https://doi.org/10.14456/jeir.2024.71

การพัฒนาเครื่องมือทดสอบ Field CBR ภาคสนาม

The Develop Testing of Field CBR Testing Tools

วีระชัย วงษ์วีระนิมิตร[1], ณัฐกฤษ น้อยก้อน[2] และ กิตติศักดิ์ ฤาแรง[3]

Weerachai Wongweeranimit[1], Natthakrit Noikon[2] and kittisak Lurang[3]

วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น

Bachelor of Engineering survey engineering Faculty of Arts and Sciences Western University,Thailand

Corresponding Author, E-mail: [3]kitisak.lu@western.ac.th

Received October 25, 2023; **Revised** December 26, 2023; **Accepted** January 9, 2024

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการทดสอบ Field CBR ในการติดตั้งเครื่องมือต้องใช้เวลานาน และมีความปลอดภัยน้อย ซึ่งอาจทำให้เครื่องมือได้รับความเสียหายได้ คณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบชุดพัฒนาทดสอบ Field CBR โดยการนำเอาเหล็กรางน้ำขนาดกว้าง 125 มิลลิเมตร สูง 65 มิลลิเมตร หนา 8 มิลลิเมตร น้ำหนัก 13.4 กิโลเมตรต่อเมตร มีความยาว 1,000 มิลลิเมตร และแผ่นเหล็กรองใต้คานมาเชื่อมประกอบติดกันและอุปกรณ์ช่วยยึดติดกับคานใต้ท้องรถบรรทุก 10 ล้อ (หนักประมาณ 25 ตัน) งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนพร้อมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานระหว่างเครื่องมือ โดยทำการจำลองแปลงทดสอบวัสดุชั้นรองพื้นทาง (ลูกรัง) และชั้นพื้นทาง (หินคลุก) ช่วงกิโลเมตรที่ 0 + 075 ถึงช่วงกิโลเมตรที่ 0 + 550 ของโครงการก่อสร้างโครงการถนนลาดยางสายบ้านรัตนบุรี ถึงบ้านระเวียง ต.รัตนบุรี อ.รัตนบุรี จ.สุรินทร์ ซึ่งได้นำเครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม), Field CBR (ชุดพัฒนา), Dynamic Cone Penetrometer (DCP) และ Sand cone test มาทดสอบวัสดุในชั้นทางแต่ชั้น ๆ ละ 10 จุดทดสอบ โดยมีการเก็บตัวอย่างจากแปลงทดลองมาทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ทางวิศวกรรมในห้องปฏิบัติการ จากผลศึกษาพบว่าเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาค่า CBR ในสนามของเครื่องมือชุดเดิมกับเครื่องมือชุดพัฒนามีค่าใกล้เคียงกันและค่าความแปรปวนของเครื่องมือชุดปรับปรุงมีค่าน้อยกว่าชุดเดิม เครื่องมือ CBR ชุดพัฒนาใช้เวลาในการดำเนินงานน้อยกว่าชุดเดิมและมีความปลอดภัยมากขึ้นเนื่องจากมีตัวล็อคติดกับคานไม่สามารถดิ้นหลุดง่าย ผลการทดลองในครั้งนี้พบว่า เครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) สะดวก รวดเร็ว ปลอดภัยและใช้เวลาในการทดสอบน้อยกว่า เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม)

คำสำคัญ: ทดสอบ Field CBR; วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน; ออกแบบชุดพัฒนาทดสอบ

Abstract

Today the testing of Field CBR tool takes a long time to setup and unsafe. It might damage the installed tool. The researchers designed the Developed tested Field CBR tool by using iron water drain wide 125 mm, high 65 mm, thick 8 mm, weight 13.4 km/m and length 1,000 mm. Welded the irons that support under the beams and an equipment hold with the beams of 10 wheels truck (about 25 tons). This research analyses discriminations and comparison of working efficiencies of the tools. Duplicated a testing field with laterite and mixed stones among 0 + 075 km to 0 + 550 km of tarry road construction at Ban Rattanaburi – Ban Rawiang Tambol Rattanaburi Amphur Rattanaburi Surin province. Using original tested Field CBR tool, developed tested Field CBR tool, Dynamic Cone Penetrometer (DCP) and Sand cone test to test the road constructional material in each level for 10 times. Keeping samples from testing field to test for engineering basically qualifications in laboratory. This research indicated that the tested CBR tool in testing field with original tool and developed tool were closely values and discrimination of developed tool less than original tool. The developed CBR tool worked faster than the original tool and more safety since having locks stick with the beams, cannot move. The results of this study indicate that the developed Field CBR tool was more convenience, faster, safety and take less time to test than the original Field CBR tool.

