ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการทดลองตามมาตรฐานกรมทางหลวง

- การทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน
- การทดลองเพื่อหาค่า CBR

Test Number DH-T 108/1974 การทดลองที่ ทล.-ท.๑๐๘/๒๕๑๗

กรมทางหลวง

กองวิเคราะห์และวิจัย

วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

(เทียบเท่า AASHO T180)

* * * * *

๑. ขอบข่าย

การทดลอง Compaction วิธีนี้เป็นการทดลองโดยวิธี Dynamic Compaction เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดทับ เมื่อทำการบดทับในแบบ (Mold) ตามขนาดข้างล่างนี้ด้วยถ่อนหนัก ๔.๕๔ กิโลกรัม(๑๐.๐ ปอนด์) ระยะปล่อยถ่อนตก ๔๕๗.๒ มิลลิเมตร (๑๘ นิ้ว)

วิธี ก. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๑๐๑.๖ มิลลิเมตร(๔ นิ้ว) คินผ่านตะแกรงขนาด ๑๙.๐ มิลลิเมตร(๓/๔ นิ้ว)

วิธี ข. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๑๕๒.๔ มิลลิเมตร(๖ นิ้ว) คินผ่านตะแกรงขนาด ๑๙.๐ มิลลิเมตร(๓/๔ นิ้ว)

วิธี ค. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๑๐๑.๖ มิลลิเมตร(๔ นิ้ว) คินผ่านตะแกรงขนาด ๔.๗๕ มิลลิเมตร(เบอร์ ๔)

วิธี ง. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๑๕๒.๔ มิลลิเมตร(๖ นิ้ว) คินผ่านตะแกรงขนาด ๔.๗๕ มิลลิเมตร(เบอร์ ๔)

หมายเหตุ ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้วิธี "ก."

วิธีการทดลองที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ อาศัยวิธีการและปรับปรุงจากการทดลองของ AASHO T180 และ ASTM D 1557T

๒. วิธีทำ

๒.๑ เตรียมงบ

เตรียมม่อทดลองประกอบด้วย

๒.๑.๑ แบบ (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียว ลักษณะทรงกระบอกกลวง มี ๒ ขนาด คือ

(๑) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ๑๐๑.๖ มม.(๔ นิ้ว) สูง ๑๑๖.๔ มิลลิเมตร(๔.๔๘๔ นิ้ว) และจะต้องมีปลอก(Collar)ขนาดเดียวกัน สูง ๕๐.๘ มิลลิเมตร(๒ นิ้ว) มีฐานหับตามรูปที่ ๑

(๒) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ๑๕๒.๔ มิลลิเมตร(๖ นิ้ว) สูง ๑๑๖.๔ มิลลิเมตร(๗ นิ้ว) และจะต้องมีปลอกขนาดเดียวกันสูง ๕๐๔ มิลลิเมตร(๒ นิ้ว) มีฐานหับหรือเจาะรูพรุน ในการทดลองต้องใช้เหล็กโลหะรอง(Spacer Disc)ตามข้อ ๒.๑.๓ รองด้านล่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างสูง ๑๑๖.๔ มิลลิเมตร(๔.๔๘๔ นิ้ว) หรืออาจใช้แบบขนาดสูง ๑๑๖.๔ มิลลิเมตร (๔.๔๘๔ นิ้ว)-ตามรูปที่ ๒ โดยไม่ต้องใช้แท่งโลหะรอง แต่ต้องมีฐานหับหรือแบบขนาดสูงอื่นใด ซึ่งเมื่อใช้แท่งโลหะรองแล้วได้ความสูงของตัวอย่างในแบบเท่ากับ ๑๑๖.๔ มิลลิเมตร(๔.๔๘๔ นิ้ว)

๒.๑.๒ แท่งโลหะรอง เป็นโลหะรูปทรงกระบอก เพื่อใช้กับแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๑๕๒.๔ มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ๑๕๐.๔ มิลลิเมตร(๕ ๑๕/๑๖ นิ้ว) และสูงขนาดต่างๆ ซึ่งเมื่อใช้กับแบบตามข้อ ๒.๑.๑(๒) แล้วจะเหลือเป็นตัวอย่างสูงเท่ากับ ๑๑๖.๔ มิลลิเมตร(๔.๔๘๔ นิ้ว)

๒.๑.๓ ค้อน(Rammer) ทำด้วยโลหะมีลักษณะดังนี้

เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ๕๐.๔ มิลลิเมตร(๒ นิ้ว) มีมวลรวมทั้งด้ามถือ ๔.๕๓๑ กิโลกรัม(๑๐.๐ ปอนด์) ต้องมีปลอกที่ทำไว้อย่างเหมาะสม เป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ ๔๕๗.๒ มิลลิเมตร(๑๘ นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับ จะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย ๔ รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เล็กกว่า ๔.๕ มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้ง ๒ ข้างประมาณ ๑๔ มิลลิเมตร

๒.๑.๔ เครื่องดันตัวอย่าง(Sample Extruder) เป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลังเมื่อทดลองเสร็จแล้ว จะมีหรือไม่มีก็ได้ ประกอบด้วยJackทำหน้าที่เป็นตัวดัน และโครงเหล็กทำหน้าที่เป็นตัวจับแบบ ในกรณีที่ไม่มีใช้ให้ใช้สิ่วหรือเครื่องมืออย่างอื่นแกะตัวอย่างออกจากแบบ

๒.๑.๕ ตาชั่งแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า ๑๖ กิโลกรัม ชั่งได้ละเอียดถึง ๐.๐๐๑ กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างหกลอง

๒.๑.๖ ตาชั่งแบบ Scale หรือแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ ๑ ๐๐๐ กรัม ชั่งได้ละเอียดถึง ๐.๐๑ กรัม สำหรับหาปริมาณน้ำในดิน

๒.๑.๗ เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ ๑๐๐ ± ๕ องศาเซลเซียส สำหรับอบดินตัวอย่าง

๒.๑.๘ เหล็กปาด (Straight Edge) เป็นเหล็กคล้ายไม้บรรทัด หนาและแข็งเพียงพอในการตัดแต่งตัวอย่างที่ส่วนบนของแบบ มีความยาวไม่น้อยกว่า ๓๐๐ มิลลิเมตร แต่ไม่ยาวเกินไปจนเกะกะ และหนาประมาณ ๓.๐ มิลลิเมตร

๒.๑.๙ ตะแกรงร่อนดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ ๒๐๓ มิลลิเมตร(๘ นิ้ว) สูงประมาณ ๕๑ มิลลิเมตร(๒ นิ้ว) มีขนาดดังนี้

(๑) ขนาด ๑๙.๐ มิลลิเมตร(๓/๔ นิ้ว)

(๒) ขนาด ๔.๗๕ มิลลิเมตร(เบอร์ ๔)

๒.๑.๑๐ เครื่องผสม เป็นเครื่องมือจำเป็นต่างๆที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำ ได้แก่ ถาด, ฟัลน, พลั่ว, เกรียง, ก้อนยาง, ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ หรือจะใช้เครื่องผสมแบบ Mechanical Mixer ก็ได้

๒.๑.๑๑ กระป๋องอบดิน สำหรับใส่ตัวอย่างดินเพื่ออบหาปริมาณน้ำในดิน

๒.๒ วัสดุที่ใช้ประกอบการหกลอง

น้ำสะอาด

๒.๓ แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว.๒-๐๔ สำหรับทำ Compaction Test

และที่ ว.๒-๐๕ สำหรับ Plot Curve ผลการทำ Compaction Test

๒.๔ การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างไดแก่ ดินหรือหินกลก หรือ Soil-Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลองให้ดำเนินการดังนี้

๒.๔.๑ ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนใหญ่ที่สุด(Maximum Size)มีขนาดใหญ่กว่า ๑๔.๐ มม.(๓/๔ นิ้ว) ให้เตรียมตัวอย่างดังต่อไปนี้

(๑) นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง และทำ Quartoring หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง เมื่อแห้งพอเหมาะแล้ว (มีน้ำประมาณ ๒-๓ %) นำมาร่อนผ่านตะแกรงเป็น ๓ ขนาด คือ

- ขนาดใหญ่กว่า ๑๔.๐ มม. (๓/๔ นิ้ว)
- ขนาดระหว่าง ๑๔.๐ มม. (๓/๔ นิ้ว) ถึงขนาด ๔.๗๕ มม. (เบอร์ ๔)
- ขนาดเล็กกว่า ๔.๗๕ มม. (เบอร์ ๔)

(๒) ทำการชั่งหามวลของวัสดุแต่ละขนาดที่เตรียมได้จากข้อ ๒.๔.๑ (๑) ก็จะทราบว่ามวลของตัวอย่างแต่ละขนาดมีอยู่ขนาดละเท่าใด

(๓) ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า ๑๔.๐ มม.(๓/๔ นิ้ว) ให้ทิ้งไป

(๔) แทนที่ของตัวอย่างในข้อ ๒.๔.๑(๓) ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง ๑๔.๐ มม.(๓/๔ นิ้ว)ถึงขนาด ๔.๗๕ มม.(เบอร์ ๔)ด้วยมวลที่เท่ากันตัวอย่างเช่น มีขนาดใหญ่กว่า ๑๔.๐ มม. อยู่ ๒ ๖๕๐ กรัม ก็ให้ใช้ตัวอย่างขนาดระหว่าง ๑๔.๐ มม. ถึงขนาด ๔.๗๕ มม.เพิ่มเข้าไปอีก ๒ ๖๕๐ กรัม ที่เหลือจะเป็นขนาดเล็กกว่า ๑๔.๐ มม. ตามที่มีจริง ดังนี้

ตัวอย่างทั้งหมดมีมวล ๔ ๐๐๐ กรัม

มีขนาดใหญ่กว่า๑๔.๐ มม. ๒ ๖๕๐ กรัม

มีขนาดระหว่าง๑๔.๐ มม.ถึงขนาด ๔.๗๕ มม. ๔ ๘๕๐ กรัม

มีขนาดเล็กกว่า๔.๗๕ มม. ๑ ๕๐๐ กรัม

จากวิธีการเตรียมตัวอย่างตามที่กล่าวมาแล้ว จะได้มวลของตัวอย่างที่เตรียมไว้ คือ

มีขนาดระหว่าง๑๙.๐ มม.ถึงขนาด ๔.๗๕ มม.เป็นจำนวน ๒ ๖๕๔ + ๔ ๔๕๐ = ๗ ๕๐๐ กรัม และมีขนาดเล็กกว่า๔.๗๕ มม.เท่ากับ ๑ ๕๐๐ กรัม

(๕) กลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ ๒.๔.๑(๔) ให้เข้ากัน

๒.๔.๒ ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดเล็กกว่า ๑๙.๐ มม. (๓/๔ นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง (มีน้ำประมาณ ๒-๓ %) และทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง แล้วกลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

๒.๔.๓ ถ้าต้องการหกลองตามวิธี ก. หรือ ง. ดังกล่าวในขอบข่าย ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง แล้วใช้ค้อนยางทุบให้ก้อนหลุดจากกัน และร่อนผ่านตะแกรงขนาด ๔.๗๕ มม.(เบอร์ ๔) แล้วกลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

๒.๔.๔ ชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ ๒.๔.๑ หรือ ๒.๔.๒ หรือ ๒.๔.๓ แล้วแต่กรณีให้ได้มวลประมาณดังนี้

(๑) ถ้าใช้แบบขนาดเล็กตามข้อ ๒.๑.๑(๑) ให้ใช้มวล ๓ ๐๐๐ กรัม สำหรับการหกลอง ๑ ครั้ง

(๒) ถ้าใช้แบบขนาดใหญ่ตามข้อ ๒.๑.๑(๒) ให้ใช้มวล ๖ ๐๐๐ กรัม สำหรับการหกลอง ๑ ครั้ง

๒.๔.๕ ปริมาณตัวอย่างตามข้อ ๒.๔.๔ ให้เตรียมตัวอย่างเพื่อหกลองได้ไม่น้อยกว่า ๔ ครั้ง

๒.๕ การหกลอง

การหกลอง Compaction Test จะใช้แบบขนาดใดก็ได้แล้วแต่ความต้องการตามวิธีต่างๆดังกล่าวในขอบข่าย และให้ดำเนินการหกลองดังนี้

๒.๕.๑ นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้แล้วมากลุกเคล้าจนเข้ากันดี

๒.๕.๒ เติมน้ำปริมาณหนึ่ง โดยปกติมักเริ่มต้นที่ประมาณ ๔ % ต่ำกว่าปริมาณน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุด (Optimun Moisture Content)

๒.๔.๓ คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้ว หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

๒.๔.๔ แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยประมาณให้ดินแต่ละชั้น เมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ ๑ ใน ๕ ของ ๑๒๗ มม.(๕ นิ้ว)

๒.๔.๕ ทำการบดทับโดยค้อนดังนี้

- ตามวิธี ก. และ ค. จำนวน ๒๕ ครั้ง
- ตามวิธี ข. และ ง. จำนวน ๕๖ ครั้ง

๒.๔.๖ ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้นๆจำนวน ๕ ชั้น มีความสูงประมาณ ๑๒๗ มม.-๕ นิ้ว(สูงกว่าแบบประมาณ ๑๐ มม.)

๒.๔.๗ ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับของตอนบนของแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ ๑๑๖.๔ มม.) กรณีมีหลุมบนหน้า ให้เติมดินตัวอย่างแล้วใช้ค้อนยางทุบให้แน่นพอควร นำไปชั่งจะได้มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก (λ)

๒.๔.๘ ในขณะเดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋องอบดิน เพื่อนำไปหาผลลองหาปริมาณน้ำในดินด้วย มวลของดินที่นำไปหาปริมาณน้ำในดินให้ใช้ดังนี้

- ขนาดก้อนใหญ่สุด ๑๙.๐ มม.ใช้ประมาณ ๓๐๐ กรัม
- ขนาดก้อนใหญ่สุด ๔.๗๕ มม.ใช้ประมาณ ๑๐๐ กรัม

๒.๔.๙ คำนวณหาค่าความแน่นเปียก ρ_t (Wet Density) และความแน่นแห้ง ρ_d (Dry Density) เมื่อหาบปริมาณน้ำในดิน w (Moisture Content)

๒.๔.๑๐ ดำเนินการตามข้อ ๒.๔.๑ ถึงข้อ ๒.๔.๙ โดยเพิ่มน้ำขึ้นอีกครั้งละ ๒ % จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง หรืออาจลดน้ำที่ผสม ในกรณีที่เมื่อเพิ่มน้ำแล้วได้ความแน่นลดลงเพื่อให้เขียน Curve ได้

๒.๔.๑๑ เขียน Curve ระหว่างความแน่นแห้ง ρ_d และปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ w ก็จะหาค่าความแน่นแห้งสูงสุด Max. ρ_d (Maximum Dry Density) และปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด OMC (Optimum Moisture Content)

๓. การคำนวณ

๓.๑ คำนวณหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

$$w = \frac{(M_1 - M_2)}{M_2} \times 100$$

เมื่อ w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M_1 = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

M_2 = มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

๓.๒ คำนวณหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density)

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

เมื่อ ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

A = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของแบบ หรือปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

๓.๓ คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (Dry Density)

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

เมื่อ ρ_d = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

๔. การรายงาน

ในการทำ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐานให้รายงาน ดังนี้

๔.๑ ค่าความแน่นแห้งสูงสุด มีหน่วยเป็นกรัมต่อมล. (แบบสูงกว่ามาตรฐาน)

๔.๒ ค่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด เป็นร้อยละ

ตัวอย่าง ความแน่นแห้งสูงสุด (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) = ๒.๒๓๑ กรัมต่อมล.
(ใช้ทศนิยม ๓ ตำแหน่ง)

ปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด = ๗.๘ %
(ใช้ทศนิยม ๑ ตำแหน่ง)

๕. ข้อควรระวัง

๕.๑ การประมาณปริมาณน้ำในดินเมื่อใช้ผสมสำหรับดินจำพวก Cohesive Soil ควรใช้ระยะต่ำกว่าและสูงกว่าปริมาณน้ำในดิน ที่ให้ความแน่นสูงสุดที่ประมาณไว้

สำหรับดินจำพวก Cohesionless Soil ควรใช้ปริมาณน้ำในดินจากสภาพดินชากแห้ง จนกระทั่งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

๕.๒ ในการใช้คอนหำการบดทับ ให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น กอนกรีตไม่ให้แบบกระดอนขึ้นขณะทำการตอก

๕.๓ ให้ใช้จำนวนตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดลองทางด้านแห้งกว่าปริมาณน้ำในดิน ที่ให้ความแน่นสูงสุดไม่น้อยกว่า ๒ ตัวอย่าง และให้มีจุดทดลองทางด้านเปียกกว่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นสูงสุด ๑ ตัวอย่าง

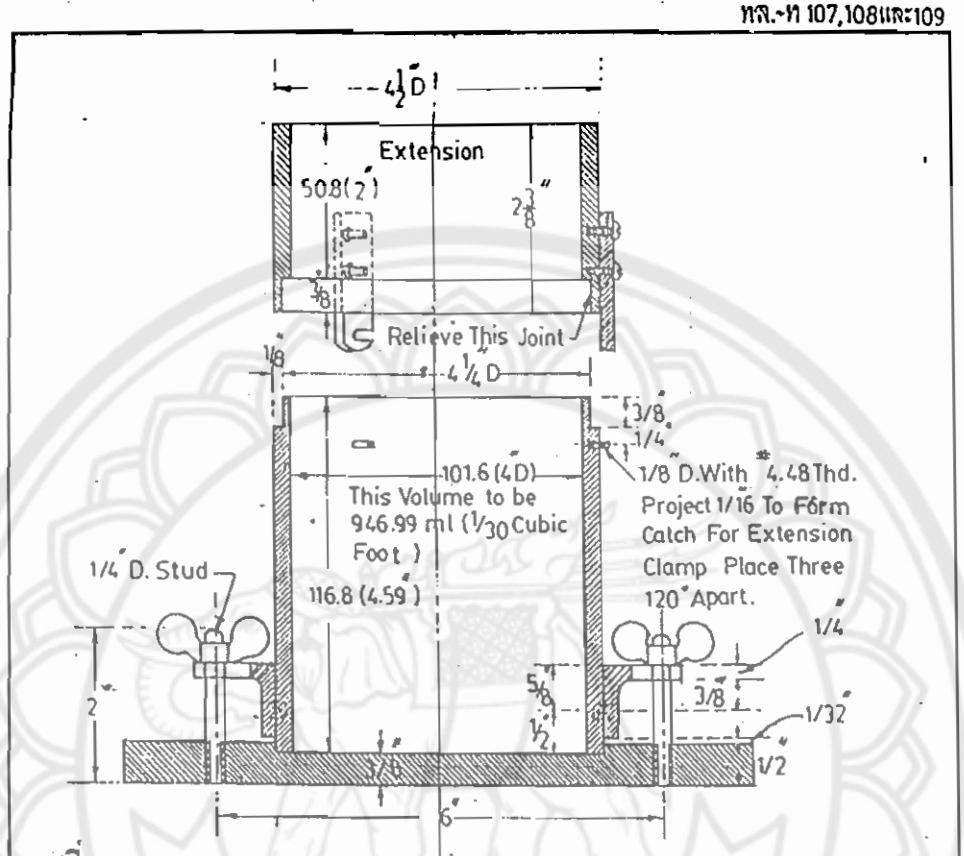
๔.๔ สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (Heavy Clay) หลังจากตากแห้งแล้ว ให้ทุบด้วยค้อนยางหรือนำเข้าเครื่องบด จนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ ๔ (๔.๗๕ มม.)ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

๔.๕ ปริมาตรของแบบ(V) ให้ทำการวัดและกำนวณ เพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ ห้ามใช้ปริมาตรที่แสดงไว้โดยประมาณในรูป

๖. หนังสืออ้างอิง

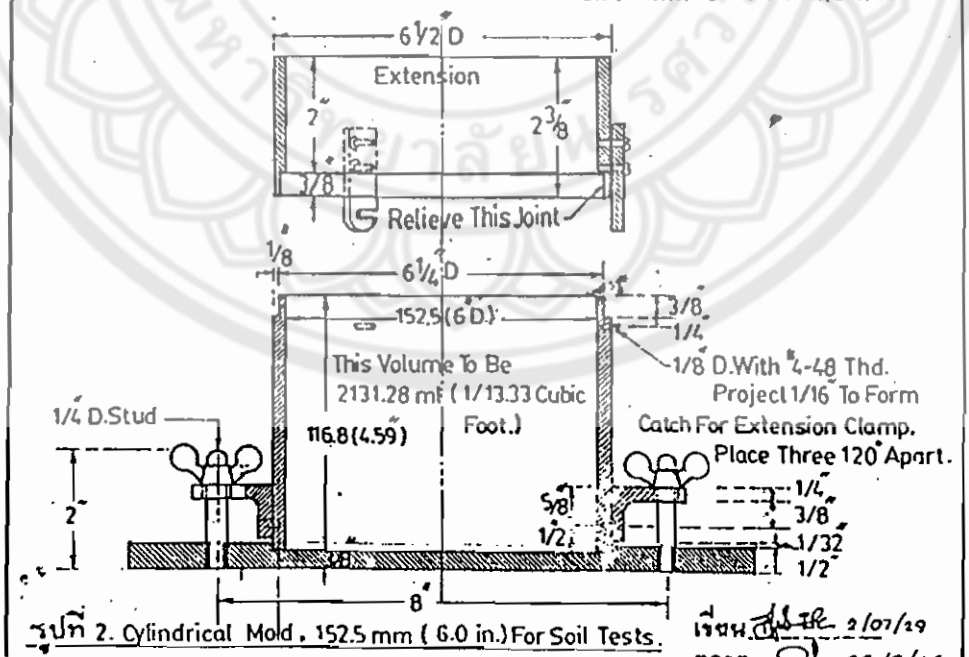
๖.๑ The American Association of State Highway Officials. Specifications for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing, AASHO Designation : T180.

