การทดสอบความหนาแน่นงานทางในสนามด้วยเครื่องมือนิวเคลียร์

Determination of Density and Water Content of Compacted Soil by Using Nuclear Method

นายภานุพัฒน์ ประดิษฐ์
นายสาระ สาระกิจ
นายอนุสรณ์ ศรีบุปผา

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

การทดสอบความหนาแน่นงานทางในสนามด้วยเครื่องมือนิวเคลียร์

Determination of Density and Water Content of Compacted Soil by Using Nuclear Method

นายภานุพัฒน์ ประดิษฐ์

นายสาระ สาระกิจ

นายอนุสรณ์ ศรีบุปผา

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DETERMINATION OF DENSITY AND WATER CONTENT OF COMPACTED SOIL BY USING NUCLEAR METHOD

BHANUPAT PRADIT
SARA SARAKIJ
ANUSORN SRIBUBPA

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ การทดสอบความหนาแน่นงานทางในสนามด้วยเครื่องมือนิวเคลียร์

Determination of Density and Water Content of Compacted Soil by Using Nuclear Method

นักศึกษา	นายภานุพัฒน์ ประดิษฐ์	รหัสนักศึกษา 53011248
	นายสาระ สาระกิจ	รหัสนักศึกษา 53011669
	นายอนุสรณ์ ศรีบุปผา	รหัสนักศึกษา 53011851
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว	
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2556	

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ.สุพจน์ ศรีนิล	
อาจารย์ปรีชานัน ศรีแก้ว	
ผศ.สมเกียรติ์ ขวัญพฤกษ์	
ผศ.ดร.ธนาดล คงสมบูรณ์	
อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2556 เวลา 13.00 – 14.00 น. CV - 201

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุพจน์ ศรีนิล)

ประธานสาขาวิชาวิศวกรรโยธา

วันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การทดสอบความหนาแน่นงานทางในสนามด้วยเครื่องมือนิวเคลียร์ Determination of Density and Water Content of Compacted Soil by Using Nuclear Method
นักศึกษา	นายภานุพัฒน์ ประดิษฐ์ รหัสนักศึกษา 53011248 นายสาระ สาระกิจ รหัสนักศึกษา 53011669 นายอนุสรณ์ ศรีบุปผา รหัสนักศึกษา 53011851
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์อุบะ ศิริแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ.สมเกียรติ์ ขวัญพฤกษ์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา	2556

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ศึกษาคุณสมบัติการบดอัดและค่าซีบีอาร์ของดินเม็ดละเอียด ลูกรัง และหินคลุก ที่มีการกระจายขนาดคละตามมาตรฐานกรมทางหลวง ผลทดสอบดินตัวอย่างทั้งหมดรวบรวม จากโครงการก่อสร้างและปรับปรุงถนนทางหลวง หมายเลข 304 มีนบุรี – ฉะเชิงเทรา ของกรมทางหลวงผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากราฟการบดอัด สามารถใช้ ในการประมาณกราฟการบดอัดของดินทั้งสามประเภทได้ ค่าซีบีอาร์ของดินประเภทเดียวกันมี ความสัมพันธ์โดยตรงกับหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด แม้ว่าค่าซีบีอาร์ของดินแต่ละประเภทจะมีความ แตกต่างกัน แต่ค่าซีบีอาร์ของดินเดียวกันจะแปรผันตามหน่วยน้ำหนักแห้ง ดังนั้น อัตราส่วนซีบีอาร์และอัตราส่วนหน่วยน้ำหนักแห้งของดินประเภทต่างๆ จึงสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ เดียวกันได้ ผลการบดอัดดินเม็ดละเอียดด้วยรถบดอัดในสนามที่ปริมาณความชื้นเหมาะสม แสดง ให้เห็นว่าหน่วยน้ำหนักแห้งของดินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัดใน ช่วงแรก และมีค่าประมาณคงที่ใกล้เคียงกับหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดในห้องปฏิบัติการ ที่จำนวน เที่ยววิ่งเท่ากับ 12 เที่ยว ผลการศึกษาทั้งหมดนำมาซึ่งวิธีการบดอัดและควบคุมการบดอัดที่มี ประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Determination of Density and Water Content of the Compacted Soil by Using Nuclear Method		
Name	MR. BHANUPAT	PRADIT	ID.53011248
	MR. SARA	SARAKIJ	ID.53011669
	MR. ANUSORN	SRIBUBPHA	ID.53011851
Advisor	MS. Uba Sirikaaew		
Co-Advisor	Somkiet Kwanpruk Assisstant. Professer		
Degree	BACHELOR CIVIL ENGINEERING		
Year	2013		

Abstract

This project compaction characteristics and CBR values of fine- grained soils, lateritic soils and crushed rocks. All soil test results were collated from road construction and repair projects of the Road 304, Department of highway. Compaction curves can be used to predict the curves of the three soil types. For a given soil type, the CBR value relates directly to the maximum dry unit weight. Even though the CBR values are different for different soils, the CBR of a specific soil is dependent upon the dry unit weight. Consequently, the relationship between normalized CBR and the normalized dry unit weight is essentially the same. The field compaction results of a fine-grained soil at the optimum water content, OWC, shows that initially the dry unit weight rapidly increases with roller pass and almost constant and close to the laboratory maximum dry unit weight at 12th roller pass. All the study results lead to the effective compaction method and construction control.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องด้วยความกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือสนับสนุนเป็นอย่างดี ทั้งด้านวิชาการ ด้านการดำเนินงานและอนุเคราะห์ข้อมูลในการดำเนินงานวิจัย จากคณาจารย์และกลุ่มบุคคลต่างๆ ทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ อ.อุบะ ศิริแก้ว อย่างสุดซึ้งที่กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ทั้งความรู้คำแนะนำตลอดจนข้อมูลทางวิชาการด้านปฐพีกลศาสตร์ และช่วยกระตุ้น จนโครงงานฉบับนี้สำเร็จด้วยดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมเกียรติ์ ขวัญพฤกษ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำในการศึกษางานวิจัย กรมทางหลวง ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและช่วยเหลือในการดำเนินงานในภาคสนาม

นายภานุพัฒน์ ประดิษฐ์

นายสาระ สาระกิจ

นายอนุสรณ์ ศรีบุปผา

คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูปภาพ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 ปริทัศน์ วรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บทนำ	4
2.2 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Proctor (1930)	4
2.3 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Hogentogler (1936)	5
2.4 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Buchanan (1942)	7
2.5 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Hilf (1956)	8
2.6 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Lambe (1985)	9
2.7 มาตรฐานวัสดุถมคันทาง (Embankment: Material)	11
2.7.1 ขอบข่าย	11
2.7.2 คุณสมบัติวัสดุคันทางประเภทวัสดุดินทั่วไป (Soil)	11
2.8 มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม	11
2.8.1 ขอบข่าย	11
2.8.2 คุณสมบัติ	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.9 มาตรฐานวัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก	12
2.9.1 ขอบข่าย	12
2.9.2 คุณสมบัติ	12
2.10 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (liquid: L.L.)	14
2.10.1 ขอบข่าย	14
2.10.2 นิยาม	14
2.10.3 วิธีทำเครื่องมือและอุปกรณ์	14
2.10.4 การเตรียมตัวอย่าง	15
2.10.5 การทดสอบ	15
2.10.6 การคำนวณ	17
2.10.7 การรายงาน	17
2.10.8 ข้อควรระวัง	18
2.11 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (plastic limit : P.L.)	18
2.11.1 ขอบข่าย	18
2.11.2 นิยาม	18
2.11.3 วิธีทำ	19
2.11.4 การเตรียมตัวอย่าง	19
2.11.5 การรายงาน	19
2.11.6 ข้อควรระวัง	19
2.12 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. (C.B.R.)	20
2.12.1 ขอบข่าย	20
2.12.2 วิธีทำ	20
2.12.3 การทดสอบ	22
2.13 การก่อสร้างและการบดอัด ชั้นโครงสร้างทาง	24
2.13.1 งานชั้นดินถมคันทาง	24
2.13.2 งานชั้นรองพื้นทาง (sub base)	24
2.13.3 งานพื้นทาง	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.14 การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (field density test)	27
2.14.1 วิธีการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม	27
2.14.1.1 ขอบข่าย	27
2.14.1.2 วิธีทำ เครื่องมือและอุปกรณ์	27
2.14.1.3 การทดสอบ	29
2.14.1.4 วิธีตรวจสอบความแน่นแบบ บัลค์ ของทราย	30
2.14.1.5 วิธีหาน้ำหนักของทรายที่บรรจุเต็มกรวย	31
2.14.1.6 วิธีหาค่าความแน่นของดินในสนาม	31
2.14.1.7 การรายงาน	32
2.14.1.8 ข้อควรระวัง	32
2.14.2 การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม โดยวิธีNuclear Method	32
2.14.2.1 หลักการทั่วไปของเครื่องมือ Nuclear Method	32
2.14.2.2 วิธีการทดสอบหาความชื้นในวัสดุชั้นทาง	34
2.14.2.3 ส่วนประกอบของชุดวัดความชื้นและความหนาแน่น	36
2.14.2.4 การเตรียมใช้เครื่องมือ	37
2.14.2.5 การทำ Calibration การ Calibrate	38
2.14.2.6 การทำ Standard Count	38
2.14.2.7 การเตรียมสถานที่ที่ทำการทดสอบ	41
2.14.2.8 การเตรียมสถานที่สำหรับงาน Asphalt, คอนกรีต, ดินแข็ง	42
2.14.2.9 การทดสอบใน Soil Mode	42
2.15 เครื่องจักรกลที่ใช้บดอัดดินในสนาม	44
2.15.1 รถบดล้อเรียบ	44
2.15.2 รถบดล้อยาง	44
2.15.3 รถบดตีนแกะ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
3	**วิธีดำเนินการทำโครงงาน**	47
	3.1 บทนา	47
	3.2 แผนงานดำเนินการ	47
	3.3 ขั้นตอนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ	48
	3.4 การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (field density test) โดยวิธีการ Nuclear Method	48
4	**การศึกษาผลทดลองและวิจารณ์ผล**	50
	4.1 บทนำ	50
	4.2 การบดอัด	50
	4.3 ผลทดสอบ CBR (California Bearing Ratio)	54
	4.4 การทดสอบรอบการบดอัดแน่นในสนามด้วยเครื่องมือกล	76
	4.5 เปรียบเทียบการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม	80
	4.6 ขั้นตอนการบดอัดดิน	82
5	**สรุปผลการทดลอง**	83
เอกสารอ้างอิง		84
ภาคผนวก		ผก.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ขนาดคละของวัสดุรองพื้นทางลูกรัง	12
2.2	ขนาดคละของวัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก	13
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความแน่นของน้ำ	30
4.1	ผลลการทดสอบ Compaction Test ดินถม	51
4.2	ผลลการทดสอบ Compaction Test ดินลูกรัง	52
4.3	ผลลการทดสอบ Compaction Test หินคลุก	53
4.4	ผลการทดสอบ CBR ดินถม ตอก 12 ครั้ง	55
4.5	ผลการทดสอบ CBR ดินถม ตอก 25 ครั้ง	57
4.6	ผลการทดสอบ CBR ดินถม ตอก 56 ครั้ง	59
4.7	ความสัมพันธ์ CBR กับ DRY DENSITY	61
4.8	ผลการทดสอบ CBR ดินลูกรัง ตอก 12 ครั้ง	62
4.9	ผลการทดสอบ CBR ดินลูกรัง ตอก 25 ครั้ง	64
4.10	ผลการทดสอบ CBR ดินลูกรัง ตอก 56 ครั้ง	66
4.11	ความสัมพันธ์ CBR กับ DRY DENSITY	68
4.12	ผลการทดสอบ CBR หินคลุก ตอก 12 ครั้ง	69
4.13	ผลการทดสอบ CBR หินคลุก ตอก 25 ครั้ง	71
4.14	ผลการทดสอบ CBR หินคลุก ตอก 56 ครั้ง	73
4.15	ความสัมพันธ์ CBR กับ DRY DENSITY	75
4.16	ข้อมูลจำนวณเที่ยววิ่งของรถบดอัด กับ ความหนาแน่น	77
4.17	ข้อมูลจำนวณเที่ยววิ่งของรถบดอัด กับ ความหนาแน่น	78
4.18	ผลการเปรียบเทียบการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1	ลักษณะทั่วไปของเส้นการบดอัดดิน (typical compaction curve)	4
2.2	ผลของแรงตึงผิวที่ท าให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion) ในดินเม็ดหยาบ	5
2.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้น นำเสนอโดย Hogentogler	6
2.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้น นำเสนอโดย Buchanan	8
2.5	กราฟแสดงผลของการบดอัดดินน าเสนอโดย Hilf	9
2.6	ผลกระทบของการบดอัดดินที่มีต่อโครงสร้างดิน	10
2.7	การจัดเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่าความชื้นในสนาม	35
2.8	กราฟผลกระทบที่เรียกว่า top layer effect ที่มีต่อการวัดค่าความแน่นแบบ backscatter ที่ความหนาต่างๆกัน	35
2.9	ส่วนประกอบของชุดวัดความชื้นและความหนาแน่นของเครื่องมือ	37
2.10	การทำ Calibration ของเครื่องมือ โดยทดสอบบนวัสดุที่รู้ค่าความหนาแน่นที่แน่นอน	38
2.11	การนำเครื่องทดสอบวางบนแผ่นบอล์คพาราฟินเพื่อทำ Standard count	40
2.12	การเจาะรูโดยใช้ Scraper plate (Drill Rod guid) และแท่ง Drill Rod เป็นการระบุตำแหน่งที่จะนำสารรังสีลงไปในสนามในการเลือกลักษณะการใช้งานแบบ Direct transmission โดยมีการทำสัญลักษณ์หลังจากเจาะเตรียมไว้เพื่อที่จะได้นำเครื่องมือมาวางให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้อง	42
2.13	การกดแท่งรังสีให้เลื่อนลงไปในรูเจาะให้ลึกตามที่ต้องการ โดยคลายล้อคกลไกที่แขนจับ หลังจากนั้นกดปุ่มคำสั่งให้เครื่องทำงาน	43
2.14	รถบดล้อเรียบ	44
2.15	รถบดล้อยาง	45
2.16	รถบดตีนแกะ	45
3.1	แผนผังและขั้นตอนการก่อสร้างดินคันทาง และถนน	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.1	กราฟการทดสอบ COMPACTION TEST ดินถม	51
4.2	กราฟการทดสอบ COMPACTION TEST ดินลูกรัง	52
4.3	กราฟการทดสอบ COMPACTION TEST หินคลุก	53
4.4	กราฟผลการทดสอบ CBR ดินถม ตอก 12 ครั้ง	56
4.5	กราฟผลการทดสอบ CBR ดินถม ตอก 25 ครั้ง	58
4.6	กราฟผลการทดสอบ CBR ดินถม ตอก 56 ครั้ง	60
4.7	กราฟความสัมพันธ์ CBR กับ DRY DENSITY ดินถม	61
4.8	กราฟผลการทดสอบ CBR ดินลูกรัง ตอก 12 ครั้ง	63
4.9	กราฟผลการทดสอบ CBR ดินลูกรัง ตอก 25 ครั้ง	65
4.10	กราฟผลการทดสอบ CBR ดินลูกรัง ตอก 56 ครั้ง	67
4.11	กราฟความสัมพันธ์ CBR กับ DRY DENSITY ดินลูกรัง	68
4.12	กราฟผลการทดสอบ CBR หินคลุก ตอก 12 ครั้ง	70
4.13	กราฟผลการทดสอบ CBR หินคลุก ตอก 25 ครั้ง	72
4.14	กราฟผลการทดสอบ CBR หินคลุก ตอก 56 ครั้ง	74
4.15	กราฟความสัมพันธ์ CBR กับ DRY DENSITY หินคลุก	75
4.16	กราฟจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด กับ ความแน่น	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การบดอัดเป็นวิธีปรับปรุงดินที่ง่ายและได้รับความนิยมอย่างมากในการก่อสร้าง การบดอัด เป็นการไล่อากาศออกจากดินและทำให้ดินแน่นขึ้นด้วยวิธีทางกล คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน หลังปรับปรุงจะดีขึ้น อันได้แก่ กำลังต้านทานแรงเฉือนสูงขึ้น และการอัดตัวและการซึมผ่านน้ำต่ำลง สำหรับดินชนิดหนึ่ง ความหนาแน่นแห้งของดินบดอัดแปรผันตามปริมาณน้ำ และพลังงาน การบดอัดที่พลังงานการบดอัดค่าหนึ่ง ความหนาแน่นแห้งของดินจะเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณน้ำในดิน เพิ่มขึ้น น้ำจะทำให้เม็ดดินอ่อนนุ่มและทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นให้เม็ดดินเคลื่อนตัวได้ง่ายทำให้ เม็ดดินเคลื่อนตัวเข้าไปแทรกระหว่างกันได้ง่ายและทำให้ช่องว่างระหว่างเม็ดดินลดลง (ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น) แต่หากปริมาณน้ำในดินมีมากเกินไป น้ำส่วนเกินจะเข้าไปแทนที่เม็ดดินและ แทรกในโพรง (Pore) และทำให้ความหนาแน่นแห้งของดินบดอัดลดลง ดังนั้นความหนาแน่นแห้ง ของดินจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำจนกระทั่งถึงจุดสูงสุดและจะลดลงปริมาณน้ำที่ให้ความหนาแน่น แห้งสูงสุด เรียกว่าปริมาณน้ำเหมาะสม (optimum water content, OWC) ที่ปริมาณน้ำในดินค่าหนึ่ง ความหนาแน่นแห้งของดินจะเพิ่มขึ้นได้ เมื่อเพิ่มพลังงานการบดอัด

ในทางปฏิบัติ การบดอัดในสนาม จะทำได้ก็ต่อเมื่อทราบผลทดสอบการบดอัดในห้อง ปฏิบัติการ (ปริมาณน้ำเหมาะสม และความหนาแน่นแห้งสูงสุด) การบดอัดในสนามทำโดยอาศัยรถบดอัดจนได้ความหนาแน่นแห้งใกล้เคียงกับผลทดสอบในห้องปฏิบัติการ หน่วยงานหลัก เช่น กรมทางหลวงแห่งประเทศไทย กรมโยธาธิการและผังเมือง และกรมทางหลวงชนบท มีข้อกำหนดใน การบดอัดดังนี้ ความหนาแน่นแห้งในสนามต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของความหนาแน่น แห้งในสนามสูงสุดที่ได้จากการทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการ และปริมาณน้ำในดินต้องมีค่า อยู่ระหว่าง -3OMC และ +3OMC การบดอัดในสนามจะเป็นแบบนวด (kneading) ด้วยรถบดอัด และให้พลังงานการบดอัดดินแก่ดินผ่านจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด วิ่งยิ่งมากพลังงานการบดอัดที่ ให้แก่ดินก็ยิ่งมากตาม รถบดอัดที่ใช้กับงานถนนได้แก่ รถบดล้อเหล็ก รถบดล้อยาง และ รถบดสั่น เทือน การทำงานบดอัด และควบคุมงานบดอัดแน่นในสนาม ไม่มีมาตรฐานควบคุมจำนวนเที่ยววิ่ง ของรถบดอัด คนขับรถบดอัดส่วนใหญ่ อาศัยประสบการณ์ในการบดอัดโดยพยายามวิ่งให้ได้ จำนวนเที่ยวมากที่สุดเพื่อให้ได้ความหนาแน่นแห้งที่กำหนด ผู้ควบคุมงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะตรวจสอบความหนา แน่นในสนามด้วยวิธีแทนที่ด้วยทราย (sand cone method) และนิวเคลียร์ (nuclear) หากความ หนาแน่นแห้งและปริมาณน้ำในดินไม่ได้ตามข้อกำหนด ผู้รับจ้างต้องทำการบดอัดใหม่ จะเห็นได้ ว่าจำนวนเที่ยวของรถบดอัดมีความสำคัญอย่างมาก ต่อการบดอัดและควบคุมการทำงาน หาก จำนวนเที่ยวการบดอัดน้อยเกินไป ความหนาแน่นแห้งและปริมาณน้ำในดินไม่ได้ตามข้อกำหนด แต่หากจำนวนเที่ยวการบดอัดมากเกินไป ถึงแม้ความหนาแน่นแห้งในสนามจะได้ตามข้อกำหนด แต่ก็เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ทั้งแรงงาน น้ำมันเชื้อเพลิง และความเสื่อมสภาพของรถบดอัด งานวิจัยนี้จะเก็บรวบรวมข้อมูลผลบดอัดและการทดสอบซี บี อาร์ ในห้องปฏิบัติการจาก กรมทางหลวง เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ซี บี อาร์ และหน่วยน้ำหนักของดินเม็ดละเอียด ลูกรัง และหินคลุกที่มีขนาดคละตามมาตรฐานของ กรมทางหลวง นอกจากนี้ จะศึกษาการพัฒนาความแน่นแห้งของเม็ดดินละเอียดบดอัดใน สนามกับจำนวนเที่ยววิ่ง ผลการศึกษาทั้งหมดนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการควบคุมคุณภาพงานทางและช่วยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบดอัด

1.2 วัตถุประสงค์

1.เพื่อรวบรวมข้อมูลความแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density) และ ปริมาณความชื้นเหมาะสม (optimum water content, OWC) ในห้องปฏิบัติการของ ดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก

2.เพื่อรวบรวมค่า CBRจากห้องปฏิบัติการ และนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และค่าความแน่นแห้งสูงสุด ความสัมพันธ์นี้สามารถใช้ประมาณค่า CBR เมื่อทราบค่าความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดสอบการบดอัด

3.เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่าง ความแน่นแห้งในสนาม และจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด

4.เพื่อนำเสนอขั้นตอนการบดอัดในสนามที่มีประสิทธิภาพ (ได้ความแน่นตามข้อกำหนด และลดต้นทุนการบดอัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยสองส่วนหลักการเก็บรวมรวมผลทดสอบในห้องปฏิบัติการ และ การเก็บรวบรวมผลดทสอบในสนาม ผลทดสอบในห้องปฏิบัติการประกอบด้วยผลทดสอบการ กระจายขนาดของเม็ดดิน ผลทดสอบการบดอัดดิน และผลทดสอบ CBR ดินตัวอย่างที่เก็บ รวบรวม ได้แก่ ดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก ข้อมูลผลการศึกษารวบรวมจาก กรมทางหลวง ซึ่งเป็นกำกับดูแลงานในพื้นที่ ประเทศไทย ดินเม็ดละเอียดถูกบดอัดด้วยพลังงานมาตรฐานของ Proctor ในขณะที่ดินลูกรังและ หินคลุกถูกบดอัดด้วยพลังงานสูงกว่ามาตรฐานของ Proctor ผลทดสอบการบดอัดจะนำมาวิเคราะห์ผลทดสอบ CBR และผลดทดสอบการบดอัด จะนำมา สร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และความหนาแน่นแห้งสูงสุด ผลดทดสอบในสนาม ประกอบด้วยความหนาแน่นแห้งในสนาม ปริมาณความชื้นเหมาะสม และจำนวนเที่ยววิ่งของรถ บดอัด ความหนาแน่นแห้ง และปริมาณน้ำในสนามวัดโดยชุดตรวจวัดนิวเคลียร์ ผลทดสอบใน สนามจะมาสร้าง ความเข้าใจถึงการพัฒนาความหนาแน่นแห้ง และจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด ข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และในสนามจะนำมาวิเคราะห์ ร่วมกันเพื่อนำเสนอขั้นตอน การบดอัดในสนามที่มีประสิทธิภาพ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.ทราบความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้ compaction curve ในการประมาณ ความแน่นแห้งและปริมาณความชื้นเหมาะสมของดินเม็ดละเอียด ดินลูกรังและหินคลุก ที่บดอัดในห้องปฏิบัติการ

2.ทราบความสัมพันธ์ระหว่างCBR และความหนาแน่นแห้งสูงสุด ของดินเม็ด ละเอียด ดินลูกรังและหินคลุก ที่กระจายขนาดของเม็ดดินตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ทราบลักษณะการพัฒนาความหนาแน่นแห้งในสนามตามจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด

3.ได้ขั้นตอนการทำงาน และควบคุมงานบดอัด ที่มีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

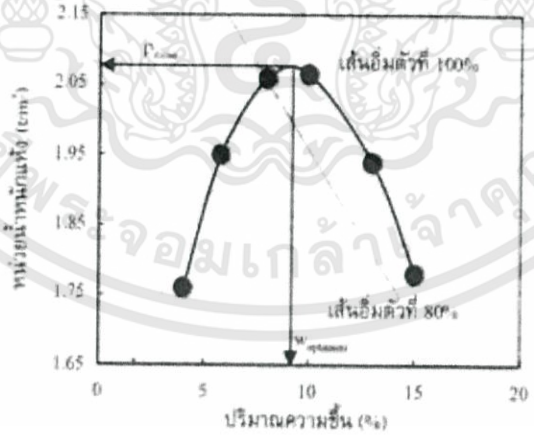
ปริทัศน์ วรรณกรรม งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

งานบดอัดดินเป็นงานก่อสร้างที่สำคัญอีกงานหนึ่งในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค เช่น การก่อสร้างคันดิน (raised embankment) งานถมดินหลังกำแพงกันดิน (backfill behind retraining wall) บดอัดกลบดิน (Backfilled trench) ตลอดจนงานเขื่อนดิน (earth dam) ซึ่งการ บดอัดดินเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของโครงสร้างมีความจำเป็นอย่างมาก ดังนั้นมีความจำเป็นที่จะต้อง ศึกษาทั้งทางด้านทฤษฎีการบดอัดดิน การทดสอบในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบในสนามเพื่อ ประกอบการออกแบบโครงสร้างดังกล่าว

2.2 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Proctor (1930)

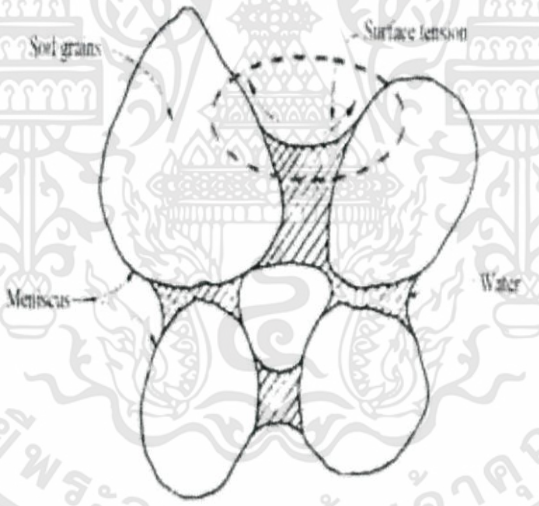
ทฤษฎีพื้นฐานการบดอัดดินสำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่นได้ถูกสร้างความสัมพันธ์ขึ้นโดย R.R.Proctor (1930) โดยเริ่มต้นเมื่อมีการสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บน้ำใน Los Angeles และเขาได้ พัฒนาหลักการบดอัดดินโดยตีพิมพ์ในหนังสือ Engineering New-Record (proctor, 1933) แล้วนำ วิธีการทดสอบนี้ไปใช้ในห้องปฏิบัติการโดยเรียกวิธีการดังกล่าวว่า Proctor Test รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของเส้นการบดอัดดิน typical compaction curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Proctor ได้กล่าวถึงกลไกของการเกิดเส้นการบดอัดดังแสดงในรูปที่ 2.1 ไว้ว่า ประสิทธิภาพของการบดอัดดินถูกกำหนดโดยแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดิน โดยแบ่งการบดอัดดิน เป็น 2 ด้านคือ ด้านแห้งและด้านเปียก สำหรับการบดอัดดินที่แห้งมากๆ ดินจะมีแรงเสียดทานที่สูง มาก เนื่องจากแรงตึงผิวที่เกิดจากความชื้นคาพิลลารี่ (Capillary Moisture) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 เป็นผลให้การบดอัดดินทำได้ยาก แต่เมื่อเติมน้ำเข้าไปในดินที่แห้งมากๆ น้ำจะไปลดแรงคาพิลลารี่ และเป็นผลให้แรงเสียดทานลดลงไปด้วย ถ้าเติมน้ำเข้าไปอีกเรื่อยๆ จนน้ำไปสลายแรงเสียดทาน ได้แล้ว น้ำก็จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นทำให้เม็ดดินเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ จนถึงปริมาณน้ำที่ เต็มช่องว่างในช่วงหนึ่งก็จะทำให้ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด โดยเรียกจุดที่ดินมีความหนาแน่น แห้งสูงสุดว่า maximum dry density และเรียกปริมาณความชื้นที่จุดนี้ว่า optimum moisture content หลังจากจุดนี้ เมื่อเติมน้ำเข้าไปอีกจะทำให้ความหนาแน่นแห้งลดลง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเข้า ไปแทนที่เนื้อดิน ทำให้เนื้อดินที่มีในปริมาตรที่เท่ากันลดลง อีกทั้งเกิดจากความถ่วงจำเพาะของ น้ำน้อยกว่าดิน ในขณะที่ความหนาแน่นเปียกมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อความชื้นในดินสูงมากๆ พบว่า ดินจะอยู่ในสภาพอ่อนตัว ซึ่งไม่อยู่ในสภาพที่สามารถรับน้ำหนักได้อีกต่อไป



