

ความสัมพันธ์ของตัวแปรจากการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุชั้นทาง ที่ทำการควบคุมการบดอัดในสนามในงานก่อสร้างทางหลวง

Relationship of Parameter for Stiffness and Strength of Compaction Control in the Field of Pavement Materials in Highway Construction

ณัฐกฤษ น้อยก้อน

NATTAKRIT NOIKON

มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น

600 มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น ต.สระลงเรือ อ.ห้วยกระเจา จ.กาญจนบุรี 71170

ผู้นิพนธ์ประสานงาน : noikon_ae@hotmail.com, natthakrit.no@western.ac.th

บทคัดย่อ บทความนี้นำเสนอการทดสอบค่าความแข็งแรงของดินบดอัดประเภทวัสดุโครงสร้างทางในงานก่อสร้างทางหลวง โดยมีการวิเคราะห์ผลทดสอบระหว่างวัสดุชั้นทางที่ทำการควบคุมบดอัดอย่างดีในสนาม (control compaction test) และวัสดุชั้นทางที่บดอัดในสนาม (field test) เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคือ Soil Stiffness Gauge (SSG), Dynamic Cone Penetrometer (DCP) และ Nuclear Density Gauge งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาค่าความแข็งแรงของวัสดุชั้นทางด้วยวิธีการตรวจสอบการก่อสร้างทางหลวงที่ทำการควบคุมการบดอัดวัสดุชั้นทางในสนาม และวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของข้อมูลวัสดุชั้นทาง ระหว่างวัสดุชั้นทางที่อยู่ในการควบคุมการบดอัดอย่างดี โดยการควบคุมพลังงานการบดอัดและความชื้นของวัสดุในสนามเทียบกับการบดอัดทั่วไปในสนาม ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการควบคุมการบดอัดอย่างดีในสนามสามารถลดความแปรปรวนของข้อมูลที่ทดสอบได้ดีกว่าการบดอัดทั่วไปในสนาม โดยผลการทดสอบ SSG และ DCP การควบคุมการบดอัดอย่างดีในสนามและการบดอัดทั่วไปในสนาม มีที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามความแปรปรวนของข้อมูลวัสดุชั้นทางที่ทำการควบคุมบดอัดอย่างดีในสนาม มีค่าน้อยกว่าวัสดุชั้นทางที่บดอัดทั่วไปในสนาม สำหรับผลการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ทำการควบคุมบดอัดในสนาม จากเครื่องมือ SSG และ DCP พบว่าค่า E จาก SSG มีความสัมพันธ์กับค่า CBR จาก DCP โดยความสัมพันธ์มีแนวโน้มแปรผันโดยตรง ซึ่งค่าในสนามมีค่า $E_{SSG} = 5.23CBR^{1.093}$ ผลการทดสอบค่า CBR จากเครื่องมือ Field CBR มีความสัมพันธ์กับค่า CBR ที่ได้จาก DCP มีความสัมพันธ์แนวโน้มแปรผันโดยตรงเฉลี่ยมีค่า $CBR_{field(control)} = 3.072CBR_{DCP} - 43.88$ จากการควบคุมการก่อสร้างทางแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่ดีของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ รวมถึงอาจเป็นแนวทางในการพัฒนาข้อกำหนดในงานบดอัดวัสดุชั้นทางในงานก่อสร้างทางในประเทศไทย

คำสำคัญ : เครื่องวัดความแข็งของดิน , การทดสอบทะลุทะลวงด้วยกรวยแบบพลวัต , เครื่องวัดเชิงนิวเคลียร์ , การทดสอบ CBR ในสนาม

Abstract This paper presents the determination of stiffness and strenght of compacted pavement materials in highway construction. The soil tests were analyzed both good control compacted soil in the field (control compaction test) and based in-place evaluation (field test). The testing apparatuses were applied by Soil Stiffness Gauge (SSG), Dynamic Cone Penetrometer (DCP) and Nuclear Density Gauge. This paper presents stiffness and strength based methods for rapid in-place monitoring compaction quality control during highway construction. Then analysis the deviation of soil tests between good controlling in compaction and generally compacted soil in field. The compacting energy and soil moisture content were under controlled. Results Then the tests from SSG and DCP for construction quality good control compaction and field provide nearby in result. However, the deviation of soil test from SSG and DCP testing in construction quality good control compaction soil are less than in the field. The results of this study, there exists a discernable correlation elastic modulus as measured and control compacted soil in the field by the SSG, DCP and found that elastic modulus (E_{SSG}) relationship with CBR by direct variation. In particular, Field tests also indicated $E_{SSG} = 5.23CBR^{1.093}$. Relationships between Field CBR (CBR_{field}) and DCP in test box (CBR_{DCP}) of total materials the found that with direct variation. In addition mean, $CBR_{field} (control) = 3.072CBR_{DCP} - 43.88$. Indicated these methods exhibited good potential for construction quality control as well as the development of performance-based specifications in Thailand.

Keywords: Soil Stiffness Gauge , Dynamic Cone Penetrometer , Nuclear Density Gauge, Field CBR

1. บทนำ

โดยทั่วไปนั้นการบดอัดวัสดุชั้นทางจะทำเพื่อปรับปรุงคุณภาพคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุชั้นทาง เช่น การเพิ่มกำลังความแข็งแรงของวัสดุ (Strenght) การเพิ่มค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Elastic Modulus หรือ E-Modulus) เป็นต้น โดยในการตรวจสอบคุณภาพการบดอัดวัสดุชั้นทางจะใช้ค่าความหนาแน่นแห้งเป็นหลัก เนื่องจากทำการทดสอบได้ไม่ยุ่งยากถึงแม้ว่าต้องใช้ระยะเวลาในการหาค่าความชื้นของดินซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้ประกอบการคำนวณหาค่าความหนาแน่นแห้ง แต่อย่างไรก็ตามค่าตัวแปรหลักที่สำคัญที่ใช้ในการออกแบบคือค่าโมดูลัสและค่าความแข็งแรงของวัสดุชั้น

