- วิธีการทดสอบความแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐาน ๒๐๐

หน้า

- วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. ๒๐๘
- วิธีการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม ๒๑๖
- วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว ๒๒๖
- วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก ๒๓๓
- วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การหดตัว ๒๓๘
- วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ ๒๔๔
- มาตรฐานวิธีการทดสอบหาค่าความคงทนของมวลรวม (Soundness) ๒๕๐

การควบคุมคุณภาพของวัสดุก่อสร้าง และการคัดเลือกวัสดุ

การควบคุมคุณภาพของวัสดุก่อสร้าง และการคัดเลือกวัสดุ

1. การควบคุมคุณภาพวัสดุ

การควบคุมคุณภาพวัสดุก่อสร้างให้ถูกต้องตรงตามมาตรฐาน เพื่อให้การทำงานก่อสร้างเป็นไปตามข้อกำหนดของแบบแปลน และ รายการก่อสร้างตามขั้นตอนการก่อสร้างนั้นๆ มีการเก็บตัวอย่างวัสดุมาตรวจสอบ และการทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆ ทั้งก่อนที่จะนำไปใช้งาน และในระหว่างการก่อสร้าง เพื่อควบคุมคุณภาพ ซึ่งโดยทั่วไปแนวปฏิบัติจะกำหนดไว้ในแบบแปลน รายการก่อสร้างประกอบแบบ และคุณภาพวัสดุจะต้องเป็นไปตามข้อสมมุติฐานของผู้ออกแบบ ซึ่งทั่วไปจะใช้ตามเกณฑ์ที่มาตรฐานงานช่าง

2. วิธีการกำกับควบคุมคุณภาพของวัสดุก่อสร้าง

2.1 ในการสำรวจสภาพพื้นที่เพื่อการออกแบบ ต้องมีการสำรวจหาแหล่งวัสดุในท้องถิ่นนั้นหลายๆ แหล่ง แล้วส่งวัสดุเพื่อตรวจสอบให้ทราบข้อมูลของคุณสมบัติของวัสดุนั้น เพื่อนำไปประกอบในการออกแบบ

2.2 ก่อนที่ผู้รับเหมาจะทำการก่อสร้าง การที่จะนำวัสดุมาใช้จะต้องเป็นไปตามที่สำรวจออกแบบ กล่าวคือจากแหล่งที่ทำการสำรวจไว้แล้วและต้องมีการตรวจรับรองคุณภาพวัสดุอย่างละเอียดเป็นทางการอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้าง ในระหว่างทำการก่อสร้างถึงแม้วัสดุที่ใช้ทำการก่อสร้างจะถูกต้องตามที่รับรองไว้ก็ตาม จะต้องตรวจสอบคุณภาพของวัสดุ

วิธีการกำกับควบคุมคุณภาพของงาน มี 2 ขั้นตอนคือ

(1) การตรวจรับรองคุณภาพวัสดุที่นำมาใช้ในงานก่อสร้าง จะทำการตรวจสอบวัสดุจากแหล่งที่กำหนด โดยผู้รับจ้างเหมาเลือกเสนอมาว่าเป็นไปตามรายการก่อสร้าง ที่กำหนดไว้หรือไม่ ทั่วไปจะส่งมาครั้งเดียวต่อแหล่งต่อโครงการ

(2) การทดสอบคุณภาพวัสดุในสนาม ในระหว่างที่ทำการก่อสร้าง จะทำการตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุ ตามช่วงงานที่เหมาะสม เพื่อควบคุมคุณภาพให้สม่ำเสมอ และสำหรับการก่อสร้างทาง จะมีการทดสอบความแน่นของวัสดุที่บดอัดในสนาม ในแต่ละครั้งที่มีการก่อสร้าง หรือ ต่อระยะทางที่ทำการก่อสร้างด้วย

3. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้าง

วัสดุก่อสร้างที่นำมาใช้ส่วนใหญ่มี 6 ประเภท ตามความเหมาะสมของคุณสมบัติวัสดุนั้นๆ ได้แก่ ดิน , หิน , ทราย , ปูน , คอนกรีต และ เหล็ก ดังนั้นก่อนที่จะทำการควบคุมคุณภาพควรมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุนั้นๆ ด้วย

3.1 **ดิน** เนื่องจากดินเป็นฐานรากรองรับน้ำหนักของสิ่งปลูกสร้างที่สร้างขึ้น เช่น อาคาร , สะพาน , เขื่อน , ถนน , แหล่งน้ำทุกประเภท จึงจำเป็นต้องรู้สภาพดินในแต่ละพื้นที่และแต่ละชั้นโดยนำมาวิเคราะห์ว่าจะมีคุณสมบัติรองรับน้ำหนักที่จะเกิดขึ้นได้หรือไม่ ถ้าไม่ได้ก็จะมีการก่อสร้างสิ่งที่ถ่ายน้ำหนักให้ลงในชั้นล่างที่แข็งกว่ารองรับไป เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติของดินในการรองรับน้ำหนัก จึงต้องมีความรู้พื้นฐานของดินแต่ละประเภทดังนี้

(1) **การแบ่งประเภทของดิน** ดินสามารถแบ่งออกเป็นประเภทหลักๆ 4 ประเภท ได้แก่ กรวด (**Gravel**) , ทราย (**Sand**) , ดินตะกอน (**Silt**) และ ดินเหนียว (**Clay**) จะแบ่งได้ตามขนาดของเม็ดดินดังนี้

การจำแนกชนิดดินโดยใช้ขนาดเม็ดดิน

ชนิดดิน	ขนาดเม็ด
กรวด (**Gravel**)	ใหญ่กว่า 4.75 มม.
ทราย (**Sand**)	4.75 มม. - 0.075 มม.
ดินตะกอน (**Silt**)	0.075 มม. - 0.005 มม.
ดินเหนียว (**Clay**)	เล็กกว่า 0.005 มม.

ดินเหนียว (**Clay**) มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำสามารถปั้นเป็นก้อนได้ มีอัตราการขยายตัวและการหดตัวสูง เมื่ออยู่ในสภาพชุ่มน้ำจะเหลวเละ และมีความสามารถในการรับน้ำหนักต่ำ เนื่องจากดินเหนียวจะลื่นเละเมื่อโดนน้ำฉนั้นถนนที่มีคันทางเป็นดินเหนียวจะต้องปูทับหน้าด้วยดินอื่นที่มีเม็ดแข็งและมีคุณสมบัติในการรับน้ำหนักที่สูงกว่า

ดินตะกอน (**Silt**) มีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำ อัตราการขยายตัวและการหดตัวน้อยกว่าดินเหนียว (**Clay**) ไม่สามารถปั้นเป็นก้อนได้เมื่อแห้งจะร่วนไม่เหมือนดินเหนียวเมื่อแห้งยังสามารถจับตัวอยู่เป็นก้อนได้ และมีความสามารถในการรับน้ำหนักสูงเมื่อมีปริมาณน้ำพอเหมาะ แต่ถ้าปริมาณน้ำมีมากเกินไปจะทำให้เหลวเละทำให้การรับน้ำหนักต่ำ

(2) **การรองรับน้ำหนัก** เมื่อสภาพดินที่มีการอัดแน่นจะมีการวัดสถานภาพในการรองรับน้ำหนักของดิน เราเรียกว่าการทดสอบ **CBR.** (**California Bearing Ratio**) โดยค่า **CBR.** เป็นร้อยละของค่าการรองรับน้ำหนักของดินที่ทดสอบเทียบกับค่าการรองรับน้ำหนักของหินบดมาตรฐาน

(3) **การรองรับน้ำหนักในสภาพอมน้ำ** เราเรียกว่า **Soak CBR.** คุณสมบัติการรองรับน้ำหนักจะแตกต่างจากสภาพแห้ง โดยทั่วไปจะทำการทดสอบการรองรับน้ำหนักแบบ **Soak CBR.**

(4) **ขนาดคละของมวลดิน** ขนาดคละมีผลกับการรองรับน้ำหนักด้วยกล่าวคือ ถ้าขนาดคละไม่ดี (**Poorly Graded**) จะรับน้ำหนักได้น้อยเพราะบดอัดแน่นยาก แต่ถ้ามีขนาดเม็ดฝุ่นมากก็จะเกิดการเหนียวยืดหยุ่นมากไป (**Plasticity**) ก็จะบดอัดไม่แน่น

(5) **สิ่งแปลกปลอมในดิน** เป็นพวกสารอินทรีย์มีปริมาณความชื้นสูง มีชิ้นส่วนที่ยังเน่าเปื่อยไม่หมดหลงเหลืออยู่ เช่น กิ่งไม้ ใบไม้ และ ซากสัตว์ จะทำให้การรองรับน้ำหนักของดินที่มีสิ่งปลอมปนเหล่านี้อยู่น้อยมากไม่เหมาะสมในการนำไปใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งในการก่อสร้างถ้าพบจะต้องขุดลอกออก

3.2 **ทราย** ตามธรรมชาติจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ

(1) **ทรายบก** เป็นทรายที่เกิดจากการผุพังของหินจากนั้นก็เกิดการพัดพาและการทับถม ทรายบกเป็นทรายที่มีการกระจายขนาดใหญ่เล็กดี กล่าวคือมีเม็ดใหญ่ กลาง เล็ก ปนคละกันในอัตราส่วนที่พอเหมาะและมีเชื้อประสานปนอยู่ด้วยทำให้ทรายมีแรงยึดเกาะระหว่างเม็ด เมื่อนำมาบดอัดจะทำให้การรองรับน้ำหนักสูง เหมาะที่จะใช้เป็นวัสดุคัดเลือกได้ดี แต่ถ้าใช้ผสมคอนกรีตต้องทำการล้างเอาส่วนผสมของดินออกเสียก่อน

(2) **ทรายแม่น้ำ** เป็นทรายที่เกิดจากการพัดพามากับลำน้ำ และตกตะกอนทับถมตามท้องน้ำ ในปัจจุบัน ทรายแม่น้ำเป็นทรายสะอาดไม่มีดินเหนียวและสิ่งสกปรกอื่นเจือปน โดยทั่วไปมักใช้ทรายแม่น้ำในงานคอนกรีต

3.3 **หิน** แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

(1) **หินอัคนี** (**Igneous Rocks**) เป็นหินเก่าแก่ เกิดจากการเย็นตัวของลาวา หินชนิดนี้มีเม็ดหยาบได้แก่หินแกรนิต ซึ่งเป็นหินที่มีการเย็นตัวอย่างช้าๆ ส่วนหินที่มีขนาดเม็ดละเอียดได้แก่หินบะซอลต์ซึ่งเป็นหินที่มีการเย็นตัวเร็ว

(2) **หินชั้น** (**Sedimentary Rocks**) เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดเป็นของแข็งของตะกอนของแร่ธาตุ จะมีลักษณะเป็นชั้นๆ ชนิดของหินชั้นมีอาทิเช่น หินปูน , หินโดโลไมท์ หินดินดาน , หินทราย เป็นต้น

(3) **หินแปร** (**Metamorphic Rocks**) เกิดจากหินอัคนีหรือหินตะกอนที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนและแรงดันที่รุนแรง อาทิเช่น หินชนวน , หินอ่อน , หินเขี้ยวหนุมาน เป็นต้น

ในการก่อสร้าง หินจะต้องทำการย่อยก่อนที่จะนำไปใช้ในงานก่อสร้างตามความเหมาะสมของงานนั้นๆ ส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะใช้หินปูนมาทำการย่อย เพื่อใช้ในงานก่อสร้างเพราะมีอยู่เป็นจำนวนมาก คุณสมบัติของหินที่จะใช้ในงานก่อสร้างจะต้องมีความแข็งแรง มีความต้านทานต่อการสึกกร่อน มีความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี มีลักษณะรูปร่างและผิวไม่บาง , แบน , ยาว มีอัตราส่วนคละที่ดี

3.4 ปูนซีเมนต์ โดยทั่วไปจะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในการก่อสร้าง ซึ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีอยู่ 5 ประเภท ในการก่อสร้างงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก จะเลือกใช้ตามความเหมาะสมของงานก่อสร้างนั้นๆ ในประเทศไทยจะใช้อยู่ 3 ประเภท คือ ประเภท 1, ประเภท 3 และประเภท 5 ดังนี้

(1) **ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1** (**Ordinary Portland**) จะใช้ในงานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป

(2) **ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 3 (Rapid Hardening Portland)** เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่รับกำลังเร็ว **(High Early Strength Cement)** ปูนซีเมนต์ชนิดนี้จะให้กำลังสูงในระยะแรก เหมาะสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง และคอนกรีตที่ต้องการจะใช้ระยะเวลาในการใช้งานเร็ว

(3) **ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 5 (Sulphate Resisting Portland)** เป็นปูนซีเมนต์มีความต้านต่อซัลเฟตสูง เหมาะสำหรับงานในทะเล ริมทะเล บนดินเค็ม และในพื้นที่ที่มีพวกซัลเฟตมาก

3.5 คอนกรีต คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มนุษย์เราประดิษฐ์ขึ้น โดยใช้หรือทำขึ้นจากวัสดุที่มีอยู่ตามธรรมชาตินำมาผสมกันด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสม ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ หินหรือกรวด ทราย และ น้ำ ส่วนผสมนี้เมื่ออยู่ในสภาพเป็นของเหลว จะสามารถนำไปเทลงในแบบ ทำให้เป็นรูปร่างตามที่ต้องการได้ เพราะหลังจากเกิดปฏิกิริยาทางเคมีขึ้นภายในส่วนผสมแล้ว คอนกรีตก็จะแข็งตัวภายใน 24 ชั่วโมง และมีกำลังสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุของคอนกรีต มีเนื้อสม่ำเสมอ น้ำไม่ซึม ทนต่อลมฟ้าอากาศ ความสึกหรอ และตัวทำลายอื่นๆ ไม่หดตัวมากเกินไปเมื่อถูกความเย็นหรือความแห้ง สามารถใช้ประโยชน์ได้ตามแบบที่กำหนด

คอนกรีตมีประโยชน์อย่างกว้างขวางในงานก่อสร้าง เช่น ใช้ในการก่อสร้างฐานรากอาคาร กำแพง เสา คาน พื้น หลังคา เขื่อน สะพาน ถนน ฯลฯ

(1) **Mortar** เป็นส่วนผสมของ ทราย ปูน และน้ำ ใช้ฉาบผิวพื้น หรือก่ออิฐ

(2) **Mass Concrete** ในกรณีนี้ไม่ใช้เหล็กเสริมในโครงสร้าง แต่อาศัยน้ำหนักของคอนกรีตเองเป็นหลัก เช่น เขื่อน

(3) **Reinforced Concrete** ใช้เหล็กเสริมภายในเนื้อคอนกรีต ในบริเวณที่คอนกรีตต้องรับแรงดึง

(4) **Prestressed Concrete** ใช้เหล็กเสริมที่มีแรงดึงสูงเสริมไว้ในบริเวณที่คอนกรีตรับแรงดึง แต่เหล็กเสริมจะช่วยทำให้เกิดแรงอัดสูงขึ้น

3.6 เหล็กเสริมคอนกรีต เหล็กที่ใช้ในงานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีอยู่ 2 ชนิด

(1) **เหล็กกลม (Round Bar)** ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ในการบอกขนาดเป็น **RB** และใช้สัญลักษณ์ในการบอกคุณภาพชั้นของเหล็กเป็น **SR** ที่ตัวเหล็กทุกความยาว 1 เมตร

(2) **เหล็กข้ออ้อย (Deformed Bar)** ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ในการบอกขนาดเป็น **DB** และใช้สัญลักษณ์ในการบอกคุณภาพชั้นของเหล็กเป็น **SD** ที่ตัวเหล็กทุกความยาว 1 เมตร

เหล็กเสริมคอนกรีต จะต้องเป็นเหล็กใหม่ที่ไม่เคยใช้งานมาก่อน ไม่มีสนิมกร่อน ไม่เป็นน้ำมันไม่มีรอยแตกร้าว ต้องมีขนาด คุณสมบัติทางกล เป็นไปตามรายการที่กำหนด

4. การคัดเลือกตัวอย่างวัสดุ

ตัวอย่างวัสดุมีความสำคัญเท่าเทียมกับการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ ผู้เก็บตัวอย่างวัสดุ ต้องพยายามเก็บตัวอย่างให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของวัสดุกองนั้นๆ หรือวัสดุที่นำมาส่งชุดนั้นๆ จึงต้องมีวิธีการสุ่มเก็บที่ถูกต้อง เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่ถูกต้อง หลักการในการเก็บตัวอย่างทั่วๆ ไปก็คือ

4.1 มีคุณสมบัติเหมือนเป็นตัวแทนของวัสดุชุดนั้นหรือกองทั้งหมด ทั้งสี เนื้อวัสดุส่วนผสม คุณภาพ ซึ่งผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุนั้น เป็นตัวชี้ว่าควรยอมรับหรือไม่ยอมรับวัสดุ ที่จะนำมาใช้ใน

การก่อสร้าง การเก็บตัวอย่างจากสายพานเลื่อน สถานที่เก็บ รถ หรือเก็บจากกองวัสดุมาทดสอบคุณภาพในห้องปฏิบัติการ จะต้องเก็บตามแนวต่างๆ ให้ครอบคลุมวัสดุทั้งกอง แนวการเก็บตัวอย่างได้แสดงไว้ใน **รูปที่ 1** และกรณีที่มีข้อกำหนดระบุไว้ในการเก็บตัวอย่างก็จะต้องเก็บตามวิธีที่ระบุไว้นั้น

4.2 ตัวอย่างวัสดุที่เก็บได้ปริมาณมากๆ นี้จะถูกลดปริมาณให้น้อยลง เพื่อให้ได้ปริมาณตัวอย่างทดสอบที่เหมาะสมจะใช้เป็นตัวแทนของวัสดุจริงๆ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

(1) **วิธีการแยกวัสดุ** นำตัวอย่างที่เก็บจากแหล่งมาเทลงในเครื่องแบ่งแยกวัสดุ วัสดุจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน ไหลผ่านช่อง (ซึ่งจะต้องมีไม่น้อยกว่า 8 ช่อง สำหรับวัสดุมวลหยาบ และไม่น้อยกว่า 12 ช่อง สำหรับวัสดุมวลละเอียด) ลงสู่ภาชนะที่รองรับในแต่ละด้าน นำวัสดุจากภาชนะที่รองรับด้านหนึ่ง มาเทลงในเครื่องแบ่งแยกวัสดุอีกครั้งหนึ่ง ดำเนินวิธีการอย่างเดียวกันนี้ซ้ำอีก จนได้ปริมาณวัสดุเพื่อการทดสอบที่ต้องการ ดังแสดงไว้ใน รูปที่ 2

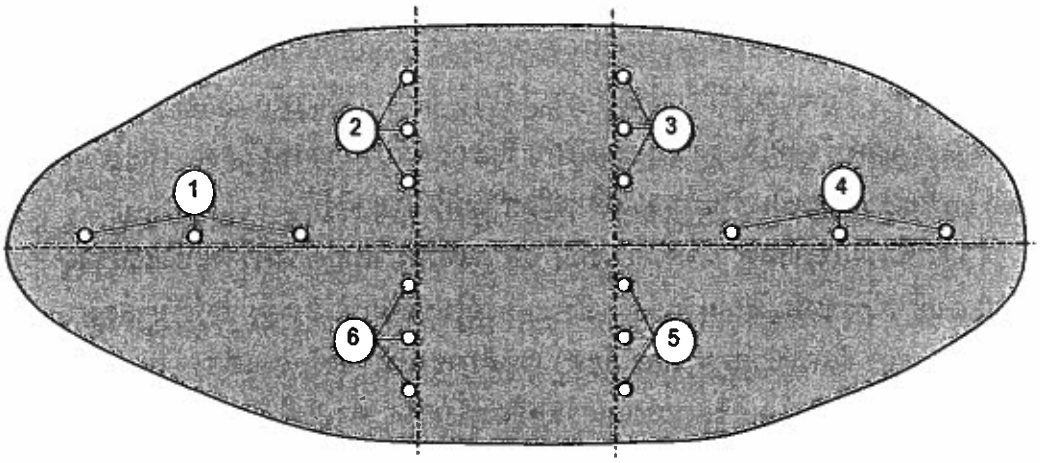
(2) **วิธีการแบ่งสี่** นำตัวอย่างที่เก็บจากแหล่งมาเทลงบนพื้นที่ราบเรียบที่สะอาด ผสมให้เข้ากันแล้วจึงกองขึ้นเป็นรูปกรวยคว่ำ จากนั้นก็เกลี่ยให้รูปกรวยนี้แบนลงเป็นรูปวงกลมและมีความหนาสม่ำเสมอ โดยกวาดวัสดุออกจากตรงกลาง แล้งจึงตัดออกเป็นสี่ส่วนโดยใช้เกรียงหรือพลั่ว เอาส่วนที่อยู่ตรงข้ามออกทิ้งไป ทั้งนี้ควรระวังให้รวมผงฝุ่นไว้ด้วย และนำวัสดุส่วนที่เหลือมาผสมกันใหม่ ถ้าต้องการลดปริมาณตัวอย่างลงไปอีก ก็ดำเนินวิธีการอย่างเดียวกันนี้ซ้ำอีก จนได้ปริมาณวัสดุเพื่อการทดสอบที่ต้องการ ดังแสดงไว้ใน รูปที่ 3

4.3 เก็บตัวอย่างให้มีปริมาณมากเพียงพอที่จะนำมาทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆ ได้ตามที่ต้องการ โดยสุ่มเก็บตามน้ำหนัก ความยาว หรือจำนวนตัวอย่าง แล้วแต่ชนิดของวัสดุ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

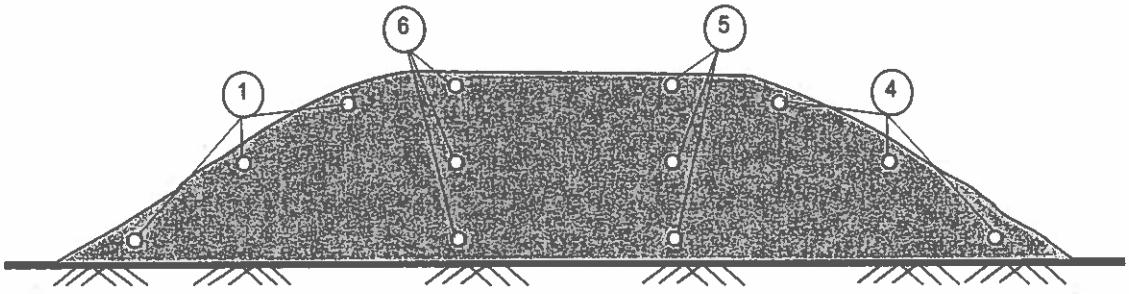
4.4 เขียนชื่อกำกับตัวอย่างนั้นๆ มาอย่างชัดเจน ระบุรายละเอียด วัน เดือน ปี สถานที่ที่เก็บตัวอย่างที่ จุดที่เก็บ ผู้เก็บตัวอย่าง ฯลฯ กรณีส่งตัวอย่างมาหลายตัวอย่างระวังในการส่งวัสดุสับสนกันถูกความชื้นทำให้เลือนจางอ่านไม่ออก หรือสูญหายระหว่างการขนส่ง

4.5 ใส่ในภาชนะที่เหมาะสมและแข็งแรงส่งเข้าห้องทดลอง ระมัดระวังการกระทบ กระเทือนในระหว่างการขนส่ง ซึ่งอาจทำให้คุณสมบัติของตัวอย่างเปลี่ยนไปหรือเสียหายได้

4.6 ถ้าต้องมีการรอก่อนจะถึงวันทดสอบ ก็จะต้องมีการเก็บรักษาตัวอย่างให้คงสภาพเดิมเอาไว้จนกว่าจะถึงเวลานำออกมาทดสอบ อาทิเช่น ก้อนคอนกรีตตัวอย่าง

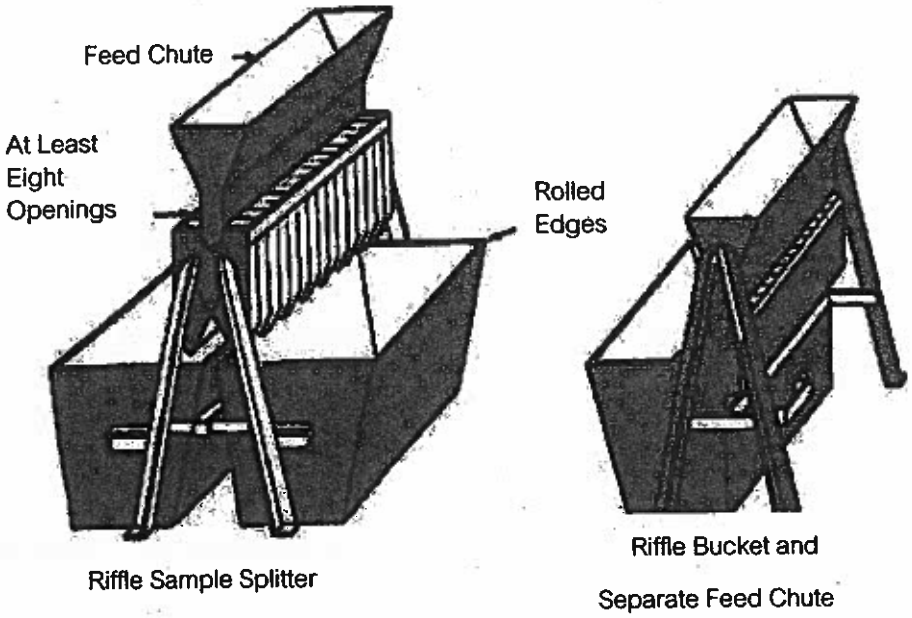


รูปด้านบนของกองวัสดุ แสดงแนวการเก็บตัวอย่าง

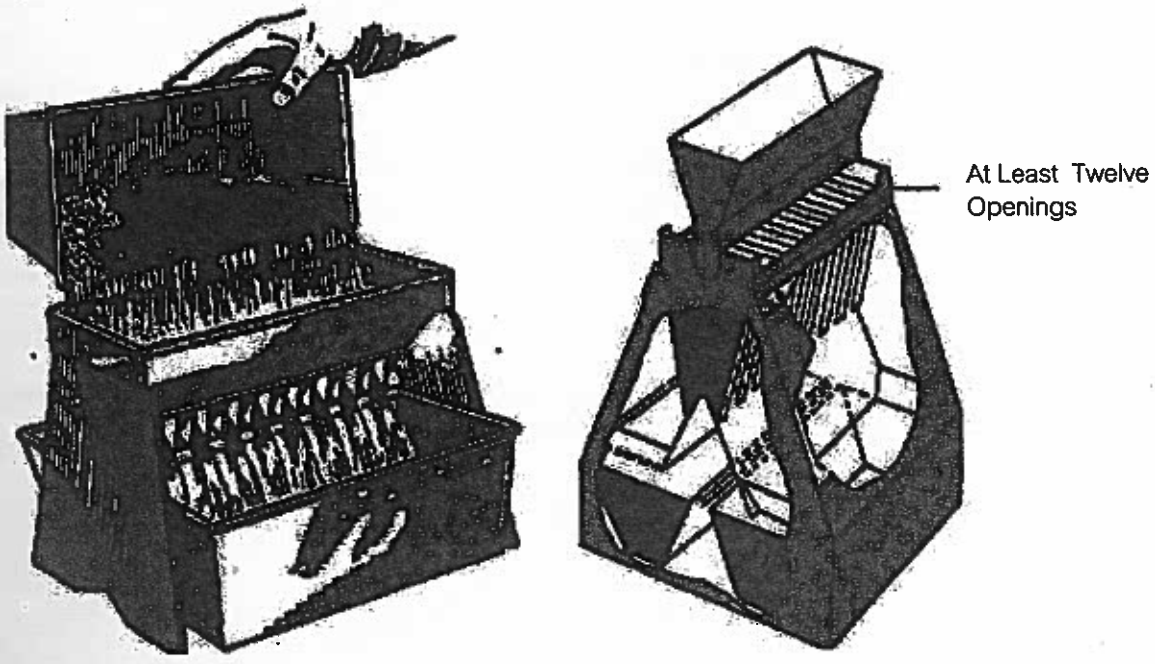


รูปด้านข้างของกองวัสดุ แสดงจุดเก็บตัวอย่าง

รูปที่ 1 แสดงการเก็บตัวอย่างจากกองวัสดุที่ผสมคลุกกันดีแล้ว รูปบนเป็นรูปแปลนของกองวัสดุ แสดงแนวเก็บตัวอย่างทั้งหมด 6 แนว รูปล่างเป็นรูปด้านข้างของกองวัสดุ แสดงจุดเก็บตัวอย่างในแนวหนึ่ง ๆ จะต้องเก็บ 3 จุด คือ จุดล่าง จุดกลาง และจุดยอด แล้วเอามาผสมกันเป็นหนึ่งตัวอย่าง



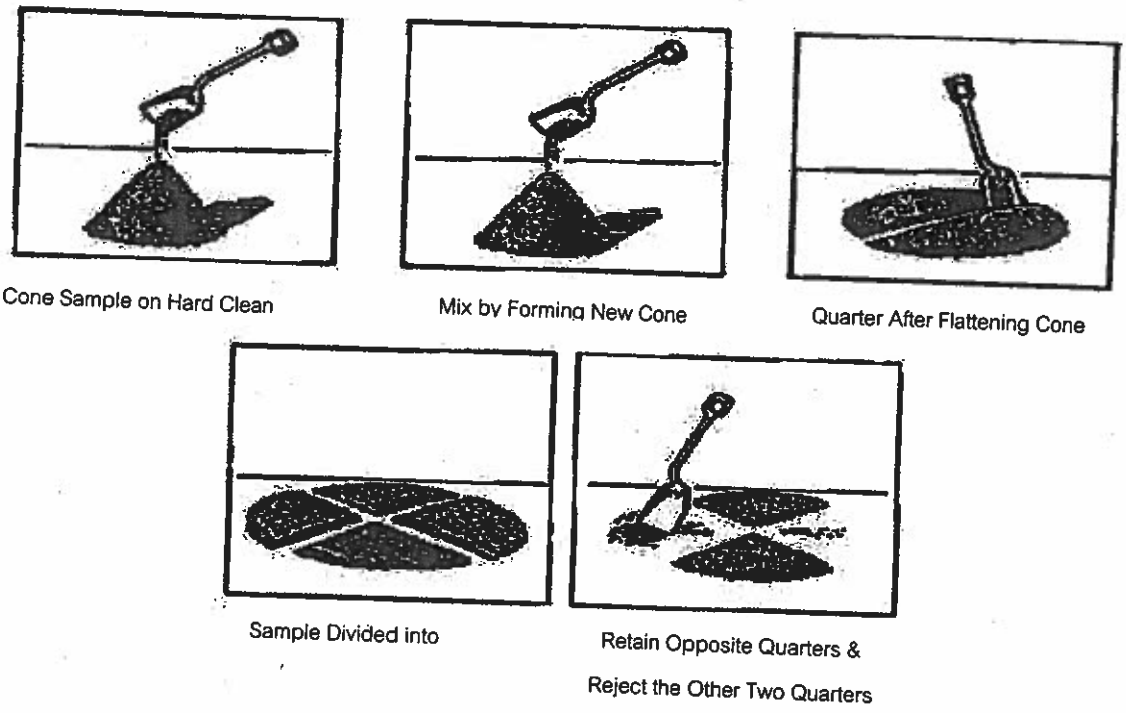
(a) Large Riffle Samplers for Coarse Aggregate Stand



Note-May be constructed as either closed or open type. Closed type is

(b)Small Riffle Sample for Fine Aggregate

รูปที่ 2 แสดงวิธีการแยกวัสดุ โดยใช้เครื่องแบ่งแยกวัสดุ (Sample Splitter)



รูปที่ 3 วิธีการแบ่งสิ่งบนพื้นที่แข็ง ราบเรียบ และสะอาด

ตารางที่ 1 การเก็บตัวอย่างวัสดุเพื่อนำมาทดสอบ

ลำดับที่	วัสดุ	การเก็บตัวอย่าง		หมายเหตุ
		ขนาด	จำนวน	
1	กรวด หิน ทราย ใช้ผสมคอนกรีต	3/8" 1/2" 3/4" 1" 1 1/2"	15 กิโลกรัม 20 กิโลกรัม 25 กิโลกรัม 31 กิโลกรัม 40 กิโลกรัม	ตัวอย่างที่ผ่านกรรมวิธีแบ่งสี่ส่วน (Quartering) จากการเก็บแหล่งแล้ว
2	ลูกรัง หินคลุก ทรายถม ดินถม	ทุกชนิด	40 กิโลกรัม	สุ่มเก็บใช้วิธีแบ่งสี่ส่วนจาก Stockpile หรือวิธีขุดเจาะจากแหล่ง
3	เหล็กเสริมคอนกรีต	ทุกขนาดเส้นละ 1.00 ม.	5 เส้น	สุ่มเก็บจากหลาย ๆ เส้น
4	คอนกรีตตัวอย่าง	ทุกรูปแบบ	3 ก้อน	สุ่มเก็บจากกลางโม่ ขณะเทคอนกรีต
5	Mixed Design :- กรวด หิน ทราย ปูนซีเมนต์	ทุกชนิด 60 กิโลกรัม 1 ถุง	100 กิโลกรัม 60 กิโลกรัม 1 ถุง	เก็บโดยวิธีแบ่งสี่ส่วนจากกองวัสดุ
6	ไม้ (Bending) (Cleavage) (Shear)	2x2x16 นิ้ว. ลักษณะพิเศษ ลักษณะพิเศษ	3 ท่อน 3 อัน 3 อัน	ไสเรียบทุกด้าน
7	อิฐก่อสร้าง (อิฐมอญ)	ทุกขนาด	25 ก้อน	สุ่มเก็บหลายจุด
8	คอนกรีตบล็อก	ทุกขนาด	15 ก้อน	สุ่มเก็บหลายจุด
9	ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt concrete) - วัสดุชนิดละเอียด (Fine Aggregates) - วัสดุชนิดเม็ดหยาบ (Coarse Aggregates) หินย่อยหรือกรวดย่อย ยาง Asphalt concrete	 หินฝุ่น* 3/8"* 1/2"* 3/4"* 	 50 กิโลกรัม 50 กิโลกรัม 50 กิโลกรัม 50 กิโลกรัม 5 ลิตร	ตัวอย่างที่ผ่านกรรมวิธี แบ่งสี่ส่วน (Quartering) จากการเก็บที่แหล่งแล้ว * HOT BIN
10	ผิวทางเคพซีล (Cape Seal) - หิน - หินฝุ่น ยาง Crs-2 Css-1h	 1/2" 	 50 กิโลกรัม 50 กิโลกรัม 5 ลิตร 5 ลิตร	

5. การทดสอบวัสดุ

วิธีการในการทดสอบวัสดุมักจะเริ่มต้นจากการตรวจสอบลักษณะรูปร่างของตัวอย่างนั้น ๆ ก่อน ด้วยสายตา ด้วยการสัมผัสด้วยมือ ด้วยความชำนาญงานว่า วัสดุนั้นมีความเรียบร้อยหรือไม่ ดูความบกพร่องของผิว ดูความเรียบสม่ำเสมอ การขนานกันของผิว สี กลิ่น ขนาด น้ำหนัก ลักษณะของความแกร่ง การแตกร้าว การเสียรูปบิดงอ บางครั้งอาจใช้ลิ้นสัมผัสรสน้ำ ใช้ฟันกัดเพื่อจำแนกเนื้อของดินละเอียด เสร็จแล้วจึงนำไปทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านอื่น ๆ โดยใช้อุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบที่เหมาะสม ซึ่งออกแบบเพื่อใช้ทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของวัสดุชนิดนั้น ๆ ต่อไป การทดสอบแบ่งหัวข้อใหญ่ ๆ ได้เป็นการทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพ (**Physical properties**) ทางกำลังหรือทางกล (**Mechanical properties**) และส่วนประกอบของวัสดุนั้น (**Chemical properties**) หรืออัตราส่วนผสมของวัสดุ (**Composition**)

ผู้ทดสอบจะต้องมีความรู้ความชำนาญในวิธีการทดสอบ เครื่องจะต้องอยู่ในสภาพดีใช้งานได้ถูกต้องแม่นยำ มีการปรับให้เที่ยงตรงอยู่เสมอ และถึงแม้จะมีการระมัดระวังในการทดสอบเพื่อให้มีความเชื่อถือได้ถูกต้องแม่นยำอยู่เสมอก็ตาม ในบางครั้งก็อาจจะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ ฉะนั้นในบางครั้งเมื่อผลการทดสอบตัวอย่าง ซึ่งมักจะแสดงออกมาเป็นตัวเลขเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานจะต่ำกว่าที่ต้องการ ก็ยังไม่ควรจะสรุปว่าวัสดุชุดนั้นกองนั้นจะใช้ไม่ได้ ควรจะมีการตรวจสอบ ทบทวนดูเพื่อหาข้อบกพร่องอันจะเกิดขึ้นได้จากวิธีการเก็บและทดสอบตัวอย่างอีกครั้งหนึ่ง โดยพิจารณาดูความถูกต้องในเรื่องของ

(1) การเก็บตัวอย่างส่งมาทดสอบ การรักษาตัวอย่างจนถึงเวลาทดสอบ
(2) การเตรียมชิ้นส่วนเพื่อการทำการทดสอบ
(3) อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบนั้น
(4) วิธีการทดสอบ และความคลาดเคลื่อนในการทดสอบ
(5) การคำนวณและการประเมินผลการทดสอบนั้น

ถ้าหากทุกอย่างถูกต้องไม่มีข้อผิดพลาดในเรื่องเหล่านี้ ก็ควรจะเก็บตัวอย่างมาทดสอบอีกครั้งเพื่อยืนยันผลการทดสอบเดิม หากผลยังออกมาเหมือนเดิม แสดงว่าคุณสมบัติวัสดุของตัวอย่างนั้นไม่ได้มาตรฐาน จะต้องไม่ยอมรับวัสดุชุดนั้นหรือกองนั้น หรือต้องมีการแก้ไขชิ้นส่วนที่สร้างไปแล้ว หรือไม่ก็ต้องหาวิธีการปรับปรุงวัสดุเพื่อให้เข้าข้อกำหนด หรือทดสอบการรับน้ำหนักของโครงสร้างส่วนนั้น เพื่อดูพฤติกรรมของโครงสร้างทั้งส่วนร่วมกันในลักษณะการใช้งานจริง และเกินการใช้งานจริงสองเท่าเป็นอย่างน้อยเพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจในการที่จะรับวัสดุนั้นไว้ใช้งานต่อไป

การหาขนาดเม็ดของวัสดุ (SIEVE ANALYSIS)

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

1. เพื่อหาค่าการกระจายขนาดของเม็ดดิน โดยการร่อนด้วยตะแกรงมาตรฐาน

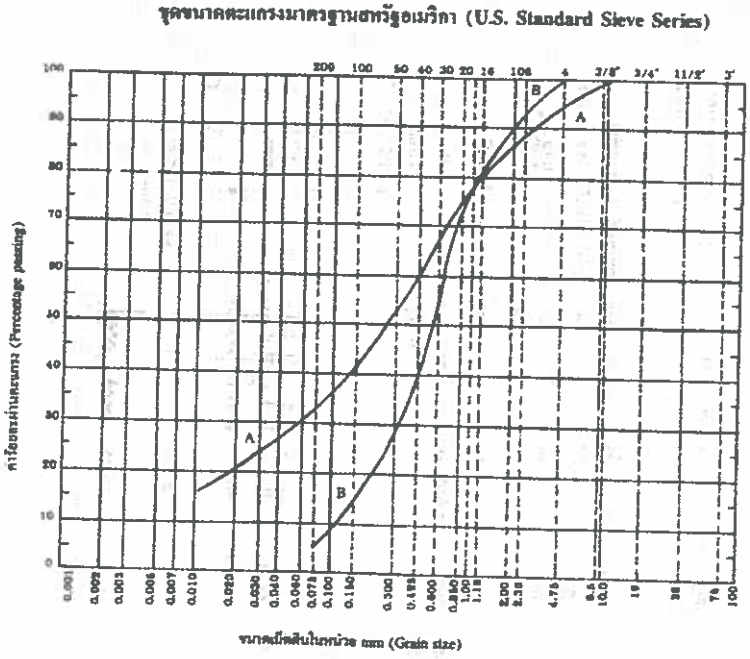
เป้าหมายของการทดสอบ

1. เพื่อตรวจสอบว่าวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง มีขนาดเม็ดคละกันดีหรือไม่
2. เพื่อใช้เป็นข้อมูลหนึ่ง ในการจัดจำแนกประเภทของดิน (**Soil Classification**)
3. เพื่อให้ทราบถึงขนาดเม็ดใหญ่ที่สุดของวัสดุ ซึ่งเป็นข้อมูลในการคำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีต

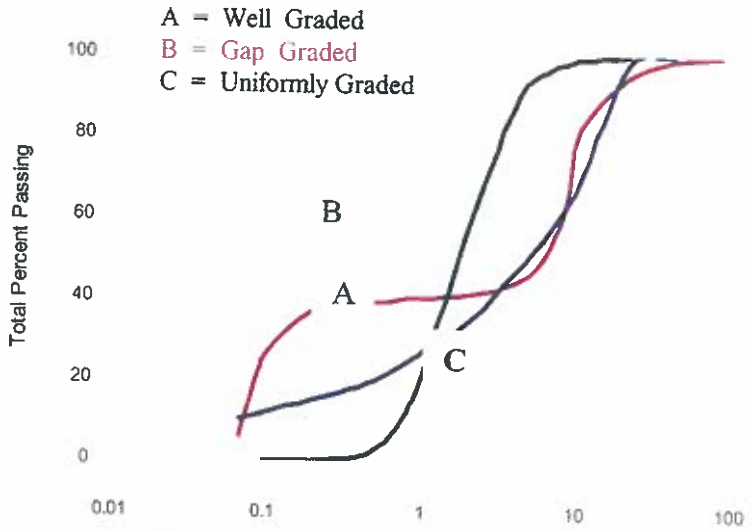
ทฤษฎี

มวลดินอาจประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาด เช่น 5 ซม. ลงมาจนกระทั่ง 0.0002 มม. ซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดิน มวลดินที่มีเม็ดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนมากจะไม่มีความเหนียวหรือแรงยึดเกาะระหว่างเม็ด เช่น ดินทราย (Cohesionless Soil) ส่วนดินที่มีส่วนประกอบเป็นเม็ดเล็กมาก เช่น ดินเหนียว (Cohesive Soil) นอกจากนั้นขนาดเม็ดดินยังมีอิทธิพลกับ การซึมน้ำ, การรับแรง, อัตราการทรุดตัว และอื่น ๆ อีกมาก การหาขนาดเม็ดดิน อาจทำได้ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่นิยมปฏิบัติกันแพร่หลายคือ วิธีร่อนผ่านตะแกรงที่มีช่องขนาดต่าง ๆ มักใช้กับดินที่มีขนาด 0.075 มม. ขึ้นไป

การกระจายขนาดเม็ดดิน มักแสดงด้วยกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดในสเกลลอการิทึม (Logarithmic Scale) และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่าที่ระบุ (Percent Finer) ซึ่งเรียกว่า กราฟการกระจายขนาดของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve) ดังแสดงในรูปที่ 1 และ รูปที่ 2



รูปที่ 1 กราฟชุดตะแกรงมาตรฐานสหรัฐอเมริกา(US Standard Sieve Series)



รูปที่ 2 กราฟการกระจายขนาดของเม็ดดิน

Well Graded คือ การกระจายของเม็ดดิน ที่มีการคละกันสม่ำเสมอทุกขนาดของเม็ดดินในสัดส่วนที่พอเหมาะ

Gab Graded คือ ลักษณะการกระจายของเม็ดดิน ซึ่งมีขนาดของเม็ดดินบางขนาดขาดไปจากส่วนคละของมวลดิน

Uniformly Graded คือ ลักษณะการกระจายของเม็ดดิน ซึ่งมีการคละกันสม่ำเสมอในช่วงของขนาดเม็ดดินที่ไม่กว้างมาก

การกำหนดการกระจายขนาดของเม็ดดินที่ใช้ในงานก่อสร้างนั้น จะกำหนดการกระจายขนาดของเม็ดดินที่บดอัดแล้ว ทำให้ได้ค่าความแน่นได้ดีที่สุด ซึ่งอาจจะมีหลายกลุ่มการกระจายที่สามารถใช้ได้ ดังเช่น การกระจายขนาดเม็ดดินของวัสดุรองพื้นทาง(มทช.202-2557) เป็นตามตารางที่ 1 และ วัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก (มทช.203-2557) เป็นตามตารางที่ .2

ตารางที่ .1 *ขนาดคละของวัสดุรองพื้นทาง*

ขนาดและตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักที่ผ่านตะแกรงเป็นร้อยละ				
	ชนิด ก.	ชนิด ข.	ชนิด ค.	ชนิด ง.	ชนิด จ.
2”	100	100	-	-	-
1”	-	75-95	100	100	100
3/8”	30-65	40-75	50-85	60-100	-
เบอร์ 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100
เบอร์ 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100
เบอร์ 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50
เบอร์ 200	2-8	5-20	5-15	10-20	6-20

ตารางที่ .2 *ขนาดคละของวัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก*

ขนาดของตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักที่ผ่านตะแกรงเป็นร้อยละ		
	ชนิด ก	ชนิด ข	ชนิด ค
2 “	100	100	-
1 “	-	75-95	100
3/8 “	30-65	40-75	50-85
เบอร์ 4	25-55	30-60	35-65
เบอร์ 10	15-40	20-45	25-50
เบอร์ 40	8-20	15-30	15-30
เบอร์ 200	2-8	5-20	5-15

วัสดุดินเดิมและวัสดุคันทาง ให้ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน มทช.201-2557 วัสดุคัดเลือก ให้ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน มทช.204-2557

วิธีการทดสอบ

วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (**Sieve Analysis**) ตาม มทช.(ท) 501.8-2545

เครื่องมือทดสอบ

1. ลักษณะเฉพาะเครื่องมือ

เป็นเครื่องมือสำหรับร่อนวัสดุประเภทมวลหยาบ อาทิเช่น หิน, กรวด, ทราย, เพื่อหาขนาดคละของวัสดุ สามารถเขย่าได้ทั้งแนวตั้งและแนวนอน

2. อุปกรณ์ประกอบเครื่องมือทดสอบ

2.1 ตะแกรงร่อนกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8" มีช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งจะประกอบด้วยขนาดต่างๆ ตั้งแต่ 2" ถึง เบอร์ 200 ตามชนิดของวัสดุ

2.2 เครื่องเขย่าตะแกรง

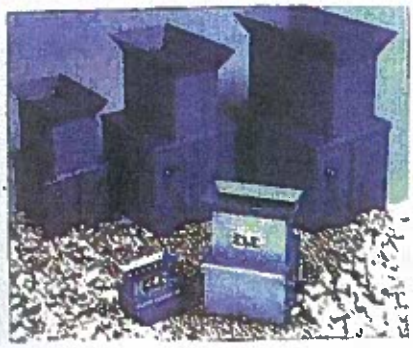
2.3 เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้ 5,000 กรัม ละเอียด 0.01 กรัม

2.4 ตู้อบวัสดุ

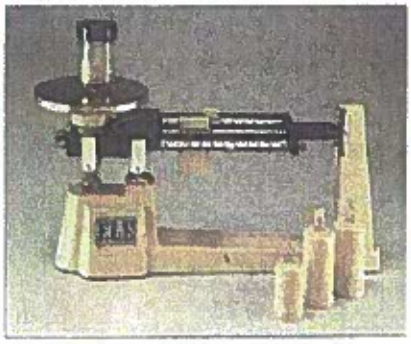
2.5 เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample splitter)

2.6 แปรงปัด สำหรับทำความสะอาดตะแกรง

รูปที่ 3 เครื่องเขย่าและชุดตะแกรงมาตรฐานสหรัฐอเมริกา(US Standard Sieve Series)



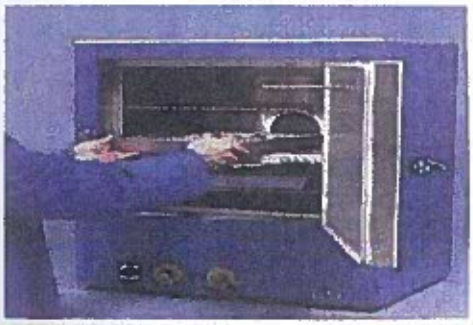
รูปที่ .4 เครื่องแบ่งตัวอย่าง



รูปที่ .5 เครื่องชั่งวัสดุ

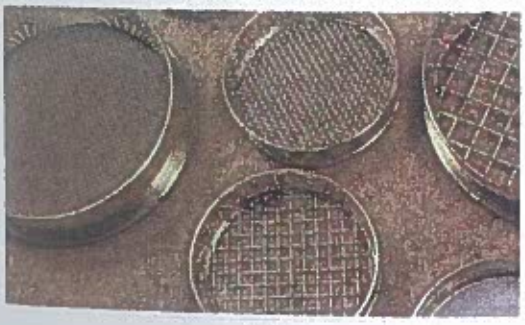
รูปที่ .6 ตู้อบวัสดุ

ขั้นตอนการทดสอบ

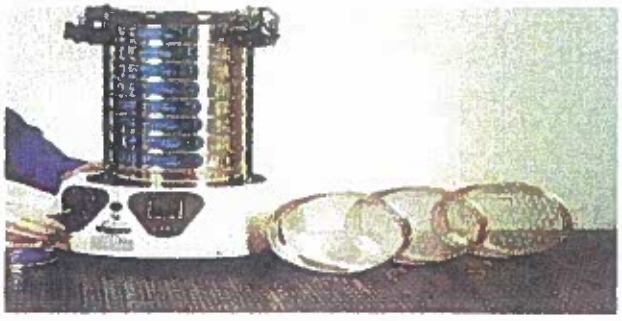


1. นำตัวอย่างวัสดุมาคลุกให้เข้ากัน ทำให้ส่วนที่จับเป็นก้อนแตกออกจากกัน โดยใช้ค้อนยางทุบ และเตรียมตัวอย่างที่จะเป็นตัวแทนของวัสดุ โดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง จากนั้นนำไปอบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ ที่อุณหภูมิ 60° C

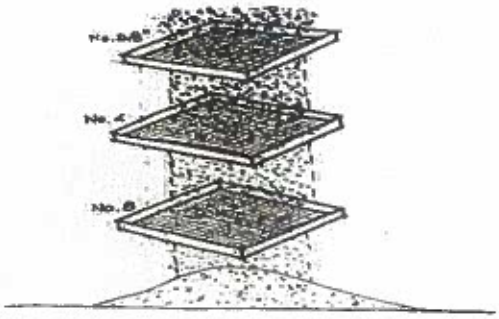
2. ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว โดยให้ได้น้ำหนักของตัวอย่างที่เมื่ออบแห้งแล้วไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน(แนะนำให้ใช้น้ำหนักวัสดุ 1,000 กรัม)



3. เลือกตะแกรงร่อนขนาดช่องผ่านต่างๆ ตามมาตรฐาน สำหรับการทดสอบวัสดุตัวอย่างนั้นๆ



4. ตรวจสอบว่าตะแกรงร่อน มีส่วนชำรุดหรือไม่ จากนั้นประกอบตะแกรงทั้งชุดและใส่ตัวอย่างวัสดุที่ชั่งน้ำหนักแล้ว



5. เขย่าด้วยเครื่องเขย่า จนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละขนาดใน 1 นาที ไม่เกินร้อยละ 1 หรือ เขย่านานทั้งหมด 15 นาที

6. ชั่ง น.น. ที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด หา น.น. ที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าร้อยละของวัสดุที่ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก

าด หา
ากนั้น
ที่ผ่าน

การรายงาน

1. ค่าร้อยละผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก เท่ากับ น้ำหนักของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด คูณด้วย 100 แล้วหารด้วย น้ำหนักของตัวอย่างแห้งทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ
2. ให้รายงานค่าร้อยละ ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ โดยน้ำหนักด้วยทศนิยม 1 ตำแหน่ง

ปัญหาอุปสรรคและข้อควรระวัง

1. การเก็บตัวอย่างวัสดุไม่ถูกต้องทำให้ได้วัสดุที่นำมาทดสอบไม่ใช่ตัวแทนของวัสดุทั้งหมด ซึ่งการเก็บวัสดุที่จะนำมาทำการทดสอบต้องเก็บให้ได้ตามมาตรฐานและสามารถเป็นตัวแทนของวัสดุทั้งหมดได้
2. การเตรียมตัวอย่างวัสดุที่จะทำการทดสอบไม่ถูกต้อง ไม่ได้ทำการแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) หรือ ด้วยวิธีแบ่งสี่ (Quartering) ซึ่งทำให้ผลการทดสอบไม่ถูกต้อง การเตรียมตัวอย่างต้องทำการแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง(Sample Splitter) หรือด้วยวิธีแบ่งสี่ (Quartering) วิธีใดวิธีหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ตัวอย่างวัสดุที่นำมาทำการทดสอบมีการคลุกเคล้าที่ดี ทำให้ผลการทดสอบมีความถูกต้อง
3. การแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง ต้องใช้เครื่องที่มีขนาดช่องกว้างประมาณ 1½ เท่าของก้อนโตที่สุด
4. ตะแกรงร่อนชำรุดเสียหาย สกปรก ก่อนทำการทดสอบควรตรวจดูตะแกรงร่อนวัสดุว่ามีความชำรุดเสียหายหรือไม่ ถ้าชำรุดต้องซ่อมก่อนใช้ โดยเฉพาะเบอร์ 200(0.075 มม.) และทำความสะอาดตะแกรงร่อนก่อนนำมาทำการทดสอบ ไม่ควรใส่วัสดุลงในตะแกรงขณะที่ยังมีความร้อนอยู่
5. วัสดุเกาะติดกันเป็นก้อน ก่อนทำการทดสอบวัสดุที่เกาะกันเป็นก้อนจะต้องทำการทุบด้วยค้อนยาง เพื่อให้วัสดุแยกออกจากกัน และระวังเวลาทำการทุบต้องไม่แรงมากจนทำให้เม็ดวัสดุแตก

ตัวอย่างแบบฟอร์ม

และ

ตัวอย่างผลการทดสอบ

SIEVE ANALYSIS

SAMPLE _____

SECTION _____

MATERIAL TO BE USED FOR _____

SAMPLE No _____

SOURCE _____

เลขที่ทดสอบ _____

ลงวันที่ _____

วันที่ทดสอบ _____

TESTED BY _____

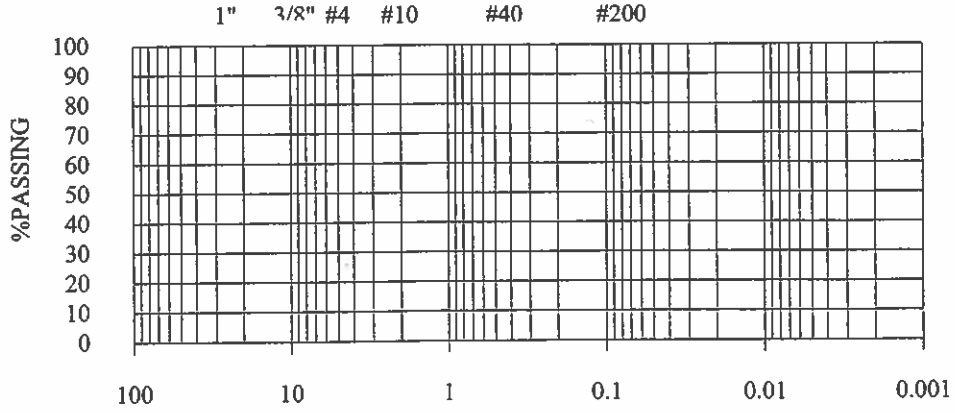
COMPUTED BY _____

CHECKED BY _____

DRY Wt. ORIGINAL SAMPLE _____ g.

SIEVE	TEST NO.1				TEST No.2				Average
	Wt.Retained g.	% Retained %	Cumulative % Retained	% Passing	Wt.Retained g.	% Retained %	Cumulative % Retained	% Passing	% Passing
2"									
1"									
3/8"									
#4									
#10									
#40									
#200									
PAN									

US.STANDARD



C_u = _____ = ...

C_c = _____ = ...

AASHTO	GRAVEL	SAND		SILT	CLAY
		COARSE	FINE		

REMARK : _____

_____

SIEVE ANALYSIS

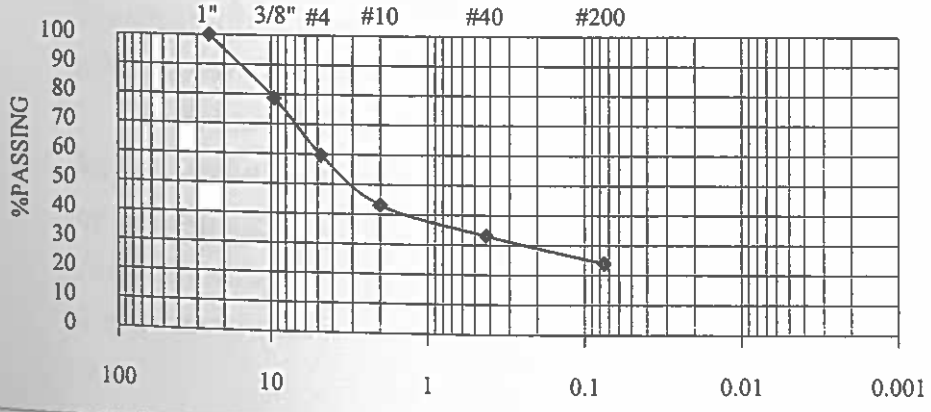
AMPLE
ECTION
ATERIAL TO BE USED FOR คันทาง
AMPLE No 3
OURCE กม. 2+800

เลขที่ทดสอบ
ลงวันที่
วันที่ทดสอบ
TESTED BY
COMPUTED BY
CHECKED BY

DRY Wt. ORIGINAL SAMPLE 1,000 g.

SIEVE	TEST No.1 Wt.Retained g.	TEST No.1 % Retained %	TEST No.1 Cumulative % Retained	TEST No.1 % Passing	TEST No.2 Wt.Retained g.	TEST No.2 % Retained %	TEST No.2 Cumulative % Retained	TEST No.2 % Passing	Average % Passing
2"	-	-	-	100	-	-	-	100	**100**
1"	-	-	-	100	-	-	-	100	**100**
3/8"	223.6	22.4	22.4	77.64	201.5	20.2	20.2	79.85	**78.75**
#4	192.8	19.3	41.6	58.36	189.7	19.0	39.1	60.88	**59.62**
#10	153.4	15.3	57.0	43.02	176.3	17.6	56.8	43.25	**43.14**
#40	105.9	10.6	67.6	32.43	94.8	9.5	66.2	33.77	**33.10**
#200	92.6	9.3	76.8	23.17	90.1	9.0	75.2	24.76	**23.97**
PAN	231.7	23.2	100	-	247.6	24.8	100.0	-	-

US.STANDARD



C_u = ——— = ...

C_c = ——— = ...

AASHTO	GRAVEL	SAND		SILT	CLAY
		COARSE	FINE		

REMARK : มทช.201-2545 วัสดุคันทาง

การหาค่าขีดจำกัดแอตเตอร์เบิร์ก (ATTERBERG'S LIMITS)

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

1. เพื่อหาค่าขีดเหลวของดิน
2. เพื่อหาค่าขีดพลาสติกของดิน
3. เพื่อหาค่าขีดหดตัวของดิน
4. เพื่อหาค่าดัชนีความเป็นพลาสติกของดิน

เป้าหมายของการทดสอบ

1. ค่าขีดเหลวเป็นดัชนีที่บ่งบอกการอัดตัวของมวลดิน กล่าวคือมวลดินที่มีค่าขีดเหลวสูง ปริมาณการยุบตัวของมวลดินจะมาก แต่ถ้ามวลดินมีค่าขีดเหลวต่ำ ปริมาณการยุบตัวของมวลดินจะน้อย
2. ค่าดัชนีความเป็นพลาสติกของดินที่มีค่าสูง จะแสดงว่าเป็นดินที่มีการยุบตัวและพองตัวได้สูง ตามสถานการณ์แปรเปลี่ยนของปริมาณน้ำในมวลดิน
3. ค่าดัชนีความเป็นพลาสติกของดิน เป็นตัวแสดงถึงความเหนียวของดิน และยังแสดงถึงความไวต่อการเปลี่ยนสถานภาพต่อความชื้นของมวลดิน
4. เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจัดจำแนกประเภทของดิน (Soil Classification)

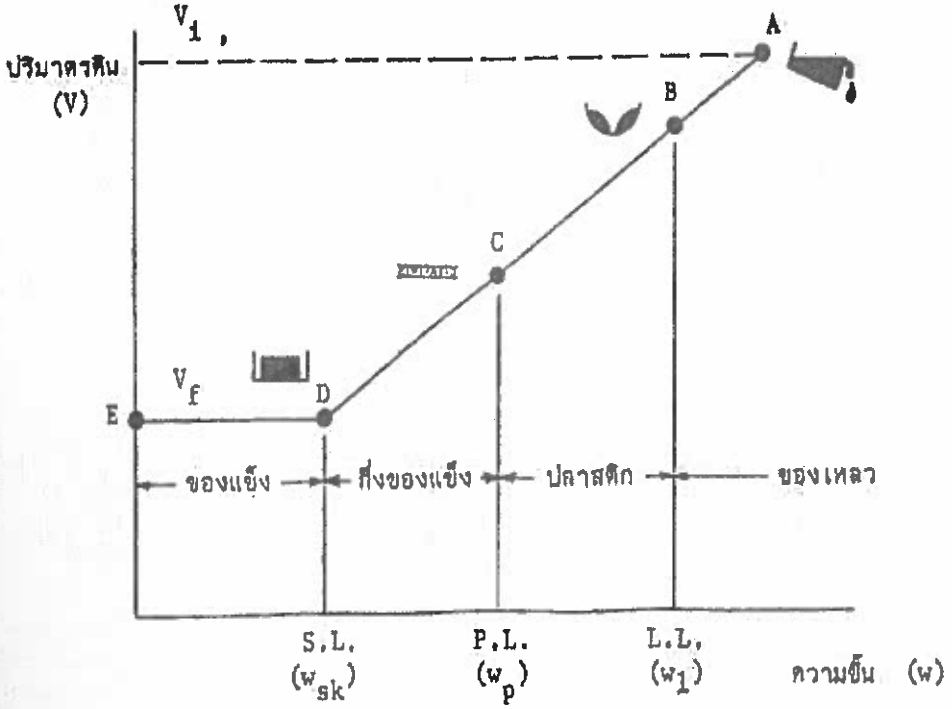
ทฤษฎี

มวลดินอาจเปลี่ยนแปลงสถานภาพ และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ไปได้มากขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น (Water Content) ในตัวมวลดินเอง โดยเฉพาะในมวลดินที่มีส่วนของเม็ดขนาดเล็กอยู่มาก เช่น ดินเหนียว (Cohesive Soil) แรงยึดเกาะระหว่างเม็ดมักเกิดจากสนามประจุไฟฟ้าโดยรอบ จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อความชื้นเปลี่ยนไป ถ้าเรานำดินเหนียวมาผสมน้ำจนมีความชื้นสูง ดินจะมีสภาพคล้ายของเหลว และถ้าทำให้ความชื้นค่อย ๆ ลดลงไป ปริมาตรของมวลดินก็จะลดลงเป็นปฏิภาคกัน มวลดินจะเปลี่ยนสภาพไปจากของเหลวเป็นพลาสติก และกึ่งของแข็งตามลำดับ

ดังนั้นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินในลักษณะนี้จะไวต่อความชื้นมาก ไม่เหมือนมวลดินที่มีเม็ดขนาดใหญ่เป็นส่วนประกอบ เช่น ดินทราย (Cohesionless Soil) ความชื้นในมวลดิน ณ จุดเปลี่ยนสภาพ เรียกว่า ลิมิต (Limit) ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของมวลดินนั้น ๆ นอกจากจะใช้เป็นตัวบ่งคุณสมบัติพื้นฐานแล้ว ยังใช้ในการจัดจำแนกหมวดหมู่ (Soil Classification) และคาดคะเนคุณสมบัติทางวิศวกรรมบางอย่าง เช่น การทรุดตัวของชั้นดิน

จุดเปลี่ยนสภาพ หรือ ลิมิต ของมวลดินมีอยู่ด้วยกัน 5 ลิมิต คือ Cohesion Limit, Sticky Limit, Shrinkage Limit, Plastic Limit และ Liquid limit แต่ภายหลังนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านปฐพีกลศาสตร์เพียงสามลิมิตสุดท้าย และสองลิมิตสุดท้ายสำหรับงานทาง

ค่าขีดจำกัดแอตเตอร์เบิร์ก (Atterberg's Limits) หมายถึง ปริมาณน้ำในมวลดินที่ทำให้สถานภาพความเหนียวของมวลดินเปลี่ยนแปลงไป สถานภาพของมวลดินแบ่งออกได้เป็น 4 สถานภาพ โดยจุดแบ่งแต่ละสถานภาพ เรียกว่า **ลิมิต** (Limit) ดังแสดงในรูป



รูปที่ 7 สถานภาพต่างๆของดินเหนียว

ค่าลิมิตเหลว (Liquid Limit) หมายถึง *ปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดของมวลดินที่ใส่อยู่ในถ้วยทองเหลืองครึ่งทรงกลม และมวลดินถูกปาดให้เป็นร่องรูปตัววีขนาดมาตรฐานโดยมีฐานด้านล่างกว้าง 2 มม. ภายหลังจากการเคาะถ้วยทองเหลืองจำนวน 25 ครั้ง ด้วยอัตราเร็วในการเคาะ 2 ครั้งต่อวินาที โดยมีระยะตกกระทบ 1ซม. แล้วทำให้ดินไหลมาชนกันยาวประมาณ 12.7 มม.*

ค่าลิมิตพลาสติก (Plastic Limit) หมายถึง *ปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดในมวลดิน เมื่อมวลดินถูกคลึงให้เป็นเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. แล้วดินแตกร้าวออก ไม่สามารถคลึงให้เป็นเส้นต่อเนื่องกันได้*

ค่าลิมิตหดตัว (Shrinkage Limit) หมายถึง *ปริมาณน้ำที่มากที่สุดในมวลดิน ซึ่งเมื่อปริมาณน้ำดังกล่าวลดลงแล้ว ไม่ทำให้ปริมาตรรวมของมวลดินลดลงตามไปด้วย*

วิธีการทดสอบ

1. วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าลิมิตเหลว(Liquid Limit : LL.) มทช.(ท) 501.5-2545
2. วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าลิมิตพลาสติก(Plastic Limit : PL)มทช. (ท) 501.6-2545
3. วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าลิมิตหดตัว(Shrinkage Limit :SL)มทช. (ท) 501.7-2545

การทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (Liquid Limit : LL)

เครื่องมือทดสอบ

1. ลักษณะเฉพาะเครื่องมือ

เป็นเครื่องมือใช้สำหรับหาค่าปริมาณความชื้นที่ทำให้ตัวอย่างดินเริ่มเปลี่ยนเป็นสภาพของเหลว ค่าปริมาณความชื้นนี้เรียกว่า **Liquid Limit**

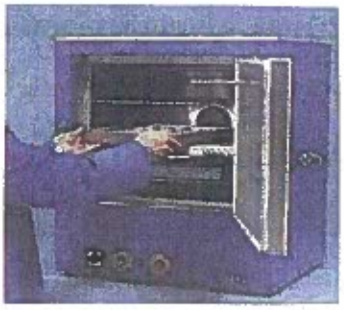
2. อุปกรณ์ ประกอบเครื่องมือทดสอบ
   - 2.1 เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter)
   - 2.2 ตะแกรงร่อนดิน เบอร์ 40 (0.425 มม.)
   - 2.3 เครื่องมือเคาะหาขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit Device)
   - 2.4 เครื่องมือปาดร่องดิน (Grooving Tool)
   - 2.5 ใบพายกวนดิน (Spatula) ขนาดยาวประมาณ 75 มม. กว้าง 19 มม.
   - 2.6 กระป๋องบรรจุดิน ขนาดเล็ก (2 นิ้ว)
   - 2.7 เครื่องชั่ง ที่สามารถอ่านได้รายละเอียด 0.01 กรัม
   - 2.8 ตู้อบ ถ้วยตวงน้ำ ถ้วยกระเบื้องเคลือบ

รูปที่ 8 เครื่องมือเคาะหาขีดจำกัดเหลว กระบอกตวง ถ้วยกระเบื้องเคลือบ ใบพายกวนดิน เครื่องมือปาดร่องดิน และขวดบรรจุน้ำ

ปริมาณน้ำ
องมวลดิน

2545
.6-2545
.7-2545

รูปที่ 9 เครื่องชั่งวัสดุ



รูปที่ 10 ตู้อบวัสดุ

ขั้นตอนการเตรียมการทดสอบ

1. การเตรียมตัวอย่างวัสดุ

1.1 นำตัวอย่างที่ผึ่งแห้ง หรืออบแห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 °c หรือที่แบ่งมาจากการทำ Sieve Analysis มาทำการแบ่งตัวอย่างด้วยวิธี Quartering หรือแบ่งตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) อีกครั้ง ซึ่งตัวอย่างจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือส่วนที่นำไปทดลอง และส่วนที่คงเหลือให้เก็บเตรียมไว้เพื่อเตรียมการทดสอบอื่นๆ

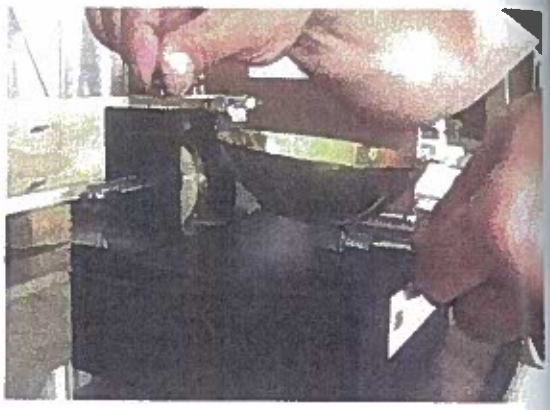
1.2 นำตัวอย่างจากข้อ1.1 มาร่อนตะแกรงเบอร์ 4 และตะแกรงเบอร์ 40

1.3 วัสดุส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 และ ตะแกรงเบอร์ 40 ให้ทิ้งไป นำเฉพาะส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์40 ประมาณ 300 กรัม มาทำการทดสอบ

2. การเตรียมเครื่องมือทดสอบ

2.1 ตรวจสอบเครื่องมือทดลองว่าอยู่ในสภาพดี และขนาดถูกต้อง

2.2 ตรวจสอบสลักยึดถ้วยว่ามีสภาพดี ยึดถ้วยแน่นไม่เอียงขณะทดสอบ ตรวจแนวปาดดินในถ้วยกระทะว่าเรียบ ไม่สึกเป็นร่อง



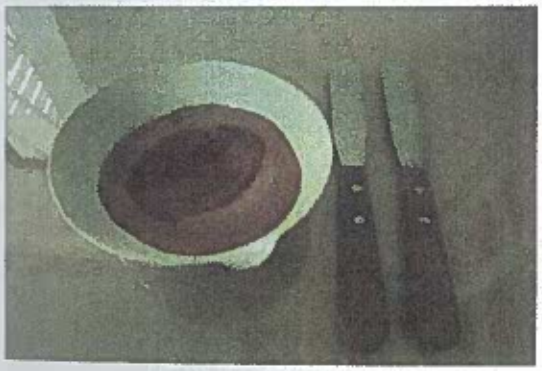
2.3 ตรวจสอบเครื่องมือปาดร่องดิน เพื่อให้แน่ใจว่าความกว้างของเครื่องมือยังถูกต้องตามมาตรฐานหรือไม่

2.4 ตรวจสอบความสูงของถ้วยกระทะที่จะยกขึ้น โดยใช้ด้ามที่ปาดร่องดิน ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10 ม.ม.วัดระยะตกของกระทะให้ได้ 10 ม.ม. ถ้าไม่ถูกต้องให้ปรับสกรู ข้างบนและด้านหลัง แล้วหมุนที่หมุนถ้วยกระทะดูถ้าได้ยินเสียง “แก๊ก แก๊ก” เบาๆ แสดงว่าถูกต้อง

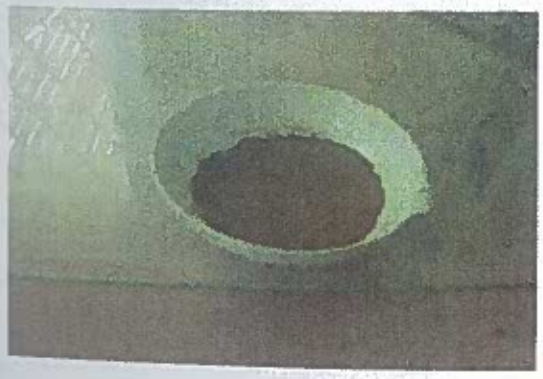
ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ประมาณ 300 กรัม เทลงบนกระจก ผสมกันให้ทั่วแล้วแต่งเป็นรูปกรวย แล้วใช้ Spatula กดยอดกรวย แล้วหมุน Spatula จนครบรอบเพื่อทำให้กองวัสดุตัวอย่างแบนราบลง

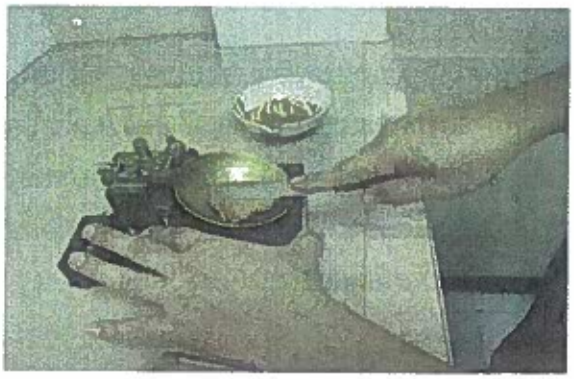
2. ใช้ Spatula แบ่งเป็น 4 ส่วนด้วยวิธี Quartering นำส่วนที่อยู่ตรงข้ามรวมกันนำไปทดสอบ ส่วนที่เหลือเก็บไว้ใช้ทดสอบใหม่ในกรณีที่สงสัยหรือต้องการทำใหม่ภายหลัง



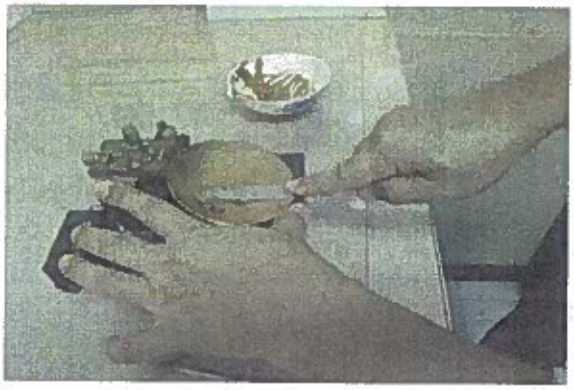
3. นำตัวอย่างที่แบ่งผสมกับน้ำในถ้วยกระเบื้องหรือบนแผ่นกระจก เติมน้ำ15 – 20 มิลลิลิตร ใช้ Spatula ผสมไปมาและบี้ให้เป็นเนื้อเดียวกัน กะดูให้เคาะได้ประมาณ 40 ครั้ง ถ้ายังไม่ได้ ให้เติมน้ำเพิ่มครั้งละ 1 – 3 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการผสมทั้งหมด 5 – 10 นาที



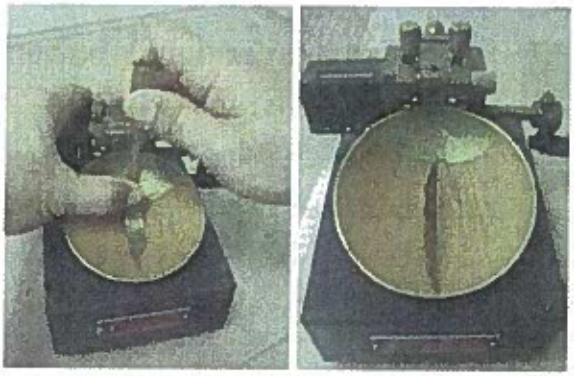
4. เสร็จแล้วพักไว้โดยเอากระจกปิดไม่น้อยกว่า 50 นาทีและไม่เกิน 1 ชม.(เพื่อให้ส่วนที่เป็นดินเหนียว(ถ้ามี)ดูดซึมน้ำจนทั่ว)



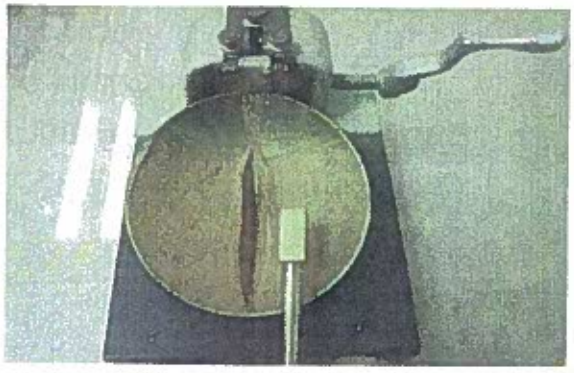
5. นำตัวอย่างที่พักไว้ใส่ลงตรงกลางถ้วยกระทะ ใช้ Spatula กด และปาด โดยพยายามปาดให้น้อยครั้งที่สุดอย่าให้มีฟองอากาศอยู่ข้างในดิน



6. ใส่ตัวอย่างลงไปให้ดินตรงกลางกระทะหนา 10 มม. แล้วนำตัวอย่างที่เหลือ เก็บในถ้วยกระเบื้องเคลือบอย่างเดิม

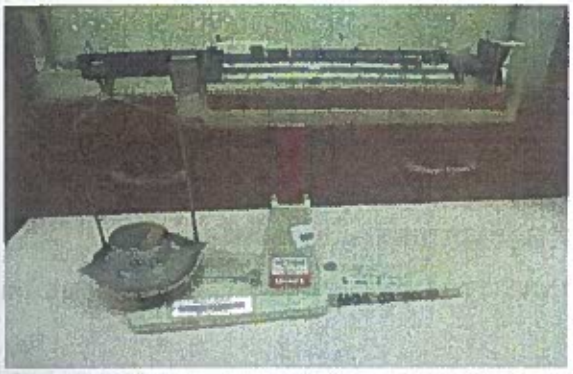


7. จับยึดถ้วยกระทะให้แน่น แล้วใช้เครื่องมือปาดร่องดินปาดตัวอย่างให้เป็นร่องตรงกลาง (กรณีตัวอย่างค่อนข้างแข็งให้ค่อย ๆ ปาด กลับไปกลับมาหลายครั้ง แต่ต้องไม่เกิน 6 ครั้ง และค่อย ๆปาดเป็นร่องลึกลงไปเรื่อย ๆ จนครั้งสุดท้ายแตะกันถ้วยพอดี และได้ร่องดินที่สะอาดเรียบร้อย)



8. จากนั้นหมุนเคาะกระทะด้วยอัตรา 2 ครั้งต่อวินาที จนกระทั่งดินเคลื่อนที่เข้าสัมผัสกันเป็นระยะยาว 12.7 ม.ม. (½ นิ้ว) จำนวนการเคาะจะต้องอยู่ในช่วงการเคาะแต่ละจุด ระยะเวลาที่ใช้ทดลองนับตั้งแต่ใส่ตัวอย่างลงในถ้วยกระทะจนกระทั่งเคาะเสร็จจะต้องไม่เกิน 3 นาที

9. เมื่อได้ตัวอย่างที่เคลื่อนมาสัมผัสกันแล้ว ให้ใช้ช้อนตักตัวอย่างตรงที่ตัวอย่างสัมผัสกันตลอดแนวความกว้างของตัวอย่างที่ตั้งฉากกับร่องตัวอย่าง ใส่กระป๋องปิดฝาให้แน่นแล้วนำไปชั่งหามวล แล้วจดบันทึกจำนวนครั้งที่เคาะ และมวลของแต่ละจุดไว้



10. นำตัวอย่างที่ได้มาชั่ง โดยเครื่องชั่ง ที่ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

11. รวมตัวอย่างจากถ้วยกระทะมาใส่ถ้วยกระเบื้องเคลือบ (หรือบนแผ่นกระจกแล้วแต่กรณี)เติมน้ำลงไปแล้วผสมตัวอย่างให้เข้ากัน แล้วทำตามวิธีการทดลองข้อ 6.5 –6.10 ให้ได้การทดลองครบทั้ง 4 จุด และแต่ละจุดช่วงเคาะที่ได้ต้องไม่น้อย หรือมากกว่าช่วงเคาะนั้น ๆ

12 นำตัวอย่างเข้าเตาอบ ตั้งอุณหภูมิที่110±5 °c อบจนแห้งและมีน้ำหนักคงที่แล้วนำออกจากเตาอบทิ้งไว้จนเย็น แล้วชั่งหามวลอบแห้ง

13 นำปริมาณความชื้นกับจำนวนครั้งในการเคาะมาเขียนกราฟ

การคำนวณหาปริมาณน้ำในดิน (Water Content)

$$\text{ปริมาณน้ำในดิน(Water Content)} = \frac{\text{มวลของน้ำในดิน (กรัม)} \times 100}{\text{มวลของดินอบแห้ง (กรัม)}}$$

การรายงานผล

1. เขียน Flow curve ลงในตารางช่องกราฟ จากปริมาณน้ำในดิน (water content) และจำนวนครั้งที่เคาะ (number of blows) เป็นเส้นตรงให้ผ่านหรือใกล้เคียงอย่างน้อย 3 จุด

2. Liquid Limit คือ ปริมาณน้ำในดิน ที่ได้จากการลากเส้นตรงจากจำนวนที่เคาะ 25 ครั้ง ตัดกับ Flow curve

ปัญหาอุปสรรคและข้อระวัง

1. ให้ตรวจสอบเครื่องมือที่จะทำการทดลองว่าอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานดีหรือไม่
2. อย่าอบตัวอย่างเกิน 60 องศาเซลเซียส เพราะจะทำให้ค่า PI. และLL. ของวัสดุบางชนิดลดลง และ Organic Matters อาจถูกเผาไหม้
3. ดินตัวอย่างที่มี PI. ต่ำ เช่น Silty Clay หรือ Sandy Clay ขณะที่ปริมาณน้ำในดินน้อยๆ การเคลื่อนที่ของตัวอย่างเข้าติดกันในร่องf อาจจะไม่ใช่การการเคลื่อนที่ (Flow) เข้าสัมผัสกันอย่างแท้จริง แต่อาจเป็นเพราะตัวอย่างเลื่อนไถล (Slip) มาชนกัน ให้ตรวจสอบ โดยใช้ Spatula ถ่างดูตรงที่ตัวอย่างชนกัน ถ้าปรากฏว่าตัวอย่าง "ชนกัน" เฉยๆไม่ "ติดเป็นเนื้อเดียวกัน" แสดงว่าเกิดการ Slip ขึ้น ให้เพิ่มน้ำแล้วทดลองใหม่
4. การผสมตัวอย่างกับน้ำ ถ้าใส่น้ำน้อย การเคาะจุดที่ 1 จะเคาะเกินช่วงเคาะ แก้ไขโดยการเพิ่มน้ำจนกว่าการเคาะจะอยู่ในช่วงเคาะ แต่ถ้าตัวอย่างเปียกหรือน้ำมากเกินไป การเคาะจุดที่ 1 จะเคาะได้น้อยกว่าช่วงเคาะ แก้ไขโดย ให้เกลี่ยตัวอย่างบางๆ บนfแผ่นกระจก หรือในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ผึ่งลมไว้ชั่วครู่ แต่อย่าให้ผิวหน้าแข็งเป็นคราบ แล้วทำการคลุกผสมใหม่ ทำจนกว่าการเคาะจะอยู่ในช่วงเคาะ และการเคลื่อนตัวของfตัวอย่างลงมาติดกันที่ความยาว12.7 มม.(½ นิ้ว) ห้ามใช้วิธีเอาfตัวอย่างใหม่ผสมลงไปเพื่อให้ตัวอย่างแห้ง
5. ต้องเก็บตัวอย่างทันทีเมื่อตัวอย่างเคลื่อนตัวเข้าติดกันยาว ½ นิ้ว (12.7 มม.) แล้วรีบชั่งหามวล เนื่องจากน้ำในดินมีจำนวนน้อยอยู่แล้วf การเก็บรอไว้จะทำให้น้ำระเหยออกไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในห้องทำงานfหรือท้องถิ่นที่มีอากาศร้อน การระเหยของน้ำก็จะมากขึ้น
6. ห้ามผสมดินตัวอย่างกับน้ำในถ้วยกระทะของเครื่องมือทดลองf แต่ให้ผสมในถ้วยกระเบื้องเคลือบหรือบนแผ่นกระจกได้
7. ต้องวางเครื่องมือทดลองกับพื้นราบในขณะหมุนเครื่อง ห้ามใช้มืออุ้มเครื่องขึ้นเพื่อหมุนทดลองf
8. น้ำที่ใช้ทดลองจะต้องเป็นน้ำสะอาด เช่น น้ำกลั่น น้ำฝน หรือน้ำประปา

การทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (Plastic Limit : PL)

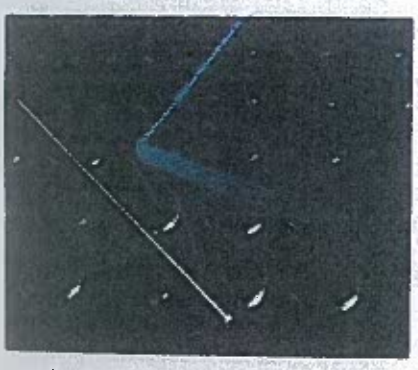
เครื่องมือทดสอบ

1. ลักษณะเฉพาะเครื่องมือ

Plastic Limit Plate เป็นเครื่องมือสำหรับหาค่าปริมาณความชื้นในตัวอย่างดินที่สภาพ Plastic Limit ซึ่งค่า Plastic Limit เป็นค่าปริมาณความชื้นต่ำที่สุด ที่สามารถคลึงตัวอย่างดินให้เป็นเส้น โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3.2 มม. และเกิดรอยแตกบนตัวอย่างดิน ค่า Plastic Limit นี้ ใช้สำหรับแบ่งชนิดของตัวอย่างดิน

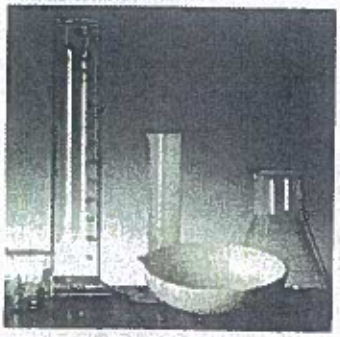
2. อุปกรณ์ประกอบเครื่องมือทดสอบ

2.1 Plastic Limit Plate เป็นแผ่นแก้วขนาด 500 ม.ม. × 500 ม.ม. หนา 10 ม.ม.
2.2 ตู้อบ
2.3 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ
2.4 ใบพายกวนดิน (Spatula)
2.5 เครื่องชั่ง
2.6 ตะแกรงร่อนดินเบอร์ 40 (0.425 ม.ม.)
2.7 กระป๋องบรรจุดิน



รูปที่ 11 Plastic Limit Plate

รูปที่ 12 ใบพายกวนดิน



รูปที่ 13 ถ้วยกระเบื้องเคลือบและกระบอกตวง

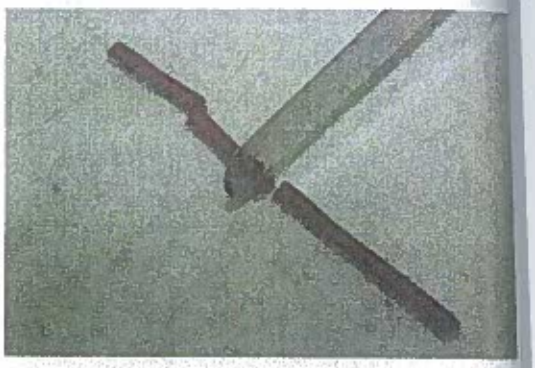
รูปที่ 14 เครื่องชั่งวัสดุ

รูปที่ 15 ตู้อบวัสดุ

ขั้นตอนการทดสอบ

1. แบ่งตัวอย่างจากการทดลอง Liquid Limit มาคลุกผสมให้เข้ากัน แบ่งเป็น 4 ส่วน (quartering) นำมาใช้ 2 ส่วน

2. นำดินประมาณ 20 กรัม ใส่ลงในถ้
กระเบื้องเคลือบ เติมน้ำกลั่นลงในดิน ผ
และกวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน และเหนี
พอที่จะปั้นเป็นก้อนได้



3. แบ่งดินนั้นประมาณ 8 กรัม มานวดและคลึงเป็นแท่งกลมยาวบนผิวพื้นราบเรียบด้วยนิ้วมือ ให้กดด้วยแ
พอสมควรจนดินมีลักษณะเป็นเส้นยาว มีเส้นผ่านศูนย์กลางสม่ำเสมอตลอดเส้น ด้วยอัตราการคลึงไปม
ระหว่าง 80 – 90 เทียวต่อนาที จนกระทั่งดินมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. แล้วดินแตกร้าวออก ไ
สามารถคลึงเป็นเส้นต่อเนื่องได้

4. นำตัวอย่างดินที่แตกแล้วทั้งหมด ใส่ลงตลับบรรจุดิน ชั่งน้ำหนัก อบดินจนแห้งที่อุณหภูมิ 110±5°C แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณความชื้น

การคำนวณหาค่า Plastic Limit (PL.) และ Plasticity Index (PI.)

$$\text{Plastic Limit (PL.)} = \frac{\text{มวลของน้ำ (กรัม)}}{\text{มวลของดินแห้ง}} \times 100 \ (\%)$$

$$\text{Plasticity Index (PI.)} = \text{LL.} - \text{PL.} \quad (\%)$$

การรายงานผล

ให้รายงานผลการทดลองโดยใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง ยกเว้นกรณีต่อไปนี้

1. ในกรณีที่ไม่สามารถหาค่า Plastic Limit ได้ให้รายงานค่า PI. ว่า " N-P (Non – Plastic)"
2. ในกรณีที่ค่า Plastic Limit มากกว่า หรือเท่ากับ Liquid Limit ให้รายงานค่า PI. ว่า "N-P"

ปัญหาอุปสรรคและข้อระวัง

1. ในการทดลองแต่ละครั้ง ให้แต่งดินตัวอย่างที่ใช้ทดลองเป็นแท่งfยาวรีก่อนคลึง น้ำหนักนิ้วมือหรือสันมือต้องพอเหมาะ และอัตราความเร็วที่fใช้คลึงจะต้องเหมือนกัน ห้ามเปลี่ยนอัตราความเร็ว หรือเปลี่ยนน้ำหนักในการคลึง หรือเปลี่ยนทั้งสองอย่างf
2. เมื่อคลึงเป็นเส้นได้ขนาด ในอัตราการคลึงที่กำหนดแล้ว ยังไม่ปรากฏรอยแตกให้เห็น หรือเห็นรอยแตกก่อนถึงอัตราการคลึง ให้แบ่งเส้นตัวอย่างออกเป็น 6 – 8 ชิ้น แล้วขยี้ขยำให้เข้ากัน ในกรณีเห็นรอยแตกก่อนให้เพิ่มน้ำ แล้วทำการทดลองตามข้อ 6.2 ใหม่ (การแตกของเส้นตัวอย่างจะแสดงลักษณะผิดแผกกันไปสุดแล้วแต่ชนิดของดิน บางชนิดจะแตกเป็นก้อนเล็ก ๆ มากมาย บางชนิดจะเป็นลักษณะทรงกระบอก โดยเริ่มจากปลายทั้งสองข้าง แล้วจึงแตกติดต่อไปตรงกลางจนที่สุดจะแตกออกเป็นชิ้นบาง ๆ หรือาจจะแตกในลักษณะอื่น)
3. ในตัวอย่างที่มี Plasticity น้อย ๆ ควรทำดินตัวอย่างให้มีรูปร่างยาวรี และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า 3.2 มิลลิเมตร เล็กน้อย
4. ทุกครั้งที่เก็บตัวอย่าง ให้ชั่งทันที มิฉะนั้นน้ำจะระเหยหายหมด
5. ตัวอย่างดินพวก Silt หรือพวก PI. ต่ำ ๆ จะทำลำบากมาก ก่อนคลึงให้แต่งดินเป็นแท่งยาวๆ น้ำหนักที่ใช้กดคลึงต้องเบา มิฉะนั้นตัวอย่างfจะแตกทันทีและระหว่างคลึงอาจจะต้องคอยซับน้ำที่ออกจากตัวอย่างมาติดfกระจก
6. ในกรณีที่ตัวอย่างมีทรายปนมาก ให้หาค่า Plastic Limit ก่อน Liquid Limit ถ้าเป็น Non – Plastic จะได้ไม่ต้องทดลองหาค่า Liquid Limit

การทดสอบเพื่อหาค่าขีดหดตัว (Shrinkage Limit : SL)

เครื่องมือทดสอบ

1. ลักษณะเฉพาะเครื่องมือ

เครื่องมือทดสอบ Shrinkage Limit ใช้สำหรับหาค่าปริมาณความชื้นที่ทำให้ตัวอย่างดิน เริ่มเปลี่ยนสภาพเป็นของแข็ง ค่าปริมาณความชื้นนี้เรียกว่า Shrinkage Limit ซึ่งใช้สำหรับคำนวณค่า Shrinkage Ratio, Volumetric Shrinkage, Linear Shrinkage

2. อุปกรณ์ประกอบเครื่องมือทดสอบ

2.1 แผ่นแก้วใสมีปุ่มโลหะ 3 ปุ่ม (Glass plate with three metal prongs) ขนาด 3 นิ้ว x นิ้ว หนา 1.6 ม.ม. สำหรับกดตัวอย่างดินให้จมลงในปรอท

2.2 ถ้วยสำหรับหาค่าขีดหดตัว (Shrinkage Dish) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 45 ม.ม. สูง 12.7 ม.ม.