๖.๒ The American Sociaty of Testing Materials ASTM Standards, Designation : D 1558T.



รูปที่ 1. Cylindrical Mold ,101.6 mm (4.0 in) For Soil Tests.

Unit = mm or as indicated



รูปที่ 2. Cylindrical Mold , 152.5 mm (6.0 in.) For Soil Tests.

เรียน 2/07/29

ทาน 22/9/29

ทล.- ท 108

ว. 2 – 15

กองวิเคราะห์และวิจัย

กรมทางหลวง

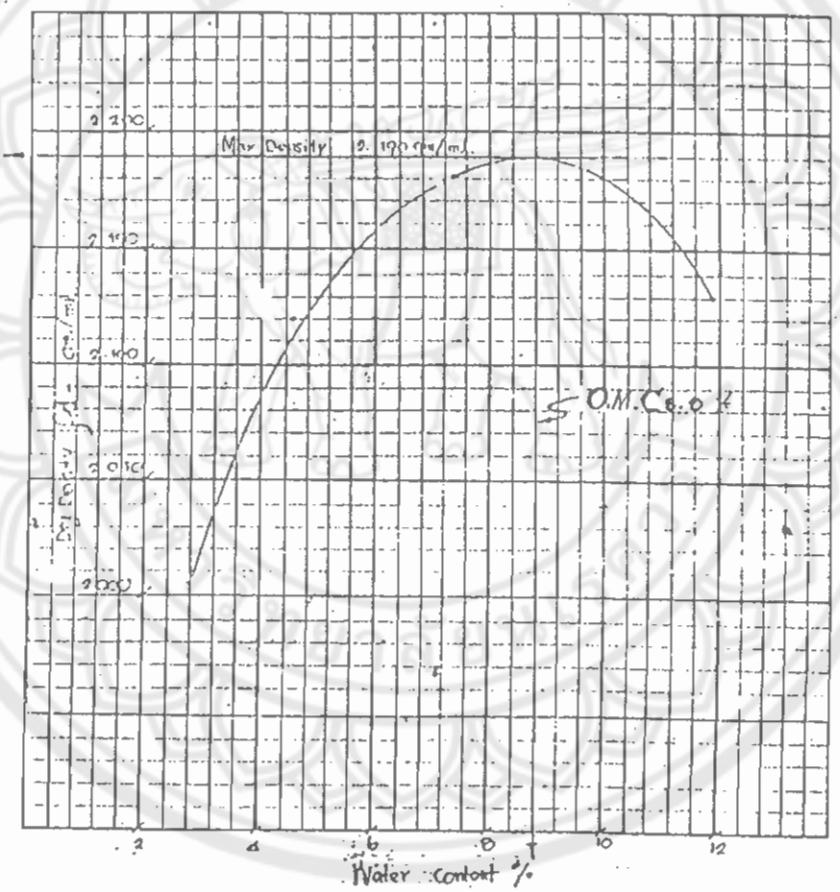
Test No. C-426/15

Type of test Compaction test แบบสูงกว่ามาตรฐาน วิธี ก.

Date 2 มิ.ย. 16

Source ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข Laterite for Surface กม. 14+600 – 14+900

Plotted by Sawai



DH. - T.108

กองวิเคราะห์และวิจัย

อันดับทดลองที่ C - 126 / 15

เจ้าของตัวอย่าง บริษัท ทันกิตรชยาย

หนังสือที่ 1904 / 15 ลว. 30 ธค. 15 วันที่รับหนังสือ 1 ม.ค. 16

ทางขบ ชยาญ - เพิกไพร

เจ้าหน้าที่ทดลอง อำนวย วันที่รับตัวอย่าง 1 ม.ค. 16 วันที่ทดลอง 1 ม.ค. 16

COMPACTION TEST

Soil Sample : Gray Laterite for Subbase บ่อรถ ก. 5 + 200 LT.

Location : กม. 1+500 - 1+900 Boring No. : 13 Depth : 1.00 - 1.80 m.

Type Test : ตู้ทดสอบมาตรฐานวิธี ก. Mold Wt. : 2.080 Kgs. Volume : 944.2 ml.

(Mod. Proctor)

DENSITY

Trial (water added)	%	2	4	6	8	10		
Wt. Mold + Soil	(Kg.)	4.026	4.171	4.286	4.341	4.330		
Wt. Mold	(Kg.)	2.080	2.080	2.080	2.080	2.080		
Wt. Soil	(Kg.)	1.946	2.091	2.206	2.261	2.250		
Wet Density	(gm/ml.)	2.061	2.215	2.336	2.395	2.383		
Dry Density	(gm/ml.)	2.009	2.120	2.179	2.165	2.130		
Void Ratio	e							
porosity	n							

WATER CONTENT

Can No.		B-13	B-71	B-12	B-36	B-28		
Wt. Can + Wet Soil	(gm)	344.4	359.4	347.5	369.5	368.3		
Wt. Can + dry Soil	(gm)	336.3	349.8	336.5	341.3	334.2		
Wt. Water	(gm)	8.1	13.6	21.0	28.2	34.1		
Wt. Can	(gm)	46.7	44.4	49.2	47.9	48.0		
Wt. Dry Soil	(gm)	289.6	304.4	291.3	293.4	286.2		
Water Content	(%)	2.8	4.5	7.2	9.6	11.9		

Remarks

Test Number DH-T 109/2517 การทดลองที่ ทล.-ท.๑๐๙/๒๕๑๗

กรมทางหลวง

กองวิเคราะห์และวิจัย

วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR

(เทียบเท่า AASHO T 193)

* * * * *

๑. ขอบข่าย

วิธีการทดลอง CBR วิธีนี้เป็นวิธีการทดลองที่กำหนดขึ้น เพื่อหาค่าเปรียบเทียบ Bearing Value ของวัสดุตัวอย่างกับวัสดุหินมาตรฐาน เมื่อทำการบดอัดวัสดุตัวอย่างนั้น โดยใช้ค้อนบดอัดในแบบ (Mold) ที่ Optimum Moisture Content หรือปริมาณน้ำในดินใดๆ เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนนและใช้ควบคุมงาน ในการบดอัดให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ

การทดลอง CBR อาจทำได้ ๒ วิธีคือ

วิธี ก. การทดลองแบบแช่น้ำ (Soaked)

วิธี ข. การทดลองแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked)

ถ้าไม่ระบุวิธีใด ให้ใช้ "วิธี ก."

๒. วิธีทำ

๒.๑ เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

๒.๑.๑ เครื่องกด (Loading Machine) เป็นเครื่องมือทดลองเพื่อหาค่า CBR ต้องมีขีดความสามารถรับแรงกดไม่น้อยกว่า ๔ ๐๐๐ กิโลกรัม (ประมาณ ๑๐ ๐๐๐ ปอนด์, ๔๐ กิโลนิวตัน) เครื่องกดนี้อาจจะเป็นเครื่องแบบใช้มือหมุน(กรณีใช้เฟือง) หรือใช้ปั๊ม (กรณีใช้ Hydraulic) หรือแบบขุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าก็ได้ ในกรณีขุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า อัตราเร็วของมอเตอร์ที่หมุนขุดต้องทำให้ฐานหรือหัวกด(Piston)เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว ๑.๒๗ มิลลิเมตร (๐.๐๕ นิ้ว)ต่อนาที เครื่องกดนี้ประกอบด้วยJackซึ่งดันหรือหมุนให้ฐานเคลื่อนขึ้นหรือเคลื่อนลง โดยมีเครื่องวัดการเคลื่อนขึ้นหรือลงด้วย Dial Gauge มีอัตราเร็ว ๑.๒๗ มิลลิเมตร(๐.๐๕ นิ้ว)

ต่อนาที เพื่อใช้คันให้หัวกดจมลงในตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วในแบบ เครื่องกดนี้จะต้องมี Proving Ring อ่านแรงกด (กรณีใช้เฟืองเป็นตัวคันขึ้นหรือคันลง) หรือหน้าปัดอ่านแรงกด (กรณีใช้ Hydraulic เป็นตัวคันขึ้นหรือคันลง) ได้ละเอียดถึง ๒ กิโลกรัม (๒๐ นิวตัน)หรือน้อยกว่านั้น (ดังรูป)

๒.๑.๒ แบบ(Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียว ลักษณะทรงกระบอกกลวง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ๑๕๒.๔ มิลลิเมตร(๖ นิ้ว) สูง ๑๑๖.๔ มิลลิเมตร(๗ นิ้ว) และจะต้องมีปลอก(Collar)ขนาดเดียวกันสูง ๕๐.๘ มิลลิเมตร(๒ นิ้ว) มีฐานเจาะรูพรุน ในการทดลองต้องใช้แท่งโลหะรอง(Spacer Disc)ตามข้อ ๒.๑.๓ รองก้นล่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างสูง ๑๑๖.๔ มิลลิเมตร(๔.๕๘๔ นิ้ว) หรืออาจใช้แบบขนาดสูงเท่าใดก็ได้ เมื่อใช้แท่งโลหะรองแล้ว ได้ความสูงของตัวอย่างในแบบเท่ากับ ๑๑๖.๔ มิลลิเมตร(๔.๕๘๔ นิ้ว) ดังรูป

๒.๑.๓ แท่งโลหะรอง (Spacer Disc) เป็นโลหะรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ๑๕๐.๘ มิลลิเมตร(๕ ๑๕/๑๖ นิ้ว) มีความสูงขนาดต่างๆ ซึ่งเมื่อใช้กับแบบตามข้อ ๒.๑.๒ แล้วจะเหลือตัวอย่างสูงเท่ากับ ๑๑๖.๔ มิลลิเมตร(๔.๕๘๔ นิ้ว) ดังรูป

๒.๑.๔ กัน (Rammer) ทำด้วยโลหะมี ๒ แบบ ดังนี้

(๑) เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ๕๐.๘ มม. (๒ นิ้ว) มวลรวมทั้งด้ามถือ ๔ ๕๓๗ กรัม(๑๐ ปอนด์) ต้องมีปลอกทำไว้อย่างเหมาะสมเป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ ๔๕๗.๒ มิลลิเมตร(๑๘ นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับจะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย ๔ รู แต่ละรูมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า ๔.๕ มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้งสองข้างประมาณ ๑๔.๐ มิลลิเมตร ใช้สำหรับการหาค่า CBR ที่ความแน่น "สูงกว่ามาตรฐาน" ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.๑๐๔/๒๕๑๗

(๒) เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ๕๐.๘ มม.(๒ นิ้ว) มีมวลรวมทั้งด้ามถือ ๒ ๔๔๕ กรัม(๔.๕ ปอนด์) ต้องมีปลอกทำไว้อย่างเหมาะสม เป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ ๓๐๔.๘ มิลลิเมตร(๑๒ นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับ จะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย ๔ รู แต่ละรูมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า ๔.๕ มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้งสองข้างประมาณ ๑๔.๐ มิลลิเมตร ใช้สำหรับการหาค่า CBR ที่ความแน่น "มาตรฐาน" ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.๑๐๗/๒๕๑๗

๒.๑.๔ เครื่องวัดการขยายตัว (Expansion Measuring Apparatus) ประกอบด้วย

(๑) แผ่นวัดการขยายตัว (Swell Plate) ทำด้วยโลหะมีก้านที่สามารถจะจัดให้สูงหรือต่ำได้ และมีรูหรุน (ดังรูป)

(๒) สามขา(Tripod)สำหรับวัดการขยายตัว มีลักษณะเป็นรูปสามขา ติดด้วย Dial Gauge วัดได้ละเอียด ๐.๐๑ มิลลิเมตร วัดได้ ๒๕ มิลลิเมตร (หรือจะใช้ Dial Gauge วัดได้ละเอียด ๐.๐๐๑ นิ้ว วัดได้ ๑ นิ้ว แทนก็ได้) เพื่อวัดการขยายตัว (ดังรูป)

๒.๑.๖ แผ่นถ่วงน้ำหนัก (Surcharge Weight) เป็นเหล็กหรงกระบอกแบน เส้นผ่านศูนย์กลาง ๑๔๙.๒ มิลลิเมตร(๕ ๗/๘ นิ้ว) มีรูกลวงเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ ๕๔.๐ มิลลิเมตร (๒ ๑/๘ นิ้ว) เพื่อให้หอนกดสอดผ่านไปได้ โดยมีมวลเท่ากับ ๒ ๒๖๔ กรัม (๕ ปอนด์) ดังรูป

แผ่นถ่วงน้ำหนักนี้อาจเป็นแบบผ่าครึ่งเป็นสองซีก หรือผ่าเป็นร่องก็ได้

๒.๑.๗ หอนกด (Penetration Piston) ทำด้วยโลหะหรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ๔๙.๔ มิลลิเมตร(๑.๙๕ นิ้ว) มีผิวเรียบหนาดัด ๑ ๗๓๕.๔ ตารางมิลลิเมตร(๓ ตารางนิ้ว) ยาวไม่น้อยกว่า ๑๐๑.๖ มิลลิเมตร(๔ นิ้ว) ดังรูป

๒.๑.๘ เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder) เป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลังเมื่อทดลองเสร็จแล้ว จะมีหรือไม่มีก็ได้ ประกอบด้วย Jack ทำหน้าที่เป็นตัวดัน และโครงเหล็กหน้าที่เป็นตัวจับแบบ ในกรณีที่ไม่มีใช้ ให้ใช้สิ่งหรือเครื่องมืออย่างอื่นแทน ตัวอย่างออกจากแบบ

๒.๑.๙ ตาชั่งแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า ๑๖ กิโลกรัม ชั่งได้ละเอียดถึง ๐.๐๑ กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างทดลอง

๒.๑.๑๐ ตาชั่งแบบ Scale หรือแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ ๑ ๐๐๐ กรัม ชั่งได้ละเอียดถึง ๐.๑ กรัม สำหรับหาปริมาณน้ำในดิน

๒.๑.๑๑ เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ ๑๑๐ ± ๕ °ซ. สำหรับอบดินตัวอย่าง

๒.๑.๑๒ เหล็กปาด (Straight Edge) เป็นเหล็กกล้าหรือไม้บรรทัด หนาและแข็งเพียงพอในการตัดแต่งตัวอย่างที่ส่วนบนของแบบ มีความยาวไม่น้อยกว่า ๓๐๐ มิลลิเมตร แต่ไม่ยาวเกินไปจนเกะกะ และหนาประมาณ ๓.๐ มิลลิเมตร

๒.๑.๑๓ เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter)

๒.๑.๑๔ ตะแกรงร่อนดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๒๐๓.๒ มิลลิเมตร(๘ นิ้ว) สูง ๕๐.๘ มิลลิเมตร(๒ นิ้ว) มีขนาดดังนี้

(๑) ขนาด ๑๙.๐ มิลลิเมตร(๓/๔ นิ้ว)

(๒) ขนาด ๔.๗๕ มิลลิเมตร(เบอร์ ๔)

๒.๑.๑๕ เครื่องผสม เป็นอุปกรณ์จำเป็นต่างๆที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำได้แก่ ถาด, ช้อน, พลั่ว, เกรียง, ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ หรือจะใช้เครื่องผสมแบบ Mechanical Mixer ก็ได้

๒.๑.๑๖ กระป๋องอบดินสำหรับใส่ตัวอย่างดิน เพื่อลบหาปริมาณน้ำในดิน

๒.๑.๑๗ นาฬิกาจับเวลา

๒.๒ วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

๒.๒.๑ กระดาษกรองอย่างหยาบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ๑๕๓.๔ มิลลิเมตร (๖ นิ้ว)

๒.๒.๒ น้ำสะอาด

๒.๓ แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว.๒-๑๑ สำหรับการทดลองหาค่า CBR

ที่ ว.๒-๑๕ สำหรับ Plot Curve CBR

ที่ ว.๒-๑๕ ก. สำหรับการ Plot Curve หาค่า CBR

๒.๔ การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างได้แก่ ดิน หินกลุก หรือ Soil Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลอง ให้ดำเนินการดังนี้

๒.๔.๑ ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดใหญ่กว่า ๑๙.๐ มม. (๓/๔ นิ้ว) ให้เตรียมตัวอย่างดังต่อไปนี้

(๑) นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง และทำ Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง เมื่อแห้งพอเหมาะแล้ว (มีปริมาณน้ำในดินประมาณ ๒-๓ %) นำมาร่อนผ่านตะแกรงแบ่งเป็น ๓ ขนาด คือ

- ขนาดใหญ่กว่า ๑๙.๐ มม.(๓/๔ นิ้ว)
- ขนาดระหว่าง ๑๙.๐ มม.(๓/๔ นิ้ว) ถึงขนาด ๔.๗๕ มม.(เบอร์ ๔)
- ขนาดเล็กกว่า ๔.๗๕ มม.(เบอร์ ๔)

(๒) ทำการชั่งหามวลของแต่ละขนาด ที่เตรียมได้จากข้อ ๒.๔.๑ (๑) ก็จะทราบว่ามวลของตัวอย่างแต่ละขนาดมีอยู่ขนาดละเท่าใด

(๓) ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า ๑๙.๐ มม.ให้ทิ้งไป

(๔) แทนที่ตัวอย่างในข้อ ๒.๔.๑(๓)ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง ๑๙.๐ มม.ถึงขนาด ๔.๗๕ มม.ด้วยมวลที่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น มีขนาดใหญ่กว่า ๑๙.๐ มม.อยู่ ๒ ๖๕๐ กรัมก็ให้ใช้ตัวอย่างขนาดระหว่าง ๑๙.๐ มม.ถึงขนาด ๔.๗๕ มม. เพิ่มเข้าไปอีก ๒ ๖๕๐ กรัม ที่เหลือจะเป็นขนาดที่เล็กกว่า ๑๙.๐ มม. ตามที่มีจริงดังนี้

สมมุติ ตัวอย่างทั้งหมดมีมวล ๔ ๐๐๐ กรัม

มีขนาดใหญ่กว่า ๑๙.๐ มม. เท่ากับ ๒ ๖๕๐ กรัม

มีขนาดระหว่าง ๑๙.๐ มม. ถึงขนาด ๔.๗๕ มม. เท่ากับ ๔ ๔๕๐ กรัม

มีขนาดเล็กกว่า ๔.๗๕ มม. เท่ากับ ๑ ๔๐๐ กรัม

จากวิธีการเตรียมตัวอย่างตามที่กล่าวมาแล้ว จะได้มวลของตัวอย่างที่เตรียมไว้ก่อ

มีขนาดระหว่าง ๑๙.๐ มม. ถึงขนาด ๔.๗๕ มม. เท่ากับ

๒ ๖๕๔ ± ๔ ๘๕๐ = ๗ ๕๐๐ กรัม

มีขนาดเล็กกว่า ๔.๗๕ มม. เท่ากับ ๑ ๕๐๐ กรัม

(๔) คลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ ๒.๔.๑(๔)ให้เข้ากัน

๒.๔.๒ ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดเล็กกว่า ๑๙.๐ มม. (๓/๔ นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง (มีปริมาณน้ำในดินประมาณ ๒-๓ %) และทำ Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างแล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

๒.๔.๓ ถ้าต้องการหดลอง โดยใช้ตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาด ๔.๗๕ มม. (เบอร์ ๔) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง แล้วใช้ค้อนยางทุบให้ก้อนหลุดจากกัน และร่อนผ่านตะแกรงขนาด ๔.๗๕ มม.(เบอร์ ๔) คลุกตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงให้เข้ากัน

๒.๔.๔ ชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ ๒.๔.๑ หรือ ๒.๔.๒ หรือ ๒.๔.๓ แล้วแต่กรณีให้มีมวลประมาณ ๖ ๐๐๐ กรัม สำหรับการหดลอง ๑ ตัวอย่าง

๒.๔.๕ ปริมาณตัวอย่างตามข้อ ๒.๔.๔ ให้เตรียมไว้ ๓ ตัวอย่าง ในการหดลองแต่ละครั้ง

๒.๔ การหดลอง

๒.๔.๑ การเตรียมตัวอย่างเพื่อการหดลอง

(๑) นำตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วจากข้อ ๒.๔ มาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี

(๒) โดยวิธีการหดลอง Compaction Tost ตามการหดลองที่-หล.-ห.๑๐๗/๒๕๑๗ หรือ หล.-ห.๑๐๘/๒๕๑๗ จะหาขบปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content) ให้ใช้ปริมาณน้ำในดินดังนี้

- ดูแบบฟอร์มที่ ว.๒-๐๕ ในการหดลองที่ หล.-ห.๑๐๗/๒๕๑๗ หรือ หล.-ห.๑๐๘/๒๕๑๗ เปรียบเทียบปริมาณน้ำในดินของตัวอย่างกับปริมาณน้ำในดินที่คำนวณได้จากการอบตัวอย่าง จะหาขบปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้ ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของผลการหดลองดังกล่าวเป็นค่าปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่าง เพิ่มน้ำเข้าไปใน

ตัวอย่างที่เตรียมไว้ จนได้ปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด

– กรณีที่คาดว่าปริมาณน้ำในดินของตัวอย่างที่เตรียมไว้ เพื่อทำการทดลอง CBR อาจจะไม่เท่ากับที่ทำ Compaction Test ให้หาปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่จริง โดยการลบหรือกวนให้แห้ง ก็จะทราบปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่าง ให้เติมน้ำจนได้ปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด

(๓) เติมน้ำตามที่คำนวณได้จากข้อ ๒.๔.๑(๒)

(๔) คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้ว หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

(๕) นำแท่งโลหะรองใส่ลงในแบบ ซึ่งสวมปลอกเรียบร้อยแล้ว และใส่กระดาษกรองลงบนแท่งโลหะรอง

(๖) แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบ โดยประมาณให้ตัวอย่างแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ ๑ ใน ๕ ของ ๑๒๗.๐ มม.(๕ นิ้ว)

(๗) ทำการบดทับโดยใช้ค้อน ตามข้อ ๒.๑.๔(๑) หรือ ๒.๑.๔(๒) แล้วแต่กรณีจำนวน ๑๒ ครั้ง โดยเฉลี่ยการบดทับให้สม่ำเสมอเต็มหน้าที่บดทับ

(๘) ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้นๆ จำนวน ๕ ชั้น มีความสูงประมาณ ๑๒๗.๐ มม.(๕ นิ้ว) หรือสูงกว่าเผื่อประมาณ ๑๐.๐ มม.