ทางที่อยู่ในรูปของ California Bearing Ratio (CBR) ปัจจุบันการตรวจวัดค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (E-Modulus) และการทดสอบ CBR ของวัสดุชั้นทางในงานสนามนั้นมีความยุ่งยากและทำได้อย่างลำบาก จึงได้มีงานวิจัยต่าง ๆ ในการที่จะนำเครื่องมือทดสอบ เทคโนโลยีที่พัฒนาสูงขึ้น การใช้งานสะดวกรวดเร็วและสะดวกในการขนย้าย มาใช้ตรวจวัดคุณสมบัติของดินบดอัดในภาคสนาม โดยทำการตรวจวัดระหว่างช่วงทำการก่อสร้าง เพื่อให้ทันกับขั้นตอนการก่อสร้างชั้นทาง ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเครื่องมือ Soil Stiffness Gauge ที่สามารถพกพาได้ ใช้งานง่าย และทดสอบได้รวดเร็ว มาใช้ตรวจวัดค่าโมดูลัสของดินบดอัดในสนาม และได้

ศึกษาเปรียบเทียบค่าโมดูลัสที่วัดได้กับตัวแปรอื่นๆ ในสนาม อาทิเช่น Resilient Modulus Test (RM), California Bearing Ratio (CBR), Light Weight Deflectometer (LWD), Portable Falling Weight Deflectometer (PFWD), Soil Stiffness Gauge (SSG), Briard Compaction Device (BCD), Dynamic Cone Penetrometer (DCP), Soil Density Gauge (SDG) และ Sand Cone Test

งานวิจัยที่ผ่านมา Sawangsuriya et al. (2009) และ Yongyuth et al. (2009) ได้ทำการศึกษาค่าคุณสมบัติของดินในสนาม ได้แก่ ความหนาแน่นแห้งและค่าสติฟเนส โดยใช้เครื่องมือ Soil Stiffness Gauge (SSG), Dynamic Cone Penetrometer (DCP) และ Nuclear Density Gauge มาทำการทดสอบวัสดุต่างๆ ในภาคสนาม จากผลการศึกษาเบื้องต้นพบว่าเครื่องมือ SSG และเครื่องมือ DCP ทดสอบแล้วมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วงประมาณ 0.8 – 2.4 ส่วนเครื่องมือ DCP ทดสอบแล้วมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วงประมาณ 0.3 – 3.2

Suppakorn (2551) ได้ทำการทดสอบกับดินบดอัดในสนามด้วยเครื่องมือ และ Sand cone พบว่าค่า Dry Density ที่ได้จาก Sand Cone Test มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จาก Nuclear Gauge ประมาณร้อยละ 3.4

ณัฐกฤษ (2556) ได้ทำการเก็บตัวอย่างวัสดุในสนามมาควบคุมความชื้น ควบคุมพลังงานการบดอัด ทดสอบในบล็อกลดทดสอบที่มีขนาดความกว้าง 60 เซนติเมตร ความยาว 60 เซนติเมตร ความสูง 25 เซนติเมตร ในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุชั้นทาง โดยนำเครื่องมือ Soil Stiffness Gauge (SSG), เครื่องมือ Dynamic Cone Penetrometer (DCP) มาตรวจวัดค่า E-Modulus และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ค่า CBR ส่วนเครื่องมือ Nuclear

Density Gauge (NDG) ใช้ตรวจวัดค่าความหนาแน่นและความชื้นของวัสดุบดอัด ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ทำทดสอบด้วยเครื่องมือต่างๆ สำหรับประเด็นสำคัญในการศึกษามีดังนี้ การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_{SSG} กับค่า Dry Unit Weight สำหรับวัสดุรวมในสนามและในบล็อกลดทดสอบ พบว่า มีค่าอัตราส่วนในสนามเทียบกับบล็อกลดทดสอบเท่ากับ 0.68 และความสัมพันธ์ระหว่างค่า DPI และค่า Dry Unit Weight สำหรับวัสดุรวมในสนามและในบล็อกลดทดสอบ พบว่า มีค่าอัตราส่วนในสนามเทียบกับบล็อกลดทดสอบเท่ากับ 0.37 ข้อสังเกต ผลการทดสอบจากเครื่องมือต่างๆ ในบล็อกลดทดสอบจะมีค่าสูงกว่าในสนาม อาจเนื่องจากขนาดของบล็อกลดทดสอบ (boundary effect)

ดังนั้นเพื่อลดปัจจัยเนื่องจากขนาดของบล็อกลดทดสอบ (boundary effect) ที่มีผลกับค่าความแปรปรวนในการทดสอบวัสดุด้วยเครื่องมือต่างๆ เหล่านี้ข้างต้น งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าคุณสมบัติของดินในสนามโดยทำการควบคุมคุณภาพในการบดอัดอย่างดีในสนาม โดยนำเครื่องมือ SSG, DCP, NDG และ Sand Cone Test มาทดสอบโดยทำจำลองวัสดุชั้นทางเป็นระยะ 50 เมตร และกำหนดจุดทดสอบวัสดุจำนวน 5 จุด ซึ่งได้ทำการควบคุมการบดอัดวัสดุให้ได้ร้อยละ 95 ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดของวิธีการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Test) และควบคุมปริมาณความชื้นให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับความชื้นที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ และเปรียบเทียบกับทดสอบวัสดุชั้นทางในสนามทั่วไปหลังการบดอัดเสร็จสิ้น (Field Test) โดยทดสอบวัสดุชั้นทางทุกช่วงระยะ 500 เมตร โดยวัสดุชั้นทางที่จะทำการทดลอง คือ ชั้นดินถมคันทาง (Subgrade) ชั้นรองพื้นทาง (soil-aggregate subbase) และชั้นพื้นทาง (Base) เพื่อศึกษาค่าคุณสมบัติทาง

วิศวกรรมของวัสดุชั้นทาง โดยนำเครื่องมือ Soil Stiffness Gauge (SSG), เครื่องมือ Dynamic Cone Penetrometer (DCP) มาตรวจวัดค่า E-Modulus และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ค่า CBR ส่วนเครื่องมือ Nuclear Density Gauge (NDG) และ Sand Cone Method ใช้ตรวจวัดค่าความหนาแน่นและความชื้นของวัสดุบดอัดในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาค่าความแปรปรวนของข้อมูลและศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ทำกรทดสอบด้วยเครื่องมือต่างๆ โดยผลการทดสอบที่คาดว่าจะได้รับคือค่าความแปรปรวนของข้อมูลที่ทำกรควบคุมการบดอัดอย่างดีจะมีค่าน้อยกว่าค่าจากการทดสอบในสนามทั่วไป และการไปประยุกต์ใช้งานนั้นคือการนำค่า K_{SSG} หรือค่า DPI ที่สัมพันธ์กับค่า CBR เพื่อใช้เป็นแนวทางในการควบคุมการทดสอบวัสดุในสนาม