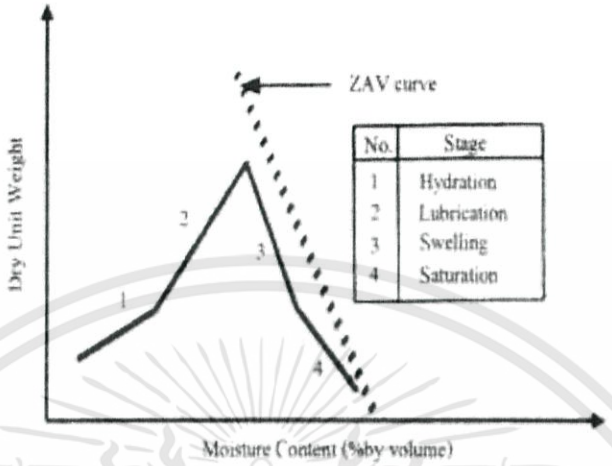
รูปที่ 2.2 ผลของแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion)ในดินเม็ดหยาบ

2.3 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Hogentogler (1936)

Hogentogler นำเสนอเส้นกราฟการบดอัดที่แตกต่างกับ Proctor กล่าวคือ เขาได้นำเสนอเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง (dry density) กับปริมาณความชื้นในรูปของ ปริมาณน้ำต่อปริมาตรรวม (molding moisture content: V_W/V) โดยลักษณะของเส้นกราฟแสดง ด้วยเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 เส้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งสาเหตุที่เขาได้นำเสนอการพล็อตเส้นกราฟแบบนี้ เนื่องจากเขาพบว่าน้ำมีบทบาทอยู่ 4 ส่วน แบ่งได้เป็น 4 ช่วงที่มีผลทำให้ดินเกิดความหนาแน่นแห้ง สูงสุด และทำให้โครงสร้างของดินบดอัดมีความแตกต่างกันโดยมีรายละเอียดแต่ละช่วง



รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นนำเสนอโดย Hogentogler

1. Hydration Stage เขากล่าวว่าในช่วงนี้น้ำจะถูกดูดซึมโดยอนุภาคของดินในลักษณะ เป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ห่อหุ้มอนุภาคดิน ในลักษณะเดียวกับเมื่อพรมน้ำลงไปในดินแห้ง ในช่วงแรกอนุภาคดินจะดูดซึมน้ำทันทีเพื่อไปห่อหุ้มอนุภาคดินก่อน โดยน้ำ ส่วนกลางที่จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นนั้นยังไม่มี

2. Lubrication Stage ในช่วงนี้น้ำจะมีบทบาทเป็นสารหล่อลื่น เป็นผลให้ดินเกิดการ จัดเรียงตัวกันใหม่ในลักษณะที่มวลดินมีความแน่นขึ้น โดยยังคงมีอากาศอยู่ในมวล ดินบางส่วน นั่นหมายถึงความหนาแน่นแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเมื่อถึงจุดปริมาณ น้ำที่เหมาะสม (optimum moisture content; OMC) จะทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งมี ค่าสูงสุด (maximum dry density)

3. Swelling Stage ในช่วงนี้เกิดจากการเติมน้ำที่เกินปริมาณน้ำที่เหมาะสม อากาศใน ส่วนที่มีอยู่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากปริมาตรของมวลดินมีค่าน้อยอยู่แล้ว และอยู่ในสภาพที่แน่น ซึ่งจะไม่ให้อากาศที่มีอยู่ออกไป ดังนั้นเมื่อเติมน้ำเข้าไปอีก มวลดินจึงเกิดการบวมตัวในขณะที่ปริมาตรอากาศคงที่อากาศที่มีอยู่ออกไป ดังนั้น เมื่อเติมน้ำเข้าไปอีก มวลดินจึงเกิดการบวมตัวในขณะที่ปริมาตรอากาศคงที่

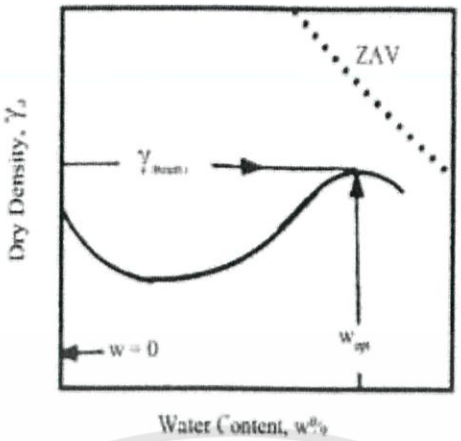
4.Saturation Stage ในช่วงนี้ เมื่อเติมน้ำเข้าไปอีก น้ำจะเข้าไปแทนที่อากาศในช่องว่าง ที่เหลืออยู่ในมวลดิน เป็นผลให้ระดับความอิ่มตัว (degree of saturation) เพิ่มมากขึ้น และมีแนวโน้มเข้าใกล้เส้นอากาศเป็นศูนย์ (Zero Air Void; ZAV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Buchanan (1942)

เขาได้อธิบายเส้นกราฟการบดอัดของดินเม็ดหยาบ โดยเขาพบว่า นอกจากจุดที่มีความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ปรากฏบนเส้นกราฟการบดอัดแล้ว ก่อนถึงด้านแห้งของการบดอัดจะมีจุดที่ แสดงถึงค่าความหนาแน่นแห้งต่ำสุดดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งเขาได้อธิบายถึงช่วงที่ดินมีความ หนาแน่นแห้งลดลงจนถึงจุดที่มีค่าความหนาแน่นแห้งต่ำสุดว่า ถ้าหากเริ่มบดอัดดินเม็ดหยาบที่ แห้งมากๆ หรือดินที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับศูนย์ เมื่อเติมน้ำเข้าไปในช่วงแรกจะทำให้ความ หนาแน่นแห้งลดลงจนถึงจุดความหนาแน่นแห้งต่ำสุด เมื่อเลยจุดนี้ไปก็จะเข้าสู่เส้นกราฟการบด อัดปกติ ซึ่งถ้าสังเกตจากเส้นกราฟพบว่า เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นแห้งที่จุดปริมาณความชื้น เท่ากับศูนย์กับจุดที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด จะมีช่วงความแตกต่างกันค่อนข้างน้อย และเขาได้ กล่าวในเชิงวิชาการไว้ว่า สำหรับกรณีของทรายที่มีความแห้งมากๆ เมื่อเติมน้ าในช่วงแรก อนุภาค ดินจะจับตัวกันด้วยแผ่นฟิล์มบางๆ ของน้ าในลักษณะคล้ายกระจุกของก้อนดินหรือทรายรอบตัว เอง ที่เรียกว่า Arching Effect ซึ่งเป็นผลให้เกิดช่องว่างในมวลดินมากขึ้น โดย Arching Effect จะพัฒนาขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดที่ความหนาแน่นแห้งต่ำสุด ดังนั้นปฏิกิริยาของน้ำที่เติมในช่วงแรกๆ จะแตกต่างจากกรณีของ Hogentrogler และ Proctor เนื่องจากดินทรายไม่มีประจุลบ ดังนั้นเมื่อเติม น้ำจะเกิดแรงตึงผิวทำให้เกิดแรงยึดแน่นปรากฏ (apparent cohesion) และเมื่อเติมน้ำมากขึ้น แผ่นฟิล์มจะมีความหนาขึ้น มีผลทำให้ Arching Effect ลดน้อยลงไป เป็นผลให้แรงดึงดูดของแรง ตึงผิวลดลงตามลำดับ แล้วอนุภาคดินก็เริ่มจัดเรียงตัวกันใหม่ และหลังจากนั้นก็จะเป็นไปตาม ทฤษฎีที่ได้กล่าวไปแล้วแต่เขาได้ให้ความหมายของ OMC แตกต่างจากคนอื่น กล่าวคือ OMC คือ น้ำที่มีอยู่พอดีในมวลดินบดอัดที่ให้ดินอยู่ในสภาพที่ไปสลายแรงตึงผิวพอดี ที่เรียกว่า neutralizes surface tension และเมื่อมีพลังงานบดอัดมากระทำ จึงทำให้ทรายจัดเรียงตัวกันใหม่ ทำให้ทรายแน่นขึ้น จนสุดท้ายถึงจุดที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด เมื่อน้ำสูงขึ้นเกิน OMC ดินก็จะ อ่อนตัวลง เป็นผลให้ความหนาแน่นแห้งลดลง โดยสรุปแล้ว ในการบดอัดดินทราย การที่จะให้ ได้ความหนาแน่นแห้งค่อนข้างดี คือช่วงที่ทรายแห้งมากๆ และช่วงความชื้นที่ค่อนไปทางด้าน เปียกไปแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

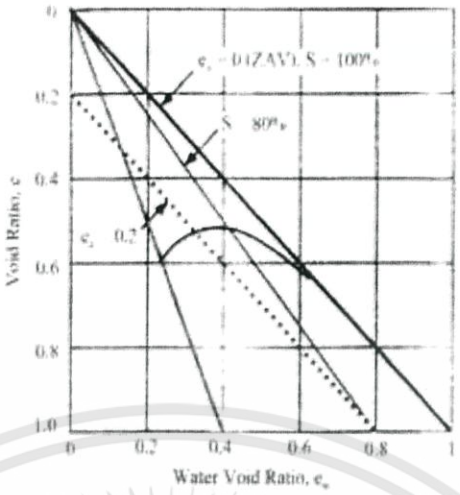


รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและปริมาณความชื้นนำเสนอโดย Buchanan

2.5 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Hilf (1956)

เขาได้นำเสนอแนวความคิดใหม่ โดยวางอยู่บนพื้นฐานของแรงดันน้ำในช่องว่าง (pore water pressure) และแรงดันอากาศในช่องว่าง (pore air pressure) ที่มีอยู่ในมวลดินที่บดอัด เขากล่าวไว้ว่า ดินแห้งเป็นดินที่บดอัดได้ยากเนื่องจากภายในมวลดินมีแรงเสียดทานมากซึ่งเกิดจาก แรงคาพิวลารี่ อย่างไรก็ตาม ในช่วงที่ดินมีความแห้งมากๆ มวลดินจะมีช่องว่างอยู่มาก การบดอัดจึงไปไล่อากาศให้ออกไปได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเติมน้ำเพิ่มขึ้นแรงตึงผิวก็จะลดลง ทำให้แรงเสียดทานลดลงด้วยโดยความแน่นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปจนกระทั่งถึง ปริมาณน้ำที่เหมาะสม (OMC) ก็จะได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density) เขากล่าวว่า ประสิทธิภาพที่น้อยลงไปจากการบดอัดเมื่อเติมน้ำเลยจุด OMC เนื่องจากอากาศถูกกัก เอาไว้และเกิดการสะสมกันเป็นแรงดันอากาศในมวลดิน เขาได้เสนอเส้นกราฟการบดอัดโดยการ พล็อตความสัมพันธ์ระหว่างตราส่วนช่องว่าง (void ratio; e) และอัตราส่วนน้ำในช่องว่าง (water void ratio; e_w) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงผลการบดอัดดิน เสนอโดย Hilf

โดยพบว่า ที่จุด OMC ค่าอัตราส่วนช่องว่างจะมีค่าน้อยที่สุด โดยจุดเริ่มต้นของเส้นกราฟ เป็นจุดที่ค่าอัตราส่วนช่องว่างมาก และมีค่าระดับความอิ่มตัวน้อย เมื่อบดอัดไปก็จะได้ค่า อัตราส่วนช่องว่างที่น้อยที่สุด ซึ่งจุดนี้สามารถจะหาค่าสัดส่วนของอากาศได้ด้วย และพบว่าที่ค่า ความหนาแน่นแห้งสูงสุด ค่าระดับความอิ่มตัวจะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 80 วิธีของ Hilf ทำให้ง่ายต่อการหาค่าระดับความอิ่มตัวที่จุดต่างๆ บนเส้นกราฟการบดอัด และสามารถหาปริมาณ อากาศที่ความชื้นต่างๆ ได้ด้วย

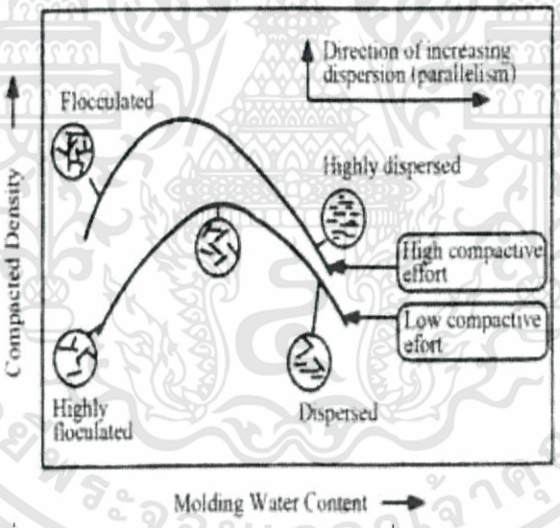
2.6 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Lambe (1985)

เขาได้เริ่มนำผลจากการดูโครงสร้างภายในดินเปรียบเทียบกับความหนาแน่นแห้งของดินที่บดอัด โดยเขาสนใจว่าคุณสมบัติของดินที่บดอัดทางด้านเปียกและทางด้านแห้งมีความแตกต่างกัน เกิดจากสาเหตุใด เขาสังเกตจากปัจจัยหลายๆ อย่างพบว่า ในความเป็นจริงแล้ว การบดอัดในสนามไม่สามารถบดอัดดินให้ได้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด ดังนั้นในการเติมน้ำจะมีช่วงหนึ่งที่เมื่อเติมน้ำเข้าไปในช่วงนี้แล้วคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมเป็นไปตามที่ต้องการ แต่เมื่อเติมน้ำเกินช่วง นี้ไปเป็นช่วงที่เขาไม่แนะนำ ซึ่งเขาให้เหตุผลจากการพิจารณาดูโครงสร้างภายในของดินเหนียว พบว่า ในช่วงการบดอัดดินทางด้านแห้ง ลักษณะโครงสร้างของดินจับตัวกันเป็นกระจุก โดยเมื่อ พิจารณาที่ความชื้นเดียวกัน การใช้พลังงานบดอัดต่างความเป็นกระจุกของดินมีมาก และจะ น้อยลงเมื่อใช้พลังงานการบดอัดที่สูง เป็นผลให้โครงสร้างของดินชิดกันมากขึ้นด้วย เมื่อเติมน้ำ เข้าไปโดยที่พลังงานคงที่ สังเกตเห็นว่าโครงสร้างของดินแน่นขึ้น อัตราส่วนช่องว่างลดลง จนกระทั่งเกินจุด OMC ลักษณะการจัดเรียงตัวของโครงสร้างดินจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแบบขนานกันมากขึ้น เมื่อ ความชื้นยิ่งมากขึ้น ความเป็นระเบียบของโครงสร้างดินก็ยิ่งมากขึ้นตาม การที่โครงสร้างดินจัดเรียงตัวกันในแนวขนานถือว่าไม่ดี เพราะว่าเป็นระนาบที่อ่อนแอที่สุด โดยสรุปแล้ว เขาพยายาม ตอบคำถามว่าทำไมจุดที่มีความ หนาแน่นแห้งเท่ากันแต่ปริมาณน้ำไม่เท่ากัน เมื่อเขาใช้กล้อง จุลทรรศน์ส่องดูพบว่าการบดอัดดินในด้านแห้งมีผลทำให้โครงสร้างดินเป็นแบบระเกะระกะ (flocculated structure) ในทางตรงกันข้าม เมื่อเติมน้ำเกินจุด OMC เป็นการบดอัดทางด้านเปียก มีผลทำให้โครงสร้างดินเป็นแบบขนาน (dispersed structure) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เมื่อพิจารณาที่ความหนาแน่นแห้งเท่ากัน โดยเปรียบเทียบดินบดอัดทางด้านแห้งกับดินบดอัดทางด้านเปียก พบว่า

- กำลังของดินสูงกว่า เนื่องจากความเครียด (strain) ของดินต่ำกว่า
- ค่าความซึมได้ของน้ำสูงกว่า เนื่องจากในมวลดินมีช่องว่างมากกว่า
- มีการหดตัวน้อยกว่า เนื่องจากปริมาณน้ำในมวลดินมีน้อยกว่า
- มีค่าการบวมตัวมากกว่า เนื่องจากมีช่องว่างที่น้ำสามารถสัมผัสกับพื้นผิวได้มากกว่า



รูปที่ 2.6 ผลกระทบของการบดอัดดินที่มีต่อโครงสร้างดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 มาตรฐานวัสดุถมคันทาง (Embankment: Material) (มาตรฐานที่ทล. - ม. 102/2532)

2.7.1 ขอบข่าย วัสดุถมคันทาง หมายถึง วัสดุที่ได้จากบ่อยืมข้างทาง ถนนเดิน หรือที่อื่นๆ แล้วนำมาใช้ก่อสร้างคันทาง

2.7.2 คุณสมบัติวัสดุคันทางประเภทวัสดุดินทั่วไป (Soil)

- เป็นวัสดุปราศจากรากไม้ ใบไม้หรือวัสดุอินทรีย์ ซึ่งเป็นสารผุพังปนอยู่ อัน อาจจะทำให้ เกิดการยุบตัวเสียหายในอนาคต
- ค่า ซี.บี.อาร์ จากห้องทดลอง (Lab. C.B.R.) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 4 ที่ร้อยละ 95 ของค่าความแน่นแห้งสูงสุดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Density) ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท 107/2515 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์ (C.B.R.) หรือไม่น้อยกว่าที่ กำหนดไว้ในแบบ
- มีค่าการพองตัว (Swelling) ไม่มากกว่าร้อยละ 4 ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท 107/2515 : วิธีการ ทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์ (C.B.R.)
- มีคุณสมบัติอื่น ๆ ตามที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง

2.8 มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม (มาตรฐานที่ ทล. – ม. 205/2532)

2.8.1 ขอบข่าย วัสดุลูกรังชนิดทำผิวจราจร หมายถึง ลูกรัง หรือ soil aggregate ซึ่งนำมาเสริมบนชั้นรองพื้นทางเพื่อใช้เป็นผิวจราจร

2.8.2 คุณสมบัติ

- ปราศจากก้อนดินเหนียว (clay lump) shale รากไม้ หรือวัชพืชอื่น ๆ
- ขนาดวัสดุใหญ่สุดต้องไม่โตกว่า 5 เซนติเมตร
- ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่มากกว่า 2/3 ของขนาดผ่านตะแกรง เบอร์ 40 ตามวิธีการทดลองที่ (ทล.-ท 202/2517)
- ค่าขีดเหลว (liquid limit) ไม่มากกว่าร้อยละ 35 ตามวิธีการทดลองที่ (ทล.-ท 102/2515)
- ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (plasticity index) อยู่ในระหว่างร้อยละ 4-11 ตามวิธีการทดลองที่ (ทล.-ท 103/2515)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าจำนวนส่วนร้อยละของความสึกหรอ (percentage of wear) ไม่มากกว่า 60 ค่า ซี.บี.อาร์. จากห้องทดลอง (lab. C.B.R.) ตามวิธีการทดลองที่ (ทล.-ท 202/2515) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 หรือไม่น้อย กว่าที่กำหนดไว้ในแบบ
- มวลคละผ่านตะแกรง ดังตารางข้างล่างนี้

ตารางที่ 2.1 ขนาดคละของวัสดุรองพื้นทางลูกรัง

ขนาดของ ตะแกรง มาตรฐาน	น้ำหนักผ่านตะแกรงเป็นร้อยละ			
	ชนิด ก.	ชนิด ข.	ชนิด ค.	ชนิด ง.
2”	100	100	-	-
1”	-	-	100	100
3/8”	30-65	40-75	50-85	60-100
เบอร์ 10	15-40	20-45	25-50	40-70
เบอร์ 40	8-20	15-30	15-30	25-45
เบอร์ 200	2-8	5-20	5-15	5-20

2.9 มาตรฐานวัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก (Crushed rock soil aggregate type base) (มาตรฐานที่ ทล.-ท 201/2544)

2.9.1 ขอบข่าย วัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก หมายถึง วัสดุซึ่งมีขนาดคละกันสม่ำเสมอจากใหญ่ไปหาเล็ก นำมาเสริมบนชั้นรองพื้นทางหรือชั้นคันทาง

2.9.2 คุณสมบัติ

- ปราศจากก้อนดินเหนียว (clay lump) วัสดุจำพวกเชล (shale) รากไม้ หรือ วัชพืชอื่นๆ
- มีอัตราส่วนคละสม่ำเสมอประกอบด้วยส่วนหยาบและส่วนละเอียด
- ส่วนหยาบต้องเป็นหินโม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ส่วนละเอียดเป็นวัสดุชนิดเดียวกับส่วนหยาบ หากมีความจำเป็นต้องใช้วัสดุ ส่วนละเอียดชนิดอื่นเจือปนเพื่อปรับปรุงคุณภาพ จะต้องได้รับความเห็นชอบ จากกรมทางหลวงก่อน
- ค่าขีดเหลว (liquid limit) ไม่มากกว่าร้อยละ 25 ตามวิธีการทดลองที่ (ทล.-ท 102/2515)
- ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (plasticity index) ไม่มากกว่าร้อยละ 6 ตามวิธีการทดลองที่ (ทล.-ท 103/2515)
- ค่าจำนวนส่วนร้อยละของความสึกหรอ (percentage of wear) ไม่มากกว่าร้อยละ 40 ตามวิธีการทดลองที่ (ทล.-ท 202/2515)
- ค่า ซี.บี.อาร์ จากห้องทดลอง (Lab C.B.R.) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ที่ร้อยละ 95 ของค่าความแน่งแห้งสูงสุดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified proctor density) ตามวิธีการทดลองที่ (ทล.-ท 107/2515):วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าซี.บี.อาร์ (C.B.R.) หรือไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง
- มีมวลคละผ่านตะแกรง ดังตารางข่างล่างนี้

ตารางที่ 2.2 ขนาดคละของวัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก

ขนาดของ ตะแกรง มาตรฐาน	น้ำหนักผ่านตะแกรงเป็นร้อยละ	
	ชนิด ก.	ชนิด ข.
2 นิ้ว	100	100
1 นิ้ว	-	75-95
3./8 นิ้ว	30-65	40-75
เบอร์ 4	25-55	30-60
เบอร์ 10	15-40	20-45
เบอร์ 40	8-20	15-30
เบอร์ 200	2-8	5-20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (liquid : L.L) มาตรฐาน (ทล.-ท 102/2515)

2.10.1 ขอบข่าย วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าขีดเหลวของดิน

2.10.2 นิยาม ขีดเหลวของดินคือปริมาณน้ำเป็นร้อยละที่ผสมอยู่ในดิน ซึ่งพอเหมาะที่ทำให้ดินเปลี่ยนจากภาวะพลาสติก (plastic) มาเป็นภาวะเหลว (liquid) โดยเปรียบเทียบกับน้ำหนักของเนื้อดินนั้น เมื่ออบแห้ง

2.10.3 วิธีทำเครื่องมือและอุปกรณ์

ประกอบด้วย

- ถ้วยกระเบื้องเคลือบหรือถ้วยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 115 มม. (4 1/2 นิ้ว)
- ใบพายกวนดิน (spatula) ทำด้วยแผ่นโลหะบางไร้สนิม มีปลายมนขนาดยาวประมาณ 75 มม. (3 นิ้ว) กว้าง 19 มม. (3/4 นิ้ว)
- เครื่องมือทดสอบ แบ่งเป็น 2 ชนิด

  1. เครื่องมือทดสอบที่ทำงานด้วยเครื่องมือ ประกอบด้วยถ้วยทองเหลืองและที่ยกถ้วย สร้างอย่างถูกต้องตามแบบและขนาด

  2. เครื่องทดสอบที่ทำงานด้วยเครื่องกล เป็นเครื่องมือที่ทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยมีความสูงในการยกถ้วยทองเหลือง และอัตราการตกกระทบ พื้น ตามข้อกำหนดของการทดสอบนี้ ขนาดของถ้วยทองเหลือง และ ขนาดของส่วนที่สำคัญของเครื่องต้องสอดคล้องและผลการทดสอบด้วย เครื่องมือทดสอบที่ทำงานด้วยเครื่องกดนี้ ต้องเหมือนกับผลการทดสอบ ที่ทดสอบโดยใช้เครื่องมือทดสอบที่ทำงานด้วยมือ
- เครื่องมือปาดร่องดิน (grooving tool) ต้องมีขนาดได้มาตรฐาน
- เครื่องวัดระยะ(gage) ถ้าติดอยู่กับเครื่องมือปาดร่องดินต้องมีขนาดได้ มาตรฐาน ถ้าแยกส่วนกับเครื่องมือปาดร่องดินจะต้องมีลักษณะเป็นแท่งทำ ด้วยโลหะหนา 10.00x0.02 มม. (0.39x0.001 นิ้ว) และยาวประมาณ 50.8 มม. (2 นิ้ว)
- ตลับบรรจุดิน (contianer) ต้องมีขนาดพอเหมาะทำด้วยโลหะมีฝาปิด เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นขณะก่อนชั่งและระหว่างชั่งหาน้ำหนัก
- เครื่องชั่ง ต้องสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตู้อบ ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110x5 องศาเซลเซียส (230x9 องศาฟาเรนไฮต์) ตลอดเวลาที่ทำการอบดิน
- ถ้วยตวงน้ำ สำหรับตวงน้ำ เพื่อผสมลงในดิน
- เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (sample splitter) ใช้สำหรับผสมและแบ่งตัวอย่างดิน เพื่อนำมาทดสอบ
- ตะแกรงร่อนขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) และขนาด 0.425 มม. (เบอร์ 40)

2.10.4 การเตรียมตัวอย่าง

- ผึ่งตัวอย่างดินให้แห้ง หรืออบให้แห้งโดยใช้อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศา เซลเซียส คลุกเคล้ากันให้ทั่ว แล้วแบ่งออกเป็นสี่ส่วน (quartering) หรือใช้ เครื่องมือแบ่งตัวอย่างแบ่งดินให้ได้ตัวอย่างซึ่งสามารถร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ได้ประมาณ 300 กรัม
- ถ้าตัวอย่างดินจับกันเป็นก้อนให้ใช้ค้อนยางทุบเบา ๆ พอให้เม็ดดินหลุดออก จากกัน โดยไม่ให้เม็ดดินแตก
- เอาดินที่ได้มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ส่วนที่ค้างบนตะแกรงให้ทิ้งไปและ เอาดินส่วนที่ร่อนผ่านมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 อีกครั้งหนึ่งโดยใช้เวลาร่อนไม่น้อยกว่า 5 นาที
- ดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 40 ให้ทิ้งไป ส่วนดินที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 คือดินที่จะนำไปใช้ทดสอบต่อไป

2.10.5 การทดสอบ

ก่อนทำการทดสอบทุกครั้งให้ตรวจสอบเครื่องมือที่ใช้ทดสอบทั้งหมดว่าอยู่ในสภาพที่ดี มีขนาดถูกต้องตรงตามข้อกำหนด และตรวจดูถ้วยทองเหลืองของเครื่องทดสอบขีดจำกัดเหลวว่ายก ได้สูง 1 ซม. แล้วสามารถตกระทบพื้นได้อย่างอิสระหรือไม่ ถ้าไม่ได้ให้ปรับให้ถูกต้อง

- เอาดินที่เตรียมไว้ประมาณ 100 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบเติมน้ำกลั่น ที่ปราศจากสารใด ๆ เจือปนประมาณ 15 ถึง 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงผสมและกวนให้เนื้อดินและน้ำผสมเป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้ใบพายกวนดินนวด และเคล้าไปมา เติมน้ำอีกครั้งละ 1-3 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วกวนจนดิน และน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเนื้อเดียวกัน โดยใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที ห้ามใช้ถ้วย ทองเหลืองของเครื่องทดสอบขีดเหลว เป็นที่ผสมดินกับน้ำ