(๙) ถอดปลอก(Collar)ออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับคอนบนสุดของแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ ๑๑๖.๔ มม.) กรณีมีหลุมบนหน้าให้เติมตัวอย่างใช้เหล็กปาดวางทับ แล้วใช้ค้อนยางหุบจนกระทั่งเหล็กปาดหุบลงถึงขอบแบบ

(๑๐) คลายสกรูที่ยึดระหว่างแผ่นฐาน(Base Plate)และแบบยกแบบพร้อมตัวอย่างที่บดทับแล้วออก นำแท่งโลหะรองออกจากแผ่นฐาน วางกระดาษกรองแผ่นใหม่ลงบนแผ่นฐาน พลิกแบบโดยให้ด้านล่างของแบบอยู่ด้านบน นำเข้าประกอบกับแผ่นฐาน ขันสกรูและใส่ปลอกเข้าที่ ก็จะได้ตัวอย่างที่เตรียมไว้ สำหรับทำการทดลองเพื่อหาค่า CBR ต่อไป **(กรณีต้องการทดลองตาม "วิธี ข." ดังกล่าวในตอนต้น ไม่ต้องใส่กระดาษกรองรองใต้แผ่น)**

(๑๑) ทำการเตรียมตัวอย่างลึก ๒ ตัวอย่าง โดยทำการบดทับแต่ละชั้นด้วยค้อนจำนวน ๒๕ ครั้งและ ๕๖ ครั้ง ตามวิธีการข้างต้นในข้อ ๒.๔.๑ ก็จะได้ตัวอย่างทั้งสิ้น ๓ ตัวอย่าง โดยมีค่าการบดทับเท่ากับ ๑๒ ครั้ง, ๒๔ ครั้ง และ ๕๖ ครั้ง ต่อชั้น

๒.๔.๒ การหาความแน่นในการบดทับและปริมาณน้ำในดิน

(๑) นำตัวอย่างหล่อแบบที่เตรียมไว้จากข้อ ๒.๔.๑(๑๑)ไปชั่งจะได้มวลของตัวอย่างและมวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของตัวอย่างเปียก (M)

(๒) ในขณะเดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ตามข้อ ๒.๔.๑ ให้นำตัวอย่างใส่กระป๋องอบตัวอย่าง เพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินด้วย มวลของตัวอย่างที่นำไปหาปริมาณน้ำในดินใช้ดังนี้

- ขนาดก้อนใหญ่สุด ๑๙.๐ มม. ใช้ประมาณ ๓๐๐ กรัม
- ขนาดก้อนใหญ่สุด ๔.๗๕ มม. ใช้ประมาณ ๑๐๐ กรัม

(๓) คำนวณหาค่าความแน่นเปียก ρ_t (Wet Density) และค่าความแน่นแห้ง ρ_d (Dry Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน, w (Moisture Content) โดยใช้สูตรตามข้อ ๓.๑, ๓.๒ และ ๓.๓

๒.๔.๓ การหาค่าการขยายตัว(Swell)

(๑) นำแผ่นวัดการขยายตัว(Swell Plate) พร้อมแผ่นถ่วงน้ำหนักจำนวน ๒ อัน สำหรับวัสดุพื้นทาง(Base) วัสดุรองพื้นทาง(Subbase) และวัสดุคัดเลือก(Selected Materials) และ ๓ อันสำหรับวัสดุ Subgrade วางลงบนตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วตามข้อ ๒.๔.๑ (๑๐) ให้แนบสนิทกับตัวอย่างโดยขยับไปมา แล้วนำลงแช่ในน้ำ, ให้ท่วมตัวอย่างให้หมด วางขาสามขา(Tripod) ลงบนปลอกของแบบ จัดให้ก้านของ Dial Gauge อยู่กึ่งกลางบนก้านของแผ่นวัดการขยายตัว จด Initial Reading ที่อ่านได้จาก Dial Gauge แช่น้ำทิ้งไว้ บันทึกวันและเวลาที่อ่าน Reading บน Dial Gauge และอ่าน Reading บน Dial Gauge ทุกๆวัน เพื่อกำหนดหาเปอร์เซ็นต์การขยายตัว(Swell) ในการอ่าน Reading บน Dial Gauge แต่ละครั้ง ถ้าจำเป็นต้องตั้งสามขาใหม่ ให้พยายามตั้งให้ขาของสามขาและแกนของ Dial Gauge อยู่ที่เดิมเช่นเดียวกับการอ่าน Initial Reading

โดยทำเครื่องหมายไว้บนปลอก

(๒) เมื่อครบกำหนด ๔ วัน ถึงแม้ว่าการขยายตัวยังเพิ่มอยู่เรื่อยๆ เช่น ดินเหนียว หรืออาจจะเร็วกว่า ๔ วัน เมื่อปรากฏว่าไม่มีการขยายตัว เช่น ทราย (เมื่ออ่านค่าการขยายตัวแต่ละวันแล้ว) ให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ยกแผ่นวัดการขยายตัวพร้อมแผ่นถ่วงน้ำหนักออกตะแคงแบบให้น้ำไหลออกประมาณ ๑๕ นาที ระวังอย่าให้ผิวหน้าของตัวอย่างเสียหาย โดยเฉพาะวัสดุจำพวก Granular Material เสร็จแล้วทำการชั่งหามวล เมื่อหักมวลของแบบออกก็จะทราบมวลของตัวอย่างภายหลังแช่น้ำแล้ว นำตัวอย่างเตรียมไว้เพื่อทดลอง Penetration Test ต่อไปโดยทันที

๒.๔.๔ การทดลอง Penetration Test เพื่อหาค่า CBR

(๑) ถ้าต้องการทดลองโดย "วิธี ข." วิธีไม่แช่น้ำ(Unsoaked) ไม่ต้องทำเพื่อการหาค่าการขยายตัว(Swell)ตามข้อ ๒.๔.๓ ให้นำตัวอย่างภายหลังจากการชั่งหามวลตามข้อ ๒.๔.๓ มาทดลอง Penetration Test ได้ทันที

(๒) นำตัวอย่างตามข้อ ๒.๔.๓(๒) หรือ ๒.๔.๔(๑)แล้วแต่กรณีมาใส่แผ่นถ่วงน้ำหนักจำนวน ๒ อัน สำหรับวัสดุพื้นทาง(Base) วัสดุรองพื้นทาง(Subbase) และวัสดุคัดเลือก(Selected Material) และ ๓ อัน สำหรับวัสดุ Subgrade ลงบนตัวอย่าง

(๓) นำตัวอย่างขึ้นตั้งบนที่ตั้งของเครื่องกด ตั้งให้หอนกดอยู่ตรงหอกยึดกึ่งกลางรูของแผ่นถ่วงน้ำหนัก

(๔) หมุนเครื่องหรือเดินเครื่องหรือโม่ แล้วแต่ลักษณะของเครื่องกด ให้แผ่นฐานเคลื่อนขึ้นหรือหอนกดเคลื่อนลง จนหอนกดสัมผัสกับผิวหน้าของตัวอย่าง มีแรงกดประมาณ ๔ กก.(๔๐ นิวตัน) ตั้งหน้าปัดของ Proving Ring หรือหน้าปัดของเครื่องวัดแรงให้เป็นศูนย์ พร้อมทั้งตั้งหน้าปัดของ Dial Gauge ที่วัด Penetration ให้เป็นศูนย์ด้วย การที่ให้มีแรงกดประมาณ ๔ กก.(๔๐ นิวตัน) เพื่อให้แน่ใจว่าหอนกดได้สัมผัสผิวของตัวอย่าง และไม่นำมาคิดในการหา Stress vs. Penetration

(๕) เพิ่มแรงลงบนหอนกด ตามวิธีการของเครื่องกดนั้น ๆ ด้วยอัตราเร็วที่สม่ำเสมอเท่ากับ ๑.๒๗ มม.(๐.๐๕ นิ้ว)ต่อนาที โดยการอ่าน Penetration Dial Gauge เทียบกับขาที่กำจับเวลา

(๖) ทำการบันทึกแรงกด เมื่อ Penetration อ่านได้ที่

- ๐.๖๓ มม. (๐.๐๒๕ นิ้ว)
- ๑.๒๗ มม. (๐.๐๕๐ นิ้ว)
- ๑.๙๐ มม. (๐.๐๗๕ นิ้ว)
- ๒.๕๔ มม. (๐.๑๐๐ นิ้ว)
- ๓.๑๗ มม. (๐.๑๒๕ นิ้ว)
- ๓.๘๑ มม. (๐.๑๕๐ นิ้ว)
- ๔.๔๕ มม. (๐.๑๗๕ นิ้ว)
- ๕.๐๘ มม. (๐.๒๐๐ นิ้ว)
- ๖.๓๕ มม. (๐.๒๕๐ นิ้ว)
- ๗.๖๒ มม. (๐.๓๐๐ นิ้ว)
- ๘.๘๙ มม. (๐.๓๕๐ นิ้ว)
- ๑๐.๑๖ มม. (๐.๔๐๐ นิ้ว)
- ๑๑.๔๓ มม. (๐.๔๕๐ นิ้ว)
- ๑๒.๗๐ มม. (๐.๕๐๐ นิ้ว)

เสร็จแล้วคลายแรงที่กดออก นำตัวอย่างพร้อมแบบออกจากเหนือของเครื่องกด ยกแผ่นถ่วงน้ำหนักออก

(๗) นำตัวอย่างบริเวณที่ถูกหล่นกดลงไปเป็นรูไปหาปริมาณน้ำในดิน ปริมาณตัวอย่างให้ใช้ตามข้อ ๒.๔.๒ (๒)

(๘) ดำเนินการทดลอง Penetration Test ของตัวอย่างที่เตรียมไว้อีก ๒ ตัวอย่าง โดยวิธีเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว

(๙) เขียน Curve ระหว่างแรงกด และระยะที่หัวหนกดจมลงในตัวอย่าง (Stress vs. Penetration) เพื่อหาค่า CBR ต่อไป

(๑๐) เมื่อได้ค่า CBR ของแต่ละตัวอย่างแล้ว เขียน Curve ระหว่างค่า CBR กับค่าความแน่นแห้ง (Dry Density) เพื่อหาค่า CBR ที่เปอร์เซนต์ของการบดทับที่ต้องการต่อไป

หมายเหตุ

ในการเขียน Curve ของ Stress vs. Penetration เพื่อหาค่า CBR จำเป็นจะต้องทำการแก้ Curve โดยเลื่อนจุดศูนย์ของ Penetration ในกรณีที่ Curve หงายเพื่อให้ได้ค่า CBR ที่แท้จริง

๓. การคำนวณ

๓.๑ คำนวณหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

$$\omega = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$$

เมื่อ w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M_1 = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

M_2 = มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

๓.๒ คำนวณหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density)

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

เมื่อ ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

A = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบ หรือปริมาตรของแบบ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

๓.๓ คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (Dry Density)

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

เมื่อ ρ_d = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

w = ปริมาณน้ำในดิน มีหน่วยเป็นร้อยละ

๓.๔ คำนวณหาค่าการขยายตัว (Swell)

$$Swell = \frac{S}{H} \times 100$$

เมื่อ S = ผลต่างระหว่างการอ่าน Reading ครั้งแรกและครั้งสุดท้าย ของ Dial Gauge ที่วัด Swell มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

H = ความสูงเริ่มต้น (Initial Height)ของตัวอย่างก่อนแช่น้ำ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

๓.๕ คำนวณหาค่า CBR

ในการคำนวณหาค่า CBR ให้ถือแรงมาตรฐาน (Standard Load) ดังนี้

Penetration (mm)	Standard Load (kg)	Standard Unit Load (Y) (kg/cm)
๒.๕๔ (๐.๑")	๑ ๓๖๐.๙ (๓ ๐๐๐ lb)	๑๖.๓ (๑,๐๐๐ lb/in)
๕.๐๘ (๐.๒")	๒ ๐๔๑.๒ (๔ ๕๐๐ lb)	๑๐๔.๔๖ (๑,๕๐๐ lb/in)
๗.๖๒ (๐.๓")	๓ ๕๔๕.๕ (๕ ๗๐๐ lb)	๑๓๓.๔๔ (๑,๔๐๐ lb/in)
๑๐.๑๖ (๐.๔")	๓ ๑๒๔.๘ (๖ ๔๐๐ lb)	๑๖๑.๗๑ (๒ ๓๐๐ lb/in)
๑๒.๗๐ (๐.๕")	๓ ๘๓๘.๐ (๗ ๘๐๐ lb)	๑๘๒.๘๑ (๒ ๖๐๐ lb/in)

หมายเหตุ ๑. ถ้าต้องการเปลี่ยนหน่วยเป็นระบบ SI ให้ดูภาคผนวก

๒. พื้นที่หน้าตัดของหล่อนกด = ๑ ๙๓๕.๕ ตารางมิลลิเมตร(๓ ตารางนิ้ว) คำนวณค่า CBR เป็นร้อยละจากสูตร

$$CBR = \frac{X}{Y} \times 100$$

เมื่อ X = ค่าแรงกดที่อ่านได้ต่อหน่วยพื้นที่จมหล่อนกด
(สำหรับ Penetration ที่ ๒.๕๔ มิลลิเมตร หรือ ๐.๑ นิ้ว และที่เพิ่มขึ้นอีกทุกๆ ๒.๕๔ มิลลิเมตร)

Y = ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Load) กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (จากตารางข้างบนนี้)

๔. การรายงาน

ในการทำการทดลอง CBR ให้รายงานดังนี้

๔.๑ ค่า CBR ที่ความแน่น X % ของความแน่นแห้งสูงสุด (แบบสูงกว่ามาตรฐานหรือแบบมาตรฐาน)ใช้ทศนิยม ๑ ตำแหน่ง

๔.๒ ค่าความแน่นแห้งที่ให้ค่า CBR ตามข้อ ๔.๑ ใช้ทศนิยม ๓ ตำแหน่ง

๔.๓ ค่าการขยายตัว(Swell) ใช้หน่วยนิยม ๑ ตำแหน่ง

๔.๔ และค่าอื่นๆตามแบบฟอร์มที่ ว.๒-๑๔ ก.

๕. ข้อควรระวัง

๕.๑ สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก(Heavy Clay) หลังจากตากแห้งแล้ว ให้หุ้มด้วยก้อนยางหรือน้ำเข้าเครื่องบด จนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ ๔ (๔.๗๕ มม.)ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

๕.๒ ในการใช้ก้อนทำการบดทับ ให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่นพื้นคอนกรีต เพื่อไม่ให้แบบกระดกหรือกระดอนขึ้น ขณะทำการบดทับ

๕.๓ ปริมาตรของแบบ(V) หลังจากหักปริมาตรของโลหะรองออกแล้ว ให้ทำการวัดและคำนวณเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบไป ห้ามใช้ปริมาตรโดยประมาณ หรือจากที่แสดงไว้ในข้อ ๒.๑.๒

๕.๔ ปริมาณของน้ำที่ใช้ผสม เพื่อเตรียมตัวอย่างทำ CBR ถ้าต้องการใช้ค่าต่างๆนอกเหนือจากที่ระบุไว้ในวิธีการทดลอง วิธีนี้ยอมทำได้สำหรับงานวิจัยหรืองานอื่นใด แต่ถ้าไม่แสดงไว้ว่าต้องการใช้ปริมาณน้ำเท่าใดแล้ว ให้ใช้ปริมาณน้ำตามข้อ ๒.๕.๑(ก)เสมอไป

๕.๕ ในการทดลอง Penetration Test โดยใช้ Proving Ring เป็นตัวอ่านแรง และใช้ Penetrationb Dial Gauge ติดที่ Frame ของเครื่องกดต้องทำการแก้ค่า Penetration เนื่องจากการหดตัวของ Proving Ring โดยหักค่าการหดตัวของ Proving Ring ออกจากค่า Penetration ตามตัวอย่างที่แสดงไว้ในแบบฟอร์มที่ ว.๒-๑๑ กรณีที่ถอด Penotration Dial Gauge ที่ห่อนกด ไม่ต้องปฏิบัติตามความในข้อนี้

๔.๖ เมื่อทำการทดลอง Penetration เสร็จเรียบร้อยแล้ว ในการ Plot Curve ระหว่าง Unit Load และค่า Penetration จำเป็นจะต้องแก้จุดศูนย์สำหรับ Curveที่หงายขึ้น เนื่องจากความไม่ราบเรียบ หรือเกิดจากการอ่อนยุ่ยที่ผิวหน้าของตัวอย่าง เนื่องจากการแช่น้ำ ให้ทำการแก้โดยลากเส้นตรงให้สัมผัสกับเส้นที่ชันที่สุดของ Curve ไปตัดกับแกนตามแนวราบ ก็อ เส้นที่ลากผ่าน Unit Loadเท่ากับศูนย์ ต่อจากนั้นให้เลื่อนค่าศูนย์ของ Penetrationไปที่จุดที่ตัด แล้วจึงดำเนินการหาค่าCBRต่อไปเรียกว่า Corrected CBR Value

๔.๗ ค่าCBRที่ได้จาก Corrected Load Value หรือจาก True Load Value (Curve ถูกต้องไม่ต้องแก้ Curve) คำนวณจาก Penetration ๒.๕๔ มม.(๐.๑ นิ้ว) และที่ Penetration ๕.๐๘ มม.(๐.๒ นิ้ว)เป็นค่า CBR ที่ใช้รายงาน

โดยปกติค่า CBR ที่ Penetration ๒.๕๔ มม. จะต้องมีค่าสูงกว่าค่า CBR ที่ Penetration ๕.๐๘ มม. ถ้าหากไม่เป็นดังนั้นก็อค่า CBR ที่ ๕.๐๘ มม.สูงกว่าที่ ๒.๕๔ มม. ให้ทำการเตรียมตัวอย่างทดลองใหม่ทั้งหมด แต่ถายังสูงกว่าอยู่อีกให้ใช้ค่า CBR ที่ ๕.๐๘ มม.