Keywords: Test Field CBR; Analyze Variance; Design Test Development Kits

บทนำ

ค่า California Bearing Ratio (CBR) (Rattanasuwan, 2018), (Terzaghi and Peck, 1967) เป็นการทดสอบหาค่า แรงเฉือน (Shearing Resistance) ของดินที่บดอัดในห้องปฏิบัติการจนได้ค่า γ_d หาค่าความหนาแน่นแห้ง (Max Dry Density; γ_d max) ที่ปริมาณความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content, O.M.C.) โดยใช้แท่งกด Piston มีพื้นที่ หน้าตัด 2 ตารางนิ้ว กดลงบนดินตัวอย่างที่เตรียมไว้ ด้วยอัตราความเร็ว 0.05 นิ้วต่อนาที นำผลที่จากการทดสอบมาวิเคราะห์หาค่า CBR

ค่า CBR มีความสำคัญและจำเป็นมากสำหรับการออกแบบถนนที่ก่อสร้างอยู่บนพื้นดินการทดสอบ Field CBR (Department of Highways Standards. 2517), (Department of Public Works Standard. 2020) เป็นการทดสอบหาคุณสมบัติวัสดุเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ของการเลือกวัสดุที่เหมาะสมในงานก่อสร้างถนนที่มีการรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มมากขึ้น คุณสมบัติแบบ CBR นำมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและก่อสร้าง

ถนน วิธีการหาค่า CBR เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันทั่วไป ปัจจุบันการออกแบบถนนทางหลวงในประเทศไทยนิยมใช้วิธีเอมไพริคอล โดยใช้ค่าคุณสมบัติของดินคันทางเป็นหลัก Design Parameter เนื่องจากง่าย CBR ชุดเก่าใช้เวลาในการติดตั้งนานและไม่ปลอดภัย งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาออกแบบเพื่อติดตั้งชุด CBR ชุดพัฒนา โดยการนำคานมาติดตั้งกับท้ายรถบรรทุก แล้วใช้เครื่องมือทดสอบ CBR มายึดติดกับคานที่ออกแบบมาอีกที ในการทดลองหาคุณสมบัติของวัสดุ เช่น ค่า CBR หน่วยงานในประเทศไทยที่ใช้ค่า CBR เป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ เช่น หน่วยงานกรทางหลวงกำหนดมาตรฐานของวัสดุถมคันทาง มีค่า CBR มากกว่าหรือเท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ กำหนดมาตรฐานของวัสดุรองพื้นทาง(ลูกรัง) มีค่า CBR มากกว่าหรือเท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ กำหนดมาตรฐานของวัสดุพื้นทาง (หินคลุก) มีค่า CBR มากกว่าหรือเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ หน่วยงานกรมทางหลวงชนบท เหมือนกันหน่วยงานชองกรมทางหลวง เช่นกัน การที่จะหาค่า CBR ได้นั้น สามารถทำได้ทั้งในภาคห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม โดยการนำวัสดุมาบดอัดให้แน่นเสียก่อน ซึ่งในภาคจะมีรายละเอียดในบทต่อ ๆ ไป ในบทนี้จะขอกล่าวถึงการบดอัดดินในภาคสนาม

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาหลักและวิธีการทดสอบของเครื่องมือ Field CBR ชุดเดิม กับ Field CBR ชุดพัฒนา, DCP และ Sand cone test.

2. เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการติดตั้งจนถึงการทดสอบภาคสนามของเครื่องมือ Field CBR ชุดเดิม กับ Field CBR ชุดพัฒนา

3. เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า Field CBR ที่ได้จากเครื่องมือ DCP

ระเบียบวิธีวิจัย

การหาค่า CBR (California Bearing Ratio) (Department of Highways Standards, 2517)

วิธีการทดลอง CBR วิธีนี้ เป็นวิธีการทดลองที่กำหนดขึ้น เพื่อหาค่าเปรียบเทียบ Bearing Value ของวัสดุตัวอย่างกับวัสดุหินมาตรฐาน เมื่อทำการบดทับตัวอย่างนั้น โดยใช้ค้อนบดทับในแบบ (Mold) ที่ Optimum Moisture Content หรือปริมาณน้ำ ในดินใด ๆ เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนนและใช้ควบคุมงาน ในการบดทับให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ CBR Test เป็นวิธีการทดสอบวัดค่าแรงเฉือน (Shearing Resistance) ของวัสดุที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว (ส่วนมากจะทดสอบที่ Optimum Moisture Content) โดยการใช้ท่อนเหล็กตัน (Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนดินตัวอย่างที่เตรียมไว้ด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที แล้วนำไปหาอัตราส่วนเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักมาตรฐาน ที่ได้จากการ

ทดลองกดบนหินมาตรฐานบดอัดแน่นที่ความลึกของการจมตัว เท่ากัน ค่าที่ได้นี้เรียกว่า “เปอร์เซ็นต์ CBR” โดยน้ำหนักมาตรฐาน มีค่าดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่าการจมตัวกับน้ำหนักมาตรฐาน

ค่าการจมตัว (มม.)	**น้ำหนักมาตรฐาน (กิโลกรัม)**	**ค่าน้ำหนักมาตรฐาน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)**
2.54 (0.1”)	1360.8 (3000 lb)	70.30 (1000 lb/in^2)
5.08 (0.2”)	2041.2 (4500 lb)	105.46 (1500 lb/in^2)
7.62 (0.3”)	2585.5 (5700 lb)	133.59 (1900 lb/in^2)

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

วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า CBR (California Bearing Ratio) ทดสอบตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท มทช. (ท) 501.3 – 2545 (Department of Highways Standards, 2517)**,** (Department of Public Works Standard,2020)