- เมื่อผสมน้ ากวนดินจนเหนียวพอประมาณเคาะได้ 40 ครั้ง ให้ใช้แผ่นกระจก ปิดปากถ้วยไว้ แล้วทิ้งไว้ประมาณ 50-60 นาที เพื่อให้ดินชุ่มน้ าตลอดทั่วถึง กัน
- แบ่งดินส่วนหนึ่ง จำนวนพอควร ใส่ลงในถ้วยทองเหลืองของเครื่องมือ ทดสอบขีดเหลว บริเวณเหนือก้นถ้วยทองเหลืองที่อยู่บนฐาน ใช้พายกวนดิน ปาดแต่งให้ได้ระดับ และไม่ให้มีฟองอากาศในเนื้อดิน และให้เนื้อดินที่ก้น ถ้วยทองเหลืองหนาประมาณ 1 ซม. พยายามปาดแต่งให้น้อยที่สุด ดินส่วนที่ เหลือตักออกใส่ถ้วยกระเบื้องเคลือบอย่างเดิม
- จับถ้วยทองเหลืองให้แน่น แล้วใช้เครื่องมือปาดร่องดิน ปาดดินให้เป็นร่อง ตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของถ้วยทองเหลือง โดยลากตัดไปมาจนร่องที่ได้ สะอาดและเหลี่ยมมุมคม ขนาดของร่องต้องไม่ให้ร่องดินฉีกขาด หรือดินใน ถ้วยทองเหลืองเลื่อนไถล ให้ค่อย ๆ ลากเครื่องมือปาดร่องดินไปมา โดยเพิ่ม ความลึกลงในเนื้อดินที่ละน้อยแต่ต้องไม่ปาดไปมาเกิน 6 ครั้ง โดยครั้ง สุดท้ายเครื่องมือปาดร่องดินจะขูดผิวของก้นถ้วยทองเหลืองพอดี
- หมุนเคาะถ้วยทองเหลืองด้วยอัตราเร็ว 2 ครั้งต่อวินาที จนดินสองข้างของร่องเลื่อนมาชนกันที่ก้นถ้วยทองเหลืองยาวประมาณ 12.7 มม. (0.5 นิ้ว) บันทึกจำนวนครั้งที่เคาะไว้ การทดสอบต้องใช้เวลาไม่เกิน 3 นาที
- ให้เก็บตัวอย่างดินตรงที่เลื่อนมาชนกันตลอดแนวความกว้างของดินที่ตั้งฉาก กับร่องดิน ใส่ลงตลับบรรจุดินนำไปชั่งทันที บันทึกน้ำหนักไว้ อบดินใน ตลับจนแห้งด้วยอุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส (230 ± 9 องศาฟาเรนไฮต์) แล้วนำไปชั่ง บันทึกน้ำหนักที่ชั่งไว้ น้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของน้ำที่ ระเหยออกไป การชั่งน้ำหนักดินในข้อนี้ต้องอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
- เอาดินที่เหลือในถ้วยทองเหลืองใส่กลับลงในถ้วยกระเบื้องเคลือบ แล้วเติมน้ำ ผสมลงไปกวนจนเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนถ้วยทองเหลืองและเครื่องมือปาดร่อง ดิน ให้ล้างและเช็ดให้แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการทดสอบทั้งสิ้น 4 ครั้ง ด้วยการเพิ่มน้ำลงในดิน เพื่อให้เหลวมากขึ้นใน การทดสอบครั้งถัดไป โดยให้การหมุนเคาะถ้วยทองเหลืองในการทดสอบแต่ ละครั้งใน อัตรา 35-40, 25-35, 20-30, 15-25 ครั้ง คือ ให้เคาะต่างกัน ประมาณ 5-7 ครั้ง ถ้าหมุนเคาะน้อยกว่า 15 ครั้ง หรือมากกว่า 40 ครั้ง ถือ ว่าการทดสอบ นั้นใช้ไม่ได้
- ในกรณีที่ผสมดินเหลวไป ให้เกลี่ยดินออกเป็นชั้นบาง ๆ แล้วผึ่งลมไว้ชั่วครู่ จนดิน แห้งตามต้องการ อย่าทิ้งไว้ให้แห้งจนแข็ง ห้ามใช้วิธีเอาดินแห้งผสม เพิ่มลงไปใน ดินเหลว

2.10.6 การคำนวณ คำนวณปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ในดินเป็นร้อยละของน้ำหนักต่อน้ำหนักดิน อบแห้ง ดังนี้

- คำนวณหาค่าความแน่นชื้น (wet density)

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

2.10.7 การรายงาน

- เขียนโฟลว์เคิฟ (flow curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในเนื้อดิน และ จำนวนครั้งของการหมุนเคาะในการทดสอบลงบนกระดาษกราฟ กึ่ง ลอการิทึม (semi-logarithmic graph) โดยให้แกนตั้งแสดงค่าความชื้นในเนื้อ ดินเป็นร้อยละ และจำนวนครั้งที่เคาะอยู่บนแกนนอน ซึ่งเป็นมาตราลอการิทึม (logarithmic) โฟลว์เคิฟ ควรเป็นเส้นตรง ที่ลากผ่านหรือใกล้จุดที่ได้บน กระดาษกราฟ มากจุด ที่สุด
- ค่าขีดเหลว คือ ความชื้นเป็นร้อยละ (percentage of moisture) ตรงจุดที่ โฟลว์ เคิฟ มีคำนวณครั้งที่หมุนเคาะเท่ากับ 25 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.8 ข้อควรระวัง

- ในดินบางชนิดที่มีค่า “ดัชนีความเป็นพลาสติก (%plasticity index : P.I.)” ต่ำ การเลื่อนตัวของดินมาชนกันในถ้วยทองเหลือง ขณะทดสอบอาจมีลักษณะชน กันเฉย ๆ ไม่เชื่อมเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถใช้ใบพายกวนดินเขี่ยให้แยกออกจากกันได้ ต้องเพิ่มน้ำลงผสมในเนื้อดิน แล้วทำการทดสอบใหม่
- การเตรียมตัวอย่างดินก่อนการร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 40 ต้องบดให้เม็ดดิน หลุดออกจากกันให้หมดโดยไม่ทำให้เม็ดดินแตก และไม่อบตัวอย่างดินเกิน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส
- เมื่อสิ้นสุดการเคาะดินแต่ละการทดสอบ ให้รีบเก็บตัวอย่างดินแล้วชั่งเพื่อหาความชื้นทันที เพราะน้ำในดินจะระเหยทำให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อนได้
- ห้ามผสมดินในถ้วยทองเหลืองของเครื่องมือทดสอบขีดเหลว ให้ผสมในถ้วยกระเบื้องเคลือบเท่านั้น
- ในขณะทำการทดสอบให้วางเครื่องทดสอบบนพื้นที่มั่นคงแข็งแรง และจับยึดเครื่องมือทดสอบไม่ให้เคลื่อนที่ขณะหมุนเคาะถ้วยทองเหลือง น้ำที่ใช้ผสมดินทดสอบ ต้องบริสุทธิ์ สะอาดปราศจากสารใด ๆ ที่สามารถทำ ให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อน

2.11 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติกมาตรฐาน (ทล.-ท 103/2515)

2.11.1 ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าขีดพลาสติกของดิน

2.11.2 นิยาม

- ขีดพลาสติกของดิน หมายถึง ปริมาณน้ำจำนวนน้อยที่สุด ที่วัดโดยกรรมวิธีทดสอบที่จะกล่าวต่อไป ซึ่งยังคงทำให้ดินมีสภาพเป็นพลาสติก โดยมีค่าเป็น ร้อยละของน้ำต่อน้ำหนักดินอบแห้ง
- ค่าดัชนี ความเป็นพลาสติก (plasticity index : P.I.) ของดิน หมายถึง ปริมาณน้ำในดินช่วงหนึ่ง ซึ่งดินนั้นยังคงสภาพเป็นพลาสติก มีค่าเป็นผลต่าง ระหว่างค่าขีดเหลว และขีดพลาสติกของดินนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.3 วิธีทำ เครื่องมือและอุปกรณ์ประกอบด้วย

- ถ้วยกระเบื้องเคลือบหรือถ้วยที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน สำหรับใส่ดินกวนผสม กับน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 115 มม. (4 1/2 นิ้ว)
- ใบพายกวนดิน (spatula) ทำด้วยแผ่นโลหะบางไร้สนิม มีปลายมนขนาดยาวประมาณ 75 มม. (3 นิ้ว) กว้าง 19 มม. (3/4 นิ้ว)
- พื้นผิวเรียบสำหรับคลึงดิน อาจใช้แผ่นกระจกเรียบหรือแผ่นวัสดุพื้นผิวเรียบ ไม่ดูดซึมน้ำในขณะคลึงตัวอย่างดิน
- ตลับบรรจุดินต้องมีขนาดพอเหมาะทำด้วยโลหะมีฝาปิด เพื่อป้องกันการ สูญเสียความชื้นขณะก่อนชั่งและระหว่างชั่งหาน้ าหนัก
- เครื่องชั่ง ต้องสามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
- ตู้อบ ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110$\pm$5 องศาเซลเซียส (230$\pm$9 องศาฟาเรนไฮต์) ตลอดเวลาที่ทำการอบดิน
- ตะแกรงร่อนดินขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) และขนาด 0.425 มม. (เบอร์ 40)

2.11.4 การเตรียมตัวอย่าง

ดำเนินการตามวิธีการเตรียมตัวอย่าง เช่นเดียวกับการทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว ตามมาตรฐาน ทล.-ท 103/2515

2.11.5 การรายงาน ให้รายงานเป็นค่าขีดพลาสติก และค่าดัชนีความเป็นพลาสติกนอกจากดินมีสภาพต่อไปนี้

- ให้รายงานค่าดัชนีความเป็นพลาสติก เป็น นอน-พลาสติก (non-plastic) เมื่อ ไม่สามารถวัดค่าขีดเหลว หรือขีดพลาสติก
- เมื่อค่าขีดพลาสติกเท่ากับ หรือมากกว่าค่าขีดเหลว ให้รายงานค่าดัชนีความ เป็นพลาสติก เป็น นอน-พลาสติก

2.11.6 ข้อควรระวัง

- ในการคลึงให้ดินเป็นรูปลักษณะแท่งกลมยาว ให้คลึงด้วยแรงกดและอัตราเร็วสม่ำเสมอและคงที่ ห้ามเร่งเพื่อให้ดินแตก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อคลึงดินแตกแล้ว ให้รีบชั่งหาน้ำหนักทันที ก่อนที่น้ำจะระเหยหายไป
- ดินที่มีค่าดัชนีความเป็นพลาสติกต่ำ ให้แต่งดินเป็นแท่งยาวก่อนคลึงและ น้ำหนักนิ้วที่กดขณะคลึงต้องเบา และให้คอยซับน้ำที่เยิ้มออกจากตัวอย่างดิน มาติดแผ่นผิวเรียบ

ตัวอย่างดินที่มีทรายปนมากอาจเป็นพวก นอน-พลาสติก ให้ทดลองหาค่าขีด พลาสติกก่อนเพื่อประหยัดเวลา

2.12 วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. ตามมาตรฐาน (ทล.-ท 109/2517)

2.12.1ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาค่าเปรียบเทียบ ค่าความสามารถในการรับน้ำหนัก (bearing value) กับวัสดุหินมาตรฐานเพื่อทดสอบวัสดุมวลรวมดิน (soil aggregte) หินคลุกหรือวัสดุอื่นใด เมื่อทำการบดอัดวัสดุนั้นโดยใช้ตุ้มบดอัดในแบบ (mold) เมื่อมีความชื้นที่ความแน่นแห้งสูงสุด (optimummoisture content) หรือปริมาณอื่นใด เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนน และเพื่อใช้ควบคุมงานเมื่อบดอัดให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ การทดสอบ ซี.บี.อาร์. อาจทำได้ 2 วิธี คือ วิธี ก. การทด สอบแบบแช่น้ำ (soaked) วิธี ข. การทดสอบแบบไม่แช่น้ำ (unsoaked) ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้วิธี ก.

2.12.2 วิธีทำ เครื่องมือ และอุปกรณ์

ประกอบด้วย

- loading; device แบบ hydraulic jack หรือ screw jack มีอุปกรณ์วัดแรงได้ไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลกรัม (ประมาณ 10,000 ปอนด์)
- แบบสำหรับเตรียมตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 152.4±00.66 มม. (6.0±0.026 นิ้ว) สูง 177.8±0.66 มม. (7.0±00.016 นิ้ว) พร้อมปลอก (Collar) สูงโดยประมาณ 50.8 มม. (2.0 นิ้ว) และฐานแบบ (BASE PLATE) สำหรับยึดแบบและปลอก
- แท่งโลหะรอง (spacer disc) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 134.9 (5 5/16 นิ้ว) มีความสูงขนาดต่าง ๆ
- ตุ้มหนัก 4,537 กรัม (10 ปอนด์) และ 2,495 กรัม (5.5 ปอนด์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องวัดการพองตัว ประกอบด้วย
    1. แผ่นวัดการพองตัว (swell plate)
    2. สามขา (tripod) สำหรับติดมาตรวัด (dial gauge) วัดได้ 25 มม. ซึ่งวัด ได้ละเอียด 0.01 มม. เพื่อวัดอัตราการพองตัวของดินเมื่อแช่น้ำ
- โลหะถ่วงน้ำหนัก (surcharge weight) เป็นเหล็กทรงกระบอกแบบเส้นผ่านศูนย์กลาง 149.2 มม. (5 7/8 นิ้ว) มีรูกลวง เพื่อให้ท่อนกด (piston) ลอดไปได้หนักแผ่นละ 2,268 กรัม (5 ปอนด์)
- ท่อนกด ทำด้วยโลหะทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 49.5 มม. (1.95 นิ้ว) มีเนื้อที่หน้าตัด 1,935.5 ตร.มม. (3 ตร.นิ้ว) ยาวไม่น้อยกว่า 102 มม. (4 นิ้ว)
- เครื่องดันตัวอย่างเป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลัง เมื่อทดสอบเสร็จแล้ว
- เครื่องชั่งแบบบาล้านซ์ (balance) มีขีดความสามารถชั่งได้อย่างน้อย 20 กก.ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กิโลกรัม เครื่องชั่งแบบสเกล (scale) หรือแบบบาล้านซ์ มีขีดความสามารถชั่งได้อย่าง น้อย 1,000 กรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
- ตู้อบ (oven) ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ได้ที่ 110$\pm$5 องศาเซลเซียส
- เหล็กปาดมีความยาวไม่น้อยกว่า 300มม.และไม่ยาวเกินไปหนาประมาณ 3.0มม. (0.12 นิ้ว)
- เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง
- ตะแกรงร่อนดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มม. (8 นิ้ว) 50.8 มม. (2 นิ้ว) มีขนาดดังนี้ ก. ขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว)

    ข. ขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4)
- เครื่องผสม เป็นเครื่องมือจำเป็นต่าง ๆ ที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำ เช่น ถาด ช้อน พลั่ว เกรียง คอนยาง ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ
- ตลับบรรจุดินสำหรับใส่ตัวอย่างดิน เพื่ออบหาจำนวนน้ำในดิน
- นาฬิกาจับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.3 การทดสอบ

สำหรับตัวอย่างดินที่ไม่ต้องมีการแช่น้ำ (unsoaked c.b.r. Test)

- ชั่งดินที่เตรียมไว้ประมาณ 6 กก. (12 ปอนด์) และนำดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัม เพื่อนำไปหาความชื้นในดินตัวอย่าง(initial water content) เตรียมแบบไว้ 2 ชุด ชั่งหาน้ำหนักแบบ (ไม่รวมฐานแบบ)
- ประกอบแบบ เข้ากับฐานแบบและแท่งโลหะรอง ใช้กระดาษกรองปูทับบน แท่งโลหะรอง เพื่อป้องกันไม่ให้เกาะติดกับแผ่นเหล็ก
- กระทุ้งดินอัดแน่นในแบบ ตามวิธีการทดสอบความแน่นที่ปริมาณความชื้น ที่ความแน่นแห้งสูงสุด (เตรียมตัวอย่างดิน 3 ตัวอย่าง โดยทำการบดอัดแต่ละ ชั้นด้วยตุ้ม จำนวน 12 ครั้ง 25 ครั้ง และ 56 ครั้งต่อชั้น)
- หลังจากบดอัดจนครบจำนวนชั้น และจำนวนครั้งแล้วถอดปลอกออกใช้เหล็ก ปาดปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบแบบ พร้อมกับซ่อมแต่งผิวบนของดินตัวอย่าง ให้เรียบเสมอกับปากแบบ
- ถอดฐานแบบ และแท่งโลหะรองออก นำแบบและดินไปชั่งหาน้ำหนัก เพื่อจะนำไปหาความแน่นชื้น (wet density)
- เอากระดาษกรองวางบนฐานแบบ เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะแบบติดแผ่น เหล็กประกอบแบบ ที่มีดินอัดแน่นนี้เข้ากับฐานแบบ โดยให้ปากแบบด้านที่มี ดินเสมอปากวางบนฐานแบบ และส่วนที่มีช่องว่างอยู่ด้านบนสำหรับการ ทดสอบแบบไม่แช่น้ำ วางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนัก (surcharge) จำนวน 2 ชิ้น สำหรับวัสดุพื้นทาง, วัสดุรองพื้นทาง, วัสดุคัดเลือกและจำนวน 3 ชิ้น สำหรับวัสดุคันทางทับบน ดินตัวอย่างในแบบ
- นำแบบเข้าเครื่องกดทดสอบ ซึ่งมีท่อนกดขนาดพื้นที่หน้าตัด 1,935.5 ตร.มม. (3 ตร.นิ้ว) ประกอบติดอยู่ จัดให้ผิวหน้าของดินในแบบ แตะสัมผัสกับท่อน กดดังกล่าว จัดเข็มของมาตรวัด ที่จะใช้วัดค่าการจมตัว (penetration) ให้อยู่ที่ จุดศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กดท่อนกดในอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที พร้อมกับอ่านค่าน้ำหนักที่ตรงกับค่าการ จมตัว 0, 0.025, 0.050, 0.075, 0.100, 0.125, 0.150, 0.175, 0.200, 0.250, 0.300, 0.350, 0.400, 0.450 และ 0.500 นิ้ว
- เสร็จแล้วถอดแบบออกจากเครื่องกดทดสอบ เก็บตัวอย่างดินตรงกลางตาม แนวตั้ง ประมาณ 100 กรัม สำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 4.75 มม. หรือ ประมาณ 300 กรัม สำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 19.0 มม. แล้วนำไปหา ความชื้น สำหรับการทดสอบแบบแช่น้ำ

  วางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนัก จำนวน 2 ชิ้น สำหรับวัสดุพื้นทาง, วัสดุรองพื้น ทาง, วัสดุคัดเลือด และจำนวน 3 ชิ้น สำหรับวัดสุคันทางลงบนดินตัวอย่าง ใส่แผ่นวัดการพองตัว สำหรับวัดอัตราการบวมของดิน ซึ่งมีด้ามขัดเกลียวขึ้น ลงได้ติดอยู่กลางแผ่น ก่อนวางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักลงบนดินตัวอย่าง จะต้องเอากระดาษรองวางคั่นได้แผ่นนี้เสียก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้ดินติดแน่น กับแผ่นเหล็กหลังจากแช่น้ำแล้ว
- แช่แบบที่เตรียมไว้ในภาชนะที่เตรียมไว้ ให้น้ำท่วมแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนัก ประมาณ 1 นิ้ว ใช้มาตรวัดอ่านได้ละเอียด 0.001 นิ้ว ยึดติดกับสามขา แล้ว วางบนปากแบบ จัดให้ปลายของมาตรวัดแตะสัมผัสกับก้านของแผ่น วัดการพองตัว เพื่อวัดหาค่าการพองตัวของดินต่อไป
- จดค่าการขยายตัวจากมาตรวัดทุกวัน จนครบ 4 วัน (ถ้าหากค่าการพองตัว คงที่อาจหยุดอ่านได้ หลังจากแช่น้ำแล้ว 48 ชั่วโมง)
- ยกแบบออกจากน้ำและตะแคงแบบ เพื่อรินน้ำทิ้งและปล่อยทิ้งไว้ ประมาณ 15 นาที เพื่อให้น้ำไหลออกจากแบบ นำแบบพร้อมดินไปชั่งหาน้ำหนัก
- เสร็จแล้วถอดแบบออกจากเครื่องกดทดสอบ เก็บตัวอย่างดินตรงกลางตาม แนวตั้ง ประมาณ 100 กรัม สำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 4.75 มม. หรือ ประมาณ 300 กรัม สำหรับขนาดเม็ดใหญ่สุด 19.0 มม. แล้วนำไปหา ความชื้น
- เขียนกราฟระหว่างน้ำหนักกด และค่าการจมตัว (stress vs penetration) เพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. ต่อไปสำหรับในการเขียนกราฟระหว่างน้ำหนักกด และค่า การจมตัว เพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. จำเป็นจะต้องทำการแก้เส้นกราฟโดยเลื่อนจุด ศูนย์ของค่าการจมตัว ในกรณีที่เส้นกราฟหงายเพื่อให้ได้ค่า ซี.บี.อาร์. ที่ แท้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อได้ค่า ซี.บี.อาร์. ของแต่ละตัวอย่างแล้วเขียนเส้นกราฟ ระหว่างค่า ซี.บี.อาร์. และค่าความหนาแน่นแห้ง (dry density) เพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์. เป็นร้อย ละของการบดอัดที่ต้องการต่อไป

2.13 การก่อสร้างและการบดอัด ชั้นโครงสร้างทาง

2.13.1 งานชั้นดินถมคันทาง

งานชั้นรองพื้นทาง หมายถึง การก่อสร้างวัสดุบนชั้นดินเดิม ได้บดอัดแล้วเสร็จ โดยใช้วัสดุดินถม นำมาคลุกเคล้าผสมน้ำ (mix Process) แล้วทำการปรับเกลี่ยแต่งและบดอัดแน่นให้ได้รูปแบบ ความหนาชั้นละไม่เกิน 20 ซม. ความแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 Standard proctor density

2.13.2 งานชั้นรองพื้นทาง (subbase)

งานชั้นรองพื้นทาง หมายถึง การก่อสร้างวัสดุบนชั้นคันทาง หรือบนชั้นวัสดุคัดเลือกที่ได้ก่อสร้าง แล้วเสร็จ โดยใช้วัสดุลูกรังหรือมวลรวมดิน (soil aggregate) นำมาคลุกเคล้าผสมน้ำ (mix Process) แล้วทำการปรับเกลี่ยแต่งและบดอัดแน่นให้ได้รูปแบบ ความหนาชั้น ล ะ ไ ม่เกิน 15 ซม. ความแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 modified proctor density

วิธีการก่อสร้าง

กรณีการก่อสร้างชั้นรองพื้นทางบนถนนเดิมที่มีผิวจราจรเป็นลูกรัง ให้ตบแต่ง พื้นทางเดิมให้ได้แนวและระดับตามรูปแบบที่กำหนดหากมีวัสดุส่วนใดที่หลุดร่อนไม่ คงทนหรือด้อยคุณภาพ หรือเป็นหลุมบ่อ ต้องกวาดวัสดุเดิมออกให้หมด และดำเนินการกลบหลุมบ่อด้วยวัสดุที่มี คุณสมบัติไม่ต่ำกว่ามาตรฐานของวัสดุคัดเลือก หรือหากพบบริเวณใดที่มีดินอ่อนอยู่ใต้ชั้นโครงสร้างเดิม (soft spot) ให้ขุดออกแล้วนำวัสดุที่มีคุณสมบัติไม่ต่ำกว่ามาตรฐานของวัสดุ คัดเลือกมาถมแทนที่ และบดอัดเป็นชั้นๆ ความแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 standard proctor density กรณีการก่อสร้างชั้นวัสดุรองพื้นทางใหม่บนชั้นวัสดุรองพื้นทางเดิม ซึ่งมีความหนาของชั้นน้อยกว่า 10 เซนติเมตร ต้องขุดคุ้ย (scarify) วัสดุชั้นรองพื้นทางเดิมช่วงนั้นลึกไม่น้อยกว่า 5 เซนติเมตร แล้วผสมคลุกเคล้ากับวัสดุชั้นรองพื้นทางใหม่ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงทำการบด ให้แน่นและได้ระดับตามแบบก่อสร้าง กรณีที่ก่อสร้างบนคันทาง ที่ได้บดอัดและปรับแต่งเรียบร้อยแล้ว ให้นำวัสดุรองพื้นทางที่มีคุณสมบัติตามที่กำหนด มาเกลี่ยแผ่บดอัดเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นไม่เกิน 15 เซนติเมตร ความแน่น ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 modified proctor density บริเวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใดหรือช่วงใดหากวัสดุรองพื้นทางที่ เกลี่ยแผ่และทำการบด อัดแล้ววัสดุมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดมีการแยกตัวออกจากกัน (segregation) ให้แก้ไขโดยขุดออกแล้วทำการผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน หรือรื้อออกแล้วนำวัสดุ รอง พื้นทางที่มีส่วนผสมสม่ำเสมอใส่ลงไปแทน ในกรณีที่ใช้วัสดุมากกว่าหนึ่งชนิด นำมาผสม กัน เพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทางนั้น วัสดุแต่ละชนิดจะต้องได้รับการคลุกเคล้าให้มี ลักษณะสม่ำเสมอ และต้องได้รับการตรวจสอบความถูกต้องตรงตามมาตรฐานวัสดุรอง

พื้นทางจากผู้ควบคุมงานก่อน และเมื่อทำการก่อสร้างชั้นรองพื้นทางเสร็จเรียบร้อยแล้วจะต้องมีผิวหน้าเรียบแน่นสม่ำเสมอได้ ระดับถูกต้องตามแบบก่อสร้าง

ผลการทดสอบความแน่นที่ไม่ผ่านเกณฑ์ หากผลทดสอบความแน่นใน สนามน้อยกว่าร้อยละ 95 modified proctor density ให้พิจารณาดำเนินการดังนี้

- หากปริมาณน้ำไม่อยู่ในช่วง $\pm$ 3 % ของค่าปริมาณความชื้นที่ให้ ความแน่นสูงสุด (o.m.c.) ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ จะต้องขุดคุ้ยวัสดุ (scarify) เพื่อตากให้แห้ง กรณีที่ปริมาณน้ำมาก เกินไป หรือผสมน้ำเพิ่ม กรณีที่ปริมาณน้ำน้อย แล้วจึงทำการบด อัดใหม่ให้ได้ความแน่นตามที่กำหนด 2.21.2.3 ข้อแนะนำเพิ่มเติม
- หากปริมาณน้ำาอยู่ในช่วงของ $\pm$ 3 % ของค่าปริมาณความชื้นที่ให้ ความแน่นสูงสุด (o.m.c.) ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แต่การทดสอบความแน่นไม่ผ่านตามข้อกำหนดให้ทำการบดอัดซ้ำ โดยเพิ่มปริมาณพลังงาน (recompaction) และเพิ่มจำนวนเที่ยว เพื่อให้ได้ความแน่นตามที่กำหนด
- ก่อนก่อสร้างชั้นรองพื้นทางหากพื้นผิววัสดุชั้นล่างแห้ง ให้สเปรย์ น้ำเพื่อเพิ่มความชื้นก่อน และเป็นการป้องกันการดูดซึมน้ำจาก วัสดุรองพื้นทางที่กำลังก่อสร้าง ซึ่งอาจทำให้ค่าปริมาณความชื้น ของชั้นรองพื้นทางเปลี่ยนแปลงไปทำให้ความแน่นไม่ได้ตาม ข้อกำหนด นอกจากนี้การให้ความชื้นยังทำให้การประสาน ระหว่างวัสดุ 2 ชั้น ดีขึ้นด้วย
- ให้สังเกตวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างจะต้องมีลักษณะเป็นวัสดุ ชนิดและแหล่งเดียวกันโดยจะต้องมีการควบคุมคุณสมบัติ ทั้งจาก แหล่ง general test และในระหว่างการก่อสร้าง control test ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.3 งานพื้นทาง (base)

งานชั้นพื้นทาง หมายถึง การก่อสร้างงานชั้นบนสุดของโครงสร้างทาง ทำหน้าที่รองรับผิวจราจร และแบกทานน้ำหนักที่ถ่ายมาจากผิวจราจร กระจายน้ำหนักลงสู่ฐานด้านล่าง วัสดุที่ใช้ ก่อสร้างได้แก่ หินคลุก หินโม่ กรวดโม่ ตะกรันเหล็ก (slag) ที่มีขนาดคละสม่ำเสมอจากใหญ่ไป หาเล็ก ซึ่งวัสดุที่จะนำมาใช้ต้องมีคุณสมบัติตามมาตรฐานวัสดุพื้นทาง นำมาคลุกเคล้าผสมน้ำ (mix process) ทำการปรับเกลี่ยแต่งและบดอัดแน่นให้ได้ตามรูปแบบ หนาชั้นละไม่เกิน 15 ซม. ความแน่นไม่น้อยกว่า ร้อยละ 95 modified proctor density

วิธีการก่อสร้าง

การก่อสร้างต้องตรวจสอบระดับและความแน่นของชั้นรองพื้นทางให้ถูกต้องก่อนนำวัสดุพื้นทางมาถมบนชั้นรองพื้นทางทำการคลุกเคล้าวัสดุกับน้ำให้เข้ากันอย่างสม่ำเสมอและมีความชื้น พอเหมาะใกล้เคียงกับค่าปริมาณความชื้นที่ให้ความแน่นสูงสุด (o.m.c.) จากห้องปฏิบัติการ จากนั้นจึงเกลี่ยแผ่แล้วบดอัดเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นหนาไม่เกิน 15 เซนติเมตร บดอัดแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 modified proctor density บริเวณใดหรือช่วงใดวัสดุพื้นทางที่เกลี่ยแผ่และทำการ บดอัดแล้วมีมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดแยกตัวจากกัน (segregation) ให้แก้ไขโดยการขุดรื้อออกแล้วทำการผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน หรือรื้อออกใส่วัสดุพื้นทางที่มีส่วนผสมม่ำเสมอลงไปแทนแล้วสเปรย์น้ำให้ได้ความชื้นที่เหมาะสม เกลี่ยให้ได้รูปตามแบบก่อสร้างแล้วทำการบด อัดแน่น ในระหว่างการบดอัดให้มีการสเปรย์ น้ำบาง ๆ เพื่อให้วัสดุจับตัวกันจะช่วยให้ผิวหน้า เรียบปราศจากหลุมบ่อ และเพื่อให้ผิวหน้าเรียบแน่นสม่ำเสมอ ให้ทำการบดอัดชั้นสุดท้ายด้วยรถ บดล้อเหล็กน้ำหนักไม่น้อยกว่า 12 ตัน ซึ่งในระหว่างก่อสร้างหากมีฝนตกน้ำขัง ทำให้ความชื้น ในระหว่างการบดอัดมากเกินไปจนเป็นเหตุให้ชั้นพื้นทางเสียหายหรืออาจเสียหายลึกลงไปถึงชั้น รองพื้นทางด้วย ดังนั้นเมื่อพบว่าพื้นทางส่วนที่ได้ ก่อสร้างแล้วมีการบวมตัว (soft spot) จะต้องรื้อ ออกและอาจต้องตรวจสอบชั้นรองพื้นทางด้วยว่ามีความเสียหายหรือไม่ หากเสียหายจะต้องรีบ ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงชั้นรองพื้นทางให้เรียบร้อยก่อนแล้วจึงทำการแก้ไขพื้นทางต่อไปถ้าแบบ ก่อสร้างกำหนดความหนาพื้นทางมากกว่า 15 เซนติเมตร ให้แบ่งการทำงานเป็น 2 ชั้น หนาชั้น ละเท่า ๆ กัน (โดยประมาณ) บดอัดให้แน่นและได้ระดับตามแบบก่อสร้าง งานชั้นพื้นทางที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ และยังไม่ได้ก่อสร้างลาดยางรองพื้นแอสฟัลต์ (prime coat) ตามขั้นตอนปกติ ให้ฉีดพ่นน้ำหล่อเลี้ยงผิวหน้าป้องกันการสูญเสียความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดสอบความแน่นที่ไม่ผ่านเกณฑ์ หากผลทดสอบความแน่นในสนามน้อยกว่าร้อยละ 95 modified proctor density ให้พิจารณาดำเนินการดังนี้