๔.๘ ในการทำตัวอย่างเพื่อทดลอง ในกรณีที่ต้องการบดทับมากกว่าหรือน้อยกว่า ที่ต้องการตามวิธีทดลองนี้ อาจจะเพิ่มการบดทับเป็นชั้นละ ๗๕ ครั้ง หรือลดการบดทับเป็นชั้นละ ๔ ครั้ง เพื่อให้ได้ตัวอย่างมากขึ้นในการนำมาเขียน Curve ตามข้อ ๒.๔.๔(๑๐)ก็ได้ (ในแบบฟอร์มที่ ว.๒-๑๕ ก. ก็ได้เตรียมช่องเพื่อลงรายการไว้ด้วยแล้ว)

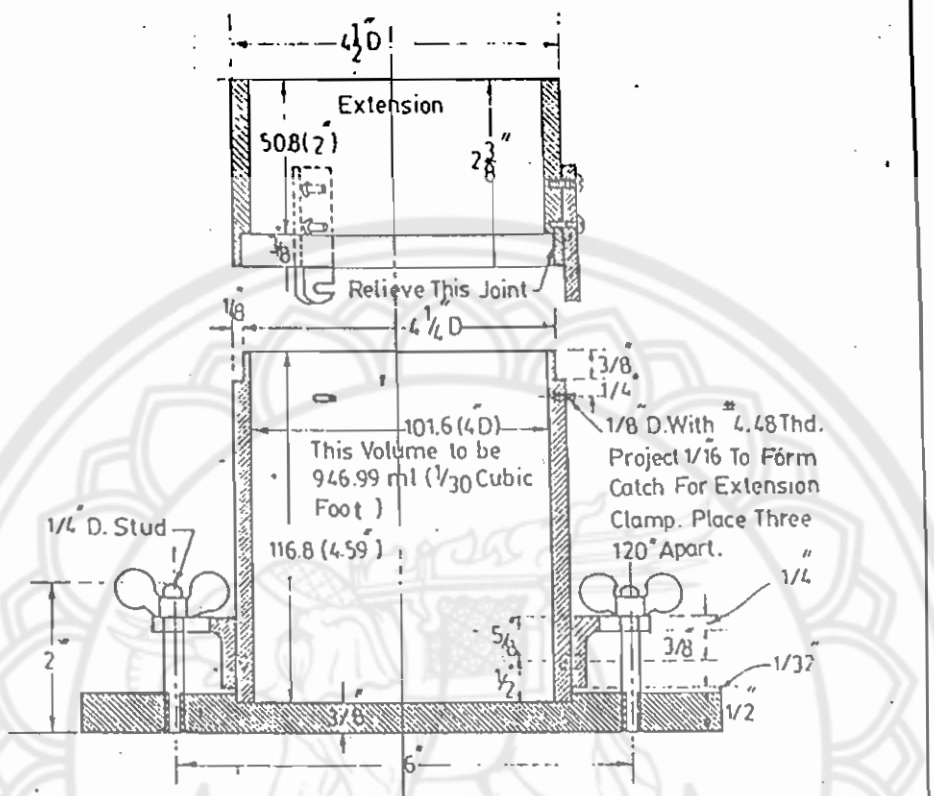
๔.๙ ก้อนที่ใช้ทำการบดทับเพื่อเตรียมตัวอย่างเพื่อหาค่า CBR มี ๒ ขนาด ก็อ ตามข้อ ๒.๑.๔(๑)และข้อ ๒.๑.๔(๒) ในการเตรียมตัวอย่าง CBR ตามวิธีการทดลอง Compaction Test ที่ หล.-ท.๑๐๗/๒๕๑๗ ให้ใช้ก้อนขนาดเล็ก(ข้อ ๒.๑.๔(๑)) ส่วนการเตรียมตัวอย่าง CBR ตามวิธีการทดลอง Compaction Test ที่ หล.-ท.๑๐๘/๒๕๑๗ ให้ใช้ก้อนขนาดใหญ่ (ข้อ ๒.๑.๔(๒))

๖. หนังสืออ้างอิง

๖.๑ The American Association of State Highway Officials. Specifications for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing, AASHO Designation : T193.

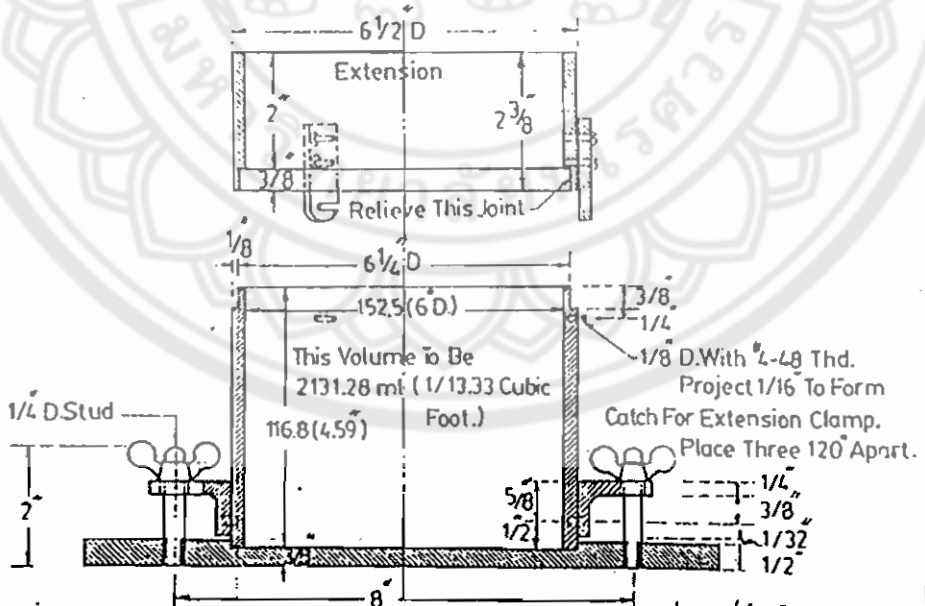
๖.๒ The Asphalt Institute. Soils Manual for Design of Asphalt Pavement Structures, Manual Series No.10, (MS - 10).

ทล.-ท ๑๐๔



รูปที่ 1. Cylindrical Mold ,101.6 mm (4.0 in.) For Soil Tests.

Unit = mm or as indicated

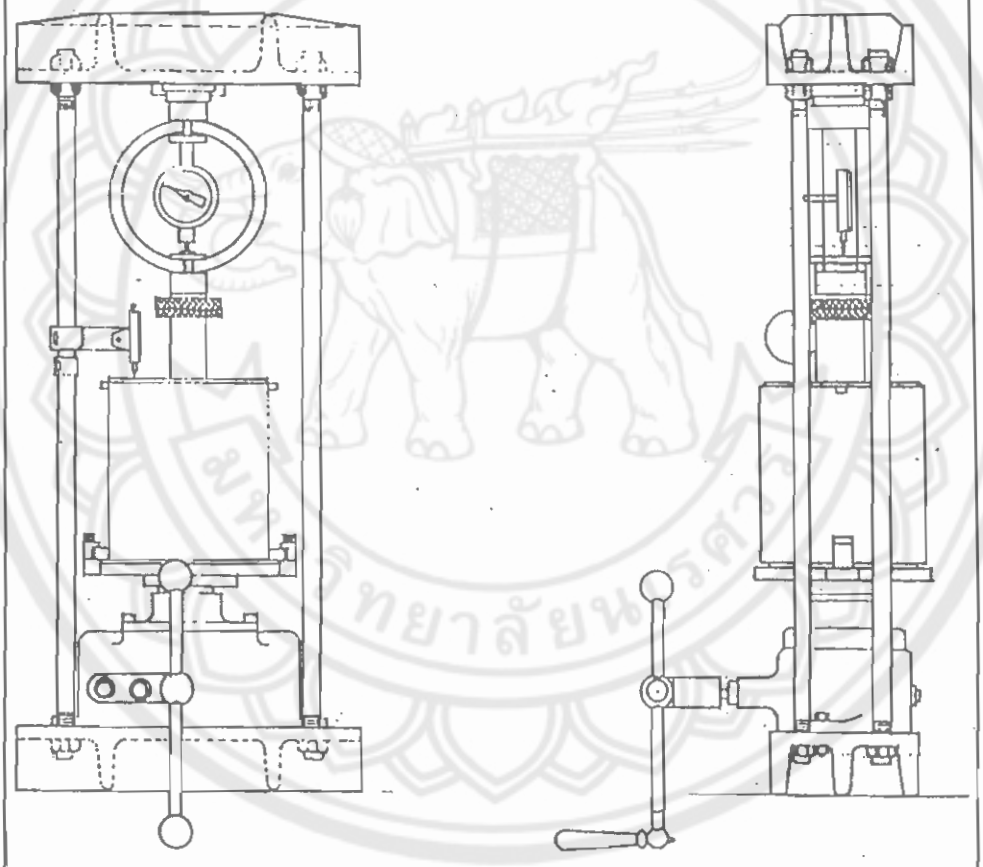


รูปที่ 2. Cylindrical Mold, 152.5 mm (6.0 in.) For Soil Tests.

เขียน 2/07/29

ทาน 22/9/29

DH.-T.109

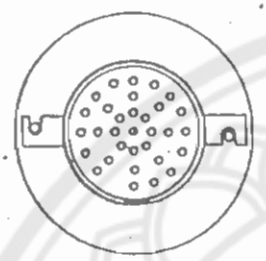


LABORATORY LOADING MACHINE

เขียน 21/07/29

ตรวจ

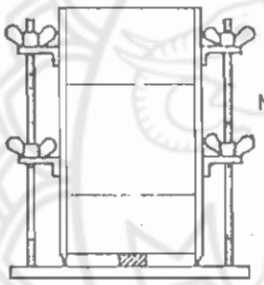
ทล.- ท. ๑๐๔



PLAN

ADJUSTABLE STEM

KNURL NUT



MOLD WITH COLLAR

ELEVATION

PLATE

EXPANSION MEASURING APPARATUS

PENETRATION PISTON

PLAN

SPACER DISC

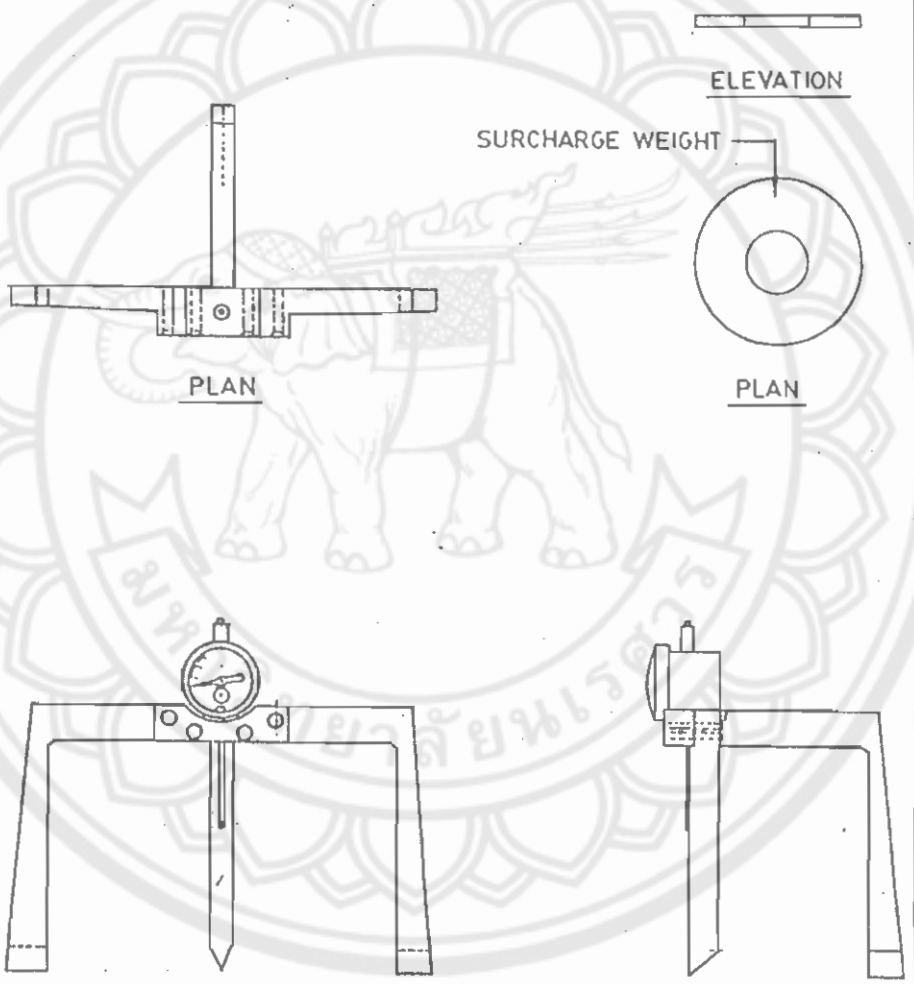
ELEVATION

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST APPARATUS

เขียน [illegible] ๒๑/๐๗/๒๙

ตรวจ

DH.- T.109



EXPANSION MEASURING APPARATUS (TRIPOD)

เรียน 21/07/29

ภาพ

ทล.-ท.๓๐๔

๒. ๙—๑๐ ก.

SUMMARY OF RESULTS

Type and No. of test G ๑๒/๑๗

Type of material Silty Sand To be used for Embankment

Source สันป่าตอง - เชียงใหม่ Stock pile No. S-1

Location of sampling กม. ๒๙ + ๐๐๐ ไป 100 ม. ทาง สันป่าตอง - เชียงใหม่

Tested by วิฑูย์ Dated 30 ก.พ. ๒๕

Materials	H&B Classification	Passing 30.0	25.0	19.0	9.5	# 10	# 40	# 200	L.L.	P.I.
A	A-4			100	98.9	87.6	73.6	48.2	24.2	3.8
B					" Δ = 93.6					
Mixed A : B =										

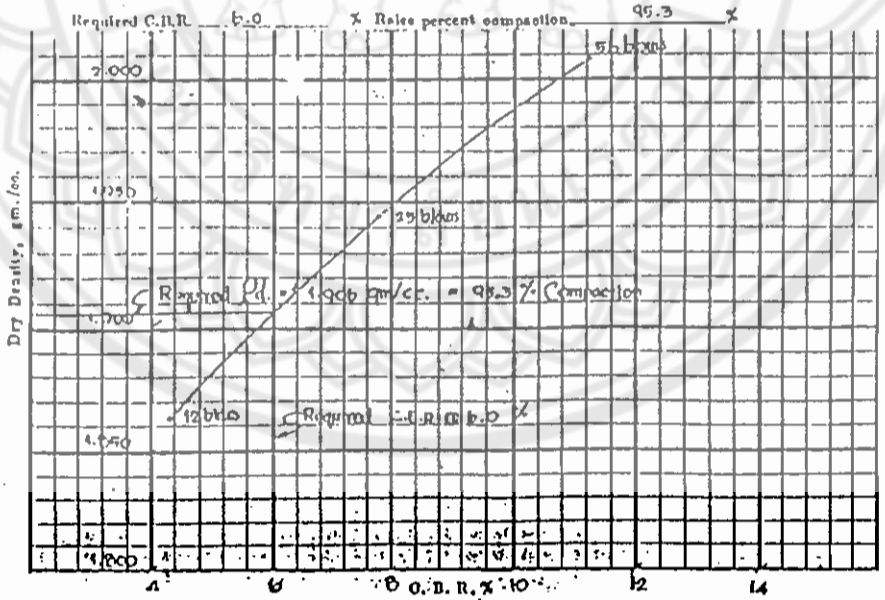
Blow	Density	O.B.R.	Swell
8	-	-	-
13	1.963	11.36	0.49
25	1.945	12.80	0.40
56	1.909	14.21	0.30
75	-	-	-

100 % Std Proctor Comp. (ทล-ท ๑๐๗/๒๕๑๗) = 2.000 gm./cc.

95 % Std Proctor Comp. (ทล-ท ๑๐๗/๒๕๑๗) = 1.900 gm./cc.

O.M.C. = 13.4 % water content of (molding) O.B.R. = 13.6 %

Required C.B.R. 6.0 % Relce percent compaction 95.3 %



DH-T.109

ง. 2 – 15

กองวิเคราะห์และวิจัย

กรมทางหลวง

Test No. G-10/15

Type of test Penetration Test (CBR) (12 blows มาตรฐาน)

Date 30 ก.ค. 19

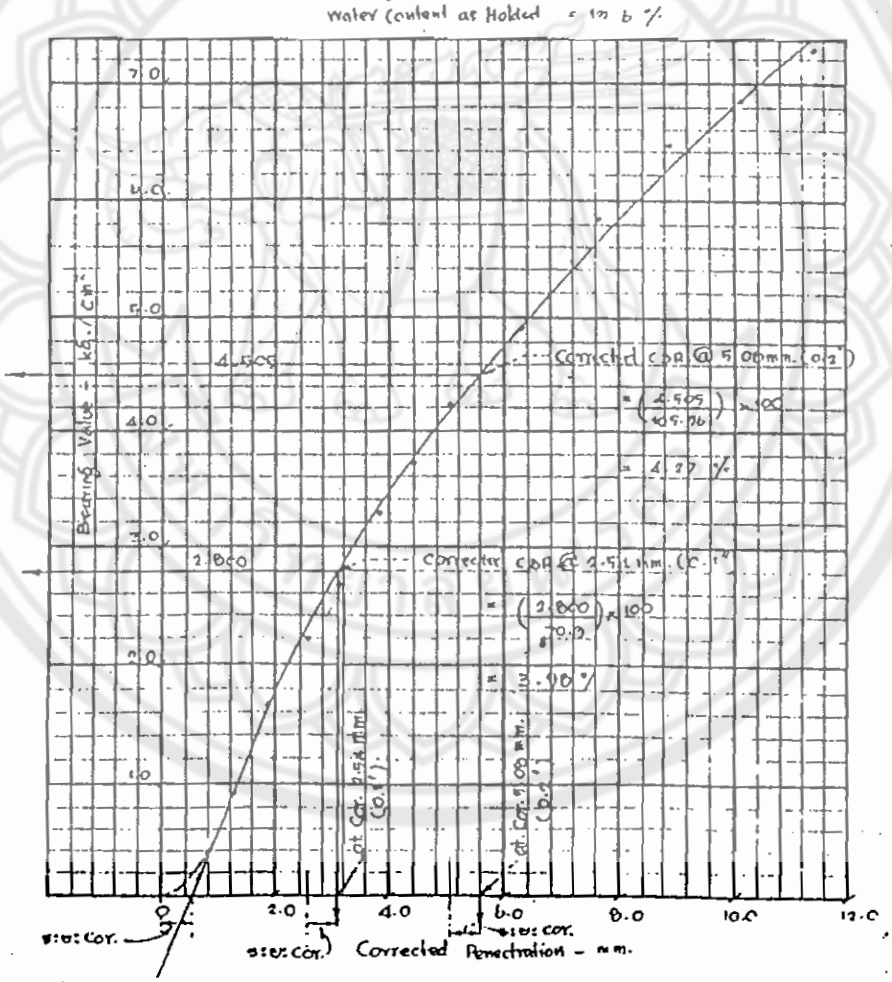
Source ศูนย์วิทยาการ - ขยายเส้นทาง กม. 29+000 ขา, 100 m. stock pile No. S-1

Plotted by วินัย

Silty Sand ใช้ Geotextile ห่อ

ρ_d = 1.885 gm/ml

Water Content as Molded = 10.6 %



ทล.- ท๑๐๔

กองวิเคราะห์และวิจัย

ว. 2–11

อันดับทดลองที่ 6-10 15

เจ้าของตัวอย่าง ทล.ชย. สำนักวิจัยและวางแผน

หนังสือที่ 199/4 ลว 10 ต.ค. 19 วันที่รับหนังสือ 19 ตค. 19

ทางราย ลำพูน-บ้านโฮ่ง

เจ้าหน้าที่ทดลอง อินธิ วันที่รับตัวอย่าง 19 ต.ค. 19 วันที่ทดลอง 26 ต.ค. 19

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Sample Silty Sand - For Embankment กม 25+000 ข, 100 ม. Stock pile หมู่ 8-1

Mold No. 15 Mass Weight 6.320 Kg. Volume 2302.2 c.c. Factor 0.42 kg/div.

DENSITY

No. blows 12

No. Layers 5

Wt. Hammer 2.494 Kg.

Drop 20.40 cm.