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าเปรียบเทียบ ค่าความสามารถในการรับน้ำหนัก (BEARING VALUE) กับวัสดุหินมาตรฐานเพื่อทดสอบวัสดุมวลรวมดิน (SOIL AGGREGATE) หินคลุกหรือวัสดุอื่นใด เมื่อทำการบดอัดวัสดุนั้นโดยใช้ตุ้มบดอัดในแบบ (MOLD) เมื่อมีความชื้นที่ความแน่นแห้งสูงสุด (OPTIMUMMOISTURE CONTENT) หรือปริมาณอื่นใด เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนน และเพื่อใช้ควบคุมงาน เมื่อบดอัดให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือทดสอบ ลักษณะเฉพาะเครื่องมือ เป็นชุดเครื่องมือทดสอบ CBR ในห้องทดสอบเพื่อหาค่าเปรียบเทียบ Bearing Value กับวัสดุหินมาตรฐานเพื่อทดสอบวัสดุดิน Soil Aggregate อาทิ เช่น หินคลุก ลูกรัง ทรายและดิน เมื่อทำการบดอัดวัสดุชั้นทางโดยใช้ค้อนบดอัดในแบบ (Mold) ที่ความชื้น Optimum Moisture Content หรือปริมาณอื่นใด เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบของถนนหรือทำการทดสอบ เพื่อตรวจสอบว่าวัสดุได้ตามมาตรฐานที่ระบุไว้หรือไม่ การทดสอบ CBR นี้ทดสอบตามมาตรฐาน AASHTO T – 193 (Aashto,2022) เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบการทดสอบด้วย

1. แบบ (Mold) ขนาด ∅ 6 นิ้ว
2. ค้อน (Rammer) ขนาด ∅ 2 นิ้ว มีตัวบังคับให้ระยะตก 18 นิ้ว น้ำหนัก 10 ปอนด์

3. เหล็กถ่วงน้ำหนัก

4. แผ่นวัดการขยายตัว (Swell plate)

5. สามขา

6. Dial gauge

7. เครื่องอ่านน้ำหนัก (Proving Ring)

8. เครื่องกด (Loading Machine)

ขั้นตอนการทดสอบ

1. นำตัวอย่างดินประมาณ 6 กิโลกรัม ผึ่งหรืออบให้แห้งพรมน้ำให้ทั่วใช้ปริมาณน้ำเหมาะที่สุดแล้วคลุกผสมกัน จากนั้นนำดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ไปหาความชื้น

2. กระทุ้งดินอัดแน่นในแบบ ตามวิธีการทดสอบความแน่นที่ปริมาณความชื้นที่ความแน่นแห้งสูงสุด

3. หลังจากบดอัดจนครบตามจำนวนที่กำหนดในมาตรฐานแล้ว ถอดปลอกออกใช้เหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบ พร้อมกับซ่อมแต่งผิวบนของดินให้เรียบเสมอกับปากแบบ

4. นำแบบและดินตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาความชื้น

5. นำแบบพร้อมดินตัวอย่างไปเข้าเครื่องทดสอบ อ่านค่าน้ำหนักกับค่าการจมตัว เพื่อนำไปคำนวณหาค่า CBR ต่อไป

ภาพที่ 1 ขั้นตอนเตรียมเดินและการกระทุ้งดินอัดแน่น

ภาพที่ 2 ขั้นตอนนำแบบพร้อมดินตัวอย่างไปเข้าเครื่องทดสอบ

วิธีการคำนวณ (Department of Highways Standards, 2517), (Department of Public Works Standard,2020)

1. คำนวณหาค่าความชื้นในดินร้อยละ

$$w = \frac{w_1 - w_2}{w_2} x100 \quad (1)$$

เมื่อ W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

W_1 = น้ำหนักของดินชื้น หน่วยเป็นกรัม

W_2 = น้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

2. คำนวณหาค่าความแน่นชื้น (WET DENSITY)

$$\gamma_w = \frac{A}{V} \quad (2)$$

เมื่อ γ_w = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

A = น้ำหนักดินชื้นที่บดอัดในแบบ หน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของแบบ ซึ่งเท่ากับปริมาตรของดินชื้นที่บดอัดในแบบหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

3. คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (DRY DENSITY)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1 + \frac{w}{100}} \quad (3)$$

เมื่อ γ_d = ความแน่นแห้งของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

γ_w = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

4. คำนวณหาค่าการพองตัว (SWELLING)

$$\text{ค่าการพองตัวร้อยละ} = \frac{\text{การพองตัว(มม.}}{\text{ความสูงของแท่งตัวอย่าง}} \quad (4)$$

ค่าการพองตัว (มม.) = ผลต่างระหว่างการอ่านค่าที่มาตรวัด ครั้งแรกและครั้งสุดท้าย

5. คำนวณหาค่า ซี.บี.อาร์. ในการคำนวณหาค่า ซี.บี.อาร์. ให้ถือน้ำหนักมาตรฐาน (STANDARD LOAD) ตามตารางที่1

$$\text{ซี.บี.อาร์. ร้อยละ} = 100\frac{X}{Y} \quad (5)$$

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

Y = ค่าน้ำหนักมาตรฐาน (STANDARD UNIT LOAD) กก./ตร.ซม. (จากตารางที่1)