2.3 ถ้วยแก้ว (Glass Cup) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 ม.ม. สูง 25 มม.

2.4 ถ้วยกระเบื้องเคลือบ

2.5 ปรอท (Mercury) จำนวนมากพอที่จะใส่ในถ้วยแก้ว(ข้อ 2.3)ได้เต็มจนล้น

2.6 ใบพายกวนดิน (Spatula)

2.7 เหล็กปาด (Straight Edge)

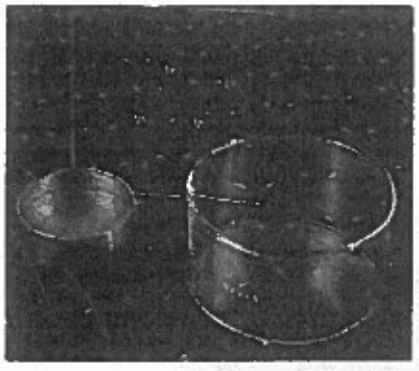
2.8 เครื่องชั่ง

2.9 กระบอกตวง

2.10 ตลับบรรจุดิน

2.11 ตะแกรงร่อนดินเบอร์ 40 (0.425 ม.ม.)

2.12 ตู้อบ



รูปที่ 16 ถ้วยสำหรับหาค่าขีดหดตัว แผ่นแก้วใสมีปุ่มโลหะ 3 ปุ่ม และถ้วยแก้ว

ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำตัวอย่างดินมาผึ่งหรืออบให้แห้ง คลุกเคล้ากันแล้วแบ่งสี่ส่วน จากนั้นนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 โดยให้ได้ตัวอย่างดินประมาณ 30 กรัม เพื่อใช้ทดสอบ

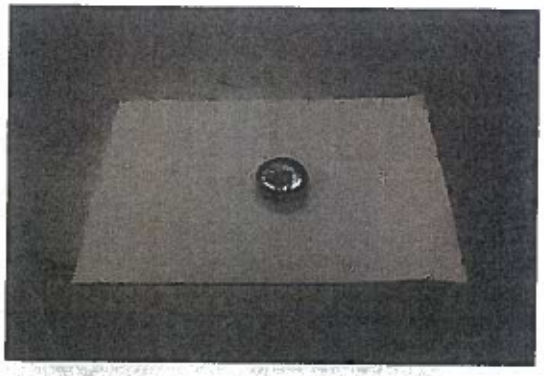
2. ผสมตัวอย่างดินในถ้วยกระเบื้องเคลือบด้วยปริมาณน้ำที่มีค่ามากกว่าค่าขีดเหลวให้ทั่วถึง เพื่อแทนที่ช่องว่างระหว่างเม็ดดินทั้งหมด และปราศจากฟองอากาศ

3. ใส่ดินที่ผสมน้ำแล้วลงในภาชนะโลหะเคลือบที่ทาด้านในด้วยน้ำมันหล่อลื่นบางๆ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้นๆ ละประมาณ 1/3 ของปริมาตรภาชนะ ในแต่ละชั้นให้เคาะภาชนะบนพื้นที่เรียบจนดินแน่นและฟองอากาศลอยขึ้นมาหมด

4. สำหรับชั้นที่ 3 ให้เติมดินจนเต็มและล้นขอบภาชนะเล็กน้อย ปาดดินที่ล้นออกด้วยเหล็กปาด จากนั้นเช็ดดินที่ติดอยู่ข้างๆ ภาชนะออกให้หมด

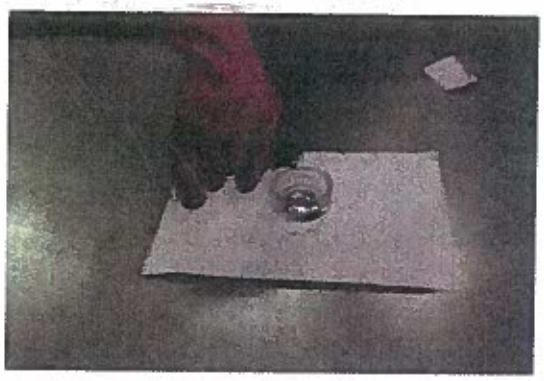
5. ชั่งภาชนะที่มีดินบรรจุอยู่เต็มทันทีและบันทึกไว้ เป็นค่าน้ำหนักของภาชนะและดินชื้น จากนั้นปล่อยให้ตัวอย่างดินแห้งจนกระทั่งสีของตัวอย่างดินจางลง

6. แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5° C จนแห้งแล้วชั่งและบันทึกไว้เป็นค่าน้ำหนักของภาชนะและดินแห้ง หาน้ำหนักของภาชนะเปล่าและบันทึกค่าไว้

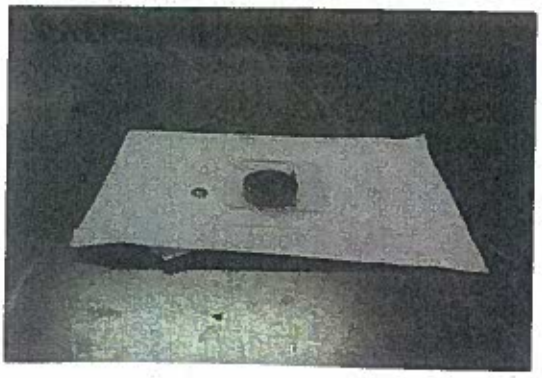


7. หาปริมาตรของภาชนะ โดยใส่ปรอทลงในภาชนะจนล้นแล้วเอาปรอทส่วนที่เกินออกโดยกดแผ่นกระจกเรียบบนปากภาชนะจนสนิท

8. วัดปริมาตรปรอทที่อยู่ในภาชนะโดยเทลงในกระบอกตวง บันทึกค่าปริมาตรภาชนะไว้ ซึ่งเป็นค่าปริมาตรของตัวอย่างดินชื้น



9. หาปริมาตรของดินอบแห้ง โดยให้ดินอบแห้งแทนที่ปรอทในถ้วยแก้วที่มีปรอทอยู่เต็ม



10. และเอาปรอทส่วนเกินออกโดยการกดแผ่นแก้วใสที่มีขาโลหะ 3 ขาอยู่ด้านบนปากถ้วยแก้วให้สนิทแล้วเช็ดปรอทด้านข้างออกให้หมด

11. จากนั้นวางถ้วยแก้วนี้ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบแล้ววางตัวอย่างดินอบแห้งบนผิวปรอทและกดตัวอย่างดินให้จมลงในปรอทด้วยแผ่นแก้วใส

12. หาปริมาตรของปรอทที่ถูกแทนที่ด้วยตัวอย่างดิน โดยใช้กระบอกตวงปรอทที่ล้นออกมา แล้วบันทึกค่าปริมาตรไว้ ซึ่งเป็นค่าปริมาตรของดินแห้ง

การคำนวณ

1. การคำนวณปริมาณความชื้น (Water Content) เป็นร้อยละของน้ำหนักดินอบแห้ง ขณะใส่ดินลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ

$$w = \frac{W - W_o}{W_o} \times 100$$

เมื่อ w = ปริมาณความชื้นขณะใส่ดินลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ (เป็นร้อยละ)

W = น้ำหนักของดินชื้น หาได้โดยหักน้ำหนักภาชนะกระเบื้องเคลือบออกจากน้ำหนักภาชนะและดินที่บรรจุอยู่เต็มภาชนะ หน่วยเป็นกรัม

W_o = น้ำหนักของดินแห้ง หาได้โดยหักน้ำหนักภาชนะกระเบื้องเคลือบออกจากน้ำหนักภาชนะและดินชื้นอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

2. การคำนวณค่าขีดหดตัว (Shrinkage Limit : SL.)

$$SL. = w \times \frac{(V-V_o)}{W_o} \times \gamma_{water} \times 100$$

เมื่อ SL. = ค่าขีดหดตัว

w = ปริมาณความชื้นขณะใส่ดินลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ จากข้อ 1.

V = ปริมาตรของดินชื้น หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

V_o = ปริมาตรของดินแห้ง หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

γ_{water} = น้ำหนักของน้ำต่อหน่วยปริมาตร หน่วยเป็นกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

W_o = น้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

3. การคำนวณอัตราส่วนการหดตัว(Shrinkage Ratio : R)

$$R = \frac{W_o}{V_o \times \gamma_{water}}$$

เมื่อ R = อัตราส่วนการหดตัว

W_o = น้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

V_o = ปริมาตรของดินแห้ง หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

γ_{water} = น้ำหนักของน้ำต่อหน่วยปริมาตร หน่วยเป็นกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

4. การคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร (V_c)

$$V_c = (W-SL.) \times R$$

เมื่อ V_c = อัตราส่วนการหดตัว

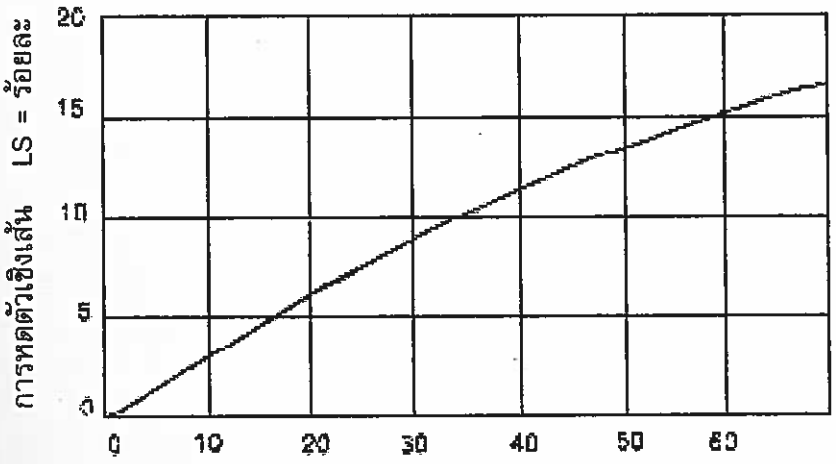
W = ปริมาณความชื้นเป็นร้อยละของดินในสภาพใดสภาพหนึ่ง

SL. = ค่าขีดหดตัว

R = อัตราส่วนการหดตัว

5. การคำนวณค่าการหดตัวเชิงเส้น (LS) หรือหาได้จากเส้นกราฟ ในรูปที่ 3.17

$$LS = 100 \times \left\{1-\sqrt[3]{[100/(V_c + 100)\,]}\right\}$$



การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร V_c = ร้อยละ

รูปที่ 17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตรและการหดตัวเชิงเส้น

การรายงานผล

ให้รายงานผลการทดลองโดยใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

ตัวอย่างแบบฟอร์ม

และ

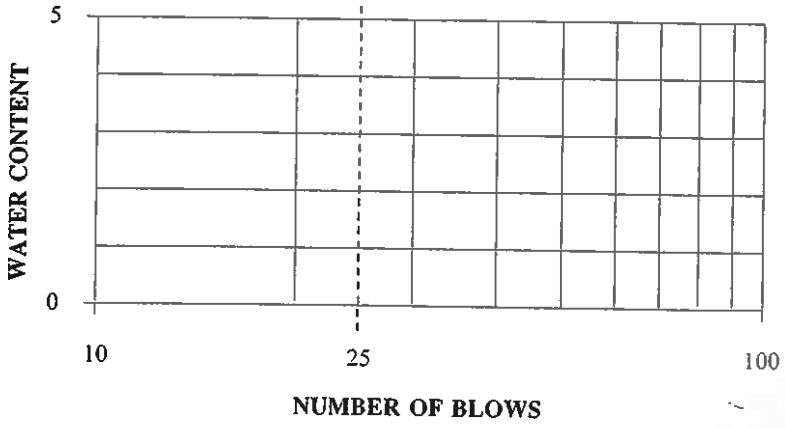
ตัวอย่างผลการทดสอบ

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค กรมทรัพยากรน้ำ	เลขที่ทดสอบ	ลงวันที่
	วันที่ทดสอบ	

ATTERBERG'S LIMIT TEST

โครงการของ สถานที่ ผู้ดำเนินการ ชนิดตัวอย่าง แหล่งวัสดุ	ผู้ทดสอบ ผู้คำนวณ ผู้ตรวจสอบ

	LIQUID LIMIT				PLASTIC LIMIT	
TRIAL No	1	2	3	4	1	2
CAN No						
Wt.WET SOIL + CAN. g						
Wt.DRY SOIL + CAN. g						
Wt. WATER g						
Wt. CONTAINER g						
Wt. DRY SOIL g						
WATER CONTENT %						
No OF BLOWS					**Average**	



LIQUID LIMIT	
PLASTIC LIMIT	
PLASTICITY INDEX	

*รับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่นำมาส่งเท่านั้น

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

เลขที่ทดสอบ	ลงวันที่
วันที่ทดสอบ	วัสดุรองพื้นทาง

ATTERBERG'S LIMIT TEST

งการของ

นที่

เนินการ

ตตัวอย่าง ลูกรัง (General Test)

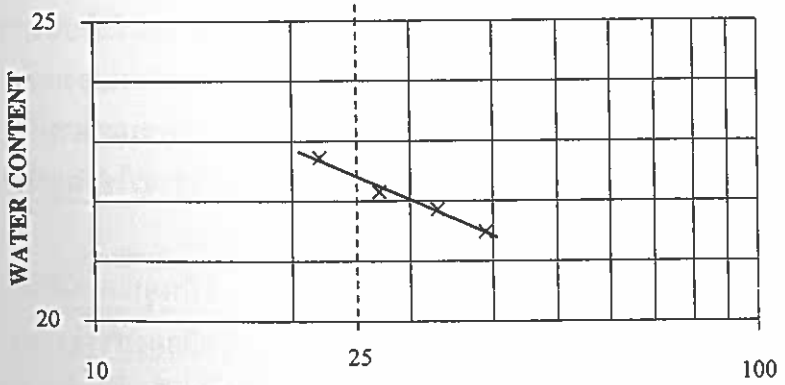
ส่งวัสดุ กม. 3+000

ผู้ทดสอบ

ผู้คำนวณ

ผู้ตรวจสอบ

		LIQUID LIMIT				PLASTIC LIMIT	
TRIAL No		1	2	3	4	1	2
CAN No		34	239	219	179	169	184
Wt.WET SOIL + CAN.	g	54.62	43.51	59.46	56.02	30.27	30.15
Wt.DRY SOIL + CAN.	g	49.24	40.12	53.26	50.21	29.49	29.36
Wt. WATER	g	5.38	3.39	6.20	5.81	0.78	0.79
Wt. CONTAINER	g	24.20	24.61	25.27	24.64	25.09	24.49
Wt. DRY SOIL	g	25.04	15.51	27.99	25.57	4.40	4.87
WATER CONTENT	%	21.49	21.86	22.15	22.72	17.73	16.22
No OF BLOWS		39	33	27	22	Average	16.97



LIQUID LIMIT	22.40
PLASTIC LIMIT	16.97
PLASTICITY INDEX	5.43

*รับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่นำมาส่งเท่านั้น

การหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ
(LOS ANGELES ABRASION TEST)

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

1. เพื่อหาค่าความสึกหรอของหินย่อย กรวดย่อย กรวด วัสดุลูกรัง วัสดุมวลรวมดิน (soil aggregates) และวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (coarse aggregates) โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion
2. เพื่อหาค่าน้ำหนักของวัสดุที่สูญเสียไป เนื่องจากการถูกขัดสี การถูกบดทับ การถูกกระแทก ด้วยลูกเหล็กตามจำนวนที่กำหนด

เป้าหมายของการทดสอบ

1. เพื่อตรวจสอบว่าวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดหรือไม่
2. วัสดุที่มีค่าความสึกหรอน้อย ก็จะมีค่าการสึกกร่อนน้อยในระหว่างการบดอัดให้แน่น ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก
3. เพื่อหาความแข็งแกร่งของวัสดุ

ทฤษฎี

คอนกรีตสำหรับผิวหน้าถนน หรือใช้กับเขื่อน (ส่วนคลองระบายน้ำ) ต้องมีความแข็งแกร่งต่อการสึกกร่อน ดังนั้นมวลรวมหยาบจึงต้องมีความแข็งแกร่งต่อการสึกกร่อน โดยทั่วไปยิ่งการลดน้ำหนักจากการสึกกร่อนของมวลรวมหยาบมีน้อยเท่าไร การลดน้ำหนักเนื่องจากสึกกร่อนของคอนกรีตยิ่งมีน้อยเท่านั้น ดังนั้นจึงควรทดสอบหาการลดน้ำหนักเนื่องจากการสึกกร่อนของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องมือทดสอบความสึกหรอลอสแองเจลิส (**Los Angeles Abrasion**) และเป็นตัวชี้ว่าจะใช้วัสดุนั้น กับคอนกรีตสำหรับผิวหน้าถนน หรือ เขื่อน ได้หรือไม่

ความต้านทานต่อการสึกกร่อน หรือความแข็ง (**Hardness**) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอันหนึ่ง มวลรวมของผิวทางจะต้องมีลักษณะที่ไม่กลม และไม่มันเงาเนื่องจากการขัดสีของการจราจร เพื่อทำให้มีความต้านทานต่อการลื่นได้ดี พื้นของโรงงานที่มีปริมาณการจราจรมาก จะต้องมีความต้านทานต่อการสึกกร่อน สำหรับมวลรวมในชั้นพื้นทางจะรับน้ำหนักมาก จึงไม่ควรให้มีการสึกกร่อน เนื่องจากการเคลื่อนที่ระหว่างอนุภาค

การทดสอบหาค่าการสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบ ด้วยวิธีการทดสอบการขัดสีลอสแองเจลีส (**Los Angeles Abrasion Test**) ซึ่งใช้เครื่องมือทดสอบความสึกหรอลอสแองเจลิส (**Los Angeles Abrasion Machine**) วิธีนี้เป็นที่ยอมรับกันในการทดสอบความแข็งของมวลรวม การทดสอบทำโดยการเตรียมมวลรวมและนำไปใส่ในภาชนะทรงกระบอก (**drum**) ที่บรรจุลูกเหล็กทรงกลม แล้วหมุนภาชนะทรงกระบอกนี้ ก็จะสามารถหาค่าการสูญเสียของมวลรวมหรือปริมาณที่ถูกบดย่อยได้ ซึ่งค่าดังกล่าวเป็น

การเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุที่ใช้ทดสอบทั้งหมดกับน้ำหนักของวัสดุที่สูญเสียไป เนื่องจากการถูกขัดสีระหว่างวัสดุและลูกเหล็ก การถูกบดทับด้วยลูกเหล็กทรงกลมตามจำนวนที่กำหนด การถูกกระแทกทำลายด้วยการตกจากด้านหนึ่งลงมากระแทกอีกด้านหนึ่งของเครื่องทดสอบทรงกระบอกเหล็กที่หมุนด้วยความเร็ว 30-33 รอบต่อนาที ตามจำนวนรอบที่กำหนด

วิธีการทดสอบ

วิธีการทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (Coarse Aggregates) โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion ตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท มทช.(ท) 501.9-2545

เครื่องมือทดสอบ

1. ลักษณะเฉพาะเครื่องมือ

เครื่อง Los Angeles Abrasion เป็นเครื่องมือที่ทำการทดสอบหาค่าความสึกหรอของวัสดุมวลหยาบ (COARSE AGGREGATE) อาทิเช่น หิน กรวด และลูกรัง

2. อุปกรณ์ประกอบเครื่องมือทดสอบ

2.1 ลูกเหล็กทรงกลม (ABRASIVE CHARGE) ∅ 46.8 ม.ม. แต่ละลูกหนักประมาณ 390-445 กรัม จำนวนลูกเหล็กขึ้นอยู่กับ grading ของตัวอย่าง ดังกำหนดไว้ในตารางที่ 3

2.2 ตะแกรง สำหรับหาขนาดคละของวัสดุมวลหยาบขนาดต่าง ๆ

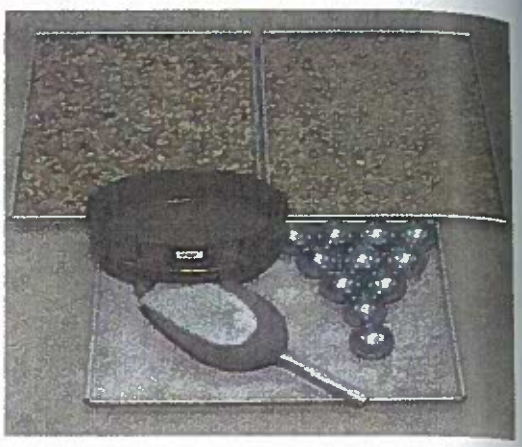
2.3 เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้ 15 กิโลกรัม ความละเอียดอ่านได้ถึง 1 กรัม

2.4 เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 110±5° C สำหรับอบดินตัวอย่าง

ตารางที่ 3 จำนวน ABRASIVE CHARGE ที่ใช้ในการทดลองแต่ละ Grading

Grading	จำนวน Abrasive Charge (ลูก)	มวลรวม (กรัม)
A	12	5,000 ± 25
B	11	4,584 ± 25
C	8	3,300 ± 20
D	6	2,500 ± 15
E	12	5,000 ± 25
F	12	5,000 ± 25
G	12	5,000 ± 25

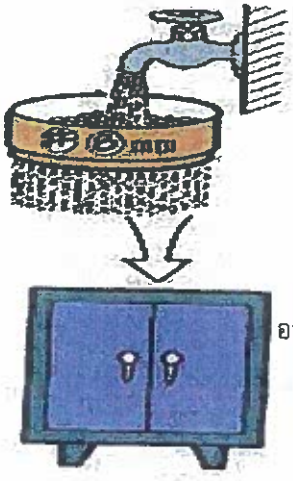
รูปที่ 18 เครื่อง Los Angeles Abrasion



รูปที่ 19 ลูกเหล็กทรงกลมและตะแกรง

ขั้นตอนการทดสอบ

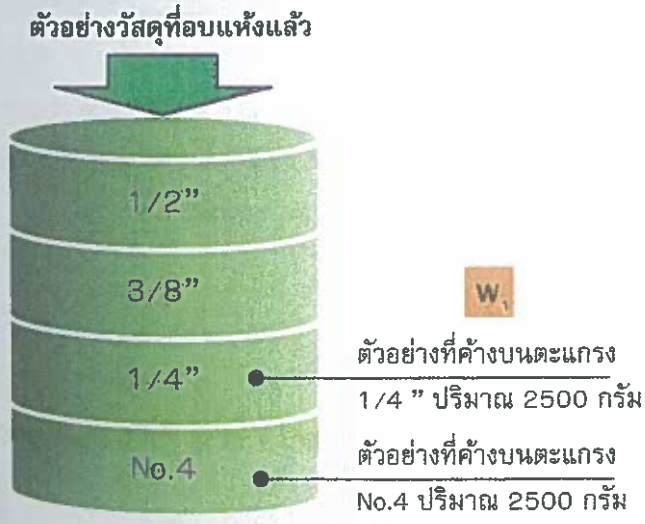
1. ถ้าตัวอย่างไม่มีดินเหนียวปน เช่น กรวด ทราย หินโม่ ให้อบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105-110°C แล้วนำไปร่อนแยกขนาดคละ(grading) ตามตารางที่3.4 ถ้าเข้าได้หลาย grading ให้เลือกใช้ตัวที่ใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการใช้งานมากที่สุด



2. ถ้าตัวอย่างมีดินเหนียวปนหรือมีส่วนละเอียดเป็นก้อนใหญ่แน่น ให้นำตัวอย่างไปล้างน้ำ เอาส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ทิ้ง แล้วนำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 8 มาอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105-110°C แล้วนำไปร่อนแยกขนาดคละ(grading) ตามตารางที่3.4 ถ้าเข้าได้หลาย Grading ให้เลือกใช้ตัวที่ใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการใช้งานมากที่สุด

ตารางที่ 4 Gradation และ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดลอง (กรัม)

ขนาดตะแกรง (มม.)		A	B	C	D	E	F	G
ผ่าน	ค้าง	-	-	-	-	2500±50	-	-
75.0	63.0	-	-	-	-	2500±50	-	-
63.0	50.0	-	-	-	-	5000±50	5000±50	-
50.0	37.5	-	-	-	-	-	5000±25	5000±25
37.5	25.0	1250±25	-	-	-	-	-	-
25.0	19.0	1250±25	-	-	-	-	-	-
19.0	12.5	1250±10	2500±50	-	-	-	-	-
12.5	9.5	1250±10	2500±50	-	-	-	-	-
9.5	6.3	-	-	2500±50	-	-	-	-
6.3	#4(4.75มม.)	-	-	2500±50	-	-	-	-
#4(4.75มม.)	#8(2.36มม.)	-	-	-	5000±10	-	-	-
มวลตัวอย่างรวม (กรัม)		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	-	-
จำนวนรอบ		500				1000		



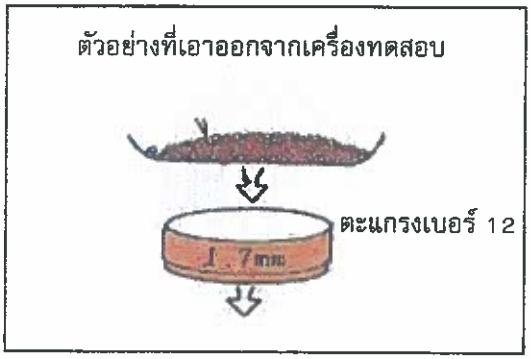
3. ชั่งน้ำหนักวัสดุตัวอย่างเป็น W_1(กรัม) และเตรียมลูกเหล็กตามจำนวนที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.3

4. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ โดยปริมาณของตัวอย่างให้ใช้ตามตารางที่ 3.4 และจำนวนลูกเหล็กให้ใช้ตามตารางที่ 3.3 ใส่เข้าไปในเครื่อง Los Angeles

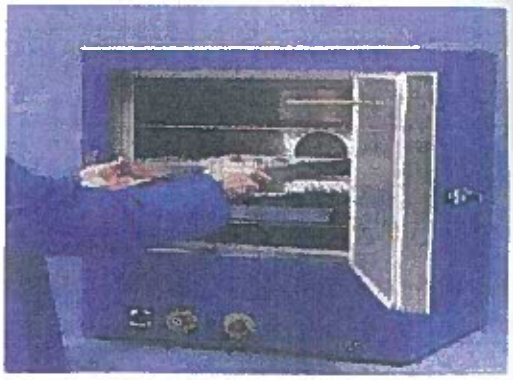
5. ปิดฝาถังกลม

ตัวอย่างและลูกเหล็ก ช่อง **ABCD** 500 รอบ ช่อง **EFG** 1000 รอบ

6. หมุนด้วยเครื่องด้วยความเร็ว 30-33 รอบต่อนาที ให้ได้จำนวนรอบตามตารางที่ 3.3



7. เมื่อหมุนได้ครบตามจำนวนรอบที่กำหนดแล้ว ให้เอาตัวอย่างออกจากเครื่องและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 12 นำส่วนที่ค้างตะแกรงไปล้างให้สะอาด



8. นำส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 12 ที่ล้างเรียบร้อยแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 105-110°C ให้แห้ง และชั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่เหลือเป็นค่า W_2 (กรัม)

การคำนวณค่าความสึกหรอ

น.น. ที่สูญหายจากความสึกหรอ = น.น.ตัวอย่างวัสดุก่อนการทดสอบ – น.น. ที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 1

$= W_1 - W_2$

ความสึกหรอมีค่าเป็นร้อยละ (Percentage of wear) $= \frac{\text{น.น.ที่สูญหายไปเนื่องจากความสึกหรอ}}{\text{น.น.ของตัวอย่างวัสดุก่อนการทดสอบ}} \times 100$

$= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$

การรายงาน

1. ความสึกหรอเป็นร้อยละ มีค่าเท่ากับ ผลต่างของน้ำหนักตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ทดสอบกับน้ำหนักที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 12 คูณด้วย 100 แล้วหารด้วย น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ
2. ให้รายงานค่าความสึกหรอเป็นร้อยละ ด้วยทศนิยม 1 ตำแหน่ง

ปัญหาอุปสรรคและข้อควรระวัง

1. วัสดุที่นำมาทำการทดสอบน้อยเกินไปทำให้มีวัสดุไม่พอที่จะทำการทดสอบ เพราะการทดสอบหาความสึกหรอต้องแยกขนาดของวัสดุให้ได้ตามข้อกำหนดของวิธีการทดสอบ จึงต้องนำวัสดุมาให้เพียงพอที่จะใช้ในการทดสอบ

2. การเตรียมตัวอย่างวัสดุไม่ถูกต้อง ไม่ได้ล้างเอาก้อนดินเหนียว หรือส่วนละเอียดที่ติดแน่นกับก้อนตัวอย่างออกก่อนที่จะนำตัวอย่างมาทำการทดสอบ ต้องทำการล้างเอาก้อนดินเหนียว หรือส่วนละเอียดที่ติดกับก้อนตัวอย่างออกโดยเอาส่วนที่ล้างผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ออกทิ้ง แล้วนำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 8 มาทำการทดสอบ

3. ลูกเหล็กทรงกลมใช้งานมานานทำให้เกิดการสึกหรอ ทำให้น้ำหนักของลูกเหล็กทรงกลมไม่ถูกต้องตามมาตรฐาน ต้องทำการชั่งน้ำหนักของลูกเหล็กทรงกลมแต่ละลูกก่อนนำมาทำการทดสอบ

ตัวอย่างแบบฟอร์ม

และ

ตัวอย่างผลการทดสอบ

MATERIAL TESTING

ABRASION OF COARSE AGGREGATE BY

LOS ANGELES MACHINE

PROJECT _____ เลขที่ทดสอบ _____

LOCATION _____ ลงวันที่ _____

SECTION _____ วันที่ทดสอบ _____

SAMPLE _____ TESTED BY _____

MATERIAL TO BE USED FOR _____ COMPUTED BY _____

SAMPLE No _____ CHECKED BY _____

SPEC _____

SOURCE _____

GRADING _____ No.of Abrasive Charges

Wt.of Charge (g.)

No.of REVOLUTION

SIEVE SIZE		Wt.OF SAMPLE (g.)		
PASSING	**RETAINED ON**	No.1	No.2	
1 1/2"	1"			
1"	3/4"			
3/4"	1/2"			
1/2"	3/8"			
3/8"	1/4"			
1/4"	#4			
#4	#8			
Original Weight of Sample (W1) g.				
Final Weight of Sample (W2) g.				
Loss (W1 - W2) g.				
Percentage of Wear $\frac{W1 - W2}{W1} \times 100$ %				
AVERAGE %				

REMARKS *Percentage of Wear* ≤ %

MATERIAL TESTING

ABRASION OF COARSE AGGREGATE BY

LOS ANGELES MACHINE

PROJECT _____ เลขที่ทดสอบ _____

LOCATION _____ ลงวันที่ _____

SECTION _____ วันที่ทดสอบ _____

SAMPLE _____ TESTED BY _____

MATERIAL TO BE USED FOR รองพื้นทาง COMPUTED BY _____

SAMPLE No. 2 CHECKED BY _____

SPEC. มทช.202-2545

SOURCE _____

GRADING A

No.of Abrasive Charges 12

Wt.of Charge (g.) 5,005

No.of REVOLUTION 500

SIEVE SIZE		Wt.OF SAMPLE (g.)		
PASSING	**RETAINED ON**	No.1	No.2	
1 1/2"	1"	1,250	1,250	
1"	3/4"	1,250	1,250	
3/4"	1/2"	1,250	1,250	
1/2"	3/8"	1,250	1,250	
3/8"	1/4"			
1/4"	#4			
#4	#8			
Original Weight of Sample (W1) g.		5,000	5,000	
Final Weight of Sample (W2) g.		3,655	3,610	
Loss (W1 - W2) g.		1,345	1,390	
Percentage of Wear $\frac{W1 - W2}{W1} \times 100$ %		26.9	27.8	
AVERAGE %		27.4		

REMARKS *Percentage of Wear* $\leq$ *60 %*

การบดอัด (COMPACTION)

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

1. เพื่อหาค่าความแน่นแห้งสูงสุดของวัสดุ (Maximum Dry Density) ที่จะได้จากการบดอัด
2. เพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ที่ทำให้การบดอัดได้ค่าความแน่นแห้งสูงสุด
3. เพื่อใช้เป็นค่าเปรียบเทียบในการควบคุมการบดอัดวัสดุในสนาม

เป้าหมายของการทดสอบ

การบดอัดดินให้มีความแน่นเพิ่มขึ้น เพื่อ

1. เพื่อหาค่าความแน่นแห้งสูงสุดของวัสดุ (Maximum Dry Density) ที่จะได้จากการบดอัด
2. เพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ที่ทำให้การบดอัดได้ค่าความแน่นแห้งสูงสุด
3. เพื่อใช้เป็นค่าเปรียบเทียบในการควบคุมการบดอัดวัสดุในสนาม

ทฤษฎี

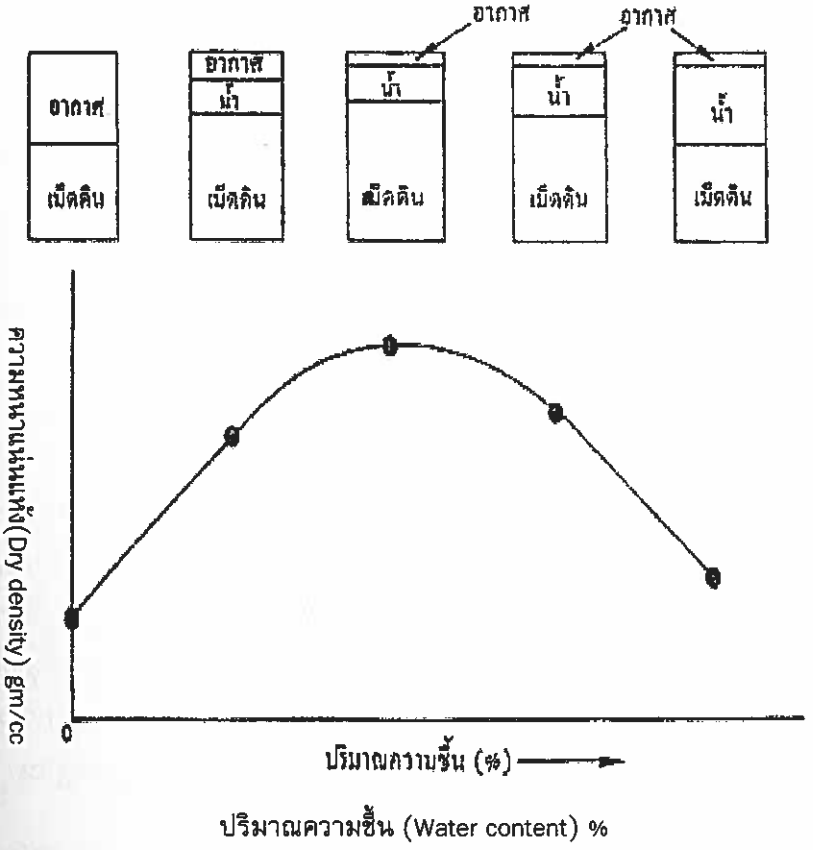
การนำดินมาใช้ในการก่อสร้างนั้น จำเป็นที่จะต้องทราบถึงวิธีการในทางปฏิบัติ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะทำให้ดินที่มีอยู่ในบริเวณที่ทำการก่อสร้าง หรือดินที่นำมาจากที่อื่นเพื่อใช้ในการก่อสร้าง มีความมั่นคงและความสามารถในการรับน้ำหนัก เหมาะสมกับจุดประสงค์ของการก่อสร้างนั้นๆ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด คือการสร้างถนน และทางหลวง ซึ่งมีดินเป็นวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างที่สำคัญ Design Load ที่วิศวกรคำนวณไว้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ Live Load อันเนื่องมาจากการใช้งานบนถนน ดินที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง หรือดินที่มีอยู่ในบริเวณก่อสร้างตามธรรมชาติ จะต้องได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติ เพื่อให้มีความสามารถทนทานต่อ Design Load ที่ได้คำนวณไว้ โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อผิวจราจร หรือยวดยานที่ใช้ถนนนั้นๆ

การปรับปรุงความมั่นคง หรือเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของดินดังกล่าว เรียกโดยทั่วไปว่า Soil Stabilization ซึ่งรวมถึงการบดอัดดินให้แน่น (Soil Compaction) ข้อกำหนดของการบดอัดจะวัดเป็นความแน่นแห้งของดิน ค่าคาดหมายของความแน่นแห้งของดินจะแปรไปตามชนิดของดินที่จะทำการบดอัด ตัวอย่างเช่น อาจจะบดอัดดินเหนียวตั้งหลายครั้ง แต่ก็ยังได้ความแน่นแห้งไม่ถึง 2000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ดินเม็ดหยาบอาจจะมีค่าของความแน่นแห้งสูงกว่าค่านี้ โดยไม่ต้องบดอัดมากนัก ดังนั้นจะต้องมีการกำหนดค่าความแน่นแห้งสูงสุดของดินแต่ละชนิด

การบดอัด เป็นกระบวนการที่ใช้แรง หรือน้ำหนัก หรือพลังงานจากเครื่องมือกล กระทำให้เม็ดดินเบียดตัวชิดกันเพื่อเพิ่มความแน่นและความสามารถในการรับน้ำหนัก ลดการทรุดตัว ลดการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) เครื่องมือกลที่ใช้ในการบดอัด เช่น รถบดล้อเหล็ก รถบดล้อยาง รถบดตีนแกะ

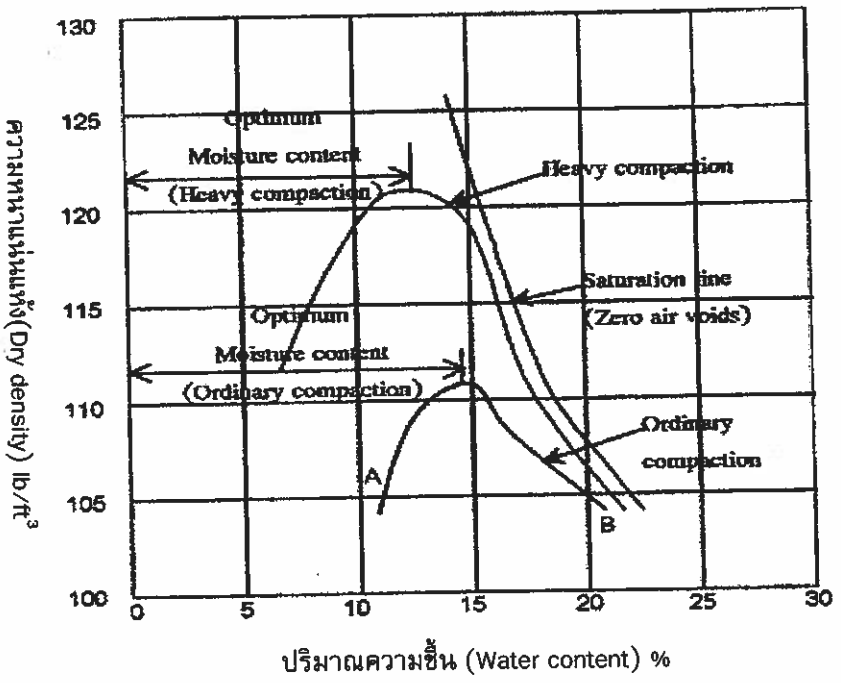
รถบดชนิดสั่นสะเทือน เป็นต้น การจะเลือกใช้เครื่องมือชนิดใดขึ้นอยู่กับประเภทของดินหรือวัสดุที่จะบดอัด

การบดอัดให้ได้ความแน่น (Density) ตามความต้องการของการใช้งานจะต้องอาศัยน้ำ เนื่องจากน้ำที่อยู่โดยรอบเม็ดดินจะทำให้เม็ดดินมีการเลื่อนตัวเข้ามาชิดกันได้ มีโครงสร้างที่มีความแน่นขึ้น อากาศจะถูกขับออกจากดินทำให้ช่องว่างในดินลดลง ดังนั้นดินที่มีปริมาณความชื้นมากขึ้นก็จะได้ค่าความแน่นแห้งสูงขึ้นจนถึงค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งอากาศในดินส่วนมากได้ถูกขับออกมาแล้ว และทำให้ได้ความแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) โดยปริมาณความชื้นที่ทำให้ได้ความแน่นแห้งสูงสุดนี้ เรียกว่า Optimum Moisture Content หากเติมน้ำเข้าไปในดินอีกก็จะทำให้ค่าความแน่นแห้งต่ำลงได้ ทั้งนี้เพราะน้ำส่วนที่เติมเข้าไปจะไปแทนที่บางส่วนของอนุภาคดิน ทำให้เม็ดดินเลื่อนห่างจากกัน ดังแสดงในรูปที่ 20



รูปที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งและค่าปริมาณความชื้น

นอกจากความชื้นซึ่งมีผลโดยตรงในกระบวนการบดอัดดังกล่าวแล้ว ในการก่อสร้างนั้น พลังงานที่ใช้ในการบดอัดก็เป็นตัวแปรที่สำคัญที่จะทำให้การบดอัดได้ความแน่นเพิ่มขึ้น โดยพลังงานที่ใช้ในการบดอัดที่สูงกว่า สามารถบดอัดให้ได้ความแน่นแห้งสูงสุดที่ความชื้นในการบดอัดที่ต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 21



รูปที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้ง, ค่าปริมาณความชื้น และพลังงานที่ใช้ในการบดอัด

ด้วยเหตุผลและข้อเท็จจริงดังกล่าว จึงได้มีการกำหนดวิธีทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความแน่นของดินที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการ เป็นวิธีการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test) โดยเฉพาะการทดสอบเพื่อควบคุมการก่อสร้างถนน ในปัจจุบันยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งได้มีวิวัฒนาการให้มีขนาดใหญ่ขึ้น บรรทุกน้ำหนักได้มากขึ้นหลายเท่าตัว จึงได้มีการกำหนดวิธีการทดสอบการบดอัดโดยการเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้น เพื่อจะได้ฐานดินที่มีความแน่นสูงรับน้ำหนักได้มากขึ้น เรียกว่า วิธีการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) ในการทำการบดอัดในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะใช้เป็นมาตรฐาน ในการควบคุมการบดอัดในสนามต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 5

การใช้วิธีการทดสอบวิธีใด ให้เป็นไปตามรายการที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง ถ้าไม่ได้ระบุวิธีการทดสอบให้ใช้วิธี ก.

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐานและแบบสูงกว่ามาตรฐาน

วิธีการทดสอบ	ขนาดของแบบ (เส้นผ่านศูนย์กลางของ Mold)	น้ำหนักตุ้ม (ปอนด์)	ระยะยกตุ้ม (นิ้ว)	จำนวนชั้นการบดอัด (ชั้น)	จำนวนครั้งการบดอัด (ครั้ง)	ดินที่ใช้ทดสอบคือดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด	หมายเหตุ
แบบมาตรฐาน							
วิธี ก. Standard Proctor	4 นิ้ว	5.5	12	3	25	¾ นิ้ว	มทช.(ท)
วิธี ข. AASHTO T -99	6 นิ้ว	5.5	12	3	56	¾ นิ้ว	501.1-2545
วิธี ค. Standard Proctor	4 นิ้ว	5.5	12	3	25	เบอร์ 4	
วิธี ง. AASHTO T -99	6 นิ้ว	5.5	12	3	56	เบอร์ 4	
แบบสูงกว่ามาตรฐาน							
วิธี ก. Modified Proctor	4 นิ้ว	10	18	5	25	¾ นิ้ว	มทช.(ท)
วิธี ข. AASHTO T -180	6 นิ้ว	10	18	5	56	¾ นิ้ว	501.2-2545
วิธี ค. Modified Proctor	4 นิ้ว	10	18	5	25	เบอร์ 4	
วิธี ง. AASHTO T -180	6 นิ้ว	10	18	5	56	เบอร์ 4	

วิธีการทดสอบ

1. วิธีการทดสอบความแน่นแบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test) ทดสอบตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท มทช.(ท) 501.1-2545
2. วิธีทดสอบความแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) ทดสอบตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท มทช.(ท) 501.2-2545

เครื่องมือทดสอบ

1. ลักษณะเฉพาะเครื่องมือ

เป็นชุดเครื่องมือที่ทำการทดสอบโดยวิธี Dynamic Compaction เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ผสมในการบดอัด โดยทำการทดสอบบดอัดดินในแบบ (Mold) ใช้ Mold ขนาดต่าง ๆ และค้อนบดอัดขนาดต่าง ๆ สามารถทำการทดสอบได้ทั้งแบบมาตรฐาน AASHTO T-99 ASTM D 698 T และแบบสูงกว่ามาตรฐาน AASHTO T-180 ASTM D 1557 T

2. อุปกรณ์ประกอบเครื่องมือทดสอบ

2.1 แบบ (Mold) ขนาด ∅ 4" สูง 4.6" สำหรับทำการทดสอบ วิธี ก. และ วิธี ค.
แบบ (Mold) ขนาด ∅ 6" สูง 5" สำหรับทำการทดสอบ วิธี ก. และ วิธี ค.

2.2 ค้อน (Hammer) มี ∅ 2 " มีตัวบังคับให้ระยะตก 12" น้ำหนักของค้อน 5.5 ปอนด์ ใช้สำหรับการทดสอบแบบมาตรฐาน (Standard Compaction test)

ค้อน (Hammer) มี ∅ 2 " มีตัวบังคับให้ระยะตก 18" น้ำหนักของค้อน 10 ปอนด์ ใช้สำหรับการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction test)

2.3 แท่นโลหะรอง (Spacer disc)

2.4 เครื่องดันตัวอย่าง (Sample extruder) ใช้ดันดินออกจากแบบภายหลังเมื่อทดสอบเสร็จแล้ว ประกอบด้วย Jack ทำหน้าที่เป็นตัวดันและโครงเหล็กทำหน้าที่เป็นตัวจับแบบ ในกรณีที่ไม่มีเครื่องดันดิน ให้ใช้สิ่ว หรือเครื่องมืออย่างอื่นแคะตัวอย่างออกจากแบบ

2.5 เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 16 กิโลกรัม และชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัม สำหรับชั่งตัวอย่าง

2.6 เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้ 1,000 กรัม และชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม สำหรับหาปริมาณน้ำในดิน

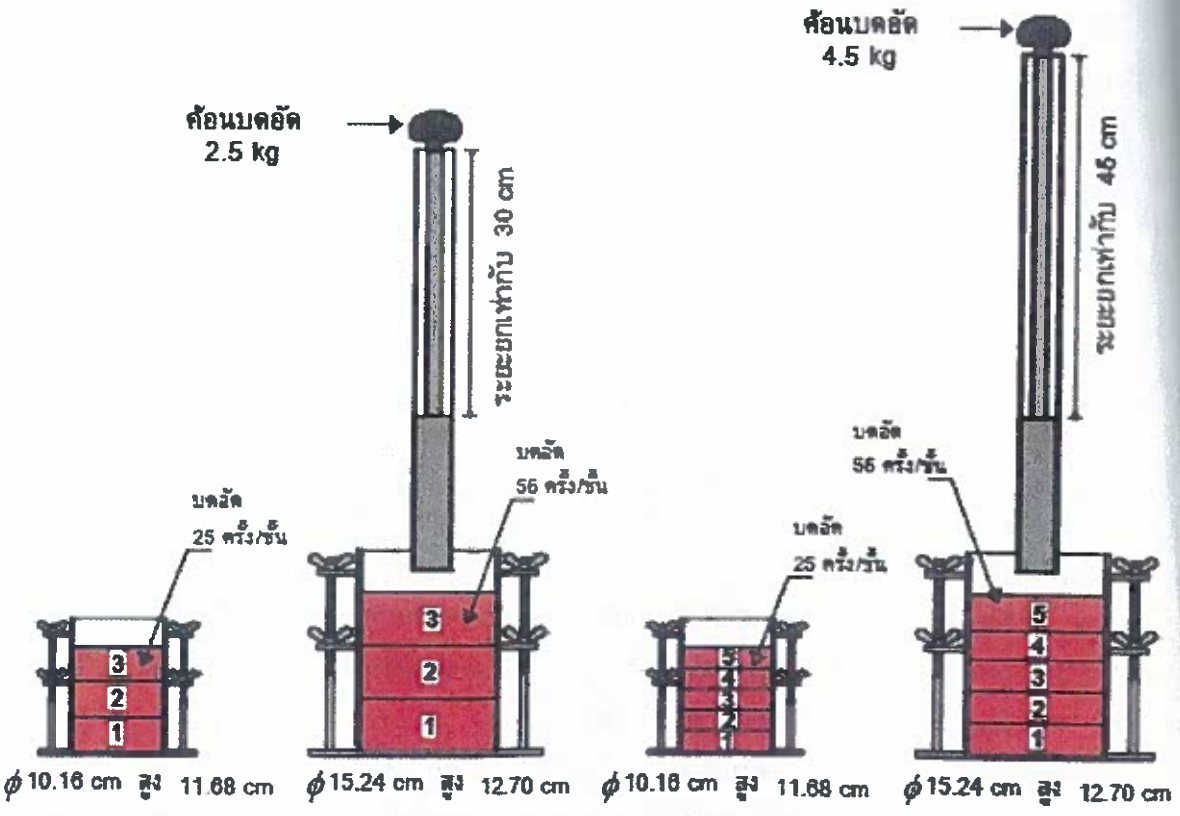
2.7 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ 110±5 °C สำหรับอบดินตัวอย่าง

2.8 เหล็กปาด (straight edge) เป็นเหล็กคล้ายไม้บรรทัด มีความหนาและแข็งเพียงพอในการตัดแต่งตัวอย่างที่ส่วนบนของแบบ (Mold)

2.9 ตะแกรงร่อน ขนาด ¾" และเบอร์ 4

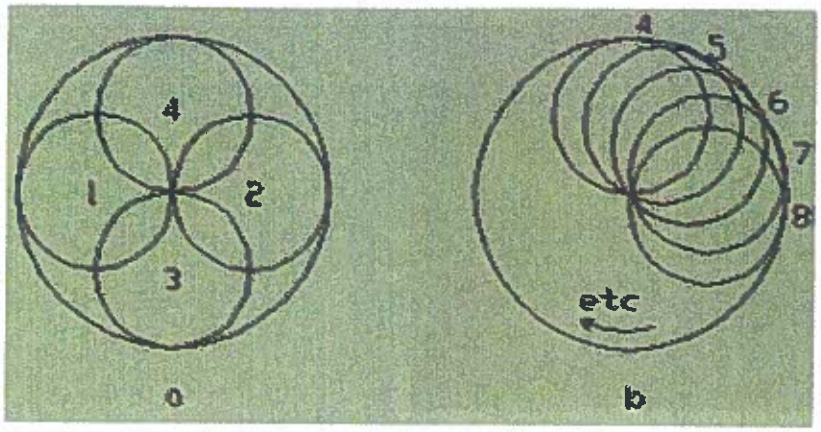
2.10 เครื่องผสม เป็นเครื่องมือจำเป็นต่างๆที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำได้แก่ ถาด, ช้อน, พลั่ว, เกรียง, ค้อนยาง ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ

2.11 กระป๋องอบดิน สำหรับใส่ตัวอย่างดิน เพื่ออบหาปริมาณน้ำในดิน



แบบมาตรฐาน แบบสูงกว่ามาตรฐาน

รูปที่ 23 อุปกรณ์เครื่องมือทดสอบ การบดอัดแบบมาตรฐาน และแบบสูงกว่ามาตรฐาน



รูปที่ 22 ลำดับขั้นตอนการบดอัดดินแต่ละชั้นในแบบหล่อ
(Sequence of Blows Using Hand Rammer)

ขั้นตอนการทดสอบ

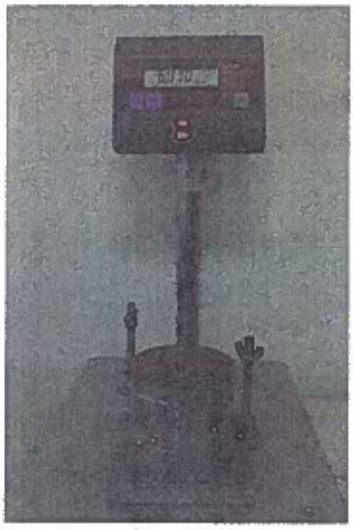
1. เตรียมตัวอย่างวัสดุ จำนวนไม่น้อยกว่า 4 ตัวอย่าง ปริมาณของตัวอย่างวัสดุที่ใช้เป็นดังนี้ แบบ (Mold) ขนาด Ø 4 " ใช้ประมาร 3,000 กรัม /ตัวอย่าง แบบ (Mold)) ขนาด Ø 6 " ใช้ประมาร 6,000 กรัม /ตัวอย่าง

2. นำดินตัวอย่างมาพึ่งให้แห้งหรืออบที่อุณหภูมิ 60 °C แล้วบดให้เม็ดดินหลุดออกจากกัน จากนั้นพรมน้ำให้ทั่วตัวอย่างดิน เพื่อให้ดินชื้น (โดยปกติปริมาณน้ำที่พรมมักเริ่มต้นที่ประมาณ 4 % ของน้ำหนัก แล้วคลุก ผสมกันใส่ตัวอย่างดินลงในแบบ แล้วใช้ตุ้มบดอัดให้แน่น

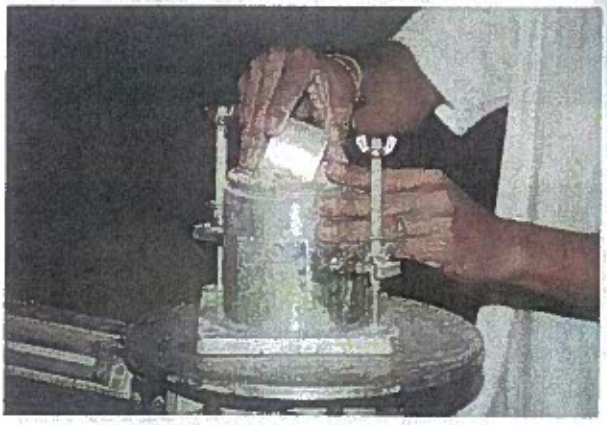
ในการบดอัดแบบมาตรฐาน
- แบบขนาด Ø 4" บดอัด 3 ชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง และ
- แบบขนาด Ø 6" บดอัด 3 ชั้น ชั้นละ 56 ครั้ง

ในการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน
- แบบขนาด Ø 4" บดอัด 5 ชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง และ
- แบบขนาด Ø 6" บดอัด 5 ชั้น ชั้นละ 56 ครั้ง

3. ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าดินในแบบให้เรียบ



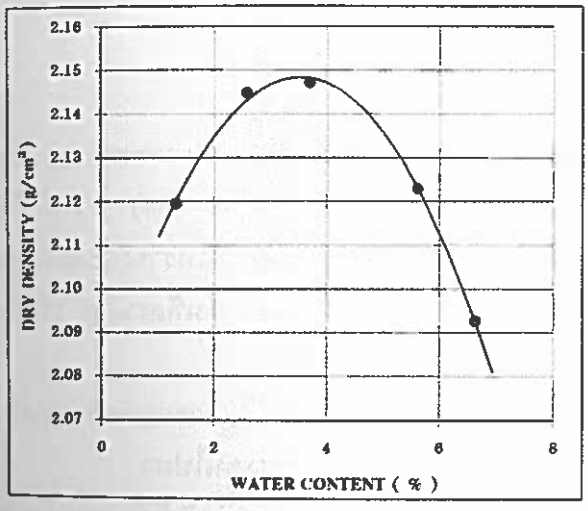
4. นำไปชั่งน้ำหนัก จะได้มวลของดินตัวอย่าง + มวลของแบบ (Mold) เมื่อหักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของดินตัวอย่างเปียกและจดบันทึก



5. ดันแท่งตัวอย่างดินออกจากโมล แล้วผ่ากลางตามแนวตั้ง เก็บดินตัวอย่างตามแนวผ่า ประมาณ 300 กรัม ใส่กระป๋องดินชั่งน้ำหนักทันที

6. จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5 °C แล้วชั่งหาน้ำหนักก็จะได้มวลของตัวอย่างดินแห้งกับกระป๋องอบ แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณน้ำในดิน (water content), ค่าความแน่นเปียก (wet density) และค่าความแน่นแห้ง (dry density) ต่อไป

7. ใช้ค้อนยางทุบก้อนดินตัวอย่างที่แกะออกจากแบบ (Mold) แล้วคลุกผสมกับดินในตอนแรกให้เข้ากัน จากนั้นพรมน้ำให้ความชื้นเพิ่มขึ้นประมาณ 2 % แล้วดำเนินการตามข้อ (1) – (6) ทั้งสิ้นจำนวน 5 ครั้ง โดยเพิ่มน้ำทุกครั้งครั้งละ 2 % โดยน้ำหนักดินทั้งหมด เพิ่มน้ำทุกครั้งจนกว่าน้ำหนักดินที่บดอัดในแบบลดลงหรือไม่เปลี่ยนแปลง



8. จากนั้นนำค่าความแน่นแห้งกับปริมาณความชื้น มาเขียนกราฟ จะสามารถหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด(Maximum dry density : γ_d) และค่าปริมาณน้ำสูงสุดที่ทำให้ดินแน่นที่สุด (optimum moisture content : O.M.C.) จากการเขียนกราฟ

MAXIMUM DRY DENSITY	=	2.148	g/cm^3
OPT. MOISTURE CONTENT	=	3.53	%

การรายงาน

1. นำค่าความชื้นในดิน (W) และค่าความแน่นแห้งของดิน ในแต่ละครั้งของการทดสอบมากำหนดจุดลงในกระดาษกราฟ โดยให้ค่าความชื้นในดินอยู่ในแกนนอนและค่าความแน่นแห้งของดินอยู่ในแกนตั้ง

2. เขียนเส้นกราฟให้ผ่านจุดที่กำหนดไว้ หรือใกล้เคียงให้มากที่สุด จะได้เส้นกราฟลักษณะเป็นเส้นโค้งรูประฆังคว่ำ จุดสูงที่สุดของเส้นโค้ง คือค่าความแน่นแห้งสูงสุดของดินนั้น

3. ที่จุดค่าความแน่นแห้งสูงสุดของดิน เมื่อลากเส้นตรงขนานกับแกนตั้งลงมาตัดแกนนอนจะได้ค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด

4. ให้รายงานค่าความแน่นแห้งสูงสุด หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) เป็นร้อยละ

ปัญหาอุปสรรคและข้อควรระวัง

1. การประมาณปริมาณน้ำที่ใช้ผสมไม่เหมาะสมตามสภาพของดิน ในการทดสอบความแน่น การประมาณปริมาณน้ำที่ใช้ผสมดินที่เกาะติดเป็นก้อนหรือดินเหนียว (Cohesive Soil) ควรเผื่อให้ต่ำและสูงกว่าจำนวนน้ำที่ทำให้ได้ค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด พวกดินทราย(Cohesionless Soil) ปริมาณน้ำที่ใช้ผสม ควรเริ่มจากดินตากแห้ง แล้วค่อยๆเพิ่มปริมาณน้ำขึ้นทีละน้อย เพื่อให้ได้จำนวนจุดที่จะนำมาเขียน curve มากที่สุด

2. การวางแบบที่ใช้ในการบดอัดบนพื้นที่ไม่เรียบ มั่นคง แข็งแรง ในการบดอัดดินจะต้องให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ ขณะทำการบดอัดแบบต้องไม่กระดอนไปมา

3. การเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบไม่พอเพียง ควรเตรียมตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดสอบทางด้านแห้งกว่า (Dry Side) ความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (O.M.C.) ไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง และให้มีตัวอย่างทดสอบทางด้านชื้นกว่า (Wet Side) ความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (O.M.C.) อย่างน้อย 1 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 5 ตัวอย่าง

4. ดินชนิดที่มีปริมาณดินเหนียวมาก (Heavy Clay) หลังจากผึ่งให้แห้งแล้วจะเกาะติดกันเป็นก้อนเมื่อนำมาทำการทดสอบจะทำให้การผสมน้ำไม่สามารถทำได้ทั่วถึง จึงต้องทำการบดด้วยค้อนยางหรือใช้เครื่องบดหลังจากผึ่งให้แห้ง จนได้ตัวอย่างที่สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

5. ปริมาตรของแบบส่วนมากจะใช้ปริมาตรที่แสดงไว้ในรายละเอียดของแบบ ควรจะทำการวัดและคำนวณ เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ ห้ามใช้ปริมาตรที่แสดงไว้โดยประมาณ

6. แบบที่ใช้งานส่วนมากที่ใช้งานมานานแล้ว ไม่ได้หาค่าความคลาดเคลื่อน ควรจะต้องหาค่าความคลาดเคลื่อนของแบบที่ใช้งานมานานแล้ว ซึ่งต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 50 ของความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

ตัวอย่างแบบฟอร์ม

และ

ตัวอย่างผลการทดสอบ

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

เลขที่ทดสอบ	ลงวันที่
วันที่ทดสอบ	วัสดุ

COMPACTION TEST

โครงการของ
สถานที่

ผู้ดำเนินการ
ชนิดตัวอย่าง
แหล่งวัสดุ

ผู้ทดสอบ
ผู้คำนวณ
ผู้ตรวจสอบ

MODIFIED PROCTOR

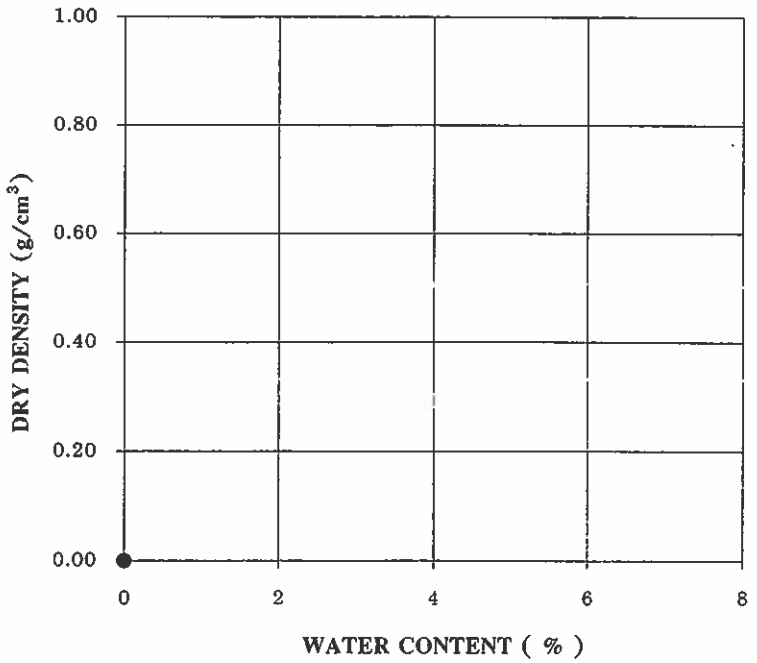
VOLUME OF MOLD = cm³
WT. OF MOLD = g

DENSITY

DETERMINATION No.		1	2	3	4	
WT. OF MOLD + COMPACTED SOIL	g					
WT. OF MOLD	g					
WT. OF SOIL	g					
WET DENSITY	g/cm³					
DRY DENSITY	g/cm³					

WATER CONTENT

CONTAINER No.						
WT. OF CONTAINER + WET SOIL	g					
WT. OF CONTAINER + DRY SOIL	g					
WT. WATER	g					
WT. CONTAINER	g					
WT. DRY SOIL	g					
WATER CONTENT	%					



MAXIMUM DRY DENSITY = g/cm³
OPT. MOISTURE CONTENT = %

หมายเหตุ รับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่นำส่งเท่านั้น

งวันที่
วัสดุ

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

เลขที่ทดสอบ	ลงวันที่
วันที่ทดสอบ	วัสดุรองพื้นทาง

COMPACTION TEST

รงการของ
านที่

ำเนินการ
ดตัวอย่าง ลูกรัง (General Test)
ส่งวัสดุ กม. 2+000

ผู้ทดสอบ
ผู้คำนวณ
ผู้ตรวจสอบ

cm
g

MODIFIED PROCTOR

VOLUME OF MOLD	=	955	cm^3
WT. OF MOLD	=	3949	g

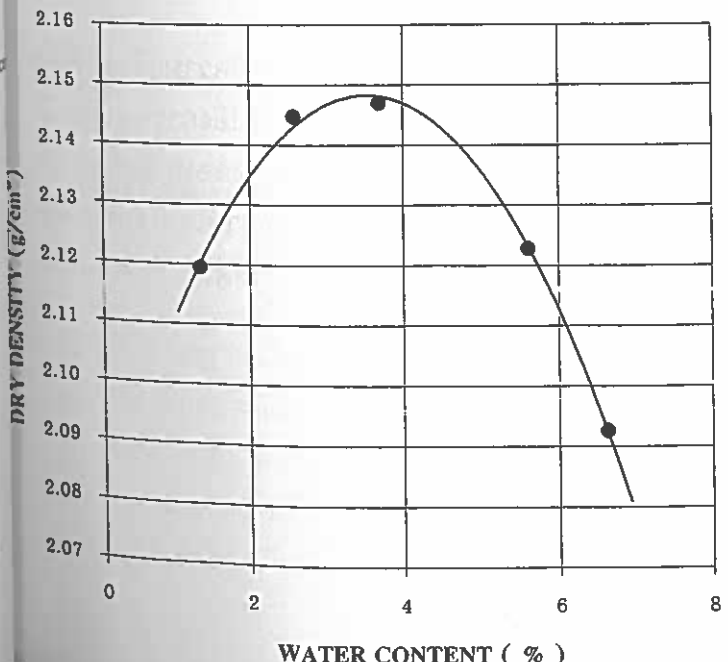
4

DENSITY

DETERMINATION No.		1	2	3	4	5
T. OF MOLD + COMPACTED SOIL	g	6000	6050	6075	6090	6080
T. OF MOLD	g	3949	3949	3949	3949	3949
T. OF SOIL	g	2051	2101	2126	2141	2131
ET DENSITY	g/cm^3	2.148	2.200	2.226	2.242	2.231
Y DENSITY	g/cm^3	**2.119**	**2.145**	**2.147**	**2.123**	**2.093**

WATER CONTENT

ONTAINER No.		33	158	201	200	215
T. OF CONTAINER + WET SOIL	g	149.69	168.66	160.37	167.20	188.23
T. OF CONTAINER + DRY SOIL	g	148.07	165.04	155.54	159.71	178.08
T. WATER	g	1.62	3.62	4.83	7.49	10.15
T. CONTAINER	g	26.19	24.44	24.55	26.17	25.02
T. DRY SOIL	g	121.88	140.60	130.99	133.54	153.06
ATER CONTENT	%	**1.33**	**2.57**	**3.69**	**5.61**	**6.63**



MAXIMUM DRY DENSITY	=	2.148	g/cm^3
OPT. MOISTURE CONTENT	=	3.53	%

หมายเหตุ รับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่นำส่งเท่านั้น

ที่นำส่งเท่านั้น

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค กรมทรัพยากรน้ำ	เลขที่ทดสอบ	ลงวันที่
	วันที่ทดสอบ	วัสดุรองพื้นทาง

COMPACTION TEST

รงการของ
ถานที่
ดำเนินการ
นิดตัวอย่าง ลูกรัง (General Test)
หล่งวัสดุ กม. 2+000

ผู้ทดสอบ
ผู้คำนวณ
ผู้ตรวจสอบ

MODIFIED PROCTOR

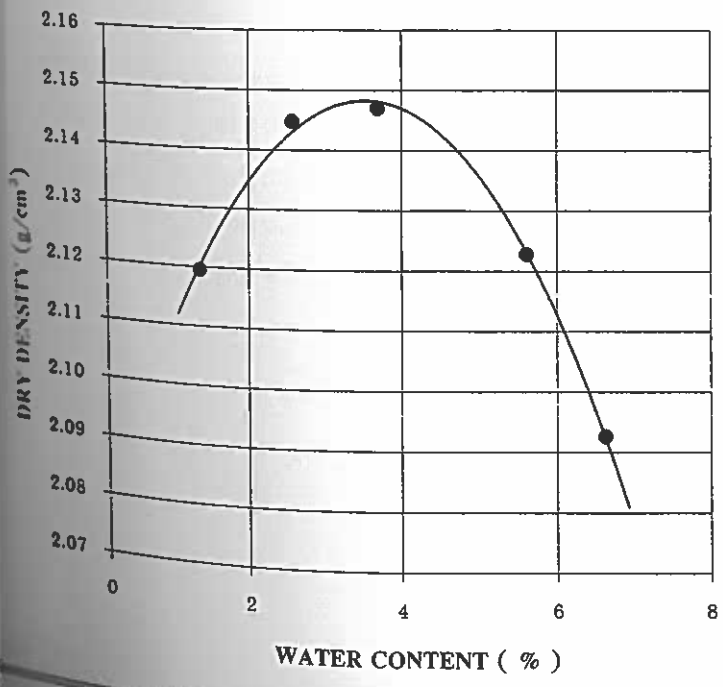
VOLUME OF MOLD = 955 cm^3
WT. OF MOLD = 3949 g

DENSITY

DETERMINATION No.		1	2	3	4	5
WT. OF MOLD + COMPACTED SOIL	g	6000	6050	6075	6090	6080
WT. OF MOLD	g	3949	3949	3949	3949	3949
WT. OF SOIL	g	2051	2101	2126	2141	2131
WET DENSITY	g/cm^3	2.148	2.200	2.226	2.242	2.231
DRY DENSITY	g/cm^3	**2.119**	**2.145**	**2.147**	**2.123**	**2.093**

WATER CONTENT

CONTAINER No.		33	158	201	200	215
WT. OF CONTAINER + WET SOIL	g	149.69	168.66	160.37	167.20	188.23
WT. OF CONTAINER + DRY SOIL	g	148.07	165.04	155.54	159.71	178.08
WT. WATER	g	1.62	3.62	4.83	7.49	10.15
WT. CONTAINER	g	26.19	24.44	24.55	26.17	25.02
WT. DRY SOIL	g	121.88	140.60	130.99	133.54	153.06
WATER CONTENT	%	**1.33**	**2.57**	**3.69**	**5.61**	**6.63**



MAXIMUM DRY DENSITY = 2.148 g/cm^3
OPT. MOISTURE CONTENT = 3.53 %

หมายเหตุ รับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่นำส่งเท่านั้น

การหาค่า ซี.บี.อาร์.
(CALIFORNIA BEARING RATIO)

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

1. เพื่อทดสอบความแข็งแรงของตัวอย่างดิน ที่บดอัดในห้องปฏิบัติการ โดยคำนวณหาค่า C.B.R.(ค่า C.B.R. เป็นค่าเปรียบเทียบ (ร้อยละ)ระหว่างกำลังรับแรงแบกทาน Bearing Capacity ของดินภายใต้น้ำหนักกด เปรียบเทียบกับกำลังมาตรฐาน ณ ค่าระยะยุบตัว (Penetration) ที่เท่ากัน
2. เพื่อวัดค่าแรงเฉือน (Shearing Resistance) ของดินที่บดอัดจนแน่นแล้ว
3. เพื่อวัดหาค่าการบวมตัว(swell)ของดินตัวอย่าง ภายใต้สภาวะที่ถูกแช่ในน้ำ(Soaking) ซึ่งเป็นการจำลองสภาวะของดินที่บดอัดในสนาม เช่น โครงสร้างทางชั้นต่างๆ ซึ่งอาจถูกน้ำไหลบ่าหรือท่วมขัง เป็นเวลานานพอที่ทำให้ดินบวมตัว เสียรูป หรือเสียเสถียรภาพในที่สุด