		Before Soaking	After Soaking
Wt. Mold + Soil	Kg.	17.190	17.480
Wt Mold	Kg.	6.320	6.320
Wt Soil	Kg.	4.870	5.160
Wet Density	gm./cc.	2.115	2.241
Dry Density	gm./cc.	1.863	1.961

WATER CONTENT

Can No.		S-11	12	999	B-23
Wt Can + Wet Soil	gm.	290.0	259.4	274.8	300.7
Wt Can + Dry Soil	gm.	260.3	227.3	247.4	268.9
Wt Water	gm.	29.7	26.1	27.4	31.8
Wt Can	gm.	40.7	43.1	43.9	46.2
Wt Dry Soil	gm.	227.6	184.2	203.5	222.7
Water content	%	13.0	14.2	13.5	14.3
Average Water content	%		13.6		

PENETRATION TEST: Surcharge 3 pcs. = 6.804 Kg. Proving Ring No. 6-98-70

Piston area = 19.355 cm.² (3 in.²) at 1.27 mm/min (0.05 in/min)

Date	Time	Reading mm.	Swell mm.	Swell %	Days	Pene. (mm.) (1)	Dial Reading (mm.) (2)	Cor. Pene. (3) = (1)-(2)	Load kg./ rdg.(from 2)	Bearing Value Kg./cm.²	Bearing Ratio (From Curve)
26 ตค 25	10.35	1.00			0	0.63 (0.025")	0.0009	0.6091	2.28	0.118	Cor. CBR.
27 "	10.30	1.43	0.43	0.24	1	1.27 (0.050")	0.0020	1.2672	10.15	0.940	
28 "	10.30	1.52	0.52	0.41	2	1.90 (0.075")	0.0076	1.8924	91.70	1.640	
29 "	10.30	1.61	0.61	0.48	3	2.54 (0.100")	0.0106	2.5294	43.00	2.220	3.72
30 "	10.35	1.69	0.69	0.49	4	3.17 (0.125")	0.0129	3.1571	52.10	2.690	
(1) Optimum Moist.			13.4	%		3.81 (0.150")	0.0152	3.7940	63.50	3.280	
(2) Original Moist			5.2	%		4.44 (0.175")	0.0178	4.4210	72.50	3.750	
(3) Water to be added (1)–(2)			8.2	%		5.08 (0.200")	0.0190	5.0602	81.81	4.230	4.36
(4) Use soil passing #4			6,000	gm.		6.35 (0.250")	0.0217	6.3273	95.35	4.930	
(5) Use soil retained #4				gm.		7.62 (0.300")	0.0270	7.5930	113.10	5.840	Use This
(6) Total wet soil (4) + (5)			6,000	gm.		8.89 (0.350")	0.0295	8.8805	124.50	6.430	Value
(7) Total dry soil (6) ÷ $\frac{100 + (7)}{100}$			5705	gm.		10.16 (0.400")	0.0312	10.1288	132.10	6.830	
(8) Total water to be added (6) – (7) x (3)			466	gm.		11.43 (0.450")	0.0332	11.3988	141.00	7.280	
						12.70 (0.500")	0.0349	12.6851	140.40	7.670	

ภาคผนวก ข

- ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างดินจากสำนักงานทางหลวงที่ 4 ฝ่ายตรวจสอบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรม
- การจำแนกดินระบบ AASHTO

SM. 10 A

กองวิเคราะห์และวิจัย

SIEVE ANALYSIS OF FINE AND COARSE AGGREGATES

Type and No. of test _____ Project ม. หมายเลข

Type of materials ลูกรังสีน้ำตาล To be used for _____

Source _____ Stock pile No. _____

Location of sampling หมวด กม. 191+000 ข 4000 ม. ด้าน ขวาทาง = บ้านหนองกวน

Tested by ส.ต.ต. Date 28/11/40

Sieve No.	Wt retained	Wt Passing	% Passing
2"	–	–	100.0
1"	–	14,197	100.0
3/4"	620	13,777	97.6
1/2"	820	12,957	89.9
3/8"	1,280	11,677	80.6
#4	4,693	6,984	47.6
Pan	6,984		

COARSE AGGREGATES

1) Total wt. of aggregate (Wet Sample) = 14,197 gm
2) Total coarse aggregate (retained on No. 4) = 7,213 gm
3) Total fine aggregate (Passing No. 4=1–2) = 6,984 gm
4) Water content of fine (w) = 3.1 %
5) Dry wt. of fine aggregate $(3 \cdot \frac{100 + W}{100})$ = 6,764 gm
6) Total wt. of aggregate (2+5) = 14197 gm

FINE AGGREGATES

1) Total wt. of aggregate = 6,984 gm
2) Wet wt. of fine aggregate = 972.6 gm
3) Water content of fine aggregate = 3.1 %
4) Day wt. of fine aggregate = 943.4 gm

Can no = 674
Wt. can + Wt. Wet Soil = 310.6 gm
Wt. can + Wt. Dry Soil = 302.5 gm
Remarks Wt. water = 8.1 gm
Wt. Can = 41.4 gm
Wt. Dry Soil = 261.1 gm
Water Content = 3.1 %

Sieve No.	Wt retained	Wt Passing	% Passing	Total Passing
#4	–	943.4	100.0	47.6
#10	114.5	828.9	87.9	42.0
#40	198.7	630.2	66.8	31.9
#200	279.2	371.0	39.3	18.8
Pan	371.0	–	–	–

Total % Passing of fine aggregates x% Passing No. 4 to coarse aggregate ÷ 100

กองวิเคราะห์และวิจัย

อันดับทดลองที่ _____

เจ้าของตัวอย่าง _____

หนังสือที่ _____ วันที่รับหนังสือ _____

ทางสาย ทล. หมายเลข ๔๐๐๐ ตอน ชัยบาดาล – บ้านหนองผง

เจ้าหน้าที่ทดลอง _____ วันที่รับตัวอย่าง _____ วันที่ทดลอง 26/11/30

COMPACTION TEST

Soil Sample : ดินเหนียวปนทราย

Location : _____ Boring No. : _____ Depth : _____

Type Test : Modified, Under Mold Wt. : 2015 Kg. Volume : 940.1 ml.

DENSITY

Trial (water added)			0%	6%	8%	10%		
Wt. Mold + Soil	(Kg.)		3,915	4,056	4,133	4,120		
Wt. Mold	(Kg.)		2,015	2,015	2,015	2,015		
Wt. Soil	(Kg.)		1,897	2,036	2,115	2,105		
Wet. Density	(gm/ml.)		2,015	2,165	2,250	2,240		
Dry Density	(gm/ml.)		1,895	1,996	2,036	1,991		
Void Ratio	e							
Porosity	n							

WATER CONTENT

Can No.			601	689	615	686		
Wt. Can + Wet Soil	(gm)		327.2	322.9	304.7	322.2		
Wt. Can + Dry Soil	(gm)		310.4	300.6	279.7	291.9		
Wt. Water	(gm)		16.8	22.3	27.0	30.3		
Wt. Can	(gm)		42.5	41.1	41.2	45.6		
Wt. Dry Soil	(gm)		267.9	259.5	238.5	246.3		
Water Content	(%)		6.3	8.6	10.5	12.3		

Remarks

ว. ย–15

สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง

กรมทางหลวง

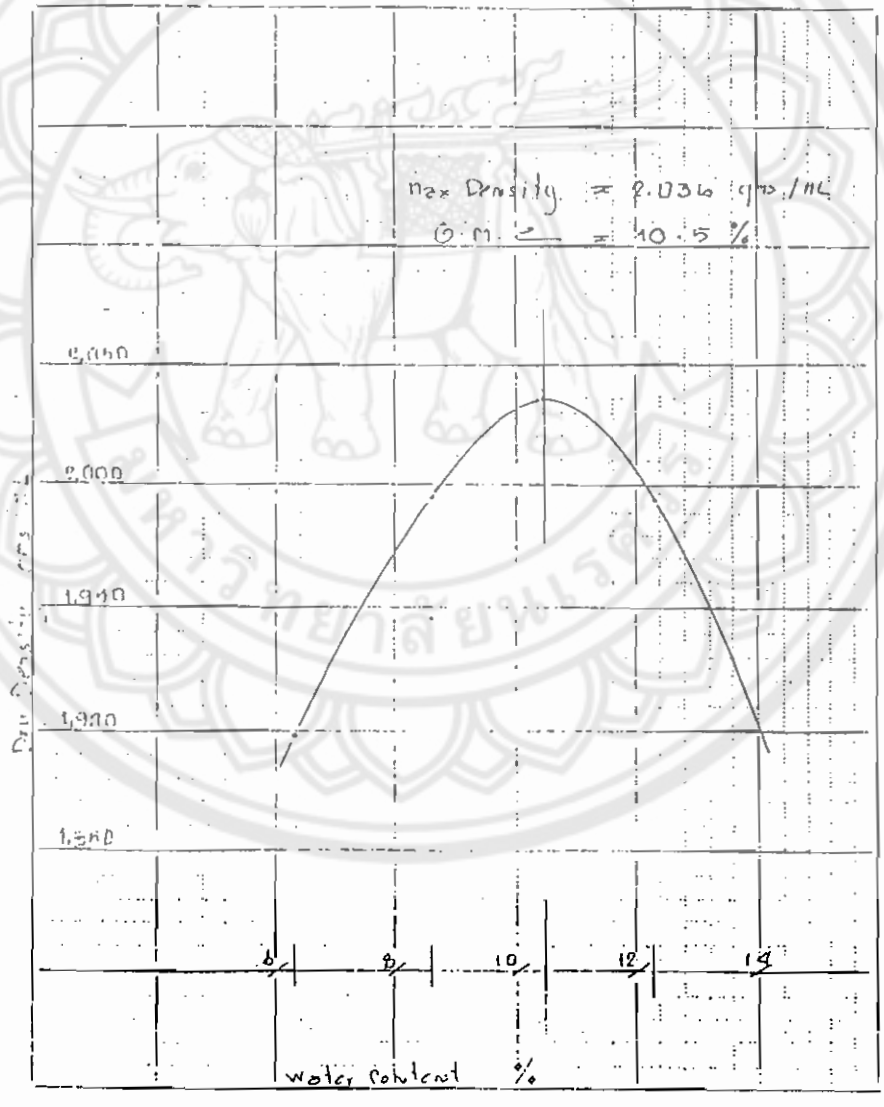
Test No. .....

Type of Test Modified Proctor

Date ..... 5 มิถุนายน 2540 .....

Source แขวงการทางนครราชสีมา ที่ กม. 171+000 ข้างซ้าย ทิศใต้ค่ะ – ทางหลวง

Plotted by ....



ว. 2-15 ก.

SUMMARY OF RESULTS

Type and No. of test.....

Type of material.....ดินลูกรัง.....To be used for.....

Source.....ข้างสนามบิน - หลวง.....Stock pile No.....

Location of sampling.....กม.15+000 ถึง 45+000 ข้าง.....

Tested by.....ส.....Dated.....16/12/2540.....

Materials	Passing							L.L.	P.I.
	50.0	25.0	19.0	9.5	# 10	# 40	#200		
A		100	95.6	80.6	42.0	21.9	12.6	31.1	10.4
B									
Mixed A : B =									

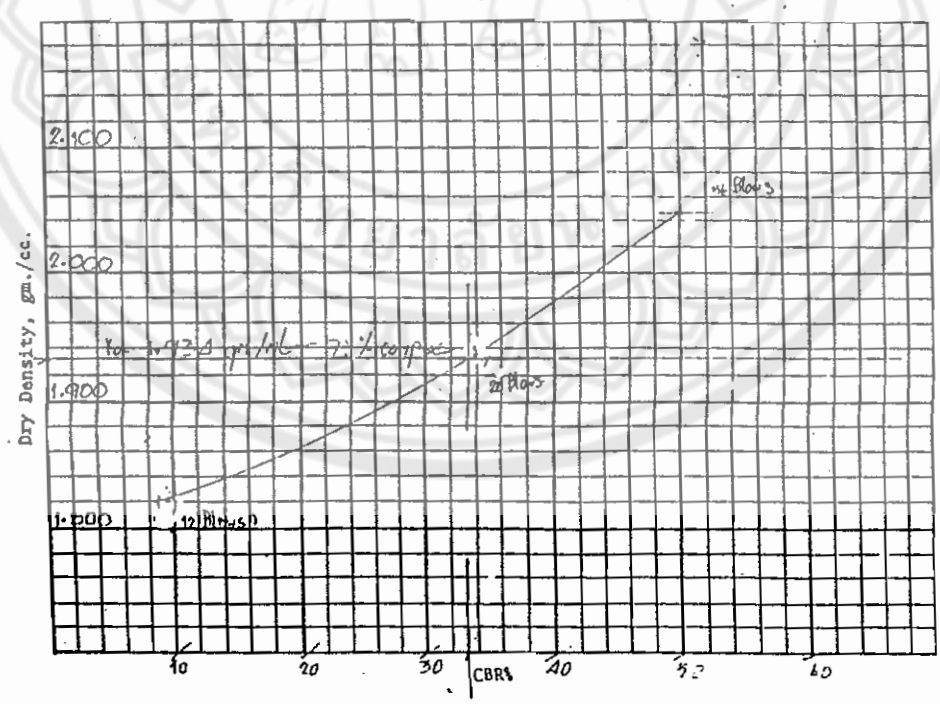
Blow	Density	CBR	Swell
8		%	%
12	1.831	9.1	0.54
25	1.910	21.5	0.00
56	1.940	30.1	0.53
75			

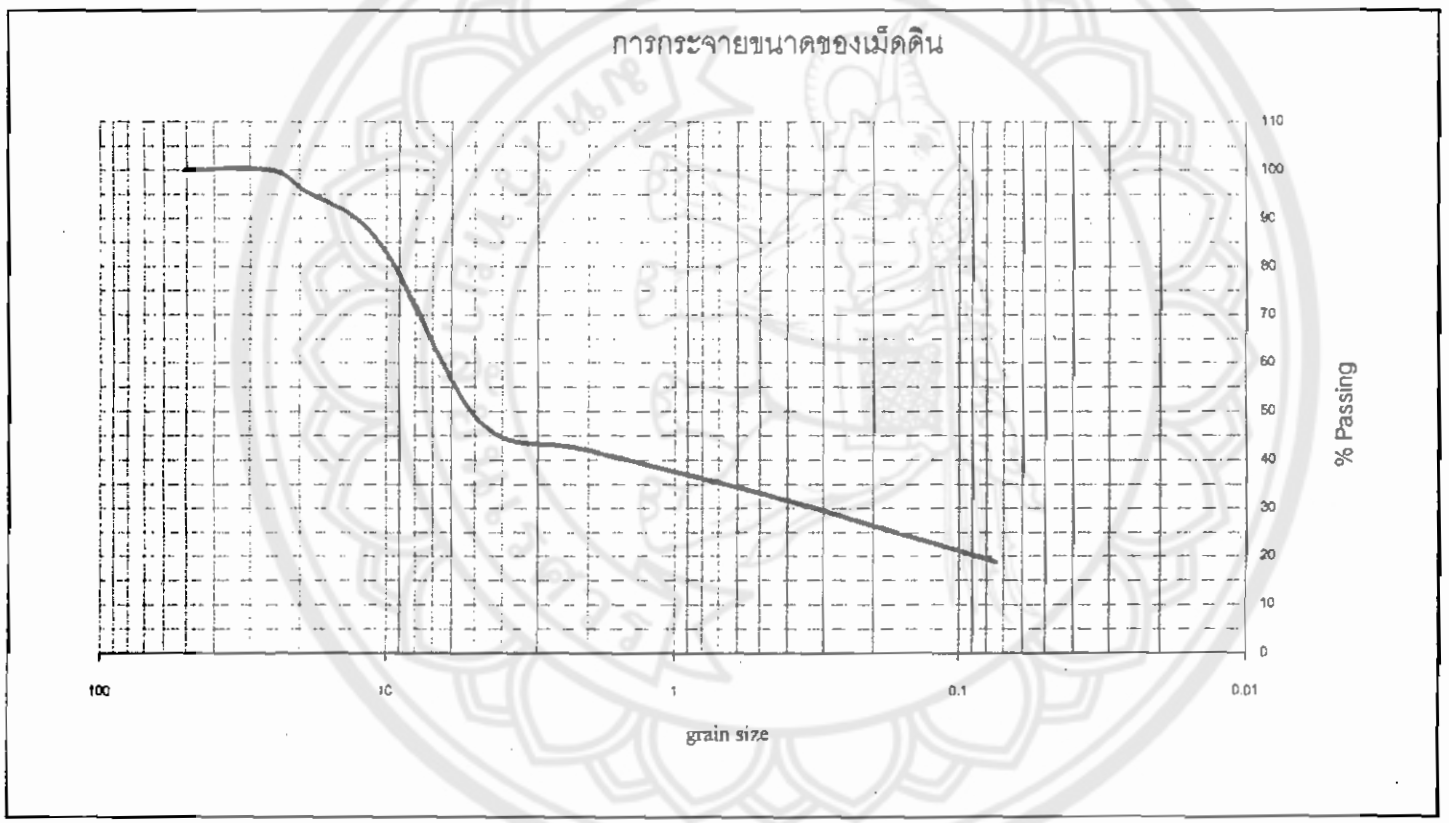
100% Modi.....Comp. (ma-m.....) = 2.026 gm./cc.

95% Modi.....Comp. (ma-m.....) = 1.924 gm./cc. ดิน = 22.2 %

O.M.C. = 10.5 % water content of (molding) CBR = 10.2 %

Required CBR.....% Raise percent compaction..... %




การกระจายขนาดของเม็ดดิน
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
% Passing
100
10
1
0.1
0.01
grain size

การจำแนกดินระบบ AASHTO

การจำแนกดินระบบ AASHTO นิยมใช้ในงานวิศวกรรมการทาง เพื่อพิจารณาคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมมาใช้เป็นวัสดุคันทาง (Subgrade) โดยแบ่งดินออกเป็น 7 กลุ่มใหญ่ ๆ ใช้สัญลักษณ์ A-1 ถึง A-7 คุณสมบัติทางด้านพลาสติกซิตี้และการกระจายขนาดคละของเม็ดดินเป็นเกณฑ์ ดินกลุ่ม A-1,A-2 และ A-3 ปริมาณเม็ดดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่กว่า 35 % จัดเป็นดินจำพวกมวลหยาบ (Granular Materials) ดินกลุ่ม A-4,A-5,A-6 และ A-7 ปริมาณเม็ดดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 35 % จัดเป็นดินจำพวก ดินตะกอนปนดินเหนียว (Silt - Clay Materials)

ดินมวลหยาบในระบบ AASHTO

ดินมวลหยาบกลุ่ม A-1,A-2 และ A-3 ดินกลุ่ม A-1 แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ได้แก่ กลุ่ม A-1-a ปริมาณเม็ดดินผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ไม่เกิน 50% เบอร์ 40 ไม่เกิน 30 % เบอร์ 200 ไม่เกิน 15 % กลุ่ม A-1-b ปริมาณเม็ดดินผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ไม่เกิน 50 % เบอร์ 200 ไม่เกิน 25 % ค่าดัชนีความเหลวของดินกลุ่ม ๆA-1 มีค่าไม่เกิน 6 % เป็นดินปนประเภทกรวดปนทราย

ดินกลุ่ม A-2 ปริมาณเม็ดดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่เกิน 35 % เป็นดินประเภทดินตะกอนปนกรวดปนทราย หรือดินเหนียวปนกรวดปนทราย แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อย ตามสภาพพลาสติกซิตี้ของมวลดิน กลุ่ม A-2-4 ค่าขีดเหลวไม่เกิน 10 % ดัชนีความเหลวไม่เกิน 16 % กลุ่ม A-2-5 ค่าขีดเหลวไม่น้อยกว่า 41 % ค่าดัชนีความเหลวไม่เกิน 10 % กลุ่ม A-2-6 ค่าขีดเหลวไม่เกิน 40 % ค่าดัชนีความเหลวไม่น้อยกว่า 11 % กลุ่ม A-2-7 ค่าขีดเหลวไม่น้อยกว่า 40 % ค่าดัชนีเหลวไม่น้อยกว่า 11 %

ดินกลุ่ม A-3 ปริมาณเม็ดดินผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ไม่น้อยกว่า 51 % เบอร์ 200 ไม่มากกว่า 10 % ค่าดัชนีความเหลวไม่มี เป็นดินจำพวกทรายละเอียด

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบชนิดของดินจากการจำแนกระบบ AASHTO และระบบ Unified (Approximate Equivalent Groups)

ASSHTO	Unified
A-1-a	GW , GP , GM
A-1-b	SW , SM
A-2-4	GM , SM
A-2-5	GM , SM
A-2-6	GC , SC
A-2-7	GC , SC
A-3	SP
A-4	ML , OL
A-5	MH
A-6	CL
A-7-5	CL , OL
A-7-6	CH , OH

ดินมวลละเอียดในระบบ AASHTO

ดินมวลละเอียดกลุ่ม A-4, A-5, A-6 และ A-7 ซึ่งดินกลุ่ม A-4,A-5 เป็นดินตะกอนปริมาณเม็ดดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่น้อยกว่า 36 % ค่าดัชนีความเหลวไม่เกิน 10 % ค่าขีดเหลวของดินกลุ่ม A-4 ไม่เกิน 40 % ส่วนกลุ่ม A-5 ค่าขีดเหลวไม่น้อยกว่า 41 %

ดินกลุ่ม A-6,A-7 เป็นดินเหนียวปริมาณเม็ดดินผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่น้อยกว่า 36 % ค่าดัชนีความเหลวไม่น้อยกว่า 11 % ค่าขีดเหลวของดินกลุ่ม A-6 ไม่เกิน 40 % ส่วนเกิน A-7 ค่าขีดเหลวไม่น้อยกว่า 41 %

ดินกลุ่ม A-7 แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อยได้แก่ กลุ่ม A-7-5 และกลุ่ม A-7-6 ดิน A-7-5 ค่าดัชนีความเหลวจะเท่ากับหรือน้อยกว่าค่าขีดเหลวลบด้วย 30 ดินกลุ่ม A-7-6 ค่าดัชนีความเหลวจะมีมากกว่าค่าขีดเหลวลบด้วย 30

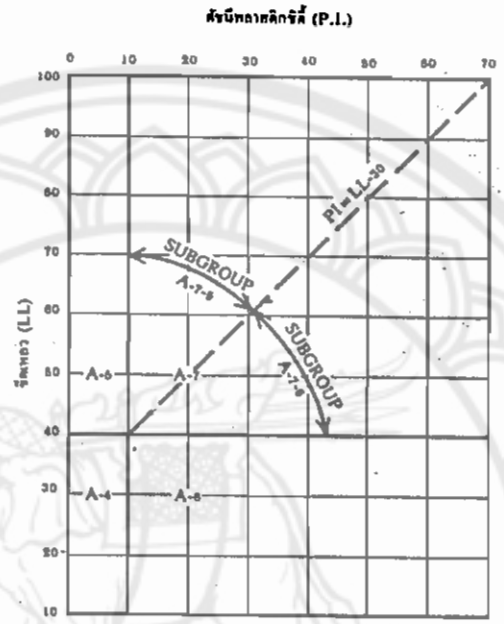
ซึ่งการจำแนกดินระบบ AASHTO ดังตารางที่ 3.2 และ รูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 การจำแนกดินระบบ ASSHTO