- หากปริมาณน้ำอยู่ในช่วงใกล้เคียงค่าปริมาณความชื้นที่ให้ความน่นสูงสุด (o.m.c.) ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ แต่การทดสอบความแน่นไม่ผ่านเกณฑ์ให้ทำการบดทับซ้ำโดยเพิ่ม พลังงานการบดอัดและเพิ่มจำนวนเที่ยว เพื่อให้ได้ความแน่นตามที่ ต้องการ
- หากปริมาณน้ำไม่อยู่ในช่วงใกล้เคียงค่าปริมาณความชื้นที่ให้ความ แน่นสูงสุด (o.m.c.) ที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ จะต้องขุดคุ้ยวัสดุ (scarify) เพื่อตากให้แห้งกรณีที่ปริมาณน้ำมาก เกินไป หรือผสมน้ำเพิ่ม กรณีที่ปริมาณน้ำน้อยแล้วจึงบดอัดใหม่ ให้ได้ความแน่นตามข้อกำหนด

2.14 การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (field density test)

2.14.1 วิธีการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม

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

2.14.1.2 วิธีทำเครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วยชุดเครื่องมือทดสอบความแน่น (density apparatus) ประกอบด้วย

- ขวด (jar) ทำด้วยแก้วหรือพลาสติกโปร่งใสปริมาตรจุ 4 ลิตร ตัวขวดมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 160 มม. ปากขวดมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม. และมีเกลียวสำหรับต่อกับกรวย
- กรวย (metal funnel) ทำด้วยโลหะสูงประมาณ 210 มม. ตรงกลางมีลิ้น (valve) สำหรับปิดเปิดรูทรงกระบอก (orifice) เส้น ผ่านศูนย์กลาง 12.7 มม. (1/2 นิ้ว) ยาว 28.6 มม. (1 1/8 นิ้ว) ปากกรวยบานออกมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 165.1 มม. (6 1/2 นิ้ว) เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 171.5 มม. (6 ¾ นิ้ว) สูง 136.5 มม. (5 3/8 นิ้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลายอีกข้างหนึ่งมีเกลียว สำหรับต่อกับขวด ขณะทำการทดสอบรอยต่อระหว่างขวด และกรวยต้องสนิท ในกรณีที่มีช่องว่างหรือเคลื่อนตัวได้ ต้องใส่แหวนยางหรือปะเก็น(gasket) รองลิ้นจะต้องมีที่บังคับให้หยุดเมื่อเปิด หรือ ปิดจนสุด รูปทรงกระบอกแล้ว แผ่นฐาน (base plate) ทำด้วยโลหะขนาด 305 มม. X 305 มม. (12 นิ้ว x 12 นิ้ว) ตรงกลางมีรูกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 165.1 มม. (เท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของปากกรวย) มีช่องกว้าง ประมาณ 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) สำหรับวางปากกรวยให้สนิทขอบ ขอบแผ่นฐานยกสูงขึ้น เพื่อความสะดวกในการเก็บดินตัวอย่าง หมายเหตุ ชุดเครื่องทดสอบความแน่นนี้ ใช้กับดินตัวอย่าง ประมาณ 2,800 ลูกบาศก์เซนติเมตร (0.01 ลบ.ฟ.) อาจดัดแปลง ชุดเครื่องมือให้เล็กลงหรือใหญ่ขึ้นได้แล้วแต่ความเหมาะสมในการ ใช้งานแต่ละชนิด

- ทราย ใช้ทรายออตตาวา (ottawa sand) หรือเตรียมจากทรายที่มีในท้องที่หรือวัสดุอื่นใด ที่คล้ายทราย ต้องสะอาด แห้ง ไหลได้ อย่างอิสระ (free flowing) ปราศจากเชื้อประสาน แข็ง กลม ไม่มี รอยแตก ไม่มีเหลี่ยมมุม ขนาดผ่านตะแกรงขนาด 2.00 มม. (เบอร์ 10) และค้างบนตะแกรงขนาด 0.075 มม. (เบอร์ 200) เล็กน้อยและมีความแน่นแบบบัลค์ (bulk density) เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกินร้อยละ 1
- เครื่องชั่ง ที่สามารถชั่งได้หนักถึง 10 กก. อ่านได้ละเอียดถึง 1.0 กรัม
- เครื่องชั่งที่สามารถชั่งได้หนักถึง 500 กรัม อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
- อุปกรณ์ทำให้ดินแห้ง ได้แก่ เตาน้ำมันก๊าด เตาแก๊ส กระทะคั่ว ดิน เป็นต้น หรืออาจใช้ตู้อบไฟฟ้า ตู้อบน้ำมันก๊าด ที่สามารถ ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ที่อุณหภูมิ 100±5 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้ดินตัวอย่างแห้งสำหรับความชื้นได้
- อุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ เช่น ช้อนตักดิน ตลับบรรจุดินพร้อมฝา ปิด ภาชนะสำหรับใส่ดิน เกรียง สิ่ว ค้อน แปรงขน แปรงลวด เหล็กปาด ตะแกรงขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) 2.00 มม. (เบอร์ 10) และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0.075 มม. (เบอร์ 200) และเทอร์โมมิเตอร์ เพื่อวัด อุณหภูมิของน้ำ เป็นต้น

2.14.1.3 การทดสอบ วิธีหาปริมาตรขวด พร้อมกรวย จนถึงรูลิ้นที่ปิดดำเนินการ ดังนี้

- ชั่งน้ำนักขวดเปล่าพร้อมกรวย
- ตั้งขวดเปล่าพร้อมกรวยบนพื้นที่มั่นคง เมื่อได้ระดับแล้วเปิดลิ้นไว้
- ใส่น้ำกลั่นลงในกรวย จนกระทั่งระดับน้ าขึ้นท่วมกรวย และไม่มีฟองอากาศค้างอยู่ในขวด แล้วจึงปิดลิ้นให้สนิท และเทน้ำที่ล้นข้างบนออกให้หมด
- ถ้าน้ำซึมออกตามบริเวณเกลียวปากขวด ให้ใช้ขี้ผึ้งหรือเทป ป้องกันน้ำซึม
- เช็ดน้ำที่ติดกรวย หรือข้างขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักเมื่อ น้ำเต็มขวด เมื่อนำน้ำหนักในข้อมาหักออกจะได้น้ำหนักน้ำเมื่อ เต็มขวด
- วัดอุณหภูมิของน้ำในขวด
- ให้ทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของน้ำเต็ม ขวด โดยแต่ละครั้งมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 3 กรัม และอุณหภูมิ ของน้ำ เพื่อนำไปหาค่าความแน่นของน้ำ ตามตารางที่ 1 คำนวณหาปริมาตรของขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความแน่นของน้ำ

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

2.14.1.4 วิธีตรวจสอบความแน่นแบบ บัลค์ ของทราย (bulk density of sand) ดำเนินการดังนี้

- วางขวดเปล่าที่ประกอบเข้ากับกรวยซึ่งได้ทำความสะอาดและชั่งเรียบร้อยแล้วหงายลงบนพื้นที่ราบมั่นคง และได้ระดับ ปิดลิ้นให้สนิทแล้วเททรายใส่ในกรวยจนเต็ม
- เปิดลิ้นให้ทรายไหลลงในขวด คอยเติมทรายในกรวยไม่ให้น้อย กว่าครึ่งของกรวยอยู่ตลอดเวลา ต้องระวังไม่ให้ขวดและกรวย กระเทือน ซึ่งจะทำให้ค่าความแน่นของทรายผิดได้ เมื่อทรายเต็ม ขวดโดยหยุดไหลแล้ว ให้ปิดลิ้นเททรายที่เหลือในกรวยทิ้ง
- ชั่งน้ำหนักขวดพร้อมกรวยและทราย ที่บรรจุอยู่เต็มขวด หักออกด้วยน้ำหนักของทรายเต็มขวด
- ให้ทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของทรายเต็มขวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.1.5 วิธีหาน้ำหนักของทรายที่บรรจุเต็มกรวย

ดำเนินการ ดังนี้

- ดำเนินการชั่งน้ำหนักขวด พร้อมกรวยและทรายที่บรรจุอยู่เต็มขวด
- คว่ำกรวยลงบนแผ่นฐาน ให้ปากกรวยตรงกับร่องของแผ่นฐาน โดยแผ่นฐานต้องวางอยู่บนพื้นที่ราบเรียบสะอาดและตรึงสนิทกับ พื้น
- เปิดลิ้นให้ทรายไหลจนเต็มกรวยโดยไม่ให้ขวดทรายกระเทือนเมื่อทรายหยุดไหลแล้วจึงปิดลิ้น
- น าขวดทรายที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก นำมาหักออกจากน้ำหนักที่หา ได้จะได้น้ำหนักของทรายที่บรรจุเต็มกรวย
- ให้ทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของทรายที่บรรจุเต็มกรวย

2.14.1.6 วิธีหาค่าความแน่นของดินในสนาม

ดำเนินการดังนี้

- ปรับแต่งพื้นผิวบริเวณที่จะทดสอบให้ราบเรียบ สะอาด
- วางแผ่นฐานลงบนพื้นที่จะทดสอบแล้วตรึงแผ่นฐานให้แน่น
- เจาะดินตรงรูกลางแผ่นฐานเป็นรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ารูกลางของแผ่นฐาน โดยเจาะเป็นแนวดิ่ง ตลอดชั้น วัสดุที่ทดสอบหรือลึกประมาณ 10-15 ซม. แล้วแต่ชนิดของงาน แต่งหลุมให้เรียบร้อยเพื่อให้ทรายไหลลงแทนที่ได้สะดวก
- นำดินที่เจาะขึ้นมาทั้งหมดไปชั่งหาน้ำหนัก จะได้น้ าหนักของดิน ชื้นและภาชนะใส่ดิน เมื่อหักน้ำหนักภาชนะที่ใส่ดินออกแล้ว จะ เหลือน้ำหนักรวมของดินชื้น
- คลุกดินที่เก็บจากหลุมในภาชนะใส่ดินให้ทั่วแล้วเก็บใส่ตลับบรรจุ ดินอย่างน้อย 100 กรัม ปิดฝากตลับแล้วนำไปชั่งและอบให้แห้ง คำนวณหาปริมาณน้ำที่ผสมอยู่ในดินเป็นร้อยละ ของน้ำหนักดินที่อบแห้ง
- คว่ำขวดที่บรรจุทรายอยู่เต็มพร้อมกรวยซึ่งชั่งน้ำหนักไว้แล้วลงบน ร่องของแผ่นฐาน เปิดลิ้นให้ทรายไหลลงจนเต็มหลุม โดยไม่ให้ ขวดทรายกระเทือน เมื่อทรายหยุดไหลแล้วจึงปิดลิ้น นำขวดทราย ที่เหลือไปชั่งน้ำหนัก เก็บทรายสะอาดเพื่อใช้งานต่อไป ส่วนทราย ที่ชื้นหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สกปรก ให้นำไปทำความสะอาดนำน้ำหนักในตอนหลัง หักออกจากน้ำหนักที่ชั่งได้ก่อนคว่ำกรวย จะได้น้ำหนักของทราย ที่ไหลออกไปจากขวด นำน้ำหนักที่ได้ไปหักออกจากน้ำหนักของทรายที่ไหลออกไปจากขวด แล้วจะได้น้ำหนักทรายที่แทนที่ดินในหลุม

2.14.1.7 การรายงาน

- ให้รายงานชื่อโครงการ สายทาง ชั้นของวัสดุ ชนิดของวัสดุ รายนาม เจ้าหน้าที่ที่ทดสอบ วันเวลาที่ทดสอบ ความแน่นของ ทรายที่หาได้ ตำแหน่งที่ทดสอบ ความหนาของชั้นต่าง ๆ ตาม สัญญา และความหนาจริงในการก่อสร้าง และรายละเอียดอื่น ๆ
- ค่าความแน่นของดินให้ใส่ทศนิยม 3 ต าแหน่ง และร้อยละของ การบดอัดให้ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

2.14.1.8 ข้อควรระวัง

- แผ่นฐานที่วางบนพื้นทดสอบต้องตรึงให้แน่น
- พื้นผิวที่ทดสอบควรราบเรียบได้ระดับ สะอาด
- ขณะทดสอบต้องไม่ให้ขวดทรายกระเทือน
- หาค่าความแน่นแบบบัลค์ ของทราย อย่างน้อยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง
- ทรายที่ใช้ทดสอบต้องสะอาดและแห้ง
- ต้องปิดลิ้นก่อนคว่ำขวดทรายทุกครั้งในขณะขนย้ายเครื่องมือให้อุ้มตัวขวดโดยตรง ห้ามหิ้วที่กรวย เพราะตรงบริเวณลิ้นไม่แข็งแรงอาจขาดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ มีทรายบรรจุอยู่เต็มขวด

2.14.2 การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนามโดยวิธี Nuclear Method

2.14.2.1 หลักการทั่วไปของเครื่องมือ Nuclear Method

Nuclear Method เป็นเครื่องมืออิเลคโทรนิกส์ที่สามารถวัดหาปริมาณความชื้น ความหนาแน่นและการอัดแน่นของวัสดุ เช่น ดิน,หิน คอนกรีตและยางมะตอยหรือวัสดุอื่น ๆ ที่มี ความชื้นและความหนาแน่นในช่วงที่ เครื่องมือกำหนดไว้ ในการวัดความแน่นนั้นใช้รังสีแกมมา หรือโฟตอนจากต้นกำเนิดรังสี คือ ซีเซียม 137 (Cs – 137) ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสีชนิดที่มีความ แรงของรังสีในระดับที่ต่ำ มีค่าครึ่งชีวิต 30 ปี ความแรงรังสี 8 mCi (มิลลิคูรี) ส่วนการวัดหา ปริมาณความชื้นในวัสดุนั้นใช้รังสีรังสีนิวตรอนจากต้นกำเนิดรังสี คือ อเมอริ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซียม 241 และเบอริลเลียม (Am 241:Be) มีค่าครึ่งชีวิต 432 ปี ความแรงรังสี 40 mCi (มิลลิคูรี) วิธีการทดสอบ ได้ผ่าน การรับรองให้เป็นเครื่องมือในการควบคุมการบดอัดตามมาตรฐาน ASTM D2922, D2950, D3017 และ D-1040 มีลักษณะการใช้งานในการวัดความหนาแน่นอยู่ 2 แบบคือ backscatter และ direct transmission วิธีวัดแบบ backscatter mode เป็นวิธีการทำงานที่รวดเร็วและยังไม่เป็นการทำลายชั้นทางเพราะจะวางเครื่องมืออยู่ชั้นทางที่ต้องการทดสอบโดยไม่มีการขุดหรือตอกที่ชั้นทาง ตำแหนงของ source rode จะอยู่ที่ต่ำจากตำแหน่ง safe position ลงมาหนึ่งขั้นซึ่งจะทำให้ทั้งต้นกำเนิดรังสีแกมมาและ Detectors (ตัวตรวจจับรังสี) จะยังคงติดอยู่ที่ภายในตัว gauge ซึ่งวางอยู่บนระนาบ ชั้นวัสดุที่ต้องการทดสอบ การตรวจนับรับสีเป็นการอ่านค่า ของ detector จากการสะท้อนกลับ (scatter of reflect) การวัดค่าโดยใช้ backscatter mode นั้นโดยปกติใช้กับชั้นโครงสร้างที่ไม่หนา มาก เช่น ชั้นผิวทาง asphalt และ concrete เป็นการวัดค่าที่ความหนาประมาณ 10 ซม. แต่การ วัดแบบ backscatter นั้นจะถูกต้องแม่นยำน้อยกว่าวิธี direct transmission วิธีวัดแบบ direct transmission mode เป็นการทดสอบกับชั้นทางที่หนา วิธีการทดสอบ ทำโดยเลื่อนแท่งรังสี (source rod) ที่มีแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาที่ปลายแกนในรูที่เจาะลึกลงไปโดย ใช้ drill rod ตามระยะความลึกที่ต้องการทดสอบ เมื่อทำการทดสอบรังสีแกมมาจะถูกปล่อยผ่าน ไปยังชั้นวัสดุและชนกับอิเล็คตรอนจนทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปยิ่งวัสดุมีความหนาแน่น มากเท่าไรก็จะยิ่งทำให้เกิดการชนระหว่างโฟตอนกับอิเล็คตรอนมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ลดจำนวน โปรตอนที่จะเหลือให้ detector ที่ติดอยู่ที่ฐานของ gauge ตรวจพบ ดังนั้นจำนวนนับรังสีแกรมมา จากหัววัดรังสี (detector) จะสามารถเซตความลึกได้ 2 แบบ คือ automatic depth เครื่องวัดจะทำการอ่านค่าความลึกของตำแหน่ง source rod ที่เคลื่อนที่ลง ไปจากผิวโดยใช้ depth sensor และอีกแบบหนึ่งก็คือเซตความลึกแบบ manually depth

ในสเปกของเครื่องมือ Nuclear Method ที่ใช้ยี่ห้อง troxler รุ่น 3450 นั้น ใช้ซีเซียม 137 ปริมาณหนึ่งซึ่งทำให้มีค่าความแรงรังสี หรือกัมมันตภาพ (activity) 8 mCi ร้อยละ 10 โดยที่ 1 Ci (curie) = มีค่าเท่ากับความแรงที่นิวเคลียสสลายได้ 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที

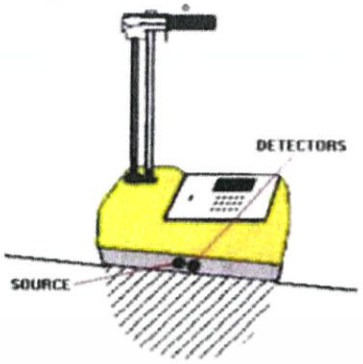
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.2.2 วิธีการทดสอบหาค่าความชื้นในวัสดุชั้นทาง

การทดสอบหาค่า moisture content เป็นการทดสอบที่ไม่ทำลายชั้นทาง หลักการใน การทดสอบคือ Fast neutron จะถูกปล่อยออกไปในชั้นวัสดุและจะช้าลง หลังจากที่แผ่รังสีนิวตรอนชนกับอะตอมของไฮโดรเจนกลายเป็น slowed neutrons หรือ thermalized neutrons จากนั้นตัวตรวจวัด (detector) ใน gauge ก็จะตรวจนับจำนวนของนิวตรอน (slowed neutrons) ซึ่งก็จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณความชื้นในดินตัวอย่างที่ทำการทดสอบ รายงานผลออกมา เป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้น ซึ่งการวัดรังสีนิวตรอนโดย Detector นั้นอาศัยปฏิกิริยานิวเคลียร์ โดย ปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่ในการวัดรังสีนิวตรอน (slowed neutrons of thermalized neutrons) ใช้สารที่ มีโอกาสที่จะทำปฏิกิริยากับนิวตรอนสูง ในเครื่องมือนี้ได้แก่ He (ไอโซโทปของาตุฮีเลียมที่มีเลข มวลหรือมวลอะตอมเท่ากับ 3) ซึ่ง sensitive ต่อ slow neutron เท่านั้น การวัดปริมาณความชื้นดังกล่าวทำงานเหมือนกับการวัดความแน่นโดยใช้ backscatter mode กล่าวคือทั้งตัวตรวจจับรังสี (helium-3 detector) และต้นกำเนิดรังสี (Am-241:Be) อยู่บนระนาบเดียวกับบนชั้นวัสดุที่ต้องการตรวจวัด

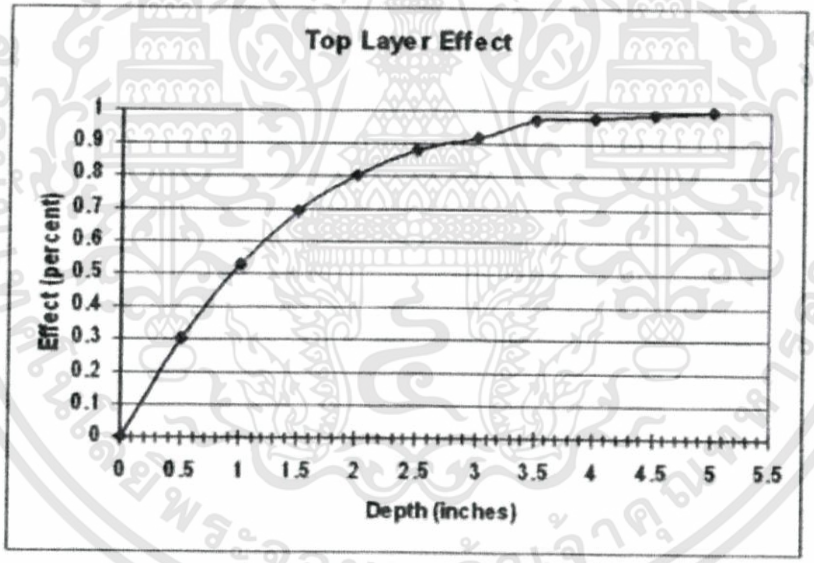
ค่าความลึกที่เหมาะสมในการวัดค่าความชื้นในสนามของเครื่องมือทดสอบนั้นขึ้นอยู่กับว่าวัสดุที่ต้องการวัดนั้นมีค่าความชื้นอยู่มากน้อยเพียงใด ถ้าหากวัสดุมีความชื้นน้อยอนุภาคนิวตรอนก็สามารถแผ่ไปได้ลึกกว่าแต่ถ้าวัสดุมีความชื้นมาก อนุภาคนิวตรอนก็จะยังเหลือไปถึงชั้นที่ลึกได้น้อยเพราะจะเปลี่ยนแปลงไปกลายเป็นslowed neutron เมื่อเจอกับอะตอมไฮโดรเจนที่มีอยู่มาก ดังแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การจัดเครื่องมือทดสอบเพื่อหาค่าความชื้นในสนาม

ในการวัดค่าความแน่นในสนามนั้น หากเราเลือกใช้การวัดแบบ backscatter จำเป็นต้องรู้ ถึงผลกระทบที่เรียกว่า top layer effect คือ ที่ความหนา 5 ซม. แรกจะมีผลต่อการวัดประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ความหนา 5 ซม. ด้านล่างจะมีผลต่อการวัดประมาณร้อยละ 18 ดัง รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.8 กราฟผลกระทบที่เรียกว่า top layer effect ที่มีต่อการวัดค่าความแน่แนนแบบ backscatter ที่ความหนาต่าง ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

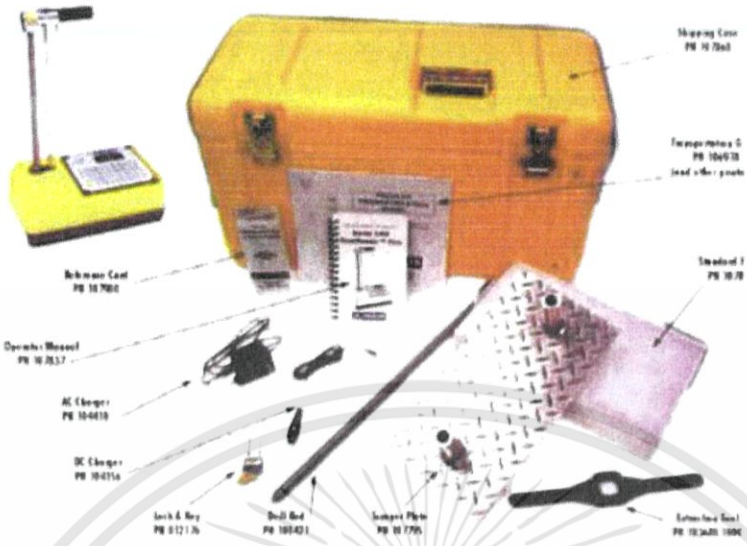
เครื่องมือวัดความแน่นในสนามยี่ห้อ troxler รุ่น model 3450 มี g-m tubes ที่ใช้เป็น photon detector อยู่ 2 ตำแหน่ง เมื่อมีการทำงานแบบที่วัดรังสีสะท้อนกลับ ตัวที่อยู่ไกลไปจากแหล่งกำเนิมากกว่าจะมีความเหมาะสมมากกว่าในการวัดรังสีที่สะท้อนมาจากวัสดุที่อยู่ลึกกว่า ส่วนตัวที่อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดรังสีมากกว่าเหมาะกับการวัดรังสีที่สะท้อนมาจากวัสดุที่อยู่ตื้นกว่า ในการทดสอบสามารถเลือกการทดสอบชนิดเป็นชนิด thin layer ได้เพื่อจะสามารถวัดค่าที่ความหนาที่ต้องการ

ดังนั้นในการวัดค่าความแน่นในสนามแบบ backscatter จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ จะต้องปรับ ผิวหน้าพื้นที่ที่จะวัดให้มีความเรียบ เพื่อไม่ให้มีช่องว่างในขณะที่วางฐานเครื่องทดสอบลงไป เพราะจะทำให้มีผลกระทบอย่างมากต่อค่าที่วัดออกมา ทำให้ค่าที่ได้ ต่ำกว่าความเป็นจริง

2.14.2.3 ส่วนประกอบของชุดวัดความชื้นและความหนาแน่น

Nuclear Method เป็นเครื่องมือวัดประเภท protable (เคลื่อนย้ายได้) สามารถอ่านข้อมูลได้ ในการวัดความชื้นหรือความหนาแน่น ภายในบรรจุสารกัมมันตรังสี วงจรอิเล็คโทรนิค ชุด แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า ด้านหลังจะมีสลากบอกเกี่ยวกับตัวเครื่อง เช่น ความแรงของรังสี หมายเลขเครื่อง Reference block ใช้ในการปรับตั้งมาตรฐานการนับเพื่อเช็คการทำงานของเครื่อง ว่าพร้อมหรือไม่ ก่อนที่จะนำไปใช้งาน หรือเป็นการปรับแก้ไขค่าการวัดให้ถูกต้องจากที่สารรังสี ลดลงไปตามเวลา Scraper plate (Drill Rod guide) ใช้ในการระบุตำแหน่งที่จะเจาะเพื่อทำเป็นรู ให้ท่อนำสารรังสีลงไปในงานสนาม โดยเลือกลักษณะการใช้งานแบบ direct transmission drill rod ใช้ในการเจาะรูสำหรับการใช้งานแบบ direct transmission drill rod extraction tool ใช้ดึงที่ เจาะ (drill rod) ออกจากวัสดุที่ทำการเจาะอยู่ charger มี 2 ชนิดคือแบบรับจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า แบบ DC (12 โวลต์) หรือรับพลังงานจากแหล่งจ่ายไฟแบบ AC (115/230V ,50/60 Hz) extra battery case เป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าแบบใช้ถ่าน alkaline transport case เป็นกล่องบรรจุ เครื่องมือและเครื่องวัดที่ใช้ในการขนย้าย ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของชุดวัดความชื้นและความหนาแน่นของเครื่องมือ

2.12.2.4 การเตรียมใช้เครื่องมือ

ในขณะที่ไม่ได้ทำการทดสอบ source rod คือแท่งที่มีแหล่งกำเนิดรังสีแกมมาอยู่ที่ปลาย แท่งนั้นควรอยู่ที่ตำแหน่ง safe position การใช้งานเมื่อเริ่มเปิดสวิทช์ไฟเข้าเครื่อง เครื่องมือจะมีการตรวจสอบตัวเองว่าพร้อมที่จะ ใช้งานหรือไม่ หากมีอะไรผิดปรกติจะแสดงผลออกมาที่จอแสดงผล จากนั้นจะเป็นการ warm up เครื่องเป็นเวลาประมาณ 10 นาที จึงจะพร้อมใช้งานได้ ในการใช้งานเครื่องนั้นผู้ทดสอบจะต้อง ทราบการกำ หนดค่าราามิเตอร์ที่ต้องป้อนเข้าไปและบันทึกไว้ในหน่วยความจำของเครื่องเพื่อให้ ทราบค่าการ set up เครื่องก่อนใช้งาน เครื่องทดสอบยี่ห้อ troxler รุ่น model 3450 สามารถ บันทึกเก็บค่าผลการทดสอบไว้ในหน่วยความจำโดยให้ผู้ใช้ตั้งชื่อโปรเจคที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูล การดูข้อมูลที่เก็บไว้ก็โดยการเรียกชื่อไฟล์ โปรเจคซึ่งอาจเก็บไว้หลาย ๆ ไฟล์โปรเจค ภายใน เครื่องสามารถเก็บข้อมูลได้ 1000 ผลการทดสอบ เก็บข้อมูลได้สูงสุดใน 1 ไฟล์โปรเจคได้ 650 ผลการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.2.5 การทำ Calibration การ Calibrate

