การศึกษาคุณภาพของกระบวนการควบคุมการก่อสร้างคันดินในงานทาง
Study of quality of embankment construction control in road work

วรรณวรางค์ รัตนานิคม[1] และ สยาม ยิ้มศิริ[1,*]

[1] หน่วยวิจัยวิศวกรรมโยธาและโครงสร้างพื้นฐานเพื่อความยั่งยืน, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา, จังหวัดชลบุรี
**Corresponding author; E-mail address: ysiam@buu.ac.th*

บทคัดย่อ

มาตรฐานการบดอัดคันดินสำหรับงานทางสามารถดำเนินการได้บนพื้นฐานของการทดสอบการบดอัดดินตัวอย่างในห้องปฏิบัติการเพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นที่เหมาะสม จากนั้นทำการบดอัดดินในสนามโดยอาศัยรถบดอัดจนได้ความหนาแน่นแห้งที่ใกล้เคียงกับผลทดสอบที่ได้จากห้องปฏิบัติการ ตามมาตรฐานการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางของหน่วยงานหลักทางด้านงานทาง เช่น กรมทางหลวง กรมโยธาธิการและผังเมือง และกรมทางหลวงชนบท มักกำหนดให้ผลการบดอัดดินในสนามต้องมีค่าความหนาแน่นแห้งไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการและปริมาณความชื้นดินต้องมีค่าอยู่ระหว่าง OMC±2% อย่างไรก็ตามกระบวนการบดอัดและการควบคุมงานบดอัดในสนามมีความแปรปรวนมากกว่าสภาพในห้องปฏิบัติการ เช่น กระบวนการเพิ่มปริมาณน้ำในดินและการควบคุมจำนวนเที่ยววิ่งของรถบด ดังนั้นการควบคุมคุณภาพของการก่อสร้างและการตรวจสอบค่าความหนาแน่นและความชื้นของดินในสนามระหว่างทำการบดอัดของผู้ควบคุมงานจึงมีความสำคัญ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์คุณภาพของกระบวนการควบคุมการก่อสร้างคันดินของโครงสร้างทางในจังหวัดชลบุรี

คำสำคัญ: คุณภาพการก่อสร้าง, สำรวจ, การบดอัดดิน, งานทาง

Abstract

The compaction standard for highway embankment works can be carried out on the basis of laboratory soil compaction tests to determine the maximum dry density and optimum moisture content (OMC) of the soil. The soil compaction process in the field is done by using a compaction vehicle to achieve a required dry density obtained from the laboratory. According to the construction standards of the main road work agencies, such as the Department of Highways, the Department of Public Works and Town & Country Planning, and the Department of Rural Roads, soil compaction is often required a dry density in the field to achieve not less than 95 percent of the maximum dry density obtained from laboratory compaction tests and the moisture content to be a value between OMC±2%. However, a real construction situation involves many more uncertainties than those of a laboratory environment. Therefore, a construction quality control and inspection of dry density and water content during field operation are essential. The objective of this study is to statistically analyze the quality of embankment construction control of road work in Chonburi Province.

Keywords: construction quality, survey, soil compaction, highway

1. คำนำ

การขนส่งทางถนนถือเป็นระบบการขนส่งที่สำคัญและนิยมมากกว่าการขนส่งระบบอื่นเพราะเป็นการขนส่งที่สะดวก รวดเร็ว และเข้าถึงได้ทุกพื้นที่ทั้งในเมืองและพื้นที่ห่างไกลความเจริญ การขยายตัวและการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทางด้านเศรษฐกิจและการลงทุนส่งผลให้ปริมาณการจราจรเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องออกแบบและก่อสร้างถนนให้มีมาตรฐานเพื่อรองรับปริมาณการจราจรที่เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย

การออกแบบชนิดของถนนขึ้นอยู่กับปัจจัยพื้นฐานหลายประการ ได้แก่ ลักษณะการใช้งาน ปริมาณการจราจร น้ำหนักบรรทุก อายุบริการที่ออกแบบ และกำลังแบกทานของดินคันทาง เป็นต้น ปัจจุบันนิยมออกแบบผิวทางจราจร (Surface) 2 ประเภท คือ ผิวทางจราจรแบบหยุ่นตัว (Flexible pavement) เช่น ทางลาดยางแอลฟัลต์ และผิวทางจราจรแบบแข็ง (Rigid pavement) เช่น ทางคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นต้น ภายใต้ผิวทางจราจรทั้งสองประเภทนี้โดยทั่วไปมีส่วนประกอบของโครงสร้างชั้นทางหรือคันดินที่สำคัญดังนี้ คือ (i) ชั้นพื้นทาง (Base course) (ii) ชั้นรองพื้นทาง (Subbase course) (iii) ชั้นวัสดุคัดเลือก (Selected material) และ (iv) ชั้นดินคันทางหรือดินถม (Compacted subgrade or embankment) วัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางแต่ละชั้นมักเป็นวัสดุมวลรวม (Aggregate) ที่มีความแข็งแรง ทนทาน โดยมีส่วนหยาบผสมกับส่วนละเอียดที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุเนื้อประสานที่ดี เช่น นิยมใช้หินคลุก หินปูน

หินบะซอลท์ หินแกรนิต เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง และนิยมใช้ดินลูกรังและทรายเป็นวัสดุชั้นรองพื้นทาง เป็นต้น