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 Soil Stiffness Gauge (SSG)

Soil Stiffness Gauge (SSG) ได้ ใ้ รับ ก า ร พัฒนาขึ้น โดยความร่วมมือระหว่าง The Federal Highway Administration (FHWA) กับ The U.S. Department of Defense's Advanced Research Programs Administration (ARPA) เพื่อพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพการบดอัดในสนาม (Compaction Quality Control) โดยมีหลักการที่ว่าจะต้องตรวจวัดวัสดุชั้นทางได้อย่างรวดเร็ว ปลอดภัย และสามารถตรวจสอบงานบดอัดวัสดุชั้นทางได้อย่างถูกต้อง เครื่องมือ Soil Stiffness Gauge (ดังรูปที่ 1) สามารถตรวจวัดค่าความแข็งแรง (Stiffness) ของวัสดุชั้นทางในสนามใช้ความเร็วประมาณ 1 จุดทดสอบต่อหน้าที่ น้ำหนักของเครื่องมือประมาณ 11.4 กิโลกรัม เส้นผ่านศูนย์กลาง 28 เซนติเมตร ความสูง 25.4 เซนติเมตร วางตั้งอยู่

ผิวน้ำดินโดยขาตั้งรูปวงแหวน (Ring shaped foot) สามารถพกพาเคลื่อนย้ายได้สะดวก มีน้ำหนักเบาและปลอดภัยในการใช้งาน

เครื่องมือ Soil Stiffness Gauge เป็นเครื่องมือวัดค่าความแข็งแรง (Stiffness) ของชั้นดินถมคันทาง (Subgrade) ชั้นรองพื้นทาง (Subbase) และชั้นพื้นทาง (Base) โดยมีหลักการทำงานโดยอาศัยการสร้างแรงสั่นสะเทือน (Vibrating Force) ซึ่งแรงที่กระทำเกิดขึ้นด้วย Harmonic Oscillator ที่มีความถี่ระหว่าง 100 - 196 Hz ทำให้เกิดการทรุดตัว (Displacement) ของดิน ณ ตำแหน่งที่ขาตั้งรูปวงแหวน (Ring Foot) สัมผัสกับผิวดิน ขาตั้งรูปวงแหวนมีหน้าที่ถ่ายแรงลงสู่ผิวดิน ส่วนที่เหนือขึ้นไปเป็นเครื่องสั่น (Shaker หรือ Vibrating Mass) สร้างแรงกดดันแนวตั้งต่อขาตั้งรูปวงแหวน เครื่องส่งสัญญาณ (Sensor) ที่ติดอยู่กับเครื่องสั่น (Shaker) และขาตั้ง (Footing) จะทำหน้าที่วัดค่าแรง (Force) และการทรุดตัว (Displacement) เพื่อนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณหาค่า Stiffness โดยคิดจากค่าเฉลี่ย 25 ค่า Lenke et al. (2001)



รูปที่ 1 Soil Stiffness Gauge (GeoGauge™)

Sawangsuriya et al. (2005) พบว่า เครื่องมือ Soil Stiffness Gauge (SSG) สามารถวัดค่า Stiffness ของดินได้ระดับความลึกประมาณ 300 – 400 มิลลิเมตร Sawangsuriya et al. (2004) ค่า Stiffness ที่ตรวจวัดได้จะ

สามารถนำมาหาค่า Modulus ของวัสดุชั้นทางได้ดังสมการที่ (1)

$$K_{SSG} = \frac{1.77E_{SSG}R}{(1-\nu^2)} \quad (1)$$

โดยที่ K_{SSG} = ค่า Stiffness หน่วยเป็น MN/m, E_{SSG} = ค่า E-Modulus หน่วยเป็น MPa, R = รัศมีภายนอกของวงแหวน (57.2 มม.), ν = ค่า Poisson's ratio ของวัสดุ

2.2 Nuclear Density Gauge (NDG)

หลักการทั่วไปของ Nuclear Density Gauge (NDG) เป็นเครื่องมือตรวจวัดหาค่าปริมาณความชื้น (Moisture Content) ค่าความหนาแน่นเปียก (Wet Density) ค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) และค่าร้อยละการบดอัด (Percent Compaction) ในสนามของวัสดุชั้นทางหรือวัสดุอื่นๆ เครื่องมือ NDG วัดค่าความหนาแน่นของวัสดุโดยใช้รังสีแกมมาหรือโพตอนจากต้นกำเนิดรังสี คือ ซีเซียม 137(Cs-137) ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสีชนิดที่มีความแรงของรังสีในระดับที่ต่ำ ความแรงรังสี 8 มิลลิคูรี ส่วนการวัดหาปริมาณความชื้นในวัสดุใช้รังสีนิวตรอนจากต้นกำเนิดรังสี คือ อเมอริเซียม 241 และเบอริลเลียม (Am 241 :Be) ความแรงรังสี 40 มิลลิคูรี วิธีการทดสอบได้ผ่านการรับรองให้เป็นเครื่องมือในการควบคุมการบดอัดตามมาตรฐาน ASTM D2922, D3017 และ C1040 การทดสอบหาค่าความหนาแน่นในสนามโดยใช้วิธี Nuclear Gauge Method สามารถทดสอบหาค่าความหนาแน่นและปริมาณความชื้นในดินกรวดเดียวกันได้ ข้อดีของเครื่องมือ NDG ใช้เวลาในการทดสอบน้อย สะดวกรวดเร็ว (ดังรูปที่ 2)



รูปที่ 2 Nuclear Density Gauge (NDG)