เครื่องมือวัดทำได้โดย คำนวณหาค่าการนับรังสี จากการวัดค่าจากวัสดุที่รู้ ค่าความหนาแน่นที่แน่นอนแล้ว นำค่าที่อ่านได้มาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่านับรังสีที่อ่านได้กับค่าความหนาแน่นที่เรารู้ค่าที่แท้จริงแล้ว วัสดุที่รู้ค่าความหนาแน่นที่แน่นอนที่ใช้ได้แกMagnesium มีความหนาแน่น 1,760 kg/m3 Magnesium Aluminum มีความหนาแน่น 2,157 kg/m3 และAluminumมีความหนาแน่น 2,640 kg/m3 วิธีการ Calibrate ทำโดยนำเครื่องมือวางบนวัสดุมาตรฐานดังกล่าวแล้วทำการ นับรังสีที่แต่ละความลึก ค่าที่อ่านได้จะถูกบันทึกโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และคำนวณหาค่า ความสัมพันธ์เป็นค่าคงที่ที่ใช้เป็นสมการในการคำนวณหาค่าความหนาแน่นในสนาม โดยปกติ ควรมีการทำ Calibration ทุกๆ 12 ถึง 18 เดือนโดยผู้ผลิต ดังรูปที่2.4

รูปที่ 2.10 การทำา Calibration ของเครื่องมือโดยทดสอบบนวัสดุที่รู้ค่าความหนาแน่นที่แน่นอน

2.14.2.6 การทำ Standard Count

ทำไมต้องทำ Standard Count ? คำตอบก็คือ เพื่อให้การวัดค่าได้ผลออกมาถูกต้อง เพราะเมื่อเวลาผ่านไป ต้นกำเนิดรังสีจะมีปริมาณลดน้อยลง ทำให้อัตราการสลายตัวให้รังสีลดลง ไปด้วย ฉะนั้นผู้ใช้จำเป็นที่จะต้องมีการทำ Standard Count เพื่อนำค่าที่ได้ไปคำนวณหา Count Ratio ซึ่งมี 2 ค่าคือ CRd และ CRm (ในสมการที่ 4 และ 5) ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปเครื่อง ทดสอบก็ยังวัดค่าความแน่นได้ถูกต้อง โดยที่Count Ratio = Count ในสนาม / Standard Count หลักการในการทำ Standard Count ก็เพื่อที่จะนำค่า Count Ratio จากบอล์คพาราฟิน ซึ่งเป็นวัสดุอ้างอิงที่เรารู้ค่าความหนาแน่นที่แน่นอนก่อนแล้ว การเลือกสถานที่ที่จะทำ Standard Count ควรจะประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

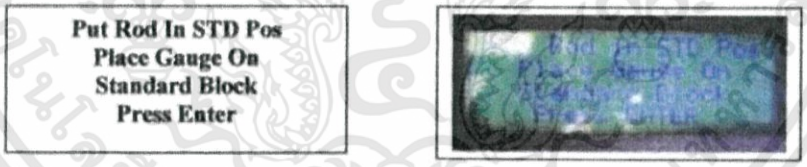
1. จะต้องเป็นสถานที่ที่แห้งและเป็นพื้นราบ
2. จะต้องห่างจากกำแพงอย่างน้อย 3 เมตร หรือ 10 ฟุต
3. จะต้องห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีอื่นไม่น้อยกว่า 3 เมตร
4. พื้นจะต้องเป็นแอสฟัลต์, หรือดินที่บดอัดแล้ว โดยมีความหนาไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร หรือ 4 นิ้ว

หลังจากเลือกสถานที่ทำ Standard Count ได้แล้ว ก็ให้นำเครื่องทดสอบออกมาแล้ว Turn On เมื่อหน้าจอแสดงผล อยู่ในเมนู Ready Screen แล้วให้กดคีย์ (Standard) จอแสดงผลจะแสดงค่า STD ของ DS และ MS ที่อยู่ในเครื่องก่อนหน้านี้ ดังนี้

หมายเหตุ DS = Density Standard Count

MS = Moisture Standard Count

ถ้าต้องการทำ Standard Count ใหม่ให้กดคีย์เลข (1) จากนั้นกดคีย์ (2) แล้ว ENTER เครื่องจะถามออกมาว่า

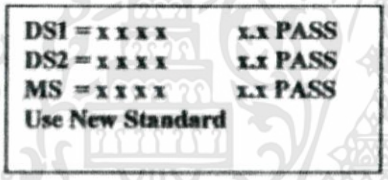


ให้ผู้ใช้นำบอล์คพาราฟินสี่เหลี่ยมมาแล้วนำเครื่องทดสอบวางบนแผ่นบอล์คพาราฟินนั้น ดังรูปที่ 2.5

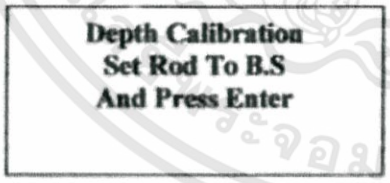
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

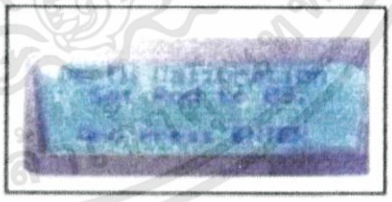
รูปที่ 2.4 การนำเครื่องทดสอบวางบนแผ่นบอล์คพาราฟินเพื่อทำ Standard count

การวางเครื่องทดสอบจะต้องให้ทุกส่วนของฐานวางอยู่บนบอล์คพาราฟินโดยปลายด้านหนึ่งชิดกับแผ่นเหล็ก และให้ตำแหน่งของแท่งรังสี (Soure Rod) อยู่ในตำแหน่ง Safe Position จากนั้นทำการยืนยันคำสั่งให้กดคีย์ (ENTER) การทำ Std Count จะใช้เวลาครั้งละ 4 นาที เมื่อเสร็จสิ้นการนับรังสีแล้ว เครื่องจะแสดงผลที่หน้าจอ



ค่าDS1 และ DS2 จะผิดพลาดไม่เกิน 1.3%ของค่าเฉลี่ยและค่า MS จะผิดพลาดได้ไม่เกิน 1% ของค่าเฉลี่ยหลังจากทำ STD Count ผ่านแล้วให้กดคีย์ (YES) จากนั้นเครื่องจะทำการ Calibrate ตำแหน่งของแท่งรังสี โดยหน้าจอจะแสดงข้อความว่า





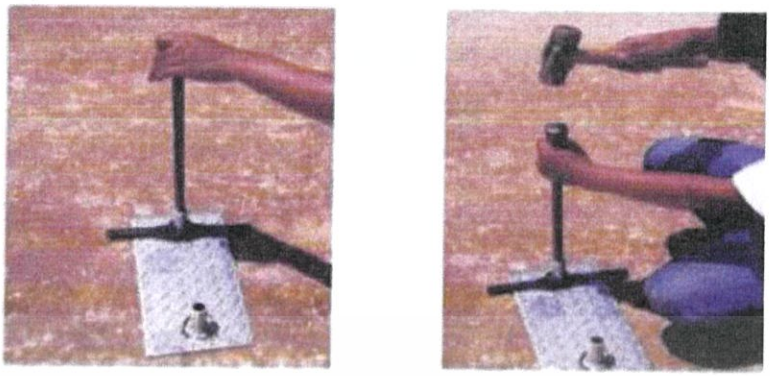
จากนั้นให้กดคีย์ (ENTER) ในกรณีที่ไม่ได้ใช้เครื่องทดสอบเป็นเวลานานเป็นเดือน ผลการทำ STD Count อาจจะ Fail ได้ให้ผู้ใช้ทำการยืนยันค่าใหม่ให้เข้าไป เก็บแทนค่าเก่า และให้ทำทดลองทำใหม่อีกสัก 4 ครั้ง ค่าที่ทำครั้งหลังสุดน่าจะได้ DS1 และ MS ผ่าน ถ้ายังไม่ผ่านให้ติดต่อบริษัทผู้ขาย ทำการ ซ่อมบำรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.2.7 การเตรียมสถานที่ที่ทำการทดสอบ (preparing a teatsite) การเตรียมสถานที่สำหรับการทดสอบงานดิน (soil site)

1. สถานที่จะต้องเป็นพื้นเรียบห่างจากรอยร้าวหรือรูโพรงขนาดใหญ่
2. ถ้าจำเป็น ที่จะต้องทำการปรับพื้นให้เรียบก็ให้ใช้แผ่นเพลท ที่ใช้ เจาะรูทำการปรับพื้นให้เรียบ
3. ปรับพื้นที่เป็นรูเล็ก ๆ ด้วยทรายละเอียด
4. นำเพลทโลหะที่สำหรับเจาะรูวางบนสถานที่ที่เตรียมไว้ แล้วกดเพลทลงไปผิวดิน
5. สำหรับการทดสอบแบบ Direct Transmission เป็นวิธีที่สามารถวัด ได้ถูกต้องและมีความแน่นอนสูงจะต้องทำการเจาะรู เพื่อหย่อน แท่งรังสีลงไปต่ำกว่าบริเวณผิวทางดังรูป
6. ใช้ค้อนปอนด์ตอกแท่งเหล็กเจาะรูลงไประยะความลึก สังเกตได้จาก ตำแหน่งบอกระยะที่แท่งเจาะช่องละ 2 นิ้ว ควรจะตอกลงไปลึกกว่า ตำแหน่งที่ต้องกาทดสอบ เช่น ถ้าทดสอบที่ความลึก 10 เซนติเมตร (4 นิ้ว) ก็ควรตอกให้ลึก 6 นิ้ว หรือ 5 นิ้ว เพราะเวลา ถอนเอาแท่งเจาะออกจะมีดินบางส่วนเคลื่อนปิดลงไปทำให้ระยะลึก น้อยกว่าระยะที่ตอกจริง
7. ทำการถอนแท่งเจาะออก
8. เมื่อจะเอาแผ่นเพลทออก ควรใช้ไม้หรือเหล็กแหลมขีดทำ เครื่องหมายบอกที่รอบแผ่นเพลงบนผิวดินให้ครบทั้ง 4 มุม เพราะ เวลาเอาเครื่องทดสอบไว้วางบนบริเวณที่เตรียมพื้นที่ไว้ แท่งรังสีจะ หย่อนลงไปในรูเจาะได้พอดี ดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การเจาะรูโดยใช้ Scraper plate (Drill Rod guid) และแท่ง Drill Rod เป็นการระบุตำแหน่งที่จะนำสารรังสีลงไปในสนามในการเลือกลักษณะการใช้งานแบบ Direct transmission โดยมีการทำสัญลักษณ์หลังจากเจาะ เตรียมไว้เพื่อที่จะได้นำเครื่องมือมาวางให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้อง

2.14.2.8 การเตรียมสถานที่สำหรับงาน asphalt, คอนกรีต, ดินแข็ง (asphalt site) ก็จะมีขั้นตอนเหมือนกันกับงานดินเพียงแต่การเจาะรูเพื่อทำการวัดแบบ direct transmission จะทำได้ยากเพราะวัสดุทดสอบจะมีความแข็งมากบางครั้งจำเป็นที่จะต้องใช้สว่าน ไฟฟ้าเจาะรู แทนการตอกด้วยแท่งเหล็ก แต่ถ้าไม่ต้องการเจาะรูเราอาจเลือกทำการวัดแบบ backscatter ก็ได้แต่ผลความแน่นอนจะน้อยกว่าวิธี direct transmission

2.14.2.9 การทดสอบใน Soil Mode

การวัดความแน่นและความชื้นของดิน, หิน คลุก, ทราย มีขั้นตอนดังนี้

1. เลือกการทดสอบแบบ Soil Mode
2. ทำการป้อนค่า Protor (ค่า Max Lab) จากห้องปฏิบัติการ
3. เตรียมสถานที่ที่ทำการทดสอบ
4. วางเครื่องทดสอบบนสถานที่ที่เตรียมทดสอบ
5. กดแท่งรังสีให้เลื่อนลงไปในรูที่เจาะไว้ให้ลึกตามที่ต้องการ โดย คลายล็อคกลไกที่แขนจับก่อน ทำได้โดยใช้นิ้วมือกดสลักล็อค
6. สังเกตความลึกจากแท่งรังสีที่เคลื่อนลงไปจากเสาบอกระยะ ที่มี ระยะบอกช่วงละ 2 นิ้ว เมื่อถึงตำแหน่งที่ต้องการ จะต้องให้ ตัวล็อคซึ่งเป็นกลไกอยู่ที่แขนจับเลื่อนล็อคกับร่องปากที่เสาบอก ระยะพอดี เมื่อปล่อยคลายกลไก ผู้ใช้จะได้ยินเสียงคลิกส์ เมื่อ แท่งรังสีล็อคเข้ากับตำแหน่งที่ทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. กดคีย์ (Start) โดยปกติจะใช้เวลาในการทดสอบแต่ละครั้งนาน 1 นาที ดังนั้นจะต้องเซตค่า (Time) ไว้ที่ 1 นาทีก่อน เมื่อครบเวลา 1 นาที และหน้าจอแสดงผลจะแสดงผลการทดสอบ ออกมาดังนี้

```
     %PR = x x x x x %
DD  = x x x x x  pcf
WD = x x x x x  pcf
M   = x x x x x %M= x x x x x
```

%PR = Percent Proctor

DD = Dry Density

WD = Wet Density

M = Moisture

%M = Percent Moisture

ถ้าต้องการบันทึกค่าลงในไฟล์โปรเจค ที่ตั้งชื่อไว้ให้กดคีย์ (store) จากนั้น ต้อการกลับสู่ เมนู Ready Screen ให้กดคีย์ (ESC) และถ้าต้องการเริ่มทดสอบใหม่อีกครั้งก็ให้กดคีย์ (start) เมื่อจบการทดสอบแล้วให้เลื่อนแท่งรังสีกลับสู่ตำแหน่ง Safe position รูปที่ 2.6

รูปที่ 2.13 การกดแท่งรังสีให้เลื่อนลงไปในรูเจาะให้ลึกตามที่ต้องการ โดยคลายล๊อคกลไกที่แขนจับหลังจากนั้นกดปุ่มคำสั่งให้เครื่องทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.15 เครื่องจักรกลที่ใช้บดอัดดินในสนาม

อุปกรณ์และเครื่องจักรกลที่ใช้ในการทำงานมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีความเหมาะสมเฉพาะงาน ดังนั้นการรู้จักใช้อุปกรณ์และเครื่องจักรกลให้เหมาะสมกับขนาดและประเภทของงานเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง การบดอัดดินในสนามพอที่จะจำแนกระบบบนพื้นฐานการทำงานของเครื่องจักรกลได้ดังนี้

2.15.1 รถบดล้อเรียบ (รูปที่ 2.7) เป็นรถบดอัดที่เหมาะสำหรับกรวด ทราย หรือวัสดุที่คล้ายคลึง ล้อรถบดทำด้วยเหล็กที่มีความแข็งแรงมาก การบดอัดจะทำให้เกิดการ แตกหักของเม็ดดินและทำให้ผิวถนนเรียบ ความดันที่จุดสัมผัสระหว่างดินกับล้อ ประมาณ 45 ถึง 55 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (310 ถึง 380 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร) รถบดอัดประเภทนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการบดอัดในชั้นดินที่หนามาก เนื่องจาก ความดันล้อมีค่าไม่สูงนัก

รูปที่ 2.14 รถบดล้อเรียบ

2.15.2 รถบดล้อยาง (รูปที่ 2.8) เป็นรถบดที่มีประสิทธิภาพสูงกว่ารถบดล้อเรียบในหลายๆ ด้าน รถบดประเภทนี้เป็นรถบดที่มีน้ำหนักมาก และประกอบด้วยล้อ ประมาณ 4 ถึง 6 ล้อในหนึ่งแถว แต่ละล้อมีระยะห่างใกล้กัน ความดันที่จุดสัมผัส ระหว่างล้อกับดินประมาณ 85 ถึง 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (585 ถึง 690 กิโลนิวตัน ต่อตารางเมตร) รถบดแบบนี้เหมาะสำหรับดินทรายและดินเหนียว การบดอัดเป็น การผสมผสานระหว่างการบดอัดด้วยความดันและการนวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.15 รถบดล้อยางทำงานด้วยระบบความดันลม (pneumatic-tired roller)

2.15.3 รถบดตีนแกะ (รูปที่ 2.9) ประกอบด้วยล้อโลหะรูปทรงกระบอกที่มีเหล็กยื่นออกมา (projection) พื้นที่ของแต่ละ projection จะประมาณ 4 ถึง 13 ตารางนิ้ว (25 ถึง 85 ตารางเซนติเมตร) รถบดประเภทนี้เป็นรถบดที่มีประสิทธิภาพในการ บดอัดดินเหนียวมากที่สุด ความดันที่จุดสัมผัสระหว่างดินและล้อบดประมาณ 200 ถึง 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (1380 ถึง 6900 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร) การ วิ่งผ่านของรถรอบแรกๆ จะบดอัดดินส่วนที่อยู่ด้านล่าง และการวิ่งผ่านของรถ รอบหลังๆ จะบดอัดดินที่อยู่ชั้นบน

รูปที่ 2.16 รถบดตีนแกะทำงานด้วยระบบบดอัดสั่นทะเทือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถบดอัดแบบสั่นสะเทือนเป็นรถบดอัดที่มีประสิทธิภาพอย่างมากสำหรับกรวด และทราย เครื่องสั่นสะเทือนสามารถติดตั้งกับรถบดอัดได้ทุกประเภท รูปที่ 2.8 แสดงหลักการของรถบดอัดประเภทนี้การสั่นสะเทือนเกิดจากเครื่องที่ติดตั้งไว้ นอกจุดศูนย์กลางของล้อ (off-center rotation weight) เครื่องสั่นนี้จะเคลื่อนที่ขึ้นลงระหว่างการบดอัดด้วยความถี่ 20 ถึง 30 รอบต่อวินาที

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทำโครงงาน

3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูลผลการทดสอบการบดอัด และCBRในห้องปฏิบัติการของดิน เม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุกจากกรมทางหลวง ดินตัวอย่างทั้งหมดเป็นดินที่มีความคละตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ผลทดสอบ ทั้งหมดจะนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และค่าความแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density) เพื่อใช้เป็นค่าควบคุมการทดสอบความแน่นในสนาม นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูล ความแน่นของดินบดอัดในสนามและจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด เพื่อเข้าใจการพัฒนาความแน่น แห้งในสนามตามจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด เพื่อความสะดวกในการเก็บข้อมูล ความแน่นแห้ง ในสนามได้จากการทดสอบด้วย วิธีนิวเคลียร์ (Nuclear method) วิธีการนี้จะคำนวณหาหน่วยน้ำหนักแห้งโดยการส่งผ่านรังสีแกมม่า (Gamma ray) ไปยังดินถมและสะท้อนขึ้นสู่เครื่องรับรังสี ถ้าปริมาณรังสีสะท้อนกลับมายังเครื่องรับมากแสดงว่า วัสดุมีความแน่นแห้งสูง การหาปริมาณ ความชื้นทำโดยการใช้รังสีนิวตรอน (new tron) ส่งผ่านไปยังวัสดุดินถมและสะท้อนกลับไป เครื่องรับ อนุภาคของนิวตรอนจะไปชนกับอะตอมของไฮโดรเจน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำ ถ้านิวตรอนสะท้อนกลับเข้าเครื่องรับช้า แสดงว่า ปริมาณน้ำในมวลวัสดุดินถมมีมาก นอกจากความสะดวกรวดเร็วแล้ว วิธีการนี้ยังเป็นการทดสอบที่ไม่ทำลายชั้นทาง

3.2 แผนงานดำเนินการ

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยงานหลักสองส่วน ส่วนแรกเป็นการรวบรวมผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และในสนามผลการทดสอบในสนามประกอบด้วยผลทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน (การกระจายขนาดของเม็ดดิน และพิกัด Atterberg) ผลทดสอบการบดอัด และผลทดสอบ CBR ข้อมูลผลการทดสอบทั้งหมดรวบรวมจากกรมทางหลวง ส่วนที่สองเป็นรวบรวมผลทดสอบการบดอัดในสนาม งานวิจัยนี้ทำการรวบรวมผลทดสอบใน สนามจากโครงการ ก่อสร้างถนนทางหลวงหมายเลข 304 มีนบุรี – ฉะเชิงเทรา ช่วงที่ 1 การบดอัด นี้เป็นการบดอัดดินเม็ดละเอียดสำหรับทำพื้นคันทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

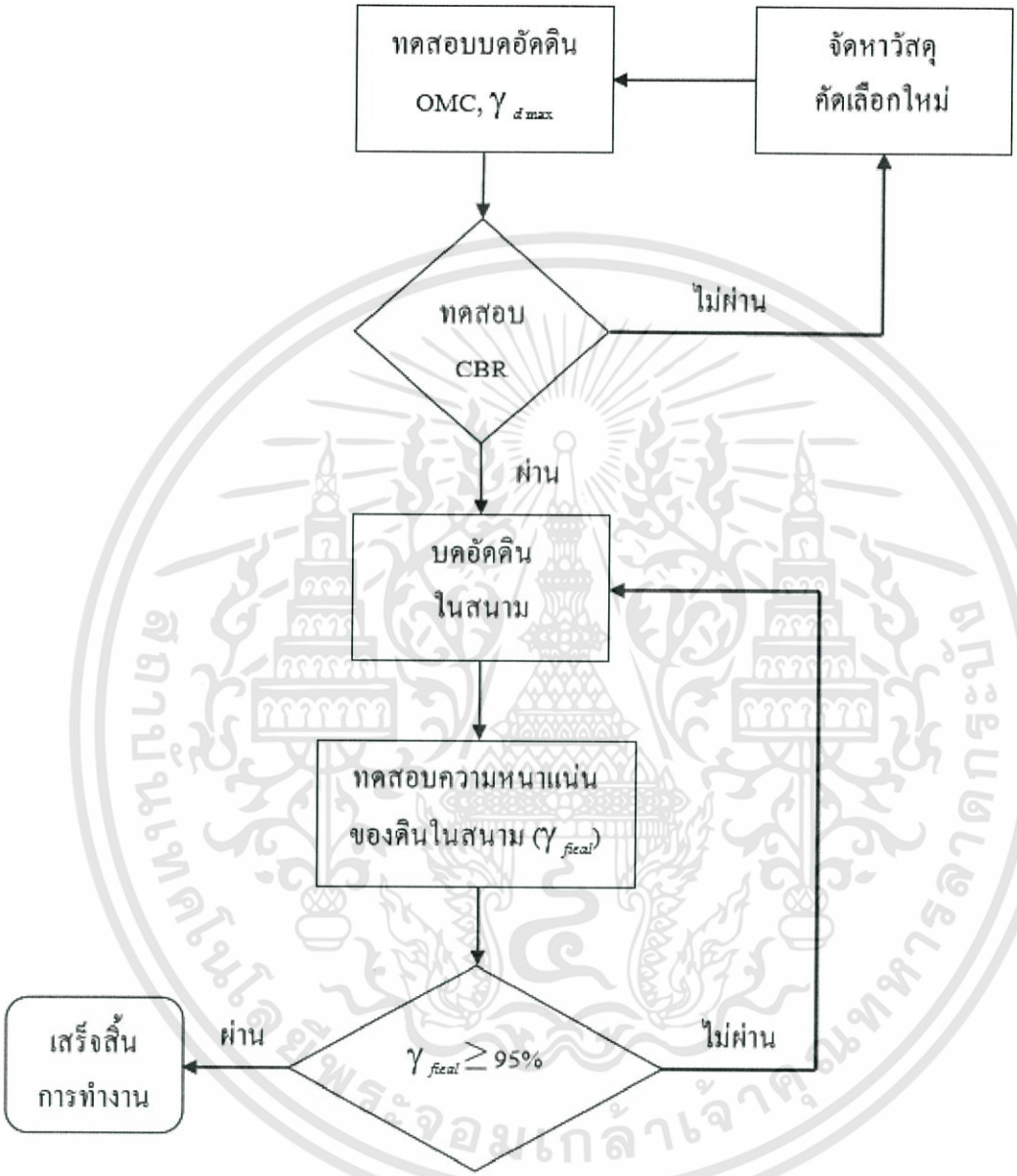
ดินตัวอย่างที่รวบรวมมาจะผ่านการทดสอบตามมาตรฐานของกรมทางหลวง โดย ดินตัวอย่างจากสายทางต่างๆจะนำตากให้แห้ง และแบ่งตัวอย่างให้ได้ปริมาณเพียงพอต่อการ ทดสอบด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่างตามมาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวง เป็นดังนี้

- การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุคันทาง(Embankment: Material) (มาตรฐานที่ ทล.- ม. 102/2532)
- วัสดุมวลรวม (มาตรฐานที่ ทล. – ม. 205/2532)
- วัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก (มาตรฐานที่ ทล.-ท 212/2533)
- ทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว (liquid : L.L) มาตรฐาน (ทล.-ท 102/2515)
- ทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก (plastic limit : P.L.) มาตรฐาน (ทล.-ท 103/2515)-
- ทดสอบความแน่นแบบมาตรฐาน (compaction test) ตามมาตรฐาน
- ทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์ (C.B.R.) ตามมาตรฐาน (ทล.-ท 107/2515)

3.4 การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม (Field density test) โดยวิธีการ Nuclear Method

ขั้นตอนในการทำงานก่อสร้างถนน สามารถเขียนเป็นแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งเริ่มต้นจากการคัดเลือกวัสดุและทำการทดสอบการบดอัด และCBR จัดวัสดุที่ได้มาตรฐานของกรทางหลวง และทำการบดอัดในสนามด้วยรถบดอัดในสนามด้วยรถบดอัดได้ร้อยละของการ บดอัดไม่น้อยกว่า 95 การบดอัดในสนามและการทดสอบความหนาแน่นแห้งในสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนผังและขั้นตอนการก่อสร้างดินคันทางและถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การศึกษาผลการทดลอง

4.1 บทนำ

บทนี้วิเคราะห์ผลทดสอบการบดอัดและ CBR ของดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก การบดอัดแน่นแบบมาตรฐาน (Standard Proctor) สำหรับดินเม็ด ลูกรัง และหินคลุก กราฟการบดอัดของดินทั้งสามผลการทดสอบ CBR (California Bearing Ratio) ของดินทั้งสามประเภทในห้องปฏิบัติการจะนำมาสร้างความสัมพันธ์กับ หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด ข้อมูลผลการทดสอบทั้งหมดรวบรวมจากกรมทางหลวงจากแหล่งวัสดุบริเวณภาคกลางของประเทศไทยได้แก่จังหวัด ชลบุรี สระบุรี ลพบุรี ปราจีนบุรี ระหว่างปี พ.ศ.2554-2556 และผลการทดสอบ ความแน่นในสนาม โดยวิธี Nuclear method เก็บจากโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 304 มีนบุรี-ฉะเชิงเทรา ตอนที่ 1 ข้อมูลที่ได้จะนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้ง และจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด

4.2 การบดอัด

จากการรวบรวมกราฟการบดอัดของดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุกจากโครงการ ก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 304 มีนบุรี-ฉะเชิงเทรา ช่วงที่ 1 พบว่ากราฟการบดอัดของดิน ทั้งสามประเภทมีลักษณะเป็นระฆังคว่ำ สำหรับดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก ตามลำดับ หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดมีความสัมพันธ์ โดยตรงกับปริมาณน้ำเหมาะสม ปริมาณน้ำที่มากจะสอดคล้องกับหน่วยน้ำหนักที่ต่ำ ดังผลการทดสอบ compaction test ดินถม ดินลูกรังและหินคลุก ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบ COMPACTION TEST ดินถม

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

COMPACTION TEST

PROJECT :: ก่อสร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนด์	OWNER_____	BORING NO._____
SOIL DESCRIPION :: ดินถม	SAMPLE NUMBER_____	TEST BY :: JAK
LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์	SAMPLE DEPTH_____	DATE :: 19 ธันวาคม พ.ศ. 2557

TYPE OF COMPACTION :: STANDARD PROCTOR TEST

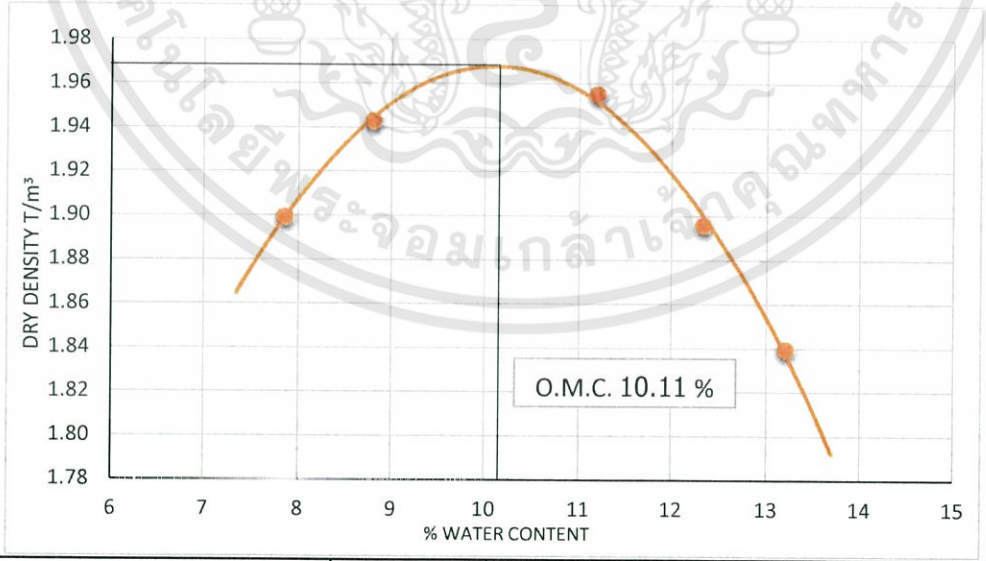
MOLD SIZE	4"X4.6"	MOLD VOLUME	948 CM^3

DENSITY DETERMINATION

TRIAL NO.	1	2	3	4	5	Remak
WT. OF SOIL+MOLD ,g	5587	5649	5706	5664	5619	
WT. OF MOLD ,g	3645	3645	3645	3645	3645	
WT. OF SOIL IN MOLD ,g	1942	2004	2061	2019	1974	
WET DEENSITY ,g/cm³(T/m³)	2.049	2.114	2.174	2.130	2.082	
DRY DENSITY ,g/cm³(T/m³)	1.899	1.943	1.955	1.896	1.839	