ในงานก่อสร้างถนนหรืองานที่เกี่ยวข้องกับดินถม เช่น งานเขื่อน จำเป็นต้องทำการบดอัดดินในแต่ละชั้นให้มีความหนาแน่นตามมาตรฐานที่กำหนด มาตรฐานของการบดอัดดินในสนามสามารถดำเนินการบนพื้นฐานของการทดสอบการบดอัดดินตัวอย่างในห้องปฏิบัติการเพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density, $\gamma_{dry,\max}$) และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum moisture content, OMC) การบดอัดดินในสนามนั้นจะทำโดยอาศัยรถบดอัดจนได้ความหนาแน่นแห้งที่ใกล้เคียงกับผลทดสอบในห้องปฏิบัติการ ตามมาตรฐานการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางของหน่วยงานหลักทางด้านงานทาง เช่น กรมทางหลวง กรมโยธาธิการและผังเมือง และกรมทางหลวงชนบท มักกำหนดให้การบดอัดดินต้องมีค่าความหนาแน่นแห้งในสนามไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในสมการที่ (1) และปริมาณความชื้นของดินในสนามต้องมีค่าอยู่ระหว่าง OMC±2%

$$\left(\gamma_{dry,\max}\right)_{field} \geq \frac{95}{100}\left(\gamma_{dry,\max}\right)_{lab} \quad (1)$$

แต่อย่างไรก็ตามการบดอัดและการควบคุมงานบดอัดดินในสนามมีความแปรปรวนมากกว่าสภาพในห้องปฏิบัติการ เช่น กระบวนการเพิ่มปริมาณน้ำในดินและการควบคุมจำนวนเที่ยววิ่งของรถบด ดังนั้นการควบคุมคุณภาพของการก่อสร้างและการตรวจสอบความหนาแน่นของดินในสนามระหว่างทำการบดอัดของผู้ควบคุมงานจึงมีความสำคัญ ซึ่งการตรวจสอบความหนาแน่นในสนามหลังจากการบดอัดสามารถทำได้โดยใช้วิธีแทนที่ด้วยทราย (Sand Cone Method) และวิธีนิวเคลียร์ (Nuclear-density test) ในปี 1966 Turnbull และคณะ [1] ได้ทำการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของความหนาแน่นและความชื้นของการบดอัดดินจากหลายโครงการของ Corps of Engineers พบว่าค่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นสูงกว่าขอบเขตที่ยอมรับได้ของผู้ออกแบบในงานดิน และผลงานวิจัยดังกล่าวนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Smith and Prysock [2] ซึ่งศึกษาข้อมูลจากโครงการก่อสร้างทางหลวง 3 เส้นทางในมลรัฐแคลิฟอเนียประเทศสหรัฐอเมริกา

2. วัตถุประสงค์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การควบคุมคุณภาพการก่อสร้างคันดินในโครงสร้างทางในจังหวัดชลบุรีตามมาตรฐานการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางของกรมทางหลวงโดยใช้วิธีเชิงสถิติ

3. ขอบเขตการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน

การศึกษาจะดำเนินการโดยสำรวจและวิเคราะห์คุณภาพผลการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางของทางหลวงในจังหวัดชลบุรี คือ โครงการสายแยกทางหลวงหมายเลข 3 - บรรจบทางหลวงหมายเลข 3127 อ.พานทอง (ตอน 1) ทางหลวงหมายเลข 3466 จุดเริ่มต้นโครงการตั้งแต่ กม.0+000.00 จุดสิ้นสุดโครงการ กม. 9+500.00 รวมระยะทาง 9.5 กิโลเมตร ทำการวิเคราะห์ 2 ส่วน ได้แก่

- ศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างโครงสร้างคันดินชั้นทางกับมาตรฐานวัสดุของกรมทางหลวง
- ศึกษาและเปรียบเทียบคุณภาพของผลการก่อสร้างโครงสร้างคันดินชั้นทางกับมาตรฐานการก่อสร้างโครงสร้างชั้นทางของกรมทางหลวงโดยวิธีเชิงสถิติ

4. ผลการศึกษา

4.1 ลักษณะคันทางของโครงการ

ลักษณะของคันทางเดิมเป็นทางหลวง 2 ช่องจราจร ผิวทางแบบ Double surface treatment กว้าง 6.0 เมตร ไหล่ทางแบบ soil aggregate กว้างข้างละ 2.0 เมตร และคันทางสูงประมาณ 1.00-1.50 เมตร ความกว้างเขตทางโดยประมาณ 30.0 เมตร ทำการก่อสร้างขยายช่องจราจรเป็น 4 ช่องจราจร มาตรฐานทางชั้นพิเศษ กว้างช่องละ 3.50 เมตร ไหล่ทางข้างละ 1.50 เมตร ผิวทางแอสฟัสท์คอนกรีตสองชั้น หนาชั้นละ 5.0 ซม. เกาะกลางกว้าง 1.10-1.60 เมตร

โครงสร้างชั้นทางส่วนขยายเส้นทางด้านข้าง (รูปที่ 1) ประกอบด้วย
- ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เกรด AC 60/70 หนา 0.05 เมตร
- รองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เกรด AC 60/70 หนา 0.05 เมตร
- พื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ ค่า Unconfined compressive strength ที่อายุ 7 วัน ≥ 24.5 ksc หนา 0.25 เมตร
- รองพื้นทางวัสดุมวลรวมเกรด A, B หรือ C เท่านั้น ค่า CBR≥ 25% หรือรองพื้นทางดินซีเมนต์ หนา 0.25 เมตร
- ทรายถมคันทาง บดทับให้ได้ความแน่นแห้ง≥ 95% ของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลอง ทล.-ท 108/2517 ค่า CBR≥ 10% หนาอย่างน้อย 0.5 เมตร