การออกแบบเครื่องมือ CBR ภาคสนาม

วิธีการและขั้นตอนการออกเครื่องมือ Field CBR ภาคสนาม

1. กำหนด Load จากแรงกดบนหินมาตรฐานที่ 0.2 นิ้ว

2. ออกแบบคานเหล็กจาก Load ที่กำหนด

3. ออกแบบแผ่นเหล็กรองใต้คานและเจาะรู 4 รูเพื่อใช้ยึดติดกับเครื่องมือ Field CBR เชื่อมแผ่นเหล็กติดกับคาน

4. ทำการวัดความกว้างของคานใต้ท้องรถบรรทุก

5. เชื่อมเหล็ก 1”x1” เพื่อล็อคไม่ให้คานขยับในแนวราบ

วิธีการทดสอบ CBR ภาคสนาม

เมื่อทำการออกแบบคานเหล็กและออกแบบแผ่นเหล็กรองใต้คานเสร็จแล้ว นำมายึดติดกับเครื่องมือ Field CBR เพื่อทำการทดสอบการวิเคราะห์ความแข็งแรงของวัสดุชั้นรองพื้นทาง (ลูกรัง) และชั้นพื้นทาง (หินคลุก) โดยการใช้เครื่องมือทดสอบแบบ Field CBR ชุดเดิม กับ Field CBR ชุดพัฒนากับเครื่องมือทดสอบแบบ Dynamic Cone Penetrometer (DCP) และนำค่า CBR ที่ได้จากการทดสอบของทุกจุดมาวิเคราะห์เปรียบเทียบผลดีและผลเสียของแต่ละวิธีและข้อมูลที่ได้ว่าถูกต้อง สะดวก รวดเร็วและประหยัด แตกต่างกันอย่างไร ขั้นตอนวิธีทดสอบในสนามดังนี้

ขั้นตอนติดตั้งและวิธีทดสอบในสนาม เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม)

การทดสอบจะใช้นาฬิกาจับเวลาตั้งแต่เริ่มติดตั้งจนทำการทดสอบเสร็จ ขั้นตอนของการทดสอบเริ่มจากทำความสะอาดพื้นวัสดุที่จะทำการทดสอบให้เรียบเสมอ จากนั้นยกเครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) ติดกับคานท้ายรถต้องใช้คน 1 คนจับไว้จนกว่าจะทำการหมุน Load เพื่อให้เครื่องมือดันแน่นกับคานท้ายรถบรรทุก แสดงดังภาพที่ 3 ทำการต่อความยาวของ Pistons ให้ถึงพื้นและให้ยันพื้นเอาไว้ ใส่ Surcharge กดทับและครอบ Pistons ทำการหมุน Load เพื่อให้เครื่องมือดันแน่นกับคานท้ายรถบรรทุก ปรับ Dial gate

ตัววัดระยะจม = 0 แล้วทำการหมุน Load ที่ความเร็วประมาณ 0.05 นิ้ว/นาที และอ่านค่าระยะจมจาก Dial gate จนถึงระยะ 0.5 นิ้ว พร้อมกับอ่านค่า Load จาก Dial gate ภายใน Prooring Ring

ภาพที่ 3 ทดสอบ Field CBR (ชุดเดิม)

ขั้นตอนติดตั้งและวิธีทดสอบในสนาม เครื่องมือ Field CBR (พัฒนา)

การทดสอบจะใช้นาฬิกาจับเวลาตั้งแต่เริ่มจนทำการทดสอบเสร็จ ขั้นตอนของการทดสอเริ่มจากทำความสะอาดพื้นวัสดุที่จะทำการทดสอบให้เรียบเสมอ จากนั้นทำการยกคานเหล็กติดกับคานใต้ท้องรถบรรทุกเพื่อทำการยึดน๊อตแล้วนำเครื่องมือ Field CBR แสดงดังภาพที่ 4 ยึดติดกับคานเหล็กอีกครั้งและทำการติดตั้ง Dial gate วัดการแอ่นตัวของคาน ทำการต่อความยาวของ Pistons ให้ถึงพื้นและให้ยันพื้นเอาไว้ ใส่ Surcharge กดทับและครอบ Pistons ทำการหมุน Load เพื่อให้เครื่องมือดันแน่นกับคานท้ายรถบรรทุก ปรับ Dial gate ตัววัดระยะจม = 0 ทำการอ่านค่าระยะจมจาก Dial gate จนถึงระยะ 0.5 นิ้ว พร้อมกับอ่านค่า Load จาก Dial gate ภายใน Prooring Ring และอ่านค่าการแอ่นตัวของคาน จดบันทึกค่าต่างๆที่ได้จากการทดสอบ

ภาพที่ 4 ทดสอบ Field CBR (ชุดพัฒนา)

ขั้นตอนติดตั้งและวิธีทดสอบในสนาม ด้วยเครื่องมือ Dynamic Cone Penetrometer (DCP) (International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1989) การทดสอบ DCP ต้องใช้ผู้ทดสอบ จำนวน 3 คนแสดงดังภาพที่ 5 โดยคนแรกจะเป็นผู้จับเครื่องมือให้ตั้งอยู่ในแนวดิ่ง คนที่สองจะทำหน้าที่ยกลูกตุ้มเหล็ก และปล่อยให้ตกอิสระ ส่วนคนที่สามจะทำหน้าที่จดบันทึกข้อมูล วิธีการทดสอบมีลำดับขั้นตอนดังนี้