เป้าหมายของการทดสอบ

การทดสอบหาค่า C.B.R. ของวัสดุ เพื่อ

1. เพื่อวัดค่ากำลังรับแรงแบกทาน (Bearing Capacity) และความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของดิน
2. เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบความหนาของถนนลาดยาง
3. เพื่อกำหนดคุณสมบัติของดินแต่ละชนิดว่าเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับงานก่อสร้างถนนในชั้นดินถม ชั้นวัสดุคัดเลือก ชั้นรองพื้นทาง หรือชั้นพื้นทาง

ทฤษฎี

คอนกรีตสำหรับผิวหน้าถนน หรือใช้กับเขื่อน (ส่วนคลองระบายน้ำ) ต้องมีความแข็งแกร่งต่อการสึกกร่อน ดังนั้นมวลรวมหยาบจึงต้องมีความแข็งแกร่งต่อการสึกกร่อน โดยทั่วไปยิ่งการลดน้ำหนักจากการสึกกร่อนของมวลรวมหยาบมีน้อยเท่าไร การลดน้ำหนักเนื่องจากสึกกร่อนของคอนกรีตยิ่งมีน้อยเท่านั้น ดังนั้นจึงควรทดสอบหาการลดน้ำหนักเนื่องจากการสึกกร่อนของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องมือทดสอบความสึกหรอลอสแองเจลิส (**Los Angeles Abrasion**) และเป็นตัวชี้ว่าจะใช้วัสดุนั้น กับคอนกรีตสำหรับผิวหน้าถนน หรือ เขื่อน ได้หรือไม่

การกำหนดวิธีทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการก่อสร้างถนน ซึ่งมีการรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นมากนั้น ได้นำวิธีการทดสอบคุณสมบัติแบบ C.B.R. (California Bearing Ratio) เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและก่อสร้างถนน และวิธีการดังกล่าวก็เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันทั่วไป

C.B.R. Test เป็นวิธีการทดสอบวัดค่าแรงเฉือน (Shearing Resistance) ของวัสดุที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว (ส่วนมากจะทดสอบที่ Optimum Moisture Content) โดยการใช้ท่อนเหล็กตัน (Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนดินตัวอย่างที่เตรียมไว้ด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที แล้วนำไปหาอัตราส่วนเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักมาตรฐาน ที่ได้จากการทดลองกดบนหินมาตรฐานบดอัดแน่นที่ความลึกของการจมตัวเท่ากัน ค่าที่ได้นี้เรียกว่า "เปอร์เซ็นต์ C.B.R." โดยน้ำหนักมาตรฐาน(Standard Load) มีค่าดังนี้

ค่าการจมตัว (Penetration) มิลลิเมตร	น้ำหนักมาตรฐาน (Standard Load) กิโลกรัม	ค่าน้ำหนักมาตรฐาน (Standard Unit Load) กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
2.54 (0.1")	1,360.8 (3,000 lb)	70.3 (1,000 lb/in^2)
5.08 (0.2")	2,041.2 (4,500 lb)	105.46 (1,500 lb/in^2)
7.62 (0.3")	2,585.5 (5,700 lb)	133.59 (1,900 lb/in^2)
10.16 (0.4")	3,129.8 (6,900 lb)	161.71 (2,300 lb/in^2)
12.70 (0.5")	3,538.0 (7,800 lb)	182.81 (2,600 lb/in^2)

หมายเหตุ พื้นที่หน้าตัดของท่อนกด = 1,935.5 ตารางมิลลิเมตร (3 ตารางนิ้ว)

วิธีการทดสอบ

วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า C.B.R. (California Bearing Ratio) ทดสอบตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท มทช.(ท) 501.3-2545

เครื่องมือทดสอบ

1. ลักษณะเฉพาะเครื่องมือ

เป็นชุดเครื่องมือทดสอบ C.B.R. ในห้องทดสอบเพื่อหาค่าเปรียบเทียบ Bearing Value กับวัสดุหินมาตรฐานเพื่อทดสอบวัสดุมวลรวมดิน (Soil Aggregate) อาทิเช่น หินคลุก ลูกรัง ทรายและดิน เมื่อทำการบดอัดวัสดุชั้นทางโดยใช้ค้อนบดอัดในแบบ (Mold) ที่ Optimum Moisture Content หรือปริมาณน้ำในดินใดๆ เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนและใช้ควบคุมงานในการบดอัดให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ พร้อมทั้งตรวจสอบว่าวัสดุที่นำมาใช้นั้น มีคุณสมบัติตามมาตรฐานที่ได้ระบุไว้หรือไม่ ตัวอย่างเช่น

มทช. 203-2545 มาตรฐานวัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก ได้กำหนด ค่า ซี.บี.อาร์ จากห้องทดลอง (Lab C.B.R.) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ที่ร้อยละ 95 ของค่าความแน่นแห้งสูงสุดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Density) ตาม มทช.(ท) 501.3 : วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์ (C.B.R.) หรือไม่น้อยกว่าที่กาหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

มทช.204-2545 มาตรฐานวัสดุคัดเลือก (Selected Material) ได้กำหนด ค่า ซี.บี.อาร์. จากห้องทดลอง (Lab. C.B.R.) ไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบ และไม่น้อยกว่าวัสดุคันทาง ณ บริเวณนั้น เป็นต้น

2. อุปกรณ์ประกอบเครื่องมือทดสอบ

2.1 แบบ (Mold) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว และปลอก (collar)

2.2 ค้อน (Hammer) มี 2 ขนาด ดังนี้

2.2.1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีตัวบังคับให้ระยะตก 18 นิ้ว น้ำหนัก 10 ปอนด์ ใช้สำหรับการหาค่า C.B.R. ที่ความแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐานตาม มทช.(ท)501.2-2545

2.2.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีตัวบังคับให้ระยะตก 12 นิ้ว น้ำหนัก 5.5 ปอนด์ ใช้สำหรับการหาค่า C.B.R. ที่ความแน่นแบบมาตรฐานตาม มทช.(ท)501.1-2545

2.3 เหล็กถ่วงน้ำหนัก (Surcharge Weight)

2.4 แผ่นวัดการขยายตัว (Swell plate)

2.5 สามขา (Tripod)

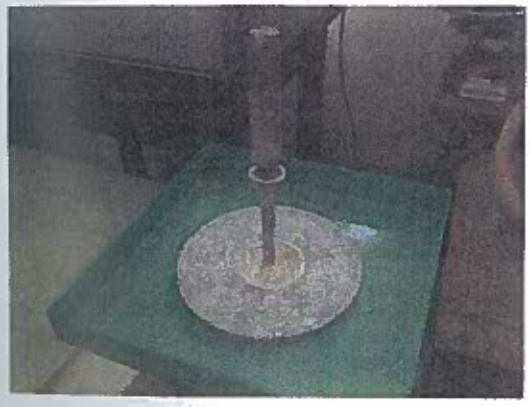
2.6 Dial gauge

2.7 เครื่องอ่านน้ำหนัก (Proving Ring)

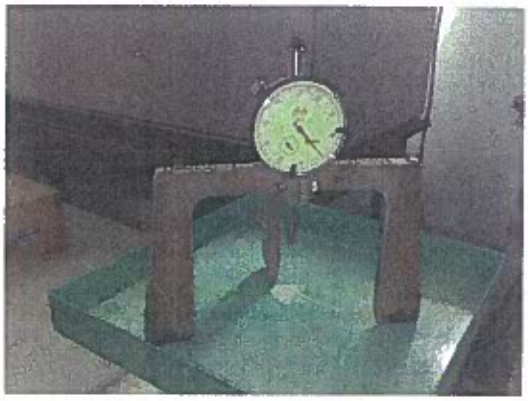
2.8 เครื่องกด (Loading Machine) เป็นเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่า C.B.R. ต้องมีความสามารถรับแรงกดไม่น้อยกว่า 5,000 kg (10,000 ปอนด์ หรือ 50 กิโลนิวตัน) เครื่องกดนี้ประกอบด้วย Jack ซึ่งดันหรือหมุนให้ฐานเลื่อนขึ้นหรือลง โดยมีเครื่องวัดการเลื่อนขึ้นหรือลงด้วย Dial Gauge เพื่อใช้ดันให้ท่อนกดจมลงในตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วในแบบ เครื่องกดนี้จะต้องมี Proving Ring อ่านแรงกด (กรณีใช้เครื่องแบบใช้มือหมุน) หรือหน้าปัดอ่านแรงกด (กรณีใช้ เครื่องแบบใช้ปั้ม) อ่านได้ละเอียดถึง 2 กิโลกรัม (20 นิวตัน) หรือน้อยกว่านั้น

รูปที่ 23 อุปกรณ์ที่ใช้ในการบดอัด

รูปที่ 24 แผ่นถ่วงน้ำหนัก (Surcharge Weight)



รูปที่ 25 แผ่นวัดการขยายตัว (Swell Plate)



รูปที่ 26 สามขา (Tripod)

รูปที่ 27 ท่อนกด (Penetration Piston)

รูปที่ 28 เครื่องกด (Loading Machine)

ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำตัวอย่างดินประมาณ 6 กก. ไปผึ่งแห้ง หรืออบให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60°C แล้วใช้ค้อนยางทุบดินที่เกาะกันเป็นก้อนจนแยกออกจากกัน ดินที่เหมาะกับการทดสอบหาค่า CBR คือ ดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด ¾ " กรณีที่เม็ดดินค้างบนตะแกรง ¾ " ให้คัดเม็ดดินที่ค้างนั้นทิ้ง แล้วชดเชยด้วยดินที่ผ่านตะแกรงขนาด ¾ " แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ด้วยน้ำหนักที่เท่ากัน

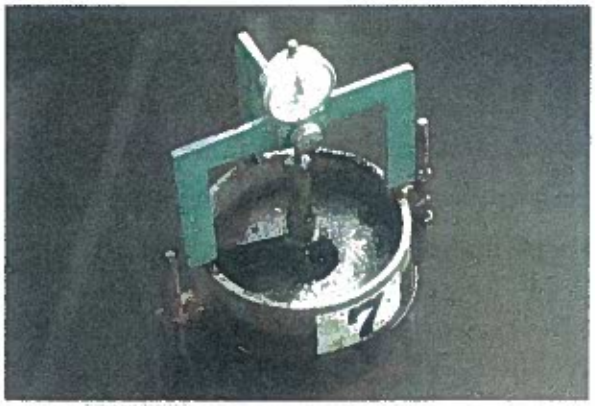
2. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้แล้วจากข้อ 1 มาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี ให้หาปริมาณน้ำที่มีอยู่จริง โดยการอบให้แห้งก็จะทราบปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่าง จากนั้นให้เพิ่มน้ำจนได้ปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด (Optimum moisture content : OMC. ซึ่งหาได้จากการทดสอบ Compaction) คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้วจนเข้ากันดี จากนั้นนำดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ไปหาค่าความชื้น

3. แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบ กระทุ้งดินอัดแน่นในแบบ ตามวิธีการทดสอบหาค่าความแน่นที่ปริมาณความชื้นที่ความแน่นแห้งสูงสุด (ก็คือตามวิธีทดสอบ Compaction)

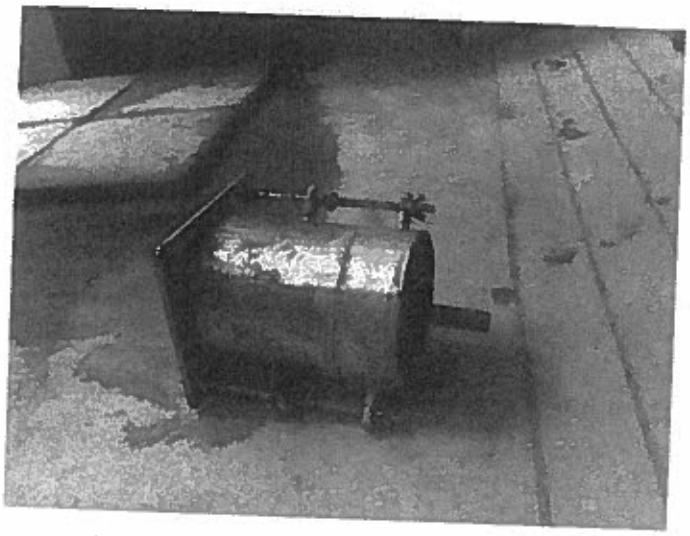
4. หลังจากบดอัดจนครบตามจำนวนที่กำหนดในมาตรฐานแล้ว(มทช.(ท)501.1-2545 หรือ มทช.(ท)501.2-2545) ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบ พร้อมกับซ่อมแต่งผิวบนของดินให้เรียบร้อยเสมอกับปากแบบ

5. นำแบบและดินตัวอย่างในแบบไปชั่งน้ำหนัก เพื่อนำไปคำนวณหาความแน่นชื้น

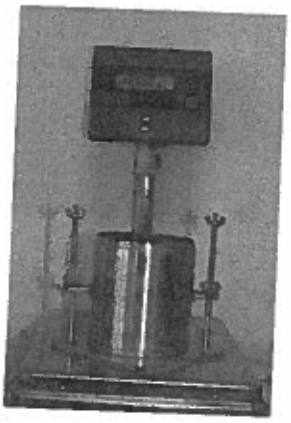
6. วางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักบนดินตัวอย่าง ใส่แผ่นวัดการขยายตัว แล้วนำแบบลงแช่ในน้ำ ให้น้ำท่วมตัวอย่างให้มิด วางก้านสามขาลงบนปลอกของแบบ จัดให้ก้านของ Dial Gauge อยู่กึ่งกลางบนก้านของแผ่นวัดการขยายตัว จด Initial Reading ที่อ่านได้จาก Dial Gauge จากนั้นแช่น้ำทิ้งไว้ 96 ชั่วโมง (4 วัน) บันทึกวันและเวลาอ่าน ให้ทำการอ่านค่า Reading บน Dial Gauge ทุก ๆวัน เพื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การขยายตัว (swell)



7. เมื่อครบกำหนด 4 วัน ให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ตะแคงแบบให้น้ำไหลออกประมาณ 15 นาที ระวังอย่าให้ผิวหน้าของตัวอย่างเสียหาย จากนั้นยกแผ่นวัดการขยายตัวและแผ่นถ่วงน้ำหนักออก



8. ทำการชั่งหามวล เมื่อหักมวลของแบบออกก็จะทราบมวลของตัวอย่างภายหลังการแช่น้ำ แล้วจากนั้นนำไปทดสอบ Penetration Test ต่อไปโดยทันที



9. นำตัวอย่างตามข้อ 8 มาใส่แผ่นถ่วงน้ำหนัก จากนั้นนำตัวอย่าง(แบบพร้อมดิน)ขึ้นตั้งบนที่ตั้งของเครื่องกด ตั้งให้ท่อนกดอยู่ตรงพอดีกับกึ่งกลางรูของแผ่นถ่วงน้ำหนัก

10. เดินเครื่อง กดให้แผ่นฐานเคลื่อนขึ้นหรือท่อนกดเคลื่อนลง จนท่อนกดสัมผัสผิวหน้าของตัวอย่าง มีแรงกดประมาณ 4 kg.(40 นิวตัน) ตั้งหน้าปัดของ Proving ring ให้เป็นศูนย์ พร้อมทั้งตั้งหน้าปัดของ Dial Gauge ที่วัด Penetration ให้เป็นศูนย์ด้วย

11. เพิ่มแรงลงบนท่อนกด ด้วยอัตราเร็วที่สม่ำเสมอเท่ากับ 1.27 มม. (0.05 นิ้ว) ต่อนาที โดยการอ่าน Penetration Dial Gauge เทียบกับนาฬิกาจับเวลา

12. ทำการบันทึกแรงกด เมื่อ Penetration อ่านได้ที่

(1) 0.63 มม. (0.025 นิ้ว)
(2) 1.27 มม. (0.050 นิ้ว)
(3) 1.90 มม. (0.075 นิ้ว)
(4) 2.54 มม. (0.100 นิ้ว)
(5) 3.17 มม. (0.125 นิ้ว)
(6) 3.81 มม. (0.150 นิ้ว)
(7) 4.44 มม. (0.175 นิ้ว)
(8) 5.08 มม. (0.200 นิ้ว)
(9) 6.35 มม. (0.250 นิ้ว)
(10) 7.62 มม. (0.300 นิ้ว)
(11) 8.89 มม. (0.350 นิ้ว)
(12) 10.16 มม. (0.400 นิ้ว)
(13) 11.43 มม. (0.450 นิ้ว)
(14) 12.70 มม. (0.500 นิ้ว)

เสร็จแล้วคลายแรงที่กดออก นำตัวอย่างพร้อมแบบออกจากแท่นของเครื่องกด ยกแผ่นถ่วงน้ำหนักออก จากนั้นนำตัวอย่างบริเวณที่ถูกท่อนกดฯลงไปเห็นรู ไปหาปริมาณน้ำในดิน(โดยขนาดก้อนใหญ่สุด 19.0 มม. ใช้ประมาณ 300 กรัม ขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 มม. ใช้ประมาณ 100 กรัม) นำปริมาณตัวอย่างดังกล่าวใส่ลงในกระป๋องอบดิน ชั่งหามวล แล้วนำไปอบจนแห้ง เพื่อหาปริมาณน้ำในดิน

13. ดำเนินการทดลอง Penetration Test ของตัวอย่างที่เตรียมไว้อีก 2 ตัวอย่าง โดยวิธีเดียวกัน

การคำนวณค่า CBR.

$$\text{ค่า C.B.R. (ร้อยละ)} = \frac{X}{Y} \times 100$$

เมื่อ X = ค่าแรงกดที่อ่านได้ต่อหน่วยพื้นที่ของท่อนกด (สำหรับ Penetration ที่ 2.54 มิลลิเมตร หรือ 0.1 นิ้ว) หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

Y = ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Load) หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

การรายงาน

ในการทำการทดสอบ ซีบีอาร์. ให้รายงานดังนี้

1. ค่า ซีบีอาร์. ที่ความแน่นร้อยละ ของความแน่นแห้งสูงสุด ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง
2. ค่าความแน่นแห้ง ที่ให้ค่า ซีบีอาร์. ตามข้อ 1 ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง
3. ค่าการพองตัว ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

ปัญหาอุปสรรคและข้อควรระวัง

1. การติดตั้งมาตรวัดค่าการจมตัว (Penetration) จะมีความยุ่งยาก เนื่องจากท่อนกดของแต่ละรุ่นไม่เหมือนกันบางรุ่นสามารถติดมาตรวัดค่าการจมตัวที่ท่อนกดได้เลย บางรุ่นไม่สามารถติดมาตรวัดค่าการจมตัวที่ท่อนกดได้ต้องติดมาตรวัดกับโครง (Frame) ของเครื่องกด จึงควรระวังการอ่านค่าการจมตัว ถ้ามาตรวัดการจมตัวติดกับโครง (Frame) ต้องทำการแก้ค่าการจมตัว เนื่องจากการหดตัวของวงแหวน (Proving Ring) โดยหักค่าการหดตัวของวงแหวนออกจากค่าการจมตัว กรณีที่ติดมาตรวัดการจมตัวที่ท่อนกดไม่ต้องหักค่าการหดตัวของวงแหวน

2. เส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งหงายขึ้น เนื่องจากความไม่ราบเรียบหรือเกิดจากการอ่อนยุ่ยที่ผิวหน้าของตัวอย่างเนื่องจากการแช่น้ำ จึงจำเป็นจะต้องแก้จุดศูนย์โดยการลากเส้นตรงให้สัมผัสกับเส้นที่ชันที่สุดของส่วนโค้งของเส้นกราฟไปตัดกับแกนตามแนวราบ คือเส้นที่ลากผ่านค่าน้ำหนักมาตรฐาน ให้ถือว่ามีค่าเท่ากับศูนย์ ต่อจากนั้นให้เลื่อนค่าศูนย์ของค่าการจมตัวไปที่จุดที่ตัดแล้วจึงหาค่า CBR. ที่ปรับค่า (Corrected CBR. Value) ต่อไป

3. ปกติค่า CBR. ที่มีการจมตัว 2.54 มม. (0.1 นิ้ว) จะต้องสูงกว่าค่า CBR. ที่มีการจมตัว 5.08 มม. (0.2 นิ้ว) ถ้าหากค่า CBR.ที่มีการจมตัว 5.08 มม. (0.2 นิ้ว) สูงกว่า ค่า CBR.ที่มีการจมตัว 2.54 มม. (0.1 นิ้ว) จะต้องทำการทดสอบใหม่ทั้งหมด แต่ถ้าค่า C.B.R. ที่มีการจมตัว 5.08 มม. (0.2 นิ้ว) ยังคงสูงกว่าอีก ก็ให้ใช้ค่า CBR. ที่มีการจมตัว 5.08 มม. (0.2 นิ้ว)

4. สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (Heavy Clay) หลังจากตากแห้งแล้วให้ทุบด้วยค้อนยาง จนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

5. ในการใช้ตุ้มทำการบดอัด ให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น พื้นคอนกรีตไม่ให้กระดก หรือกระดอนขึ้นขณะทำการบดอัด

ตัวอย่างแบบฟอร์ม

และ

ตัวอย่างผลการทดสอบ

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

เลขที่ทดสอบ	ลงวันที่
วันที่ทดสอบ	วัสดุ

C.B.R. TEST

โครงการของ
สถานที่

ผู้ดำเนินการ
ชนิดตัวอย่าง
แหล่งวัสดุ

ผู้ทดสอบ

ผู้คำนวณ

ผู้ตรวจสอบ

DENSITY		SOAKING BEFORE	SOAKING AFTER
MOLD No.			
WT. OF MOLD + SOIL	g		
WT. OF MOLD	g		
WT. OF SOIL	g		
WET DENSITY	g/cm^3		
DRY DENSITY	g/cm^3		

WATER CONTENT		TOP	MIDDLE	BOTTOM	
CAN No.					
WT. OF CAN + WET SOIL	g				
WT. OF CAN + DRY SOIL	g				
WT. OF WATER	g				
WT. OF CAN	g				
WT. OF DRY SOIL	g				
WATER CONTENT	%				
AVERAGE WATER CONTENT	%				

VOLUME OF MOLD =

PENETRATION TEST

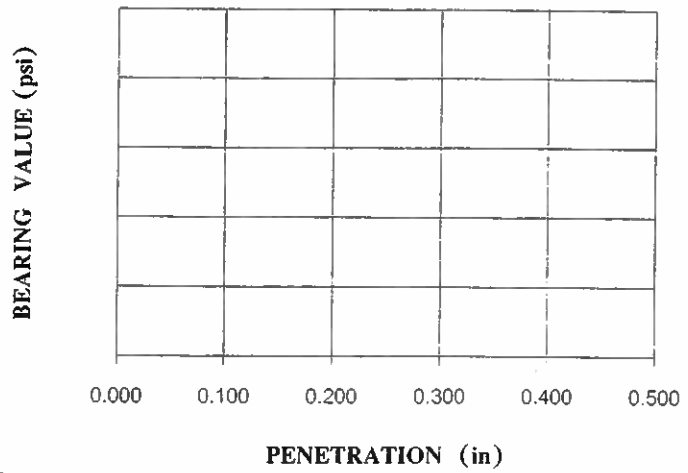
SURCHARGE 3 pcs. = 15 lb

PISTON AREA = 3 in^2

PROVING RING No. T1009

FACTOR y =

DATE	RDG. (mm)	SWELL (mm)	SWELL (%)	DAYS	PENETRATION (in)	DIAL RDG. (in)	LOAD RDG. (lb)	BEARING VALUE (psi)	C.B.R. (%)
					0.025				
					0.050				
					0.075				
					0.100				
					0.125				
					0.150				
					0.175				
					0.200				
					0.250				
					0.300				
					0.350				
					0.400				
					0.450				
					0.500				



หมายเหตุ 12 blows

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

เลขที่ทดสอบ	ลงวันที่
วันที่ทดสอบ	วัสดุ

C.B.R. TEST

โครงการของ
สถานที่

ผู้ดำเนินการ
ชนิดตัวอย่าง
แหล่งวัสดุ

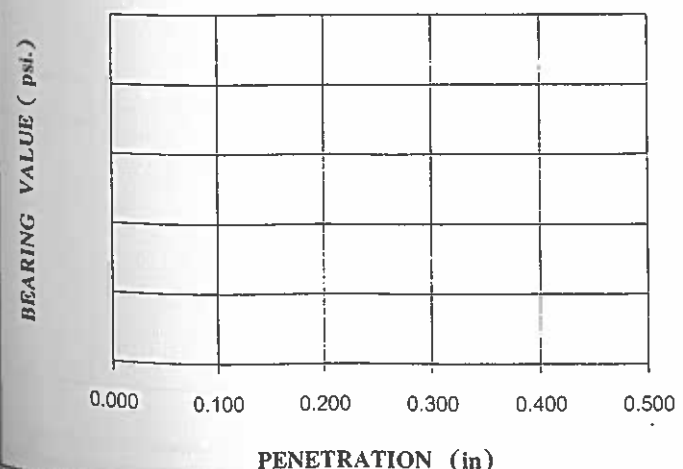
ผู้ทดสอบ
ผู้คำนวณ
ผู้ตรวจสอบ

DENSITY		SOAKING BEFORE	SOAKING AFTER
MOLD No.			
WT. OF MOLD + SOIL	g		
WT. OF MOLD	g		
WT. OF SOIL	g		
WET DENSITY	g/cm^3		
DRY DENSITY	g/cm^3		

WATER CONTENT		TOP	MIDDLE	BOTTOM	
CAN No.					
WT. OF CAN + WET SOIL	g				
WT. OF CAN + DRY SOIL	g				
WT. OF WATER	g				
WT. OF CAN	g				
WT. OF DRY SOIL	g				
WATER CONTENT	%				
AVERAGE WATER CONTENT	%				VOLUME OF MOLD =

PENETRATION TEST — SURCHARGE 3 pcs. = 15 lb — PISTON AREA = 3 in^2 — PROVING RING No. T1009 — FACTOR y =

DATE	RDG. (mm)	SWELL (mm)	SWELL (%)	DAYS	PENETRATION (in)	DIAL RDG. (in)	LOAD RDG. (lb)	BEARING VALUE (psi)	C.B.R. (%)
					0.025				
					0.050				
					0.075				
					0.100				
					0.125				
					0.150				
					0.175				
					0.200				
					0.250				
					0.300				
					0.350				
					0.400				
					0.450				
					0.500				



หมายเหตุ 25 blows

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

เลขที่ทดสอบ	ลงวันที่
วันที่ทดสอบ	วัสดุ

C.B.R. TEST

โครงการของ
สถานที่

ผู้ดำเนินการ
ชนิดตัวอย่าง
แหล่งวัสดุ

ผู้ทดสอบ

ผู้คำนวณ

ผู้ตรวจสอบ

DENSITY		SOAKING BEFORE	SOAKING AFTER
MOLD No.			
WT. OF MOLD + SOIL	g		
WT. OF MOLD	g		
WT. OF SOIL	g		
WET DENSITY	g/cm^3		
DRY DENSITY	g/cm^3		

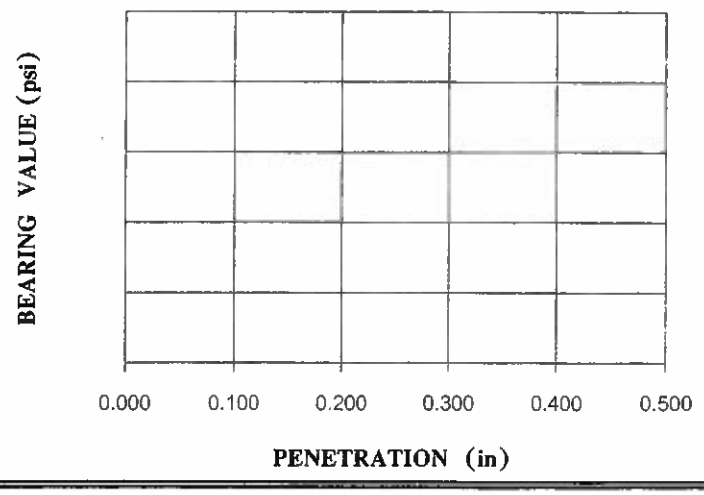
WATER CONTENT		TOP	MIDDLE	BOTTOM
CAN No.				
WT. OF CAN + WET SOIL	g			
WT. OF CAN + DRY SOIL	g			
WT. OF WATER	g			
WT. OF CAN	g			
WT. OF DRY SOIL	g			
WATER CONTENT	%			
AVERAGE WATER CONTENT	%			

VOLUME OF MOLD =

PENETRATION TEST — SURCHARGE 3 pcs. = 15 lb; PISTON AREA = 3 in^2

PROVING RING No. T1009
FACTOR y =

DATE	RDG. (mm)	SWELL (mm)	SWELL (%)	DAYS	PENETRATION (in)	DIAL RDG. (in)	LOAD RDG. (lb)	BEARING VALUE (psi)	C.B.R. (%)
					0.025				
					0.050				
					0.075				
					0.100				
					0.125				
					0.150				
					0.175				
					0.200				
					0.250				
					0.300				
					0.350				
					0.400				
					0.450				
					0.500				



หมายเหตุ 56 blows

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค กรมทรัพยากรน้ำ	เลขที่ทดสอบ	ลงวันที่
	วันที่ทดสอบ	วัสดุ

C.B.R. TEST

โครงการของ สถานที่ ผู้ดำเนินการ ชนิดตัวอย่าง แหล่งวัสดุ	ผู้ทดสอบ ผู้คำนวณ ผู้ตรวจสอบ

BLOWS	C.B.R.	DENSITY	SWELL	REMARKS
12 25 56				

100% STANDARD PROCTOR = g/cm^3

95% STANDARD PROCTOR = g/cm^3

Optimum Moisture Content = % Water Content of (molding) C.B.R. = (avg) %

Required Percent Compaction = % **C.B.R.** = %

DRY DENSITY (g/cm^3)

C.B.R. %

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

เลขที่ทดสอบ	ลงวันที่
วันที่ทดสอบ	วัสดุถมคันทาง

C.B.R. TEST

โครงการของ
สถานที่

ผู้ดำเนินการ
ชนิดตัวอย่าง ดิน
แหล่งวัสดุ

ผู้ทดสอบ
ผู้คำนวณ
ผู้ตรวจสอบ

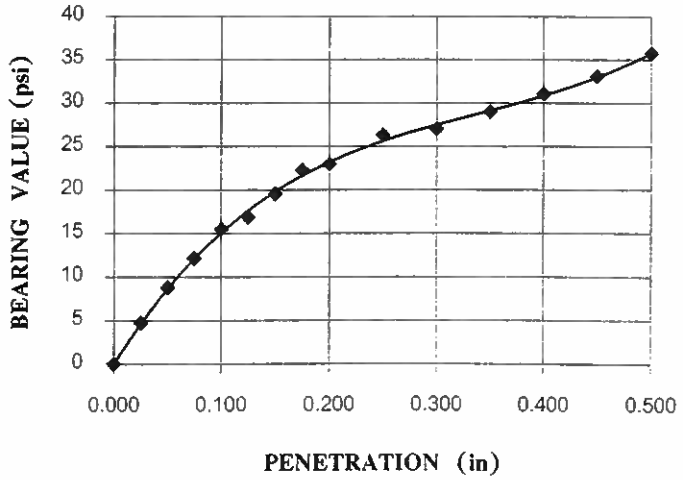
DENSITY		SOAKING BEFORE	SOAKING AFTER
MOLD No.		1	1
WT. OF MOLD + SOIL	g	11180	10845
WT. OF MOLD	g	7200	7200
WT. OF SOIL	g	3980	3645
WET DENSITY	g/cm^3	1.838	1.683
DRY DENSITY	g/cm^3	1.743	1.558

WATER CONTENT		TOP	MIDDLE	BOTTOM	
CAN No.		129	135	74	1
WT. OF CAN + WET SOIL	g	140.32	142.36	141.69	149.63
WT. OF CAN + DRY SOIL	g	134.32	136.56	135.42	140.28
WT. OF WATER	g	6.00	5.80	6.27	9.35
WT. OF CAN	g	25.01	25.16	24.38	24.38
WT. OF DRY SOIL	g	109.31	111.40	111.04	115.90
WATER CONTENT	%	**5.49**	**5.21**	**5.65**	**8.07**
AVERAGE WATER CONTENT	%		**5.45**		

VOLUME OF MOLD = 2,165

PENETRATION TEST
SURCHARGE 3 pcs. = 15 lb
PISTON AREA = 3 in^2
PROVING RING No. T1009
FACTOR y : 2.023

DATE	RDG. (mm)	SWELL (mm)	SWELL (%)	DAYS	PENETRATION (in)	DIAL RDG. (in)	LOAD RDG. (lb)	BEARING VALUE (psi)	C.B.R. (%)
0/1/00	50	0.000	0.00	0					
1/1/00	50	0.000	0.00	1	0.025	7	14	5	
2/1/00	50	0.000	0.00	2	0.050	13	26	9	
3/1/00	50	0.000	0.00	3	0.075	18	36	12	
4/1/00	50	0.000	0.00	4	**0.100**	23	47	16	1.55
					0.125	25	51	17	
					0.150	29	59	20	
					0.175	33	67	22	
					0.200	34	69	23	1.53
					0.250	39	79	26	
					0.300	40	81	27	
					0.350	43	87	29	
					0.400	46	93	31	
					0.450	49	99	33	
					0.500	53	107	36	



หมายเหตุ 12 blows

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

เลขที่ทดสอบ	ลงวันที่
วันที่ทดสอบ	วัสดุถมคันทาง

C.B.R. TEST

โครงการของ
สถานที่

ผู้ดำเนินการ
ชนิดตัวอย่าง ดิน
แหล่งวัสดุ

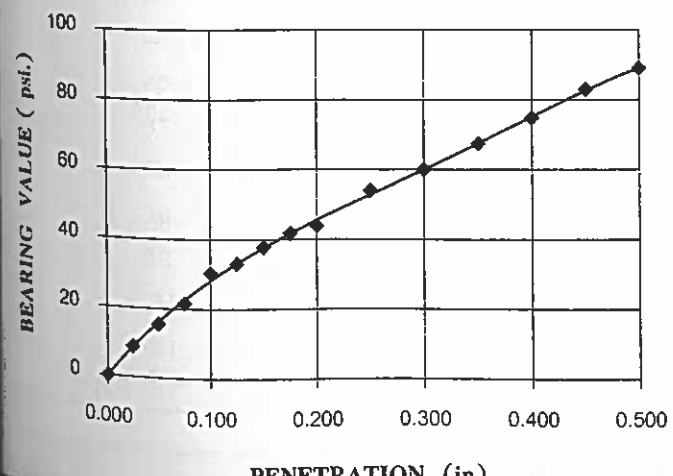
ผู้ทดสอบ
ผู้คำนวณ
ผู้ตรวจสอบ

DENSITY		SOAKING BEFORE	SOAKING AFTER
MOLD No.		13	13
WT. OF MOLD + SOIL	g	11490	11565
WT. OF MOLD	g	7475	7475
WT. OF SOIL	g	4015	4090
WET DENSITY	g/cm^3	1.891	1.926
DRY DENSITY	g/cm^3	1.793	1.788

WATER CONTENT		TOP	MIDDLE	BOTTOM	
CAN No.		103	119	194	58
WT. OF CAN + WET SOIL	g	139.95	142.99	141.46	150.09
WT. OF CAN + DRY SOIL	g	134.11	136.89	135.23	141.22
WT. OF WATER	g	5.84	6.10	6.23	8.87
WT. OF CAN	g	26.18	24.95	24.43	26.38
WT. OF DRY SOIL	g	107.93	111.94	110.80	114.84
WATER CONTENT	%	**5.41**	**5.45**	**5.62**	7.72
AVERAGE WATER CONTENT	%		**5.49**		VOLUME OF MOLD = 2,123

PENETRATION TEST — SURCHARGE 3 pcs. = 15 lb — PISTON AREA = 3 in^2 — PROVING RING No. T1009 — FACTOR y = 2.023

DATE	RDG. (mm)	SWELL (mm)	SWELL (%)	DAYS	PENETRATION (in)	DIAL RDG. (in)	LOAD RDG. (lb)	BEARING VALUE (psi)	C.B.R. (%)
0/1/00	50	0.000	0.00	0					
1/1/00	50	0.000	0.00	1	0.025	13	26	9	
2/1/00	50	0.000	0.00	2	0.050	23	47	16	
3/1/00	50	0.000	0.00	3	0.075	32	65	22	
4/1/00	50	0.000	0.00	4	**0.100**	45	91	30	**3.03**
					0.125	49	99	33	
					0.150	56	113	38	
					0.175	62	125	42	
					0.200	65	131	44	**2.92**
					0.250	80	162	54	
					0.300	89	180	60	
					0.350	100	202	67	
					0.400	111	225	75	
					0.450	123	249	83	
					0.500	132	267	89	



หมายเหตุ 25 blows

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

เลขที่ทดสอบ	ลงวันที่
วันที่ทดสอบ	วัสดุถมคันทาง

C.B.R. TEST

โครงการของ
สถานที่

ผู้ดำเนินการ
ชนิดตัวอย่าง ดิน
แหล่งวัสดุ

ผู้ทดสอบ
ผู้คำนวณ
ผู้ตรวจสอบ

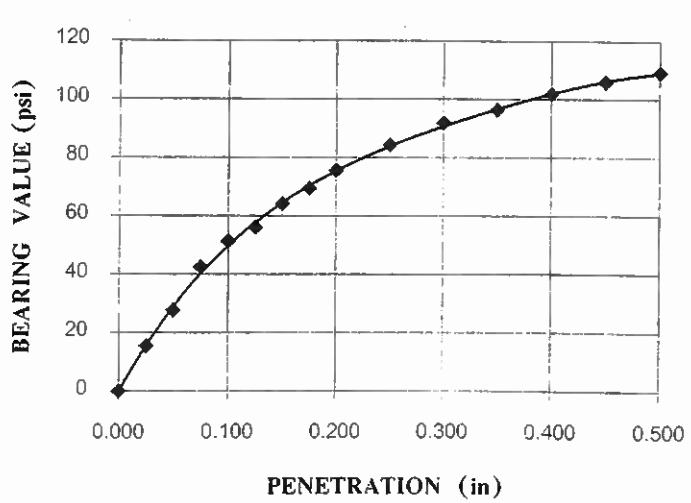
DENSITY		SOAKING BEFORE	SOAKING AFTER
MOLD No.		26	26
WT. OF MOLD + SOIL	g	11830	11915
WT. OF MOLD	g	7240	7240
WT. OF SOIL	g	4590	4675
WET DENSITY	g/cm^3	2.152	2.192
DRY DENSITY	g/cm^3	2.041	2.039

WATER CONTENT		TOP	MIDDLE	BOTTOM	
CAN No.		5	127	63	110
WT. OF CAN + WET SOIL	g	140.07	142.55	139.56	137.82
WT. OF CAN + DRY SOIL	g	134.12	136.37	133.57	129.89
WT. OF WATER	g	5.95	6.18	5.99	7.93
WT. OF CAN	g	24.48	24.47	24.04	24.12
WT. OF DRY SOIL	g	109.64	111.90	109.53	105.77
WATER CONTENT	%	**5.43**	**5.52**	**5.47**	**7.50**
AVERAGE WATER CONTENT	%		**5.47**		

VOLUME OF MOLD = 2,133

PENETRATION TEST
SURCHARGE 3 pcs. = 15 lb
PISTON AREA = 3 in
PROVING RING No. T1009
FACTOR y = 2.023

DATE	RDG. (mm)	SWELL (mm)	SWELL (%)	DAYS	PENETRATION (in)	DIAL RDG. (in)	LOAD RDG. (lb)	BEARING VALUE (psi)	C.B.R. (%)
0/1/00	50	0.000	0.00	0					
1/1/00	50	0.000	0.00	1	0.025	23	47	16	
2/1/00	50	0.000	0.00	2	0.050	41	83	28	
3/1/00	50	0.000	0.00	3	0.075	63	127	42	
4/1/00	50	0.000	0.00	4	**0.100**	76	154	51	5.12
					0.125	83	168	56	
					0.150	95	192	64	
					0.175	103	208	69	
					0.200	112	227	76	5.04
					0.250	125	253	84	
					0.300	136	275	92	
					0.350	143	289	96	
					0.400	151	305	102	
					0.450	157	318	106	
					0.500	162	328	109	



หมายเหตุ 56 blows

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค กรมทรัพยากรน้ำ	เลขที่ทดสอบ	ลงวันที่
	วันที่ทดสอบ	วัสดุถมคันทาง

C.B.R. TEST

โครงการของ สถานที่ ผู้ดำเนินการ ชนิดตัวอย่าง ดินถม (General Test) แหล่งวัสดุ	ผู้ทดสอบ ผู้คำนวณ ผู้ตรวจสอบ

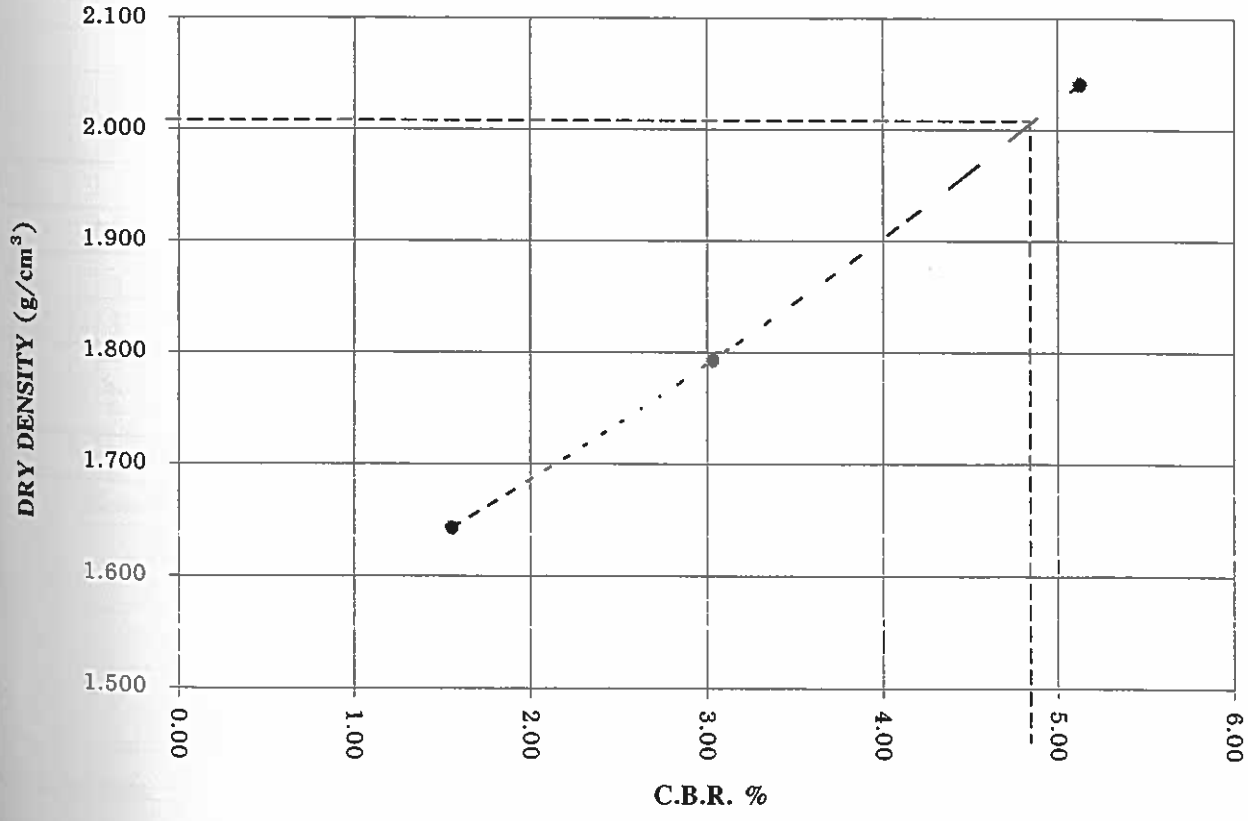
BLOWS	C.B.R.	DENSITY	SWELL	REMARKS
12	1.55	1.643	1.19	
25	3.03	1.793	1.21	
56	5.12	2.041	0.96	

100% STANDARD PROCTOR = 2.045 g/cm^3

95% STANDARD PROCTOR = 1.943 g/cm^3

Optimum Moisture Content = 11.56 % Water Content of (molding) C.B.R. = 9.63 (avg) %

Required Percent Compaction = 95.00 % **C.B.R.** = **4.95** %



ใบแจ้งสรุปผลการทดสอบ

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

โครงการของ _____

สถานที่ก่อสร้าง _____

_____

บริษัทก่อสร้าง _____

ชนิดตัวอย่าง _____

วัสดุใช้ทำ _____

จำนวน ____ ตัวอย่าง

SPEC. _____

ทะเบียนทดสอบเลขที่ _____

ลงวันที่ _____

สรุปผลวันที่ _____

เจ้าหน้าที่ทดสอบ _____

เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล _____

เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ _____

		เกณฑ์ตัดสิน							
SAMPLE	STATION								
	SAMPLE No.								
ATTERBERG	L.L.								
	P.L.								
	P.I.								
% PASSING US.SIEVE	2"								
	1"								
	3/8"								
	# 4								
	# 10								
	# 40								
	# 200								
	GRADE								
LA.	PERCENTAGE OF WEAR								
COMPACTION	MAX γ_d kgs/m^3								
	O.M.C. %								
C.B.R.	FROM LAB								
	SWELLING								
	SYMBOLS								

TYPICAL NAME

ผลการทดสอบรับรองเฉพาะตัวอย่างที่งานทดสอบฯ ได้รับเท่านั้น

สรุปผลการทดสอบ _____

_____

_____

ใบแจ้งสรุปผลการทดสอบ

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

โครงการของ

สถานที่ก่อสร้าง

บริษัทก่อสร้าง

ชนิดตัวอย่าง หินคลุก (General Test)

วัสดุใช้ทำ พื้นทาง

จำนวน 1 ตัวอย่าง

SPEC. มทช.203-2545

ทะเบียนทดสอบเลขที่

ลงวันที่

สรุปผลวันที่

เจ้าหน้าที่ทดสอบ

เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล

เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ

		เกณฑ์ตัดสิน						
SAMPLE	STATION		ศิลาสินทรัพย์					
	SAMPLE No.	พื้นทาง	1					
ATTERBERG LIMITS	L.L.	≤ 25	NON PLASTIC					
	P.L.							
	P.I.	≤ 6						
% PASSING US.SIEVE	2″	100	-					
	1″	-	100					
	3/8″	30-65	47.60					
	# 4	25-55	29.01					
	# 10	15-40	17.24					
	# 40	8-20	9.82					
	# 200	2-8	7.15					
	GRADE	ก	ก					
LA.	PERCENTAGE OF WEAR	≤ 40 %	25.6					
COMPACTION	MAX γ_d kgs/m^3		2,212					
	O.M.C. %		4.92					
C.B.R.	FROM LAB	≥ 80 %	83.90					
	SWELLING		0.00					
	SYMBOLS		SC					

TYPICAL NAME

SC CLAYEY SANDS, SAND-CLAY MIXTURES

ผลการทดสอบรับรองเฉพาะตัวอย่างที่งานทดสอบฯ ได้รับเท่านั้น

SC CLAYEY SANDS, SAND-CLAY MIXTURES

SC CLAYEY SANDS, SAND-CLAY MIXTURES

ML INORGANIC SILTS AND VERY FINE SANDS, ROCK FLOUR, SILTY OR CLAYEY FINE SANDS OR CLAYEY SILTS WITH SLIGHT PLASTICITY

สรุปผลการทดสอบ หินคลุก 1 มีคุณสมบัติตาม มทช.203-2545 วัสดุพื้นทาง

การหาความหนาแน่นของวัสดุงานทางในสนามโดยวิธีใช้ทรายแทนที่ (FIELD DENSITY TEST ; SAND CONE METHOD)

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

1. เพื่อหาค่าความแน่นในสนาม (In – Place Density) ของวัสดุที่มีขนาดเม็ดผ่านตะแกรง 50.8 มม. (2 นิ้ว) โดยใช้ทรายแทนที่ (Sand Replacement หรือ Sand Cone Method)
2. เพื่อใช้เป็นค่าเปรียบเทียบกับค่าความแน่นของวัสดุที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการ

เป้าหมายของการทดสอบ

1. เพื่อตรวจสอบผลการบดอัด ว่ามีความแน่นได้ตามข้อกำหนดหรือไม่
2. เพื่อควบคุมปริมาณความชื้นในวัสดุ และพลังงานที่ใช้ในการบดอัดให้พอเพียงและประหยัด

ทฤษฎี

การก่อสร้างถนนจะต้องบดอัดด้วยเครื่องมือต่างๆ ตามชนิดและประเภทของวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง หลังจากการบดอัดได้ที่แล้วก็จะต้องมีการตรวจสอบผลการบดอัดนั้นว่า มีความแน่นสามารถรับน้ำหนักได้ตามข้อกำหนดที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่ การบดอัดนี้จะต้องมีการควบคุมความชื้นในดินและพลังงานที่ใช้ในการบดอัดให้พอเพียงและประหยัด ถ้าจำนวนเที่ยวที่บดอัดมากเกินไป ก็จะสิ้นเปลืองทั้งค่าแรงงานและค่าน้ำมันเชื้อเพลิง แต่ถ้าบดอัดน้อยไปก็จะไม่ได้ความแน่นที่ต้องการ

การหาความแน่นของดิน คือ การหาน้ำหนักของดินในบริเวณที่บดอัดเสร็จเรียบร้อยแล้วหารด้วยปริมาตรของหลุมที่ขุดดินออกมา และการที่จะหาปริมาตรของหลุมที่กล่าวนี้จำเป็นจะต้องวัดหรือใช้วัสดุที่รู้ความแน่น(Density) และความถ่วงจำเพาะแน่นอนแล้วไปแทนที่ในหลุมที่ขุดขึ้นมา ซึ่งการทดสอบดังกล่าวสามารถกระทำได้โดยวิธีใช้ทรายแทนที่ (Sand Cone Method)

วิธีการใช้กรวยทรายมาตรฐาน เป็นวิธีที่ใช้สำหรับหาค่าความแน่นในสนาม ปริมาตรของหลุมทดสอบหาได้จากมวลของทรายหลวมที่ใส่ลงในหลุม ทรายที่ใช้จะมีขนาดเม็ดปานกลางและมีความสม่ำเสมอ ซึ่งมีค่าความแน่นหลวมคงที่ เมื่อเทลงในหลุมทดสอบ กรวยจะทำหน้าที่เหมือนขวดที่ใช้เททราย ชั่งมวลของภาชนะบรรจุทรายและกรวย แล้วคว่ำภาชนะบรรจุทรายลงในหลุมทดสอบ หลังจากนั้นให้เปิดวาล์วที่ปลายของกรวยทีละน้อย เพื่อให้ทรายไหลลงในหลุมทดสอบ เมื่อทรายหยุดไหลแล้วให้ทำการปิดวาล์ว ชั่งมวลของภาชนะบรรจุทรายที่เหลือและกรวย ค่าความแตกต่างระหว่างมวลของทรายที่วัดก็คือมวลของทรายที่อยู่ในหลุมทดสอบและกรวย เนื่องจากปริมาณทรายที่เติมลงในกรวยมีค่าคงที่ จึงสามารถคำนวณมวลของทรายในหลุมทดสอบได้ และปริมาตรของหลุมทดสอบ ก็สามารถคำนวณได้เนื่องจากทราบความแน่นหลวมของทราย

วิธีการทดสอบ

วิธีการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (Field Density Test) ตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท มทช.(ท) 501.4-2545

เครื่องมือทดสอบ

1. ลักษณะเฉพาะเครื่องมือ

เป็นชุดเครื่องมือที่ทำการทดสอบความแน่นในสนามโดยการใช้ทรายแทนที่ ซึ่งสามารถทดสอบความแน่นของโครงสร้างทางชั้นต่างๆ ได้

2. อุปกรณ์ประกอบเครื่องมือทดสอบ

2.1 กรวยมาตรฐาน
2.2 ขวดมาตรฐาน
2.3 แผ่นฐานมาตรฐาน
2.4 ค้อน
2.5 สิ่ว
2.6 ถาดใส่ดิน
2.7 กระป๋องใส่ดิน
2.8 ทัพพีตักดิน

2.9 เครื่องชั่ง ขนาด 1,000 กรัม อ่านได้ละเอียด 0.1 กรัม ใช้ในห้องปฏิบัติการ

2.10 เครื่องชั่งสนาม สามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 16 kg อ่านได้ละเอียด 1.0 กรัม

2.11 ทราย ใช้ทรายออตตาวา (Ottawa Sand) หรือทรายธรรมดาที่มีในธรรมชาติหรือที่ทำขึ้น โดยทรายจะต้องมีความสะอาด แห้ง และไหลได้โดยอิสระ (Free Flowing) ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 20 (0.85 มม.) ค้างตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มม.) และมีความแน่น (Bulk Density) ที่เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

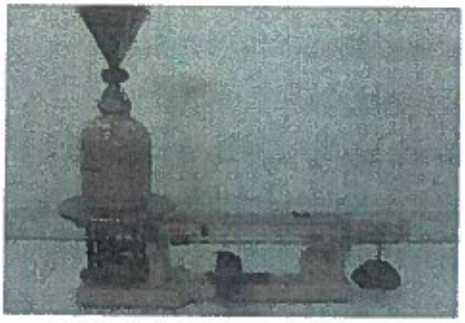
2.12 ตู้อบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ประมาณ 110±5°C

2.13 อุปกรณ์ภาคสนามที่สามารถทำให้ดินแห้ง ได้แก่ เตาน้ำมันก๊าด เตาแก๊ส กระทะ คั่วดิน เป็นต้น เพื่อทำให้ตัวอย่างแห้ง สำหรับใช้หาค่าความชื้นของดิน

รูปที่ 29 อุปกรณ์ที่ใช้หาความแน่นของวัสดุงานทางในสนามโดยวิธีใช้ทรายแทนที่

ขั้นตอนการหาน้ำหนักของทรายที่บรรจุเต็มกรวย

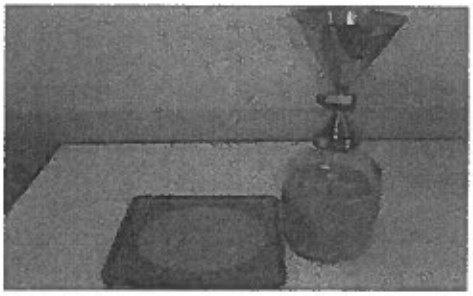
1. นำขวดพร้อมกรวยวางบนพื้นที่ราบมั่นคง เท ทรายผ่านกรวย ปล่อยให้ทรายไหลจนเต็มขวด



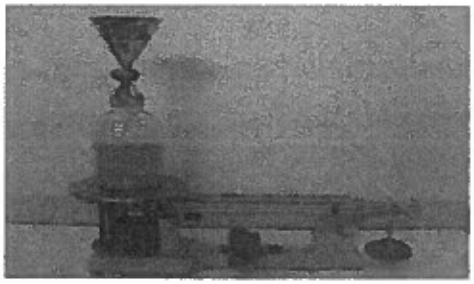
2. จากนั้นปิดลิ้น เททรายที่เหลือในกรวยทิ้ง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักจะได้เป็นน้ำหนักของขวด + กรวย + ทรายที่บรรจุอยู่เต็มขวด (W_4)

3. วางแผ่นฐานบนพื้นราบเรียบ แล้วคว่ำกรวยลงบนแผ่นฐาน ให้ปากกรวยตรงกับร่องของแผ่นฐาน

4. เปิดลิ้นให้ทรายไหลจนเต็มกรวย โดยไม่ให้ขวดทราย กระเทือน



5. เมื่อทรายหยุดไหลแล้วจึงปิดลิ้น จากนั้นยกขวดทรายขึ้นจากแผ่นฐาน

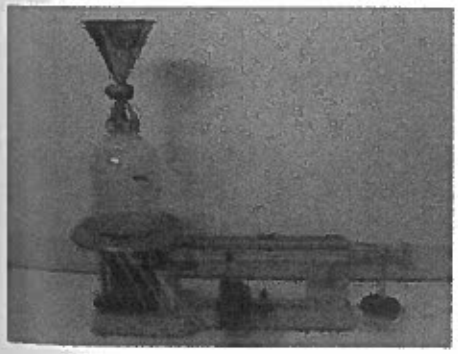


6.นำขวดทรายที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก จะได้เป็นน้ำหนักของขวด + กรวย + ทรายที่ไม่เต็มขวด (W_5)

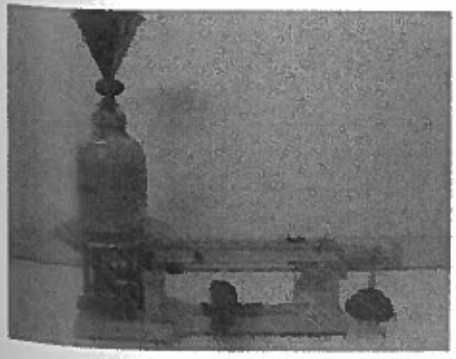
7. น้ำหนักของทรายที่บรรจุอยู่เต็มกรวย จะมีค่าเท่ากับ $W_4 - W_5$ ให้ทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของทรายที่บรรจุเต็มกรวย

ขั้นตอนการตรวจสอบความแน่นแบบบัลค์ของทราย (Bulk Density of Sand)

1. หาน้ำหนักทรายเต็มขวด

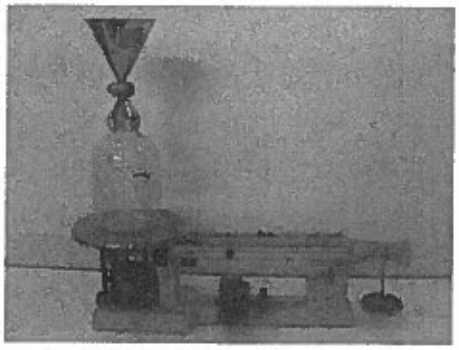


(1.1) นำขวดเปล่าที่ประกอบเข้ากับกรวย ซึ่งได้ทำความสะอาดแล้ว ไปชั่งน้ำหนักจะได้เป็นน้ำหนักขวดเปล่าพร้อมกรวย (W_1)

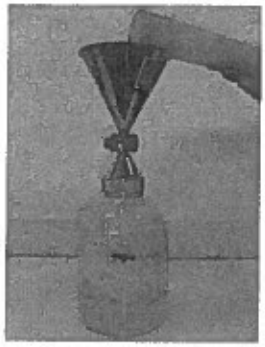


(1.2) ตั้งขวดเปล่าพร้อมกรวยบนพื้นที่ราบเรียบและมั่นคง ตวงทรายผ่านกรวย ปล่อยให้ทรายไหลจนเต็มขวด แล้วปิดลิ้นเททรายที่เหลือในกรวยทิ้ง นำทรายเต็มขวดพร้อมกรวยไปชั่งน้ำหนักจะได้ค่าเป็นน้ำหนักขวด + กรวย + ทรายที่บรรจุอยู่เต็มขวด(W_2)ดังนั้นน้ำหนักทรายเต็มขวดจะเท่ากับ $W_2 - W_1$ ทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของทรายเต็มขวดของทรายเต็มขวด

2. หาปริมาตรของขวด



(2.1) นำขวดเปล่าที่ประกอบเข้ากับกรวย ซึ่งได้ทำความสะอาดแล้ว ไปชั่งน้ำหนักจะได้เป็นน้ำหนักขวดเปล่าพร้อมกรวย W_1



(2.2) ตั้งขวดเปล่าพร้อมกรวยบนพื้นที่ราบเรียบและมั่นคง เมื่อได้ระดับแล้วเปิดลิ้นไว้ ใส่น้ำกลั่นลงในกรวย จนกระทั่งระดับน้ำขึ้นท่วมกรวย และไม่มีฟองอากาศค้างอยู่ในขวด แล้วจึงปิดลิ้นให้สนิท และเทน้ำที่ล้นข้างบนออกให้หมดนำไปชั่งน้ำหนักจะได้เป็นน้ำหนักขวด พร้อมกรวยและน้ำที่บรรจุอยู่เต็มขวด (W_3)

(2.3) น้ำหนักของน้ำเต็มขวด เท่ากับ $W_3 - W_1$

(2.4) วัดอุณหภูมิของน้ำในขวด แล้วบันทึกค่าไว้

(2.5) ให้ทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของน้ำเต็มขวด โดยแต่ละครั้งมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 3 กรัม

(2.6) ปริมาตรของขวด = T × น้ำหนักของน้ำเต็มขวด (กรัม) เมื่อ T = ปริมาตรของน้ำซึ่งหนัก 1 กรัม ที่อุณหภูมิทดลอง (ตารางที่ 1)

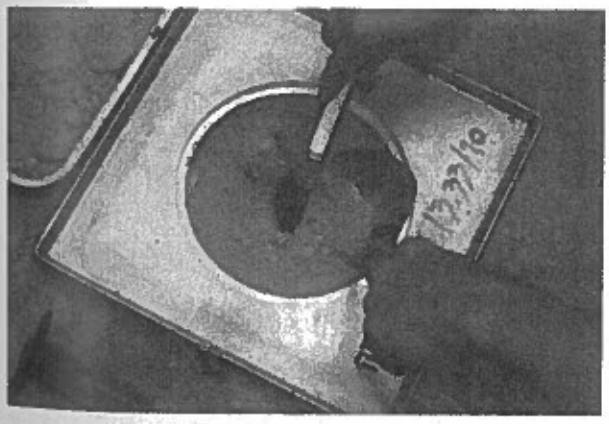
ตารางที่ 1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความหนาแน่นของน้ำ

อุณหภูมิ (°C)	ปริมาตรของน้ำต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก (T) (ลบ.ซม./กรัม)
20	1.00177
22	1.00221
24	1.00268
26	1.00320
28	1.00375
30	1.00435
32	1.00497

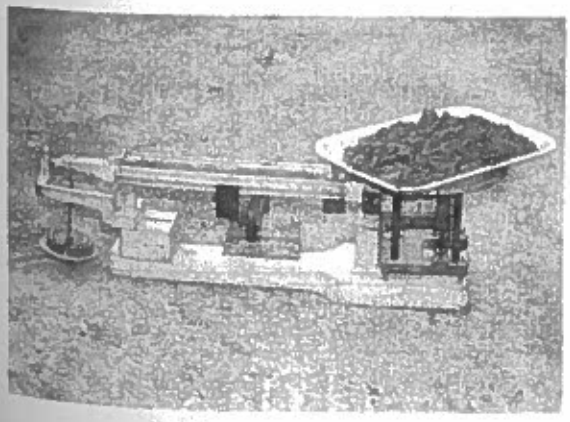
3. คำนวณหาค่าความแน่นแบบบัลค์ของทราย

$$\text{ความแน่นแบบบัลค์ของทราย} = \frac{\text{น้ำหนักของทรายเต็มขวด (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของขวด (ลบ. ซม.)}}$$

ขั้นตอนการทดสอบ



1. ปรับแต่งพื้นผิวให้เรียบ ตรึงแผ่นฐานกับพื้นที่ทดสอบ เจาะดินเป็นรูปทรงกระบอก ลึก 10-15 ซม. แต่งหลุมให้เรียบร้อย



2. นำดินที่เจาะขึ้นมาทั้งหมด ไปชั่งหาน้ำหนัก จะได้น้ำหนักของดินชื้น

3. เก็บตัวอย่างดิน ใส่ตลับบรรจุอย่างน้อย 100 กรัม นำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นอบให้แห้งและชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาความชื้นในดิน (ปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ในดินเป็นร้อยละ เมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง)โดยสามารถหาได้ดังนี้

$$\text{ความชื้นในดิน(ร้อยละ)} = \frac{\text{นน. ของดินชื้น} - \text{นน. ของดินอบแห้ง}}{\text{นน. ของดินอบแห้ง}} \times 100$$

4. คว่ำขวดที่บรรจุทรายอยู่เต็มพร้อมกรวย ซึ่งชั่งน้ำหนักไว้แล้ว ลงบนร่องของแผ่นฐาน เปิดลิ้นให้ทรายไหลลงจนเต็มหลุม โดยไม่ให้ขวดทรายกระเทือน เมื่อทรายหยุดไหลแล้วจึงปิดลิ้น

5. นำขวดทรายที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก แล้วหาน้ำหนักทราย ที่แทนที่ดินในหลุม (ซึ่งหาได้จากน้ำหนักที่ชั่งก่อนคว่ำกรวยลบกับน้ำหนักของทรายที่เหลือ จะได้น้ำหนักของทรายที่ไหลออกไปจากขวด) เพื่อใช้คำนวณหาปริมาตรหลุม

6. คำนวณหาปริมาตรของหลุม (ลบ.ซม.) = $\frac{\text{น้ำหนักทรายที่แทนที่ดินในหลุม (กรัม)}}{\text{ความแน่นแบบบัลค์ของทราย (กรัม/ลบ.ซม.)}}$

7. คำนวณหาค่าความแน่นชื้นของดินที่ขุดออกจากหลุม = $\frac{\text{น้ำหนักดินชื้นที่ขุดออกจากหลุม (กรัม)}}{\text{ปริมาตรของหลุม (ลบ.ซม.)}}$

8. คำนวณหาค่าความแน่นแห้งของดินที่ขุดออกจากหลุม = $\frac{\text{ความแน่นของดินชื้นที่ขุดออกจากหลุม}}{1+\frac{\text{ปริมาณน้ำของดิน}}{100}}$

การรายงาน

1. ให้รายงานชื่อโครงการ สายทาง ชั้นของวัสดุ ชนิดของวัสดุ รายนามเจ้าหน้าที่ที่ทดสอบ วันเวลาที่ทดสอบ ความแน่นของทรายที่หาได้ ตำแหน่งที่ทดสอบ ความหนาของชั้นต่างๆ ตามสัญญาและความหนาจริงในการก่อสร้าง และรายละเอียดอื่นๆ

2. ค่าความแน่นของดิน ให้ใส่ทศนิยม 3 ตำแหน่ง และร้อยละของการบดอัดให้ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

3. เปอร์เซ็นต์ของการบดอัด Pc $=(\gamma_d / \gamma_m) \times 100$

เมื่อ γ_d คือ ความแน่นแห้งของดินที่ขุดออกจากหลุม (กรัม / ลบ.ซม.)

γ_m คือ ความแน่นแห้งสูงสุดของดินตัวอย่างซึ่งเป็นชนิดเดียวกับดินที่ขุดออกจากหลุม ตามวิธีการทดสอบ Compaction ตาม มทช.(ท) 501.1 – 2545 หรือ มทช. (ท) 501.2 - 2545

ปัญหาอุปสรรคและข้อควรระวัง

1. แผ่นฐานที่วางบนพื้นผิวทดสอบตรึงไม่แน่นเพราะพื้นผิวที่ทดสอบไม่ราบเรียบ ไม่ได้ระดับ ก่อนทำการทดสอบต้องทำการปรับให้พื้นผิวที่จะทำการทดสอบราบเรียบได้ระดับ สะอาด และตรึงแผ่นฐานให้แน่นจึงลงมือทำการทดสอบ

2. ขณะทำการทดสอบ หากเกิดการสะเทือนของขวดทราย เนื่องจากมีรถวิ่งไปมาจะทำให้ทรายที่ปล่อยลงในหลุมทดสอบได้ค่าไม่ถูกต้อง ก่อนทำการทดสอบจึงควรกันไม่ให้มีรถวิ่งผ่านหรือทำให้เกิดการสะเทือนในขณะทำการทดสอบ

3. ทรายที่ใช้ในการทดสอบสกปรก ใช้งานมานานไม่มีการล้างให้สะอาด และไม่ได้หาค่าความแน่นแบบบัลค์ของทรายก่อนนำไปทำการทดสอบ ดังนั้นก่อนนำทรายไปทำการทดสอบ ควรทำการล้างทรายให้สะอาด และทดสอบหาค่าความแน่นแบบบัลค์ของทรายก่อนนำไปใช้งาน หรืออย่างน้อยสัปดาห์ละครั้ง

4. ในขณะขนย้ายเครื่องมือควรอุ้มตัวขวดโดยตรง เนื่องจากการหิ้วกรวยที่มีทรายบรรจุอยู่เต็มขวดทำให้กรวยขาดตรงบริเวณลิ้นซึ่งไม่ค่อยแข็งแรง

5. หลักการคว่ำทรายเพื่อหามวลทรายในกรวย ให้เก็บทรายบนพื้นผิวที่ทดสอบให้หมด

ตัวอย่างแบบฟอร์ม

และ

ตัวอย่างผลการทดสอบ

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค กรมทรัพยากรน้ำ	ทดสอบครั้งที่	แผ่นที่
	SAND CONE	ทะเบียนทดสอบ วันที่ทดสอบ

สรุปผลการทดสอบความแน่นในสนาม

โครงการของงานก่อสร้าง _____

สถานที่ _____

บริษัทก่อสร้าง _____

MATERIAL _____ ROAD WAY WIDTH _____ m.

LAYER _____ SHOULDER WIDTH _____ m.

UNIT Wt. OF TEST SAND _____ gm./cc

REQUIRED PERCENT COMPACTION _____ %

เจ้าหน้าที่ทดสอบ _____

เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล _____

เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ _____

	Sample No					
	STATION					
	DISTANCE FROM C$_L$ m.					
	THICKNESS cm.					
1	Wt. OF CONTAINER + FUNNEL + SAND gm.					
2	Wt. OF CONTAINER + FUNNEL + SAND REMAINING gm.					
3	Wt. OF SAND IN HOLE + FUNNEL gm.					
4	Wt. OF SAND IN FUNNEL gm.					
5	Wt. OF SAND IN HOLE gm.					
6	UNIT Wt. OF TEST SAND gm./cc.					
7	VOLUME OF HOLE cc.					
8	Wt. OF TRAY + WET SAMPLE gm.					
9	Wt. OF TRAY gm.					
10	Wt. OF WET SAMPLE gm.					
11	WET UNIT Wt. OF SAMPLE gm./cc.					
	CAN No.					
12	Wt. OF WET SAMPLE + CAN gm.					
13	Wt. OF DRY SAMPLE + CAN gm.					
14	Wt. OF WATER gm.					
15	Wt. OF CAN gm.					
16	Wt. OF DRY SAMPLE gm.					
17	% MOISTURE CONTENT %					
18	DRY DENSITY OF SAMPLE gm./cc.					
19	MAXIMUM DRY DENSITY gm./cc.					
20	OPTIMUM MOISTURE CONTENT %					
21	% COMPACTION %					
	RESULTS					

รับรองผลเฉพาะจุดและชั้นที่ทำการทดสอบเท่านั้น

REMARK: ผลการบดอัดแน่นชั้น..... ในสนามมีค่ามากกว่า.....%

ของการบดอัดแน่นในห้องทดสอบโดยวิธี ☐ STANDARD PROCTOR DRY DENSITY

☐ MODIFIED PROCTOR DRY DENSITY

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

ทดสอบครั้งที่ 1 | แผ่นที่

SAND CONE | ทะเบียนทดสอบ วันที่ทดสอบ

สรุปผลการทดสอบความแน่นในสนาม

โครงการของ _____

งานก่อสร้าง _____

สถานที่ _____

บริษัทก่อสร้าง _____

MATERIAL _____ ROAD WAY WIDTH _____ m.

LAYER _____ SHOULDER WIDTH _____ m.

UNIT Wt. OF TEST SAND 2.900 gm./cc

REQUIRED PERCENT COMPACTION 95 %

เจ้าหน้าที่ทดสอบ _____

เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล _____

เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ _____

	Sample No		1
	STATION		0+370
	DISTANCE FROM C_L	m.	2.00 LT.
	THICKNESS	cm.	11.00
1	Wt. OF CONTAINER + FUNNEL + SAND	gm.	12521
2	Wt. OF CONTAINER + FUNNEL + SAND REMAINING	gm.	4935
3	Wt. OF SAND IN HOLE + FUNNEL	gm.	7586
4	Wt. OF SAND IN FUNNEL	gm.	2023
5	Wt. OF SAND IN HOLE	gm.	5563
6	UNIT Wt. OF TEST SAND	gm./cc.	2.900
7	VOLUME OF HOLE	cc.	1918
8	Wt. OF TRAY + WET SAMPLE	gm.	4222
9	Wt. OF TRAY	gm.	244
10	Wt. OF WET SAMPLE	gm.	3978
11	WET UNIT Wt. OF SAMPLE	gm./cc.	2.074
	CAN No.		1
12	Wt. OF WET SAMPLE + CAN	gm.	278.61
13	Wt. OF DRY SAMPLE + CAN	gm.	275.21
14	Wt. OF WATER	gm.	3.40
15	Wt. OF CAN	gm.	25.23
16	Wt. OF DRY SAMPLE	gm.	249.98
17	% MOISTURE CONTENT	%	1.36
18	DRY DENSITY OF SAMPLE	gm./cc.	2.046
19	MAXIMUM DRY DENSITY	gm./cc.	2.100
20	OPTIMUM MOISTURE CONTENT	%	5.00
21	% COMPACTION	%	97.42
	RESULTS		**Pass**

รับรองผลเฉพาะจุดและชั้นที่ทำการทดสอบเท่านั้น

REMARK: ผลการบดอัดแน่นชั้นลูกรัง ในสนามมีค่ามากกว่า 95 %
ของการบดอัดแน่นในห้องทดสอบโดยวิธี ☐ STANDARD PROCTOR DRY DENSITY
☒ MODIFIED PROCTOR DRY DENSITY

วิธีการทดลองหาค่าความแน่นและค่าความชื้น ของดินและวัสดุมวลรวมในสนามระดับตื้นโดยใช้วิธีนิวเคลียร์

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองหาค่าความแน่น (in-place density) และค่าความชื้น (moisture content) ของดินและวัสดุมวลรวมในสนาม โดยใช้เครื่องมือนิวเคลียร์ (nuclear gauge)

1.1 การทดลองหาค่าความแน่นทำได้ 2 วิธี

วิธี ก. การทดลองแบบส่งผ่านโดยตรง (direct transmission method) เป็นการวัดโดยแหล่งกำเนิดรังสี (source) อยู่ที่ระดับความลึกที่กำหนด ส่วนอุปกรณ์ตรวจจับรังสี (detector) อยู่ที่ระดับผิวหน้าของชั้นวัสดุทดลอง หรือเครื่องกำเนิดรังสีอยู่ที่ระดับผิวหน้าของชั้นวัสดุทดลอง ส่วนอุปกรณ์ตรวจจับรังสีอยู่ที่ระดับความลึกที่กำหนด โดยความลึกที่กำหนดสูงสุดไม่เกิน 300 มม.

วิธี ข. การทดลองแบบกระเจิงกลับ (backscatter method) เป็นการวัดการกระเจิงกลับของรังสีแกมมา โดยแหล่งกำเนิดรังสีและอุปกรณ์ตรวจจับรังสีอยู่ที่ระดับผิวหน้าของชั้นวัสดุทดลอง

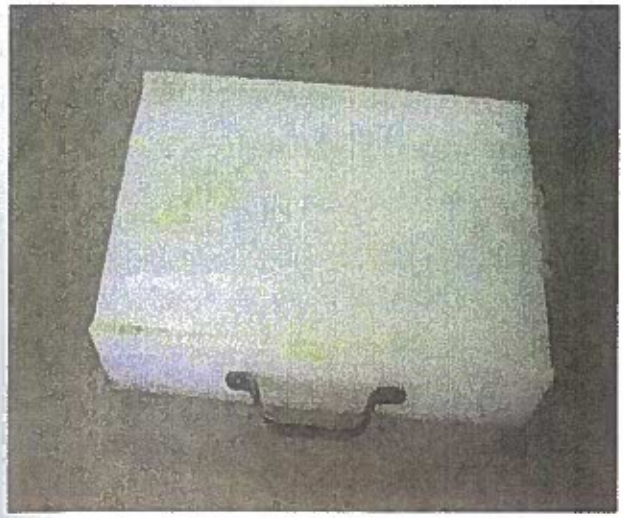
หมายเหตุ ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้วิธี ก.