4.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างกับมาตรฐานของกรมทางหลวง

4.2.1 ชั้นทรายถมคันทาง

จากคุณสมบัติของวัสดุทั้ง 3 แหล่ง ที่นำมาใช้ในการก่อสร้างชั้นทรายถมคันทาง (Sand Embankment) ได้แก่ หินฝุ่นจากโรงโม่หินสุวลี ดินปนทรายจากบ่อทรายบันดาล และดินปนทรายจากบ่อทรายนายกนก เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล.-ม.103/2532 [3] วัสดุทรายถมคันทาง ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า ขนาดอนุภาคใหญ่สุดของวัสดุจากทั้ง 3 แหล่ง มีค่ามากกว่า 2 มม. แต่ไม่เกิน 9.5 มม. ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานของกรมทางหลวงคือต้องมีขนาดเม็ดโตสุด ไม่มากกว่า 9.5 มม. และมีส่วนละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่มากกว่า 25% ได้แก่ 19.68%, 17.24% และ 16.50% ตามลำดับ นอกจากนั้นพบว่าวัสดุชั้นคันทางแต่ละแหล่งมีค่า ซี.บี.อาร์. โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 30-50% ซึ่งสูงมากเมื่อเทียบกับข้อกำหนดคือ วัสดุต้องมีค่า ซี.บี.อาร์.ไม่น้อยกว่า 10% และเมื่อนำมาพิจารณากับค่า ซี.บี.อาร์. ของ

โครงสร้างชั้นทางโดยทั่วไปที่เหมาะสม [4] พบว่าวัสดุจากทั้ง 3 แหล่ง มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีและเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในการก่อสร้างชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทางได้เช่นกัน

4.2.2 ชั้นรองพื้นทาง

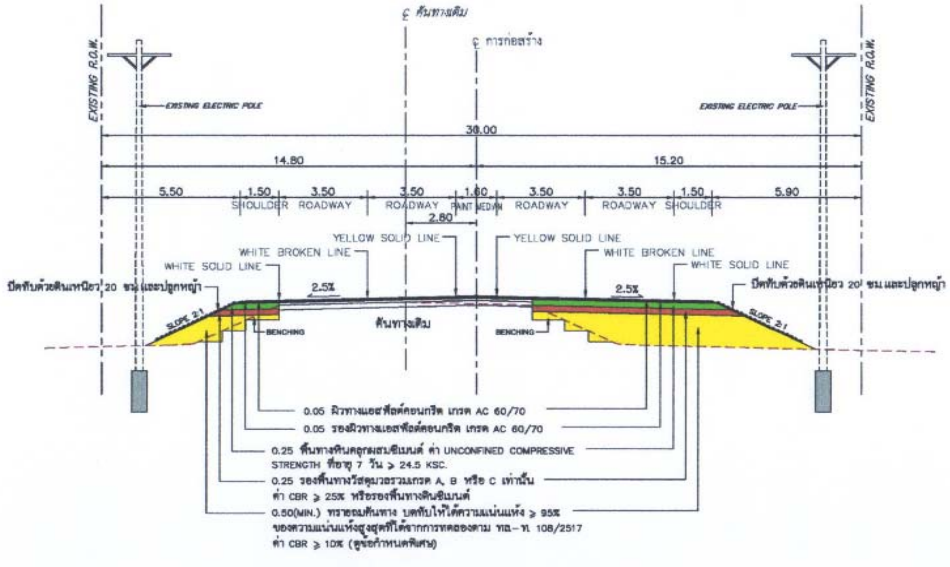
จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมทั้ง 2 แหล่ง ที่นำมาใช้ก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง (Subbase) ได้แก่ ลูกรังจากบ่อลูกรัง และหินคลุกจากโรงโม่หินสุวลี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล.-ม.205/2532 [5] วัสดุมวลรวม ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า ค่าการทดสอบหาพิกัดเหลว (Liquid limit, LL) ของวัสดุจากบ่อลูกรังและโรงโม่สุวลี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 26.78 และ 24.65 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานของกรมทางหลวงคือ มีค่าพิกัดเหลว (LL) น้อยกว่า 35% และมีค่าการทดสอบดัชนีพลาสติก (Plasticity Index, PI) น้อยกว่า 11% นอกจากนั้นพบว่าวัสดุชั้นรองพื้นทางแต่ละแหล่ง มีค่า ซี.บี.อาร์. โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 35-53% ซึ่งสูงมากเมื่อเทียบข้อกำหนดคือ วัสดุต้องมีค่า ซี.บี.อาร์. ไม่น้อยกว่า 25%

4.3 การเปรียบเทียบคุณภาพของผลการก่อสร้างโครงสร้างคันดินชั้นทางกับมาตรฐานของกรมทางหลวง

จากข้อกำหนดการก่อสร้างถนน อำเภอพานทอง ตอน 1 ชั้นคันทางซึ่งเป็นทรายถม ชั้นรองพื้นทางซึ่งเป็นวัสดุมวลรวม และชั้นพื้นทางซึ่งเป็นหินคลุกผสมซีเมนต์ ต้องทำการบดอัดดินแต่ละชั้นให้มีความหนาสำหรับชั้นคันทางอย่างน้อย 50 เซนติเมตร ชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทางอย่างน้อย 25 เซนติเมตร โดยมีค่าคุณสมบัติที่ใช้ตรวจสอบการก่อสร้างชั้นทางในสนาม 2 ค่า ดังนี้

1) ค่าความหนาแน่นแห้งในสนามไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการ

2) ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัดต้องมีค่าอยู่ระหว่าง OMC±2%



รูปที่ 1 หน้าตัดแบบที่ 1 (Section 1) หรือแบบ A ของโครงการสายแยกทางหลวงหมายเลข 3 - บรรจบทางหลวงหมายเลข 3127 อ.พานทอง (ตอน 1)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติวัสดุชั้นทรายถมคันทางของแหล่งวัสดุต่างๆ