การทดสอบเริ่มจากเลือกตำแหน่งพื้นที่ที่จะทำการทดสอบ จัดเครื่องมือให้อยู่ในแนวดิ่ง อ่านค่าบนไม้บรรทัดเหล็กเป็นค่าก่อนทำการทดสอบ จากนั้นยกตุ้มเหล็กสัมผัสกับด้ามมือจับเบา ๆ แล้วปล่อยให้ตกอิสระกระแทกกับทั่งเหล็ก ซึ่งต่ออยู่กับก้านเหล็กและหัว Cone ทำให้จมลึกลงไปในดิน แล้วทำการจดบันทึกค่าระยะการจมของหัว Cone กับจำนวนครั้งที่ตุ้มเหล็กตกกระทบ โดยทำการจดบันทึกทุก ๆ ระยะ 10 มิลลิเมตร หรืออาจจะใช้วิธีกำหนดจำนวนครั้งที่ตอก เช่น 5 ครั้ง หรือ 10 ครั้ง แล้ว อ่านค่าการจมของหัว Cone ในกรณีที่ชั้นดินอ่อนมาก อาจจะทำการอ่านค่าจากการจมของหัว Cone ทุก 1 หรือ 2 ครั้งที่ตอก ซึ่งการต่อก้านเหล็ก จะทำได้โดยตอกก้านเหล็กให้จมลึกลงในดิน จนเหลือระยะระหว่างผิวที่ทำการทดสอบกับขีดอ่านประมาณ 40 ถึง 50 เซนติเมตร จึงทำการต่อก้านเหล็ก โดยหมุนคลายเกลียวก้าน เหล็กพร้อมทั่งและยกบรรทัดเหล็กออกก่อน ในกรณีพบชั้นดินแข็งมากๆ หรือพบก้อนกรวยหรือหินขนาดใหญ่ฝังขวางหัว Cone ไว้ ถ้าอัตราการจมของหัว Cone น้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร/ครั้ง หรือพบว่า การตอกจำนวน 20 ครั้ง ไม่สามารถอ่านค่าความเปลี่ยนแปลงระยะการจมได้ ก็ให้หยุดทำการทดสอบ เมื่อทดสอบจนได้ข้อมูลเพียงพอแล้ว วิธีการถอนก้านเหล็กและหัว Cone จะช้าตุ้มเหล็ก กระแทกด้ามจับมือเบา ๆ หลาย ๆ ครั้ง จนกว่าก้านเหล็กและหัว Cone ขยับตัวขึ้นมา อย่าใช้วิธีกระแทกแรงเพราะอาจทำให้ด้ามจับชำรุดเสียหายได้

ภาพที่ 5 การทดสอบ DCP

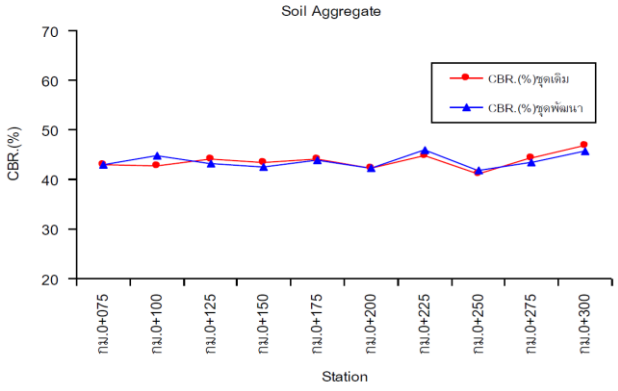
ผลการวิจัย

การทดสอบจะทดสอบ วัสดุชั้นรองพื้นทางลูกรัง (Soil Aggregate) และวัสดุชั้นพื้นทางหินคลุก (Crushed Rock Base) จะทำการทำสอบวัสดุจำนวน 10 จุดของแต่ละชั้นวัสดุ ซึ่งการทดสอบวัสดุชั้นรองพื้นทางลูกรัง (Soil Aggregate) นั้น Line ที่ทำการทดสอบด้านซ้ายทาง (LT) ทำการทดสอบที่ กม.0+075, กม.0+125, กม.0+175, กม.0+225, กม.0+275 และการทดสอบด้านขวาทาง (RT) ทำการทดสอบที่ กม.0+100, กม.0+150, กม.0+200, กม.0+250, กม.0+300 ส่วนการทดสอบวัสดุชั้นพื้นทางหินคลุก (Crushed Rock Base) นั้น Line ที่ทำการทดสอบด้านซ้ายทาง (LT) ทำการทดสอบที่ กม.0+325, กม.0+375, กม.0+425, กม.0+475, กม.0+525 และการทดสอบด้านขวาทาง (RT) ทำการทดสอบที่ กม.0+350, กม.0+400, กม.0+450, กม.0+500, กม.0+550 ซึ่งการทดสอบจะทำการทดสอบด้วยเครื่องมือดังนี้คือ