1.2 การทดลองหาค่าความชื้น เป็นการวัดโดยแหล่งกำเนิดนิวตรอน (neutron sources) และอุปกรณ์ตรวจจับนิวตรอน (thermal neutron detector) อยู่ที่ระดับผิวหน้าของชั้นวัสดุทดลอง

2. เครื่องมือ

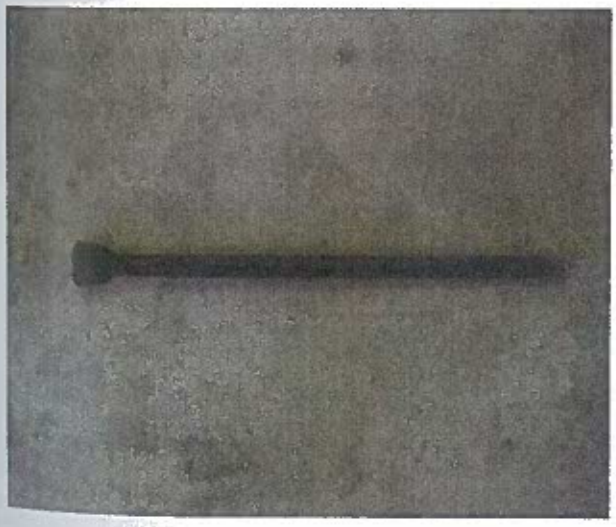
เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1 เครื่องมือนิวเคลียร์ (nuclear gauge) สำหรับหาค่าความแน่นและค่าความชื้น

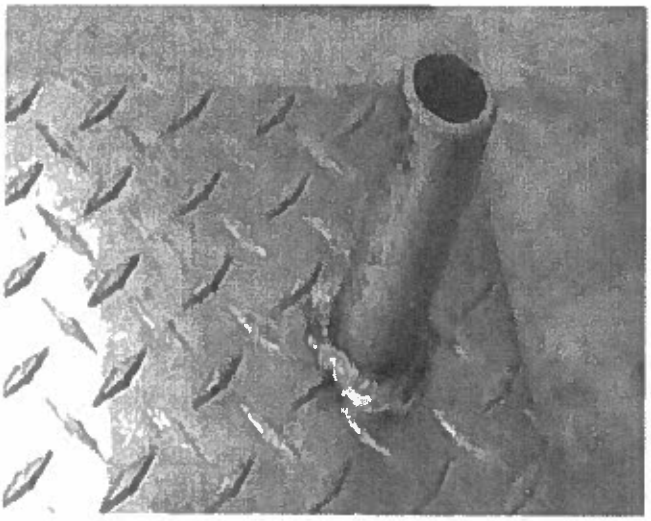


2.2 อุปกรณ์มาตรฐานอ้างอิง (reference standard)
อุปกรณ์ใช้สำหรับตรวจสอบการทำงานของเครื่องมือและกำหนดอัตราการตรวจนับอ้างอิง (reference count rate)ในครั้งต่อไป

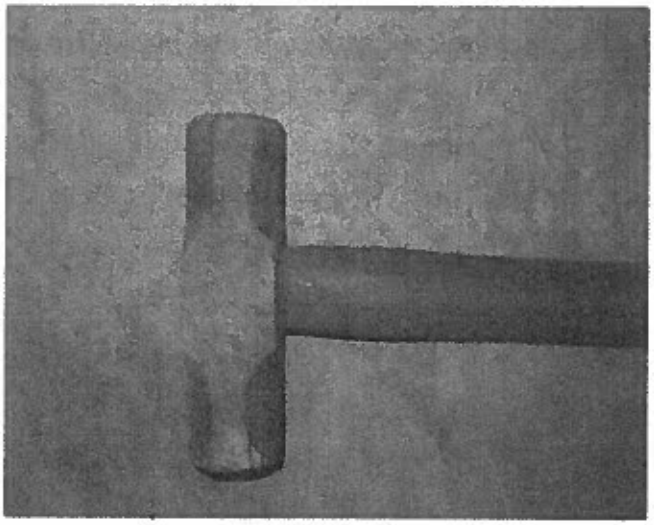
2.3 อุปกรณ์เตรียมพื้นที่ (site preparation device) เป็นเครื่องมือที่เหมาะสม สามารถใช้ปรับระดับพื้นที่ทดลองให้ได้ระดับและราบเรียบตามที่ต้องการ เช่น แผ่นโลหะที่มีตัวนำแท่งตอก (drive pin guide) ติดตั้งอยู่ หรือเหล็กปาด(straightedge)



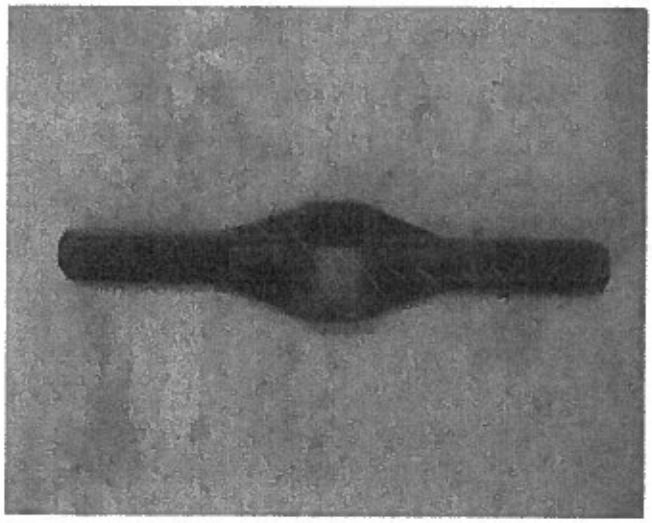
2.4 แท่งตอก (drive pin) เป็นแท่งโลหะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดแท่งทดลอง (probe) ใช้สำหรับเตรียมหลุมเจาะในวัสดุที่ต้องการทดลองหาค่าความแน่นในการทดลองแบบส่งผ่านโดยตรง



2.5 ตัวนำแท่งตอก (drive pin guide) เป็นตัวนำที่ช่วยให้แท่งตอกอยู่ในแนวตั้งฉากกับผิวหน้าของชั้นวัสดุทดลอง



2.6 ค้อน (hammer) ต้องหนักและแข็งแรงเพียงพอที่จะตอกแท่งตอกจนถึงระดับความลึกที่ต้องการ โดยไม่ทำให้หลุมเจาะที่จะใช้ทดลองเสียหาย



2.7 ตัวถอนแท่งตอก (drive pin extractor) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถถอนแท่งตอกขึ้นมาได้ในขณะที่แท่งตอกยังอยู่ในแนวตั้งฉาก เพื่อป้องกันไม่ให้แท่งตอกกระทบกับผนังของหลุมเจาะจนเกิดความเสียหายในขั้นตอนการถอนออก

3. วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

- ไม่มี

4. แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 6-07

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

ว.6-07

FIELD DENSITY TEST
NUCLEAR METHOD

โครงการฯ _____

วัสดุชั้น _____ ชนิดของวัสดุ _____

เจ้าหน้าที่ทดลอง _____ วันที่ทดลอง _____

ข้อมูลเครื่องมือ

ยี่ห้อ : _____

รุ่น : _____

หมายเลขเครื่อง : _____

การตรวจนับมาตรฐาน (STANDARD COUNT)						
อ่านครั้งที่ (Read No.)	ครั้งล่าสุด	1	2	3	4	5
Density standard count (DS1)						
Density standard count (DS2)						
Moisture standard count (MS)						
ผ่าน / ไม่ผ่าน (PASS/FAIL)						

Station	Km								
	off set m								
Mode (BS or DT)									
ความลึกแท่งทดลอง (Probe depth)	(cm)								
ค่าความชื้น (Moisture content)	(%)								
ค่าความแน่นเปียก (Wet density)	(g/ml)								
ค่าความแน่นแห้ง (Dry density)	(g/ml)								

การหาค่าร้อยละของการบดทับ (PERCENT COMPACTION DETERMINATION)									
ค่าความแน่นแห้งสูงสุด (Max.dry density)	(g/ml)								
ค่าร้อยละของการบดทับ (% Compaction)									
Designed depth ..... cm. Actual depth (cm)									

หมายเหตุ : BS - Backscatter method
DT - Direct transmission method

ค่าธรรมเนียมการทดลองเป็นเงิน.....บาท

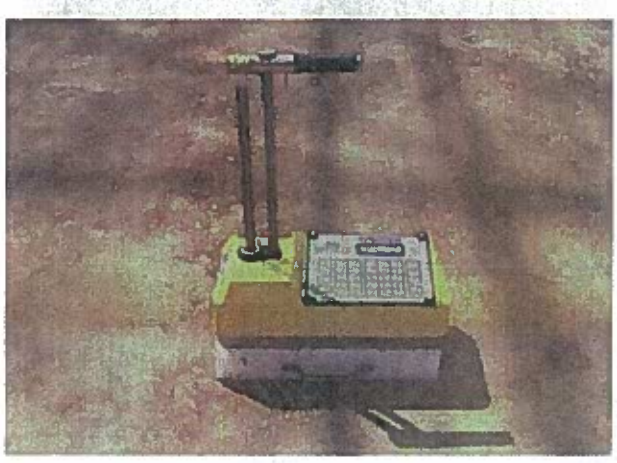
5. การเตรียมตัวอย่าง

- ไม่มี

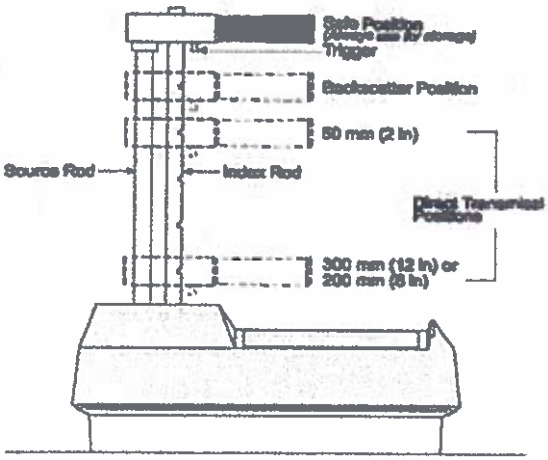
6. การทดลอง

6.1 การเทียบค่ามาตรฐาน (standardization) กับอุปกรณ์มาตรฐานอ้างอิงจะต้องทำก่อนเริ่มการทดลองในแต่ละวัน และจะต้องบันทึกข้อมูลเป็นลายลักษณ์อักษรเก็บไว้ โดยในการเทียบค่ามาตรฐานเครื่องมือนิวเคลียร์จะต้องอยู่ห่างจากเครื่องมือนิวเคลียร์อื่นๆ ไม่น้อยกว่า 10 เมตร ห่างจากแหล่งน้ำที่มีปริมาณมากและวัสดุอื่นใดที่อาจมีผลกระทบต่ออัตราการตรวจนับอ้างอิง นอกจากนั้นการวัดอัตราการตรวจนับมาตรฐานจะต้องทำในสภาพแวดล้อมเช่นเดียวกับสภาพแวดล้อมที่ใช้ทดลองจริงในสนาม โดยมีขั้นตอนในการเทียบค่ามาตรฐาน ดังนี้

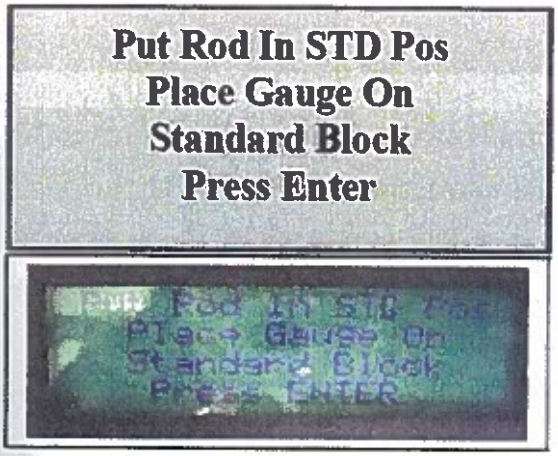
6.1.1 เปิดสวิตช์เครื่องมือ (ปุ่ม ON) และปล่อยทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งเพื่อให้เครื่องมือมีเสถียรภาพ (warm up) ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 10 นาที จนเมื่อหน้าจอแสดงผลอยู่ในเมนูReady Screen เครื่องมือจึงอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ถ้าต้องการใช้เครื่องมืออย่างต่อเนื่องหรือใช้เป็นช่วงๆในแต่ละวัน ควรเปิดสวิตช์เครื่องมือไว้เพื่อให้เครื่องมีเสถียรภาพและพร้อมใช้งานตลอดเวลา



6.1.2 วางเครื่องมือนิวเคลียร์ให้ทุกส่วนของฐานเครื่องมืออยู่บนอุปกรณ์มาตรฐานอ้างอิงและให้ปลายด้านหนึ่งชิดกับขอบเหล็ก โดยให้แท่งทดลองอยู่ที่ตำแหน่งมาตรฐาน (standard ,STD) ซึ่งเป็นตำแหน่งปลอดภัย (safe position)

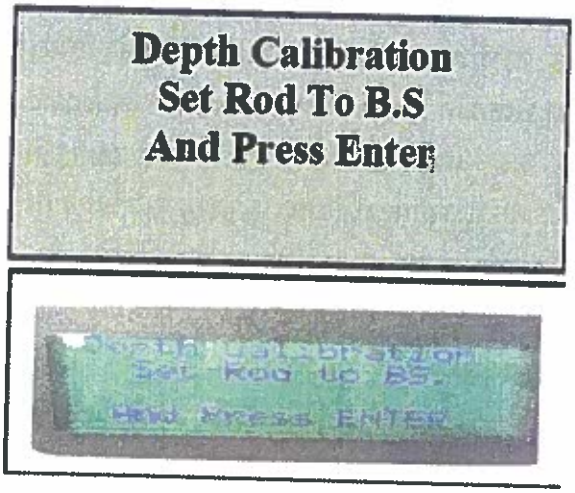


6.1.3 ตรวจสอบ และบันทึกค่าการตรวจนับมาตรฐานของค่าความแน่น (density standard count, DS) และค่าความชื้น (moisture standard count, MS) จากการเทียบค่ามาตรฐานครั้งล่าสุด โดยเมื่อหน้าจอแสดงผลอยู่ในเมนู Ready Screen ให้กดปุ่ม Standard จอแสดงผลจะแสดงค่าของ DS และ MS ที่อยู่ในเครื่องก่อนหน้านี้



6.1.4 เริ่มทำการตรวจนับมาตรฐานจากอุปกรณ์มาตรฐาน อ้างอิงให้กดปุ่มเลข (1) จากนั้นกดปุ่มเลข (2) แล้วกดปุ่ม ENTER เครื่องมือจะให้ยืนยันตำแหน่งของแท่งทดลองว่า อยู่ที่ตำแหน่ง STD และวางเครื่องมือนิวเคลียร์บนอุปกรณ์มาตรฐานอ้างอิง (Standard Block) เรียบร้อยแล้ว จากนั้นให้ทำการยืนยันคำสั่งโดยกดปุ่ม ENTER

6.1.5 การตรวจนับมาตรฐาน (Standard Count) จะใช้เวลาครั้งละ 4 นาที เมื่อเครื่องมือทำการตรวจนับมาตรฐานเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการตรวจสอบและบันทึกค่าการตรวจนับมาตรฐานที่ได้ ค่า DS1 และ DS2 ต้องผิดพลาดไม่เกิน±1.3% ของค่าเฉลี่ย และค่า MS ต้องผิดพลาดได้ไม่เกิน ±1% ของค่าเฉลี่ย โดยค่าการตรวจนับมาตรฐานทั้ง 3 ค่า ต้องผิดพลาดไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด (PASS) กรณีไม่ได้ใช้เครื่องมือเป็นเวลานาน ผลการตรวจนับมาตรฐานค่าใดค่าหนึ่งอาจจะมีค่าผิดพลาดเกินเกณฑ์ที่กำหนด (FAIL) ได้ ให้ทำการตรวจนับมาตรฐานใหม่อีก 4 ครั้ง ค่าการตรวจนับมาตรฐานที่ทำครั้งหลังสุดควรจะมีค่าไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดทั้ง DS1, DS2 และMS ถ้ายังไม่ผ่านให้ติดต่อบริษัทผู้ขายทำการซ่อมบำรุงเครื่องมือ



6.1.6 หลังการตรวจนับมาตรฐานแล้ว ให้ยืนยันค่าใหม่เข้าไปเก็บแทนค่าเก่าโดยกดปุ่ม YES จากนั้นเครื่องจะทำการสอบเทียบตำแหน่งของแท่งทดลอง ให้ทำการเลื่อนปรับตำแหน่งของแท่งทดลองไปที่ตำแหน่ง BS (Backscatter Position) แล้วกดปุ่ม ENTER หลังจากนั้นจึงเลื่อนตำแหน่งของแท่งทดลองให้กลับมาอยู่ที่ตำแหน่ง STD

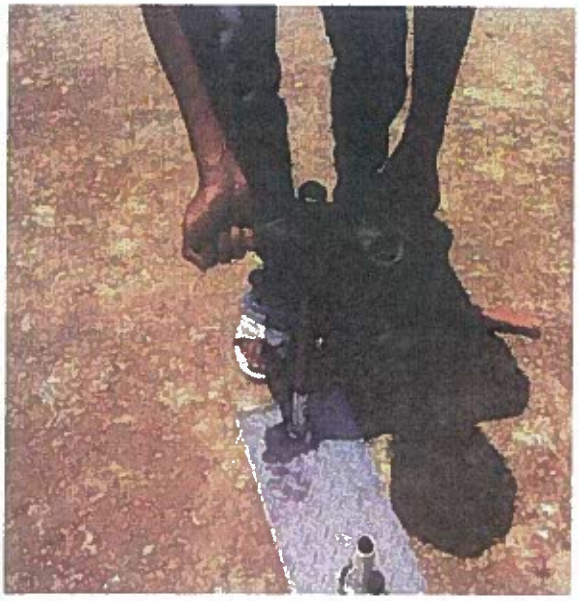
6.2 วิธีการทดลอง

6.2.1 การเตรียมพื้นที่ทดลอง ดำเนินการจัดเตรียมผิวหน้าของชั้นวัสดุทดลองให้เหมาะสมทำการขูดปาดให้เรียบและได้ระดับโดยใช้แผ่นโลหะหรือเครื่องมือที่เหมาะสม เพื่อให้ฐานเครื่องมือสนิทกับผิวหน้าของชั้นวัสดุทดลองมากที่สุด ช่องว่างระหว่างฐานเครื่องมือกับผิวหน้าของชั้นวัสดุทดลองต้องไม่มากกว่า 3 มม. และอาจใช้ส่วนละเอียดของวัสดุทดลอง หรือทรายละเอียด ปรับผิวหน้าของชั้นวัสดุทดลองให้เรียบและได้ระดับ ทั้งนี้ความหนาของวัสดุส่วนละเอียดที่ใช้ปรับระดับต้องไม่เกิน 3 มม.

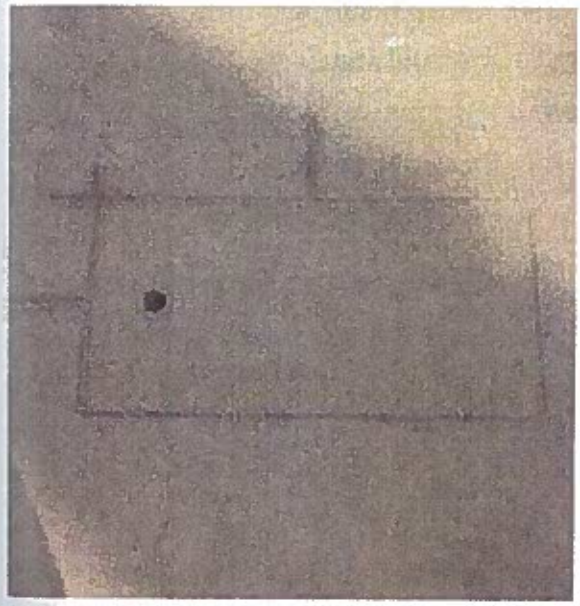
6.2.2 เริ่มทำการทดลอง โดยเปิดสวิตช์เครื่องมือ และปล่อยทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้เครื่องมือมีเสถียรภาพตามวิธีการที่ผู้ผลิตแนะนำ

<u>วิธี ก. การทดลองแบบส่งผ่านโดยตรง</u>

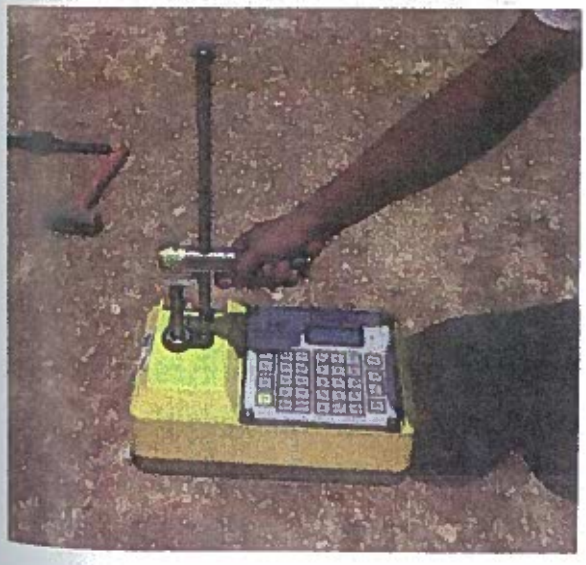
(1) เตรียมหลุมเจาะให้ตั้งฉากกับผิวหน้าของชั้นวัสดุทดลองโดยใช้ตัวนำแท่งตอก และแท่งตอก ก่อนใส่แท่งตอกลงในตัวนำแท่งตอกต้องใส่ตัวถอนแท่งตอกลงไปก่อนเพื่อใช้สำหรับถอนแท่งตอกออกจากหลุมเจาะเมื่อเจาะได้ความลึกที่ต้องการการตอกจะตอกลงไปในชั้นวัสดุทดลองให้ได้ความลึกของหลุมเจาะลึกกว่าระดับที่กำหนดอย่างน้อย 50 ม.ม. โดยสามารถวัดระยะความลึกของหลุมเจาะจากขีดที่ระบุไว้ที่แท่งตอก ซึ่งแต่ละขีดมีระยะ 5 ซ.ม.



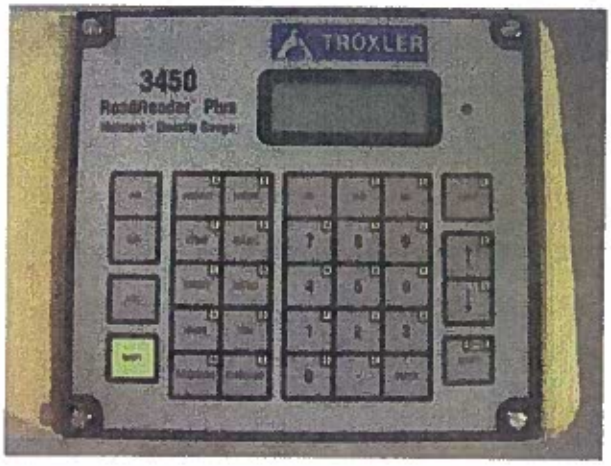
(2) ใช้วัสดุปลายแหลมขีดทำเครื่องหมายบนผิวหน้าของชั้นวัสดุทดลอง เพื่อกำหนดตำแหน่งวางเครื่องมือและแนวที่จะสอดแท่งทดลองลงในหลุมเจาะ ถอนแท่งตอกออกด้วยความระมัดระวังเพื่อป้องกันหลุมเจาะเสียหาย



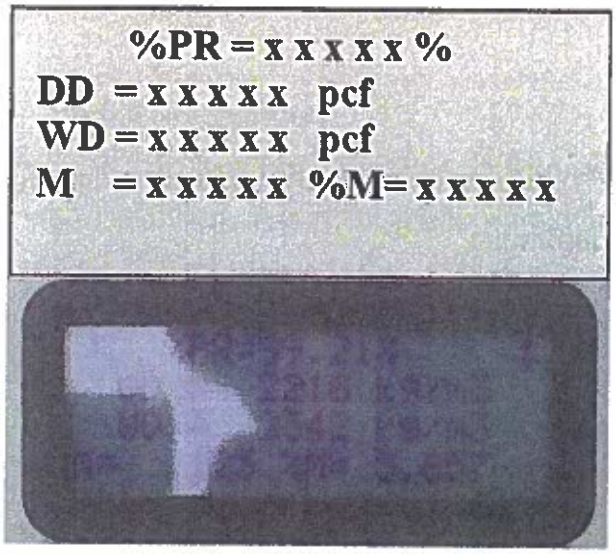
(3) ลักษณะเครื่องหมายที่ทำไว้บนผิวหน้าของชั้นวัสดุทดลอง



(4) วางเครื่องมือบนผิวหน้าของชั้นวัสดุทดลองตามตำแหน่งที่ได้ทำเครื่องหมายกำหนดไว้ โดยให้ฐานเครื่องมือสนิทกับผิวหน้าของชั้นวัสดุทดลองมากที่สุด กดแท่งทดลองลงไปในหลุมเจาะให้ได้ความลึกตามกำหนด สามารถอ่านค่าความลึกของแท่งทดลองได้จากเครื่องมือ จากนั้นค่อยๆ ขยับเครื่องมือไปทางด้านที่ใกล้กับจุดศูนย์กลางของเครื่องมือ เพื่อให้แท่งทดลองสัมผัสสนิทกับผนังของหลุมเจาะ



(5) กดสวิตช์ทดลอง (start) อ่าน และบันทึกค่าความแน่นและค่าความชื้น โดยใช้ระยะเวลาในการทดลองไม่น้อยกว่า 1 นาที อย่างน้อย 1 ครั้ง



(6) เมื่อการทดลองเสร็จ หน้าจอแสดงผลจะแสดงผลการทดลองออกมาดังนี้

% PR = ค่าร้อยละของการบดทับ

DD = ค่าความแน่นแห้ง

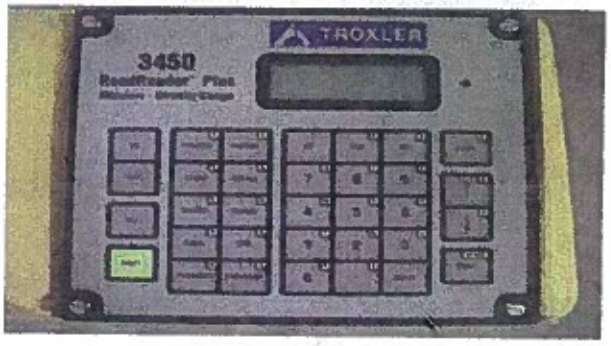
WD = ค่าความแน่นเปียก

M = ปริมาณน้ำในมวลดิน

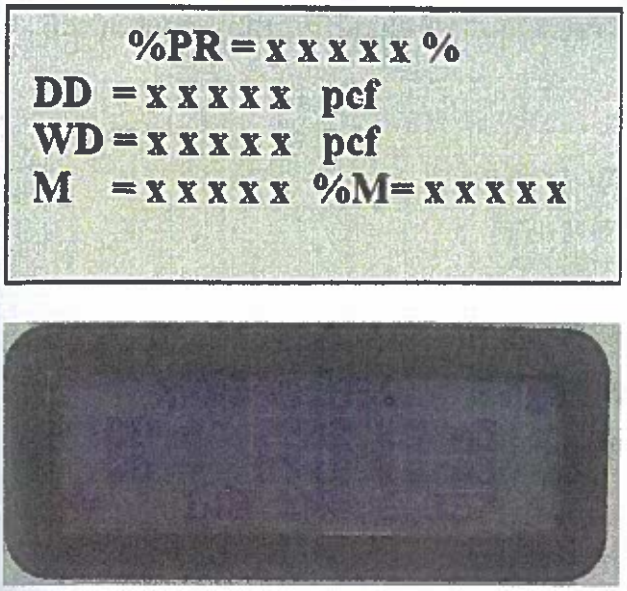
% M = ค่าความชื้นเป็นร้อยละ

วิธี ข. การทดลองแบบกระเจิงกลับ

(1) วางเครื่องมือให้มั่นคง กดแท่งทดลองให้อยู่ในตำแหน่งการทดลองแบบกระเจิงกลับ (backscatter, BS)



(2) กดสวิตช์ทดลอง อ่านและบันทึกค่าความแน่น และค่าความชื้น โดยใช้ระยะเวลาในการทดลองไม่น้อยกว่า 1 นาที อย่างน้อย 1 ครั้ง



(3) เมื่อการทดลองเสร็จ หน้าจอแสดงผลจะแสดงผลการทดลองออกมาดังนี้

% PR = ค่าร้อยละของการบดทับ

DD = ค่าความแน่นแห้ง

WD = ค่าความแน่นเปียก

M = ปริมาณน้ำในมวลดิน

% M = ค่าความชื้นเป็นร้อยละ

7. การคำนวณ

7.1 การหาค่าความชื้น (moisture content)

7.1.1 อ่านค่าโดยตรงจากเครื่องมือ หรือจากกราฟสอบเทียบ

7.1.2 เก็บตัวอย่างวัสดุไปทดลองหาค่าความชื้นโดยวิธีอื่น

7.2 การหาค่าความแน่นแห้ง (dry density)

7.2.1 กรณีค่าความชื้นอ่านได้จากเครื่องมือ ค่าความแน่นแห้งสามารถอ่านจากเครื่องมือได้โดยตรง

7.2.2 กรณีค่าความชื้นหาได้จากวิธีการทดลองอื่น ให้คำนวณค่าความแน่นแห้ง ตามสมการที่ (2)

$$\gamma_d = \frac{100}{100+W}(\gamma_w)$$

เมื่อ γ_d = ค่าความแน่นแห้งของวัสดุ มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

γ_w = ค่าความแน่นเปียกของวัสดุ มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

w = ค่าความชื้นเป็นร้อยละ

7.3 การหาค่าร้อยละของการบดทับ (percent compaction determination)

7.3.1 อ่านค่าร้อยละของการบดทับได้โดยตรงจากเครื่องมือหากเครื่องมือสามารถทำได้ โดยต้องป้อนค่าความแน่นแห้งสูงสุดของวัสดุที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการก่อนเริ่มทำการทดลอง

7.3.2 กรณีเครื่องมือไม่สามารถอ่านค่าได้โดยตรง ให้คำนวณค่าร้อยละของการบดทับตามสมการที่ (3)

$$Pc = (\gamma_d / \gamma_m) \times 100$$

เมื่อ Pc = ค่าร้อยละของการบดทับ

γ_d = ค่าความแน่นแห้งของวัสดุจากการทดลองในสนาม มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

γ_m = ค่าความแน่นแห้งสูงสุดจากการทดลองในห้องปฏิบัติการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.107/2517 หรือ 108/2517 มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

8. การรายงาน

- รายงานผลการทดลองลงในแบบฟอร์มที่ ว.6-07

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

จ.6-07

FIELD DENSITY TEST
NUCLEAR METHOD

โครงการฯ
วัสดุชั้น Pavement Recycling ชนิดของวัสดุ
เจ้าหน้าที่ทดลอง วันที่ทดลอง
ข้อมูลเครื่องมือ
ยี่ห้อ : Troxler
รุ่น : 3450
หมายเลขเครื่อง :

การตรวจนับมาตรฐาน (STANDARD COUNT)						
อ่านครั้งที่ (Read No.)	ครั้งล่าสุด	1	2	3	4	5
Density standard count (DS1)	7500	7450				
Density standard count (DS2)	2285	2277				
Moisture standard count (MS)	1295	1290				
ผ่าน / ไม่ผ่าน (PASS/FAIL)		PASS				

Station	Km	0+200	0+250						
	off set m	2.0 Rt.	2.0 Rt.						
Mode (BS or DT)		DT	DT						
ความลึกแท่งทดลอง (Probe depth)	(cm)	20	20						
ค่าความชื้น (Moisture content)	(%)	5.66	6.73						
ค่าความแน่นเปียก (Wet density)	(g/ml)	2.342	2.336						
ค่าความแน่นแห้ง (Dry density)	(g/ml)	2.216	2.189						

การหาค่าร้อยละของการบดทับ (PERCENT COMPACTION DETERMINATION)									
ค่าความแน่นแห้งสูงสุด (Max.dry density)	(g/ml)	2.234	2.234						
ค่าร้อยละของการบดทับ (% Compaction)		99.21	97.97						
Designed depth ...20.0... cm. Actual depth (cm)		20.5	20.5						

หมายเหตุ : BS - Backscatter method
DT - Direct transmission method

ค่าธรรมเนียมการทดลองเป็นเงิน.....บาท

การหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินและค่าการดูดซึมน้ำ
(SPECIFIC GRAVITY OF SOIL)

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

1.เพื่อหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเม็ดดิน โดยการหาอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของเม็ดดินแห้งกับน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของเม็ดดินแห้ง

2.เพื่อหาความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเม็ดดินแบบบัลค์ในสภาพอบแห้ง สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง และแบบแอพแพเรนท์

3.เพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำของเม็ดดิน

เป้าหมายของการทดสอบ

1.เพื่อใช้ในการคำนวณหาสัดส่วนการผสมของหินและทรายในคอนกรีตโดยใช้เป็นตัวเปลี่ยนน้ำหนักที่กำหนดให้ของวัสดุผสมเป็นปริมาตรเนื้อแท้ หรือเปลี่ยนปริมาตรเนื้อแท้ไปเป็นน้ำหนัก เพื่อหาปริมาณวัสดุสำหรับการผสม

2.เพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีต

3.เพื่อใช้ในการคำนวณหาสัดส่วนการผสมของผิวทางแบบเคพซีล และแอสฟัลต์คอนกรีต

ทฤษฎี

ในมวลดินจะประกอบด้วยธาตุสารหลายอย่าง ดังนั้นความถ่วงจำเพาะในมวลดินก็คือ ค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะของธาตุสารเหล่านั้น ความถ่วงจำเพาะจะเป็นคุณสมบัติพื้นฐานสำคัญอีกค่าหนึ่ง ที่ทำให้สามารถคำนวณหาปริมาตรช่องว่าง, ความอิ่มตัว, ความพรุน และอื่น ๆ ได้ การหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ทำโดยใช้ขวดหาความถ่วงจำเพาะ (**Pycnometer**) และขนาดของเม็ดดินใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 4 ทำโดยชั่งน้ำหนักในน้ำ

จากค่านิยาม ถ.พ. ของเม็ดดิน $G = \dfrac{\gamma\ (\text{ดิน})}{\gamma_w\ (\text{น้ำ } 4^\circ C)}$ หรือ $= \dfrac{W_s / V}{W_w / V \text{ ที่ } 4^\circ C}$

เมื่อ γ = ความหนาแน่นเฉพาะเนื้อดินหรือน้ำ

W_s = น้ำหนักเนื้อดิน

W_w = น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่าเนื้อดินที่ $4^\circ C$

น้ำหนักเนื้อดินนั้น สามารถหาได้โดยการชั่งน้ำหนักดินอบแห้ง แต่น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่าเนื้อดินทำได้โดยการนำมวลดินไปแทนที่น้ำ แต่จะมีปัญหา คือ มักจะเกิดฟองอากาศเล็กๆ ปนกับน้ำผสมดิน และน้ำหนักของน้ำในขวด ถ.พ. ที่ระดับขีดปากขวดจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ จึงต้องมีการแก้ปัญหาดังกล่าวคือ

1. กำจัดฟองอากาศโดยใช้ปั๊มดูดอากาศ หรือ ต้มไล่ฟองอากาศ และในขณะเดียวกันก็ใช้น้ำกลั่นที่ดูดฟองอากาศไว้ล่วงหน้าแล้ว
2. ชั่งน้ำหนักขวดที่มีน้ำเต็มที่อุณหภูมิต่างๆ ที่ใกล้เคียงกับการใช้งาน แล้วเขียนกราฟสำหรับปรับแก้

วิธีการทดสอบ

1. วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบ ตาม มทช. (ท) 101.4-2545
2. วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ และ ค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมละเอียด ตาม มทช.(ท) 101.5-2545

เครื่องมือทดสอบ

1. ลักษณะเฉพาะเครื่องมือ

เป็นเครื่องมือทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุขนาดเม็ดโตกว่า 4.75 มม. เช่น หิน และกรวดแบบต่าง ๆ คือ

1.1 Bulk Specific Gravity

1.2 Apparent Specific Gravity

การทดสอบนี้ทดสอบมาตรฐานของ ASTM C 127 - 59 , AASHTO T -85 และ มทช. (ท) 101.4-2534

2. อุปกรณ์ประกอบเครื่องมือทดสอบ

2.1. เครื่องชั่ง 5 กก.

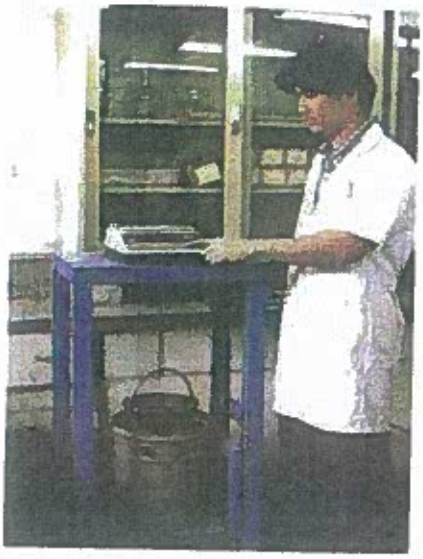
2.2. ตะกร้าลวดตาข่าย ∅ 20 X 20 ซม.

2.3. ทัพพีตักวัสดุ

2.4. ตะแกรงร่อน ∅ 8 " และเบอร์ 100

2.5. ถังบรรจุน้ำ

2.6. ตู้อบ



อุปกรณ์ประกอบเครื่องมือทดสอบ

การทดสอบความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ

วิธีหาความถ่วงจำเพาะ

(W_1-W_2) = ปริมาตรของตัวอย่าง W_1(กิโลกรัม)

ถ.พ. = $W_1/(W_1-W_2)$

W_1 (กก.) น.น.ของตัวอย่างในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง

W_2(กก.) น.น.ในน้ำของตัวอย่าง W_1

วิธีหาปริมาณน้ำดูดซึม

ตัวอย่างในสภาพผิวแห้ง W_1 (กก.) ➡ อบแห้ง ➡ น.น. W_3 (กก.)

ปริมาณน้ำดูดซึม = $100 \times (W_1-W_3)/W_3$

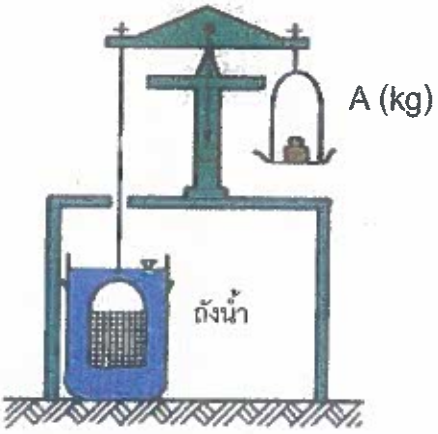
ขั้นตอนการทดสอบ

1. วิธีทำสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

(1) เลือกตัวอย่าง โดยวิธีแบ่งสี่ นำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 นำเฉพาะส่วนที่ค้างบนตะแกรง หนักประมาณ 5 กก. ไปอบให้แห้ง ทิ้งให้เย็น แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเช็ดตัวอย่างด้วยผ้าแห้ง เพื่อทำให้มีสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง

2. การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ

(1) น้ำหนักรวม-น้ำหนักตะกร้า
= น้ำหนักของตัวอย่าง W_1(กก.)



(2) ชั่งน้ำหนักของตะกร้าลวดในน้ำ

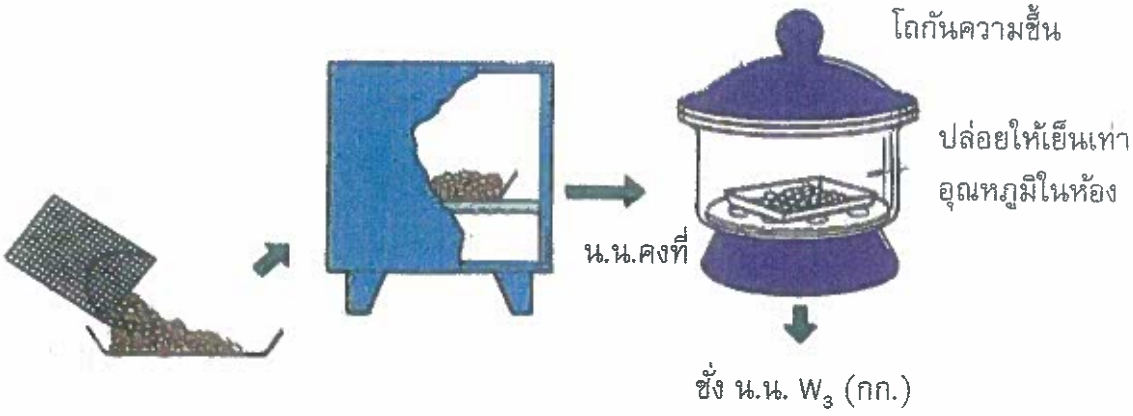
B (กก.) = น.น.ในน้ำ
ของตัวอย่างและตะกร้า

$W_2 = B - A$

(3) ชั่งน้ำหนักทั้งหมดในน้ำ

นัก
งผ้า

3. การทดสอบหาปริมาณน้ำดูดซึม



อบตัวอย่างที่ใช้ในการหา ถ.พ.ให้แห้ง ปล่อย
ให้เย็นลงเท่าอุณหภูมิในห้อง แล้วชั่ง น.น.

การรายงาน

1. ให้รายงานค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยทศนิยม 3 ตำแหน่ง และค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุ ด้วยทศนิยม 2 ตำแหน่ง

เกณฑ์การตัดสิน

1. ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมหยาบที่ใช้ในงานคอนกรีต ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2.40

ปัญหาอุปสรรคและข้อควรระวัง

1. การเช็ดน้ำที่เคลือบอยู่บนผิววัสดุ และการชั่งน้ำหนักวัสดุในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) ให้กระทำอย่างรวดเร็ว เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการระเหยของน้ำ
2. การชั่งวัสดุในน้ำ ถ้าเกิดมีฟองอากาศเกาะอยู่ตามผิววัสดุ ให้ทำการเขย่าตะกร้าลวดตาข่ายขณะที่ทำการจุ่มตะกร้าลงในน้ำ ให้ฟองอากาศลอยขึ้นจนหมดเสียก่อน
3. ในการนำวัสดุมาทำการอบแห้ง เพื่อหาน้ำหนักวัสดุอบแห้งในอากาศ ต้องคอยระมัดระวังมิให้วัสดุมวลรวมสูญหายไปในระหว่างเท หรือเอาวัสดุออกจากตะกร้าลวดตาข่าย

ตัวอย่างแบบฟอร์ม

และ

ตัวอย่างผลการทดสอบ

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

ทะเบียนทดสอบเลขที่	แผ่นที่
วันที่ทดสอบ	
เจ้าหน้าที่ทดสอบ	

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมหยาบ

โครงการ	เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล
สถานที่	
เจ้าของตัวอย่าง	เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ
ชนิดตัวอย่าง	

แหล่งวัสดุ

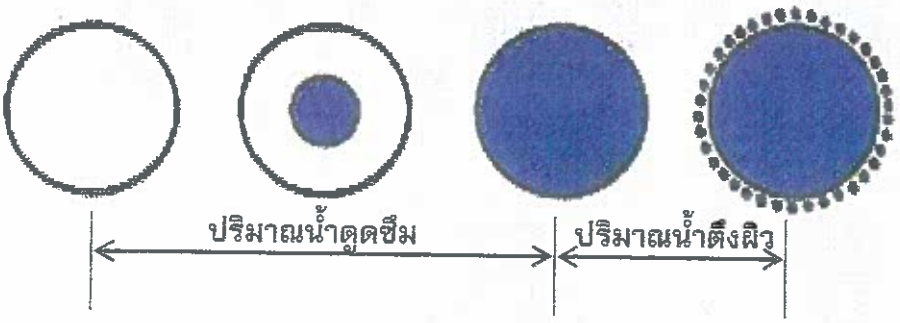
รายละเอียด	หินขนาด 3/4 "		หินขนาด 1/2 "		หินขนาด 3/8 "	
	1	2	3	4	5	6
น้ำหนักของวัสดุอบแห้ง (W1) กรัม						
น้ำหนักของวัสดุอิ่มตัวผิวแห้ง (W2) กรัม						
น้ำหนักของวัสดุในน้ำ (W3) กรัม						
ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอบแห้ง) = $\frac{W1}{W2-W3}$						
ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง) = $\frac{W2}{W2-W3}$						
ความถ่วงจำเพาะแบบแอพแพเรนต์ = $\frac{W1}{W1-W3}$						
ความดูดซึมน้ำ (%) = $\frac{W2-W1}{W1} \times 100$						

หมายเหตุ

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค กรมทรัพยากรน้ำ	ทะเบียนทดสอบเลขที่	แผ่นที่
	วันที่ทดสอบ	
	เจ้าหน้าที่ทดสอบ	
การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมหยาบ		
โครงการ	เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล	
สถานที่		
เจ้าของตัวอย่าง	เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ	
ชนิดตัวอย่าง		
แหล่งวัสดุ		

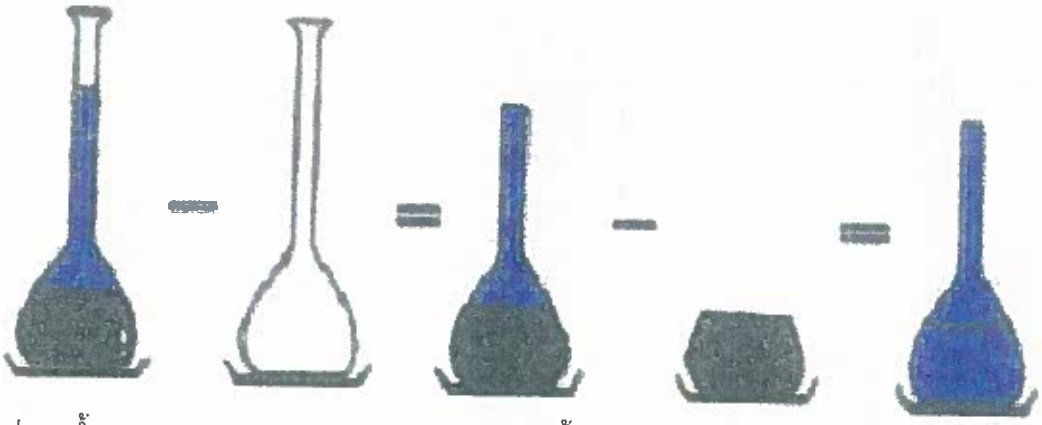
รายละเอียด	หินขนาด 3/4 "		หินขนาด 1/2 "		หินขนาด 3/8 "	
	1	2	3	4	5	6
น้ำหนักของวัสดุอบแห้ง (W1) กรัม	4926	4930.2				
น้ำหนักของวัสดุอิ่มตัวผิวแห้ง (W2) กรัม	5000.0	5005.0				
น้ำหนักของวัสดุในน้ำ (W3) กรัม	3106.0	3110.1				
ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอบแห้ง) = $\frac{W1}{W2-W3}$	2.601	2.602				
	2.601					
ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง) = $\frac{W2}{W2-W3}$	2.640	2.641				
	2.641					
ความถ่วงจำเพาะแบบแอพแพเรนต์ = $\frac{W1}{W1-W3}$	2.707	2.709				
	2.708					
ความดูดซึมน้ำ (%) = $\frac{W2-W1}{W1} \times 100$	1.50	1.52				
	1.51					
หมายเหตุ						

การทดสอบความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด



สภาวะการอุ้มน้ำของมวลรวม

วิธีหาความถ่วงจำเพาะ



นน.ตัวอย่าง+น้ำ+ขวด W2(กรัม) | นน.ขวด W2(กรัม) | นน.ตัวอย่างน้ำ | นน.ของตัวอย่าง | นน.ของน้ำในขวด

ปริมาตรของตัวอย่างหนัก 450 กรัม = 500 มล. – W มล.

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ} = \frac{\text{นน.ของตัวอย่างวัสดุในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง(450 กรัม)}}{\text{ปริมาตรของตัวอย่างวัสดุ 450 กรัม}} = \frac{450 \text{ กรัม}}{500 \text{ มล.} - W \text{ มล.}}$$

วิธีหาปริมาณน้ำดูดซึม

$$\text{ปริมาณน้ำดูดซึม} = \frac{W_1 - W_3}{W_3} \times 100$$

เครื่องมือทดสอบ

1. ลักษณะเฉพาะเครื่องมือ

เป็นเครื่องมือทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุขนาดเม็ดเล็กกว่า 4.75 มม. เช่น ทราย ซึ่งจะทำการทดสอบเพื่อหาค่าต่าง ๆ ของทราย ดัง นี้

1.1 Bulk Specific Gravity (Oven dry basis)

1.2 Bulk Specific Gravity (Saturated Surface dry basis)

1.3 Apparent Specific Gravity

1.4 Water Absorption

การทดสอบนี้ทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM C 128 – 59 และ มทช.(ท) 101.5-2545

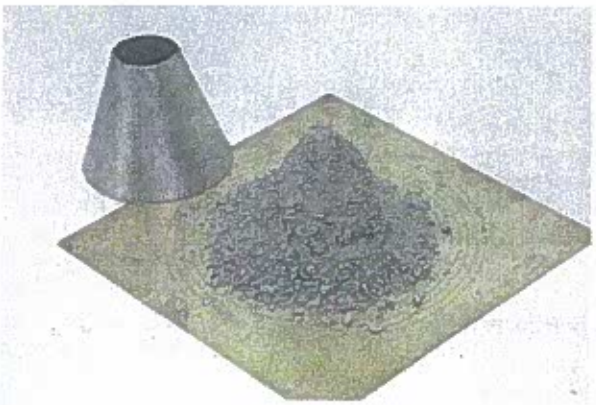
2. อุปกรณ์ประกอบเครื่องมือ

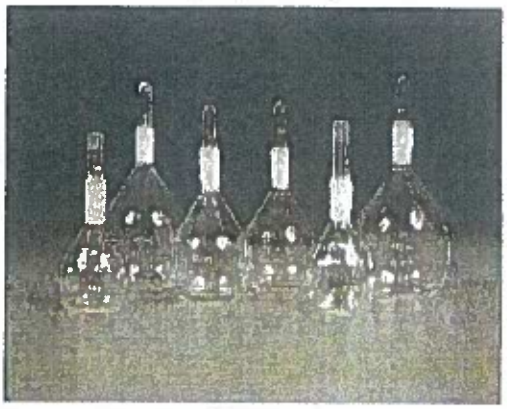
2.1 ขวดมาตรฐาน

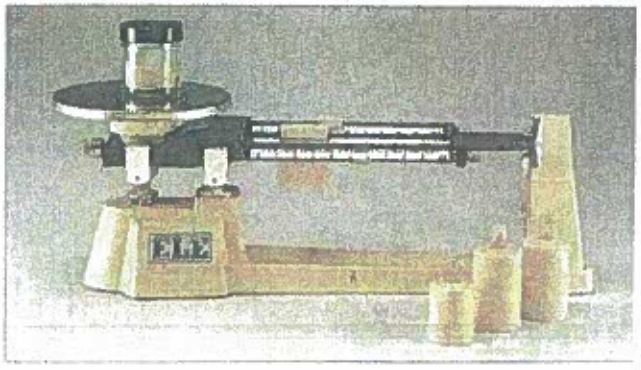
2.2 กรวยมาตรฐาน

2.3 เหล็กกระทุ้งขนาด ∅ 1”

2.4 เครื่องชั่ง



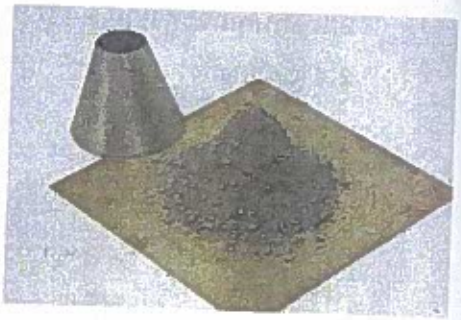




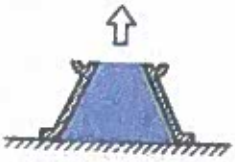
ขั้นตอนการทดสอบ

1. วิธีสร้างสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

(1) ทำการเลือกตัวอย่างวัสดุโดยวิธีแบ่งสี่ ให้ได้น้ำหนักตัวอย่างประมาณ 1 กก. อบให้แห้ง ปล่อยทิ้งให้เย็น แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเป่าตัวอย่างที่ดูดซึมน้ำแล้วให้แห้ง



(2) ใส่ในกรวยการไหลพอหลวม ๆ และกระทุ้ง 25 ครั้ง ตรง ๆ



ถ้ามีน้ำที่ผิวจะไม่ทลายให้ทำขั้นตอนที่ (1)-(3) ซ้ำ

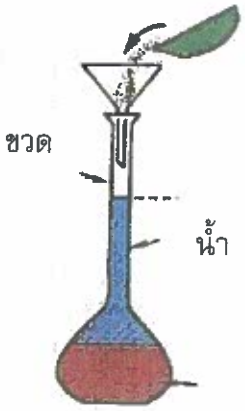
(3) ข้อระวัง ในกรณีที่ดึงกรวยขึ้นครั้งแรกและทลายนั้น อาจจะผ่านสภาพผิวแห้งไปแล้วก็ได้ให้ใช้ตัวอย่างอื่นทำขั้นตอนที่ (1)-(3)

เมื่อเริ่มทลายให้ถือเป็นสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

(4) ตรวจสอบดูว่าทลายหรือไม่

2. การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ

(1) ชั่งตัวอย่าง 450 กรัม ให้ละเอียดถึง 0.1



ใส่ให้ถึงประมาณขีด 500 มล ก่อนกรอกตัวอย่างให้ใส่น้ำลงไปเล็กน้อย ตัวอย่างน้ำหนัก 450 กรัม

(2) ใส่ตัวอย่างและเติมน้ำ

(3) กลิ้งบนแผ่นยาง

(4) แช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 1 ชม.

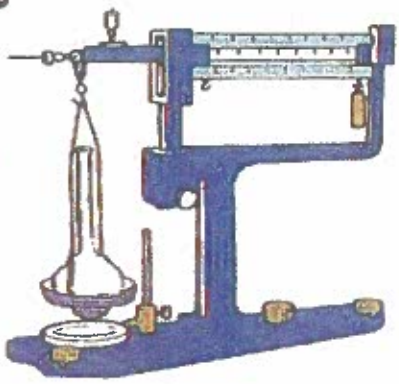
น้ำหนักทั้งหมด

ให้ราบกับระดับ

ในช่องว่างของตัวอย่างก็มีน้ำอยู่ด้วย

(5) เติมน้ำให้ถึงขีด 500 มล.

น้ำหนักเฉพาะขวด V_1(g)



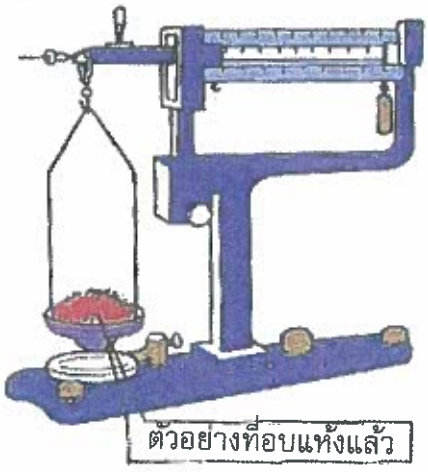
(6) ชั่งน้ำหนักของแต่ละอัน

3. การทดสอบหาปริมาณน้ำดูดซึม

อบตัวอย่างวัสดุ ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง จำนวน 450 กรัม
ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสประมาณ 24 ชั่วโมง จนมีน้ำหนักคงที่

(1) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างและอบให้แห้ง

(2) ปล่อยให้เย็นลงเท่ากับอุณหภูมิในห้อง



(3) ชั่งน้ำหนัก

การรายงาน

1. ให้รายงานค่าความถ่วงจำเพาะ ด้วยทศนิยม 3 ตำแหน่ง และค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุ ด้วยทศนิยม 2 ตำแหน่ง

เกณฑ์การตัดสิน

1. ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลละเอียด ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2.40

ปัญหาอุปสรรคและข้อควรระวัง

1. เมื่อทำการชั่งน้ำหนัก ต้องกระทำในขณะที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ
2. ต้องระมัดระวังมิให้วัสดุมวลละเอียดสูญหายไประหว่างเทลงในภาชนะ เพื่อนำไปอบให้แห้ง
3. การชั่งขวดทดสอบ ต้องคอยระวังให้ระดับน้ำในขวดอยู่ที่ขีดบอกปริมาตรเสมอ และต้องเช็ดน้ำที่ภายนอกขวดให้หมดทุกครั้งก่อนการชั่ง

ตัวอย่างแบบฟอร์ม

และ

ตัวอย่างผลการทดสอบ

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

ทะเบียนทดสอบเลขที่	แผ่นที่
วันที่ทดสอบ	
เจ้าหน้าที่ทดสอบ	
เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล	
เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ	

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมละเอียด

โครงการ

สถานที่

เจ้าของตัวอย่าง

ชนิดตัวอย่าง

แหล่งวัสดุ

รายละเอียด			หินฝุ่น			
			1	2	3	4
น้ำหนักขวดทดลอง	(W1)	กรัม				
น้ำหนักวัสดุอิ่มตัวผิวแห้ง	(W2)	กรัม				
น้ำหนักขวดทดลอง+น้ำ+วัสดุ	(W3)	กรัม				
น้ำหนักวัสดุอบแห้ง	(W4)	กรัม				
ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอบแห้ง)	$= \frac{W4}{500-(W3-W2-W1)}$					
ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง)	$= \frac{W2}{500-(W3-W2-W1)}$					
ความถ่วงจำเพาะแบบแอพแพเรนต์	$= \frac{W4}{500-(W3-W2-W1)-(W2-W4)}$					
ความดูดซึมน้ำ (%)	$= \frac{W2-W4}{W4} \times 100$					

หมายเหตุ

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

ทะเบียนทดสอบเลขที่	แผ่นที่
วันที่ทดสอบ	
เจ้าหน้าที่ทดสอบ	
เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล	
เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ	

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมละเอียด

โครงการ
สถานที่
เจ้าของตัวอย่าง
ชนิดตัวอย่าง

แหล่งวัสดุ

รายละเอียด			หินฝุ่น			
			1	2	3	4
น้ำหนักขวดทดลอง	(W1)	กรัม	164.3	165.8		
น้ำหนักวัสดุอิ่มตัวผิวแห้ง	(W2)	กรัม	450.0	450.0		
น้ำหนักขวดทดลอง+น้ำ+วัสดุ	(W3)	กรัม	940.9	943.4		
น้ำหนักวัสดุอบแห้ง	(W4)	กรัม	439.0	439.2		
ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอบแห้ง)	$= \frac{W4}{500-(W3-W2-W1)}$		2.532	2.548		
			2.540			
ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง)	$= \frac{W2}{500-(W3-W2-W1)}$		2.595	2.610		
			2.603			
ความถ่วงจำเพาะแบบแอพแพเรนต์	$= \frac{W4}{500-(W3-W2-W1)-(W2-W4)}$		2.703	2.718		
			2.711			
ความดูดซึมน้ำ (%)	$= \frac{W2-W4}{W4} \times 100$		2.51	2.46		
			2.48			

หมายเหตุ

การหาสารอินทรีย์เจือปน (ORGANIC IMPURITIES)

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

1. เพื่อหาปริมาณของสารอินทรีย์ (Organic Matter) โดยประมาณด้วยการวัดความเข้มของสี (Colorimeter Test) ซึ่งสารอินทรีย์เป็นสารผุพังที่ปะปนอยู่ในวัสดุชนิดเม็ดละเอียด (ทรายธรรมชาติ)

เป้าหมายของการทดสอบ

1. เพื่อหาปริมาณสารอินทรีย์เจือปน ที่มีผลต่อการก่อตัวและกำลังของคอนกรีต
2. เพื่อตรวจสอบว่าวัสดุนั้น เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในงานคอนกรีตหรือไม่

ทฤษฎี

อินทรีย์สารในทรายสามารถทดสอบได้ โดยวิธีการวัดความเข้มของสี (Colorimeter Test) โดยใส่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ลงไปในขวดแก้วใสเพื่อเป็นการเร่งให้สีของสารอินทรีย์ปรากฏ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับสีมาตรฐานการ์ดเนอร์ (Garder Color Scale) หรือสารละลายที่ทำเป็นสีมาตรฐาน หรือแถบสีมาตรฐาน โดยกำหนดมาตรฐานดังแสดงในตาราง ถ้าปรากฏว่าสารละลายใสหรือมีสีเหลืองอ่อนๆ แสดงว่าทรายนั้นปราศจากอินทรีย์สาร แต่ถ้าสารละลายมีสีระหว่างสีอ่อนกับสีน้ำตาล แสดงว่ามีปริมาณอินทรีย์สารมากพอที่จะทำให้คอนกรีตมีคุณภาพเลวลงได้ เพราะปริมาณอินทรีย์สารเพียงไม่ถึงร้อยละ 1 ก็อาจทำให้ซีเมนต์แข็งตัวช้าลงหรือไม่แข็งตัวเลยก็ได้ และจะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงอย่างมาก ปกติสารอินทรีย์ในทรายจะเกิดในรูปของสารจำพวกพืชที่ผุเน่าแล้ว แต่มักจะไม่ค่อยพบในทรายที่ถูกน้ำเซาะ

สีมาตรฐานของการ์ดเนอร์(Gardner Color Scale) หมายเลข	สีของสารอินทรีย์ หมายเลข
5	1
8	2
11(มาตรฐาน)	3 (มาตรฐาน)
14	4
16	5

การทดสอบนี้จะนำไปใช้กับทรายที่มีอนุภาคของถ่านหินหรือลิกไนท์ปนอยู่ไม่ได้ เนื่องจากสารเหล่านี้อาจทำให้เกิดสีเข้มในสารละลาย ซึ่งไม่ถือว่าเกิดผลเสียหายทางเคมีต่อคอนกรีต

การทดสอบหาอินทรีย์สาร จะกระทำบ่อยเพียงใด ย่อมขึ้นอยู่กับสภาพและความแน่นอนสม่ำเสมอของทราย การทดสอบโดยวิธีวัดความเข้มของสีนั้นปกติทำกันทุกวัน แต่สำหรับทรายที่ถูกน้ำเซาะและมีระเบียนเป็นที่น่าพอใจ ก็อาจจะลดลงเป็นสัปดาห์ละครั้งก็ได้

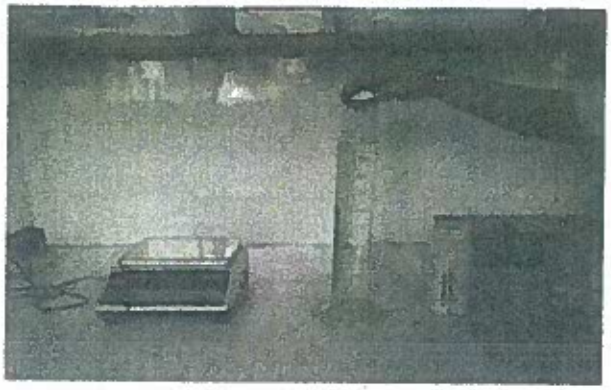
วิธีทดสอบ

วิธีการทดสอบหาสารอินทรีย์เจือปน (Organic Impurities) ตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท มทช. (ท) 501.10-2545

เครื่องมือทดสอบ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบหาสารอินทรีย์เจือปน ประกอบด้วย

1. ขวดแก้วใส ขนาดประมาณ 350 ml (12 ออนซ์) มีขีดแสดงความจุเป็นออนซ์
2. สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 3%
   เตรียมโดยชั่งสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30 กรัม ผสมกับน้ำสะอาดจนได้ปริมาตร 1 ลิตร (ข้อควรระวังโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารที่มีพิษ ถ้าถูกสารนี้ให้รีบล้างบริเวณที่ถูกสารด้วยน้ำสะอาดแล้วทาด้วยน้ำส้มสายชู)
3. แถบสีมาตรฐาน (Color Glass Standard)
4. เครื่องแบ่งตัวอย่าง



ขั้นตอนการทดสอบ

(1) นำทรายตากแห้ง (air dry) มาแบ่งสี่ หรือแบ่งด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง ให้ได้น้ำหนักประมาณ 250 กรัม

(2) เททรายที่เตรียมไว้ขวดแก้วทดสอบ จนได้ปริมาตร 130 มิลลิลิตร (4½ ออนซ์)

(3) เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide)เข้มข้นร้อยละ 3 เตรียมได้โดยชั่งสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30 กรัม ผสมกับน้ำสะอาดจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

(4) เติมสารละลายที่ได้จากข้อ 3 ลงในขวดแก้วทดลองจนได้ปริมาตรเป็น 200 มิลลิลิตร (7 ออนซ์) เอาฝาปิดปากขวด แล้วเขย่าแรงๆ จนเห็นว่าไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่ ตรวจดูระดับสารละลายอีกครั้ง ถ้ามีปริมาตรไม่ถึง 200 มิลลิลิตร บันทึกวันและเวลา (ถ้าระดับสารละลายมีปริมาตรไม่ถึง 200 มิลลิลิตร ให้เติมสารละลาย

(5) ตั้งขวดทดสอบทิ้งไว้นิ่งๆ ห้ามจับหรือเคลื่อนย้ายจนครบ 24 ชั่วโมง เพราะการกระทบกระเทือนจะทำให้ผงละเอียดลอยตัวขึ้นมา ซึ่งจะส่งผลทำให้ได้สีไม่ถูกต้อง

(6) เมื่อครบ 24 ชั่วโมงแล้ว ให้เปรียบเทียบสีของสารละลายกับแถบสีมาตรฐาน ในขั้นตอนการเทียบสีต้องระวังไม่ให้มีการกระทบกระเทือนขวดแก้ว

การรายงาน

ให้รายงานตามแบบฟอร์ม ดังนี้

1. ถ้าสีของสารละลายที่ได้จากการทดสอบ**อ่อนกว่า**สีของแถบสีมาตรฐาน**เบอร์ 3** หรืออ่อนกว่าสีของสารละลายมาตรฐานให้รายงานว่า **"สีอ่อนกว่าสีมาตรฐาน"**
2. ถ้าสีของสารละลายที่ได้จากการทดสอบ**แก่กว่า**สีของแถบสีมาตรฐาน**เบอร์ 3** หรือแก่กว่าสีของสารละลายมาตรฐานให้รายงานว่า **"สีแก่กว่าสีมาตรฐาน"**
3. ถ้าสีของสารละลายที่ได้จากการทดสอบ**ใกล้เคียง**สีของแถบสีมาตรฐาน**เบอร์ 3** หรือใกล้เคียงสีของสารละลายมาตรฐานให้รายงานว่า **"สีใกล้เคียงสีมาตรฐาน"**

เกณฑ์การตัดสิน

1. ถ้าสีของสารละลายที่ได้จากการทดสอบ มีสีอ่อนกว่าสีของสารละลายมาตรฐาน หรือมีสีอ่อนกว่าสีของแถบสีมาตรฐาน หมายเลข 3 ถือว่าเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานได้
2. ถ้าสีของสารละลายที่ได้จากการทดสอบ มีสีใกล้เคียง หรือเหมือนกับสีของสารละลายมาตรฐาน หรือสีของแถบสีมาตรฐาน หมายเลข 3 ถือว่าเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานได้
3. ถ้าสีของสารละลายที่ได้จากการทดสอบ มีสีแก่กว่าสีของสารละลายมาตรฐาน หรือสีแก่กว่าสีของแถบสีมาตรฐาน หมายเลข 3 ถือว่าไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน

ปัญหาอุปสรรคและข้อควรระวัง

1. ไม่ระมัดระวังและไม่ใส่ถุงมือในการผสมสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้เป็นอันตราย เพราะสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารที่มีพิษทำให้เกิดการไหม้ที่ผิวหนังและเยื่ออ่อนต่าง ๆ เช่น ตา ปาก จมูก ก่อนทำการทดสอบควรจะใส่ถุงมือเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้สารถูกมือถ้าถูกสาร ต้องให้รีบล้างบริเวณนั้นด้วยน้ำสะอาด และทาด้วยน้ำส้มสายชู
2. มีการกระทบกระเทือนเมื่อตั้งขวดทิ้งไว้ ในการทดสอบเมื่อตั้งขวดที่ผสมสารโซเดียมไฮดรอกไซด์กับทรายแล้ว ไม่ควรให้เกิดการกระทบกระเทือนกับขวดที่ตั้งทิ้งไว้ เพราะเมื่อเกิดการกระทบกระเทือนจะทำให้ผงละเอียดลอยตัวขึ้นมา ซึ่งจะทำให้ได้สีไม่ถูกต้อง

ตัวอย่างแบบฟอร์ม

และ

ตัวอย่างผลการทดสอบ

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

ทะเบียนทดสอบเลขที่
ลงวันที่
วันที่ทดสอบ

สรุปผลการทดสอบการหาสารอินทรีย์เจือปน

โครงการ
สถานที่

เจ้าหน้าที่ทดสอบ
เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล
เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ

บริษัทก่อสร้าง
ชนิดตัวอย่าง
งานก่อสร้าง
แหล่งวัสดุ

DRY Wt. ORIGINAL SAMPLE 1,000 g.

SIEVE	TEST No.1 Wt.Retained (g.)	% Retained	Cumulative % Retained	% Passing	TEST No.2 Wt.Retained (g.)	% Retained	Cumulative % Retained	% Passing	Average % Passing	มทช.101.1 -254
3/8"										100
# 4										95 - 100
# 8										80 - 100
# 16										50 - 85
# 30										25 - 60
# 50										10 - 30
# 100										2 - 10
PAN										-
FINENESS MODULUS										2.3 - 3.1
ORGANIC IMPURITY										

REMARK :

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

ทะเบียนทดสอบเลขที่
ลงวันที่
วันที่ทดสอบ

สรุปผลการทดสอบการหาสารอินทรีย์เจือปน

โครงการ
สถานที่

เจ้าหน้าที่ทดสอบ

เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล

บริษัทก่อสร้าง
ชนิดตัวอย่าง
งานก่อสร้าง
แหล่งวัสดุ

เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ

DRY Wt. ORIGINAL SAMPLE 1,000 g.

SIEVE	TEST No.1 Wt.Retained (g.)	% Retained	Cumulative % Retained	% Passing	TEST No.2 Wt.Retained (g.)	% Retained	Cumulative % Retained	% Passing	Average % Passing	มทช.101.1 -2545
3/8"	-	-	-	100	-	-	-	100	100	100
# 4	23.28	2.33	2.33	97.67	27.58	2.76	2.76	97.24	97.46	95 - 100
# 8	60.40	6.04	8.37	91.63	55.24	5.52	8.28	91.72	91.68	80 - 100
# 16	132.32	13.23	21.60	78.40	153.26	15.33	23.61	76.39	77.40	50 - 85
# 30	229.43	22.94	44.54	55.46	208.75	20.88	44.48	55.52	55.49	25 - 60
# 50	377.28	37.73	82.27	17.73	386.37	38.64	83.12	16.88	17.30	10 - 30
# 100	150.90	15.09	97.36	2.64	129.41	12.94	96.06	3.94	3.29	2 - 10
PAN	26.4	2.64	100	-	39.4	3.94	100	-	-	-
FINENESS MODULUS	2.56				2.58				2.57	2.3 - 3.1
ORGANIC IMPURITY	มีสีอ่อนกว่าสีของกระจกเทียบมาตรฐานเบอร์ 3									

REMARK : ทราย (ผสมคอนกรีต) มีการกระจายขนาดคละของขนาดเม็ดวัสดุเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน มทช.101.1 -2545

คอนกรีต (CONCRETE)

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

1. เพื่อทดสอบความข้นเหลวของคอนกรีตสด โดยใช้วิธีการทดสอบหาค่าการยุบตัว
2. เพื่อหาความต้านแรงอัดของคอนกรีต

เป้าหมายของการทดสอบ

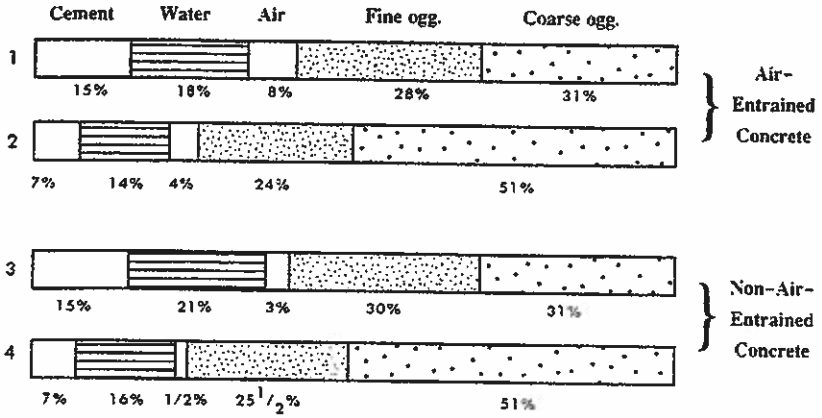
1. เพื่อตรวจสอบความสามารถเทได้ หรือ Workability ของคอนกรีต
2. เพื่อนำไปใช้ประมาณค่ากำลังต้านแรงดึง แรงดัด และคุณสมบัติอื่น ๆ
3. เพื่อควบคุมคุณภาพของคอนกรีตที่หล่อจริงในแต่ละส่วนของโครงสร้าง

ทฤษฎี

คอนกรีต เป็นวัสดุเปรียบเสมือน หิน ที่มนุษย์ประดิษฐ์ขึ้นมาใช้งานเป็นโครงสร้าง มีคุณลักษณะเด่น คือ สามารถหล่อให้เป็นรูปร่างตามที่ต้องการได้ เมื่อต้องการให้แท่งคอนกรีตเป็นรูปใดก็ทำเป็นรูปนั้น ๆ ข้อดีอีกอย่างหนึ่ง ก็คือ สามารถผลิตวัสดุแท่งรูปเหมือน ๆ กันออกมาได้จำนวนมาก โดยทำแบบหล่อเพียงครั้งเดียว เป็นการประหยัดเวลาในการก่อสร้างและมีความคงทนดี ทราบกันดีว่าคอนกรีตได้จากการผสมซีเมนต์ซึ่งเป็นตัวประสาน กับทราย หินหรือกรวดซึ่งเป็นวัสดุผสม และกับน้ำซึ่งจะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ ทำให้ซีเมนต์มีคุณสมบัติเป็นตัวประสานแทรกตามเม็ดทรายและก้อนหิน รวมตัวกันเป็นก้อนคอนกรีตในแบบหล่อ และจะแข็งตัวเมื่ออายุประมาณ 24 ชั่วโมง ทนแรงอัดได้ดีขึ้นเรื่อย ๆ ตามอายุ

เนื้อคอนกรีตอาจแยกออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ วัสดุผสม (Aggregates) และซีเมนต์เพสท์ (Paste) โดยทั่วไปวัสดุผสมยังแบ่งออกเป็น 2 พวก คือวัสดุผสมละเอียด และวัสดุผสมหยาบ วัสดุผสมละเอียดหมายถึง วัสดุผสมที่มีขนาดเล็กที่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ได้ ซึ่งได้แก่ ทรายผสม วัสดุผสมหยาบ หมายถึง วัสดุผสมที่มีก้อนโตไม่ผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ได้แก่ หินหรือกรวด ซีเมนต์เพสท์หรือที่เรียกว่า เพสท์ ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำและอากาศ

ในเนื้อคอนกรีตทั่วไป มีปริมาตรของซีเมนต์เพสท์ประมาณ 25 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาตรของปูนซีเมนต์ 7 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ น้ำ 14 ถึง 21 เปอร์เซ็นต์ และปริมาตรของอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่างประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปริมาตรของส่วนผสมคอนกรีต ปริมาตรส่วนผสมที่ 1 และ 3 เป็นส่วนผสมแก่ปูนมีวัสดุผสมน้อย ส่วนปริมาตรส่วนผสมที่ 2 และ 4 เป็นส่วนผสมอ่อนปูนมีวัสดุผสมมาก

เนื่องจากในเนื้อคอนกรีตมีวัสดุผสมอยู่ประมาณ 60 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาตรทั้งหมด ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุผสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง วัสดุผสมที่จะใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีต ต้องแข็งแกร่งรับแรงอัดได้ดี ทนทาน ไม่ขยายตัวมาก และสะอาดโดยไม่มีสารจำพวกที่จะทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพต่อคอนกรีต นอกจากนี้ วัสดุผสมต้องมีส่วนคละ (**Gradation**) ที่ดี เพื่อช่วยให้ได้คอนกรีตมีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ มีช่องว่าง (**Void**) น้อยทำให้เปลืองซีเมนต์เพสท์น้อยลงและราคาถูก

คอนกรีตซีเมนต์เพสท์ซึ่งเป็นสารที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาทางเคมี ระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวประสาน โดยจะไปเคลือบหรือหุ้มเม็ดทรายและก้อนหินทั้งหมดและยึดให้ติดเข้าด้วยกันเป็นก้อนแข็ง รวมทั้งจะไปอุดตามช่องว่างระหว่างเม็ดหินและทรายอีกด้วยทำให้มีเนื้อแน่นขึ้น ฉะนั้น ความแข็งแรงของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของซีเมนต์เพสท์นี้ด้วย

คุณภาพของซีเมนต์เพสท์ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ (**Water – Cement Ratio**) ที่ใช้ในส่วนผสม ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี เรียกว่า ไฮเดรชั่น (**Hydration**) ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำขึ้นอยู่กับ เวลา อุณหภูมิและความชื้น ปฏิกิริยาทางเคมีดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนแรกๆ และช้าลงตามลำดับในตอนหลังๆ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม

ปริมาณน้ำในส่วนผสมอาจต้องใช้มากกว่าที่ต้องการ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีอย่างสมบูรณ์ และให้คอนกรีตเหลว ทำงานง่าย แต่อย่างไรก็ดีคุณภาพของคอนกรีตในการต้านทานต่อแรงอัด ตลอดจนความทนทานจะลดลง ดังนั้นจึงต้องใช้ปริมาณน้ำให้พอเหมาะพอดี

สารเคมีผสมเพิ่ม (**Admixture**) ที่ใช้เติมลงในส่วนผสมคอนกรีต เพื่อปรับปรุงเนื้อคอนกรีตให้ดีขึ้น นั้นต้องใช้ในอัตราที่พอเหมาะตามคำแนะนำของผู้ผลิต มิฉะนั้นจะก่อให้เกิดผลเสียหรือเกิดผลในทางตรงกันข้าม

สัดส่วนการผสมของคอนกรีตจะช่วยให้ได้คอนกรีตที่มีความข้นเหลวง่ายในการทำงานและทำให้คอนกรีตที่แข็งตัวมีกำลังและความคงทนตามที่ต้องการ แต่อย่างไรก็ดี ถึงแม้ว่าจะใช้สัดส่วนการผสมให้ดีเพียงใด ถ้าการผสม การลำเลียง การเท การทำให้แน่น ตลอดจนการบ่มคอนกรีตทำได้ไม่ดีพอแล้ว ก็จะไม่ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพตามต้องการ

คอนกรีตที่ดีกับคอนกรีตที่ไม่ดี

คอนกรีตที่ดี เป็นคอนกรีตที่ต้องมีคุณสมบัติ เป็นที่พอใจทั้งในสภาพคอนกรีตเหลว กล่าวคือ ตั้งแต่การผสม การลำเลียงจากเครื่องผสม การเทลงแบบหล่อ และการอัดแน่น และเป็นที่พอใจในสภาพคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

คอนกรีตที่ไม่ดี โดยทั่วไปจะมีความข้นเหลวไม่เหมาะสมกับการใช้งาน เมื่อแข็งตัวจะมีรูโพรงและไม่เป็นเนื้อเดียวกันทั้งโครงสร้าง

คุณสมบัติของคอนกรีตสดที่ต้องการ คือ จะต้องมีความข้นเหลวที่จะทำให้การอัดแน่นในแบบหล่อคอนกรีตตามวิธีการที่ต้องการเป็นไปโดยไม่ต้องใช้ความพยายามอย่างมาก รวมทั้งส่วนผสมจะต้องมีการยึดเกาะกันอย่างเพียงพอ เพื่อให้การเทคอนกรีตไม่มีการแยกตัว อันจะเป็นต้นเหตุให้เกิดความไม่สม่ำเสมอในเนื้อคอนกรีต

ตารางแสดงค่าการยุบตัวสำหรับงานก่อสร้างชนิดต่าง ๆ เมื่อใช้เครื่องสั่นสะเทือน

ชนิดของงานก่อสร้าง	ค่าการยุบตัว (เซนติเมตร)	
	สูงสุด	ต่ำสุด
ฐานราก	7.5	5
แผ่นพื้น คาน ผนัง คสล.	10	5
เสา	12.5	5
ครีบ คสล. และผนังเบาๆ	15	5

คุณสมบัติที่ต้องการสำหรับคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว คือ ต้องได้กำลังตามข้อกำหนด นอกจากนี้ยังต้องมีคุณสมบัติอื่น ๆ อีก เช่น ความหนาแน่น ความทนทาน ความสามารถรับแรงดึง ความต้านทานการซึมผ่านของน้ำหรือของเหลว ความต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสี การทนต่อการกัดกร่อนจากซัลเฟต และอื่นๆ

ชนิดของคอนกรีตและค่าแรงอัดประลัยต่ำสุด

ชนิดของคอนกรีต	จำนวนปูนซีเมนต์ที่ใช้ต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม.(เป็นกิโลกรัม) ต้องไม่น้อยกว่า	แรงอัดประลัยต่ำสุดของแท่งคอนกรีตมาตรฐานที่อายุ 28 วัน (เป็น กก./ซม^2)	
		ลูกบาศก์ 15x15x15 ซม.	ทรงกระบอก ∅ 15 x 30 ซม.
ค 1	290	180	145
ค 1-2	300	210	175
ค 2	320	240	200
ค 3	350	300	250
ค 4	400	420	350

การให้ความสนใจในคุณสมบัติต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้ ได้ถูกนำมาพิจารณาและให้ความสำคัญอย่างจริงจัง เมื่อมีข้อกำหนดที่ทันสมัย ซึ่งจะกำหนดคุณสมบัติของคอนกรีตที่ต้องการแทนการกำหนดส่วนผสมอย่างง่าย ๆ โดยเพียงบอกปริมาณส่วนผสม

ความรู้ในเรื่องคุณสมบัติของคอนกรีต ทำให้สามารถที่จะเลือกสัดส่วนผสมคอนกรีตได้อย่างเหมาะสมในราคาที่ประหยัด รวมทั้งการให้ความสนใจขบวนการผลิตคอนกรีตก็มีส่วนช่วยให้มีการพัฒนาเครื่องจักรเครื่องมือ เพื่อนำมาซึ่งการปรับปรุงความสม่ำเสมอของเนื้อคอนกรีต ซึ่งเสริมให้เกิดประโยชน์ทั้งการประหยัดและประโยชน์ด้านเทคนิค

โดยสรุป การที่จะให้ได้คอนกรีตที่ดีนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

- ต้องมีความรู้ในเรื่องคุณสมบัติของวัสดุและหลักการออกแบบ
- ต้องรู้ถึงสภาพทั่วไปของหน่วยงานก่อสร้าง
- วัตถุดิบต่าง ๆ ต้องมีคุณภาพอยู่ในมาตรฐานที่กำหนด
- ต้องให้ความระมัดระวังในเรื่อง การชั่งตวงส่วนผสมทุกชนิด
- ต้องมีการผสม การลำเลียง การเทลงแบบ และการอัดแน่นอย่างเหมาะสม
- ต้องทำการบ่มอย่างถูกต้อง
- ต้องมีการควบคุมงานคอนกรีตที่ดีทุกขั้นตอน

ปัจจัยในการทำคอนกรีตที่ดี

การทำคอนกรีต ต้องมีขบวนการผลิตที่เป็นขั้นตอน เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติสม่ำเสมอทั้งทางด้านความสามารถเทได้ (Workability) กำลัง (Strength) ความต้านทานการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) และความทนทาน (Durability)

กระบวนการทำคอนกรีตทั่วๆ ไป อาจเรียงลำดับขั้นตอนได้ดังนี้

- การเลือกหาวัตถุดิบที่เหมาะสม
- การกำหนดอัตราส่วนผสม
- การชั่งหรือตวงวัตถุดิบเพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่ถูกต้อง
- การผสม
- การลำเลียงคอนกรีตสดไปเทลงแบบ
- การเท
- การทำให้คอนกรีตอัดแน่น
- การแต่งผิว
- การบ่ม
- การแกะแบบหล่อคอนกรีตตามระยะเวลาที่ถูกต้อง

กระบวนการทำคอนกรีตดังกล่าวนี้ มีปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาหรือคำนึงถึง เพื่อให้ได้คอนกรีตที่ดีและมีราคาเหมาะสม

วิธีการทดสอบ

1. วิธีการทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต(SlumpTest) ตาม มทช.(ท)103.1-2545
2. มาตรฐานการเก็บตัวอย่างคอนกรีตในหน้างาน และ นำไปบำรุงรักษา เพื่อทำการทดสอบ ตาม มทช.(ท) 102-2545
3. มาตรฐานการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต (Compressive Strength of Concrete) ตาม มทช.(ท) 105.1-2545

เครื่องมือทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต

1. ลักษณะเฉพาะเครื่องมือ

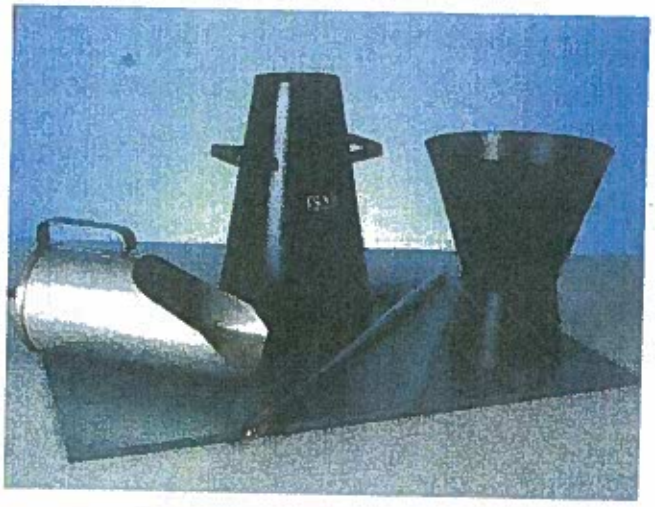
เป็นเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาความข้นเหลวของคอนกรีตสด ผลที่ได้จะเป็นค่าความยุบตัวของคอนกรีตสด ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตเป็นการทดสอบประกอบในการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTMC - 143

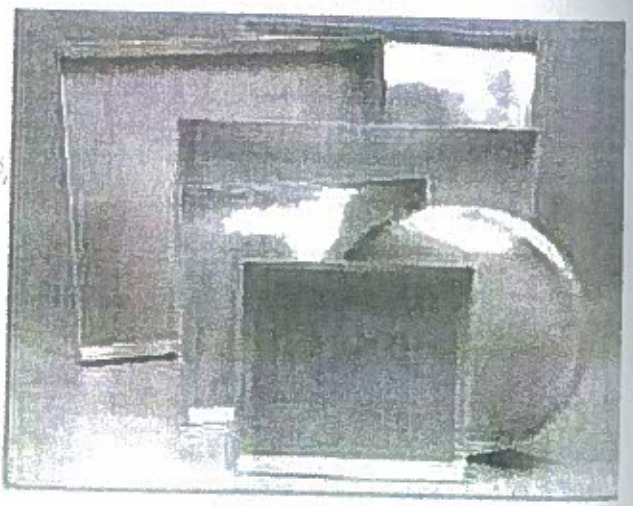
2. อุปกรณ์ประกอบ

2.1. แบบรูปกรวยหัวตัดมาตรฐานขนาด ∅ บน 10 ซม. ∅ ล่าง 20 ซม. สูง 30 ซม.

2.2. เหล็กกระทุ้ง ขนาด ∅ 16 มม. ยาว 60 ซม. ปลายกลมบน

2.3. ถาดโลหะ ขนาด 50 X 50 ซม.

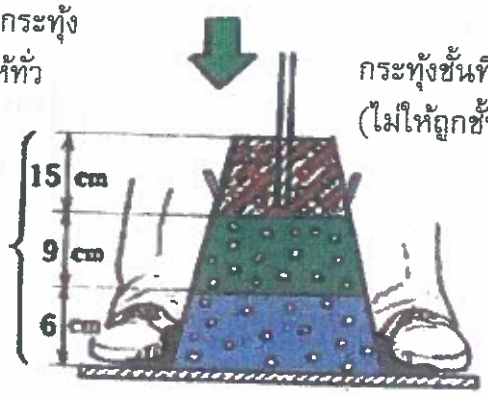




ขั้นตอนการทดสอบความยุบตัวของคอนกรีต

(1) ใส่คอนกรีตประมาณ 1/3 ของปริมาตรของกรวยตัด และกระทุ้งให้สม่ำเสมอทั้งหน้า

แต่ละชั้น กระทุ้ง
25 ครั้ง ให้ทั่ว

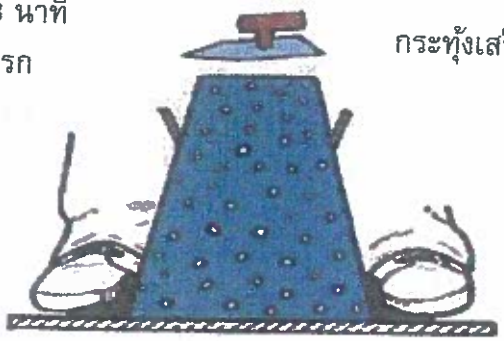


กระทุ้งชั้นที่ 3 25 ครั้ง
(ไม่ให้ถูกชั้นที่ 2)

ข้อควรระวัง ทุกชั้นกระทุ้ง 25 ครั้ง ในกรณีที่วัสดุแยกตัว ให้กระทุ้งเหลือประมาณ 10 ครั้ง

(2) แบ่งการใส่คอนกรีตลงในกรวยตัดเป็น 3 ชั้น และกระทุ้ง

ภายใน 3 นาที
จากเริ่มแรก

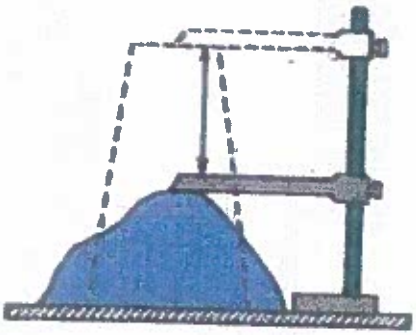


กระทุ้งเสร็จใช้เกรียงปาดให้เรียบ

(3) งานแต่งผิว

ดึงกรวยตัดขึ้นตรง ๆ (ดึงขึ้นภายใน 2-3 วินาที)

ค่าความยุบตัว
(วัดให้ละเอียดถึง 0.5 ซม.)