2.3 Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

Dynamic Cone Penetrometer หรือ DCP เป็นเครื่องมือทดสอบที่ใช้ประเมินค่าความแข็งแรง ได้แก่ ค่า CBR และค่า E-Modulus ของวัสดุชั้นทางในสนาม การใช้เครื่องมือ DCP ทดสอบชั้นดินระหว่างงานก่อสร้างช่วยให้ผู้ควบคุมงานสามารถตรวจสอบค่า CBR ของวัสดุชั้นทางบดอัดแน่นระหว่างก่อสร้างได้ทันทีและสามารถเปรียบเทียบกับค่า CBR ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่มีความสอดคล้องกันมากน้อยเพียงใด และหากจำเป็นต้องมีการแก้ไข ผู้ควบคุมงานสามารถสั่งการได้ทันเวลา (ดังรูปที่ 3) การทดสอบ DCP อาศัยการวัดค่าความต้านทานต่อการจมของหัวตุ้มเหล็ก (Piston) ซึ่งเรียกว่าค่า DCP Penetration Index (DPI) มีหน่วยเป็น mm/blow ค่า DPI ตลอดจนความลึกของการจมสามารถหาได้สองวิธี คือ วิธี Arithmetic Average และ วิธี Weighted Average ค่า DPI คำนวณโดยวิธี Arithmetic Average และ Weighted Average หาได้จากสมการที่ (2) และ (3) ตามลำดับ Sawangsuriya and Edil (2005)

$$DPI_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^N (DPI)_i}{N} \quad (2)$$

$$DPI_{wt\ avg} = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^N [(DPI)_i \times (z)_i] \quad (3)$$

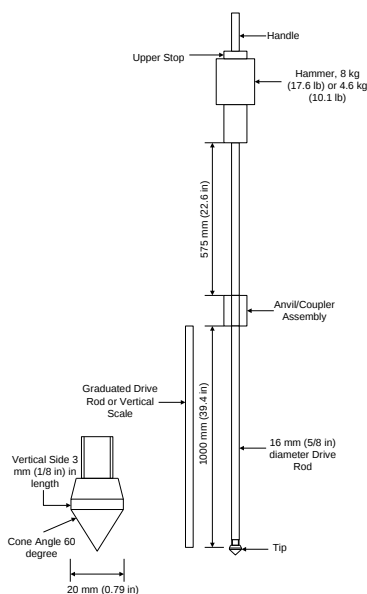
โดยที่ N = จำนวน DPI ทั้งหมดที่บันทึกได้ตลอดความลึกที่ทดสอบ, Z = ความลึกที่จมต่อจำนวน blow ที่บันทึกได้หนึ่งครั้ง และ H = ความลึกของการทดสอบ

นักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาวิจัยพัฒนาสมการแสดงความสัมพันธ์ทั่วไประหว่างค่า DPI และค่า CBR ของวัสดุชั้นทางทั้ง Granular และ Cohesive ได้ตั้งสมการที่ (4)

$$\log(CBR) = \alpha + \beta \log(DPI) \quad (4)$$

US Army Corps of Engineers ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ α และ β เท่ากับ 2.46 และ -1.12 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ได้รับการยอมรับแล้วจากหลายองค์กรและนักวิจัยหลายท่าน Sawangsuriya et al. (2004) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E-Modulus และ ค่า CBR ที่ได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวางคือ สมการของ Powell et al. (1984) ดังแสดงในสมการที่ (5)

$$E = 17.6 \times CBR^{0.64} \quad (5)$$

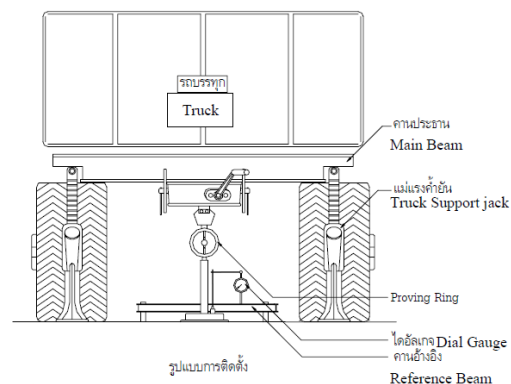


รูปที่ 3 Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

2.4 การทดสอบโดย Field CBR (California Bearing Ratio)

การกำหนดวิธีทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการก่อสร้างถนน ซึ่งมีการรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นจากนั้น ได้นำวิธีการทดสอบคุณสมบัติแบบ CBR (California Bearing Ratio) เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบ และก่อสร้างถนน ซึ่งวิธีการดังกล่าวก็เป็นที่ยอมรับ และนิยมใช้กันทั่วไป (ดังรูปที่ 4)

CBR Test เป็นวิธีการทดสอบวัดค่าแรงเฉือน (Shearing Resistance) ของวัสดุที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว (ส่วนมากจะทดสอบที่ Optimum Moisture Content) โดยการใช้ท่อนเหล็กดัน (Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 19.27 ตารางเซนติเมตร (3 ตารางนิ้ว) กดลงบนดินตัวอย่างที่เตรียมไว้ด้วยอัตรา 1.27 มิลลิเมตรต่อนาที (0.05 นิ้วต่อนาที) แล้วนำไปหาอัตราส่วนเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักมาตรฐาน ที่ได้จากการทดลองกดบนดินมาตรฐานบดอัดแน่นที่ความลึกของการจมตัวเท่ากันค่าที่ได้นี้เรียกว่า “เปอร์เซ็นต์ CBR”



รูปที่ 4 การติดตั้งการทดสอบ

Field CBR ในภาคสนาม (<http://www.sts.co.th>)

3. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีวิจัย

3.1 วัสดุและสถานที่ศึกษา

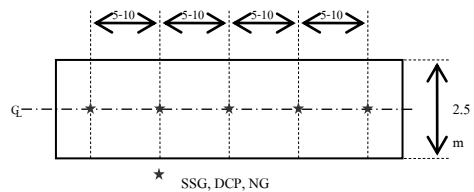
งานวิจัยนี้ได้เลือกโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3011 สายทางหลวงหมายเลข 333 (อ.บ้านไร่) - บ้านใต้ ต.บ้านไร่ อ.บ้านไร่ จ.อุทัยธานี การศึกษานี้ได้นำตัวอย่างวัสดุชั้นทางแบบไม่คงสภาพจะถูกเก็บจากในสนามมาทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาคุณสมบัติพื้นฐานต่างๆ โดยค่าคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญได้สรุปไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญของวัสดุชั้นทาง