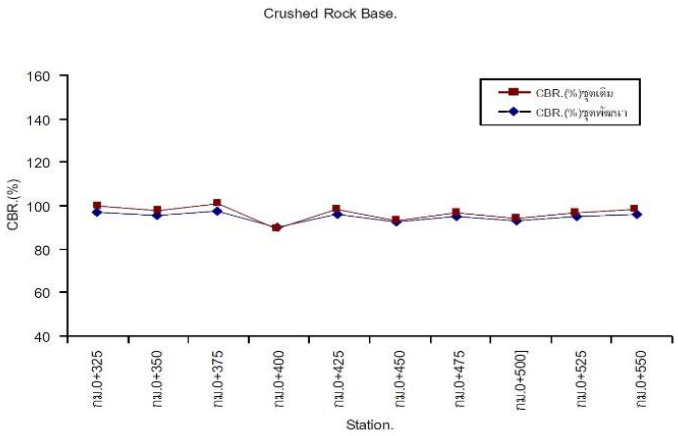
1. เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม)
2. เครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา)
3. Field density โดยวิธี Sand Cone Method.
4. Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

จากนั้นทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ทำการทดสอบด้วยเครื่องมือต่างๆ สามารถสรุปได้ดังกราฟต่อไปนี้

จากภาพที่ 6 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบ (Station) กับ เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) และเครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) ของวัสดุชั้นรองพื้นทางลูกรัง (Soil Aggregate) พบว่าเครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) มีค่า CBR อยู่ในช่วง 41.75 – 46.82% มีค่าเฉลี่ย 43.86% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.54 ส่วนเครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) มีค่า CBR อยู่ในช่วง 41.71 – 45.87% มีค่าเฉลี่ย 43.41% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.45 จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่า CBR ของเครื่องมือ Field CBR ทั้ง 2 ชุด มีค่าใกล้เคียงกันแต่ค่าความแปรปรวนของเครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) มีค่าน้อยกว่า เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม)

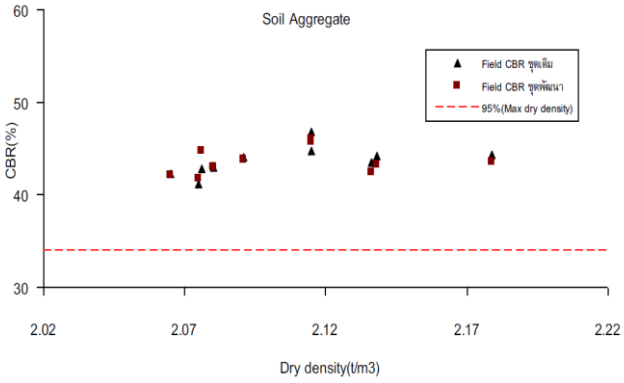


ภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบ กับค่า CBR (ชุดเดิม, ชุดพัฒนา) ของวัสดุชั้นรองพื้นทางลูกรัง (Soil Aggregate)



ภาพที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบ กับค่า CBR (ชุดเดิม, ชุดพัฒนา) ของวัสดุชั้นรองพื้นทางลูกรัง (Soil Aggregate)

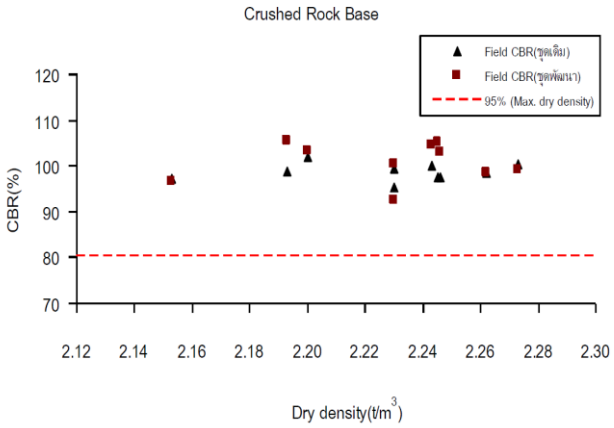
จากภาพที่ 7 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบ (Station) กับ เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) และเครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) ของวัสดุชั้นพื้นทางหินคลุก (Crushed Rock Base) พบว่า เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) มีค่า CBR อยู่ในช่วง 101.91 – 102.21% มีค่าเฉลี่ย 100.79% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.98 ส่วนเครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) มีค่า CBR อยู่ในช่วง 98.48 – 99.36% มีค่าเฉลี่ย 98.58% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.53 จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่า CBR ของเครื่องมือ Field CBR ทั้ง 2 ชุด มีค่าใกล้เคียงกันแต่ค่าความแปรปรวนของเครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) มีค่าน้อยกว่า เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม)



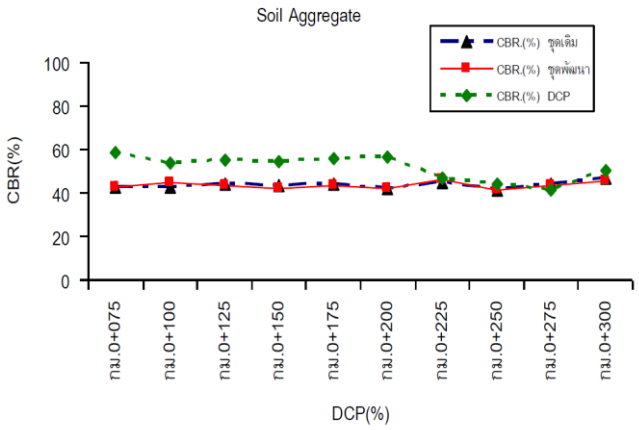
ภาพที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง CBR (ชุดเดิม, ชุดพัฒนา) กับ Dry density.ของชั้นรอง พื้นทางลูกรัง (Soil Aggregate)