ข้อควรระวัง
1. ให้ใช้ผ้าเปียกเช็ดด้านในกรวยตัดและเหล็กกระทุ้งก่อน
2. เวลาดึงกรวยตัด ให้ยกขาออกจากวัสดุแผ่นเรียบกันน้ำ

(4) วัดค่าความยุบตัว

เครื่องมือทดสอบหาค่าความต้านแรงอัดของคอนกรีต

1. ลักษณะเฉพาะเครื่องมือ

เป็นเครื่องมือที่ทำการทดสอบหาค่าแรงอัด (Compressive Strength) ของคอนกรีตรูปทรงกระบอก (Cylinder) และรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ (Cube) ตามมาตรฐาน AASTIO T22 และ BS. 1881 : Part 4 : 1970 และสามารถทดสอบหาค่าแรงอัดของวัสดุต่าง ๆ ได้อาทิเช่น หาค่าแรงอัดของคอนกรีตบล็อก และอิฐดินซีเมนต์ เป็นต้น

2. อุปกรณ์ประกอบเครื่องมือทดสอบ

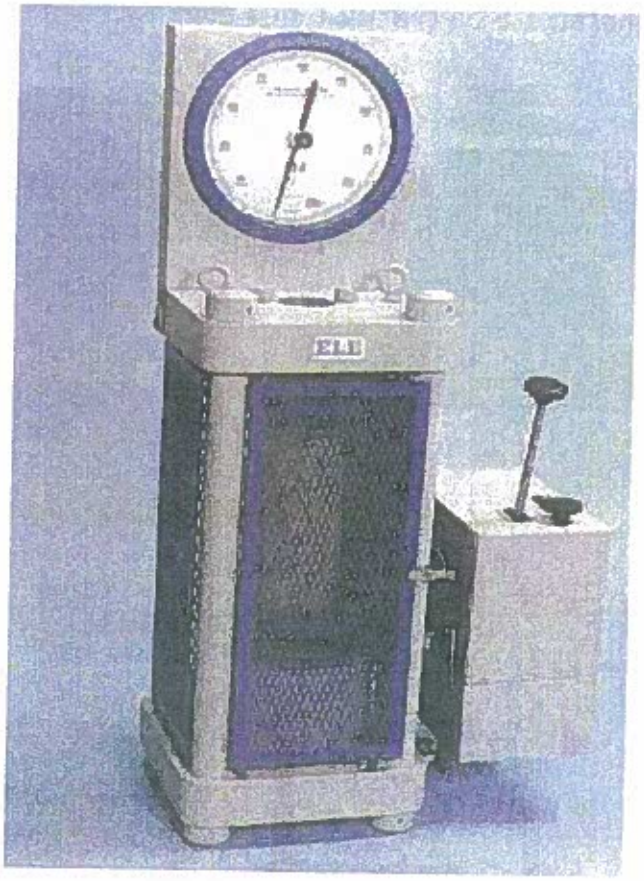
2.1. แป้นสำหรับทดสอบ Cube

2.2. แป้นสำหรับทดสอบคอนกรีตบล็อก

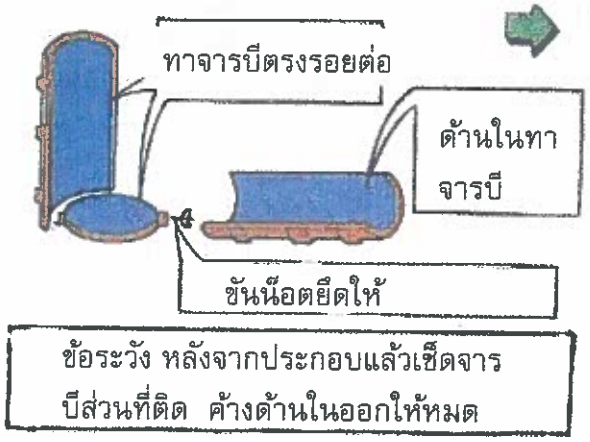
2.3. แป้นสำหรับทดสอบอิฐดินซีเมนต์

2.4. เครื่องมือเคลือบผิวหน้าของแท่งคอนกรีต

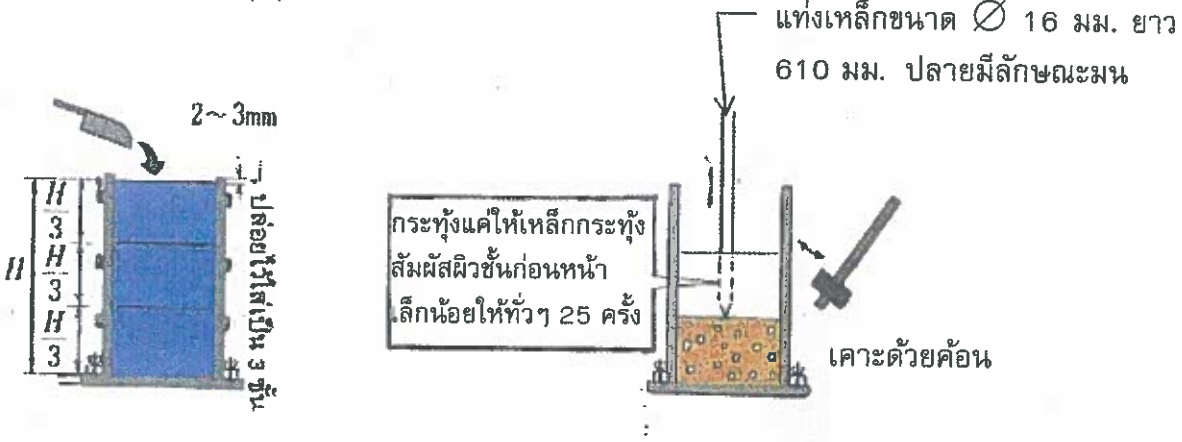
2.5. เครื่องชั่ง



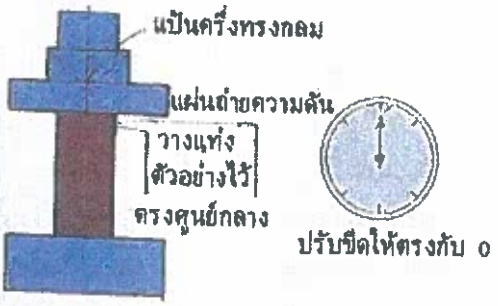
ขั้นตอนการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต



(1) ประกอบแบบหล่อคอนกรีต



(2) กรอกคอนกรีตใส่แบบ



(3) เคลือบผิวหน้าแท่งทดสอบตัวอย่าง จากนั้นปรับเครื่องทดสอบและวางตัวอย่างเข้าที่

(4) ทำการทดสอบหาความต้านแรงอัด

การรายงาน

1. ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ได้ ให้จดเป็นรายงานและสรุปผลเป็นเซนติเมตร ด้วยทศนิยม 1 ตำแหน่ง
2. ให้รายงานผลการทดสอบแท่งตัวอย่างคอนกรีต โดยมีรายละเอียดของหมายเลขประจำแท่งทดสอบ ขนาดของแท่งทดสอบ แรงอัดสูงสุด ความต้านแรงอัด ลักษณะการแตก วัน เดือน ปี ที่ทดสอบ และอายุของแท่งทดสอบ ความหนาแน่น

เกณฑ์การตัดสิน

1. ค่าการยุบตัวของคอนกรีตให้เป็นไปตาม มทช. 101-2545
2. การพิจารณาค่าความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบให้เป็นไปตาม มทช. 101-2545 โดยให้แสดงในหน่วยกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ด้วยทศนิยม 2 ตำแหน่ง
3. ค่าความแน่นของแท่งทดสอบ ให้แสดงในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ด้วยทศนิยม 2 ตำแหน่ง
4. การวัดขนาดของแท่งทดสอบ ให้วัดในหน่วยเซนติเมตร ด้วยทศนิยม 2 ตำแหน่ง

ปัญหาอุปสรรคและข้อควรระวัง

1. ใช้วัสดุมวลหยาบขนาดเกิน 2 นิ้วขึ้นไป ทำให้ไม่สามารถใส่ลงไปในกรวยหาค่าการยุบตัวได้การที่จะทำการหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต ต้องใช้วัสดุมวลหยาบขนาดไม่โตกว่า 2 นิ้ว
2. การใช้เหล็กกระทุ้งไม่ถูกต้องตามมาตรฐานทำให้ได้ค่าการยุบตัวไม่ถูกต้อง การใช้เหล็กกระทุ้งตามมาตรฐานจะได้ค่าการยุบตัวที่ถูกต้อง
3. ผู้ทำการทดสอบหาค่าการยุบตัวไม่มีความชำนาญในการทดสอบ ไม่เข้าใจในวิธีการทดสอบทำให้การกระทุ้งคอนกรีตทดสอบในแบบนั้นไม่ถูกต้องตามมาตรฐาน ทำให้ได้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตไม่ถูกต้องในการกระทุ้งคอนกรีตทดสอบในแบบนั้น ควรกระทุ้งให้ทั่วบริเวณหน้าตัดและควรกระทุ้งบริเวณขอบของแบบให้เบากว่าภายใน เพื่อป้องกันมิให้แบบเสียหายเนื่องจากกระแทกกับเหล็กกระทุ้ง
4. การเก็บตัวอย่างก้อนคอนกรีตทดสอบน้อยเกินไป การเก็บตัวอย่างก้อนคอนกรีตต้องไม่น้อยกว่า 3 ตัวอย่าง ต่อ 1 ชุด
5. การประกอบแบบหล่อไม่แข็งแรง ไม่ได้ฉาก และไม่ได้ระดับ ทำให้การทดสอบแรงอัดก้อนคอนกรีตมีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง การหล่อคอนกรีตทดสอบต้องประกอบแบบให้แข็งแรง ได้ฉาก ได้ระดับ จึงจะทำให้ก้อนตัวอย่างคอนกรีตนั้น ทดสอบได้แรงอัดคอนกรีตถูกต้อง
6. การใช้เหล็กกระทุ้ง และ การกระทุ้งไม่เป็นไปตามมาตรฐาน เหล็กกระทุ้ง และ การกระทุ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานของการทำก้อนตัวอย่างคอนกรีตนั้น ๆ
7. ไม่ได้ตรวจสอบปรับเทียบความเที่ยงตรงของเครื่องกดคอนกรีต ทำให้ได้ค่าไม่ถูกต้อง ควรตรวจสอบเครื่องกดคอนกรีตที่ใช้งานอย่างสม่ำเสมอ อย่างน้อยปีละครั้ง เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

ตัวอย่างแบบฟอร์ม

และ

ตัวอย่างผลการทดสอบ

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

ทะเบียนทดสอบเลขที่
ลงวันที่
สรุปผลวันที่

สรุปผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต

โครงการของ
สถานที่

งานก่อสร้าง
บริษัทก่อสร้าง

เจ้าหน้าที่ทดสอบ

เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล

เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ

☐ CUBE ☐ CYLINDER

ตัวอย่างคอนกรีต					การทดสอบ						
ลำดับ		หล่อวันที่	ขนาด (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	วันที่ทดสอบ	อายุ (วัน)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังอัด (กก./ซม.^{2})	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม.^{2})	ค่ากำลังอัดที่กำหนด (กก./ซม.^{2})	หมายเหตุ

หมายเหตุ

ผลการทดสอบรับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

ทะเบียนทดสอบเลขที่
ลงวันที่
สรุปผลวันที่

สรุปผลการทดสอบตัวอย่างคอนกรีต

โครงการของ
สถานที่

งานก่อสร้าง คาน I GIRDER 0.60X1.70X30.00 ม.
บริษัทก่อสร้าง

เจ้าหน้าที่ทดสอบ
เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล
เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ

☑ CUBE ☐ CYLINDER

ตัวอย่างคอนกรีต					การทดสอบ					ค่ากำลังอัดที่กำหนด (กก./ซม.^{2})	หมายเหตุ
ลำดับ		หล่อวันที่	ขนาด (ซม.)	น้ำหนัก (กก.)	วันที่ทดสอบ	อายุ (วัน)	แรงอัดประลัย (กก.)	กำลังอัด (กก./ซม.^{2})	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม.^{2})		
1	1	16/11/46	5.30X15.3	8.595	8/1/57	28	108,097	466	463	420	คาน I GIRDER A2
	2	16/11/46	5.31X15.3	8.450	8/1/57	28	104,018	456			
	3	16/11/46	5.32X15.3	8.465	8/1/57	28	106,873	465			
2	1	17/11/46	5.30X15.3	8.575	8/1/57	28	106,465	454	453	420	คาน I GIRDER A3
	2	17/11/46	5.31X15.3	8.580	8/1/57	28	108,505	460			
	3	17/11/46	5.32X15.3	8.670	8/1/57	28	104,834	447			
3	1	18/11/46	5.26X15.7	8.830	8/1/57	28	104,018	443	446	420	คาน I GIRDER A4
	2	18/11/46	5.18X15.6	8.575	8/1/57	28	101,978	435			
	3	18/11/46	6.20X15.74	8.515	8/1/57	28	108,097	461			
4	1	20/11/46	5.29X15.9	8.545	8/1/57	28	101,367	432	488	420	คาน I GIRDER A5
	2	20/11/46	4.99X15.1	8.630	8/1/57	28	118,295	504			
	3	20/11/46	5.42X15.4	8.500	8/1/57	28	123,394	526			
5	1	21/11/46	5.05X15.1	8.645	8/1/57	28	101,978	435	445	420	คาน I GIRDER A1
	2	21/11/46	5.10X15.0	8.520	8/1/57	28	107,077	457			
	3	21/11/46	5.00X15.2	8.475	8/1/57	28	104,018	443			

หมายเหตุ คอนกรีตชุดที่ 1,2,3,4 และ 5 มีคุณสมบัติได้ตาม มทช.101-2545

ผลการทดสอบรับรองผลเฉพาะตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น

เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต
(STEEL BARS FOR REINFORCED CONCRETE)

วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

1. เพื่อทดสอบกำลังต้านทานแรงดึง จุดคลาก และการยืดตัว ของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

เป้าหมายของการทดสอบ

1. เพื่อตรวจสอบว่าเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต มีคุณสมบัติได้ตามมาตรฐาน และถูกต้องตามข้อกำหนดของผู้ออกแบบหรือไม่

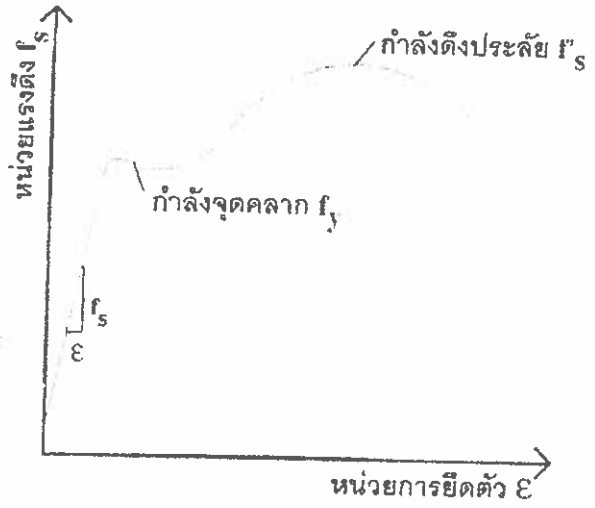
ทฤษฎี

เนื่องจากความต้านทานของคอนกรีตต่อแรงดึงมีเพียง 10% ของความต้านทานต่อแรงอัดเท่านั้น ดังนั้นลำพังคอนกรีตเองจึงไม่สามารถรับแรงดึงได้สูง โดยเหตุที่เหล็กเป็นวัสดุที่ต้านทานต่อแรงดึงและแรงอัดได้ดี อีกทั้งมีสัมประสิทธิ์การยืดหดตัวเท่า ๆ กับคอนกรีต ดังนั้นการใช้เหล็กเส้นร่วมกับคอนกรีตโดยหล่ออยู่ในเนื้อคอนกรีตในลักษณะที่ให้คอนกรีตรับแรงอัด และเหล็กรับแรงดึงจึงได้ผลดี การใช้เหล็กเสริมร่วมกับคอนกรีตในลักษณะดังกล่าว เรียกว่า คอนกรีตเสริมเหล็ก การที่ให้คอนกรีตห่อหุ้มเหล็กนี้ จะทำให้เหล็กทนทานต่อความร้อนและไม่เป็นสนิมผุกร่อน จึงช่วยให้เหล็กมีความต้านทานต่อแรงดึงได้เต็มที่ ดังนั้นคอนกรีตเสริมเหล็กจึงมีความต้านทานต่อแรงต่าง ๆ ที่กระทำได้ดีกว่าเนื้อคอนกรีตเพียงอย่างเดียว เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่ใช้อยู่ตามธรรมดาทั่วไปเป็นเหล็กกล้าละมุน (Mild Steel)

เพื่อที่จะให้เหล็กเสริมต้านทานต่อแรงดึงได้ดี จำเป็นต้องมีการยึดเหนี่ยวที่ดีระหว่างคอนกรีตกับเหล็ก ในสมัยก่อนเหล็กท่อนหรือเหล็กเส้นมีหน้าตัดกลมเรียบหรือสี่เหลี่ยม ซึ่งแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้เหล็กไม่สามารถรับแรงดึงได้ดีเท่าที่คาดหมายไว้อีกด้วย ในปัจจุบันการใช้เหล็กข้ออ้อยซึ่งมีปล้อง หรือ ครีบเกลียวช่วยให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมดีขึ้นมาก

คุณสมบัติที่สำคัญของเหล็กเสริม ที่ควรทราบเพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กได้แก่ (1) **โมดูลัสยืดหยุ่น** (2) **กำลังรับแรงดึง** (3) **กำลังจุดคลาก** (4) **ชนิดของเหล็ก** (5) **ขนาดของเหล็กเสริม** จากการทดสอบแรงดึงเหล็กจะได้เส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับหน่วยการยืดตัวของเหล็กดังแสดงในรูป ซึ่งค่าของคุณสมบัติต่าง ๆ จะหาได้จากเส้นสัมพันธ์นี้

E_S = 2.04 x 10^6 กก./ซม.^{2}



ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและหน่วยการยืดตัวของเหล็ก

ท่านั้น
ดึงและ
รีตโดย
กเสริม
ะทำให้
ด้เต็มที่
างเดียว

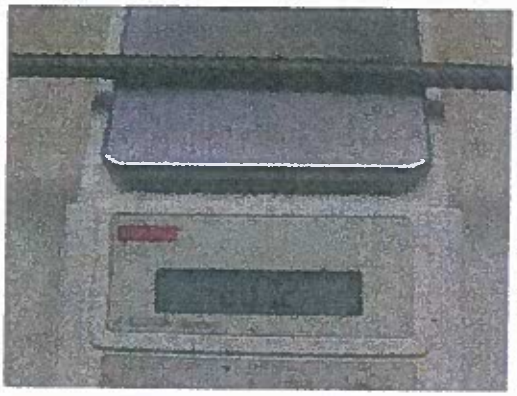
เกรีตกับ
ระหว่าง
ปัจจุบัน
ดีขึ้นมาก
ารีตเสริม
หล็ก (5)
วยการยืด

การทดสอบ

1. ค่ากำลังต้านทานแรงดึง **จุดคลาก** และ **การยืดตัวของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต** ให้เป็นไปตามมาตรฐานงานเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต **มทช.103-2545**

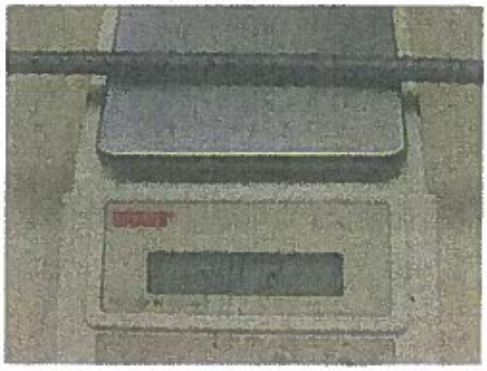
เครื่องมือทดสอบ

1. เครื่องทดสอบแรงดึง (**Universal Testing Machine**) พร้อมอุปกรณ์ประกอบ
2. ไม้บรรทัด
3. เวอร์เนียร์
4. เหล็กสกัด
5. ค้อน
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก

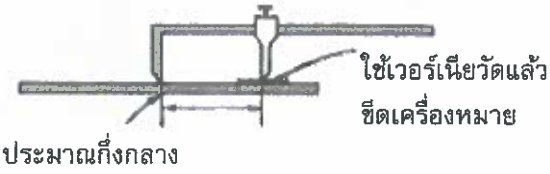


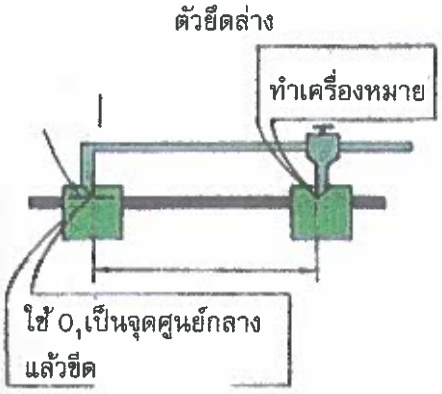
ขั้นตอนการทดสอบแรงดึงของเหล็กเส้น

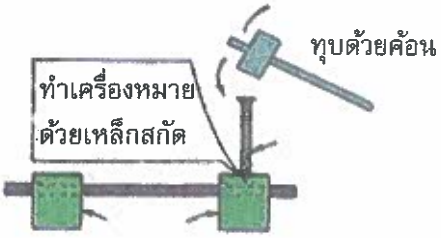
(1) นำเหล็กมาทำการกำหนดชิ้นงานเป็นตัวอย่าง 1 2 และ3 หรืออื่นๆ (ถ้ามากกว่า 3 ตัวอย่างต่อ 1 ชุด)



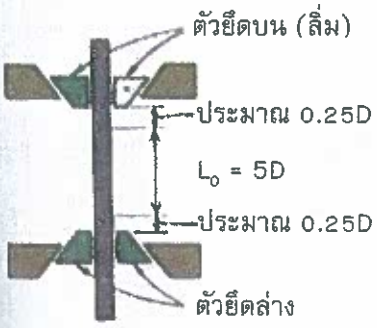
(2) นำเหล็กมาวัดความยาว และชั่งน้ำหนัก แล้วบันทึกว่าเป็นของตัวอย่างเส้นไหน(เพื่อนำไปคำนวณหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และพื้นที่หน้าตัด)



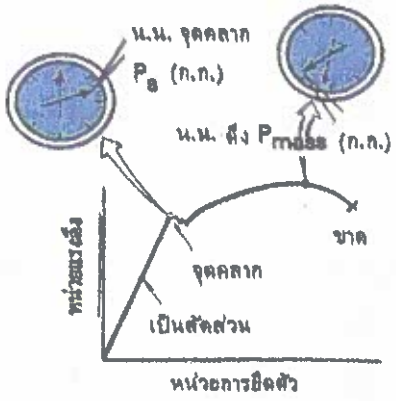




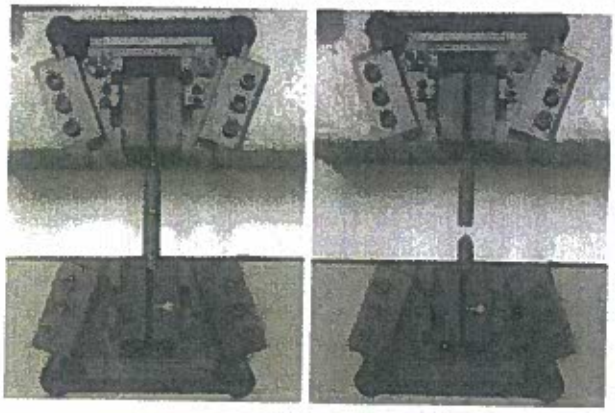
(3) วัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ทำเครื่องหมาย และย้ำด้วยเหล็กสกัด



(4) ใส่ลิ่มขนาดเหมาะสมกับเหล็ก



(5) หาค่าแรงดึงที่จุดคลาก และแรงดึงที่จุดสูงสุด



(6) ดึงให้ขาด แล้วบันทึกค่าแรงที่**จุดคลาก** และแรงดึงที่**จุดสูงสุด** เพื่อนำไปคำนวณหา**ความต้านแรงดึงที่จุดคลากและจุดสูงสุด**

(7) วัดหาความยาวที่ยืดออกหลังจากขาดแล้ว โดยให้เหล็กชนกัน

การรายงาน

1. ให้รายงานค่ามวลต่อเมตร หน่วยเป็นกิโลกรัม ด้วยทศนิยม 3 ตำแหน่ง
2. ให้รายงานค่าความต้านแรงดึงที่จุดคลาก หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
3. ให้รายงานค่าความต้านแรงดึงสูงสุด หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
4. รายงานค่าความยืดในช่วงความยาว 5 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

เกณฑ์การตัดสิน

1. สมบัติทางกล และความคลาดเคลื่อนสำหรับมวลต่อเมตร ต้องเป็นไปตาม มทช. 103-2545

ปัญหาอุปสรรคและข้อควรระวัง

1. เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ต้องเป็นเหล็กเส้นใหม่ที่ไม่เคยใช้งานมาก่อน ต้องมีผิวสะอาด ไม่มีสนิมกร่อน ไม่เปื้อนน้ำมัน ไม่มีรอยแตกร้าว
2. การหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กข้ออ้อย ให้ใช้การคำนวณโดยใช้น้ำหนักที่ชั่งได้ และความยาวที่วัดได้
3. สภาพชิ้นทดสอบของเหล็กข้ออ้อย จะต้องเป็นไปตามสภาพของเหล็กสำเร็จรูปที่ผลิตขึ้น โดยต้องไม่กลึง และไม่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยกรรมวิธีทางความร้อน
4. ชิ้นทดสอบต้องอยู่ในสภาพเป็นเส้นตรง ถ้าชิ้นทดสอบโค้งงอเล็กน้อย อาจจะดัดชิ้นทดสอบที่บิดโค้งงอให้ตรง ด้วยการดัดเย็นตามปกติ แต่หากมีการบิดโค้งจนเกินสมควร ให้คัดทิ้ง
5. การจับชิ้นทดสอบ จะต้องจับให้แน่นและตั้งตรงในแนวดิ่ง เพื่อมิให้ชิ้นทดสอบเกิดการรูดออกจากหัวจับ

ตัวอย่างแบบฟอร์ม

และ

ตัวอย่างผลการทดสอบ

545

ไม่มี่

ด้ และ

น โดย

ดสอบที่

เรูดออก

สรุปผลการทดสอบเหล็กเสริม

แผ่นที่

ทะเบียนทดสอบเลขที่

ลงวันที่

สรุปผลวันที่

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

โครงการของ

งานก่อสร้าง

สถานที่ก่อสร้าง

บริษัทก่อสร้าง

เจ้าหน้าที่ทดสอบ

เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล

เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ

ลำดับ	ขนาดระบุ (มม.)	ขนาดจริง (มม.)	พื้นที่หน้าตัด (ซม.2)	น.น.สุทธิ (กก/ม.)	น.น.จริง (กก/ม.)	มวลคลาดเคลื่อน ต่อเส้น (%)	มวลคลาดเคลื่อน เฉลี่ย (%)	แรงดึง ที่จุดคราก (กก)	แรงดึง ที่จุดสูงสุด (กก)	ความต้านแรงดึง ที่จุดคราก (กก/ซม.2)	ความต้านแรงดึง ที่จุดสูงสุด (กก/ซม.2)	อัตราความยืด (%)	ผลทดสอบพิจารณาตามเกณฑ์กำหนด	บริษัทผู้ผลิต ยี่ห้อ ชั้นคุณภาพ

ผลการทดสอบรับรองเฉพาะตัวอย่างที่ทดสอบเท่านั้น

มวลคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ ขนาด (มม.)	มวลคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ ต่อเส้น (%)	มวลคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ เฉลี่ย (%)	ชั้นคุณภาพ	อัตราความยืด (%)	ความต้านแรงดึง ที่จุดคราก (กก/ซม.^{2})	ความต้านแรงดึง ที่จุดสูงสุด (กก/ซม.^{2})
6	±10	± 5	SR-24	≥ 21	≥ 2,400	≥ 3,900
8 - 34	± 6	± 3.5				
6 - 8	±8	± 7	SD-30	≥ 17	≥ 3,000	≥ 4,900
10 - 16	± 6	± 5	SD-40	≥ 15	≥ 4,000	≥ 5,700
20 - 28	± 5	± 4				
32 - 40	± 4	± 3.5	SD-50	≥ 13	≥ 5,000	≥ 6,300

สรุปผลการทดสอบเหล็กเสริม

แผ่นที่ 1/1

ทะเบียนทดสอบเลขที่

ลงวันที่

สรุปผลวันที่

ส่วนวิชาการ สำนักงานทรัพยากรน้ำภาค
กรมทรัพยากรน้ำ

โครงการของ

งานก่อสร้าง

สถานที่ก่อสร้าง

บริษัทก่อสร้าง

เจ้าหน้าที่ทดสอบ

เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ผล

เจ้าหน้าที่ตรวจสอบ

ลำดับ	ชนิด	ขนาดระบุ (มม.)	ขนาดจริง (มม.)	พื้นที่หน้าตัด (ซม.2)	น.น. สุทธิ (กก/ม.)	น.น. จริง (กก/ม.)	มวลคลาดเคลื่อน ต่อเส้น (%)	มวลคลาดเคลื่อน เฉลี่ย (%)	แรงดึง ที่จุดคราก (กก)	แรงดึง ที่จุดสูงสุด (กก)	ความต้านแรงดึง ที่จุดคราก (กก/ซม.^{2})	ความต้านแรงดึง ที่จุดสูงสุด (กก/ซม.^{2})	อัตราความยืด (%)	ผลทดสอบพิจารณาตามเกณฑ์กำหนด	บริษัทผู้ผลิตยี่ห้อชั้นคุณภาพ
1	RB 6	5.93	0.283	0.222	0.217	2.3	2.0	1,103	1,390	3,898	4,912	32	ได้	SR-24
2	RB 6	5.96	0.283	0.222	0.219	1.4		1,091	1,387	3,855	4,901	32	ได้	
3	RB 6	5.93	0.283	0.222	0.217	2.3		1,114	1,375	3,936	4,859	33	ได้	
4	RB 9	8.90	0.636	0.499	0.489	2.0	1.9	2,319	3,035	3,646	4,772	31	ได้	SR-24
5	RB 9	8.88	0.636	0.499	0.487	2.4		2,444	3,058	3,843	4,808	30	ได้	
6	RB 9	8.93	0.636	0.499	0.492	1.4		2,478	3,046	3,896	4,789	31	ได้	
7	DB #	12.04	1.131	0.888	0.894	0.7	0.5	6,842	8,763	6,050	7,748	25	ได้	SD-40
8	DB #	12.02	1.131	0.888	0.891	0.3		6,808	8,707	6,019	7,698	24	ได้	
9	DB #	12.02	1.131	0.888	0.892	0.5		7,058	8,684	6,240	7,678	24	ได้	
10	DB #	15.68	2.010	1.578	1.518	3.8	4.0	13,196	15,299	6,565	7,611	21	ได้	SD-40
11	DB #	15.66	2.010	1.578	1.514	4.1		13,003	15,015	6,469	7,470	20	ได้	
12	DB #	15.66	2.010	1.578	1.513	4.1		11,866	14,935	5,903	7,430	20	ได้	
13	DB #	19.67	3.141	2.466	2.387	3.2	3.1	19,709	24,676	6,275	7,856	25	ได้	SD-40
14	DB #	19.70	3.141	2.466	2.395	2.9		19,584	24,699	6,235	7,863	24	ได้	
15	DB #	19.68	3.141	2.466	2.389	3.1		19,959	24,596	6,354	7,831	25	ได้	

ผลการทดสอบรับรองเฉพาะตัวอย่างที่ทดสอบเท่านั้น

ผลทดสอบ

ตัวอย่างขนาด

6, RB 9, DB 12, DB 16,DB 20 และ DB 25

สมบัติทางกลตาม มทช. 103-2545

มวลคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ ขนาด (มม.)	ต่อเส้น (%)	เฉลี่ย (%)	ชั้นคุณภาพ	อัตราความยืด (%)	ความต้านแรงดึง ที่จุดคราก (กก/ซม.^{2})	ความต้านแรงดึง ที่จุดสูงสุด (กก/ซม.^{2})
6	±10	± 5	SR-24	≥ 21	≥ 2,400	≥ 3,900
8 - 34	± 6	± 3.5				
6 - 8	±8	± 7	SD-30	≥ 17	≥ 3,000	≥ 4,900
10 - 16	± 6	± 5				
20 - 28	± 5	± 4	SD-40	≥ 15	≥ 4,000	≥ 5,700
32 - 40	± 4	± 3.5	SD-50	≥ 13	≥ 5,000	≥ 6,300

เอกสารอ้างอิง

1. **มาตรฐานงานช่าง** กรมโยธาธิการ (**มยธ.**)
2. **ปฐพีกลศาสตร์** ของ ดร.วรากร ไม้เรียง อ.จิรพัฒน์ โชติกไกร และอ.ประทีป ดวงเดือน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ.2525
3. **คู่มือโยธาปฏิบัติ** ของ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
4. **คอนกรีตเทคโนโลยี** ของ ดร.วินิต ช่อวิเชียร
5. **วัสดุการทาง** ของ รศ.วัชรินทร์ วิทยกุล ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ.2536
6. **คู่มือปฏิบัติงานควบคุมคุณภาพวัสดุ** (ฉบับปรับปรุง) สถาบันพัฒนาช่างโยธามหาดไทย กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย พ.ศ.2543

วิธีการทดสอบ

และมาตรฐานการทดสอบ

มทช.(ท) 101.1-2545
วิธีการทดสอบหาส่วนคละ (sieve analysis) ของวัสดุมวลรวม (aggregate)

---

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมถึงการหาการกระจายของขนาด (particle size distribution) ของวัสดุมวลรวม ทั้งมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงมาตรฐานจากขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็ก แล้วเปรียบเทียบน้ำหนักที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง

2. นิยาม

การกระจายของขนาดวัสดุมวลรวม หมายถึง การที่วัสดุมวลรวมประกอบด้วยเม็ดวัสดุหลายขนาดต่าง ๆ กัน เช่น ตั้งแต่ 100 มิลลิเมตร ลงมาจนถึง 0.0002 มิลลิเมตร ซึ่งสมบัติทางกายภาพของวัสดุมวลรวมจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดวัสดุ

การกระจายของขนาดเม็ดวัสดุมวลรวมแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างขนาดเม็ดวัสดุในสเกลลอการิทึม (logarithm scale) อยู่บนแกนนอน และร้อยละโดยน้ำหนักของเม็ดที่มีขนาดเล็กกว่าที่ระบุ (percent finer) อยู่บนแกนตั้ง ซึ่งเรียกว่ากราฟการกระจายของขนาดเม็ดวัสดุ (grain size distribution curve)

3. วิธีทำ

3.1 **เครื่องมือ** เครื่องที่ใช้ทดสอบประกอบด้วย

3.1.1 ตะแกรงช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาดช่องผ่านต่าง ๆ ตามต้องการพร้อมเครื่องมือเขย่าตะแกรง และตะแกรงต้องสามารถป้องกันไม่ให้วัสดุสูญหายจากตะแกรงได้

3.1.2 เครื่องชั่งสามารถชั่งได้ละเอียดถึงร้อยละ 0.2 ของตัวอย่างทั้งหมด

3.1.3 เตาอบสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ 110 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส

3.1.4 เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (sample splitter) ขนาดต่าง ๆ

3.1.5 แปรงทำความสะอาดตะแกรงชนิดลวดทองเหลือง และแปรงขนหรือแปรงพลาสติก

3.1.6 ภาชนะสำหรับใช้แช่และล้างตัวอย่างวัสดุ ชนิดล้างตัวอย่างวัสดุ ชนิดล้างด้วยมือหรือชนิดใช้เครื่องเขย่า

3.2 **แบบฟอร์ม** ใช้แบบฟอร์มที่ บฟ.มทช.(ท) 101.1.1–2545 และ มทช.(ท) 101.1.2–2545 : วิธีการทดสอบหาส่วนคละ (sieve analysis) ของวัสดุรวม

3.3 **การเตรียมตัวอย่าง**

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากัน และแยกตัวอย่างโดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้น เพื่อลดการแยกตัว ถ้าตัวอย่างไม่มีส่วนละเอียดอาจจะแบ่งขณะที่ตัวอย่างแห้งอยู่ก็ได้ ถ้ามีส่วนละเอียดจับเป็นก้อนใหญ่หรือมีส่วนละเอียดจับกันเองเป็นก้อน ต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุดออกจากก้อนใหญ่ โดยให้ทุบแยกเม็ดวัสดุออก เป็นเม็ดอิสระด้วยค้อนยาง แต่ต้องระวังอย่าให้แรงมากจนเม็ดวัสดุแตก

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง นำตัวอย่างที่มีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อนไม่แยกออกจากกัน โดยใช้ค้อนยางทุบแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส เพื่อหาน้ำหนักตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใช้ล้างตัวอย่าง โดยใช้น้ำยาล้างส่วนละเอียด ซึ่งเตรียมได้จากการละลายผลึกโซเดียมเฮคซะเมตตาฟอสเฟต (sodium hexametaphoshate) ซึ่งทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) จำนวน 45.7 กรัม ละลายในน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนผสมกันให้ทั่วตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมง แล้วนำไปเขย่าประมาณ 20 นาที ขณะเขย่าระวังอย่าให้น้ำกระฉอกออกจากภาชนะ เทตัวอย่างในภาชนะลงบนตะแกรง เบอร์ 200 ถ้าหากมีตัวอย่าง ขนาดใหญ่ปนอยู่มาก ควรใช้ตะแกรงที่มีขนาดใหญ่กว่า เบอร์ 200 ซ้อนไว้ ใช้น้ำล้างจนกว่าไม่มีวัสดุผ่านตะแกรง เบอร์ 200 อีก เทตัวอย่างลงในภาชนะ แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

3.4 **การทดสอบ**

3.4.1 นำตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง 3.3.1 หรือ 3.3.2 แล้วแต่ว่าจะต้องการทดสอบแบบใดมา โดยประมาณให้ได้ตัวอย่างเมื่อแห้งแล้ว ตารางที่ 1

ตารางที่ 1

ขนาดตะแกรง	น้ำหนักตัวอย่างไม่น้อยกว่า (กิโลกรัม)
4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)	0.5
9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว)	1.0
12.5 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว)	2.0
19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)	5.0
25.0 มิลลิเมตร (1 นิ้ว)	10.0
37.5 มิลลิเมตร (1 1/2 นิ้ว)	15.0
50.0 มิลลิเมตร (2 นิ้ว)	20.0
63.0 มิลลิเมตร (2 1/2 นิ้ว)	35.0
75.0 มิลลิเมตร (3 นิ้ว)	60.0
90.0 มิลลิเมตร (3 1/2 นิ้ว)	100.0

3.4.2 นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง รวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่านานจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละชนิดใน 1 นาที ไม่เกินร้อยละ 1 ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือใช้เวลาเขย่านานทั้งหมดประมาณ 15 นาที เมื่อเขย่าเสร็จแล้วถ้ามีตัวอย่างก้อนใหญ่กว่าตะแกรงขนาด (เบอร์ 4) ต้องมีตัวอย่างค้างตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัม ต่อ 1,000 ตารางมิลลิเมตร หรือไม่เกิน 200 กรัม สำหรับตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) นำตัวอย่างที่ค้างแต่ละขนาดของตะแกรงไปชั่ง

4. การคำนวณ

4.1 หาน้ำหนักที่ค้างบนตะแกรง (weight retained) แต่ละขนาดโดยชั่งน้ำหนักของน้ำหนักของตัวอย่างวัสดุมวล ที่ค้างบนตะแกรง และที่ค้างบนถาดรอง (PAN) ส่วนน้ำหนักที่หายไป หาได้โดยเอาน้ำหนักของตัวอย่างที่ค้างบนทุกตะแกรงและบนถาดรอง รวมกันแล้วหักออกจากหนักออกจากน้ำหนักตัวอย่างอบแห้งหมด ซึ่งใช้ทดสอบ

4.2 หาน้ำหนักที่ผ่านตะแกรง (weight passing) แต่ละขนาด โดยการนำเอาผลรวมของนำหนักตัวอย่างที่ค้างบนทุกตะแกรง และบนถาดรองมาหักออกด้วยน้ำหนักที่ค้างตะแกรงชั้นบนสุด ก็จะเป็นน้ำหนักของวัสดุที่ผ่านตะแกรงชั้นบนสุดมาลบออกจาก น้ำหนักของวัสดุที่ค้างตะแกรงชั้นล่างลงมาดำเนินการแบบที่กล่าวมาแล้วนั้นไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งครบทุกตะแกรง

4.3 คำนวณหาค่าร้อยละของวัสดุที่ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก (percent passing) ได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละของวัสดุที่ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างแห้งทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ}} \times 100$$

5. การรายงาน

ให้รายงานค่าร้อยละของวัสดุขนาดต่าง ๆ โดยน้ำหนักด้วยทศนิยม 1 ตำแหน่ง ตามแบบฟอร์มที่ บฟ. มทช.(ท) 101.1.1-2545 : วิธีการทดสอบหาส่วนคละ (sieve analysis) ของวัสดุมวลรวม

5.1 ค่าร้อยละของวัสดุที่ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ

5.2 ค่าร้อยละของวัสดุที่ค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ

6. เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

6.1 สำหรับวัสดุมวลรวมละเอียด จะต้องมีการกระจายของขนาดเม็ดวัสดุเป็นตาม ตารางที่ 2

ตารางที่ 2

ขนาดตะแกรง (ตามมาตรฐาน ASTME-11)	ร้อยละของวัสดุมวลที่ผ่านตะแกรง
9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว)	100
4.75 มิลลิเมตร (no. 4)	95-100
2.36 มิลลิเมตร (no. 8)	80-100
1.18 มิลลิเมตร (no. 16)	50-85
600 ไมโครเมตร (no. 30)	25-60
300 ไมโครเมตร (no. 50)	10-30
150 ไมโครเมตร (no. 100)	2-10

6.1.1 ต้องมีค่าร้อยละที่ค้างโดยน้ำหนักบนตะแกรงระหว่างตะแกรงเบอร์ใด ๆ ที่ติดกันได้ไม่เกินร้อยละ 45 และต้องมีค่าพิกัดความละเอียด (fineness modulus) ตั้งแต่ 2.3 ถึง 3.1

6.2 สำหรับวัสดุมวลรวมหยาบ จะต้องมีการกระจายของขนาดเม็ดวัสดุตามที่แสดงไว้ใน ตารางที่ 3

ตารางที่ 3

ขนาดตะแกรงร่อน	ส่วนที่ผ่านตะแกรง ร้อยละโดยน้ำหนัก									
	เขตการแบ่งขนาด									
	1	2	357	467	57	67	7	8	3	4
100 มิลลิเมตร	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90 มิลลิเมตร	90-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-
75 มิลลิเมตร	-	100	-	-	-	-	-	-	-	-
63 มิลลิเมตร	25-60	90-100	100	-	-	-	-	-	100	-
50 มิลลิเมตร	-	35-70	95-100	100	-	-	-	-	90-100	100
37.5 มิลลิเมตร	0-15	0-15	-	95-100	100	-	-	-	35-70	99-100
25 มิลลิเมตร	-	-	35-70	-	95-100	100	-	-	0-15	20-55
18 มิลลิเมตร	0-5	0-5	-	37-70	-	90-100	100	-	-	0-15
12.5 มิลลิเมตร	-	-	10-30	-	25-60	-	90-100	100	0-5	-
9.5 มิลลิเมตร	-	-	-	10-30	-	20-55	40-70	85-100	-	0-5
4.75 มิลลิเมตร	-	-	0-5	0-5	0-10	0-10	0-15	10-30	-	-
2.36 มิลลิเมตร	-	-	-	-	0-5	0-5	0-5	0-10	-	-
1.38 มิลลิเมตร	-	-	-	-	-	-	-	0-5	-	-

7. ข้อควรระวัง

7.1 การแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง ต้องใช้เครื่องมือขนาดช่องกว้างประมาณ 1 ½ เท่าของก้อนโตที่สุด

7.2 ตรวจดูตะแกรงบ่อย ๆ ถ้าชำรุดต้องซ่อมก่อนใช้ โดยเฉพาะเบอร์ 200

7.3 ห้ามใส่ตัวอย่างลงในตะแกรงขณะที่ยังร้อนอยู่

7.4 การทุบตัวอย่างดินต้องไม่แรงมากจนทำให้เม็ดวัสดุมวลรวมแตก

7.5 การเขย่าอย่าเขย่านานจนตัวอย่างกระแทกแตกเป็นผง

8. หนังสืออ้างอิง

8.1 The AMERICAN Society for Testing and Materials, ASTM. Designation : C 136 – 84

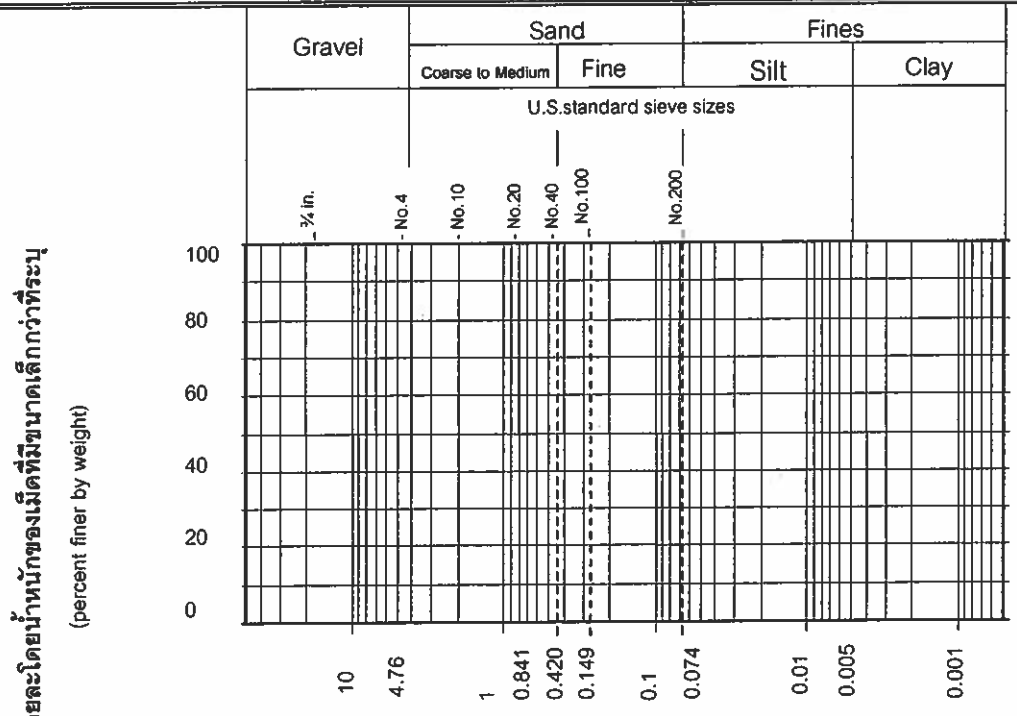
8.2 The AMERICAN Society for Testing and Materials, ASTM. Designation : C 33 – 86

****

โครงการ... .... สถานที่ก่อสร้าง....................................... .... ผู้รับจ้างหรือผู้นำส่ง............................... ชนิดตัวอย่าง...............ทดสอบครั้งที่..... ทดสอบวันที่....................... แผ่นที่........	บฟ. มทช.(ท) 101.1.1-2545 (หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) การทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุ หลุมเจาะหมายเลข........................... ความลึก..............................เมตร ปริมาตรแบบ.......................ลบ.ซม.	ทะเบียนทดสอบ....................... ผู้ทดสอบ ผู้ตรวจสอบ อนุมัติ

ตะแกรง หมายเลข	น้ำหนัก ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนัก ตะแกรง + ดิน (กรัม)	น้ำหนักดิน ที่ค้างบน ตะแกรง (กรัม)	นน.ร้อยละของ ดินที่ค้างบน ตะแกรง (กรัม)	นน.ร้อยละของ ดินที่ค้าง สะสม	นน.ร้อยละของ ดินที่มีขนาด เล็กกว่า

โครงการ.....	บฟ.มทช.(ท) 101.1.2- 2545	ทะเบียนทดสอบ.....	
.....		ผู้ทดสอบ	
สถานที่ก่อสร้าง.....	(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ)		
ผู้รับจ้าง.....	การทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุ	ผู้ตรวจสอบ	
ชนิดตัวอย่าง..... ทดสอบครั้งที่.....			
ทดสอบวันที่..... แผ่นที่.....	แหล่งวัสดุ.....	อนุมัติ	
	ชั้นคุณภาพ.....		



การทดสอบหาสารอินทรีย์เจือปน

สีของสารละลายที่ได้จากการทดสอบ

( ) สีอ่อนกว่าสีมาตรฐาน

( ) สีใกล้เคียงสีมาตรฐาน

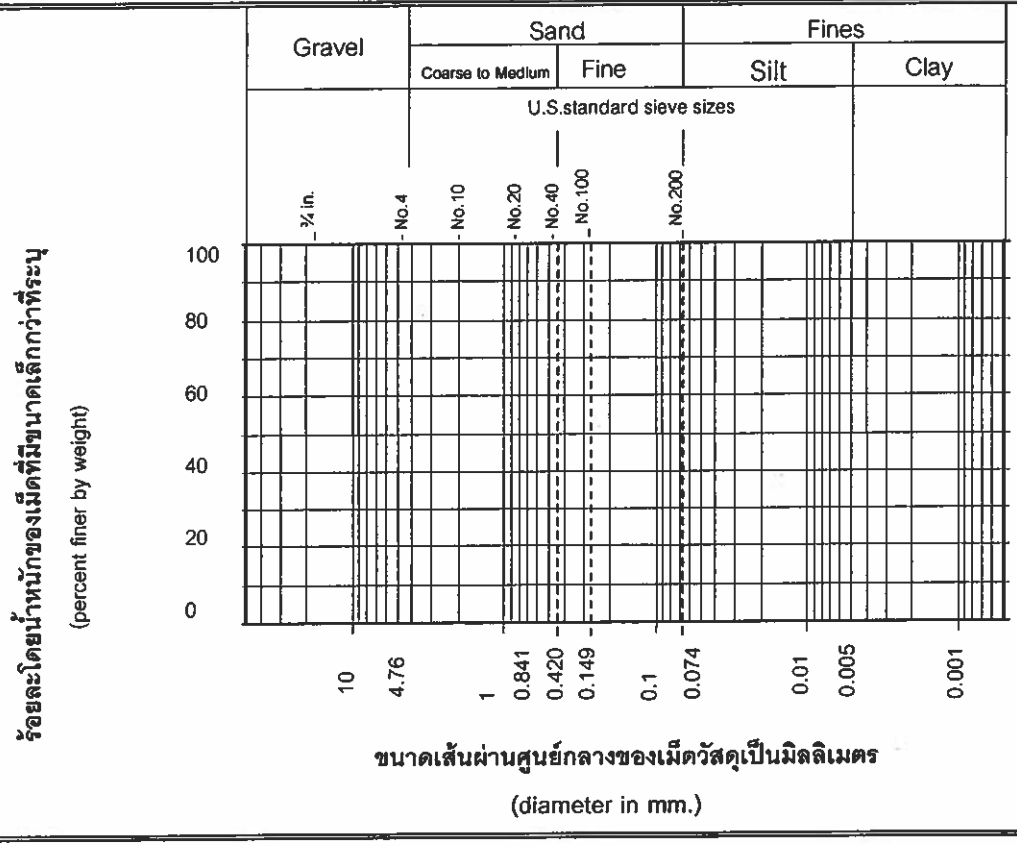
( ) สีแก่กว่าสีมาตรฐาน

สรุปผลการทดสอบ

( ) เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานได้

( ) ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน

โครงการ.....	บฟ.มทช.(ท) 101.1.2- 2545	ทะเบียนทดสอบ.....	
.....		ผู้ทดสอบ	
สถานที่ก่อสร้าง.....	(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ)		
ผู้รับจ้าง.....	การทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุ	ผู้ตรวจสอบ	
ชนิดตัวอย่าง..... ทดสอบครั้งที่.....			
ทดสอบวันที่..... แผ่นที่.....	แหล่งวัสดุ.....	อนุมัติ	
	ชั้นคุณภาพ.....		



การทดสอบหาสารอินทรีย์เจือปน

สีของสารละลายที่ได้จากการทดสอบ

( ) สีอ่อนกว่าสีมาตรฐาน

( ) สีใกล้เคียงสีมาตรฐาน

( ) สีแก่กว่าสีมาตรฐาน

สรุปผลการทดสอบ

( ) เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานได้

( ) ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน

มทช.(ท) 101.2-2545
วิธีการทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบ (coarse aggregate) โดยใช้เครื่องทดสอบ ลอสแองเจลิส (los angeles)

---

1. **ขอบข่าย**

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมถึงการหาค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบ โดยใช้เครื่องทดสอบหาความสึกหรอ ลอสแองเจลิส

2. **วิธีทำ**

2.1 **เครื่องมือ** ประกอบด้วย

2.1.1 เครื่องทดสอบหาความสึกหรอ ลอสแองเจลิส มีลักษณะขนาดตามรูปที่ 1 ประกอบด้วย ทรงกระบอกปิดหัวและท้าย มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 711±5 มิลลิเมตร (28±0.2 นิ้ว) ความยาวภายใน 508±5 มิลลิเมตร (20±0.2 นิ้ว) ทรงกระบอกเหล็กนี้ติดอยู่กับเพลา และหมุนรอบแกนได้ในแนวราบมีช่องสำหรับใส่วัสดุพร้อมฝาเหล็ก ฝาเหล็กเมื่อปิดแล้วต้องมีลักษณะผิวเหมือนกับผิวด้านในของทรงกระบอกเหล็กและเสมอกัน ซึ่งไม่ทำให้ แอบบราซิพ ชาร์จ (abrasive charge) สะดุดเวลากลิ้งผ่านรอยต่อมีเหล็กขวางสูง 89±2 มิลลิเมตร (3.5±0.1 นิ้ว) ยาว 508±5 มิลลิเมตร (20±0.2 นิ้ว) ติดแน่นตามยาวด้านในทรงกระบอกเหล็ก ระยะจากเหล็กขวางถึงช่องสำหรับใส่วัสดุไม่น้อยกว่า 1,270 มิลลิเมตร (50 นิ้ว) วัดตามความยาวเส้นรอบวงภายนอกทรงกระบอกเหล็ก

<u>หมายเหตุ</u> เหล็กขวางควรมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ติดอยู่กับผนังขอบทรงกระบอกเหล็ก หรืออาจจะใช้เหล็กฉากแทน โดยติดที่ริมฝาเหล็กช่องใส่วัสดุ ให้ด้านนอกของเหล็กฉากหันไปตามทิศทางที่หมุน

2.1.2 ตะแกรงสำหรับหาขนาดของวัสดุมวลรวมหยาบ ใช้ตะแกรงมีช่องแผ่นเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 75.0 มิลลิเมตร (3 นิ้ว), 63.0 มิลลิเมตร (2 1/2 นิ้ว), 50.0 มิลลิเมตร (2 นิ้ว), 19.0 มิลลิเมตร (3/4

นิ้ว), 6.3 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว), 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4), 2.36 มิลลิเมตร (เบอร์ 8), 1.70 มิลลิเมตร (เบอร์ 12)

2.1.3 เครื่องชั่งซึ่งสามารถชั่งได้ 15 กิโลกรัม ความละเอียดอ่านได้ถึง 1 กรัม

2.1.4 แอบบราซิพ ชาร์จ (abrasive charge) เป็นลูกเหล็กทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 46.8 มิลลิเมตร (1 27/32 นิ้ว) แต่ละลูกหนักระหว่าง 390-445 กรัม จำนวนแอบบราซิพ ชาร์จ ขึ้นอยู่กับชั้น (grading) ของตัวอย่างและชั้นของตัวอย่างได้กำหนดไว้ใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนแอบบราซิพ ชาร์จ ที่ใช้ในการทดสอบแต่ละชั้น

ชั้น	แอบบราซิพ ชาร์จ (ลูก)	น้ำหนักรวม (กรัม)	หมายเหตุ
A	12	5,000±25	สำหรับมวลรวมหยาบที่มีขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 19 มิลลิเมตร
B	11	4,584±25	
C	8	3,330±25	
D	6	2,500±25	
E	12	5,000±25	สำหรับมวลรวมหยาบที่มีขนาดใหญ่สุดเกินกว่า 19 มิลลิเมตร
F	12	5,000±25	
G	12	5,000±25	

2.2 แบบฟอร์ม

ให้ใช้แบบฟอร์มเลขที่ บฟ. มทช.(ท) 101.2-2545 : วิธีการทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องทดสอบลอสแองเจลิส

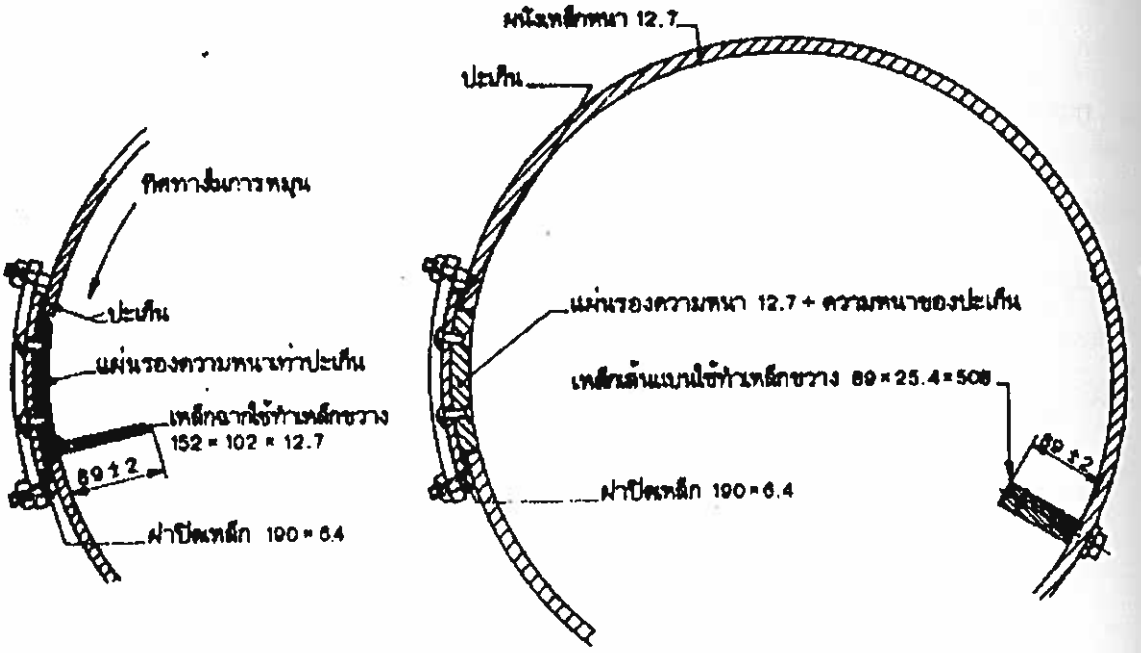
2.3 การเตรียมตัวอย่าง

2.3.1 ถ้าตัวอย่างมีดินเหนียวปน หรือมีส่วนละเอียดติดก้อนใหญ่แน่นให้นำตัวอย่างไปล้างน้ำเอาส่วนที่ผ่านตะแกรง เบอร์ 8 ออกทิ้ง แล้วนำส่วนที่ค้างตะแกรง เบอร์ 8 มาอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส

2.3.2 นำตัวอย่างไปแยกขนาดตามขนาด ในตารางที่ 2 ถ้าเข้าได้หลายขนาด ให้เลือกใช้ตัวอย่างที่ใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการใช้งานมากที่สุด

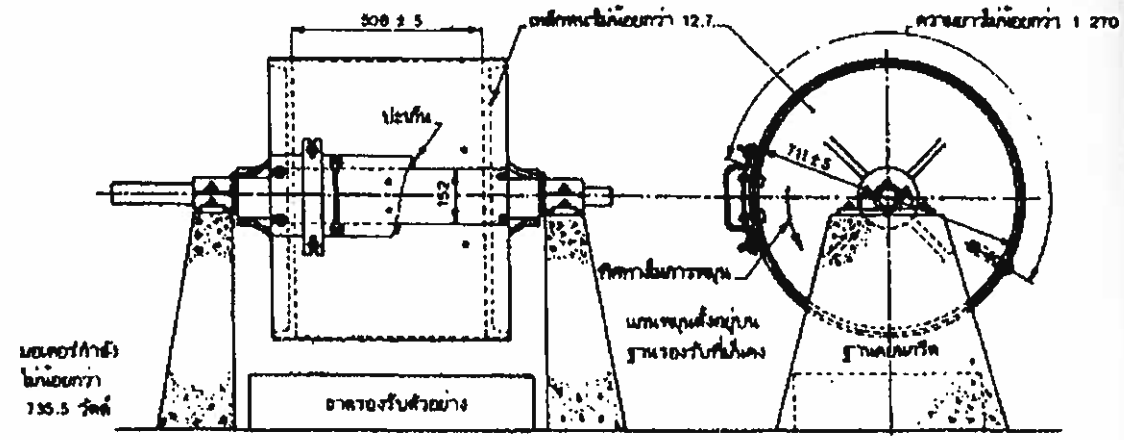
2.4 **การทดสอบ**

นำตัวอย่างที่เตรียมไว้จาก ข้อ 2.3 และแอบบราซิพ ชาร์จ ตามจำนวนลูกในข้อ 2.1.3 ใส่เข้าไปในเครื่องลอสแองเจลิส หมุนเครื่องด้วยความเร็วที่ 30-33 รอบต่อนาที ให้ได้จำนวนตามตารางที่ 1 เมื่อหมุนได้ครบตามกำหนดแล้วให้เอาตัวอย่างออกจากเครื่องล้างส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 12 ออกทิ้ง นำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 12 มาอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ จึงชั่งหาน้ำหนักตัวอย่างที่เหลือ



แบบขยายที่ใช้เหล็กฉากเป็นเหล็กขวาง

แบบขยายที่ใช้เหล็กเส้นแบนเป็นเหล็กขวาง



หน่วยเป็นมิลลิลิตร

รูปที่ 1 : เครื่องมือทดสอบความสึกหรอ (แบบลอสแองเจอลีส)

ตารางที่ 2

ขนาดตะแกรง (มม.)		น้ำหนัก (กรัม) และ ชั้นของตัวอย่าง						
ผ่าน	ค้าง	A	B	C	D	E	F	G
75.0	63.0					2500±50		
63.0	50.8					2500±50		
50.8	37.5					2500±50	5000±50	
37.5	25.0	1250±25					5000±25	5000±25
25.0	19.0	1250±25						5000±25
19.0	12.5	1250±10	2500±10					
12.5	9.5	1250±10	2500±10					
9.5	6.3			2500±10				
6.3	4.75			2500±10				
4.75	2.36							
น้ำหนักตัวอย่างรวม		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50
จำนวนรอบ		500				1000		

3. **การคำนวณ**

$$\text{ความสึกหรอโดยใช้เครื่องลอสแองเจลิส} = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100$$

W1 น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ เป็นกรัม

W2 น้ำหนักที่ค้างบนตะแกรง 1.70 มิลลิเมตร (เบอร์ 12) เป็นกรัม

4. **การรายงาน**

ให้รายงานค่าความสึกหรอโดยใช้เครื่องลอสแองเจลิส เป็นร้อยละโดยมีความละเอียดเป็นทศนิยม 1 ตำแหน่ง ลงในแบบฟอร์ม

5. **เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้**

ค่าความสึกหรอโดยใช้เครื่องลอสแองเจลิส (คิดเป็นร้อยละ) ของวัสดุมวลหยาบที่ใช้ในงานคอนกรีต ต้องมีค่าไม่มากกว่าร้อยละ 50

6. ข้อควรระวัง

6.1 ให้ทำการชั่งแอบบราซิพชาร์จ แต่ละลูกอย่างน้อย 1 ครั้ง ทุก ๆ 6 เดือน เพื่อตรวจสอบให้เป็นไปตาม ข้อ 2.1.4

6.2 ในกรณีที่เหล็กขวาง เป็นเหล็กฉากให้ติดที่ริมฝาเหล็กปิดช่องใส่วัสดุ การติดต้องให้ด้านนอกของเหล็กฉากหันไปในทิศทางที่เครื่องหมุน

7. หนังสืออ้างอิง

7.1 THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM. STANDARD C 131

7.2 THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM. STANDARD C 535

****

โครงการ.....	บฟ. มทช.(ท) 101.2-2545	ทะเบียนทดสอบ.....	
.....			
สถานที่ก่อสร้าง.....	(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ)	ผู้ทดสอบ	
.....			
ผู้รับจ้างหรือผู้นำส่ง.....	การทดสอบหาค่าการสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องทดสอบลอสแองเจลิส	ผู้ตรวจสอบ	
ชนิดตัวอย่าง.....ทดสอบครั้งที่.....			
ทดสอบวันที่.....แผ่นที่.....	(los angeles)	อนุมัติ	

จำนวนของลูกเหล็กทรงกลม..... แหล่งวัสดุ.....

น้ำหนักของลูกเหล็กทรงกลม.....กรัม ชั้นคุณภาพ.....

ความเร็วของการหมุนเครื่อง.....รอบ/นาที

ขนาดตะแกรง (ม.ม.)		น้ำหนักของตัวอย่าง (กรัม)			หมายเหตุ
ผ่าน	ค้าง	1	2	3	

มทช.(ท) 101.3-2545
วิธีการทดสอบหาสารอินทรีย์เจือปน (organic impurities)

---

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ ครอบคลุมถึงการหาวัสดุอินทรีย์ซึ่งเป็นสารผุพังที่ปะปนอยู่ในวัสดุ โดยประมาณ

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยขวดแก้วใสขนาดประมาณ 360 ลูกบาศก์เซนติเมตร (12 ออนซ์) มีขีดแสดงความจุเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร หรือจะใช้ขีดเครื่องหมายที่ขวดแก้วแทนก็ได้

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดสอบ

2.2.1 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) เข้มข้นร้อยละ 3 เตรียมได้โดยชั่งสารโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) 30 กรัม ผสมกับน้ำสะอาดจนได้ปริมาตร 1 ลิตร

2.2.2 แถบสีมาตรฐาน โดยกำหนดมาตรฐาน ดังนี้

สีมาตรฐานของการ์ดเนอร์ (gardner) หมายเลข	สีของสารอินทรีย์ หมายเลข
5	1
8	2
11	3 (มาตรฐาน)
14	4
16	5

2.2.3 ถ้าไม่มีแถบสีมาตรฐานจะเตรียมผสมสารละลายเพื่อทำเป็นสีมาตรฐานแทนได้ ดังนี้

ให้เตรียมสารละลายชนิดแรกคือ นำโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ที่เข้มข้นร้อยละ 3 แล้วนำมาผสมกับสารละลายชนิดหลัง คือ กรดเทนนิค (tannic acid) ที่เข้มข้นผสมในสารละลายของแอลกอฮอล์กับน้ำ (มีแอลกอฮอล์ ร้อยละ 10) โดยเอากรดเทนนิค 2 ส่วน ผสมกับสารละลายแอลกอฮอล์กับน้ำดังกล่าว 98 ส่วน โดยปริมาตร ซึ่งมีอัตราส่วนดังนี้ สารละลายชนิดแรกปริมาตร 97.5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผสมกับสารละลายชนิดหลังปริมาตร 2.5 ลูกบาศก์

เซนติเมตร ให้ได้ปริมาตร 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร เขย่าให้เข้ากันแล้วใส่ไว้ในขวดขนาด 360 ลูกบาศก์เซนติเมตร (12 ออนซ์) ให้เตรียมสารละลายมาตรฐาน เมื่อมีอายุ 24±1/2 ชั่วโมง นับจากเริ่มผสม ถ้าต่ำกว่ากำหนดนี้ห้ามใช้

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

นำวัสดุที่แห้งมาแบ่งสี่ หรือแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง ให้ได้น้ำหนักประมาณ 250 กรัม

2.4 แบบฟอร์ม

ทำการบันทึกผลการทดสอบ ในแบบฟอร์มเลขที่ บฟ. มทช.(ท) 101.1.2-2545 : วิธีทดสอบสารอินทรีย์เจือปน

2.5 การทดสอบ

2.5.1 เทวัสดุที่เตรียมไว้ลงในขวดแก้วทดสอบจนได้ปริมาตร 133 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ประมาณ 4 1/2 ออนซ์)

2.5.2 เติมสารละลายที่เตรียมไว้ตาม ข้อ 2.2.1 ลงในขวดแก้วทดลองจนได้ปริมาตรเป็น 207 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ประมาณ 7 ออนซ์)

2.5.3 เอาจุกอุดปากขวดแล้วเขย่าแรง ๆ จนเห็นว่าไม่มีฟองอากาศเหลืออยู่ ตรวจดูอีกครั้ง ถ้าระดับสารละลายมีปริมาตรไม่ถึง 207 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้เติมสารละลายเพิ่มอีกจนได้ปริมาตร 207 ลูกบาศก์เซนติเมตร บันทึกวันและเวลา

2.5.4 ตั้งขวดทดสอบทิ้งไว้นิ่ง ๆ ห้ามจับหรือเคลื่อนย้ายจนครบ 24 ชั่วโมง

2.5.5 เมื่อครบ 24 ชั่วโมง แล้วให้เปรียบเทียบกับแถบสีมาตรฐาน ตามข้อ 2.2.2 หรือ กับสารละลายมาตรฐานตาม ข้อ 2.2.3

3. การรายงาน

ให้รายงานในหัวข้อหมายเหตุ ของแบบฟอร์มที่กล่าวแล้วในข้อ 2.4 ดังนี้

3.1 ถ้าสีของสารละลายที่ได้จากการทดสอบอ่อนกว่าสีของแถบสีมาตรฐานหมายเลข 3 หรืออ่อนกว่าสีของสารละลายมาตรฐานให้รายงาน "สีอ่อนกว่าสีมาตรฐาน"

3.2 ถ้าสีของสารละลายที่ได้จากการทดสอบแก่กว่าสีของแถบสีมาตรฐานหมายเลข 3 หรือแก่กว่าสีของสารละลายมาตรฐานให้รายงานว่า "สีแก่กว่าสีมาตรฐาน"

3.3 ถ้าสีของสารละลายที่ได้จากการทดสอบใกล้เคียงกับสีของแถบสีมาตรฐานหมายเลข 3 หรือใกล้เคียงสีของสารละลายมาตรฐานให้รายงานว่า "สีใกล้เคียงสีมาตรฐาน"

4. เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

ถ้าสีของสารละลายที่ได้จากการทดสอบมีสีอ่อนกว่าสีของแถบสีมาตรฐาน หมายเลข 3 หรือมีสีเหมือนกับแถบสีมาตรฐาน หมายเลข 3 ถือว่าเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานได้ ถ้าสีแก่กว่าสีของแถบสีมาตรฐาน หมายเลข 3 ถือว่าไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน

5. ข้อควรระวัง

5.1 เมื่อตั้งขวดทิ้งไว้แล้ว ห้ามกระทบกระเทือน และเมื่อเวลาอ่านเปรียบเทียบสี ห้ามกระทบกระเทือนเช่นเดียวกัน เพราะจะทำให้ผงละเอียดลอยตัวขึ้นมา ซึ่งจะทำให้ได้สีไม่ถูกต้อง บางครั้งสีที่ได้จะใกล้เคียงมาตรฐานมาก พยายามเทียบให้ได้ว่าแก่กว่าหรืออ่อนกว่า

5.2 สารโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารที่มีพิษทำให้เกิดการไหม้ที่ผิวหนังและเยื่ออ่อนต่าง ๆ เช่น ตา ปาก จมูก ถ้าสัมผัสถูกต้องรีบล้างบริเวณนั้นด้วยน้ำสะอาดและทาด้วยน้ำส้มสายชู (vineger)

6. หนังสืออ้างอิง

6.1 วิธีทดลองหา organic impurities กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

6.2 THE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGWHAY OFFICIALS. "STANDARD SPECIFICATION FOR HIGHWAY MATERIALS AND METHOD OF SAMPING AND METHOD OF SAMPING AND TESTING" AASHO T 21

6.3 THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM STANDARD : C 40-84

****

โครงการ.....

.....

สถานที่ก่อสร้าง.....

ผู้รับจ้าง.....

ชนิดตัวอย่าง..... ทดสอบครั้งที่.....

ทดสอบวันที่..... แผ่นที่.....

บฟ.มทช.(ท) 101.1.2- 2545

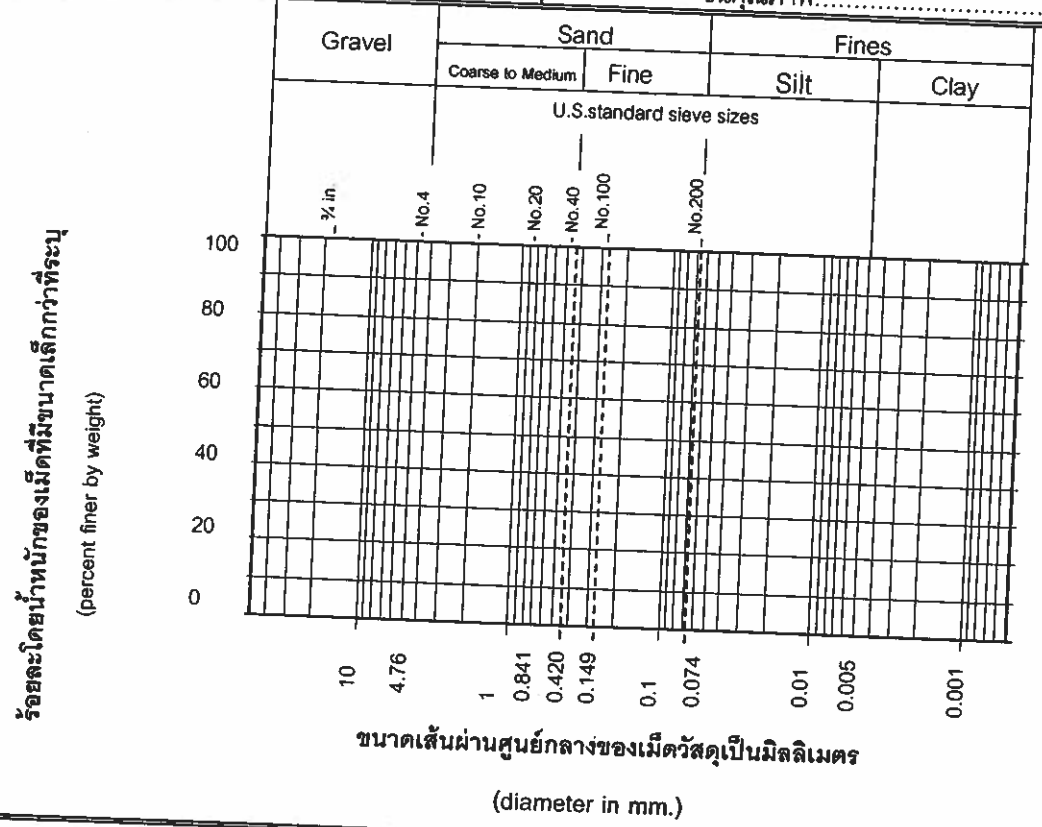
(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ)

การทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุ

แหล่งวัสดุ.....

ชั้นคุณภาพ.....

ทะเบียนทดสอบ.....	
ผู้ทดสอบ	
ผู้ตรวจสอบ	
อนุมัติ	



การทดสอบหาสารอินทรีย์เจือปน

สีของสารละลายที่ได้จากการทดสอบ

( ) สีอ่อนกว่าสีมาตรฐาน

( ) สีใกล้เคียงสีมาตรฐาน

( ) สีแก่กว่าสีมาตรฐาน

สรุปผลการทดสอบ

( ) เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานได้

( ) ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน

มทช.(ท) 101.4-2545
วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบ
(coarse aggregate)

---

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมถึงการหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุขนาดเม็ดโตกว่า 4.75 มม. แบบบัลค์ (bulk specific gravity) และแบบแอพแพเรนท์ (apparent specific gravity) และการหาค่าความดูดซึมน้ำ (water absorption)

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย

2.1.1 เครื่องชั่ง เป็นเครื่องชั่งแบบสมดุล (balance) ที่สามารถชั่งวัสดุได้ไม่น้อยกว่า 5 กิโลกรัม และสามารถอ่านได้ละเอียดถึง 0.5 กรัม

2.1.2 ตะกร้าลวดตาข่าย (wire basket) เป็นตะกร้าลวดตาข่ายที่มีช่องขนาด 2.00-3.00 มิลลิเมตร เป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 200 มิลลิเมตร และสูงประมาณ 200 มิลลิเมตร หรือมีขนาดบรรจุประมาณ 4,000 ถึง 7,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.1.3 ถังบรรจุน้ำ เป็นถังที่มีขนาดใหญ่พอที่จะนำเอาตะกร้าลวดตาข่ายใส่ลงไปได้ เพื่อทำการชั่งน้ำหนักวัสดุในน้ำได้ และจะต้องมีรูระบายน้ำตอนบน เพื่อรักษาระดับน้ำให้คงที่

2.1.4 ภาชนะขนาดใหญ่ พอที่จะแช่วัสดุประมาณ 5 กิโลกรัมไว้ในน้ำได้ โดยวัสดุทุกก้อนจะต้องจมอยู่ใต้ระดับน้ำทั้งหมด

2.1.5 เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110±5 องศาเซลเซียส

2.2 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ บฟ. มทช.(ท) 101.4-2545 : วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าความดูดซึมน้ำ ของวัสดุมวลรวมหยาบ

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

นำวัสดุมาทำการเลือกตัวอย่างวัสดุ โดยวิธีแบ่งสี่ (quartering) หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง (sample splitter) แล้วจึงนำตัวอย่างที่เลือกได้มาทำการร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 4 (4.75 ม.ม.) นำเฉพาะวัสดุตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรง เบอร์ 4 หนักประมาณ 5 กิโลกรัม มาทดสอบต่อไป

2.4 **การทดสอบ**

2.4.1 นำวัสดุที่เตรียมได้จาก ข้อ 2.3 มาทำการล้างให้ฝุ่นหรือสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ตามผิวของวัสดุออกให้หมด แล้วจึงนำมาอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิปกติ แล้วจึงนำไปแช่น้ำในภาชนะที่เตรียมไว้เป็นเวลา 24±4 ชั่วโมง

2.4.2 นำวัสดุขึ้นจากน้ำ วางบนผ้าซับน้ำ แล้วคลึงเช็ดวัสดุด้วยผ้าซับน้ำจนกระทั่งน้ำที่เคลือบอยู่บนผิววัสดุ (visible film) ออกจนหมด ทำการชั่งหาน้ำหนักวัสดุทันที จะเป็นน้ำหนักในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (saturated surface dry) ในอากาศ การชั่งให้ชั่งละเอียดถึง 0.5 กรัม และระวังอย่าให้เกิดการระเหยในระหว่างการเช็ดผิววัสดุให้แห้งและการชั่งน้ำหนัก

2.4.3 นำวัสดุที่ได้จากข้อ 2.4.2 ไปชั่งในถังใส่น้ำ โดยใส่วัสดุไว้ในตะกร้าลวดตาข่าย น้ำหนักที่อ่านได้ คือ น้ำหนักของวัสดุในน้ำ

2.4.4 นำวัสดุไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง นำไปชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักวัสดุอบแห้ง

3. **การคำนวณ**

3.1 ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอบแห้ง) $= \frac{W1}{W2 - W3}$

3.2 ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง) $= \frac{W2}{W2 - W3}$

3.3 ความถ่วงจำเพาะแบบแอพเพเรนท์ $= \frac{W1}{W1 - W3}$

3.4 ความดูดซึมน้ำ $= \frac{(W2 - W1)}{W1} \times 100\%$

W1 = น้ำหนักวัสดุอบแห้งในอากาศ, เป็นกรัม

W2 = น้ำหนักวัสดุในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (saturated surface dry) เป็นกรัม

W3 = น้ำหนักวัสดุเพื่อทำการชั่งในน้ำ, เป็นกรัม

อนึ่งการคำนวณค่าของความถ่วงจำเพาะให้ใช้ถึงทศนิยม 3 ตำแหน่ง สำหรับการคำนวณค่าความดูดซึมน้ำให้ใช้ถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง

4. การรายงานผล

ให้รายงานผลตามแบบฟอร์มที่ บฟ. มทช.(ท) 101.4-2545 : วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบ

5. เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมหยาบที่ใช้ในงานคอนกรีต ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2.40

6. ข้อควรระวัง

6.1 การเช็ดน้ำที่เคลือบอยู่บนผิววัสดุ และการชั่งน้ำหนักวัสดุในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง(saturated surface dry) ให้กระทำอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการระเหยของน้ำ

6.2 การชั่งวัสดุในน้ำ ถ้าเกิดมีฟองอากาศเกาะอยู่ตามผิววัสดุ ให้ทำการเขย่าตะกร้าลวดตาข่าย ขณะที่ทำการจุ่มตะกร้าลงในน้ำให้ฟองอากาศลอยขึ้นจนหมดเสียก่อน

6.3 ในการนำวัสดุมาทำการอบแห้ง เพื่อหาน้ำหนักวัสดุอบแห้งในอากาศ ต้องคอยระวังเอาวัสดุออกจากตะกร้าลวดตาข่าย

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM DESIGNATION : C 127-84

7.2 THE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS, AASHO T 85-70

7.3 STATE OF DALIFORNAI, DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS, DIVISION OF HIGHWAYS "MATERIAL MANUAL OF TESTING AND CONTROL PROCEDURES" VOL. I TEST METHOD NO. COLIF. 206-C

****

โครงการ.....	บฟ. มทช.(ท) 101.4-2545	ทะเบียนทดสอบ.....	
สถานที่ก่อสร้าง.....	(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ)	ผู้ทดสอบ	
ผู้รับจ้างหรือผู้นำส่ง.....	การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ และ ค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวม	ผู้ตรวจสอบ	
ชนิดตัวอย่าง.....ทดสอบครั้งที่.....		อนุมัติ	
ทดสอบวันที่.....แผ่นที่.....			