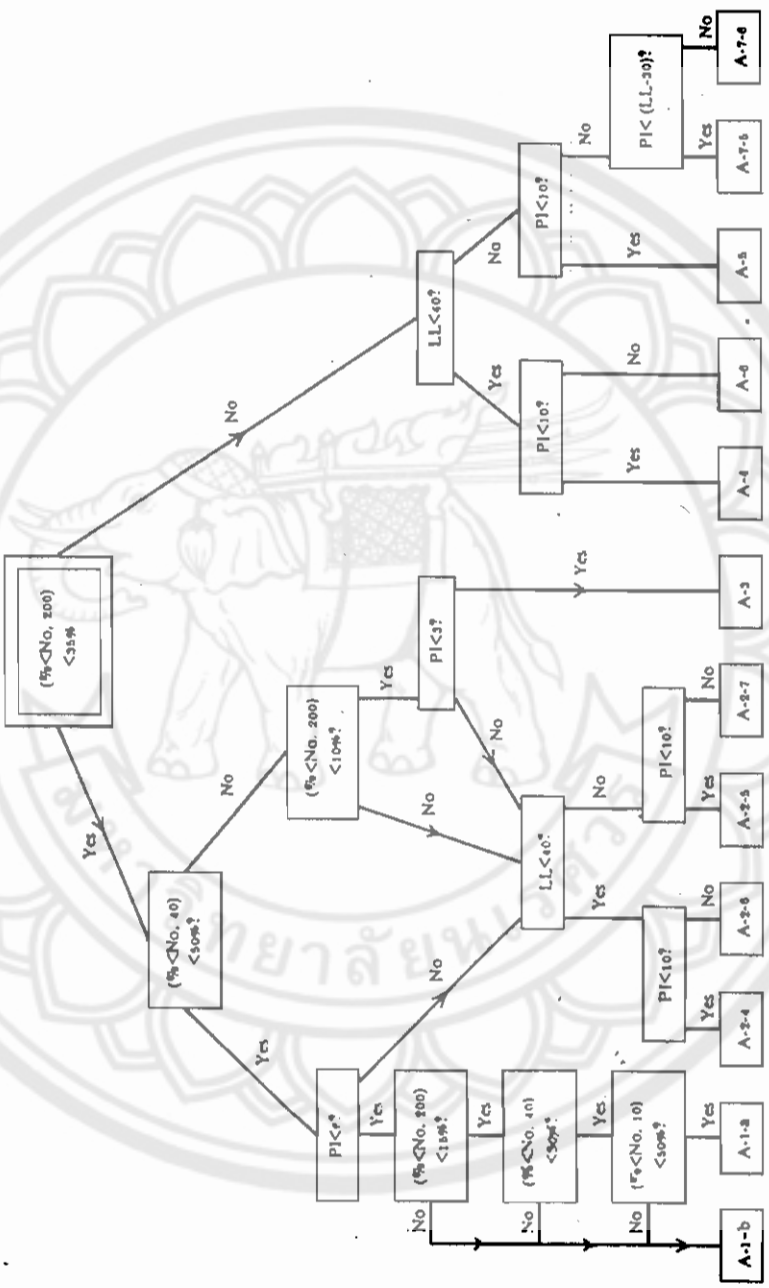
กลุ่ม	กลุ่มย่อย	% ผ่านตะแกรง U.S. เบอร์			คุณลักษณะของเปอร์เซ็นผ่านตะแกรงเบอร์ 40		ค่าดัชนีกลุ่ม	รายละเอียดของดิน	ความเหมาะสมสำหรับวัสดุต้นทาง
		10	40	200	ขีดเหลว	ดัชนีพลาสติก			
A-1			50 max	25 max		6 max	0	Well-graded gravel or sand; may include fines.	
	A-1-a	50 max	30 max	15 max		6 max	0	Largely gravel but can include sand and fines.	
	A-1-b		50 max	25 max		6 max	0	Gravelly sand or graded sand; may include fines.	
A-2*				35 max			0-4	Sands and gravels with excessive fines.	Excellent to good
	A-2-4			35 max	40 max	10 max	0	Sands, gravels with low-plasticity silt fines.	
	A-2-5			35 max	41 min	10 max	0	Sands, gravels with elastic silt fines.	
	A-2-6			35 max	40 max	11 min	4 max	Sands, gravels with clay fines.	
	A-2-7			35 max	41 min	11 min	4 max	Sands, gravels with highly plastic clay fines.	
A-3			51 min	10 max		Nonplastic	0	Fine sands.	
A-4				36 min	40 max	10 max	8 max	Low-compressibility silts.	
A-5				36 min	41 min	10 max	12 max	High-compressibility silts, micaceous silts.	
A-6				36 min	40 max	11 min	16 max	Low-to-medium-compressibility clays.	Fair to poor
A-7				36 min	41 min	11 min	20 max	High-compressibility clays.	
	A-7-5			36 min	41 min	11 min†	20 max	High-compressibility silty clays.	
	A-7-6			36 min	41 min	11 min†	20 max	High-compressibility, high-volume-change clays.	
A-8								Peat, highly organic soils.	Unsatisfactory

* Group A-8 includes all soils having 35 percent or less passing a No. 200 sieve that cannot be classed as A-1 or A-3.
Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than LL-30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than LL-30.

Report of committee on Classification of Highway Subgrade Materials, Proceedings, Highway Research Board, Vol. 25, 1945, pp. 375-376.



รูปที่ 3.1 แผนภูมิพลาสติกซิตี้สำหรับการจำแนกดิน ระบบ AASHTO

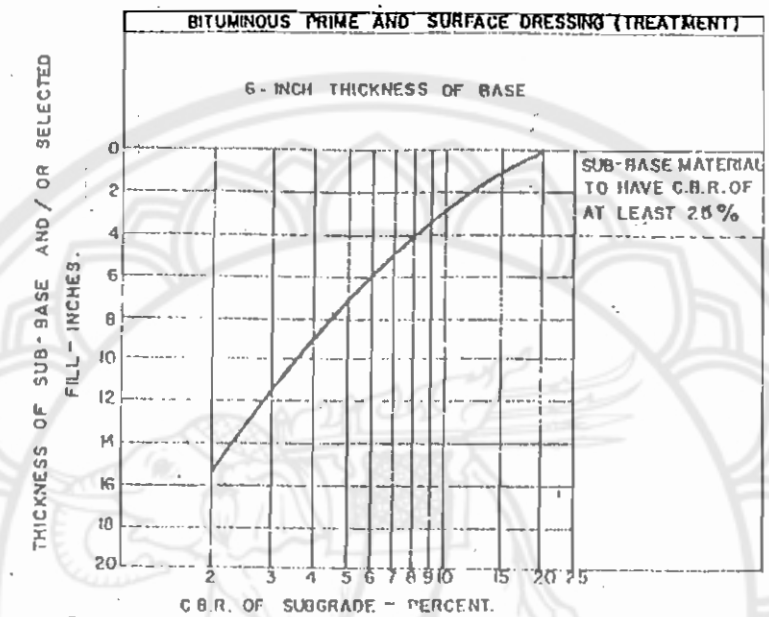


แผนภูมิลำดับขั้นตอนการจำแนกดินระบบ AASHTO

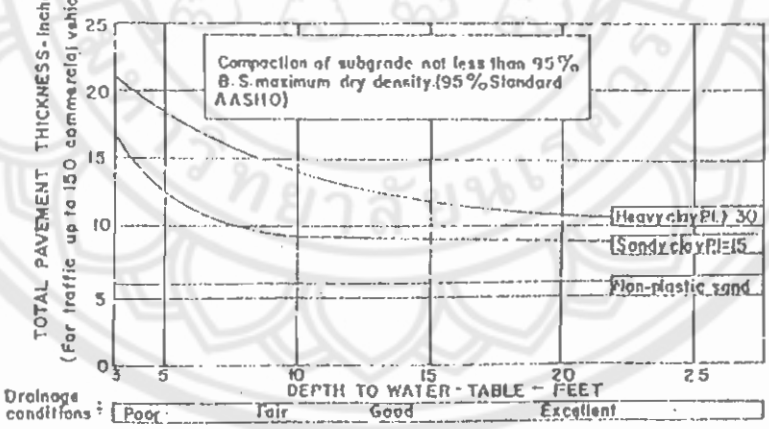
ภาคผนวก ค

ตารางในการออกแบบความหนาชั้นทางโดย
ROAD RESEARCH LABORATORY METHOD

ROAD RESEARCH LABORATORY METHOD (ROAD NOTE No. 31)



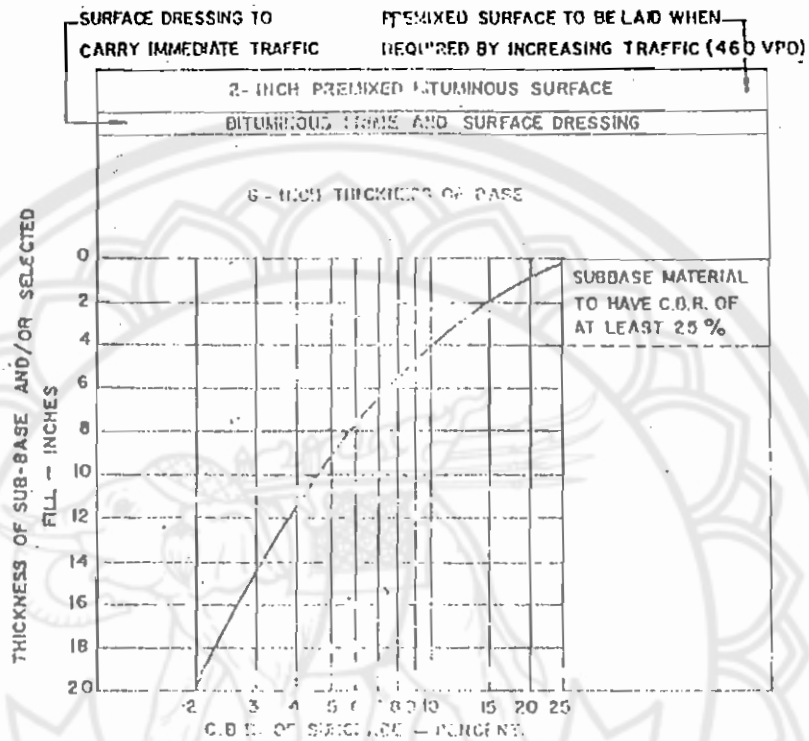
DESIGN CHART I (UP TO 150 COMMERCIAL VEHICLES PER DAY)



For traffic up to 150 commercial vehicles per day use thicknesses shown.
For traffic up to 450 commercial vehicles per day multiply thicknesses shown by 1.1
For traffic up to 1500 commercial vehicles per day multiply thicknesses shown by 1.2

FIG. I SIMPLIFIED PAVEMENT DESIGN CURVES FOR ROAD CARRYING UP TO 1500 COMMERCIAL VEHICLES PER DAY.

ROAD RESEARCH LABORATORY METHOD (ROAD NOTE No. 31)



DESIGN CHART 2. (150-1500 COMMERCIAL VEHICLES PER DAY)

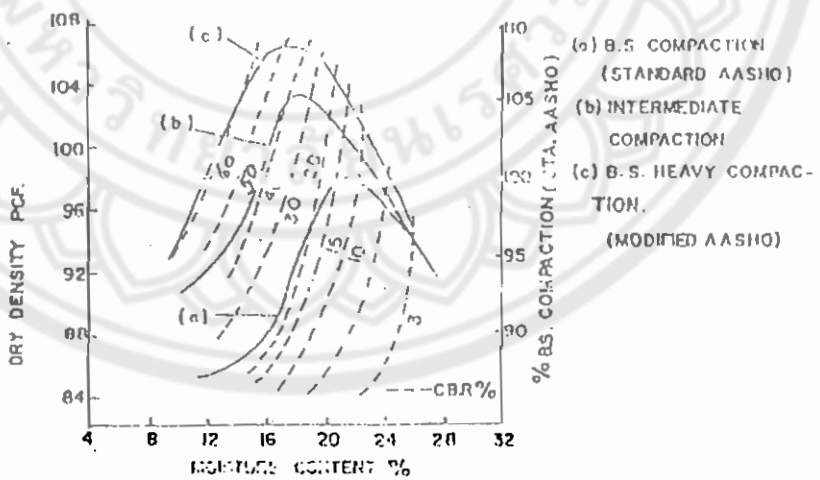


FIG EXAMPLE. DRY DENSITY / MOISTURE CONTENT / C.B.R. RELATIONS FOR A SAMPLE SANDY CLAY SOIL.

ภาคผนวก ง

บทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ความชื้นสมดุลย์ในดินคันทางสำหรับการออกแบบความหนาโครงสร้างของถนนโดยวิธี CBR. *

นายชงยุทธ ป้อมเย็น
นายช่างโท
กองวิเคราะห์และวิจัย
กรมทางหลวง

วิธีการออกแบบโครงสร้างของถนนแบบ flexible pavement โดยวิธีใช้ค่า CBR. เป็นหลักโดยอยู่ในวิธีการออกแบบที่เรียกกันว่า empirical method ประกอบ การทดลองคุณภาพวัสดุ หลักการโดยสังเขปมีอยู่ว่า กำลังต้านทานต่อการกันท่อนกดขนาดมาตรฐาน (Standard plunger) อย่างช้า ๆ ลงไปในดินซึ่งเตรียมไว้ให้มีความแน่น และความชื้นเช่นเดียวกับที่คาดว่าจะปรากฏอยู่จริงในดินคันทาง (Subgrade) มีความสัมพันธ์กับความหนาของโครงสร้างถนนที่จะก่อสร้างขึ้นบนดินคันทางนั้น ความสัมพันธ์นี้ไม่ได้มีการอธิบายเกี่ยวข้องกับทฤษฎีฐานราก (Foundation theory) ใด ๆ แต่ได้มาจากประสบการณ์ที่มีการปรับปรุงแก้ไขติดต่อกันมาเป็นเวลานานจนได้ผลเป็นที่น่าพอใจ และมีผู้นำเอาวิธีการไปใช้กันอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวิธีการหาค่า CBR. ทำได้ง่าย รวดเร็ว และเครื่องมือที่ใช้ก็ไม่ยุ่งยาก มีความแข็งแรงพอที่จะทำการเคลื่อนย้ายได้สะดวก

การทดลองหาข้อมูลของค่า CBR. ของดินคันทาง (Subgrade Soil) มีทั้งวิธีการทดลองในสนามและในห้องทดลอง (รายละเอียดของการทดลองในห้องทดลอง ดูได้จากวิธีการทดลองที่ ท.ล.-ท.109/2517 ส่วนวิธีการทดลองในสนามก็ใช้หลักการเดียวกัน แตกต่างกันในรายละเอียดเท่านั้น) การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นของดินมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนไปของค่า CBR. ซึ่งก็หมายถึงความแข็งแรงของดินหรือความสามารถในการรับน้ำหนักของดินเป็นอย่างมาก ดังนั้น ถ้าสามารถรู้ถึงค่าความชื้นที่มีอยู่จริง รวมถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้นในดินคันทางภายหลังการก่อสร้างเสร็จ และเปิดการจราจรแล้ว จะทำให้สามารถคาดคะเนความแข็งแรงของดินคันทางตามที่เป็นจริงจากการที่ทำการทดลองหาค่า CBR. ที่ความชื้นต่าง ๆ เหล่านั้นได้อย่างใกล้เคียงมากขึ้น

* บทความนี้เป็นบทความทางวิชาการฉบับที่ วว.9/2518 ที่ได้เสนอต่อที่ประชุมการฝึกอบรมนายช่างเจ้าหน้าที่กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง ในปี 2518

พัฒนาการของวิธีการออกแบบโครงสร้างของถนนโดยวิธี CBR

ก่อนที่การออกแบบ Pavement ของถนนโดยวิธี CBR ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน CBR design curves ดั้งเดิม ที่จัดทำขึ้นใน California U.S.A. เป็นครั้งแรก ได้มาจากการตรวจสอบ Sub grade, Subbase และ bases ของถนนหลายสายหลายแบบทั้งที่เกิดเสียหาย (failure) และอยู่ในส (Sound) เป็นเวลาหลายปี จนกระทั่งสรุปค่าความหนาต่ำสุดของ Pavement ที่ต้องก่อสร้างบนดินที่มีค่า CBR ต่าง ๆ กันได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ดังแสดงในรูปที่ 1

Curve เส้นแรกแสดงโดยเส้นทึบ โดยกำหนดน้ำหนักโดยประมาณของรถที่ใช้ถนนเข้า เกี่ยวข้องในรู ของน้ำหนักที่ล้อ (wheel load) ๗,๐๐๐ ปอนด์ เพื่อจุดประสงค์ของการออกแบบความหนาของ pavement หลังจากมีประสบการณ์อยู่ระยะหนึ่ง ได้มีการพัฒนา curve สำหรับถนนที่รับใช้รถน้ำหนักมากขึ้น คือ curve ๑๒,๐๐๐ ปอนด์ (wheel load) และ curve สำหรับรถที่มีน้ำหนักที่ล้อ ๘,๐๐๐ ปอนด์ ได้มาจากการประม ค่าจาก curve ทั้งสองที่กล่าวแล้วข้างต้น วิธีการนี้ได้รับการทดสอบจนเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป โดยเฉพาะใ สหรัฐ และอังกฤษ ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2 ได้จากการทดสอบวิธีการออกแบบความหนาของถนนแบบ flex pavement โดยวิธี CBR ของ Road Research Laboratory ในประเทศอังกฤษ ก่อนที่จะยอมรับไปใ เป็นวิธีมาตรฐานในการออกแบบ

ในเวลาต่อมา วิธีการออกแบบโดยใช้ค่า CBR ได้รับการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นอยู่เสมอ โดยเฉพาะ AASH Road Test ในสหรัฐได้ดำเนินการศึกษาเกี่ยวกับอำนาจการทำลายถนนของรถที่มีน้ำหนักบรรทุกขนาดต่าง ๆ ในที่ ที่ได้กำหนดน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ ๘๒๐๐ กิโลกรัม (๑๘,๐๐๐ ปอนด์) เป็นหลัก และกำหนดอายุของถนนออกมา ของจำนวนเที่ยวที่รถหนักเทียบเท่าเพลามาตรฐานนี้ผ่านไปมากก่อนที่ถนนจะต้องทำการเพิ่มความแข็งแรง (overla เพื่อต่ออายุใช้งาน ในการออกแบบความหนาจะต้องประมาณจำนวนรถที่จะใช้ถนนในระยะเวลา (จำนวนปี) ที่ต่ การให้เป็นอายุของถนน โดยทั่วไปจะใช้ข้อมูลของกรมทางเป็นหลักในการทำนายทั้งชนิดและปริมาณของรถที่จะใช้ถ นั้น แล้วเทียบไปเป็นจำนวนเพลามาตรฐาน (๘๒๐๐ ก.ก.) เพื่อให้ได้อำนาจการทำลายเป็นหน่วยเดียวกัน จ นั้นจึงนำไปดำเนินการกำหนดความหนาของชั้นต่าง ๆ บนดิน คันทาง เพื่อให้สามารถรับการจราจรได้ โดยไม่เกิ ความเสียหายขึ้นทั้งในดินคันทาง และในโครงสร้างถนนบนดินคันทางก่อนอายุที่กำหนด ความหนาจะแปรเปลี่ยนไป ตามค่า CBR ของดินคันทางชนิดหนึ่ง รายละเอียดในการออกแบบอาจหาอ่านได้จาก The Asphalt Instit "Thickness Design" Manual Serics No.1, Road Note 29, Road Note 31 ของ Road Researc Laboratory ฯลฯ และการเทียบจำนวนเพลามาตรฐาน จากรถที่มีน้ำหนักต่างกันได้คัดลอกมาแสดงไว้ในตาร ที่ ๑

ตารางที่ 1

Factors for converting numbers of axles to the equivalent number of standard 8200 kg. (18000 lb) axles

Axle Load		Equivalence factor
kg.	lb.	
910	2000	0.0002
1810	4000	0.0025
2720	6000	0.01
3630	8000	0.04
4540	10000	0.08
5440	12000	0.2
6350	14000	0.3
7260	16000	0.6
8160	18000	1.0
9070	20000	1.6
9980	22000	2.4
10890	24000	3.6
11790	26000	5.2
12700	28000	7.2
13610	30000	9.9
14520	32000	13.3
15430	34000	17.6
16320	36000	22.9
17230	38000	29.4
18140	40000	37.3
19070	42000	47
19980	44000	58
20880	46000	72
21790	48000	87

Remark Form Liddle, Application of AASHO Road Test results to the design of flexible pavement structure. Proc. of the International Conference on the structural Design of Asphalt pavements. Univ. of Michigan, 1962.