จากภาพที่ 8 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR ของเครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) และ เครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) กับ ความหนาแน่นแห้ง (Dry density) ของชั้นรองพื้นทางลูกรัง (Soil Aggregate), เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) มีค่า CBR อยู่ในช่วง 41.15–46.82% มีค่าเฉลี่ย 43.86% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.54 ส่วนเครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) มีค่า CBR อยู่ในช่วง 41.71–45.97% ค่าเฉลี่ย 43.61% และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.45 ค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry density) มีค่าอยู่ในช่วง 2.07–2.18 t/m^3 มีค่าเฉลี่ย 2.11 t/m^3 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.04 จากการเปรียบเทียบเส้นกราฟที่ 95% (Max Dry density) ค่า CBR ของทุกจุดมีค่าสูงกว่าทั้งหมด โดยรวมแล้วถ้าค่า Dry density มีค่าสูง ค่าของ CBR จะสูงตามไปด้วย แสดงว่าทั้ง 2 ค่านี้มีความสัมพันธ์กัน

จากภาพที่ 9 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม)และเครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) กับ ความหนาแน่นแห้ง (Dry density) ของชั้นพื้นทางหินคลุก (Crushed Rock Base) เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) มีค่า CBR อยู่ในช่วง 95.30–101.91 % มีค่าเฉลี่ย 98.68% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.93 เครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) มีค่า CBR อยู่ในช่วง 92.48–105.36% มีค่าเฉลี่ย 100.79% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.22 ค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry density) มีค่าอยู่ในช่วง 2.15 – 2.27 t/m^3 มีค่าเฉลี่ย 2.23 t/m^3 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.04 จากการเปรียบเทียบเส้นกราฟที่ 95% (Max Dry density) ค่า CBR ของทุกจุดมีค่าสูงกว่าทั้งหมด โดยรวมแล้วถ้าค่า Dry density มีค่าสูง ค่าของ CBR จะสูงตามไปด้วยแสดงว่าทั้ง 2 ค่านี้มีความสัมพันธ์กัน

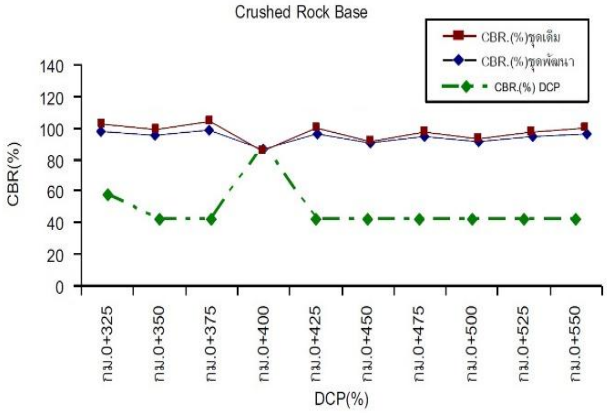


ภาพที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง CBR (ชุดเดิม, ชุดพัฒนา) กับ Dry density.ของชั้นพื้นทางหินคลุก (Crushed Rock Base)



ภาพที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบ (Station) กับ ค่า CBR (ชุดเดิม, ชุดพัฒนา) และ ค่า CBR จาก DCP ของชั้นรองพื้นทางลูกรัง (Soil Aggregate)

จากภาพที่ 10 เป็นกราฟกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบ (Station) กับเครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) เครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา)และค่า CBR จากเครื่องมือ DCP ของชั้นรองพื้นทางลูกรัง (Soil Aggregate) เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) มีค่า CBR อยู่ในช่วง 41.75–46.82% มีค่าเฉลี่ย 43.86% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.54 เครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) มีค่า CBR อยู่ในช่วง 41.71–45.97% ค่าเฉลี่ย 43.61% และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.45 ส่วนค่า CBR จากชุดเครื่องมือ DCP อยู่ในช่วง 41.31–58.40% มีค่าเฉลี่ย 51.82% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.84 จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่า CBRและค่าความแปรปรวนของเครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) มีค่าน้อยกว่า เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) และ เครื่องมือ DCP



ภาพที่ 11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบ (Station) กับ ค่า CBR (ชุดเดิม, ชุดพัฒนา) และค่า CBR จาก DCP ของชั้นพื้นทางหินคลุก (Crushed Rock Base)

จากภาพที่ 11 เป็นกราฟกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบ (Station) กับเครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) เครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) และค่า CBR จากเครื่องมือ DCP ของวัสดุชั้นพื้นทางหินคลุก (Crushed Rock Base) พบว่าเครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) มีค่า CBR อยู่ในช่วง 101.91 – 102.21% มีค่าเฉลี่ย 100.79% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.98 ส่วนเครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) มีค่า CBR อยู่ในช่วง 98.48 – 99.36% มีค่าเฉลี่ย 98.58% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.53 มีค่า CBR จากเครื่องมือ DCP อยู่ในช่วง 41.92–89.81% มีค่าเฉลี่ย 48.32% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 15.43 จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่า CBRและค่าความแปรปรวนของเครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) มีค่าน้อยกว่า เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) และ เครื่องมือ DCP