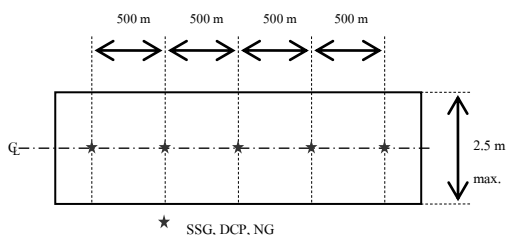
คุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม	Subgrade	Soil-Aggregate Subbase	Crushed Rock Base
AASHTO Classification	A-7-5	A-2-6	A-1-a
% Passing			
75.0 (3")	100	100	100
50.0 (2")	100	93.07	100
25.0 (1")	95.77	71.95	100
19.0 (3/4")	-	65.78	86.2
9.5 (3/8")	88.25	-	65.46
#4	85.16	27.24	52.41
#10	78.63	20.37	34.5
#40	54.48	11.38	14.25
#200	41.27	8.99	9.84
LL (%)	41	27	19
PI (%)	14	19	8
O.M.C. (%)	13.2	8.5	6.8
$\gamma_{d\max}$ (t/m ³)			
(Modified Proctor)	1.9	2.1	2.4
Soaked CBR (%)	18	42	68
Unsoaked CBR (%)	56	56	74
Specific Gravity	2.65	2.68	2.77
Swell (%)	6.59	2.51	0.26

3.2 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

โดยการศึกษาคุณสมบัติของดินในสนามที่ทำการควบคุมคุณภาพในการบดอัดอย่างดีในสนาม (Control Compaction Test) โดยนำเครื่องมือ SSG, DCP, NDG และ Sand Cone Method มาทดสอบโดยทำจำลองวัสดุชั้นทางเป็นระยะ 50 เมตร และกำหนดจุดทดสอบวัสดุจำนวน 5 จุด ซึ่งได้ทำการควบคุมการบดอัดวัสดุให้ได้ค่า Relative Compaction ร้อยละ 90 (Subgrade), 95% (Soil-Aggregate Subbase, Base) ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และควบคุมปริมาณความชื้นให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับความชื้นที่เหมาะสมในห้องปฏิบัติการ (ดังรูปที่ 5) และเปรียบเทียบกับ การทดสอบวัสดุชั้นทางในสนามทั่วไปหลังการบดอัดเสร็จสิ้น (Field Test) (ดังรูปที่ 6) โดยวัสดุชั้นทางที่จะทำการทดลอง คือ ชั้นดินถมคันทาง (Subgrade) ชั้นรองพื้นทาง (Soil-Aggregate Subbase) และชั้นพื้นทาง (Base)



รูปที่ 5 แสดงตำแหน่งการทดสอบวัสดุชั้นทางโดยทำการควบคุมคุณภาพในการบดอัดอย่างดีในสนาม ด้วยเครื่องมือ SSG, DCP, NDG

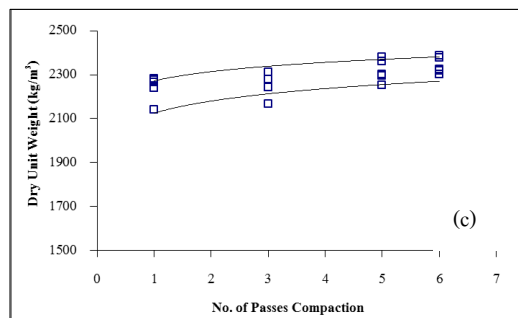
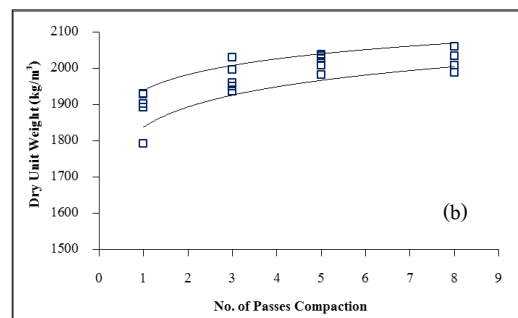
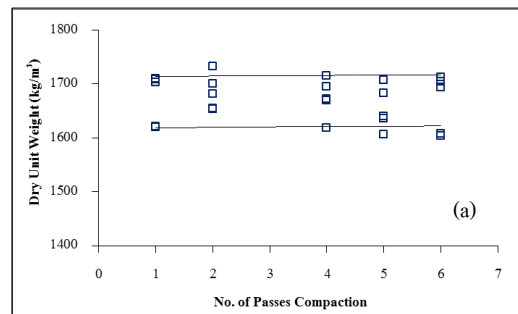


รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งการทดสอบวัสดุชั้นทางหลังการบดอัดโดยทั่วไปในสนาม ด้วยเครื่องมือ SSG, DCP, NDG