WATER CONTENT:

CONTAINER No.	15	29	21	22	5	Remak
WET SOIL + CONTAINER ,g	114.10	115.70	119.80	121.70	123.90	
DRY SOIL + CONTAINER ,g	106.90	107.70	109.30	110.20	111.50	
WT. OF CONTAINER ,g	7.20	8.00	10.50	11.50	12.40	
WT. OF WATER ,g	15.30	16.80	15.50	17.00	17.60	
WT. OF DAY SOIL ,g	91.60	90.90	93.80	93.20	93.90	
% WATER CONTENT	7.86	8.80	11.19	12.34	13.21	



OPTIMUM MOISTURE CONTENT (O.M.C)	10.11%	MIAXIMUM DRY DENSITY	1.967 T/m³

รูปที่ 4.1 กราฟการทดสอบ COMPACTION TEST ดินถม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบ COMPACTION TEST ดินลูกรัง

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

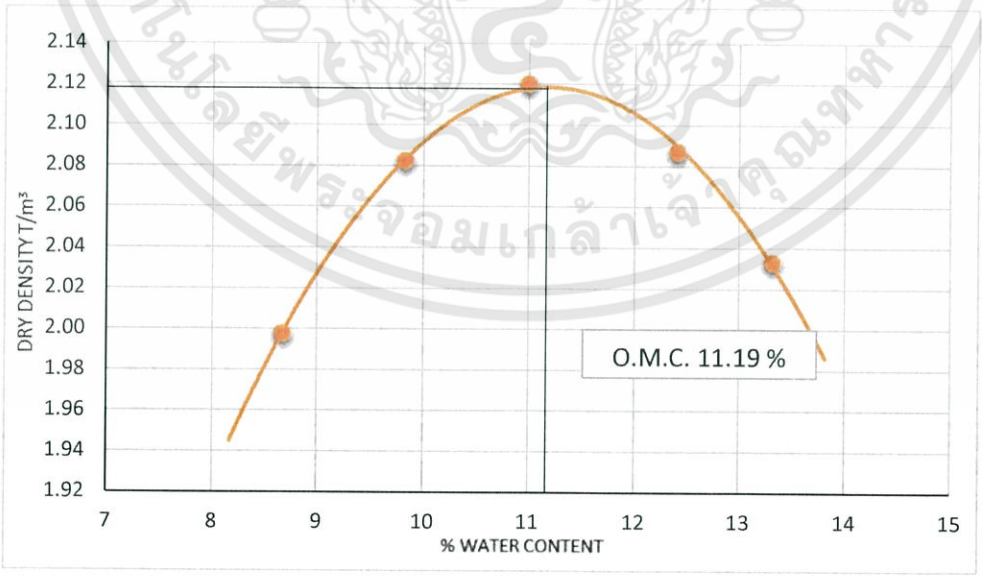
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

COMPACTION TEST

PROJECT :: ก่อสร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____ BORING NO._____
SOIL DESCRIPION :: ลูกรัง SAMPLE NUMBER_____ TEST BY :: JAK
LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ SAMPLE DEPTH_____ DATE :: 19 ธันวาคม พ.ศ. 2557

TYPE OF COMPACTION_____

MOLD SIZE	4"X4.6"		MOLD VOLUME		$948 CM^3$	
DENSITY DETERMINATION						
TRIAL NO.	1	2	3	4	5	Remak
WT. OF SOIL+MOLD ,g	5703	5813	5876	5869	5829	
WT. OF MOLD ,g	3645	3645	3645	3645	3645	
WT. OF SOIL IN MOLD ,g	2058	2168	2231	2224	2184	
WET DEENSITY ,g/cm³(T/m³)	2.171	2.287	2.353	2.346	2.304	
DRY DENSITY ,g/cm³(T/m³)	1.998	2.082	2.120	2.087	2.033	
WATER CONTENT:						
CONTAINER No.	7	31	6	14	1	Remak
WET SOIL + CONTAINER ,g	91.70	90.70	72.70	92.30	82.30	
DRY SOIL + CONTAINER ,g	85.60	83.90	67.20	83.90	74.60	
WT. OF CONTAINER ,g	6.10	6.80	5.50	8.40	7.70	
WT. OF WATER ,g	15.30	14.70	17.20	16.20	16.80	
WT. OF DAY SOIL ,g	70.30	69.20	50.00	67.70	57.80	
% WATER CONTENT	8.68	9.83	11.00	12.41	13.32	
OPTIMUM MOISTURE CONTENT (O.M.C)		11.19%	MIAXIMUM DRY DENSITY		2.118 T/m³	



รูปที่ 4.2 กราฟการทดสอบ COMPACTION TEST ดินลูกรัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบ COMPACTION TEST หินคลุก

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

COMPACTION TEST

PROJECT :: ก่อสร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์	OWNER_____	BORING NO._____
SOIL DESCRIPION :: หินคลุก	SAMPLE NUMBER_____	TEST BY :: JAK
LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์	SAMPLE DEPTH_____	DATE :: 19 ธันวาคม พ.ศ. 2557

TYPE OF COMPACTION_____

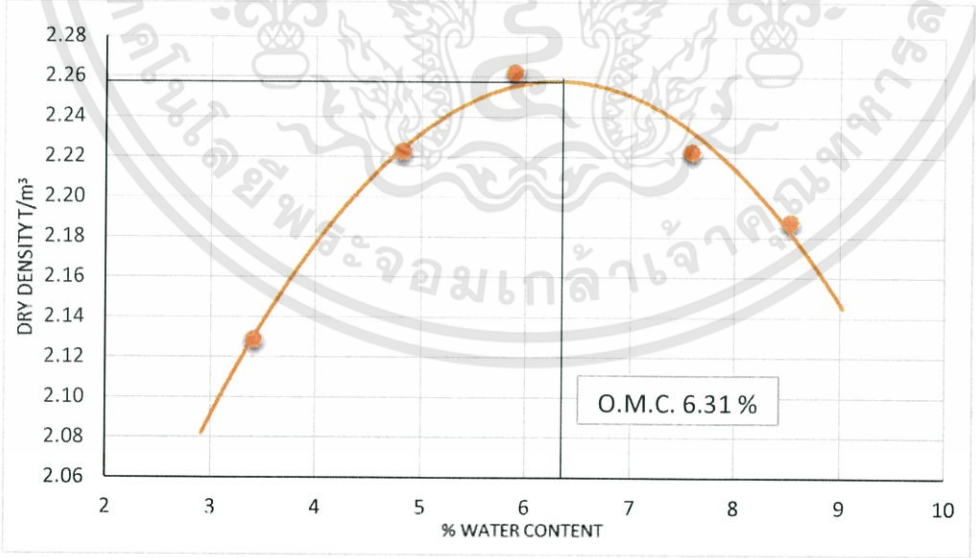
MOLD SIZE	4"X4.6"	MOLD VOLUME	$948 CM^3$

DENSITY DETERMINATION

TRIAL NO.	1	2	3	4	5	Remak
WT. OF SOIL+MOLD ,g	5732	5854	5916	5912	5896	
WT. OF MOLD ,g	3645	3645	3645	3645	3645	
WT. OF SOIL IN MOLD ,g	2087	2209	2271	2267	2251	
WET DEENSITY ,g/cm³(T/m³)	2.201	2.330	2.396	2.391	2.374	
DRY DENSITY ,g/cm³(T/m³)	2.129	2.223	2.262	2.223	2.188	

WATER CONTENT:

CONTAINER No.	21	11	35	27	4	Remak
WET SOIL + CONTAINER ,g	97.30	95.80	100.60	104.30	103.70	
DRY SOIL + CONTAINER ,g	94.60	92.10	96.10	98.10	96.90	
WT. OF CONTAINER ,g	2.70	3.70	4.50	6.20	6.80	
WT. OF WATER ,g	15.50	15.40	19.80	16.40	17.20	
WT. OF DAY SOIL ,g	79.10	76.70	76.30	81.70	79.70	
% WATER CONTENT	3.41	4.82	5.90	7.59	8.53	



OPTIMUM MOISTURE CONTENT (O.M.C)	6.31%	MIAXIMUM DRY DENSITY	2.257 T/m³

รูปที่ 4.3 กราฟการทดสอบ COMPACTION TEST หินคลุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลทดสอบ CBR (California Bearing Ratio)

ตารางที่ 4.4 – 4.15 แสดงผลการทดสอบการบดอัดและ รูปที่ 4.4-4.15 CBR สำหรับดินเม็ดละเอียด ดิน ลูกรัง และหินคลุก ตัวอย่างที่ถูกบดอัดด้วยพลังงานการบดอัด ต่างๆที่ปริมาณความชื้นเดียวกันคือปริมาณความชื้นเหมาะสม พลังงานการบดอัดที่แตกต่างกัน จำลองได้โดยการบดอัดด้วยจำนวนตกกระทบของค้อนบดอัดที่แตกต่างกัน จะเห็นว่าค่า CBR มี ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับค่าหน่วยน้ำหนักแห้ง ในช่วงที่หน่วยร้อยละของการบดอัดมีค่าระหว่าง 90 ถึง100

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และความแน่นแห้ง มีต่างชนิดกันตามแต่ชนิดของดิน กำลังต้านทานแรงเฉือน ความคละของดิน และความต้านทานการสึกหรอ เป็นต้น ดินเม็ดละเอียด จะมีค่า CBR ต่ำที่สุด ในขณะที่ หินคลุกจะมีค่า CBR สูงที่สุด แม้ว่าค่า CBR ของดินแต่ละ ประเภทจะมีความแตกต่างกัน แต่ค่า CBR ของดินเดียวกันจะแปรผันตามหน่วยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบ CBR ดินถม ตอก 12 ครั้ง

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: ดินถม SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557

COMPACTION DATA SOAKING			
MOLD NO.	M-1		
COMPACTION TYPE	MODIFIED		
DIAMTER OF SAMPLE ,cm	15.2		
HEIGHT OF SAMPLE ,cm	11.5		
VOLUM OF SAMPLE ,cm3	2085.71		
WT. OF MOLD ,g	7215		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	11396		
WT. WET SOIL ,g	4181		
WET DENSITY T/m3	1.986		
DRY DENSITY ,T/m3	1.807		

CBR LOAD TEST DATA

	MOLD NO. M-1		
PENETRRATION ,in	VOLUME OF MOLD = 2104.92		TYPE UNSOAKED
	DIAL READING (DIV)	LOAD (KG)	BEARING VALUE (ksc)
0	0	0	0
0.030	5	15.794	0.816
0.050	14	36.919	1.907
0.080	23	58.045	2.999
0.100	30	74.476	3.848
0.130	38	93.254	4.818
0.150	46	112.033	5.788
0.180	52	126.117	6.516
0.200	58	140.200	7.244
0.250	67	161.326	8.335
0.300	73	175.410	9.063
0.400	79	189.494	9.790
0.500	80	191.841	9.912

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

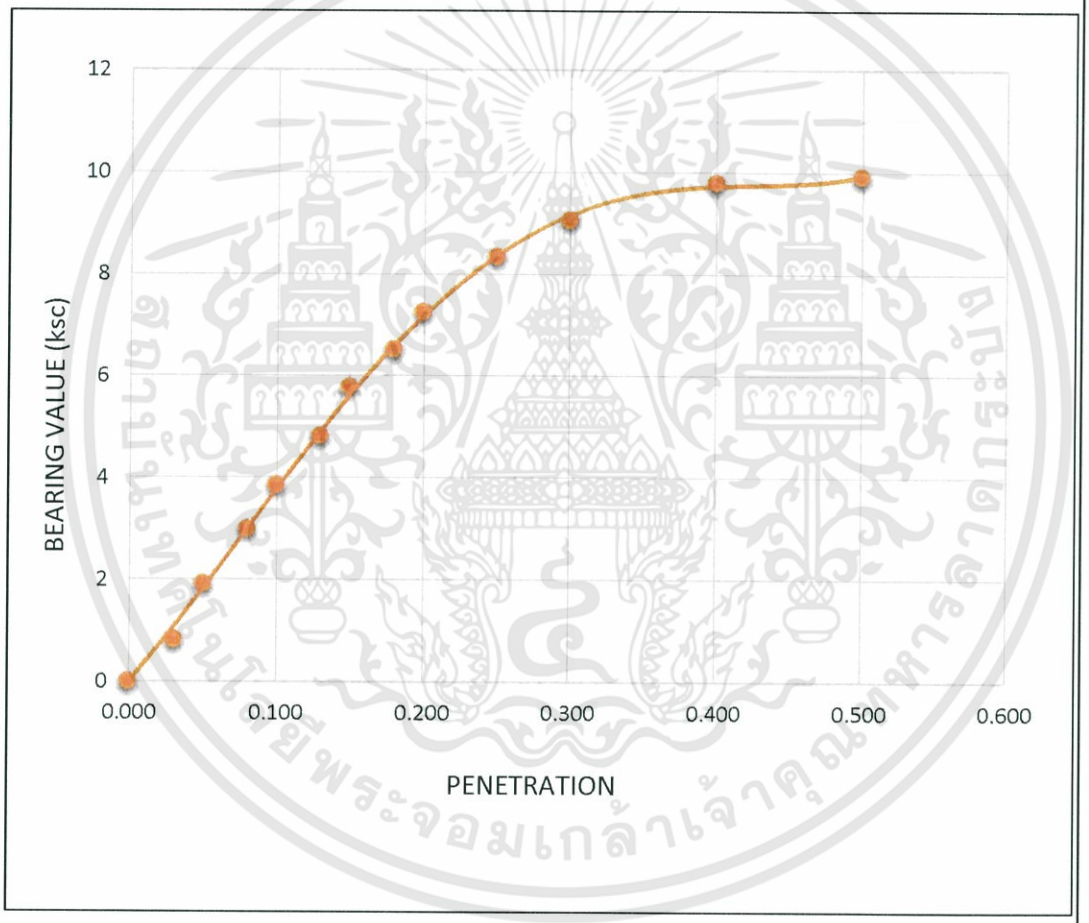
CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: ดินถม SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557



type	CBR at 0.1 in	CBR at 0.2 in	CBR result
unsoaked sample	5.474	6.869	
remrk			

รูปที่ 4.4 กราฟการทดสอบ CBR ดินถม ตอก 12 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบ CBR ดินถม ตอก 25 ครั้ง

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: ดินถม SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557

COMPACTION DATA SOAKING			
MOLD NO.	M-1		
COMPACTION TYPE	MODIFIED		
DIAMTER OF SAMPLE ,cm	15.2		
HEIGHT OF SAMPLE ,cm	11.5		
VOLUM OF SAMPLE ,cm^3	2085.71		
WT. OF MOLD ,g	7574		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	11956		
WT. WET SOIL ,g	4382		
WET DENSITY T/m^3	2.286		
DRY DENSITY ,T/m^3	1.889		

CBR LOAD TEST DATA

	MOLD NO. M-1		
PENETRRATION ,in	VOLUME OF MOLD = 2104.92		TYPE UNSOAKED
	DIAL READING (DIV)	LOAD (KG)	BEARING VALUE (ksc)
0.000	0	0	0
0.025	8	22.835	1.180
0.050	19	48.656	2.514
0.075	30	74.476	3.848
0.100	40	97.949	5.061
0.125	49	119.075	6.152
0.150	58	140.200	7.244
0.175	67	161.326	8.335
0.200	74	177.757	9.184
0.250	86	205.925	10.639
0.300	95	227.051	11.731
0.400	104	248.176	12.822
0.500	106	252.871	13.065

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

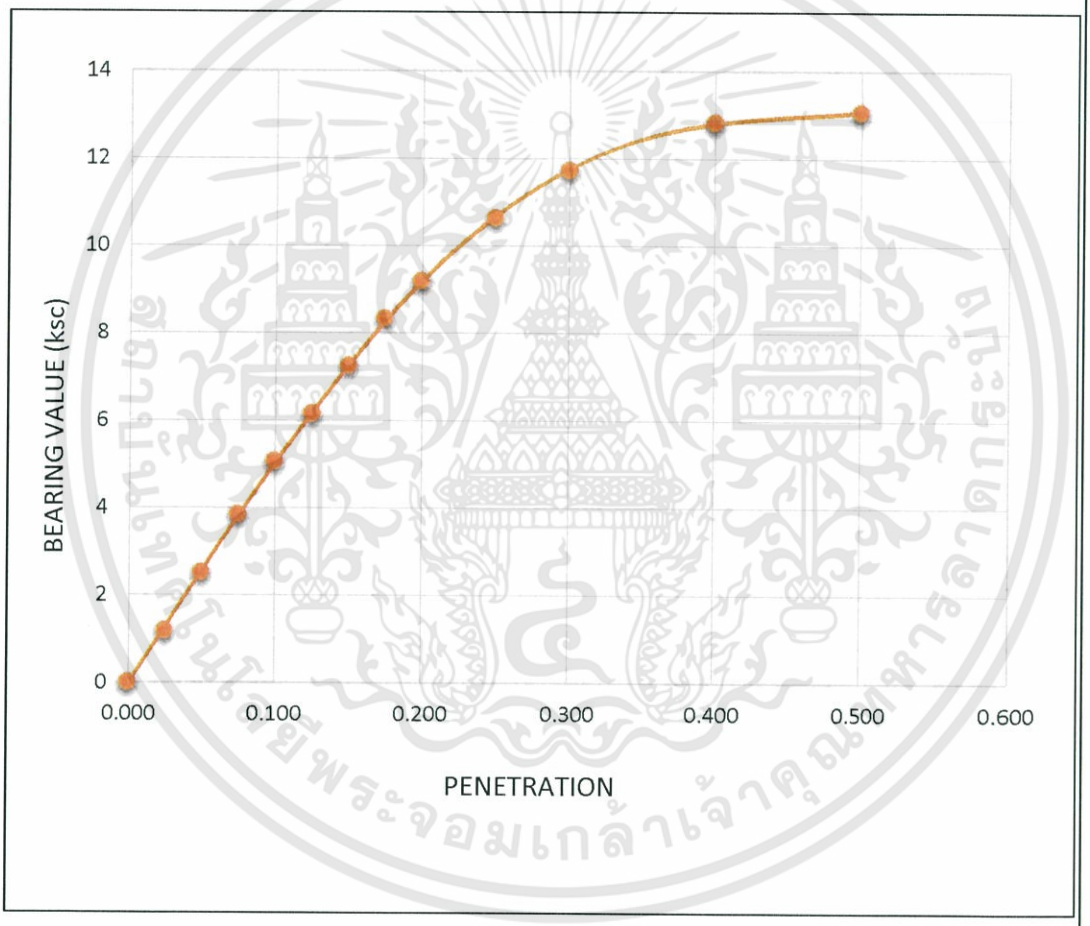
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์	OWNER_____
SOIL DESCRIPTION :: ดินถม	SAMPLE EPTH_____
LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์	TEST NO._____
TEST BY :: JAK	DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557



type	CBR at 0.1 in	CBR at 0.2 in	CBR result
unsoaked sample	7.199	8.709	
remrk			

รูปที่ 4.5 กราฟการทดสอบ CBR ดินถม ตอก 25 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบ CBR ดินถม ตอก 56 ครั้ง

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: ดินถม SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557

COMPACTION DATA SOAKING			
MOLD NO.	M-1		
COMPACTION TYPE	MODIFIED		
DIAMTER OF SAMPLE ,cm	15.2		
HEIGHT OF SAMPLE ,cm	11.5		
VOLUM OF SAMPLE ,cm^3	2085.71		
WT. OF MOLD ,g	7574		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	12168		
WT. WET SOIL ,g	4594		
WET DENSITY T/m^3	2.183		
DRY DENSITY ,T/m^3	1.974		

CBR LOAD TEST DATA

	MOLD NO. M-1		
PENETRRATION ,in	VOLUME OF MOLD = 2104.92		TYPE UNSOAKED
	DIAL READING (DIV)	LOAD (KG)	BEARING VALUE (ksc)
0.000	0	0	0
0.025	13	34.572	1.786
0.050	26	65.087	3.363
0.075	39	95.602	4.939
0.100	52	126.117	6.516
0.125	63	151.937	7.850
0.150	74	177.757	9.184
0.175	85	203.578	10.518
0.200	93	222.356	11.488
0.250	106	252.871	13.065
0.300	116	276.344	14.278
0.400	127	302.164	15.612
0.500	130	309.206	15.976

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

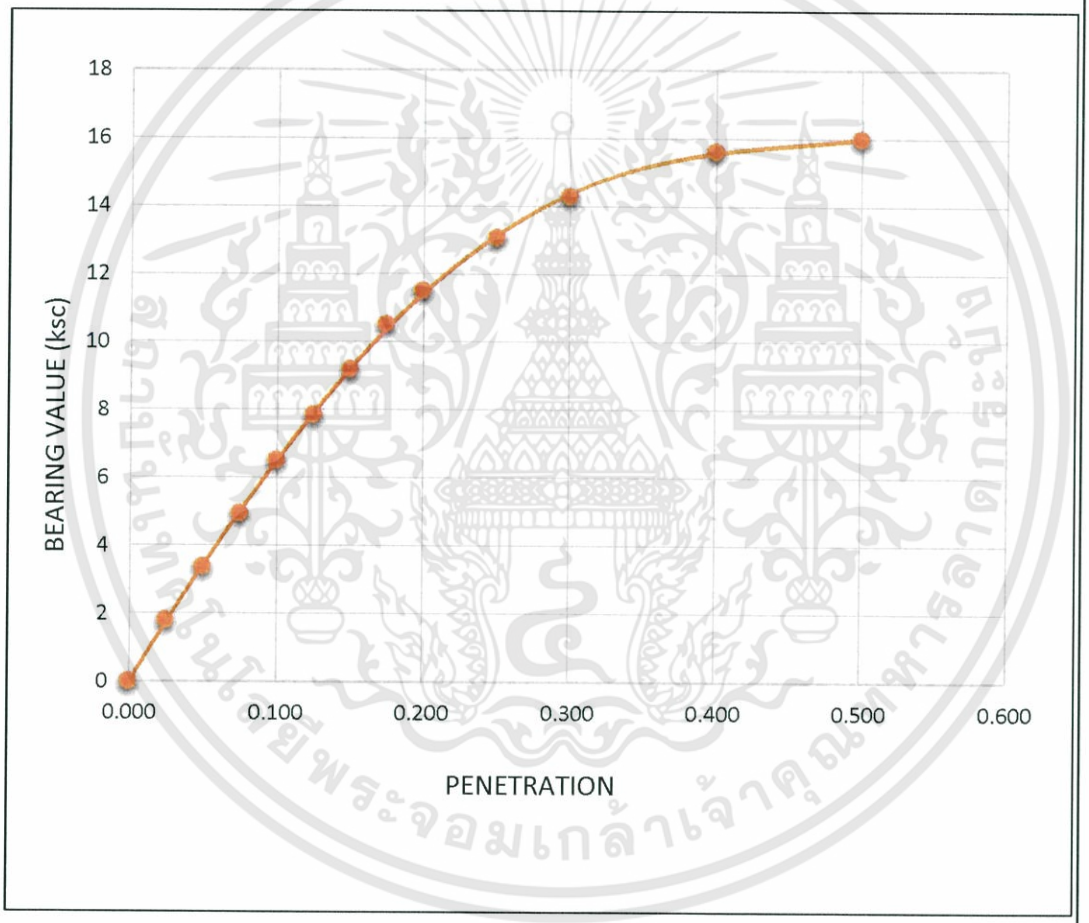
CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: ดินถม SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557



type	CBR at 0.1 in	CBR at 0.2 in	CBR result
unsoaked sample	9.269	10.894	
remrk			

รูปที่ 4.6 กราฟการทดสอบ CBR ดินถม ตอก 56 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ CBR กับ DRY DENSITY

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุรินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

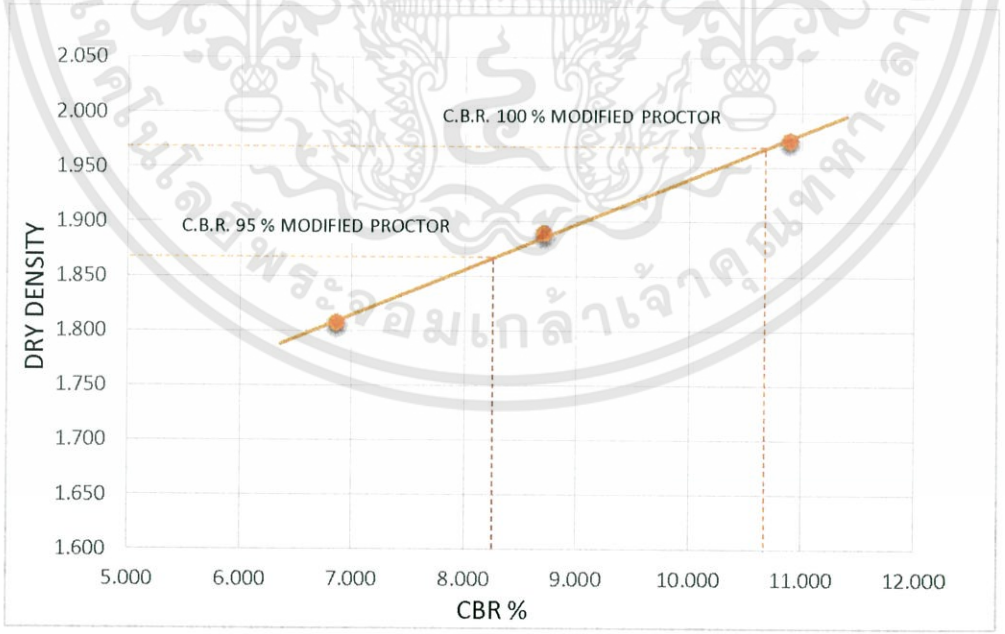
SOIL DESCRIPTION :: ดินถม SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุรินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557

Blows	Density	C.B.R.
12	1.807	6.869
25	1.889	8.709
56	1.974	10.894

100 % MODIFIED PROCTOR =	1.968	gm./cc.
95 % MODIFIED PROCTOR =	1.870	gm./cc.
90 % MODIFIED PROCTOR =	1.771	gm./cc.
C.B.R. 100 % MODIFIED PROCTOR =	10.711	%
C.B.R. 95 % MODIFIED PROCTOR =	8.340	%
C.B.R. 90 % MODIFIED PROCTOR =	5.969	%



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ CBR กับ DRY DENSITY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบ CBR ดินลูกรัง ตอก 12 ครั้ง

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: ดินลูกรัง SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557

COMPACTION DATA SOAKING			
MOLD NO.	M-1		
COMPACTION TYPE	MODIFIED		
DIAMTER OF SAMPLE ,cm	15.2		
HEIGHT OF SAMPLE ,cm	11.5		
VOLUM OF SAMPLE ,cm^3	2085.71		
WT. OF MOLD ,g	7215		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	11659		
WT. WET SOIL ,g	4444		
WET DENSITY T/m^3	2.111		
DRY DENSITY ,T/m^3	1.922		

CBR LOAD TEST DATA

	MOLD NO. M-1		
PENETRRATION ,in	VOLUME OF MOLD = 2104.92		TYPE UNSOAKED
	DIAL READING (DIV)	LOAD (KG)	BEARING VALUE (ksc)
0.000	0	0	0
0.030	18	46.308	2.393
0.050	53	128.464	6.637
0.080	87	208.272	10.761
0.100	121	288.080	14.884
0.130	150	356.152	18.401
0.150	182	431.266	22.282
0.180	209	494.643	25.556
0.200	232	548.631	28.346
0.250	276	651.912	33.682
0.300	312	736.415	38.048
0.400	341	804.486	41.565
0.500	343	809.181	41.807