สรุปผล

จากการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า $CBR_{ชุดเดิม}$, $CBR_{ชุดพัฒนา}$, CBR_{DCP} และค่าความหนาแน่นในสนาม (Field Density) ที่ได้จากการทดสอบในสนาม เพื่อจะได้นำเครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) ไปใช้ในการทดสอบหาค่า CBR ให้มีความถูกต้อง ปลอดภัย สะดวก รวดเร็วกว่าเครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) ในการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบ (Station) กับเครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) เครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา)และค่า CBR จากเครื่องมือ DCP ของชั้นรองพื้นทางลูกรัง (Soil Aggregate) จากการทดสอบพบว่าค่า CBR และค่าความแปรปรวนของเครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) มีค่าน้อยกว่า เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) และ เครื่องมือ DCP

2. ความสัมพันธ์ระหว่างจุดทดสอบ (Station) กับเครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) เครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) และค่า CBR จากเครื่องมือ DCP ของวัสดุชั้นพื้นทางหินคลุก (Crushed Rock Base) จากการทดสอบพบว่าค่า CBRและค่าความแปรปรวนของเครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) มีค่าน้อยกว่า เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) และ เครื่องมือ DCP

องค์ความรู้ใหม่จากการวิจัย

องค์ความรู้ใหม่ที่ได้จากการวิจัย พบว่า ปัจจุบันการทดสอบ Field CBR ภาคสนาม ในการติดตั้งเครื่องมือต้องใช้เวลานาน และมีความปลอดภัยน้อย ซึ่งอาจทำให้เครื่องมือได้รับความเสียหายได้ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบชุดพัฒนาทดสอบ Field CBR ภาคสนาม ซึ่งเป็นองค์ความรู้ใหม่ของงานวิจัยครั้งนี้ โดยการนำเอาเหล็กรางน้ำขนาดกว้าง 125 มิลลิเมตร สูง 65 มิลลิเมตร หนา 8 มิลลิเมตร น้ำหนัก 13.4 กิโลเมตรต่อเมตร มีความยาว 1,000 มิลลิเมตร และแผ่นเหล็กรองใต้คานมาเชื่อมประกอบติดกันและ

อุปกรณ์ช่วยยึดติดกับคานใต้ท้องรถบรรทุก 10 ล้อ (หนักประมาณ 25 ตัน) จากผลศึกษาพบว่าเครื่องมือที่ใช้ทดสอบหาค่า CBR ในสนามของเครื่องมือชุดเดิมกับเครื่องมือชุดพัฒนา ได้ลดปัญหาและอุปสรรคในเรื่องการติดตั้งเครื่องมือต้องใช้เวลานาน และมีความปลอดภัยน้อย เป็นอย่างดีและผลของการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกันและค่าความแปรปวนของเครื่องมือชุดปรับปรุงมีค่าน้อยกว่าชุดเดิม เครื่องมือ CBR ชุดพัฒนาใช้เวลาในการดำเนินงานน้อยกว่าชุดเดิมและมีความปลอดภัยมากขึ้นเนื่องจากมีตัวล็อคติดกับคานไม่สามารถดิ้นหลุดง่าย

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะที่ได้จากการวิจัย

1. การใช้เครื่องมือ Field CBR (ชุดพัฒนา) ถ้าใช้แผ่นเหล็กรองระหว่างคานกับเครื่องมือทดสอบควรหนาอย่างน้อย 10 ม.ม.และควรเชื่อมค้ำยันด้านข้างเพื่อป้องกันการบิดงอเมื่อถูกแรงกดมาก ๆ

2. การใช้เครื่องมือ Field CBR (ชุดเดิม) ควรระมัดการเกิดอุบัติเหตุในระหว่างการทดสอบ เพราะไม่มีอุปกรณ์ยึดติดกับคานใต้ท้องรถบรรทุก

3. ไม่ควรนำเครื่องมือ DCP ไปทดสอบหาค่า CBR บนชั้นทางหินคลุก (Crushed Rock Base) เพราะมีความแปรปรวนสูง

References

Aashto. (2022). *Standard Method of Test for the California Bearing Ratio*. Retrieved September 25, 2023, from https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=AASHTO%20T%20193&item_s_key=00489054

Department of Highways Standards. (2517). *Standard experimental method to determine CBR.* Retrieved October 1, 2023, from https://www.doh.go.th/content/page/page/5

Department of Highways Standards. (2517). *Standard method for testing CBR values in the field (Field CBR).* Retrieved October 1, 2023, from https://www.doh.go.th/content/page/page/5

Department of Public Works Standard. (2020). *Testing method to determine C.B.R.* Retrieved September 15, 2023, from https://research.drr.go.th/wp-content/uploads/2020/02/drr-2020-02-04_08-50-30_608981.pdf

International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. (1989). *Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils – TC 16 with Reference Test Procedures CPT– SPT– DP– WST*. Swedish Geotechnical Institute.

Rattanasuwan, P. (2018). *Soil Mechanics*. Thai: M & M Laser Print Limited Partnership.

Terzaghi, K. and Peck. (1967). *Soil Mechanics and Engineering Practice*. New York. John Wiley & Sons.