วัสดุ.....

แหล่งวัสดุ.....

คุณลักษณะ		ตัวอย่าง 1	2	3	4
น้ำหนักของวัสดุอบแห้ง	(W1) gm				
น้ำหนักของวัสดุอิ่มตัวผิวแห้ง	(W2) gm				
น้ำหนักของวัสดุในน้ำ	(W3) gm				
ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอบแห้ง)	$= \frac{W1}{W2 - W3}$				
ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง)	$= \frac{W2}{W2 - W3}$				
ความถ่วงจำเพาะแบบแอพแพเรนต์	$= \frac{W1}{W1 - W3}$				
ความดูดซึมน้ำ	$= \frac{(W2 - W1) \times 100\%}{W1}$				

หมายเหตุ :

มทช.(ท) 101.5-2545
วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมละเอียด (fine aggregate)

---

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมถึงการหาค่าความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (bulk specific gravity) และแบบแอพแพเรนท์ (apparent specific gravity) และเป็นการหาค่าความดูดซึมน้ำ (water absorption) ของวัสดุมวลรวมละเอียดในงานผสมคอนกรีต

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย

2.1.1 เครื่องชั่ง เป็นเครื่องชั่งที่สามารถชั่งวัสดุได้ไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัม และสามารถอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

2.1.2 ขวดทดสอบ (flask) ขนาดความจุประมาณ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ได้ทำการสอบเทียบ (calibration) แล้วที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

2.1.3 แบบรูปกรวย (conical mold) ทำด้วยโลหะมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนเท่ากับ 1.5 นิ้ว และมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างเท่ากับ 3.5 นิ้ว และมีความสูงเท่ากับ 2 7/8 นิ้ว

2.1.4 เหล็กกระทุ้ง (tamping rod) ทำด้วยโลหะมีน้ำหนัก 0.34 กิโลกรัม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) และปลายที่ใช้กระทุ้งมีลักษณะมน

2.2 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์ม บฟ. มทช.(ท) 101.5-2545 : วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำ ของวัสดุมวลรวมละเอียด

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

นำวัสดุมวลรวมละเอียดที่จะนำมาทดสอบ มาทำการเลือกตัวอย่างวัสดุโดยวิธีแบ่งสี่ (quartering) ให้ได้น้ำหนักวัสดุตัวอย่างประมาณ 1 กิโลกรัม แล้วนำมาอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องปกติ จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้มาทำการแช่น้ำในภาชนะที่เตรียมไว้เป็นเวลา 24±4 ชั่วโมง

2.4 **การทดสอบ**

2.4.1 วิธีการทดสอบหาสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (saturated surface dry) ของวัสดุมวลรวมละเอียดนำตัวอย่างที่เตรียมไว้ในข้อ 2.3 ขึ้นจากน้ำ เพื่อผึ่งลมหรือเป่าด้วยลมร้อน

2.4.2 นำตัวอย่างที่เริ่มผิวแห้ง ใส่ในแบบรูปกรวยพอหลวม ๆ และใช้เหล็กกระทุ้ง กระทุ้ง 25 ครั้ง ตรง ๆ แล้วจึงค่อย ๆ ดึงกรวยขึ้น ถ้าวัสดุมวลรวมละเอียดยังคงรูปอยู่ก็ให้ทำการทดสอบซ้ำใหม่ โดยผึ่งตัวอย่างหรือเป่าลมร้อนให้น้ำระเหยออกอีก จนกระทั่งเมื่อดึงกรวยออกตรงๆ ถ้าวัสดุมวลรวมละเอียดเริ่มทะลาย ให้ถือเป็นสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งของวัสดุมวลรวมละเอียด

2.4.3 วิธีทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมละเอียด ชั่งน้ำหนักของขวดทดสอบ และนำตัวอย่างวัสดุมวลรวมละเอียดในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง ที่ได้จากข้อ 2.4.2 มา 500 กรัม

2.4.4 ใส่วัสดุมวลรวมละเอียดลงในขวดทดสอบแล้วเติมน้ำถึงขีดที่ กำหนดปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร กลิ้งขวดทดสอบไปมาบนพื้นราบให้ฟองอากาศลอยขึ้นให้หมด แล้วนำมาแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิคงที่ 20 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 ชั่วโมง

2.4.5 เติมน้ำในขวดทดสอบ จนถึงขีดบอกปริมาตร 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร อีกครั้ง แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก นำวัสดุมวลรวมละเอียดออกจากขวด แล้วนำไปอบแห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก

3. **การคำนวณ**

3.1 ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอบแห้ง) $= \dfrac{W4}{500-(W3-W2-W1)}$

3.2 ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง) $= \dfrac{W2}{500-(W3-W2-W1)}$

3.3 ความถ่วงจำเพาะแบบแอพเพเรนท์ $= \dfrac{W4}{500-(W3-W2-W1)-(W2-W4)}$

3.4 ความดูดซึมน้ำ $= \dfrac{W2-W4 \times 100\%}{W4}$

เมื่อ W1 = น้ำหนักของขวดทดสอบ, เป็นกรัม

W2 = น้ำหนักวัสดุมวลรวมละเอียดในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (500 กรัม)

W3 = น้ำหนักขวดทดสอบ + น้ำ + วัสดุมวลรวมละเอียด, เป็นกรัม

W4 = น้ำหนักของวัสดุมวลรวมละเอียดอบแห้ง, เป็นกรัม

อนึ่ง การคำนวณค่าของความถ่วงจำเพาะให้ใช้ถึงทศนิยม 3 ตำแหน่ง และสำหรับการคำนวณค่าความดูดซึมน้ำให้ใช้ถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง การชั่งน้ำหนักทุกครั้งให้ละเอียด ถึง 0.1 กรัม

4. การรายงานผล

ให้รายงานผลตามแบบฟอร์มที่ บฟ. มทช.(ท) 101.5-2545 : วิธีการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำ ของวัสดุมวลรวมละเอียด

5. เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมละเอียด ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2.40

6. ข้อควรระวัง

6.1 เมื่อทำการชั่งน้ำหนักต้องกระทำในขณะที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ

6.2 ต้องระมัดระวังมิให้วัสดุมวลรวมละเอียดสูญหายไปในระหว่างเทลงในภาชนะเพื่ออบให้แห้ง

6.3 การชั่งขวดทดสอบต้องคอยระวังให้ระดับน้ำในขวดอยู่ที่ขีดบอกปริมาตรเสมอ และต้องเช็ดน้ำจากภายนอกขวดให้หมดทุกครั้งก่อนการชั่ง

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM DESIGNATION : C 128-84

7.2 THE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS, AASHO T -100

7.3 LAMBE T.W., 1957 "SOIL TESTING FOR ENGINEERS" JOHN WILEY AND SONS, NEW YORK.

****

โครงการ.....	บฟ. มทช.(ท) 101.5-2545	ทะเบียนทดสอบ.....	
.....		ผู้ทดสอบ	
สถานที่ก่อสร้าง.....	(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ)		
.....	การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ และ	ผู้ตรวจสอบ	
ผู้รับจ้างหรือผู้นำส่ง.....	ความดูดซึมน้ำ ของวัสดุมวลรวมละเอียด		
ชนิดตัวอย่าง.....ทดสอบครั้งที่.....		อนุมัติ	
ทดสอบวันที่.....แผ่นที่.....			

วัสดุ.....

แหล่งวัสดุ.....

คุณลักษณะ			ตัวอย่าง			
			1	2	3	4
น้ำหนักของขวดทดสอบ	(W1)	gm.				
น้ำหนักของวัสดุอิ่มตัวผิวแห้ง	(W2)	gm.				
น้ำหนักของขวดทดสอบ + น้ำ + วัสดุ	(W3)	gm.				
น้ำหนักของวัสดุอบแห้ง	(W4)	gm.				
ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอบแห้ง)	$= \frac{W4}{500-(W3-W2-W1)}$					
ความถ่วงจำเพาะแบบบัลค์ (สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง)	$= \frac{W2}{500-(W3-W2-W1)}$					
ความถ่วงจำเพาะแบบแอพแพเรนต์	$= \frac{W4}{500-(W3-W2-W1)-(W2-W4)}$					
ความดูดซึมน้ำ	$= \frac{W2-W4 \times 100\%}{W4}$					

หมายเหตุ :

มทช.(ท) 101.6-2545
วิธีการทดสอบหาค่าความชื้นของวัสดุมวลรวม (aggregate)

---

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมถึงการหาค่าความชื้น (total moisture content) ของวัสดุมวลรวมทั้งชนิดมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด โดยการอบให้แห้ง

2. วิธีทำ

2.1 **เครื่องมือ** เครื่องที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย

2.1.1 เครื่องชั่ง เป็นเครื่องชั่งที่สามารถชั่งวัสดุให้มีความละเอียดถึงร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

2.1.2 เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110±5 องศาเซลเซียส

2.1.3 กระป๋องใส่ตัวอย่าง (sample container) เป็นกระป๋องโลหะที่ไม่ทำปฏิกิริยาใด ๆ เมื่อถูกความร้อน และมีขนาดพอเหมาะที่จะใส่ตัวอย่างนั้น ๆ

2.2 **แบบฟอร์ม** ใช้แบบฟอร์มที่ บฟ.มทช.(ท)101.6-2545:วิธีการทดสอบหาค่าความชื้นของวัสดุมวลรวม

2.3 **การเตรียมตัวอย่าง** ตัวอย่างที่ต้องการทำการทดสอบ (ระวังอย่าให้ความชื้นระเหยไปก่อนทำการทดสอบ) มาทำการเลือกตัวอย่างด้วยวิธีแบ่งสี่ (quartering) ประมาณให้ได้ตัวอย่างเมื่อแห้งแล้วไม่น้อยกว่าที่กำหนดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1

ขนาดของตัวอย่าง (ผ่านตะแกรง)		น้ำหนักตัวอย่างกิโลกรัม (kg)
นิ้ว (in)	มิลลิเมตร (mm.)	
เบอร์ 4	4.75	0.5
3/8	9.50	1.5
½	12.5	2
¾	19.0	3
1	25.0	4
1 ½	37.5	6
2	50.0	8
2 ½	63.0	10
3	75.0	13
3 ½	90.0	16
4	100.0	25
6	150.0	50

2.4 **การทดสอบ**

2.4.1 ทำการชั่ง กระป๋องใส่ตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วนำตัวอย่าง ที่เตรียมได้จากข้อ 2.3 นำมาใส่ในกระป๋องใส่ตัวอย่าง เพื่อนำขึ้นชั่งหาน้ำหนัก โดยชั่งให้มีความละเอียดถึงร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักที่ทำการชั่ง

2.4.2 นำกระป๋องใส่ตัวอย่างที่บรรจุวัสดุมวลรวมที่ต้องการหาค่าปริมาณความชื้นเข้าเตาอบ เพื่ออบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 15±4 ชั่วโมง

2.4.3 นำกระป๋องใส่ตัวอย่างที่อบแห้งแล้วนำมาชั่งหาน้ำหนัก โดยชั่งให้มีความละเอียดถึงร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัวอย่าง

3. **การคำนวณ**

ค่าความชื้นของวัสดุมวลรวม สามารถหาได้ ดังนี้

ร้อยละความชื้น (total moisture content)

$$\text{ของวัสดุมวลรวม} = \frac{W2-W3}{W3-W1} \times 100\%$$

เมื่อ W1 = น้ำหนักของกระป๋องในตัวอย่าง (samle container), เป็นกรัม

W2 = น้ำหนักของกระป๋อง + วัสดุมวลรวมเปียก, เป็นกรัม

W3 = น้ำหนักของกระป๋อง + วัสดุมวลรวมอบแห้ง, เป็นกรัม

การคำนวณร้อยละความชื้นของวัสดุมวลรวม ให้มีความละเอียดถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง

4. การรายงานผล

ให้รายงานผลตามแบบฟอร์มที่ บฟ. มทช.(ท) 101.6-2545 : วิธีการทดสอบหาค่าความชื้นของวัสดุมวลรวม

5. ข้อควรระวัง

5.1 ในระหว่างการชั่งน้ำหนักต้องรีบกระทำ เพื่อมิให้น้ำระเหยไปในระหว่างการทดสอบ

5.2 ทำความสะอาดกระป๋องใส่ตัวอย่างให้สะอาดและแห้งสนิทก่อนการทดสอบทุกครั้ง

6. เอกสารอ้างอิง

THE AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM DESIGNATION : C 566-84

โครงการ..... ..... สถานที่ก่อสร้าง..... ผู้รับจ้างหรือผู้นำส่ง..... ชนิดตัวอย่าง.....ทดสอบครั้งที่..... ทดสอบวันที่.....แผ่นที่.....	บฟ. มทช.(ท) 101.6-2545 (หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) การทดสอบหาค่าความชื้นของวัสดุมวลรวม	ทะเบียนทดสอบ..... ผู้ทดสอบ ผู้ตรวจสอบ อนุมัติ

วัสดุ.....

แหล่งวัสดุ.....

คุณลักษณะ			ตัวอย่าง 1	2	3	4
น้ำหนักของกระป๋องใส่ตัวอย่าง	(W1)	gm.				
น้ำหนักของกระป๋อง + วัสดุมวลรวมเปียก	(W2)	gm.				
น้ำหนักของกระป๋อง + วัสดุมวลรวมอบแห้ง	(W3)	gm.				
ร้อยละความชื้นของมวลรวม =	$\frac{W2-W3}{W3-W1} \times 100\%$					

หมายเหตุ :

มทช.(ท) 102-2545
มาตรฐานการเก็บตัวอย่างคอนกรีตในหน้างาน และการนำไปบำรุงรักษา

---

1. ขอบข่าย

มาตรฐานนี้ครอบคลุมถึงการจัดเก็บตัวอย่างคอนกรีตในหน้างาน และการนำไปบำรุงรักษา เพื่อใช้เป็นตัวอย่างสำหรับการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต (compressive strength of concrete) และการรับแรงดัดของคอนกรีต (flexural strength of concrete)

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ประกอบด้วย

2.1.1 แบบหล่อมาตรฐาน เป็นแบบโลหะแข็งแรง คงรูป เมื่อประกอบยึดเป็นรูปแบบแล้ว ต้องสนิทน้ำปูนรั่วไหลไม่ได้และไม่เสียรูปทรงขณะทำการหล่อก้อนตัวอย่าง หรือเคลื่อนย้าย หรือเป็นวัสดุอื่นที่ไม่ดูดซึมน้ำและไม่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ มีขนาดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(ก) สำหรับการทดสอบความต้านแรงอัด

(1) ลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร ใช้สำหรับคอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบ (coarse aggregate) ขนาดโตกว่า 1.9 เซนติเมตร(3/4 นิ้ว) แต่ไม่เกิน 5 เซนติเมตร (2นิ้ว)

(2) ลูกบาศก์ ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ใช้สำหรับคอนกรีตที่มีส่วนผสม ของมวลรวมหยาบขนาดเล็กกว่า 1.9 เซนติเมตร (3/4 นิ้ว)

(3) ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร (6 นิ้ว) สูง 30 เซนติเมตร (12 นิ้ว) ใช้สำหรับคอนกรีตที่มีส่วนผสมของมวลหยาบขนาดโต ไม่เกิน 5 เซนติเมตร (2 นิ้ว)

(4) ทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร (8 นิ้ว) สูง 40 เซนติเมตร (16 นิ้ว) แต่ไม่เกิน 6.25 เซนติเมตร (2 ½ นิ้ว) แต่สำหรับมวลรวมหยาบที่ใหญ่กว่านี้เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอกไม่ควรจะน้อยกว่า 3 หรือ 4 เท่าของขนาดใหญ่ที่สุดของมวลหยาบ

(ข) สำหรับการทดสอบการรับแรงดัด

(1) ชิ้นตัวอย่างคอนกรีตสำหรับการทดสอบแรงดัด ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปคาน ควรจะมีขนาดลึกอย่างน้อย 15 เซนติเมตร และกว้าง 15 เซนติเมตร สำหรับมวลรวมหยาบที่มีขนาดใหญ่ที่สุด 5 เซนติเมตร (2 นิ้ว) หรือน้อยกว่านั้น สำหรับมวลรวมหยาบขนาดใหญ่กว่านี้ ขนาดหน้าตัดที่น้อยที่สุดไม่ควรจะน้อยกว่า 3 เท่า ของขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมหยาบ สำหรับการทดสอบแบบคานจะใช้น้ำหนักกดลงตรงจุดแบ่งสาม ตามการทดสอบการรับแรงดัด มทช.(ท) 105.2-2545 : มาตรฐานการรับแรงดัดของคอนกรีต คานนั้นต้องมีช่วงคาน (span length) ประมาณ 3 เท่า ของด้านลึกที่ใช้ทดสอบ (ด้านข้าง) และความยาวของคานต้องยาวกว่าช่วงคานอย่างน้อย 5 เซนติเมตร (2 นิ้ว)

ความเบี่ยงเบนจากขนาดที่กำหนดจะต้องไม่เกิน 3.2 มิลลิเมตร สำหรับขนาดกว้างหรือลึกเกิน 15 เซนติเมตร (6 นิ้ว) ขึ้นไป และไม่เกิน 1.6 มิลลิเมตร สำหรับขนาดเล็กกว่านั้น

2.1.2 เหล็กกระทุ้ง (tamping rod)

(ก) แท่งเหล็กหนัก 1.8 กก. (4 ปอนด์) ยาว 375 มิลลิเมตร (15 นิ้ว) ปลายที่ใช้กระทุ้งคอนกรีตมีลักษณะมน ขนาด 625 ตารางมิลลิเมตร (1 ตารางนิ้ว) สำหรับการหล่อก้อนตัวอย่างคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์

(ข) แท่งเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร (5/8 นิ้ว) ยาวประมาณ 610 มิลลิเมตร (24 นิ้ว) ปลายที่ใช้กระทุ้งคอนกรีตมีลักษณะมนสำหรับการหล่อก้อนตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก และตัวอย่างคอนกรีตรูปคาน

2.2 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

2.2.1 เกณฑ์ในการเก็บตัวอย่างคอนกรีตเพื่อการทดสอบ ให้เก็บทุกวันเมื่อมีการทดสอบคอนกรีตและอย่างน้อยต้องเก็บ 3 ก้อน เพื่อทดสอบกำลังคอนกรีตเมื่ออายุ 28 วัน โดยใช้วิธีการเก็บดังนี้

(ก) ให้เก็บเมื่อหล่อคอนกรีตแต่ละส่วนของโครงสร้าง เช่น ฐานราก เสาคาน และพื้น

(ข) เก็บทุกครั้งที่มีการเทคอนกรีตทุก ๆ 50 ลูกบาศก์เมตร และเศษของ 50 ลูกบาศก์เมตร

(ค) เก็บทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนแหล่งทราย หรือหิน-กรวด

2.2.2 การเก็บตัวอย่างจากลักษณะการผสมกระทำ ดังนี้

(ก) จากเครื่องผสม (โม่) ที่ประจำอยู่ในที่ก่อสร้างให้เก็บตัวอย่างจากประมาณตอนกลาง ๆ ของปริมาณคอนกรีตที่เทลงในภาชนะรองรับ (กระบะหรือรถเข็นปูน)

(ข) จากเครื่องผสมสำหรับทำพื้นถนน ให้เก็บหลังจากที่เครื่องผสมได้เทคอนกรีตลงบนพื้นที่เตรียมไว้ โดยเก็บตัวอย่างคอนกรีตจากหลาย ๆ แห่งพอที่จะใช้เป็นตัวแทนได้

(ค) จากเครื่องผสมแบบถังหมุนตั้งบนรถบรรทุก (ready mixed concrete) เก็บตัวอย่างคอนกรีตอย่างน้อย 3 ส่วน เป็นระยะ ๆ อย่างสม่ำเสมอตลอดเวลาที่ปล่อย คอนกรีตในรถผสมลงสู่ภาชนะที่รองรับ

2.3 การทดสอบ

2.3.1 การหล่อชิ้นตัวอย่างคอนกรีต

2.3.1.1 ก่อนหล่อแท่งคอนกรีตจะต้องทำความสะอาดแบบหล่อให้เรียบร้อย ทาน้ำมันให้ทั่วบริเวณที่จะสัมผัสกับคอนกรีต

2.3.1.2 ต้องทำการทดสอบค่าความยุบตัวของคอนกรีต (slump test) ทุกครั้งตาม มทช.(ท) 103.1-2545 วิธีการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต ก่อนเริ่มการหล่อก้อนตัวอย่างคอนกรีตมาตรฐาน

2.3.1.3 การหล่อคอนกรีตต้องกระทำโดยเร็ว ให้แล้วเสร็จภายใน 15 นาที นับตั้งแต่เริ่มเก็บตัวอย่าง

2.3.1.4 ทำการเทคอนกรีตลงในแบบหล่อและทำการกระทุ้ง ดังรายละเอียด ดังนี้

(ก) สำหรับตัวอย่างคอนกรีตสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร ให้ใช้เหล็กกระทุ้งตามข้อ 2.1.2 (ก) โดยบรรจุคอนกรีต 3 ชั้น ชั้นละประมาณ 5 เซนติเมตร แต่ละชั้นกระทุ้ง 35 ครั้ง เมื่อค่าความยุบตัวน้อยกว่า 3.75 เซนติเมตร (1 ½ นิ้ว) และ 25 ครั้ง เมื่อมีค่าการยุบตัวตั้งแต่ 3.75 เซนติเมตร ขึ้นไป

(ข) สำหรับตัวอย่างคอนกรีตสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ให้ใช้เหล็กกระทุ้งตามข้อ 2.1.2 (ก) โดยบรรจุคอนกรีต 3 ชั้น ชั้นละเท่า ๆ กัน แต่ละชั้นกระทุ้ง 25 ครั้ง

(ค) สำหรับตัวอย่างคอนกรีต รูปทรงกระบอก ขนาด 15x30 เซนติเมตร ให้ใช้เหล็กกระทุ้งตามข้อ 2.1.2 (ข) โดยบรรจุคอนกรีต 3 ชั้น ชั้นละประมาณ 10 เซนติเมตร แต่ละชั้นกระทุ้ง 25 ครั้ง

(ง) สำหรับตัวอย่างคอนกรีต รูปทรงกระบอก ขนาด 20x40 เซนติเมตร ให้ใช้เหล็กกระทุ้งตามข้อ 2.1.2 (ข) โดยบรรจุคอนกรีต 3 ชั้น ชั้นละเท่า ๆ กัน แต่ละชั้นกระทุ้ง 50 ครั้ง

(จ) สำหรับตัวอย่างคอนกรีตรูปคานขนาดความลึกตั้งแต่ 15 เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร ให้ใช้เหล็กกระทุ้งตามข้อ 2.1.2 (ข) โดยบรรจุคอนกรีต 2 ชั้น ชั้นละเท่า ๆ กัน แต่ละชั้นกระทุ้ง 50 ครั้งทุก ๆ พื้นที่ตามแนวราบ 930 ตารางเซนติเมตร

(ฉ) สำหรับตัวอย่างคอนกรีตรูปคาน ขนาดความลึก 20 เซนติเมตร ขึ้นไป ให้ใช้เหล็กกระทุ้งตามข้อ 2.1.2 (ข) โดยบรรจุคอนกรีต 3 ชั้น ชั้นละเท่า ๆ กัน แต่ละชั้นกระทุ้ง 50 ครั้ง ทุก ๆ พื้นที่ ตามแนวราบ 930 ตารางเซนติเมตร

2.3.1.5 ในขณะที่กำลังบรรจุคอนกรีตลงแบบนั้น ต้องเทคอนกรีตจากทิศทางต่าง ๆ กัน เพื่อมิให้มวลรวมหยาบรวมตัวอยู่ด้านเดียว ผู้ปฏิบัติการต้องแก้การแยกแยะของมวลรวมหยาบที่ปรากฏชัดเจน ถ้าจำเป็นอาจจะใช้มือก็ได้

2.3.1.6 ต้องปาดคอนกรีตที่ล้นปากแบบหล่อออกให้เสมอปากแบบหล่อด้วยเครื่องมือขอบตรง และแต่งผิวหน้าด้วยเกรียงให้เรียบ แล้วปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง ให้ผิวหน้าคอนกรีตตัวอย่างแข็งตัวพอหมาดๆจึงเขียนเครื่องหมายหรือวันเดือนปี ที่ทำการหล่อบนหน้าคอนกรีตไว้เป็นหลักฐาน

2.3.2 การบ่มและการบำรุงรักษาก้อนตัวอย่างคอนกรีต

2.3.2.1 การบ่มระยะแรก เมื่อทำการหล่อก้อนคอนกรีตตัวอย่างตามข้อ 2.3.2 แล้วภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมงแรก ตัวอย่างที่ทำในสนามที่จะบ่มตามแบบมาตรฐานนั้น ให้เก็บรักษาคอนกรีตตัวอย่างไว้ในหีบที่สร้าง และติดตั้งไว้ที่หน้างาน อุณหภูมิของอากาศ เมื่อบรรจุชิ้นตัวอย่างคอนกรีตไว้จะอยู่ระหว่าง 16-27 องศาเซลเซียส (60-80 องศาฟาเรนไฮซ์) หรือจะใช้วิธีอื่นที่จะให้มีสภาพอุณหภูมิเช่นเดียวกันก็ได้ ในการทำการบ่มควรระมัดระวังห้ามกระทบกระแทกหรือสั่นสะเทือนแบบหล่อ

2.3.2.2 การบ่มในระยะต่อไป เมื่อก้อนคอนกรีตตัวอย่างมีอายุครบ 24 ชั่วโมง แล้วให้นำชิ้นตัวอย่างออกจากแบบด้วยความระมัดระวังอย่าให้ก้อนคอนกรีตตัวอย่างถูกระทบกระแทกหรือชำรุดเสียหาย แล้วทำการบ่ม โดยการนำไปแช่ในน้ำปูนขาวอิ่มตัว โดยให้น้ำปูนขาวอิ่มตัวหล่ออยู่ทุก ๆ ด้านของก้อนตัวอย่างคอนกรีตตลอดเวลาหรือจะบ่มโดยคลุมปิดในทรายชื้น หรือกรรมวิธีอื่นที่เหมาะสม เพื่อรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 23±1.7 องศาเซลเซียส (73.4±3 องศาฟาเรนไฮซ์) จนกว่าจะถึงอายุที่จะทำการทดสอบ

2.3.2.3 สำหรับคานทดสอบที่บ่มในสนามภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมงแรก ให้เก็บและบ่มตัวอย่างคอนกรีตระยะแรกเช่นเดียวกับการบ่มตามข้อ 2.3.2.1 แล้วจึงนำไปทั้งแบบยังสถานที่ใกล้ ๆ กับห้องทดลองสนาม ถอดออกจากแบบและเก็บรักษาโดยวางคาน นั้นไว้บนพื้นให้อยู่ในลักษณะเดียวกับขณะหล่อ โดยให้ผิวด้าน หงายพื้นให้อยู่ในลักษณะเดียวกับขณะหล่อ โดยให้ผิวด้านบนหงายขึ้นข้างบน แล้วจึงปิดด้านข้างและปลายสองข้างของคานด้วยดินชื้น ๆ หรือทรายชื้น ในการบ่มปล่อยให้ผิวบนเปิดตามที่กำหนดไว้ สำหรับโครงสร้างเมื่อสิ้นสุดระยะการบ่มควรจะทิ้งคาน ไว้กับที่โดยให้ผิวบนเปิดอยู่ในลักษณะเดียวกับโครงสร้างก่อนถึงเวลาทดสอบ 24 ชั่วโมง ให้นำคานตัวอย่างไปแช่ในน้ำปูนขาวอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 23±2.8 องศาเซลเซียส (73.4±5 องศาฟาเรนไฮซ์) เพื่อให้อยู่ในสภาพชื้นก่อนการทดสอบ

2.3.3 การขนส่งตัวอย่างไปห้องทดลอง

ชิ้นตัวอย่างที่จะส่งไปห้องทดลอง ในขณะนำส่งไปยังห้องทดลองต้องห่อชิ้นตัวอย่างไว้ด้วยวัสดุนุ่ม ๆ และชื้น เช่น ขี้เลื่อย หรือกระสอบ เป็นต้น

การขนส่งชิ้นตัวอย่างแต่ละครั้งต้องมีป้ายแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับชิ้นตัวอย่างตามรายการต่าง ๆ ดังนี้ คือ วันที่ ตำแหน่งของโครงสร้างที่เก็บตัวอย่างมา ส่วนผสมความข้นเหลว อุณหภูมิของคอนกรีตและอากาศ วิธีการบ่มชนิดของการทดสอบและอายุของชิ้นตัวอย่างที่จะทดสอบ

3. ข้อควรระวัง

3.1 เก็บตัวอย่างคอนกรีตต้องไม่น้อยกว่า 3 ตัวอย่าง ต่อ 1 ชุด

3.2 ประกอบแบบหล่อให้แข็งแรงได้ฉาก ได้ระดับก่อนทำการหล่อตัวอย่างคอนกรีต

3.3 การกระทุ้งแต่ละชั้นยอมให้เลยมาถึงชั้นล่าง ได้ไม่เกิน 2.5 เซนติเมตร

3.4 ใน 24 ชั่วโมงแรก ต้องมีการบ่มคอนกรีตในระยะแรก ห้ามกระแทกหรือสั่นสะเทือน

3.5 หลังจาก 24 ชั่วโมง ไปแล้ว จึงแกะแบบหล่อแล้วทำการบ่มต่อ

3.6 ผลการทดสอบกำลังของคอนกรีต จะถูกต้องเมื่อหล่อตัวอย่างถูกต้องตามมาตรฐาน

4. หนังสืออ้างอิง

4.1 STANDARD METHOD OF MAKING AND CURING CONCRETE TEST SPECIMENS IN THE FIELD ; ASTM DESIGNATION : C 31-90

4.2 STANDARD METHOD OF SAMPLING FRESHLY MIXED CONCRETE ; ASTM DESIGNATION : C 172-82

4.3 มาตรฐาน สำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ พ.ศ. 2533

****

มทช.(ท) 103.1-2545
วิธีการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต (slump test)

---

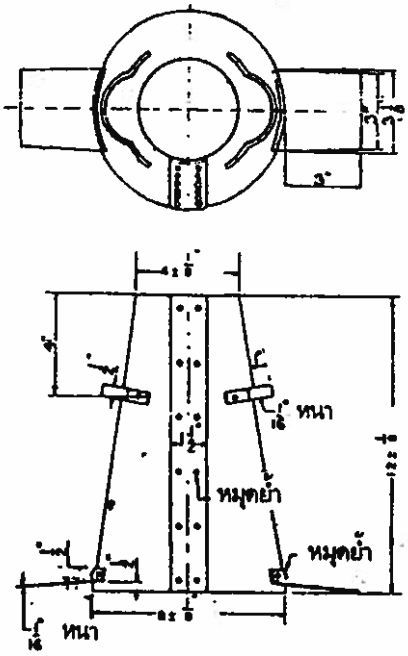
1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ ครอบคลุมถึงการหาค่าความยุบตัวของคอนกรีต ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม โดยเทียบค่าความสูงของคอนกรีตที่ยุบตัวลงหลังจากนำแบบออก กับความสูงของแบบ

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ ประกอบด้วย

2.1.1 แบบ (mold) ทำด้วยโลหะที่ไม่ทำปฏิกริยากับปูนซีเมนต์ มีลักษณะเป็นรูปกรวยตัดมีความหนาไม่น้อยกว่า 1.14 มิลลิเมตร (0.045 นิ้ว) ความสูง 305±3 มิลลิเมตร (12±1/8 นิ้ว) ฐานแบบมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 303±3 มิลลิเมตร (8±1/8 นิ้ว) และส่วนตัดตอนบนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 103±3 มิลลิเมตร (4±1/8 นิ้ว) สำหรับที่ฐาน ต้องมีแผ่นเหล็กสำหรับเหยียบทั้งสองข้าง และแบบที่ใช้ทำการทดสอบจะต้องไม่บิดเบี้ยวหรือเสียรูป



นิ้ว	1/16	1/8	1/2	1	1½	3	3½	4	8	12
มม.	1.6	3.2	12.7	25.4	38.1	76.2	79.4	102	203	305

2.1.2 เหล็กกระทุ้ง (tamping rod) เป็นแท่งเหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร (5/8 นิ้ว) ยาว 610 มิลลิเมตร (24 นิ้ว) ปลายด้านที่ใช้กระทุ้งมีลักษณะมน

2.2 แบบฟอร์ม ให้บันทึกผลการทดสอบ ในแบบฟอร์มเลขที่ บฟ. มทช.(ท) 103.1-2545 : วิธีการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างได้แก่คอนกรีต ซึ่งแบ่งมาจากคอนกรีตผสมเสร็จ หรือคอนกรีตที่โม่ในหน้างาน การทดสอบแต่ละครั้งจะกระทำเมื่อผสมคอนกรีตจำนวนใหม่การเก็บคอนกรีตควรเก็บ ภายในระยะเวลาประมาณ 5 นาที หลังจากผสมเสร็จ

2.4 การทดสอบ

2.4.1 วางแบบ (mold) ลงบนพื้นราบโดยให้ด้านที่มีปลายตัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มิลลิเมตร อยู่ด้านบน ด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มิลลิเมตร อยู่ด้านล่าง ใช้เท้าเหยียบแผ่นเหล็กที่ฐานทั้งสองข้างไว้ให้แน่น

2.4.2 ใส่คอนกรีตที่จะทดสอบลงในแบบประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาตรของแบบ แล้วใช้เหล็กกระทุ้งกระทุ้งให้ทั่วผิวของคอนกรีตในแบบ จำนวน 25 ครั้ง

2.4.3 ทำตามวิธีในข้อ 2.4.2 ซ้ำอีก 2 ครั้ง ในการทำครั้งที่ 3 ให้เผื่อคอนกรีตไว้ให้เกินขอบแบบข้างในกรณีที่กระทุ้งแล้วคอนกรีตพร่องลง ต้องเติมให้เต็มแบบเสมอ

2.4.4 ใช้แท่งเหล็กปาดขอบผิวบนของแบบจนคอนกรีตเรียบ จับที่หูยกแล้วยกแบบขึ้นตามแนวดิ่ง ระวังอย่าให้กระทบเนื้อคอนกรีตภายใน วัดระยะที่ยุบตัวของ คอนกรีต เทียบกับระยะความสูงของแบบ

2.4.5 กรณีที่คอนกรีตทดสอบเกิดล้มหรือทลายลงทันทีที่ยกแบบขึ้นหรือเกิดไหลออกทางข้างใดข้างหนึ่งเนื่องจากแรงเฉือน ให้ถือว่าการทดสอบยังไม่ได้มาตรฐานต้องยกเลิกและทำการทดสอบใหม่จากข้อ 2.4.1 ถึง 2.4.4

3. การคำนวณ

ค่าการยุบตัวของคอนกรีต (slump) = 30 – H

เมื่อ H = ระยะความสูงของคอนกรีตที่ทดสอบหลังจากยกแบบออกเป็นเซนติเมตร

4. การรายงาน

ค่าการยุบตัวของคอนกรีต ที่ได้ให้จดเป็นรายงานและสรุปผลเป็นเซนติเมตร ทศนิยม 1 ตำแหน่ง ลงในแบบฟอร์มเลขที่ บฟ. มทช.(ท) 103.1-2545 : วิธีการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต

5. เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

5.1 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตให้เป็นไปตาม มทช. 101-2533 : มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นไปตามค่าที่กำหนดไว้ในตาราง ดังนี้

ชนิดของงานก่อสร้าง	ค่าการยุบตัว (ซม.)	
	สูงสุด	ต่ำสุด
ฐานราก	7.5	5
แผ่นพื้น, คาน, ผนัง ค.ส.ล.	10	5
เสา	12.5	5
ครีบ ค.ส.ล. และผนังบาง ๆ	15	5

6. ข้อควรระวัง

6.1 การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีตจะไม่เหมาะกับการวัดผลค่ายุบตัวของคอนกรีต ในกรณีที่วัสดุผสมมวลหยาบที่ใช้มีขนาดเกิน 2 นิ้วขึ้นไป หรือกรณีที่คอนกรีตแห้งเกินไป

6.2 ในการกระทุ้งคอนกรีตทดสอบในแบบนั้น ควรกระทุ้งให้ทั่วบริเวณที่หน้าตัด และควรกระทุ้งบริเวณขอบของแบบให้เบากว่าภายใน เพื่อป้องกันมิให้แบบเสียหายเนื่องจากกระแทกกับเหล็กกระทุ้ง

7. หนังสืออ้างอิง

a. AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS ; ASTM STANDARD : C 143-78

b. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 213-2520 : คอนกรีตผสมเสร็จ

****

โครงการ..... ..... สถานที่ก่อสร้าง..... ผู้รับจ้างหรือผู้นำส่ง..... ชนิดตัวอย่าง.....ทดสอบครั้งที่..... ทดสอบวันที่.....แผ่นที่.....	บพ. มทช.(ท) 103.1-2545 (หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) **การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต** (slump test)	ทะเบียนทดสอบ.....	
		ผู้ทดสอบ	
		ผู้ตรวจสอบ	
		อนุมัติ	

ระยะความสูงของคอนกรีตที่ทดสอบหลังยกแบบออก(H) ..... เซนติเมตร

ค่าการยุบตัวของคอนกรีต (slump) = 30-H เซนติเมตร

= ..... เซนติเมตร

หมายเหตุ :

มทช.(ท) 104-2545
มาตรฐานการทดสอบน้ำที่ใช้ในงานคอนกรีต

---

1. ขอบข่าย

มาตรฐานการทดสอบนี้ ครอบคลุมถึงการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำที่ใช้ในการผสมทำคอนกรีตและใช้ในการบ่มคอนกรีต โดยกำหนดคุณลักษณะที่ต้องการ วิธีการวิเคราะห์และการเก็บตัวอย่าง

2. นิยาม

2.1 น้ำที่ใช้ในงานคอนกรีต หมายถึง น้ำที่นำมาใช้ในการผสมเพื่อทำคอนกรีตและ/หรือนำมาใช้ในการบ่มคอนกรีต

2.2 หน่วย เอ็นทียู (NTU, nephelometric turbidity unit) หมายถึง หน่วยวัดค่าความขุ่นในน้ำ

2.3 ค่า pH หมายถึง ค่าที่แสดงถึงความเป็นกรด-ด่างของน้ำ

2.4 หน่วย ppm หมายถึง หนึ่งส่วนในล้านส่วน (parts-per-million)

3. วิธีทำ

3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์

3.2 การเก็บตัวอย่าง เพื่อให้ได้ตัวแทนของน้ำที่ต้องการทราบคุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมี การเก็บตัวอย่างน้ำให้ทำการเก็บด้วยภาชนะบรรจุ โดยใช้ขวดแก้วหรือขวดพลาสติก มีความจุไม่น้อยกว่า 2,500 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่สะอาดและแห้ง ก่อนทำการเก็บตัวอย่างน้ำให้ใช้น้ำที่จะเก็บล้างขวดอีกครั้งหนึ่ง ห้ามนำภาชนะที่เคยบรรจุยาสารเคมี น้ำมัน หรือสิ่งอื่นที่ไม่สามารถล้างออกได้หมดมาใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำ วิธีการเก็บตัวอย่างน้ำจากแหล่งต่าง ๆ สามารถกระทำได้ ดังนี้ คือ

3.2.1 น้ำบาดาล ก่อนทำการเก็บตัวอย่างน้ำจากบ่อบาดาล ควรสูบน้ำทิ้งประมาณ 5 นาที แล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างน้ำ ถ้าเก็บจากก๊อกน้ำของบ่อบาดาลต้องล้างก๊อกให้สะอาดเสียก่อน แล้วจึงเปิดน้ำทิ้งไว้สัก 2-3 นาที เพื่อให้น้ำที่ค้างอยู่ในท่อไหลออกให้หมดก่อน การเก็บตัวอย่างน้ำ บรรจุลงในขวดควรเป็นเวลาที่น้ำไหลอย่างสม่ำเสมอ ระวังอย่าให้สิ่งเจือปนอื่นตกลงไปในขวด แล้วปิดฝาจุกให้แน่น ปิดฉลากแจ้งรายละเอียดในการเก็บ คือ สถานที่เก็บเวลาและชื่อผู้เก็บตัวอย่างน้ำ ให้ทำการเก็บตัวอย่าง อย่างน้อย 2,500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อเป็นตัวแทนของแหล่งน้ำนั้น ๆ

3.2.2 น้ำผิวดิน การเก็บน้ำตัวอย่างจากอ่างเก็บน้ำ ลำคลอง แม่น้ำ หรือแหล่งน้ำธรรมชาติอื่น ๆ ให้ทำการเก็บโดยหย่อนขวดเก็บน้ำตัวอย่าง ที่ทำความสะอาดแล้วลงไปในแหล่งน้ำ แล้วรอสักครู่ เพื่อให้สภาพน้ำที่เกิดการเปลี่ยนแปลง จากการหย่อนขวดเก็บน้ำกลับสู่สภาพเดิมก่อน แล้วจึงเปิดจุกขวดให้น้ำไหลเข้าขวด

ปิดจุกให้แน่น ปิดฉลากแจ้งรายละเอียดในการเก็บ หากเป็นแหล่งน้ำใหญ่ ให้ทำการเก็บตัวอย่างอย่างน้อย 5 ตัวอย่าง เพื่อเป็นตัวแทน ของแหล่งน้ำนั้น ๆ แต่ละจุดที่ทำการเก็บตัวอย่างให้มีปริมาณไม่ต่ำกว่า 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อที่จะได้มีปริมาณเพียงพอที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ผลเหมือนในสนามจริง

3.2.3 น้ำประปา ให้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำประปาจากก๊อก โดยใช้วิธีเดียวกันกับการเก็บน้ำบาดาลจากก๊อก

3.3 แบบฟอร์ม ใช้แบบฟอร์ม บฟ. มทช.(ท) 104-2545 : มาตรฐานการทดสอบน้ำที่ใช้ในงานคอนกรีต

3.4 การทดสอบ

3.4.1 การทดสอบคุณสมบัติของน้ำทางกายภาพ โดยทำการทดสอบในเรื่องความขุ่น และความเป็นกรด-ด่าง วิธีการทดสอบทำตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 257 : น้ำบริโภค

3.4.2 การทดสอบคุณสมบัติของน้ำทางเคมี ทำการวิเคราะห์หาปริมาณของซัลเฟต (SO_4) และคลอไรด์ (Cl) ของน้ำที่จะนำมาใช้ในงานคอนกรีต โดยให้ทำตามวิธีการทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 257 : น้ำบริโภค

3.4.3 ทำการทดสอบเปรียบเทียบ (comparative test) ในเรื่องการทดสอบหาระยะ เวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ (setting time) และการทดสอบหาความต้านแรงอัด (compressive strength) ของก้อนลูกบาศก์มอร์ต้าตามวิธีมาตรฐาน มทช.(ท) 105.1-2545 : มาตรฐานการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างน้ำตัวอย่างที่จะนำมาใช้ในงานคอนกรีตกับน้ำกลั่น ที่จะใช้ปูนซีเมนต์ในการทดสอบชนิดเดียวกัน

4. การรายงานผล

ให้รายงานผลการทดสอบใน บฟ. มทช.(ท) 104-2545 : มาตรฐานการทดสอบน้ำที่ใช้ในงานคอนกรีต โดยใช้รายงานผลการทดสอบเรื่องความขุ่น ความเป็นกรด-ด่าง และปริมาณของซัลเฟต และคลอไรด์ สำหรับระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์ และความต้านแรงอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ต้า ให้มีรายละเอียดถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง

5. เกณฑ์ตัดสิน และความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

5.1 น้ำที่ใช้ในงานคอนกรีต จะต้องมีเกณฑ์กำหนดคุณสมบัติที่ต้องการทางกายภาพ ดังนี้ คือ มีความขุ่น (turbidity) ไม่เกิน 2,000 หน่วยเอ็นทียู (NTU) และจะต้องมีความกรด-ด่าง อยู่ได้ช่วงระหว่าง pH 6.5-8.5

5.2 น้ำที่ใช้ในงานคอนกรีต จะต้องมีเกณฑ์กำหนดคุณสมบัติทางเคมี ที่ต้องการ ดังนี้ คือ

ต้องมีปริมาณซัลเฟตในน้ำไม่เกิน 10,000 ppm.

และจะต้องมีปริมาณของคลอไรด์ในน้ำไม่เกิน 20,000 ppm.

5.3 การทำการทดสอบเปรียบเทียบ ระหว่างน้ำตัวอย่างและน้ำกลั่น จะต้องให้ผลการทดสอบหาระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์ แตกต่างกันไม่เกิน 10 และผลการทดสอบหากำลังรับแรงอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ต้า จะต้องให้ค่ากำลังรับแรงอัดต่ำลงได้ไม่เกินร้อยละ 10

6. ข้อควรระวัง

6.1 หากทำความสะอาดขวดด้วยผงซักฟอก จะต้องล้างจนแน่ใจเสียก่อนว่าล้างออกจนหมดจริง ๆ

6.2 เมื่อเก็บตัวอย่างน้ำเรียบร้อยแล้ว ให้รีบนำส่งห้องปฏิบัติการ เพื่อทำการวิเคราะห์เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ และไม่ควรให้ขวดน้ำตัวอย่างถูกแสงแดด

7. หนังสืออ้างอิง

7.1 THE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRAN SPORTATION OFFICIALS ; AASHTO : T 26-72

7.2 AMERICAN SOCIETY FOR TEING AND MATERIALS ; ASTM DESIGNATION : D 1252-60, D 516-63T

7.3 PORTLAND CEMENT ASSOC. (1968) "DESIGN. AND CONTROL OF CONCRETE MIXTURE" PCA, SKOKI, 1968

7.4 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 257-2529 : น้ำบริโภค

****

โครงการ..... ..... สถานที่ก่อสร้าง..... ..... ผู้รับจ้างหรือผู้นำส่ง..... ชนิดตัวอย่าง.....ทดสอบครั้งที่..... ทดสอบวันที่.....แผ่นที่.....	บฟ. มทช.(ท) 104-2545 (หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) การทดสอบน้ำที่ใช้ในงานคอนกรีต	ทะเบียนทดสอบ.....	
		ผู้ทดสอบ	
		ผู้ตรวจสอบ	
		อนุมัติ	

น้ำ..... ปริมาณน้ำ..... cm^3

แหล่งน้ำ.....

คุณลักษณะ		ตัวอย่าง				
		1	2	3	4	5
ความขุ่น	NTU					
ความเป็นกรด – ด่าง	pH					
ปริมาณซัลเฟต	ppm.					
ปริมาณคลอไรด์	ppm.					
ระยะเวลาการก่อตัวของปูนซีเมนต์	min.					
ความต้านทานแรงอัดของก้อนลูกบาศก์มอร์ต้า	kg/cm^2					

หมายเหตุ :

มทช.(ท) 105.1-2545
มาตรฐานการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต
(compressive strength of concrete)

---

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ ครอบคลุมถึงการหาความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก และรูปลูกบาศก์ ซึ่งจะได้จากการหล่อในแบบหล่อ หรือจากการเจาะมาทดสอบก็ได้

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

2.1.1 เครื่องกดทดสอบ เครื่องกดเป็นแบบใดก็ได้ ที่ทำให้น้ำหนักกดได้สูงเพียงพออยู่ในช่วงใช้งานได้ และยอมให้ผิดพลาดได้ไม่เกินร้อยละ 1 เครื่องกดจะต้องสามารถเพิ่มแรงกดได้อย่างสม่ำเสมอและไม่กระตุก เครื่องทดสอบแบบหมุนเกลียว (screw-type) จะต้องเป็นเครื่องที่หัวกดสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 1.3 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับเครื่องทดสอบแบบไฮดรอลิกต้องเป็นเครื่องที่สามารถให้น้ำหนักด้วยอัตราคงที่ อยู่ในช่วง 1.43 ถึง 3.47 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที

ส่วนที่ใช้กดของเครื่องทดสอบ จะต้องประกอบด้วยแผ่นเหล็กทดสอบ (steel bearing plate) 2 แผ่น ขนาดใหญ่กว่าขนาดของแท่นทดสอบไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร แผ่นเหล็กตัวบนมีลักษณะเป็นแป้นกดฐานครึ่งทรงกลม (spherically seated block) แขวนยึดไว้กับเครื่องเพื่อให้ขยับตัวได้ ส่วนแผ่นเหล็กตัวล่าง จะต้องยึดติดกับส่วนล่างของเครื่อง และต้องมีความหนาอย่างน้อย 50 มิลลิเมตร ผิวสัมผัสของแผ่นเหล็กทั้งสอง จะต้องเรียบมีความเรียบคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 0.025 มิลลิเมตร ในระยะทาง 150 มิลลิเมตร การเพิ่มแรงกดต้องทำได้อย่างต่อเนื่อง ไม่มีจังหวะหยุดหรือกระตุกในระหว่างการเพิ่มแรงกด

2.1.2 เวอร์เนียร์คาลิเปอร์ มีความละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร

2.1.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก ซึ่งมีความละเอียดถึง 1 กรัม

2.1.4 เครื่องมือเคลือบผิวหน้าของแท่งคอนกรีต รูปทรงกระบอก

2.2 แบบฟอร์ม ให้บันทึกในแบบฟอร์ม บฟ. มทช.(ท) 105.1-2545 : มาตรฐานการทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต

2.3 การเตรียมตัวอย่าง

2.3.1 แท่งทดสอบซึ่งได้จากการหล่อจะต้องเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150±0.75 มิลลิเมตร และสูง 300±3 มิลลิเมตร หรือเป็นรูปลูกบาศก์ ขนาด 150±0.75 มิลลิเมตร โดยทำการเก็บตัวอย่างตาม มทช.(ท) 102-2545 : มาตรฐานการเก็บตัวอย่างคอนกรีตในหน้างานและการนำไปบำรุงรักษา

2.3.2 การเคลือบผิวหน้า (capping) แท่งทดสอบรูปทรงกระบอก วัสดุที่ใช้ในการเคลือบผิวหน้ารับแรงอัดของแท่งตัวอย่าง (capping compound) ต้องสามารถรับแรงอัดได้สูงกว่าแรงอัดของแท่งคอนกรีตทดสอบ การเคลือบปลายทั้งสองของแท่งทดสอบ ต้องเคลือบให้ตั้งฉากกับแกนของแท่งทดสอบ ความเรียบของผิวหน้าทดสอบที่ได้รับการเคลือบแล้ว ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร

2.3.3 แท่งทดสอบที่ได้จากการเจาะ จะต้องเป็นรูปกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 2 เท่า ของขนาดใหญ่ที่สุดของมวลหยาบ และต้องไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร ความยาวเมื่อยังไม่เคลือบปลายต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของเส้นผ่านศูนย์กลาง

ก่อนการเคลือบผิวแท่งคอนกรีตที่ได้จากการเจาะ จะต้องมีความคลาดเคลื่อนของความเรียบที่ผิวหน้าตัดไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ของมุมที่หน้าตัดทำกับแกนตามยาวจากมุมฉากไม่เกิน 5 องศา และเส้นผ่านศูนย์กลาง ที่หน้าตัดทั้งสองจากเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยไม่เกิน 2.5 มิลลิเมตร

ความเรียบของผิวหน้า แท่งทดสอบที่ได้จากการเจาะ เมื่อได้รับการเคลือบแล้ว ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิเมตร แท่งทดสอบ ซึ่งได้จากการเจาะให้เจาะเมื่อคอนกรีตมีอายุไม่ต่ำกว่า 14 วัน และต้องอยู่ในสภาพที่ดีไม่มีรอยร้าว รอยบิ่นหรือเป็นโพรง

2.3.4 ทำการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักแท่งทดสอบ โดยให้วัดหาเส้นผ่านศูนย์กลาง หรือขนาดหน้าตัดแท่งสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นเซนติเมตร ทศนิยม 2 ตำแหน่ง โดยเฉลี่ยค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ค่า ที่วัดได้หรือวัดขนาดสี่เหลี่ยมหน้าตัดที่ผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย หรือขนาดที่วัดได้นี้จะใช้เป็นค่าสำหรับคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดของแท่งทดสอบ ในการวัดความสูงให้วัดความสูงของแท่งทดสอบ รวมทั้งความหนาของวัสดุเคลือบผิวหน้าหน่วยเป็นเซนติเมตร ทศนิยม 2 ตำแหน่ง การชั่งน้ำหนักแท่งทดสอบ เพื่อหาความหนาแน่นของแท่งคอนกรีต ให้ชั่งน้ำหนักแท่งทดสอบเป็นกิโลกรัม ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

2.3.5 การวัดขนาดของแท่งทดสอบ ซึ่งได้จากการเจาะ ต้องวัดให้ได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร ภายหลังการเคลือบผิวหน้าของแท่งทดสอบให้เรียบการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง ให้วัด 3 ตำแหน่ง คือ ปลายทั้งสองข้าง และที่กึ่งกลางแท่งทดสอบ โดยวัดตำแหน่งละ 2 แนวของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ตั้งฉากกับค่าที่วัดได้ทั้ง 6 ค่า นำมาเฉลี่ยเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณ การวัดความยาว ให้วัด 4 ตำแหน่ง คือ ที่ผิวตามยาวของแท่งทดสอบ โดยมีระยะห่างตามเส้นรอบรูปของหน้าตัดขวางที่ปลายเท่ากัน แล้วหาค่าเฉลี่ยสำหรับนำไปใช้ในการคำนวณ

2.4 การทดสอบ

2.4.1 การวางแท่งทดสอบบนเครื่องกดต้องเป็นไปตามนี้

- ผิวแผ่นเหล็กด้านสัมผัสกับแท่งทดสอบต้องสะอาดปราศจากน้ำมัน
- จัดแนวศูนย์กลางของแผ่นเหล็กตั้งตัวบนและตัวล่างให้อยู่ในแนวเดียวกัน
- การวางแท่งทดสอบต้องให้แนวแกนของแท่งทดสอบทับกับแนวศูนย์กลางของเครื่องกดทดสอบ
- ผิวแผ่นเหล็กต้องสัมผัสกับแท่งทดสอบแนบสนิท

2.4.2 เมื่อวางแท่งทดสอบบนเครื่องกดทดสอบ และจัดให้แผ่นเหล็กสัมผัสกับแท่งทดสอบแนบสนิทดีแล้ว จึงเริ่มให้น้ำหนักกดอย่างสม่ำเสมอ โดยมีอัตราคงที่อยู่ในช่วง 1.43 ถึง 3.47 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที ในช่วงครึ่งแรกของน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบจะรับได้นั้น ยอมให้ใช้อัตราการกดสูงกว่ากำหนดได้ และห้ามปรับอัตราการกดหรือส่วนใด ๆ ของเครื่องทดสอบในขณะที่แท่งทดสอบอยู่ในช่วงจุดคราก (yield point) และจุดวิบัติ (failure)

2.4.3 ให้ทำการกดจนกระทั่ง แท่งทดสอบถึงจุดวิบัติ บันทึกค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบ สามารถรับได้ และให้บันทึกรูปลักษณะการแตกของแท่งทดสอบนั้นในแบบฟอร์ม ที่ บฟ. มทช.(ท) 105.1-2545 : มาตรฐาน

3. การคำนวณ

3.1 การคำนวณ ค่าความต้านแรงอัด ของแท่งทดสอบให้ละเอียด ถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง ได้จากสูตร

$$\text{ความต้านทานอัดของแท่งทดสอบ (กิโลเมตรต่อตารางเซนติเมตร)} = \frac{\text{น้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบรับได้ (กิโลกรัม)}}{\text{พื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของแท่งทดสอบ(ตารางเซนติเมตร)}}$$

3.2 การคำนวณหาค่าความหนาแน่นของแท่งทดสอบ ให้มีความละเอียดถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง ได้จากสูตร

$$\text{ความหนาแน่นของแท่งทดสอบ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)} = \frac{\text{น้ำหนักของแท่งทดสอบ (กิโลกรัม)}}{\text{ปริมาตรของแท่งทดสอบ (ลูกบาศก์เซนติเมตร)}}$$

3.3 ถ้าแท่งทดสอบที่ได้จากการเจาะมีส่วนสูงน้อยกว่า 2 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางให้แก้ไขค่าความต้านแรงอัดตาม ตารางที่ 1

ตารางที่ 1

อัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางกับตัวคูณที่ใช้แก้ไขค่าความต้านแรงอัด

อัตราส่วนความสูง ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งทดสอบ	ตัวคูณสำหรับแก้ไขค่าความด้านทานแรงอัด
1.75	0.99
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

4. **การรายงานผล**

ให้รายงานผลการทดสอบ โดยมีรายละเอียดตามรายการดังต่อไปนี้

- หมายเลขประจำแท่งทดสอบ
- ขนาดของแท่งทดสอบ
- แรงอัดสูงสุด
- ความต้านแรงอัด
- ลักษณะการแตก
- ข้อบกพร่อง ของแท่งทดสอบ หรือการเคลือบ
- ประวัติการบ่ม
- วัน เดือน ปี ที่ทดสอบ และอายุของแท่งทดสอบ เมื่อทดสอบ
- ความหนาแน่น

บันทึกผลต่าง ๆ เหล่านี้ ในแบบฟอร์มในหัวข้อที่ 2.2

5. **เกณฑ์การตัดสิน และความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้**

5.1 เกณฑ์ในการพิจารณาค่าความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบให้เป็นไปตาม มทช. 101-2545 : มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก

5.2 การคำนวณ ค่าความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบ ให้แสดงในหน่วยกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีความละเอียดถึง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

5.3 การคำนวณ ค่าความหนาแน่นของแท่งทดสอบ ให้แสดงในหน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความละเอียดถึง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง

5.4 การวัดขนาดของแท่งทดสอบให้วัดในหน่วย เซนติเมตร และละเอียดถึงทศนิยม 2 ตำแหน่ง

5.5 สำหรับแท่งทดสอบรูปทรงกระบอก ที่ได้จากการหล่อหรือการเจาะ ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง ยอมให้คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ร้อยละ ± 0.5 และความสูงยอมให้คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ร้อยละ ± 1.0

5.6 สำหรับแท่งทดสอบรูปลูกบาศก์ มิติทุกด้านยอมให้คลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ร้อยละ ± 0.5

6. ข้อควรระวัง

6.1 ในกรณีที่ทดสอบแท่งทดสอบที่บ่มชื้น หากเป็นแท่งทดสอบรูปลูกบาศก์ต้องเช็ดผิวให้แห้งและทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง และหากเป็นแท่งทดสอบรูปทรงกระบอกต้องเช็ดผิวให้แห้ง และเคลือบผิวหน้าแท่งทดสอบทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงแล้วทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง

6.2 สำหรับแท่งทดสอบที่ได้จากการเจาะ นำมาแช่ในน้ำปูนขาวอิ่มตัวที่อุณหภูมิห้อง ไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง แล้วจึงเช็ดผิวให้แห้งเคลือบผิวหน้าแท่งทดสอบทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง แล้วทดสอบภายใน 1 ชั่วโมง

6.3 การชั่งน้ำหนักเพื่อหาความหนาแน่นของแท่งทดสอบ ให้ชั่งน้ำหนักเฉพาะแท่งทดสอบไม่รวมน้ำหนักของวัสดุที่เคลือบผิวหน้า

6.4 ควรมีการตรวจสอบเครื่องกดที่ใช้งานประจำสม่ำเสมอ ปีละครั้ง และเมื่อสงสัยว่าเครื่องทดสอบอาจให้ผลทดสอบไม่ถูกต้อง หรือหลังจากการซ่อม หรือประกอบใหม่ให้ทำการตรวจสอบทุกครั้ง

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 THE AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY OFFICIALS "STANDARD SPECIFICATION FOR HIGHWAY MATERIALS AND METHOD OF SAMPLING AND TESTING" AASHO T 22-66

7.2 BRITISH STANDARD 1881 : PART 4 : 1974

7.3 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 409-2525 : วิธีทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่งคอนกรีต

.....

โครงการ.....	บฟ. มทช.(ท) 105.1-2545	ทะเบียนทดสอบ	
.....	(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ)	ผู้ทดสอบ	
สถานที่ก่อสร้าง.....	**การทดสอบความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีต**		
.....	(compressive strength of concrete)	ผู้ตรวจสอบ	
ผู้รับจ้างหรือผู้นำส่ง.....			
ชนิดตัวอย่าง.....ทดสอบครั้งที่.....		อนุมัติ	
ทดสอบวันที่.....แผ่นที่.....			

คุณลักษณะ	แท่งทดสอบ			
	1	2	3	4
พื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของแท่งทดสอบ (1) $cm.^2$				
น้ำหนักของแท่งทดสอบ (2) kg.				
ปริมาตรของแท่งทดสอบ (3) $cm.^3$				
น้ำหนักกดสูงสุดที่แท่งทดสอบรับได้ (4) kg.				
ความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบ = (4)/(1), $kg./cm.^2$				
ความหนาแน่นของแท่งทดสอบ = (2)/(3), kg/cm^3				

หมายเหตุ :	ลักษณะการแตกของแท่งทดสอบ			

มทช.(ท) 501.1-2545
วิธีการทดสอบความแน่น แบบมาตรฐาน
(standard compaction test)

---

1. **ขอบข่าย**

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดิน กับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัดในแบบที่กำหนดขนาดไว้ด้วยตุ้มเหล็กหนัก 2.5 กก. (5.5 ปอนด์) ระยะปล่อยตุ้มตกกระทบสูง 305 มม. (12 นิ้ว)

วิธีทดสอบ มี 4 วิธี ต่าง ๆ กันดังนี้

วิธี ก. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ตามวิธีพร๊อกเตอร์แบบมาตรฐาน (standard proctor)

วิธี ข. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ตามวิธีแอสโต ที 99 (AASHTO T 99)

วิธี ค. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ตามวิธีพร๊อกเตอร์แบบมาตรฐาน (standard proctor)

วิธี ง. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ตาม วิธีแอสโต ที 99 (AASHTO T 99)

การใช้วิธีทดสอบวิธีใด ให้เป็นไปตามรายการที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง ถ้าไม่ได้ระบุวิธีการทดสอบให้ใช้วิธี ก.

2. **วิธีทำ**

2.1 **เครื่องมือและอุปกรณ์** ประกอบด้วย

2.1.1 **แบบ** (mold) ทำด้วยโลหะมีลักษณะทรงกระบอกกลวง ผนังแข็งแรงมี 2 ขนาด มีปลอกที่สามารถถอดได้สูง 60 มม. (2 3/8 นิ้ว) เพื่อให้สามารถบดอัดดินให้สูง และมีปริมาตรตามต้องการ แบบและปลอกต้องยึดกันได้อย่างมั่นคงกับฐานแบบซึ่งสามารถถอดได้ ทำด้วยวัสดุชนิดเดียวกับ แบบ ดูรูปที่ 1 และ 2

2.1.1.1 แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4 นิ้ว) สูง 116.43±0.127 มม. (4.584±0.005 นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในแบบ 101.6±0.406 มม. (4.000±0.016 นิ้ว) โดยมี

ขนาดความจุ 0.000943±0.000008 ลบ.ม. (0.0333±0.0003 ลบ.ฟ.) และมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 60 มม. (2 3/8 นิ้ว)

2.1.1.2 แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) สูง 116.43±0.127 มม. (4.584±0.005 นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในแบบ 152.4±0.6604 มม. (6.000±0.026 นิ้ว) โดยมีขนาดความจุ 0.002124±0.000021 ลบ.ม. (0.07500±0.00075 ลบ.ฟ.) และมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 60 มม. (2 3/8 นิ้ว)

2.1.2 **ตุ้ม** (rammer) ทำด้วยโลหะทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8±0.127 มม. (2.000±0.005 นิ้ว) น้ำหนักรวมทั้งด้ามถือ 2.495±0.009 กก. (5.50±0.02 ปอนด์) มีปลอกบังคับให้ยกได้สูง 304.8±1.524 มม. (12.000±0.06 นิ้ว) เหนือระดับดินที่บดอัดโดยตุ้มตกลงกระทบได้อย่างอิสระ ปลอกบังคับต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มม. (3/8 นิ้ว) ทำมุมกัน 90 องศา และห่างจากปลายปลอกทั้งสองข้างประมาณ 19 มม. (3/4 นิ้ว)

2.1.3 **เครื่องดันตัวอย่างออกจากแบบ** (sample extruder) ประกอบด้วยแม่แรง (jack) ก้านโยกแม่แรง โครงเหล็กจับแบบขณะดันตัวอย่างออกจากแบบ ใช้ดันตัวอย่างที่บดอัดในแบบแล้วออกจากแบบ หรืออาจใช้เครื่องมืออย่างอื่น ที่สามารถขุดแคะตัวอย่างดินออกจากแบบก็ได้

2.1.4 **เครื่องชั่ง** (balance and scale) สามารถชั่งน้ำหนักได้อย่างน้อย 11.5 กก. และอ่านละเอียดได้ถึง 5 กรัม 1 เครื่อง และสามารถชั่งน้ำหนักได้อย่างน้อย 1,000 กรัม อ่านละเอียดได้ถึง 0.01 กรัม อีก 1 เครื่อง

2.1.5 **ตู้อบ** (oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) สำหรับอบดินชื้นให้แห้ง

2.1.6 **เหล็กปาดดิน** (strainght edge) ทำด้วยเหล็กซุบแข็ง มีขอบเรียบยาวไม่น้อยกว่า 254 มม. (10 นิ้ว) มีขอบที่ลบมุมด้านหนึ่ง อีกด้านหนึ่งเรียบตรงตลอดความยาวของเหล็กปาดดิน โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 0.1 (0.01 นิ้วต่อความยาว 10 นิ้ว) ในช่วงที่ใช้ปาดแต่งผิวดินในแบบ

2.1.7 **ตะแกรงร่อนดิน** (sieve) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 203 มม. (8 นิ้ว) สูง 50.8 มม.(2 นิ้ว) มี 2 ขนาด คือ 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) และ 4.75 มม. (เบอร์ 4)

2.1.8 **เครื่องผสมดิน** (mixing tool) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการคลุกผสมดินให้เข้ากัน ได้แก่ ถาดใส่ดิน ช้อนตักดิน พลั่ว เกรียง ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ เป็นต้น หรืออาจเป็นเครื่องผสมดินที่ทำงานด้วยเครื่องจักร ซึ่งสามารถคลุกเคล้าผสมตัวอย่างดินให้เข้ากับน้ำที่ผสมเพิ่มลงไปในตัวอย่างดินทีละน้อย ๆ ได้

2.1.9 **ตลับบรรจุดิน** (container) ทำด้วยโลหะมีฝาปิดป้องกันความชื้นระเหยออกไปก่อนชั่งน้ำหนัก หรือระหว่างการชั่งน้ำหนักเพื่อหาความชื้นในดิน

2.2 **การเตรียมตัวอย่าง**

2.2.1 ถ้าตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบชื้นให้ผึ่งให้แห้งจนสามารถใช้เกรียงบดให้ร่วนได้ หรือใช้ตู้อบอบดินให้แห้งก็ได้แต่ต้องใช้อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส (140 องศาฟาเรนไฮต์) แล้วบดให้เม็ดดินหลุดออกจากกัน โดยไม่ทำให้เม็ดดินแตก

2.2.2 ในกรณีที่ขนาดของตัวอย่างเม็ดใหญ่ที่สุดโตกว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ให้ใช้ตะแกรงขนาด 19.0 มม.(3/4 นิ้ว) ร่อนเอาดินที่ค้างบนตะแกรงนี้ออก แล้วแทนด้วยดินที่ร่อนผ่านตะแกรงนี้แล้วค้างบนตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) จำนวนน้ำหนักเท่ากันใส่ลงแทนแล้วคลุกเคล้ากันให้ทั่วทำการแบ่งสี่ (quartering) หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (sample splitter)

2.2.3 ในกรณีที่ขนาดของตัวอย่างเม็ดใหญ่ที่สุดไม่โตกว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ให้แบ่งตัวอย่างตามวิธีในข้อ 2.2.2

2.2.4 ในกรณีที่จะทำการทดสอบตามวิธี ค. หรือ ง. ให้ใช้ตัวอย่างที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) เท่านั้น ส่วนที่ค้างบนตะแกรงนี้ให้ทิ้งไป

2.2.5 ให้เตรียมตัวอย่างหนักประมาณ 6,000 กรัม สำหรับการทดสอบวิธี ข. และ ง. ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง การเตรียมตัวอย่างต้องเตรียมให้พอทดสอบได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง

2.3 **แบบฟอร์ม** ให้ใช้แบบฟอร์ม ที่ บฟ. มทช.(ท) 501.1-2545

2.4 **การทดสอบ**

2.4.1 **การทดสอบวิธี ก.**

2.4.1.1 นำดินตัวอย่างมาพรมน้ำให้ทั่วเพื่อให้ดินชื้น โดยเมื่อคลุกผสมกันแล้วจะมีความชื้นต่ำกว่าปริมาณความชื้นที่ให้ความแน่นสูงสุด (optimum moisture content) ร้อยละ 4

2.4.1.2 ใส่ดินที่ผสมน้ำแล้ว ลงในแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4 นิ้ว) ซึ่งมีปลอก (collar) สวมอยู่เรียบร้อยแล้ว โดยประมาณว่าเมื่อบดอัดแล้วจะเหลือดินสูง 1/3 ของความสูงของแบบ แล้วบดอัดโดยตุ้มยกสูง 305 มม. (12 นิ้ว) จำนวน 25 ครั้ง ให้ทั่วผิวของดินในแบบ

2.4.1.3 ทำตามวิธีในข้อ 2.4.1.2 ซ้ำอีก 2 ครั้ง จนดินที่ถูกบดอัดแน่นในแบบมีความสูงกว่าแบบประมาณ 10 มม.

2.4.1.4 ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดดินปาดแต่งหน้าดินในแบบให้เรียบเท่ากับระดับขอบบนของแบบถ้าดินก้อนใหญ่หลุดออกให้เติมดินตัวอย่างลงไปแทนแล้วบดให้แน่นพอควร แต่งจนเรียบแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก เมื่อหักน้ำหนักของแบบออก จะได้น้ำหนักของดินชื้น ต้องอ่านเครื่องชั่งละเอียดถึง 5 กรัม

2.4.1.5 แกะดินออกจากแบบแล้วผ่าตามแนวตั้ง ผ่านจุดศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างดิน เก็บดินจากที่ผ่าประมาณ 300 กรัม ใส่ตลับบรรจุดินชั่งน้ำหนักทันที อ่านละเอียดถึง 0.01 กรัม

2.4.1.6 นำดินในตลับบรรจุดินไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) อย่างน้อย 12 ชั่วโมง แล้วชั่งหาน้ำหนักอ่านละเอียดถึง 0.01 กรัม

2.4.1.7 บดดินตัวอย่างที่แกะออกจากแบบที่เหลือให้ร่วน แล้วคลุกผสมกับดินในตอนแรกให้เข้ากัน พรมน้ำให้ความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ถึง 2

2.4.1.8 ดำเนินการตามข้อ 2.4.1.2 ถึง 2.4.1.7 โดยเพิ่มน้ำทุกครั้งจนกว่าน้ำหนักดินที่บดอัดในแบบลดลง หรือไม่เปลี่ยนแปลง หรืออาจลดน้ำที่ผสมลงเมื่อพบว่าการเพิ่มน้ำแล้วน้ำหนักดินที่บดอัดในแบบลดลง

2.4.2 **การทดสอบวิธี ข.** ดำเนินวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับ**วิธี ก.** แต่ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) บดอัด 3 ชั้น ๆละ 56 ครั้ง

2.4.3 **การทดสอบวิธี ค.** ดำเนินวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับ**วิธี ก.** แต่ใช้ตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) บดอัด 3 ชั้น ๆละ 25 ครั้ง

2.4.4 **การทดสอบวิธี ง.** ดำเนินวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับ**วิธี ค.** แต่ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) บดอัด 3 ชั้น ๆละ 56 ครั้ง

3. การคำนวณ

3.1 คำนวณหาค่าความชื้นในดินเป็นร้อยละ

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

เมื่อ W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

W_1 = น้ำหนักของดินชื้น หน่วยเป็นกรัม

W_2 = น้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

3.2 คำนวณหาค่าความแน่นชื้น (wet density)

$$\gamma_w = \frac{A}{V}$$

เมื่อ γ_w = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

A = น้ำหนักดินชื้นที่บดอัดในแบบ หน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของแบบ ซึ่งเท่ากับปริมาตรของดินชื้นที่บดอัดในแบบ หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

3.3 คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (dry density)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1+\frac{W}{100}}$$

เมื่อ γ_d = ความแน่นแห้งของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

γ_w = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

4. **การรายงาน**

4.1 นำค่าความชื้นในดิน (W) และค่าความแน่นแห้งของดิน (γ_d) ในแต่ละครั้งของการทดสอบมากำหนดจุดลงในกระดาษกราฟ โดยให้ค่าความชื้นในดินอยู่ในแกนนอนและค่าความแน่นแห้งของดินอยู่ในแกนตั้ง

4.2 เขียนเส้นกราฟให้ผ่านจุดที่กำหนดไว้ หรือใกล้เคียงให้มากที่สุด จะได้เส้นกราฟลักษณะเป็นเส้นโค้งรูประฆังคว่ำ (parabola curve) จุดสูงที่สุดของเส้นโค้ง คือค่าความแน่นแห้งสูงสุดของดินนั้น ตามกรรมวิธีบดอัดที่ใช้ทดสอบนี้

4.3 ให้รายงานค่าความแน่นแห้งสูงสุด หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด เป็นร้อยละ

5. **ข้อควรระวัง**

5.1 การประมาณปริมาตรน้ำที่ใช้ผสมดินที่เกาะติดเป็นก้อน (cohesive soil) ควรเผื่อให้ต่ำและสูงกว่าจำนวนน้ำที่ทำให้ได้ค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) ดินพวกดินทราย (cohesionless soil) ควรผสมน้ำตั้งแต่น้อยที่สุด คือ เริ่มจากดินผึ่งแห้งจนกระทั่งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

5.2 ในการบดอัดดินให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคงแข็งแรง ราบเรียบ ขณะทำการบดอัดแบบต้องไม่กระดอนไปมา

5.3 ควรเตรียมตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดสอบทางด้านแห้งกว่า (dry side) ความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) ไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง และให้มีตัวอย่างทดสอบพอทดสอบทางด้านชื้นกว่า (wet side) ความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) 1 ตัวอย่าง

5.4 ดินชนิดที่มีปริมาณดินเหนียวมาก (heavy clay) หลังจากผึ่งให้แห้งแล้วให้บดด้วยค้อนยาง หรือใช้เครื่องบด จนได้ตัวอย่างที่สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

5.5 ปริมาตรของแบบ ให้ทำการวัดและคำนวณ เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ ห้ามใช้ปริมาตรที่แสดงไว้ โดยประมาณในรูป

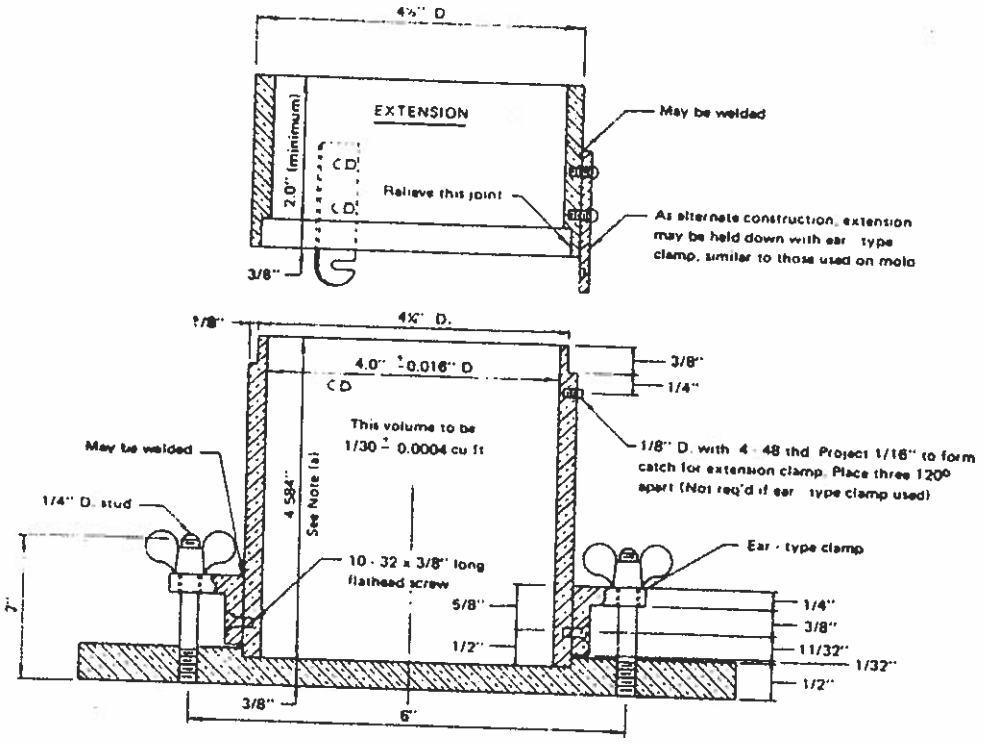
5.6 แบบที่ใช้งานแล้ว ต้องคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 50 ของความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

6. หนังสืออ้างอิง

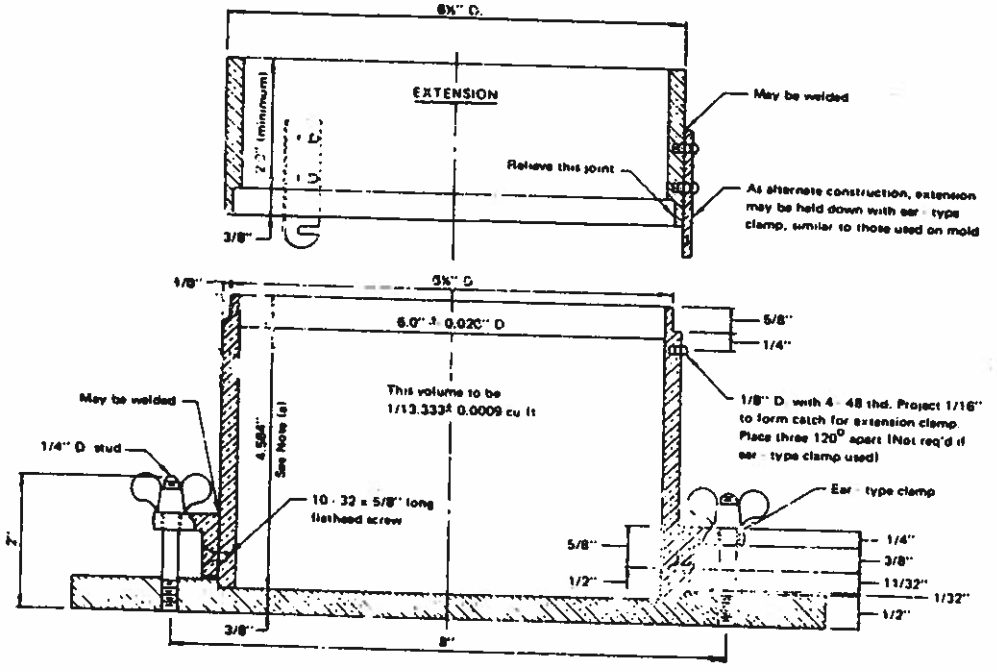
6.1 เอกสารวิธีการทดสอบ compaction test แบบมาตรฐาน กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

6.2 STANDARD METHOD OF TEST FOR THE MOISTURE-DENSITY RELATIONS OF SOIL USING A 5.5 lb = (2.5 kg) RAMMER AND A 12 - in. (305 mm.) DROP ; AASHTO DESIGNATION : T 99-74

****



รูปที่ 1 แบบ (mold) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว



รูปที่ 2 แบบ (mold) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว

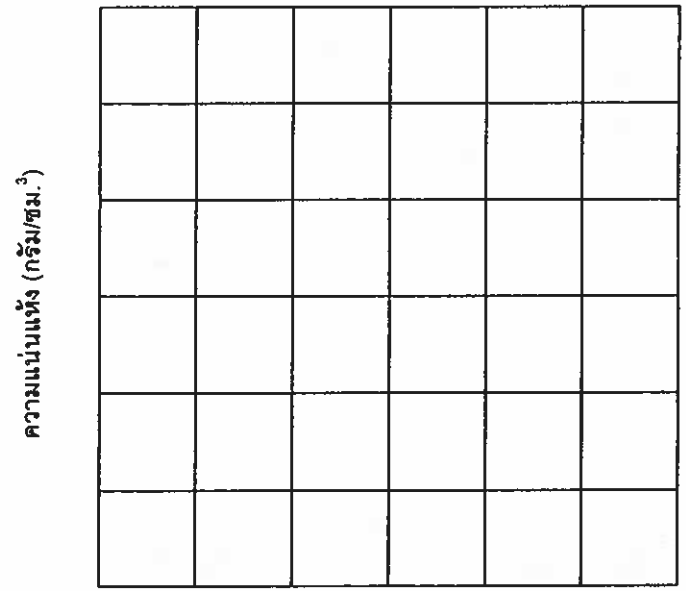
โครงการ.....	บฟ.มทช.(ท) 501.1-2545	ทะเบียนทดสอบ.....	
.....		ผู้ทดสอบ	
สถานที่ก่อสร้าง.....	(หน่วยที่ทำการทดสอบ)		
ผู้รับจ้างหรือผู้นำส่ง.....	การทดสอบความแน่นแบบมาตรฐาน	ผู้ตรวจสอบ	
ชนิดตัวอย่าง..... ทดสอบครั้งที่.....	ปริมาตรแบบ..... ซม.^{3} ☐ Std. AASHTO		
ทดสอบวันที่..... แผ่นที่.....	น้ำหนักแบบ..... กก. ☐ Std. Proctor	อนุมัติ	

ความแน่น						
ครั้งที่		1	2	3	4	5
น.น.แบบ + ดินที่ถูกบดอัด	(กรัม)					
น.น.แบบ	(กรัม)					
น.น.ดินที่ถูกบดอัด	(กรัม)					
ความแน่นชื้น	(กรัม/ซม.^{3})					
ความแน่นแห้ง	(กรัม/ซม.					
ปริมาณความชื้น						
ตลับบรรจุหมายเลข						
น.น.ตลับ + ดินชื้น	(กรัม)					
น.น.ตลับ + ดินอบแห้ง	(กรัม)					
น.น.น้ำ	(กรัม)					
น.น.ตลับ	(กรัม)					
น.น.ดินอบแห้ง	(กรัม)					
ความชื้นในดิน	(ร้อยละ)					

หมายเหตุ :

ความแน่นแห้งสูงสุด ..... (กรัม/ซม.^{3})

ความชื้นที่ความแน่นสูงสุด ..... (ร้อยละ)



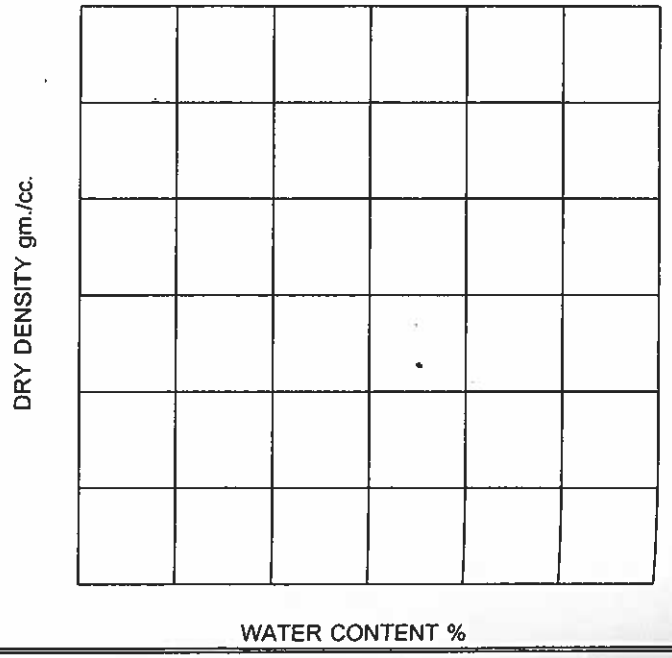
โครงการ.....	บฟ.มทช.(ท) 501.1-2545	ทะเบียนทดสอบ.....	
.....		ผู้ทดสอบ	
สถานที่ก่อสร้าง.....	(หน่วยที่ทำการทดสอบ)		
ผู้รับจ้างหรือผู้นำส่ง.....	การทดสอบความแน่นแบบมาตรฐาน	ผู้ตรวจสอบ	
ชนิดตัวอย่าง..... ทดสอบครั้งที่.....	ปริมาตรแบบ..... ซม.^{3} ☐ Std. AASHTO		
ทดสอบวันที่..... แผ่นที่.....	น้ำหนักแบบ..... กก. ☐ Std. Proctor	อนุมัติ	

DENSITY						
DETERMINATION No.		1	2	3	4	5
WT. MOLD+COMPACTED SOIL	gm.					
WT. MOLD	gm.					
WT. SOIL	gm.					
WET DENSITY	gm./cc.					
DRY DENSITY	gm./cc.					
WATER CONTENT						
CONTAINER No.						
WT. CONTAINER + WET SOIL	gm.					
WT. CONTAINER + DRY SOIL	gm.					
WT. WATER	gm.					
WT. CONTAINER	gm.					
WT. DRY SOIL	gm.					
WATER CONTENT	%					

REMARKS:

MAXIMUM DRY DENSITY = ... gm./cc.