ลักษณะข้อมูลของค่า CBR ของดินคันทางซึ่งได้จากการทดลองในสนามและในห้องทดลอง

ดังที่กล่าวมาแล้ว ค่า CBR เป็นตัวประกอบสำคัญในการออกแบบความหนาของ flexible pavement และค่า CBR ของดินคันทางจะเปลี่ยนแปลงไปตามความชื้นภายในดินนั้นด้วย ดังนั้น ข้อมูลเกี่ยวกับค่า CBR ที่ทดลองได้ในสภาพต่าง ๆ จึงจำเป็นที่จะต้องนำมาพิจารณาควบคู่กันไปกับการออกแบบเสมอ

ก. การทดลอง CBR ในสนาม (Field CBR)

การทดลองหาค่า CBR ในสนามจะได้ค่า CBR ซึ่งเป็นค่าที่ความชื้นและความแน่นปรากฏที่ในสนามขณะทำการทดลอง ดังนั้น ค่า CBR ที่ถูกต้องที่จะนำมาใช้ในการออกแบบได้ จะต้องเป็นค่าที่ได้จากการทดขณะที่สภาพความชื้น และความแน่นในดินคันทางของถนนเป็นเช่นเดียวกับสภาพที่จะปรากฏจริงในถนนภายหลังการก่อสร้างเสร็จ และเข้าสู่ภาวะสมดุลย์แล้ว กรณีที่สามารถจะนำค่า CBR ที่ทดลองในสนามไปใช้ได้ทันทีในการออกแบบ คือ

- เมื่อดินคันทางนั้นอิ่มน้ำ (Saturated) ขณะทำการทดลอง และพิจารณาเห็นว่าสภาพของถนนภายหลังการก่อสร้างเสร็จ จะมีสภาพความแน่นเท่ากับความแน่นขณะทำการทดลอง และมีการชื้นไม่เกินจุดอิ่มน้ำ หรือมีโอกาสที่จะมีความชื้นถึงจุดอิ่มน้ำ หรือถนนที่การก่อสร้าง ทำเป็นการในฤดูฝนซึ่งทำให้ดินคันทางมีความชื้นสูง เป็นผลให้ไม่แข็งแรง และมีทำคิว่าจะคงเป็นเช่นนั้นไปนานกว่าความชื้นจะลดลงสู่ภาวะสมดุลย์กับความชื้นของดินข้างเคียง
- เมื่อทำการทดลองในดินคันทางของถนน ที่มีความชื้นอยู่ในภาวะสมดุลย์และการออกแบบถนนใหม่บนดินคันทางชนิดเดียวกัน ซึ่งคาดว่าจะมีความชื้นใกล้เคียงกันกับถนนที่ทำการวัดค่า CBR ที่ทำการออกแบบ Pavement สำหรับบริเวณทางเท่านั้น

ข. การทดลอง CBR ในห้องทดลอง

ข้อแตกต่างของการทดลอง CBR ในห้องทดลองจากการทดลองในสนาม คือการทดลอง CBR ในห้องทดลองสามารถที่จะควบคุมความชื้นของดินที่ใช้ในการทดลองได้อย่างสม่ำเสมอ และสามารถทำตัวอย่างวัสดุให้มีความแน่นใกล้เคียงกับการบดทับดินในสนาม ซึ่งหมายถึงสามารถที่จะเตรียมตัวอย่างให้มีสภาพใกล้เคียงกับดินคันทางใต้ pavement จากตัวอย่างเพียงตัวอย่างเดียวได้ แต่ในทางปฏิบัติ การทดลอง CBR จะทำการทดลองจากตัวอย่างวัสดุที่เตรียมขึ้นที่ความชื้น และความแน่นต่าง ๆ กันหลายจุด เพื่อให้ทราบภาวะการเปลี่ยนแปลงของค่า CBR ที่สภาพความชื้นและความแน่นต่าง ๆ กัน

รูปที่ 3 แสดง Typical moisture - density - CBR relationship ได้จากการบดอัดดิน sandy clay ใน CBR mold ที่ค่าความชื้นต่างกันในช่วงหนึ่ง โดยใช้พลังบดอัด (compactive effort) เท่ากับการทดลองบดอัดดินตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.107/2517 (Standard AASHO compaction) แล้วทำการทดลอง หาค่า CBR กับ dry density ของแต่ละตัวอย่าง จะเห็นว่าความแข็งแรง (ค่า CBR) ของดินในการรับน้ำหนักที่บดอัดไว้ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับค่าความชื้นที่เพิ่มขึ้นในช่วงที่ค่าความชื้นเกินค่า Optimum moisture content

โดยวิธีเดียวกัน จากการทดลองโดยใช้พลังบดอัดต่างกันเป็น m ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 4 ได้จากการบดอัดดิน sandy clay ใน CBR mold ที่ค่าความชื้นต่าง ๆ กันโดยใช้พลังบดอัดเท่ากับที่ใช้สำหรับการทดลองบดอัดดิน ตามวิธีการทดลองที่ ทล - ท.107/2517 (standard AASHO) วิธีการทดลองที่ ทล - ท. 108/2518 (modified AASHO) และกึ่งกลางระหว่างทั้งสองวิธี นำมา plot รวมกัน แสดงให้เห็นได้ชัดเจนถึงอิทธิพลของความชื้น และความแน่นที่มีต่อความแข็งแรง (ค่า CBR) ของดิน จากการพยายามลากเส้นผ่านแนวที่มี CBR เท่ากันลงใน moisture - density curves ซึ่งเรียกว่า "iso - CBR lines" จะเห็นว่าความชื้นในดินมีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของดินสูงมาก เมื่อเทียบกับอิทธิพลของความแน่น (Dry density) ทั้งนี้ไม่ได้หมายความว่า การบดทับดินที่ทางให้แน่นไม่มีความจำเป็น เพราะการบดทับให้แน่นจะช่วยป้องกันการทรุดตัวภายหลัง เพราะน้ำหนักจากการจราจรของยวดยานซึ่งจะเป็นผลทำให้ผิวทางวิ่งเสียรูปไป ถ้าดินก้นทางไม่แน่นเพียงพอ และการบดทับให้แน่นยังทำให้ลดความทรุนในดินลง เป็นการป้องกันน้ำจากผิวทางซึมผ่านเข้าไปทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้น อันเป็นสาเหตุให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินนั้นลดลงดังกล่าวมาแล้ว แต่อย่างไรก็ตามความแน่นระหว่าง 95 - 100 % ของความแน่นสูงสุด เทียบกับการบดทับโดยวิธีการทดลองที่ ทล - ท.107/2517 (Standard AASHO เป็นการเพียงพอสำหรับดินคันทางตามจุดประสงค์ดังกล่าว และการบดทับเพื่อให้ได้ความแน่นในระดับนี้สามารถทำได้ง่ายโดยใช้เครื่องมือบดทับที่มีใช้ในปัจจุบัน

<u>ความสัมพันธ์ของความชื้นสมดุลย์ของดินคันทางต่อการออกแบบความหนาและอายุของ pavement</u>

ความสามารถในการรับน้ำหนัก (bearing strength) ของดินคันทางซึ่งบดทับไว้แน่นแล้วจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงในทางกลับกันกับความชื้นภายในดินนั้น จนกระทั่งดินคันทางมีความชื้นเข้าสู่ภาวะสมดุลย์กับดินที่อยู่ข้างเคียง (จาก iso - CBR curve ในรูปที่ 4) เพื่อให้มองเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ถึงการเปลี่ยนแปลงค่า CBR ที่เกิดจากความชื้นในดินเปลี่ยนไป จึงได้นำมาสเคลของกราฟ รูปที่ 4 มาร้อยกับ plot ค่า CBR ของดินที่มีความแน่น (dry density) เท่ากับ (เท่ากับ 100 % Standard AASHO compaction) แต่มีความชื้นต่าง ๆ กันไว้ด้วย จากรูปที่ 6 นี้จะเห็นว่า เมื่อความชื้นเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อย ความแข็งแรงของดิน (CBR) เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ในช่วงค่าความชื้นใกล้ ๆ กับ optimum moisture content จากการบดอัดโดยวิธีการ Standard AASHO compaction (เทียบเท่าความแน่นของดินคันทางที่ต้องการโดยทั่วไป) ถ้าประมาณค่าความชื้นสมดุลย์ของดินต่ำไปเพียง 2 % จะทำให้การประมาณค่า CBR ของดินสูงไป 1.5 ถึง 2 เท่า ของค่า CBR ที่ปรากฏอยู่จริงในดินคันทาง ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบ under-designed ในการออกแบบความหนาของ pavement ในที่สุด (ดูรูปที่ 6)

จากรูปที่ 6 แสดงถึงความหนาของ pavement ที่ได้จากใช้ค่า CBR จากการประเมินค่าความชื้นสมดุลย์แตกต่างกันของดิน 3 ชนิด มาออกแบบ curve เส้นกลางได้มาจากค่า CBR ที่ความชื้นต่าง ๆ กันในช่วงซึ่งอาจเป็นไปได้ในดินคันทาง เมื่อมีความแน่นเท่ากับ 100% Standard AASHO ตามรูปที่ 5 และการออกแบบความหนากำหนดให้การจราจรเท่ากับจำนวนเพลามาตรฐาน (8200 ก.ก.) 0.05 ล้าน ส่วน curves อีกสองเส้น-

สำหรับดินแต่ละชนิดได้มาโดยวิธีเดียวกัน เพื่อที่จะเขียน curves สำหรับดินทั้ง 3 ชนิดลงในกราฟแผ่นเดียวกัน จึงใช้สเกลในลักษณะ floating scale โดยการเพิ่มค่า moisture content ช่องละ 2 % และกำหนดค่าหนึ่ง optimum moisture content จากการบดอัดแบบ Standard AASHO ของดินแต่ละชนิดเป็นหลัก เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 8 จะเห็นว่า pavement หนาเพิ่มขึ้นมากจากการที่ความชื้นในดินคันทางเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการประมาณค่าความชื้นสมดุลย์ของดินคันทางที่จะนำมาใช้ในการออกแบบความหนาควรที่จะระมัดระวังอย่างยิ่ง และควรพิจารณา pavement ให้หนาเข้าไว้ เมื่อต้องการก่อสร้างบนดินคันทางที่ค่า CBR มีความไวต่อการเปลี่ยนแปรค่าความชื้น (เช่นใน curve เส้นที่ 3 ในรูปที่ 8) เป็นการปลอดภัยไว้ก่อน ทั้งนี้หมายถึงว่าแหล่ง Subbase หาได้ง่ายในราคาถูก

เมื่อออกแบบความหนาของ pavement ต่ำเกินไปจากการที่ประมาณค่าความชื้นสมดุลย์ของดินคันทางน้อยไป จะเป็นผลทำให้ถนนที่ก่อสร้างขึ้นรับการจราจรได้น้อยลง ก่อนที่จะต้องการบูรณะโดยการเพิ่มความยืนแรง (อายุของถนนสั้นกว่าที่ต้องการ)

วิธีการประมาณค่าความชื้นสมดุลย์ของดินคันทาง

การประมาณค่าความชื้นสมดุลย์ซึ่งจะปรากฏในดินคันทาง ภายหลังทำขึ้นผิวทางปิดเรียบร้อยแล้ว เป็นกระบวนการที่ยุ่งยากที่สุดอย่างหนึ่งในการออกแบบความหนาของโครงของถนน วิธีการที่อาจจะนำมาใช้ทั้งในสนาม และในห้องทดลอง ในการประมาณค่าความชื้นสมดุลย์ในสภาพภูมิอากาศต่าง ๆ กันที่รวบรวมมาเสนอแนะต่อไปนี้ส่วนมากได้มาจากรายงานฉบับที่ LR 279 ของ Road Research Laboratory ประกอบกับคำแนะนำจากผู้มีประสบการณ์ทางด้านนี้บางท่าน ดังนั้น รายละเอียดเพิ่มเติมอาจจะหาได้จากเอกสารอ้างอิงต่าง

ก. ในบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดิน (water table) อยู่ลึกมาก ความชื้นในดินคันทางจะมากน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณฝนตกในบริเวณนั้น

- บริเวณที่แห้งแล้ง คือ มีปริมาณน้ำฝนไม่เกิน 250 มิลลิเมตรต่อปี ค่าความชื้นสมดุลย์ที่ควรใช้ในการออกแบบเท่ากับความชื้นในดินธรรมชาติในบริเวณนั้น ที่อยู่ลึกลงไปเท่ากับระดับความลึกของดินคันทาง (โดยปรกติบริเวณที่แห้งแล้งเช่นนี้ไม่ปรากฏมีในประเทศไทย)

- บริเวณที่ปริมาณฝนตกมาก คือ มีปริมาณน้ำฝนมากกว่า 250 มิลลิเมตรต่อปี ค่าความชื้นสมดุลย์ที่ใช้ในการออกแบบ ควรใช้เท่ากับค่า Optimum moisture content ซึ่งได้จากการทดลองบดอัดดินตามวิธีการทดลองที่ ทล - ท.107/2517 (Standard AASHO compaction)

ข. บริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินสูง (อยู่ใกล้ผิวทาง) ค่าความชื้นสมดุลย์จะมากน้อยขึ้นอยู่กับความลึกของระดับน้ำใต้ดิน และชนิดของดินเหนือระดับน้ำใต้ดินนั้นด้วย ดินที่มีค่า plastic index สูง จะดูดน้ำได้สูงกว่าดินที่มีค่า plastic index ต่ำกว่า

น้ำใต้ดินจะมีอิทธิพลต่อความชื้นสมดุลย์เมื่ออยู่ใกล้กับดินคันทางภายในระยะดังต่อไปนี้โดยประมาณ

0.8 เมตร สำหรับดิน non - plastic

3.3 เมตร " Sandy clay PI ไม่เกิน 20 %

6.6 เมตร " เหนียว (Heavy clay) PI ไม่เกิน 40 %

การประมาณค่าความชื้นสมดุลย์ทำได้ดังนี้.-

วิธีที่ 1 ใช้เครื่องมือ suction-moisture test (ในห้องทดลอง) หาความสัมพันธ์ระหว่าง suction head และความชื้นของดินคันทางตามระดับน้ำใต้ดินสูงสุดที่สำรวจได้ในสนาม เครื่องมือทดลองเรียกว่า suction plate apparatus มีโครงร่างดังรูปที่ 7 ใช้ได้กับดินที่มีค่า suction ไม่เกิน p^F 3 แต่โดยทั่วไปดินคันทางมีค่า suction อยู่ระหว่าง p^F 1.8 - p^F 2.8 (เท่ากับ negative hydraulic head 0.65 - 6.30 เมตร)

การดำเนินการทดลองทำได้โดย อัดแท่งดินตัวอย่างดินคันทางให้มีความแน่นเท่าที่ต้องการในดินคันทาง และมีความชื้นเท่ากับความชื้นที่ทำการบดกับในสนาม นำไปวางบน suction plate (ดูรูป) โดยจัดระดับ - suction head ให้เท่ากับ effective depth ของระดับน้ำใต้ดินสูงสุดที่จะเกิดขึ้นในบริเวณที่จะทำการก่อสร้างถนน (ถ้า subgrade จะไม่มีการบดทับให้ใช้ Undisturbed Sample) หาปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นในดินตัวอย่าง

ค่า effective depth ของระดับน้ำใต้ดิน (S) หาได้จาก

สูตร $S = u + c \cdot P$

เมื่อ u = ความลึกของระดับน้ำใต้ดินสูงสุดจากผิวดิน

P = pressure จาก pavement ที่จะก่อสร้าง

c = 0.03 x PI

(ทราย c =0, ดินเหนียว c =1)

โดยการชั่งเป็นระยะ (8 - 24 ช.ม.ต่อครั้ง) จนกระทั่งน้ำหนักของดินตัวอย่างไม่เพิ่มขึ้นอีกต่อไป นำดินตัวอย่างไปหาความชื้นที่มีอยู่ในดิน จะเป็นค่าความชื้นสมดุลย์ตามต้องการสำหรับงานออกแบบ ทรายอาจใช้เวลาทำการทดลองประมาณ 2 - 3 ชั่วโมง แต่ดินเหนียวจะใช้เวลาประมาณ 2 - 3 วัน

วิธีที่ 2 ตรวจสอบความชื้นใต้ถนนเก่าซึ่งมีผิวปิดไว้แล้ว มีสภาพน้ำใต้ดินสูงสุดเท่ากับบริเวณที่ต้องการก่อสร้างใหม่ กว้างอย่างน้อย 3.3 เมตร มีอายุอย่างน้อย 2 ปี เพื่อให้แน่ใจว่าดินคันทางอยู่ในภาวะมีความชื้นสมดุลย์แล้ว ถ้าในกรณีดินคันทางทั้งถนนเก่าและถนนใหม่เป็นดินชนิดเดียวกัน (มี PI เท่ากัน) ความชื้นที่วัดได้ใต้ถนนเก่าจะเป็นค่าความชื้นสมดุลย์ที่ต้องการ ถ้าดินคันทางของถนนเก่า (2) ไม่เหมือนดินคันทางของถนนใหม่ที่ต้องการออกแบบ (1) ให้ใช้สูตร

$$\text{ความชื้นสมดุลย์ (1)} \qquad \text{ความชื้นสมดุลย์ (2)} \times \frac{PI\ (1)}{PI\ (2)}$$

ทั้งนี้ค่า PI ทั้ง (1) และ (2) แตกต่างกันไม่มากนัก

วิธีที่ 3 เมื่อไม่มีถนนเก่าเพื่อจะดำเนินการตามวิธีที่ 2 และเครื่องมือตามวิธีที่ 1 ก็ไม่มี อาจประมาณค่าความชื้นสมดุลย์ได้จากค่าความชื้นในดินธรรมชาติ จากความลึกที่ไม่มีผลการเปลี่ยนแปลงจากน้ำจากผิวดิน (เปลี่ยนแปลงตามน้ำใต้ดินอย่างเดียว) โดยปรกติประมาณ 0.6 - 1 เมตร จากผิวดินเดิมให้ทำการวัดหาน้ำใต้ดินสูงสุด

วิธีการนี้ได้มาจากการบอกเล่าของผู้มีประสบการณ์ในอาฟริกา อาจใช้ได้กับดินบางชนิดเท่านั้น จึงไม่แนะนำให้นำมาใช้ก่อนการตรวจสอบว่าเป็นไปได้เพียงใด

ค. ในบริเวณที่คันทางมีโอกาสที่จะมีความชื้นถึงจุดอิ่มน้ำ (saturated) เช่น ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นเป็นระยะ ๆ น้ำมีโอกาสท่วมคันทาง หรือ ก่อสร้างทางในฤดูฝนดินคันทางมีคุณสมบัติอมน้ำ และคาดว่าจะใช้เวลานานหลังจากทำผิวทางปิดแล้ว ที่จะมีความชื้นลดลงสู่ภาวะสมดุลย์กับดินข้างเคียง ให้ใช้ค่า CBR ของ soaked sample ในการออกแบบ หรืออาจใช้ Field CBR ซึ่งวัดได้ในช่วงเวลาที่ปริมาณน้ำในดินมากที่สุด สำหรับงาน Overlay design

ง. เมื่อไม่สามารถดำเนินการทดลองใด ๆ ตามที่กล่าวมาแล้ว อาจใช้ค่า CBR. ตามตารางที่ 2 เป็นแนวทางในการกำหนดค่า CBR. จาก PI ซึ่งคัดลอกมาจาก Proposed revision of Road Note 31 (1974) ของ Road Research Laboratory

ตารางที่ 2

ค่า CBR. ต่ำสุดของดินคันทางโดยประมาณสำหรับถนนที่ต้องทำผิวบิต และคันทางบดทับใต้แผ่น

ต่างน้อย 95 % ของความแน่นสูงสุดจากวิธีการทดลองที่ ทล - ท.107/2517

ลักษณะระดับน้ำ	ค่า CBR ต่ำสุด (เปอร์เซนต์)					
สูงสุดจากใต้คันคันทาง	Non-plastic sand	sandy clay PI = 10	sand clay PI = 20	silty clay PI = 30	heavy clay PI ≥ 40	silt
0.5 ม.	8	5	4	3	2	1
1.0 ม.	25	6	5	4	3	2
1.5 ม.	25	8	6	5	3	
2.0 ม.	25	8	7	6	3	
2.5 ม.	25	8	8	7	4	ดิ
3.0 ม.	25	25	8	8	4	ก
3.5 ม.	25	25	8	8	4	ระ
4.0 ม.	25	25	8	8	5	ขัด
7.0 ม. หรือมากกว่า	25	25	8	8	7	

ข้อระมัดระวังในการใช้ตารางที่ 2

1. เนื่องจากค่า CBR ในตารางที่ 2 เป็นค่า CBR ต่ำสุด ควรตรวจสอบในห้องทดลองที่ความชื้นที่เหมาะสมเมื่อสามารถทำได้

2. ในดินซึ่งมีค่า PI ไม่แน่นอน เช่น เมื่อผสมน้ำทิ้งไว้นาน PI อาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ให้ระมัดระวังเป็นพิเศษ

3. ตารางนี้ใช้ไม่ได้สำหรับดินที่มีส่วนผสมของ mica หรือ organic matter มาก (ดินดังกล่าวสังเกตได้ง่าย)

4. ในกรณีดินคันทางเป็น pure silt ซึ่งมีระดับน้ำได้ถึงสูงสุดนึกลงไปมากกว่า 1.0 เมตร ให้ทำการทดลอง CBR ในห้องทดลอง