ชั้น	แหล่งวัสดุ	ชนิดวัสดุ	C.B.R (%)	% ผ่านตะแกรง	
				เบอร์ 3/8" 9.5 mm	เบอร์ 200 0.075 mm
ทรายถมคันทาง	โรงโม่สุวลี	หินฝุ่น	43.09	100	19.68
	บ่อทรายบันดาล	ดินปนทราย	31.7	100	17.24
	บ่อทรายนายกนก	ดินปนทราย	37.65	100	16.50
ข้อกำหนดข้อกำหนดมาตรฐานของกรมทางหลวง [3]			≥ 10	100	≤ 25

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติวัสดุชั้นรองพื้นทางของแหล่งวัสดุต่างๆ

ชั้น	แหล่งวัสดุ	ชนิดวัสดุ	LL (%)	PI (%)	C.B.R (%)
รองพื้นทาง	บ่อลูกรัง	ลูกรัง	26.78	8.40	36.46
	โรงโม่สุวลี	หินคลุก	24.65	5.45	53.35
ข้อกำหนดข้อกำหนดมาตรฐานของกรมทางหลวง [5]			≤ 35	≤ 11	≥ 25

4.3.1 การก่อสร้างชั้นทรายถมคันทาง

4.3.1.1 ค่าความหนาแน่นแห้งในสนาม

จากการตรวจสอบการก่อสร้างถนนในแต่ละระดับของชั้นทรายถมคันทางตั้งแต่ กม.0+000 ถึง กม.9+500 จำนวน 1179 การทดสอบ พบว่าโดยส่วนใหญ่มีค่าความหนาแน่นแห้งของการบดอัดในสนามสอดคล้องตามข้อกำหนดมาตรฐานของกรมทางหลวง คือ มีค่าความหนาแน่นแห้งไม่น้อยกว่า 95% ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดในห้องปฏิบัติการ ตามการทดสอบความหนาแน่นแบบมาตรฐาน และมีเพียง 8 การทดสอบที่มีค่าความหนาแน่นแห้งน้อยกว่า 95% ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดในห้องปฏิบัติการ รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างกราฟความหนาแน่นแห้งในสนามของชั้นทรายถมคันทาง Layer 1 (RT)

4.3.1.2 ค่าปริมาณความชื้นในสนาม

จากค่าปริมาณความชื้นที่ใช้ในการบดอัดในสนาม ผลการทดสอบส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ±2% ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนด มีเพียง 26 และ 21 การทดสอบจาก 1179 การทดสอบเท่านั้นที่มีค่าปริมาณความชื้นน้อยกว่าและมากกว่า OMC±2% ตามลำดับ รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างปริมาณความชื้นของชั้นทรายถมคันทาง Layer 2 (RT) ช่วงกม. 3+500 ถึง กม.3+950 และ Layer 3 (RT) กม.4+050 ถึง กม. 4+450 ที่มีค่าปริมาณน้ำสูงกว่าช่วง ± 2% จำนวน 9 จุดที่ทำการทดสอบในสนาม โดยมีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย 10.22% เมื่อเปรียบเทียบกับค่า OMC ในห้องปฏิบัติการที่ 7.4% ซึ่งมีค่า +2.82% จากค่า OMC

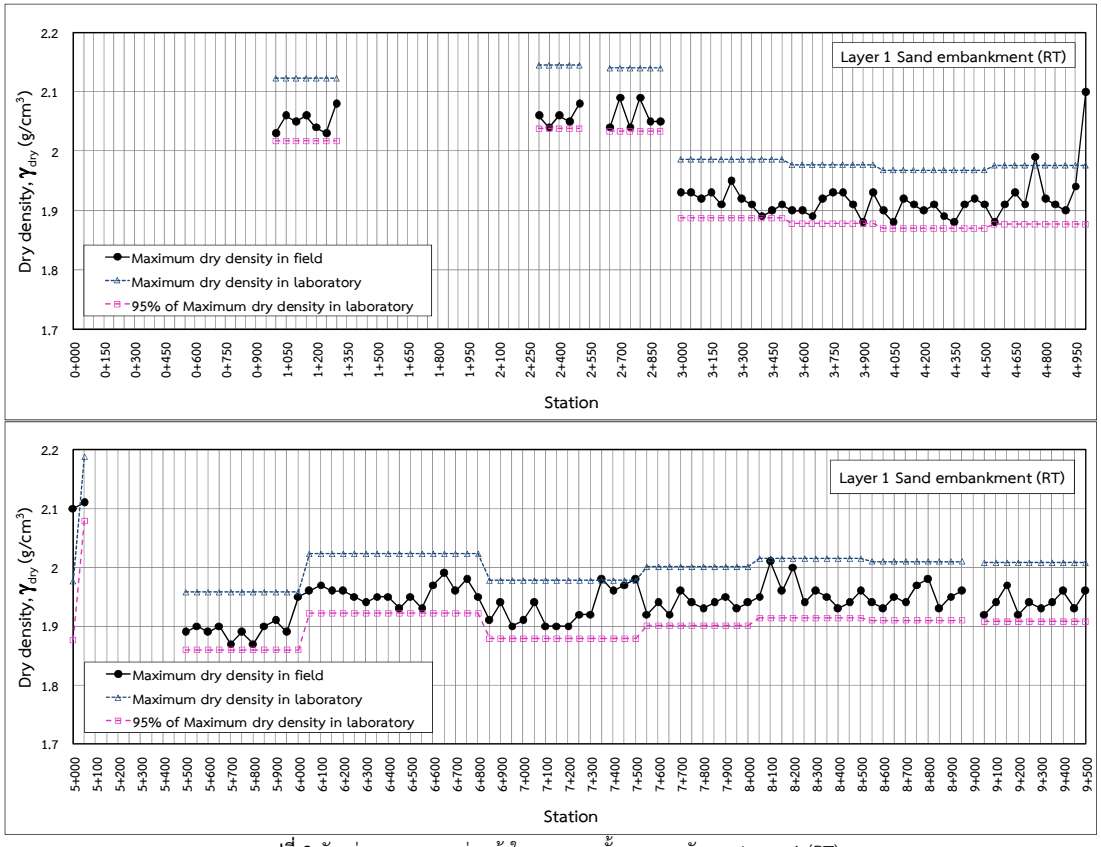
4.3.2 การก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง

4.3.2.1 ค่าความหนาแน่นแห้งในสนาม

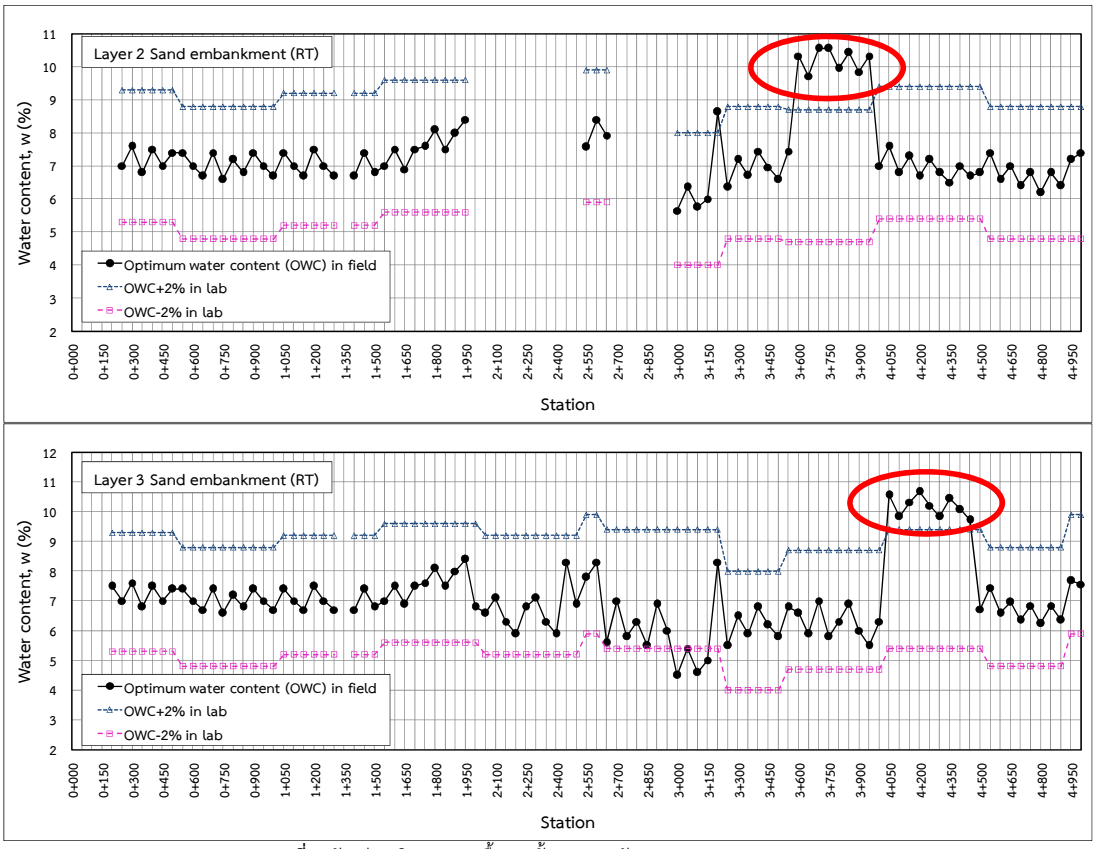
จากการตรวจสอบการก่อสร้างถนนในแต่ละระดับของชั้นรองพื้นทาง จำนวน 708 การทดสอบ พบว่าส่วนใหญ่มีค่าความหนาแน่นแห้งของการบดอัดในสนามสอดคล้องตามข้อกำหนดมาตรฐานกรมทางหลวง แต่มีเพียง 4 การทดสอบเท่านั้นที่มีค่าค่าความหนาแน่นแห้งของการบดอัดในสนามน้อยกว่า 95% ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดในห้องปฏิบัติการ (ดูรูปที่ 4)