OPT. MOISTURE CONTENT = ... %



มทช.(ท) 501.2-2545
วิธีการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน
(modified compaction test)

---

1. **ขอบข่าย**

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดิน กับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัดในแบบที่กำหนดขนาดไว้ด้วยตุ้มเหล็กหนัก 4.54 กก.(10 ปอนด์)ระยะปล่อยตุ้มตกกระทบสูง 457 มม.(18 นิ้ว)

วิธีทดสอบ มี 4 วิธี ต่าง ๆ กันดังนี้

วิธี ก. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ตาม วิธีพร๊อกเตอร์แบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified proctor)

วิธี ข. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ตามวิธีแอสโต ที 180 (AASHTO T 180)

วิธี ค. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ตามวิธีพร๊อกเตอร์แบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified proctor)

วิธี ง. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ตามวิธีแอสโต ที 180 (AASHTO T 180)

การใช้วิธีทดสอบวิธีใดให้เป็นไปตามรายการที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้างถ้าไม่ได้ระบุวิธีการทดสอบให้ใช้ **วิธี ก.**

2. **วิธีทำ**

2.1 **เครื่องมือและอุปกรณ์** ประกอบด้วย

2.1.1 **แบบ** (mold) ทำด้วยโลหะมีลักษณะทรงกระบอกกลวง ผนังแข็งแรงมี 2 ขนาด มีปลอกที่สามารถถอดได้สูง 60 มม.(2 3/8 นิ้ว) เพื่อให้สามารถบดอัดดินให้สูง และมีปริมาตรตามต้องการ แบบและปลอกต้องยึดกันได้อย่างมั่นคงกับฐานแบบซึ่งสามารถถอดได้ ทำด้วยวัสดุชนิดเดียวกับแบบ ดูรูปที่ 1 และ 2

2.1.1.1 แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม.(4 นิ้ว) สูง 116.43±0.127 มม.(4.584±0.005 นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในแบบ 101.6±0.406 มม.(4.000±0.016 นิ้ว) โดยมีขนาดความจุ 0.000943±0.000008 ลบ.ม. (0.0333±0.0003 ลบ.ฟ.) และมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 60 มม. (2 3/8 นิ้ว)

2.1.1.2 แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) สูง 116.43±0.127 มม.(4.584±0.005นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในแบบ 152.4±0.6604 มม.(6.000±0.026 นิ้ว) โดยมีความจุ 0.002124±0.000021 ลบ.ม.(0.07500±0.00075 ลบ.ฟ.) และมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 60 มม. (2 3/8 นิ้ว)

2.1.2 **ตุ้ม** (rammer) ทำด้วยโลหะทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8±0.127 มม. (2.000±0.005 นิ้ว) น้ำหนักรวมทั้งด้ามถือ 2.5359±0.0081 กก. (10.00±0.02 ปอนด์) มีปลอกบังคับให้ยกได้สูง 457.2±1.524 มม. (18.00±0.06 นิ้ว) เหนือระดับดินที่บดอัดโดยตุ้มตกลงกระทบได้อย่างอิสระ ปลอกบังคับต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มม. (3/8 นิ้ว) ทำมุมกัน 90 องศา และห่างจากปลายปลอกทั้งสองข้างประมาณ 19 มม. (3/4 นิ้ว)

2.1.3 **เครื่องดันตัวอย่างออกจากแบบ** (sample extruder) ประกอบด้วยแม่แรง (jack) ก้านโยกแม่แรง โครงเหล็กจับแบบขณะดันตัวอย่างออกจากแบบ ใช้ดันตัวอย่างที่บดอัดในแบบแล้วออกจากแบบ หรืออาจใช้เครื่องมืออย่างอื่น ที่สามารถขุดแคะตัวอย่างดินออกจากแบบก็ได้

2.1.4 **เครื่องชั่ง** (balance and scale) สามารถชั่งน้ำหนักได้อย่างน้อย 11.5 กก. และอ่านละเอียดได้ถึง 5 กรัม 1 เครื่อง และสามารถชั่งน้ำหนักได้อย่างน้อย 1,000 กรัม อ่านละเอียดได้ถึง 0.01 กรัม อีก 1 เครื่อง

2.1.5 **ตู้อบ** (oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) สำหรับอบดินชื้นให้แห้ง

2.1.6 **เหล็กปาดดิน** (strainght edge) ทำด้วยเหล็กชุบแข็ง (hardened steel) มีขอบเรียบยาวไม่น้อยกว่า 254 มม. (10 นิ้ว) มีขอบที่ลบมุมด้านหนึ่ง อีกด้านหนึ่งเรียบตรงตลอดความยาวของเหล็กปาดดิน โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 0.1 (0.01 นิ้วต่อความยาว 10 นิ้ว) ในช่วงที่ใช้ปาดแต่งผิวดินในแบบ

2.1.7 **ตะแกรงร่อนดิน** (sieve) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 203 มม. (8 นิ้ว) สูง 50.8 มม.(2 นิ้ว) มี 2 ขนาด คือ 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) และ 4.75 มม. (เบอร์ 4)

2.1.8 **เครื่องผสมดิน** (mixing tool) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการคลุกผสมดินให้เข้ากัน ได้แก่ ถาดใส่ดิน ช้อนตักดิน พลั่ว เกรียง ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ เป็นต้น หรืออาจเป็นเครื่องผสมดินที่ทำงานด้วยเครื่องจักร ซึ่งสามารถคลุกเคล้าผสมตัวอย่างดินให้เข้ากับน้ำที่ผสมเพิ่มลงไปในตัวอย่างดินทีละน้อย ๆ ได้

2.1.9 **ตลับบรรจุดิน** (container) ทำด้วยโลหะมีฝาปิดป้องกันความชื้นระเหยออกไปก่อนชั่งน้ำหนัก หรือระหว่างการชั่งน้ำหนักเพื่อหาความชื้นในดิน

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

2.2.1 ถ้าตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบชื้นให้ผึ่งให้แห้งจนสามารถใช้เกรียงบดให้ร่วนได้ หรือใช้ตู้อบอบดินให้แห้งก็ได้แต่ต้องใช้อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส (140 องศาฟาเรนไฮต์) แล้วบดให้เม็ดดินหลุดออกจากกัน โดยไม่ทำให้เม็ดดินแตก

2.2.2 ในกรณีที่ขนาดของตัวอย่างก้อนใหญ่ที่สุดโตกว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ร่อนเอาดินที่ค้างบนตะแกรงนี้ออกแล้วแทนด้วยดินที่ร่อนผ่านตะแกรงนี้แล้วค้างบนตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) จำนวนน้ำหนักเท่ากันใส่ลงแทนแล้วคลุกเคล้ากันให้ทั่วทำการแบ่งสี่ (quartering) หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (sample splitter)

2.2.3 ในกรณีที่ขนาดของตัวอย่างก้อนใหญ่ที่สุดไม่โตกว่า 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ให้แบ่งตัวอย่างตามวิธีในข้อ 2.2.2

2.2.4 ในกรณีที่จะทำการทดสอบตาม**วิธี ค. หรือ ง.** ให้ใช้ตัวอย่างที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75มม. (เบอร์ 4) เท่านั้น ส่วนที่ค้างบนตะแกรงนี้ให้ทิ้งไป

2.2.5 ให้เตรียมตัวอย่างหนักประมาณ 6,000 กรัม (14 ปอนด์) สำหรับการทดสอบวิธี ข. และ ง. ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง และหนักประมาณ 3,000 กรัม (7 ปอนด์) สำหรับการทดสอบวิธี ก. และ ค. ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง การเตรียมตัวอย่างต้องเตรียมให้พอทดสอบได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง

2.3 **แบบฟอร์ม** ให้ใช้แบบฟอร์ม ที่ บฟ. มทช.(ท) 501.2-2545

2.4 **การทดสอบ**

2.4.1 **การทดสอบวิธี ก.**

2.4.1.1 นำตัวอย่างดินที่เตรียมมาพรมน้ำให้ทั่วเพื่อให้ดินชื้นโดยเมื่อคลุกผสมกันแล้วจะมีความชื้นต่ำปริมาณความชื้นที่ให้ความแน่นสูงสุด (optimum moisture content) ร้อยละ 4 ใส่ดินที่ผสมน้ำแล้ว ลงในแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม.(4 นิ้ว) ซึ่งมีปลอก (collar) สวมอยู่เรียบร้อยแล้ว โดยประมาณว่าเมื่อบดอัดแล้วจะเหลือดินสูง 1/5 ของความสูงของแบบ แล้วบดอัดโดยตุ้มยกสูง 457 มม. (18 นิ้ว) จำนวน 25 ครั้ง ให้ทั่วผิวของดินในแบบ

2.4.1.2 ทำตามวิธีในข้อ 2.4.1.1 ซ้ำอีก 4 ครั้ง จนดินที่ถูกบดอัดแน่นในแบบมีความสูงกว่าแบบประมาณ 10มม.

2.4.1.3 ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดดินปาดแต่งหน้าดินในแบบให้เรียบเท่ากับระดับขอบบนของแบบ ถ้าดินก้อนใหญ่หลุดออกให้เติมดินตัวอย่างลงไปแทนแล้วบดให้แน่นพอควรจนเรียบแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก เมื่อหักน้ำหนักของแบบออก จะได้น้ำหนักของดินชื้น ต้องอ่านเครื่องชั่งละเอียดถึง 5 กรัม

2.4.1.4 แกะดินออกจากแบบ แล้วผ่าตามแนวดิ่งผ่านจุดศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างดิน เก็บดินจากที่ผ่าประมาณ 300 กรัม ใส่ตลับบรรจุดินชั่งน้ำหนักทันที อ่านละเอียดถึง 0.01 กรัม

2.4.1.5 นำดินในตลับบรรจุดินไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) อย่างน้อย 12 ชั่วโมง แล้วชั่งหาน้ำหนักอ่านละเอียดถึง 0.01 กรัม

2.4.1.6 บดดินตัวอย่างที่แกะออกจากแบบที่เหลือให้ร่วน แล้วคลุกผสมกับดินในตอนแรกให้เข้ากัน พรมน้ำให้ความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ถึง 2

2.4.1.7 ดำเนินการตามข้อ 2.4.1.1 ถึง 2.4.1.6 โดยเพิ่มน้ำทุกครั้งจนกว่าน้ำหนักดินที่บดอัดในแบบลดลงหรือไม่เปลี่ยนแปลง หรืออาจลดน้ำที่ผสมลงเมื่อพบว่าการเพิ่มน้ำแล้วน้ำหนักดินที่บดอัดในแบบกลับลดลง

2.4.2 **การทดสอบวิธี ข.** ดำเนินวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับ**วิธี ก.** แต่ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) บดอัด 3 ชั้น ๆละ 56 ครั้ง

2.4.3 **การทดสอบวิธี ค.** ดำเนินวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับ**วิธี ก.** แต่ใช้ตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) บดอัด 3 ชั้น ๆละ 25 ครั้ง

2.4.4 **การทดสอบวิธี ง.** ดำเนินวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับ**วิธี ก.** แต่ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) บดอัด 3 ชั้น ๆละ 56 ครั้ง

3. การคำนวณ

3.1 คำนวณหาค่าความชื้นในดินเป็นร้อยละ

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

เมื่อ W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

W_1 = น้ำหนักของดินชื้น หน่วยเป็นกรัม

W_2 = น้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

3.2 คำนวณหาค่าความแน่นชื้น (wet density)

$$\gamma_w = \frac{A}{V}$$

เมื่อ γ_w = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

A = น้ำหนักดินชื้นที่บดอัดในแบบ หน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของแบบ ซึ่งเท่ากับปริมาตรของดินชื้นที่บดอัดในแบบ หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

3.3 คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (dry density)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1+\frac{W}{100}}$$

เมื่อ γ_d = ความแน่นแห้งของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

γ_w = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

4. การรายงาน

4.1 นำค่าความชื้นในดิน (W) และค่าความแน่นแห้งของดิน (γ_d) ในแต่ละครั้งของการทดสอบมากำหนดจุดลงในกระดาษกราฟ โดยให้ค่าความชื้นในดินอยู่ในแกนนอนและค่าความแน่นแห้งของดินอยู่ในแกนตั้ง

4.2 เขียนเส้นกราฟให้ผ่านจุดที่กำหนดไว้ หรือใกล้เคียงให้มากที่สุด จะได้เส้นกราฟลักษณะเป็นเส้นโค้ง รูประฆังคว่ำ (parabola curve) จุดสูงที่สุดของเส้นโค้งคือค่าความแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density) ของดินนั้น ตามกรรมวิธีบดอัดที่ใช้ทดสอบนี้

4.3 ที่จุดค่าความแน่นแห้งสูงสุดของดิน เมื่อลากเส้นตรงขนานกับแกนตั้งลงมาตัดแกนนอน จะได้ค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด

4.4 ให้รายงานค่าความแน่นแห้งสูงสุด หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) เป็นร้อยละ

5. ข้อควรระวัง

5.1 การประมาณปริมาตรน้ำที่ใช้ผสมดินที่เกาะติดกันเป็นก้อน (cohessive soil) ควรเผื่อให้ต่ำและสูงกว่าจำนวนน้ำ ที่ทำให้ได้ค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัด ได้แน่นสูงสุด (OMC) ดินพวกดินทราย (cohesionless soil) ควรผสมน้ำตั้งแต่น้อยที่สุด คือ เริ่มจากดินผึ่งแห้งจนกระทั่งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

5.2 ในการบดอัดดินให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคงแข็งแรง ราบเรียบ ขณะทำการบดอัดแบบต้องไม่กระดอนไปมา

5.3 ควรเตรียมตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดสอบทางด้านแห้งกว่า (dry side) ความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) ไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง และให้มีตัวอย่างทดสอบพอทดสอบทางด้านชื้นกว่า (wet side) ความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) 1 ตัวอย่าง

5.4 ดินชนิดที่มีปริมาณดินเหนียวมาก (heavy clay) หลังจากผึ่งให้แห้งแล้วให้บดด้วยค้อนยาง หรือใช้เครื่องบดจนได้ตัวอย่างที่สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

5.5 ปริมาตรของแบบ ให้ทำการวัดและคำนวณ เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ ห้ามใช้ปริมาตรที่แสดงไว้ โดยประมาณในรูป

5.6 แบบที่ใช้งานแล้ว ต้องคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 50 ของความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

6. หนังสืออ้างอิง

6.1 เอกสารวิธีการทดสอบ compaction test แบบสูงกว่ามาตรฐาน กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

6.2 STANDARD METHOD OF TEST FOR THE MOISTURE - DENSITY RELATIONS OF SOIL USING A 10 lb = (4.54 kg) RAMMER AND AN 18 in. (457 mm.) DROP ; AASHTO DESIGNATION : T 180-74

****

โครงการ.....

.....

สถานที่ก่อสร้าง.....

ผู้รับจ้างหรือผู้นำส่ง.....

ชนิดตัวอย่าง..... ทดสอบครั้งที่.....

ทดสอบวันที่..... แผ่นที่.....

บฟ.มทช.(ท) 501.2-2545

(หน่วยที่ทำการทดสอบ)

การทดสอบความแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐาน

ปริมาตรแบบ..... ซม.^{3} ☐ Mod. AASHTO

น้ำหนักแบบ..... กก. ☐ Mod. Proctor

ทะเบียนทดสอบ.....	
ผู้ทดสอบ	
ผู้ตรวจสอบ	
อนุมัติ	

ความแน่น

ครั้งที่		1	2	3	4	5
น.น.แบบ + ดินที่ถูกบดอัด	(กรัม)					
น.น.แบบ	(กรัม)					
น.น.ดินที่ถูกบดอัด	(กรัม)					
ความแน่นชื้น	(กรัม/ซม.^{3})					
ความแน่นแห้ง	(กรัม/ซม.					

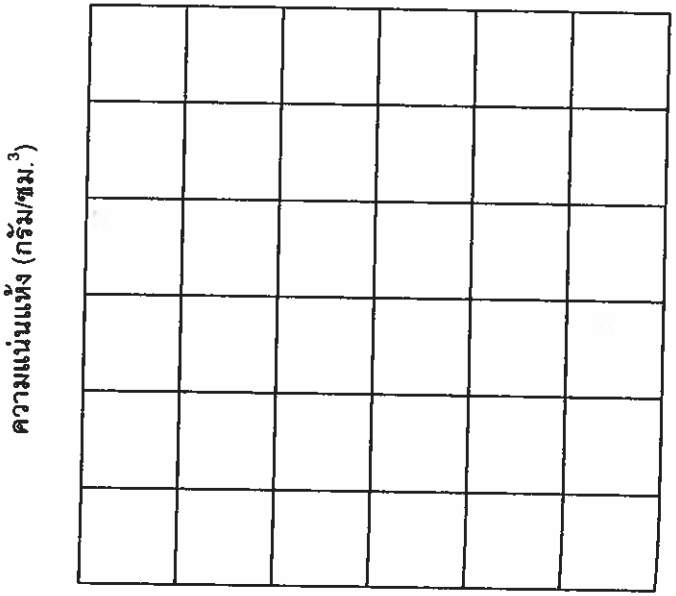
ปริมาณความชื้น

ตลับบรรจุหมายเลข						
น.น.ตลับ + ดินชื้น	(กรัม)					
น.น.ตลับ + ดินอบแห้ง	(กรัม)					
น.น.น้ำ	(กรัม)					
น.น.ตลับ	(กรัม)					
น.น.ดินอบแห้ง	(กรัม)					
ความชื้นในดิน	(ร้อยละ)					

หมายเหตุ

ความแน่นแห้งสูงสุด (กรัม/ซม.^{3})

ความชื้นที่ความแน่นสูงสุด (ร้อยละ)



โครงการ.....

บฟ.มทช.(ท) 501.2-2545

ทะเบียนทดสอบ.....

.....

สถานที่ก่อสร้าง.....

ผู้รับจ้างหรือผู้นำส่ง.....

ชนิดตัวอย่าง..... ทดสอบครั้งที่.....

ทดสอบวันที่.....แผ่นที่.....

(หน่วยที่ทำการทดสอบ)

การทดสอบความแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐาน

ปริมาตรแบบ..... ซม.^{3} ☐ Mod. AASHTO

น้ำหนักแบบ..... กก. ☐ Mod. Proctor

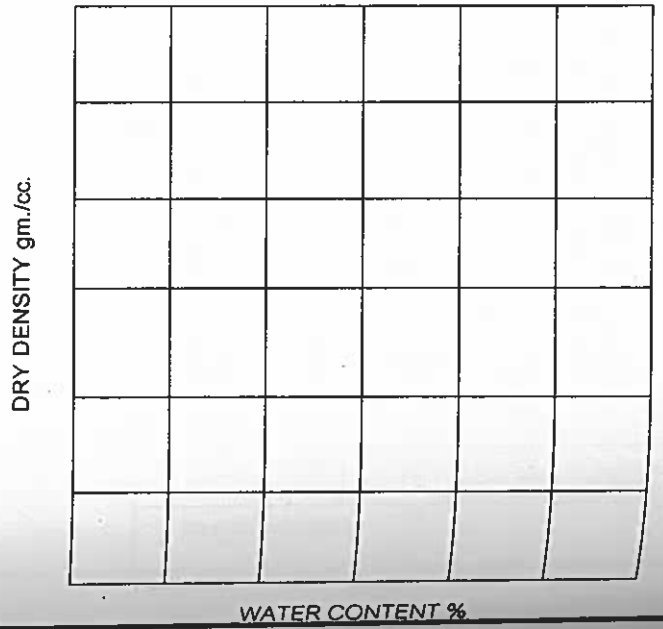
ผู้ทดสอบ	
ผู้ตรวจสอบ	
อนุมัติ	

DENSITY						
DETERMINATION No.		1	2	3	4	5
WT. MOLD+COMPACTED SOIL	gm.					
WT. MOLD	gm.					
WT. SOIL	gm.					
WET DENSITY	gm./cc.					
DRY DENSITY	gm./cc.					
WATER CONTENT						
CONTAINER No.						
WT. CONTAINER + WET SOIL	gm.					
WT. CONTAINER + DRY SOIL	gm.					
WT. WATER	gm.					
WT. CONTAINER	gm.					
WT. DRY SOIL	gm.					
WATER CONTENT	%					

REMARKS:

MAXIMUM DRY DENSITY = ... gm./cc.

OPT. MOISTURE CONTENT = ... %



ดอย

มทช.(ท) 501.3-2545
วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. (C.B.R.)

---

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าเปรียบเทียบ ค่าความสามารถในการรับน้ำหนัก (bearing value) กับวัสดุหินมาตรฐานเพื่อทดสอบวัสดุมวลรวมดิน (soil aggregate) หินคลุกหรือวัสดุอื่นใด เมื่อทำการบดอัดวัสดุนั้นโดยใช้ตุ้มบดอัดในแบบ (mold) เมื่อมีความชื้นที่ความแน่นแห้งสูงสุด (optimummoisture content) หรือปริมาณอื่นใด เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนน และเพื่อใช้ควบคุมงาน เมื่อบดอัดให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ

การทดสอบ ซี.บี.อาร์. อาจทำได้ 2 วิธี คือ

วิธี ก. การทดสอบแบบแช่น้ำ (soaked)

วิธี ข. การทดสอบแบบไม่แช่น้ำ (unsoaked)

ถ้าไม่ระบุวิธีใด ให้ใช้วิธี ก.

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

2.1.1 loading; device แบบ hydraulic jack หรือ screw jack มีอุปกรณ์วัดแรงได้ไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลกรัม (ประมาณ 10,000 ปอนด์)

2.1.2 แบบสำหรับเตรียมตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 152.4±0.66 มม. (6.0±0.026 นิ้ว) สูง 177.8±0.66 มม. (7.0±0.016 นิ้ว) พร้อมปลอก (collar) สูงโดยประมาณ 50.8 มม. (2.0 นิ้ว) และฐานแบบ (base plate) สำหรับยึดแบบและปลอก

2.1.3 แท่งโลหะรอง (spacer disc) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 134.9 (5 5/16 นิ้ว) มีความสูงขนาดต่าง ๆ

2.1.4 ตุ้มหนัก 4,537 กรัม (10 ปอนด์) และ 2,495 กรัม (5.5 ปอนด์)

2.1.5 เครื่องวัดการพองตัว ประกอบด้วย

- แผ่นวัดการพองตัว (swell plate)
- สามขา (tripod) สำหรับติดมาตรวัด (dial gauge) วัดได้ 25 มม. ซึ่งวัดได้ละเอียด 0.01 มม. เพื่อวัดอัตราการพองตัวของดินเมื่อแช่น้ำ

2.1.6 โลหะถ่วงน้ำหนัก (surcharge weight) เป็นเหล็กทรงกระบอกแบนเส้นผ่านศูนย์กลาง 149.2 มม. (5 7/8 นิ้ว) มีรูกลวง เพื่อให้ท่อนกด (piston) ลอดไปได้หนักแผ่นละ 2,268 กรัม (5 ปอนด์)

2.1.7 ท่อนกด ทำด้วยโลหะทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 49.5 มม. (1.95 นิ้ว) มีเนื้อที่หน้าตัด 1,935.5 ตร.มม. (3 ตร.นิ้ว) ยาวไม่น้อยกว่า 102 มม. (4 นิ้ว)

2.1.8 เครื่องดันตัวอย่างเป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลัง เมื่อทดสอบเสร็จแล้ว

2.1.9 เครื่องชั่งแบบบาล๊านซ์ (balance) มีขีดความสามารถชั่งได้อย่างน้อย 20 กก. ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กิโลกรัม

2.1.10 เครื่องชั่งแบบสเกล (scale) หรือแบบบาล๊านซ์ มีขีดความสามารถชั่งได้อย่างน้อย 1,000 กรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

2.1.11 ตู้อบ (oven) ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ได้ที่ 110±5 องศาเซลเซียส

2.1.12 เหล็กปาด มีความยาวไม่น้อยกว่า 300 มม. และไม่ยาวเกินไปหนาประมาณ 3.0 มม.(0.12 นิ้ว)

WATER CONTENT %

gm. %

WT. DRY SOIL
WATER CONTENT
REMARKS:

2.1.13 เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง

2.1.14 ตะแกรงร่อนดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มม. (8 นิ้ว) 50.8 มม. (2 นิ้ว) มีขนาด ดังนี้

ก. ขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว)

ข. ขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4)

2.1.15 เครื่องผสม เป็นเครื่องมือจำเป็นต่าง ๆ ที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำ เช่น ถาด ช้อน พลั่ว เกรียง คอนยาง ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ

2.1.16 ตลับบรรจุดินสำหรับใส่ตัวอย่างดิน เพื่ออบหาจำนวนน้ำในดิน

2.1.17 นาฬิกาจับเวลา

2.2 **วัสดุที่ใช้ประกอบการทดสอบ** กระดาษกรองอย่างหยาบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว)

2.3 **การเตรียมตัวอย่าง** ตัวอย่างได้แก่ ดิน หินคลุก หรือวัสดุมวลรวมดินหรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดสอบ ให้เตรียมตัวอย่าง ดังนี้

2.3.1 วัสดุตัวอย่าง ก่อนจะนำมาทดสอบจะต้องปล่อยทิ้งให้แห้ง (air dry) ในห้องปฏิบัติการทำการแบ่งสี่ (quartering) แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว ส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ ¾ นิ้วให้ทิ้งไปและซดเชยด้วยดินที่ผ่านตะแกรง เบอร์ 3/4 นิ้ว แต่ค้างบนตะแกรง เบอร์ 4 ด้วยจำนวนน้ำหนักเท่ากัน

2.3.2 หาปริมาณความชื้นที่ความแน่นสูงสุด โดยวิธีการทดสอบความแน่นตามมทช.(ท) 501.1-2545 หรือ มทช.(ท) 501.2-2545

2.4 **แบบฟอร์ม** ให้ใช้แบบฟอร์ม ที่ บฟ. มทช.(ท) 501.3-2545

2.5 **การทดสอบ** สำหรับตัวอย่างดินที่ไม่ต้องมีการแช่น้ำ (unsoaked C.B.R. test)

2.5.1 ชั่งดินที่เตรียมไว้ประมาณ 6 กก. (12 ปอนด์) และนำดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัม เพื่อนำไปหาความชื้นในดินตัวอย่าง (initial water content)

2.5.2 เตรียมแบบไว้ 2 ชุด ชั่งหาน้ำหนักแบบ (ไม่รวมฐานแบบ)

2.5.3 ประกอบแบบ เข้ากับฐานแบบและแท่งโลหะรอง ใช้กระดาษกรองปูทับบนแท่งโลหะรอง เพื่อป้องกันไม่ให้เกาะติดกับแผ่นเหล็ก

2.5.4 กระทุ้งดินอัดแน่นในแบบ ตามวิธีการทดสอบความแน่นที่ปริมาณความชื้น ที่ความแน่นแห้งสูงสุด (เตรียมตัวอย่างดิน 3 ตัวอย่าง โดยทำการบดอัดแต่ละชั้นด้วยตุ้ม จำนวน 12 ครั้ง 25 ครั้ง และ 56 ครั้งต่อชั้น)

2.5.5 หลังจากบดอัดจนครบจำนวนชั้น และจำนวนครั้งแล้วถอดปลอกออกใช้เหล็กปาดปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบแบบ พร้อมกับซ่อมแต่งผิวบนของดินตัวอย่างให้เรียบเสมอกับปากแบบ

2.5.6 ถอดฐานแบบ และแท่งโลหะรองออก นำแบบและดินไปชั่งหาน้ำหนัก เพื่อจะนำไปหาความแน่นชื้น (wet density)

2.5.7 เอากระดาษกรองวางบนฐานแบบ เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะแบบติดแผ่นเหล็กประกอบแบบ ที่มีดินอัดแน่นนี้เข้ากับฐานแบบ โดยให้ปากแบบด้านที่มีดินเสมอปากวางบนฐานแบบ และส่วนที่มีช่องว่างอยู่ด้านบน สำหรับการทดสอบแบบไม่แช่น้ำ ให้ทดสอบตาม ข้อ 2.5.8 ถึง 2.5.11

2.5.8 วางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนัก(surcharge)จำนวน 2 ชิ้น สำหรับวัสดุพื้นทาง, วัสดุรองพื้นทาง, วัสดุคัดเลือก และจำนวน 3 ชิ้น สำหรับวัสดุคันทางทับบนดินตัวอย่างในแบบ

2.5.9 นำแบบเข้าเครื่องกดทดสอบ ซึ่งมีท่อนกดขนาดพื้นที่หน้าตัด 1,935.5 ตร.มม. (3 ตร.นิ้ว) ประกอบติดอยู่ จัดให้ผิวหน้าของดินในแบบ แตะสัมผัสกับท่อนกดดังกล่าว จัดเข็มของมาตรวัด ที่จะใช้วัดค่าการจมตัว (penetration) ให้อยู่ที่จุดศูนย์

2.5.10 กดท่อนกดในอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที พร้อมกับอ่านค่าน้ำหนักที่ตรงกับค่าการจมตัว 0, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175, 0.200, 0.250, 0.300, 0.350, 0.400, 0.450 และ 0.500 นิ้ว

2.5.11 เสร็จแล้วถอดแบบออกจากเครื่องกดทดสอบ เก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้งประมาณ 100 กรัม สำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 4.75 มม. หรือประมาณ 300 กรัม สำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 19.0 มม. แล้วนำไปหาความชื้น สำหรับการทดสอบแบบแช่น้ำ ให้ทำการทดสอบตาม ข้อ 2.5.12 ถึง 2.5.18 เพิ่มเติม

2.5.12 วางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนัก จำนวน 2 ชิ้น สำหรับวัสดุพื้นทาง, วัสดุรองพื้นทาง, วัสดุคัดเลือก และจำนวน 3 ชิ้น สำหรับวัสดุคันทางลงบนดินตัวอย่าง ใส่แผ่นวัดการพองตัว สำหรับวัดอัตราการบวมของดิน ซึ่งมีด้ามขัดเกลียวขึ้นลงได้ติดอยู่กลางแผ่น ก่อนวางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักลงบนดินตัวอย่าง จะต้องเอากระดาษรองวางคั่นใต้แผ่นนี้เสียก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้ดินติดแน่นกับแผ่นเหล็กหลังจากแช่น้ำแล้ว

2.5.13 แช่แบบที่เตรียมไว้ ในข้อ 2.5.12 ในภาชนะที่เตรียมไว้ ให้น้ำท่วมแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักประมาณ 1 นิ้ว ใช้มาตรวัดอ่านได้ละเอียด 0.001 นิ้ว ยึดติดกับสามขา แล้ววางบนปากแบบ จัดให้ปลายของมาตรวัดแตะสัมผัสกับก้านของแผ่น วัดการพองตัว เพื่อวัดหาค่าการพองตัวของดินต่อไป

2.5.14 จดค่าการขยายตัวจากมาตรวัดทุกวัน จนครบ 4 วัน (ถ้าหากค่าการพองตัวคงที่ อาจหยุดอ่านได้ หลังจากแช่น้ำแล้ว 48 ชั่วโมง)

2.5.15 ยกแบบออกจากน้ำและตะแคงแบบ เพื่อรินน้ำทิ้งและปล่อยทิ้งไว้ ประมาณ 15 นาที เพื่อให้น้ำไหลออกจากแบบ

2.5.16 นำแบบพร้อมดินไปชั่งหาน้ำหนัก

2.5.17 ทำการทดสอบตามวิธี ข้อ 2.5.9 ถึง 2.5.10

2.5.18 เสร็จแล้วถอดแบบออกจากเครื่องกดทดสอบ เก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้งประมาณ 100 กรัม สำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 4.75 มม. หรือประมาณ 300 กรัม สำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 19.0 มม. แล้วนำไปหาความชื้น

2.5.19 เขียนกราฟระหว่างน้ำหนักกด และค่าการจมตัว (stress vs penetration) เพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. ต่อไป สำหรับในการเขียนกราฟระหว่างน้ำหนักกด และค่าการจมตัว เพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. จำเป็นจะต้องทำการแก้เส้นกราฟ โดยเลื่อนจุดศูนย์ของค่าการจมตัว ในกรณีที่เส้นกราฟหงายเพื่อให้ได้ค่า ซี.บี.อาร์. ที่แท้จริง

2.5.20 เมื่อได้ค่า ซี.บี.อาร์. ของแต่ละตัวอย่างแล้วเขียนเส้นกราฟ ระหว่างค่า ซี.บี.อาร์. และค่าความหนาแน่นแห้ง (dry density) เพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. เป็นร้อยละของการบดอัดที่ต้องการต่อไป

3. การคำนวณ

3.1 คำนวณหาค่าความชื้นในดินเป็นร้อยละ

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

เมื่อ W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

W_1 = น้ำหนักของดินชื้น หน่วยเป็นกรัม

W_2 = น้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

3.2 คำนวณหาค่าความแน่นชื้น (wet density)

$$\gamma_w = \frac{A}{V}$$

เมื่อ γ_w = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

A = น้ำหนักดินชื้นที่บดอัดในแบบ หน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของแบบ ซึ่งเท่ากับปริมาตรของดินชื้นที่บดอัดในแบบ หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

3.3 คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (dry density)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1+\frac{W}{100}}$$

เมื่อ γ_d = ความแน่นแห้งของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

γ_w = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

3.4 คำนวณหาค่าการพองตัว (swelling)

$$\text{ค่าการพองตัวร้อยละ} = \frac{\text{ค่าการพองตัว (มม.)}}{\text{ความสูงของแท่งตัวอย่าง}}$$

ค่าการพองตัว (มม.) = ผลต่างระหว่างการอ่านค่าที่มาตรวัด ครั้งแรกและครั้งสุดท้าย

3.5 คำนวณหาค่า ซี.บี.อาร์.

ในการคำนวณหาค่า ซี.บี.อาร์. ให้ถือน้ำหนักมาตรฐาน (standard load) ดังนี้

ค่าการจมตัว (มม.)	น้ำหนักมาตรฐาน (standard load) กิโลกรัม	ค่าน้ำหนักมาตรฐาน (standard unit load) กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
2.54 (0.1")	1,360.8 (3,000 lb)	70.3 (1,000 lb/in)
5.08 (0.2")	2,041.2 (4,500 lb)	105.46 (1,500 lb/in)
7.62 (0.3")	2,585.5 (5,700 lb)	133.59 (1,900 lb/in)
10.16 (0.4")	3,129.8 (6,900 lb)	161.71 (2,300 lb/in)
12.70 (0.5")	3,538.0 (7,800 lb)	182.81 (2,600 lb/in)

หมายเหตุ พื้นที่หน้าตัดของท่อนกด 1,935.5 ตร.มม. (3 ตร.นิ้ว) คำนวณค่า ซี.บี.อาร์.

จากสูตร

$$\text{ซี.บี.อาร์. ร้อยละ} = 100\frac{X}{Y}$$

เมื่อ X = ค่าน้ำหนักที่อ่านได้ต่อหน่วยพื้นที่ของท่อนกด (สำหรับค่าการจมตัวที่ 2.54 มม. หรือ 0.1 นิ้ว และที่เพิ่มขึ้นอีกทุก ๆ 2.54 มม.)

Y = ค่าน้ำหนักมาตรฐาน (standard unit load) กก./ตร.ซม. (จากตารางข้างต้น)

4. การรายงาน

ในการทำการทดสอบ ซี.บี.อาร์. ให้รายงาน ดังนี้

4.1 ค่า ซี.บี.อาร์. ที่ความแน่นร้อยละ ของความแน่นแห้งสูงสุด (แบบสูงกว่ามาตรฐานหรือแบบมาตรฐาน) ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

4.2 ค่าความแน่นแห้ง ที่ให้ค่า ซี.บี.อาร์. ตามข้อ 4.1 ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง

4.3 ค่าการพองตัว ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

4.4 ค่าอื่น ๆ

5. เกณฑ์การตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

ค่า ซี.บี.อาร์. เป็นค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าความสามารถในการรับน้ำหนักกับวัสดุหินมาตรฐาน ดังนั้น จึงไม่มีการกำหนดเกณฑ์ตัดสินและความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

6. ข้อควรระวัง

6.1 สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (heavy clay) หลังจากตากแห้งแล้วให้ทุบด้วยค้อนยาง จนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

6.2 ในการใช้ตุ้มทำการบดอัด ให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น พื้นคอนกรีตไม่ให้แบบกระดก หรือกระดอนขึ้นขณะทำการบดอัด

6.3 ในการทดสอบหาค่าการจมตัว โดยใช้เครื่องกดทดสอบแบบวงแหวน (proving ring) เป็นตัวอย่างอ่านน้ำหนักและใช้มาตรวัดค่าการจมตัวติดที่โครง (frame) ของเครื่องกดทดสอบต้องทำการแก้ค่าการจมตัว เนื่องจากการหดตัวของวงแหวน (proving ring) โดยหักค่าการหดตัวของวงแหวนออกจากค่าการจมตัว กรณีที่ติดมาตรวัดค่าการจมตัว (penetration dial) ที่ท่อนกดไม่ต้องปฏิบัติตามความในข้อนี้

6.4 ในการเขียนกราฟระหว่างค่าน้ำหนักมาตรฐาน และค่าการจมตัว จำเป็นจะต้องแก้จุดศูนย์สำหรับเส้นกราฟที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งหงายขึ้น เนื่องจากความไม่ราบเรียบ หรือเกิดจากการอ่อนยุ่ยที่ผิวหน้าของตัวอย่างเนื่องจากการแช่น้ำ ให้ทำการแก้โดยลากเส้นตรงให้สัมผัสกับเส้นที่ชันที่สุดของส่วนโค้งของเส้นกราฟ ไปตัดกับแกนตามแนวราบ คือเส้นที่ลากผ่านค่าน้ำหนักมาตรฐาน เท่ากับศูนย์ ต่อจากนั้นให้เลื่อนค่าศูนย์ของค่าการจมตัวไปที่จุดที่ตัด แล้วจึงหาค่า ซี.บี.อาร์. ที่ปรับค่า (corrected C.B.R. value) ต่อไป

6.5 ค่า ซี.บี.อาร์. ที่ได้จากการปรับค่า หรือที่ได้จริงจากการอ่านค่าน้ำหนักมาตรฐาน (true load vaue) ซึ่งคำนวณจากค่าการจมตัวที่ 2.54 มม.(0.1 นิ้ว) และที่ค่าการจมตัว 5.08 มม.(0.2 นิ้ว)เป็นค่า ซี.บี.อาร์.ที่ใช้รายงาน

โดยปกติค่า ซี.บี.อาร์. ที่มีค่าการจมตัว 2.54 มม. จะต้องมีค่าสูงกว่าค่า ซี.บี.อาร์. ที่มีค่าการจมตัว 5.08 มม. ถ้าหากไม่เป็นดังนั้น คือค่า ซี.บี.อาร์. ที่ 5.08 มม. สูงกว่าที่ 2.54 มม. ให้ทำการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบใหม่ทั้งหมด แต่ถ้าค่า ซี.บี.อาร์. ที่ได้ยังคงสูงกว่าอีก ให้ใช้ค่า ซี.บี.อาร์. 5.08 มม.

6.6 ในการทำตัวอย่างเพื่อทดสอบ ในกรณีที่ต้องการบดอัดมากหรือน้อยกว่าที่ต้องการตามวิธีการทดสอบนี้ อาจจะเพิ่มการบดอัดเป็นชั้นละ 75 ครั้ง หรือลดการบดอัดเป็นชั้นละ 8 ครั้ง เพื่อให้ได้ตัวอย่างมากขึ้นในการนำมาเขียนเส้นกราฟ

6.7 ตุ้มที่ใช้ทำการบดอัดเพื่อเตรียมตัวอย่าง เพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. มี 2 ขนาด (ตามข้อ 2.1.4) ในการเตรียมตัวอย่าง ซี.บี.อาร์. โดยวิธีการทดสอบความแน่นแบบมาตรฐานให้ใช้ตุ้มขนาดเล็ก ส่วนการเตรียมตัวอย่าง ซี.บี.อาร์. ตามวิธีการทดสอบความแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐานให้ใช้ตุ้มขนาดใหญ่

7. หนังสืออ้างอิง

7.1 เอกสารวิธีการทดสอบเพื่อหาค่า C.B.R. กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

7.2 STANDARD METHOD OF TEST FOR THE CALIFORNIA BEARING RATIO; AASHTO DESIGNATION : T 193-72

****

โครงการ	บฟ.มทช.(ท)501.3-2545	ทะเบียนทดสอบ.....	
.....	(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ)	ผู้ทดสอบ	
สถานที่ก่อสร้าง	การทดสอบหาค่า ซีบีอาร์ (C.B.R.)		
ผู้รับจ้างหรือผู้นำส่ง	แบบหมายเลข.....	ผู้ตรวจสอบ	
ชนิดตัวอย่าง.....ทดสอบครั้งที่.....	น้ำหนักแบบ..... กก.		
ทดสอบวันที่..... แผ่นที่.....	ปริมาตรแบบ..... ลบ.ซม.	อนุมัติ	

ความแน่นของวัสดุ		ก่อนแช่น้ำ	หลังแช่น้ำ
น้ำหนักแบบ + วัสดุ	กรัม		
น้ำหนักแบบ	กรัม		
น้ำหนักวัสดุ	กรัม		
ความแน่นชื้น	กรัม/ลบ.ซม.		
ความแน่นแห้ง	กรัม/ลบ.ซม.		

ปริมาณความชื้น		บน	กลาง	ล่าง	
ตลับ					
น้ำหนักตลับ + วัสดุ	กรัม				
น้ำหนักตลับ + วัสดุแห้ง	กรัม				
น้ำหนักน้ำ	กรัม				
น้ำหนักตลับ	กรัม				
น้ำหนักวัสดุแห้ง	กรัม				
ความชื้นในวัสดุ	%				
ความชื้นในวัสดุเฉลี่ย	%				

การทดสอบหาค่าการจมตัว (penetration test) แผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนัก (surcharge)..... แผ่น ..... กก. proving ring
พื้นที่หน้าตัดท่อนกด = 19.355 ซม.^{2} กดด้วยความเร็ว 1.27 มม./นาที

วันที่	เวลา	ค่าที่อ่าน (มม.)	การพอง (มม.)	การพอง (%)	จำนวนวัน	(1) pene. (มม.)	(2) dial reading (มม.)	(3)=(1)-(2) corr.pene. (กก.)	load from (กก.)	bearing value (กก./ซม.^{2})	C.B.R. (%)
						0.63					
						1.27					
						1.90					
						2.54					
						3.17					
						3.81					
						4.44					
						5.08					
						6.35					
						7.62					
						8.89					
						10.16					
						11.43					
						12.70					

ความชื้นที่ความแน่นสูงสุด	%
ความชื้นของวัสดุ	%
ปริมาณน้ำที่เพิ่มเข้า	ลบ.ซม.
น้ำหนักวัสดุที่ร่อนผ่าน	กรัม
น้ำหนักวัสดุที่ค้างบน	กรัม
ผลรวมของน้ำหนักวัสดุแห้ง	กรัม
ผลรวมของน้ำหนักที่เพิ่มเข้า	กรัม

CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.) TEST

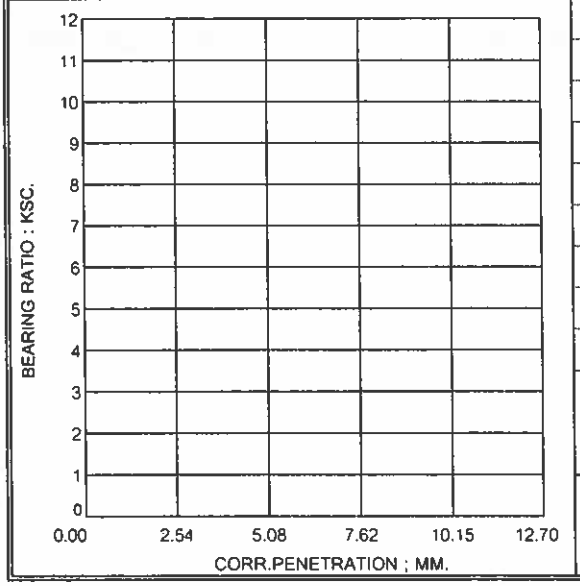
MATERIAL			SOURCE		
MOLD NO.	WT.	gm.	NO. OF LAYERS		FACTOR
NO. OF BLOWS	VOL	cc.	WT. OF HAMMER	gm.	DROP cm.

DENSITY		SOAKING	
		BEFORE	AFTER
WT. OF MOLD + SOIL	gm.		
WT. OF MOLD	gm.		
WT. OF SOIL	gm.		
WET DENSITY	gm./cc.		
DRY DENSITY	gm./cc.		

WATER CONTENT		TOP	MIDDLE	BOTTOM	
CAN No.					
WT. OF CAN + WET SOIL	gm.				
WT. OF CAN + DRY SOIL	gm.				
WT. OF WATER	gm.				
WT. OF CAN	gm.				
WT. OF DRY SOIL	gm.				
WATER CONTENT	%				
AVERAGE WATER CONTENT	%				

PENETRATION TEST — SURCHARGE pcs. = Kg. — PISTOL AREA = $cm.^2$ — PROVING RING No. — FACTOR =

DATE	TIME	RDG. (mm.)	SWELL (mm.)	SWELL (%)	DAYS	PENE. (mm.)	DIAL RDG. (mm.)	LOAD RDG. (Kg.)	BEARING VALUE (Ksc.)	C.B.R. (%)
						0.63				
						1.27				
						1.90				
						2.54				
						3.17				
						3.81				
						4.44				
						5.08				
						6.35				
						7.62				
						8.89				
						10.16				
						11.43				
						12.70				



OPTIMUM MOISTURE CONTENT = %

ORIGINAL MOISTURE CONTENT = %

REMARKS :

มทช.(ท) 501.4-2545
วิธีการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม
(field density test)

---

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางที่บดอัดในสนาม (in place density) ของวัสดุที่มีเม็ดไม่โตกว่า 50.8 มม. (2 นิ้ว) โดยใช้ทรายแทนที่ เพื่อหาปริมาตร

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

2.1.1 ชุดเครื่องมือทดสอบความแน่น (density apparatus) แสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย

2.1.1.1 ขวด (jar) ทำด้วยแก้วหรือพลาสติกโปร่งใสปริมาตรจุ 4 ลิตร ตัวขวดมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 160 มม. ปากขวดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม. และมีเกลียวสำหรับต่อกับกรวย

2.1.1.2 กรวย (metal funnel) ทำด้วยโลหะสูงประมาณ 210 มม. ตรงกลางมีลิ้น (valve) สำหรับปิดเปิดรูทรงกระบอก (orifice) เส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มม. (1/2 นิ้ว) ยาว 28.6 มม.(1 1/8 นิ้ว) ปากกรวยบานออกมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 165.1 มม. (6 1/2 นิ้ว) เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 171.5 มม.(6 3/4 นิ้ว) สูง 136.5 มม. (5 3/8 นิ้ว) ปลายอีกข้างหนึ่งมีเกลียว สำหรับต่อกับขวด ขณะทำการทดสอบรอยต่อระหว่างขวด และกรวยต้องสนิท ในกรณีที่มีช่องว่างหรือเคลื่อนตัวได้ ต้องใส่แหวนยาง หรือ ปะเก็น (gasket) รองลิ้นจะต้องมีที่บังคับให้หยุดเมื่อเปิด หรือ ปิดจนสุดรูทรงกระบอกแล้ว

2.1.1.3 แผ่นฐาน (base plate) ทำด้วยโลหะขนาด 305 มม. x 305 มม. (12 นิ้ว x 12 นิ้ว) ตรงกลางมีรูกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 165.1 มม. (เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของปากกรวย) มีช่องกว้างประมาณ 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) สำหรับวางปากกรวยให้สนิทขอบของแผ่นฐานยกสูงขึ้น เพื่อความสะดวกในการเก็บดินตัวอย่าง

หมายเหตุ ชุดเครื่องทดสอบความแน่นนี้ ใช้กับดินตัวอย่างประมาณ 2,800 ลูกบาศก์เซ็นติเมตร (0.01ลบ.ฟ.)อาจดัดแปลงชุดเครื่องมือให้เล็กลงหรือใหญ่ขึ้นได้แล้วแต่ความเหมาะสมในการใช้งานแต่ละชนิด

2.1.2 ทราย ใช้ทรายออตตาวา (ottawa sand) หรือเตรียมจากทรายที่มีในท้องที่หรือวัสดุอื่นใด ที่คล้ายทราย ต้องสะอาด แห้ง ไหลได้อย่างอิสระ (free flowing) ปราศจากเชื้อประสาน แข็ง กลม ไม่มีรอยแตก ไม่มีเหลี่ยมมุม ขนาดผ่านตะแกรงขนาด 2.00 มม. (เบอร์ 10) และค้างบน

ตะแกรงขนาด 0.075 มม. (เบอร์ 200) เล็กน้อยและมีความแน่นแบบบัลค์ (bulk density) เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกินร้อยละ 1

2.1.3 เครื่องชั่ง ที่สามารถชั่งได้หนักถึง 10 กก. อ่านได้ละเอียดถึง 1.0 กรัม

2.1.4 เครื่องชั่งที่สามารถชั่งได้หนักถึง 500 กรัม อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

2.1.5 อุปกรณ์ทำให้ดินแห้ง ได้แก่ เตาน้ำมันก๊าด เตาแก๊ส กะทะดั่วดิน เป็นต้น หรืออาจใช้ตู้อบไฟฟ้า ตู้อบน้ำมันก๊าด ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้ดินตัวอย่างแห้ง สำหรับความชื้นได้

2.1.6 อุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ เช่น ช้อนตักดิน ตลับบรรจุดินพร้อมฝาปิด ภาชนะสำหรับใส่ดิน เกรียง สิ่ว ค้อน อีเตอร์ จอบ พลั่ว แปรงขน แปรงลวด เหล็กปาด ตะแกรงขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) 2.00 มม.(เบอร์ 10) และ 0.075 มม.(เบอร์ 200) และเทอร์โมมิเตอร์ เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำ เป็นต้น

2.2 **แบบฟอร์ม** ให้ใช้แบบฟอร์ม ที่ บฟ. มทช.(ท) 501.4-2545

2.3 **การทดสอบ**

2.3.1 วิธีหาปริมาตรขวด พร้อมกรวย จนถึงรูลิ้นที่ปิด ดำเนินการ ดังนี้

2.3.1.1 ชั่งน้ำหนักขวดเปล่าพร้อมกรวย

2.3.1.2 ตั้งขวดเปล่าพร้อมกรวยบนพื้นที่มั่นคง เมื่อได้ระดับแล้วเปิดลิ้นไว้

2.3.1.3 ใส่น้ำกลั่นลงในกรวย จนกระทั่งระดับน้ำขึ้นท่วมกรวย และไม่มีฟองอากาศค้างอยู่ในขวด แล้วจึงปิดลิ้นให้สนิท และเทน้ำที่ล้นข้างบนออกให้หมด

2.3.1.4 ถ้าน้ำซึมออกตามบริเวณเกลียวปากขวด ให้ใช้ขี้ผึ้งหรือเทปป้องกันน้ำซึม

2.3.1.5 เช็ดน้ำที่ติดกรวย หรือข้างขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักเมื่อน้ำเต็มขวด เมื่อนำน้ำหนักในข้อ 2.3.1.1 มาหักออกจะได้น้ำหนักน้ำเมื่อเต็มขวดในกรณีที่ทำข้อ 2.3.1.4 ด้วย ให้นำน้ำหนักวัสดุในข้อ 2.3.1.4 มาหักออกด้วย

2.3.1.6 วัดอุณหภูมิของน้ำในขวด

2.3.1.7 ให้ทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของน้ำเต็มขวด โดยแต่ละครั้งมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 3 กรัม และอุณหภูมิของน้ำเพื่อนำไปหาค่าความแน่นของน้ำ ตามตารางที่ 1

2.3.1.8 คำนวณหาปริมาตรของขวด

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความแน่นของน้ำ

อุณหภูมิ		ปริมาตรของน้ำ ต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนัก ลบ.ซม./กรัม (T)
องศาเซลเซียส	องศาฟาเรนไฮต์	
12	53.6	1.00048
14	57.2	1.00073
16	60.8	1.00103
18	64.4	1.00138
20	68.0	1.00177
22	71.6	1.00221
24	75.2	1.00268
26	78.8	1.00320
28	82.4	1.00375
30	86.0	1.00435
32	89.6	1.00497

หมายเหตุ ให้ทำเครื่องหมายไว้ด้วยว่าเกลียวของขวดและกรวยเคลื่อนตัวหรือไม่ เกลียวต้องไม่ขยับในขณะทดสอบ เพื่อให้ปริมาตรของขวดมีค่าคงที่ตลอดเวลาที่ทดสอบ

2.3.2 วิธีตรวจสอบความแน่นแบบ บัลค์ ของทราย (bulk density of sand) ดำเนินการดังนี้

2.3.2.1 วางขวดเปล่าที่ประกอบเข้ากับกรวยซึ่งได้ทำความสะอาดและชั่งเรียบร้อยแล้วหงายลงบนพื้นที่ราบมั่นคง และได้ระดับ ปิดลิ้นให้สนิทแล้วเททรายใส่ในกรวยจนเต็ม

2.3.2.2 เปิดลิ้นให้ทรายไหลลงในขวด คอยเติมทรายในกรวยไม่ให้น้อยกว่าครึ่งของกรวยอยู่ตลอดเวลา ต้องระวังไม่ให้ขวดและกรวยกระเทือน ซึ่งจะทำให้ค่าความแน่นของทรายผิดได้ เมื่อทรายเต็มขวดโดยหยุดไหลแล้ว ให้ปิดลิ้นเททรายที่เหลือในกรวยทิ้ง

2.3.2.3 ชั่งน้ำหนักขวดพร้อมกรวยและทรายที่บรรจุอยู่เต็มขวด หักออกด้วยน้ำหนักในข้อ 2.3.1.1 จะได้น้ำหนักของทรายเต็มขวด

2.3.2.4 ให้ทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของทรายเต็มขวด

2.3.3 วิธีหาน้ำหนักของทรายที่บรรจุเต็มกรวย ดำเนินการ ดังนี้

2.3.3.1 ดำเนินการตามข้อ 2.3.2.1 และข้อ 2.3.2.2 แล้วชั่งน้ำหนักขวด พร้อมกรวยและทรายที่บรรจุอยู่เต็มขวด

2.3.3.2 คว่ำกรวยลงบนแผ่นฐาน ให้ปากกรวยตรงกับร่องของแผ่นฐาน โดยแผ่นฐานต้องวางอยู่บนพื้นที่ราบเรียบสะอาดและตรึงสนิทกับพื้น

2.3.3.3 เปิดลิ้นให้ทรายไหลจนเต็มกรวยโดยไม่ให้ขวดทรายกระเทือนเมื่อทรายหยุดไหลแล้วจึงปิดลิ้น

2.3.3.4 นำขวดทรายที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก นำมาหักออกจากน้ำหนักที่หาได้ในข้อ 2.3.3.1 จะได้น้ำหนักของทรายที่บรรจุเต็มกรวย

2.3.3.5 ให้ทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของทรายที่บรรจุเต็มกรวย

2.3.4 วิธีหาค่าความแน่นของดินในสนาม ดำเนินการดังนี้

2.3.4.1 ปรับแต่งพื้นผิวบริเวณที่จะทดสอบให้ราบเรียบ สะอาด

2.3.4.2 วางแผ่นฐานลงบนพื้นที่จะทดสอบแล้วตรึงแผ่นฐานให้แน่น

2.3.4.3 เจาะดินตรงรูกลางแผ่นฐานเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ารูกลางของแผ่นฐาน โดยเจาะเป็นแนวดิ่ง ตลอดชั้นวัสดุที่ทดสอบ หรือลึกประมาณ 10-15 ซม. แล้วแต่ชนิดของงาน แต่งหลุมให้เรียบร้อยเพื่อให้ทรายไหลลงแทนที่ได้สะดวก

2.3.4.4 นำดินที่เจาะขึ้นมาทั้งหมดไปชั่งหาน้ำหนัก จะได้น้ำหนักของดินชื้น และภาชนะใส่ดิน เมื่อหักน้ำหนักภาชนะที่ใส่ดินออกแล้ว จะเหลือน้ำหนักรวมของดินชื้น

2.3.4.5 คลุกดินที่เก็บจากหลุมในภาชนะใส่ดินให้ทั่วแล้วเก็บใส่ตลับบรรจุดินอย่างน้อย 100 กรัม ปิดฝาตลับแล้วนำไปชั่งและอบให้แห้งคำนวณหาปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ในดินเป็นร้อยละของน้ำหนักดินที่อบแห้ง

2.3.4.6 คว่ำขวดที่บรรจุทรายอยู่เต็มพร้อมกรวยตามวิธีข้อ 2.3.3.1 และ 2.3.3.2 ซึ่งชั่งน้ำหนักไว้แล้วลงบนร่องของแผ่นฐาน เปิดลิ้นให้ทรายไหลลงจนเต็มหลุม โดยไม่ให้ขวดทรายกระเทือน เมื่อทรายหยุดไหลแล้ว จึงปิดลิ้น นำขวดทรายที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก เก็บทรายสะอาดเพื่อใช้งานต่อไป ส่วนทรายที่ชื้นหรือสกปรก ให้นำไปทำความสะอาดนำน้ำหนักในตอนหลังหักออกจากน้ำหนักที่ชั่งได้ก่อนคว่ำกรวย จะได้น้ำหนักของทรายที่ไหลออกไปจากขวด

2.3.4.7 นำน้ำหนักที่ได้ในข้อ 2.3.3 ไปหักออกจากน้ำหนักของทรายที่ไหลออกไปจากขวด ในข้อ 2.3.4.6 แล้ว จะได้น้ำหนักทรายที่แทนที่ดินในหลุม

3. การคำนวณ

3.1 ความแน่นแบบ บัลค์ ของทราย

3.1.1 หาปริมาตรของขวด

$$L = MT$$

เมื่อ L = ปริมาตรของขวด (ลบ.ซม.)

M = น้ำหนักของน้ำเต็มขวด (กรัม)

T = ปริมาตรของน้ำซึ่งหนัก 1 กรัม ที่อุณหภูมิทดลอง (ตารางที่ 1) (ลบ.ซม./กรัม)

3.1.2 ความแน่นแบบ บัลค์ ของทราย

$$\gamma_s = \frac{M_1}{L}$$

เมื่อ γ_s = ความแน่นแบบบัลค์ของทราย (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

M_1 = น้ำหนักของทรายเต็มขวด (กรัม)

L = ปริมาตรของขวด (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

3.2 ความชื้นในดินเป็นร้อยละ

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

เมื่อ W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

W_1 = น้ำหนักของดินชื้น (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของดินอบแห้ง (กรัม)

3.3 หาปริมาตรของหลุม

$$V = \frac{m_2}{\gamma_s}$$

เมื่อ V = ปริมาตรของหลุม (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

M_2 = น้ำหนักทรายที่แทนที่ดินในหลุม (กรัม)

γ_s = ความแน่นแบบบัลค์ของทราย (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

3.4 ความแน่นชื้นของดินที่ขุดออกจากหลุม

$$\gamma_w = \frac{P}{V}$$

เมื่อ γ_w = ความแน่นชื้นของดินที่ขุดออกจากหลุม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

P = น้ำหนักรวมของดินชื้นที่ขุดออกจากหลุม (กรัม)

V = ปริมาตรของหลุม (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

3.5 ความแน่นแห้งของดินที่ขุดออกจากหลุม

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1+\frac{W}{100}}$$

เมื่อ γ_d = ความแน่นแห้งของดินที่ขุดออกจากหลุม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

γ_w = ความแน่นชื้นของดินที่ขุดออกจากหลุม (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

3.6 ร้อยละของการบดอัด

$$Pc = \frac{\gamma_d}{\gamma_m}$$

เมื่อ Pc = ร้อยละของการบดอัด

γ_d = ความแน่นแห้งของดินที่จุดออกจากหลุม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

γ_m = ความแน่นแห้งสูงสุดของดินตัวอย่างชนิดเดียวกับดินที่ขุดออกจากหลุม (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) ตามวิธีทดสอบ มทช.(ท) 501.1-2545 หรือ มทช.(ท) 501.2-2545

4. การรายงาน

4.1 ให้รายงานชื่อโครงการ สายทาง ชั้นของวัสดุ ชนิดของวัสดุ รายนามเจ้าหน้าที่ที่ทดสอบ วันเวลาที่ทดสอบ ความแน่นของทรายที่หาได้ ตำแหน่งที่ทดสอบ ความหนาของชั้นต่าง ๆ ตามสัญญาและความหนาจริงในการก่อสร้าง และรายละเอียดอื่น ๆ

4.2 ค่าความแน่นของดินให้ใส่ทศนิยม 3 ตำแหน่ง และร้อยละของการบดอัดให้ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

5. **ข้อควรระวัง**

5.1 แผ่นฐานที่วางบนพื้นทดสอบต้องตรึงให้แน่น

5.2 พื้นผิวที่ทดสอบควรราบเรียบได้ระดับ สะอาด

5.3 ขณะทดสอบต้องไม่ให้ขวดทรายกระเทือน

5.4 หาค่าความแน่นแบบบัลค์ ของทราย อย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง

5.5 ทรายที่ใช้ทดสอบต้องสะอาดและแห้ง

5.6 ต้องปิดลิ้นก่อนคว่ำขวดทรายทุกครั้ง

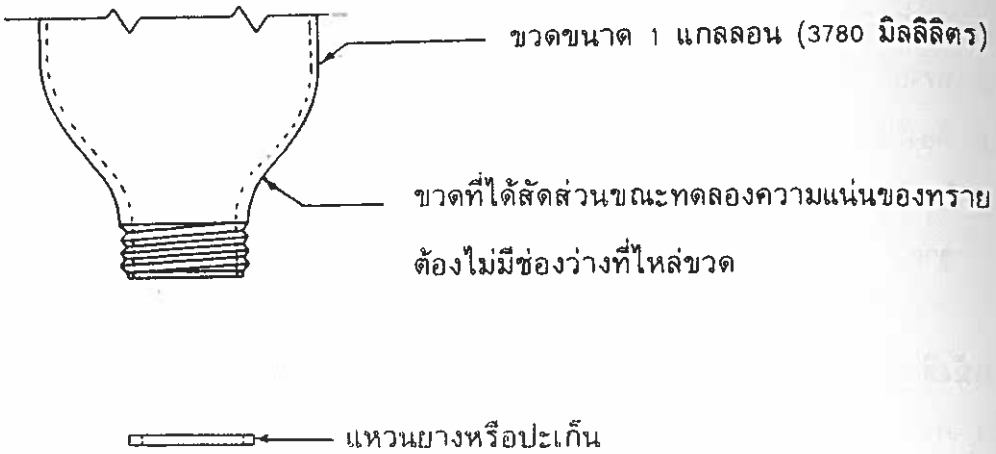
5.7 ในขณะขนย้ายเครื่องมือให้อุ้มตัวขวดโดยตรง ห้ามหิ้วที่กรวยเพราะตรงบริเวณลิ้นไม่แข็งแรงอาจขาดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีทรายบรรจุอยู่เต็มขวด

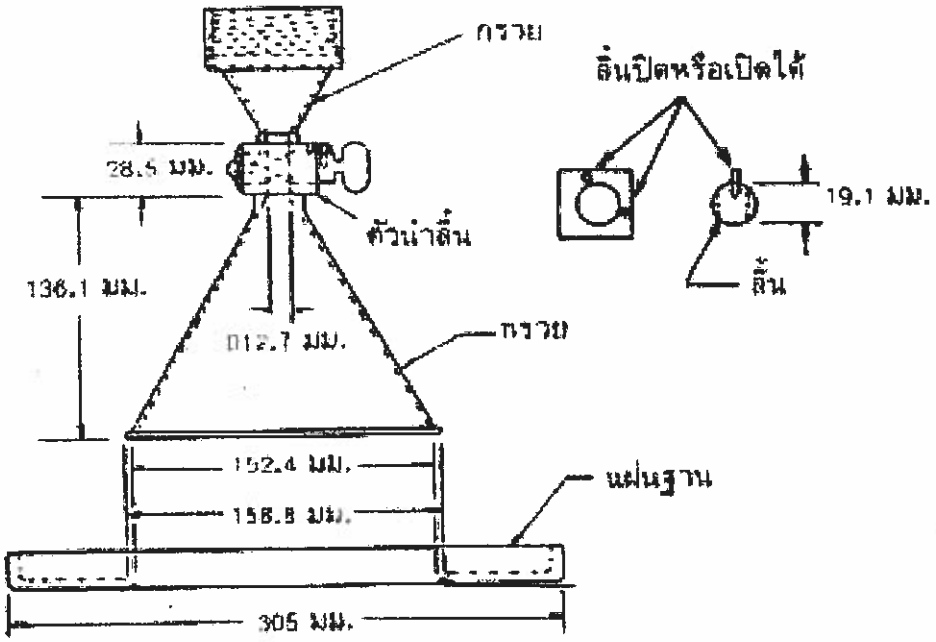
6. **หนังสืออ้างอิง**

6.1 เอกสารการทดสอบที่ ทล-ท. 603/251 วิธีทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุในสนาม โดยใช้ทราย กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

6.2 STANDARD METHOD OF TEST FOR DENSITY OF SOIL IN-PLACE BY THE SAND-CONE METHOD; AASHTO DESINGATION : T 191-61 (1974)

****





รูปที่ 1 ชุดเครื่องมือทดสอบความแน่น (density apparatus)

โครงการ..... ..... สถานที่ก่อร้าง..... ผู้รับจ้าง ..... ชนิดตัวอย่าง.....ทดสอบครั้งที่.... ทดสอบวันที่..... แผ่นที่.....	บฟ.มทช.(ท) 501.4-2545 (หน่วยที่ทำการทดสอบ) การทดสอบความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม ความแน่นของทราย ..... กรัม/ซม.^{3} ☐Std. น้ำหนักทรายในกรวย ..... กรัม ☐ Mod. ความแน่นที่ต้องการ..... ร้อยละ	ทะเบียนทดสอบ..... ผู้ทดสอบ ผู้ตรวจสอบ อนุมัติ

ตำแหน่ง	ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	6	7	8
	จุดทดสอบ								
	ความหนา ซม.								
น.น.ขวดแก้ว + กรวย + ทราย (กรัม)									
น.น.ขวดแก้ว + กรวย + ทรายที่เหลือ (กรัม)									
น.น.ทรายในหลุม+กรวย (กรัม)									
น.น.ทรายในหลุม (กรัม)									
ปริมาตรหลุมที่ขุด (ซม.^{3})									
น.น.ภาชนะ + วัสดุชื้น (กรัม)									
น.น.ภาชนะ (กรัม)									
น.น.วัสดุชื้น (กรัม)									
ความแน่นของวัสดุชื้น (กรัม/ซม.^{3})									
ตลับ									
น.น.วัสดุชื้น + ตลับ (กรัม)									
น.น.วัสดุแห้ง + ตลับ (กรัม)									
น.น.น้ำ (กรัม)									
น.น.ตลับ (กรัม)									
น.น.วัสดุแห้ง (กรัม)									
ความชื้นในวัสดุ (ร้อยละ)									
ความแน่นของวัสดุแห้ง (กรัม/ซม.^{3})									
ความแน่นสูงสุด (กรัม/ซม.^{3})									
ค่าร้อยละของการบดอัดวัสดุ (ร้อยละ)									
ผลการทดสอบ									

โครงการ.....	บฟ.มทช.(ท) 501.4-2545	ทะเบียนทดสอบ.....	
.....		ผู้ทดสอบ	
สถานที่ก่อสร้าง.....	(หน่วยที่ทำการทดสอบ)		
ผู้รับจ้าง	การทดสอบความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม	ผู้ตรวจสอบ	
ชนิดตัวอย่าง.....ทดสอบครั้งที่....	ความแน่นของทราย ..... กรัม/ซม.^{3} ☐ Std.		
ทดสอบวันที่.....แผ่นที่.....	น้ำหนักทรายในกรวย ..... กรัม ☐ Mod.	อนุมัติ	
	ความแน่นที่ต้องการ..... ร้อยละ		

STATION	SAMPLE	1	2	3	4	5	6	7	8
	DISTANCE								
	OFFSET								
WT. OF CONTAINER + SAND gm.									
WT. OF CONTAINER + SAND REMAINING									
WT. OF SAND IN HOLE + FUNNEL gm.									
WT. OF SAND IN gm.									
VOLUME OF SAND cc.									
WT. OF CONTAINER + WET gm.									
WT. OF CONTAINER gm.									
WT. OF WET SAMPLE gm.									
WET DENSITY gm./cc.									
CAN NO.									
WT. OF WET SAMPLE + CAN gm.									
WT. OF DRY SAMPLE + CAN gm.									
WT. OF WATER gm.									
WT. OF CAN gm.									
WT. OF DRY SAMPLE gm.									
WATER CONTENT %									
DRY DENSITY gm./cc.									
MAXIMUM DRY DENSITY gm./cc.									
PERCENT OF COMPACTION %									
RESULTS									
REMARKS									

มทช.(ท) 501.5-2545
วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว
(liquid limit : L.L.)

---

1. **ขอบข่าย**

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าขีดเหลวของดิน

2. **นิยาม**

ขีดเหลวของดินคือ ปริมาณน้ำเป็นร้อยละที่ผสมอยู่ในดิน ซึ่งพอเหมาะที่ทำให้ดินเปลี่ยนจากภาวะพลาสติก(plastic) มาเป็นภาวะเหลว (liquid) โดยเปรียบเทียบกับน้ำหนักของเนื้อดินนั้นเมื่ออบแห้ง

3. **วิธีทำ**

3.1 **เครื่องมือและอุปกรณ์** ประกอบด้วย

3.1.1 ถ้วยกระเบื้องเคลือบหรือถ้วยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 115 มม. (4 1/2 นิ้ว)

3.1.2 ใบพายกวนดิน (spatula) ทำด้วยแผ่นโลหะบางไร้สนิม มีปลายมนขนาดยาวประมาณ 75 มม.(3 นิ้ว) กว้าง 19 มม. (3/4นิ้ว)

3.1.3 เครื่องมือทดสอบ แบ่งเป็น 2 ชนิด

3.1.3.1 เครื่องมือทดสอบที่ทำงานด้วยเครื่องมือ ประกอบด้วยถ้วยทองเหลืองและที่ยกถ้วย สร้างอย่างถูกต้องตามแบบและขนาดตามรูปที่ 1 (ก)

3.1.3.2 เครื่องมือทดสอบที่ทำงานด้วยเครื่องกล เป็นเครื่องมือที่ทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยมีความสูงในการยกถ้วยทองเหลือง และอัตราการตกกระทบพื้น ตามข้อกำหนดของการทดสอบนี้ ขนาดของถ้วยทองเหลืองและขนาดของส่วนที่สำคัญของเครื่อง ต้องสอดคล้องกับที่แสดงไว้ตามรูปที่ 1 (ก) และผลการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบที่ทำงานด้วยเครื่องกลนี้ ต้องเหมือนกับผลการทดสอบที่ทดสอบ โดยใช้เครื่องมือทดสอบที่ทำงานด้วยมือ

3.1.4 เครื่องมือปาดร่องดิน (grooving tool) ต้องมีขนาดในส่วนที่สำคัญตามรูปที่ 1 (ข) ส่วนที่ใช้วัดระยะไม่ถือว่าเป็นส่วนสำคัญ

3.1.5 เครื่องวัดระยะ (gage) ถ้าติดอยู่กับเครื่องมือปาดร่องดินต้องมีขนาดในส่วนที่สำคัญตามรูปที่ 1(ข) ถ้าแยกส่วนกับเครื่องมือปาดร่องดินจะต้องมีลักษณะเป็นแท่งทำด้วยโลหะหนา 10.00±0.02 มม. (0.394±0.001 นิ้ว) และยาวประมาณ 50.8 มม. (2 นิ้ว)

3.1.6 ตลับบรรจุดิน (container) ต้องมีขนาดพอเหมาะทำด้วยโลหะมีฝาปิด เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นขณะก่อนชั่งและระหว่างชั่งหาน้ำหนัก

3.1.7 เครื่องชั่ง ต้องสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

3.1.8 ตู้อบ ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) ตลอดเวลาที่ทำการอบดิน

3.1.9 ถ้วยตวงน้ำ สำหรับตวงน้ำ เพื่อผสมลงในดิน

3.1.10 เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (sample splitter) ใช้สำหรับผสมและแบ่งตัวอย่างดิน เพื่อนำมาทดสอบ

3.1.11 ตะแกรงร่อนขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) และขนาด 0.425 มม. (เบอร์ 40)

3.2 **การเตรียมตัวอย่าง**

3.2.1 ผึ่งตัวอย่างดินให้แห้ง หรืออบให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส คลุกเคล้ากันให้ทั่ว แล้วแบ่งออกเป็นสี่ส่วน (quartering) หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่างแบ่งดินให้ได้ตัวอย่างซึ่งสามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ได้ประมาณ 300 กรัม

3.2.2 ถ้าตัวอย่างดินจับกันเป็นก้อนให้ใช้ค้อนยางทุบเบา ๆ พอให้เม็ดดินหลุดออกจากกัน โดยไม่ให้เม็ดดินแตก

3.2.3 เอาดินที่ได้มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ส่วนที่ค้างบนตะแกรงให้ทิ้งไปและเอาดินส่วนที่ร่อนผ่านมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 อีกครั้งหนึ่งโดยใช้เวลาร่อนไม่น้อยกว่า 5 นาที

3.2.4 ดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 40 ให้ทิ้งไป ส่วนดินที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 คือ ดินที่จะนำไปใช้ทดสอบต่อไป

3.3 **แบบฟอร์ม** ให้ใช้แบบฟอร์ม ที่ บฟ. มทช.(ท) 501.5-2545

3.4 **การทดสอบ** ก่อนทำการทดสอบทุกครั้งให้ตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ทดสอบทั้งหมดว่าอยู่ในสภาพที่ดี มีขนาดถูกต้องตรงตามข้อกำหนด ตามรูปที่ 1 เสียก่อน และตรวจดูถ้วยทองเหลืองของเครื่องทดสอบขีดจำกัดเหลวว่ายกได้สูง 1 ซม. แล้วสามารถตกกระทบพื้นได้อย่างอิสระหรือไม่ ถ้าไม่ได้ให้ปรับให้ถูกต้อง

3.4.1 เอาดินที่เตรียมไว้ประมาณ 100 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบเติมน้ำกลั่นที่ปราศจากสารใดๆ เจือปนประมาณ 15 ถึง 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงผสมและกวนให้เนื้อดินและน้ำผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้ใบพายกวนดินนวดและเคล้าไปมา เติมน้ำอีกครั้งละ 1-3 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนจนดินและน้ำเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที ห้ามใช้ถ้วยทองเหลืองของเครื่องทดสอบขีดเหลว เป็นที่ผสมดินกับน้ำ

3.4.2 เมื่อผสมน้ำกวนดินจนเหนียวพอประมาณเคาะได้ 40 ครั้ง ให้ใช้แผ่นกระจกปิดปากถ้วยไว้ แล้วทิ้งไว้ประมาณ 50-60 นาที เพื่อให้ดินชุ่มน้ำตลอดทั่วถึงกัน

3.4.3 แบ่งดินส่วนหนึ่ง จำนวนพอควร ใส่ลงในถ้วยทองเหลืองของเครื่องมือทดสอบขีดเหลว บริเวณเหนือก้นถ้วยทองเหลืองที่อยู่บนฐาน ใช้พายกวนดินปาดแต่งให้ได้ระดับ และไม่ให้มีฟองอากาศในเนื้อดิน และให้เนื้อดินที่ก้นถ้วยทองเหลืองหนาประมาณ 1 ซม. พยายามปาดแต่งให้น้อยที่สุด ดินส่วนที่เหลือตักออกใส่ถ้วยกระเบื้องเคลือบอย่างเดิม

3.4.4 จับถ้วยทองเหลืองให้แน่น แล้วใช้เครื่องมือปาดร่องดิน ปาดดินให้เป็นร่องตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของถ้วยทองเหลือง โดยลากตัดไปมาจนร่องที่ได้สะอาดและเหลี่ยมมุมคม ขนาดของร่องต้องถูกต้องตามรูปที่ 2 เพื่อไม่ให้ร่องดินฉีกขาด หรือดินในถ้วยทองเหลืองเลื่อนไถลให้ค่อย ๆ ลากเครื่องมือปาดร่องดินไปมาโดยเพิ่มความลึกลงในเนื้อดินทีละน้อยแต่ต้องไม่ปาดไปมาเกิน 6 ครั้ง โดยครั้งสุดท้ายเครื่องมือปาดร่องดินจะขูดผิวของก้นถ้วยทองเหลืองพอดี

3.4.5 หมุนเคาะถ้วยทองเหลืองด้วยอัตราเร็ว 2 ครั้งต่อวินาที จนดินสองข้างของร่องเลื่อนมาชนกันที่ก้นถ้วยทองเหลืองยาวประมาณ 12.7 มม. (0.5 นิ้ว) บันทึกจำนวนครั้งที่เคาะไว้ การทดสอบในข้อ 3.4.3 ถึง 3.4.5 นี้ต้องใช้เวลาไม่เกิน 3 นาที

3.4.6 ให้เก็บตัวอย่างดินตรงที่เลื่อนมาชนกันตลอดแนวความกว้างของดินที่ตั้งฉากกับร่องดิน ใส่ลงตลับบรรจุดินนำไปชั่งทันที บันทึกน้ำหนักไว้ อบดินในตลับจนแห้งด้วยอุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) แล้วนำไปชั่งบันทึกน้ำหนักที่ชั่งไว้ น้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของน้ำที่ระเหยออกไป การชั่งน้ำหนักดินในข้อนี้ต้องอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

3.4.7 เอาดินที่เหลือในถ้วยทองเหลืองใส่กลับลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ แล้วเติมน้ำผสมลงไปกวนจนเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนถ้วยทองเหลืองและเครื่องมือปาดร่องดิน ให้ล้างและเช็ดให้แห้ง

3.4.8 ทำการทดสอบตามข้อ 3.4.3 ถึงข้อ 3.4.7 ทั้งสิ้น 4 ครั้ง ด้วยการเพิ่มน้ำลงในดิน เพื่อให้เหลวมากขึ้นในการทดสอบครั้งถัดไป โดยให้การหมุนเคาะถ้วยทองเหลืองในการทดสอบแต่ละครั้งในอัตรา 35-40, 25-35, 20-30, 15-25 ครั้ง คือ ให้เคาะต่างกันประมาณ 5-7 ครั้ง ถ้าหมุนเคาะน้อยกว่า 15 ครั้ง หรือมากกว่า 40 ครั้ง ถือว่าการทดสอบนั้นใช้ไม่ได้

3.4.9 ในกรณีที่ผสมดินเหลวไป ให้เกลี่ยดินออกเป็นชั้นบาง ๆ แล้วผึ่งลมไว้ชั่วครู่จนดินแห้งตามต้องการ อย่าทิ้งไว้ให้แห้งจนแข็ง ห้ามใช้วิธีเอาดินแห้งผสมเพิ่มลงไปในดินเหลว

4. **การคำนวณ**

คำนวณปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ในดินเป็นร้อยละของน้ำหนักต่อน้ำหนักดินอบแห้ง ดังนี้

4.1 คำนวณหาค่าความแน่นชื้น (wet density)

$$\text{ความชื้นเป็นร้อยละ} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำ}}{\text{น้ำหนักของดินอบแห้ง}} \times 100$$

5. **การรายงาน**

5.1 เขียนโฟลว์เคิฟ (flow curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในเนื้อดินและจำนวนครั้งของการหมุนเคาะในการทดสอบลงบนกระดาษกราฟ กึ่งลอการิทึม (semi-logarithmic graph) โดยให้แกนตั้งแสดงค่าความชื้นในเนื้อดินเป็นร้อยละ และจำนวนครั้งที่เคาะอยู่บนแกนนอน ซึ่งเป็นมาตราลอการิทึม (logarithmic) โฟลว์เคิฟ ควรเป็นเส้นตรง ที่ลากผ่านหรือใกล้จุดที่ได้บนกระดาษกราฟมากจุดที่สุด

5.2 ค่าขีดเหลว คือ ความชื้นเป็นร้อยละ (percentage of moisture) ตรงจุดที่โฟลว์เคิฟ มีจำนวนครั้งที่หมุนเคาะเท่ากับ 25 ครั้ง

6. **ข้อควรระวัง**

6.1 ในดินบางชนิดที่มีค่า "ดัชนีความเป็นพลาสติก (plasticity index : P.I.)" ต่ำ การเลื่อนตัวของดินมาชนกันในถ้วยทองเหลือง ขณะทดสอบอาจมีลักษณะชนกันเฉย ๆ ไม่เชื่อมเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถใช้ใบพายกวนดินเขี่ยให้แยกออกจากกันได้ ต้องเพิ่มน้ำลงผสมในเนื้อดิน แล้วทำการทดสอบใหม่

6.2 การเตรียมตัวอย่างดินก่อนการร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 40 ต้องบดให้เม็ดดินหลุดออกจากกันให้หมดโดยไม่ทำให้เม็ดดินแตก และไม่อบตัวอย่างดินเกินอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

6.3 เมื่อสิ้นสุดการเคาะดินแต่ละการทดสอบ ให้รีบเก็บตัวอย่างดินแล้วชั่งเพื่อหาความชื้นทันที เพราะน้ำในดินจะระเหยทำให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อนได้

6.4 ห้ามผสมดินในถ้วยทองเหลืองของเครื่องมือทดสอบขีดเหลว ให้ผสมในถ้วยกระเบื้องเคลือบเท่านั้น

6.5 ในขณะทำการทดสอบให้วางเครื่องทดสอบบนพื้นที่มั่นคงแข็งแรง และจับยึดเครื่องมือทดสอบไม่ให้เคลื่อนที่ขณะหมุนเคาะถ้วยทองเหลือง

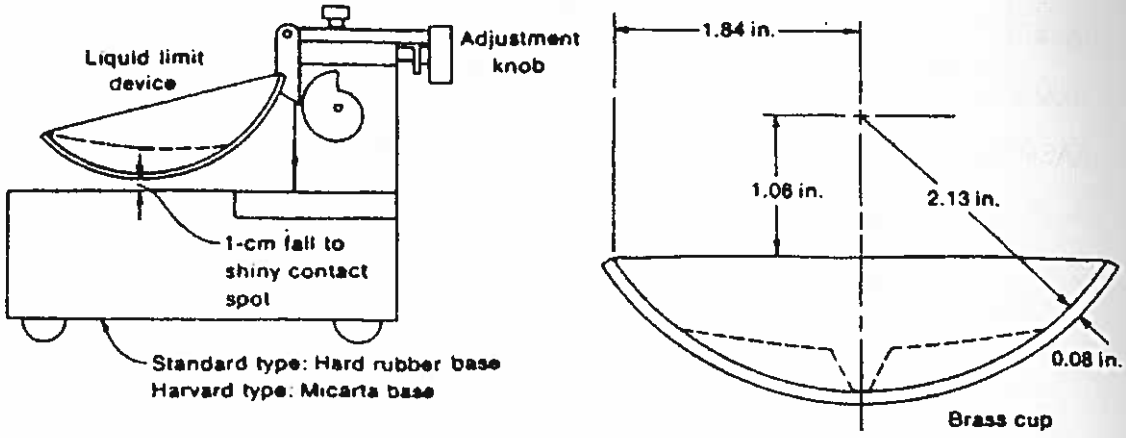
6.6 น้ำที่ใช้ผสมดินทดสอบ ต้องบริสุทธิ์ สะอาดปราศจากสารใด ๆ ที่สามารถทำให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อน

7 หนังสืออ้างอิง

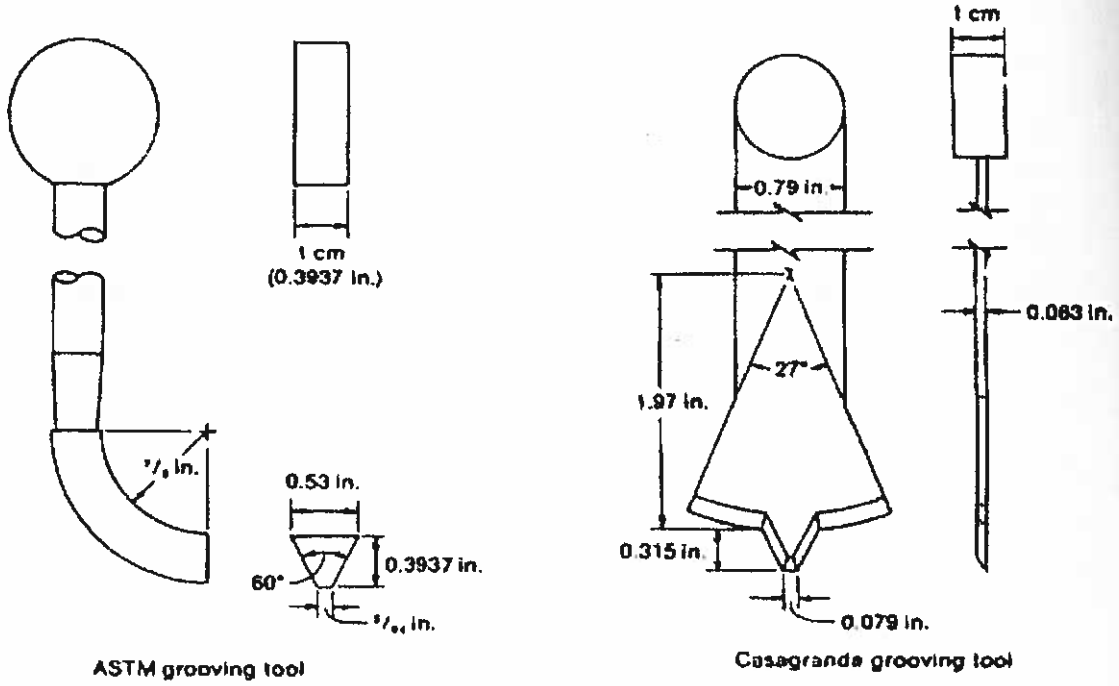
7.1 เอกสารการทดสอบที่ ทล-ท. 102/2515 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

7.2 STANDARD METHOD OF TEST FOR DETERMINING THE LIQUID LIMIT OF SOILS ; AASHTO DESIGNATION : T 89-76

****



รูปที่ 1 (ก) เครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว



รูปที่ 1 (ข) เครื่องมือปาดร่องดิน

โครงการ.....