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

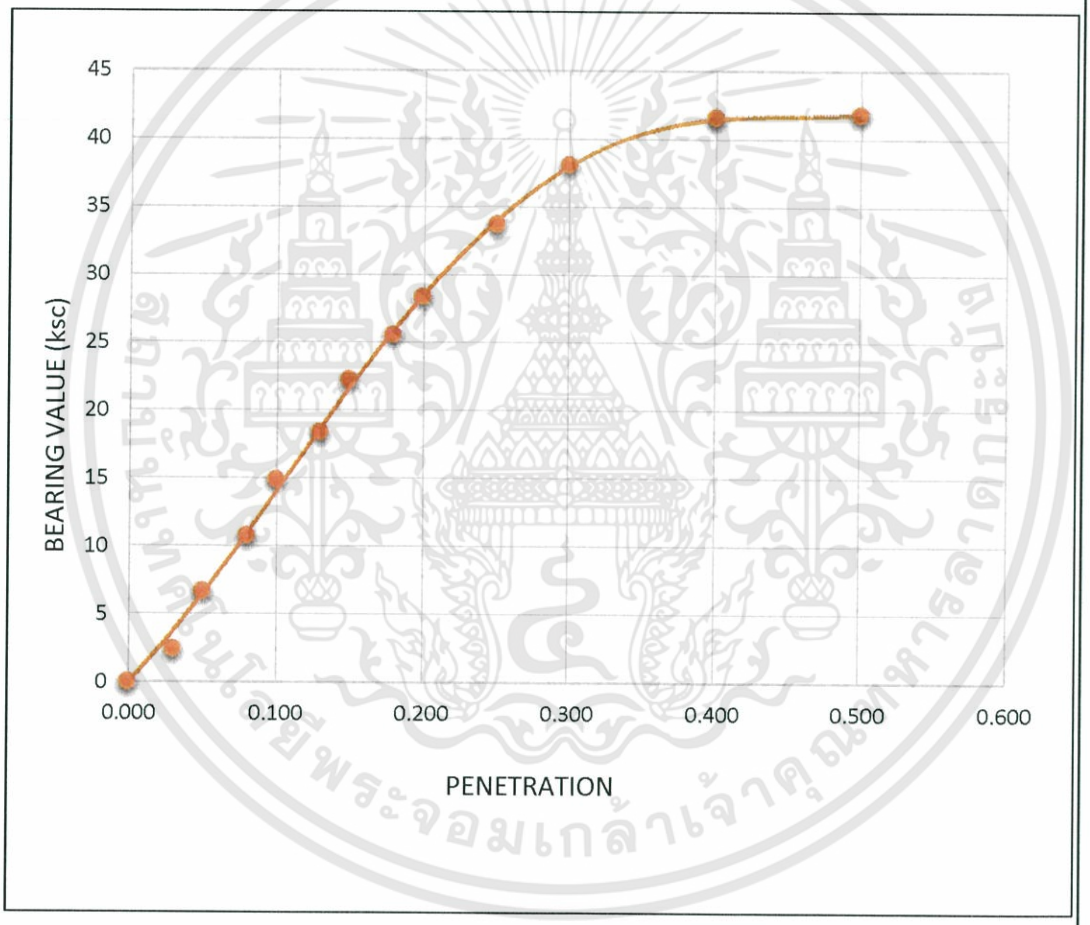
CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: ดินรัง SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557



type	CBR at 0.1 in	CBR at 0.2 in	CBR result
unsoaked sample	21.172	26.878	
remrk			

รูปที่ 4.8 กราฟการทดสอบ CBR ดินลูกรัง ตอก 12 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบ CBR ดินลูกรัง ตอก 25 ครั้ง

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: ดินลูกรัง SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557

COMPACTION DATA SOAKING			
MOLD NO.	M-1		
COMPACTION TYPE	MODIFIED		
DIAMTER OF SAMPLE ,cm	15.2		
HEIGHT OF SAMPLE ,cm	11.5		
VOLUM OF SAMPLE ,cm^3	2085.71		
WT. OF MOLD ,g	7574		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	12385		
WT. WET SOIL ,g	4811		
WET DENSITY T/m^3	2.286		
DRY DENSITY ,T/m^3	2.060		

CBR LOAD TEST DATA

	MOLD NO. M-1		
PENETRRATION ,in	VOLUME OF MOLD = 2104.92		TYPE UNSOAKED
	DIAL READING (DIV)	LOAD (KG)	BEARING VALUE (ksc)
0.000	0	0	0
0.025	36	88.560	4.576
0.050	76	182.452	9.427
0.075	113	269.302	13.914
0.100	149	353.805	18.280
0.125	183	433.613	22.403
0.150	212	501.685	25.920
0.175	248	586.187	30.286
0.200	274	647.217	33.439
0.250	325	766.930	39.624
0.300	361	851.432	43.990
0.400	412	971.145	50.175
0.500	430	1013.396	52.358

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

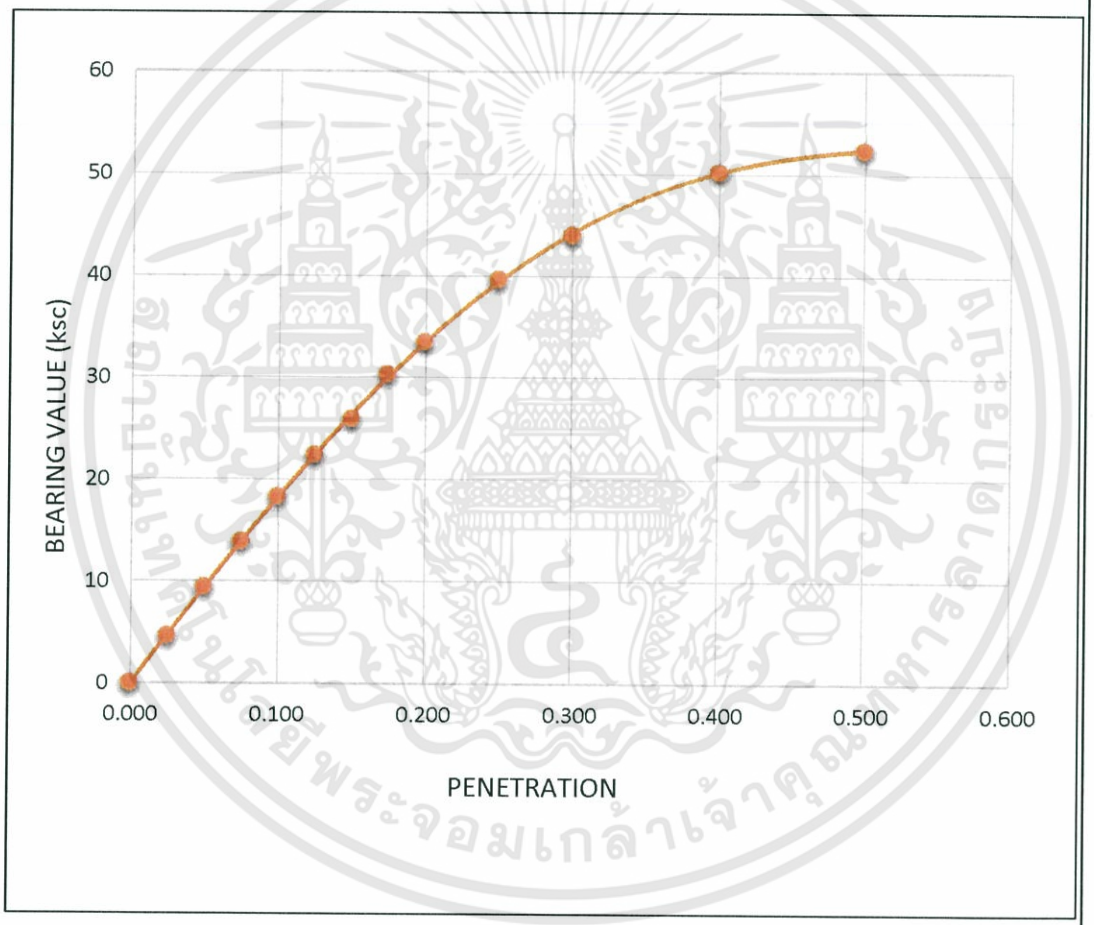
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์	OWNER_____
SOIL DESCRIPTION :: ดินรัง	SAMPLE EPTH_____
LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์	TEST NO._____
TEST BY :: JAK	DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557



type	CBR at 0.1 in	CBR at 0.2 in	CBR result
unsoaked sample	26.002	31.708	
remrk			

รูปที่ 4.9 กราฟการทดสอบ CBR ดินลูกรัง ตอก 25 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบ CBR ดินลูกรัง ตอก 56 ครั้ง

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: ดินลูกรัง SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557

COMPACTION DATA SOAKING			
MOLD NO.	M-1		
COMPACTION TYPE	MODIFIED		
DIAMTER OF SAMPLE ,cm	15.2		
HEIGHT OF SAMPLE ,cm	11.5		
VOLUM OF SAMPLE ,cm^3	2085.71		
WT. OF MOLD ,g	7574		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	12648		
WT. WET SOIL ,g	5074		
WET DENSITY T/m^3	2.411		
DRY DENSITY ,T/m^3	2.172		

CBR LOAD TEST DATA

	MOLD NO. M-1		
PENETRRATION ,in	VOLUME OF MOLD = 2104.92		TYPE UNSOAKED
	DIAL READING (DIV)	LOAD (KG)	BEARING VALUE (ksc)
0.000	0	0	0
0.025	40	97.949	5.061
0.050	92	220.009	11.367
0.075	135	320.943	16.582
0.100	172	407.793	21.069
0.125	209	494.643	25.556
0.150	249	588.535	30.407
0.175	286	675.385	34.895
0.200	317	748.151	38.654
0.250	371	874.905	45.203
0.300	425	1001.660	51.752
0.400	491	1156.581	59.756
0.500	514	1210.569	62.546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

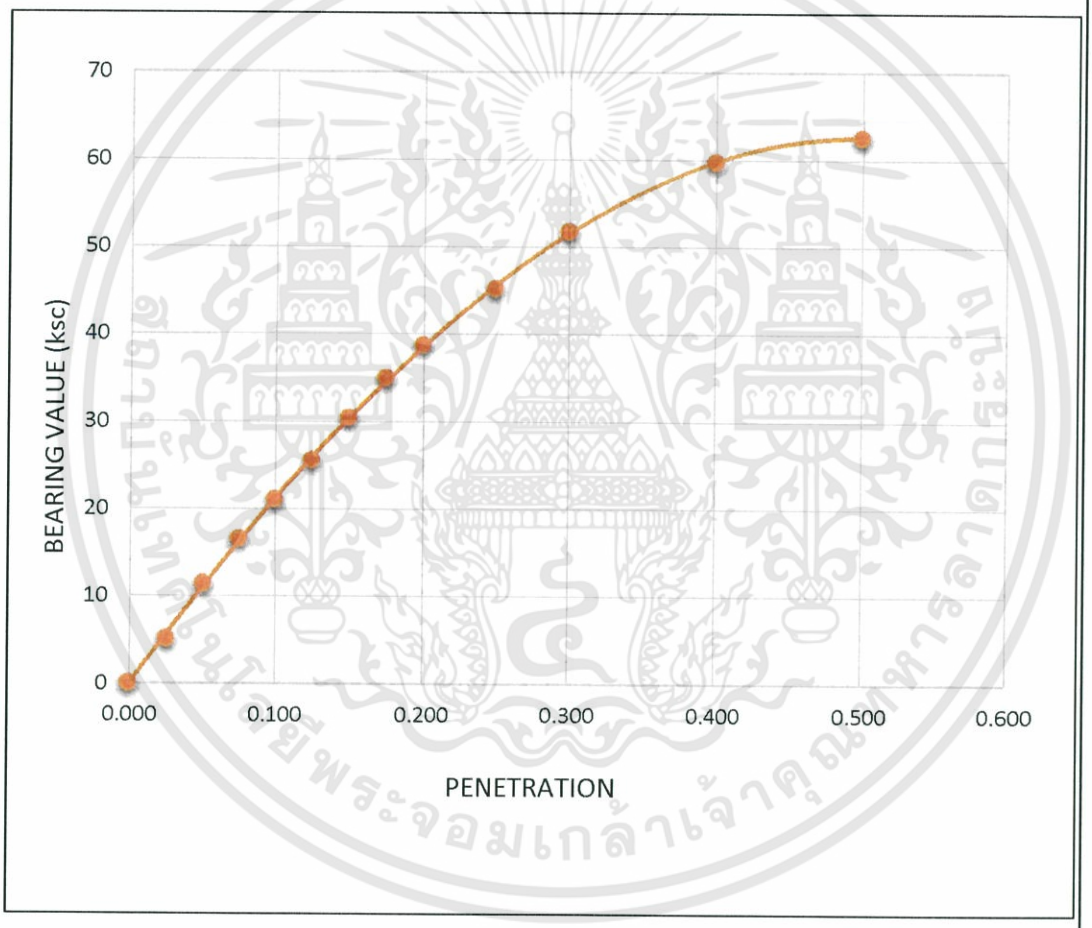
CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: ดินรัง SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557



type	CBR at 0.1 in	CBR at 0.2 in	CBR result
unsoaked sample	29.970	36.653	

remrk

รูปที่ 4.10 กราฟการทดสอบ CBR ดินลูกรัง ตอก 56 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ CBR กับ DRY DENSITY ดินลูกรัง

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT :: โครงการก่อสร้าง ถนนสุวินทวงศ์ OWNER

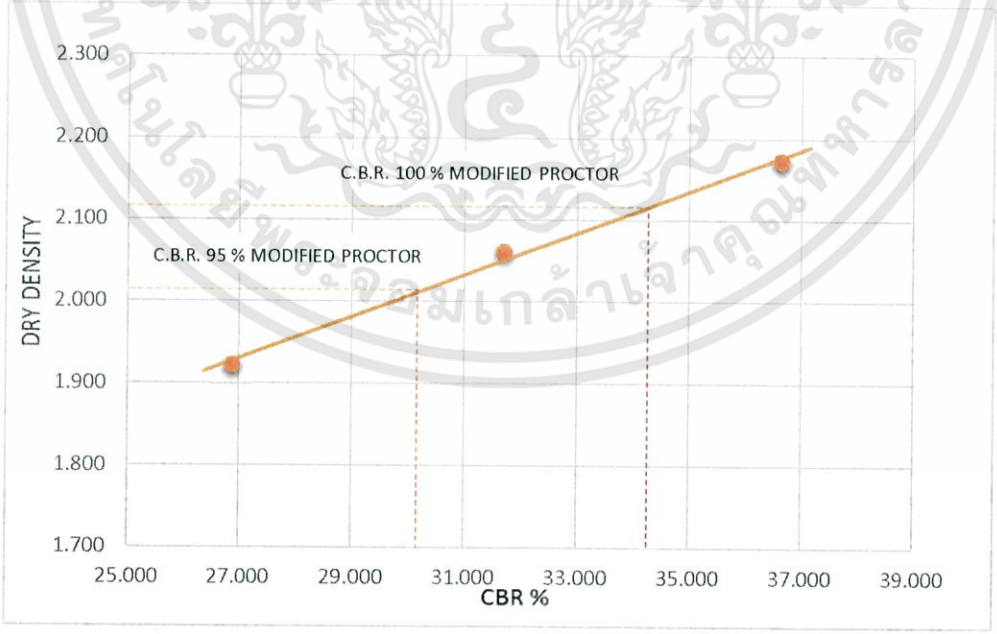
SOIL DESCRIPTION :: ถนนสุวินทวงศ์ SAMPLEDEPTH

LOCA TION:: ถนนสุวินทวงศ์ TEST

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557

Blows	Density	C.B.R.
12	1.922	26.878
25	2.060	31.708
56	2.172	36.653

100 % MODIFIED PROCTOR =	2.118	gm./cc.
95 % MODIFIED PROCTOR =	2.013	gm./cc.
90 % MODIFIED PROCTOR =	1.907	gm./cc.
C.B.R. 100 % MODIFIED PROCTOR =	34.387	%
C.B.R. 95 % MODIFIED PROCTOR =	30.233	%
C.B.R. 90 % MODIFIED PROCTOR =	26.080	%



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ CBR กับ DRY DENSITY ดินลูกรัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบ CBR หินคลุก ตอก 12 ครั้ง

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: หินคลุก SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557

COMPACTION DATA SOAKING			
MOLD NO.	M-1		
COMPACTION TYPE	MODIFIED		
DIAMTER OF SAMPLE ,cm	15.2		
HEIGHT OF SAMPLE ,cm	11.5		
VOLUM OF SAMPLE ,cm^3	2085.71		
WT. OF MOLD ,g	7215		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	11882		
WT. WET SOIL ,g	4667		
WET DENSITY T/m^3	2.217		
DRY DENSITY ,T/m^3	2.091		

CBR LOAD TEST DATA

	MOLD NO. M-1		
PENETRRATION ,in	VOLUME OF MOLD = 2104.92		TYPE UNSOAKED
	DIAL READING (DIV)	LOAD (KG)	BEARING VALUE (ksc)
0.000	0	0	0
0.030	64	154.284	7.971
0.050	178	421.876	21.797
0.080	265	626.092	32.348
0.100	352	830.307	42.899
0.130	439	1034.522	53.450
0.150	519	1222.306	63.152
0.180	593	1396.006	72.126
0.200	672	1581.443	81.707
0.250	798	1877.202	96.988
0.300	891	2095.501	108.267
0.400	1052	2473.417	127.792
0.500	1087	2555.572	132.037

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

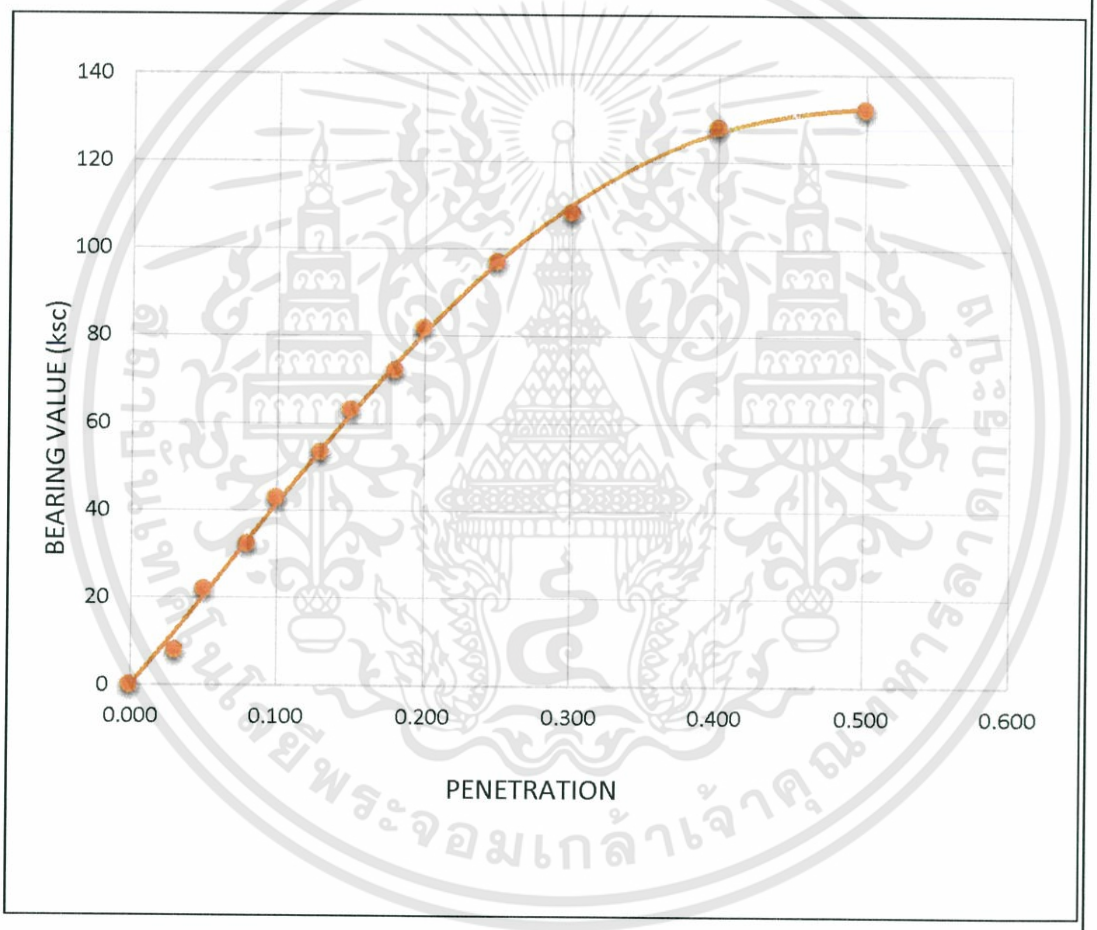
CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: หินคลุก SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557



type	CBR at 0.1 in	CBR at 0.2 in	CBR result
unsoaked sample	61.022	77.477	
remrk			

รูปที่ 4.12 กราฟการทดสอบ CBR หินคลุก ตอก 12 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบ CBR หินคลุก ตอก 25 ครั้ง

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: หินคลุก SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557

COMPACTION DATA SOAKING			
MOLD NO.	M-1		
COMPACTION TYPE	MODIFIED		
DIAMTER OF SAMPLE ,cm	15.2		
HEIGHT OF SAMPLE ,cm	11.5		
VOLUM OF SAMPLE ,cm^3	2085.71		
WT. OF MOLD ,g	7215		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	12515		
WT. WET SOIL ,g	4938		
WET DENSITY T/m^3	2.346		
DRY DENSITY ,T/m^3	2.202		

CBR LOAD TEST DATA

	MOLD NO. M-1		
PENETRRATION ,in	VOLUME OF MOLD = 2104.92		TYPE UNSOAKED
	DIAL READING (DIV)	LOAD (KG)	BEARING VALUE (ksc)
0.000	0	0	0
0.025	90	215.314	11.124
0.050	206	487.601	25.192
0.075	310	731.720	37.805
0.100	412	971.145	50.175
0.125	513	1208.222	62.424
0.150	602	1417.132	73.218
0.175	667	1569.706	81.101
0.200	734	1726.975	89.226
0.250	880	2069.681	106.933
0.300	993	2334.926	120.637
0.400	1129	2654.159	137.130
0.500	1193	2804.386	144.892

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

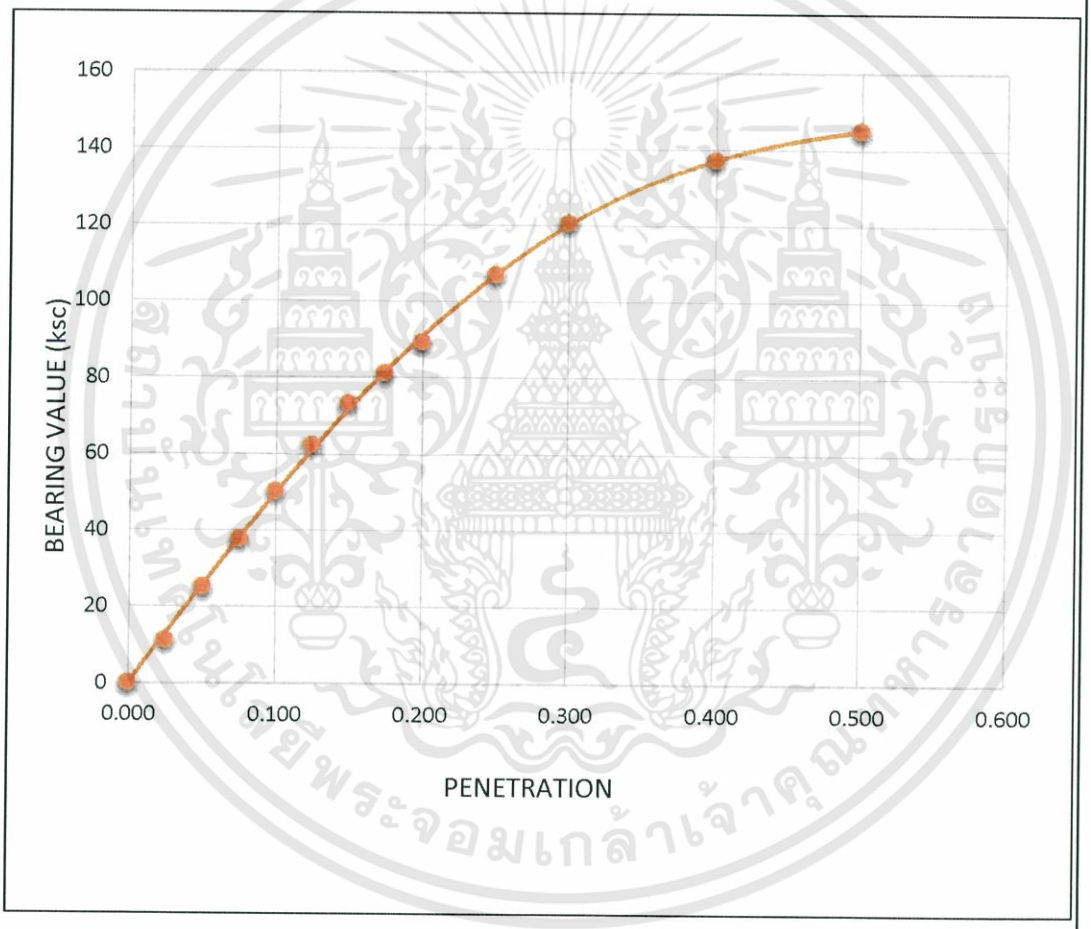
CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: หินคลุก SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557



type	CBR at 0.1 in	CBR at 0.2 in	CBR result
unsoaked sample	71.373	84.607	
remrk			

รูปที่ 4.13 กราฟการทดสอบ CBR หินคลุก ตอก 25 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบ CBR หินคลุก ตอก 56 ครั้ง

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: หินคลุก SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557

COMPACTION DATA SOAKING			
MOLD NO.	M-1		
COMPACTION TYPE	MODIFIED		
DIAMTER OF SAMPLE ,cm	15.2		
HEIGHT OF SAMPLE ,cm	11.5		
VOLUM OF SAMPLE ,cm3	2085.71		
WT. OF MOLD ,g	7574		
WT. OF MOLD + WET SOIL ,g	12675		
WT. WET SOIL ,g	5101		
WET DENSITY T/m3	2.423		
DRY DENSITY ,T/m3	2.271		

CBR LOAD TEST DATA

	MOLD NO. M-1		
PENETRRATION ,in	VOLUME OF MOLD = 2104.92		TYPE UNSOAKED
	DIAL READING (DIV)	LOAD (KG)	BEARING VALUE (ksc)
0.000	0	0	0
0.025	95	227.051	11.731
0.050	203	480.559	24.829
0.075	297	701.205	36.229
0.100	402	947.672	48.963
0.125	517	1217.611	62.909
0.150	610	1435.910	74.188
0.175	700	1647.167	85.103
0.200	767	1804.436	93.228
0.250	924	2172.962	112.269
0.300	1035	2433.513	125.730
0.400	1192	2802.039	144.771
0.500	1235	2902.973	149.986

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

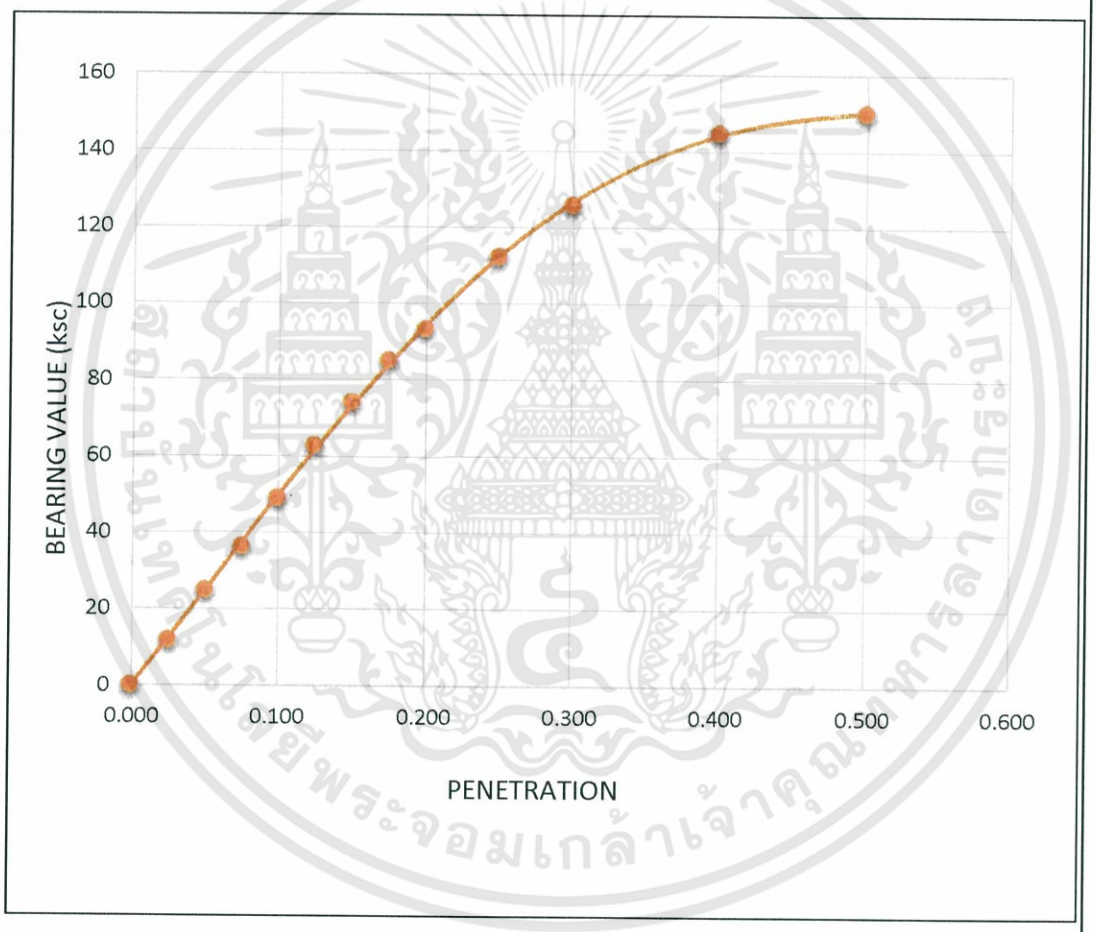
CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____

SOIL DESCRIPTION :: หินคลุก SAMPLE EPTH_____

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557



type	CBR at 0.1 in	CBR at 0.2 in	CBR result
unsoaked sample	69.648	88.402	
remrk			

รูปที่ 4.14 กราฟการทดสอบ CBR หินคลุก ตอก 56 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.15 ความสัมพันธ์ CBR กับ DRY DENSITY หินคลุก