4.3.2.2 ค่าปริมาณความชื้นในสนาม

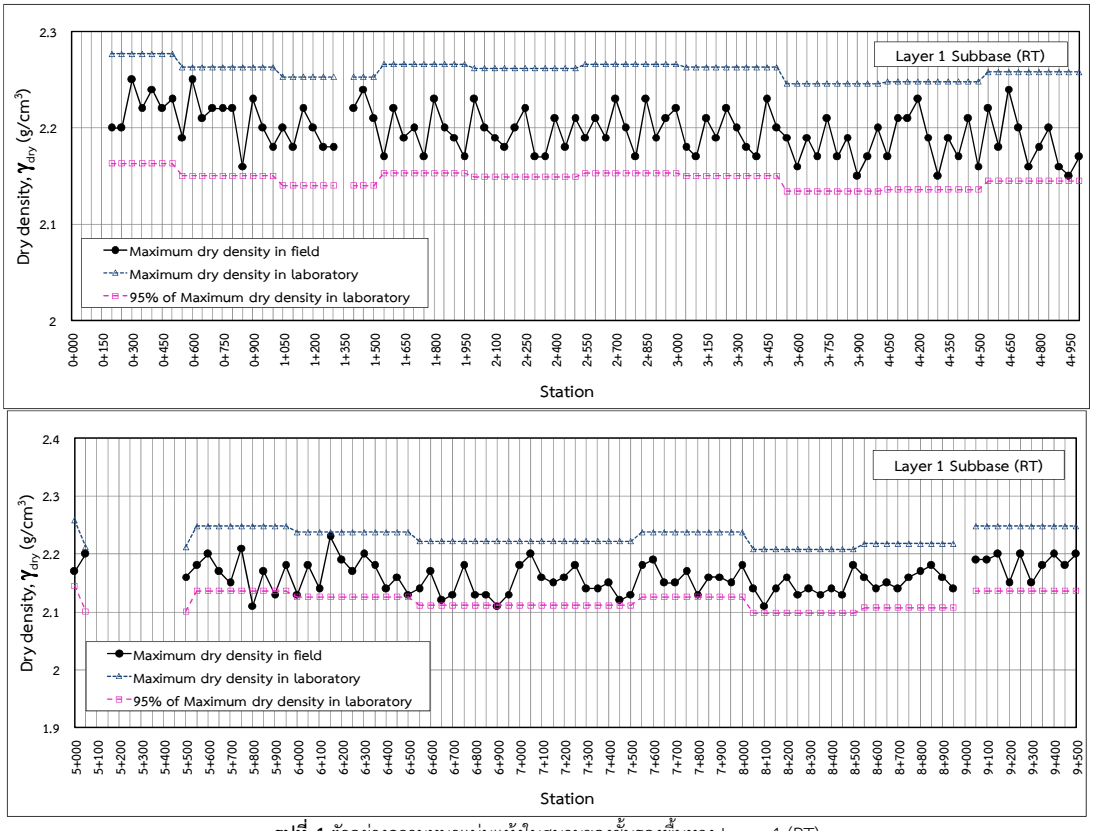
จากค่าปริมาณความชื้นที่ใช้ในการบดอัดในสนาม ผลการทดสอบส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ± 2% ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนด มีเพียง 17 การทดสอบจาก 708 การทดสอบเท่านั้นที่มีค่าปริมาณความชื้นน้อยกว่า OMC-2% รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างปริมาณความชื้นของชั้นรองพื้นทาง Layer 1 (RT) ช่วง กม.8+050 ถึง กม.8+500 ที่มีค่าปริมาณความชื้นต่ำกว่าช่วง ± 2% จำนวน 7 จุดที่ทำการทดสอบในสนาม โดยมีค่าปริมาณความชื้นเฉลี่ย 4.91% เมื่อเปรียบเทียบกับค่า OMC ในห้องปฏิบัติการที่ 7.6% ซึ่งมีค่า -2.69% จากค่า OMC



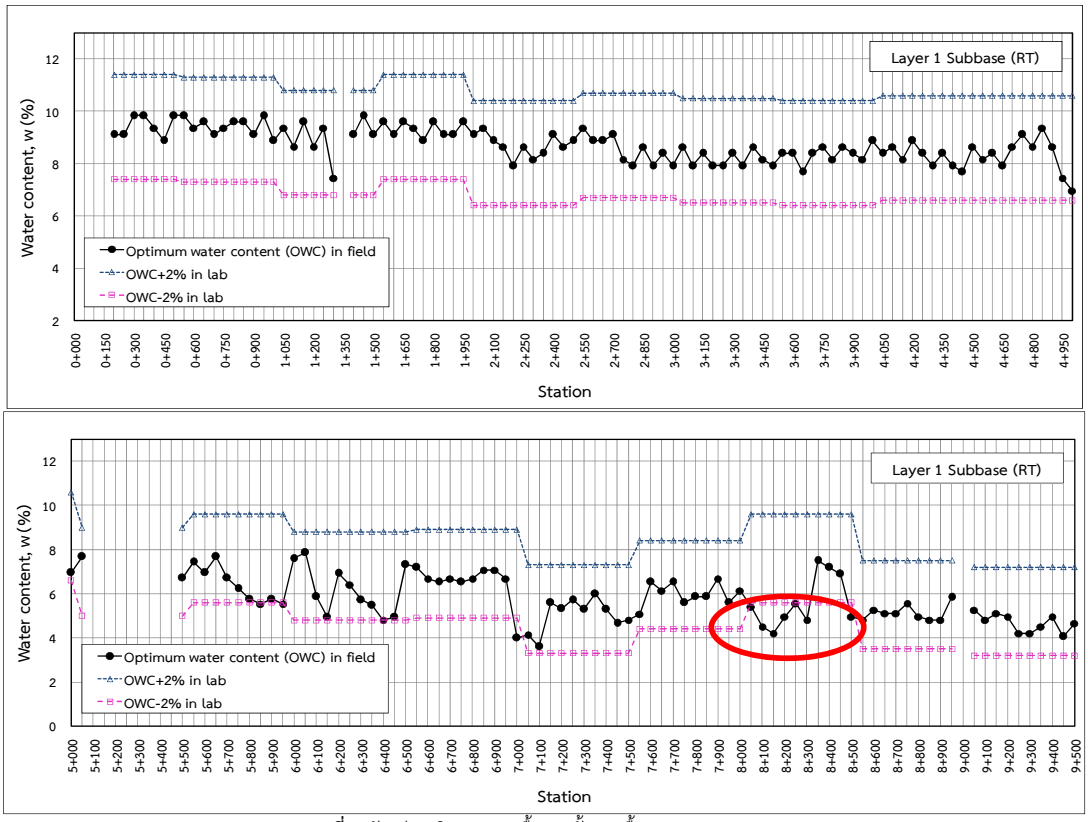
รูปที่ 2 ตัวอย่างความหนาแน่นแห้งในสนามของชั้นทรายถมคันทาง Layer 1 (RT)