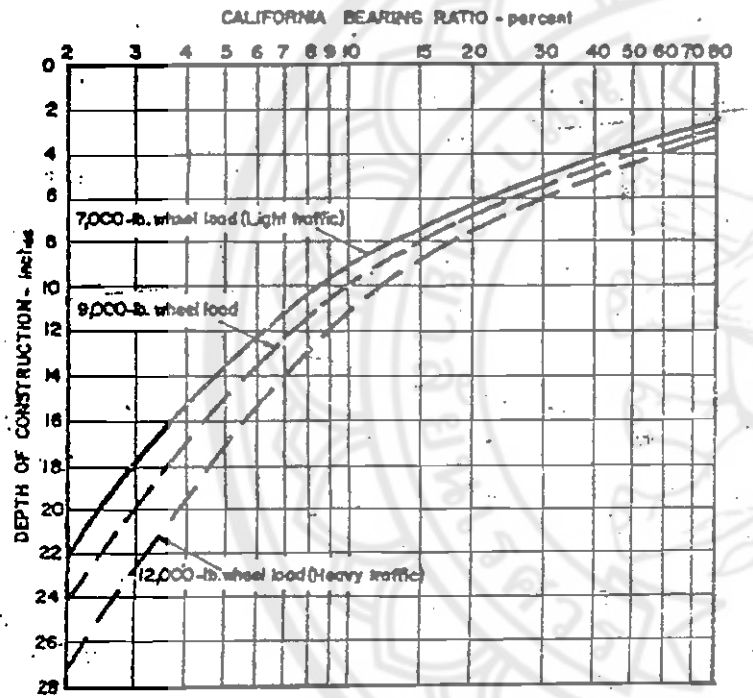
ข้อแนะนำ

จากวิธีการต่าง ๆ ดังกล่าวมาแล้ว เมื่อทราบว่าจะทำการก่อสร้างถนนในบริเวณใดเป็นการล่วงหน้า
ระยะเวลานานพอสมควร การหาข้อมูลเกี่ยวกับความชื้นสมดุลย์ของดินคันทาง จะมีค่าอย่างยิ่งในการออกแบบโค
สร้างของถนน ทั้งในแง่ของการประหยัด ความถูกต้อง และการประมาณอายุการใช้งานของถนน

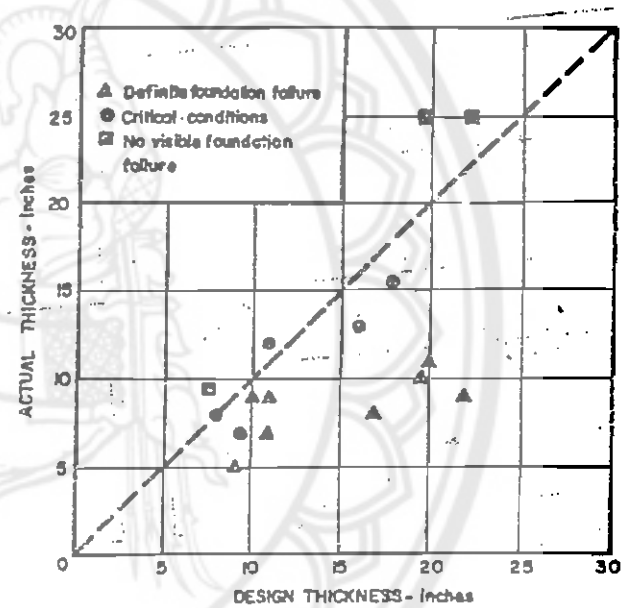
การหาข้อมูลเบื้องต้น คือ การตรวจสอบ ปันทึกระดับน้ำใต้ดินสูงสุด วัดความชื้นในดินคันทางประเภท
ครอบคลุมบริเวณที่คาดว่าจะเป็นประโยชน์ สำหรับบริเวณที่หาถนนเก่าเป็นตัวแทนไม่ได้ อาจทำ test secti
โดยการขุดดินคันทางตามข้อกำหนดและทำผิวปิดไว้เพื่อทำการทดลองหาความชื้นสมดุลย์ น่าจะเป็นวิธีที่พอจะป

หนังสืออ้างอิง

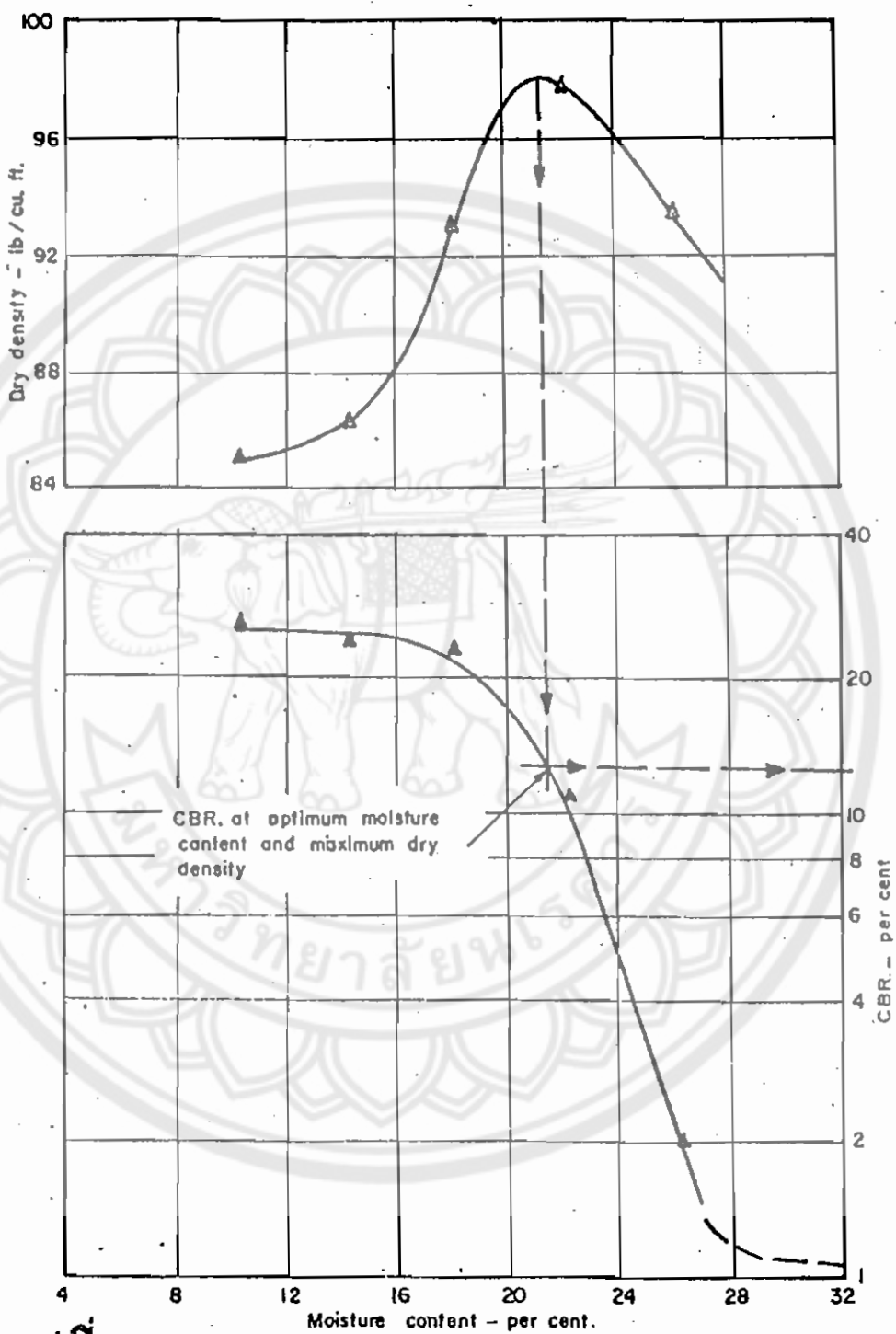
1. O'REILLY M P and R S MILLARD. Road making materials and pavement design in tropical and sub-tropical countries. Ministry of Transport RRL Report LR 279 Crowthoren, 1969
2. PORTER, O.J. The preparation of subgrades Proc. Highw. Res Bd, Washington 1938, 18 (2)
3. กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง วิธีการทดลองวัสดุก่อสร้าง เล่มที่ 1 2 กันยายน 2517
4. TRANSPORT AND ROAD RESEARCH LABOLATOKY. Proposed revision of Road Note 31, Crowthorne, 1974.



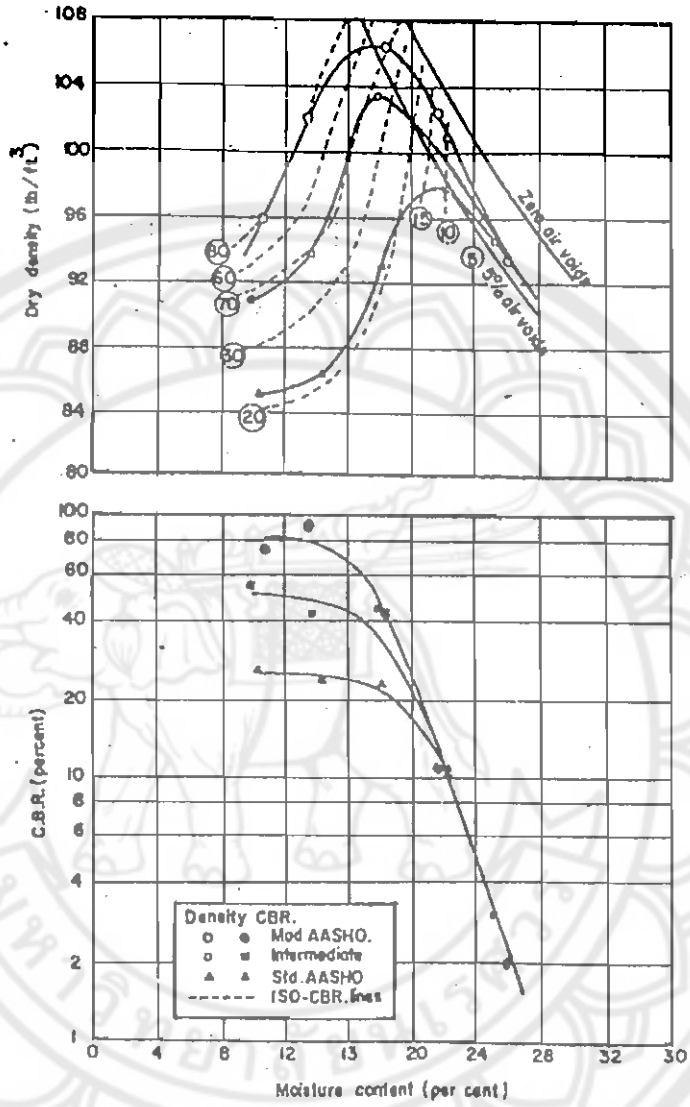
รูปที่ 1 THE ORIGINAL CBR. DESIGN CURVE FOR ROAD PAVEMENT (heavy line) WITH LATER ADDITIONS FOR HEAVIER WHEEL LOADS (pecked lines)



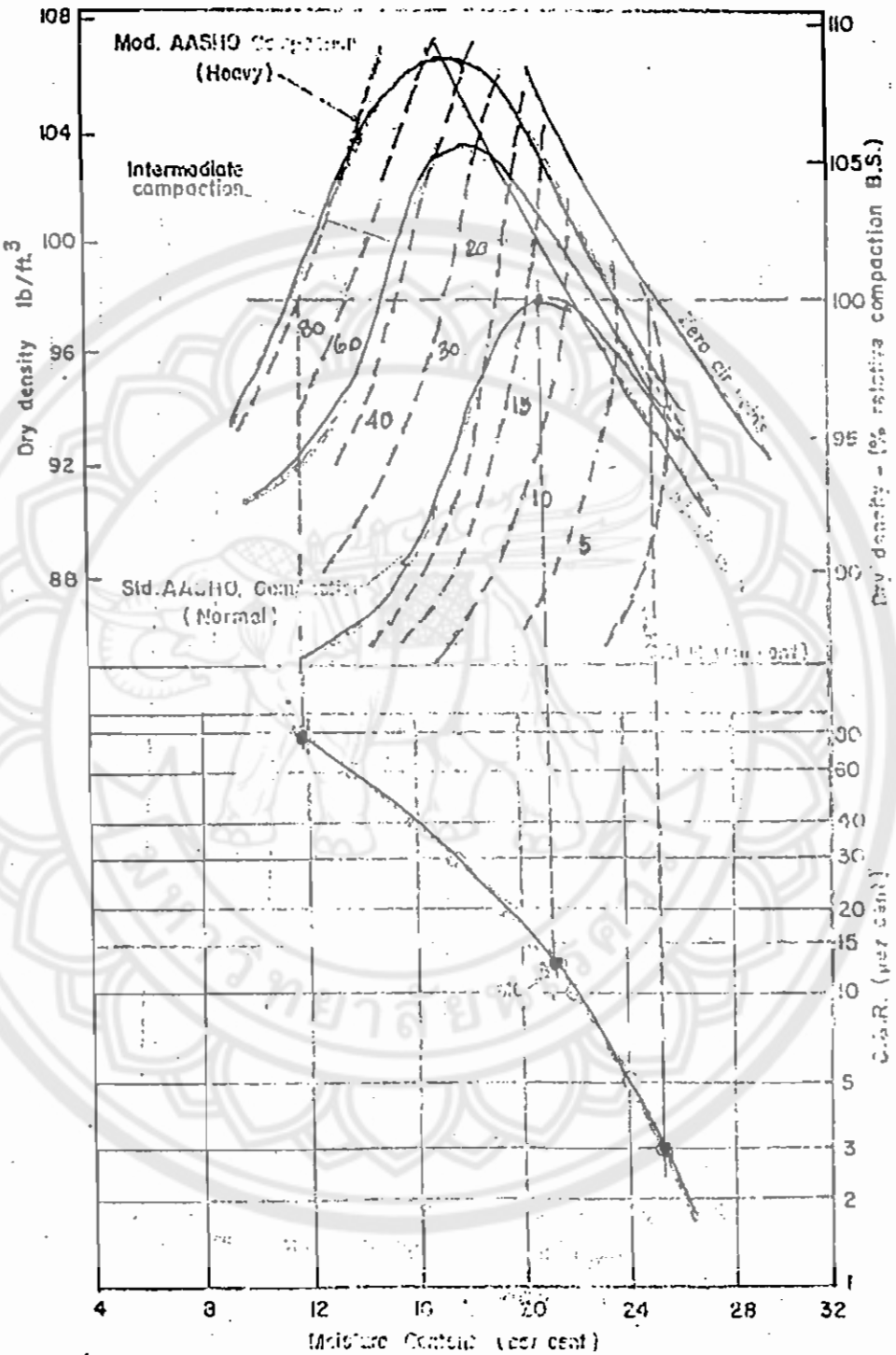
รูปที่ 2 DATA OBTAINED IN THE UK CONFIRMING THE VALIDITY OF THE CBR. METHOD OF PAVEMENT DESIGN (ROAD RESEARCH LABORATORY)



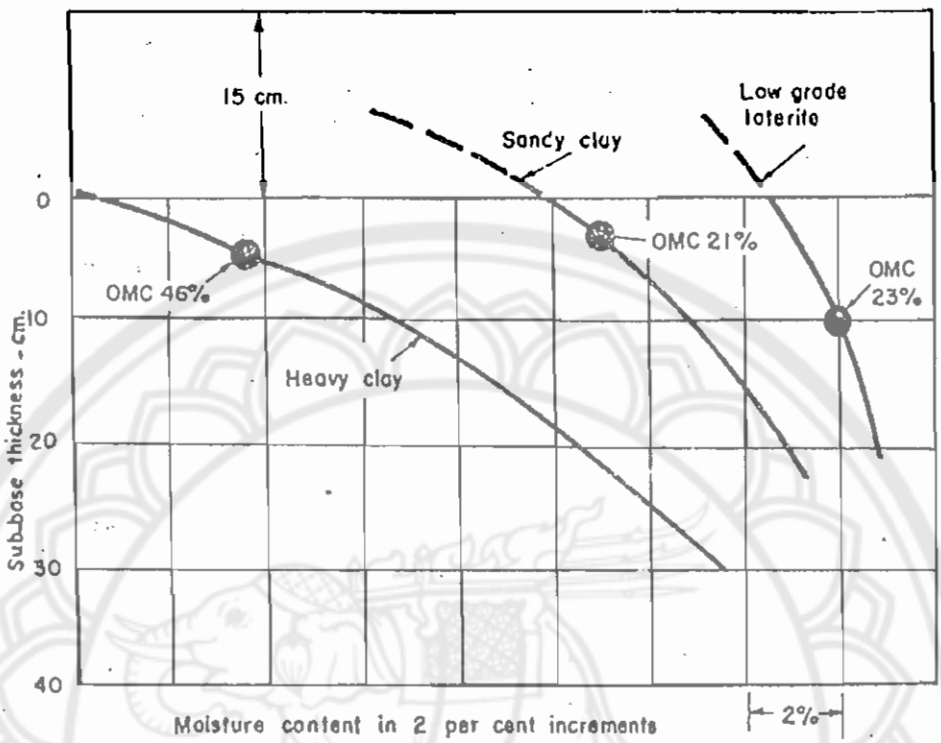
ภาพที่ 3 MOISTURE-DENSITY AND MOISTURE-CBR. RELATIONSHIPS OBTAINED IN THE LABORATORY WITH A SANDY CLAY SOIL.



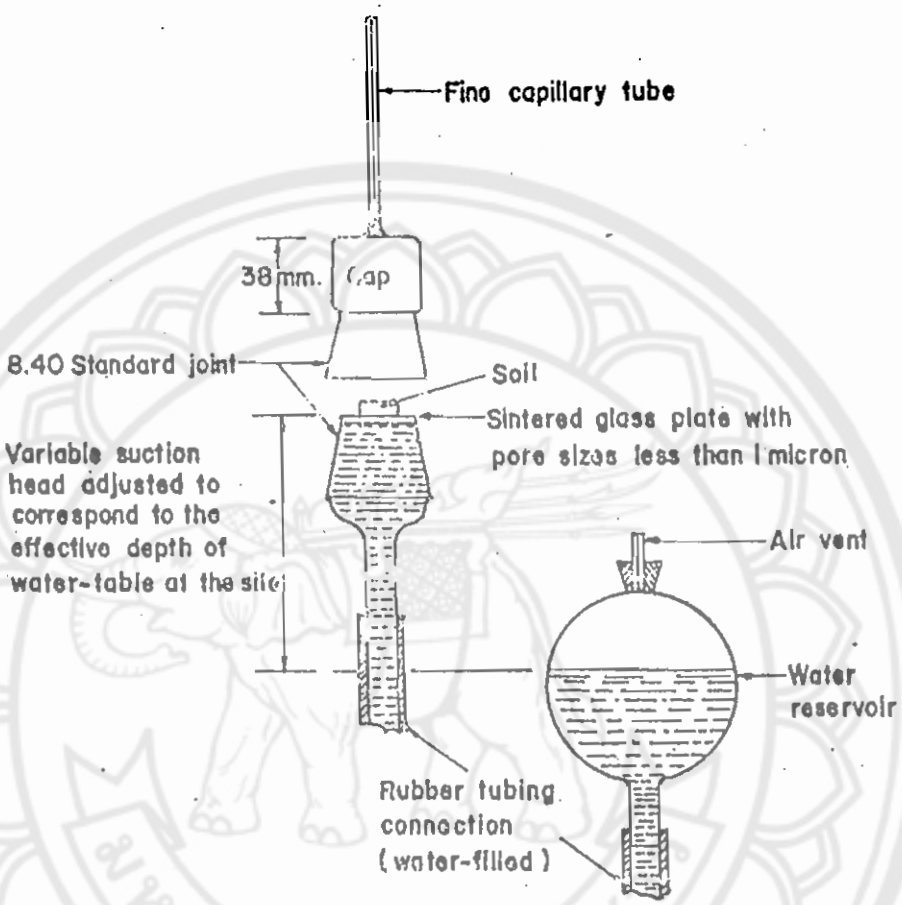
รูปที่ 4 ISO – CBR CURVES FOR A SANDY CLAY SOIL OBTAINED IN THELABORATORY USING THREE LEVELS OF COMPACTION.



รูปที่ 5 THE RELATIONSHIP BETWEEN THE [illegible] OF A SANDY CLAY COMPACTED TO [illegible] AND ITS MOISTURE CONTENT



รูปที่ 6 RELATIONSHIPS BETWEEN THE EQUILIBRIUM SUBGRADE MOISTURE CONTENT OF 3 TROPICAL SOILS COMPACTED TO 100 PER CENT RELATIVE STANDARD AASHO. COMPACTION AND THE PAVEMENT THICKNESS REQUIRED FOR 0.05 M. REPETITIONS OF A STANDARD 8200 Kg. AXIE LOAD.



ภาพที่ 7 APPARATUS FOR DETERMINING THE MOISTURE CONTENT OF SOIL IN EQUILIBRIUM WITH A FREE WATER-TABLE