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

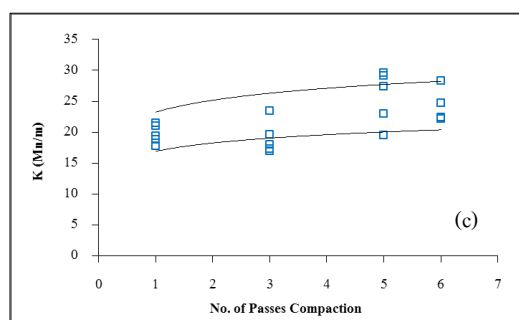
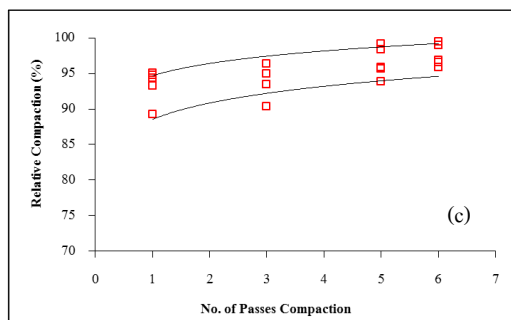
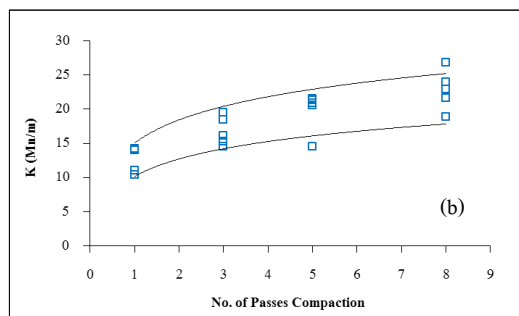
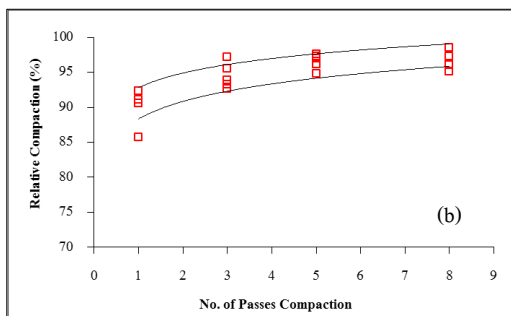
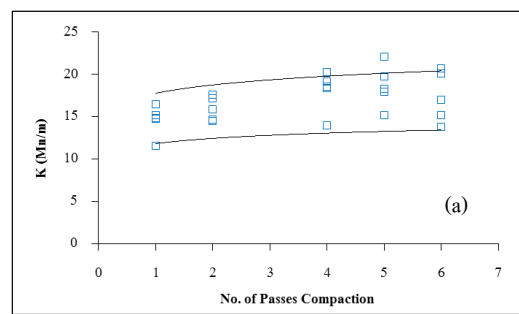
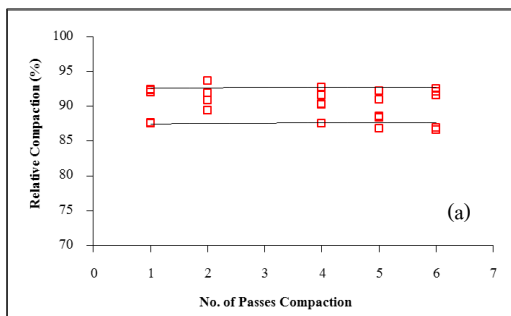
จากการทดสอบวัสดุชั้นทางโดยการทำการควบคุมคุณภาพในการบดอัดอย่างดีในสนาม ที่พลังงานต่างๆ ด้วยเครื่องมือ NDG พบว่าค่าความหนาแน่นแห้งของวัสดุชั้นทาง ที่ทำการควบคุมการบดอัดของ Subgrade, Soil-Aggregate Subbase และ Base โดยทำการบดอัดด้วยรถบดอัดตามมาตรฐานงานทางของกรมทางหลวง ค่าความหนาแน่นแห้งของวัสดุจะเริ่มคงที่ คือ 5 pass, 8 pass และ 6 pass ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าความหนาแน่นแห้งของวัสดุชั้นทาง Subgrade, Soil-Aggregate Subbase และ Base มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1,672 , 2,018 และ 2,318 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (ดังรูปที่ 7) และค่า Relative Compaction มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 90.40, 96.58 และ 96.58 ตามลำดับ ดังรูปที่ 8

จากรูปที่ 9, 10 ผลการทดสอบด้วยเครื่องมือ SSG และ DCP พบว่าค่าความแปรปรวนของค่า KSSG และ ค่า DPI ที่ทำการควบคุมการบดอัดอย่างดีในสนามมีค่าความแปรปรวนลดลงเมื่อเทียบกับการทดสอบในสนามทั่วไป และพบว่าค่า KSSG และค่า DPI เมื่อพิจารณาจากขนาดของวัสดุชั้นทางโดยคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุชั้นทางจากค่า AASHTO Classification และ Sieve analysis จะเห็นว่าวัสดุที่มีขนาดเม็ดละเอียดมาก (Fine-grained Soil) คือ ชั้นดินถมคันทาง (Subgrade) จะมีค่าความแปรปรวนมากตามไปด้วย



รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์

ระหว่าง Dry Unit Weight กับ Number of Passes Compaction ของวัสดุชั้นทาง (a) subgrade, (b) soil-aggregate subbase, and (c) crushed rock base.

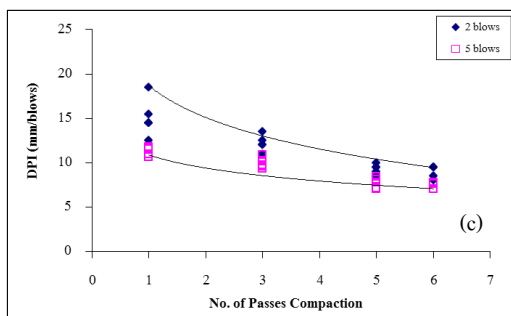
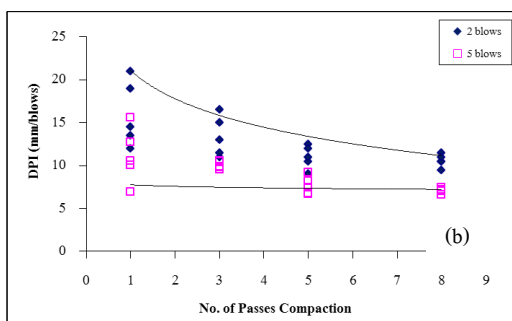
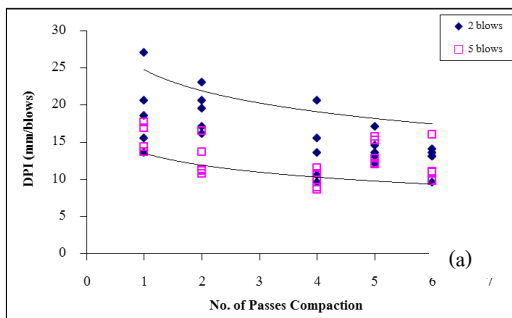


รูปที่ 8 กราฟความสัมพัทธ์ระหว่าง

Relative Compaction กับ Number of Passes Compaction
ของวัสดุชั้นทาง (a) subgrade, (b) soil-aggregate subbase,
and (c) crushed rock base

รูปที่ 9 กราฟความสัมพัทธ์ระหว่าง

Stiffness (K) กับ Number of Passes Compaction ของ
วัสดุชั้นทาง (a) subgrade, (b) soil-aggregate subbase,
and (c) crushed rock base



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง

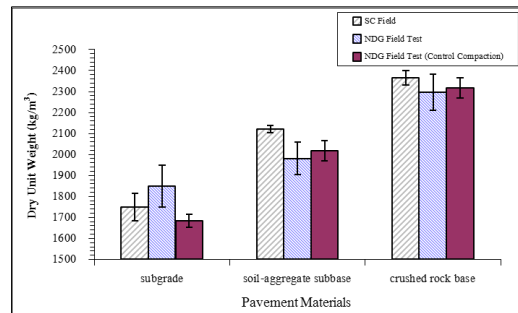
DPI_w กับ Number of Passes Compaction ของวัสดุชั้น

ทาง (a) subgrade, (b) soil-aggregate subbase,

and (c) crushed rock base

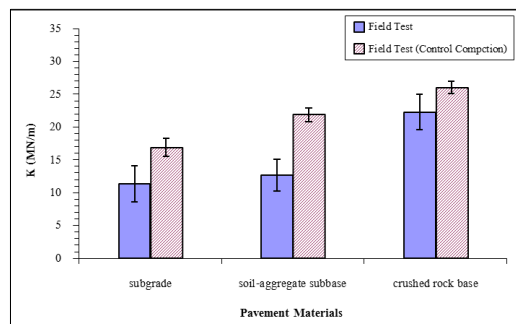
เมื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบค่า Dry Unit Weight ของวัสดุแต่ละประเภท (ดังรูปที่ 11) จะเห็นว่ากลุ่มวัสดุที่มีขนาดเม็ดเล็กหรือที่เรียกว่า Fine-grained Soil คือ ชั้นดินถมคันทาง (Subgrade) จะมีค่าความแปรปรวนของค่า Dry

Unit Weight สูง โดยมีค่าความแปรปรวนในสนามที่ทำการควบคุมการบดอัดอย่างดีและทดสอบในสนามทั่วไปมีค่าเท่ากับ 47.45, 99.87 ตามลำดับ และพบว่าค่า Dry Unit Weight ในสนามที่ทำการควบคุมการบดอัดอย่างดี จะมีความแปรปรวนน้อยกว่า Dry Unit Weight ที่ทดสอบในสนามทั่วไป



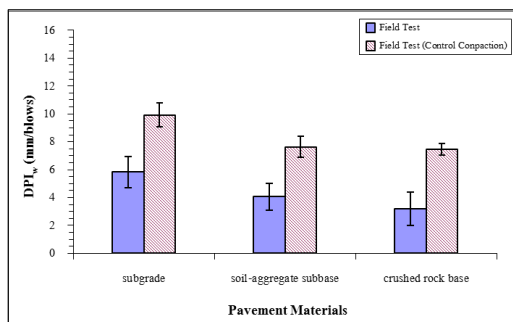
รูปที่ 11 กราฟความสัมพันธ์

ระหว่าง Dry Unit Weight กับ Pavement Materials



รูปที่ 12 กราฟความสัมพันธ์

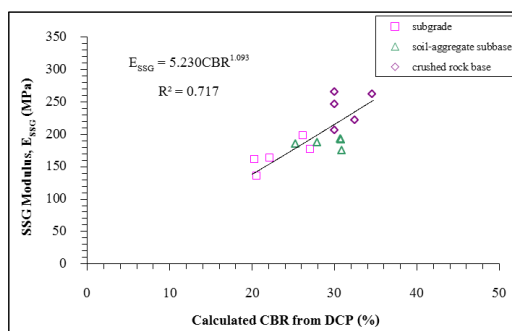
ระหว่าง K กับ Pavement Materials



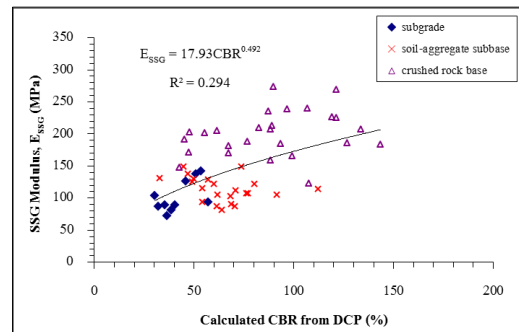
รูปที่ 13 กราฟความสัมพันธ์

ระหว่าง DPl_w กับ Pavement Materials

จากการทดสอบจะทำการวัดที่จุดเดียวกันทั้งเครื่องมือ SSG และ DCP ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Stiffness (K) และค่า DPl_w ดังรูปที่ 12, 13 พบว่าค่า Stiffness (K) มีแนวโน้มเป็นปฏิกิริยาผกผันกับค่า DPl_w คือค่า Stiffness (K) มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่า DPl_w ที่ลดลง โดยค่า Stiffness (K) และค่า DPl_w ที่ทำการควบคุมการบดอัดในสนาม จะมีค่าความแปรปรวนของข้อมูลน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบในสนามทั่วไป



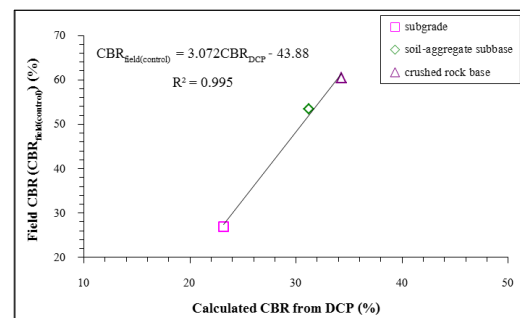
รูปที่ 14 กราฟความสัมพันธ์

ระหว่าง E_{SSG} กับ CBR_{DCP} ที่ทำการควบคุมการบดอัดอย่างดีในสนาม

รูปที่ 15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง

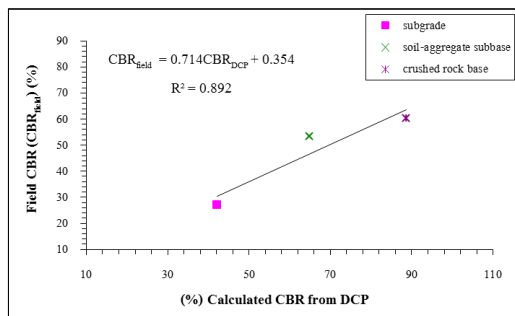
 E_{SSG} กับ CBR_{DCP} ที่ทดสอบในสนามทั่วไป

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า E_{SSG} กับค่า Calculated CBR_{DCP} ของวัสดุแต่ละประเภท ดังรูปที่ 14, 15 พบว่าค่า E_{SSG} มีแนวโน้มเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับค่า Calculated CBR_{DCP} คือค่า E_{SSG} มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า Calculated CBR_{DCP} เพิ่มขึ้น โดยความสัมพันธ์ระหว่าง E_{SSG} กับ CBR_{DCP} ที่ทำการควบคุมการบดอัดอย่างดีในสนาม มีค่าเฉลี่ย $E_{SSG} = 5.23CBR^{1.093}$ โดยที่ R^2 เท่ากับ 0.717 และการทดสอบในสนามทั่วไปมีค่าเฉลี่ย

 $E_{SSG} = 17.93CBR^{0.492}$ โดยที่ R^2 เท่ากับ 0.294

รูปที่ 16 กราฟความสัมพันธ์

ระหว่าง Field CBR กับ CBR_{DCP} ที่ทำการควบคุมการบดอัดอย่างดีในสนาม



รูปที่ 17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง

Field CBR กับ CBR_{DCP} ที่ทดสอบในสนามทั่วไป

จากผลการทดสอบด้วยเครื่องมือ Field CBR และ DCP ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Field CBR กับค่า Calculated CBR_{DCP} ของวัสดุแต่ละประเภท ดังรูปที่ 16, 17 พบว่าค่า Field CBR มีแนวโน้มเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับค่า Calculated CBR_{DCP} คือค่า Field CBR มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า Calculated CBR_{DCP} เพิ่มขึ้น โดยความสัมพันธ์ระหว่าง Field CBR กับ CBR_{DCP} ที่ค่าที่ทำการควบคุมการบดอัดอย่างดีในสนามมีค่าเฉลี่ย $CBR_{field(control)} = 3.072CBR_{DCP} - 43.88$ โดยที่ R^2 เท่ากับ 0.995 และค่าที่ทดสอบในสนามทั่วไปมีค่าเฉลี่ย $CBR_{field} = 0.714CBR_{DCP} + 0.354$ โดยที่ R^2 เท่ากับ 0.892

5. สรุปผล

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือ SSG, เครื่องมือ DCP และเครื่องมือ NDG ที่ได้จากการทดสอบการควบคุมการบดอัดอย่างดีในสนาม เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในสนามทั่วไป เพื่อนำไปศึกษาและพัฒนาแนวทางการใช้คุณสมบัติทางวิศวกรรม เช่น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และค่า CBR ในงานควบคุมคุณภาพการบดอัดในสนามระหว่างการก่อสร้างทางหลวงนั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

- ค่า E จาก SSG มีความสัมพันธ์กับค่า CBR จาก DCP โดยความสัมพันธ์มีแนวโน้มแปรผันโดยตรง ซึ่ง

ค่าที่ทำการควบคุมการบดอัดอย่างดีในสนามมีค่าเฉลี่ย $E_{SSG} = 5.23CBR^{1.093}$ และค่าที่ทดสอบในสนามทั่วไปมีค่าเฉลี่ย $E_{SSG} = 17.93CBR^{0.492}$

- ค่า CBR จาก Field CBR มีความสัมพันธ์กับค่า CBR จาก DCP โดยความสัมพันธ์มีแนวโน้มแปรผันโดยตรง ซึ่งค่าที่ทำการควบคุมการบดอัดอย่างดีในสนามมีค่าเฉลี่ย $CBR_{field(control)} = 3.072CBR_{DCP} - 43.88$ และค่าที่ทดสอบในสนามทั่วไปมีค่าเฉลี่ย $CBR_{field} = 0.714CBR_{DCP} + 0.354$

- จากการศึกษาวิจัย เครื่องมือ DCP, SSG และ Nuclear Density Gauge ที่ทำการควบคุมการบดอัดอย่างดีในสนาม มีศักยภาพที่จะนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพการบดอัดในงานก่อสร้างทางในสนามได้ แต่เครื่องมือ SSG จำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีความรู้ในการใช้เครื่องชนิดนี้เป็นพิเศษ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานก่อสร้างทางโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 3011 สายทางหลวงหมายเลข 333 (อ.บ้านไร่) – บ้านใต้ และสำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] A.Sawangsuriya, W. Sramoon, and S. Wachiraporn., (2009). “Innovative Tool for Highway Construction Quality Control”. Research and Development Journal, The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King’s Patronage, Vol. 20, No.3, pp. 37-42 (in Thai)

- [2] Y.Teasiri, A.Sawangsurriya, W. Sramoon, and S. Wachiraporn., (2009). “Assessment of In-situ Tests for Stiffness and Strength Characteristics of Pavement Materials”. 13th Conference of the Road Engineering Association of Asia and Australia (REAAA), Incheon, Korea, No.9-03
- [3] L.R. Lenke, R.G. McKeen, and M. Grush, (2001). “Evaluation of a Mechanical Stiffness Gauge for Compaction Control of Granular Media”. Research Bureau, New Mexico State Highway & Transportation Department, Albuquerque, USA.
- [4] A. Sawangsurriya, T.B. Edil and P.J.Bosscher, (2004). Assessing Small-Strain Stiffness of Soils Using the Soil Stiffness Gauge. Proceedings of the 15th Southeast Asian Geotechnical Conference. Bangkok, Thailand, 101-106.
- [5] A. Sawangsurriya and T.B. Edil, (2005). Earthwork quality control using soil stiffness. Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanic and Geotechnical Engineering. Osaka, Japan.
- [6] A. Sawangsurriya and T.B. Edil, (2005). Evaluating stiffness and strength of pavement materials. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Geotechnical Engineering 158, Issue GE24, 217-230. (in Thai)
- [7] Powell, W. D., Potter, J. F., Mayhew, H. C., and Nunn, M. E., The Structural Design of Bituminous Roads, TRRL Laboratory Report 1132, Transportation and Road Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, 1984, 62 pp.
- [8] Suppakorn Wachiraporn, (2551). Basic Study for Modulus of Soil in Highway Construction Control. The 13th Nation Convention on Civil Engineering. Chonburi, Thailand. (in Thai)
- [9] Nattakrit Noikon, (2554). Strenght Testing for Pavement Materials of Highway Construction in Test Box. The 16th Nation Convention on Civil Engineering. Chonburi, Thailand. (in Thai)
- [10] Nattakrit Noikon, (2556). Relationship of Parameter for Stiffness and CBR Test of Pavment Materials in Test Box. Engineering Transactions A Research Publication of Mahanakorn University of Technology, 117 (in Thai)
- [11] <http://www.sts.co.th>

ประวัติผู้ประพันธ์ :



อาจารย์ฉัฐกฤษ น้อยก้อน

ประวัติการศึกษา

- วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา) มหาวิทยาลัยพัฒนา
- วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

งานวิจัยที่สนใจ

- งานวิจัยทางวิศวกรรมด้านธรณีเทคนิค
- งานวิจัยทางด้านวิศวกรรมโยธา