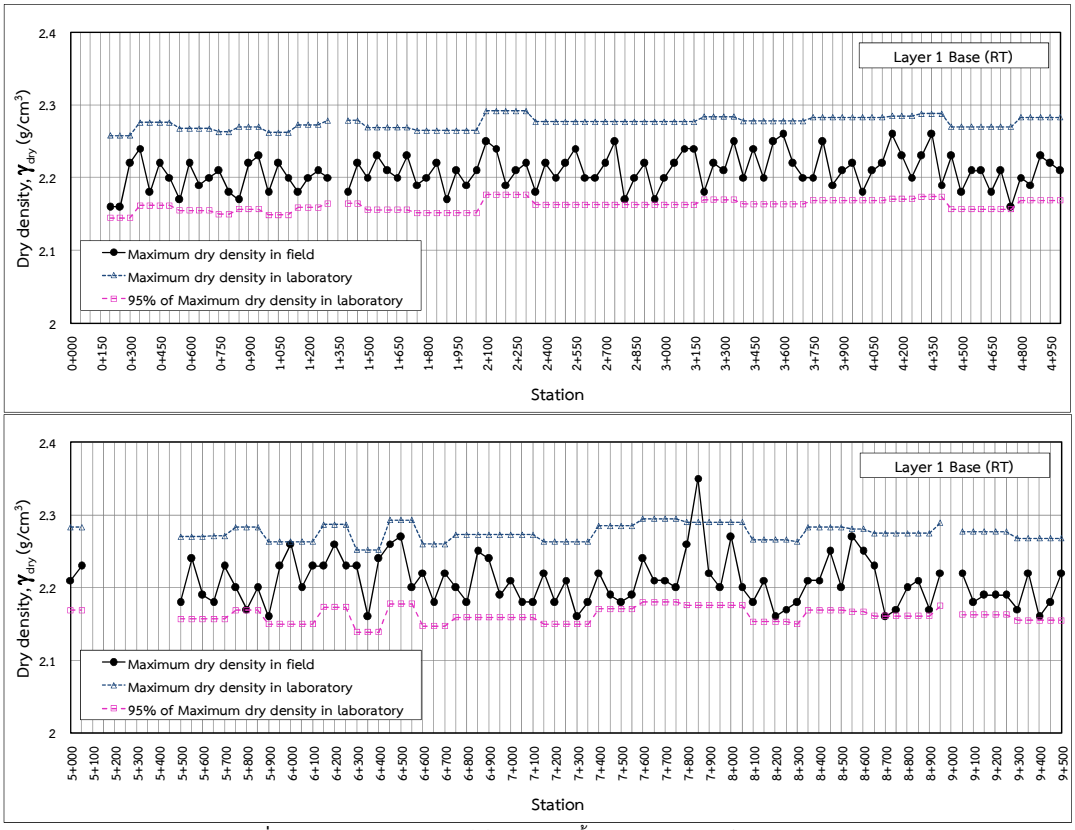
รูปที่ 3 ตัวอย่างปริมาณความชื้นของชั้นทรายถมคันทาง Layer 2 และ 3 (RT)



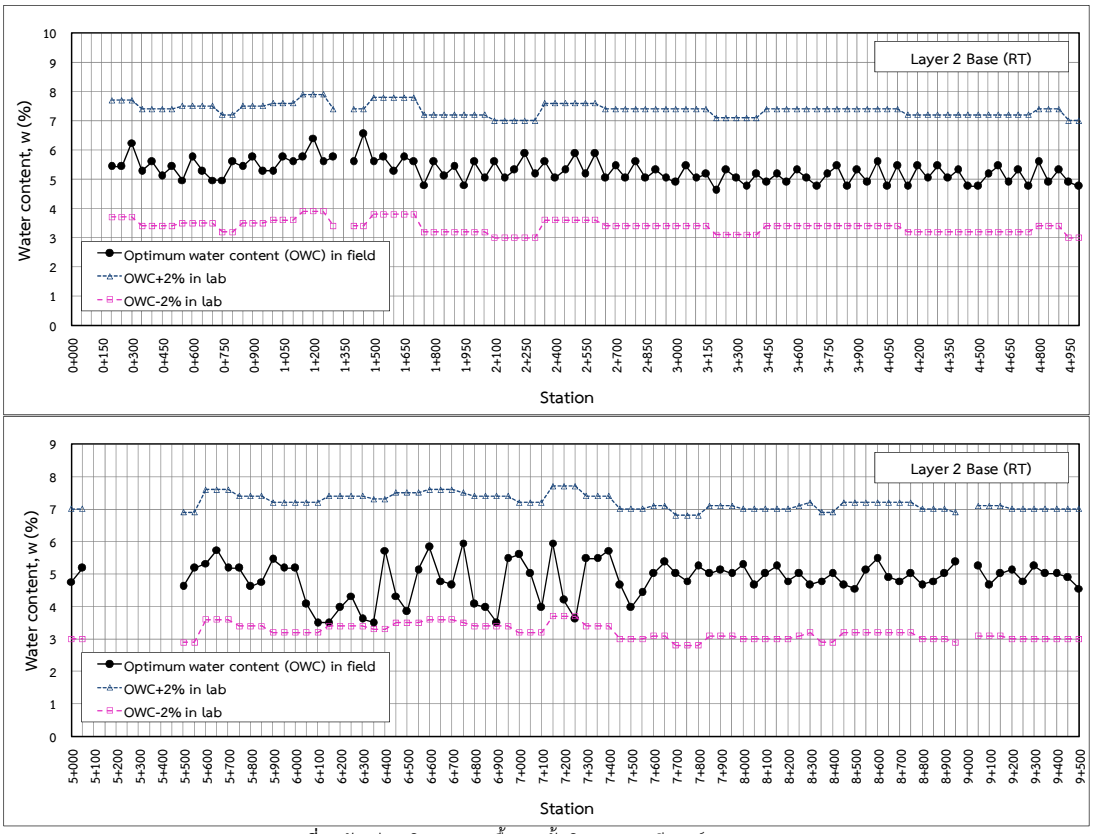
รูปที่ 4 ตัวอย่างความหนาแน่นแห้งในสนามของชั้นรองพื้นทาง Layer 1 (RT)