.....

สถานที่ก่อสร้าง.....

ผู้รับจ้าง.....

ชนิดตัวอย่าง..... ทดสอบครั้งที่.....

วันที่ทดสอบ..... แผ่นที่.....

บฟ.มทช.(ท) 501.5-2545

(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ)

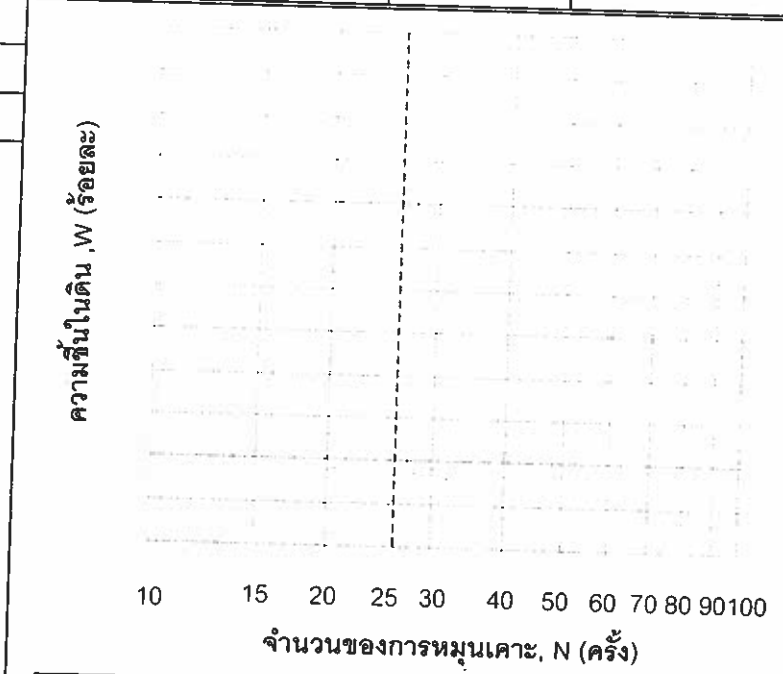
การทดสอบหาค่าแอตเตอร์เบิร์กและค่าขีดหดตัว

ลักษณะดิน..... หลุมที่.....

ความลึก.....เมตร ค่าความถ่วงจำเพาะ, Gs.....

ทะเบียนทดสอบ.....	
ผู้ทดสอบ	
ผู้ตรวจสอบ	
อนุมัติ	

การทดสอบ	ค่าขีดเหลว (Liquid Limit)			ค่าขีดพลาสติค (Plastic Limit)			ค่าขีดหดตัว (Shrinkage)		
ครั้งที่	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ตลับบรรจุดินหมายเลข									
จำนวนของการหมุนเคาะ									
น้ำหนักดินชื้น + ตลับ									
น้ำหนักอบแห้ง + ตลับ									
น้ำหนักน้ำ									
น้ำหนักตลับบรรจุดิน									
น้ำหนักดินอบแห้ง, W_s									
ความชื้นในดิน, W									
ปริมาตรของดินชื้น, V (ซม.^{3})									
ปริมาตรดินอบแห้ง, V_o (ซม.^{3})									
การหดตัวเชิงปริมาณ (Shrinkage Vol) $V - V_o$ (ซม.^{3})									
ค่าขีดหดตัว, SL (ซม.^{3})									



Group	L.L. = %	P.L. = %	P.I. = %	S.L. = %

มทช.(ท) 501.6-2545
วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก
(plastic limit : P.L.)

---

1. **ขอบข่าย**

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าขีดพลาสติกของดิน

2. **นิยาม**

2.1 ขีดพลาสติกของดิน หมายถึง ปริมาณน้ำจำนวนน้อยที่สุด ที่วัดโดยกรรมวิธีทดสอบที่จะกล่าวต่อไป ซึ่งยังคงทำให้ดินมีสภาพเป็นพลาสติก โดยมีค่าเป็นร้อยละของน้ำต่อน้ำหนักดินอบแห้ง

2.2 ค่าดัชนี ความเป็นพลาสติก (plasticity index : P.I.) ของดิน หมายถึง ปริมาณน้ำในดินช่วงหนึ่ง ซึ่งดินนั้นยังคงสภาพเป็นพลาสติก มีค่าเป็นผลต่างระหว่างค่าขีดเหลว และขีดพลาสติกของดินนั้น

3. **วิธีทำ**

3.1 **เครื่องมือและอุปกรณ์** ประกอบด้วย

3.1.1 ถ้วยกระเบื้องเคลือบหรือถ้วยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน สำหรับใส่ดินกวนผสมกับน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 115 มม. (4 1/2 นิ้ว)

3.1.2 ใบพายกวนดิน (spatula) ทำด้วยแผ่นโลหะบางไร้สนิม มีปลายมนขนาดยาวประมาณ 75 มม.(3 นิ้ว) กว้าง 19 มม. (3/4นิ้ว)

3.1.3 พื้นผิวเรียบสำหรับคลึงดิน อาจใช้แผ่นกระจกเรียบหรือแผ่นวัสดุพื้นผิวเรียบไม่ดูดซึมน้ำในขณะคลึงตัวอย่างดิน

3.1.4 ตลับบรรจุดินต้องมีขนาดพอเหมาะทำด้วยโลหะมีฝาปิด เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นขณะก่อนชั่งและระหว่างชั่งหาน้ำหนัก

3.1.5 เครื่องชั่ง ต้องสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

3.1.6 ตู้อบ ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110±5 องศาเซลเซียล (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) ตลอดเวลาที่ทำการอบดิน

3.1.7 ตะแกรงร่อนดินขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) และขนาด 0.425 มม. (เบอร์ 40)

3.2 **การเตรียมตัวอย่าง** ดำเนินการตามวิธีการเตรียมตัวอย่าง เช่นเดียวกับการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว ตาม มทช.(ท) 501.5-2545

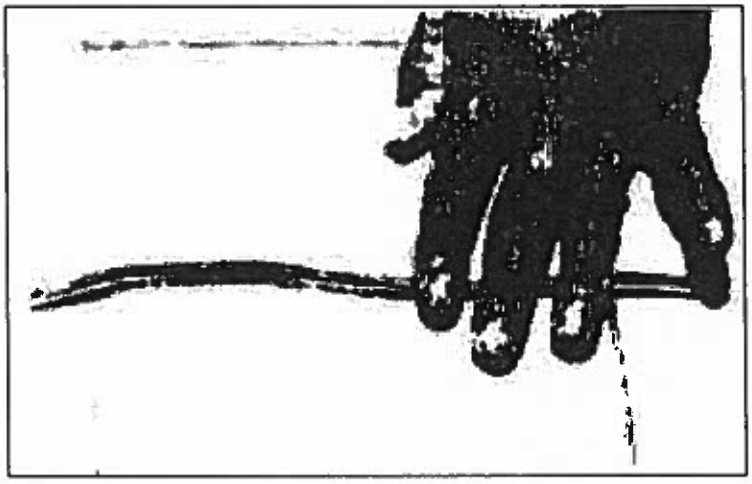
3.3 **แบบฟอร์ม** ให้ใช้แบบฟอร์ม ที่ บฟ. มทช.(ท) 501.5-2545

3.4 การทดสอบ

3.4.1 เอาดินตัวอย่างที่เตรียมไว้ประมาณ 20 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบเติมน้ำกลั่นลงแล้วกวนให้ทั่วจนเป็นเนื้อเดียวกันและเหนียวพอที่จะปั้นเป็นก้อนได้ แบ่งดินนั้นมาประมาณ 8 กรัม คลึงให้เป็นรูปลักษณะแท่งกลมยาว หรือเส้นยาว (ellipsoidal shape)

3.4.2 นวดและคลึงดินรูปลักษณะแท่งกลมยาวนั้นบนผิวพื้นเรียบสำหรับคลึงดินที่วางราบอยู่ด้วยนิ้วมือ ให้กดดินด้วยแรงพอสมควรจนดินมีลักษณะเป็นเส้นยาว และมีเส้นผ่านศูนย์กลางสม่ำเสมอกันตลอดเส้นด้วยอัตราการคลึงไปมาระหว่าง 80-90 เที่ยวต่อนาที โดยถือว่าการคลึงไปและกลับเป็นหนึ่งเที่ยว

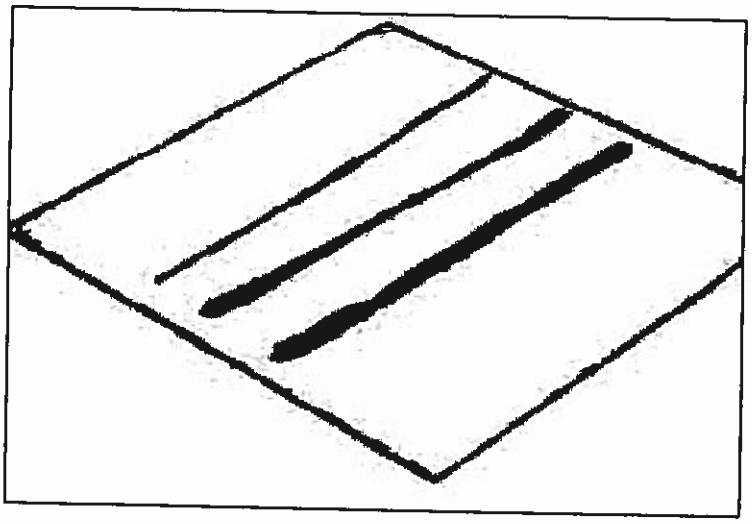
3.4.3 เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของดินที่คลึงมีขนาด 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) แล้วตัวอย่างดินยังไม่แตกให้ตัดดินนี้ออกเป็น 6 ถึง 8 ส่วน บีบนวดเข้าด้วยกันด้วยนิ้วมือจนดินเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน คลึงให้เป็นรูปลักษณะแท่งกลมยาว แล้วทำตามข้อ 3.4.2 ซ้ำใหม่ ดูรูปที่ 1 การคลึงดินเพื่อหาขีดพลาสติก



รูปที่ 1 การคลึงดินเพื่อหาขีดพลาสติก

3.4.4 เมื่อคลึงจนดินมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) แล้วดินแตกร้าวออก ไม่สามารถคลึงให้เป็นเส้นต่อเนื่องกันได้ให้รวบรวมตัวอย่างดินที่แตกทั้งหมดใส่ลงตลับบรรจุดินปิดฝาทันที แล้วนำไปชั่งบันทึกน้ำหนักไว้แล้วเอาไปอบที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) จนแห้ง นำไปชั่งใหม่บันทึกน้ำหนักดินแห้งไว้ น้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของน้ำที่อยู่ในดิน การชั่งน้ำหนักให้อ่านละเอียดถึง 0.01 กรัม

3.4.5 การแตกของดินในข้อ 3.4.4 มีหลายลักษณะแล้วแต่ชนิดของดิน อาจแตกร่วนเป็นก้อนเล็ก ๆ อาจลอกออกเป็นชั้น ๆ จากปลายทั้งสองข้างเข้าหาส่วนกลางจนแตกออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ เป็นต้น ตามรูปที่ 2 ตัวอย่างดินแท่งกลมยาว



รูปที่ 2 ตัวอย่างดินแท่งกลมยาว

3.4.6 สำหรับดินเหนียวมาก ๆ (heavy clay soil) ต้องใช้แรงกดในการคลึงมาก โดยเฉพาะเมื่อใกล้จะแตกแต่เมื่อคลึงจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) แล้วดินเหนียวยังไม่แตกให้ลดแรงกด หรืออัตราความเร็วของการคลึงลงหรือลด ทั้งสองอย่าง แล้วคลึงต่อไปโดยไม่ทำให้เส้นดินชิ้นเล็กลงจนในที่สุดดินเหนียวจะขาดออกเป็นท่อน ๆ ยาวประมาณ 6.4 มม. ถึง 9.5 มม. (1/4 นิ้ว ถึง 3/8 นิ้ว)

3.4.7 สำหรับดินเหนียวที่อ่อนมาก (very soft clay) ให้คลึงเป็นรูปไข่ยาวในตอนเริ่มการทดสอบให้มีขนาดใกล้เคียงเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) ได้ เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างดิน

3.4.8 ในกรณีที่คลึงดินจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใกล้เคียง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) หรือใหญ่กว่าเล็กน้อยแล้วดินนั้นแตก ถ้าดินนั้นเคยคลึงให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) ได้มาก่อน ให้ถือว่าดินนั้นแตกที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว)

3.4.9 ในการคลึงให้ดินเป็นเส้น ให้คลึงด้วยแรงกดและอัตราความเร็วสม่ำเสมอคงที่ ห้ามเร่งเพื่อให้ดินแตกเมื่อมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว)

3.4.10 ต้องทำการทดสอบอย่างน้อยตัวอย่างละ 2 ครั้ง และผลต่างของผลที่ได้จะต้องต่างกันไม่เกินร้อยละ 2

4. **การคำนวณ**

คำนวณค่าขีดพลาสติก เป็นร้อยละของน้ำที่ผสมอยู่ในดินที่อบแห้ง ดังนี้

$$\text{ขีดพลาสติก (ความชื้นเป็นร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำ}}{\text{น้ำหนักของดินอบแห้ง}} \times 100$$

ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก เป็นผลต่างระหว่างขีดเหลว และขีดพลาสติกของดินนั้น คำนวณ ดังนี้

$$\text{ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (P.I.)} = \text{ค่าขีดเหลว (L.L.)} - \text{ขีดพลาสติก (P.L.)}$$

5. **การรายงาน**

ให้รายงานเป็นค่าขีดพลาสติก และค่าดัชนีความเป็นพลาสติก นอกจากดินมีสภาพต่อไปนี้

5.1 ให้รายงานค่าดัชนีความเป็นพลาสติก เป็น นอน-พลาสติก (non-plastic) เมื่อไม่สามารถวัดค่าขีดเหลว หรือขีดพลาสติก

5.2 เมื่อค่าขีดพลาสติกเท่ากับ หรือมากกว่าค่าขีดเหลว ให้รายงานค่าดัชนีความเป็นพลาสติก เป็นนอน-พลาสติก

6. **ข้อควรระวัง**

6.1 ในการคลึงให้ดินเป็นรูปลักษณะแท่งกลมยาว ให้คลึงด้วยแรงกดและอัตราเร็วสม่ำเสมอและคงที่ ห้ามเร่งเพื่อให้ดินแตก

6.2 เมื่อคลึงดินแตกแล้ว ให้รีบชั่งหาน้ำหนักทันที ก่อนที่น้ำจะระเหยหายไป

6.3 ดินที่มีค่าดัชนีความเป็นพลาสติกต่ำ ให้แต่งดินเป็นแท่งยาวก่อนคลึงและน้ำหนักนิ้วที่กดขณะคลึงต้องเบา และให้คอยซับน้ำที่เยิ้มออกจากตัวอย่างดินมาติดแผ่นผิวเรียบ

6.4 ตัวอย่างดินที่มีทรายปนมากอาจเป็นพวกนอน-พลาสติก ให้ทดลองหาค่าขีดพลาสติกก่อนเพื่อประหยัดเวลา

7. **หนังสืออ้างอิง**

7.1 เอกสารการทดสอบที่ ทล-ท. 103/2515 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง

7.2 STANDARD METHOD FOR DETERMINING THE PLASTIC LIMIT AND PLASTICITY INDEX OF SOILS ; AASHTO DESIGNATION : T 90-70

****

โครงการ.....

.....

สถานที่ก่อสร้าง.....

ผู้รับจ้าง.....

ชนิดตัวอย่าง..... ทดสอบครั้งที่.....

วันที่ทดสอบ..... แผ่นที่.....

บฟ.มทช.(ท) 501.5-2545

(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ)

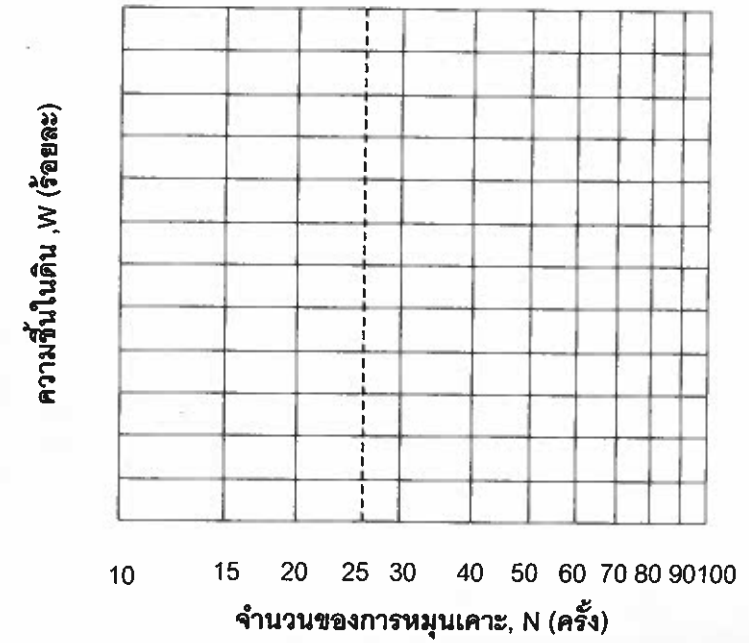
การทดสอบหาค่าแอตเตอร์เบิร์กและค่าขีดหดตัว

ลักษณะดิน..... หลุมที่.....

ความลึก.....เมตร ค่าความถ่วงจำเพาะ, Gs.....

ทะเบียนทดสอบ.....	
ผู้ทดสอบ	
ผู้ตรวจสอบ	
อนุมัติ	

การทดสอบ		ค่าขีดเหลว (Liquid LImit)			ค่าขีดพลาสติค (Plastic Limit)			ค่าขีดหดตัว (Shrinkage)		
ครั้งที่		1	2	3	1	2	3	1	2	3
ตลับบรรจุดินหมายเลข										
จำนวนของการหมุนเคาะ	(ครั้ง)									
น้ำหนักดินชื้น + ตลับ	(กรัม)									
น้ำหนักอบแห้ง + ตลับ	(กรัม)									
น้ำหนักน้ำ	(กรัม)									
น้ำหนักตลับบรรจุดิน	(กรัม)									
น้ำหนักดินอบแห้ง, W_s	(กรัม)									
ความชื้นในดิน, W	ร้อยละ									
ปริมาตรของดินชื้น, V	(ซม.^{3})									
ปริมาตรดินอบแห้ง, V_o	(ซม.^{3})									
การหดตัวเชิงปริมาณ (Shrinkage Vol) V - V_o	(ซม.^{3})									
ค่าขีดหดตัว, SL	(ซม.^{3})									



GROUP	L.L. = %	P.L. = %	P.I. = %	S.L. = %

ฉบับ

มทช.(ท) 501.7-2545
วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การหดตัว
(shrinkage factors)

---

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการทดสอบที่ครอบคลุมถึงการหาคุณสมบัติต่าง ๆ ของดิน ดังนี้

1.1 ค่าขีดหดตัว (shrinkage limit)

1.2 ค่าอัตราส่วนการหดตัว (shrinkage ratio)

1.3 ค่าการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร (volumetric change)

1.4 ค่าการหดตัวเชิงเส้น (linear shrinkage)

2. นิยาม

2.1 ค่าขีดหดตัว หมายถึง จำนวนความชื้น (water content) มากที่สุดที่ผสมในดิน ซึ่งเมื่อความชื้นดังกล่าวลดลงแล้ว ไม่ทำให้ปริมาตรรวมของมวลดินลดลงตามด้วย

2.2 ค่าอัตราส่วนการหดตัว หมายถึง อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของดินที่เปลี่ยนแปลง และความชื้นในดินที่เปลี่ยนแปลง โดยค่าทั้งสองต้องสอดคล้องกันเหนือค่าขีดหดตัว

2.3 ค่าการเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร หมายถึง ค่าปริมาตรของมวลดินที่ลดลง เมื่อความชื้นลดลงจากร้อยละของความชื้นที่หาได้ จนถึงขีดหดตัว

2.4 ค่าการหดตัวเชิงเส้น หมายถึง ค่าการหดตัวของมิติใดมิติหนึ่งของมวลดิน เมื่อความชื้นในดินนั้นลดลงจากร้อยละของความชื้นที่หาได้ จนถึงค่าขีดหดตัว

3. วิธีทำ

3.1 **เครื่องมือและอุปกรณ์** ประกอบด้วย

3.1.1 **ถ้วยกระเบื้องเคลือบ**

3.1.1.1 ถ้วยกระเบื้องเคลือบสำหรับผสมดินหรือถ้วยในลักษณะเดียวกันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 115 มม. (4 1/2นิ้ว)

3.1.1.2 ถ้วยกระเบื้องเคลือบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 150 มม. (6 นิ้ว)

3.1.2 ใบพายกวนดิน (spatula) ใบพายกวนดินหรือใบมีดบาง มีใบพายหรือใบมีดยาว 75 มม. (3 นิ้ว) กว้าง 19 มม. (3/4 นิ้ว)

3.1.3 ภาชนะกระเบื้องเคลือบหรือโลหะเคลือบ (milk dish) มีฐานราบและเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 45 มม. (1 3/4 นิ้ว) สูงประมาณ 12.7 มม. (1/2 นิ้ว)

3.1.4 เหล็กปาด (straight edge) ทำด้วยเหล็กยาวประมาณ 100 มม. (4 นิ้ว)

3.1.5 ถ้วยแก้ว (glass cup) เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50.8 มม. (2 นิ้ว) สูง 25 มม. (1 นิ้ว) ขอบปากถ้วยแก้วราบเรียบและขนานกับฐาน

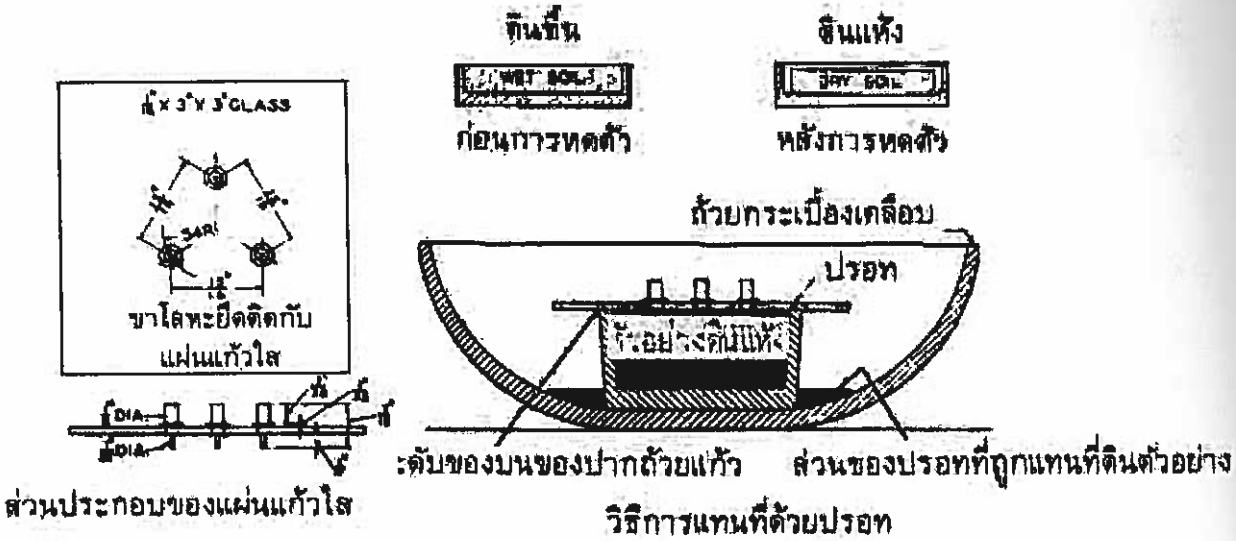
3.1.6 แผ่นแก้วใส (transparent plate) มีขาโลหะ 3 ขา สำหรับกดตัวอย่างดินให้จมลงในปรอท

3.1.7 กระบอกตวง (glass graduate) ขนาดความจุ 25 ลูกบาศก์เซนติเมตร และอ่านได้ละเอียดถึง 0.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.1.8 เครื่องชั่ง (balance) สามารถอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

3.1.9 ปรอท (mercury) จำนวนมากพอที่จะใส่ในถ้วยแก้ว (ข้อ 3.1.5) ได้เต็มจนล้น

3.1.10 ตู้อบ (oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ที่ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) เพื่ออบดินให้แห้งได้



Metric Equivalents

in	1/32	1/16	1/ 8	7/ 32	7/16	15/16	3
mm.	0.8	1.6	3.2	5.6	11.1	23.8	76.2

รูปที่ 1 เครื่องมือสำหรับหาค่าสัมประสิทธิ์การหดตัว

3.2 **การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ** เตรียมโดยนำตัวอย่างดินมาร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 0.425 มม. (เบอร์ 40) คลุกเคล้ากันให้ทั่ว แล้วแบ่งดินประมาณ 30 กรัม มาใช้ทดสอบ

3.3 **แบบฟอร์ม** ให้ใช้แบบฟอร์ม ที่ บฟ. มทช.(ท) 501.5-2545

3.4 **การทดสอบ**

3.4.1 ผสมตัวอย่างดินในถ้วยกระเบื้องเคลือบ สำหรับผสมดินด้วยน้ำให้ทั่วถึงด้วยปริมาณน้ำที่เพียงพอที่จะแทนที่ช่องว่าง (void) ระหว่างเม็ดดินทั้งหมดได้และเหลวพอที่จะบรรจุลงในภาชนะกระเบื้องเคลือบ โดยปราศจากฟองอากาศ จำนวนน้ำที่ต้องผสมดินร่วนเพื่อให้เหลวตามต้องการนั้น จะมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าค่าขีดเหลว (liquid limit) และจำนวนน้ำที่ต้องใส่ผสมกับดินเหนียว เพื่อให้เหลวตามต้องการอาจมากกว่าค่าขีดเหลวถึงร้อยละ 10

3.4.2 ทาด้านในของภาชนะกระเบื้องเคลือบ ด้วยขี้ผึ้งหรือน้ำมันหล่อลื่นเพียงบาง ๆ เพื่อป้องกันมิให้ดินติดภาชนะ ใส่ดินที่ผสมน้ำแล้วประมาณ 1/3 ของปริมาตรของภาชนะลงกลางภาชนะและค่อย ๆ เคาะภาชนะบนพื้นที่ราบเรียบรองด้วยกระดาษซับหลาย ๆ ชั้นหรือวัสดุที่คล้ายกันจนดินไหลไปชนด้านข้างของภาชนะใส่ดินจำนวนเท่า ๆ กับครั้งแรกลงในภาชนะอีก และเคาะจนดินแน่นและฟองอากาศลอยขึ้นมาบนผิวจนหมดแล้ว เติมดินจำนวนมากกว่าคราวก่อนเล็กน้อยลงในภาชนะและเคาะจนดินเต็ม และล้นขอบภาชนะเล็กน้อยปาดดินที่ล้นออกด้วยเหล็กปาดและเช็ดดินที่ติดอยู่ข้าง ๆ ภาชนะออกให้หมด

3.4.3 ชั่งภาชนะที่มีดินบรรจุอยู่เต็มทันทีและบันทึกไว้ เป็นค่าน้ำหนักของภาชนะและดินชื้น ปล่อยให้ตัวอย่างดินในภาชนะแห้งที่อุณหภูมิของห้องทดสอบ จนกระทั่งสีของตัวอย่างดินจางลง แล้วอบในตู้อบด้วยอุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230±9 องศาฟาเรนไฮต์) จนแห้งแล้วชั่งและบันทึกไว้เป็นน้ำหนักของภาชนะและดินแห้ง หาน้ำหนักของภาชนะเปล่าและบันทึกไว้ สำหรับปริมาตรของภาชนะหาได้โดยใส่ปรอทลงในภาชนะจนล้น แล้วเอาปรอทส่วนที่เกินออกโดยกดแผ่นกระจกเรียบบนปากภาชนะจนสนิท วัดปริมาตรปรอทที่อยู่ในภาชนะ โดยเทลงในกระบอกตวงบันทึกปริมาตรภาชนะไว้ ซึ่งเป็นปริมาตรของตัวอย่างดินชื้น (V)

3.4.4 หาปริมาตรของดินอบแห้งได้โดยให้ดินอบแห้งแทนที่ปรอทในถ้วยแก้วที่บรรจุปรอทอยู่เต็ม (ดูรูปที่ 1) ดังนี้

ใส่ปรอทในถ้วยแก้วจนเต็มล้น และให้เอาปรอทส่วนเกินออกโดยการกดแผ่นแก้วใสที่มีขาโลหะ 3 ขา อยู่ด้านบนปากถ้วยแก้วให้สนิท และเช็ดปรอทที่ติดข้างถ้วยแล้วออกให้หมด วางถ้วยแก้วที่บรรจุปรอทเต็มนี้ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ แล้ววางตัวอย่างดินอบแห้งบนผิวปรอท และกดให้ตัวอย่างดินจมลงในปรอทด้วยความระมัดระวังด้วยแผ่นแก้วใสที่มีขาโลหะ 3 ขา จนกระทั่งแผ่นแก้วใสกดสนิทขอบปากแก้ว ระวังอย่าให้มีฟองอากาศอยู่ใต้ตัวอย่างดิน หาปริมาตรของปรอทที่ถูกแทนที่ด้วยตัวอย่างดิน โดยใช้กระบอกตวงปรอทที่ล้นออกมาแล้วบันทึกปริมาตรไว้ ซึ่งเป็นปริมาตรของดินอบแห้ง (Vo)

4. การคำนวณ

4.1 คำนวณหาจำนวนความชื้น (water content) ขณะใส่ดินลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ เป็นร้อยละของน้ำหนักดินอบแห้ง ได้จากสูตร

$$w = \frac{w - Wo}{Wo} X\ 100 =$$

เมื่อ w = จำนวนความชื้นเป็นร้อยละขณะใส่ดินลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ

W = น้ำหนักของดินชื้นหาได้โดยหักน้ำหนักภาชนะกระเบื้องเคลือบออกจากน้ำหนักภาชนะและดินที่บรรจุอยู่เต็มภาชนะ หน่วยเป็นกรัม

Wo= น้ำหนักของดินแห้ง หาได้โดยหักน้ำหนักภาชนะกระเบื้องเคลือบออกจากน้ำหนักภาชนะและดินชื้นอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

4.2 คำนวณหาค่า ขีดหดตัว : (S) ได้จากสูตร

$$S = w\left\{\frac{(V - Vo)\gamma_{water}}{Wo} x\ 100\right\}$$

เมื่อ S = ขีดหดตัว

w = จำนวนความชื้นเป็นร้อยละ จากข้อ 4.1

V = ปริมาตรของดินชื้น หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

VO = ปริมาตรของดินแห้ง หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

γ_{water} = น้ำหนักของน้ำต่อหน่วยปริมาตร หน่วยเป็นกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

Wo = น้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

4.3 คำนวณหาค่า อัตราส่วนการหดตัว (R) ได้จากสูตร

$$R = \frac{WO}{Vo\ \gamma_{water}}$$

เมื่อ R = อัตราส่วนการหดตัว

Wo = น้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

Vo = ปริมาตรดินอบแห้ง หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

γ_{water} = น้ำหนักของน้ำต่อหน่วยปริมาตร หน่วยเป็นกรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

4.4 คำนวณหาค่า การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร : (VC) ได้จากสูตร

$$VC = (w - S)\,R$$

เมื่อ VC = การเปลี่ยนแปลงเชิงปริมาตร

w = จำนวนความแน่นชื้นเป็นร้อยละของดินในสภาพใดสภาพหนึ่ง

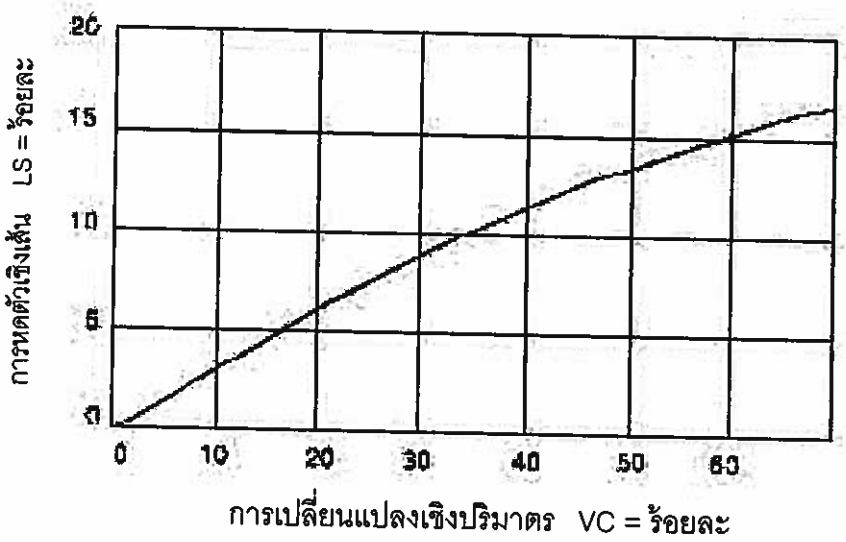
S = ค่าขีดจำกัดการหดตัว

R = ค่าอัตราส่วนการหดตัว

4.5 คำนวนหาค่า การหดตัวเชิงเส้น (LS) ได้จากสูตร

$$LS = 100\ \{\,1 - \sqrt[3]{[100/(VC+100)]}$$

หรือหาได้จากเส้นกราฟ ในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง VC และ LS

5. หนังสืออ้างอิง

5.1 STANDARD METHOD FOR DETERMINING THE SHRINKAGE FACTORS OF SOIL ; AASHTO DESIGNATION : T 92-68

5.2 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง การทดสอบที่ ทลขท. 104/2515

****

โครงการ.....

.....

สถานที่ก่อสร้าง.....

ผู้รับจ้าง.....

ชนิดตัวอย่าง..... ทดสอบครั้งที่.....

วันที่ทดสอบ..... แผ่นที่.....

บฟ.มทช.(ท) 501.5-2545

(หน่วยงานที่ทำการทดสอบ)

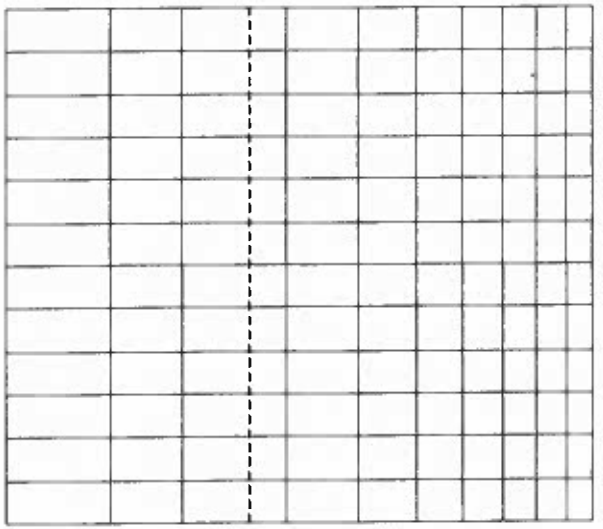
การทดสอบหาค่าแอตเตอร์เบิร์กและค่าขีดหดตัว

ลักษณะดิน..... หลุมที่.....

ความลึก.....เมตร ค่าความถ่วงจำเพาะ, Gs.....

ทะเบียนทดสอบ.....	
ผู้ทดสอบ	
ผู้ตรวจสอบ	
อนุมัติ	

การทดสอบ		ค่าขีดเหลว (Liquid Limit)			ค่าขีดพลาสติก (Plastic Limit)			ค่าขีดหดตัว (Shrinkage)		
ครั้งที่		1	2	3	1	2	3	1	2	3
ตลับบรรจุดินหมายเลข										
จำนวนของการหมุนเคาะ	(ครั้ง)									
น้ำหนักดินชื้น + ตลับ	(กรัม)									
น้ำหนักอบแห้ง + ตลับ	(กรัม)									
น้ำหนักน้ำ	(กรัม)									
น้ำหนักตลับบรรจุดิน	(กรัม)									
น้ำหนักดินอบแห้ง, W_s	(กรัม)									
ความชื้นในดิน, W	ร้อยละ									
ปริมาตรของดินชื้น, V	(ซม.^{3})									
ปริมาตรดินอบแห้ง, V_o	(ซม.^{3})									
การหดตัวเชิงปริมาณ (Shrinkage Vol) V - V_o	(ซม.^{3})									
ค่าขีดหดตัว, SL	(ซม.^{3})									



Group	L.L. = %	P.L. = %	P.I. = %	S.L. = %

มทช.(ท) 501.8-2545
วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ
(sieve analysis)

---

1. **ขอบข่าย**

วิธีการทดสอบนี้ เป็นการหาการกระจายของขนาดเม็ดดิน (particle size distribuion) ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่ จนถึงขนาดเล็กที่มีขนาดช่องผ่าน 0.075 มม. (เบอร์ 200) แล้ว เปรียบเทียบน้ำหนักที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง

2. **นิยาม**

การกระจายของขนาดเม็ดดิน หมายถึงการที่มวลดินประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาดต่าง ๆกัน เช่น ตั้งแต่ 10 ซม. ลงมาจนกระทั่ง 0.0002 มม. ซึ่งคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดิน

การกระจายของขนาดเม็ดดิน แสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดดินในลอการิทึม (logarithm) อยู่บนแกนนอน และร้อยละโดยน้ำหนักของเม็ดที่มีขนาดเล็กกว่าที่ระบุ (percent finer) อยู่บนแกนตั้ง ซึ่งเรียกว่ากราฟการกระจายของขนาดเม็ดดิน (grainsize distribution curve)

3. **วิธีทำ**

3.1 **เครื่องมือและอุปกรณ์** ประกอบด้วย

3.1.1 ตะแกรงร่อนดิน (sieve) ช่องผ่านต้องเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาดช่องผ่านต่าง ๆ ได้ขนาดตามต้องการ พร้อมเครื่องมือเขย่าตะแกรง

3.1.2 เครื่องชั่ง แบบบาล๊านซ์ (balance) จะต้องสามารถชั่งได้ละเอียดถึงร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักตัวอย่าง

3.1.3 ตู้อบ (oven) ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230 ±9 องศาฟาเรนไฮต์)

3.1.4 เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (sample splitter)

3.1.5 แปรงทำความสะอาดตะแกรงชนิดลวดทองเหลือง และแปรงขน หรือแปรงพลาสติก

3.1.6 ภาชนะสำหรับใช้แช่ และล้างตัวอย่างดิน ด้วยมือหรือด้วยชนิดใช้เครื่องเขย่า

3.2 **แบบฟอร์ม** ให้ใช้ แบบฟอร์ม ที่ บฟ. มทช.(ท) 501.8.1-2545
และ แบบฟอร์ม ที่ บฟ. มทช.(ท) 501.8.2-2545

3.3 **การเตรียมตัวอย่าง**

3.3.1 การเตรียมตัวอย่างโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง

นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากันและแยกตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่างในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้นเพื่อลดการแยกตัว ถ้าตัวอย่างไม่มีส่วนละเอียดอาจจะแบ่งขณะที่ตัวอย่างแห้งอยู่ก็ได้ ถ้ามีส่วนละเอียดจับเป็นก้อนใหญ่หรือมีส่วนละเอียดจับกันเองเป็นก้อนต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุดออกจากก้อนใหญ่โดยให้ทุบแยกดินออกเป็นเม็ดอิสระด้วยค้อนยางแต่ต้องระวังอย่าให้แรงมากจนเม็ดดินแตก

3.3.2 การเตรียมตัวอย่างโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง

นำตัวอย่างที่มีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อนไปแยกออกจากกันโดยใช้ค้อนยางทุบแล้วนำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส(230±9 องศาฟาเรนไฮต์) เพื่อหาน้ำหนักตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใช้ล้างตัวอย่าง โดยใช้น้ำยาล้างส่วนละเอียด ซึ่งเตรียมได้จากการละลายผลึกโซเดี่ยมเฮคซะเมตตาฟอสเฟต ซึ่งทำให้เป็นกลางด้วยโซเดี่ยมคาร์บอเน็ต (sodium hexametaphosphate buffered with sodium carbonate) 45.7 กรัม ละลายในน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนผสมกันให้ทั่วตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชม. แล้วนำไปเขย่า ประมาณ 10 นาที ขณะเขย่าระวังอย่าให้น้ำกระฉอกออกจากภาชนะ เทตัวอย่างดินในภาชนะลงบนตะแกรงเบอร์ 200 ถ้าหากมีตัวอย่างขนาดใหญ่ปนอยู่มากควรใช้ตะแกรงที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 200 ซ้อนไว้ข้างบน แล้วใช้น้ำล้างจนกว่าไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อีก เทตัวอย่างลงในภาชนะแล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส (230 ±9 องศาฟาเรนไฮต์)

3.4 **การทดสอบ**

3.4.1 นำตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมตัวอย่าง 3.3.1 หรือ 3.3.2 แล้วแต่จะต้องการทดสอบแบบใดมาโดยประมาณให้ได้ตัวอย่างเมื่อแห้งแล้วตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1

ขนาดตะแกรง	น้ำหนักตัวอย่างไม่น้อยกว่า (กก.)
4.75 มม. (เบอร์ 4)	0.5
9.5 มม. (3/8 นิ้ว)	1.0
12.5 มม. (1/2 นิ้ว)	2.0
19.0 มม. (3/4 นิ้ว)	5.0
25.0 มม. (1 นิ้ว)	10.0
37.5 มม. (1 1/2 นิ้ว)	15.0
50.8 มม. (2 นิ้ว)	20.0
63.0 มม. (2 1/2 นิ้ว)	25.0
75.0 มม. (3 นิ้ว)	30.0
90.0 มม. (3 1/2 นิ้ว)	35.0

3.4.2 นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง รวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่านานจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละชนิดใน 1 นาที ไม่เกินร้อยละ 1 ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือใช้เวลาเขย่านานทั้งหมดประมาณ 15 นาที เมื่อเขย่าเสร็จแล้วถ้ามีตัวอย่างก้อนใหญ่กว่าตะแกรง ขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ต้องไม่มีก้อนตัวอย่างซ้อนกันในตะแกรง และตัวอย่างที่มีเม็ดเล็กกว่าตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ต้องมีตัวอย่างค้างตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัม ต่อ 1,000 ตร.มม. หรือไม่เกิน 200 กรัม สำหรับตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มม. (8 นิ้ว) นำตัวอย่างที่ค้างแต่ละขนาดของตะแกรงไปชั่ง

4. การคำนวณ

4.1 หาน้ำหนักที่ค้าง (weigh tretained) บนตะแกรงแต่ละขนาดโดยชั่งน้ำหนักของตัวอย่างดินที่ค้างบนแต่ละตะแกรงและน้ำหนักที่หายไป เมื่อเอาน้ำหนักของตัวอย่างในทุกตะแกรงรวมกันแล้ว หักออกจากน้ำหนักตัวอย่างอบแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดสอบจะได้น้ำหนักของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 รวมกับน้ำหนักที่ค้างบนถาดรอง (pan)

4.2 หาน้ำหนักที่ผ่าน (weight passing) ตะแกรงแต่ละขนาด โดยคิดจากบรรทัดล่างของช่องน้ำหนักที่ค้างขึ้นไป (ดูแบบฟอร์ม) เอาน้ำหนักของน้ำหนักที่ค้างบนถาดรองเป็นช่องน้ำหนักที่ค้าง ของตะแกรง เบอร์ 200 รวมน้ำหนักของน้ำหนักที่ค้าง น้ำหนักช่องน้ำหนักที่ผ่าน ของตะแกรงเบอร์ 200

เป็นน้ำหนักของช่องน้ำหนักที่ผ่าน บรรทัดบนสุดจะเท่ากับน้ำหนักของตัวอย่างแห้งทั้งหมด ซึ่งใช้ทดสอบ

4.3 คำนวณหาร้อยละผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก (percentage passing) ได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงแต่ละ}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างแห้งทั้งหมดที่ใช้}} \times 100$$

5. **การรายงาน**

ให้รายงานค่าร้อยละ ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ โดยน้ำหนักด้วยทศนิยม 1 ตำแหน่ง ตามแบบฟอร์มที่ บฟ.มทช.(ท) 501.8.1-2545

6. **ข้อควรระวัง**

6.1 การแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง ต้องใช้เครื่องมือขนาดช่องกว้าง ประมาณ 1 1/2 เท่าของก้อนโตที่สุด

6.2 ตรวจดูตะแกรงบ่อย ๆ ถ้าชำรุดต้องซ่อมก่อนใช้ โดยเฉพาะเบอร์ 200

6.3 ห้ามใส่ตัวอย่างลงในตะแกรงขณะที่ยังร้อนอยู่

6.4 การทุบตัวอย่างดินต้องไม่แรงมากจนทำให้เม็ดดินแตก

6.5 การเขย่าอย่าเขย่านานจนตัวอย่างกระแทกแตกเป็นผง

7. **หนังสืออ้างอิง**

7.1 STANDARD METHOD OF TEST FOR AMOUNT OF MATERIAL FINER THAN 0.075 mm. SIEVE IN AGGREGATE ; AASHTO DESIGNATION : T 11-78

7.2 STANDARD METHOS OF TEST FOR SIEVE ANALYSIS OF FINE AND COARSE AGGREGATES ; AASHTO DESIGNATION : T 27-78

7.3 STANDARD METHOD OF TEST FOR SIEVE ANALYSIS OF MINERAL FILLER : AASHTO DESIGNATION : T 37-77

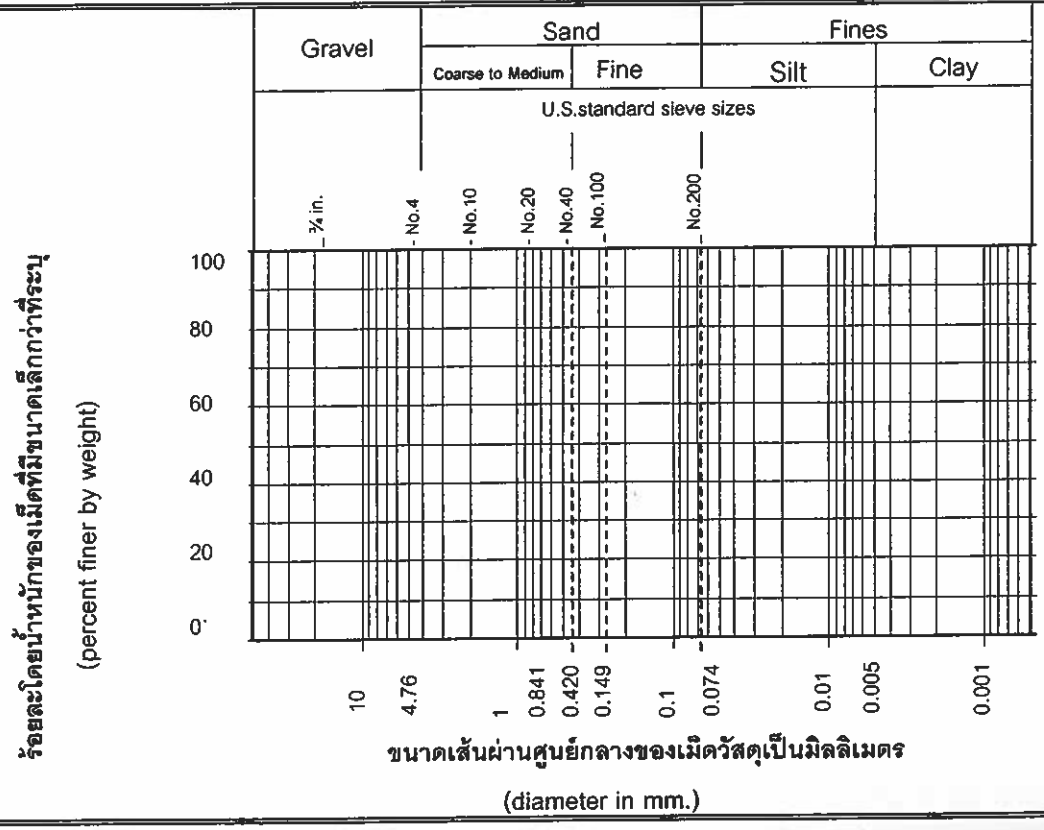
7.4 STANDARD METHOD OF PARTICLE SIZE ANALYSIS OF SOILS : AASHTO DESIGNATION : T 88-78

****

โครงการ.. .... **สถานที่ก่อสร้าง**...................................... .... **ผู้รับจ้างหรือผู้นำส่ง**.................................. **ชนิดตัวอย่าง**...............**ทดสอบครั้งที่**...... **ทดสอบวันที่**....................... **แผ่นที่**.........	**บพ. มทช.(ท)** 501.8.1-2545 (หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) **การทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุ** **หลุมเจาะหมายเลข**........................... **ความลึก**................................**เมตร** **ปริมาตรแบบ**.........................**ลบ.ซม.**	**ทะเบียนทดสอบ**....................... **ผู้ทดสอบ** **ผู้ตรวจสอบ** **อนุมัติ**

ตะแกรง หมายเลข	น้ำหนัก ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนัก ตะแกรง + ดิน (กรัม)	น้ำหนักดิน ที่ค้างบน ตะแกรง (กรัม)	นน.ร้อยละของ ดินที่ค้างบน ตะแกรง (กรัม)	นน.ร้อยละของ ดินที่ค้าง สะสม	นน.ร้อยละของ ดินที่มีขนาด เล็กกว่า

โครงการ..... ..... สถานที่ก่อสร้าง..... ผู้รับจ้าง..... ชนิดตัวอย่าง..... ทดสอบครั้งที่..... ทดสอบวันที่..... แผ่นที่.....	**บฟ.มทช.(ท) 501.8.2- 2545** (หน่วยงานที่ทำการทดสอบ) **การทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุ** **แหล่งวัสดุ**..... **ชั้นคุณภาพ**.....	**ทะเบียนทดสอบ**..... **ผู้ทดสอบ** **ผู้ตรวจสอบ** **อนุมัติ**



การทดสอบหาสารอินทรีย์เจือปน

สีของสารละลายที่ได้จากการทดสอบ

( ) สีอ่อนกว่าสีมาตรฐาน

( ) สีใกล้เคียงสีมาตรฐาน

( ) สีแก่กว่าสีมาตรฐาน

สรุปผลการทดสอบ

( ) เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานได้

( ) ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน

มทช. (ท) 501.12 - 2557
มาตรฐานวิธีการทดสอบหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวม

1. ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานของมวลรวมต่อการสลายตัวหรือการแตกแยก หลังจากการแช่ในสารละลายอิ่มตัวโซเดียมซัลเฟตหรือแมกนีเซียมซัลเฟต

2. เครื่องมือ

2.1 ตะแกรงช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดช่องผ่านต้องสอดคล้องกับASTM E 11 หรือเทียบเท่า โดยมีขนาดต่างๆ ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1

ขนาดตะแกรงที่ใช้ มิลลิเมตร	
มวลรวมเม็ดละเอียด	มวลรวมเม็ดหยาบ
0.150 (เบอร์ 100)	8.0 (5/16")
0.30 (เบอร์ 50)	9.5 (3/8")
0.60 (เบอร์ 30)	12.5 (1/2")
1.18 (เบอร์ 16)	16.0 (5/8")
2.36 (เบอร์ 8)	19.0 (3/4")
4.00 (เบอร์ 5)	25.0 (1")
4.75 (เบอร์ 4)	31.5 (1 ¼")
	37.5 (1 ¼")
	50 (2")
	63 (2 ½")
	ขนาดโตกว่านี้ให้ใช้ตะแกรงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นทีละ ½ นิ้ว

2.2 ภาชนะบรรจุสำหรับใส่ตัวอย่างมวลรวมแช่ลงในสารละลาย จะต้องมีรูพรุนเพียงพอเพื่อที่จะให้สารละลายไหลเข้าได้สะดวก และสามารถระบายออกได้โดยไม่ทำให้มวลรวมสูญหาย ภาชนะบรรจุตัวอย่างอาจใช้ตะกร้าที่ทำจากลวดตาข่าย หรือตะแกรงที่มีช่องเปิดที่เหมาะสม

2.3 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิของตัวอย่างให้อยู่ในช่วงที่กำหนดตลอดเวลาที่แช่อยู่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต หรือแมกนีเซียมซัลเฟต

2.4 เครื่องชั่งดิจิตอล

2.4.1 สำหรับมวลรวมเม็ดละเอียด ใช้เครื่องชั่งที่ชั่งได้ไม่น้อยกว่า 500 กรัม และชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

2.4.2 สำหรับมวลรวมเม็ดหยาบ ใช้เครื่องชั่งที่ชั่งได้ไม่น้อยกว่า 5000 กรัม และชั่งได้ละเอียดถึง 1 กรัม

2.5 เตาอบต้องสามารถให้ความร้อนได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส

2.6 เครื่องมือวัดความถ่วงจำเพาะ ต้องเป็นเครื่องมือที่เหมาะสม ทำจากวัสดุที่มีคุณภาพดีอย่างดี เช่น ไฮโดรมิเตอร์ ต้องมีความเที่ยงตรงและแม่นยำ สามารถอ่านค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายได้ละเอียดถึง 0.001

3. วัสดุที่ใช้ประกอบการทดสอบ

สารละลายโซเดียมซัลเฟต หรือแมกนีเซียมซัลเฟต อย่างใดอย่างหนึ่งโดยใช้ปริมาตรอย่างน้อย 5 เท่าของปริมาตรของตัวอย่างที่จะนำมาทำการทดสอบในแต่ละครั้ง ซึ่งสารละลายอิ่มตัวแต่ละชนิดจะให้ผลทดสอบที่มีค่าแตกต่างกัน ฉะนั้นการรายงานผลการทดสอบหาค่าความคงทน จึงต้องระบุชนิดของสารละลายที่ใช้ในการทดสอบและจำนวนรอบของการทดสอบ

3.1 เตรียมสารละลายโซเดียมซัลเฟตโดยการละลายเกลือโซเดียมซัลเฟต เกรด Usp หรือเทียบเท่า ในน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 25 - 30 องศาเซลเซียส เพิ่มจำนวนของเกลือผง (Na_2so_4) หรือเกลือผลึก ($Na_2 \quad So_4. 10h_2o$) ให้เพียงพอจนสารละลายอิ่มตัวและตกผลึกส่วนเกินให้สามารถมองเห็นได้ ขณะผสมเกลือลงไปต้องหมั่นกวนอยู่เสมอจนกว่าจะนำไปใช้ เพื่อป้องกันการระเหยและสิ่งสกปรกตกลงไปให้ปิดฝาภาชนะบรรจุไว้ ทำสารละลายให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 21±1 องศาเซลเซียสคนอีกครั้งหนึ่งแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ก่อนจะนำไปใช้ทดสอบ หากมีผลึกเกลือปรากฏให้เห็นก่อนการใช้ทดสอบในแต่ละครั้ง ต้องทำผลึกเกลือให้แตกโดยการคนให้ทั่ว ขณะใช้ทดสอบสารละลายต้องมีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.151-1.174 หากสารละลายมีสีผิดไปจากเดิม ให้นำทิ้งไปหรือกรองแล้วตรวจสอบค่าความถ่วงจำเพาะใหม่ก่อนนำมาใช้

สารละลายโซเดียมซัลเฟต ถ้าใช้เกลือผง ($Na_2 \quad So_4$) 215 กรัม หรือเกลือผลึก($Na_2 \quad So_4. 10h_2o$)700 กรัม ผสมกับน้ำ 1 ลิตร จะอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าสารละลายนี้จะอิ่มตัว แต่ก็อาจจะยังไม่คงตัวเต็มที่ ถ้าต้องการให้มีการตกผลึกส่วนเกินให้สามารถมองเห็น ควรใช้เกลือผงไม่น้อยกว่า 350 กรัม หรือใช้เกลือผลึกไม่น้อยกว่า 750 กรัม ผสมกับน้ำ 1 ลิตร

3.2 เตรียมสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตโดยการละลายเกลือแมกนีเซียม เกรด Usp หรือ เทียบเท่าในน้ำที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส เพิ่มจำนวนของเกลือผง($Mg \quad So_4$)หรือเกลือผลึก ($Mg \quad So_4. 7h_2o$) ให้เพียงพอจนสารละลายอิ่มตัวและตกผลึกส่วนเกินให้สามารถมองเห็นขณะผสม

เกลือลงไป ต้องหมั่นคนอยู่เสมอจนกว่าจะนำไปใช้งานทดสอบ เพื่อป้องกันการระเหยและสิ่งสกปรกตกลงไปให้ปิดฝาภาชนะบรรจุไว้ ทำสารละลายให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 21 ± 1 องศาเซลเซียส คนอีกครั้งหนึ่งแล้วทิ้งไว้อุณหภูมินี้เป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ก่อนจะนำไปใช้ทดสอบ หากมีผลึกเกลือปรากฏให้เห็นก่อนการใช้ทดสอบในแต่ละครั้งต้องทำผลึกเกลือให้แตกโดยการคนให้ทั่ว ขณะใช้ทดสอบสารละลายต้องมีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.295-1.308 หากสารละลายมีสีผิดไปจากเดิม ให้นำทิ้งไปหรือกรองแล้วตรวจสอบค่าความถ่วงจำเพาะใหม่ก่อนนำมาใช้

สำหรับสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ถ้าใช้เกลือผง (Mg So$_4$) 350 กรัม หรือเกลือผลึก(Mg So$_4$. 7h$_2$o)1230 กรัม ผสมกับน้ำ1ลิตร จะอิ่มตัวที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าสารละลายนี้จะอิ่มตัว แต่ก็อาจจะยังไม่คงตัวเต็มที่ ถ้าต้องการให้มีการตกผลึกส่วนเกินให้สามารถมองเห็น ควรใช้เกลือผลึกไม่น้อยกว่า 1,400 กรัม ผสมกับน้ำ 1 ลิตร

4. แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ บฟ.มทช.501.12-Xxxx: วิธีการทดสอบหาค่าความคงทน

5. การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างวัสดุที่ตากแห้งแล้ว (Air-Dry Sample) มาแบ่งโดยวิธีการแบ่งสี่ (Quartering) หรือใช้เครื่องแบ่งแยกวัสดุ (Riffle Splitter) แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงดังนี้

5.1 มวลรวมเม็ดละเอียด ที่จะนำมาใช้ในการทดสอบ ต้องผ่านตะแกรงขนาด 9.5 มิลลิเมตร(3/8 นิ้ว) ทั้งหมด นำมวลรวมเม็ดละเอียดดังกล่าวมาร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ ตามตารางที่ 2 จากผลการทดสอบการแบ่งขนาดของมวลรวมเม็ดละเอียดที่จะนำมาใช้ในการทดสอบต้องมีปริมาณตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไป และแต่ละช่วงขนาดต้องมีน้ำหนักตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งต้องไม่น้อยกว่า 100 กรัม

ตารางที่ 2 ขนาดตะแกรงและมวลของมวลรวมเม็ดละเอียดที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร		มวลเป็นกรัม
ผ่าน	ค้าง	
0.60 (เบอร์ 30)	0.30 (เบอร์ 50)	100
1.18 (เบอร์ 16)	0.60 (เบอร์ 30)	100
2.36 (เบอร์ 8)	1.18 (เบอร์ 16)	100
4.75(เบอร์ 4)	2.36 (เบอร์ 8)	100
9.5 (3/8)	4.75 (เบอร์ 4)	100

5.2 มวลรวมเม็ดหยาบที่จะนำมาใช้ในการทดสอบต้องร่อนเอาส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ออกให้หมด นำมวลรวมเม็ดหยาบดังกล่าวมาร่อนผ่านตะแกรงต่าง ๆ ตามตารางที่ 3 จากผลการทดสอบการแบ่งขนาดของมวลรวมเม็ดหยาบที่จะนำมาใช้ในการทดสอบ ต้องมีปริมาณในแต่ละช่วงขนาดที่ใช้ทดสอบตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไป และแต่ละช่วงขนาดต้องมีน้ำหนักตามตารางที่ 3

5.3 เมื่อมวลรวมที่จะใช้ทดสอบประกอบด้วยมวลรวมเม็ดละเอียด และมวลรวมเม็ดหยาบโดยมีส่วนค้างตะแกรงขนาด 9.5มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) มากกว่าร้อยละ 10 โดยมวล และมีส่วนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)มากกว่าร้อยละ 10 โดยมวลแล้ว ให้แบ่งตัวอย่างออกเป็นส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) และทดสอบตามวิธีการทดสอบมวลรวมเม็ดหยาบกับส่วนที่ค้างตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ตามลำดับ การรายงานผลให้แยกรายงานค่าส่วนที่ไม่คงทนของส่วนละเอียดและส่วนหยาบ และรายงานร้อยละของส่วนละเอียดและส่วนหยาบที่มีอยู่ในมวลรวมทั้งหมดด้วย

ตารางที่ 3 มวลของมวลรวมเม็ดหยาบที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาดที่ใช้ทดสอบ มิลลิเมตร	ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร		มวลเป็นกรัม
	ผ่าน	ค้าง	
9.5 (3/8) – 4.75 (เบอร์ 4)	9.5 (3/8")	4.75 (เบอร์ 4)	300±5
19.0 (3/4") – 9.5 (3/8") ประกอบด้วย	12.5(1/2")	9.5 (3/8")	1000±10
	19.0 (3/4")	12.5(1/2")	330±5
			670±10
37.5(1 ½") – 19.0 (3/4") ประกอบด้วย	25.0(1")	19.0(3/4")	1500±50
	37.5(1 ½")	25.0 (1")	500±30
			1000±50
63(21/2") – 37.5 (1 ½") ประกอบด้วย	50 (2")	37.5(1 ½")	5000±30
	63 (2 ½")	50(2")	2000±200
			3000±300
ขนาดที่โตกว่านี้ให้แบ่งเป็นช่วง ช่วงละ 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) และใช้มวลในแต่ละช่วง			7000±1000

หมายเหตุ (1) ในกรณีของขนาดที่ใช้ทดสอบ ประกอบด้วยมวลรวมเม็ดหยาบ 2 ช่วง แต่ละมวลของช่วงหนึ่งช่วงใดขาดหายไปบ้าง โดยมวลไม่เป็นไปตามที่กำหนดในตารางที่ 3 ไม่ควรเอามวลของอีกขนาดหนึ่งมาทดแทนกัน ให้ดำเนินการขอตัวอย่างเพิ่มจนได้มวลตามที่กำหนด

(2) ในกรณีของขนาดที่ใช้ทดสอบอยู่ในช่วงที่ตารางที่ 3 กำหนดว่า ประกอบด้วยมวลรวมเม็ดหยาบ 2 ช่วงแล้ว แต่ขนาดของช่วงหนึ่งช่วงใดขาดหายไปหมด เช่น ในกรณีของวัสดุ Single Size อาจใช้มวลของขนาดที่มีอยู่มาทำการทดสอบแทนโดยอนุโลม

6. การทดสอบ

6.1 ล้างตัวอย่างมวลรวมละเอียดบนตะแกรงขนาด 0.30 มิลลิเมตร (เบอร์ 50) อบจนมวลคงที่ที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียสแล้วแยกขนาดของวัสดุโดยใช้ตะแกรงขนาดต่างๆ ตามตารางที่ 2 เลือกตัวอย่างบนตะแกรงแต่ละชั้นให้มีมวลเกินกว่า 100 กรัม (โดยทั่วไปเตรียมไว้ประมาณ 110 กรัม) ไว้ทำการทดสอบอย่านำวัสดุที่ติดค้างอยู่ระหว่างช่องตะแกรงมาทดสอบ ชั่งมวลของแต่ละตัวอย่างแยกจากกันให้ได้ตัวอย่างละ 105±5 กรัม แยกบรรจุลงในภาชนะตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้ใช้ในการทดสอบต่อไป

6.2 ล้างตัวอย่างมวลรวมเม็ดหยาบอบจนมีมวลคงที่ที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียสแล้วแยกขนาดของวัสดุโดยใช้ตะแกรงขนาดต่างๆ ตามตารางที่ 3 แยกชั่งมวลของตัวอย่างที่ค้างอยู่บน

ตะแกรงแต่ละชั้นให้ได้มวลตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3 และถ้าขนาดที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยมวลรวม 2 ช่วง ให้รวมมวลกันให้ได้ตามที่กำหนด สำหรับตัวอย่างของวัสดุที่มีขนาดโตกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) จะต้องนับจำนวนก้อนในแต่ละขนาดที่ใช้ทดสอบ

6.3 แช่ตัวอย่างลงในสารละลายโซเดียมซัลเฟต หรือแมกนีเซียมซัลเฟตเป็นเวลา 16 - 18 ชั่วโมง สารละลายจะต้องท่วมตัวอย่างอย่างน้อย 12.5 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) ปิดฝาภาชนะบรรจุตัวอย่างที่กำลังทดสอบ รักษาและควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 21±1 องศาเซลเซียสสำหรับมวลรวมที่มีมวลเบามากเมื่อแช่ตัวอย่างลงในสารละลายอาจใช้ตะแกรงที่มีน้ำหนักเหมาะสมปิดทับเพื่อให้ตัวอย่างจมในสารละลาย

6.4 หลังจากแช่จนได้กำหนดเวลาแล้ว ให้นำตัวอย่างมวลรวมออกจากสารละลายปล่อยทิ้งไว้อีก 15±5 นาทีเพื่อให้สารละลายที่อาจมีติดค้างอยู่ตามเม็ดตัวอย่างไหลออกหมด แล้วนำไปเข้าเตาอบซึ่งได้ทำให้มีความร้อนที่อุณหภูมิคงที่ที่ 110±5 องศาเซลเซียสอยู่ก่อนแล้ว อบตัวอย่างจนมีมวลคงที่ ตรวจสอบได้โดยการนำตัวอย่างออกมาชั่งทั้งที่ยังร้อนอยู่หลังจากอบไปแล้วทุกช่วง 2-4 ชั่วโมง ทำการตรวจสอบหลาย ๆ ครั้งจนแน่ใจว่าได้มวลที่คงที่แล้ว เวลาที่ใช้ในการอบจะขึ้นอยู่กับสภาพของตัวอย่างและตำแหน่งที่วางตัวอย่าง การพิจารณาว่ามวลคงที่คิดได้เมื่อมวลมีการเปลี่ยนแปลงไม่เกินร้อยละ 0.1 ในช่วง 4 ชั่วโมงของการอบ และเมื่อตัวอย่างมีมวลคงที่แล้วให้ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

6.5 ทำการทดสอบซ้ำโดยการแช่แล้วนำไปอบให้แห้งตามข้อ 6.3 และข้อ 6.4จนกระทั่งครบ 5 รอบ หรือตามที่ระบุไว้ในข้อกำหนดของวัสดุนั้นๆ ในกรณีที่ทำการทดสอบค่อมวันหยุดให้ทิ้งตัวอย่างที่อบแห้งและมีมวลคงที่ไว้ที่อุณหภูมิห้องแล้วเริ่มทำการทดสอบต่อในวันเปิดทำการ

6.6 หลังจากการทดสอบรอบสุดท้ายเสร็จสิ้น ให้ทิ้งตัวอย่างจนเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง แล้วล้างด้วยน้ำโดยปล่อยให้น้ำไหลล้นผ่านตัวอย่างจนสะอาด ปราศจากสารละลายโซเดียมซัลเฟต หรือแมกนีเซียมซัลเฟต (โดยทั่วไปใช้เวลาประมาณ 15 นาที) ระหว่างการล้างตัวอย่างต้องไม่ถูกกระแทกหรือเสียดสีกันจนแตก

6.7 นำตัวอย่างไปอบจนมีมวลคงที่ที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรง โดยมวลรวมเม็ดละเอียดให้ใช้ตะแกรงตามตารางที่ 2 และมวลรวมเม็ดหยาบให้ใช้ตะแกรงตามตาราง ที่ 4 ช่วงระยะเวลาของการร่อนมวลรวมเม็ดละเอียดพยายามให้ใกล้เคียงกับที่ใช้ร่อนเตรียมตัวอย่างทดสอบ สำหรับมวลรวมเม็ดหยาบให้ร่อนด้วยมือโดยความแรงของการร่อนให้พอแน่ใจว่าตัวอย่างก้อนที่เล็กกว่าสามารถผ่านตะแกรงได้โดยไม่เกิดการแตก

6.8 ชั่งมวลของตัวอย่างที่ค้างตะแกรงเปรียบเทียบกับที่ชั่งไว้ก่อนแช่ในสารละลาย ค่าที่แตกต่างกันคือ ค่าของส่วนที่ไม่คงทน

ตารางที่ 4 ขนาดของตะแกรงที่ใช้ร่อนหาส่วนที่ไม่คงทนของมวลรวมเม็ดหยาบ

ขนาดที่ใช้ทดสอบ มิลลิเมตร	ขนาดตะแกรงที่ใช้ร่อน มิลลิเมตร
63 (1 ½") – 37.5 (1 ½")	3.15 (1 ¼")
37.5 (1 ½") -19.0 (3/4")	16.0 (5/8")
19.0 (3/4") – 9.5 (3/8")	8.0 (5/16")
9.5 (3/8") – 4.75 (เบอร์ 4)	4.0 (เบอร์ 5)

7. การคำนวณ

7.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Examination)คำนวณหามวลที่หายไปหลังจากการทดสอบ คือ การหาค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Actual Loss) จากแบบฟอร์มที่ บฟ.มทช.(ท) 501.12-XXXX ได้ดังนี้

Actual Loss (Gm.) = Mass Of Test Fraction Before Test – Mass Of Test Fraction After Test

$$\text{Actual Loss (\%)} = \frac{\text{Actual Loss (Gm.)} \times 100}{\text{Mass Of Test Fraction Before Test (Gm.)}}$$

$$\text{Weighted Loss (\%)} = \frac{\text{Actual Loss (\%)} \times \text{\% Retained Of Original Sample (1)}}{100}$$

Total Loss (%) = ผลบวกของ Weighted Loss (%)

7.2 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Examination) ให้นับตัวอย่างก้อนที่โตกว่า19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ตามวิธีต่อไปนี้

7.2.1 ให้แยกตัวอย่างเป็นกลุ่มๆตามสภาพการแตกที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปพอจะแยกได้เป็นแตกแยก (Disintegration) หรือแยกออกจากกัน (Splitting) ยุ่ยสลายเป็นชิ้นเล็กๆ (Crumbling) เกิดรอยร้าว (Cracking) และหลุดเป็นแผ่นๆ (Flaking) ขณะที่มีการตรวจสอบตัวอย่างก้อนที่โตกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) อยู่นั้น อาจจะต้องมีการตรวจสอบก้อนที่มีขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ลงมาบ้าง ทั้งนี้จะได้รู้ถึงสภาพการแตกแยกที่อาจจะมีเพิ่มขึ้น

7.2.2 นับชิ้นส่วนที่ถูกแยกออกในแต่ละกลุ่มมีการแตกเกิดขึ้น

7.2.3 เปอร์เซ็นต์ความไม่คงทนของแต่ละกลุ่มหาได้ดังนี้

เปอร์เซ็นต์ความไม่คงทนของแต่ละกลุ่ม = $\frac{\text{จำนวนก้อนที่เปลี่ยนสภาพในแต่ละกลุ่ม}}{\text{จำนวนก้อนทั้งหมดก่อนการทดสอบ}} \times 100$

8.การรายงาน

8.1 รายงานค่าส่วนที่ไม่คงทน (Total Percentage Loss) เป็นร้อยละ โดยใช้จุดทศนิยม 1 ตำแหน่งในแบบฟอร์มที่ บฟ.มทช.501.12-Xxxx

8.2 ค่าเฉลี่ย (Weighted Average) หาได้จากเปอร์เซ็นต์ของส่วนที่ไม่คงทน (Loss) ของแต่ละขนาด ขึ้นอยู่กับขนาดคละ (Gradation) ของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ หรือขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของขนาดคละของวัสดุจากแต่ละขนาดของตัวอย่างที่ได้รับยกเว้น กรณีต่อไปนี้

8.2.1 สำหรับมวลรวมเม็ดละเอียด (ซึ่งมีขนาดโตกว่าตะแกรงขนาด 9.5 มิลลิเมตร(3/8นิ้ว) น้อยกว่าร้อยละ10) ให้ตั้งสมมุติฐานไว้ว่า ขนาดที่เล็กกว่าตะแกรงขนาด 0.30 มิลลิเมตร (เบอร์ 50) มีส่วนที่ไม่คงทน (Loss) เท่ากับร้อยละศูนย์ (0%) และขนาดที่โตกว่าตะแกรง ขนาด 9.5 มิลลิเมตร (3/8นิ้ว) มีส่วนที่ไม่คงทนเท่ากับขนาดที่ค้างตะแกรงขนาดเล็กกว่าขนาดถัดไปในรายงานผลการทดสอบและต้องมีค่าผลการทดสอบ

8.2.2 สำหรับมวลรวมเม็ดหยาบ (ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร(เบอร์ 4) น้อยกว่าร้อยละ 10)ให้ตั้งสมมุติฐานไว้ว่า ขนาดที่เล็กกว่าตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) มีส่วนที่ไม่คงทน (Loss) เท่ากับขนาดที่ค้างตะแกรงขนาดถัดไปในรายงานผลการทดสอบ และต้องมีค่าผลการทดสอบ

8.2.3 สำหรับมวลรวมที่ประกอบด้วยมวลรวมเม็ดหยาบให้แยกทดสอบเป็น 2 ชนิด ตามข้อ 5.3 ให้แยกคำนวณค่าเฉลี่ยของส่วนที่ไม่คงทน (Weighted Percentage Loss) สำหรับส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) โดยให้ทำขนาดคละของส่วนละเอียดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ก่อน การรายงานผลการทดสอบให้รายงานแยกจากกัน โดยรายงานเปอร์เซ็นต์ของวัสดุส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) และส่วนที่ค้างตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

8.2.4 การคำนวณค่าเฉลี่ยของตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้ตามข้อ 5.1 และ 5.2 ถ้ามีขนาดที่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของตัวอย่าง ซึ่งไม่ได้นำไปทดสอบ ให้ถือว่ามีส่วนที่ไม่คงทน (Loss) เท่ากับค่าเฉลี่ยของส่วนที่ไม่คงทนของขนาดที่โตกว่าขนาดถัดไป และขนาดที่เล็กกว่าขนาดถัดไป แต่ถ้าหากมีขนาดหนึ่งขนาดใดขาดหายไป ให้ถือเอาค่าของขนาดถัดไปอันหนึ่งอันใดไม่ว่าจะโตกว่าหรือเล็กกว่าที่มีค่าผลการทดสอบ มาใช้เป็นส่วนที่ไม่คงทน

8.3 ในกรณีตัวอย่างที่มีก้อนขนาดโตกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3.4นิ้ว) ให้รายงานจำนวนก้อนก่อนการทดสอบและจำนวนก้อนที่แตกตามสภาพต่างๆ หลังการทดสอบด้วย

9. หนังสืออ้างอิง

9.1 The American Association Of State Highway And Transportation Official. Standard Specifications For Highway ;Materials And Methods Of Sampling And Testing. Part II. AASHO Designation: T 104-99

9.2 American Society For Testing And Materials Annual Book Of ASTM Standard, Part IIASTM Designation : C 88-13

9.3 Department Of Highways. Standard Department Of Highways. Standard Testing. Test. Number Dh-T 213/1998

เอกสารอ้างอิง

๑. คู่มือปฏิบัติงานควบคุมคุณภาพวัสดุ สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม

๒. มาตรฐานการทดสอบวัสดุงานทางหลวงชนบท สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม พ.ศ.๒๕๕๘

๓. ข้อกำหนดและการทดสอบวัสดุ เอกสารประกอบการฝึกอบรม “หลักสูตรช่างควบคุมงานก่อสร้าง โครงการพัฒนาและอนุรักษ์ฟื้นฟูแหล่งน้ำ” สำนักผู้เชี่ยวชาญด้านฝึกอบรมฯ กรมทรัพยากรน้ำ พ.ศ.๒๕๖๐