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

CALIFONIA BEARING RATIO TEST

PROJECT :: โครงการก่อสร้าง ถนนสุวินทวงศ์ OWNER

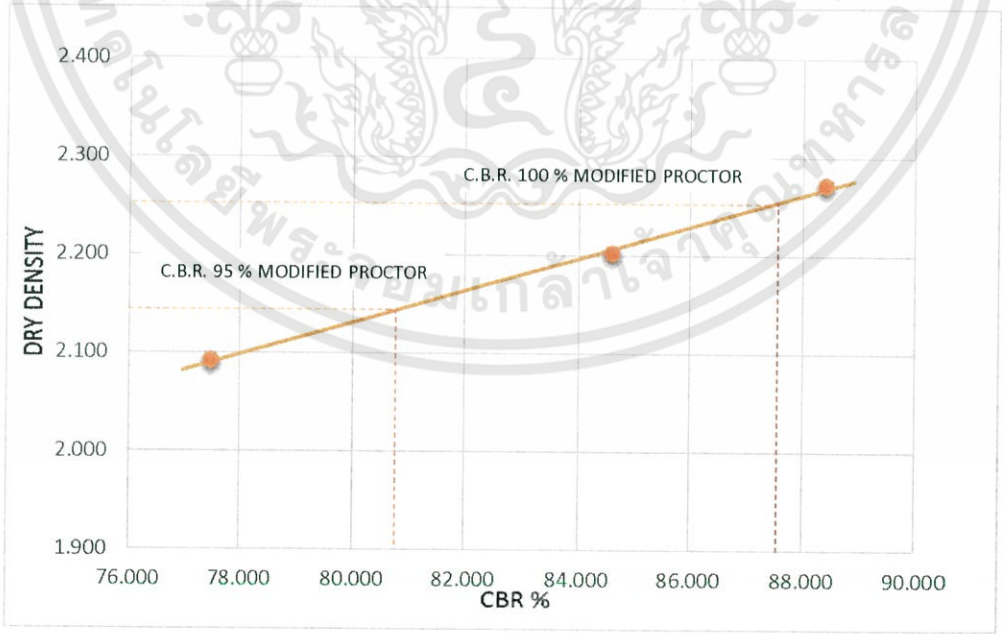
SOIL DESCRIPTION :: ถนนสุวินทวงศ์ SAMPLEDEPTH

LOCA TION:: ถนนสุวินทวงศ์ TEST

TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557

Blows	Density	C.B.R.
12	2.091	77.477
25	2.202	84.607
56	2.271	88.402

100 % MODIFIED PROCTOR =	2.257	gm./cc.
95 % MODIFIED PROCTOR =	2.145	gm./cc.
90 % MODIFIED PROCTOR =	2.032	gm./cc.
C.B.R. 100 % MODIFIED PROCTOR =	87.809	%
C.B.R. 95 % MODIFIED PROCTOR =	80.884	%
C.B.R. 90 % MODIFIED PROCTOR =	73.960	%



รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ CBR กับ DRY DENSITY หินคลุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดสอบรอบการบดอัดแน่นในสนามด้วยเครื่องมือกล

การบดอัดแน่นดินเม็ดละเอียดในสนามทำโดยการถมดินชั้นที่ปริมาณความชื้นเหมาะสม และบดอัดจำนวน 6 ครั้ง จนได้ความหนาสุดท้ายประมาณ 20 เซนติเมตร การบดอัดเริ่มต้นจากการ ถมดินจนได้ความหนาชั้นละประมาณ 3-4 เซนติเมตร และบดอัดด้วยรถบดอัด 1 เที่ยว เมื่อได้ความ หนาสุดท้ายประมาณ 20 เซนติเมตร (เที่ยววิ่งที่ 6) รถบดอัดจะเริ่มต้นบดอัดอย่างต่อเนื่อง (โดย ปราศจากการถมดินเพิ่ม) จนได้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของหน่วยน้ำหนัก แห้งสูงสุดในห้องปฏิบัติการ รถบดอัดที่ใช้เป็นรถบดตีนแกะแบบสั่นสะเทือน มีเหล็กยื่นออกมา (Projection) พื้นที่ 50 ตารางเซนติเมตร ลึก 2.50 เซนติเมตร และน้ำหนักล้อรถบดประมาณ 12 ตัน ต่อตารางเมตร ความถี่ของการสั่นสะเทือนประมาณ 20 ถึง 30 รอบต่อวินาที การบันทึกความ หนาแน่นแห้งในสนามด้วยวิธี Neclear Method จะเริ่มที่จำนวนรอบที่ 6 เป็นต้นไป กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งในสนามและจำนวนเที่ยววิ่งของรถบดอัด ซึ่งเป็นผล การตรวจวัดที่สถานีวัด 4 สถานที่ จะเห็นได้ว่าหน่วยน้ำหนักแห้งในสนามมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในช่วงจำนวนเที่ยวที่ 6 ถึง 11 หลังจากนั้น ความหนาแน่นแห้งเริ่มมีค่าคงที่ เมื่อเปรียบเทียบค่า ความหนาแน่นแห้งที่วัดได้นี้กับความหนาแน่นแห้งสูงสุดในห้องปฏิบัติการ จะเห็นได้ ว่าความหนาแน่นแห้งที่จำนวนรอบที่ 11 ขึ้นไปมีค่าใกล้เคียงกับความหนาแน่นแห้งสูงสุดใน ห้องปฏิบัติการแล้ว แม้ว่าจะทำการเพิ่มพลังงานการบดอัดให้มากขึ้น (เพิ่มจำนวนเที่ยวของการบดอัด) แต่หน่วยน้ำหนักแห้งก็ไม่สามารถเพิ่มขึ้นต่อไปได้อีก เนื่องจากระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำที่สภาวะนี้มีค่าใกล้เคียงกับหน่วยน้ำหนักแห้งในสภาวะไม่มีอากาศในโพรงดิน (Zero air void) ดังนั้นจำนวนเที่ยวที่มากเกินไปจึงไม่เกิดประโยชน์อันใดในทางปฏิบัติ แสดงผลการทดสอบ ดัง ตารางที่ 4.16 – 4.27 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ รูปที่4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ข้อมูล จำนวนเที่ยงวิ่งของรถบดอัด กับ ความหนาแน่น ช่วง 0+000 - 0+250 และ 0+250 - 0+500

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

ความสัมพันธ์ระหว่างการบดอัดกับความหนาแน่น

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____
SOIL DESCRIPTION :: หินคลุก SAMPLE DEPTH_____
LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____
TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557

Yd.max=22.574	0+0.000 - 0+250.000		0+250.000 - 0+500.000	
Number of roller passes	Yd.field ,(kN/m³)	Yd.field/Yd.max,(%)	Yd.field ,(kN/m³)	Yd.field/Yd.max,(%)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	20.123	89.142	20.099	89.038
7	20.573	91.136	20.590	91.213
8	20.957	92.837	20.966	92.875
9	21.298	94.347	21.353	94.591
10	21.586	95.623	21.627	95.804
11	21.797	96.558	21.846	96.777
12	22.018	97.537	22.054	97.695
13	22.092	97.865	22.094	97.872
14	22.118	97.980	22.118	97.980
15	22.120	97.989	22.119	97.985
16	22.124	98.007	22.121	97.994

100 % MODIFIED PROCTOR	2.257	T/m³
95 % MODIFIED PROCTOR	2.145	T/m³
90 % MODIFIED PROCTOR	2.032	T/m³
C.B.R. 100 % MODIFIED PROCTOR	87.809	%
C.B.R. 95 % MODIFIED PROCTOR	80.884	%
C.B.R. 90 % MODIFIED PROCTOR	73.960	%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ข้อมูล จำนวนเที่ยงวิ่งของรถบดอัด กับ ความหนาแน่น ช่วง 0+500 - 0+750 และ 0+750 - 0+1000

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

ความสัมพันธ์ระหว่างการบดอัดกับความหนาแน่น

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนด์ OWNER_____
SOIL DESCRIPTION :: หินคลุก SAMPLE DEPTH_____
LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____
TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557

Yd.max=22.574	0+500.000 - 0+750.000		0+750.000 - 0+1000.000	
Number of roller passes	Yd.field, (kN/m³)	Yd.field/Yd.max,(%)	Yd.field ,(kN/m³)	Yd.field/Yd.max,(%)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	20.132	89.182	20.172	89.359
7	20.781	92.057	20.657	91.508
8	21.015	93.094	20.885	92.518
9	21.405	94.821	21.212	93.967
10	21.777	96.469	21.688	96.075
11	21.985	97.391	21.898	97.005
12	22.093	97.869	22.150	98.122
13	22.106	97.927	22.209	98.383
14	22.101	97.905	22.215	98.410
15	22.119	97.984	22.219	98.427
16	22.128	98.024	22.228	98.467

100 % MODIFIED PROCTOR	2.257	T/m³
95 % MODIFIED PROCTOR	2.145	T/m³
90 % MODIFIED PROCTOR	2.032	T/m³
C.B.R. 100 % MODIFIED PROCTOR	87.809	%
C.B.R. 95 % MODIFIED PROCTOR	80.884	%
C.B.R. 90 % MODIFIED PROCTOR	73.960	%

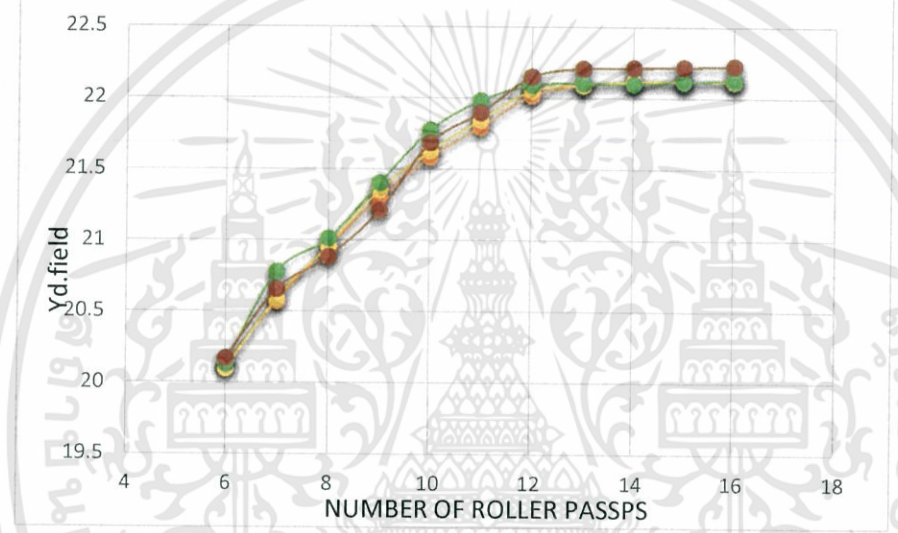
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

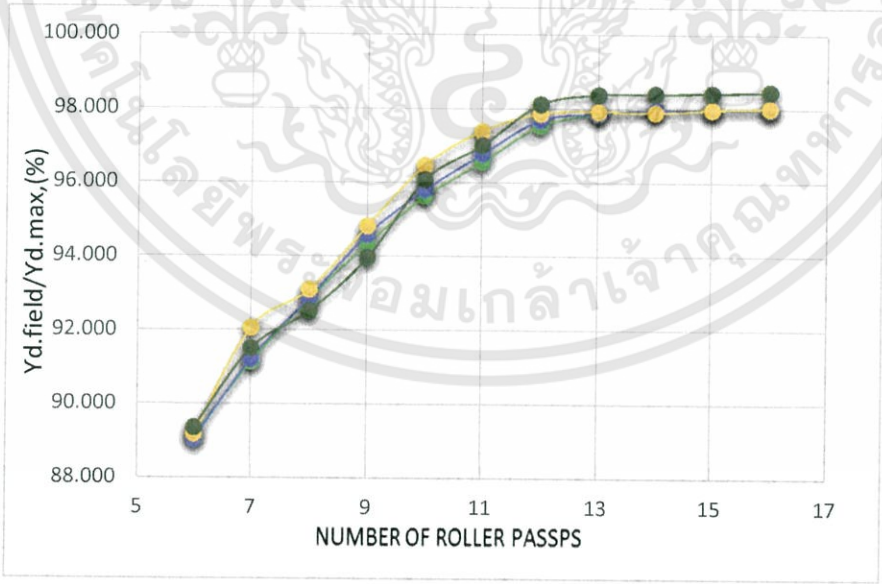
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

ความสัมพันธ์ระหว่างการบดอัดกับความหนาแน่น

PROJECT:: กอ่สร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ OWNER_____
SOIL DESCRIPTION SAMPLE DEPTH_____
LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ TEST NO._____
TEST BY :: JAK DATE :: 25 ธันวาคม พ.ศ. 2557





รูปที่ 4.16 กราฟจำนวนเที่ยงวิ่งของรถบดอัด กับ ความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 เปรียบเทียบการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม Sand Cone Method และ Nuclear Method

จากการเปรียบเทียบการทดสอบทั้ง 2 แบบ field density test ด้วยวิธี Sand Cone Method ได้ทำการทดสอบหลังจากรถบดอัดได้บดอัดเสร็จแล้ว (รอบที่ 16) พบว่า ความแน่นแห้งที่บดอัดได้ เกิน 95% ทุกสถานีที่ทำการทดสอบ โดยกรมทางหลวงเป็นผู้ทดสอบ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธี Nuclear Method ในรอบการบดอัดที่ 16 เช่นกัน พบว่า ความแตกต่างของทั้ง 2 การทดสอบ แตกต่างกัน 2.62% ดังตารางที่ 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.28 ผลการเปรียบเทียบการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม Sand Cone Method และ Nuclear Method

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LABKRABANG

PROJECT :: ก่อสร้าง ถนนสุวินทวงศ์ 6 เลนต์ BORING NO._____

SOIL DESCRIPION_____ TEST BY :: JAK

LOCATION :: ถนนสุวินทวงศ์ DATE :: 19 ธันวาคม พ.ศ. 2557

การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม

Station	field density test (รอบที่ 16) Yd.field/Yd.max,(%)	Nuclear Method (รอบที่ 1 Yd.field/Yd.max,(%)	Error %
0+0.000 - 0+250.000	95.50	98.01	2.56
0+250.000 - 0+500.000	95.70	97.99	2.34
0+500.000 - 0+750.000	95.20	98.03	2.88
0+750.000 - 0+1000.000	95.80	98.47	2.71
เฉลี่ย	95.55	98.12	2.62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ขั้นตอนการบดอัดดิน

จากผลการศึกษาทั้งหมดผู้วิจัยนำเสนอแนวทางการบดอัดดินในสนามซึ่งเริ่มต้นตั้งแต่ การหาแหล่งดินดังนี้

1. นำดินจากแหล่งดินมาทดสอบการกระจายขนาดของเม็ดดิน และพิกัด Atterberg
2. นำดินที่ผ่านตามข้อกำหนดของมาตรฐานกรมทางหลวงมาทำการทดสอบการ บดอัด CompactionTest เพื่อ หา O.M.C และ Dry Density
3. ทดสอบ CBR ในสนามที่ร้อยละของการบดอัดระหว่าง 90 ถึง 95 หากได้ค่า CBR ที่ได้จากการทดสอบมีค่าต่ำกว่าข้อกำหนด เลือกดินจากแหล่งดินใหม่ หากได้ CBR ที่ประมาณได้มีค่าตามข้อกำหนด ทำการทดสอบจริงเพื่อยืนยันผล การประมาณ
4. ทำการบดอัดดินในสนามที่ปริมาณความชื้นเหมาะสม โดยใช้จำนวนเที่ยววิ่งของรถ บดอัด ประมาณ 10 ถึง 12 เที่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการรวบรวมผลการบดอัดในห้องปฏิบัติการและในสนามเพื่อนำเสนอ ขั้นตอนการทำงานบดอัดที่ประสิทธิภาพ บทสรุปที่สำคัญแสดงได้ดังนี้

1. กราฟการบดอัดของดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก ที่มีความคละและพิกัด Atterberg ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง
2. ค่า CBR ของดินดินเม็ดละเอียด ดินลูกรัง และหินคลุก ที่บดอัดที่ประมาณความชื้นเหมาะสม ภายใต้พลังงานการบดอัดต่างๆ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับหน่วย น้ำหนักแห้งต่ออัตราส่วน CBR และอัตราส่วนหน่วยน้ำหนักแห้งของดินทั้งสาม ประเภทเป็นความสัมพันธ์ที่เป็นเอกภาพ ไม่แปรผันตามประเภทของดิน
3. ค่า CBR ของดินประเภทหนึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด CBR ของหินคลุกมีความไวตัวอย่างมากกับหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด ขณะที่ CBR ของดินเม็ดละเอียดมีความไวตัวน้อยที่สุด
4. ความหนาแน่นแห้งในสนามมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดตามจำนวนเที่ยววิ่งของรถบด อัดจนกระทั่งถึงหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด จำนวนเที่ยววิ่งที่เพิ่มขึ้นหลังจากนี้ไม่ สามารถเพิ่มหน่วยน้ำหนักแห้งได้อีกต่อไป เนื่องจากระดับความอิ่มตัวด้วยน้ำมีค่าเข้า ใกล้ 1.0
5. เปรียบเทียบการทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม Sand Cone Method และ Nuclear Method
6. จากผลการศึกษาทั้งหมด ได้นำเสนอขั้นตอนการบดอัด โดยเริ่มต้นตั้งแต่การ เลือกดินตัวอย่าง จนถึงการบดอัดในสนามให้ได้ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ขั้นตอนที่นำเสนอนี้สามารถช่วยลดแรงงานและระยะเวลาในการทดสอบวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง (2532) มาตรฐานดิรถมคันทาง ทล.-ม. 102/2532

[2] สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง (2532) มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม ทล.-ม.205/2532

[3] สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง (2532) มาตรฐานวัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก ทล.–ม. 103/2532

[4] สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ.กรมทางหลวง (2532) มาตรฐานชั้นวัสดุคัดเลือก ก. ทล. - ม.208/2

[5] สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง (2532) มาตรฐานชั้นวัสดุคัดเลือก ข. ทล. -ม. 209/2532

[6] สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง (2515) มาตรฐานวิธีทดสอบเพื่อหาค่าขีดเหลว. ทล.–ม. 102/2515 (เทียบเท่า AASHTO T 89)

[7] สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง (2515) มาตรฐานวิธีทดสอบเพื่อหาค่าขีดพลาสติก ทล.–ม.103/2515 (เทียบเท่า AASHTO T 90)

[8] สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง (2517) มาตรฐานวิธีการทดลอง Compaction Test แบบมาตรฐาน. ทล.–ม. 107/2517

[9] สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กลมทางหลวง (2517) มาตรฐานวิธีทดสอบเพื่อหาค่าซี.บี.อาร์. ทล.–ท. 109/2517 สุขสันติ์ หอพิบูลสุข (2545) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดของดินเหนียวปนดินตะกอนบดอัด ปฐพีกลศาสตร์ หน้า

[10] รุ้งลาวัลย์ ราชัน และ สุขสันติ์ หอพิบูลสุข ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและพลังงานการบดอัดของดินเหนียวปนดินตะกอนและหินคลุกและเส้น Normalization ปฐพีกลศาสตร์. หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[11] Proctor. (1930). ทฤษฎีการบดอัดดิน ปฐพีกลศาสตร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูศักดิ์ คีรีรัตน์. หน้า 738 – 743

[12] Gurtug, Y and Sridharan, A. (2002). Prediction of compaction characteristics of fine-grained soils", Geotechnigue. vol.52, No.10, pp.761-763

[13] Johnson, A.W. and Sallberg, J.R. (1960). Factors Hat influence field compaction of soil. Bulletin No.272, High survey research board, 206p.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลการทดสอบการทดสอบ

การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม Field density test

โครงการ ก่อสร้างและซ่อมแซมถนนทางหลวงหมายเลข 304 มีนบุรี - ฉะเชิงเทรา ช่วงที่ 1

สถานที่ ถนนสุวินทวงศ์ แขวง แสนแสน เขต มีนบุรี กรุงเทพมหานคร

การทดสอบหาค่าความแน่นในสนาม

ความหนาแน่นของทราย 1.296 KSC.

ความหนาแน่นที่ต้องการ 95 %

น้ำหนักทรายในกรวย 1747 กรัม

☑ Std.Proctor

☐ Mod.Proctor

รายการ	จุดทดสอบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		ตอนที่ 1								
	STATION	0+000	0+050	0+100	0+150	0+200	0+250	0+300	0+350	0+400
	OFFSET	LT	RT	LT	RT	LT	RT	LT	RT	LT
น.น.ขวด+กรวย+ทราย กรัม		10298	10315	10341	10287	10296	10294	10300	10255	10329
น.น.ขวด+กรวย+ทรายที่เหลือ กรัม		6386	6415	6394	6412	6379	6382	6402	6348	6406
น.น.ทรายในหลุม+ในกรวย กรัม		3912	3900	3947	3875	3917	3912	3898	3907	3923
น.น.ทรายในกรวย กรัม		1747	1747	1747	1747	1747	1747	1747	1747	1747
น.น.ทรายในหลุม กรัม		2165	2153	2200	2128	2170	2165	2151	2160	2176
ปริมาตรหลุมที่ขุด ลบ.ซม.		1671	1661	1698	1642	1674	1671	1660	1667	1679
น.น.ภาชนะ+วัสดุชื้น กรัม		4147	4163	4193	4156	4153	4153	4102	4171	4152
น.น.ภาชนะ กรัม		243	243	243	243	243	243	243	243	243
น.น.วัสดุชื้น กรัม		3904	3920	3950	3913	3910	3910	3859	3928	3909
ความแน่นวัสดุชื้น กรัม/ลบ.ซม.		2.337	2.360	2.327	2.383	2.335	2.341	2.325	2.357	2.328
ตลับหมายเลข		5	28	16	6	31	30	23	14	8
น.น.วัสดุชื้น+ตลับ กรัม		93.8	89.7	89.6	90.0	91.8	94.7	93.6	92.4	88.4
น.น.วัสดุแห้ง+ตลับ กรัม		88.2	83.9	84.1	83.6	86.2	88.5	88.9	87.1	83.6
น.น.น้ำ กรัม		5.6	5.8	5.5	6.4	5.6	6.2	4.7	5.3	4.8
น.น.ตลับ กรัม		17.6	17.4	17.5	17.2	14.7	15.6	20.1	16.2	15.8
น.น.วัสดุแห้ง กรัม		70.6	66.5	66.6	66.4	71.5	72.9	68.8	70.9	67.8
ความชื้นในวัสดุ ร้อยละ		7.93	8.72	8.26	9.64	7.83	8.50	6.83	7.48	7.08
ความแน่นวัสดุแห้ง กรัม/ลบ.ซม.		2.165	2.170	2.149	2.174	2.166	2.157	2.176	2.193	2.174
ความแน่นแห้งสูงสุด กรัม/ลบ.ซม.		2.258	2.258	2.258	2.258	2.258	2.258	2.258	2.258	2.258
ค่าร้อยละของการบดอัดวัสดุ้อยละ		**95.9**	**96.1**	**95.2**	**96.3**	**95.9**	**95.5**	**96.4**	**97.1**	**96.3**
ผลการทดสอบ		ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

หมายเหตุ รับรองผลเฉพาะตำแหน่งที่ทำการทดสอบเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลการทดสอบการทดสอบ

การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม Field density test

โครงการ ก่อสร้างและซ่อมแซมถนนทางหลวงหมายเลข 304 มีนบุรี - ฉะเชิงเทรา ช่วงที่ 1

สถานที่ ถนนสุวินทวงศ์ แขวง แสนแสน เขต มีนบุรี กรุงเทพมหานคร

การทดสอบหาค่าความแน่นในสนาม

ความหนาแน่นของทราย 1.296 KSC.

ความหนาแน่นที่ต้องการ 95 %

น้ำหนักทรายในกรวย 1747 กรัม

☑ Std.Proctor

☐ Mod.Proctor

รายการ	จุดทดสอบที่	10	11	12	13	14	15	16	17	18
		ตอนที่ 1								
	STATION	0+450	0+500	0+550	0+600	0+650	0+700	0+750	0+800	0+850
	OFFSET	RT	LT	RT	LT	RT	LT	RT	LT	RT
น.น.ขวด+กรวย+ทราย กรัม		10236	10328	10315	10292	10322	10323	10333	10310	10289
น.น.ขวด+กรวย+ทรายที่เหลือ กรัม		6356	6412	6394	6391	6402	6429	6394	6382	6385
น.น.ทรายในหลุม+ในกรวย กรัม		3880	3916	3921	3901	3920	3894	3939	3928	3904
น.น.ทรายในกรวย กรัม		1747	1747	1747	1747	1747	1747	1747	1747	1747
น.น.ทรายในหลุม กรัม		2133	2169	2174	2154	2173	2147	2192	2181	2157
ปริมาตรหลุมที่ขุด ลบ.ซม.		1646	1674	1677	1662	1677	1657	1691	1683	1664
น.น.ภาชนะ+วัสดุชื้น กรัม		4157	4155	4127	4143	4173	4127	4143	4143	4143
น.น.ภาชนะ กรัม		243	243	243	243	243	243	243	243	243
น.น.วัสดุชื้น กรัม		3914	3912	3884	3900	3930	3884	3900	3900	3900
ความแน่นวัสดุชื้น กรัม/ลบ.ซม.		2.378	2.337	2.315	2.347	2.344	2.345	2.306	2.317	2.343
ตลับหมายเลข		33	25	19	4	27	35	21	11	7
น.น.วัสดุชื้น+ตลับ กรัม		90.7	94.6	89.1	87.9	93.7	91.2	92.4	96.7	91.4
น.น.วัสดุแห้ง+ตลับ กรัม		84.1	88.6	83.8	83.6	88.4	86.4	87.2	90.9	86.2
น.น.น้ำ กรัม		6.6	6.0	5.3	4.3	5.3	4.8	5.2	5.8	5.2
น.น.ตลับ กรัม		15.7	15.1	14.6	17.2	16.4	19.8	15.5	15.4	15.3
น.น.วัสดุแห้ง กรัม		68.4	73.5	69.2	66.4	72.0	66.6	71.7	75.5	70.9
ความชื้นในวัสดุ ร้อยละ		9.65	8.16	7.66	6.48	7.36	7.21	7.25	7.68	7.33
ความแน่นวัสดุแห้ง กรัม/ลบ.ซม.		2.169	2.161	2.151	2.204	2.183	2.187	2.150	2.152	2.183
ความแน่นแห้งสูงสุด กรัม/ลบ.ซม.		2.165	2.165	2.165	2.165	2.165	2.165	2.165	2.165	2.165
ค่าร้อยละของการบดอัดวัสดุ ร้อยละ		**100.2**	**99.8**	**99.3**	**101.8**	**100.8**	**101.0**	**99.3**	**99.4**	**100.8**
ผลการทดสอบ		ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

หมายเหตุ รับรองผลเฉพาะตำแหน่งที่ทำการทดสอบเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลการทดสอบการทดสอบ

การทดสอบหาค่าความแน่นของวัสดุงานทางในสนาม Field density test

โครงการ ก่อสร้างและซ่อมแซมถนนทางหลวงหมายเลข 304 มีนบุรี - ฉะเชิงเทรา ช่วงที่ 1

สถานที่ ถนนสุวินทวงศ์ แขวง แสนแสน เขต มีนบุรี กรุงเทพมหานคร

การทดสอบหาค่าความแน่นในสนาม

ความหนาแน่นของทราย 1.296 KSC.

ความหนาแน่นที่ต้องการ 95 %

น้ำหนักทรายในกรวย 1747 กรัม

☑ Std.Proctor

☐ Mod.Proctor

รายการ										
จุดทดสอบที่		19	20	21						
		ตอนที่ 1								
STATION		0+900	0+950	1+000						
OFFSET		LT	RT	LT						
น.น.ขวด+กรวย+ทราย	กรัม	10277	10302	10325						
น.น.ขวด+กรวย+ทรายที่เหลือ	กรัม	6386	6390	6383						
น.น.ทรายในหลุม+ในกรวย	กรัม	3891	3912	3942						
น.น.ทรายในกรวย	กรัม	1747	1747	1747						
น.น.ทรายในหลุม	กรัม	2144	2165	2195						
ปริมาตรหลุมที่ขุด	ลบ.ซม.	1654	1671	1694						
น.น.ภาชนะ+วัสดุชื้น	กรัม	4157	4155	4127						
น.น.ภาชนะ	กรัม	243	243	243						
น.น.วัสดุชื้น	กรัม	3914	3912	3884						
ความแน่นวัสดุชื้น	กรัม/ลบ.ซม.	2.366	2.342	2.293						
ตลับหมายเลข		22	26	12						
น.น.วัสดุชื้น+ตลับ	กรัม	91.6	89.3	92.7						
น.น.วัสดุแห้ง+ตลับ	กรัม	85.6	83.5	88.3						
น.น.น้ำ	กรัม	6.0	5.8	4.4						
น.น.ตลับ	กรัม	17	15.1	15.2						
น.น.วัสดุแห้ง	กรัม	68.6	68.4	73.1						
ความชื้นในวัสดุ	ร้อยละ	8.75	8.48	6.02						
ความแน่นวัสดุแห้ง	กรัม/ลบ.ซม.	2.176	2.159	2.163						
ความแน่นแห้งสูงสุด	กรัม/ลบ.ซม.	2.165	2.165	2.165						
ค่าร้อยละของการบดอัดวัสดุ	ร้อยละ	100.5	99.7	99.9						
ผลการทดสอบ		ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน						

หมายเหตุ รับรองผลเฉพาะตำแหน่งที่ทำการทดสอบเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้