รูปที่ 5 ตัวอย่างปริมาณความชื้นของชั้นรองพื้นทาง Layer 1 (RT)



รูปที่ 6 ตัวอย่างความหนาแน่นแห้งในสนามของชั้นหินคลุกผสมซีเมนต์ Layer 1 (RT)



รูปที่ 7 ตัวอย่างปริมาณความชื้นของชั้นหินคลุกผสมซีเมนต์ Layer 2 (RT)

ตารางที่ 3 ค่าเชิงสถิติของความหนาแน่นแห้งในสนามของชั้นโครงสร้างทางต่างๆ

ชั้นทาง	Number of tests	Average % compaction	SD of % compaction	Coefficient of variation (COV)	% compaction less than 95%		จำนวนการทดสอบปริมาณน้ำที่เหมาะสมในสนาม			
					จำนวนจุดของการทดสอบในสนาม	%	ต่ำกว่า OMC	สูงกว่า OMC	ต่ำกว่า OMC−2%	สูงกว่า OMC+2%
ทรายถมคันทาง (Sand embankment)	1179	96.94	14.71	0.152	8	0.68	734 จุด (62.26%)	445 จุด (37.74%)	26 จุด (2.21%)	21 จุด (1.78%)
รองพื้นทาง (Subbase)	708	97.15	11.06	0.114	4	0.56	392 จุด (55.37%)	316 จุด (44.63%)	17 จุด (2.40%)	0 จุด
พื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ (Cement base)	706	97.13	12.35	0.127	1	0.14	448 จุด (63.46%)	258 จุด (36.54%)	3 จุด (0.42%)	0 จุด

4.3.3 การก่อสร้างชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์

4.3.3.1 ค่าความหนาแน่นแห้งในสนาม

จากการตรวจสอบการก่อสร้างถนนในแต่ละระดับของชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์จำนวน 706 การทดสอบ พบว่าส่วนใหญ่มีค่าความหนาแน่นแห้งของการบดอัดในสนามสอดคล้องตามข้อกำหนดมาตรฐานกรมทางหลวง แต่มีเพียง 1 การทดสอบเท่านั้นที่มีค่าความหนาแน่นแห้งของการบดอัดในสนามน้อยกว่า 95% ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดในห้องปฏิบัติการ (ดูรูปที่ 6)

4.3.3.2 ค่าปริมาณความชื้นในสนาม

จากค่าปริมาณความชื้นที่ใช้ในการบดอัดในสนาม ผลการทดสอบส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ± 2% ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนด มีเพียง 3 การทดสอบจาก 706 การทดสอบเท่านั้นที่มีค่าปริมาณความชื้นน้อยกว่า OMC-2% รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างปริมาณความชื้นของชั้นหินคลุกผสมซีเมนต์ Layer 2 (RT)

5. วิเคราะห์ผลและสรุปผลการศึกษา

ตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าเชิงสถิติของค่าความหนาแน่นแห้งในสนามของชั้นโครงสร้าง พบว่าคันดินแต่ละชั้น ได้แก่ ชั้นทรายถมคันทาง, ชั้นรองพื้นทาง และชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์มีค่าความหนาแน่นแห้งในสนามเฉลี่ยเท่ากับ 96.94, 97.15 และ 97.13% ตามลำดับ โดยมีข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในแต่ละชั้นเท่ากับ 0.68, 0.56 และ 0.14% ตามลำดับ มีความกระจายของข้อมูลค่อนข้างน้อยโดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 14.7, 11.06 และ 12.35 ตามลำดับ และมีค่า COV เพียง 0.152, 0.114 และ 0.127 ตามลำดับ จากผลการทดสอบที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าค่าความหนาแน่นแห้งในสนามของชั้นทรายถมคันทางมีความแปรปรวนสูงที่สุด ส่วนผลการทดสอบปริมาณความชื้นในสนามพบว่าคันดินทั้ง 3 ชั้นมีจำนวนข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (OMC±2%) เท่ากับ

3.99, 2.40 และ 0.42% ตามลำดับ โดยชั้นที่มีความแปรปรวนของปริมาณความชื้นในสนามมากที่สุดคือชั้นทรายถมคันทาง และพบว่าปริมาณความชื้นในสนามมักจะมีค่าน้อยกว่า OMC นั่นหมายความว่าการควบคุมคุณภาพการก่อสร้างคันดินในโครงสร้างทางเส้นนี้มีคุณภาพดี โดยมีแนวโน้มความแปรปรวนของผลการบดอัดโดยเรียงลำดับจากมากไปน้อยคือ ชั้นทรายถมคันทาง, ชั้นรองพื้นทาง และชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัย จากมหาวิทยาลัยบูรพา “งบประมาณเงินอุดหนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประเภท Fundamental Fund ปีงบประมาณ พ.ศ. 2566” เลขที่สัญญา ววน.24/2566 และได้รับการสนับสนุนจากกองทุนวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยบูรพา ในการจัดตั้งหน่วยวิจัยวิศวกรรมโยธาและโครงสร้างพื้นฐานเพื่อความยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

[1] Turnbull, W. J., Compton, J. R. and Ahlvin, R.G. (1966). Quality control of compacted earthwork. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE,* 95, No. SM1, pp. 93-103.

[2] Smith, T. W. and Prysock, R. H. (1966). Discussion of “Quality control of compacted earthwork”. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE,* 92, No. SM5, pp. 142.

[3] Das, M.B. (2010). *Principle of Geotechnical Engineering.* 7th Edition, Cengage Learning, Stamford.

[4] กรมทางหลวง (2532). ทล.ม. 103/2532 มาตรฐานทรายถมคันทาง.

[5] กรมทางหลวง (2532). ทล.ม. 205/2532 มาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม.