EFFECT OF FLY ASH CONTENT IN SOIL AND CURING TIME TO C.B.R.

MR.WINAI SRAUBOL

MR.SOMKANE EAMSANPANG

MR.SOMNUCK PEETIPERAKUL

วัน เดือน ปี 16 ก.ค. 2541
เลขทะเบียน M039003
เลขเรียกหนังสือ T 210244 ส 619 ผ

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR DEGREE

BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEER

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEER

KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M039003

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงงานพิเศษ

.....

หัวข้อโครงงานพิเศษ ผลของปริมาณขี้เถ้ามวลเบาที่ผสมในดินและอายุการบ่มที่มีผลต่อค่า C.B.R.
(EFFECT OF FLY ASH CONTENT IN SOIL AND CURING TO C.B.R.)

นักศึกษา นายวินัย สระอุบล รหัสประจำตัว 37014398
นายสมคเน เอี่ยมสรรพางค์ รหัสประจำตัว 37014454
นายสมนึก ปีติพีรกุล รหัสประจำตัว 37014456

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์	.....
2. ผศ. ศิริวัฒน์ ไชยชนะ	.....
3. อาจารย์ศิลป์ชัย งานสุวรรณ	.....

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

.....
(อาจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของปริมาณขี้เถ้ามวลเบาที่ผสมในดินและอายุการบ่มที่มีต่อค่า C.B.R.

Effect of fly ash content in soil and curing time to C.B.R.

โดย นายวินัย สระอุบล รหัสประจำตัว 37014398

นายสมคเน เอี่ยมสรรพางค์ รหัสประจำตัว 37014454

นายสมนึก ปีติพีรกุล รหัสประจำตัว 37014456

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา สาขาวิชา วิศวกรรมการก่อสร้าง

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์

บทคัดย่อ

ในการก่อสร้างดินคันทาง (Embankment) จำเป็นต้องใช้วัสดุพื้นฐานที่มีอยู่ในท้องถิ่นนั้นๆ เพื่อเป็นการประหยัดค่าขนส่งและเวลาในการลำเลียงนั้นๆ มายังสถานที่ก่อสร้างซึ่งในประเทศไทยวัสดุพื้นฐานที่หาได้ง่ายในแต่ละแห่งคือดิน โดยที่ ดินนั้นจะต้องมีคุณสมบัติในการรับกำลังได้ตามที่ต้องการ แต่เนื่องจากดินเป็นวัสดุที่มีการแปรปรวนทางคุณสมบัติ และบางครั้งอาจมีความสามารถในการรับกำลังได้ต่ำกว่าที่ต้องการ ดังนั้นการศึกษาถึงคุณสมบัติของดิน และการปรับปรุงคุณสมบัติของดินจึงมีความจำเป็น เพื่อปรับปรุงดินให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้งาน

ในปริญญานิพนธ์นี้ จึงได้เลือกศึกษาถึง ผลของปริมาณขี้เถ้ามวลเบาที่ผสมในดินและอายุการบ่มต่อค่า C.B.R. โดยใช้ค่า C.B.R. เป็นดัชนีที่ชี้ถึงคุณสมบัติการรับกำลังของดินภายหลังการผสมขี้เถ้ามวลเบาและที่อายุการบ่มต่างๆ ซึ่งการใช้ขี้เถ้ามวลเบาในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินเป็นอีกวิธีหนึ่งที่นิยมในต่างประเทศ และเป็นวิธีที่น่าสนใจ เนื่องจากช่วยลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม และเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSTRACT

Recently embankment construction, it needs to use the local available materials in order to save the cost of transportation and time. In Thailand the available material is soil, the selected soil must have sufficiency strength to early load. Because soil is easily changeable in property and may not have enough strength so it is necessary to study the property and stabilization of soil.

In this special project, effect of fly ash content in soil and curing time to C.B.R. is studied. C.B.R. is index which indicates the strength of soil, after mixing with fly ash and curing. Throughout the world, fly ash is used to improve soil strength. This method is interesting, because it will decrease environmental problem and fly ash is inexpensive material.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สามารถสำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายฝ่ายที่ให้ข้อเสนอแนะและข้อมูลต่างๆ แก่คณะผู้จัดทำ ดังรายนามต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ

อาจารย์อำนวย พานิชกุลพงศ์	อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน	ที่ประสิทธิประสาทวิชา
บิดา - มารดา	ที่ให้การอุปการะด้วยดีเสมอมา
ข้าราชการกรมทางหลวง	ที่ให้คำแนะนำแหล่งข้อมูลและวัสดุ
คุณบุญเลิศ พัดฉวี	ที่ให้คำปรึกษาและข้อมูล
ข้าราชการกระทรวงพาณิชย์	ที่ให้ข้อมูลทางด้านราคา
สำนักงานวิเคราะห์วิจัยกรมทางหลวง	ที่ให้ข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุ
ข้าราชการการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย	ที่อนุเคราะห์วัสดุในการทดลอง
เจ้าหน้าที่ห้องสมุดกรมทางหลวง	ที่อำนวยความสะดวกในการหาข้อมูล
เจ้าหน้าที่ห้องสมุดมหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ที่อำนวยความสะดวกในการหาข้อมูล
เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สจล.	ที่ช่วยในการติดต่อประสานงาน
เจ้าหน้าที่อาคารปฏิบัติการฯ โยธา สจล.	ที่อำนวยความสะดวกในการใช้อาคารฯ
บริษัท ไดเมนชั่น จำกัด	ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์การทดลอง

ขอขอบคุณ

เพื่อนๆ และน้องๆ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

นายวินัย สระอุบล
นายสมคเน เอี่ยมสรรพางค์
นายสมนึก ปีติพีรกุล
นักศึกษาผู้ประกาศ
(...../...../.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงาน	ก
บทคัดย่อ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	5
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	5
บทที่ 2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	
2.1 นำเรื่อง	6
2.2 ชนิดของถ่านหิน	6
2.3 ขี้เถ้าจากการเผาไหม้ของถ่านหิน	6
2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของขี้เถ้ามวลเบา	7
2.5 คุณสมบัติทางเคมีของขี้เถ้ามวลเบา	10
2.6 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบา	13
2.7 คุณสมบัติทางกายเคมีของดินลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบา	14
2.8 การทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพวิศวกรรมและเคมี ของขี้เถ้ามวลเบา	15
2.9 การนำเถ้ามวลเบาไปใช้งาน	20
สรุป	21
บทที่ 3 วิธีการทดสอบ	
3.1 ATTERBERG ' S LIMITS	22
ทฤษฎี	22
วิธีการทดลอง	24
ผลการทดลอง	28
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การจำแนกดินทางวิศวกรรม 30
ทฤษฎี 30
การจำแนกโดยระบบ UNIFIED SOIL CLASSFICATION 33
การจำแนกโดยระบบ ASSHTO CLASSFICATION 33
วิธีการจำแนกโดยระบบ UNIFIED SOIL CLASSFICATION 36
วิธีการจำแนกโดยระบบ ASSHTO CLASSFICATION 39
3.3 การบดอัดดิน 41
ทฤษฎี 41
การทดลองบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ 43
การเตรียมตัวอย่างดิน 44
วิธีทำการทดลอง 44
การคำนวณ 45
ผลการทดลอง 47
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง 49
3.4 CALIFORNIA BEARING RATIO 50
ทฤษฎี 50
การทดลอง C.B.R. ในห้องปฏิบัติการ 52
การเตรียมตัวอย่างดิน 56
วิธีทำการทดลอง 56
การคำนวณ 59
ผลการทดลอง 61
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง 67
บทที่ 4 ความเป็นไปได้ในการใช้งาน
ความเป็นไปได้ในการใช้งาน 68
การเปรียบเทียบราคา 69
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาโครงงานพิเศษและข้อเสนอแนะ 71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก
สมการแสดงปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นของวัสดุที่ใช้ในการทำ Soil Stabilize 72
ตารางแสดงมาตรฐานการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ 73
ตารางค่าขนส่งวัสดุก่อสร้าง 74
รูปตัดทางหลวงหมายเลข 1037 77
ผลการทดลองทางวิศวกรรมศาสตร์ 78
- ATTERBERG ' S LIMITS
- COMPACTION TEST
- CALIFORNIA BEARING RATIO TEST
บรรณานุกรม 181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้ามวลเบาลิกไนต์แม่เมาะ	11
ตารางที่ 2.2	แสดงองค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปของเถ้าถ่านหิน Class F และ Class C	12
ตารางที่ 2.3	แสดงเปอร์เซนต์ของดินที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ	16
ตารางที่ 3.2.1	รายละเอียดการจำแนกดินระบบ Unified Soil Classification	32
ตารางที่ 3.2.2	รายละเอียดการจำแนกดินระบบ AASHTO Classification	34
ตารางที่ 3.2.3	ตัวอย่างข้อมูลเพื่อการจำแนกดิน	36
ตารางที่ 3.2.4	ขั้นตอนการจำแนกตัวอย่างดิน SOIL B และ C โดยระบบ Unified Soil Classification	38
ตารางที่ 3.2.5	ขั้นตอนการจำแนกตัวอย่างดิน SOIL B และ C โดยระบบ AASHTO Classification	40
ตารางที่ 3.3.1	แสดงการเปรียบเทียบอุปกรณ์และพลังงานที่ใช้ทดสอบ Standard Proctor และ Modified Proctor	42
ตารางที่ 3.4.1	ความสัมพันธ์ของเปอร์เซนต์ C.B.R. และการใช้งาน	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1.1	แสดง Hopper ที่ใช้เก็บขี้เถ้ามวลเบา	3
รูปที่ 2.1	แสดงลักษณะของขี้เถ้ามวลเบา เมื่อวิเคราะห์ผ่านกล้องกำลังขยาย 100 เท่า	8
รูปที่ 2.2	แสดง Three Phase Diagram	10
รูปที่ 2.3	ขี้เถ้ามวลเบา	19
รูปที่ 2.4	ดินลูกรัง	19
รูปที่ 3.1.1	สถานภาพต่าง ๆ ของมวลดินเหนียว	23
รูปที่ 3.1.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง Liquid Limit	25
รูปที่ 3.1.3	ขั้นตอนการทดลอง Liquid Limit	25
รูปที่ 3.1.4	ขั้นตอนการทดลอง Plastic Limit	26
รูปที่ 3.1.5	ผลการทดลอง Atterberg 's limit	28
รูปที่ 3.2.1	แผนภูมิการจำแนกประเภทดิน โดยระบบ Unified Soil Classification	31
รูปที่ 3.2.2	กราฟสำหรับหาค่า Group Index	35
รูปที่ 3.2.3	การจำแนกย่อยของกรุ๊ฟ A-4 ถึง A-7	35
รูปที่ 3.2.4	กราฟการกระจายเม็ดดินจากตัวอย่าง SOIL A,SOIL B,SOIL C	37
รูปที่ 3.3.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density (γ_d) และเปอร์เซนต์ความชื้น ของ Standard Proctor และ Modified Proctor	42
รูปที่ 3.3.2	แสดงอุปกรณ์การทดลอง Compaction Test	45
รูปที่ 3.3.3	ผลการทดลองค่า Maximum Dry Density	47
รูปที่ 3.3.4	ผลการทดลองค่า Optimum Moisture Content	48
รูปที่ 3.4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C.B.R., K, R และ Bearing Value	51
รูปที่ 3.4.2	แสดงอุปกรณ์การทดลอง C.B.R. Test	53
รูปที่ 3.4.3	ขั้นตอนการทดลอง C.B.R. Test	57
รูปที่ 3.4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดและระยะจม	59
รูปที่ 3.4.5	ผลการทดลอง	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในช่วงเวลาที่ผ่านมาการก่อสร้างถนนหลายสาย ได้มีการนำดินในท้องถิ่นนั้นๆมาใช้เป็นวัสดุในการก่อสร้าง แต่เพราะว่าดินเป็นวัสดุที่มีความแปรปรวนทางคุณสมบัติสูง และอาจมีความสามารถในการรับกำลังต่ำกว่าเกณฑ์ที่ต้องการ

เนื่องจากปัญหาในการขาดแคลนวัสดุที่มีคุณภาพในการก่อสร้างถนนดังกล่าว จึงต้องมีการปรับปรุงคุณภาพดิน (Soil Stabilization) เพื่อให้ได้วัสดุที่มีคุณภาพเหมาะแก่การนำมาใช้งาน จึงได้มีการนำวัสดุที่ช่วยในการยึดเกาะเม็ดดินมาใช้ในการปรับปรุง เช่น ซีเมนต์ และ ปูนขาว การนำขี้เถ้ามวลเบา (Fly Ash) ซึ่งเป็นสาร Pozzolanic ชนิดหนึ่ง [2] มาทำการผสมและบดอัดกับดินก็เป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่นิยมทำกันในต่างประเทศ ส่วนในประเทศไทยยังไม่แพร่หลายนัก เนื่องจาก

1. ขาดความรู้ความเข้าใจถึงการใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้าง
2. ขาดความแน่ใจในการนำไปใช้เพราะคุณภาพและคุณสมบัติของเถ้าถ่านหินไม่สม่ำเสมอ
3. ขาดผู้ที่จะนำไปใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง

ในโครงงานพิเศษฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาและวิจัย เพื่อพัฒนาคุณภาพของวัสดุที่นำมาใช้ทำถนน โดยการใช้ขี้เถ้ามวลเบา (Fly Ash) มาทำการปรับปรุงคุณภาพดิน การวิจัยครั้งนี้เป็นการนำเอาดินลูกรังจาก อ.พนัสนิคม จ.ชลบุรี มาทำการวิจัยหาความสัมพันธ์ระหว่าง Unsoaked C.B.R. กับปริมาณของขี้เถ้ามวลเบา (Fly Ash) ที่เป็นส่วนผสมในดิน ทั้งก่อนและหลังทำการบ่มที่ 0,3,7,14 และ 28 วัน จึงคาดว่าผลของการศึกษาวิจัยส่วนนี้จะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานและบุคคลที่สนใจเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยขี้เถ้ามวลเบา (Fly Ash) เพื่อนำมาเป็นวัสดุในการก่อสร้างต่อไป อีกทั้งยังเป็นการลดปัญหาทางสิ่งแวดล้อม โดยปีหนึ่งๆ โรงงานไฟฟ้าแม่เมาะทำให้เกิดปริมาณขี้เถ้ามวลเบาถึงกว่า 3 ล้านตันต่อปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติความเป็นมาของ Fly Ash Stabilization

โรงจักรไฟฟ้าแม่เมาะในความรับผิดชอบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นโรงจักรที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ได้ถือกำเนิดขึ้นในปี พ.ศ. 2521 ตั้งอยู่ที่อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ในปี พ.ศ. 2530 โรงจักรมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด 7 หน่วย มีกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าสูงสุดรวม 825,000 กิโลวัตต์ ปริมาณถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยประมาณ 40,000 ตัน/วัน และได้ก่อสร้างขยายตัวขึ้นเรื่อยๆ จนปัจจุบันมีโรงไฟฟ้าถึง 12 โรง สามารถผลิตไฟฟ้าได้ถึง 2,000 เมกกะวัตต์/วัน เป็นโรงจักรไอน้ำใช้ถ่านหินลิกไนท์เป็นเชื้อเพลิง

ลิกไนท์ที่แม่เมาะเป็นลิกไนท์ที่เกิดสะสมตัวอยู่ในแอ่ง Tertiary มีลักษณะเป็นประทุนหงาย ซึ่งมีขนาด 4x7 กิโลเมตร เกิดจากการสะสมตัวของสิ่งต่างๆ ที่มีอยู่ในแม่น้ำ ทะเลสาป ห้วย หนอง คุณสมบัติโดยทั่วๆ ไปจะมีความชื้นร้อยละ 28 - 35 ปริมาณขี้เถ้าร้อยละ 7 - 35 ปริมาณกำมะถันร้อยละ 1.5 - 4 ค่าปริมาณความร้อน 1,500 - 3,200 แคลอรี่/กิโลกรัม แบ่งพื้นที่ออกเป็น 7 ส่วน มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ลิกไนท์ที่เกิดอยู่ในแอ่งนี้มีอยู่ 2 ชั้น แต่ละชั้นหนาประมาณ 15 เมตร ชั้นบนเรียกว่า "K seam" และชั้นล่างเรียกว่า "Q seam" ปริมาณของถ่านหินลิกไนท์ที่ทำการสำรวจพบว่าขณะนี้มีอยู่ประมาณ 680 ล้านตัน ซึ่งสามารถใช้ไปได้อีกไม่น้อยกว่า 30 ปี ถ่านหินลิกไนท์ที่พบในประเทศไทยมีอายุประมาณ 25 - 75 ล้านปี มีลักษณะเป็นสีดำหรือสีน้ำตาล มีลักษณะของเนื้อไม้ให้เห็น มีความชื้นสูง เปราะ และแตกร่อนได้ง่าย เมื่อนำเข้าเผาในโรงงานไฟฟ้า จะมีการนำถ่านคุณภาพต่างๆ กันมาผสม เพื่อให้ได้คุณภาพที่เหมาะสมกับการใช้งานของโรงงานไฟฟ้า โดยไม่ต้องทิ้งถ่านคุณภาพต่ำกว่ากำหนดให้เสียไปโดยเปล่าประโยชน์

ขี้เถ้าซึ่งเป็นกากของเหลือจากการเผาไหม้ของถ่านหินในโรงจักรไฟฟ้าพลังไอน้ำนั้นมีอยู่หลายรูปแบบ ขี้เถ้ามวลเบา (fly ash) ที่ลอยตัวปะปนอยู่กับควันจากการเผาไหม้ (flue gas) เป็นขี้เถ้าส่วนที่มีขนาดเม็ดเล็ก เบา ซึ่งจะมีอยู่ประมาณ 75 - 85 % ของเถ้าทั้งหมด โดยทั่วไปขี้เถ้ามวลเบาจะถูกแยกออกจากควันจากการเผาไหม้ โดยระบบ Mechanical และ Electro static และจะถูกเก็บไว้ใน Hopper ตามรูปที่ 1.1 ก่อนที่ควันจะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศทางปล่องควัน เพื่อลดปัญหาเกี่ยวกับสภาพมลภาวะของบรรยากาศ ปริมาณขี้เถ้ามวลเบาที่เกิดขึ้นจะมีประมาณ 15 - 25 % ของน้ำหนักถ่านหินทั้งหมดที่ใช้ในการเผาไหม้ สำหรับส่วนของขี้เถ้าที่หยาบกว่าจะตกอยู่ที่ก้นของเตาเผา ซึ่งเรียกว่า "เถ้าก้นเตา" (Furnace Bottom Ash หรือ Slag Ash) ซึ่งจะมีประมาณ15 - 25 % ของปริมาณเถ้าทั้งหมด ขี้เถ้าส่วนนี้จะอยู่ที่ก้นเตา มีลักษณะหยาบและมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างจากขี้เถ้ามวลเบามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.1 แสดง Hopper ที่ใช้เก็บขี้เถ้ามวลเบา

เนื่องจากขี้เถ้ามวลเบาที่เกิดจากการเผาไหม้เป็นกากของเหลือที่มีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลานได้ จึงได้มีการนำเอาขี้เถ้ามวลเบานี้ไปใช้ประโยชน์ โดยปกตินักปฐพีวิทยามักจะคุ้นเคยกับการนำเอาปูนขาวผสมกับขี้เถ้ามวลเบา เรียกว่า Lime Stabilized Fly Ash แต่ประโยชน์ของขี้เถ้ามวลเบานั้นมีมากมาย ภายหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ขี้เถ้ามวลเบาได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในต่างประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้นำขี้เถ้ามวลเบามาใช้ให้เป็นประโยชน์อาทิเช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ใช้ในการก่อสร้างถนนและใช้เป็นดินถม โดยเฉพาะเถ้าก้นเตาได้นำมาใช้เป็นดินถมอยู่มาก

-ใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีต (Concrete Additive)

-ใช้เป็นวัสดุน้ำหนักเบา (Light Weight Aggregate)

-นำมา Stabilize เพื่อทำพื้นทางหรือรองพื้นทาง

-ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตซีเมนต์

-นำมาเป็น Asphalt Filler

-นำมาทำคอนกรีตบล๊อค

สำหรับในประเทศยุโรปนั้น มักนำขี้เถ้ามวลเบามาผสมกับปูนขาวหรือซีเมนต์ เพื่อใช้ทำพื้นทางหรือรองพื้นทาง บางครั้งก็นำมาใช้เป็นดินถม ประเทศอังกฤษใช้ขี้เถ้ามวลเบามาทำคันทาง หรือใช้เป็นดินถมคอสะพาน

สำหรับในประเทศไทยได้มีการนำขี้เถ้ามวลเบามาใช้ทดสอบเพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุทางวิศวกรรม บางสถาบันยังได้นำขี้เถ้ามวลเบามาผสมกับปูนขาว หรือ ซีเมนต์ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมด้วย ในปี พ.ศ. 2536 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ตั้งคณะวิจัยขึ้นมาเพื่อศึกษาแนวทางและวิธีการนำขี้เถ้ามวลเบาไปใช้เป็นส่วนผสมทดแทนซีเมนต์โดยใช้ในการก่อสร้างเขื่อนคอนกรีตบดอัด (RCCP) ที่โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนปากมูล แต่ในด้านการนำขี้เถ้ามวลเบามาพัฒนากำลังอัดของดินยังไม่เป็นที่แพร่หลายนัก

คุณสมบัติของขี้เถ้ามวลเบาจากโรงจักรไฟฟ้าต่างๆ แปรปรวนไปตามคุณสมบัติของถ่านหินที่ใช้และลักษณะเตาเผา (Furnace) ของโรงจักรนั้นๆ ในการเผาถ่านหินลิกไนท์นั้น กากที่เหลือจากการเผาไหม้หรือ ขี้เถ้ามวลเบารวมกับเถ้าก้นเตา จะมีประมาณ 20 - 30 % ของน้ำหนักถ่านหินที่เผา ในปัจจุบันนี้โรงจักรไฟฟ้าลิกไนท์ ได้ใช้ถ่านหินลิกไนท์ประมาณปีละ 13 ล้านตัน ซึ่งสามารถประเมินคร่าวๆ ว่าในปีหนึ่งๆ จะมีขี้เถ้ามวลเบาซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้อยู่ไม่น้อยกว่า 3 ล้านตัน ถือว่าเป็นวัสดุเหลือใช้จำนวนมาก ถ้าสามารถใช้ให้เป็นประโยชน์ได้ก็จะให้คุณค่ามหาศาล ทั้งยังเป็นการขจัดมลภาวะที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ในการนำขี้เถ้ามวลเบาจากแหล่งใดไปใช้ประโยชน์ จำเป็นต้องทำการศึกษาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องของขี้เถ้ามวลเบาจากแหล่งนั้นเสียก่อน สำหรับขี้เถ้ามวลเบาจากโรงจักรไฟฟ้าแม่เมาะนั้น แม้ได้มีผู้ศึกษาคุณสมบัติและความเหมาะสมในการใช้งานในด้านต่างๆกันบ้างแล้ว แต่ข้อมูลที่มีอยู่ค่อนข้างจำกัด จึงยังไม่ได้มีการนำเอาขี้เถ้ามวลเบานี้ไปใช้ประโยชน์กันอย่างจริงจัง ในปัจจุบันโรงจักรไฟฟ้าแม่เมาะต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากในการขนย้ายขี้เถ้ามวลเบาที่เกิดขึ้นไปทิ้ง ดังนั้น หากได้มีการศึกษาคุณสมบัติขี้เถ้ามวลเบาโรงจักรไฟฟ้าแม่เมาะให้ละเอียดมากขึ้นแล้ว อาจจะสามารถเปลี่ยนสภาพของขี้เถ้ามวลเบาจากการเป็นกากของเหลือที่ทำให้ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกำจัด เป็นวัสดุก่อสร้างที่มีศักยภาพสูงทั้งในด้านของปริมาณและคุณภาพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย เพื่อ

1.2.1 ศึกษาการพัฒนาค่า Unsoaked C.B.R. ของดินผสมขี้เถ้ามวลเบา (Fly Ash) ที่อายุการบ่มและปริมาณขี้เถ้าต่างๆกัน

1.2.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Maximum Dry Density และ Optimum Moisture Content กับปริมาณของขี้เถ้ามวลเบาต่างๆ

1.2.3 เปรียบเทียบความสามารถในการรับกำลังของดินก่อนและหลังผสมขี้เถ้ามวลเบา (Fly Ash) เพื่อเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกวิธีปรับปรุงคุณภาพดิน

1.2.4 วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายระหว่างการนำหินคลุกมาใช้งานเทียบกับการนำดินลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบา (Fly Ash) มาใช้งาน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้ตัวอย่างดินที่มีความสามารถในการรับกำลังต่ำเป็นตัวทดสอบ คือ ดินลูกรัง (Laterite) ได้จาก อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี

1.3.2 ใช้ขี้เถ้ามวลเบา (Fly Ash) ชนิดเดียว คือ ขี้เถ้ามวลเบาจากโรงงานไฟฟ้าแม่เมาะ จ. ลำปาง

1.3.3 ปัจจัยต่างๆ ที่ถูกนำมาพิจารณาเปรียบเทียบ ได้แก่

1. ใช้ปริมาณขี้เถ้ามวลเบา (Fly Ash Content) โดยน้ำหนักที่ 0, 5, 8, 12, 15 และ 20 % ของน้ำหนักดิน

2. ใช้ปริมาณน้ำที่มีความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Optimum Moisture Content)

3. ทำการบ่มตัวอย่างดินผสมขี้เถ้ามวลเบาและทดสอบ C.B.R. ที่ระยะเวลา 0, 3, 7, 14 และ 28 วัน

4. การทดสอบ C.B.R. ทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM D 1883 - 67 และนำผลการทดลองที่ได้มาเขียนกราฟหาค่า C.B.R.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

2.1 นำเรื่อง

ขี้เถ้ามวลเบาเป็นกากของเหลือจากการเผาไหม้ผงถ่านหินในเตาเผาอุณหภูมิสูง อุณหภูมิขณะเกิดการเผาไหม้อยู่ในช่วง 1,500 - 2,000 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าจุดหลอมตัวของแร่ธาตุส่วนใหญ่ที่อยู่ในถ่านหิน เป็นผลให้แร่ธาตุเหล่านี้เกิดการหลอมละลายตัวและเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทั้งทางเคมี และทางกายภาพ รูปแบบของปฏิกิริยาเคมีในการเปลี่ยนแปลงจากถ่านหินเป็นขี้เถ้ามวลเบาขึ้นอยู่กับ ประเภทของถ่านหิน ความละเอียดของผงถ่านหิน อุณหภูมิขณะเกิดการเผาไหม้และระยะเวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ ขี้เถ้ามวลเบาจากเตาเผาต่างๆ จึงมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปตามชนิดของถ่านหินที่ใช้ และลักษณะเฉพาะของเตาเผานั้นๆ

2.2 ชนิดของถ่านหิน

ถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้แบ่งออกได้เป็น 4 ชนิดตามลำดับคุณภาพดังนี้

1. แอนทราไซต์ (Antracite)
2. บิทูมินัส (Bituminus)
3. ซับ - บิทูมินัส (Sub - Bituminus)
4. ลิกไนท์ (Lignite)

การใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงนั้น ได้ทำกันมาเป็นเวลานานแล้วในยุโรป สหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น ถ่านหินที่ใช้ในสมัยก่อนส่วนใหญ่เป็นถ่านหินที่มีคุณภาพดี ให้พลังงานความร้อนมาก เช่น แอนทราไซต์ บิทูมินัส และ ซับ - บิทูมินัส แต่ในปัจจุบันเนื่องด้วยปริมาณความต้องการใช้มีมากขึ้น จึงได้มีการนำเอาลิกไนท์ซึ่งเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพต่ำมาใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น สำหรับในประเทศไทยนั้น ถ่านหินที่สามารถขุดมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมดเป็นถ่านลิกไนท์

2.3 ขี้เถ้าจากการเผาไหม้ของถ่านหิน

การที่จะให้อุณหภูมิการเผาไหม้ถ่านหินสูงถึง 1,500 - 2,000 องศาเซลเซียส นั้น จะต้องทำการบดถ่านหินให้เป็นผงก่อนนำเข้าเตาเผา ผงถ่านหินจะถูกพ่นเข้าเตาเผาด้วยลมร้อน และ เกิดการเผาไหม้อย่างรวดเร็วในขณะที่มวลลอยตัวอยู่ กากของเหลือจากการเผาไหม้หรือขี้เถ้าจะมีประมาณ 20 - 30 % ของน้ำหนักถ่านหินที่ใช้ทั้งหมด ขี้เถ้าที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ขี้เถ้ามวลเบา (Fly Ash) และขี้เถ้าก้นเตา (Bottom Ash)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 คุณสมบัติทางกายภาพของขี้เถ้ามวลเบา (Fly Ash)

ลักษณะประจำตัวของขี้เถ้ามวลเบาโดยทั่วไปคือ เป็นมวลรวมที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ การกระจายขนาดคละสม่ำเสมอ (Uniform Gradation) ปั้นไม่ได้ (Non - Plastic)

2.4.1 ขนาดและรูปร่างของเถ้าถ่านหิน (Particle Shape and Particle Ash)

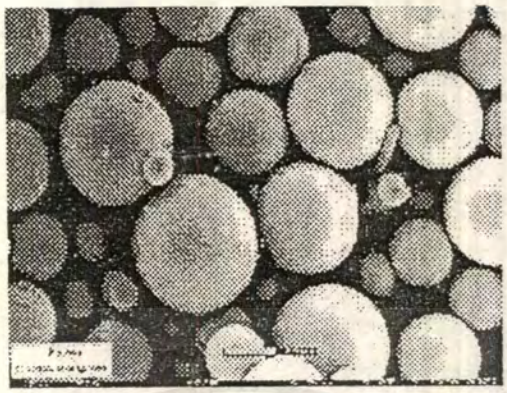
คุณสมบัตินี้ขึ้นอยู่กับ แหล่งของเถ้าถ่านหิน และความสม่ำเสมอทางคุณภาพเถ้าถ่านหิน กระบวนการเผาไหม้ การเกิดการเผาไหม้โดยธรรมชาติรอบข้าง ซึ่งขึ้นกับระดับของอุณหภูมิและปริมาณออกซิเจนที่เข้าทำปฏิกิริยา และกรรมวิธีในการเก็บเถ้าถ่านหิน เถ้ามวลเบาลิกไนท์ใหม่ๆ จากโรงไฟฟ้าจะมีสีเทาอมแดง เมื่อปล่อยให้เย็นลงจะมีสีเทาเข้มขึ้น มีลักษณะละเอียดจากการทดลองหาขนาดของเม็ดเถ้ามวลเบาโดยวิธีล้างและวิธี Hydrometer พบว่าขนาดของเถ้ามวลเบามีขนาดเล็กกว่า 75 ไมครอน หรือขนาด Silt Size และ Clay Size มีอยู่ประมาณร้อยละ 64 โดยน้ำหนัก ขนาดของ Fine Sand Size ประมาณร้อยละ 20 ที่เหลือเป็นขนาด Coarse และ Medium Sand

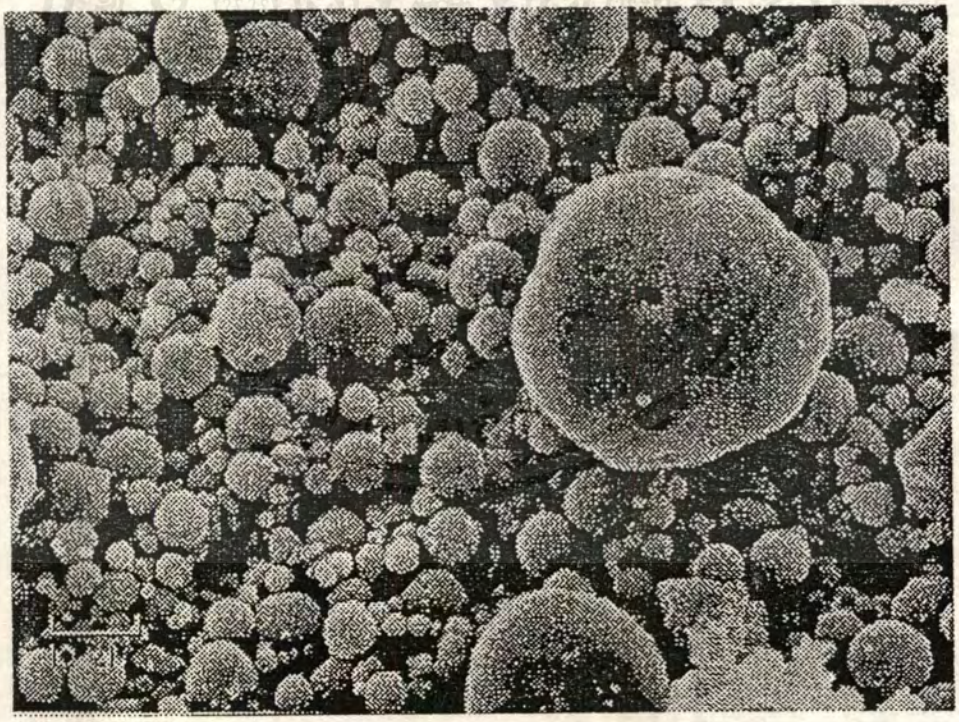
- จากการทดลองหาคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้ามวลเบาลิกไนท์ โดยวิเคราะห์ผ่านกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 100 เท่า พบว่ารูปร่างเถ้ามวลเบามีลักษณะค่อนข้างกลมและกลม (Sub -Rounded to Rounded) มีลักษณะใสขนาด Silt Size เสียเป็นส่วนใหญ่ บางครั้งพบแร่ Hematite ปะปนอยู่บ้าง

- จากการศึกษาของ Lane and Best พบว่า รูปร่างและขนาดของเถ้าถ่านหินมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติที่สำคัญของเถ้าถ่านหิน คือ มีความแข็ง เป็นรูปทรงกลมตัน เรียบ หากเถ้าถ่านหินกลวงคือ มีช่องว่างในทรงกลม เรียกว่า Cenospheres ซึ่งภายในทรงกลมกลวงนี้อาจจะประกอบด้วยอนุภาคของเถ้าถ่านหิน

- จากการศึกษาโดยใช้กล้องขยายขนาดกำลังขยาย 300 เท่า Digioia and Nazzo พบว่าอนุภาคของมวลขี้เถ้ามีลักษณะเป็นก้อนกลม มีขนาดใกล้เคียงกัน ขนาดเฉลี่ยอยู่ในช่วง ตั้งแต่ทรายแป้ง (Silt) ถึงทรายกลาง (0.006 - 0.6 มม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของขี้เถ้ามวลเบาเมื่อวิเคราะห์ผ่านกล้องกำลังขยาย 100 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ความละเอียด (Fineness)

เถ้าถ่านหินมีขนาดตั้งแต่เล็กกว่า 1 ไมครอน จนถึง ขนาดที่ใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับโรงงานที่ใช้เครื่องจักรในการแยก

การวัดค่าความละเอียดของเถ้าถ่านหินนั้น มีวิธีที่นิยมใช้กันอยู่ 2 วิธี คือ วิธีร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 325 (ช่องเปิด 45 ไมครอน) ตามมาตรฐาน ASTM C 430 และวิธีวัดพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักตามมาตรฐาน ASTM C 204 ทั้ง 2 วิธีเป็นที่แพร่หลายในปัจจุบันแต่ยังไม่มีใครตัดสินใจว่าวิธีไหนดีกว่ากัน ตัวอย่างเถ้าถ่านหิน ที่นิยมใช้เป็นมาตรฐานการวัดความละเอียดด้วยการผ่านตะแกรงเบอร์ 325 ไม่น้อยกว่าร้อยละ 66 โดยน้ำหนัก ซึ่งวิธีนี้ Lane and Best เห็นด้วยว่าเป็นวิธีวัดความละเอียดที่ดีกว่ามาตรฐาน ASTM C 204 แต่ความเห็นนี้ขัดแย้งกับ Ravina เนื่องจากเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความละเอียดที่วัดได้ ตามมาตรฐาน ASTM C 204 กับปฏิกิริยาปอซโซลานนั้นดีกว่าการวัดด้วยการร่อน ด้วยตะแกรงเบอร์ 325 ความละเอียดของเถ้าถ่านหิน มีส่วนสำคัญต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน ซึ่งเถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดมาก จะทำให้พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยามากขึ้น

2.4.3 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ความถ่วงจำเพาะของขี้เถ้ามวลเบาจากแหล่งต่างๆ มีความแปรปรวนสูง ขี้เถ้ามวลเบาจากโรงจักรไฟฟ้าในประเทศอังกฤษ มีความถ่วงจำเพาะในช่วง 1.90 - 2.40 ขี้เถ้ามวลเบาจากรัฐมิชิแกน ประเทศสหรัฐอเมริกา มีค่าความถ่วงจำเพาะในช่วง 2.30 - 2.60 ขี้เถ้ามวลเบาของประเทศไทย มีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.04 (ข้อมูลจาก การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย) อย่างไรก็ตามพบว่าความถ่วงจำเพาะของขี้เถ้ามวลเบา โดยส่วนใหญ่ค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับมวลดินโดยทั่วไป การศึกษาของ Raask ได้แสดงให้เห็นว่า อนุภาคของขี้เถ้ามวลเบากลวงภายใน ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งให้ขี้เถ้ามวลเบามีความถ่วงจำเพาะค่อนข้างต่ำ

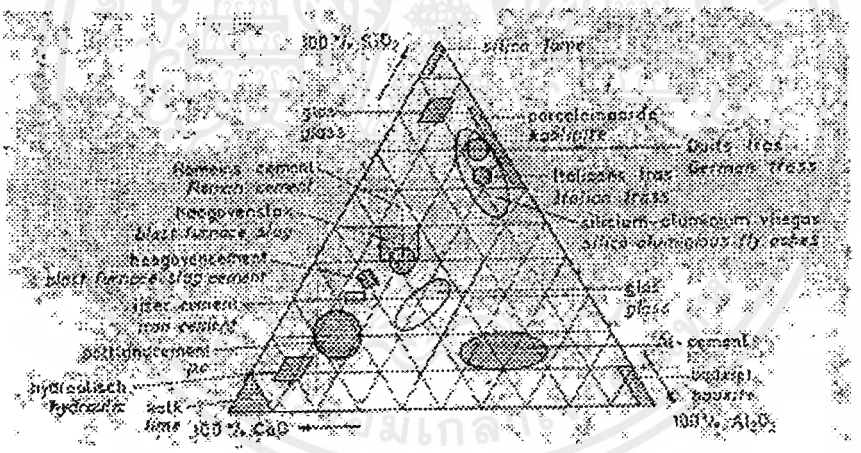
จากการศึกษาโดย Luke พบว่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าถ่านหินอยู่ในช่วง 1.97-3.02 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่โดยส่วนใหญ่ที่พบโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 2.2 - 2.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และพบว่าหากเถ้าถ่านหินที่มีส่วนประกอบของธาตุเหล็กสูง ค่าความถ่วงจำเพาะจะมีค่าสูงตามไปด้วย แต่ถ้าเถ้าถ่านหินที่มีส่วนประกอบของธาตุคาร์บอนสูง ทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ สำหรับเถ้าถ่านหิน Class F [2] มีขนาดเล็กกว่าและช่องว่างระหว่างอนุภาคของเถ้าถ่านหินน้อย ดังนั้นทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในช่วงที่สูงกว่าคือ ประมาณ 2.4-2.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 คุณสมบัติทางเคมีของขี้เถ้ามวลเบา (Fly Ash)

ชั้นถ่านหินในสภาพธรรมชาติ มักจะมีชั้นหินหรือเศษหินแทรกตัวอยู่ เมื่อขุดเอาถ่านหินมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เศษหินเหล่านี้ก็จะยังปะปนอยู่กับถ่านด้วย สารประกอบส่วนใหญ่ของขี้เถ้ามวลเบาเป็นสารอนินทรีย์ซึ่งแปรรูปมาจากแร่ธาตุของถ่านหินเหล่านี้นี่เอง ชนิดและปริมาณของหินซึ่งปะปนอยู่กับถ่านหินแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่งมีปริมาณแตกต่างกันไป เป็นสาเหตุให้ส่วนประกอบทางเคมี และคุณสมบัติของขี้เถ้ามวลเบาจากแหล่งต่างๆ มีความแตกต่างกัน นอกจากนี้ ยังมีองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ เช่น ความละเอียดของผงถ่าน ชนิดของเตาเผา อุณหภูมิการเผาไหม้ ฯลฯ ก็มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของขี้เถ้าด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อปริมาณคาร์บอน ที่ค้างจากการเผาไหม้ (Unburned Carbon) ซึ่งมีอิทธิพลมากต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของขี้เถ้ามวลเบา

การเกิดของขี้เถ้ามวลเบาจากการหลอมละลายของแร่หินนั้น คล้ายกับการเกิดของขี้เถ้าภูเขาไฟ ดังนั้นขี้เถ้ามวลเบาจึงมีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลาน (Pozzolan) คล้ายกับขี้เถ้าภูเขาไฟ ซึ่งจำแนกประเภทได้ตาม Three Phase Diagram ตามรูป 2.2 คือสามารถรวมตัวกับปูนขาวและน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติเป็นสารเชื่อมประสานได้



รูปที่ 2.2 แสดง Three Phase Diagram

ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญโดยทั่วไปของเถ้าถ่านหิน ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) นอกจากนั้นแล้วยังมีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) โดยส่วนประกอบทางเคมีเหล่านี้จะแตกต่างกันบ้างตามที่มาของเถ้าถ่านหินเหล่านั้น ซึ่งทำให้กลายเป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่งในการนำไปใช้ควบคุมคุณภาพของเถ้าถ่านหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบตามวิธี X-ray Fluorescence ได้วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของขี้เถ้ามวลเบาที่พบในประเทศไทย ดังแสดงไว้ในตาราง 2.1 จะเห็นว่าสารประกอบหลักของขี้เถ้าคือ ซิลิกา (SiO_2) อลูมินา (Al_2O_3) และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ที่เหลือเป็นออกไซด์ของแร่อื่นๆ และคาร์บอนที่ค้างจากการเผาไหม้ ซิลิกาและอลูมินาเป็นสารที่จะรวมตัวกับปูนขาวเป็นสารเชื่อมประสาน

***ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้ามวลเบาลิกไนต์แม่เมาะซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณองค์ประกอบเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก (ระหว่างปี พ.ศ. 2533 - 2540)**

Chemical composition	Average Value Percentages Year (พ.ศ.)							
	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540
SiO_2	37.8	42.8	40.3	43.1	52.8	39.6	39.6	39.9
Al_2O_3	20.5	23.3	24.0	20.2	18.0	22.3	23.0	26.9
Fe_2O_3	14.2	14.0	15.0	13.2	8.5	12.5	12.6	11.8
CaO	17.4	10.5	11.2	13.0	13.3	14.0	12.7	9.0
SO_3	3.9	3.9	3.1	2.6	2.8	2.7	2.4	0.9
MgO	3.3	2.4	2.8	2.7	1.4	2.5	2.4	1.2
Na_2O	0.9	0.8	1.0	1.3	0.9	0.7	1.1	0.6
K_2O	2.1	2.3	2.6	2.4	2.0	2.3	2.9	3.1
Loss of Ignition	0.8	0.7	0.5	0.6	0.3	0.9	0.8	0.8

* ที่มา วารสาร กฟผ. ปีที่ 6 เล่มที่ 3 ก.ค. - ก.ย. 40

ขี้เถ้ามวลเบาส่วนใหญ่มีปูนขาวในรูปแคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นส่วนผสมอยู่ด้วยถ้าปริมาณปูนขาวนี้มากพอ ขี้เถ้ามวลเบาก็จะสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานจับตัวกันเป็นก้อนแข็งได้ โดยไม่ต้องผสมปูนขาวเพิ่ม การศึกษากำลังอัดของตัวอย่างขี้เถ้ามวลเบาอัดแน่นจากแหล่งต่างๆ ในประเทศอังกฤษ แสดงให้เห็นว่ากำลังอัดของขี้เถ้ามวลเบาอัดแน่นมีค่าถึง 3.6 MPa สำหรับขี้เถ้าที่มีปูนขาวเป็นส่วนประกอบมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบที่มีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานของขี้เถ้ามวลเบาอีกส่วนหนึ่ง คือ คาร์บอนซึ่งค้างจากการเผาไหม้ (Unburned Carbon) หรือค่าการสูญเสียจากการเผาไหม้ (Ignition on Loss) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบจะเป็นตัวต้านการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานซึ่งเป็นผลให้ความสามารถในการเป็นสารเชื่อมประสานของขี้เถ้ามวลเบาลดลง

ส่วนประกอบอีกส่วนหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการนำขี้เถ้ามวลเบาไปใช้ประโยชน์คือ ซัลเฟต (SO_3) ซึ่งจะทำให้ เกิดการขยายตัวได้มากในวัสดุ ซึ่งมีขี้เถ้ามวลเบาเป็นสารเชื่อมประสาน

การแบ่งประเภท Fly Ash

ตามมาตรฐาน ASTM C 618 [2] ได้แบ่งเถ้าถ่านหินออกเป็น 2 ประเภทคือ Class F และ Class C โดย Class F มีผลรวมของ SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบในรูปของออกไซด์ องค์ประกอบของธาตุที่สำคัญประกอบไปด้วย 3 ตัวและมีอัตราส่วนของเถ้าถ่านหินในช่วงดังนี้ SiO_2 (ร้อยละ 10 ถึง 30) และ Fe_2O_3 (ร้อยละ 5 ถึง 25) โดยที่

- เถ้าถ่านหิน Class F คือ เถ้าถ่านหินที่เกิดจากการเผาไหม้ anthracite หรือ bituminous coal จะให้ปริมาณความร้อนมาก เพราะมีปริมาณความร้อนสูง มักมี แคลเซียมออกไซด์ (CaO) ต่ำกว่าร้อยละ 10 และมีผลรวมขององค์ประกอบของ SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 เกินกว่าร้อยละ 70
- เถ้าถ่านหิน Class C คือ เถ้าถ่านหินที่เกิดจากการเผาไหม้ lignite หรือ sub-bituminous coal มักมีแคลเซียมออกไซด์มากกว่าร้อยละ 10 และมีผลรวมขององค์ประกอบของ SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3 เกินกว่าร้อยละ 50

ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีโดยทั่วไปของเถ้าถ่านหิน Class F และ Class C [2]

Chemical composition	เถ้าถ่านหิน Class F (%)	เถ้าถ่านหิน Class C (%)
SO_3 (max.)	5.0	5.0
Na_2O (max.)	1.5	1.5
[SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3] (max.)	70.0	50.0
Moisture Content (max.)	3.0	3.0
Loss on Ignition (max.)	6.0	6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตพบว่าเถ้าถ่านหินที่ได้จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีคุณสมบัติใกล้เคียงตาม Class F จึงมีคุณสมบัติเป็น Pozzolanic ตามมาตรฐาน ASTM C 618 [2]

ข้อมูลเกี่ยวกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าถ่านหิน สามารถตรวจสอบได้หลายวิธี เช่น X - Ray Fluorescence Spectrometer หรือ Standard Method of Chemical Analysis แต่ยังไม่มีการทดลองหาคุณสมบัติทางเคมี ของสารปอซโซลานที่จะบอกถึงศักยภาพของสารปอซโซลานของวัสดุที่นำมาใช้ได้ การที่ขี้เถ้ามวลเบาแม่เมาะมีปริมาณ ซิลิกา อลูมินา และเหล็กออกไซด์ต่ำนั้น บ่งชี้ว่า ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิคร่วมกับปูนขาวต่ำ ซึ่งจะเป็นเหตุให้ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสานร่วมกับปูนขาวได้ไม่ดีนัก แต่ในขณะเดียวกัน ขี้เถ้ามวลเบาแม่เมาะมีปริมาณปูนขาว (CaO) เป็นส่วนผสมสูงมาก แสดงว่าจะสามารถเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิคด้วยตัวเอง ได้ดีกว่าขี้เถ้ามวลเบาโดยทั่วไป

2.6 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบา

จากการศึกษาที่ผ่านมาของกรมทางหลวงพบว่าขี้เถ้ามวลเบามีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดินดังนี้

1. เปลี่ยนแปลงขนาดคละ

เป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ โดยเม็ดดินในส่วนละเอียดจะรวมตัวกันเป็นก้อนเป็นผลทำให้เม็ดดินหยาบขึ้น ซึ่งอาจส่งให้ความสามารถในการบดอัดดีขึ้นหรือเลวลงก็ได้

2. ลดความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินลง

เนื่องจากขี้เถ้ามวลเบามีความถ่วงจำเพาะต่ำ เป็นผลให้ความหนาแน่นแห้งจากการทดสอบ Modified Proctor ลดลง

3. ลดดรรชนีย์การปั้นได้ของดิน (P.I.) ลง

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เห็นได้ชัดที่สุดเมื่อผสมขี้เถ้ามวลเบาก็คือ การเปลี่ยนแปลงของ Plasticity ของดิน โดยจะเปลี่ยนแปลงทั้ง Plastic limit และ Liquid limit เป็นผลให้ความสามารถในการบดอัดได้ดีขึ้น

เมื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยขี้เถ้าจากแม่เมาะ คุณสมบัติในการบดอัดได้ C.B.R. และกำลังอัดของดินดีขึ้น แต่ในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินที่มีเม็ดละเอียดน้อย คุณสมบัติในการบดอัดได้ของดินจะเลวลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 คุณสมบัติทางเคมีของดินลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบา

ตามมาตรฐาน ASTM C 618 [2] ได้ให้ความหมายของคำ ว่าวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) ไว้ดังนี้ "สารปอซโซลาน คือ วัสดุที่มีซิลิกา หรือซิลิกาและอลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก ซึ่งโดยตัวของมันแล้วจะไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน (Cementious Proporties) แต่ถ้าสารปอซโซลานนั้นมีความละเอียดมาก และ อยู่ในสภาพที่มีความชื้น สารปอซโซลานจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน" ในปัจจุบันสารประกอบปอซโซลานที่เห็นอยู่ทั่วไป และนิยมใช้กันได้แก่ เถ้าถ่านหิน (Fly Ash)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อผสมดินกับขี้เถ้ามวลเบา (Fly Ash) มี 3 ประการดังนี้

1.เมื่อผสมน้ำเข้าไปปูนขาวจะแตกตัวออกเป็น Ca++ และ (OH)- ทำให้เกิดผลได้ 2 กรณีคือ

ก. การแลกเปลี่ยนประจุไอออนของ Ca++

ข. การเบียดตัวของไอออน Ca++ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าปกติ รอบๆอนุภาคของดิน

ซึ่งทั้ง 2 กรณีทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีของ Double Layer รอบๆ อนุภาคของดินทำให้เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน

2.ปูนขาวอาจทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในอากาศทำให้เกิดแคลเซี่ยมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีแรงยึดเกาะไม่สู้ดีนัก

3.เกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) เกิดขึ้นโดยสารตั้งต้น คือ แคลเซียมไฮ ดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) จากปูนขาว(CaO) เข้าทำปฏิกิริยากับซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) และอลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) จากเถ้าถ่านหิน เกิดเป็นเจล (Gel) ของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต และ แคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต ทำให้เม็ดดินมีการยึดเกาะกันดีขึ้น โดยมีปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นดังสมการ

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + H_2O = xCaO.ySiO_2.zH_2O$$

$$Ca(OH)_2 + Al_2O_3 + H_2O = eCaO.fAl_2O_3.gH_2O$$

ค่า X , Y , Z เป็นค่าที่แปรตามชนิดของ Calcium Silicate Hydrate (CSH หรือ $3CaO.SiO_2.3H_2O$) ซึ่งปฏิกิริยานี้จะค่อยๆให้กำลังแก่ตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องช้าๆ และต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozolanic Reaction) จะเกิดได้นั้นสารปอซโซลานและด่าง จะต้องมีความละเอียดสูงพอมิฉะนั้นปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นน้อยมาก สารประกอบปอซโซลานอาจแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่ม ตามลักษณะการนำไปใช้งานคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.สารปอซโซลานที่ได้จากธรรมชาติ (Natural Pozzolan) โดยทั่วไปก็คือวัสดุที่เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ เช่นหินระเบิดจากภูเขาไฟ (Vocalnic Tuff) และหินพรุน (Pumicite) เป็นต้น

2.สารประกอบปอซโซลานสังเคราะห์ (Artificial Pozzolan) ส่วนใหญ่คือวัสดุที่ได้จากกระบวนการทางความร้อน โดยการเผาวัสดุที่ได้จากธรรมชาติซึ่งได้แก่ ดินเหนียว (Clay) หินเชล (Shale) หินซึ่งมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบ ขี้เถ้าถ่านหิน ขี้เถ้าแกลบ เป็นต้น

2.8 การทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพวิศวกรรมและเคมีของขี้เถ้ามวลเบาและดิน

2.8.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างขี้เถ้ามวลเบาที่ใช้ในการวิจัยนี้ เป็นตัวอย่างขี้เถ้ามวลเบาจากโรงจักรไฟฟ้าแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยเก็บตัวอย่างจากไซโล ขี้เถ้ามวลเบาที่ออกจากไซโลเป็นผงละเอียดสีน้ำตาลแดง และค่อนข้างร้อน เมื่อเย็นตัวลงสีจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเข้มอมเทา น้ำที่ใช้ผสมกับขี้เถ้ามวลเบาและใช้ในการทดลองอื่นๆ เป็นน้ำประปา

2.8.2 การทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของขี้เถ้ามวลเบา

1.การทดลองหาขนาดเม็ดขี้เถ้ามวลเบาโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง หาขนาดเม็ดของขี้เถ้ามวลเบาตามมาตรฐาน ASTM D 422-63 วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง

2.การทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยใช้ Hydrometer การทดลองหาขนาดที่เล็กกว่า 75 ไมครอน (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) ตามมาตรฐาน ASTM D 422-63 วิธีการทดลองหาขนาดขี้เถ้ามวลเบาโดยใช้ Hydrometer

3.การทดลองหาความถ่วงจำเพาะ การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของขี้เถ้ามวลเบา ทดลองตามมาตรฐาน ASTM D 854-58

4.การทดลองหาคุณสมบัติทางกายภาพของขี้เถ้ามวลเบาผ่านกล้องจุลทรรศน์ นำตัวอย่างโรยบนแผ่นสไลด์และปิดด้วยกระจกแผ่นบาง (Cover Glass) การเรียงตัวอย่างแบบนี้เรียกว่า GRAIN MOUNT SLIDE จากนั้นวิเคราะห์ผ่านกล้องจุลทรรศน์ พร้อมทั้งถ่ายภาพประกอบรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 การทดสอบหาคุณสมบัติทางเคมีของขี้เถ้ามวลเบา

1.การวิเคราะห์หาธาตุโดยวิธี X-RAY FLUORESCENCE

นำตัวอย่างขี้เถ้ามวลเบาหนัก 1 กรัม มาทดลองหาค่า Loss of ignition โดยการทำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ช.ม. จากนั้นนำออกมาชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบที่ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ช.ม. นำออกมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส และนำออกมาชั่งน้ำหนักเป็นครั้งสุดท้าย คำนวณหาค่า Loss of ignition ออกมา

นำตัวอย่างส่วนที่ 2 มาทำ Plate เข้าเครื่อง X-RAY SPECTROMETER โดยใช้ PROGRAM CALSOIL ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับวัดตัวอย่างที่มีปริมาณ CALCIUM สูง

2.การวิเคราะห์ทางเคมีหาสารประกอบในรูปของ Oxide ของโลหะ โดยการนำตัวอย่างมาเผาและทำให้เป็นสารละลายน้ำ ตะกอนที่เหลือในสารละลายคือ SiO_2 จากนั้นนำสารละลายไปผ่านขบวนการเพื่อแยกให้ได้ ion ที่ต้องการออกมาเช่น Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO ฯลฯ

2.8.4 การทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของดิน

วัสดุที่นิยมใช้ทำโครงสร้างถนนในประเทศไทย คือ ดินลูกรัง เนื่องจาก

1. เป็นวัสดุที่มีมากในธรรมชาติ
2. การนำหินคลุกมาใช้ต้องโม่ให้ละเอียดซึ่งจะสูญเสียคุณสมบัติที่ดีทางวิศวกรรม
3. ระยะทางระหว่างแหล่งหินคลุกกับหน่วยงานมักจะไกลกันมากทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนย้ายสูงเมื่อเทียบกับดินลูกรังที่มีกระจายอยู่ทั่วไป

ในการศึกษาคุณสมบัติของดินด้วยขี้ขี้เถ้ามวลเบา จึงได้นำดินลูกรังจาก อ. พนัสนิคม จ. ชลบุรี ลักษณะเป็นดินลูกรังสีน้ำตาลเหลือง ซึ่งผ่านการทดสอบหาขนาดตามมาตรฐาน ASTM D 422 - 63 ผลการทดสอบมีเปอร์เซนต์ของดินที่ผ่านตะแกรง ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 แสดงเปอร์เซนต์ของดินที่ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ

วัสดุ	Passing								L.L.	P.I.
	50.0	25.0	19.0	9.5	# 4	#10	#40	#200		
ดินลูกรัง จ. ชลบุรี	100.0	96.8	94.8	85.3	69.9	53.4	41.8	30.0	33.9	10.3
ดินลูกรัง จ. ลำปาง	100.0	95.4	92.6	74.9	58.7	47.3	87.0	12.7	28.8	7.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการจำแนกดินตามมาตรฐาน ASTM D 2487 - 69

1. โดยใช้ระบบ Unified Soil Classification

% ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 50 % เป็น กลุ่มดินมวลหยาบ

% ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่า 50 % เป็น กลุ่มดินทราย

% ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 12 % เป็น SM ดินตะกอนปนทราย

2. โดยระบบ AASHTO Classification

% ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 < 35 %

% ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 < 50 %

PI > 6

LL < 40

PI > 10

จัดเป็นดิน A - 2 - 6 หรือเป็นดินทรายกรวดผสมตะกอน ซึ่งมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับดินที่ใช้ในงานของกรมทางหลวง จ.ลำปาง

*ตามข้อกำหนดของการก่อสร้างพื้นทางดินซีเมนต์ ดินที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. การทดลองหาขนาดเม็ดดินตามมาตรฐาน ASTM D 422-63 "วิธีการหาทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง" มีขนาดเม็ดโตสุดไม่เกิน 30 มม. และส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มม. (เบอร์ 200) ไม่เกิน 30% ผ่านตะแกรงขนาด 2 มม. (เบอร์ 10) ไม่เกิน 70%
2. ต้องมีค่า Liquid Limit ไม่เกิน 40%
3. ต้องมีค่า Plastic Index ไม่เกิน 15%

*ที่มา เอกสารประกอบการบรรยายหมวดวิชาวิศวกรรมทาง

จากผลการทดลอง พบว่าดินมีค่า C.B.R. (Unsoaked) ที่ 56 Blows เท่ากับ 61 % ซึ่งน้อยกว่า 80 % (ค่าที่ใช้ในการทำชั้นพื้นทาง) แต่เนื่องจากดินชนิดนี้มีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนดในการทำดินซีเมนต์ จึงสามารถที่จะนำมาใช้เป็นพื้นทางโดยจะต้องมีการ Stabilize ดินเสียก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.5 การทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรม

1.การทดสอบการบดอัดแบบ Modified Proctor ตามมาตรฐาน ASTM D 1557 - 70 วิธีการทดสอบ Compaction Test แบบ Modified Proctor เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของขี้เถ้ามวลเบากับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัด เมื่อทำการบดอัดในแบบ (mold) ด้วยค้อนหนัก 4.537 กิโลกรัม (10 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) การศึกษาวิจัยนี้เลือกใช้แบบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) สูง 125 มิลลิเมตร (5 นิ้ว) การบดทับกระทำเป็นชั้นๆ จำนวน 5 ชั้นๆ ละ 56 ครั้ง ด้วย Hammer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว การเตรียมตัวอย่างขี้เถ้ามวลเบาเพื่อใช้ทดสอบ จะทำให้แห้งด้วยวิธีตากแห้ง (Air dry) จากนั้นนำขี้เถ้ามวลเบาที่เตรียมไว้แล้ว มาคลุกเคล้าให้เข้ากันดี เติมน้ำในปริมาณที่กำหนด โดยปรกติจะเริ่มต้นที่ประมาณ 4 % ต่ำกว่าปริมาณน้ำที่ให้ความสูงสุด (Optimum Moisture Content) คลุกเคล้าขี้เถ้ามวลเบาตัวอย่างที่เติมน้ำให้เข้ากันดีแล้วนำไปใส่ลงในแบบประมาณให้แต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูง 1 ใน 5 ของ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว) ทำการบดทับจนครบ 5 ชั้น ผลการทดลองคำนวณหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density) และความแน่นแห้ง (Dry Density) ทำการทดลองที่ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นอีก ครั้งละ 2 % จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดทำการทดลอง หรืออาจลดน้ำที่ผสมในกรณีที่เมื่อเพิ่มน้ำแล้วความแน่นลดลงเพื่อให้เขียนกราฟได้

การทดลองควรจะให้มีตัวอย่างทางด้านแห้งมากกว่าปริมาณน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุดไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่างและควรให้มีตัวอย่างทางด้านแห้งมากกว่าปริมาณน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุดไม่น้อยกว่า 1 ตัวอย่าง แล้วเขียนกราฟระหว่าง ความแน่นแห้ง และปริมาณน้ำเป็นร้อยละ เพื่อหาค่า Maximum Dry Density (MDD) และ Optimum Moisture Content (OMC) เพื่อใช้สำหรับการเตรียมตัวอย่างทดสอบต่อไป

2.การทดสอบ California Bearing Ratio วิธีการทดสอบกระทำมาตรฐาน ASTM D 1883 - 67 วิธีการทดลองเพื่อหาค่า California Bearing Ratio (C.B.R.) ตัวอย่างขี้เถ้ามวลเบาที่จะทดสอบได้จัดเตรียมเช่นเดียวกับการทดสอบการบดอัด แบบที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) สูง 175.0 มิลลิเมตร (7 นิ้ว) ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมใช้ค่าที่ OMC จากการทดสอบการบดอัด สำหรับจำนวนครั้งของการบดทับ จะทำการบดทับที่ 56 ครั้ง ปริมาณขี้เถ้ามวลเบาที่ใช้ผสม จะใชปริมาณ 5,8,12,15 และ 20 %

* หมายเหตุ วิธีการทดลอง โดยวิธี Modified Proctor และ California Bearing Ratio จะกล่าวในบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องหมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างกระทำได้ดังนี้คือ

1. การเตรียมตัวอย่างดินผสมขี้เถ้ามวลเบาที่ใช้ในการทดลอง Modified Proctor และ California Bearing Ratio แบ่งได้ดังนี้

1.1 <u>การผสมตัวอย่างดินกับขี้เถ้ามวลเบา</u> ใช้วิธี Powder Mixer โดยผสมตัวอย่างดินที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 140 องศาฟาเรนไฮต์ นาน 24 ชั่วโมง กับขี้เถ้ามวลเบาแบบแห้ง เมื่อผสมเข้ากันแล้ว จึงเพิ่มน้ำเท่ากับ OMC

รูปที่ 2.3 ขี้เถ้ามวลเบา

รูปที่ 2.4 ดินลูกรัง

1.2 <u>การบ่มตัวอย่างดินที่ผ่านการทดลอง C.B.R.</u> ใช้พลาสติกคลุมปิดหัวท้าย mold ในขณะทำการบ่ม

2. การทดสอบแบบไม่แช่น้ำ (UNSOAKED) เมื่อบดอัดเสร็จจะบ่มทิ้งไว้ให้ได้ระยะเวลาที่ 0, 3, 7, 14 และ 28 วัน จึงนำไปทดสอบต่อไป

นำตัวอย่างที่ทดสอบ C.B.R. มาใส่แผ่นถ่วงน้ำหนักจำนวน 2 อัน แล้วนำไปทดลอง Penetration Test โดยใช้ท่อนกดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 49.5 มิลลิเมตร (1.25 นิ้ว) พื้นที่หน้าตัด 1,935.5 ตารางมิลลิเมตร (3 ตารางนิ้ว) ยาวไม่น้อยกว่า 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) การให้แรงกดกระทำด้วยอัตราที่สม่ำเสมอเท่ากับ 1.27 มิลลิเมตร (0.05 นิ้ว) ต่อนาที ระหว่างทำการทดลอง Penetration Test จะบันทึกขนาดน้ำหนักกดที่ระยะ Penetration ต่างๆ (ระยะท่อนกดจม) เพื่อใช้เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดและระยะ Penetration เพื่อหาค่า C.B.R. ต่อไป

039003
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การนำเถ้ามวลเบาไปใช้งาน

1.การใช้เถ้ามวลเบาเป็นวัสดุถม ส่วนใหญ่จะเป็นการใช้ในงานถนน เช่น ถมคันดิน ถมคอสะพาน เป็นต้น ใช้ในงานปรับพื้นที่ก่อสร้างอาคาร และบางครั้งใช้เป็นวัสดุถมกลับ เช่น ใช้ในการถมเหมืองขุดเก่า ข้อได้เปรียบในการใช้เถ้ามวลเบาเป็นวัสดุถมมีสองประการคือ หน่วยน้ำหนักของเถ้ามวลเบาต่ำกว่าดิน ซึ่งใช้เป็นวัสดุถมโดยทั่วไป จึงเป็นผลดีต่อการถมบริเวณดินอ่อนที่รับน้ำหนักจากวัสดุถมได้จำกัด ประการที่สองคือ หลังจากถมแล้วอนุภาคของเถ้ามวลเบาจะเกิดการเชื่อมประสานกันเองเป็นก้อนแข็ง ซึ่งเป็นผลดีหลายประการ เช่น สามารถรับแรงกระทำได้สูง การทรุดตัวที่เกิดขึ้นในชั้นวัสดุถมลดลง แรงดันด้านข้างที่มีต่อโครงสร้างด้านข้างวัสดุถมลดลง

2. การใช้เป็นวัสดุในโครงสร้างถนน ส่วนของถนนที่ใช้เถ้ามวลเบาเป็นวัสดุได้คือ ชั้นรองพื้นทาง (Sub-Base) และชั้นพื้นทาง (Base) แม้ว่าเถ้ามวลเบาส่วนใหญ่จะมีกำลังเพิ่มขึ้นได้ด้วยตนเอง แต่สำหรับการใช้ในงานถนนนั้นจะต้องใช้ปูนซีเมนต์หรือปูนขาวผสมเพิ่มเพื่อให้ได้กำลังอัดสูงขึ้น การใช้งานอาจจะเป็นแบบขี้เถ้ามวลเบาผสมซีเมนต์ หรือขี้เถ้ามวลเบาผสมปูนขาว ขี้เถ้ามวลเบาผสมแอกกรีเกท หรือใช้เป็นส่วนผสมในแอสฟัลท์ติกคอนกรีต

3. การใช้เถ้ามวลเบาในงานคอนกรีต ขี้เถ้ามวลเบาสามารถใช้ในงานคอนกรีตได้ 3 รูปแบบคือ ใช้เป็นสารผสมเพิ่ม ใช้เป็นบางส่วนของปูนซีเมนต์ ใช้เป็นวัตถุดิบในการทำซีเมนต์

4. การใช้ขี้เถ้ามวลเบาเป็นส่วนผสมเกราท์ ขี้เถ้ามวลเบาสามารถทำปฏิกิริยากับปูนขาวอิสระซึ่งเป็นผลจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของซีเมนต์เป็นผลให้ซีเมนต์เกราท์มีความคงทนต่อการกัดกร่อนโดยซัลเฟต ลักษณะกลมของอณูจะช่วยหล่อลื่นเกราท์ อณูเล็กทำให้การแยกตัวขณะฉีดลดลง เกราท์ที่ใช้ขี้เถ้ามวลเบาผสมมีหลายรูปแบบ เช่น ขี้เถ้ามวลเบาผสมปูนขาว ขี้เถ้ามวลเบาผสมปูนซีเมนต์ ขี้เถ้ามวลเบาผสมปูนซีเมนต์และดินเหนียว ขี้เถ้ามวลเบาผสมปูนซีเมนต์และทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

ขี้เถ้ามวลเบาเป็นมวลรวมที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ ปั้นไม่ได้ มีการกระจายขนาดเม็ดแบบสม่ำเสมอ ขนาดเฉลี่ยโดยประมาณเท่ากับขนาดทรายแป้ง (Silt) ลักษณะเม็ดกลม ส่วนใหญ่เป็นสารอนินทรีย์ซึ่งเกิดจากการหลอมละลายตัวของเศษหินที่ปะปนอยู่กับเนื้อถ่านหิน จึงเป็นสาเหตุให้ขี้เถ้ามวลเบามีคุณสมบัติเป็นสารปอซโซลานเหมือนกับขี้เถ้าภูเขาไฟ

สารประกอบที่สำคัญในขี้เถ้ามวลเบาคือ ซิลิกา อลูมินา เหล็กออกไซด์ และปูนขาว อัตราส่วนของส่วนประกอบเหล่านี้ แปรปรวนไปตามประเภทของถ่านหิน ชนิดของเตาเผา และขบวนการเผาไหม้ ซึ่งเป็นผลให้คุณสมบัติของขี้เถ้ามวลเบาจากแหล่งต่างๆ มีความแตกต่างกันไป

การใช้ประโยชน์ขี้เถ้ามวลเบาในงานทางวิศวกรรมสามารถทำได้หลายรูปแบบ รูปแบบต่างๆ อาจจะต้องการใช้ขี้เถ้ามวลเบาที่มีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน และขี้เถ้าจากแต่ละแหล่งก็มีความแตกต่างในคุณสมบัติกันมาก ขี้เถ้ามวลเบาจากแหล่งหนึ่งอาจจะเหมาะสำหรับใช้ในงานประเภทหนึ่ง ในขณะที่ขี้เถ้ามวลเบาจากอีกแหล่งหนึ่ง อาจจะเหมาะกับงานประเภทอื่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการทดสอบ

3.1 ATTERBERG'S LIMITS

อ้างอิง : ASTM D 423 - 66
ASTM D 424 - 59
ASTM D 427 - 61

บทนำ

มวลดินอาจเปลี่ยนแปลงสถานภาพ และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ไปได้มากขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น (Water Content) ในตัวมวลดินเอง โดยเฉพาะในมวลดินที่มีส่วนของเม็ดขนาดเล็กอยู่มาก เรียกว่า ดินเหนียว (Cohesive Soil) แรงยึดเกาะระหว่างเม็ดเกิดจากสนามประจุไฟฟ้าโดยรอบ จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อความชื้นเปลี่ยนไป ดังนั้นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินในลักษณะนี้จะไวต่อความชื้นมาก ไม่เหมือนกับมวลดินที่มีเม็ดขนาดใหญ่เป็นส่วนประกอบ ซึ่งเรียกว่า ดินทราย (Granular Soil)

ความชื้นในมวลดินนั้น ณ. จุดขณะเปลี่ยนสภาพ เรียกว่า " ลิมิต " (limit) ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของมวลดินนั้น ๆ นอกจากจะใช้เป็นตัวบ่งคุณสมบัติพื้นฐานแล้ว ยังใช้ในการจัดจำแนกหมวดหมู่ (Soil Classification) และคาดคะเนคุณสมบัติทางวิศวกรรมบางอย่าง เช่น การทรุดตัวของชั้นดิน

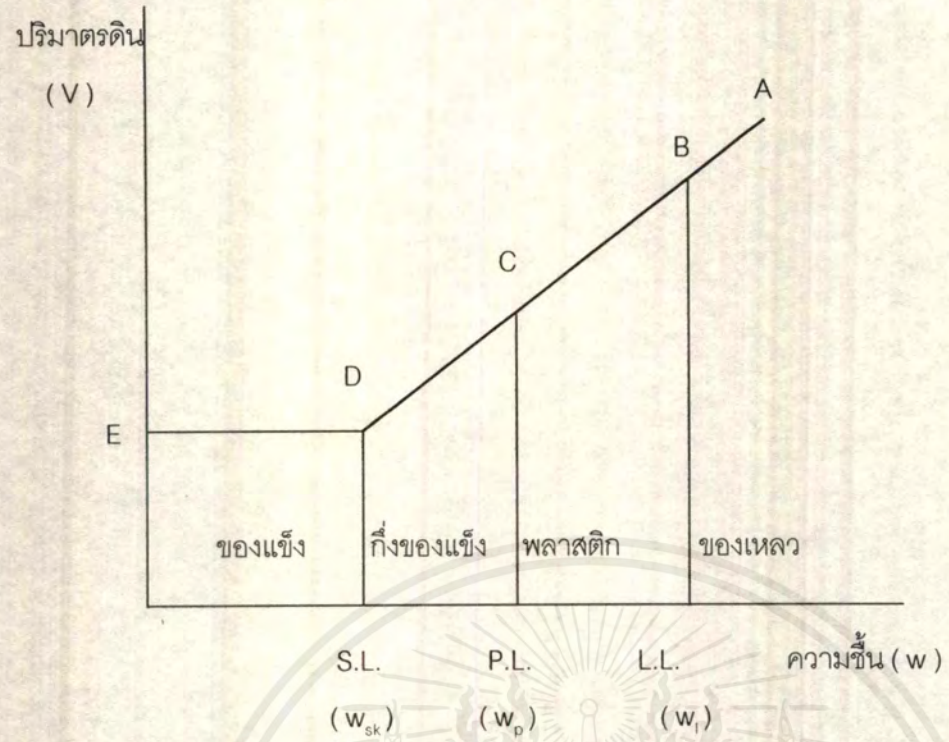
ทฤษฎี

จุดเปลี่ยนสภาพ หรือ ลิมิต ของมวลดิน ถูกเสนอขึ้นใช้เป็นครั้งแรกโดยนักวิทยาศาสตร์ชาว สวีเดน ชื่อ A. Atterberg โดยมีอยู่ด้วยกัน 5 ลิมิต คือ Cohesion limit, Sticky limit, Shrinkage limit, Plastic limit, และ Liquid limit แต่ภายหลังนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านปฐพีกลศาสตร์สามลิมิตสุดท้ายเท่านั้น

ถ้าเรานำดินเหนียวมาผสมน้ำจนมีความชื้นสูง ดินจะมีสภาพคล้ายของเหลว เช่น ที่จุด A ในรูปที่ 3.1.1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของปริมาตรของมวลดินที่อิ่มตัว และความชื้นในดินจากจุด A ถ้าเราทำให้ความชื้นค่อย ๆ ลดลงไป ปริมาตรของมวลดินก็จะลดลงเป็นปฏิภาคกันมวลดินจะเปลี่ยนสถานภาพไป จากของเหลวเป็นพลาสติก, กึ่งของแข็งตามลำดับ

1. Liquid Limit (w_L หรือ L.L.) คือความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนสภาพ จากของเหลวไปเป็นสารหนืดตัวในสถานะภาพ พลาสติก ที่จุด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1.1 สถานภาพต่าง ๆ ของมวลดินเหนียว

2. Plastic Limit (w_p **หรือ** P.L.) คือความชื้นในมวลดินขณะที่เปลี่ยนสถานภาพจาก พลาสติก เป็น กึ่งของแข็ง ที่จุด C

3. Shrinkage Limit (w_{sk} **หรือ** S.L.) คือความชื้น ณ. ที่จุด D ซึ่งดินเปลี่ยนจากสภาพกึ่งของแข็งเป็น ของแข็ง และจะไม่มีการหดตัวต่อไปอีกแล้ว แต่เมื่อความชื้นยิ่งลดลงไป ฟองอากาศจะเริ่มแทรกเข้าไปในมวลดิน และทำให้เกิดสภาวะไม่อิ่มตัวเกิดขึ้น จนกระทั่งไม่มีความชื้นอยู่เลย ณ. ที่จุด E

ค่าความชื้นในสถานภาพ พลาสติกของดิน เรียกว่า Plasticity Index (P.I.) คือผลต่างของ L.L. และ P.L. มักเป็นตัวแสดงถึงความเหนียวของดินและยังแสดงความไวต่อการเปลี่ยนสถานภาพต่อความชื้นของมวลดินนั้น จึงเป็นค่าที่สำคัญในการจำแนกดิน

การหาค่าความชื้นที่ลิมิตต่าง ๆ มีวิธีการเฉพาะซึ่งเป็นที่ยอมรับและใช้กันแพร่หลายคือ Liquid Limit คือความชื้นของมวลดินที่ เมื่อเตรียมลงในถ้วยเคาะ (Liquid limit device) โดยมีรอยบากมาตรฐาน และเคาะได้ 25 ครั้ง รอยบากนั้นจะเคลื่อนมาบรรจบกันยาวประมาณ 1. ซ.ม. พอดี ซึ่ง A. Cassagrande ได้ให้ความเห็นไว้ว่า เท่ากับความชื้น ณ. จุดที่กำลังของดินเท่ากับ 25 กรัม/ตร.ซ.ม. โดยเปรียบเทียบไว้ว่า การเคาะแต่ละครั้งเท่ากับหน่วยแรงเฉือนที่กระทำต่อมวลดินมีค่าประมาณ 1 กรัม/ตร.ซ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Plastic limit คือความชื้นของมวลดิน ซึ่งเมื่อถูกปั้นคลึงเป็นเส้นยาวและมีขนาด 1 หุน (1/8 นิ้ว) แล้วจะมีรอยแตกปริโดยรอบผิวดินเกิดขึ้นพอดี ซึ่งในการปฏิบัติจริงทำได้ยากพอสมควรต้องอาศัยความชำนาญกว่าจะได้ผลการทดลองที่น่าเชื่อถือได้

วิธีการทดลอง

ก. Liquid Limit

1. ร่อนตัวอย่างดินแห้งผ่านตะแกรงเบอร์ 40 สักประมาณ 150 กรัม ใช้ทำ Liquid limit และ Plastic limit

2. นำตัวอย่างร่อนแล้วผสมน้ำกับขี้เถ้ามวลเบาในอัตรา 5, 8, 12, 15, และ 20 %ให้เข้ากัน โดยมีความข้นเหลวขนาดปูนฉาบ ใช้มีดปาดลงบนถ้วยทองเหลือง โดยความหนาของดินตรงกลางประมาณ 1 ซ.ม. แล้วบากด้วยเครื่องมือบาก ให้เป็นรอยบากตรงกลาง

3. เคาะถ้วยทองเหลือง ด้วยความเร็วสม่ำเสมอ 2 ครั้งต่อวินาที จนกระทั่งดินตอนล่างของรอยบากเคลื่อนเข้าบรรจบกัน 1 ซ.ม. แล้วจดบรรทึกจำนวนครั้งของการเคาะไว้

4. ปาดแต่งดินอีกครั้ง ทำรอยบากแล้วเคาะซ้ำ ถ้าจำนวนการเคาะเท่ากันหรือห่างไม่เกิน 2 ครั้ง ให้ใช้ค่าเฉลี่ยเป็นจำนวนการเคาะ (N) ที่ถูกต้อง นำดินบริเวณรอยบากไปหาปริมาณความชื้น (การเคาะครั้งแรกจำนวนครั้งควรจะประมาณ 40 - 50 ครั้ง ถ้ามากกว่า ให้เพิ่มน้ำอีก แต่ถ้าน้อยกว่ามากให้ทำให้แห้งลง)

5. ผสมน้ำเพิ่มในดิน แล้วทำตามข้อ 3 และ 4 โดยให้มีจำนวนครั้งของการเคาะน้อยลงประมาณ 10 ครั้ง แล้วนำดินไปหาความชื้น ทำเช่นนี้จนได้จำนวนครั้งของการเคาะอย่างน้อย 4 ค่า

6. เมื่อได้ข้อมูลจำนวนการเคาะ (N) และความชื้น นำไปเขียนกราฟควรนะได้จุดที่อยู่ในแนวใกล้เคียงเส้นตรง ลากเส้นตรงผ่านจุดเหล่านั้น

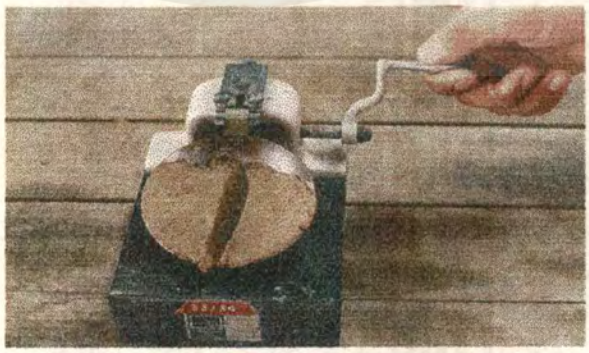
7. จากจำนวนครั้งของการเคาะ 25 ครั้ง ในแกนราบลากเส้นตัดกราฟในข้อ 6 จากจุดตัดลากเส้นขนานแนวราบตัดค่าความชื้น (w) ในแกนดิ่ง ค่าความชื้นนั้นคือ Liquid limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง Liquid Limit

รูปที่ 3.1.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง Liquid Limit

การทดลองหาค่า Liquid Limit



รูปที่ 3.1.3 ขั้นตอนการทดลอง Liquid Limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. Plastic Limit

1. ดินที่เหลือจากการทดลอง Liquid limit นำมาผึ่งให้หมาด ๆ แล้วนำมาปั้นคลึงเป็นแท่งยาว ขนาดประมาณ 1 ซ.ม. เสียก่อน แล้วค่อย ๆ คลึงให้เล็กลงจนกระทั่งผิวเริ่มแตกปริโดยรอบ

2. ถ้าขนาดของแท่งดิน ขณะที่แตกใหญ่กว่า 1 หุน (1/8 นิ้ว) แสดงว่าแห้งไปให้เติมน้ำอีก แล้วปั้นใหม่ ถ้าขนาดเล็กกว่า 1 หุน (1/8 นิ้ว) แล้วยังไม่แตก แสดงว่าดินเปียกไปให้ผึ่งให้แห้งอีก

3. ในกรณีที่รอยแตกเกิดขึ้นเมื่อแท่งดินมีขนาด 1 หุน (1/8 นิ้ว) ให้นำแท่งดินไปอบหาความชื้นซึ่งก็คือ Plastic limit

4. ทำซ้ำอีกครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

การทดลองหาค่า Plastic Limit

รูปที่ 3.1.4 ขั้นตอนการทดลอง Plastic Limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

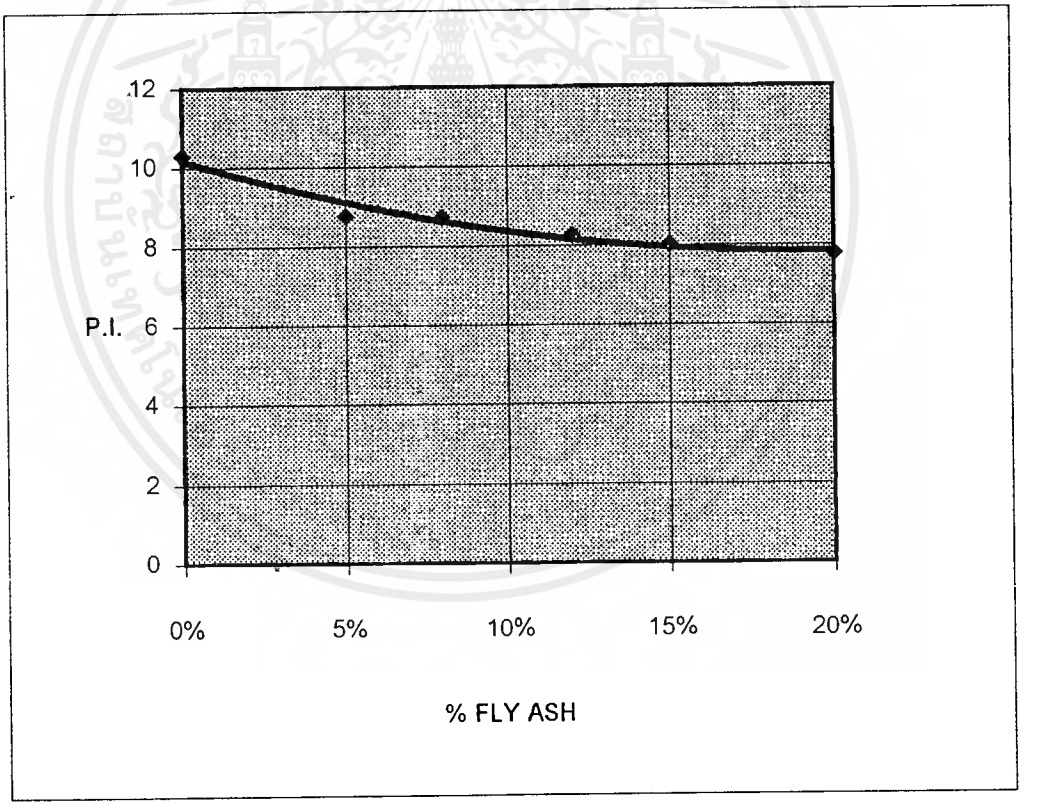
การคำนวณ

1. Liquid limit อ่านได้จากกราฟที่การเคาะ 25 ครั้ง
2. Plastic limit คำนวณจากค่าเฉลี่ยของความชื้นที่หาได้ 2 ครั้ง
3. Plastic Index = Liquid limit - Plastic limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

	% FLY ASH					
	0%	5%	8%	12%	15%	20%
L.L.	33.9	30	29.3	26.5	26	25.5
P.L.	23.6	21.23	20.59	18.25	17.99	17.74
P.I.	10.3	8.77	8.71	8.25	8.01	7.76



รูปที่ 3.1.5 ผลการทดลอง Atterberg 's limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

1. ค่า P.I. แปรผกผันกับปริมาณขี้เถ้ามวลเบา

วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. ค่า P.I. ลดลงเนื่องจาก ขี้เถ้ามวลเบาที่ผสมในดินเป็นวัสดุที่มีค่า P.I. ต่ำ จึงมีผลทำให้มวลรวมระหว่างดินกับขี้เถ้ามวลเบา มีค่า P.I. ลดลง แสดงว่าความเหนียวลดลง ซึ่งทำให้การบดอัดดินทำได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การจำแนกดินทางวิศวกรรม

อ้างอิง ASTM D 2487-69

บทนำ

ดินเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยสิ่งต่างๆหลายอย่าง เช่น กรวด, ทราย, ดินเหนียว, อินทรียสาร เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของ หินต้นกำเนิด, การกัดกร่อนผุพัง, การพัดพา และ การตกตะกอนทับถม เพื่อที่จะจัดหมวดหมู่ของดินที่มีคุณสมบัติเฉพาะคล้ายกันเข้าอยู่ในพวกเดียวกัน ตามวัตถุประสงค์ในการใช้งาน การจำแนกประเภทของดินจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

เนื่องจากมีผู้เกี่ยวข้องกับดินอยู่หลายสาขาด้วยกัน การจำแนกประเภทดินจึงแตกต่างกันออกไป แล้วแต่วัตถุประสงค์ในการใช้งานในแต่ละสาขา เช่นทางด้านเกษตรศาสตร์, ทางธรณีวิทยา และ ทางวิศวกรรม สำหรับทางวิศวกรรมโยธาพิจารณาคุณสมบัติทางฟิสิกส์และกลศาสตร์ของดินเป็นหลัก เช่นขนาดเม็ดดิน,แรงยึดเกาะของมวลดิน เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับประโยชน์ใช้สอยทางวิศวกรรมแต่ละหมวดหมู่ของดินที่จัดไว้จะมีอักษรย่อเฉพาะซึ่งจะเป็นที่เข้าใจได้โดยง่ายในหมู่วิศวกรหรือบุคคลที่เกี่ยวข้อง

ในวงการวิศวกรรมโยธา การจำแนกดินมีหลายระบบขึ้นกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและประโยชน์ใช้สอย เช่น งานด้านถนนใช้ระบบ ASSHTO CLASSIFICATION ซึ่งจัดแบ่งดินตามความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุก่อสร้างถนน, งานสนามบิน ใช้ระบบของ FAA CLASSIFICATION และระบบ UNIFIED SOIL CLASSIFICATION ซึ่งใช้กับงานวิศวกรรมทั่วๆไปและนิยมแพร่หลายกว่าระบบอื่นๆ

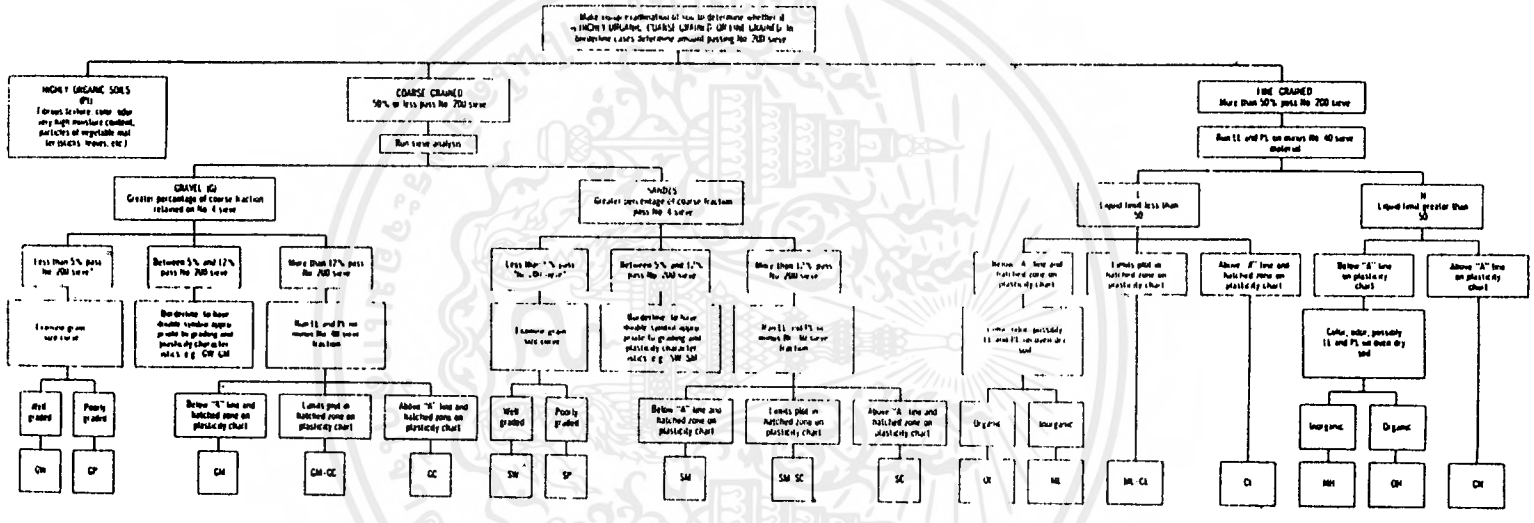
ทฤษฎี

ในบทนี้จะขอกล่าวถึงรายละเอียดการจำแนกดินเพียง 2 ระบบ

1. ระบบ Unified Soil Classification
2. ระบบ AASHTO

ทั้งสองระบบ อาศัยข้อมูลพื้นฐานในการจำแนกคล้าย ๆ กันคือ การกระจายและขนาดเม็ดดิน , ค่า Atterberg 's limits (L.L., P.L., P.I.), สีกลิ่น และ การจับตัวของเม็ดดิน รวมทั้งอินทรียสารที่เจือปน

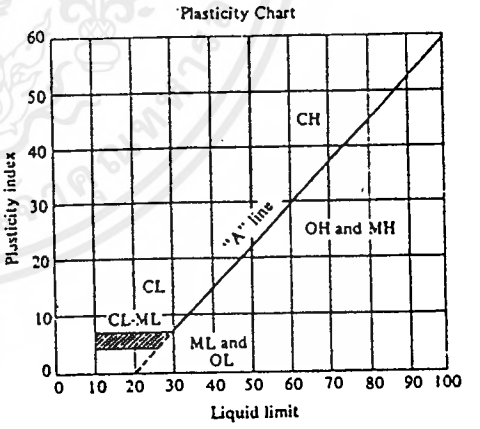
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.1 แผนภูมิการจำแนกประเภทดินโดยระบบ Unified Soil Classification

ตารางที่ 3.2.1 รายละเอียดการจำแนกดินระบบ Unified Soil Classification

Major Divisions			Group Symbols	Typical Names	Laboratory Classification Criteria
Coarse-grained soils (More than half of material is larger than No. 200 sieve size)	Gravels (More than half of coarse fraction is larger than No. 4 sieve size)	Clean gravels (Little or no fines)	GW	Well-graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 4; $C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3
			GP	Poorly graded gravels, gravel-sand mixtures, little or no fines	Not meeting all gradation requirements for GW
		Gravels with fines (Appreciable amount of fines)	GM[a] d / u	Silty gravels, gravel-sand-silt mixtures	Atterberg limits below "A" line or P.I. less than 4 — Above "A" line with P.I. between 4 and 7 are *borderline* cases requiring use of dual symbols
			GC	Clayey gravels, gravel-sand-clay mixtures	Atterberg limits below "A" line with P.I. greater than 7 — Above "A" line with P.I. between 4 and 7 are *borderline* cases requiring use of dual symbols
	Sands (More than half of coarse fraction is smaller than No. 4 sieve size)	Clean sands (Little or no fines)	SW	Well-graded sands, gravelly sands, little or no fines	$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ greater than 6; $C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ between 1 and 3
			SP	Poorly graded sands, gravelly sands, little or no fines	Not meeting all gradation requirements for SW
		Sands with fines (Appreciable amount of fines)	SM[a] d / u	Silty sands, sand-silt mixtures	Atterberg limits above "A" line or P.I. less than 4 — Limits plotting in hatched zone with P.I. between 4 and 7 are *borderline* cases requiring use of dual symbols
			SC	Clayey sands, sand-clay mixtures	Atterberg limits above "A" line with P.I. greater than 7 — Limits plotting in hatched zone with P.I. between 4 and 7 are *borderline* cases requiring use of dual symbols
Fine-grained soils (More than half material is smaller than No. 200 sieve)	Silts and clays (Liquid limit less than 50)		ML	Inorganic silts and very fine sands, rock flour, silty or clayey fine sands, or clayey silts with slight plasticity	Determining percentages of sand and gravel from grain-size curve. Depending on percentage of fines (fraction smaller than No. 200 sieve size), coarse-grained soils are classified as follows: Less than 5 per cent — GW, GP, SW, SP; More than 12 per cent — GM, GC, SM, SC; 5 to 12 per cent — *Borderline* cases requiring dual symbols[b]
			CL	Inorganic clays of low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays	
			OL	Organic silts and organic silty clays of low plasticity	
	Silts and clays (Liquid limit greater than 50)		MH	Inorganic silts, micaceous or diatomaceous fine sandy or silty soils, elastic silts	
			CH	Inorganic clays of high plasticity, fat clays	
			OH	Organic clays of medium to high plasticity, organic silts	
	Highly organic soils		Pt	Peat and other highly organic soils	



[a] Division of GM and SM groups into subdivisions of d and u are for roads and airfields only. Subdivision is based on Atterberg limits; suffix d used when L.L. is 28 or less and the P.I. is 6 or less; the suffix u used when L.L. is greater than 28.

[b] Borderline classifications, used for soils possessing characteristics of two groups, are designated by combinations of group symbols. For example: GW-GC, well-graded gravel-sand mixture with clay binder.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำแนกโดยระบบ UNIFIED SOIL CLASSIFICATION

การจำแนกโดยระบบ UNIFIED SOIL CLASSIFICATION ใช้ตัวอักษรย่อ 2 ตัว ทำให้จดจำได้ง่ายและมีความหมายในตัวเองเช่น G=GRAVEL, S=SAND, M=SILT, C=CLAY, W=WELL GRADED, P=POORLY GRADED, H=HIGH LIQUID LIMIT, L=LOW LIQUID LIMIT, O=ORGANIC ดังแสดงในรูปที่ 3.2.1 และตารางที่ 3.2.1

ขั้นตอนในการจำแนกอาจทำได้ดังนี้

1. แบ่งตามลักษณะขนาดเม็ดดิน เป็น พวกทรายเม็ดหยาบได้แก่ กรวด (Gravel) และ ทราย (Sand) และ พวกเม็ดละเอียด ได้แก่ ดินเหนียว (Clay) และ ดินทราย (Silt)
2. แบ่งย่อยตามลักษณะการกระจายของเม็ดดิน สำหรับพวกเม็ดหยาบเป็นพวกที่เม็ดคละหลายขนาด (Well Graded) และ เม็ดไม่คละ เนื่องจากการมีเม็ดขนาดเดียวกันมากเกินไปหรือขนาดเม็ดขาดช่วง (Poorly Graded)
3. แบ่งย่อยตามค่า Atterberg 's limits สำหรับพวกเม็ดละเอียด เรียกว่า Plasticity เช่น พวกที่มีค่า L.L. และค่า P.I. สูง เรียกว่า High Liquid Limit เป็นต้น

เมื่อถึงขั้นสุดท้ายจะมีอักษรย่อแทน 2 ตัว (ในกรณีก้ำกึ่ง ใช้ 4 ตัว) เช่น CH, GW, SP หรือ GM-GC, ML-CL

การจำแนกโดยระบบ ASSHTO Classification

ใช้อักษรย่อจาก A-1 ถึง A-7 โดยที่เรียงลำดับจากความเหมาะสมในการใช้เป็นวัสดุก่อสร้างทางคือ A-1 ถึง A-3 เหมาะสมมาก ส่วน A-4 ถึง A-7 พอใช้ถึงใช้ไม่ได้ นอกจากนั้นยังมีการแบ่งย่อยลงไปอีกสำหรับกรุ๊ป A-1, A-2 , A-7 เช่น A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-7, A-7-5 เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 3.2.2

ขั้นตอนในการจำแนกอาจทำได้ดังนี้

1. แบ่งตามการกระจายของเม็ดดิน
2. แบ่งตามค่า Atterberg 's limits
3. แบ่งตามค่า Group Index (G.I.)

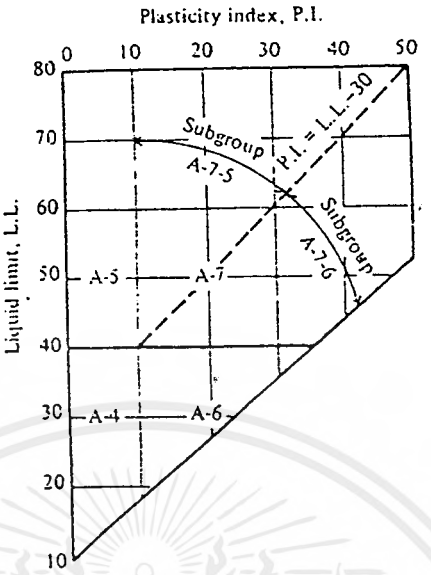
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2.2 รายละเอียดการจำแนกดินระบบ AASHTO Classification

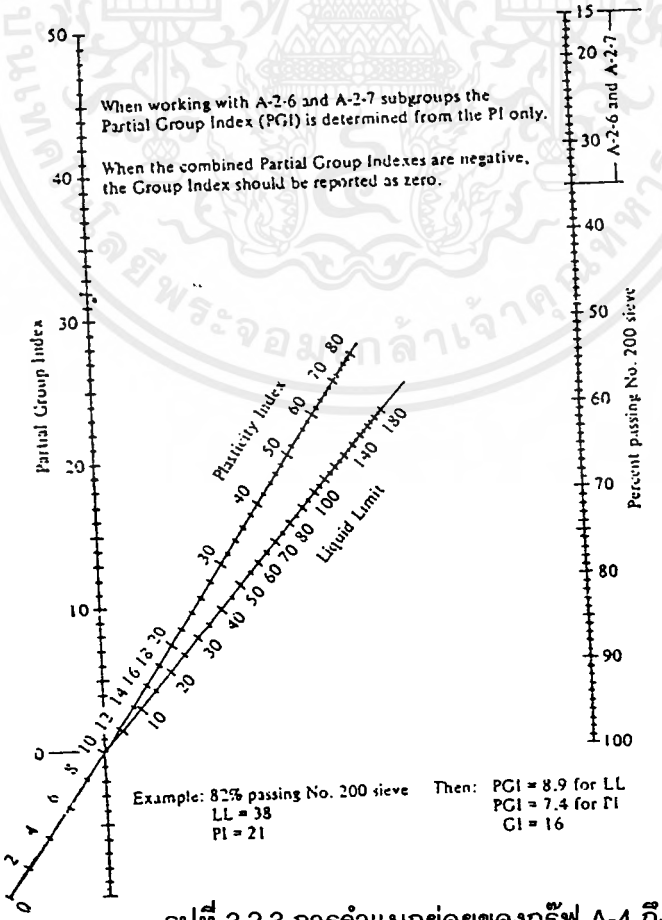
General classification	Granular Materials (35% or Less Passing No. 200)							Silt-Clay Materials (More than 35% Passing No. 200)			
	A-1			A-2							A-7
Group classification	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-4	A-5	A-6	A-7-5, A-7-6
Sieve analysis, percent passing:											
No. 10	50 max	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
No. 40	30 max.	50 max.	51 min.	—	—	—	—	—	—	—	—
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing No. 40:											
Liquid limit	—		—	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.		N.P.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.*
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand				Silty soils		Clayey soils	
General rating as subgrade	Excellent to good							Fair to poor			

*Plasticity index of A-7-5 subgroup is equal to or less than L.L. minus 30. Plasticity index of A-7-6 subgroup is greater than L.L. minus 30.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.2 กราฟสำหรับหาค่า Group Index



รูปที่ 3.2.3 การจำแนกย่อยของกรุ๊ฟ A-4 ถึง A-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อถึงขั้นตอนสุดท้ายจะต้องมีอักษรต่อ 2 หรือ 3 ตัว และมีวงเล็บต่อท้ายด้วยค่า Group Index เช่น A-1-a(0), A-3(0), A-7-b(12)

วิธีการจำแนก

เพื่อให้เป็นการง่ายต่อการเข้าใจในการจำแนกดินตามขั้นตอนต่าง ๆ จึงขอยกตัวอย่างข้อมูลจากการหาขนาดเม็ดดิน และ Atterberg 's limits สัก 3 ตัวอย่างคือ SOIL A, B และ C ในตารางที่ 3.2.3

ตารางที่ 3.2.3 ตัวอย่างข้อมูลเพื่อการจำแนกดิน

ตะแกรงเบอร์	% FINER		
	SOIL A	SOIL B	SOIL C
4	61.0	99.2	48.2
10	35.9	94.0	32.0
40	8.9	91.0	15.1
200	1.5	51.2	5.7
LIQUID LIMIT	33.2	55.0	NON PLASTIC
PLASTIC LIMIT	26.4	20.0	NON PLASTIC
PLASTICITY INDEX	6.8	35.0	-

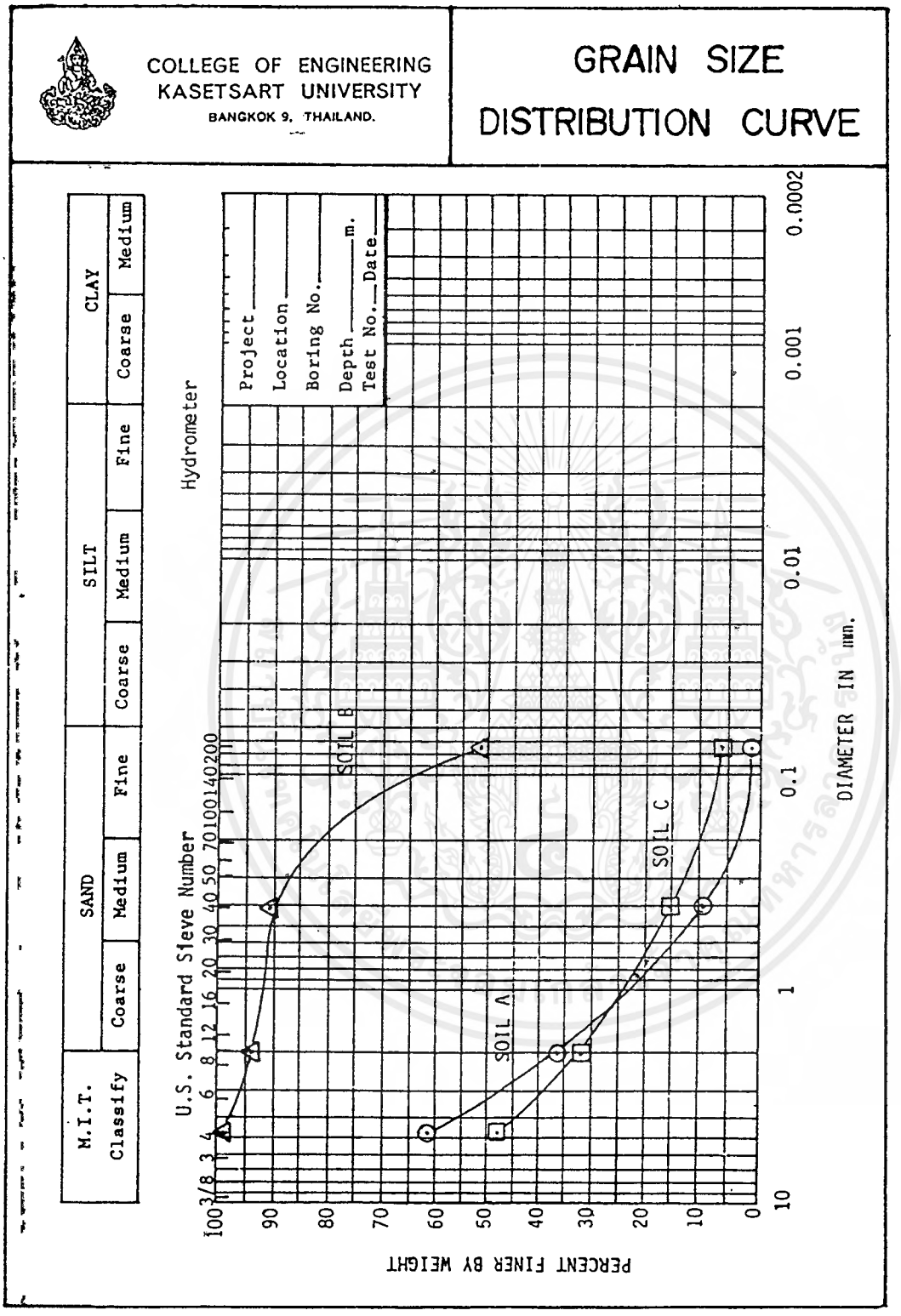
1. **ระบบ** Unified Soil Classification

SOIL A

เมื่อพิจารณาข้อมูลจากตารางที่ 3.2.3 และ รูปที่ 3.2.1 และ ตารางที่ 3.2.1 จะจำแนกดิน SOIL A ตามขั้นตอนดังนี้

1. พิจารณาว่าเป็นดินเม็ดหยาบเพราะขนาดที่เล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 มีเพียง 1.5 % เท่า นั้น
2. เป็นดินทราย (Sand) เพราะขนาดที่เล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 มีถึง 61.0 %
3. เป็นดินทรายที่มีส่วนของขนาดเม็ดเล็ก (Fine) น้อย(น้อยกว่า 5 %ผ่านตะแกรงเบอร์ 200) จึงเป็นพวก SW หรือ SP
4. พิจารณาการกระจายของเม็ดดินจากรูปที่ 3.2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2.4 กราฟการกระจายเม็ดดินจากตัวอย่าง SOIL A,SOIL B,SOIL C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_u = \frac{D60}{D10} = \frac{3.50}{0.44} = 7.95 > 6$$

$$C_c = \frac{D30\text{^}2}{D60 * D10} = \frac{1.7\text{^}2}{3.5 * 0.44} = 1.88 \text{ อยู่ระหว่าง } 1\text{-}3$$

ดังนั้น ดินตัวอย่าง SOIL A เป็น SW (Well Graded Sand, with little fine)

สำหรับ SOIL B และ C ได้รวมการจำแนกและเหตุผลในตารางที่ 3.2.4

ตารางที่ 3.2.4 ขั้นตอนการจำแนกตัวอย่างดิน SOIL B และ C

โดยระบบ Unified Soil Classification

ขั้นตอนและเหตุผล	SOIL B	SOIL C
1. ดินเม็ดหยาบหรือละเอียด	ละเอียด	หยาบ
เหตุผล	%F(200) = 51.2 > 50	%F(200) = 5.7 < 50
2. ดินเม็ดหยาบเป็นกรวดหรือ ทราย	-	กรวด (G)
เหตุผล		%F(4) = 48.2 < 50
3. มีเม็ดละเอียดมากหรือน้อย	-	ปานกลาง
เหตุผล		%F(200)อยู่ระหว่าง 5-12
4. การกระจายของเม็ดดีหรือไม่	-	คละกระจายดี (W)
เหตุผล		C_u=40>4,C_c=2.1ระหว่าง1-3
5. ส่วนเม็ดละเอียดเป็นจำพวกใด	-	Silt (M)
เหตุผล		ไม่มีความเหนียว (NP)
6. สัญลักษณ์ของดินเม็ดหยาบ	-	GW-GM
7. LIQUID LIMIT สูงหรือต่ำ	สูง	-
เหตุผล	L.L. = 55 > 50	
8. อยู่ในพื้นที่ใดของPlasticity Chart	เหนือ A LINE	-
เหตุผล	L.L. = 55, P.I. = 35	
9. สัญลักษณ์ของดินเม็ดละเอียด	CH	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. **ระบบ** ASSHTO Classification

SOIL A

โดยการนำข้อมูลจากตารางที่ 3.2.3 นำไปพิจารณาเปรียบเทียบกับตารางที่ 3.2.2 ซึ่งมีมาตรฐานการจำแนกดินในระบบนี้ ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. เป็นจำพวก Granular Material เพราะ ส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มีเพียง 1.5 % < 35 %
2. จากการกระจายของเม็ดดินทำให้ทราบว่า ตัวอย่างดินอาจอยู่ในจำพวก A-1 หรือ A-2 เนื่องจากข้อมูลส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 10, 40 และ 200 สอดคล้องกัน
3. พิจารณาข้อมูลจาก Atterberg 's Limit ; L.L. = 33.2, P.I. = 6.8 ตรงกับคุณสมบัติของจำพวก A-2-4 คือ L.L. ไม่เกิน 40 และ P.I. ไม่เกิน 10
4. หาค่า Group Index จากรูปที่ 3.2.2 หรือ สมการข้างล่าง

G.I. = 0.2 a + 0.005 a*c + 0.01 b*d .....(3.2.1)

เมื่อ a = % ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนที่เกิน 35 % แต่ต่ำกว่า 75 % ใช้เลขจำนวนเต็ม
b = % ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนที่เกิน 15 % แต่ต่ำกว่า 55 % ใช้เลขจำนวนเต็ม
c = ค่า L.L. ส่วนที่เกิน 40 % แต่ต่ำกว่า 60 % ใช้เลขจำนวนเต็ม
d = ค่า P.I. ส่วนที่เกิน 10 % แต่ต่ำกว่า 30 % ใช้เลขจำนวนเต็ม

หมายเหตุ ในกรณีที่ค่า a,b,c หรือ d มีค่าเกิน 40,40,20 และ 20 ตามลำดับ ให้ใช้ค่าสูงสุด คือ 40,40,20 และ 20

ในกรณี SOIL A

a = 0 , b = 0 , c = 0 , d = 0

ดังนั้นค่า G.I. (SOIL A) = 0

แต่ในกรณี SOIL B

a = 51.2 - 35 = 16.2 ใช้ 16

b = 51.2 - 15 = 36.2 ใช้ 36

c = 55.0 - 40 = 15.0 ใช้ 15

d = 35.0 - 10 = 25.0 ใช้ 20 เพราะ เกินกว่าค่าสูงสุด

ดังนั้นค่า G.I. (SOIL B) = 0.2(16)+0.005(16)(15)+0.01(36)(20)

= 11.6 ใช้ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สัญลักษณ์จากการจำแนก SOIL A คือ A-2-4(0) โดยตัวเลขในวงเล็บคือค่า Group Index สำหรับ SOIL B & C ได้รวมการจำแนกและเหตุผลในตารางที่ 3.2.5

ตารางที่ 3.2.5 ขั้นตอนการจำแนกตัวอย่างดิน SOIL B & C โดยระบบ AASHTO Classification

ขั้นตอนและเหตุผล	SOIL B	SOIL C
1. Granular หรือ Silt-Clay	Silt-Clay	Granular
เหตุผล	%F(200) = 51.2 > 35	%F(200) = 5.7 < 35
2. การกระจายของเม็ดดิน	A-4,A-5,A-6,A-7	A-1,A-2
เหตุผล	%F(200) = 51.2 > 36	%F(10,40,200) สอดคล้องควรเป็น A-1-a
3. Atterberg 's Limits	A-7-6	
เหตุผล	L.L.=55>41,P.I.=35>11 และ P.I.=35 > L.L.-30	%F และ L.L.=0,P.I.=0 สอดคล้องมากที่สุด
4. Group Index	12	0
เหตุผล	จากรูปที่ 3.2.2 หรือ สมการ 3.2.1	จากรูปที่ 3.2.2 หรือ สมการ 3.2.1
5. สัญลักษณ์ของดิน	A-7-6(12)	A-1-a(0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การบดอัดดิน
(COMPACTION)

อ้างอิง : ASTM D 1557 - 70

บทนำ

ในสมัยก่อนเมื่อการก่อสร้างยังไม่ได้พัฒนามาก การประดิษฐ์เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการบดอัดดินยังมีไม่มาก งานก่อสร้างที่เกี่ยวกับงานดิน เช่น ถนน ทางรถไฟ หลังจากขุดถมแล้วก็ต้องปล่อยทิ้งไว้ 3 ถึง 5 ปี เพื่อรอให้มีการทรุดตัวแน่นก่อนที่จะมีการวางไม้หมอนรองรถไฟ หรือลงผิวจราจร

การบดอัดดินเป็นกระบวนการที่ใช้แรงหรือน้ำหนักจากเครื่องมือกล กระทำให้เม็ดดินเบียดตัวชิดกัน เพิ่มความแน่นและความสามารถในการรับน้ำหนัก ลดการทรุดตัว ลดการซึมผ่านของน้ำ (permeability) ของดิน เครื่องมือกลที่ใช้ในการบดอัด เช่น รถบดล้อเหล็ก รถบดล้อยาง รถบดตีนแกะ (Sheep Foot Rollers) รถบดสั่นสะเทือน (Vibrating Roller) เป็นต้น การจะเลือกใช้เครื่องมือชนิดใดขึ้นอยู่กับประเภทของดินหรือวัสดุที่จะบดอัด

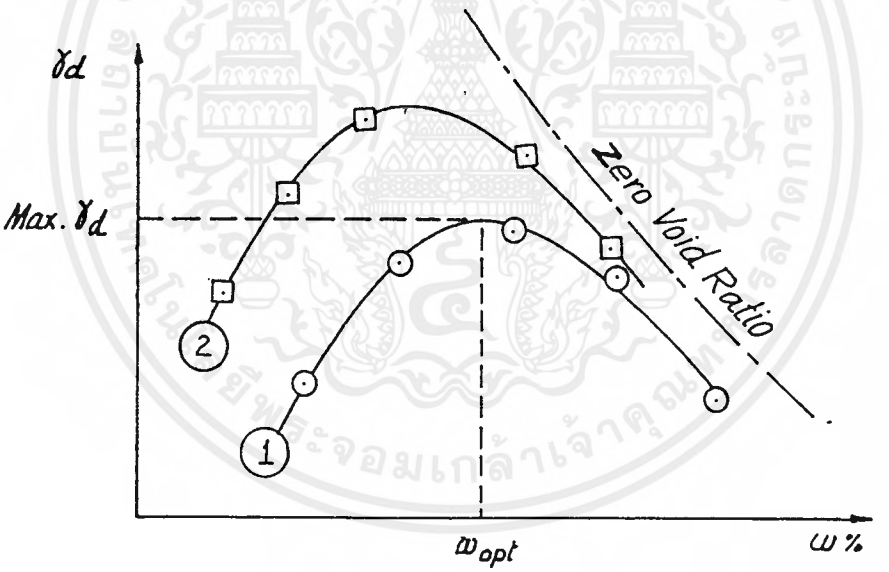
ทฤษฎี

วิธีการบดอัดดินให้ได้ความแน่น (Density) สูงตามความต้องการหรือตามจุดประสงค์ของการใช้งาน จะต้องอาศัยน้ำเป็นตัวหล่อลื่น แต่ถ้าน้ำมีอยู่มากเกินไปน้ำจะไปหุ้มเคลือบรอบๆมวลดิน ทำให้อนุภาคของเม็ดดินแยกตัวห่างจากกันหรือถ้ามีน้ำอยู่น้อยเกินไป การหล่อลื่นไม่ดีพอที่จะช่วยให้การบดอัดเม็ดดินเบียดชิดกันเท่าที่ควร ด้วยเหตุผลและข้อเท็จจริงดังกล่าว RR. Proctor (1993) ได้กำหนดวิธีทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ความชื้นกับความแน่น (Density) ของดินที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการ ซึ่งต่อมาได้เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ทดสอบการบดอัดดินในงานก่อสร้างโดยทั่วไปว่าเป็นวิธีทดสอบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) โดยเฉพาะการทดสอบเพื่อควบคุมงานก่อสร้างถนน สนามบิน เขื่อนดิน พื้นโรงงาน ฯลฯ ในปัจจุบัน ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งได้วิวัฒนาการมีขนาดใหญ่ขึ้น บรรทุกน้ำหนักได้มากขึ้นหลายเท่าตัว พลังงานที่ใช้ในการบดอัดก็จำเป็นต้องเพิ่มขึ้นด้วย จึงได้มีการกำหนดวิธีทดสอบการบดอัดดินโดยการเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้น เพื่อจะได้ฐานดินที่มีความแน่นสูงรับน้ำหนักได้มาก เรียกว่า วิธีทดสอบแบบโมดิฟายด์ (Modified Proctor Test)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่3.3.1 แสดงการเปรียบเทียบอุปกรณ์และพลังงานที่ใช้ทดสอบ Standard Proctor และ Modified Proctor

Test	Mold size	Wt .of hammer(lb.)	No. of layer	Height of drop (in.)	No. of blow per layer	energy/vol. ft - lb/ft^3
Standard	Ø4.0″xØ4.6″	5.5	3	12	25	12,400
Proctor	Ø6.0″xØ5.0″	5.5	3	12	56	12,400
Modified	Ø6.0″xØ5.0″	10	5	18	56	56,000
Proctor	Ø4.0″xØ4.6″	10	5	18	25	56,00



รูปที่ 3.3.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density (γ_d) และเปอร์เซนต์ความชื้น ของ Standard Proctor และ Modified Proctor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำการบดอัดในห้องทดลอง ซึ่งปกติจะใช้เป็นมาตรฐาน ในการควบคุมการบดอัดในสนามต่อไป จะทำได้โดยการนำเอาวัสดุที่จะใช้ในบดอัดในสนาม เข้ามาผึ่งให้แห้งแล้วค่อยๆ เพิ่มน้ำเข้าไปในปริมาตรที่พอเหมาะ แล้วเริ่มทำการบดอัดใน Mold (แบบที่ใช้บดอัด) โดยวิธีการที่จะพูดถึงรายละเอียดทีหลัง เมื่อชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาความหนาแน่น ในครั้งต่อไปจะเพิ่มปริมาตรน้ำขึ้นเรื่อย อย่างน้อย 4 ถึง 6 ครั้ง เมื่อทราบความชื้นของการบดอัดแต่ละครั้ง ก็จะหาความสัมพันธ์ของ ความหนาแน่นของดินแห้งกับความชื้น จะปรากฏเป็นเส้นกราฟโค้งขึ้นมีจุดยอด ซึ่งเรียกว่า "ความหนาแน่นสูงสุด" (Maximum Dry Density) และความชื้นที่จุดนั้นเรียกว่า "ความชื้นที่ความหนาแน่นสูงสุด" (Optimum Water Content) ดังแสดงในรูปที่ 3.3.1

ถ้าเอาพลังงานในการบดอัดสูงสุดขึ้นในดินชนิดเดียวกัน เส้นกราฟการบดอัด จะขยับสูงขึ้น ดังเช่นในรูปที่ จะสามารถสังเกตลักษณะพิเศษสองประการ คือค่า γ_d ของ Modified Proctor จะสูงกว่า γ_d ของ Standard Proctor และค่าเปอร์เซนต์ความชื้นที่จุด γ_d สูงสุด ซึ่งเรียกว่าความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content) ก็จะลดลงด้วยขณะที่ γ_d เพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะพิเศษนี้เป็นคุณสมบัติของดินโดยทั่วไปเมื่อได้รับการบดอัด

การทดลองบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. mold $\phi 6''$ x $5.0''$ with collar $2.5''$ high (Modified Proctor)
2. hammer $\phi 2''$ Weight 10.0 lb (Modified Proctor)
3. ตะแกรงร่อน เบอร์ 4,3/4″ (Modified Proctor)
4. ฆ้อนยาง , แปรงอ่อนใช้ปัดดิน
5. ช้อนตักดิน
6. บรรทัดเหล็กปาดดิน
7. ถาดผสมดิน
8. ตาชั่ง ชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม
9. ตาชั่ง ชั่งได้ละเอียด 0.01 กรัม
10. เตาอบดินอุณหภูมิสูงถึง 100 ^{o}c
11. กระป๋องใส่ตัวอย่างดิน
12. กระบอกตวงน้ำ มีขีดแบ่งปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมตัวอย่างดิน

เพื่อให้ขนาดของเม็ดดินและขนาดของ mold ที่ใช้ทดลองมีส่วนสัมพันธ์กันอย่างเหมาะสม ดินตัวอย่างที่จะใช้จำเป็นต้องร่อนผ่านตะแกรงตามขนาดดังนี้

Modified Proctor test ดินตัวอย่างจะต้องตากแห้งในห้องปฏิบัติการหรืออบที่อุณหภูมิไม่เกิน 140 ^{o}F แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4″ ดินที่มีขนาดโตกว่าเบอร์ 3/4″ จะต้องทิ้งไปและดินที่ทิ้งไปนี้จะต้องชดเชยด้วยดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4″ แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ด้วยจำนวนน้ำหนักเท่ากัน วิธีที่สะดวกในการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อทำ Modified Proctor test ก็โดยการแบ่งตัวอย่างดินออกเป็นกองๆ โดยวิธี Quartering แต่ละกองให้มีน้ำหนักประมาณ 6 กก. ร่อนดินกองแรกผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4″ และร่อนอีกกองหนึ่งใช้ตะแกรงเบอร์ 3/4″ และเบอร์ 4 ชั่งดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ให้มีน้ำหนักเท่ากับดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 3/4″ ที่จดไว้นำไปผสมกับดินกองแรกเพื่อทดลองต่อไป

วิธีทำการทดลอง Modified Proctor ใช้ mold ϕ6″ x 5.0″

1. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของ mold พร้อมทั้งคำนวณหาปริมาตรของดินใน mold
2. ชั่งน้ำหนักของตัว mold ให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
3. ชั่งน้ำหนักของดินที่เตรียมไว้มาอย่างน้อย 7 กก. ผสมน้ำลงไป 3-4 เปอร์เซนต์ คลุกเคล้ากันให้ทั่วจนได้ความชื้นในดินสม่ำเสมอกันตลอด
4. ตักดินใส่ใน mold ที่ประกอบด้วย collar,base plate และ spacer disc เรียบร้อยแล้วกะแบ่งปริมาณดินที่ใส่ให้ได้จำนวน 5 ชั้น เท่าๆกัน เมื่อ compact แล้วชั้นสุดท้ายให้เหลือพ้นปาก mold เล็กน้อยประมาณ 0.1 ซ.ม.
5. ใช้ hammer ขนาด 10 lb. compact ดินใน mold ในแต่ละชั้นให้ได้ชั้นละ 56 ครั้ง และ ต้องพยายาม compact ให้ได้ความหนาแน่นของดินในแต่ละชั้นสม่ำเสมอเท่ากันโดยตลอด ขณะ compact ตัว mold จะต้องวางบนพื้นคอนกรีตที่เรียบและแข็ง
6. เมื่อ compact ครบจำนวนครั้งแล้วถอด collar ของ mold ออกใช้บรรทัดเหล็กปาดดินส่วนที่อยู่เหนือปาก mold ออกและอุดแต่งผิวดินให้เรียบเสมอปาก mold ใช้แปรงปัดทำความสะอาดดินที่ค้างอยู่นอก mold ถอด base plate ออกนำ mold ชั่งน้ำหนักให้ได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
7. ดันตัวอย่างดินออกจาก mold แล้วผ่ากลางตามแนวตั้งเก็บดินตัวอย่างอย่างน้อย 500 กรัม ไปชั่งหาน้ำหนักแล้วเข้าเตาอบเพื่อคำนวณหาปริมาณความชื้นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. เอาตัวอย่างดินที่เหลืออยู่มาทุบย่อยให้ร่วนและผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4″ แล้วผสมน้ำเพิ่มอีก 3 % ลงไปคลุกเคล้าให้ทั่วแล้วทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4 ถึงข้อ 7 จนกระทั่งน้ำหนักดินใน mold ที่ชั่งครั้งสุดท้ายลดลง และอย่างน้อยควรจะเปลี่ยนหรือเพิ่มปริมาณน้ำถึง 5 ครั้ง

การคำนวณ

1. Wet density ของดิน = $\frac{\text{Wet Weight}}{\text{volumn of mold}}$ lb/cu.ft.

2. Dry density γd = $\frac{W}{V(1+w)}$ lb/cu.ft.

W = น้ำหนักของดิน (Wet weight) ใน mold

V = ปริมาตรของ mold

w = เปอร์เซนต์ความชื้นของดิน (water content)

รูปที่ 3.3.2 ก MOLD

รูปที่ 3.3.2 ข ELECTRONIC BALANCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3.2 ค BALANCE

รูปที่ 3.3.2 ง HAMMER

รูปที่ 3.3.2 จ ตะแกรงร่อน

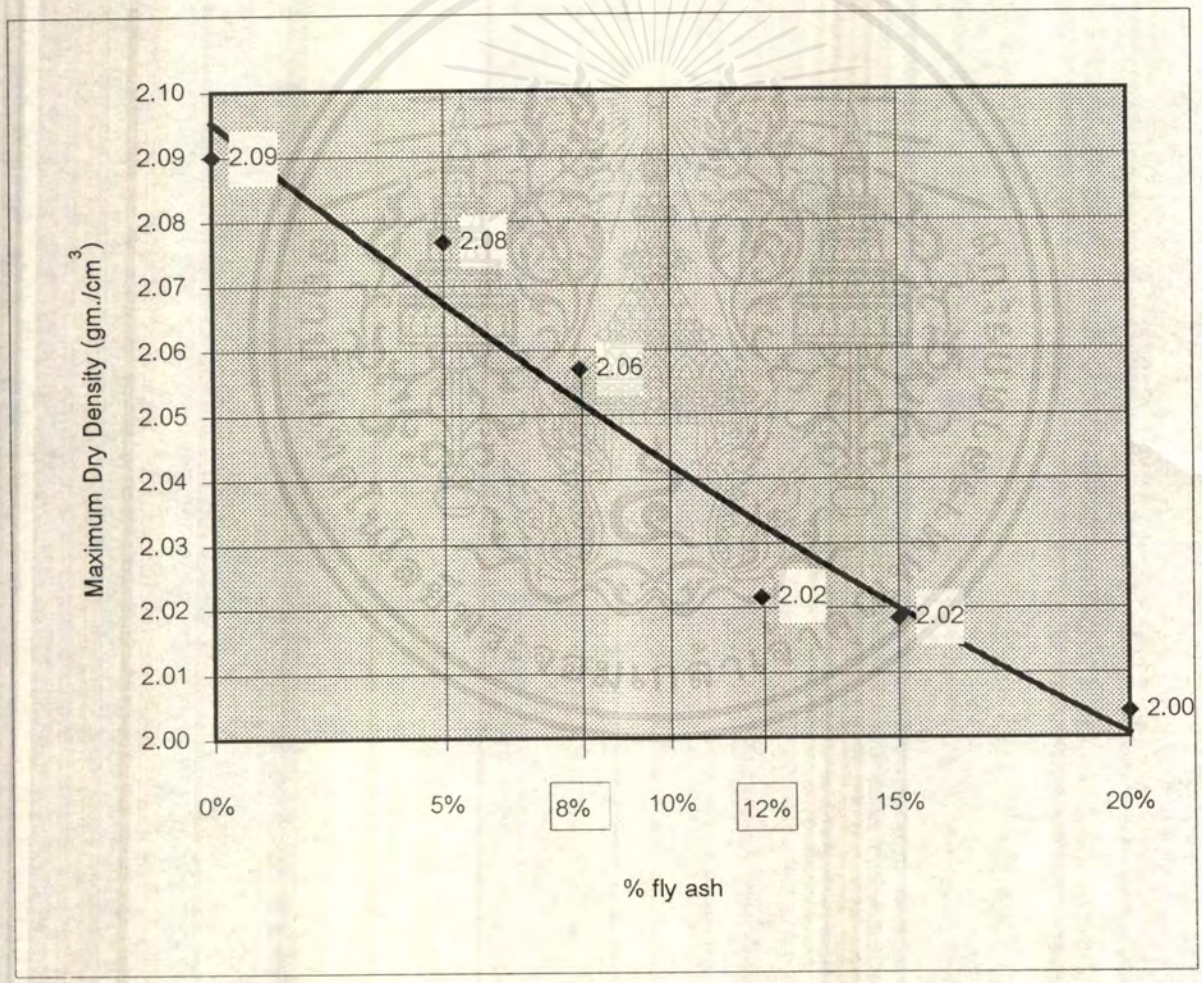
รูปที่ 3.3.2 ฉ มีดปาด

รูปที่ 3.3.2 แสดงอุปกรณ์การทดลอง Compaction Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maximum Dry Density(gm./cm^3)

%fly ash	0%	5%	8%	12%	15%	20%
sample no.1		2.08	2.06	2.02	2.02	2.01
sample no.2		2.09	2.05	2.02	2.01	2.01
sample no.3		2.06	2.06	2.03	2.03	2.00
average	2.09	2.08	2.06	2.02	2.02	2.00

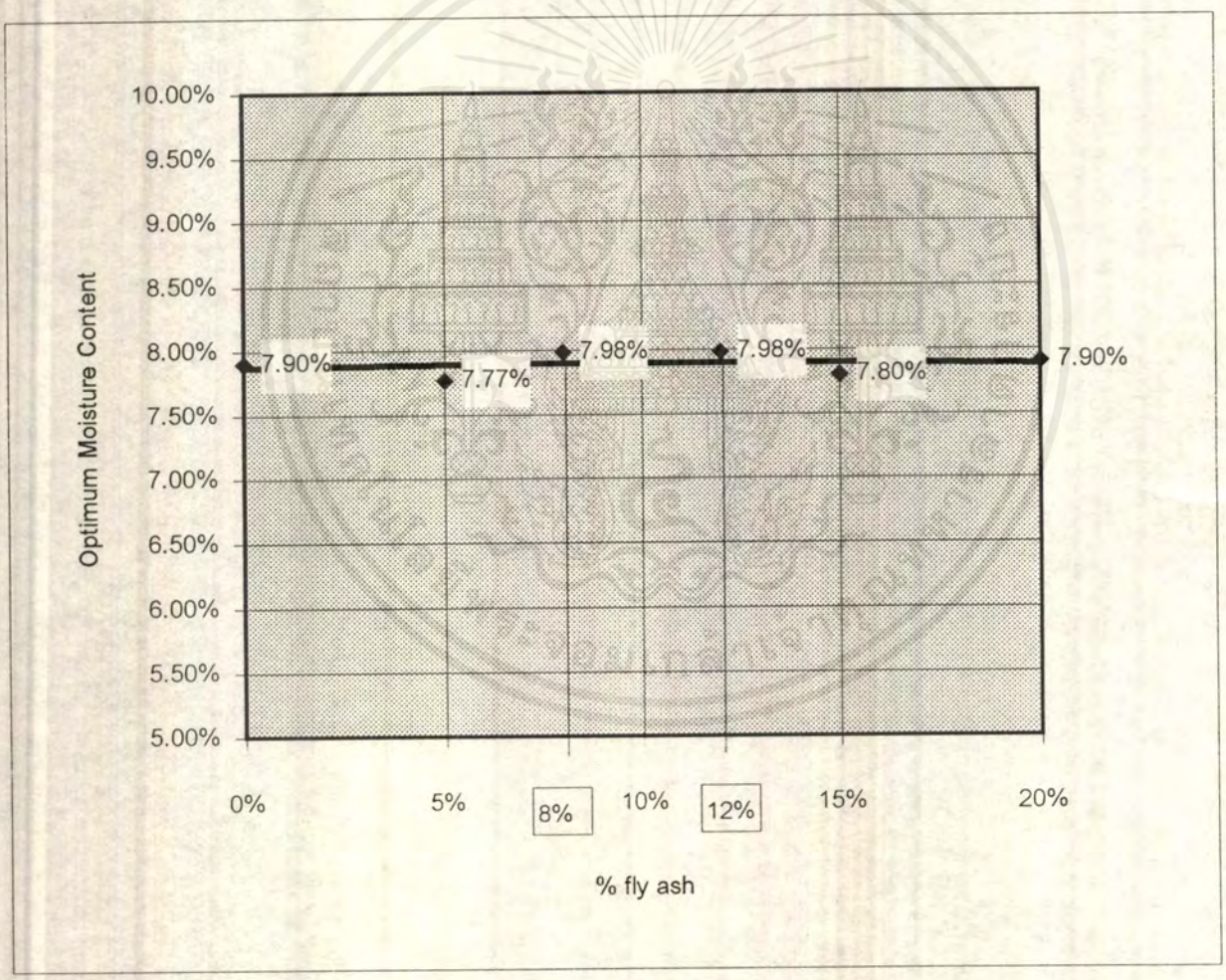


รูปที่ 3.3.3 ผลการทดลองค่า Maximum Dry Density

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optimum Moisture Content

%fly ash	0%	5%	8%	12%	15%	20%
sample no.1		7.80%	8.00%	8.00%	7.80%	7.90%
sample no.2		7.80%	7.95%	8.00%	7.60%	8.00%
sample no.3		7.70%	8.00%	7.95%	8.00%	7.80%
average	7.90%	7.77%	7.98%	7.98%	7.80%	7.90%



รูปที่ 3.3.4 ผลการทดลองค่า Optimum Moisture Content

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

1. ปริมาณขี้เถ้ามวลเบาไม่มีผลต่อค่า Optimum Moisture Content โดยค่า Optimum Moisture Content มีค่าคงที่
2. ค่า Maximum Dry Density แปรผกผันกับปริมาณขี้เถ้ามวลเบา

วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. การที่ความสัมพันธ์ระหว่าง Optimum Moisture Content กับปริมาณขี้เถ้ามวลเบาไม่แน่นอนอาจเกิดจากความคลาด -เคลื่อนในการวัดปริมาณน้ำเนื่องจากมีปริมาณบางส่วนหายไปเนื่องจากการทำปฏิกิริยากับขี้เถ้ามวลเบา
2. การที่ค่า Maximum Dry Density มีค่าลดลงเมื่อปริมาณขี้เถ้ามวลเบามากขึ้นเพราะการเพิ่มปริมาณขี้เถ้ามวลเบาเป็นการทำให้ส่วนละเอียดมากขึ้นเป็นผลให้ความหนาแน่นจากการบดอัดลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 แคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช
(CALIFORNIA BEARING RATIO : C.B.R.)
อ้างอิง ASTM D 1883 - 67

บทนำ

ในปี ค.ศ. 1929 California Division of Highway ได้กำหนดวิธีทดสอบจำแนกคุณสมบัติของดินเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการก่อสร้างถนนและในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 จำเป็นต้องพัฒนาการการสร้างสนามบิน เพื่อรับกับเครื่องบินรบ ซึ่งน้ำหนักบรรทุกอาวุธยุทธภัณฑ์หนักเพิ่มมากขึ้นมาก หน่วยทหารช่างของสหรัฐอเมริกาได้นำวิธีการทดสอบคุณสมบัติแบบ C.B.R. มาใช้ในการออกแบบและก่อสร้างทางวิ่งของสนามบิน และวิธีการดังกล่าวก็เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันโดยทั่วไป

ทฤษฎี

C.B.R test เป็นวิธีการทดสอบวัดแรงเฉือน (Shearing resistance) ของดินที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว (ส่วนมากจะทดสอบที่ Optimum Moisture Content) โดยการใช้ท่อนเหล็กกลมตัน (Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนดินตัวอย่างที่เตรียมไว้ด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที แล้วนำไปหาอัตราส่วนเปรียบเทียบกับค่า Unit Load มาตรฐานที่ได้จากการทดลองกด Piston ขนาดเดียวกันนี้บนหินที่ Compact แน่นที่ความลึกของ Penetration เท่ากัน ค่าที่ได้นี้เรียกว่า " เปอร์เซนต์ C.B.R " เทียบอัตราส่วนเป็นเปอร์เซนต์ของ Standard Unit Load เขียนเป็นสมการของอัตราส่วนได้ดังนี้

$$CBR = \frac{\text{test unit load}}{\text{standard unit load}} \times 100\ \%$$

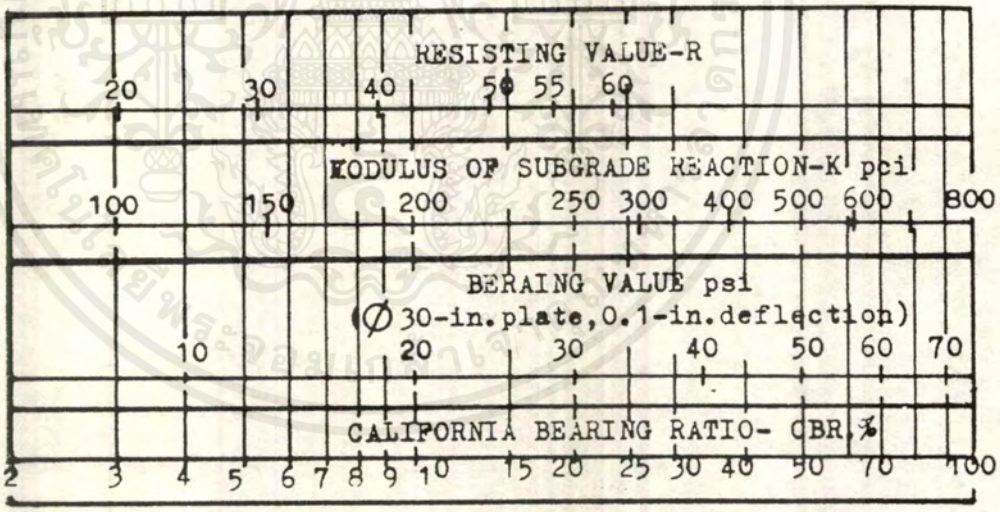
ค่า Standard Unit Load ซึ่งได้จากการทดลองกดท่อนเหล็กกลมตัน (Piston) มีพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว บนหินคลุกมาตรฐานบดอัดแน่นขนาดต่างๆ กันหลายขนาดมีค่ามาตรฐานดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Penetration (in)	Unit Load (Psi)
0.1	1000
0.2	1500
0.3	1900
0.4	2300
0.5	2600

ค่าเปอร์เซนต์ C.B.R โดยทั่วไปแล้วจะใช้ค่าอัตราส่วนของแรงที่ความลึก 0.1 นิ้ว แต่ถ้าผลปรากฏออกมาว่าเปอร์เซนต์ C.B.R. ของแรงกดที่ความลึก 0.2 นิ้ว สูงกว่าที่ความลึก 0.1 นิ้ว การทดลองควรจะต้องกระทำซ้ำอีกครั้ง ซึ่งถ้าค่าเปอร์เซนต์ C.B.R. ที่ได้มายังคงเป็นไปในรูปเดิมก็ให้ใช้ค่า เปอร์เซนต์ C.B.R. ที่การยุบตัว 0.2 นิ้ว

ค่า C.B.R. นำมาใช้ประโยชน์ในการออกแบบความหนาของถนนลาดยาง (Flexible Pavement) โดยการกำหนดความหนาจาก Design Charts หรืออาจใช้ช่วยในการกำหนดค่า Subgrade Modulus (K) ของดินจากตารางเปรียบเทียบเพื่อช่วยในการออกแบบถนนคอนกรีตได้อีกด้วย



รูปที่ 3.4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C.B.R., K, R และ Bearing Value

จากค่า C.B.R. ของดินแต่ละชนิดยังสามารถกำหนดคุณสมบัติของดินอย่างคร่าวๆ ว่าเหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างถนน ในชั้นดินถม ชั้นรองพื้นทาง (subbese) หรือ ชั้นพื้นทาง (base) ดังตารางข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4.1 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซนต์ C.B.R. และการใช้งาน

% C.B.R.	คุณสมบัติเหมาะสมทางวิศวกรรม	การใช้งาน
0 - 3	very poor	subgrade
3 - 7	poor to fair	subgrade
7 - 20	fair	subbase
20 - 50	good	subbase, base
50 - 80	very good	base
> 80	excellent	base

การทดลอง C.B.R. ทำได้ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนามจากตัวอย่างดินที่บดอัดแน่นตามวิธีการของ Standard หรือ Modified Proctor ดินตัวอย่างที่เตรียมสำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการจะต้องเตรียมขึ้น 2 ชุด ชุดหนึ่งใช้กดทดลองหาค่า Penetration ทันทีหลังจากเตรียมตัวอย่างเสร็จ อีกชุดหนึ่งจะต้องแช่น้ำไว้ 96 ชั่งโมง เพื่อให้ดินอมน้ำจนอิ่มตัว และเพื่อจุดประสงค์จะวัดหาอัตราการบวมตัวของดินด้วย ในระหว่างที่ทำการแช่น้ำอยู่จะต้องมีน้ำหนักวางกดทับบนดินตัวอย่าง(Surcharge) ไม่น้อยกว่า 10 ปอนด์ หรือเท่ากับน้ำหนักของพื้นทางและผิวจราจร เหตุผลที่ทำเช่นนี้ก็เพื่อจะหาค่า C.B.R. ที่ควรจะเกิดขึ้นจริงๆ ในสนามกล่าวคือในหน้าฝนระดับน้ำใต้ดินจะสูงจนทำให้ดินที่รองรับถนนอยู่อิ่มตัวและอัตราการบวมตัวของดินที่จะมาใช้ในการก่อสร้างจะเป็นค่าหนึ่ง ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงคุณสมบัติ และความเหมาะสมในการใช้งานของวัสดุนั้นๆ

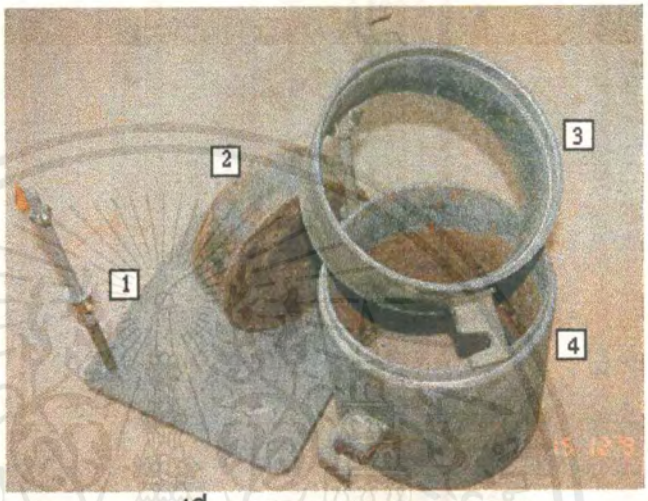
การทดลอง CBR ในห้องปฏิบัติการ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. แบบ (Mold) สำหรับเตรียมตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 7 นิ้ว พร้อม collar สูง 2.5 นิ้ว และ base plate สำหรับยึด Mold และ Collar
2. Spacer Disc สูง 2.5 นิ้ว
3. Hammer หนัก 10 lb.
4. Swelling Plate พร้อมขายึดมีเกลียวปรับความสูงต่ำได้
5. สามขา (Tripod สำหรับยึด Dial indicator เพื่อวัดอัตราการบวมของดินเมื่อแช่น้ำ)
6. Dial indicator วัดได้ 1 นิ้ว อ่านได้ละเอียด 0.001 นิ้ว
7. น้ำหนักถ่วงทับ (Surcharge Weight) หนักแผ่นละ 5 ปอนด์
8. Penetration Piston เนื้อที่หน้าตัด 3 ตร.นิ้ว

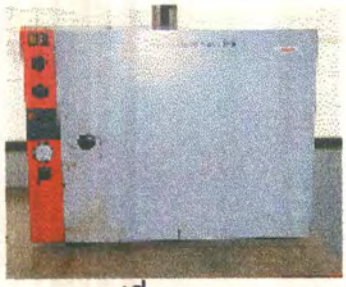
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. Loading device แบบ Hydraulic jack หรือ Screw jack มีอุปกรณ์วัดแรงได้ 10,000 ปอนด์
10. ถังน้ำแช่ดินพร้อม Mold
11. ตะแกรงร่อนดินเบอร์ 4 และ ¾ นิ้ว
12. เครื่องชั่ง ถาดคลุกดิน Straight edge กระบอกตวงน้ำ



รูปที่ 3.4.2 ก [1] Base Plate
[2] Spacer Disc
[3] Collar
[4] Mold

รูปที่ 3.4.2 ข ตะแกรงเบอร์ ¾"



รูปที่ 3.4.2 ค เตาอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4.2 ง มีดปาดดิน

รูปที่ 3.4.2 จ Hammer

รูปที่ 3.4.2 ฉ ชุดทดลอง CBR

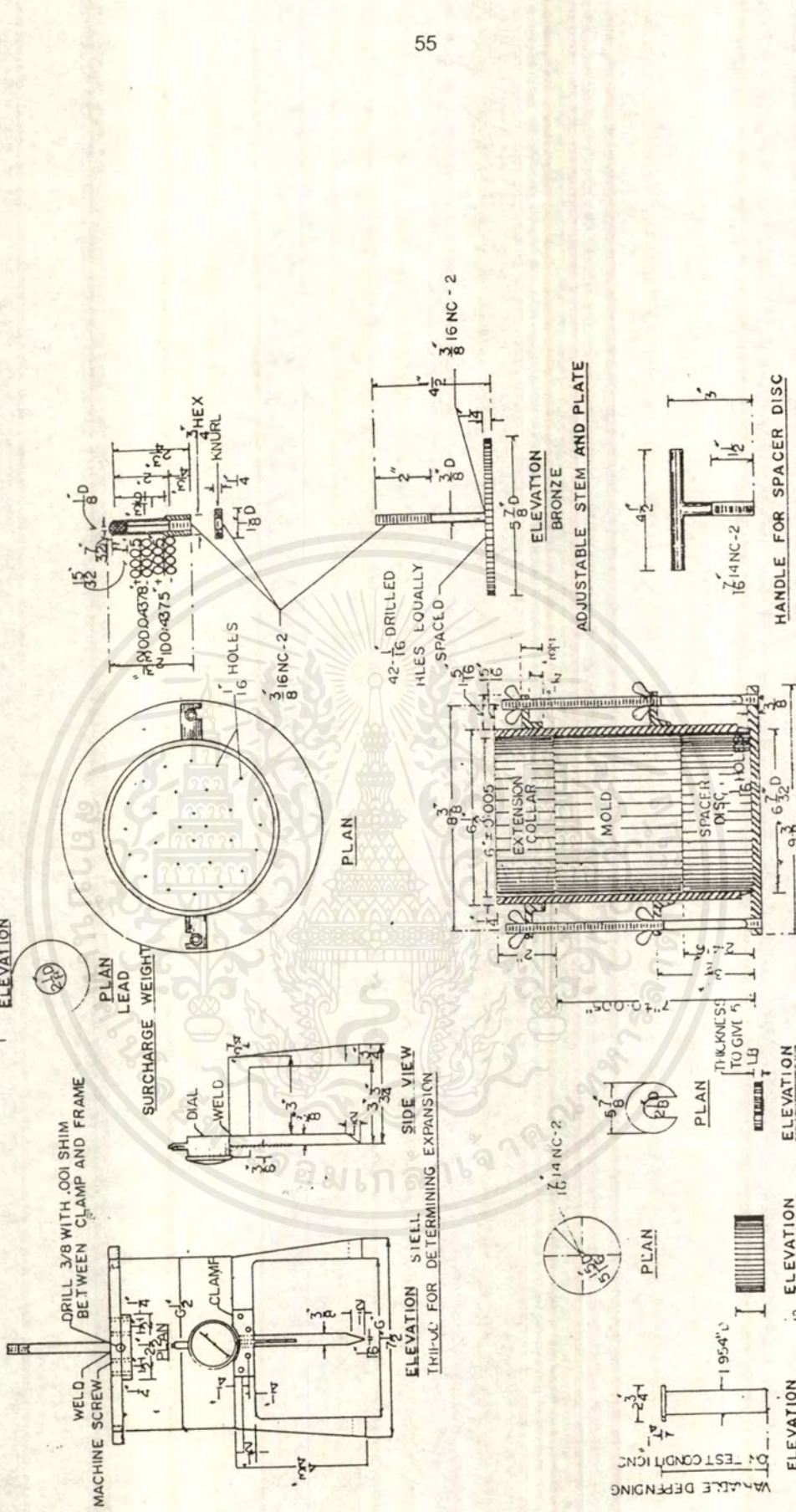
รูปที่ 3.4.2 ช เครื่องชั่งไฟฟ้า

รูปที่ 3.4.2 ซ เครื่องชั่งละเอียด

รูปที่ 3.4.2 ญ เครื่องชั่งหยาบ

รูปที่ 3.4.2 แสดงอุปกรณ์การทดลอง C.B.R. Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4.2 แสดงอุปกรณ์การทดลอง C.B.R. Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมตัวอย่างดิน

1. ดินตัวอย่าง ก่อนจะนำมาทดลองจะต้องปล่อยทิ้งให้แห้งในห้องปฏิบัติการ (air dry) แบ่งดินออกเป็นกองตามวิธี Quartering แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ ¾ นิ้ว ส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ ¾ นิ้ว ให้ทิ้งไปและให้ชดเชยด้วยดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ ¾ นิ้ว แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 นิ้ว ด้วยจำนวนน้ำหนักเท่ากัน
2. หาจุด Optimum Moisture Content โดยวิธี Modified Proctor Method

วิธีการทดลอง

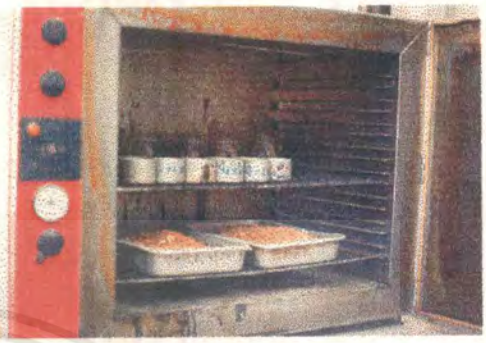
สำหรับตัวอย่างดินที่ไม่ต้องมีการแช่น้ำ (Unsoaked C.B.R. Test)

1. ชั่งดินที่เตรียมไว้ประมาณ 12 ปอนด์ หรือ 6 กก. และนำดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัม เพื่อนำไปหาเปอร์เซนต์ความชื้น (initial water content) ที่มีอยู่ในดินตัวอย่าง
2. เตรียม mold ไว้ 2 ชุด ชั่งหาน้ำหนัก mold (เฉพาะ mold ไม่รวม base plate)
3. ประกอบ mold เข้ากับ base plate และ spacer (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 2 นิ้ว ใช้กระดาษกรองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ปูทับบน spader เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดกับแผ่นเหล็ก)
4. กระทุ้งดินอัดแน่นใน mold ตามวิธี compaction test ASTM D 1557 optimum moisture content+- 2%
5. หลังจากบดอัดจนครบจำนวนชั้นและจำนวนครั้งแล้วถอด collar ออกใช้ไม้บรรทัดเหล็ก (Straight edge) ปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบ mold พร้อมกับซ่อมแต่งผิวบนของดินตัวอย่างให้เรียบเสมอกับปาก mold
6. ถอด base plate และ spacer disc ออกนำ mold และดินไปชั่งหาน้ำหนักเพื่อจะนำไปหา Wet density
7. เอากระดาษกรองวางบน base plate เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดแผ่นเหล็กประกอบ mold ที่มีดินอัดแน่นนี้เข้ากับ base plate โดยให้ปาก mold ด้านที่มีดินเสมอปากวางบน base plate และส่วนที่มีช่องว่าง 2.5 นิ้วอยู่ด้านบน
8. วางแผ่นเหล็ก surcharge อย่างน้อย 10 ปอนด์ลงบนดินตัวอย่างใน mold
9. จัดวาง mold พร้อมดินตัวอย่างเข้าเครื่องกดทดลองซึ่งมี piston ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตร.นิ้ว ประกอบติดอยู่ จัดให้ผิวหน้าของดินใน mold แตะสัมผัสกับ piston ดังกล่าว จัดเข็ม dial gauge ที่จะใช้วัด penetration ให้อยู่ที่จุดศูนย์กลาง
10. จัดการ Load ในอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที พร้อมกับอ่านค่าน้ำหนักที่ตรงกับ penetration 0, 0.025, 0.050, 0.750, 0.100, 0.150, 0.200, 0.250, 0.300, 0.400, 0.500 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. เสร็จแล้วถอด mold ออกจากเครื่องกดทดลองเก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้งประมาณ 100 กรัม (fine grained soil) หรือประมาณ 500 กรัม (coarse grained soil) นำไปหาเปอร์เซนต์ความชื้น (water content)

3.4.3 ก. ร่อนดินผ่านตะแกรง

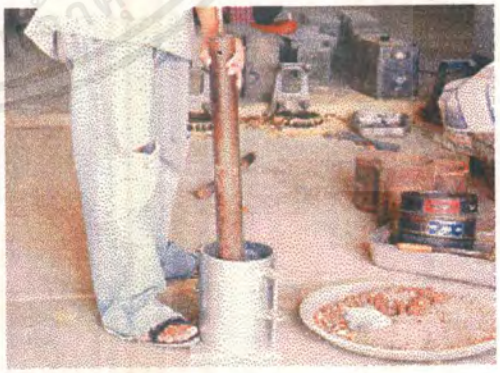


3.4.3 ข. อบดิน

3.4.3 ค. ชั่งน้ำหนักดิน

3.4.3 ง. ชั่งน้ำหนักขี้เถ้า

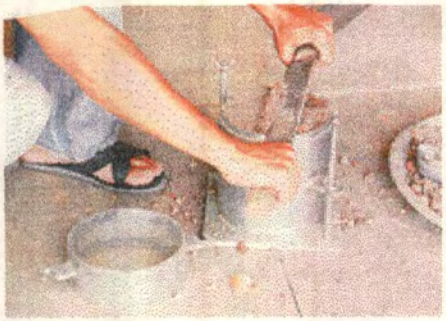
3.4.3 จ. ผสมดินกับขี้เถ้า



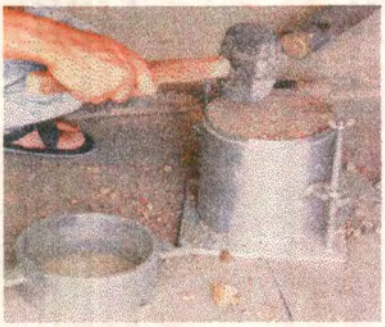
3.4.3 ฉ. บดอัดดิน

รูปที่ 3.4.3 ขั้นตอนการทดลอง C.B.R. Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3.4.3 ช. ปาดดิน



3.4.3 ซ. ทุบดิน

3.4.3 ฌ. บ่มดิน

3.4.3 ญ. ทดสอบ C.B.R.

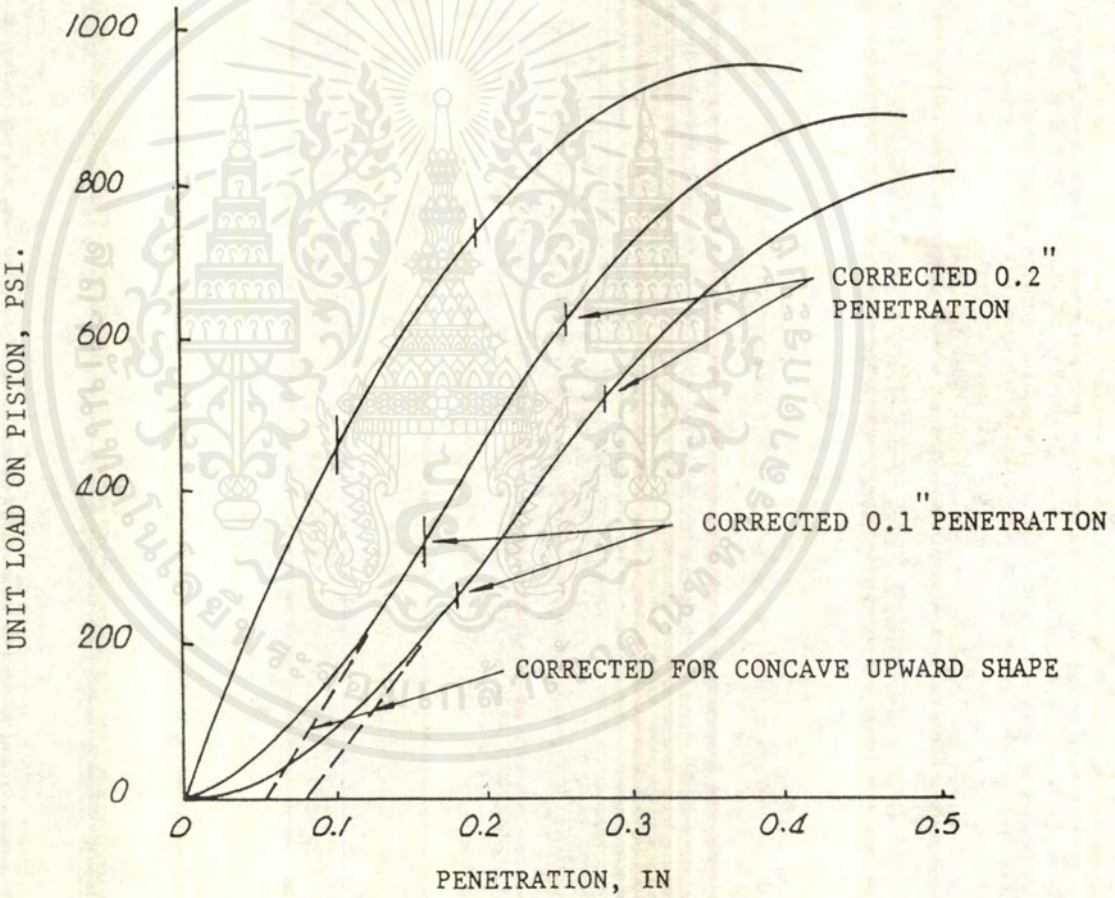
รูปที่ 3.4.3 ขั้นตอนการทดลอง C.B.R. Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณผลการทดลอง

1. คำนวณหาหน่วยแรงกดโดยสมการ ;

Test unit load = $\frac{\text{penetration load}}{3}$ psi



รูปที่ 3.4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดและระยะจม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

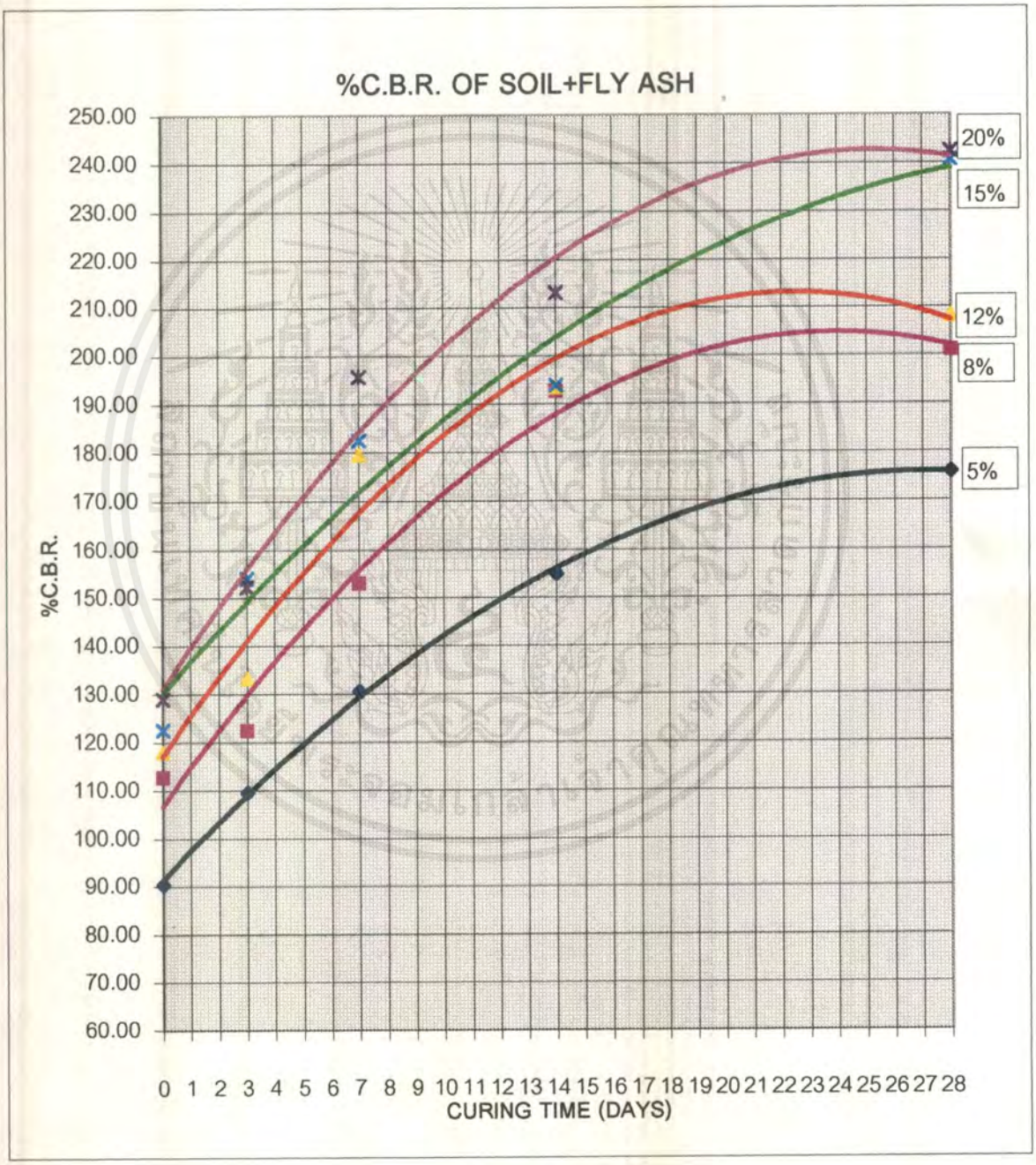
2. เขียนกราฟระหว่าง Test unit load ในแกนตั้งกับ penetration ในแกนนอนจากค่าที่ได้ ลงในกระดาษกราฟ โดยปกติแล้วจะได้รูป curve โค้งคว่ำผ่านจุด origin แต่บางครั้งอาจปรากฏว่า curve ที่ได้มีลักษณะโค้งหงายในช่วงแรก ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการแก้ไขเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องด้วยการลากเส้นตรงให้สัมผัสกับ curve ตรงส่วนที่มี slope ชันที่สุด ไปตัดกับแกนนอนที่จุดนั้นเป็น origin ใหม่และ origin ใหม่นี้จะต้องอยู่ทางด้านขวาของ origin เดิมเสมอเรียกว่า "Initial Correction"
3. อ่านค่า test unit load จากกราฟที่ 0.1 และ 0.2 นิ้ว จากกราฟและคำนวณหาค่า %C.B.R.

$$\%C.B.R. = \frac{\text{test unit load}}{\text{standard unit load}} \times 100\%$$

4. คำนวณหาเปอร์เซนต์ความชื้นและ dry density ของดินตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	% C.B.R.						
CURING TIME(DAYS)	0%	5%	8%	12%	15%	20%	% FLY ASH
0	69.99	90.47	112.73	118.00	122.67	129.07	
3	69.99	109.60	122.50	133.22	154.03	152.27	
7	69.99	130.60	153.00	179.47	182.53	195.67	
14	69.99	154.97	192.63	193.47	193.93	213.17	
28	69.99	175.90	201.03	208.17	240.70	242.43	



รูปที่ 3.4.5 ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% C.B.R. OF SOIL + fLY ASH 5%					
curring time(days)	0	3	7	14	28
EXAMPLE1	89.00	117.50	117.50	161.40	171.40
EXAMPLE2	92.20	103.00	137.50	147.40	181.30
EXAMPLE3	90.20	108.30	136.80	156.10	175.00
AVERAGE	90.47	109.60	130.60	154.97	175.90

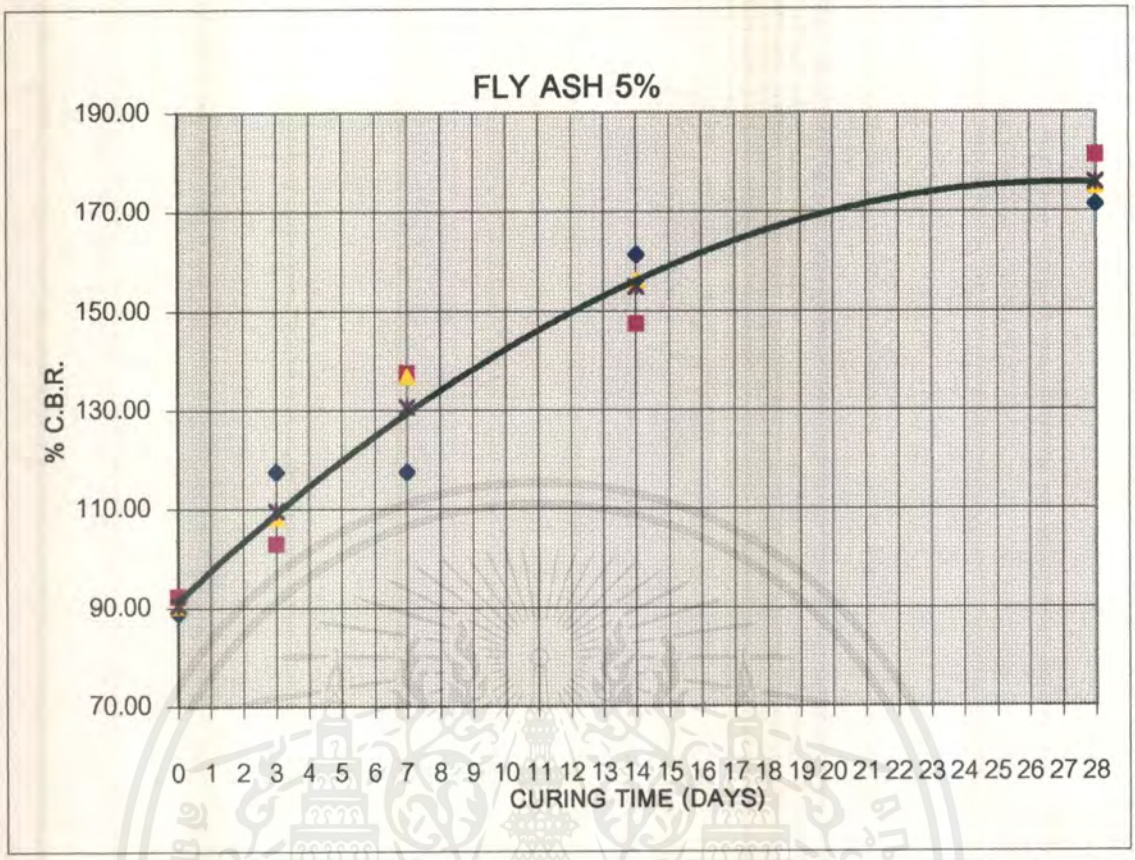
% C.B.R. OF SOIL + fLY ASH 8%					
curring time(days)	0	3	7	14	28
EXAMPLE1	103.00	128.10	118.50	207.60	210.20
EXAMPLE2	118.50	115.15	175.40	184.60	210.70
EXAMPLE3	116.70	124.24	165.10	185.70	182.20
AVERAGE	112.73	122.50	153.00	192.63	201.03

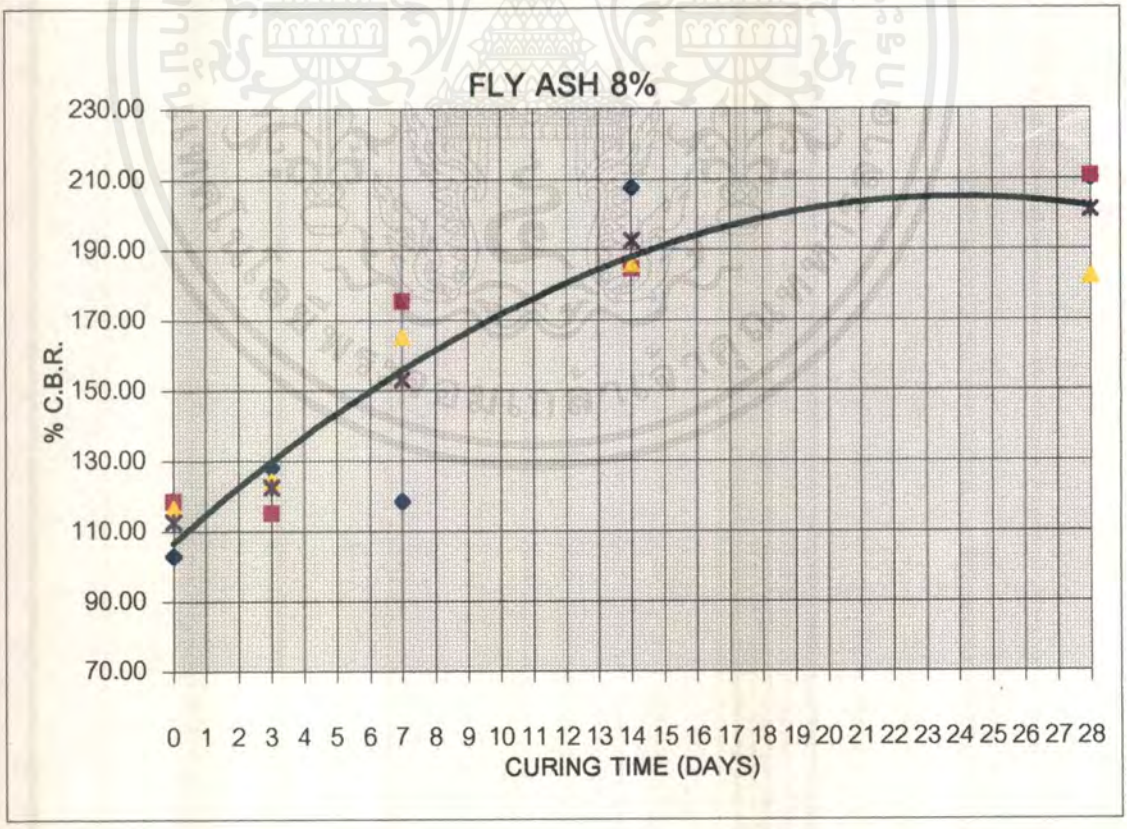
% C.B.R. OF SOIL + fLY ASH 12%					
curring time(days)	0	3	7	14	28
EXAMPLE1	115.60	137.25	172.20	194.70	214.60
EXAMPLE2	117.60	122.10	184.00	200.00	205.10
EXAMPLE3	120.80	140.30	182.20	185.70	204.80
AVERAGE	118.00	133.22	179.47	193.47	208.17

% C.B.R. OF SOIL + fLY ASH 15%					
curring time(days)	0	3	7	14	28
EXAMPLE1	125.70	157.40	195.80	200.00	237.00
EXAMPLE2	117.30	159.25	172.90	208.00	262.90
EXAMPLE3	125.00	145.45	178.90	173.80	222.20
AVERAGE	122.67	154.03	182.53	193.93	240.70

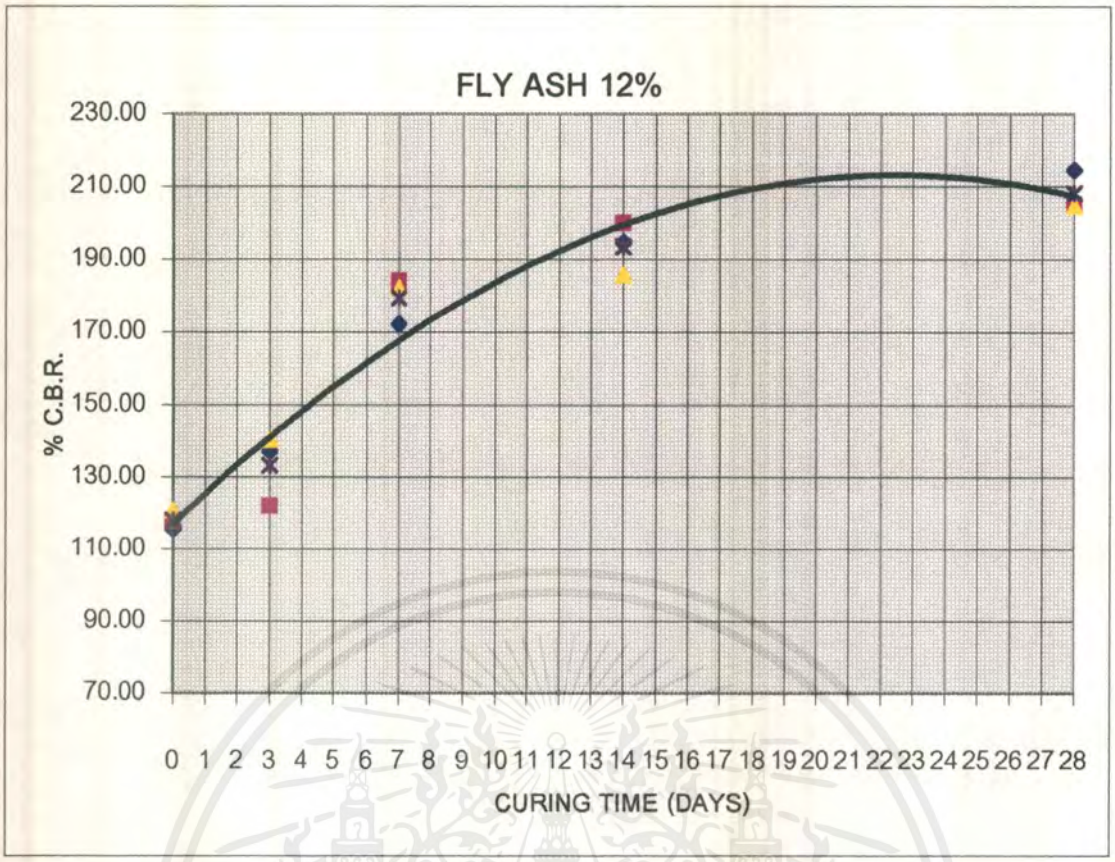
% C.B.R. OF SOIL + fLY ASH 20%					
curring time(days)	0	3	7	14	28
EXAMPLE1	122.40	157.90	200.00	216.70	266.70
EXAMPLE2	137.50	144.40	200.00	213.30	227.30
EXAMPLE3	127.30	154.50	187.00	209.50	233.30
AVERAGE	129.07	152.27	195.67	213.17	242.43

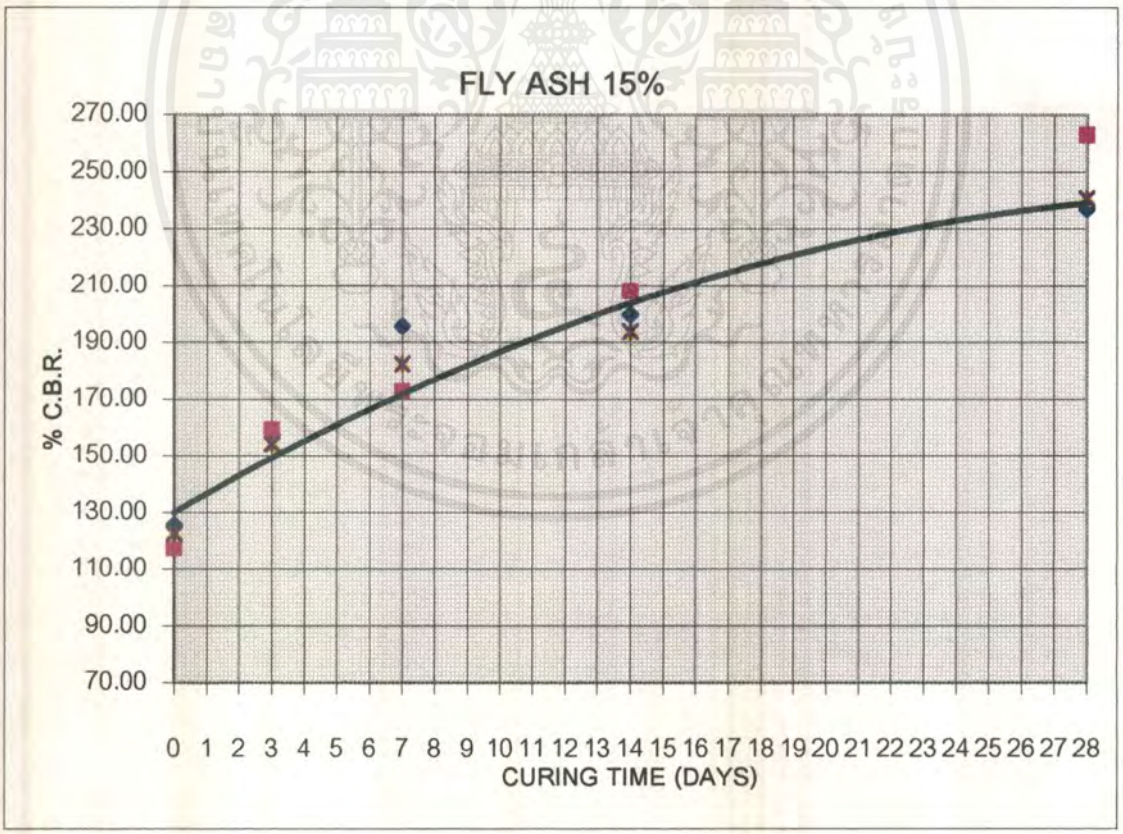
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



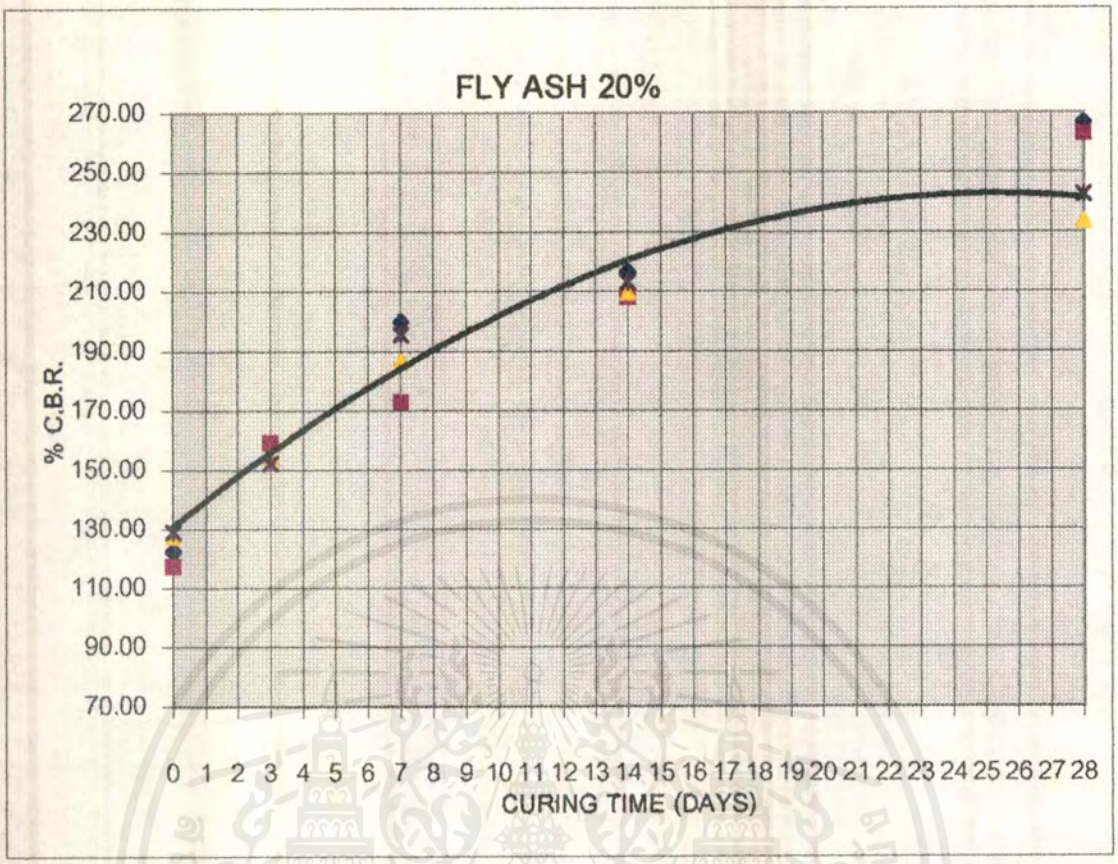


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	% C.B.R.						
DAYS	0%	5%	8%	12%	15%	20%	หมายเหตุ
0	69.99	90.47	112.73	118.00	122.67	129.07	
3	69.99	109.60	122.50	133.22	154.03	152.27	
7	69.99	130.60	153	179.47	182.53	195.67	
14	69.99	154.97	192.63	193.47	193.93	213.17	
28	69.99	175.90	201.03	208.17	240.70	242.43	
DAYS	0%	5%	8%	12%	15%	20%	หมายเหตุ
0		0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	
3		21.15%	8.67%	12.90%	25.56%	25.64%	
7		44.36%	35.72%	52.09%	48.80%	73.62%	
14		71.29%	70.88%	63.96%	58.09%	92.96%	
28		94.43%	78.33%	76.42%	96.22%	125.30%	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

1. ค่า C.B.R. แปรผันตรงกับ ปริมาณขี้เถ้ามวลเบา
2. ค่า C.B.R. แปรผันตรงกับ อายุการบ่ม
3. ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ปริมาณขี้เถ้ามวลเบาน้อยมีแนวโน้มการพัฒนาค่า C.B.R. น้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้ปริมาณขี้เถ้ามวลเบามาก

วิเคราะห์ผลการทดลอง

1. ปริมาณขี้เถ้ามวลเบามีผลต่อปฏิกิริยาเคมีคือเมื่อมีปริมาณขี้เถ้ามวลเบามากจะทำให้โอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาเคมีมีพัฒนาค่า C.B.R. ได้มาก
2. อายุการบ่มมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีคืออายุการบ่มมากจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีได้สมบูรณ์มากมีการพัฒนาค่า C.B.R. มาก
3. ตัวอย่างทดสอบที่ใช้ปริมาณขี้เถ้ามวลเบาน้อยมีอัตราการพัฒนาค่า C.B.R. น้อยกว่าตัวอย่างที่ใช้ปริมาณขี้เถ้ามวลเบามากเพราะปริมาณขี้เถ้ามวลเบาน้อยมีโอกาสเกิดปฏิกิริยาได้น้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ความเป็นไปได้ในการใช้งาน

ความเป็นไปได้ในการใช้งาน

การก่อสร้างถนนในปัจจุบัน มีการศึกษาพัฒนาวัสดุที่ใช้ในงานทางให้มีความสามารถในการรับกำลังได้มาก เพื่อที่สามารถรองรับยานพาหนะที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและการจราจรที่เพิ่มขึ้น ในการก่อสร้างชั้นพื้นทางของถนนมีการกำหนดความสามารถในการรับกำลังของวัสดุโดยใช้ค่า C.B.R. เป็นเกณฑ์ ทั้งนี้ขึ้นกับสภาพการรับกำลังของถนนในการใช้งานจริง สำหรับตัวอย่างที่โครงงานพิเศษนี้เลือกเป็นกรณีศึกษา คือ ทางหลวงหมายเลข 1037 ตอน บ้านฟ่อน ถึง อำเภอ แม่ทะ จังหวัด ลำปาง ซึ่งกำหนดค่า C.B.R. ของวัสดุชั้นพื้นทางไว้อย่างน้อย 90 % หนา 20 เซนติเมตร ซึ่งเดิมใช้หินคลุกเป็นวัสดุพื้นทาง

จากการทดลองหาค่า C.B.R. ของดินลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบา ทำให้ทราบค่า C.B.R. ของดินลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบาที่อายุการบ่มต่าง ๆ จากข้อกำหนดเบื้องต้น พิจารณาใช้ดินผสมขี้เถ้ามวลเบา 5 % ในการทำชั้นพื้นทางดังกล่าว เนื่องจากมีค่า C.B.R. มากกว่าที่ต้องการคือมากกว่า 90 % แต่การพิจารณาด้านกำลังอย่างเดียวอาจไม่สามารถตัดสินใจเลือกใช้ดินลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบาแทนหินคลุกได้ จึงพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายเพื่อเป็นหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบราคาของพื้นทางโดยใช้หินคลุกและดินลูกรังผสมกับขี้เถ้ามวลเบา

1.) ข้อมูลการคิดราคาของกรมทางหลวง

ราคาน้ำมันดีเซลเฉลี่ย	11.50 บาท/ลิตร
ส่วนยุบตัวเมื่อบดอัด	1.60
ค่าขนส่งดินเฉลี่ย	1.7966 บาท/ลบ.ม.(หลวม)/กม.
ค่าขนส่งขี้เถ้ามวลเบาเฉลี่ย	1.283 บาท/ตัน/กม.
ค่าผสมดินกับขี้เถ้ามวลเบา	29.00 บาท/ลบ.ม.(แน่น)
ค่าบดอัดหินคลุก	1.01 บาท/ลบ.ม.(แน่น)
ค่าบดอัดดินลูกรัง	0.83 บาท/ลบ.ม.(แน่น)

2.) การคิดราคาชั้นพื้นทางหินคลุก

สมมุติระยะทางจากแหล่งหินคลุกถึงสถานที่ก่อสร้าง x กม.

ค่าวัสดุหินคลุก	=	235 บาท/ลบ.ม.(หลวม)	 1
ค่าขนส่งหินคลุก	=	1.7966x บาท/ลบ.ม.(หลวม)	 2
ค่าบดอัดหินคลุก	=	1.01 บาท/ลบ.ม.(แน่น)	 3
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด	=	1.60*(235+1.7966x)+1.01	
	=	377+2.875x บาท/ลบ.ม.(แน่น)	

3.) การคิดราคาชั้นพื้นทางดินลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบา

การคิดราคาดินลูกรัง

สมมุติระยะทางจากแหล่งลูกรังถึงสถานที่ก่อสร้าง z กม.

ค่าวัสดุดินลูกรัง	=	190 บาท/ลบ.ม.(หลวม)	 1
ค่าขนส่งดินลูกรัง	=	1.7966z บาท/ลบ.ม.(หลวม)	 2
ค่าบดอัดดินลูกรัง	=	0.83 บาท/ลบ.ม.(แน่น)	 3
ค่าผสมดินกับขี้เถ้ามวลเบา	=	29.00 บาท/ลบ.ม.(แน่น)	 4

การคิดราคาขี้เถ้ามวลเบา

สมมุติใช้ขี้เถ้ามวลเบา 5%

ราคาขี้เถ้ามวลเบา		=	60 บาท/ตัน
ดิน 1 ลบ.ม. มีน้ำหนัก		=	2 ตัน
ใช้ขี้เถ้ามวลเบา	=0.05*2	=	0.1 ตัน
ค่าวัสดุขี้เถ้ามวลเบาผสม5%	= 0.1*60*1.05	=	6.3 บาท/ลบ.ม.(แน่น)ของดินลูกรัง 5

สมมุติระยะทางจากแม่เมาะถึงสถานที่ก่อสร้าง y กม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าขนส่งขี้เถ้ามวลเบา = 1.283y*0.1 = 0.1283y บาท/ลบ.ม.(แน่น)ของดินลูกรัง 6

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด = 1.60*(190+1.7966z)+0.83+29+6.30+0.1283y

= 340.13+0.1283y+2.875z บาท/ลบ.ม.(แน่น)

4.) เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายโดยให้ค่าใช้จ่ายของพื้นทางที่ใช้หินคลุกสูงกว่าที่ใช้ดินลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบา

377+2.875x > 340.13+0.1283y+2.875z

287.37+22.41x > y+22.41z

4.1) กรณีที่ดินลูกรังมีแหล่งอยู่ใกล้สถานที่ก่อสร้าง (z = 0)

287.37+22.41x > y

สมมุติ x = 60 : 1,631.97 > y : สมมุติ y = 50

ราคาชั้นพื้นทางหินคลุก = 377+2.875x = 549.5 บาท/ลบ.ม.

ราคาชั้นพื้นทางลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบา = 340.13+0.1283y+2.875z = 346.55 บาท/ลบ.ม.

4.2.) กรณีระยะทางจากแหล่งของหินคลุกและดินลูกรังไปยังสถานที่ก่อสร้างเท่ากัน (x = z)

287.37 > y

สมมุติ x = z = 60 : 287.37 > y : สมมุติ y = 50

ราคาชั้นพื้นทางหินคลุก = 377+2.875x = 549.5 บาท/ลบ.ม.

ราคาชั้นพื้นทางลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบา = 340.13+0.1283y+2.875z = 519.05 บาท/ลบ.ม.

4.3) กรณีที่หินคลุกมีแหล่งอยู่ใกล้สถานที่ก่อสร้าง (x = 0)

287.37 > y+22.41z

สมมุติ x = 0 ; z = 60 : - 1,057.23 > y : สมมุติ y = 30

ราคาชั้นพื้นทางหินคลุก = 377+2.875x = 377 บาท/ลบ.ม.

ราคาชั้นพื้นทางลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบา = 340.13+0.1283y+2.875z = 516.48 บาท/ลบ.ม.

4.4) สมมุติอยู่ในกรณีทั่วไป

287.37+22.41x > y+22.41z

สมมุติ x = 60 ; z = 50 : 511.47 > y : สมมุติ y = 50

ราคาชั้นพื้นทางหินคลุก = 377+2.875x = 549.5 บาท/ลบ.ม.

ราคาชั้นพื้นทางลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบา = 340.13+0.1283y+2.875z = 490.30 บาท/ลบ.ม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษาโครงงานพิเศษและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการศึกษาโครงงานพิเศษ

1. ค่า unsoaked C.B.R. ของดินลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบา มีค่าแปรผัน กับ ปริมาณขี้เถ้ามวลเบา และอายุการบ่ม คือ มีค่ามากขึ้นเมื่อปริมาณขี้เถ้ามวลเบามากขึ้น และ บ่มเป็นระยะเวลานานขึ้น

2. ค่า Maximum Dry Density แปรผกผันกับปริมาณขี้เถ้ามวลเบา คือ มีค่าลดลงเมื่อปริมาณขี้เถ้ามวลเบามากขึ้น

ค่า Optimum Moisture Content มีการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน โดยมีภาพรวมคงที่ไม่ขึ้นกับปริมาณขี้เถ้ามวลเบา

3. ค่า C.B.R.ของดินลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบามากกว่าค่า C.B.R.ของดินลูกรังผสมที่ไม่ผสมขี้เถ้ามวลเบา

4. จากการเปรียบเทียบราคาของพื้นทางโดยใช้หินคลุกกับใช้ดินลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบาสรุปได้ว่า การใช้ดินลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบาจะมีราคาถูกกว่าในกรณีที่

- แหล่งดินลูกรังอยู่ใกล้สถานที่ก่อสร้าง โดยระยะทางจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะไปยังสถานที่ก่อสร้างน้อยกว่า 287.37 + 22.41x กิโลเมตร

- ระยะทางจากแหล่งดินลูกรังและหินคลุกไปยังสถานที่ก่อสร้างเท่ากัน โดยระยะทางจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะไปยังสถานที่ก่อสร้างน้อยกว่า 287.37 กิโลเมตร

สมการที่ใช้ในการพิจารณาเลือกใช้ดินลูกรังผสมขี้เถ้ามวลเบา $287.37 + 22.41x > y + 22.41z$

เมื่อ x = ระยะทางจากแหล่งหินคลุกไปยังสถานที่ก่อสร้าง (กม.)

y = ระยะทางจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะไปยังสถานที่ก่อสร้าง (กม.)

z = ระยะทางจากแหล่งดินลูกรังไปยังสถานที่ก่อสร้าง (กม.)

ข้อเสนอแนะ

1. ในการนำขี้เถ้ามวลเบามาปรับปรุงดินควรทำการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินและขี้เถ้ามวลเบา เนื่องจากดินและขี้เถ้ามีคุณสมบัติไม่คงที่

2. ในการก่อสร้างควรป้องกันอันตรายทางเคมีของขี้เถ้ามวลเบาโดย

2.1 ในการขนส่งขี้เถ้ามวลเบาควรมีภาชนะปิดมิดชิด เช่น การบรรจุขี้เถ้ามวลเบาในถุงปุ๋ย 2 ชั้น การขนส่งโดยใช้รถเต้า

2.2 ในขั้นตอนการผสมขี้เถ้ามวลเบาควรใส่ถุงมือ และ หน้ากาก

3. ควรมีการศึกษาผลกระทบข้างเคียงหลังจากการก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการแสดงปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นของวัสดุที่ใช้ในการทำ Soil Stabilize

Soil Cement Stabilize

$$\text{Cement} + H_2O \rightarrow CSH + CAH + Ca(OH)_2$$

$$Ca(OH)_2 \rightarrow Ca^{++} + 2(OH)^-$$

$$Ca^{++} + 2(OH)^- + \text{Soil Silica } (SiO_2) \rightarrow CSH$$

$$Ca^{++} + 2(OH)^- + \text{Soil Alumina } (Al_2O_3) \rightarrow CAH$$

Soil Lime Stabilize

$$\text{Lime } (CaO) + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

$$Ca(OH)_2 \rightarrow Ca^{++} + 2(OH)^-$$

$$Ca^{++} + 2(OH)^- + \text{Soil Silica } (SiO_2) \rightarrow CSH$$

$$Ca^{++} + 2(OH)^- + \text{Soil Alumina } (Al_2O_3) \rightarrow CAH$$

Soil Lime Stabilize Fly Ash

$$\text{Lime } (CaO) + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

$$Ca(OH)_2 \rightarrow Ca^{++} + 2(OH)^-$$

$$Ca^{++} + 2(OH)^- + \text{Fly Ash Silica } (SiO_2) \rightarrow CSH$$

$$Ca^{++} + 2(OH)^- + \text{Fly Ash Alumina } (Al_2O_3) \rightarrow CAH$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงมาตรฐานการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์

สถาบัน	มาตรฐานการออกแบบ
1. กรมทางหลวง ประเทศไทย	กำลังอัดเมื่ออายุ 7 วัน ไม่น้อยกว่า 250 lb/in^2
2. บริษัทปูนซีเมนต์ไทย	C.B.R. ไม่น้อยกว่า 120
3. British Road Research Laboratory	กำลังอัดเมื่ออายุ 7 วัน ไม่น้อยกว่า 250 lb/in^2
4. กรมทางหลวง ประเทศกานา	C.B.R. ไม่น้อยกว่า 200
5. ประเทศในแถบแอฟริกา	C.B.R. ไม่น้อยกว่า 180
6. National Association of Australia State Roads Authority (NAASRA) ประเทศออสเตรเลีย	- กำลังอัดเมื่ออายุ 7 วัน ไม่น้อยกว่า 150-250 lb/in^2 - C.B.R. ไม่น้อยกว่า 120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทาง(กม.)	ค่าบรรทุก(บาท/ตัน)	ค่าบรรทุก(บาท/ลบ.ม.)	ระยะทาง(กม.)	ค่าบรรทุก(บาท/ตัน)	ค่าบรรทุก(บาท/ลบ.ม.)
1	1.58	2.45	34	43.82	61.52
2	2.86	4.24	35	45.10	63.31
3	4.14	6.03	36	46.38	65.10
4	5.42	7.82	37	47.66	66.89
5	6.70	9.61	38	48.94	68.68
6	7.98	11.40	39	50.22	70.47
7	9.26	13.19	40	51.50	72.26
8	10.54	14.98	41	52.78	74.05
9	11.82	16.77	42	54.06	75.84
10	13.10	18.56	43	55.34	77.63
11	14.38	20.35	44	56.62	79.42
12	15.66	22.14	45	57.90	81.21
13	16.94	23.93	46	59.18	83.00
14	18.22	25.72	47	60.46	84.79
15	19.50	27.51	48	61.74	86.58
16	20.78	29.30	49	63.02	88.37
17	22.06	31.09	50	64.30	90.16
18	23.34	32.88	51	65.58	91.95
19	24.62	34.67	52	66.86	93.74
20	25.90	36.46	53	68.14	95.53
21	27.18	38.25	54	69.42	97.32
22	28.46	40.04	55	70.70	99.11
23	29.74	41.83	56	71.98	100.90
24	31.02	43.62	57	73.26	102.69
25	32.30	45.41	58	74.54	104.48
26	33.58	47.20	59	75.82	106.27
27	34.86	48.99	60	77.10	108.06
28	36.14	50.78	61	78.38	109.85
29	37.42	52.57	62	79.66	111.64
30	38.70	54.36	63	80.94	113.43
31	39.98	56.15	64	82.22	115.22
32	41.26	57.94	65	83.50	117.01
33	42.54	59.73	66	84.78	118.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทาง(กม.)	ค่าบรรทุก(บาท/ตัน)	ค่าบรรทุก(บาท/ลบ.ม.)	ระยะทาง(กม.)	ค่าบรรทุก(บาท/ตัน)	ค่าบรรทุก(บาท/ลบ.ม.)
67	86.06	120.59	100	128.30	179.66
68	87.34	122.38	101	129.58	181.45
69	88.62	124.17	102	130.86	183.24
70	89.90	125.96	103	132.14	185.03
71	91.18	127.75	104	133.42	186.82
72	92.46	129.54	105	134.70	188.61
73	93.74	131.33	106	135.98	190.40
74	95.02	133.12	107	137.26	192.19
75	96.30	134.91	108	138.54	193.98
76	97.58	136.70	109	139.82	195.77
77	98.86	138.49	110	141.10	197.56
78	100.14	140.28	111	142.38	199.35
79	101.42	142.07	112	143.66	201.14
80	102.70	143.86	113	144.94	202.93
81	103.98	145.65	114	146.22	204.72
82	105.26	147.44	115	147.50	206.51
83	106.54	149.23	116	148.78	208.30
84	107.82	151.02	117	150.06	210.09
85	109.10	152.81	118	151.34	211.88
86	110.38	154.60	119	152.62	213.67
87	111.66	156.39	120	153.90	215.46
88	112.94	158.18	121	155.18	217.25
89	114.22	159.97	122	156.46	219.04
90	115.50	161.76	123	157.74	220.83
91	116.78	163.55	124	159.02	222.62
92	118.06	165.34	125	160.30	224.41
93	119.34	167.13	126	161.58	226.20
94	120.62	168.92	127	162.86	227.99
95	121.90	170.71	128	164.14	229.78
96	123.18	172.50	129	165.42	231.57
97	124.46	174.29	130	166.70	233.36
98	125.74	176.08	131	167.98	235.15
99	127.02	177.87	132	169.26	236.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะทาง(กม.)	ค่าบรรทุก(บาท/ตัน)	ค่าบรรทุก(บาท/ลบ.ม.)	ระยะทาง(กม.)	ค่าบรรทุก(บาท/ตัน)	ค่าบรรทุก(บาท/ลบ.ม.)
133	170.54	238.73	166	212.78	297.80
134	171.82	240.52	167	214.06	299.59
135	173.10	242.31	168	215.34	301.38
136	174.38	244.10	169	216.62	303.17
137	175.66	245.89	170	217.90	304.96
138	176.94	247.68	171	219.18	306.75
139	178.22	249.47	172	220.46	308.54
140	179.50	251.26	173	221.74	310.33
141	180.78	253.05	174	223.02	312.12
142	182.06	254.84	175	224.30	313.91
143	183.34	256.63	176	225.58	315.70
144	184.62	258.42	177	226.86	317.49
145	185.90	260.21	178	228.14	319.28
146	187.18	262.00	179	229.42	321.07
147	188.46	263.79	180	230.70	322.86
148	189.74	265.58	181	231.98	324.65
149	191.02	267.37	182	233.26	326.44
150	192.30	269.16	183	234.54	328.23
151	193.58	270.95	184	235.82	330.02
152	194.86	272.74	185	237.10	331.81
153	196.14	274.53	186	238.38	333.60
154	197.42	276.32	187	239.66	335.39
155	198.70	278.11	188	240.94	337.18
156	199.98	279.90	189	242.22	338.97
157	201.26	281.69	190	243.50	340.76
158	202.54	283.48	191	244.78	342.55
159	203.82	285.27	192	246.06	344.34
160	205.10	287.06	193	247.34	346.13
161	206.38	288.85	194	248.62	347.92
162	207.66	290.64	195	249.90	349.71
163	208.94	292.43	196	251.18	351.50
164	210.22	294.22	197	252.46	353.29
165	211.50	296.01	198	253.74	355.08

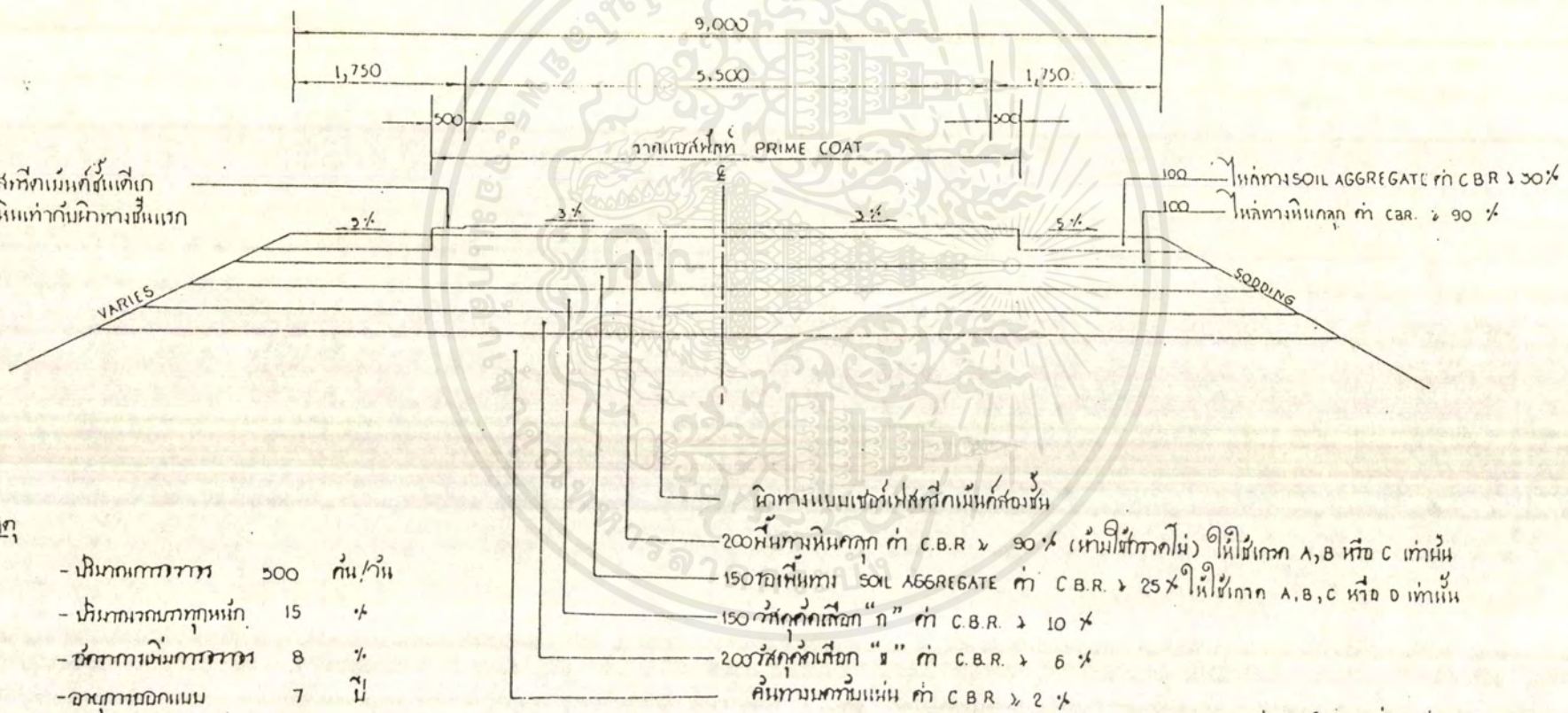
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบแนะนำ

ทางหลวงหมายเลข 1057 ตอน น. ฟ้อน — อ. แม่ทะ

กม. 0+000 — กม. 3+000 และ กม. 14+000 — กม. 18+800

มาตราส่วน F_4 (5.5/9)



หมายเหตุ

- ปริมาณการจราจร	500	คัน/วัน
- ปริมาณรถบรรทุกหนัก	15	%
- อัตราการเพิ่มการจราจร	8	%
- อายุการออกแบบ	7	ปี

นิติ นิลลิมมาศ

เขียน กิตติ วันที่ 15 มี.ค. 32
แก้ไข [illegible] วันที่ 14 มี.ค. 32
ตรวจ [illegible] วันที่ 16 มี.ค. 32

77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ผลการทดลองทางวิศวกรรมศาสตร์

- ATTERBERG 'S LIMITS
- COMPACTION TEST
- CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ATTERBERG 'S LIMITS

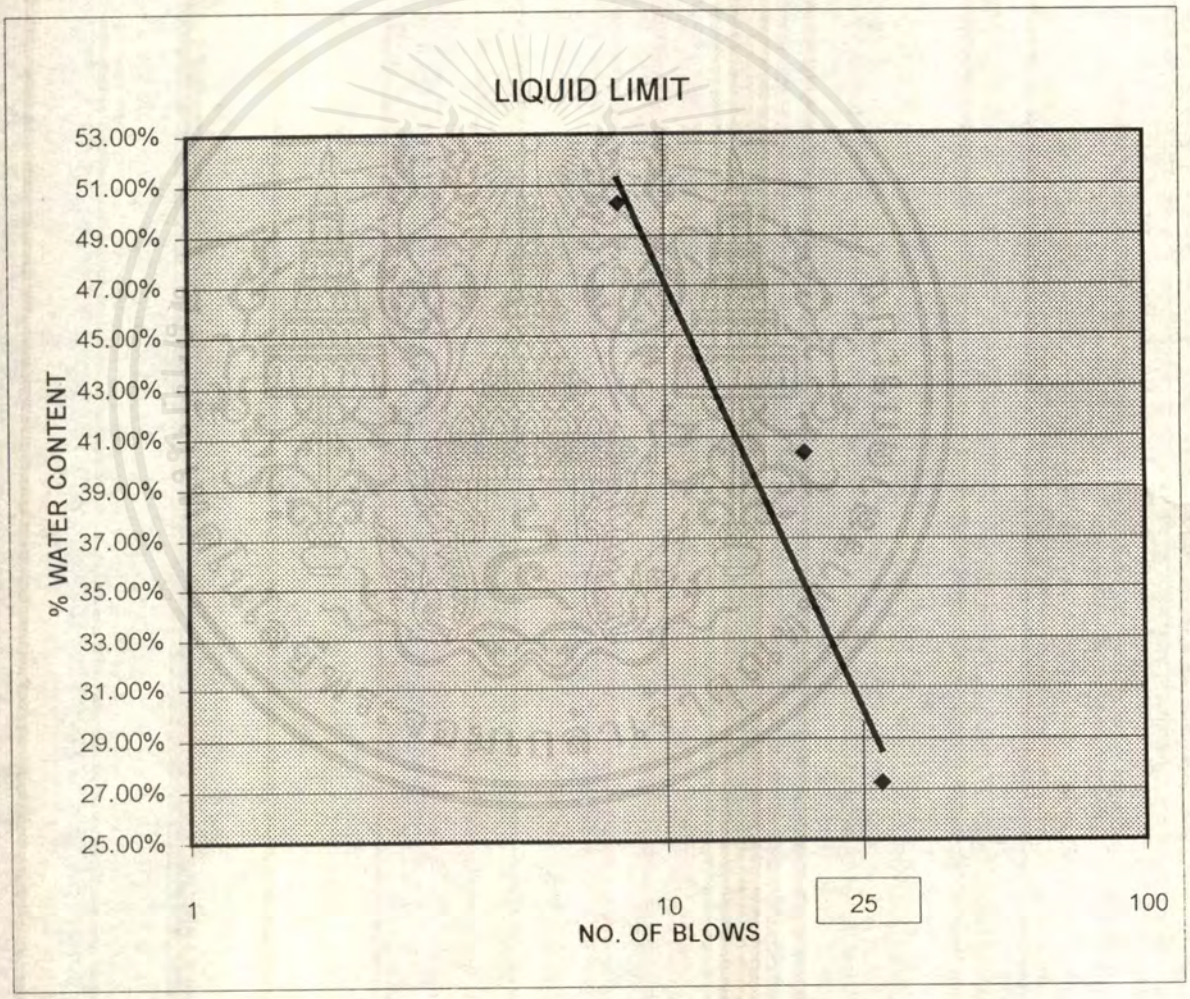
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PLASTIC LIMIT TEST :										
% FLY ASH	5%		8%		12%		15%		20%	
SAMPLE NO.	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
WET SOIL + CAN, gm	15.3	20	13.9	15.4	14.9	15.5	18.5	16.8	22	16.3
DRY SOIL + CAN, gm	14.3	18.3	13.2	14.4	14.1	14.65	17.2	15.7	20	15.4
WT. OF CAN, gm	9.8	9.9	9.6	9.8	9.8	9.9	9.7	9.8	9.7	9.8
WT. OF WATER, gm	1	1.7	0.7	1	0.8	0.85	1.3	1.1	2	0.9
WT. OF DRY SOIL, gm	4.5	8.4	3.6	4.6	4.3	4.75	7.5	5.9	10.3	5.6
% WATER CONTENT	22.2%	20.2%	19.4%	21.7%	18.6%	17.9%	17.3%	18.6%	19.4%	16.1%
% WATER CONTENT(AVERAGE	21.23%		20.59%		18.25%		17.99%		17.74%	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIQUID LIMIT OF SOIL+FLY ASH 5%

NO. OF BLOWS	28	19.5	8	
WET SOIL+CAN,gm	35.40	39.40	52.30	
DRY SOIL+CAN,gm	33.00	35.00	42.90	
WT. OF CAN,gm	24.20	24.10	24.20	
WT. OF WATER,gm	2.40	4.40	9.40	
WT. OF DRY SOIL,g	8.80	10.90	18.70	
% WATER CONTENT	27.27%	40.37%	50.27%	

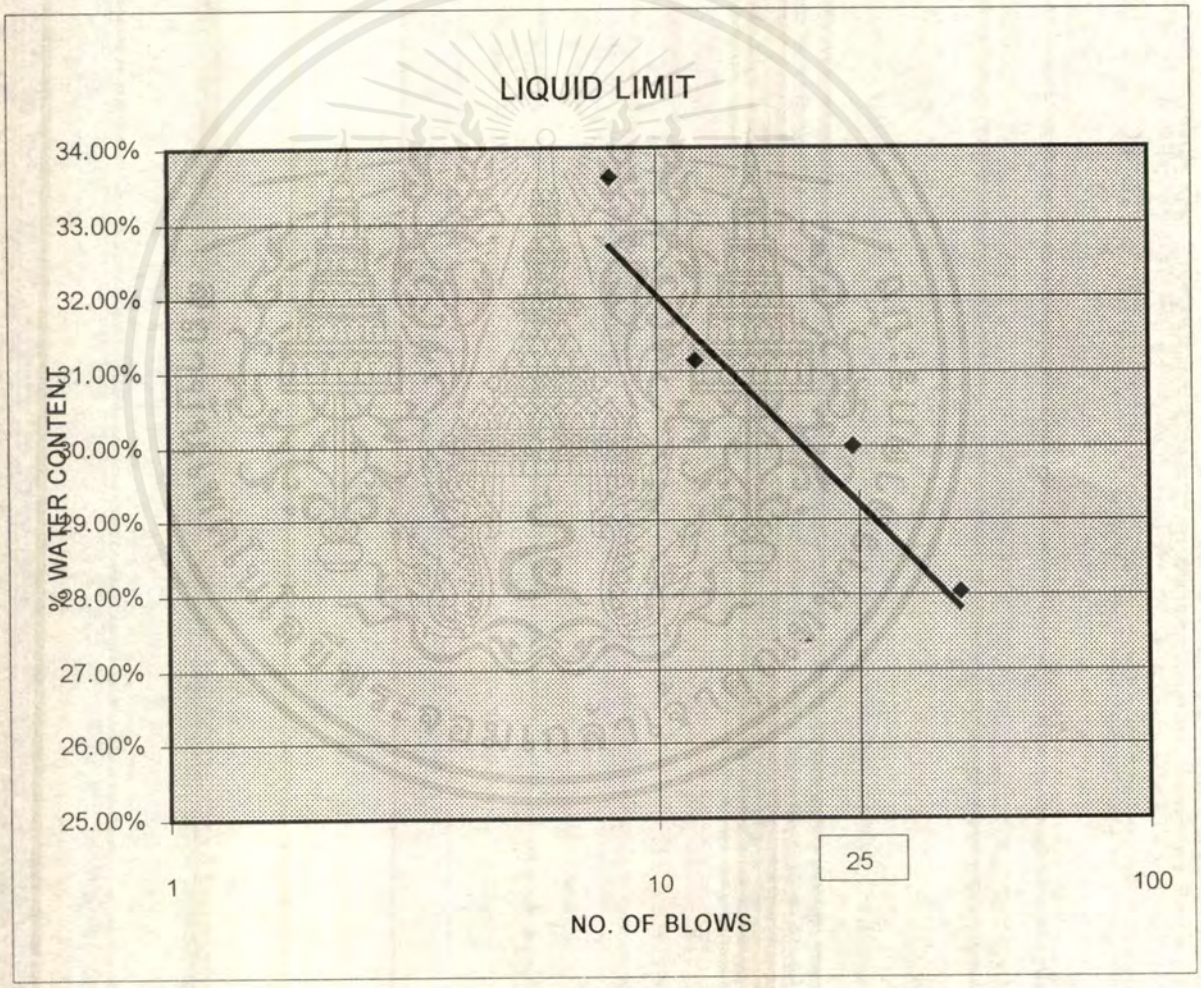


L.L. = 30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIQUID LIMIT OF SOIL+FLY ASH 8%

NO. OF BLOWS	41	25	12	8
WET SOIL+CAN,gm	42.50	45.70	52.70	61.7
DRY SOIL+CAN,gm	39.50	41.80	47.00	53.4
WT. OF CAN,gm	28.80	28.80	28.70	28.7
WT. OF WATER,gm	3.00	3.90	5.70	8.3
WT. OF DRY SOIL,g	10.70	13.00	18.30	24.7
% WATER CONTENT	28.04%	30.00%	31.15%	34%

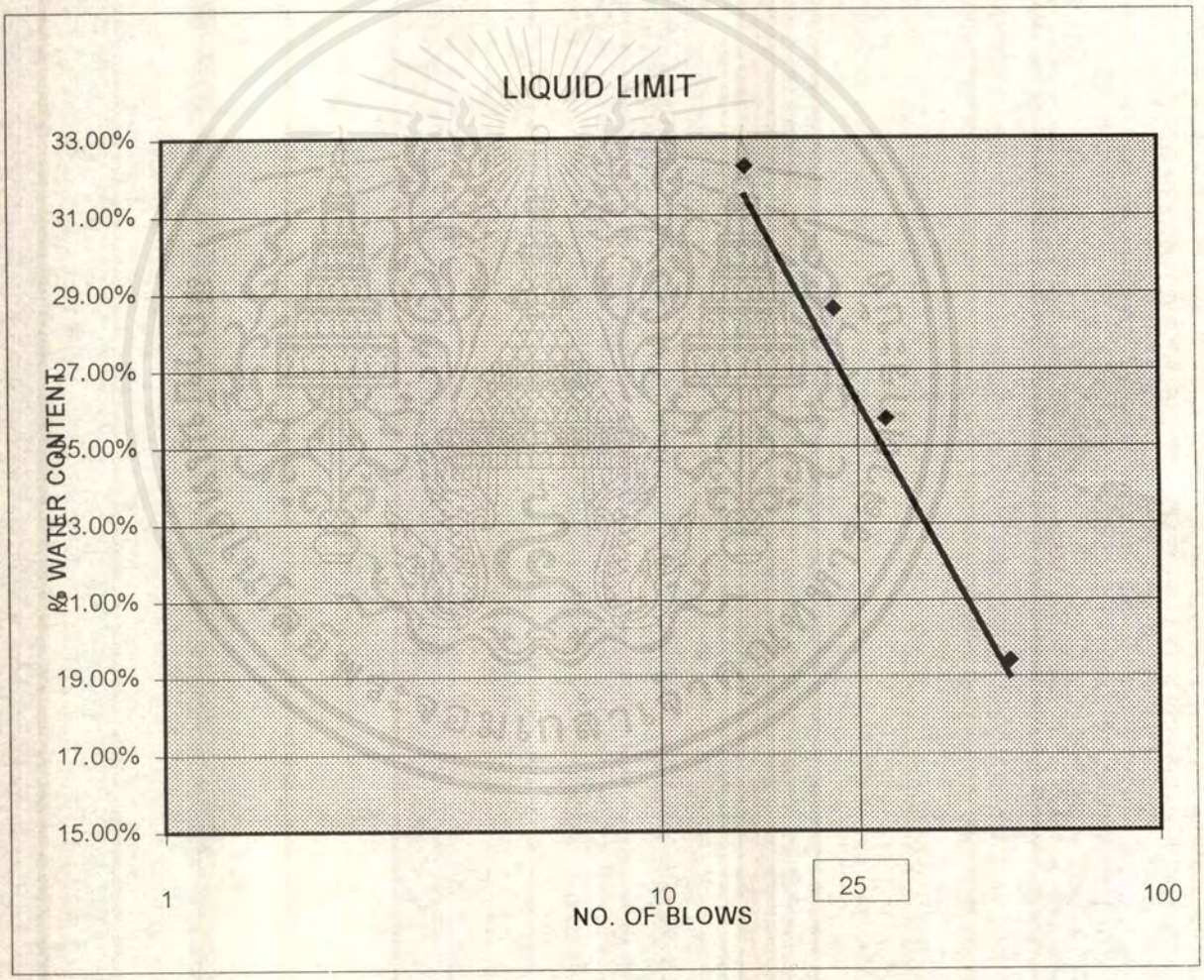


L.L. = 29.30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIQUID LIMIT OF SOIL+FLY ASH 12%

NO. OF BLOWS	50	28.5	22.5	15
WET SOIL+CAN,gm	36.50	33.00	37.00	49
DRY SOIL+CAN,gm	34.50	31.20	34.20	43
WT. OF CAN,gm	24.20	24.20	24.40	24.4
WT. OF WATER,gm	2.00	1.80	2.80	6
WT. OF DRY SOIL,g	10.30	7.00	9.80	18.6
% WATER CONTENT	19.42%	25.71%	28.57%	32%

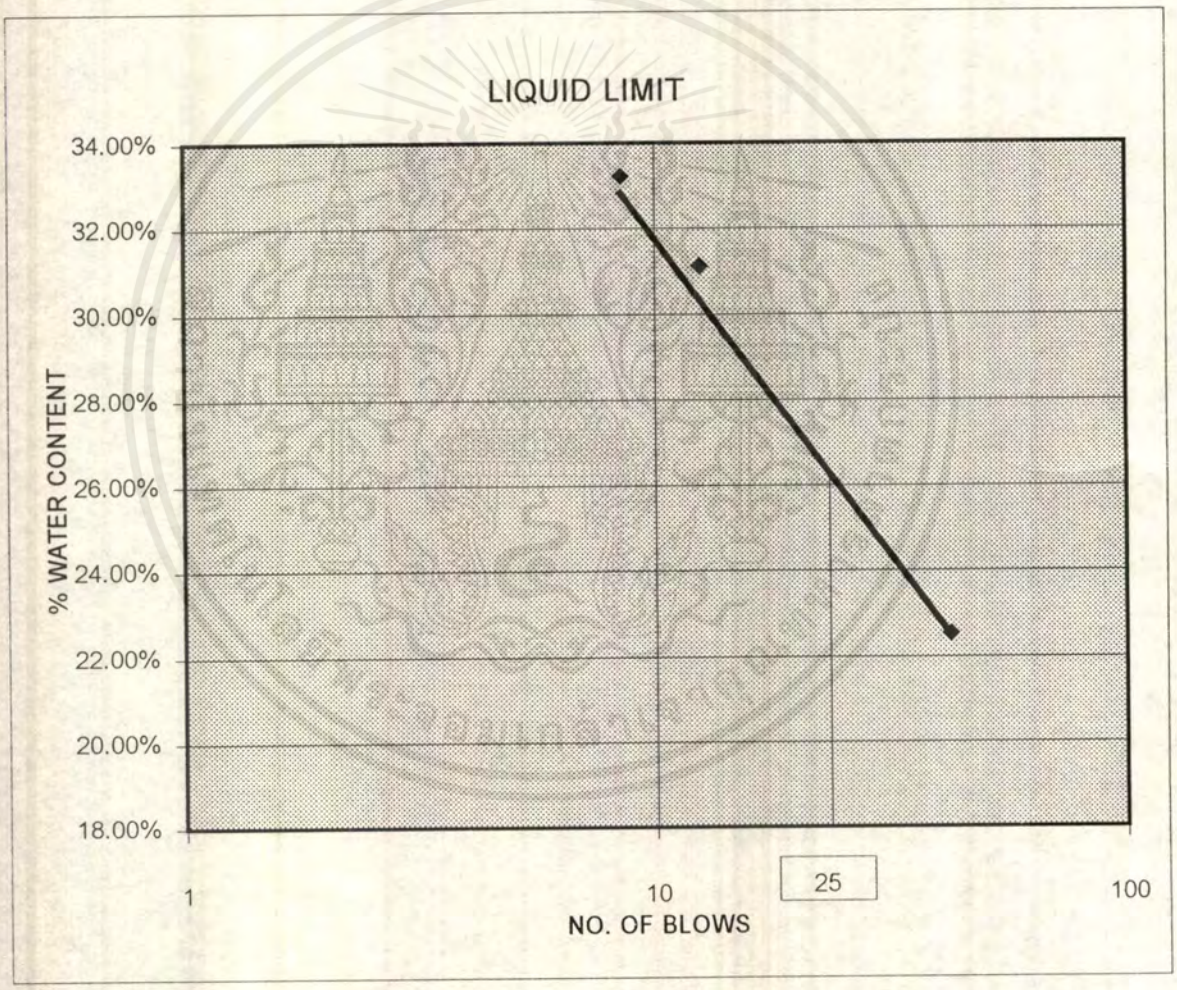


L.L. = 26.50%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIQUID LIMIT OF SOIL+FLY ASH 15%

NO. OF BLOWS	42	12.5	8.5	
WET SOIL+CAN,gm	33.10	47.10	67.10	
DRY SOIL+CAN,gm	31.50	42.90	57.70	
WT. OF CAN,gm	24.40	29.40	29.40	
WT. OF WATER,gm	1.60	4.20	9.40	
WT. OF DRY SOIL,g	7.10	13.50	28.30	
% WATER CONTENT	22.54%	31.11%	33.22%	

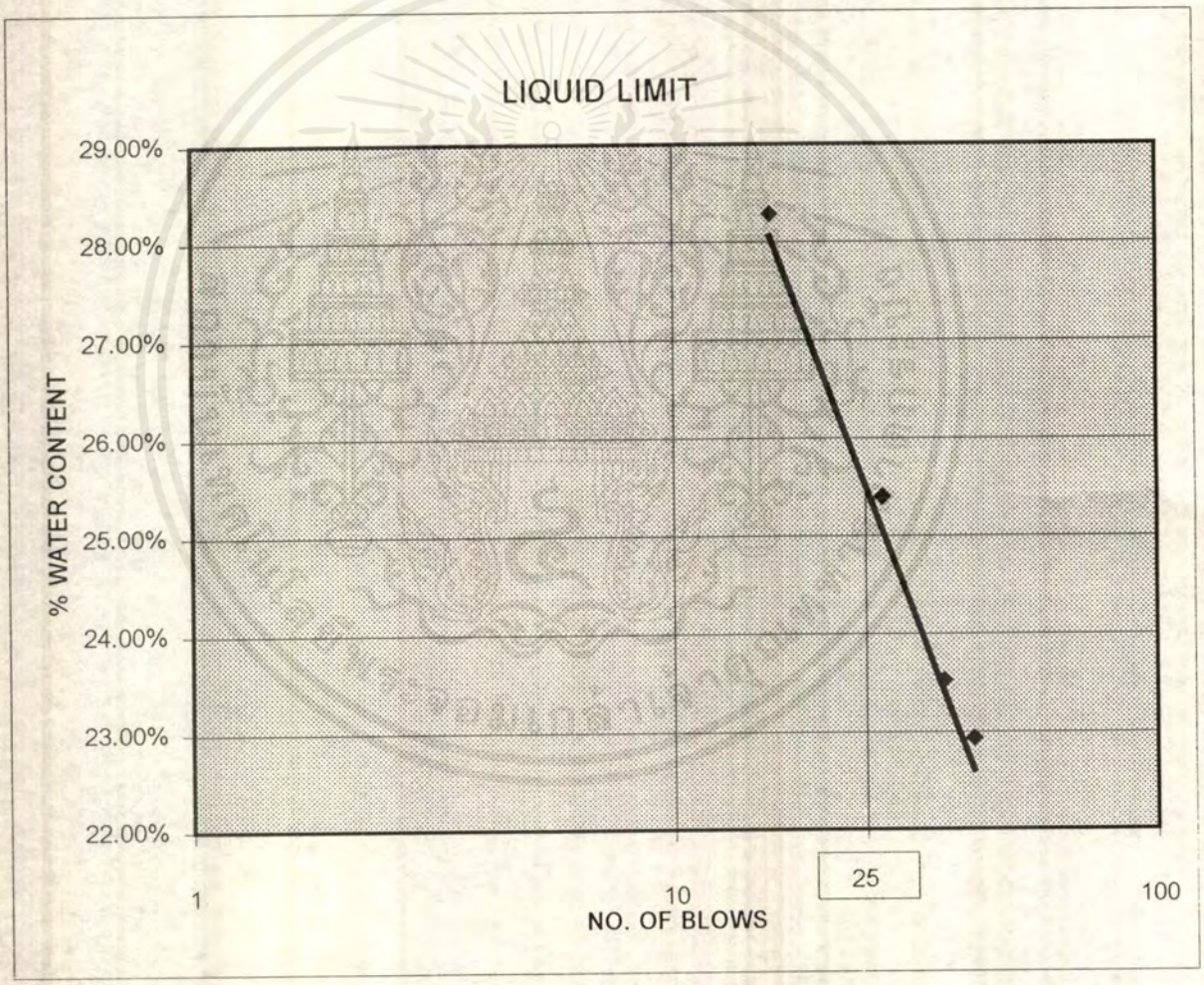


L.L. = 26%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIQUID LIMIT OF SOIL+FLY ASH 20%

NO. OF BLOWS	41.5	36	27	16
WET SOIL+CAN,gm	37.80	36.80	40.30	62.5
DRY SOIL+CAN,gm	35.30	34.40	37.10	54.1
WT. OF CAN,gm	24.40	24.20	24.50	24.4
WT. OF WATER,gm	2.50	2.40	3.20	8.4
WT. OF DRY SOIL,g	10.90	10.20	12.60	29.7
% WATER CONTENT	22.94%	23.53%	25.40%	28%



L.L. = 25.50%

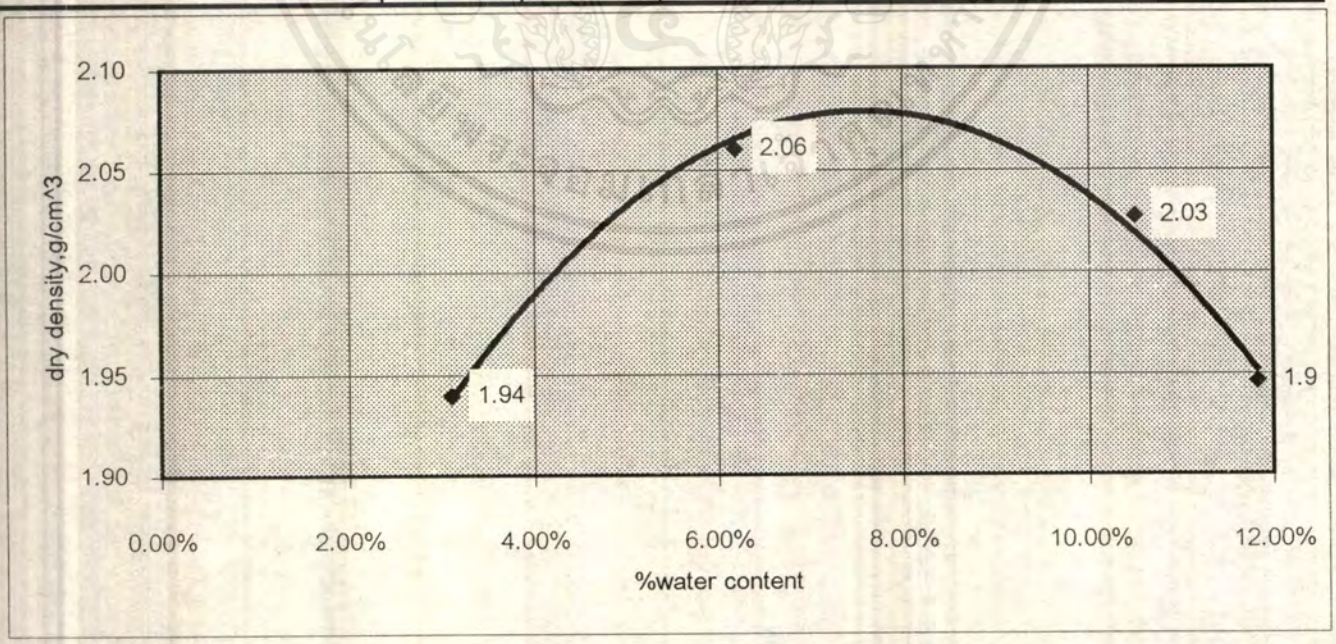
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

COMPACTION TEST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			COMPACTION TEST					
PROJECT soil- fly ash stabilization		OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก			JOB NO.			
LOCATION	CHONBURI				SAMPLE N	1/3		
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 5% fly ash				DEPT			
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก				DATE			
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก				DATE			
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR		MOLD VOLUME	2,142.92	CM^3			
WATER CONTENT DETERMINATION								
TRIAL NO.		1	2	3	4	5	6	7
WET SOIL + CAN ,	gm.	161.00	161.50	160.00	172.90			
DRY SOIL + CAN ,	gm.	156.90	153.50	147.10	157.20			
WEIGHT OF CAN	gm.	24.50	24.10	24.20	24.40			
WEIGHT OF WATER	gm.	4.10	8.00	12.90	15.70			
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	132.40	129.40	122.90	132.80			
% WATER CONTENT		3.10%	6.18%	10.50%	11.82%			
DENSITY DETERMINATION								
WT. OF SOIL+MOLD	gm.	10,801.00	11,204.00	11,316.00	11,180.00			
WT. OF MOLD	gm.	6,516.00	6,516.00	6,516.00	6,516.00			
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,285.00	4,688.00	4,800.00	4,664.00			
WET DENSITY	gm./cm^3	2.00	2.19	2.24	2.18			
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.94	2.06	2.03	1.95			

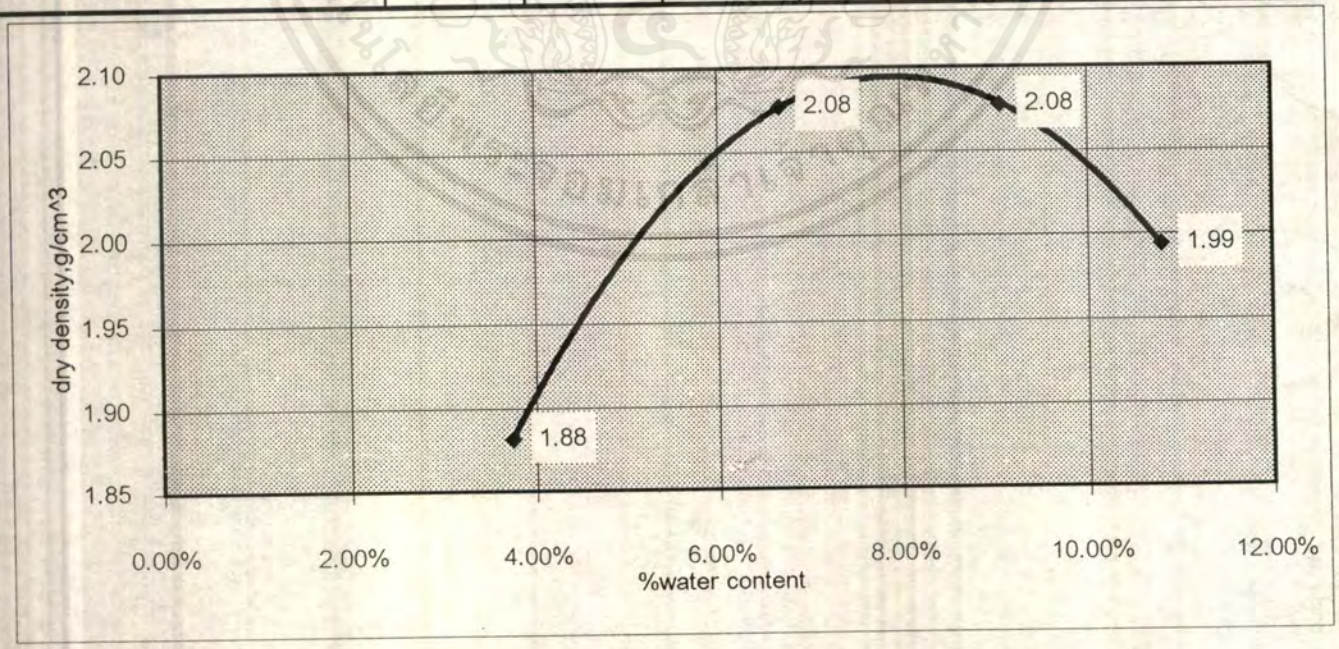


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	COMPACTION TEST

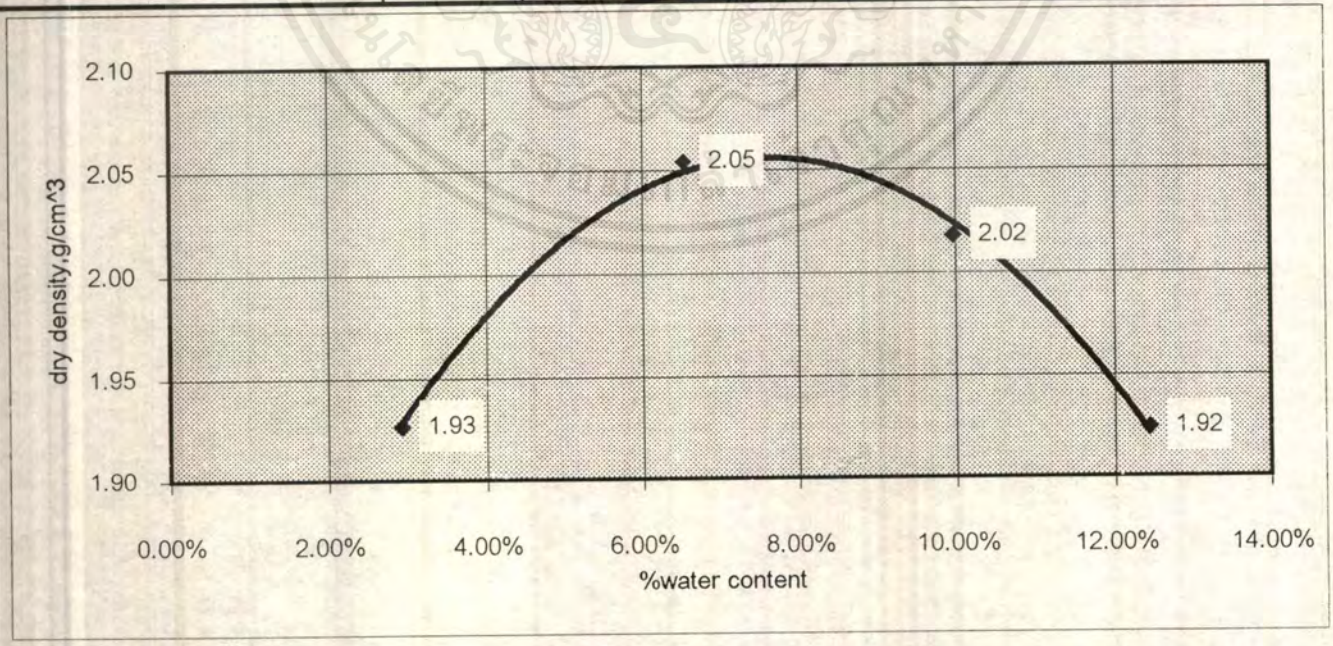
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI	SAMPLE N	2/3
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 5% fly ash	DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,142.92 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION								
TRIAL NO.		1	2	3	4	5	6	7
WET SOIL + CAN ,	gm.	163.00	163.00	158.00	162.00			
DRY SOIL + CAN ,	gm.	158.00	154.30	146.90	148.60			
WEIGHT OF CAN	gm.	24.30	24.20	24.50	24.40			
WEIGHT OF WATER	gm.	5.00	8.70	11.10	13.40			
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	133.70	130.10	122.40	124.20			
% WATER CONTENT		3.74%	6.69%	9.07%	10.79%			
DENSITY DETERMINATION								
WT. OF SOIL+MOLD	gm.	10,700.00	11,264.00	11,371.00	11,250.00			
WT. OF MOLD	gm.	6,516.00	6,516.00	6,516.00	6,516.00			
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,184.00	4,748.00	4,855.00	4,734.00			
WET DENSITY	gm./cm^3	1.95	2.22	2.27	2.21			
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.88	2.08	2.08	1.99			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			COMPACTION TEST				
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก				JOB NO.		
LOCATION CHONBURI					SAMPLE N 3/3		
SOIL DESCRIPTION ดินลูกรัง + 5% fly ash					DEPT		
TEST BY วินัย ,สมคเน, สมนึก					DATE		
CHECK BY วินัย ,สมคเน, สมนึก					DATE		
TYPE OF COMPACTION MODIFIED PROCTOR			MOLD VOLUME 2,142.92 CM^3				
WATER CONTENT DETERMINATION							
TRIAL NO.	1	2	3	4	5	6	7
WET SOIL + CAN , gm.	155.00	163.00	158.00	169.00			
DRY SOIL + CAN , gm.	151.30	154.50	145.90	153.00			
WEIGHT OF CAN gm.	24.40	24.30	24.50	24.40			
WEIGHT OF WATER gm.	3.70	8.50	12.10	16.00			
WEIGHT OF DRY SOIL gm.	126.90	130.20	121.40	128.60			
% WATER CONTENT	2.92%	6.53%	9.97%	12.44%			
DENSITY DETERMINATION							
WT. OF SOIL+MOLD gm.	10,765.00	11,205.00	11,270.00	11,153.00			
WT. OF MOLD gm.	6,516.00	6,516.00	6,516.00	6,516.00			
WT. OF SOIL IN MOLD gm.	4,249.00	4,689.00	4,754.00	4,637.00			
WET DENSITY gm./cm^3	1.98	2.19	2.22	2.16			
DRY DENSITY gm./cm^3	1.93	2.05	2.02	1.92			

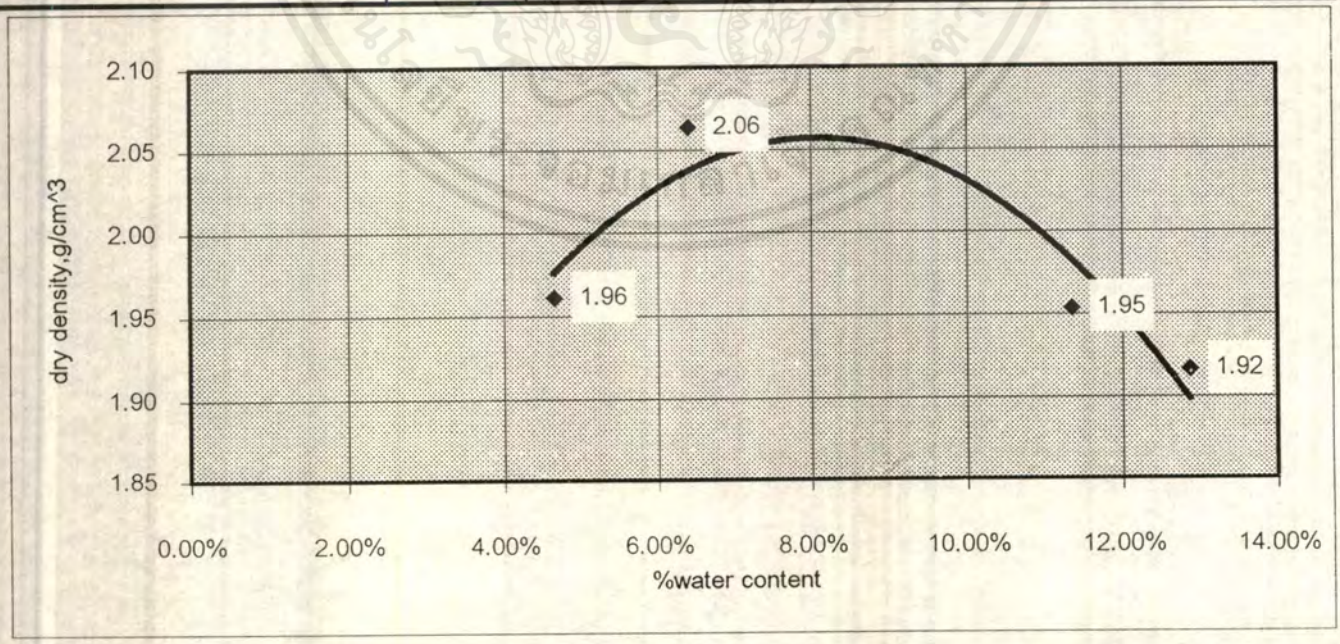


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	COMPACTION TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI	SAMPLE NO	1/3
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 8% fly ash	DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,142.92 CM^3

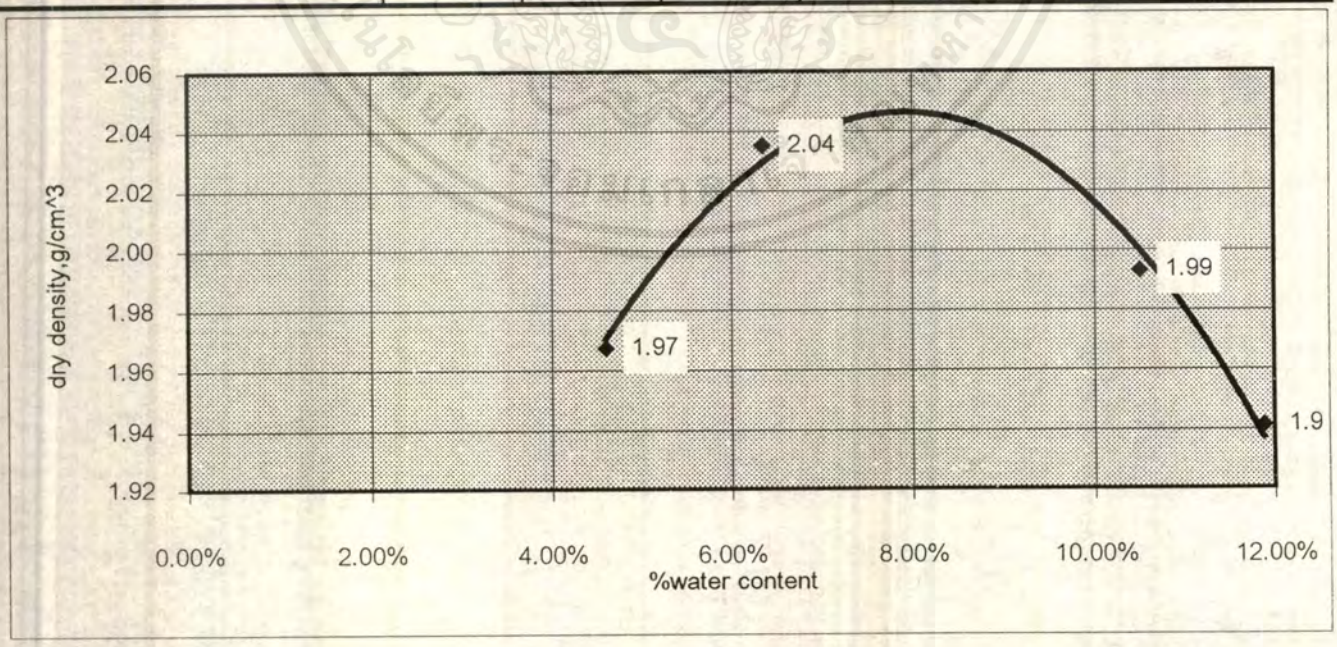
WATER CONTENT DETERMINATION								
TRIAL NO.		1	2	3	4	5	6	7
WET SOIL + CAN ,	gm.	85.40	92.50	83.60	82.50			
DRY SOIL + CAN ,	gm.	82.30	87.90	76.70	74.90			
WEIGHT OF CAN	gm.	15.60	16.00	15.90	15.80			
WEIGHT OF WATER	gm.	3.10	4.60	6.90	7.60			
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	66.70	71.90	60.80	59.10			
% WATER CONTENT		4.65%	6.40%	11.35%	12.86%			
DENSITY DETERMINATION								
WT. OF SOIL+MOLD	gm.	10,913.00	11,221.00	11,177.00	11,151.00			
WT. OF MOLD	gm.	6,516.00	6,516.00	6,516.00	6,516.00			
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,397.00	4,705.00	4,661.00	4,635.00			
WET DENSITY	gm./cm^3	2.05	2.20	2.18	2.16			
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.96	2.06	1.95	1.92			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		COMPACTION TEST
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.
LOCATION CHONBURI		SAMPLE NO 2/3
SOIL DESCRIPTION ดินลูกรัง + 8% fly ash		DEPT
TEST BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME 2,142.92	CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION								
TRIAL NO.		1	2	3	4	5	6	7
WET SOIL + CAN ,	gm.	161.00	155.00	159.00	154.30			
DRY SOIL + CAN ,	gm.	155.00	147.20	146.20	140.50			
WEIGHT OF CAN	gm.	24.50	24.40	24.30	24.30			
WEIGHT OF WATER	gm.	6.00	7.80	12.80	13.80			
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	130.50	122.80	121.90	116.20			
% WATER CONTENT		4.60%	6.35%	10.50%	11.88%			
DENSITY DETERMINATION								
WT. OF SOIL+MOLD	gm.	10,925.00	11,154.00	11,235.00	11,170.00			
WT. OF MOLD	gm.	6,516.00	6,516.00	6,516.00	6,516.00			
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,409.00	4,638.00	4,719.00	4,654.00			
WET DENSITY	gm./cm^3	2.06	2.16	2.20	2.17			
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.97	2.04	1.99	1.94			

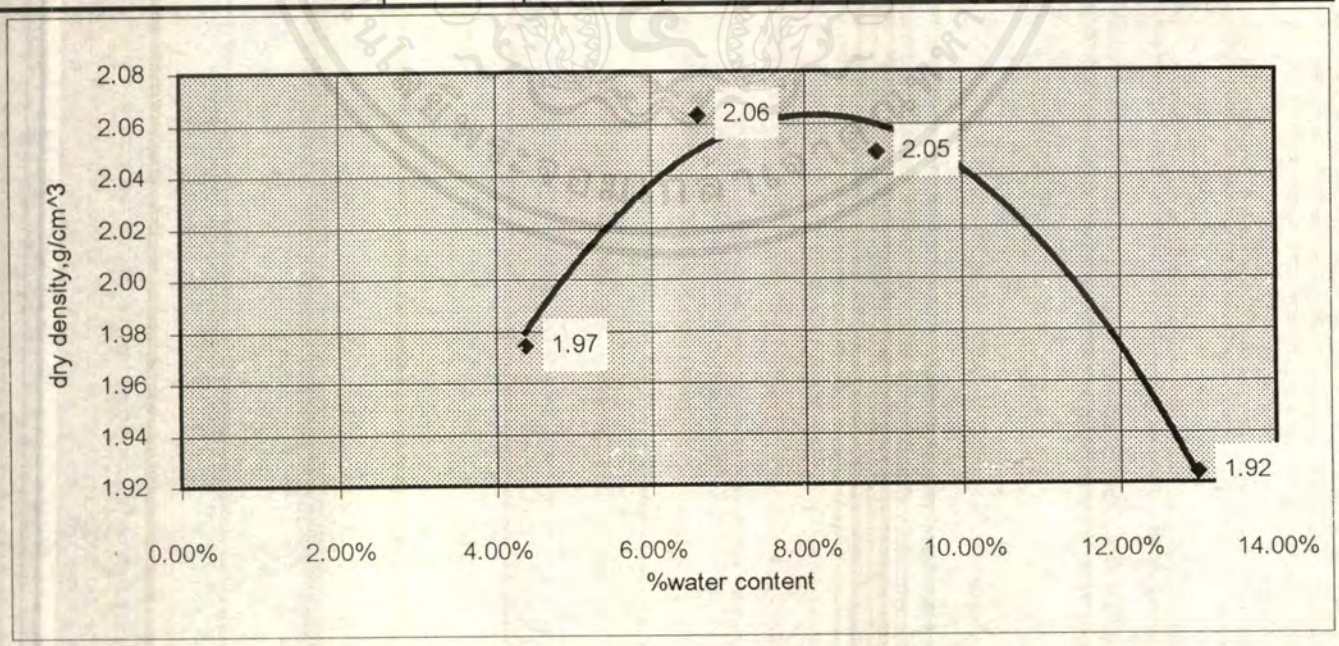


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	COMPACTION TEST

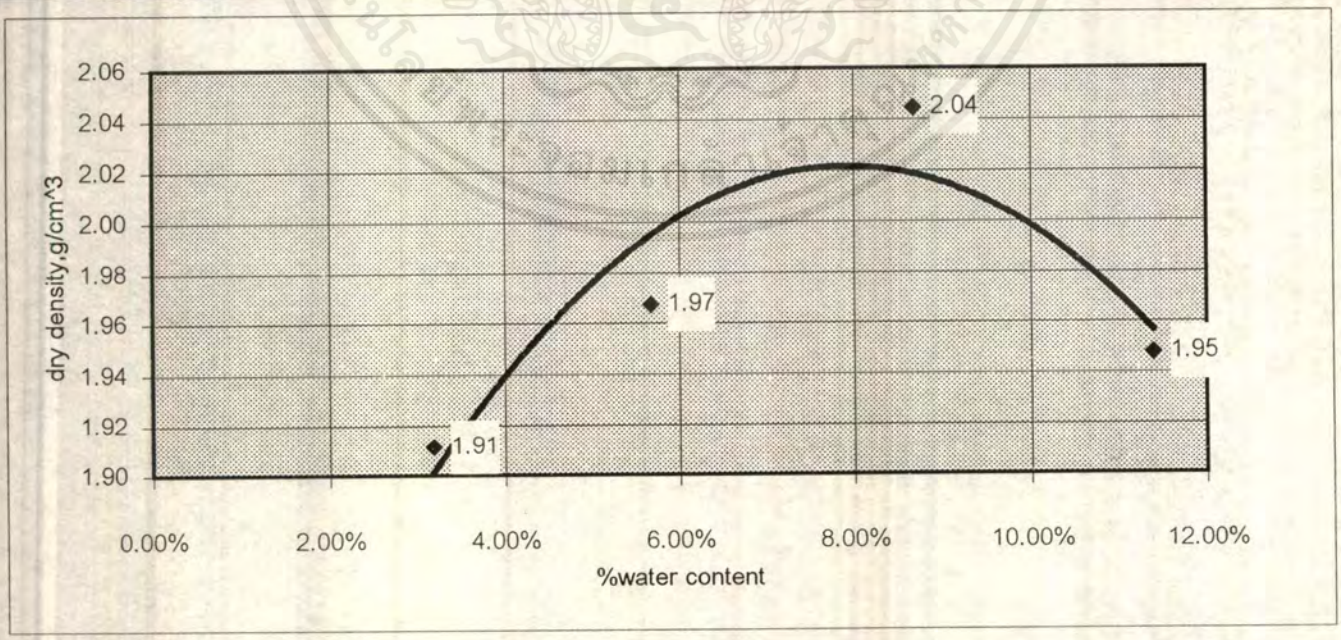
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI	SAMPLE NO	3/3
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 8% fly ash	DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,142.92 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION								
TRIAL NO.		1	2	3	4	5	6	7
WET SOIL + CAN ,	gm.	158.00	160.00	155.00	153.90			
DRY SOIL + CAN ,	gm.	152.40	151.60	144.30	139.00			
WEIGHT OF CAN	gm.	24.40	24.60	24.30	24.20			
WEIGHT OF WATER	gm.	5.60	8.40	10.70	14.90			
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	128.00	127.00	120.00	114.80			
% WATER CONTENT		4.38%	6.61%	8.92%	12.98%			
DENSITY DETERMINATION								
WT. OF SOIL+MOLD	gm.	10,932.00	11,230.00	11,298.00	11,175.00			
WT. OF MOLD	gm.	6,516.00	6,516.00	6,516.00	6,516.00			
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,416.00	4,714.00	4,782.00	4,659.00			
WET DENSITY	gm./cm^3	2.06	2.20	2.23	2.17			
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.97	2.06	2.05	1.92			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			COMPACTION TEST				
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก				JOB NO.		
LOCATION CHONBURI					SAMPLE NO 1/3		
SOIL DESCRIPTION ดินลูกรัง + 12% fly ash					DEPT		
TEST BY วินัย ,สมคเน, สมนึก					DATE		
CHECK BY วินัย ,สมคเน, สมนึก					DATE		
TYPE OF COMPACTION MODIFIED PROCTOR			MOLD VOLUME 2,142.92 CM^3				
WATER CONTENT DETERMINATION							
TRIAL NO.	1	2	3	4	5	6	7
WET SOIL + CAN , gm.	173.90	173.70	144.50	119.30			
DRY SOIL + CAN , gm.	169.30	165.70	134.90	109.60			
WEIGHT OF CAN gm.	24.50	24.60	24.30	24.40			
WEIGHT OF WATER gm.	4.60	8.00	9.60	9.70			
WEIGHT OF DRY SOIL gm.	144.80	141.10	110.60	85.20			
% WATER CONTENT	3.18%	5.67%	8.68%	11.38%			
DENSITY DETERMINATION							
WT. OF SOIL+MOLD gm.	10,737.00	10,966.00	11,272.00	11,160.00			
WT. OF MOLD gm.	6,511.00	6,511.00	6,511.00	6,511.00			
WT. OF SOIL IN MOLD gm.	4,226.00	4,455.00	4,761.00	4,649.00			
WET DENSITY gm./cm^3	1.97	2.08	2.22	2.17			
DRY DENSITY gm./cm^3	1.91	1.97	2.04	1.95			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	COMPACTION TEST

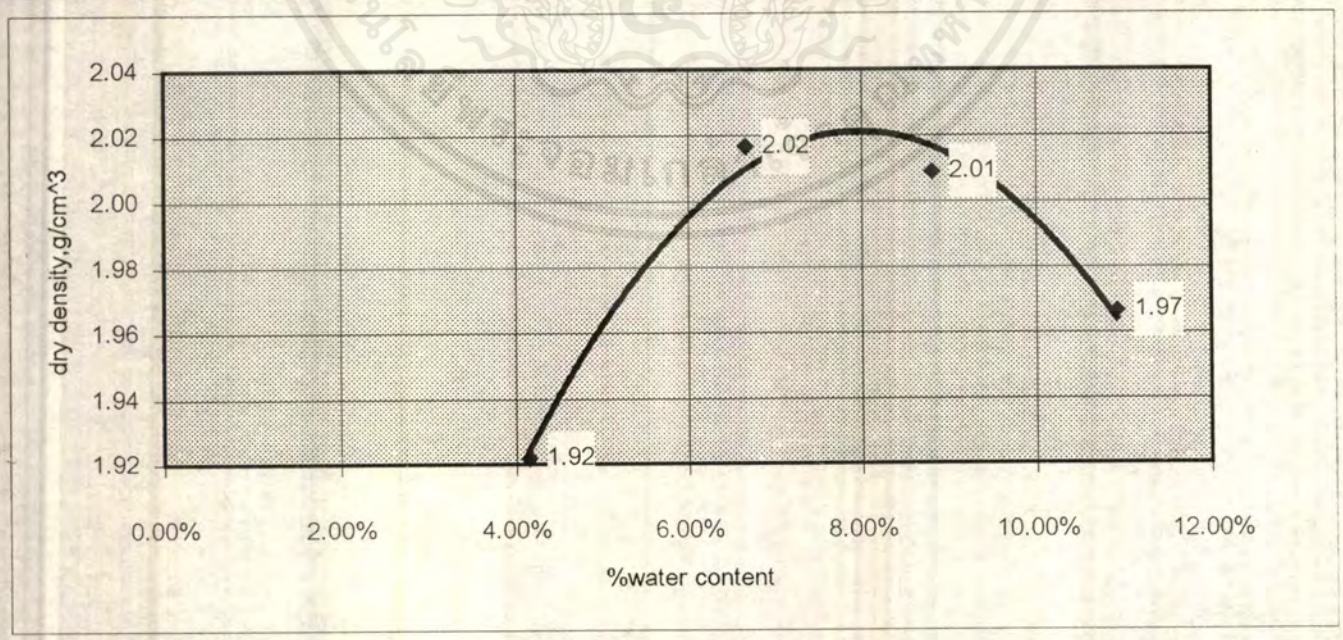
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI	SAMPLE NO	2/3
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 12% fly ash	DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,142.92 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

TRIAL NO.		1	2	3	4	5	6	7
WET SOIL + CAN ,	gm.	155.00	162.30	172.50	169.50			
DRY SOIL + CAN ,	gm.	149.80	153.70	160.50	155.20			
WEIGHT OF CAN	gm.	24.40	24.50	24.30	24.20			
WEIGHT OF WATER	gm.	5.20	8.60	12.00	14.30			
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	125.40	129.20	136.20	131.00			
% WATER CONTENT		4.15%	6.66%	8.81%	10.92%			

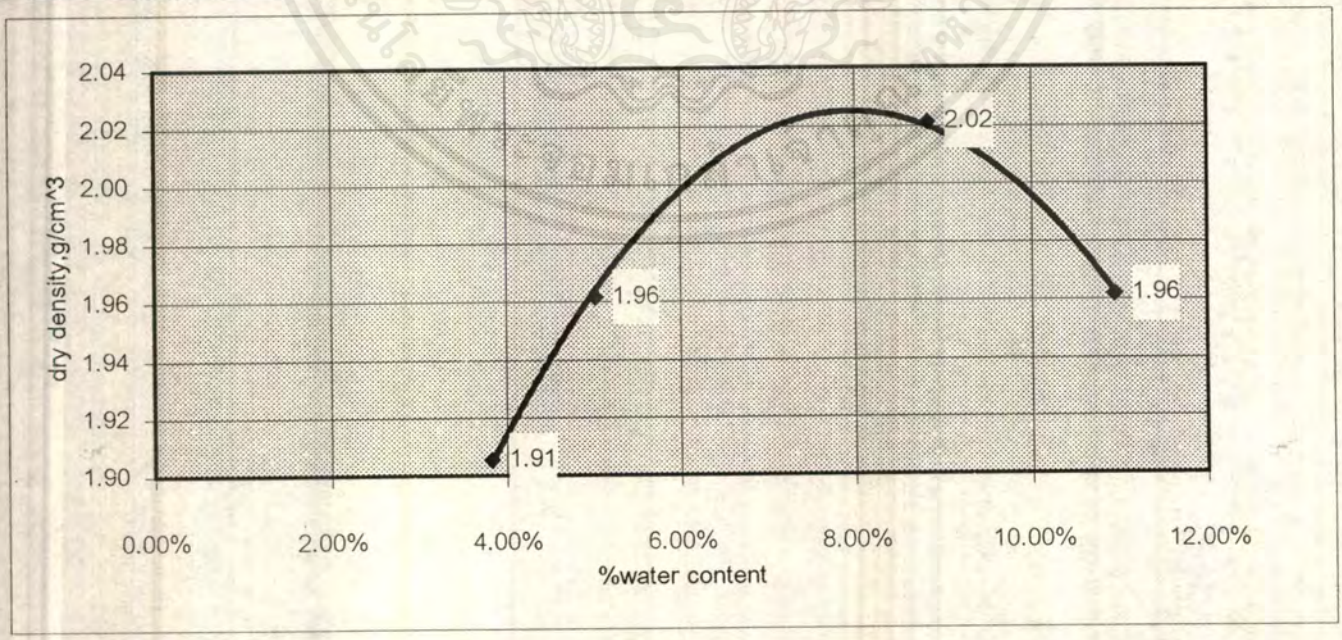
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	10,800.00	11,120.00	11,195.00	11,185.00			
WT. OF MOLD	gm.	6,511.00	6,511.00	6,511.00	6,511.00			
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,289.00	4,609.00	4,684.00	4,674.00			
WET DENSITY	gm./cm^3	2.00	2.15	2.19	2.18			
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.92	2.02	2.01	1.97			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			COMPACTION TEST				
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก				JOB NO.		
LOCATION CHONBURI					SAMPLE NO 3/3		
SOIL DESCRIPTION ดินลูกรัง + 12% fly ash					DEPT		
TEST BY วินัย ,สมคเน, สมนึก					DATE		
CHECK BY วินัย ,สมคเน, สมนึก					DATE		
TYPE OF COMPACTION MODIFIED PROCTOR			MOLD VOLUME 2,142.92 CM^3				
WATER CONTENT DETERMINATION							
TRIAL NO.	1	2	3	4	5	6	7
WET SOIL + CAN , gm.	155.00	158.50	156.00	162.30			
DRY SOIL + CAN , gm.	150.20	152.10	145.30	148.70			
WEIGHT OF CAN gm.	24.60	24.50	24.20	24.40			
WEIGHT OF WATER gm.	4.80	6.40	10.70	13.60			
WEIGHT OF DRY SOIL gm.	125.60	127.60	121.10	124.30			
% WATER CONTENT	3.82%	5.02%	8.84%	10.94%			
DENSITY DETERMINATION							
WT. OF SOIL+MOLD gm.	10,750.00	10,925.00	11,225.00	11,175.00			
WT. OF MOLD gm.	6,511.00	6,511.00	6,511.00	6,511.00			
WT. OF SOIL IN MOLD gm.	4,239.00	4,414.00	4,714.00	4,664.00			
WET DENSITY gm./cm^3	1.98	2.06	2.20	2.18			
DRY DENSITY gm./cm^3	1.91	1.96	2.02	1.96			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	COMPACTION TEST

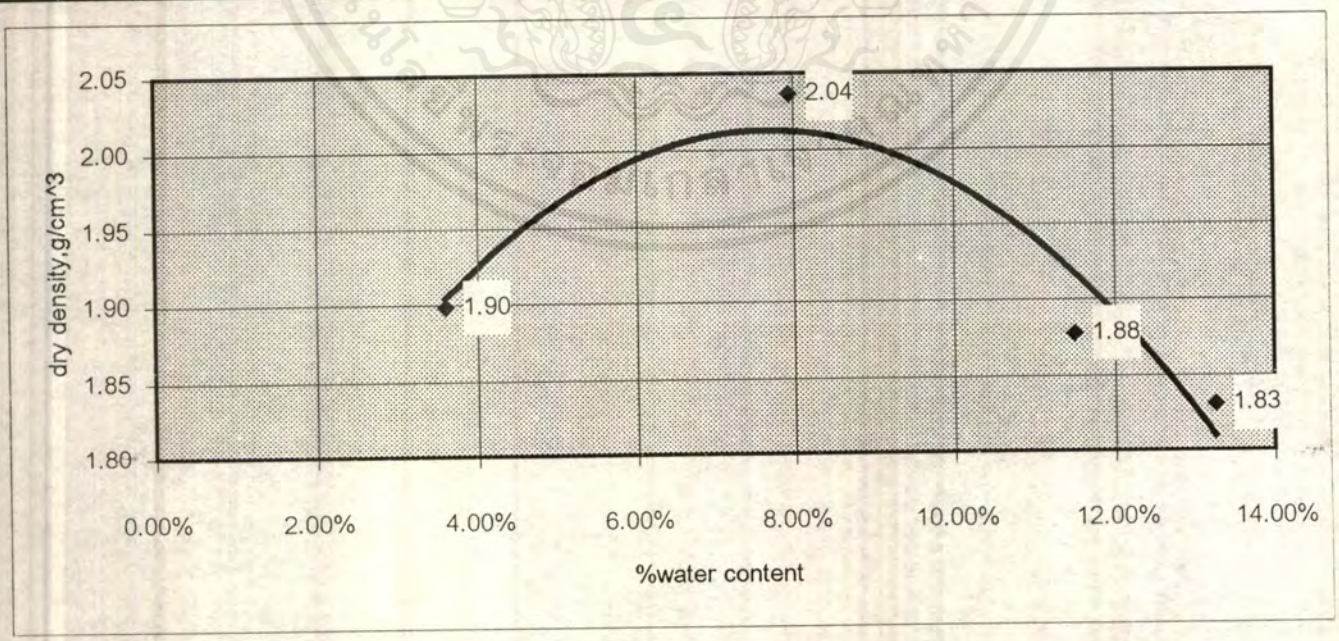
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI	SAMPLE NO	1/3
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 15% fly ash	DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,142.92 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

TRIAL NO.		1	2	3	4	5	6	7
WET SOIL + CAN ,	gm.	139.60	142.50	86.30	96.20			
DRY SOIL + CAN ,	gm.	135.60	133.80	79.00	86.80			
WEIGHT OF CAN	gm.	24.40	24.20	15.50	15.90			
WEIGHT OF WATER	gm.	4.00	8.70	7.30	9.40			
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	111.20	109.60	63.50	70.90			
% WATER CONTENT		3.60%	7.94%	11.50%	13.26%			

DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	10,095.00	10,591.00	10,367.00	10,325.00			
WT. OF MOLD	gm.	5,881.00	5,881.00	5,881.00	5,881.00			
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,214.00	4,710.00	4,486.00	4,444.00			
WET DENSITY	gm./cm^3	1.97	2.20	2.09	2.07			
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.90	2.04	1.88	1.83			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

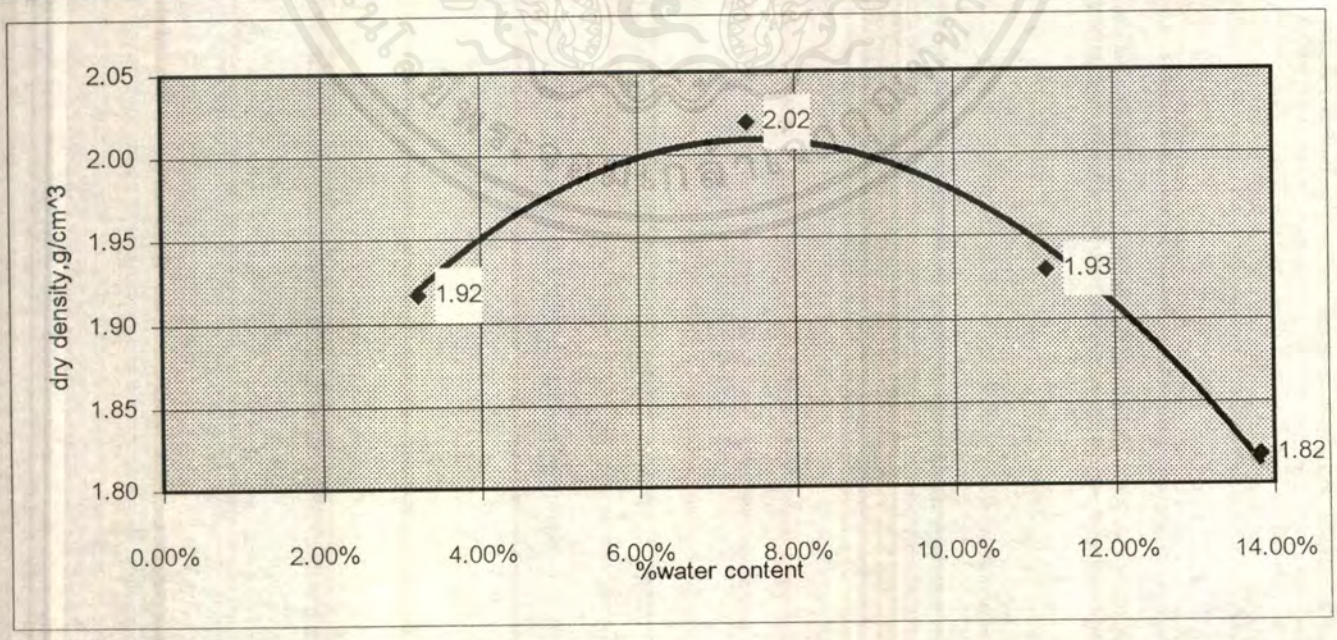
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		COMPACTION TEST	
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION CHONBURI		SAMPLE NO	2/3
SOIL DESCRIPTION ดินลูกรัง + 15% fly ash		DEPT	
TEST BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE	
CHECK BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,142.92 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

TRIAL NO.		1	2	3	4	5	6	7
WET SOIL + CAN ,	gm.	160.00	172.50	154.00	165.00			
DRY SOIL + CAN ,	gm.	155.80	162.30	141.00	147.90			
WEIGHT OF CAN	gm.	24.50	24.30	24.30	24.20			
WEIGHT OF WATER	gm.	4.20	10.20	13.00	17.10			
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	131.30	138.00	116.70	123.70			
% WATER CONTENT		3.20%	7.39%	11.14%	13.82%			

DENSITY DETERMINATION

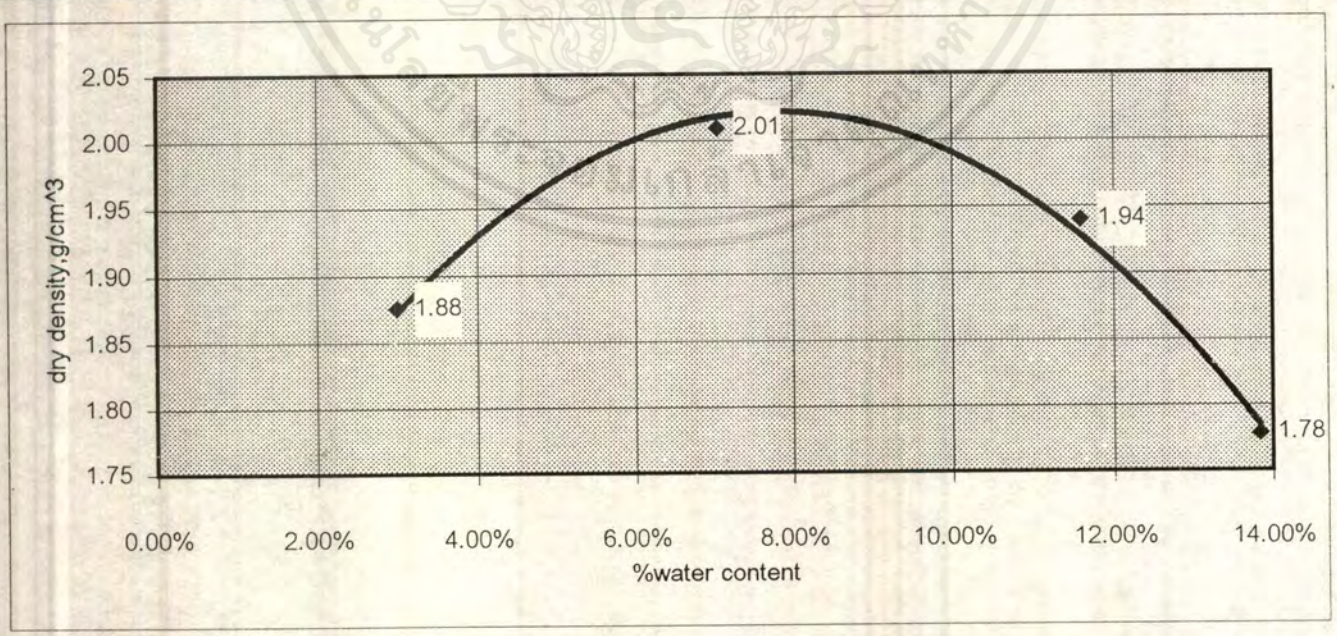
WT. OF SOIL+MOLD	gm.	10,120.00	10,528.00	10,476.00	10,315.00			
WT. OF MOLD	gm.	5,881.00	5,881.00	5,881.00	5,881.00			
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,239.00	4,647.00	4,595.00	4,434.00			
WET DENSITY	gm./cm^3	1.98	2.17	2.14	2.07			
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.92	2.02	1.93	1.82			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

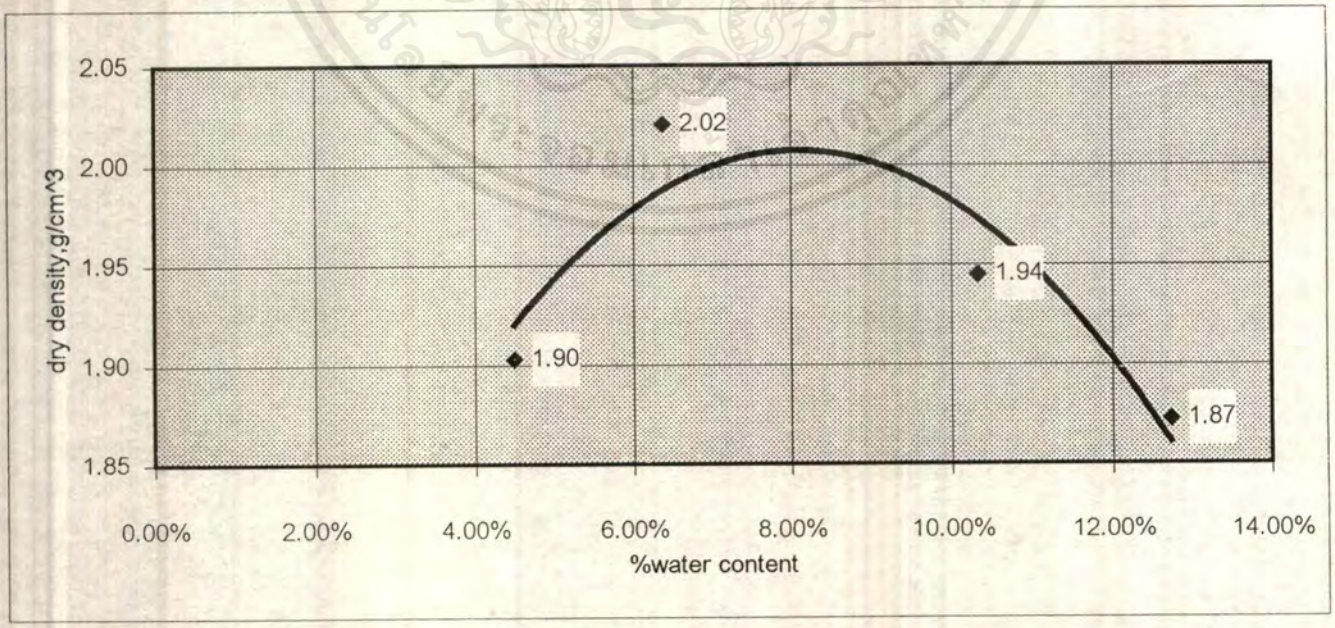
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			COMPACTION TEST	
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก		JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI		SAMPLE NO	3/3
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 15% fly ash		DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,142.92	CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION								
TRIAL NO.		1	2	3	4	5	6	7
WET SOIL + CAN ,	gm.	145.00	162.80	155.20	158.30			
DRY SOIL + CAN ,	gm.	141.50	153.70	141.60	142.00			
WEIGHT OF CAN	gm.	24.40	24.50	24.20	24.20			
WEIGHT OF WATER	gm.	3.50	9.10	13.60	16.30			
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	117.10	129.20	117.40	117.80			
% WATER CONTENT		2.99%	7.04%	11.58%	13.84%			
DENSITY DETERMINATION								
WT. OF SOIL+MOLD	gm.	10,650.00	11,120.00	11,150.00	10,850.00			
WT. OF MOLD	gm.	6,511.00	6,511.00	6,511.00	6,511.00			
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,139.00	4,609.00	4,639.00	4,339.00			
WET DENSITY	gm./cm^3	1.93	2.15	2.16	2.02			
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.88	2.01	1.94	1.78			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG			COMPACTION TEST				
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก				JOB NO.		
LOCATION CHONBURI					SAMPLE NO 1/3		
SOIL DESCRIPTION ดินลูกรัง + 20% fly ash					DEPT		
TEST BY วินัย ,สมคเน, สมนึก					DATE		
CHECK BY วินัย ,สมคเน, สมนึก					DATE		
TYPE OF COMPACTION MODIFIED PROCTOR			MOLD VOLUME 2,142.92 CM^3				
WATER CONTENT DETERMINATION							
TRIAL NO.	1	2	3	4	5	6	7
WET SOIL + CAN , gm.	143.00	124.60	131.20	115.30			
DRY SOIL + CAN , gm.	137.90	118.60	121.20	105.00			
WEIGHT OF CAN gm.	24.40	24.50	24.30	24.10			
WEIGHT OF WATER gm.	5.10	6.00	10.00	10.30			
WEIGHT OF DRY SOIL gm.	113.50	94.10	96.90	80.90			
% WATER CONTENT	4.49%	6.38%	10.32%	12.73%			
DENSITY DETERMINATION							
WT. OF SOIL+MOLD gm.	10,790.00	11,135.00	11,127.00	11,053.00			
WT. OF MOLD gm.	6,529.00	6,529.00	6,529.00	6,529.00			
WT. OF SOIL IN MOLD gm.	4,261.00	4,606.00	4,598.00	4,524.00			
WET DENSITY gm./cm^3	1.99	2.15	2.15	2.11			
DRY DENSITY gm./cm^3	1.90	2.02	1.94	1.87			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

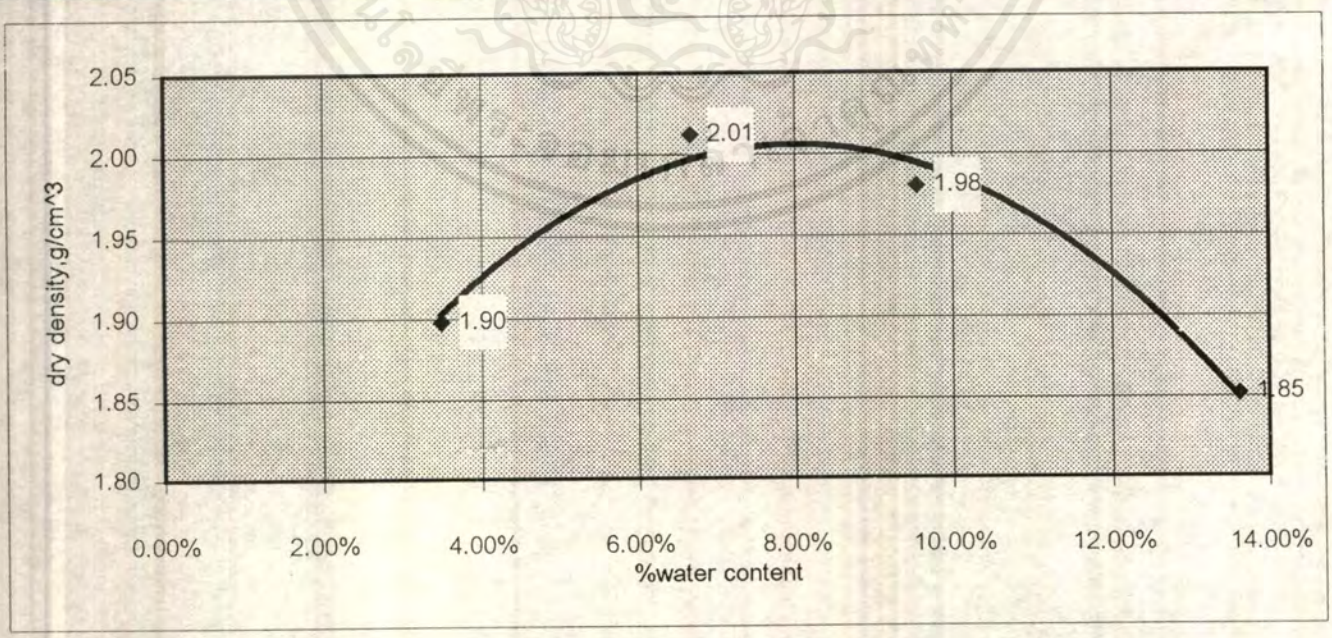
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		COMPACTION TEST
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.
LOCATION CHONBURI		SAMPLE NO 2/3
SOIL DESCRIPTION ดินลูกรัง + 20% fly ash		DEPT
TEST BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME 2,142.92	CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

TRIAL NO.		1	2	3	4	5	6	7
WET SOIL + CAN ,	gm.	158.00	165.00	155.00	148.00			
DRY SOIL + CAN ,	gm.	153.50	156.20	143.60	133.20			
WEIGHT OF CAN	gm.	24.40	24.30	24.20	24.50			
WEIGHT OF WATER	gm.	4.50	8.80	11.40	14.80			
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	129.10	131.90	119.40	108.70			
% WATER CONTENT		3.49%	6.67%	9.55%	13.62%			

DENSITY DETERMINATION

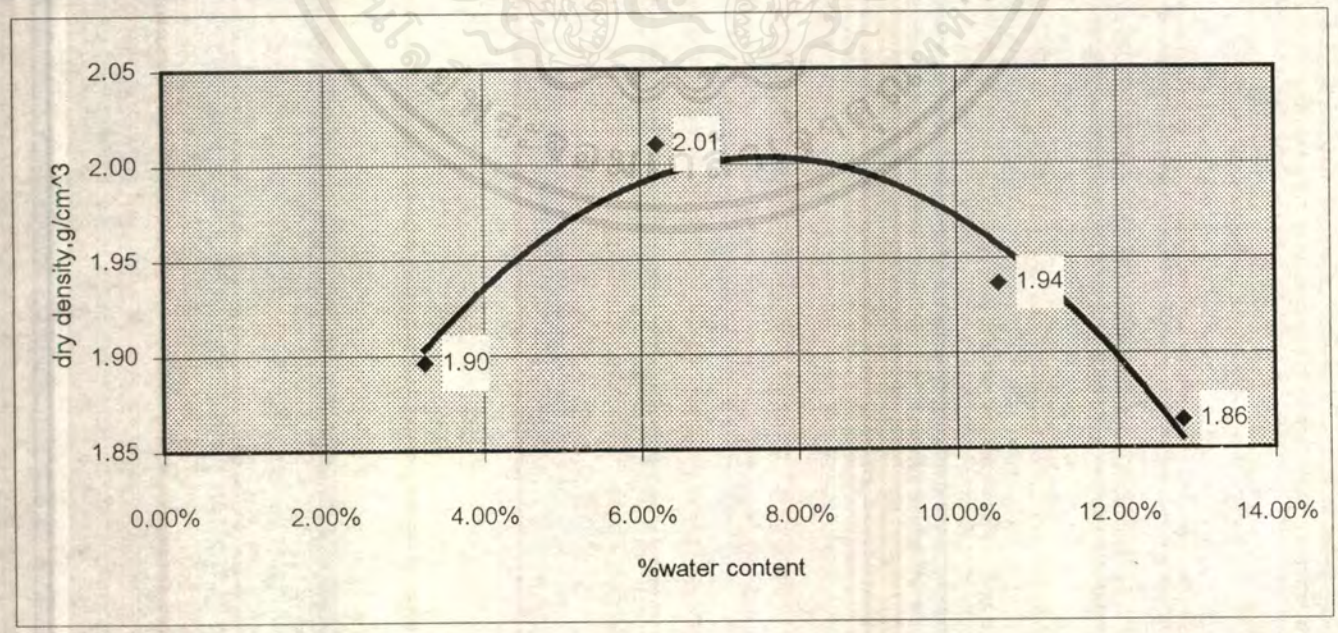
WT. OF SOIL+MOLD	gm.	10,725.00	11,115.00	11,165.00	11,025.00			
WT. OF MOLD	gm.	6,516.00	6,516.00	6,516.00	6,516.00			
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,209.00	4,599.00	4,649.00	4,509.00			
WET DENSITY	gm./cm^3	1.96	2.15	2.17	2.10			
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.90	2.01	1.98	1.85			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		COMPACTION TEST	
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI	SAMPLE NO	3/3
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 20% fly ash	DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,142.92 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION								
TRIAL NO.		1	2	3	4	5	6	7
WET SOIL + CAN ,	gm.	145.00	158.00	165.00	154.60			
DRY SOIL + CAN ,	gm.	141.20	150.20	151.60	139.80			
WEIGHT OF CAN	gm.	24.50	24.50	24.20	24.40			
WEIGHT OF WATER	gm.	3.80	7.80	13.40	14.80			
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	116.70	125.70	127.40	115.40			
% WATER CONTENT		3.26%	6.21%	10.52%	12.82%			
DENSITY DETERMINATION								
WT. OF SOIL+MOLD	gm.	10,724.00	11,105.00	11,115.00	11,038.00			
WT. OF MOLD	gm.	6,529.00	6,529.00	6,529.00	6,529.00			
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,195.00	4,576.00	4,586.00	4,509.00			
WET DENSITY	gm./cm^3	1.96	2.14	2.14	2.10			
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.90	2.01	1.94	1.86			



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก		JOB NO.
LOCATION	CHONBURI		SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 0% fly ash CURING	0 days	DEPT
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME 2,316.67	CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

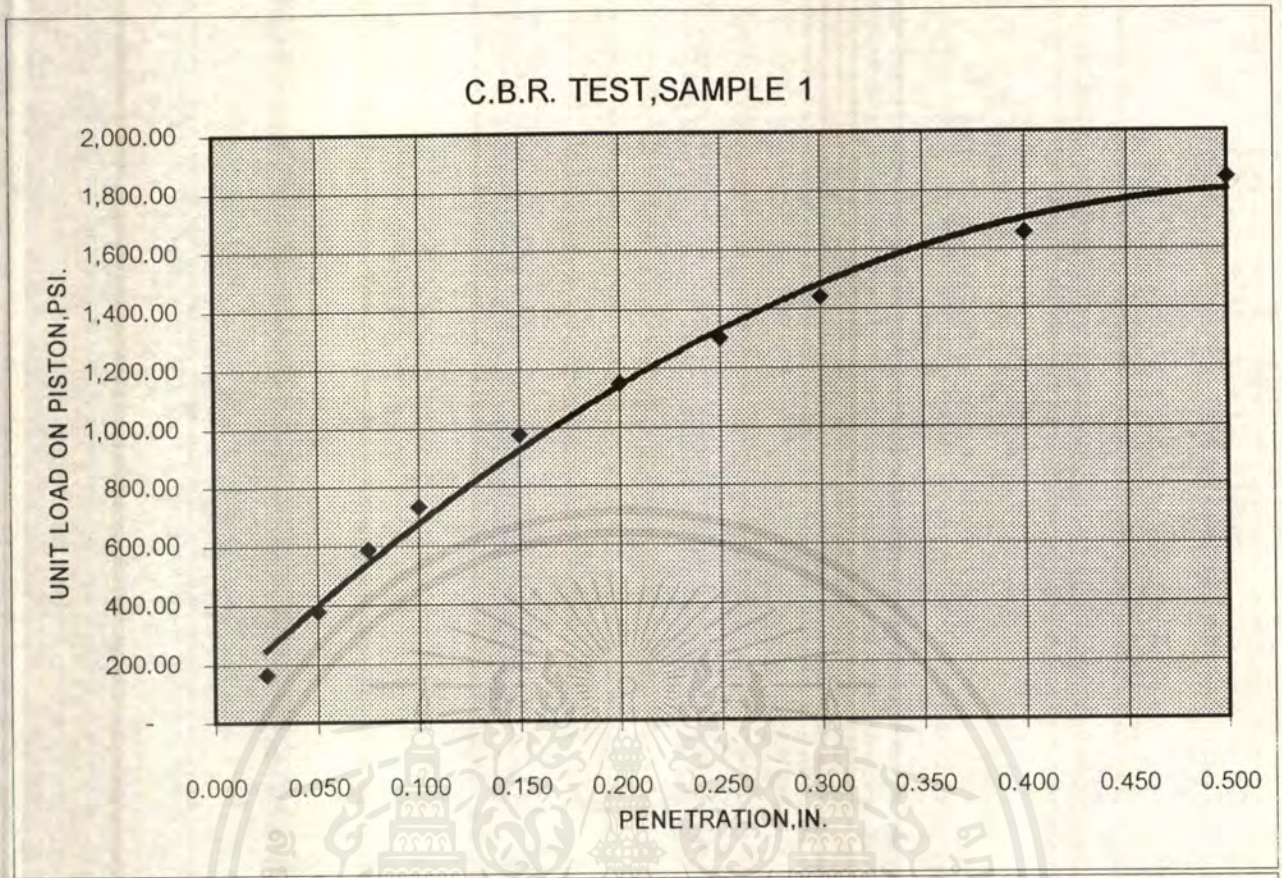
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	158.30	169.00	150.10				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	148.30	156.90	140.20				
WEIGHT OF CAN	gm.	23.90	24.50	24.30				
WEIGHT OF WATER	gm.	10.00	12.10	9.90				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	124.40	132.40	115.90				
% WATER CONTENT		8.04%	9.14%	8.54%				

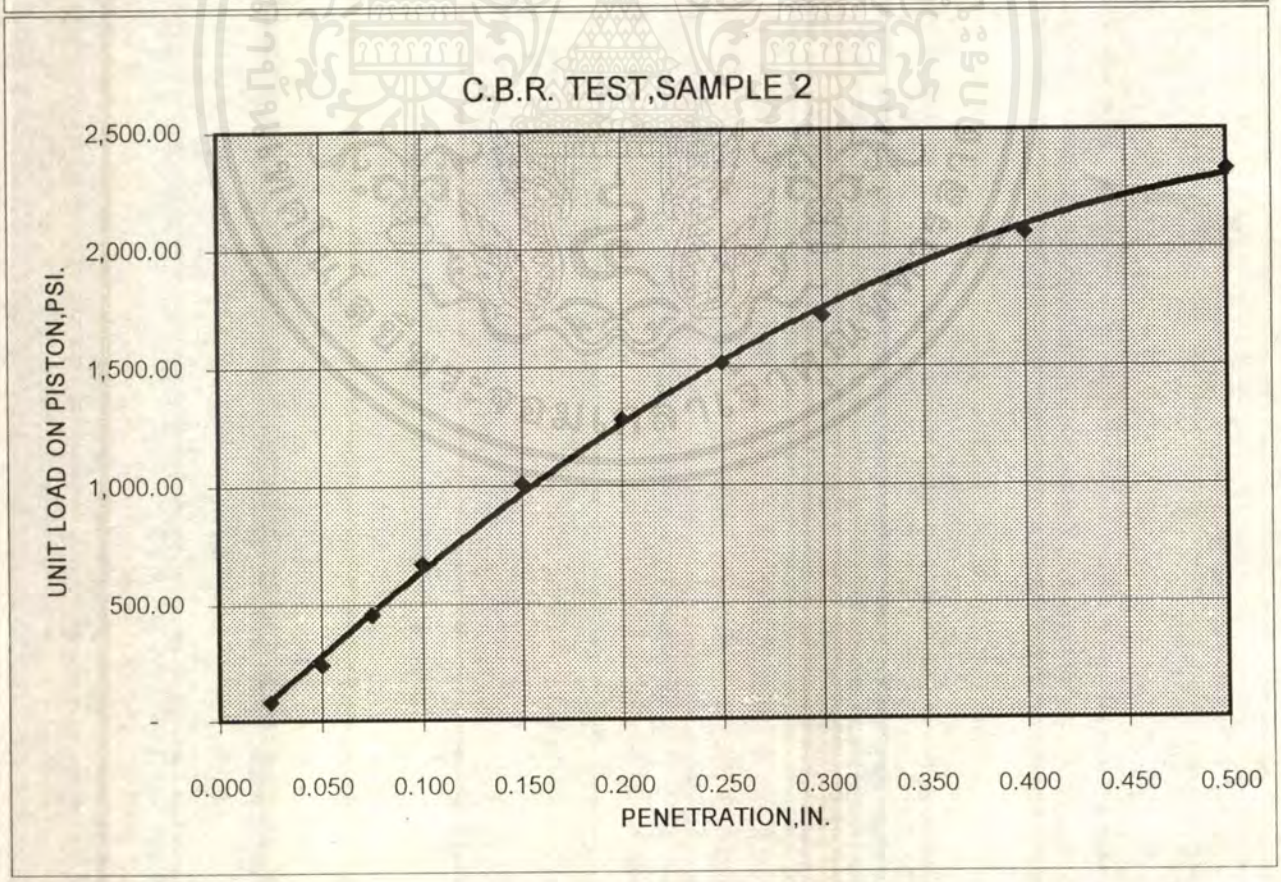
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,156.00	9,141.00	9,247.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,204.00	4,091.00	4,091.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,952.00	5,050.00	5,156.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.14	2.18	2.23				
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.98	2.00	2.05				

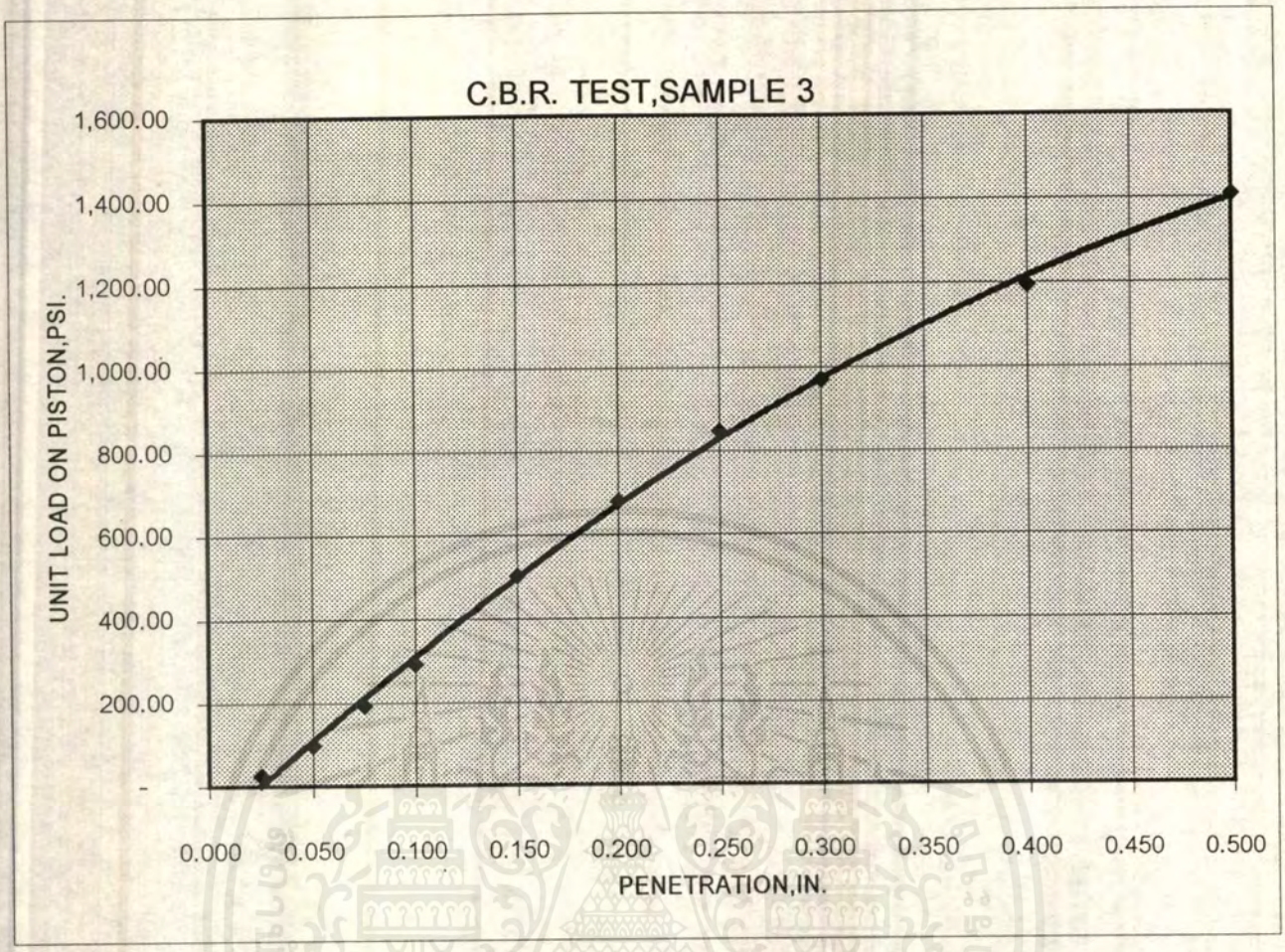
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	492.31	164.10	242.37	80.79	75.74	25.25	
0.050	in.	1,136.10	378.70	727.10	242.37	287.81	95.94	
0.075	in.	1,764.74	588.25	1,363.32	454.44	575.62	191.87	
0.100	in.	2,196.46	732.15	2,007.11	669.04	878.58	292.86	
0.150	in.	2,931.14	977.05	3,029.60	1,009.87	1,507.23	502.41	
0.200	in.	3,446.17	1,148.72	3,840.02	1,280.01	2,037.41	679.14	
0.250	in.	3,900.61	1,300.20	4,536.83	1,512.28	2,537.29	845.76	
0.300	in.	4,317.18	1,439.06	5,142.75	1,714.25	2,908.42	969.47	
0.400	in.	4,968.54	1,656.18	6,195.53	2,065.18	3,582.50	1,194.17	
0.500	in.	5,529.02	1,843.01	6,998.38	2,332.79	4,218.72	1,406.24	
%C.B.R.			76.67		86.60		46.70	69.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI	SAMPLE NO.	
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 5% fly ash CURING 0 days	DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,316.67 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

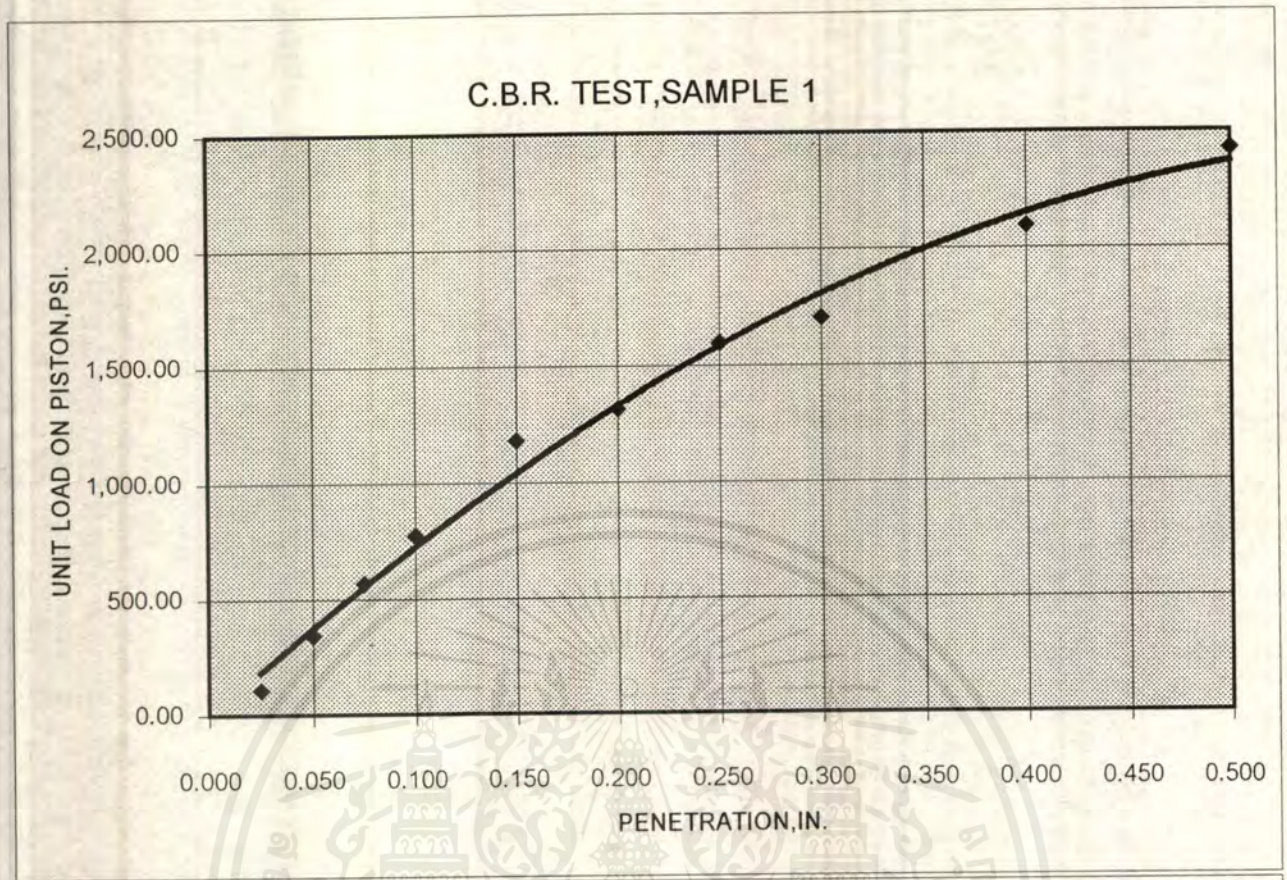
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	161.00	159.20	165.50				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	151.70	150.90	154.80				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.40	24.40	24.50				
WEIGHT OF WATER	gm.	9.30	8.30	10.70				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	127.30	126.50	130.30				
% WATER CONTENT		7.31%	6.56%	8.21%				

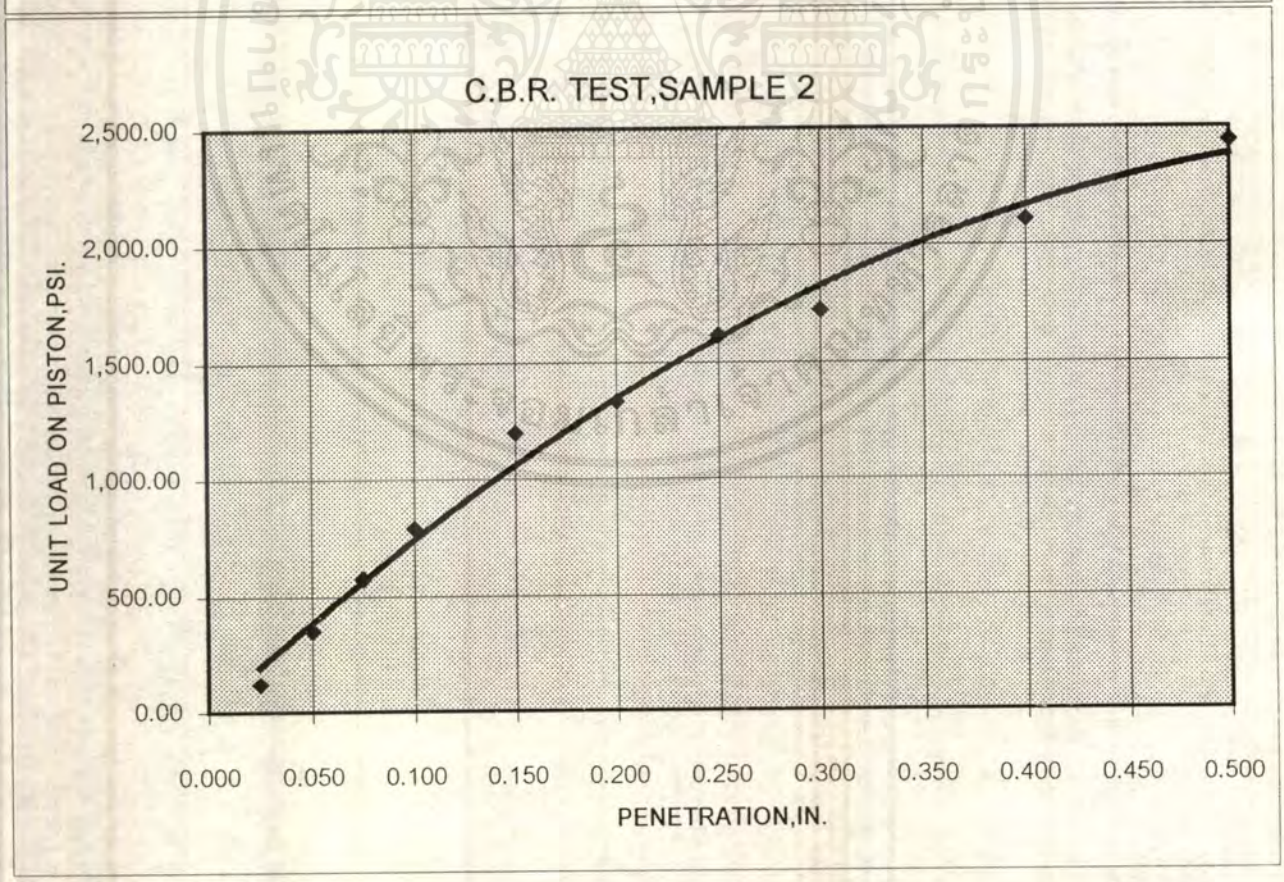
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,058.00	9,029.00	9,050.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,090.00	4,081.00	4,082.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,968.00	4,948.00	4,968.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.14	2.14	2.14				
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.00	2.00	1.98				

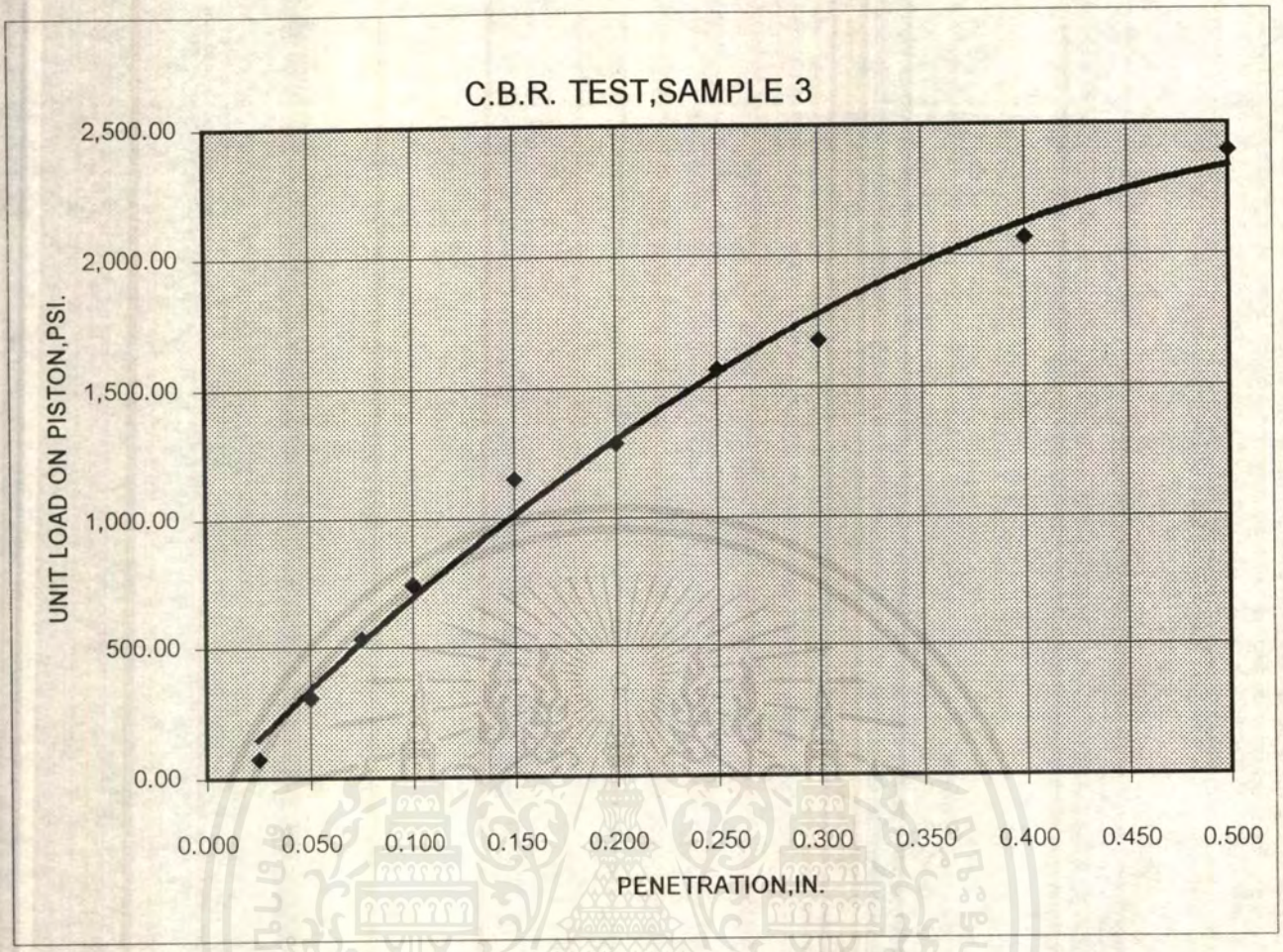
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	318.11	106.04	363.55	121.18	227.22	75.74	
0.050	in.	1,022.49	340.83	1,052.79	350.93	924.03	308.01	
0.075	in.	1,696.58	565.53	1,726.87	575.62	1,598.11	532.70	
0.100	in.	2,317.64	772.55	2,363.09	787.70	2,226.76	742.25	
0.150	in.	3,544.63	1,181.54	3,597.65	1,199.22	3,457.53	1,152.51	
0.200	in.	3,938.48	1,312.83	3,999.07	1,333.02	3,855.17	1,285.06	
0.250	in.	4,786.77	1,595.59	4,839.79	1,613.26	4,699.67	1,566.56	
0.300	in.	5,104.88	1,701.63	5,165.47	1,721.82	5,021.56	1,673.85	
0.400	in.	6,286.42	2,095.47	6,324.29	2,108.10	6,191.75	2,063.92	
0.500	in.	7,271.04	2,423.68	7,324.06	2,441.35	7,183.94	2,394.65	
%C.B.R.			89.00		92.20		90.20	90.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก		JOB NO.
LOCATION	CHONBURI		SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 5% fly ash CURING	3 days	DEPT
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME 2,316.67	CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

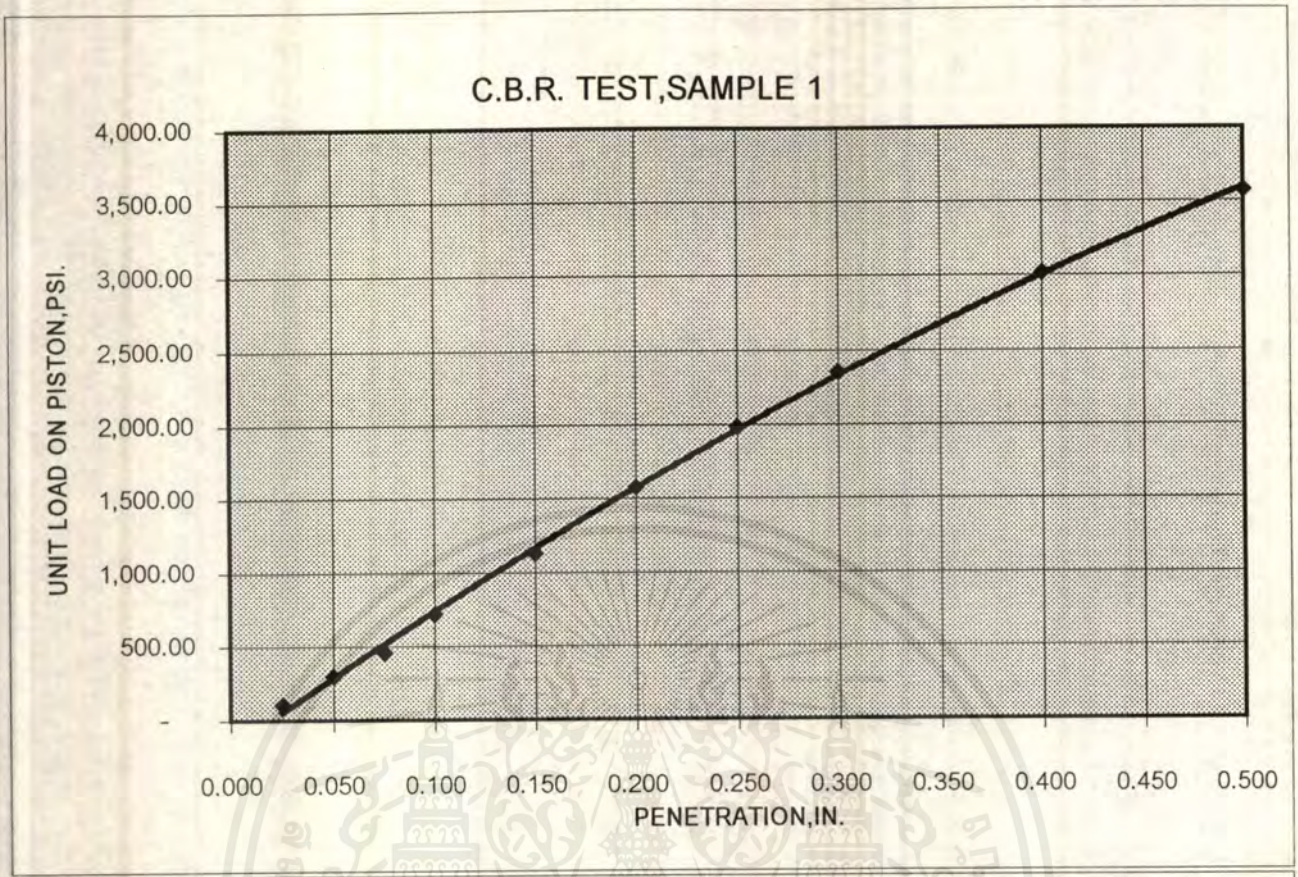
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	126.50	128.10	129.70				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	118.45	120.00	122.00				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.30	24.30	24.30				
WEIGHT OF WATER	gm.	8.05	8.10	7.70				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	94.15	95.70	97.70				
% WATER CONTENT		8.55%	8.46%	7.88%				

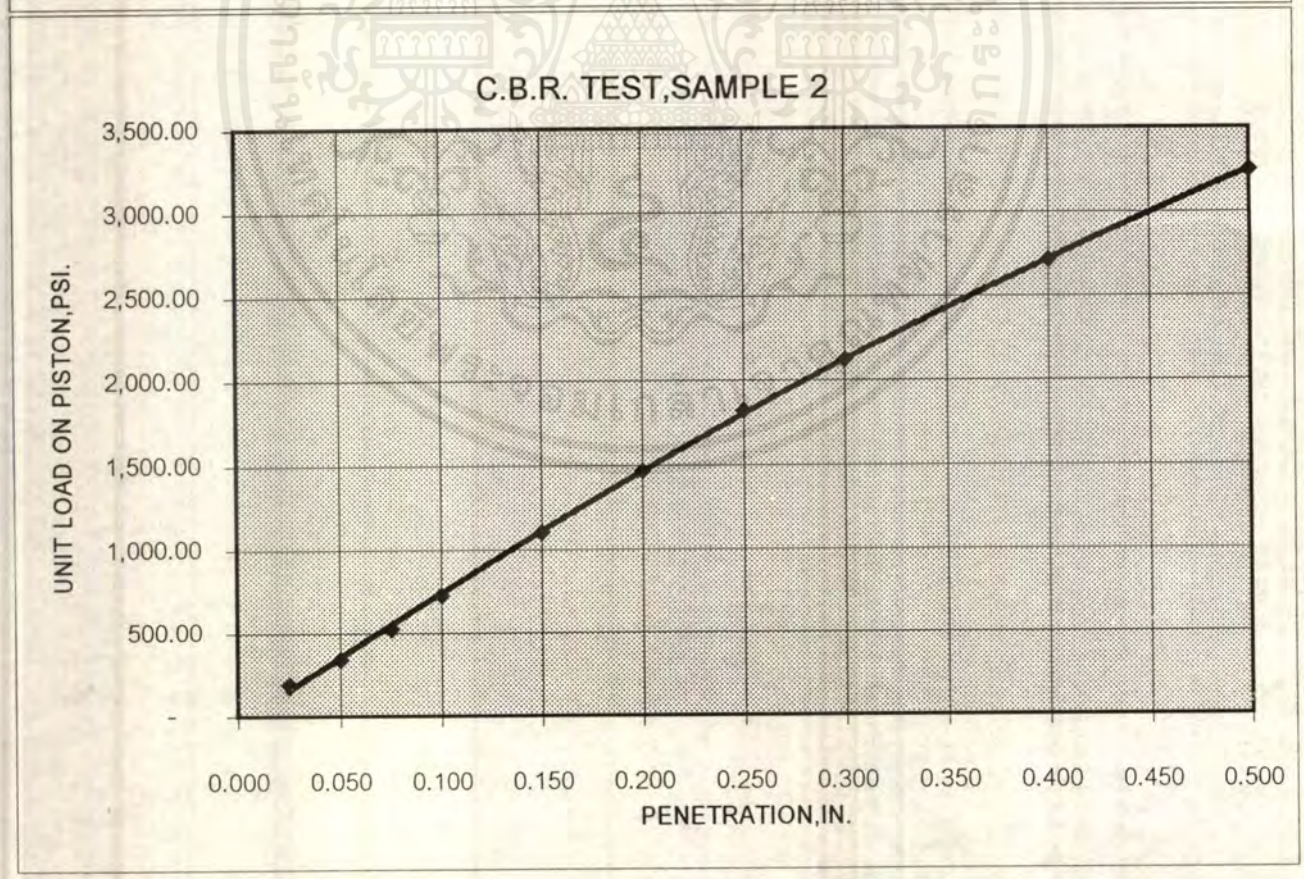
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,332.00	9,350.00	9,375.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,090.00	4,081.00	4,082.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	5,242.00	5,269.00	5,293.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.26	2.27	2.28				
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.08	2.10	2.12				

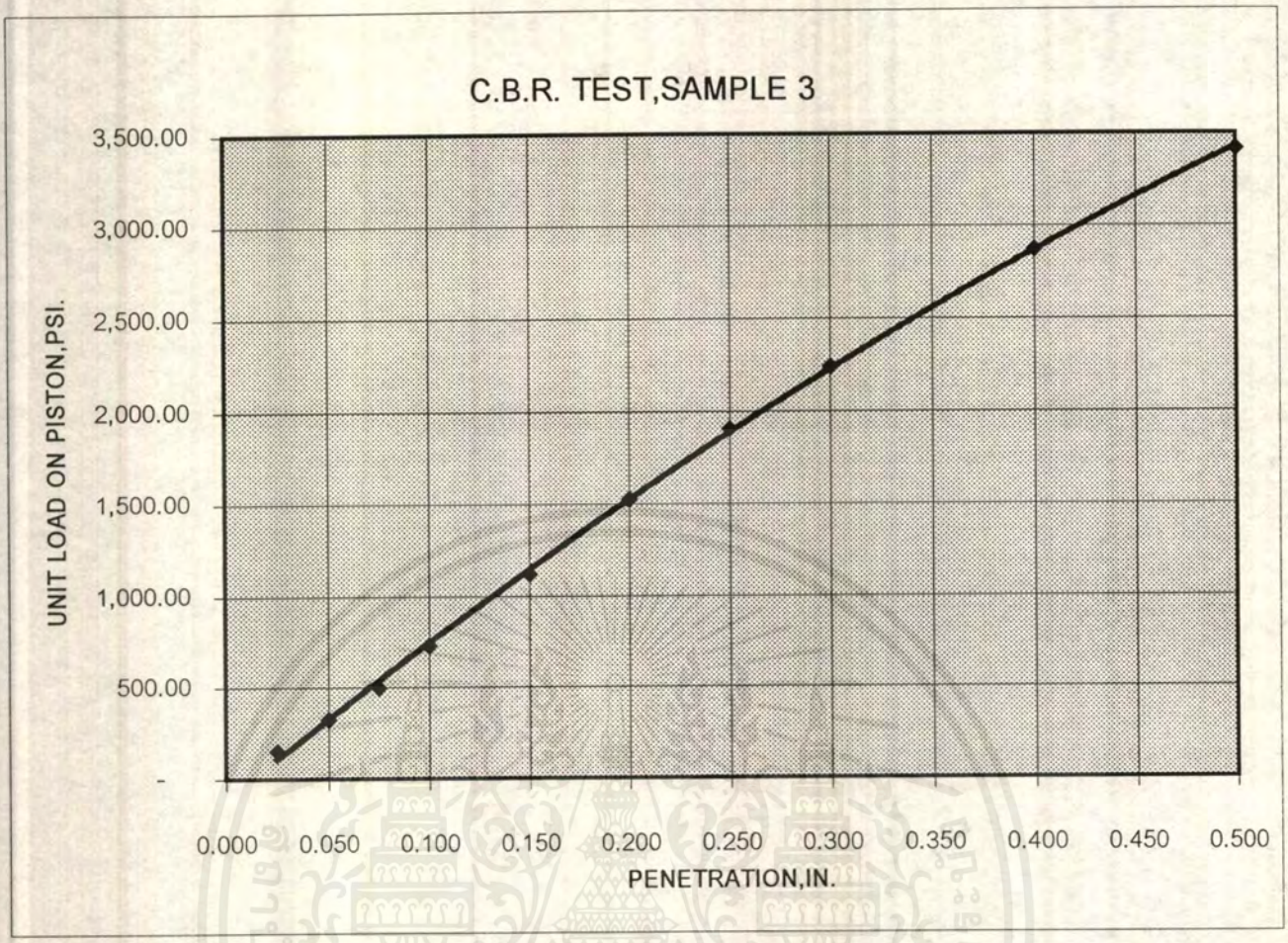
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	318.11	106.04	560.48	186.83	458.23	152.74	
0.050	in.	886.16	295.39	1,022.49	340.83	973.26	324.42	
0.075	in.	1,370.89	456.96	1,567.82	522.61	1,488.29	496.10	
0.100	in.	2,143.44	714.48	2,173.74	724.58	2,177.53	725.84	
0.150	in.	3,378.00	1,126.00	3,294.69	1,098.23	3,355.28	1,118.43	
0.200	in.	4,718.60	1,572.87	4,392.92	1,464.31	4,574.70	1,524.90	
0.250	in.	5,938.02	1,979.34	5,453.28	1,817.76	5,714.58	1,904.86	
0.300	in.	7,051.39	2,350.46	6,362.16	2,120.72	6,725.71	2,241.90	
0.400	in.	9,043.36	3,014.45	8,142.05	2,714.02	8,611.64	2,870.55	
0.500	in.	10,717.21	3,572.40	9,740.16	3,246.72	10,247.62	3,415.87	
%C.B.R.			117.50		103.00		108.30	109.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI	SAMPLE NO.	
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 5% fly ash CURING 7 days	DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,316.67 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

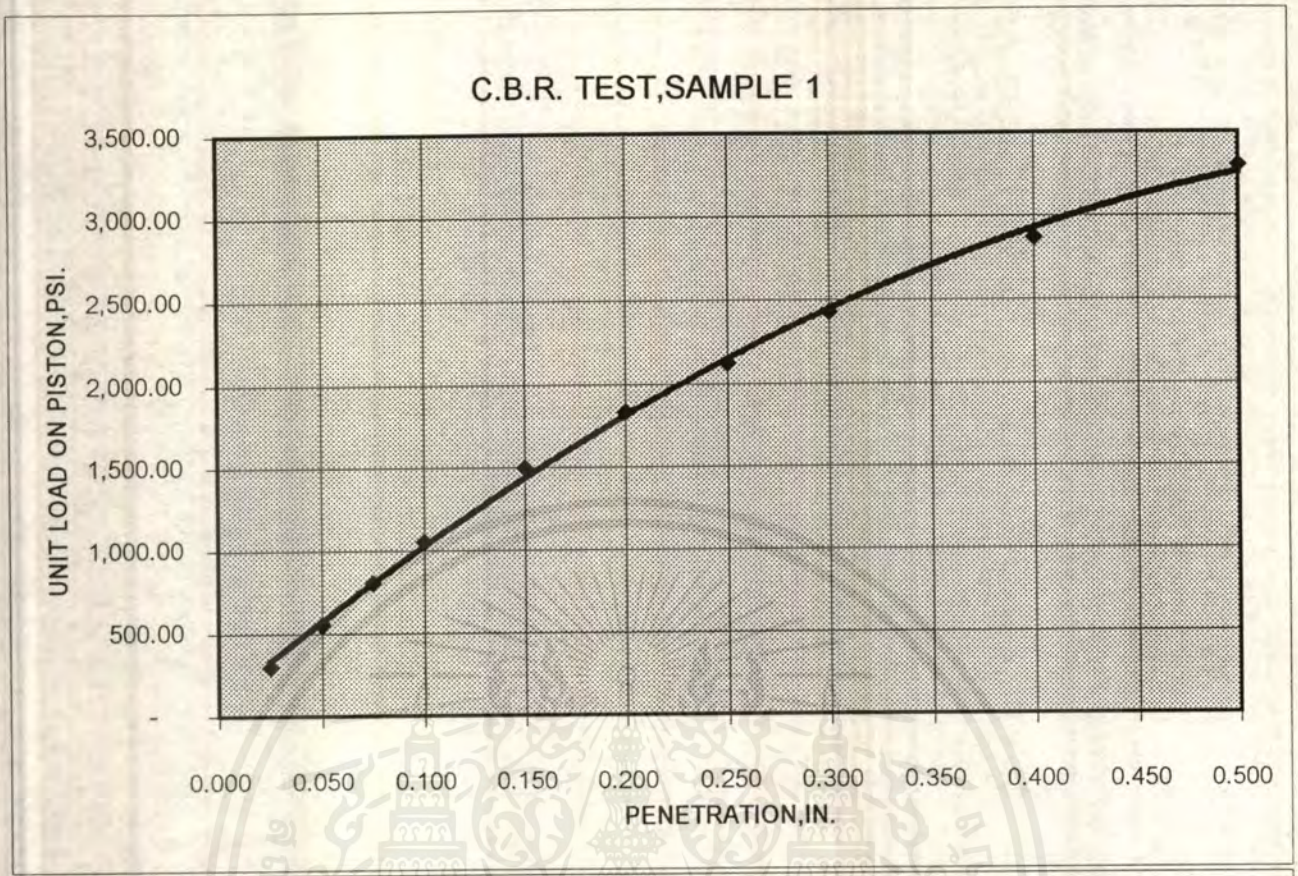
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	160.00	155.00	145.00				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	149.70	145.80	136.50				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.10	24.00	24.00				
WEIGHT OF WATER	gm.	10.30	9.20	8.50				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	125.60	121.80	112.50				
% WATER CONTENT		8.20%	7.55%	7.56%				

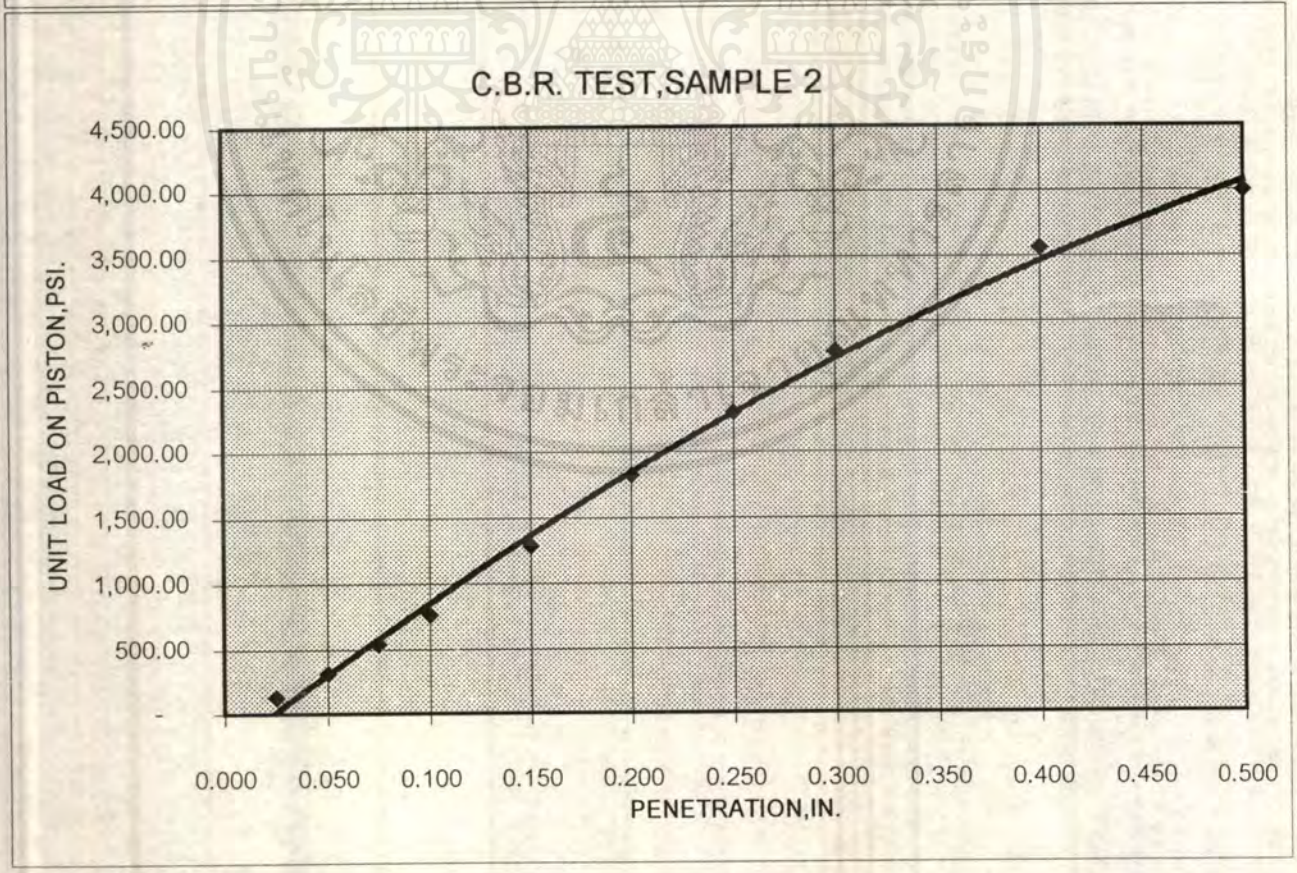
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,027.00	9,058.00	9,148.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,090.00	4,081.00	4,082.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,937.00	4,977.00	5,066.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.13	2.15	2.19				
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.97	2.00	2.03				

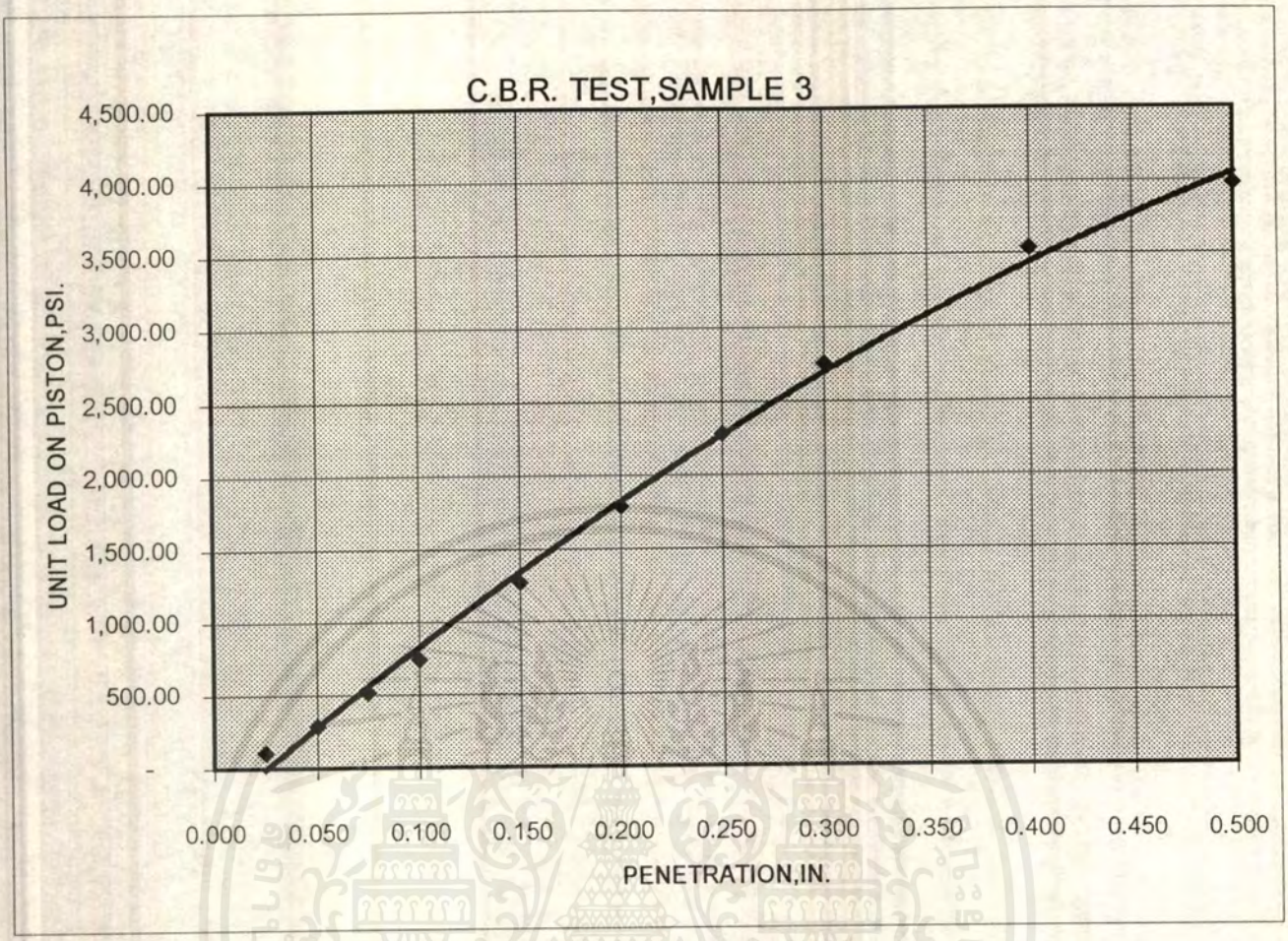
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	891.31	297.10	375.85	125.28	310.53	103.51	
0.050	in.	1,660.00	553.33	920.56	306.85	855.86	285.29	
0.075	in.	2,405.87	801.96	1,608.75	536.25	1,537.52	512.51	
0.100	in.	3,150.88	1,050.29	2,290.00	763.33	2,226.76	742.25	
0.150	in.	4,495.80	1,498.60	3,855.78	1,285.26	3,809.72	1,269.91	
0.200	in.	5,487.98	1,829.33	5,465.00	1,821.67	5,362.39	1,787.46	
0.250	in.	6,355.80	2,118.60	6,920.38	2,306.79	6,854.47	2,284.82	
0.300	in.	7,280.00	2,426.67	8,319.75	2,773.25	8,255.66	2,751.89	
0.400	in.	8,604.25	2,868.08	10,670.50	3,556.83	10,603.60	3,534.53	
0.500	in.	9,896.79	3,298.93	11,995.85	3,998.62	11,929.05	3,976.35	
%C.B.R.			117.50		137.50		136.80	130.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI	SAMPLE NO.	
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 5% fly ash CURING 14 days	DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2316.67 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

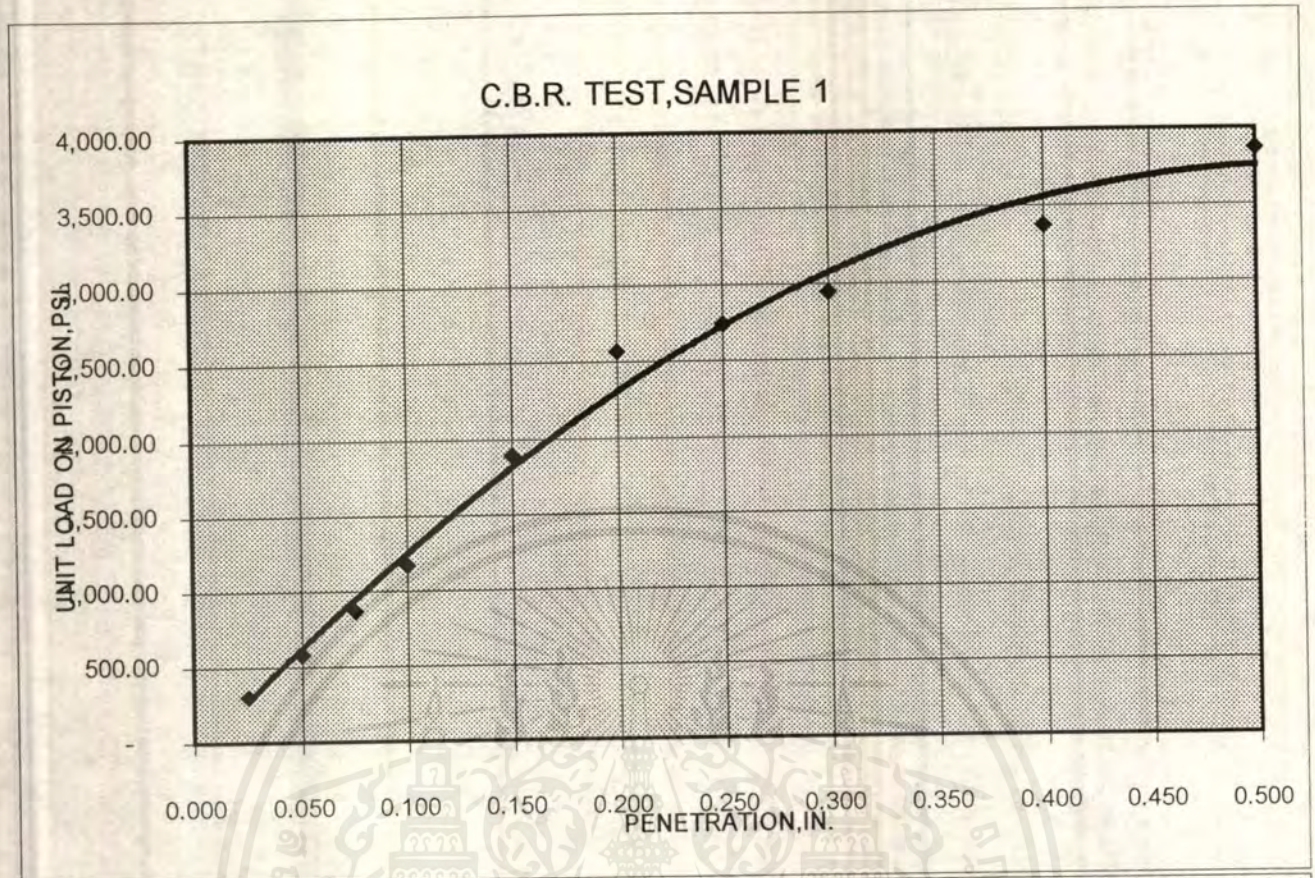
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	168.50	140.50	168.80				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	158.85	131.50	157.60				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.50	24.30	24.20				
WEIGHT OF WATER	gm.	9.65	9.00	11.20				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	134.35	107.20	133.40				
% WATER CONTENT		7.18%	8.40%	8.40%				

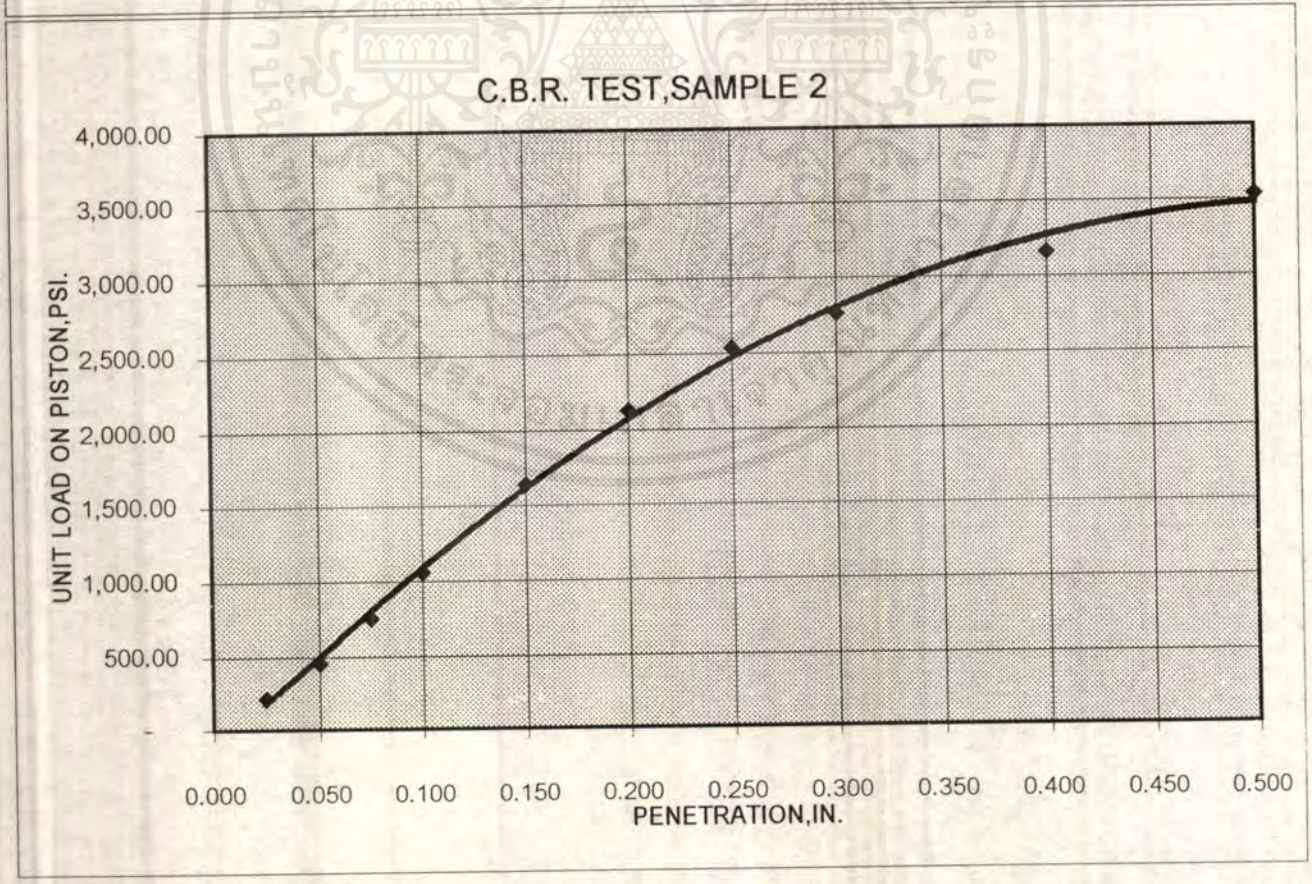
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9450.00	9215.00	9358.00				
WT. OF MOLD	gm.	4380.00	4317.00	4359.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	5070.00	4898.00	4999.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.19	2.11	2.16				
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.04	1.95	1.99				

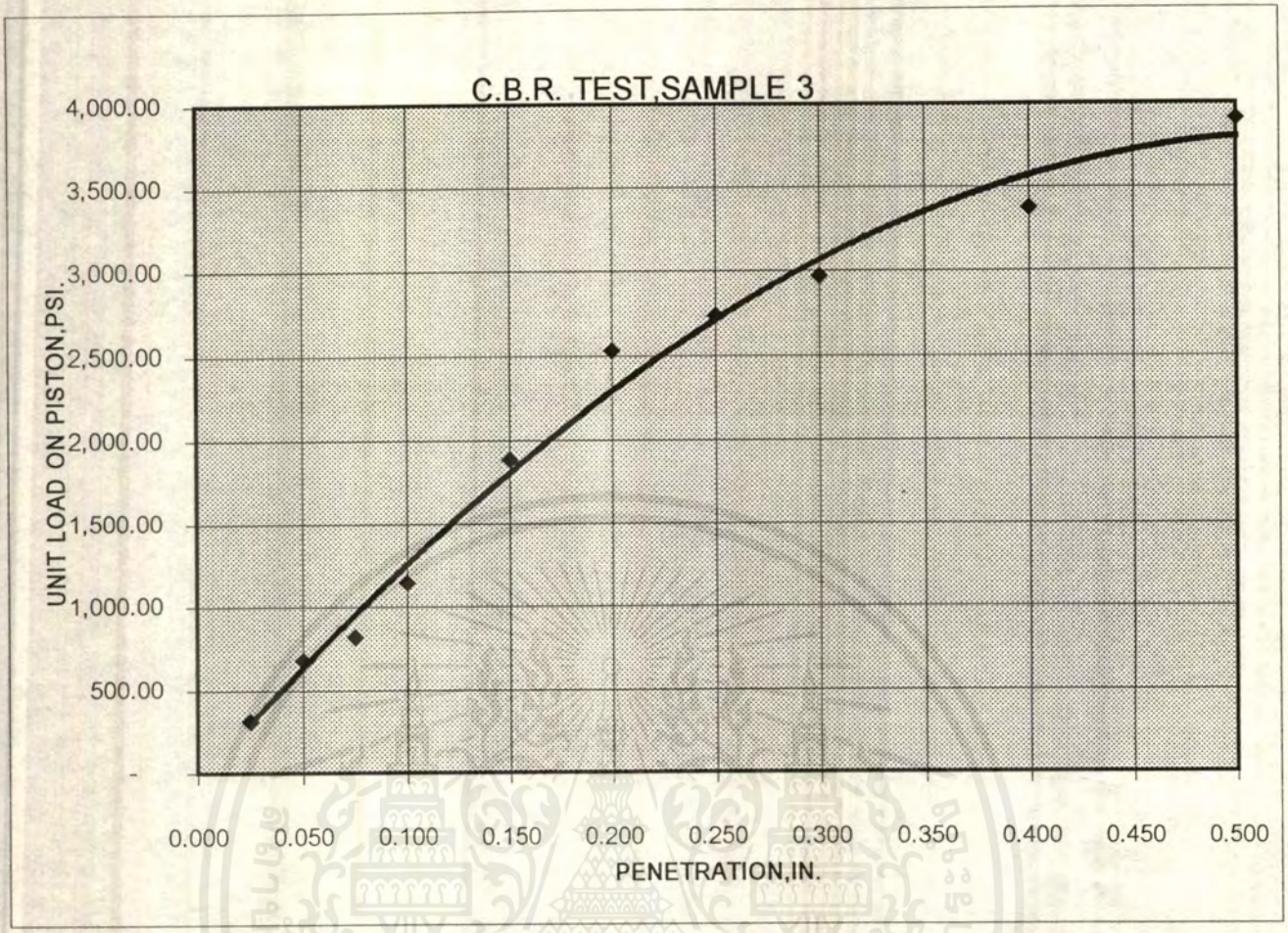
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	901.58	300.53	645.82	215.27	930.65	310.22	
0.050	in.	1,732.56	577.52	1,370.64	456.88	2,030.56	676.85	
0.075	in.	2,603.86	867.95	2,260.18	753.39	2,446.82	815.61	
0.100	in.	3,520.25	1,173.42	3,170.26	1,056.75	3,422.67	1,140.89	
0.150	in.	5,670.49	1,890.16	4,913.49	1,637.83	5,659.78	1,886.59	
0.200	in.	7,685.28	2,561.76	6,390.75	2,130.25	7,588.62	2,529.54	
0.250	in.	8,208.35	2,736.12	7,605.97	2,535.32	8,206.72	2,735.57	
0.300	in.	8,830.18	2,943.39	8,283.16	2,761.05	8,899.64	2,966.55	
0.400	in.	10,102.94	3,367.65	9,460.68	3,153.56	10,115.86	3,371.95	
0.500	in.	11,616.46	3,872.15	10,605.89	3,535.30	11,726.83	3,908.94	
%C.B.R.			161.40		147.40		156.10	154.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

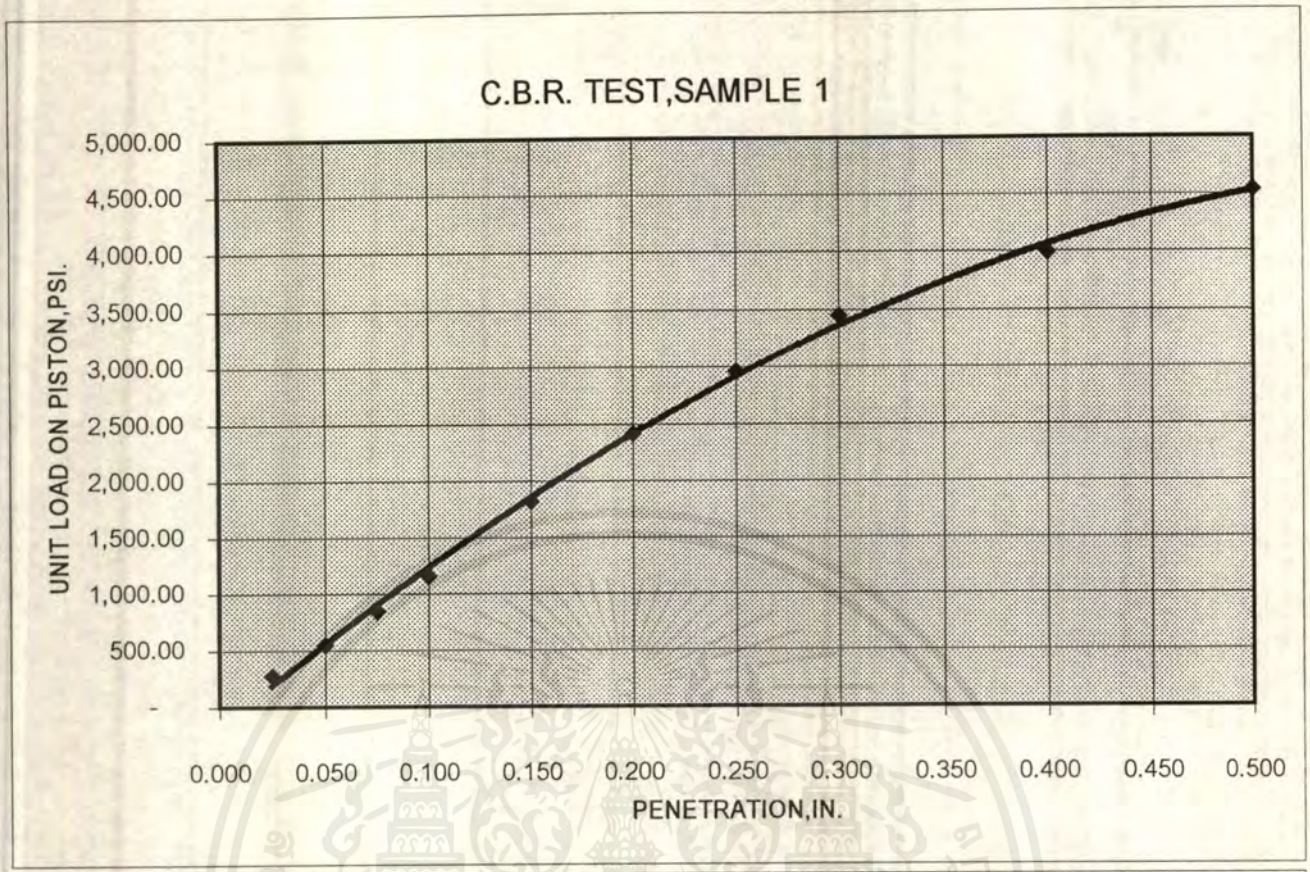
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

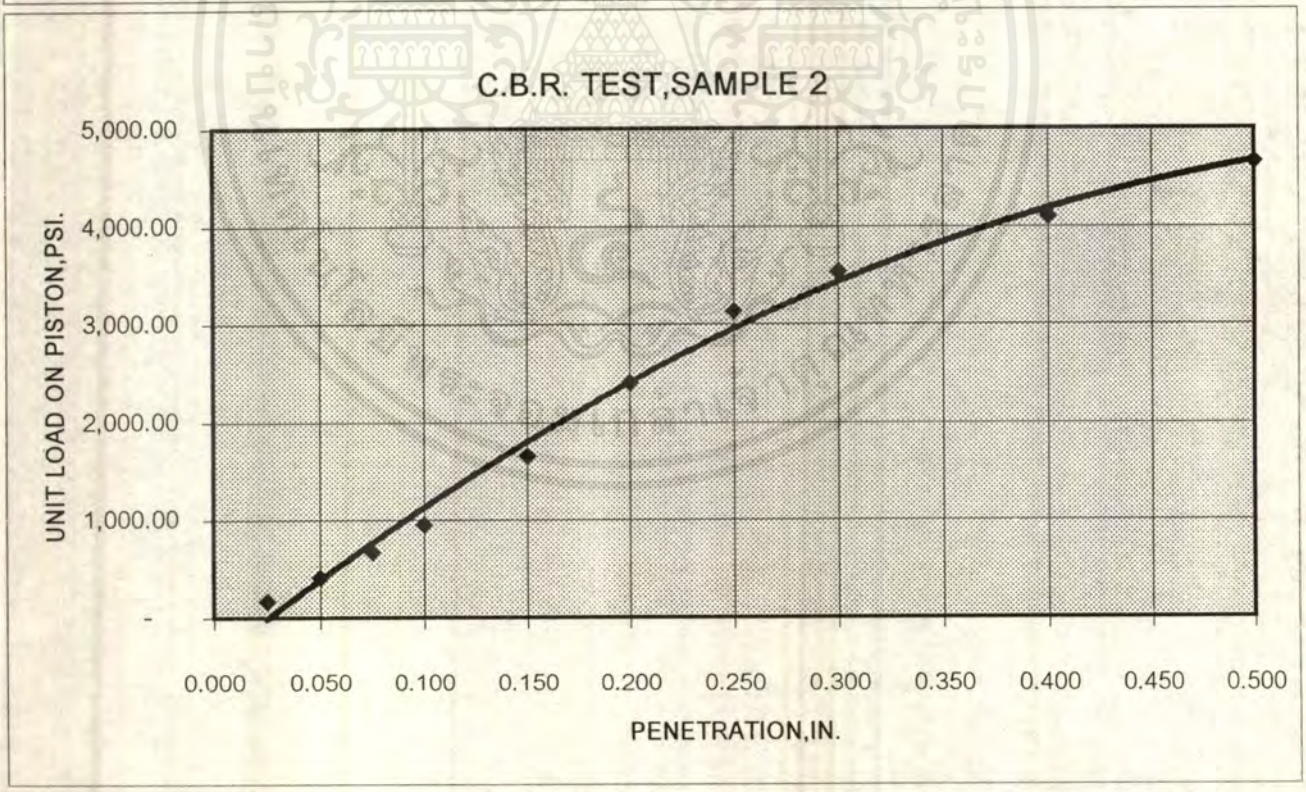
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI	SAMPLE NO.	
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 5% fly ash CURING 28 days	DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,316.67 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION								
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	169.90	173.50	165.50				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	159.10	162.00	154.85				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.30	24.50	24.30				
WEIGHT OF WATER	gm.	10.80	11.50	10.65				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	134.80	137.50	130.55				
% WATER CONTENT		8.01%	8.36%	8.16%				
DENSITY DETERMINATION								
WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,130.00	9,335.00	9,375.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,090.00	4,081.00	4,082.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	5,040.00	5,254.00	5,293.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.18	2.27	2.28				
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.01	2.09	2.11				

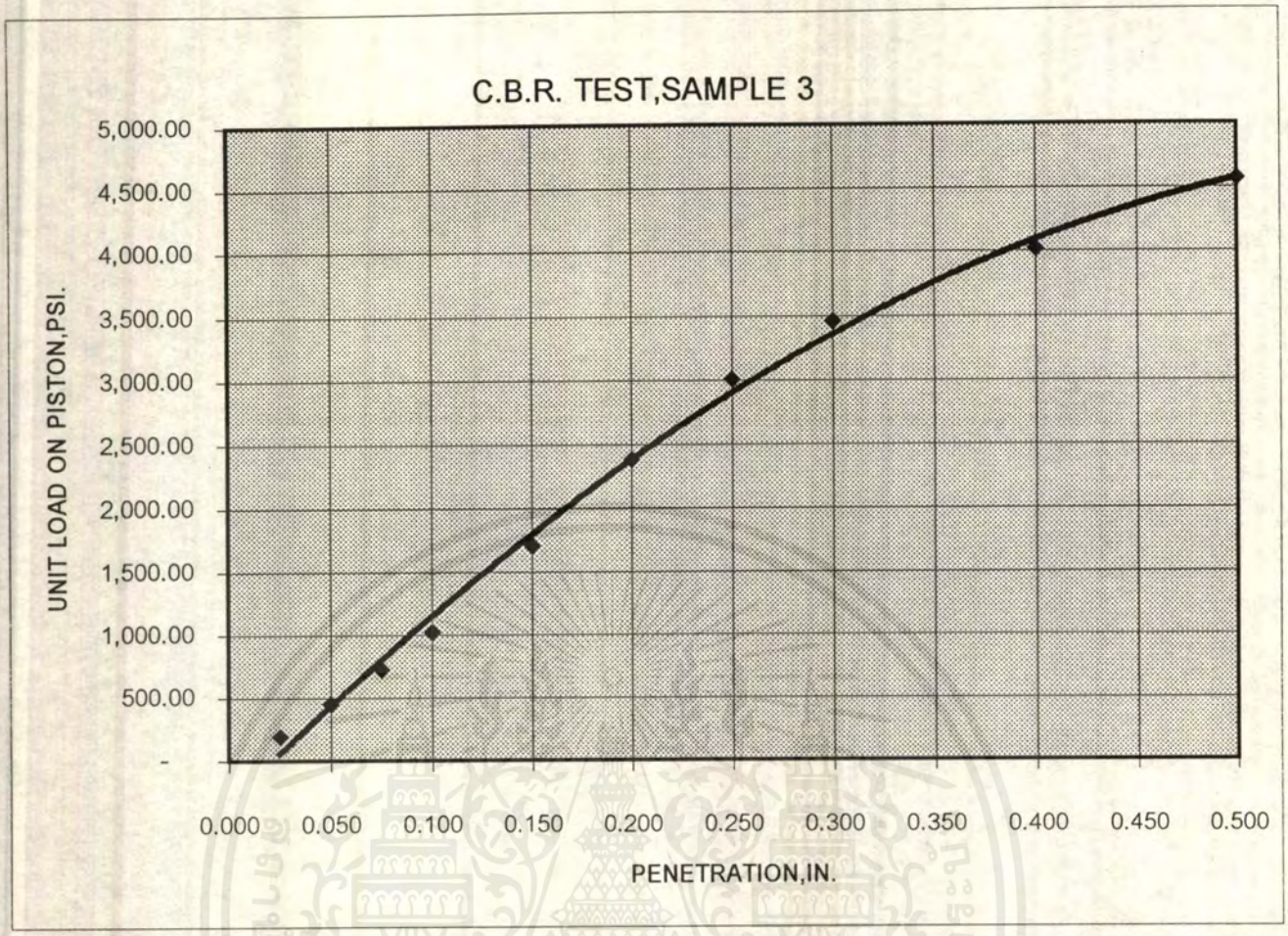
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	833.14	277.71	492.31	164.10	571.84	190.61	
0.050	in.	1,643.56	547.85	1,226.99	409.00	1,344.39	448.13	
0.075	in.	2,529.72	843.24	2,007.11	669.04	2,177.53	725.84	
0.100	in.	3,468.89	1,156.30	2,840.25	946.75	3,063.68	1,021.23	
0.150	in.	5,453.28	1,817.76	4,960.97	1,653.66	5,116.24	1,705.41	
0.200	in.	7,233.17	2,411.06	7,195.30	2,398.43	7,123.35	2,374.45	
0.250	in.	8,861.58	2,953.86	9,376.61	3,125.54	9,028.21	3,009.40	
0.300	in.	10,338.51	3,446.17	10,603.60	3,534.53	10,380.17	3,460.06	
0.400	in.	11,966.92	3,988.97	12,307.75	4,102.58	12,046.45	4,015.48	
0.500	in.	13,595.33	4,531.78	13,974.03	4,658.01	13,693.79	4,564.60	
%C.B.R.			171.40		181.30		175.00	175.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก		JOB NO.
LOCATION	CHONBURI		SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 8% fly ash CURING	0 days	DEPT
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,316.67 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

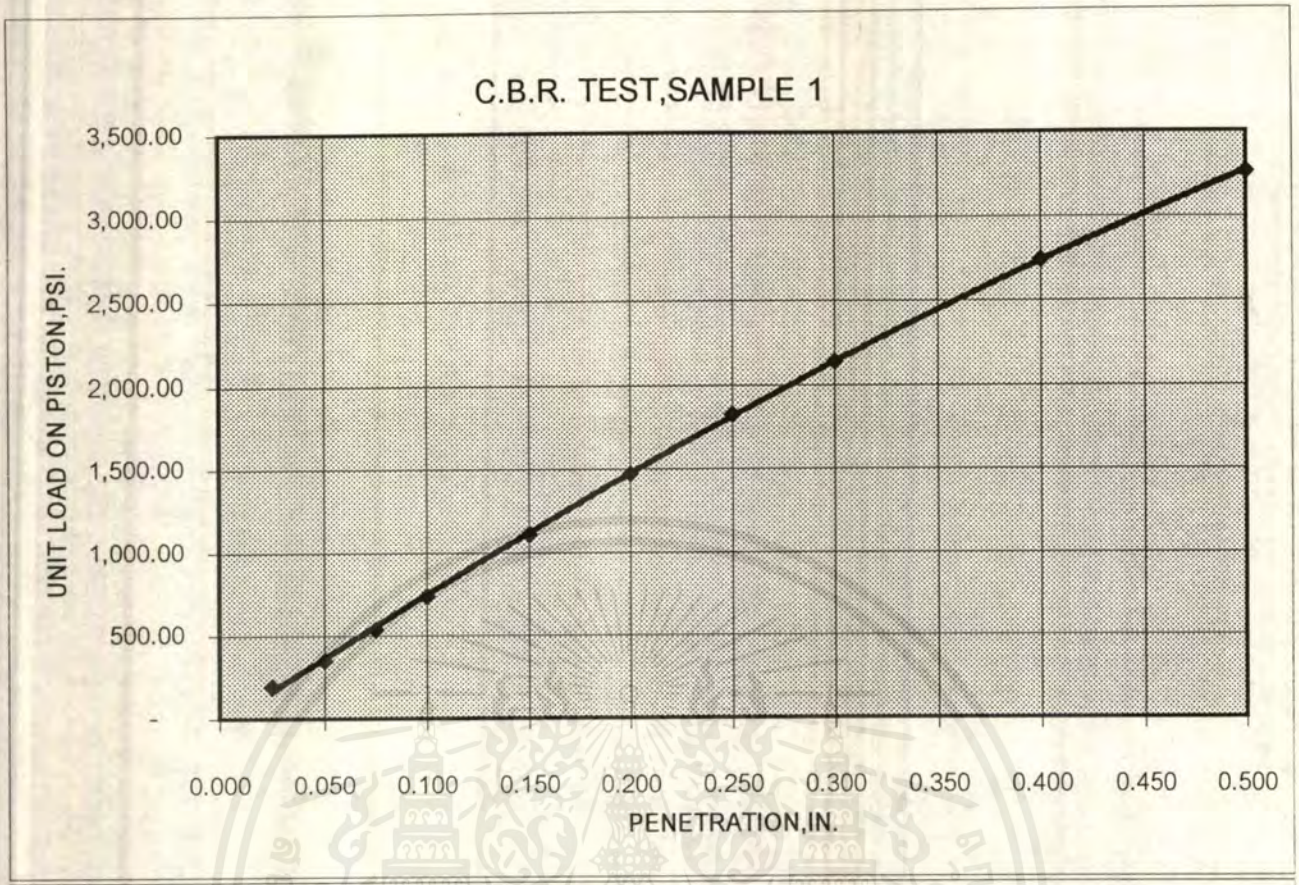
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	158.50	160.70	157.80				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	148.70	151.20	147.60				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.20	24.10	24.50				
WEIGHT OF WATER	gm.	9.80	9.50	10.20				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	124.50	127.10	123.10				
% WATER CONTENT		7.87%	7.47%	8.29%				

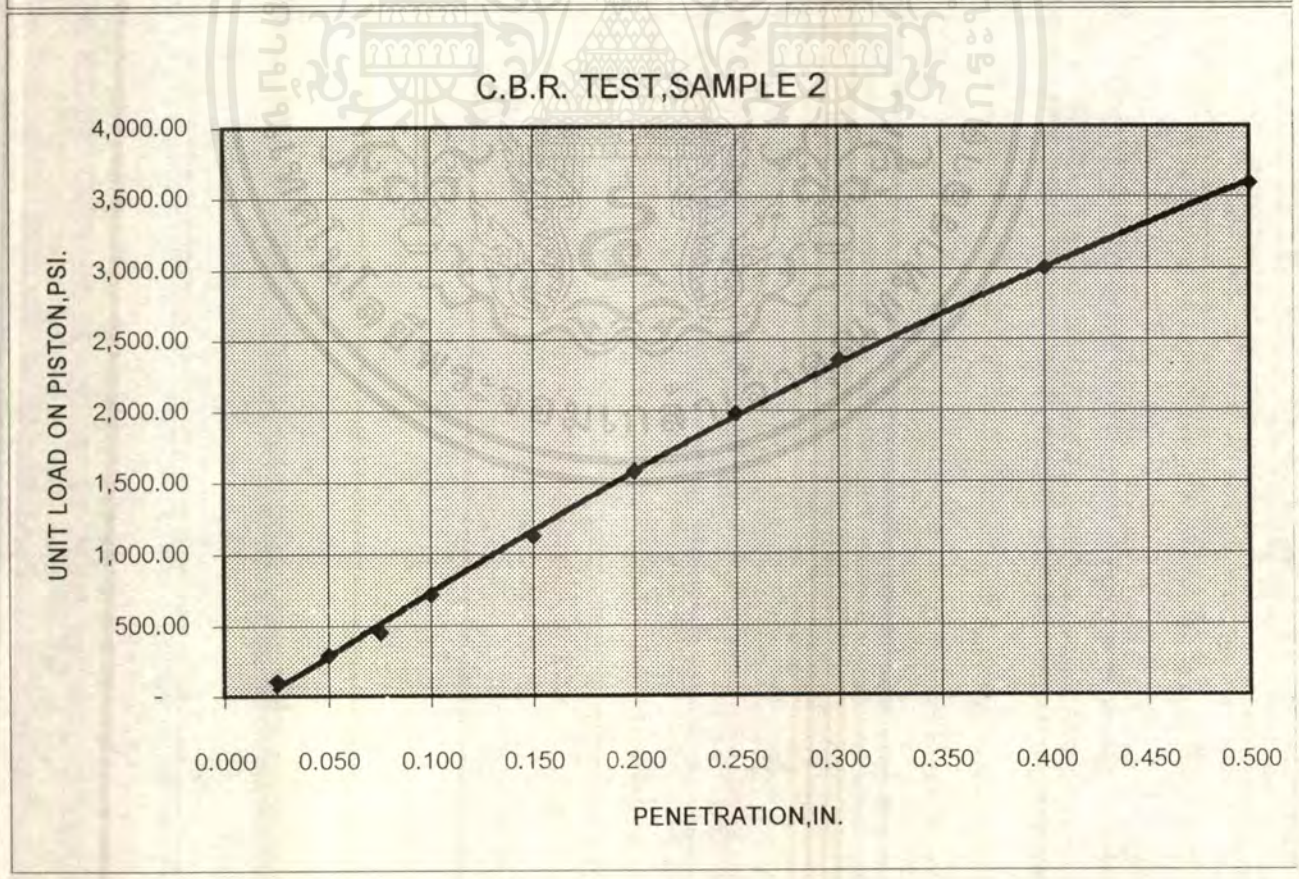
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,258.00	9,185.00	9,205.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,090.00	4,081.00	4,082.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	5,168.00	5,104.00	5,123.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.23	2.20	2.21				
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.07	2.05	2.04				

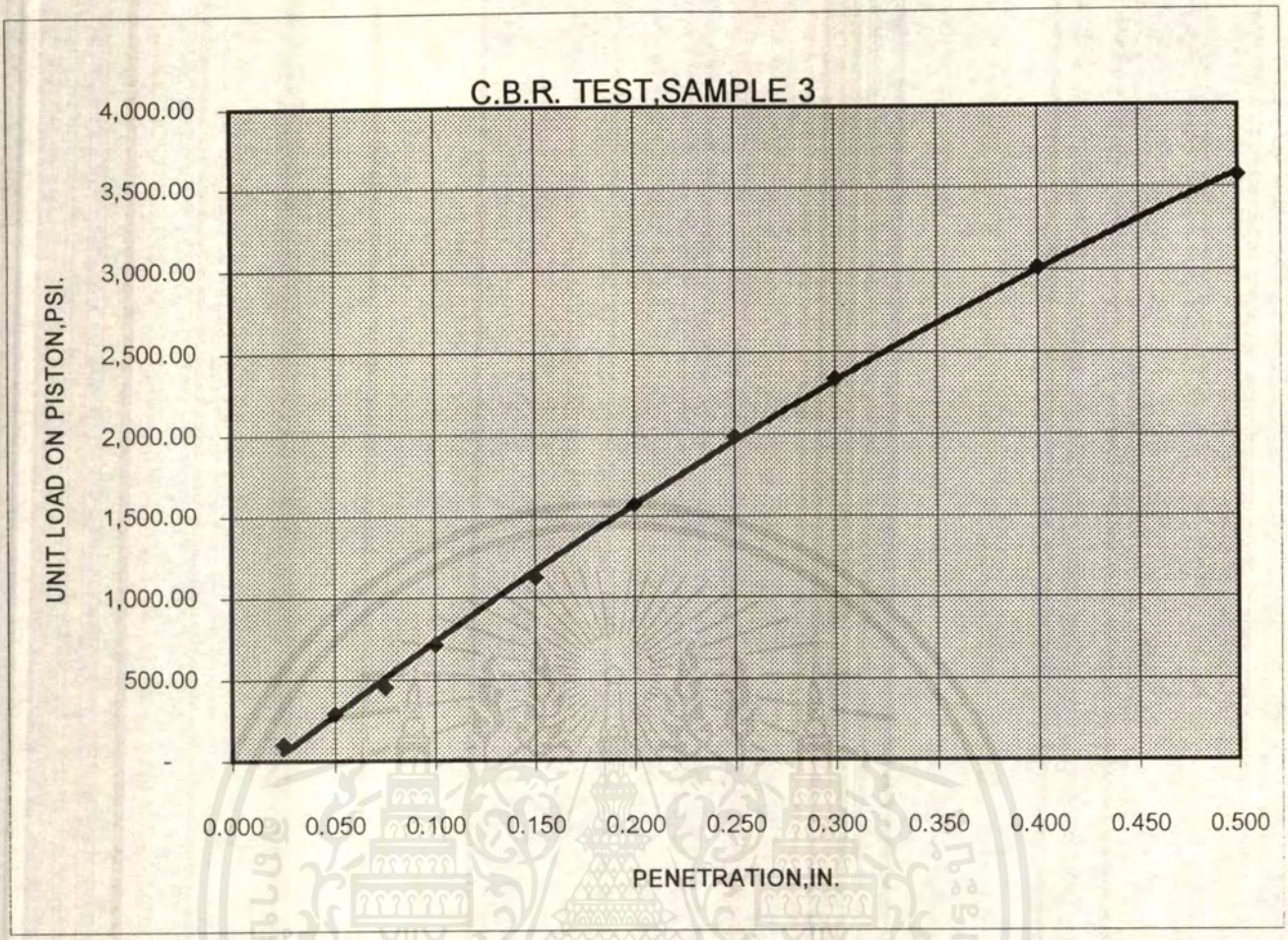
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	575.88	191.96	310.50	103.50	303.50	101.17	
0.050	in.	1,045.65	348.55	880.58	293.53	872.85	290.95	
0.075	in.	1,605.00	535.00	1,355.88	451.96	1,355.82	451.94	
0.100	in.	2,208.50	736.17	2,140.86	713.62	2,138.82	712.94	
0.150	in.	3,325.86	1,108.62	3,370.00	1,123.33	3,360.86	1,120.29	
0.200	in.	4,408.57	1,469.52	4,715.05	1,571.68	4,706.85	1,568.95	
0.250	in.	5,480.80	1,826.93	5,928.02	1,976.01	5,950.82	1,983.61	
0.300	in.	6,407.20	2,135.73	7,065.00	2,355.00	7,020.66	2,340.22	
0.400	in.	8,215.86	2,738.62	9,015.80	3,005.27	9,032.82	3,010.94	
0.500	in.	9,778.80	3,259.60	10,785.00	3,595.00	10,708.91	3,569.64	
%C.B.R.			103.00		118.50		116.70	112.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.
LOCATION CHONBURI		SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION ดินลูกรัง + 8% fly ash CURING 3 days		DEPT
TEST BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME 2,316.67 CM^3	

WATER CONTENT DETERMINATION

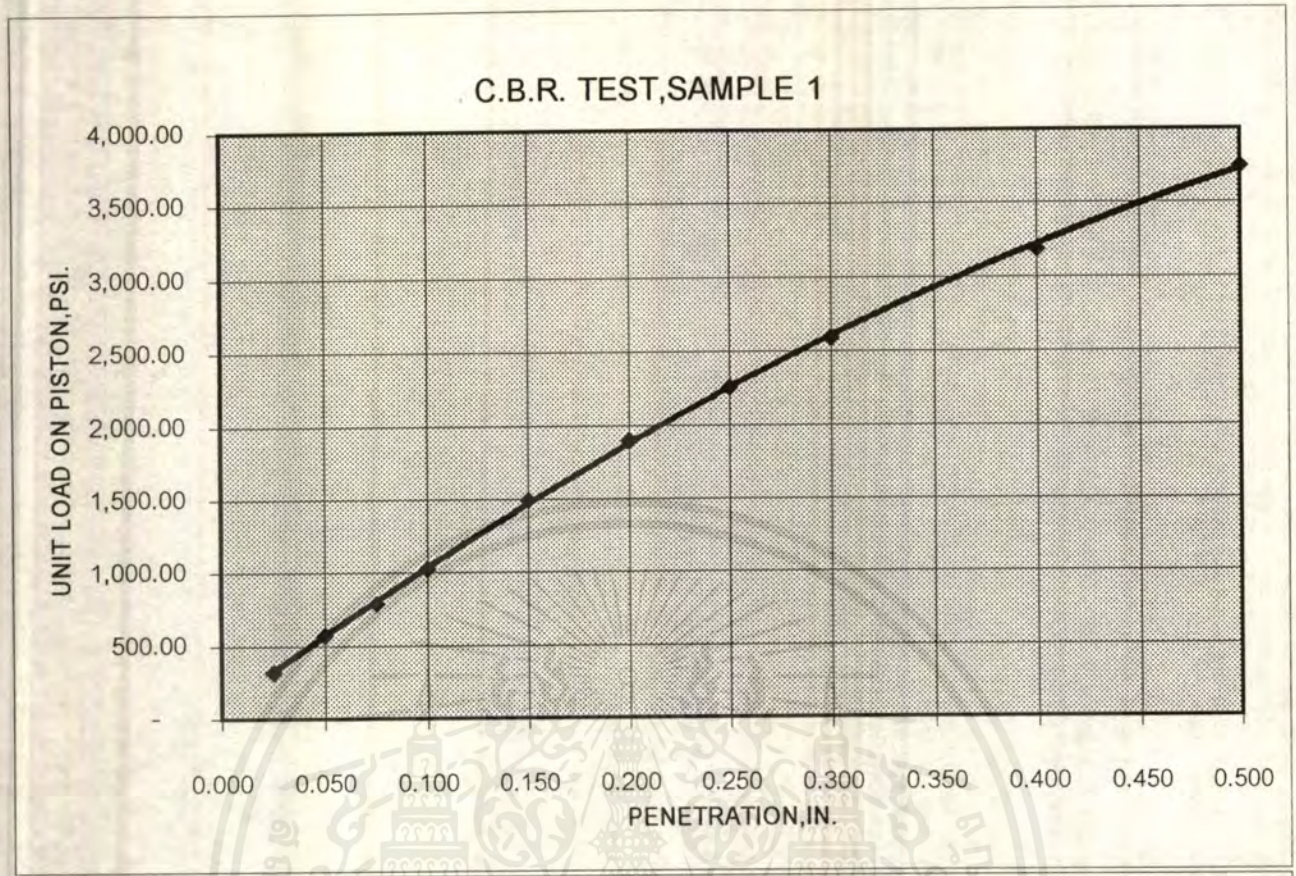
TRIAL NO.		1	2	3
WET SOIL + CAN ,	gm.	151.60	151.00	160.00
DRY SOIL + CAN ,	gm.	143.00	141.80	150.20
WEIGHT OF CAN	gm.	24.10	24.40	24.40
WEIGHT OF WATER	gm.	8.60	9.20	9.80
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	118.90	117.40	125.80
% WATER CONTENT		7.23%	7.84%	7.79%

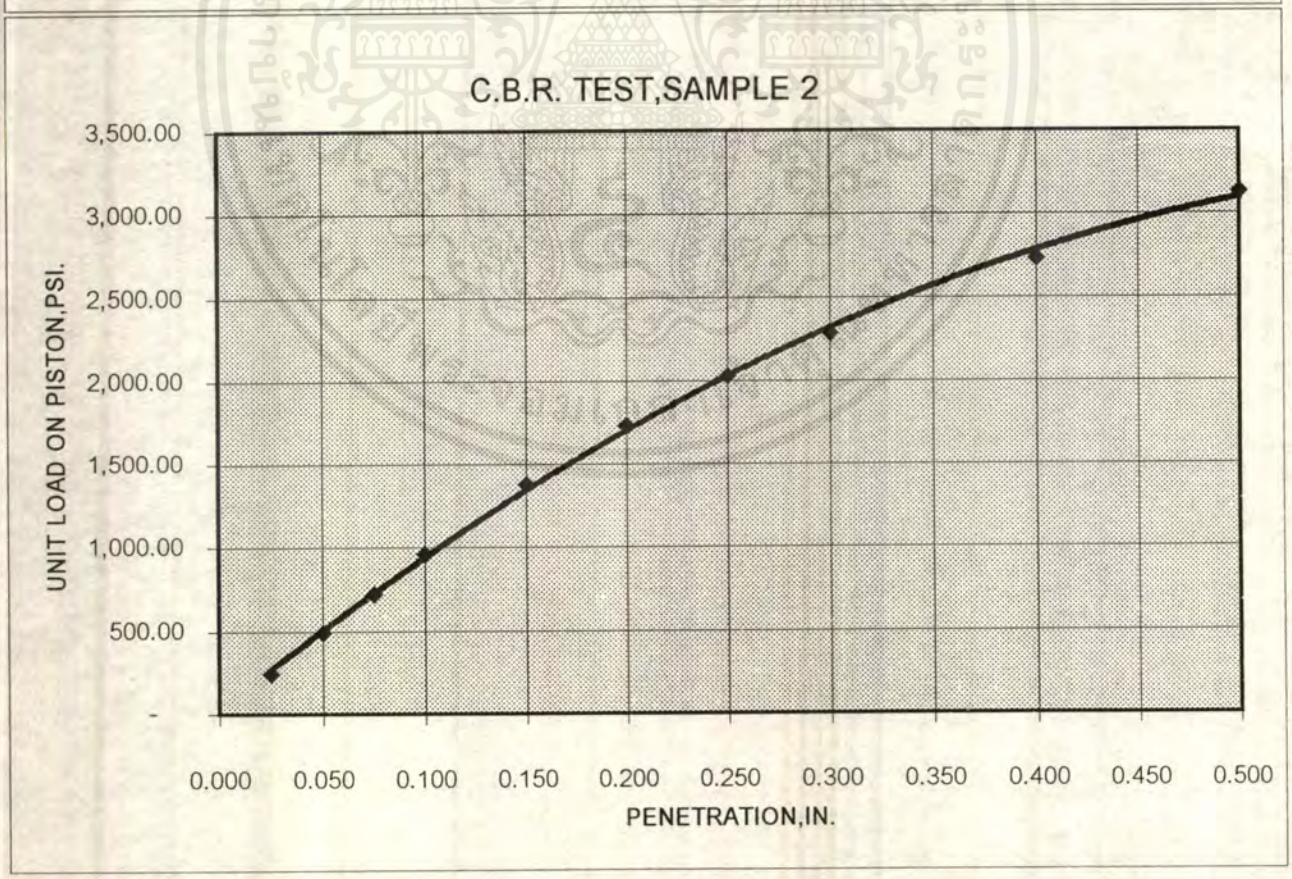
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,264.00	9,147.00	9,165.80
WT. OF MOLD	gm.	4,090.00	4,081.00	4,082.00
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	5,174.00	5,066.00	5,083.80
WET DENSITY	gm./cm^3	2.23	2.19	2.19
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.08	2.03	2.04

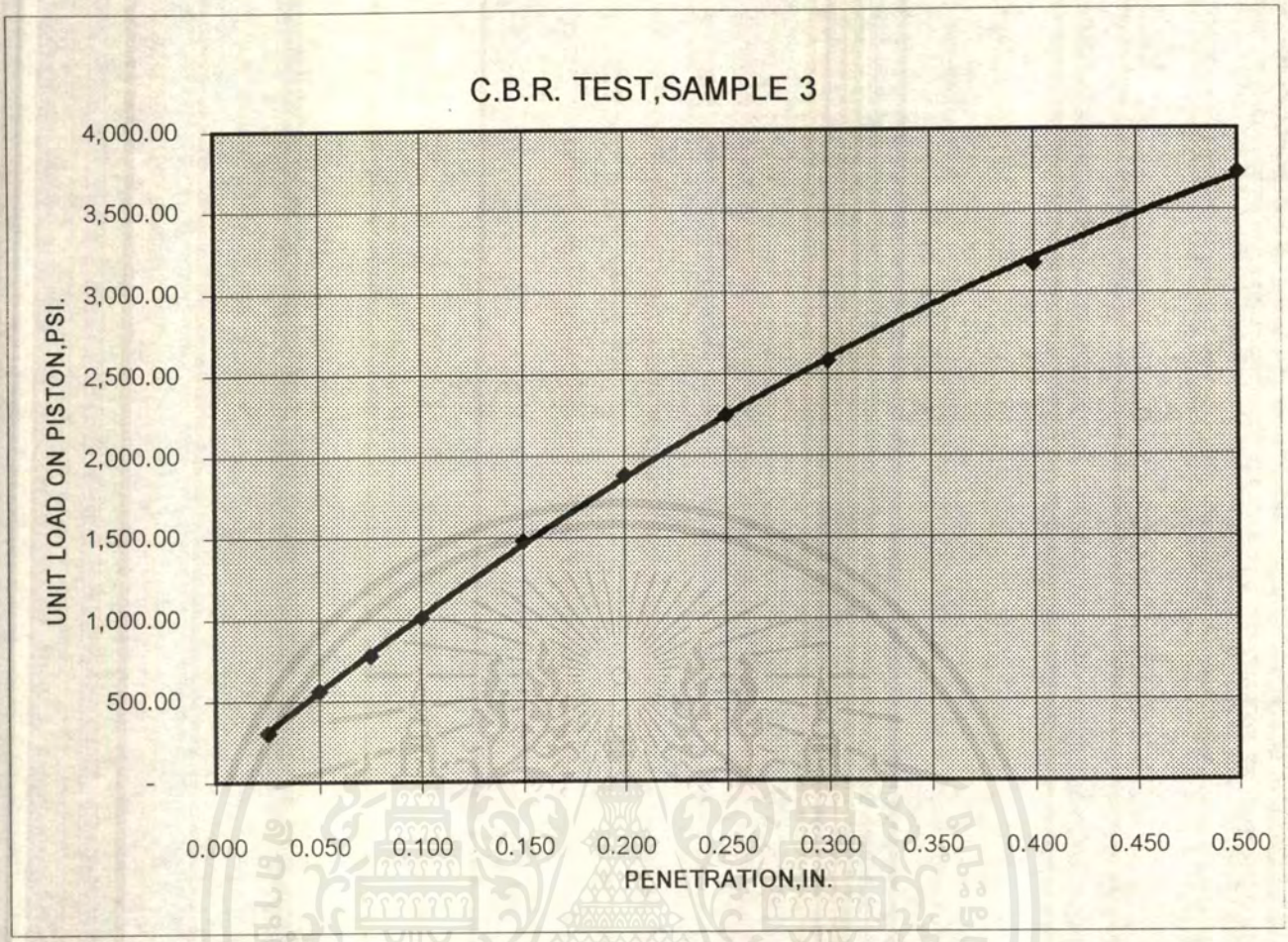
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	946.75	315.58	727.10	242.37	908.88	302.96	
0.050	in.	1,711.72	570.57	1,469.36	489.79	1,673.85	557.95	
0.075	in.	2,363.09	787.70	2,158.59	719.53	2,325.22	775.07	
0.100	in.	3,067.47	1,022.49	2,878.12	959.37	3,029.60	1,009.87	
0.150	in.	4,468.66	1,489.55	4,127.83	1,375.94	4,430.79	1,476.93	
0.200	in.	5,680.50	1,893.50	5,188.19	1,729.40	5,642.63	1,880.88	
0.250	in.	6,771.16	2,257.05	6,074.35	2,024.78	6,733.29	2,244.43	
0.300	in.	7,770.92	2,590.31	6,854.47	2,284.82	7,733.05	2,577.68	
0.400	in.	9,558.39	3,186.13	8,187.49	2,729.16	9,520.52	3,173.51	
0.500	in.	11,224.67	3,741.56	9,391.76	3,130.59	11,186.80	3,728.93	
%C.B.R.			128.10		115.15		124.24	122.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

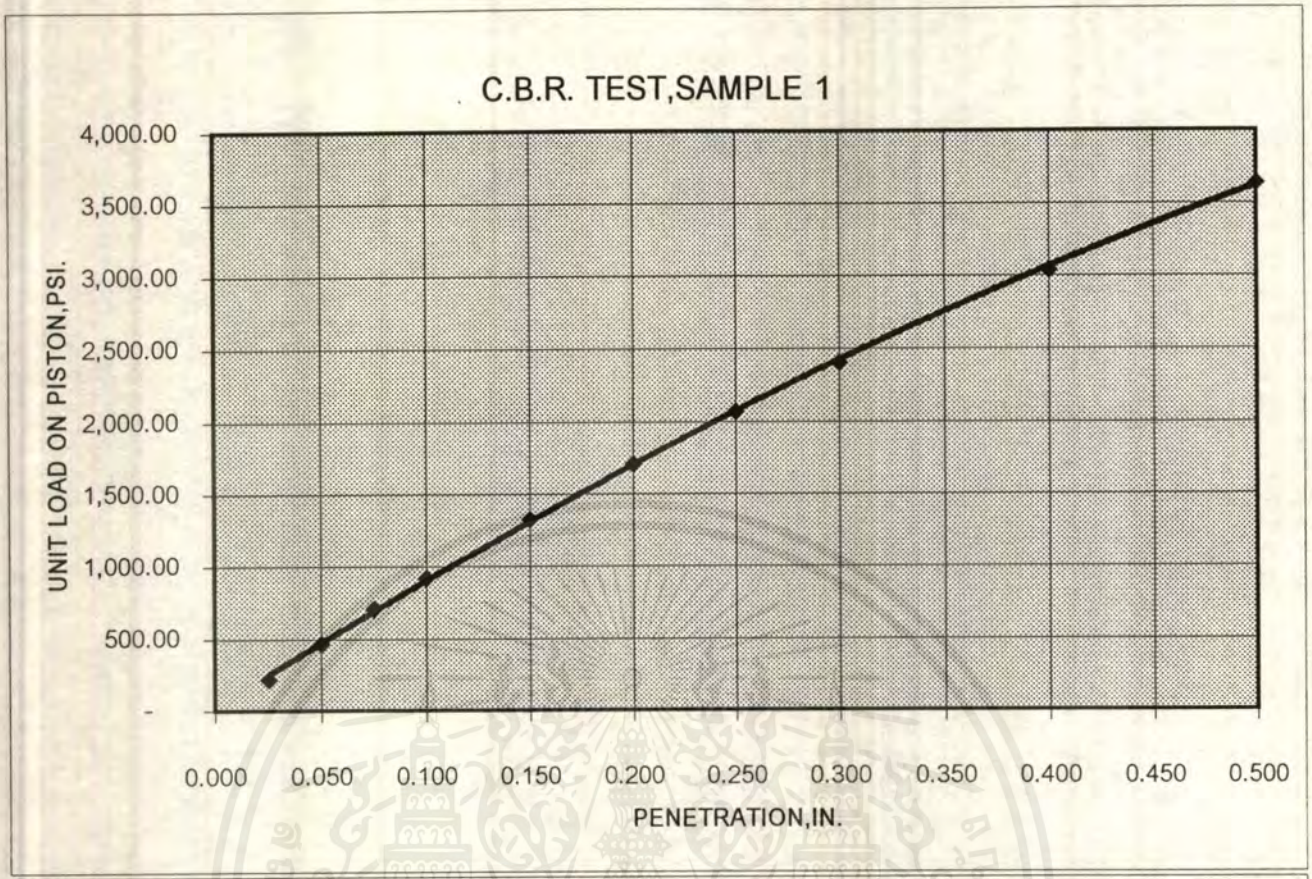
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

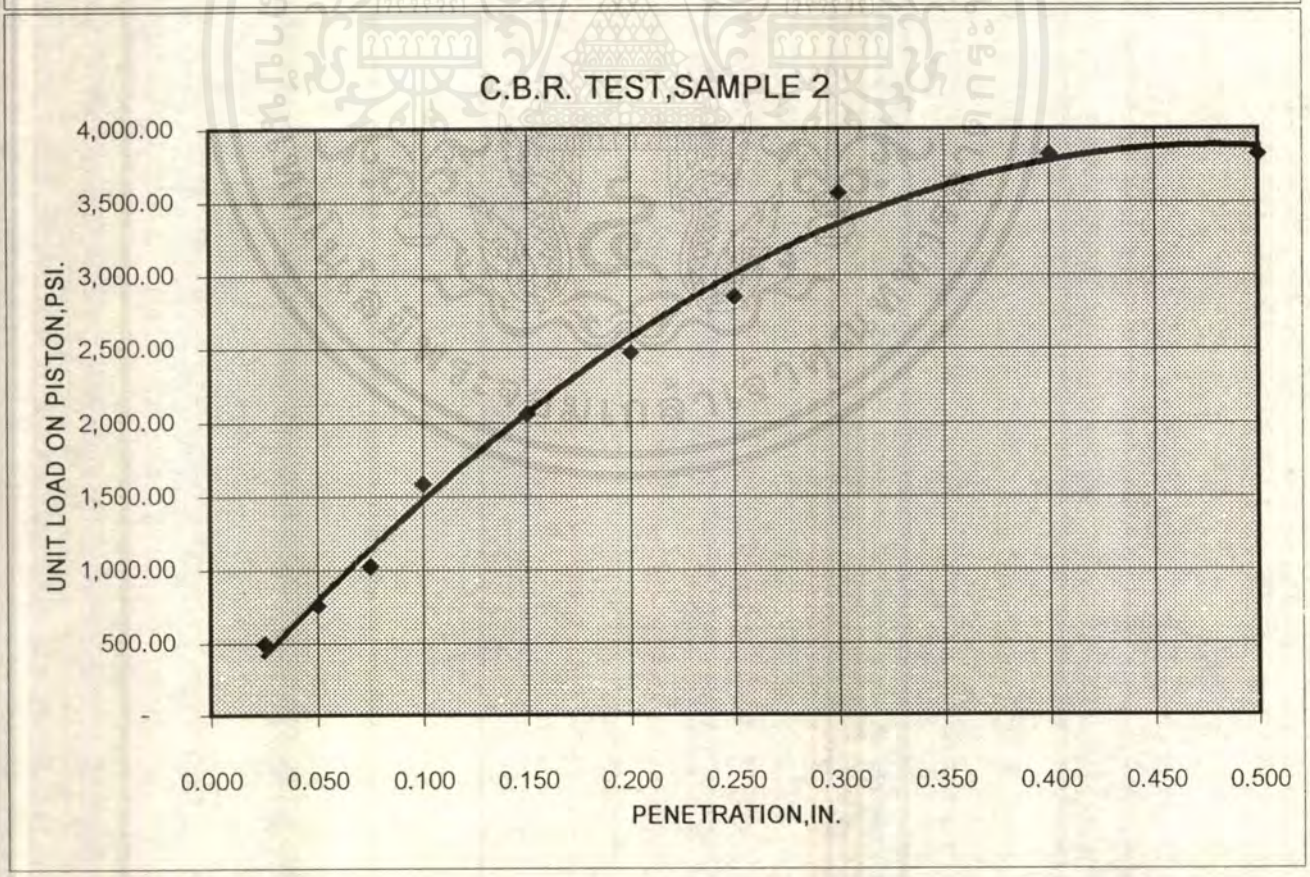
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI	SAMPLE NO.	
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 8% fly ash CURING 7 days	DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,316.67 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION								
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	124.60	159.50	142.40				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	117.50	150.50	133.80				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.40	24.20	24.30				
WEIGHT OF WATER	gm.	7.10	9.00	8.60				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	93.10	126.30	109.50				
% WATER CONTENT		7.63%	7.13%	7.85%				
DENSITY DETERMINATION								
WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,060.00	9,174.00	9,137.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,082.00	4,204.00	4,091.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,978.00	4,970.00	5,046.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.15	2.15	2.18				
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.00	2.00	2.02				

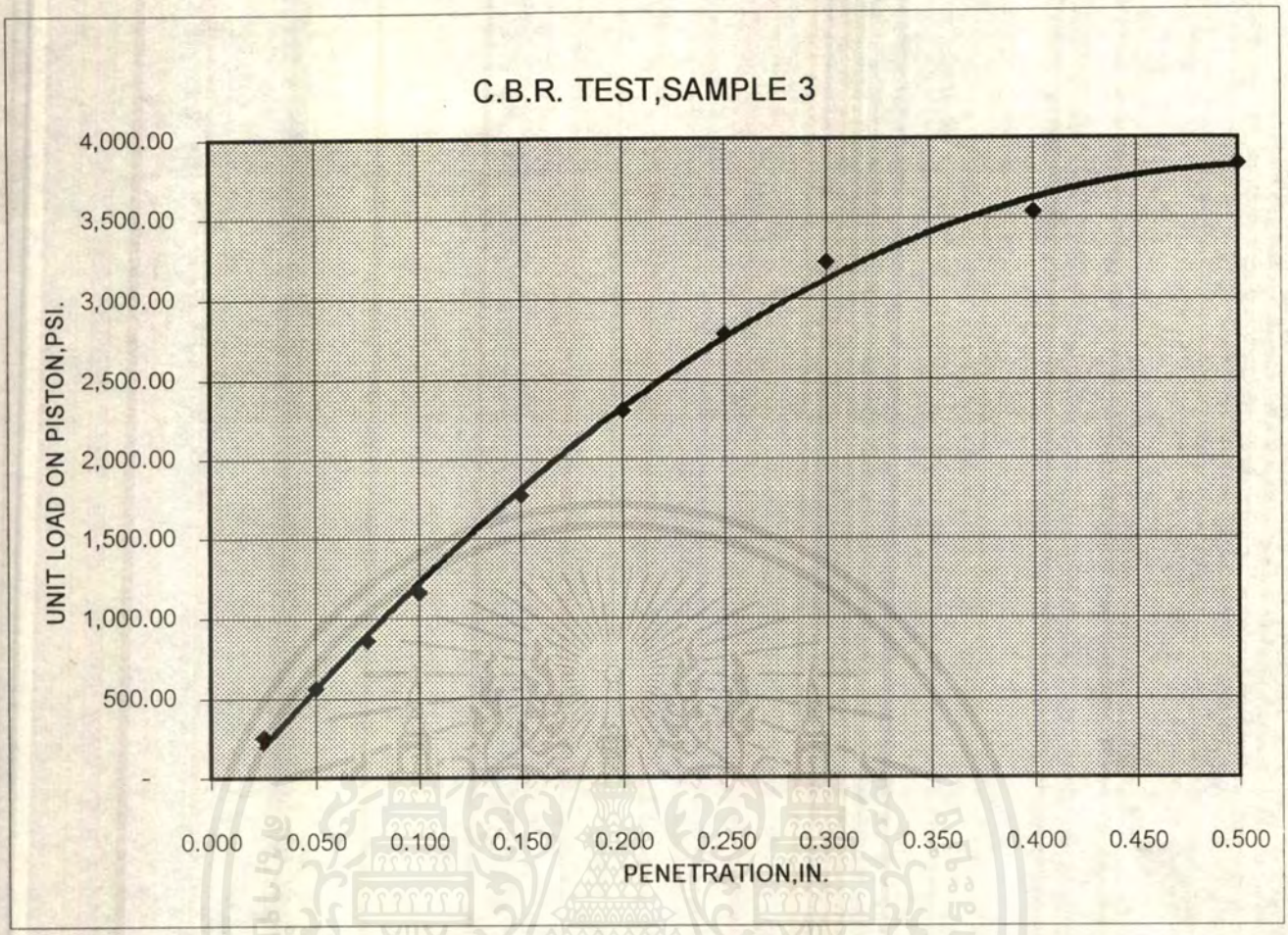
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	651.36	217.12	1,484.50	494.83	764.97	254.99	
0.050	in.	1,393.62	464.54	2,272.20	757.40	1,681.43	560.48	
0.075	in.	2,120.72	706.91	3,067.47	1,022.49	2,582.73	860.91	
0.100	in.	2,764.51	921.50	4,756.47	1,585.49	3,484.04	1,161.35	
0.150	in.	3,976.35	1,325.45	6,180.38	2,060.13	5,324.52	1,774.84	
0.200	in.	5,112.45	1,704.15	7,422.52	2,474.17	6,907.49	2,302.50	
0.250	in.	6,195.53	2,065.18	8,558.62	2,852.87	8,346.55	2,782.18	
0.300	in.	7,202.87	2,400.96	10,679.34	3,559.78	9,679.57	3,226.52	
0.400	in.	9,111.52	3,037.17	11,482.18	3,827.39	10,603.60	3,534.53	
0.500	in.	10,921.71	3,640.57	11,482.18	3,827.39	11,512.48	3,837.49	
%C.B.R.			118.50		175.40		165.10	153.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก		JOB NO.
LOCATION	CHONBURI		SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 8% fly ash CURING	14 days	DEPT
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME 2,316.67	CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

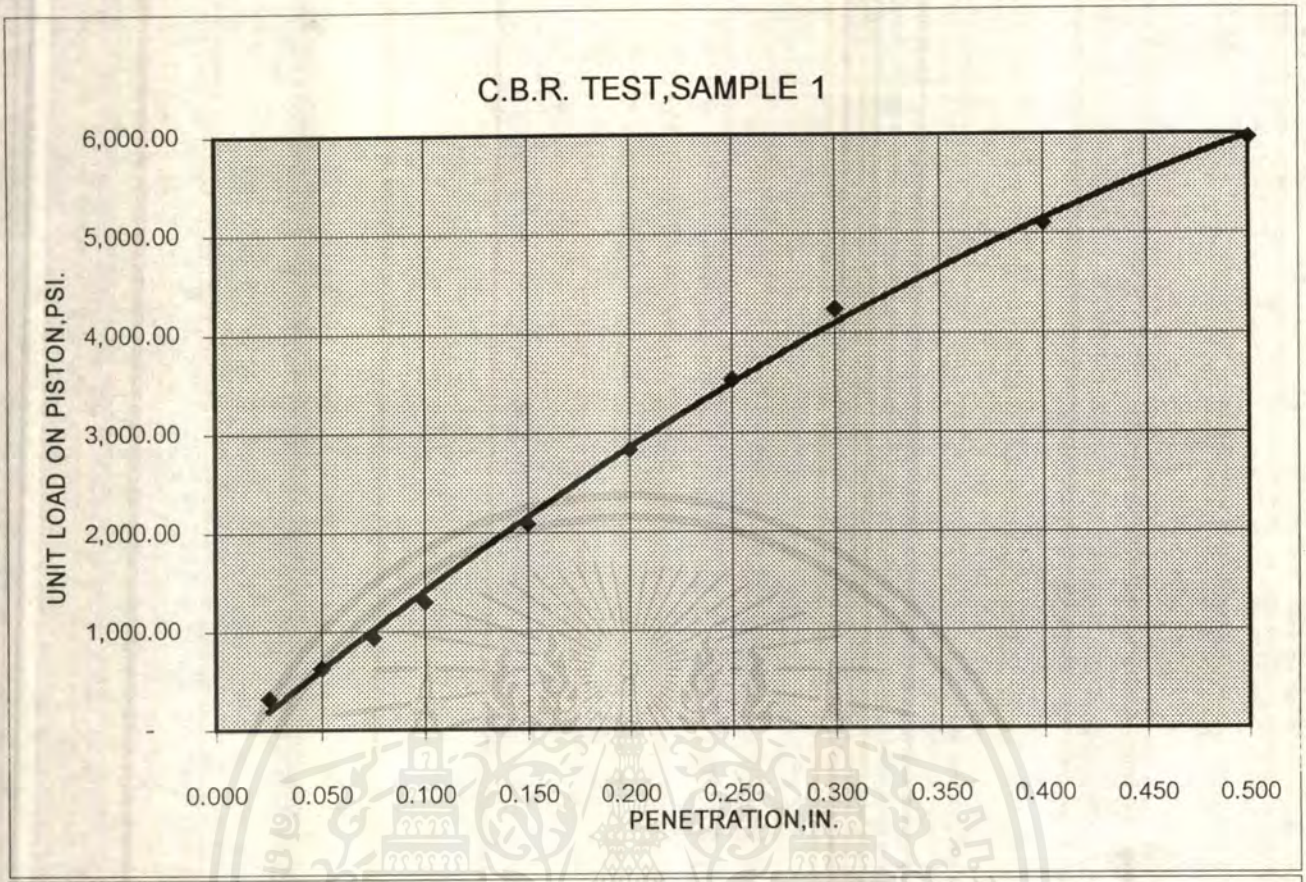
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	146.80	131.90	173.00				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	137.50	125.00	162.20				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.40	24.10	24.50				
WEIGHT OF WATER	gm.	9.30	6.90	10.80				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	113.10	100.90	137.70				
% WATER CONTENT		8.22%	6.84%	7.84%				

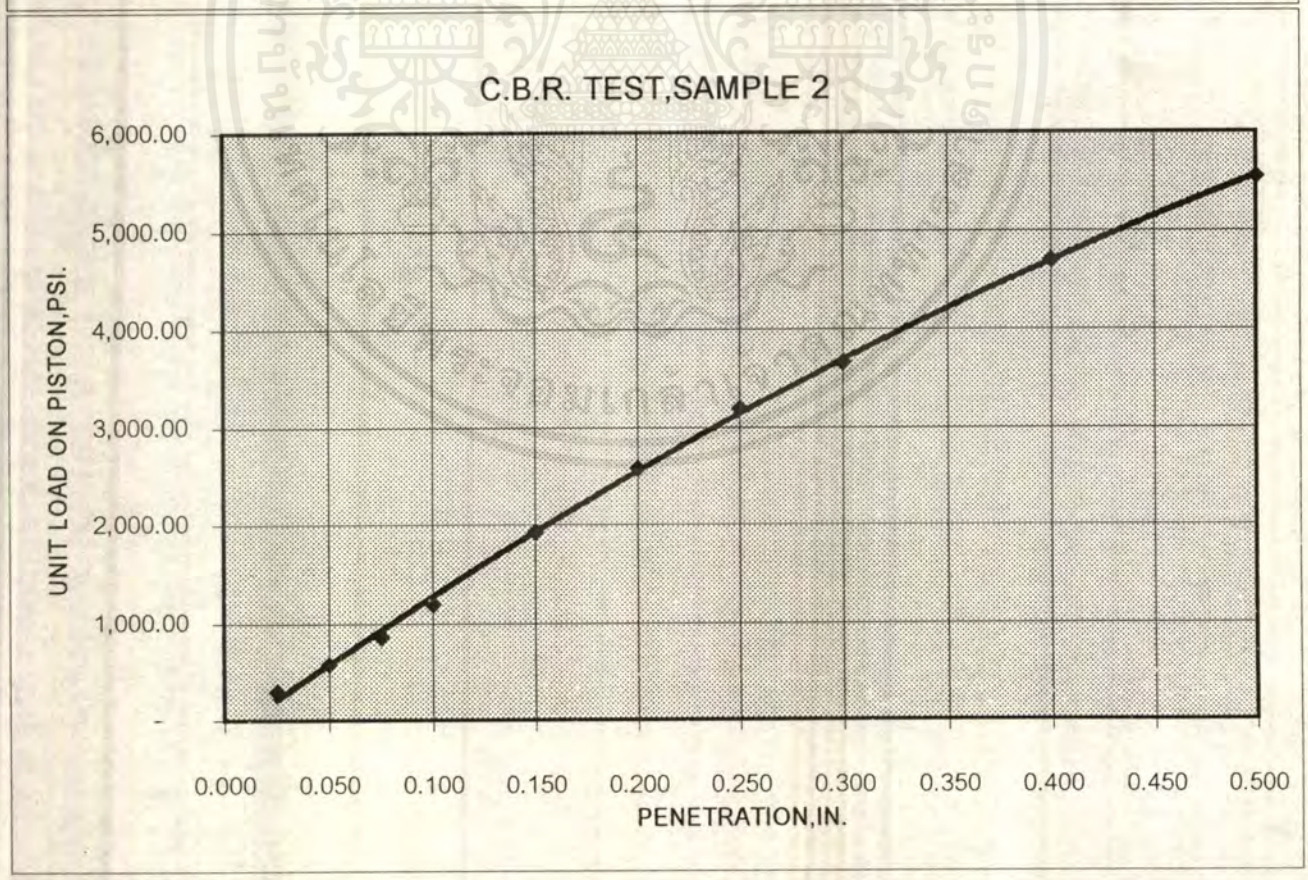
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,470.00	9,554.00	9,291.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,298.00	4,420.00	4,366.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	5,172.00	5,134.00	4,925.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.23	2.22	2.13				
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.06	2.07	1.97				

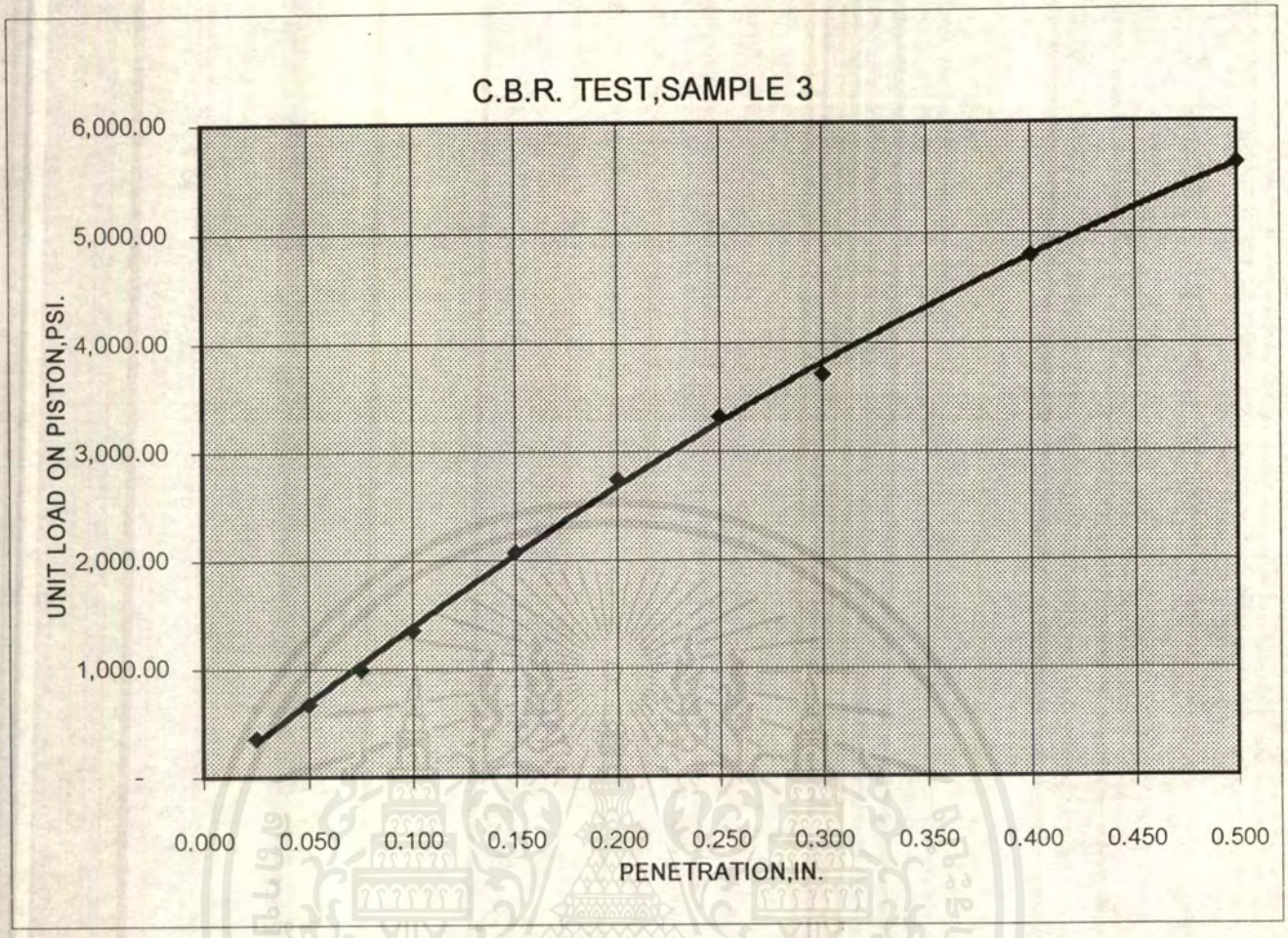
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	946.75	315.58	871.01	290.34	1,052.79	350.93	
0.050	in.	1,863.20	621.07	1,719.30	573.10	1,991.96	663.99	
0.075	in.	2,802.38	934.13	2,575.16	858.39	2,953.86	984.62	
0.100	in.	3,900.61	1,300.20	3,559.78	1,186.59	4,052.09	1,350.70	
0.150	in.	6,248.55	2,082.85	5,756.24	1,918.75	6,210.68	2,070.23	
0.200	in.	8,482.88	2,827.63	7,725.48	2,575.16	8,217.79	2,739.26	
0.250	in.	10,603.60	3,534.53	9,573.54	3,191.18	9,959.81	3,319.94	
0.300	in.	12,724.32	4,241.44	10,982.30	3,660.77	11,118.63	3,706.21	
0.400	in.	15,299.48	5,099.83	14,087.64	4,695.88	14,383.03	4,794.34	
0.500	in.	17,874.64	5,958.21	16,624.93	5,541.64	16,890.02	5,630.01	
%C.B.R.			207.60		184.60		185.70	192.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

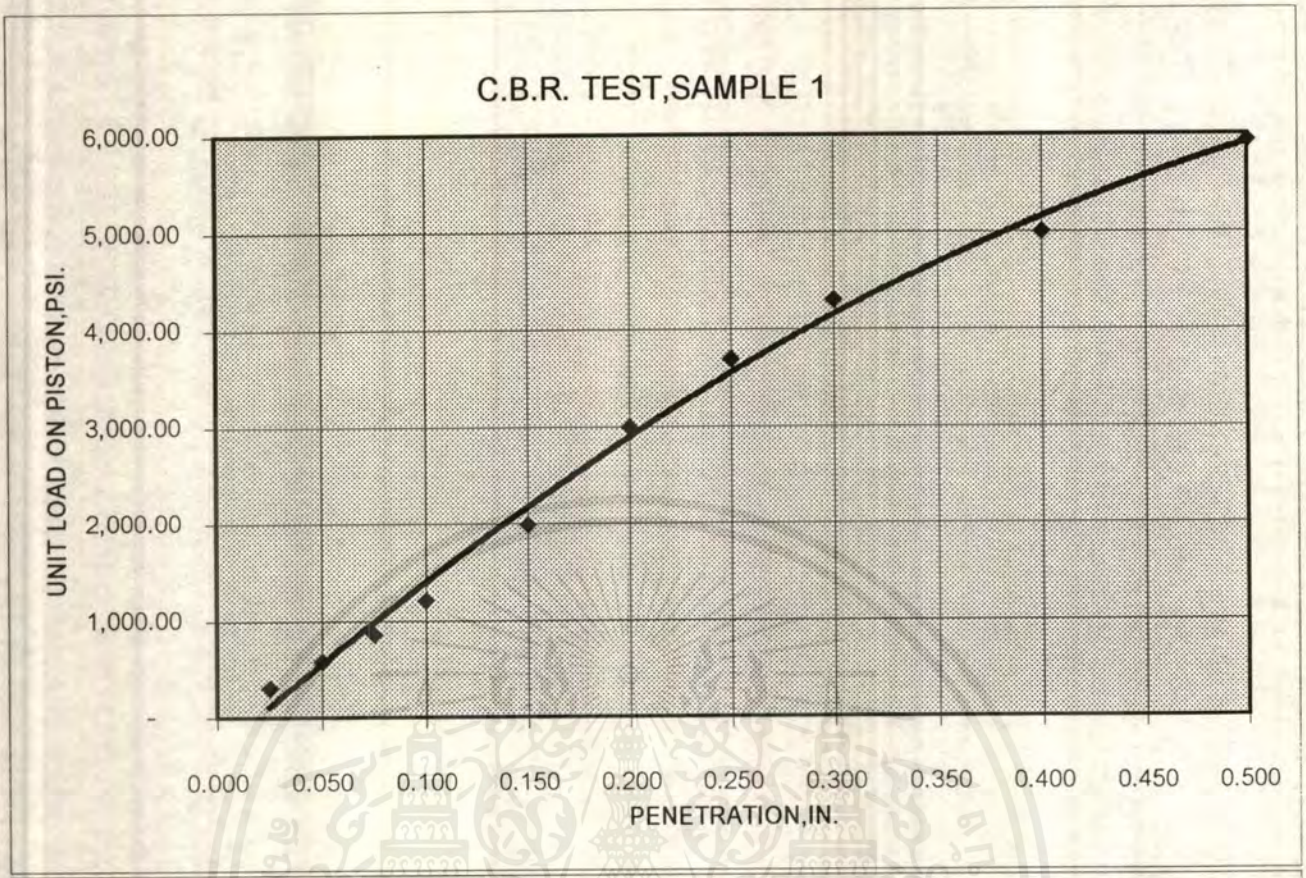


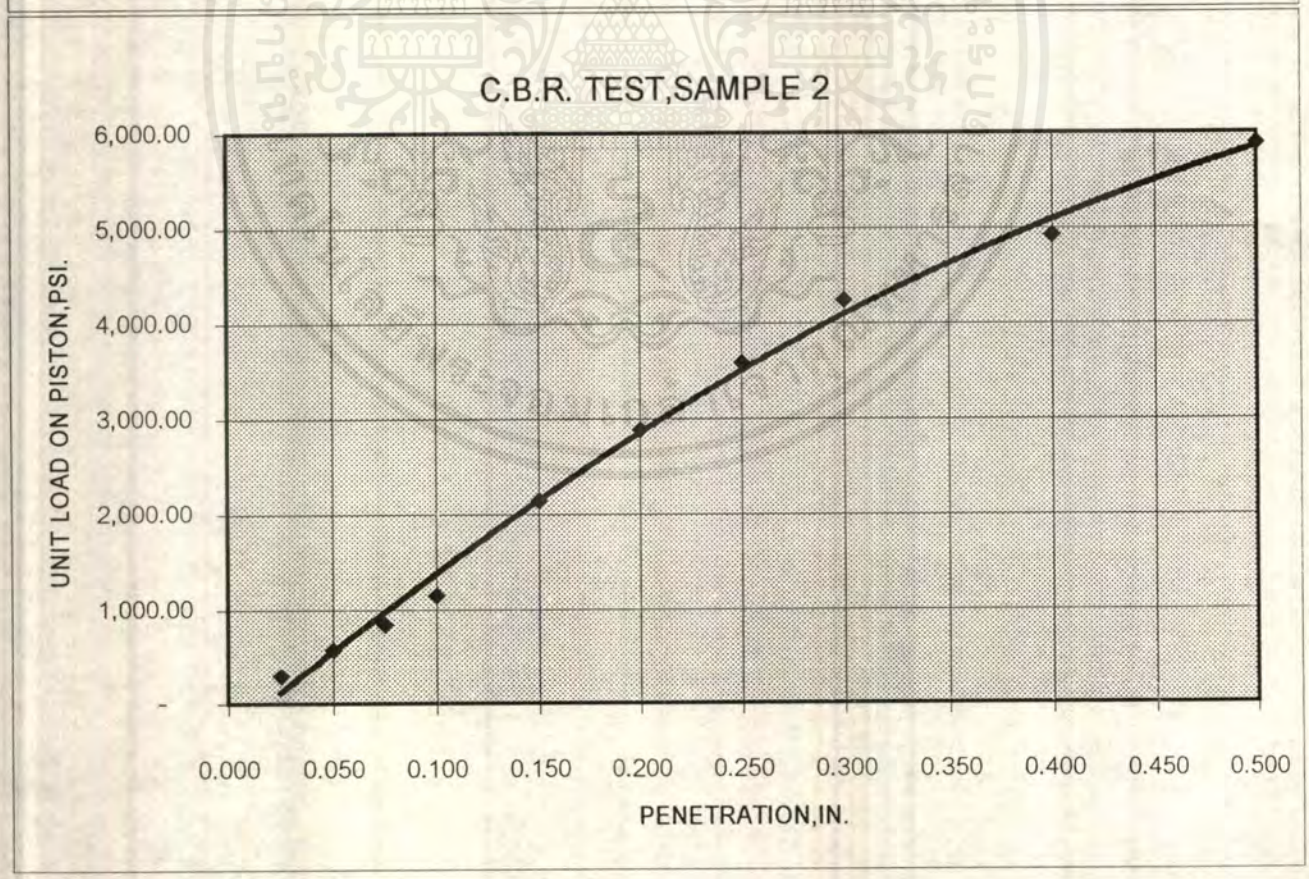
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG								C.B.R. TEST
PROJECT soil- fly ash stabilization		OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก						JOB NO.
LOCATION	CHONBURI							SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 8% fly ash CURING 28 days							DEPT
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก							DATE
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก							DATE
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR			MOLD VOLUME	2,316.67	CM^3		
WATER CONTENT DETERMINATION								
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	165.60	159.00	151.50				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	155.00	149.00	142.10				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.20	24.20	28.80				
WEIGHT OF WATER	gm.	10.60	10.00	9.40				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	130.80	124.80	113.30				
% WATER CONTENT		8.10%	8.01%	8.30%				
DENSITY DETERMINATION								
WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,143.00	9,096.00	9,231.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,204.00	4,091.00	4,204.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,939.00	5,005.00	5,027.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.13	2.16	2.17				
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.97	2.00	2.00				

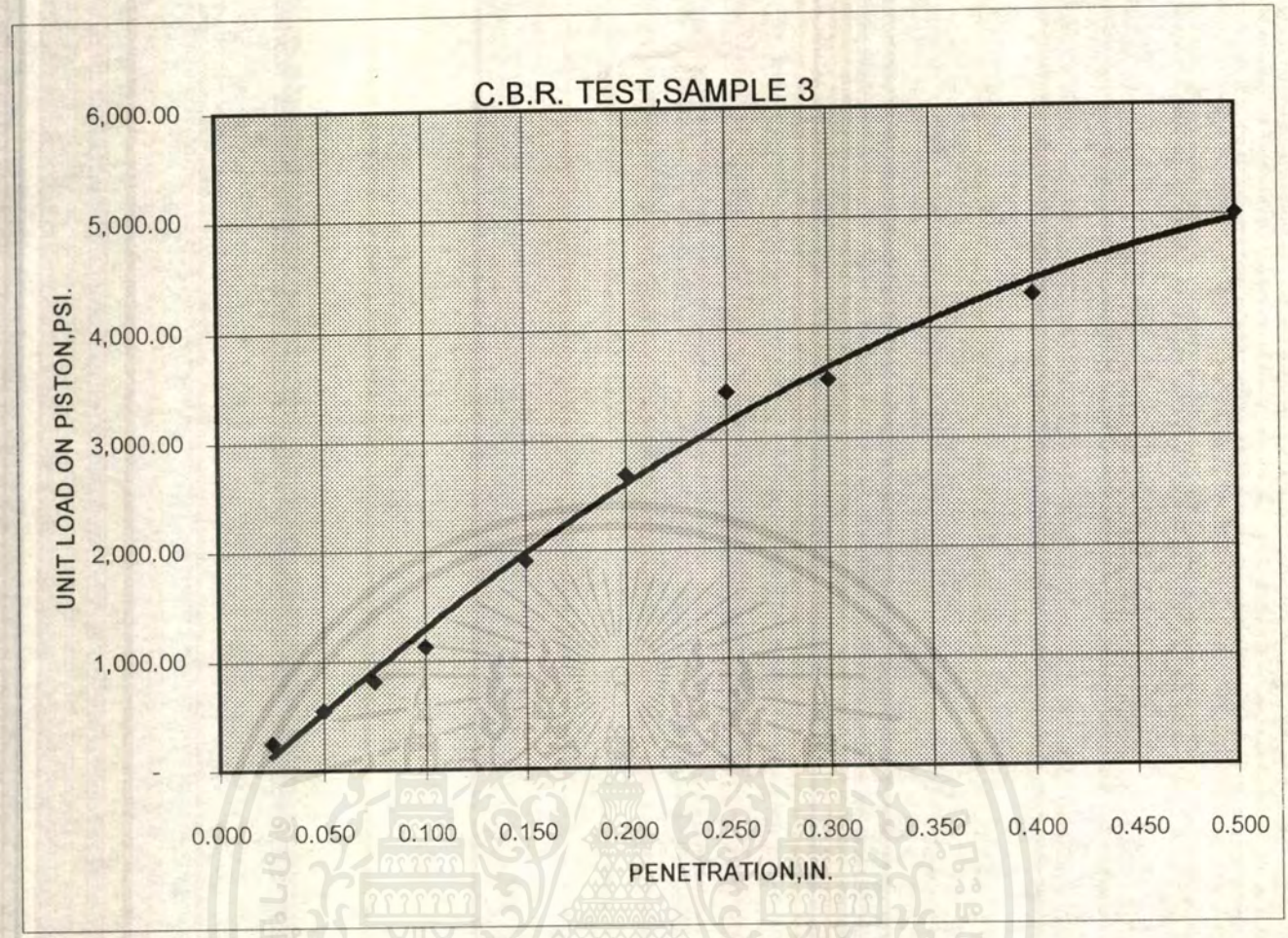
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	908.88	302.96	871.01	290.34	757.40	252.47	
0.050	in.	1,742.02	580.67	1,719.30	573.10	1,643.56	547.85	
0.075	in.	2,575.16	858.39	2,537.29	845.76	2,423.68	807.89	
0.100	in.	3,635.52	1,211.84	3,446.17	1,148.72	3,378.00	1,126.00	
0.150	in.	5,975.89	1,991.96	6,437.90	2,145.97	5,703.22	1,901.07	
0.200	in.	8,975.19	2,991.73	8,657.08	2,885.69	8,028.44	2,676.15	
0.250	in.	11,058.04	3,686.01	10,755.08	3,585.03	10,300.64	3,433.55	
0.300	in.	12,875.80	4,291.93	12,724.32	4,241.44	10,603.60	3,534.53	
0.400	in.	14,996.52	4,998.84	14,769.30	4,923.10	12,913.67	4,304.56	
0.500	in.	17,798.90	5,932.97	17,647.42	5,882.47	15,034.39	5,011.46	
%C.B.R.			210.20		210.70		182.20	201.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.
LOCATION CHONBURI		SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION ดินลูกรัง + 12% fly ash CURING 0 days		DEPT
TEST BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME 2,316.67	CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

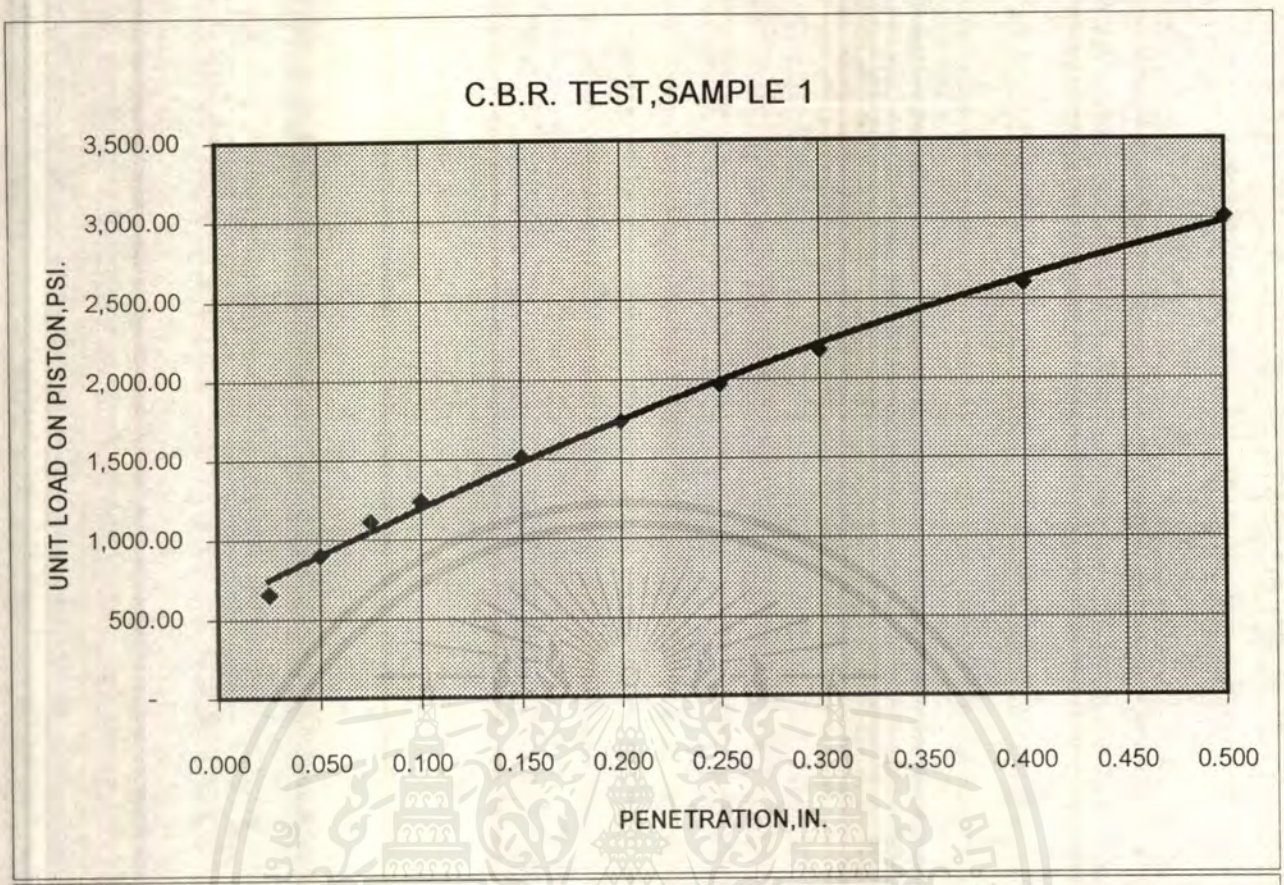
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	140.90	126.60	169.80				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	132.20	118.60	157.60				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.40	24.10	24.40				
WEIGHT OF WATER	gm.	8.70	8.00	12.20				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	107.80	94.50	133.20				
% WATER CONTENT		8.07%	8.47%	9.16%				

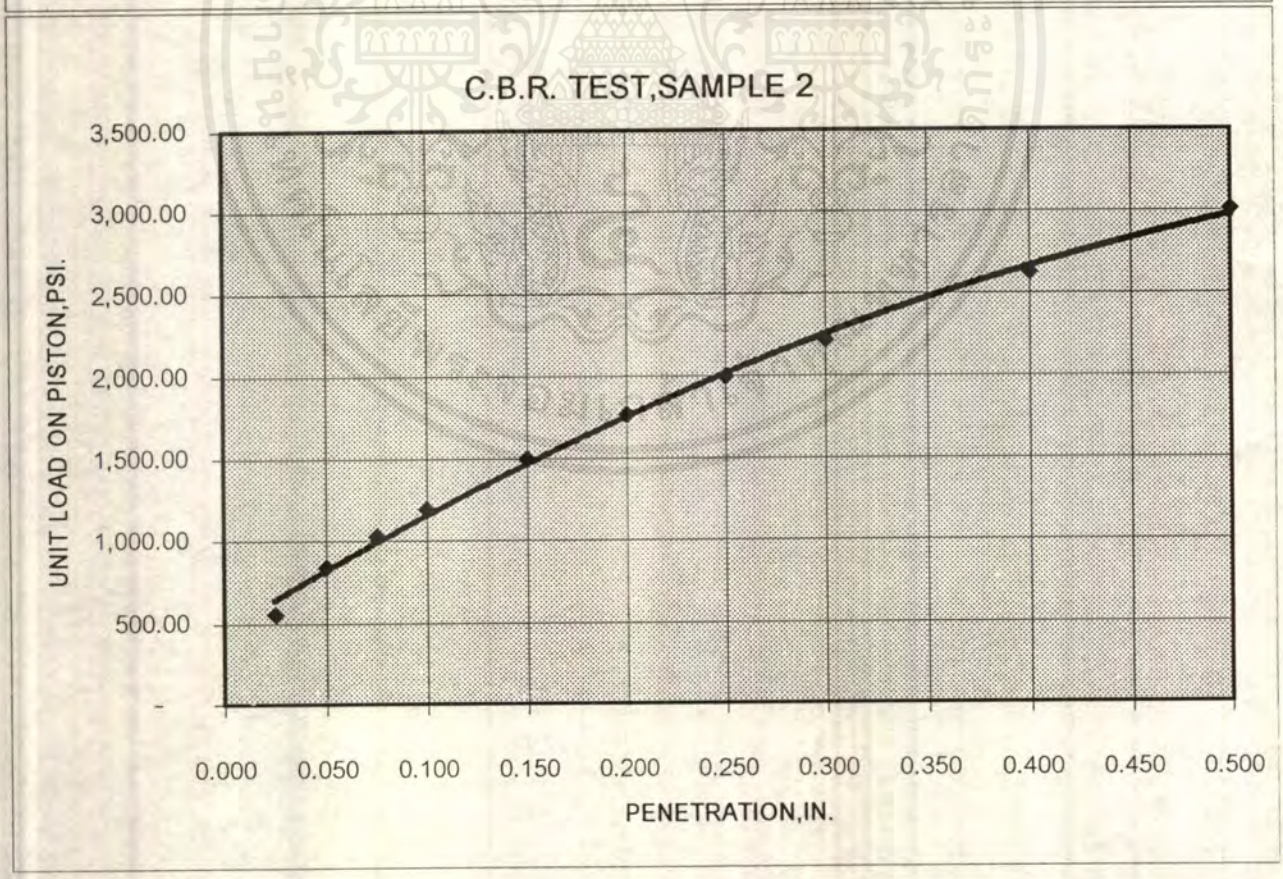
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,313.00	9,372.00	9,380.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,298.00	4,420.00	4,366.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	5,015.00	4,952.00	5,014.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.16	2.14	2.16				
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.00	1.97	1.98				

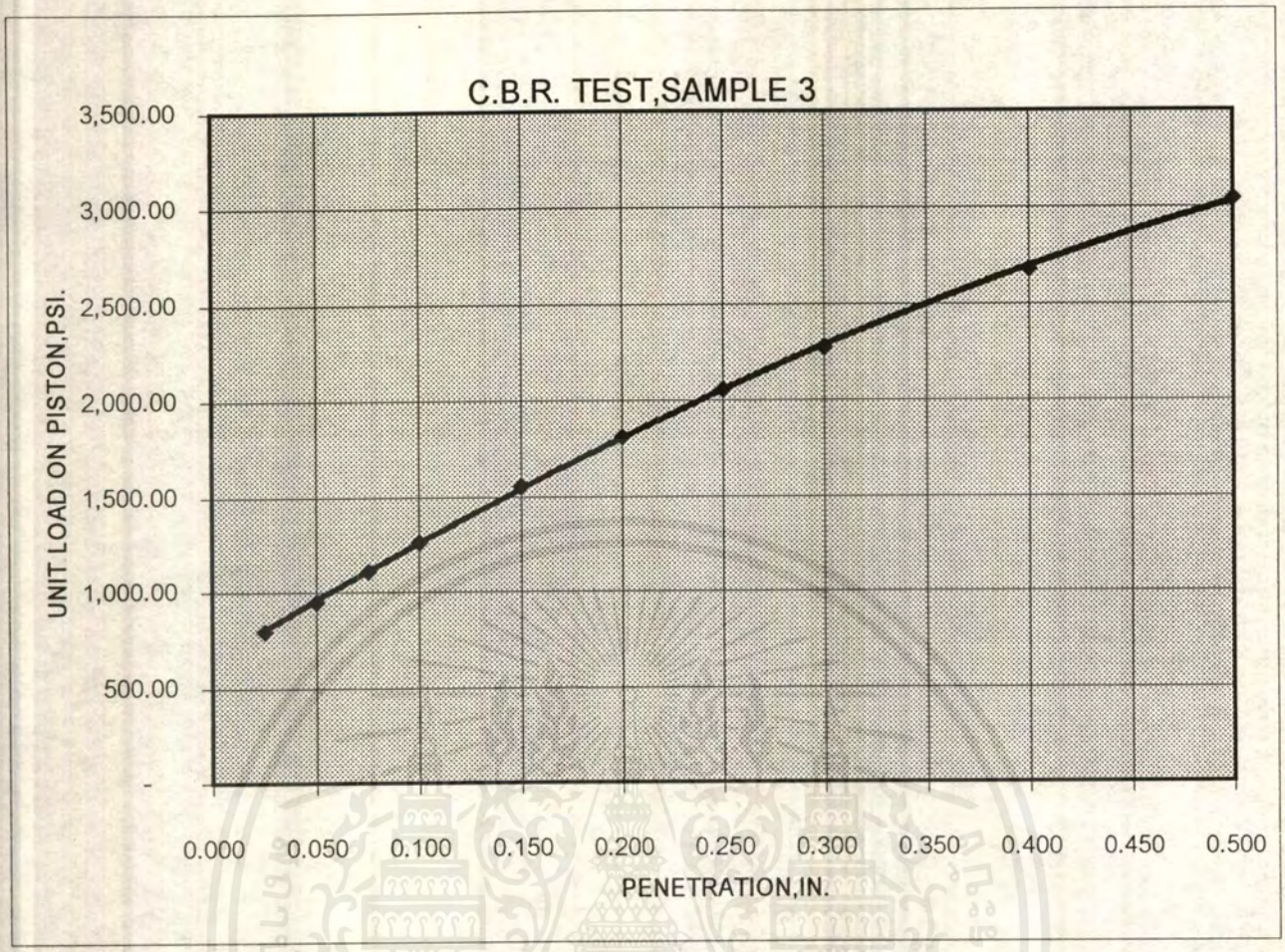
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	1,960.32	653.44	1,664.08	554.69	2,383.68	794.56	
0.050	in.	2,702.57	900.86	2,512.37	837.46	2,838.12	946.04	
0.075	in.	3,346.36	1,115.45	3,080.42	1,026.81	3,330.43	1,110.14	
0.100	in.	3,725.06	1,241.69	3,572.73	1,190.91	3,784.87	1,261.62	
0.150	in.	4,543.05	1,514.35	4,481.61	1,493.87	4,655.88	1,551.96	
0.200	in.	5,201.99	1,734.00	5,292.03	1,764.01	5,436.00	1,812.00	
0.250	in.	5,898.80	1,966.27	5,996.41	1,998.80	6,170.68	2,056.89	
0.300	in.	6,542.59	2,180.86	6,640.20	2,213.40	6,814.47	2,271.49	
0.400	in.	7,807.45	2,602.48	7,882.34	2,627.45	8,026.31	2,675.44	
0.500	in.	9,034.43	3,011.48	9,026.01	3,008.67	9,124.54	3,041.51	
%C.B.R.			115.60		117.60		120.80	118.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

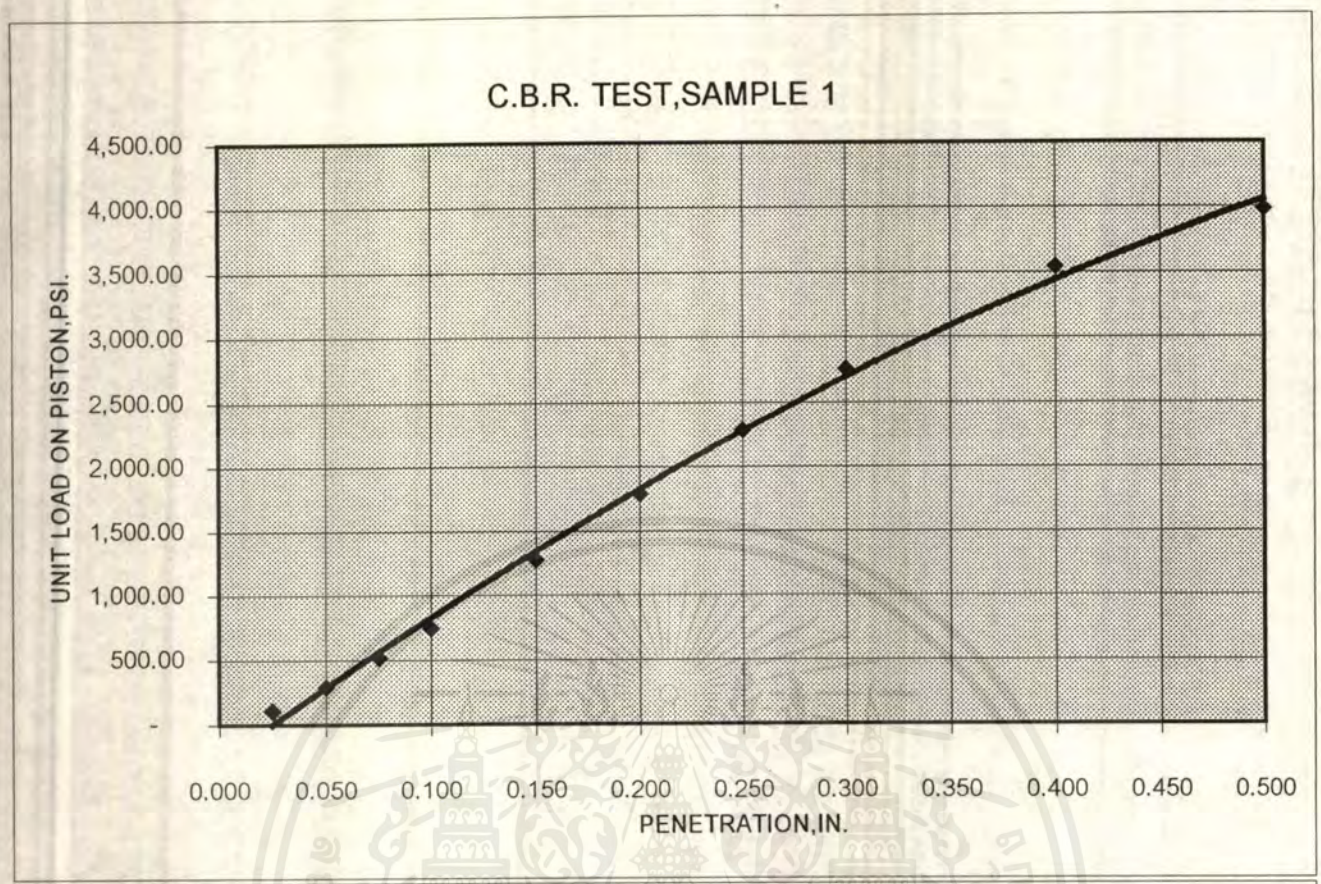


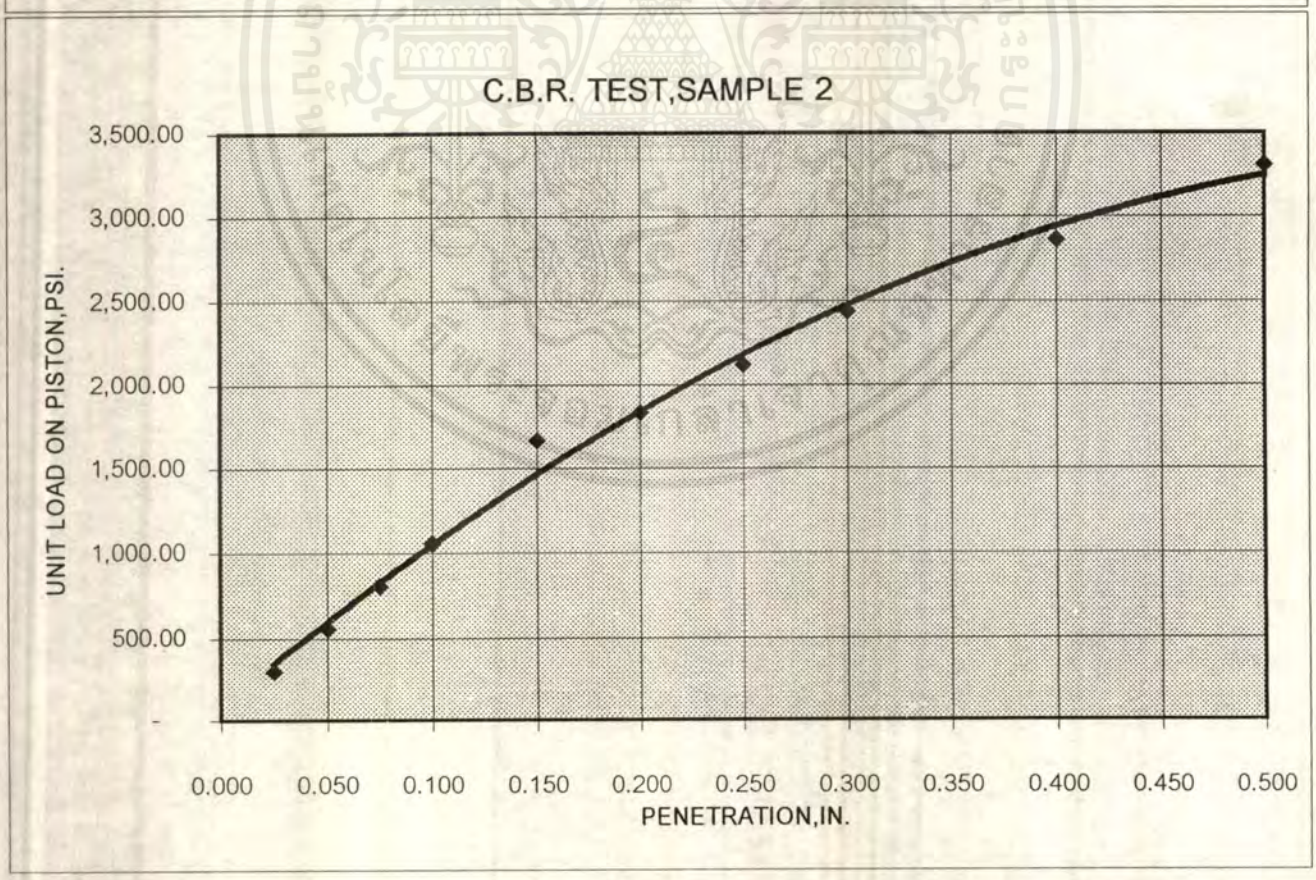
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG							C.B.R. TEST	
PROJECT soil- fly.ash stabilization		OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก					JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI						SAMPLE NO.	
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 12% fly ash CURING 3 days						DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก						DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก						DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR			MOLD VOLUME		2,316.67		CM^3
WATER CONTENT DETERMINATION								
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	155.00	168.00	150.00				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	145.30	157.20	140.50				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.10	24.00	24.00				
WEIGHT OF WATER	gm.	9.70	10.80	9.50				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	121.20	133.20	116.50				
% WATER CONTENT		8.00%	8.11%	8.15%				
DENSITY DETERMINATION								
WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,125.00	9,158.00	9,255.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,317.00	4,359.00	4,298.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,808.00	4,799.00	4,957.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.08	2.07	2.14				
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.92	1.92	1.98				

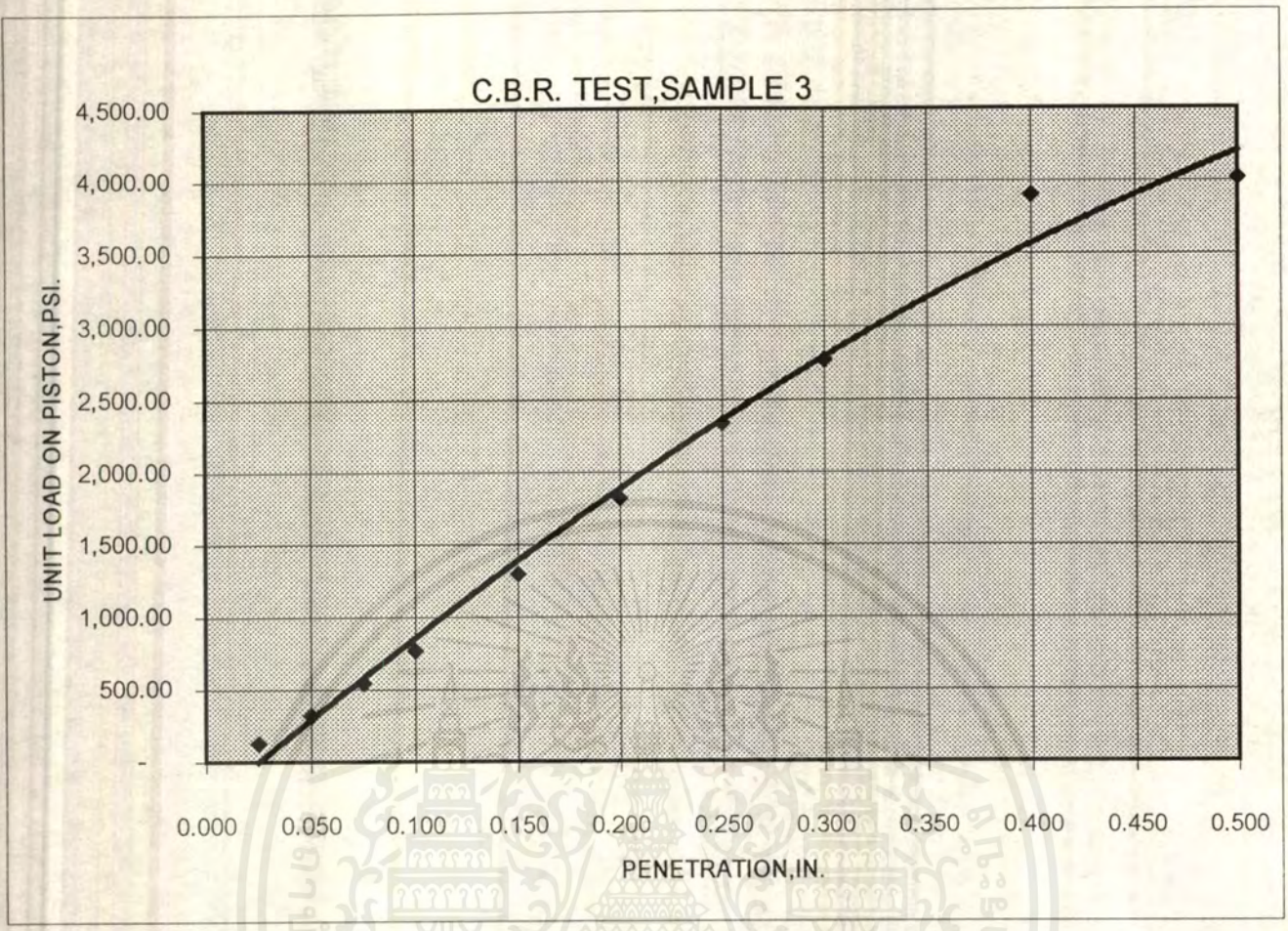
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	320.85	106.95	897.88	299.29	385.78	128.59	
0.050	in.	865.25	288.42	1,675.28	558.43	958.00	319.33	
0.075	in.	1,550.86	516.95	2,408.60	802.87	1,628.87	542.96	
0.100	in.	2,230.28	743.43	3,164.26	1,054.75	2,306.56	768.85	
0.150	in.	3,812.60	1,270.87	5,005.88	1,668.63	3,880.20	1,293.40	
0.200	in.	5,363.48	1,787.83	5,495.27	1,831.76	5,460.74	1,820.25	
0.250	in.	6,855.25	2,285.08	6,350.08	2,116.69	7,006.82	2,335.61	
0.300	in.	8,260.48	2,753.49	7,300.24	2,433.41	8,309.64	2,769.88	
0.400	in.	10,615.86	3,538.62	8,588.49	2,862.83	11,695.82	3,898.61	
0.500	in.	11,945.08	3,981.69	9,918.46	3,306.15	12,053.92	4,017.97	
%C.B.R.			137.25		122.10		140.30	133.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก		JOB NO.
LOCATION	CHONBURI		SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 12% fly ash CURING	7 days	DEPT
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,316.67 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

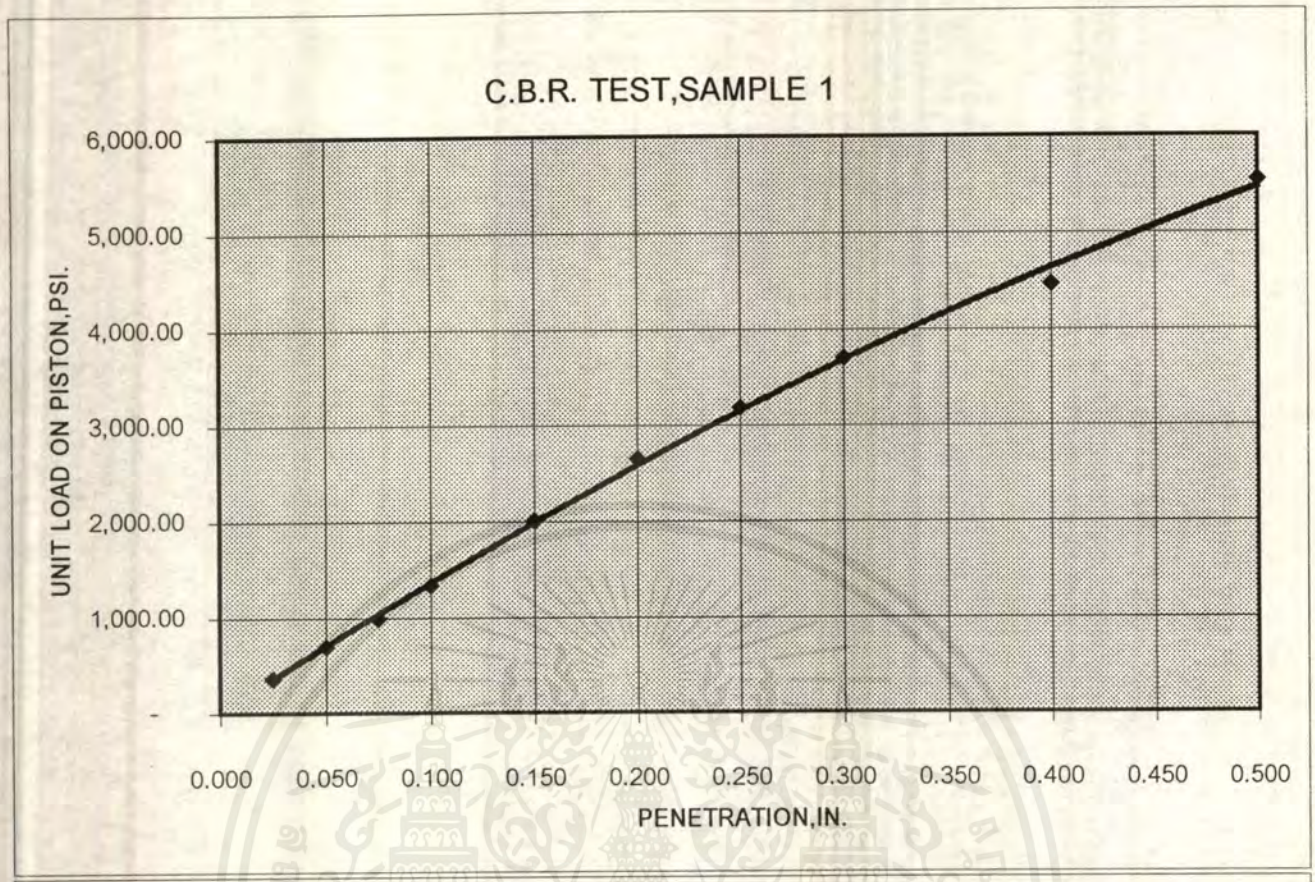
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	170.70	161.20	173.00				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	159.60	150.30	160.70				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.40	24.50	24.30				
WEIGHT OF WATER	gm.	11.10	10.90	12.30				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	135.20	125.80	136.40				
% WATER CONTENT		8.21%	8.66%	9.02%				

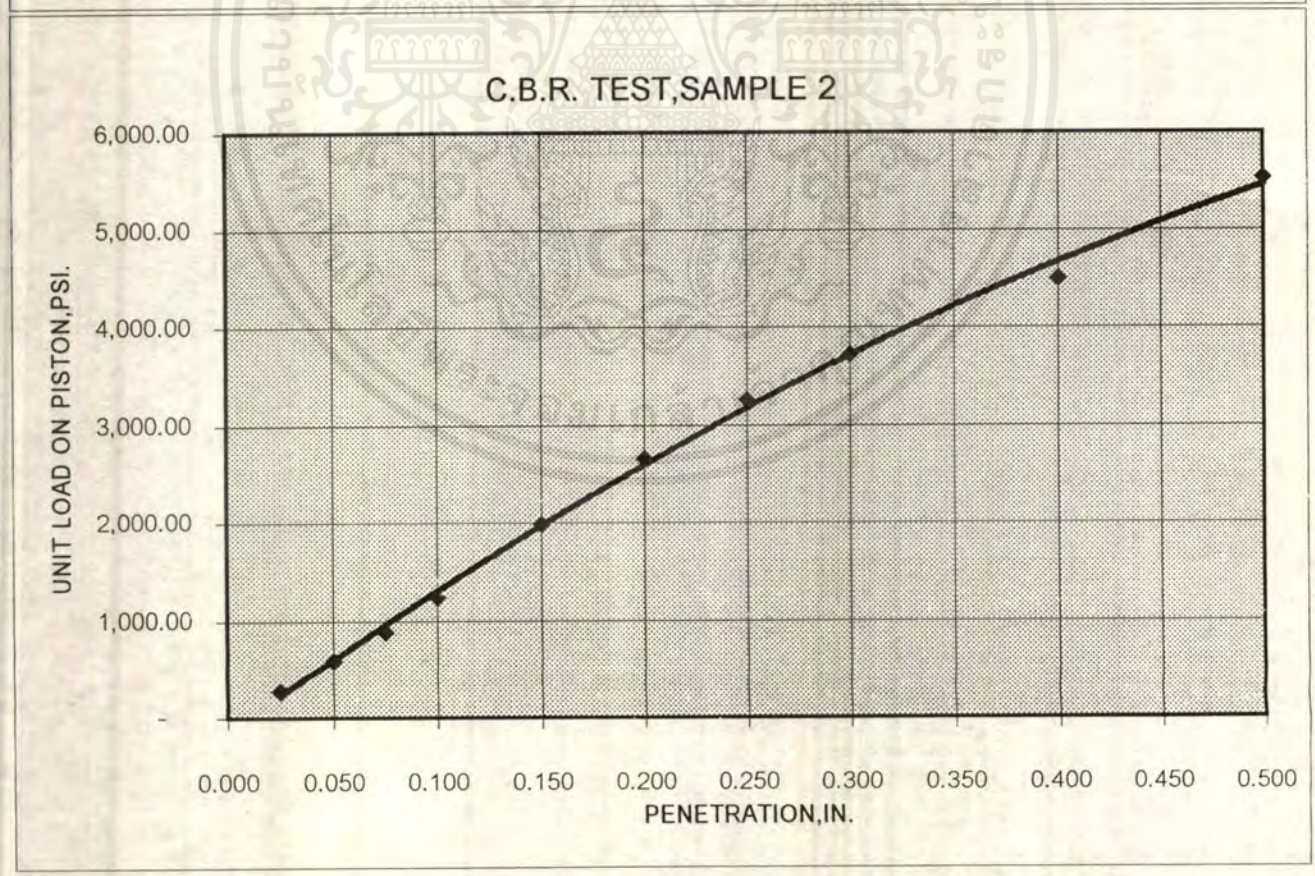
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,120.00	9,315.00	9,231.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,082.00	4,368.00	4,091.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	5,038.00	4,947.00	5,140.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.17	2.14	2.22				
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.01	1.97	2.04				

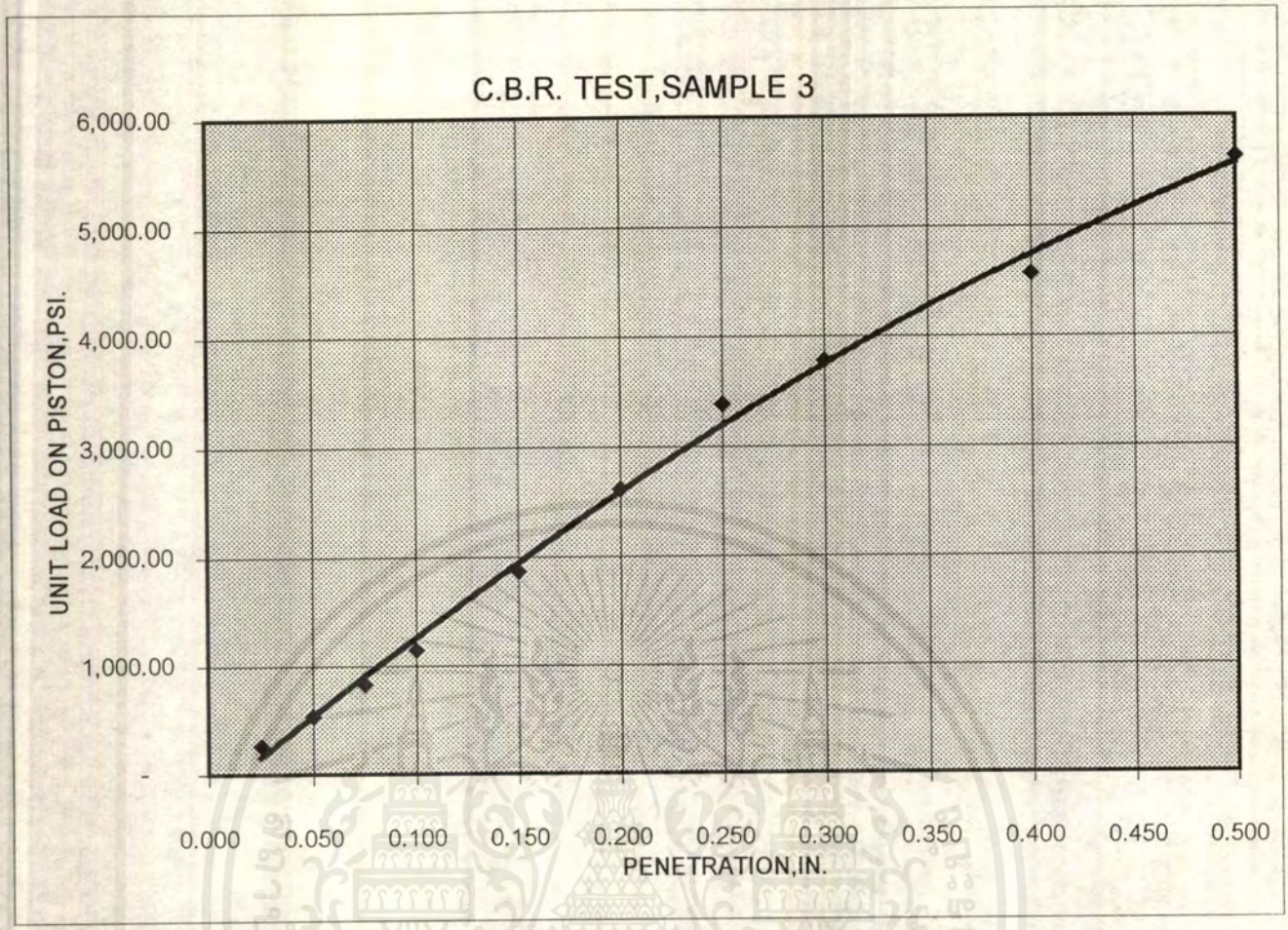
SAMPLE NO.		1		2		3		
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	Average
0.025	in.	1,083.08	361.03	810.42	270.14	780.12	260.04	
0.050	in.	2,067.70	689.23	1,779.89	593.30	1,605.69	535.23	
0.075	in.	2,969.01	989.67	2,658.47	886.16	2,499.42	833.14	
0.100	in.	4,014.22	1,338.07	3,711.26	1,237.09	3,446.17	1,148.72	
0.150	in.	6,036.48	2,012.16	5,945.59	1,981.86	5,604.76	1,868.25	
0.200	in.	7,952.70	2,650.90	7,967.85	2,655.95	7,846.66	2,615.55	
0.250	in.	9,543.24	3,181.08	9,770.46	3,256.82	10,149.16	3,383.05	
0.300	in.	11,095.91	3,698.64	11,133.78	3,711.26	11,323.13	3,774.38	
0.400	in.	13,405.98	4,468.66	13,481.72	4,493.91	13,693.79	4,564.60	
0.500	in.	16,624.93	5,541.64	16,587.06	5,529.02	16,890.02	5,630.01	
%C.B.R.			172.20		184.00		182.20	179.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI	SAMPLE NO.	
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 12% fly ash CURING 14 days	DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,316.67 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

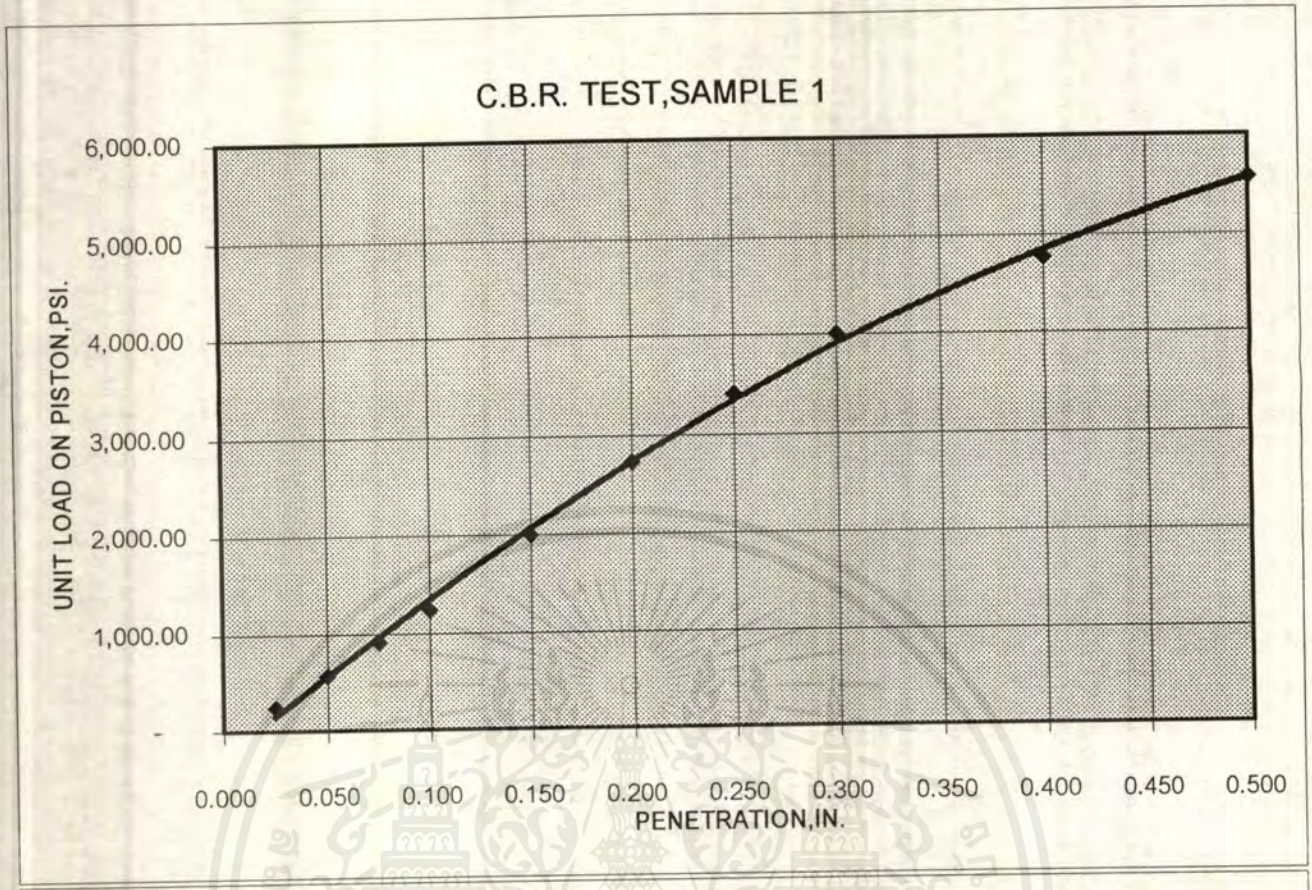
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	165.80	168.50	147.60				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	155.00	159.00	139.50				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.20	24.20	28.80				
WEIGHT OF WATER	gm.	10.80	9.50	8.10				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	130.80	134.80	110.70				
% WATER CONTENT		8.26%	7.05%	7.32%				

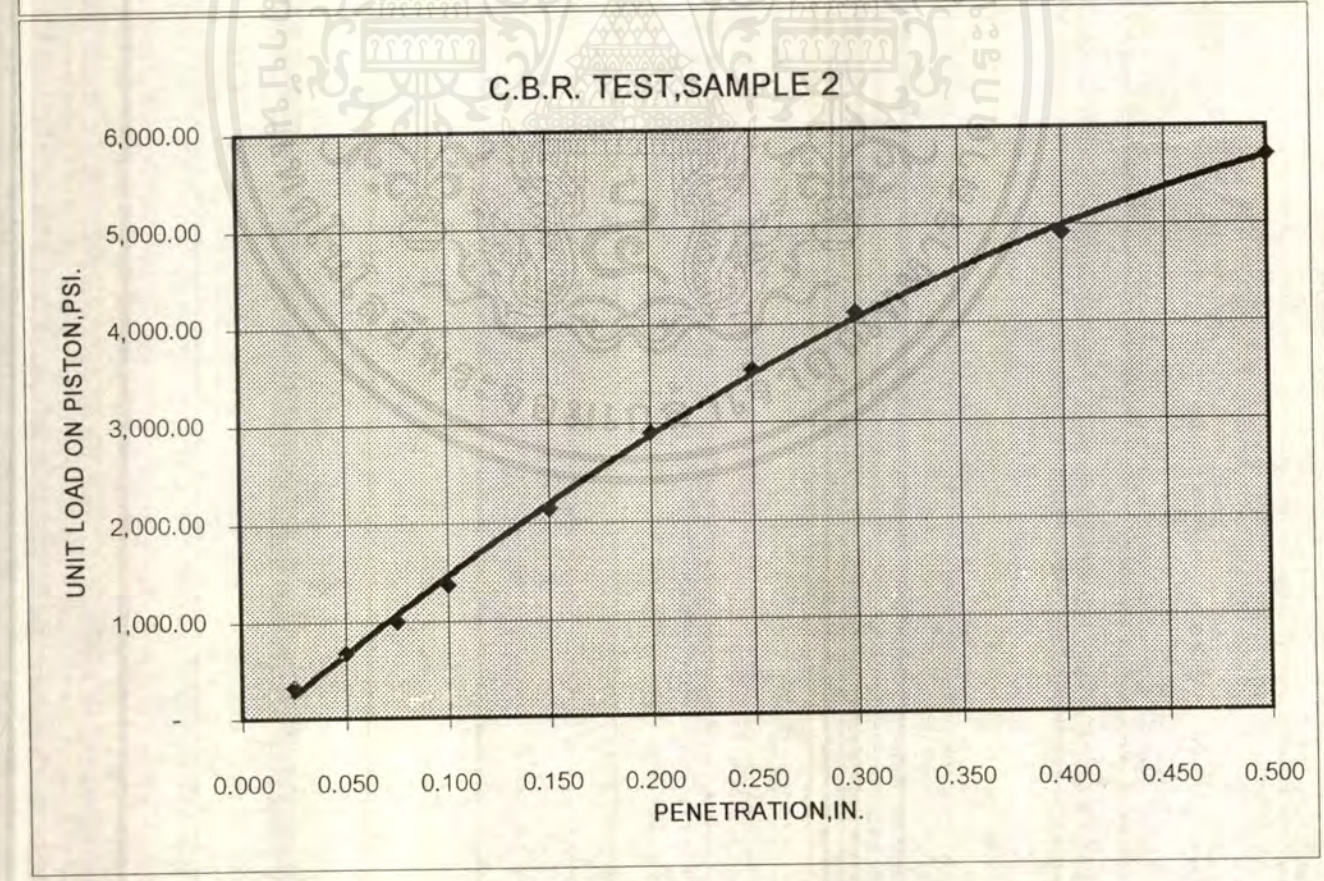
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,110.00	9,475.00	9,325.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,082.00	4,368.00	4,091.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	5,028.00	5,107.00	5,234.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.17	2.20	2.26				
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.00	2.06	2.11				

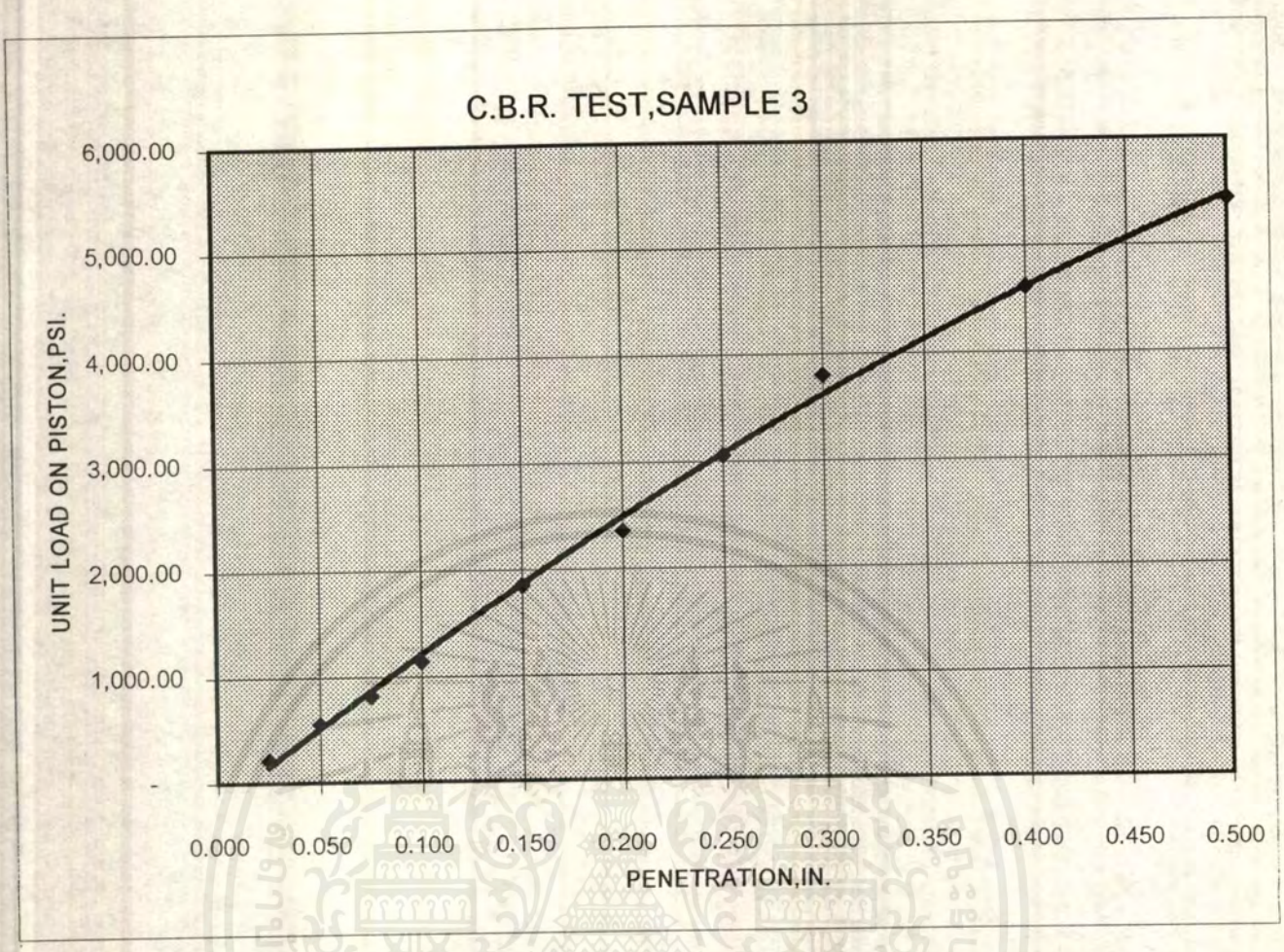
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	727.10	242.37	954.32	318.11	643.79	214.60	
0.050	in.	1,696.58	565.53	2,037.41	679.14	1,666.28	555.43	
0.075	in.	2,726.64	908.88	2,999.30	999.77	2,461.55	820.52	
0.100	in.	3,711.26	1,237.09	4,105.11	1,368.37	3,415.87	1,138.62	
0.150	in.	5,983.46	1,994.49	6,415.18	2,138.39	5,544.17	1,848.06	
0.200	in.	8,179.92	2,726.64	8,687.38	2,895.79	7,058.97	2,352.99	
0.250	in.	10,224.90	3,408.30	10,603.60	3,534.53	9,156.97	3,052.32	
0.300	in.	12,004.79	4,001.60	12,345.62	4,115.21	11,398.87	3,799.62	
0.400	in.	14,314.86	4,771.62	14,731.43	4,910.48	13,830.12	4,610.04	
0.500	in.	16,700.67	5,566.89	17,117.24	5,705.75	16,268.95	5,422.98	
%C.B.R.			194.70		200.00		185.70	193.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.
LOCATION CHONBURI		SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION ดินลูกรัง + 12% fly ash CURING 28 days		DEPT
TEST BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME 2,316.67 CM^3	

WATER CONTENT DETERMINATION

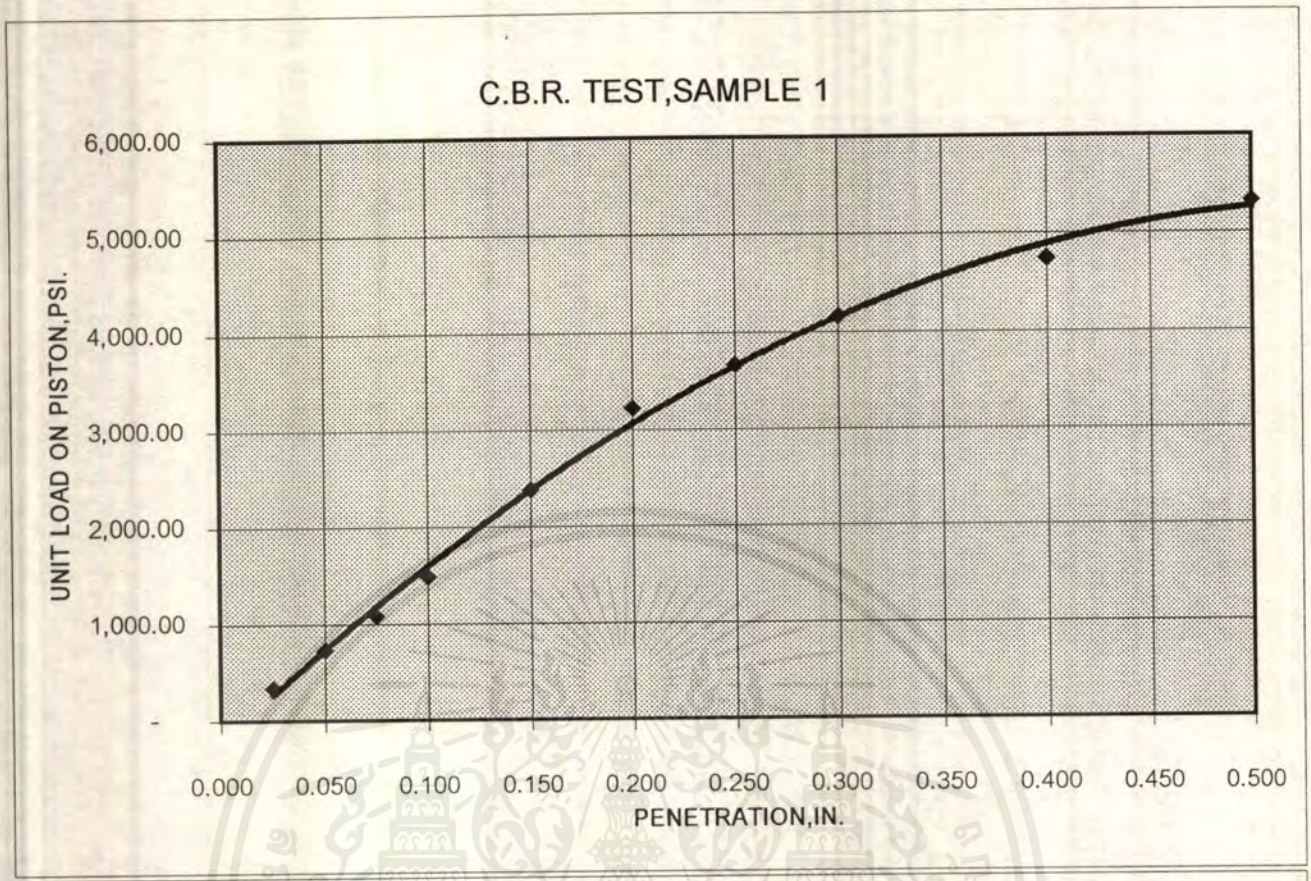
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	165.00	161.80	149.80				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	154.00	151.50	140.00				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.30	24.40	24.50				
WEIGHT OF WATER	gm.	11.00	10.30	9.80				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	129.70	127.10	115.50				
% WATER CONTENT		8.48%	8.10%	8.48%				

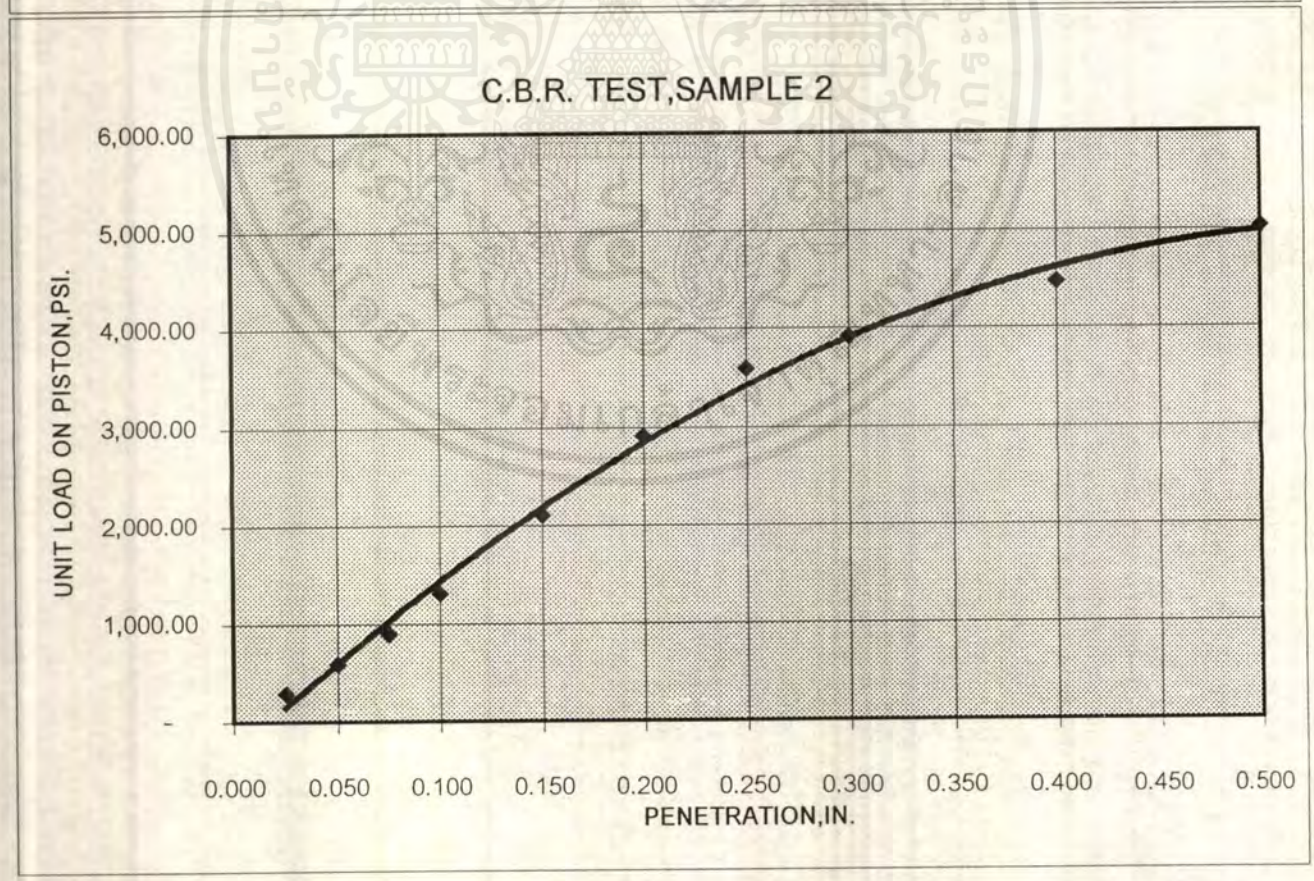
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,464.00	9,460.00	9,460.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,298.00	4,420.00	4,366.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	5,166.00	5,040.00	5,094.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.23	2.18	2.20				
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.06	2.01	2.03				

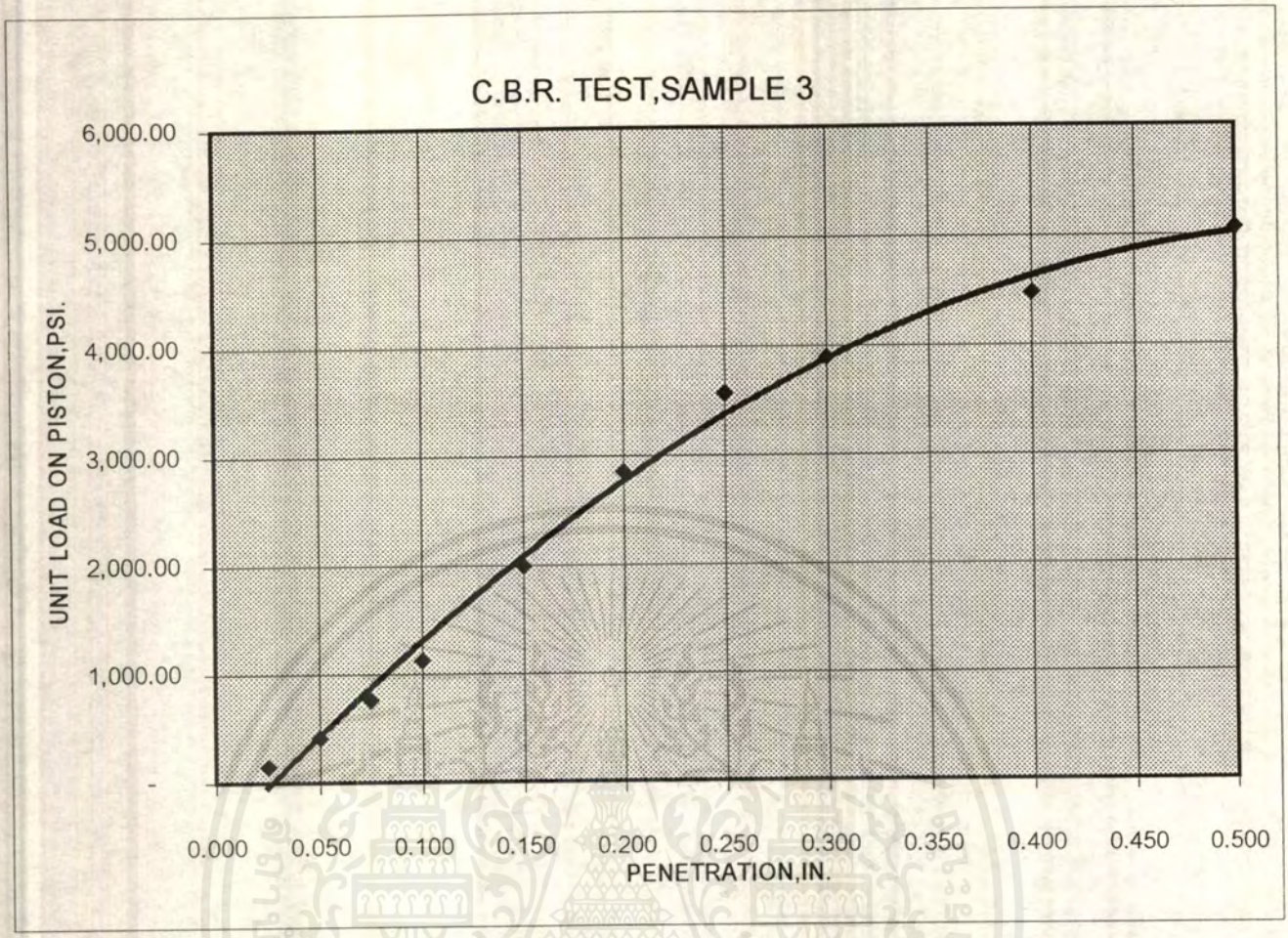
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	1,037.64	345.88	871.01	290.34	439.29	146.43	
0.050	in.	2,196.46	732.15	1,779.89	593.30	1,226.99	409.00	
0.075	in.	3,249.25	1,083.08	2,703.92	901.31	2,272.20	757.40	
0.100	in.	4,468.66	1,489.55	3,900.61	1,300.20	3,370.43	1,123.48	
0.150	in.	7,134.71	2,378.24	6,316.72	2,105.57	5,983.46	1,994.49	
0.200	in.	9,656.85	3,218.95	8,702.53	2,900.84	8,558.62	2,852.87	
0.250	in.	10,982.30	3,660.77	10,755.08	3,585.03	10,717.21	3,572.40	
0.300	in.	12,480.87	4,160.29	11,734.29	3,911.43	11,682.35	3,894.12	
0.400	in.	14,218.02	4,739.34	13,416.80	4,472.27	13,439.79	4,479.93	
0.500	in.	15,955.17	5,318.39	15,099.31	5,033.10	15,197.23	5,065.74	
%C.B.R.			214.60		205.10		204.80	208.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		C.B.R. TEST
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.
LOCATION CHONBURI		SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION ดินลูกรัง + 15% fly ash CURING 0 days		DEPT
TEST BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME 2,316.67	CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

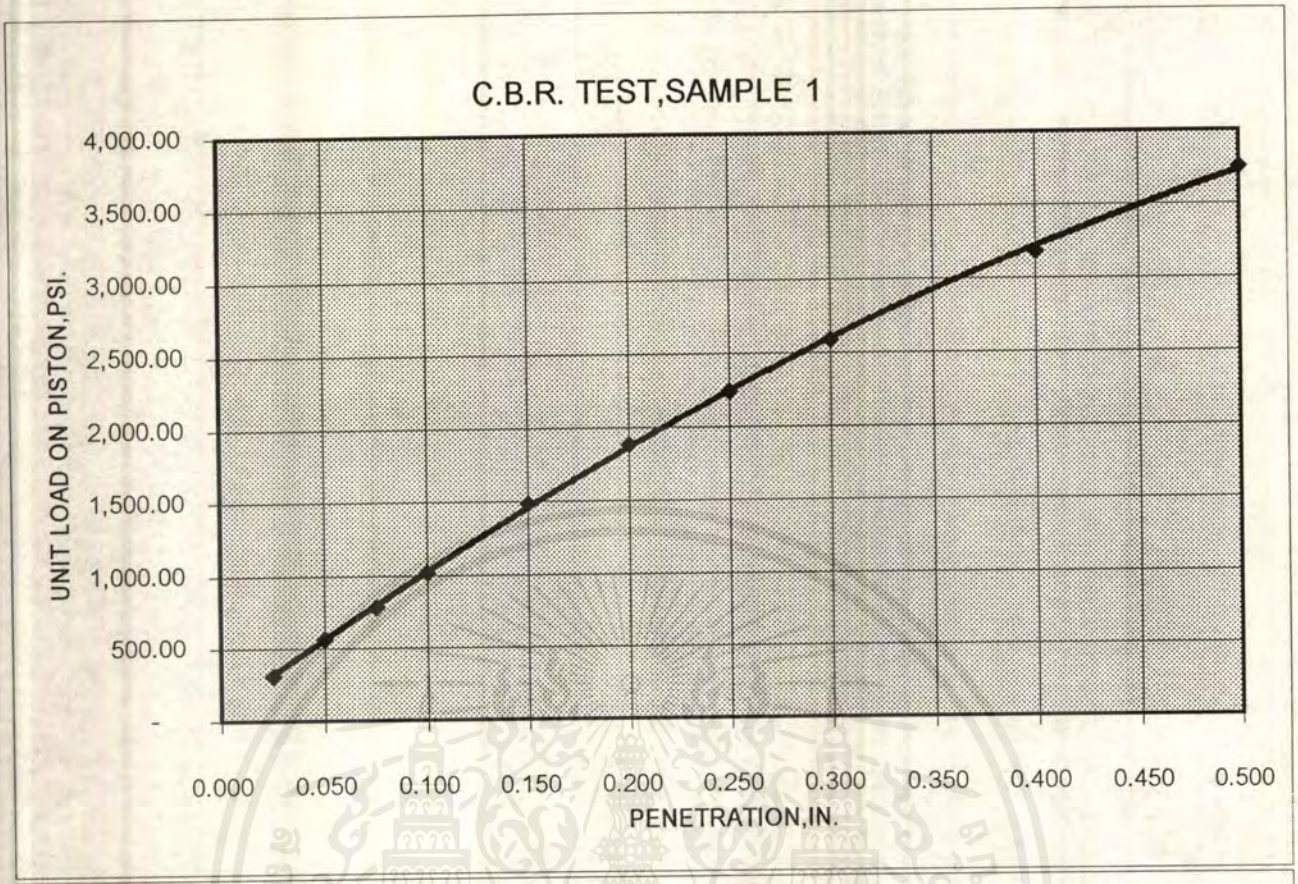
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	156.00	165.80	162.80				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	145.80	155.00	151.70				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.20	24.30	24.40				
WEIGHT OF WATER	gm.	10.20	10.80	11.10				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	121.60	130.70	127.30				
% WATER CONTENT		8.39%	8.26%	8.72%				

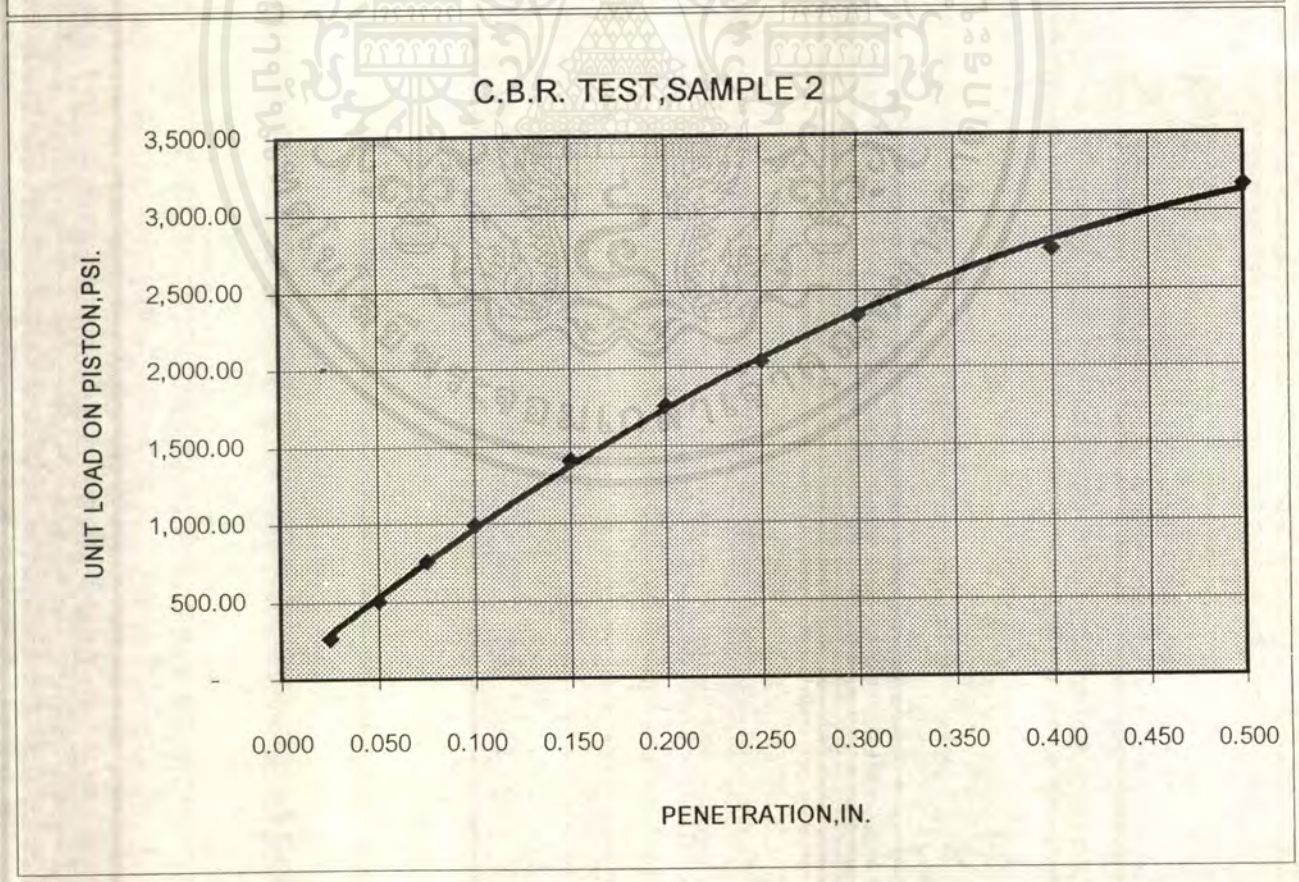
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,264.00	9,258.60	9,256.78				
WT. OF MOLD	gm.	4,298.00	4,420.00	4,366.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,966.00	4,838.60	4,890.78				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.14	2.09	2.11				
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.98	1.93	1.94				

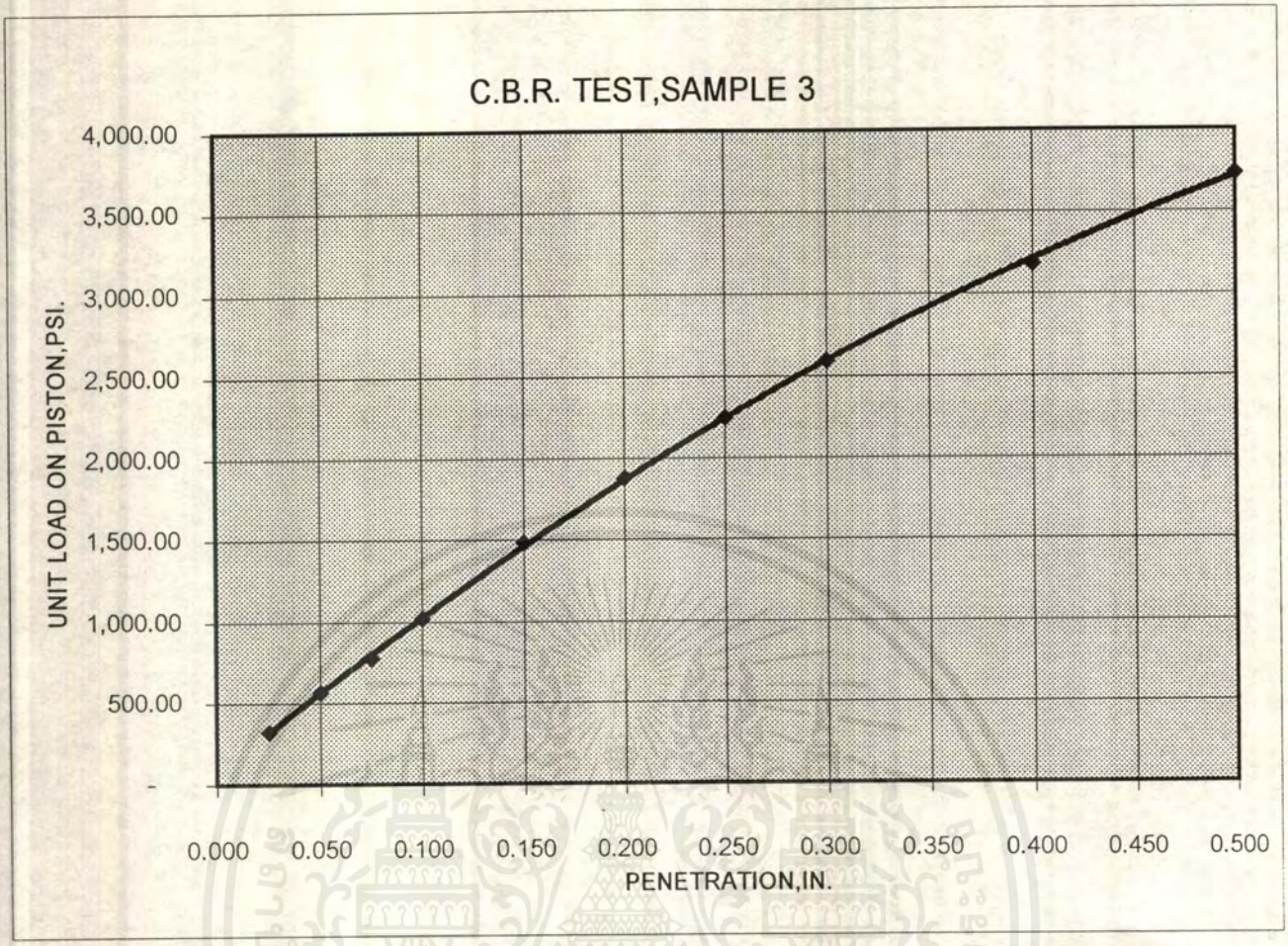
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	915.68	305.23	789.65	263.22	958.62	319.54	
0.050	in.	1,685.25	561.75	1,508.68	502.89	1,685.23	561.74	
0.075	in.	2,338.80	779.60	2,278.48	759.49	2,320.79	773.60	
0.100	in.	3,050.88	1,016.96	2,963.75	987.92	3,050.85	1,016.95	
0.150	in.	4,444.82	1,481.61	4,226.18	1,408.73	4,438.65	1,479.55	
0.200	in.	5,658.23	1,886.08	5,276.94	1,758.98	5,625.85	1,875.28	
0.250	in.	6,725.80	2,241.93	6,130.75	2,043.58	6,731.45	2,243.82	
0.300	in.	7,745.60	2,581.87	7,005.82	2,335.27	7,767.67	2,589.22	
0.400	in.	9,536.47	3,178.82	8,273.64	2,757.88	9,535.82	3,178.61	
0.500	in.	11,248.56	3,749.52	9,508.75	3,169.58	11,194.46	3,731.49	
%C.B.R.			125.70		117.30		125.00	122.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก		JOB NO.
LOCATION	CHONBURI		SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 15% fly ash CURING	3 days	DEPT
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME 2,316.67	CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

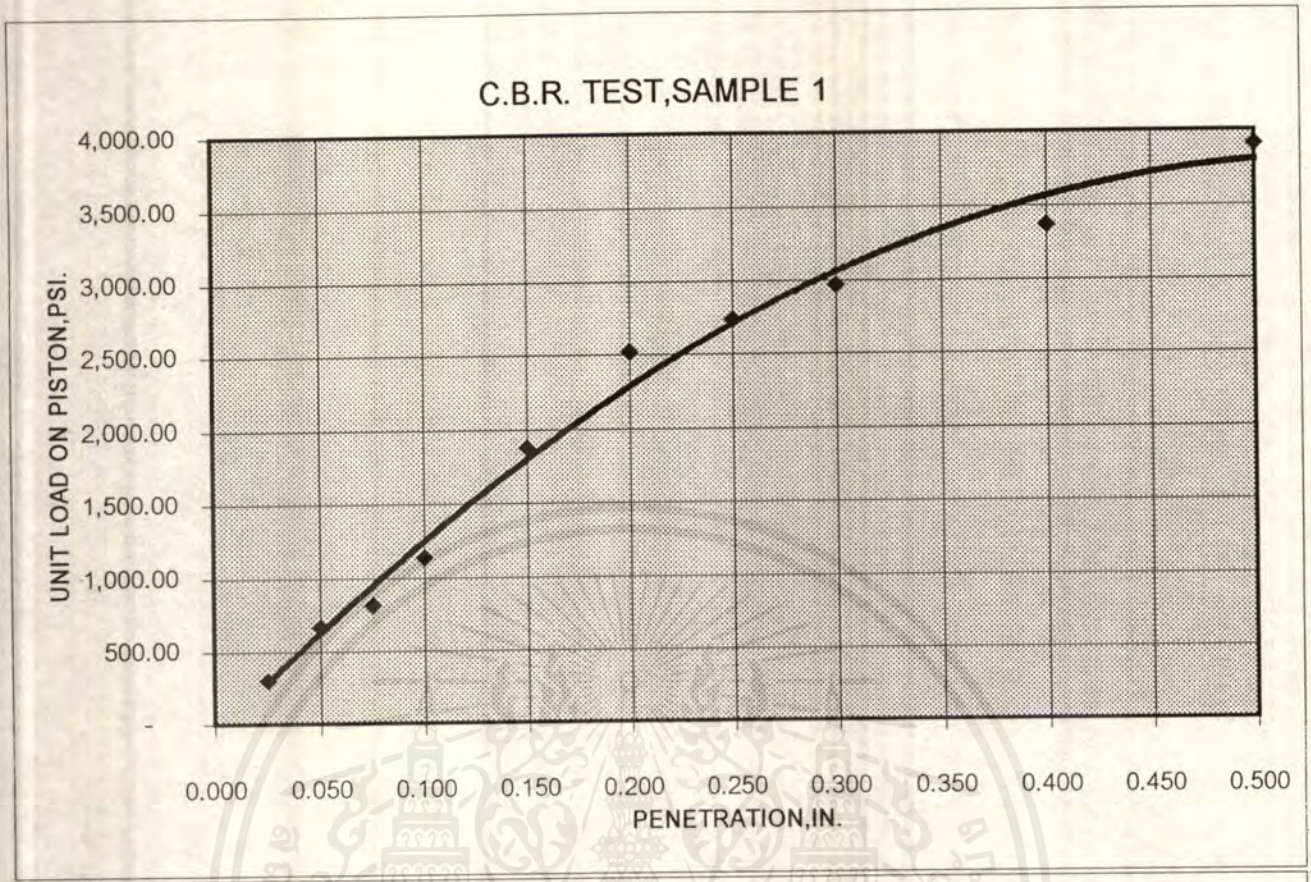
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	155.80	149.00	158.20				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	146.25	138.60	148.30				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.20	24.60	24.30				
WEIGHT OF WATER	gm.	9.55	10.40	9.90				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	122.05	114.00	124.00				
% WATER CONTENT		7.82%	9.12%	7.98%				

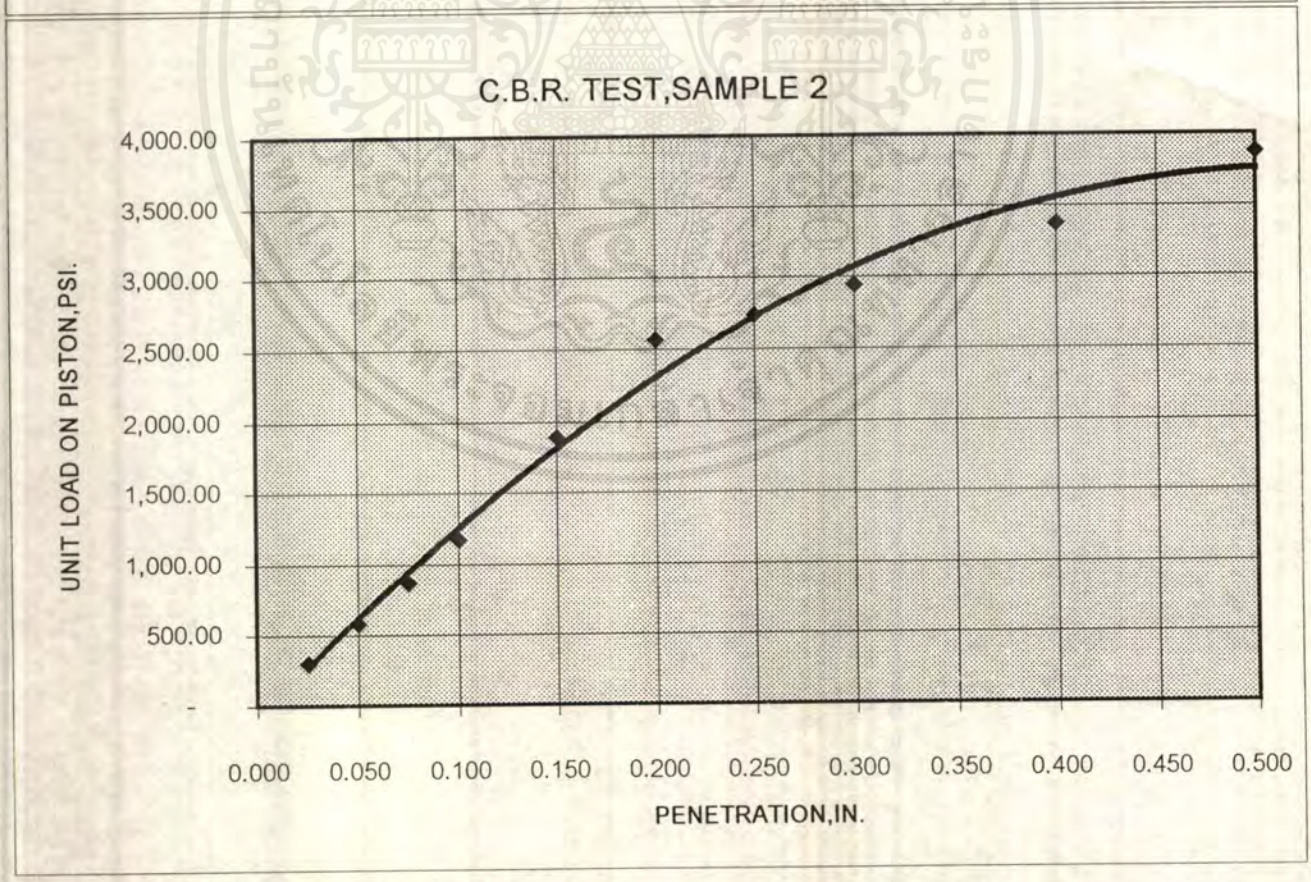
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,240.00	9,155.50	9,008.56				
WT. OF MOLD	gm.	4,380.00	4,317.00	4,359.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,860.00	4,838.50	4,649.56				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.10	2.09	2.01				
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.95	1.91	1.86				

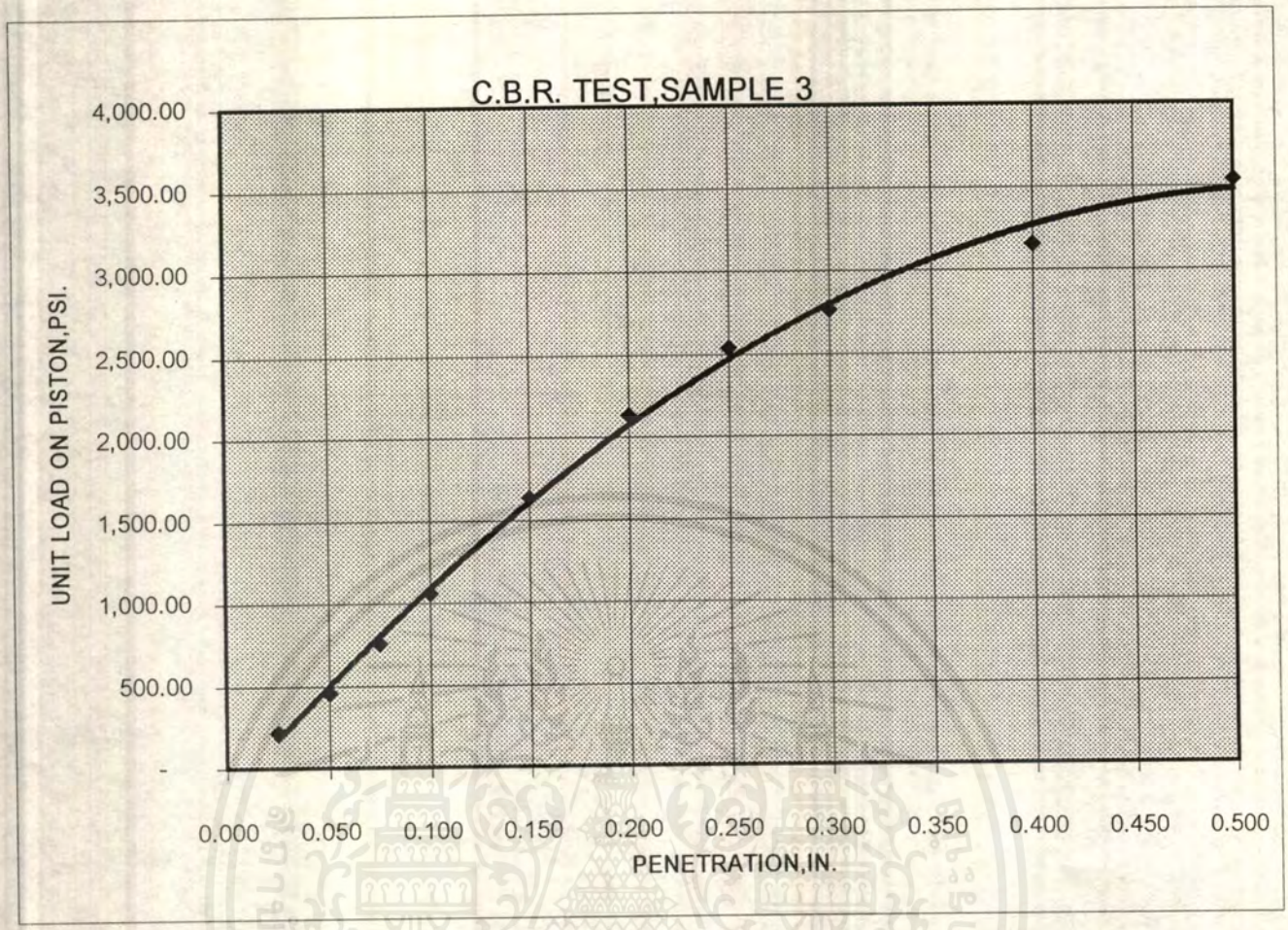
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	905.80	301.93	901.58	300.53	645.82	215.27	
0.050	in.	1,995.64	665.21	1,732.56	577.52	1,370.64	456.88	
0.075	in.	2,438.60	812.87	2,603.86	867.95	2,260.18	753.39	
0.100	in.	3,405.80	1,135.27	3,520.25	1,173.42	3,170.26	1,056.75	
0.150	in.	5,628.67	1,876.22	5,670.49	1,890.16	4,913.49	1,637.83	
0.200	in.	7,555.58	2,518.53	7,685.28	2,561.76	6,390.75	2,130.25	
0.250	in.	8,206.72	2,735.57	8,208.35	2,736.12	7,605.97	2,535.32	
0.300	in.	8,899.64	2,966.55	8,830.18	2,943.39	8,283.16	2,761.05	
0.400	in.	10,115.86	3,371.95	10,102.94	3,367.65	9,460.68	3,153.56	
0.500	in.	11,726.83	3,908.94	11,616.46	3,872.15	10,605.89	3,535.30	
%C.B.R.			157.40		159.25		145.45	154.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI	SAMPLE NO.	
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 15% fly ash CURING 7 days	DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,316.67 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

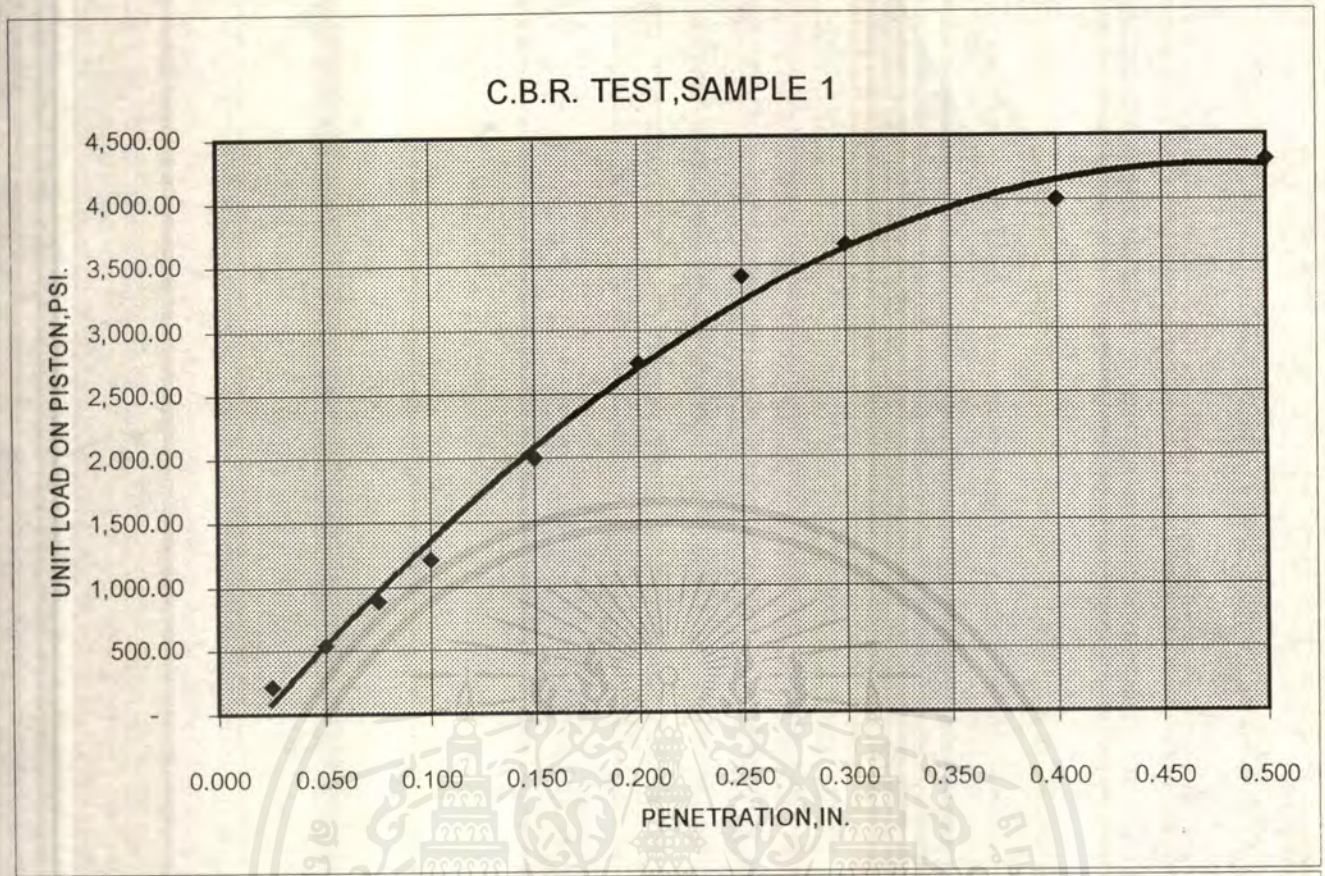
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	169.00	155.20	159.50				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	159.20	145.10	149.80				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.40	24.30	24.20				
WEIGHT OF WATER	gm.	9.80	10.10	9.70				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	134.80	120.80	125.60				
% WATER CONTENT		7.27%	8.36%	7.72%				

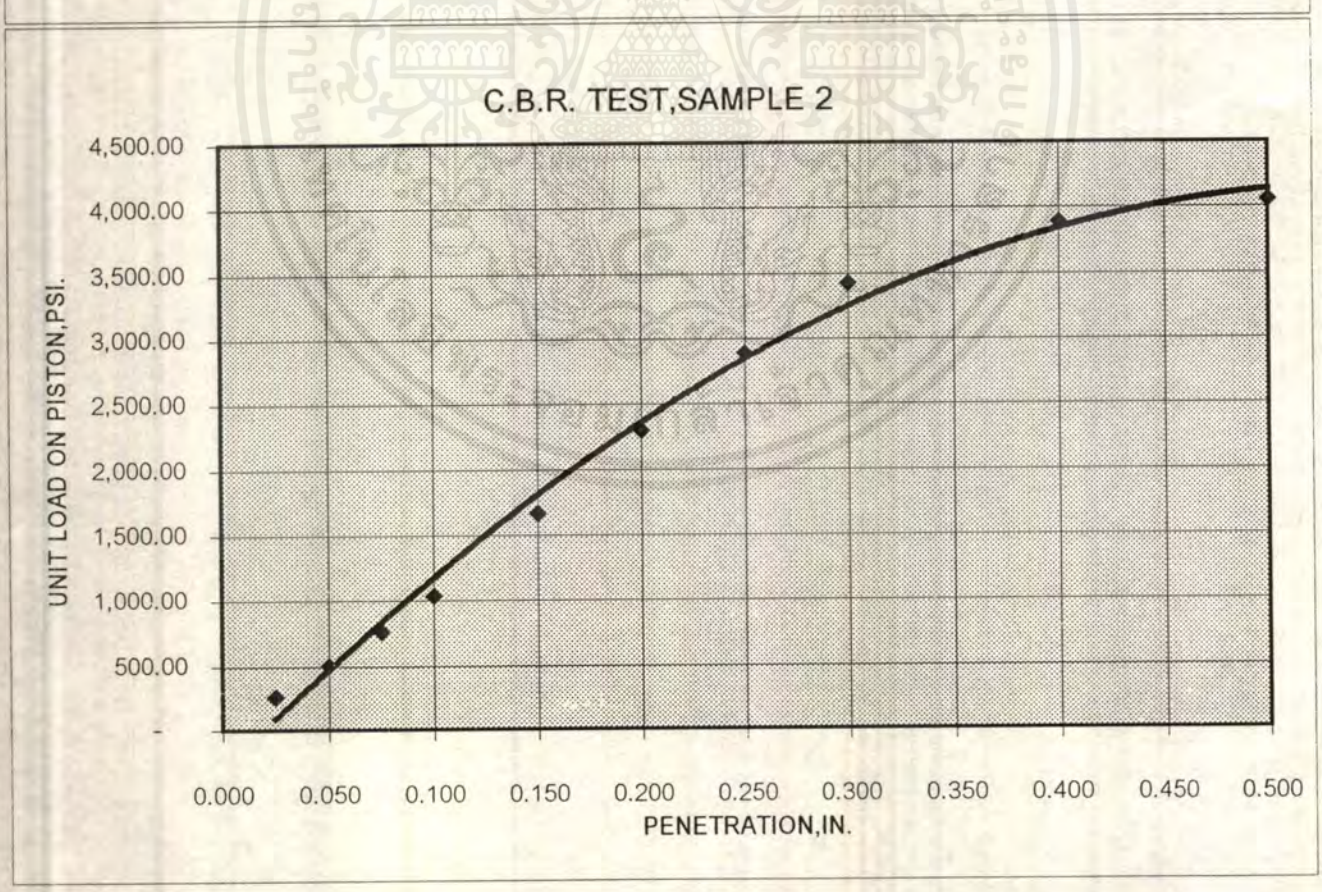
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,086.00	9,372.00	9,022.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,082.00	4,368.00	4,091.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	5,004.00	5,004.00	4,931.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.16	2.16	2.13				
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.01	1.99	1.98				

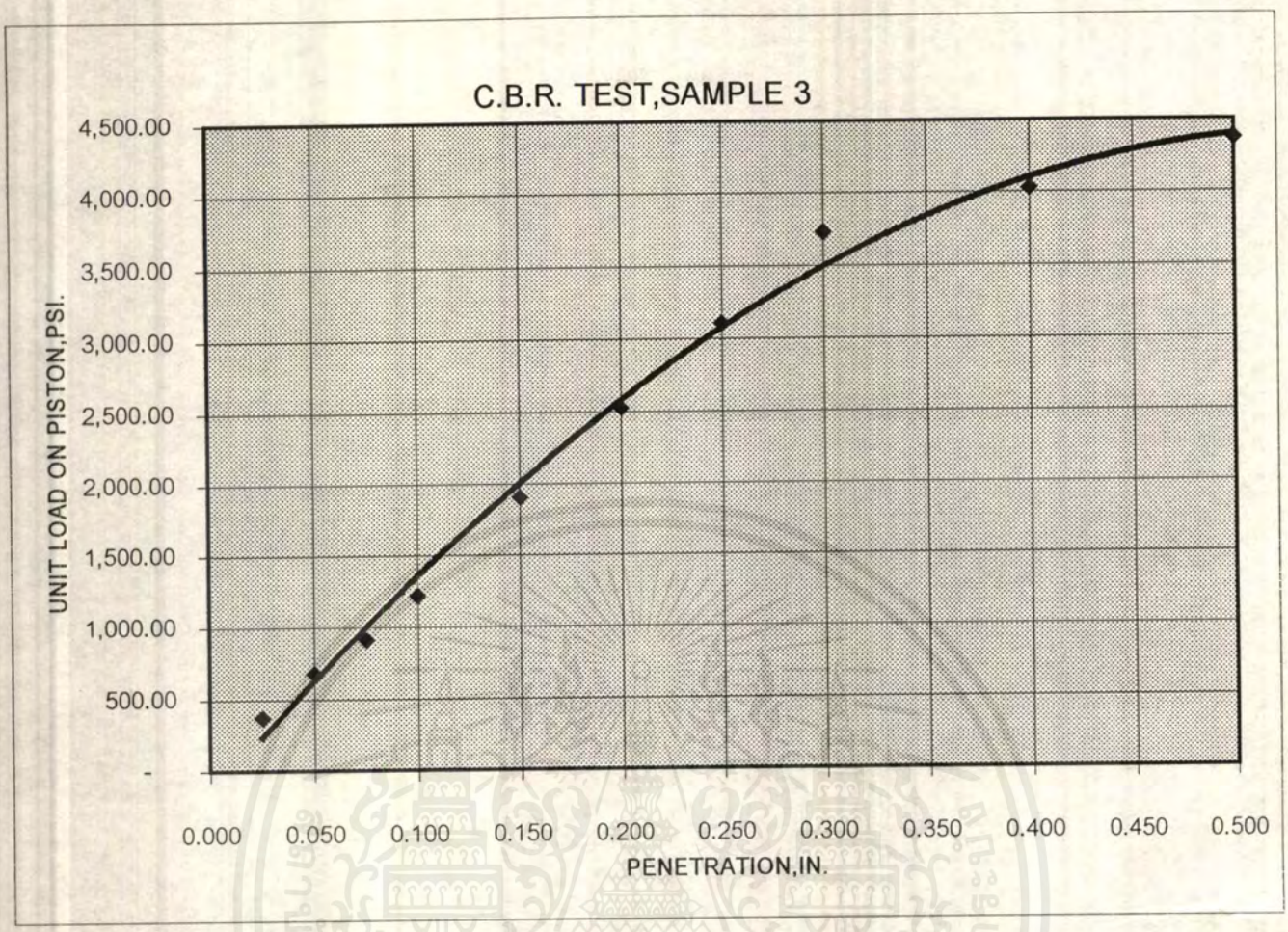
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	643.79	214.60	772.55	257.52	1,113.38	371.13	
0.050	in.	1,605.69	535.23	1,514.80	504.93	2,044.98	681.66	
0.075	in.	2,650.90	883.63	2,287.35	762.45	2,726.64	908.88	
0.100	in.	3,635.52	1,211.84	3,105.34	1,035.11	3,650.67	1,216.89	
0.150	in.	5,983.46	1,994.49	4,998.84	1,666.28	5,718.37	1,906.12	
0.200	in.	8,217.79	2,739.26	6,892.34	2,297.45	7,574.00	2,524.67	
0.250	in.	10,224.90	3,408.30	8,657.08	2,885.69	9,316.02	3,105.34	
0.300	in.	10,982.30	3,660.77	10,277.92	3,425.97	11,186.80	3,728.93	
0.400	in.	12,004.79	4,001.60	11,663.96	3,887.99	12,080.53	4,026.84	
0.500	in.	12,913.67	4,304.56	12,156.27	4,052.09	13,103.02	4,367.67	
%C.B.R.			195.80		172.90		178.90	182.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI	SAMPLE NO.	
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 15% fly ash CURING 14 days	DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,316.67 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

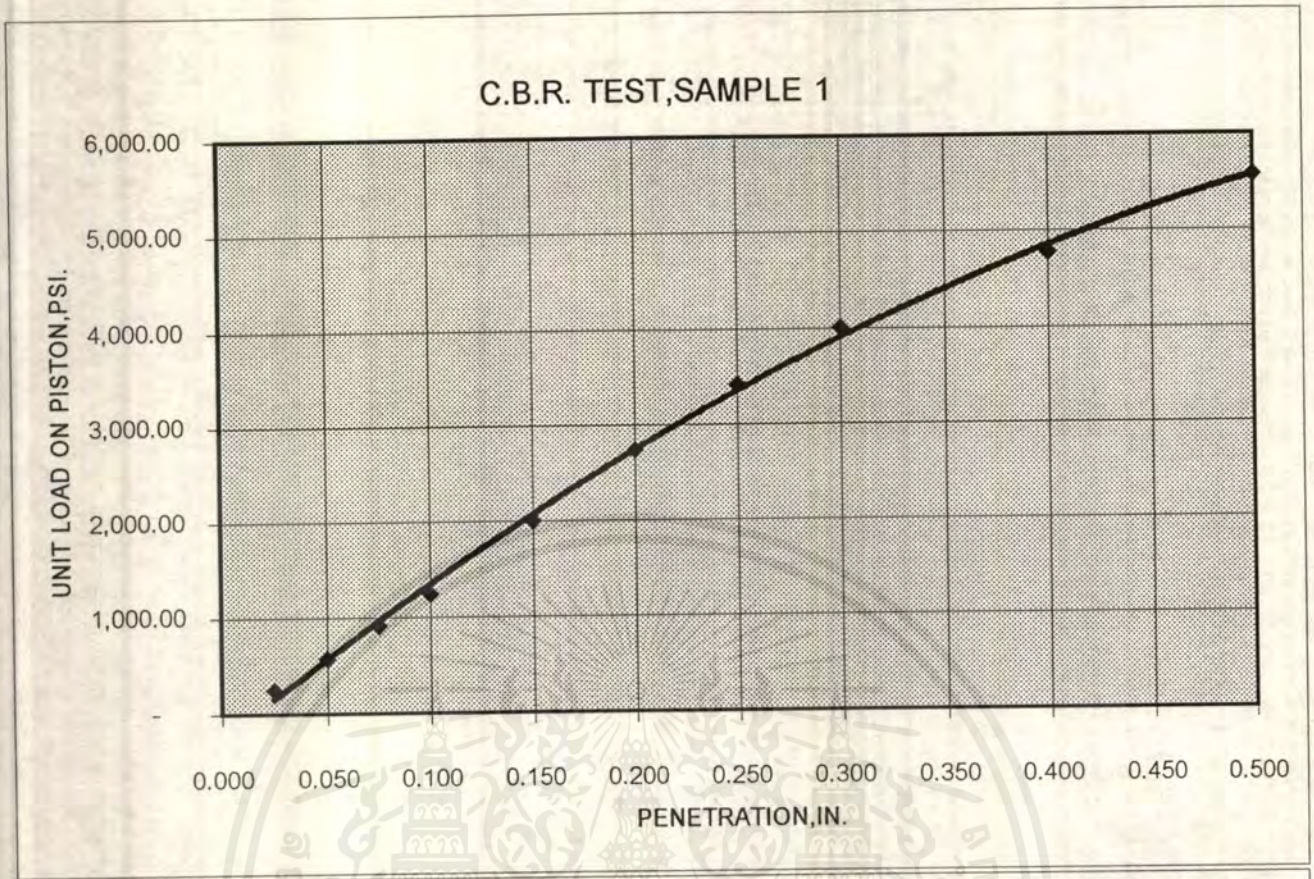
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	163.40	166.70	147.60				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	153.00	156.50	139.50				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.20	24.20	28.80				
WEIGHT OF WATER	gm.	10.40	10.20	8.10				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	128.80	132.30	110.70				
% WATER CONTENT		8.07%	7.71%	7.32%				

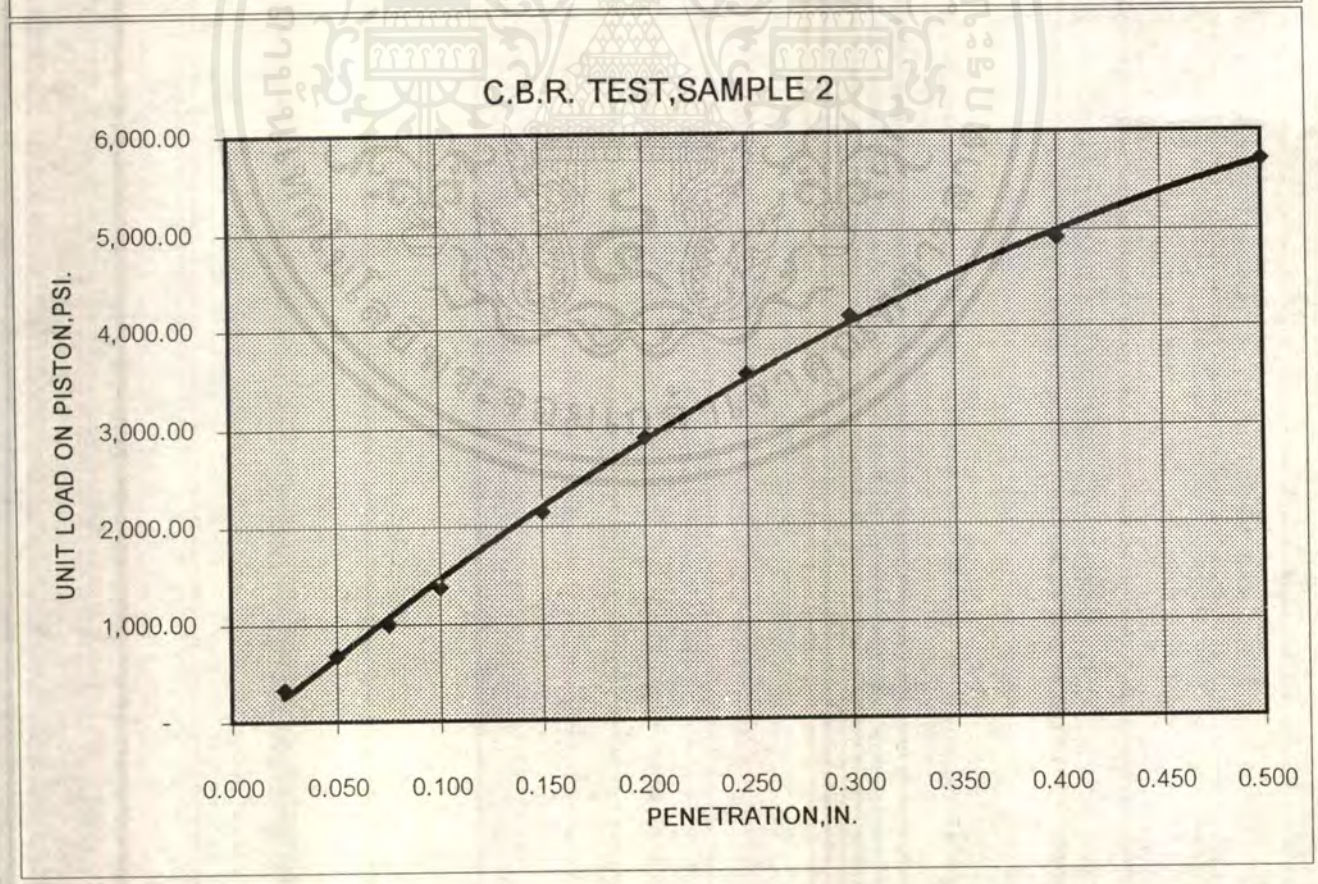
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,110.00	9,475.00	9,325.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,082.00	4,368.00	4,091.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	5,028.00	5,107.00	5,234.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.17	2.20	2.26				
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.01	2.05	2.11				

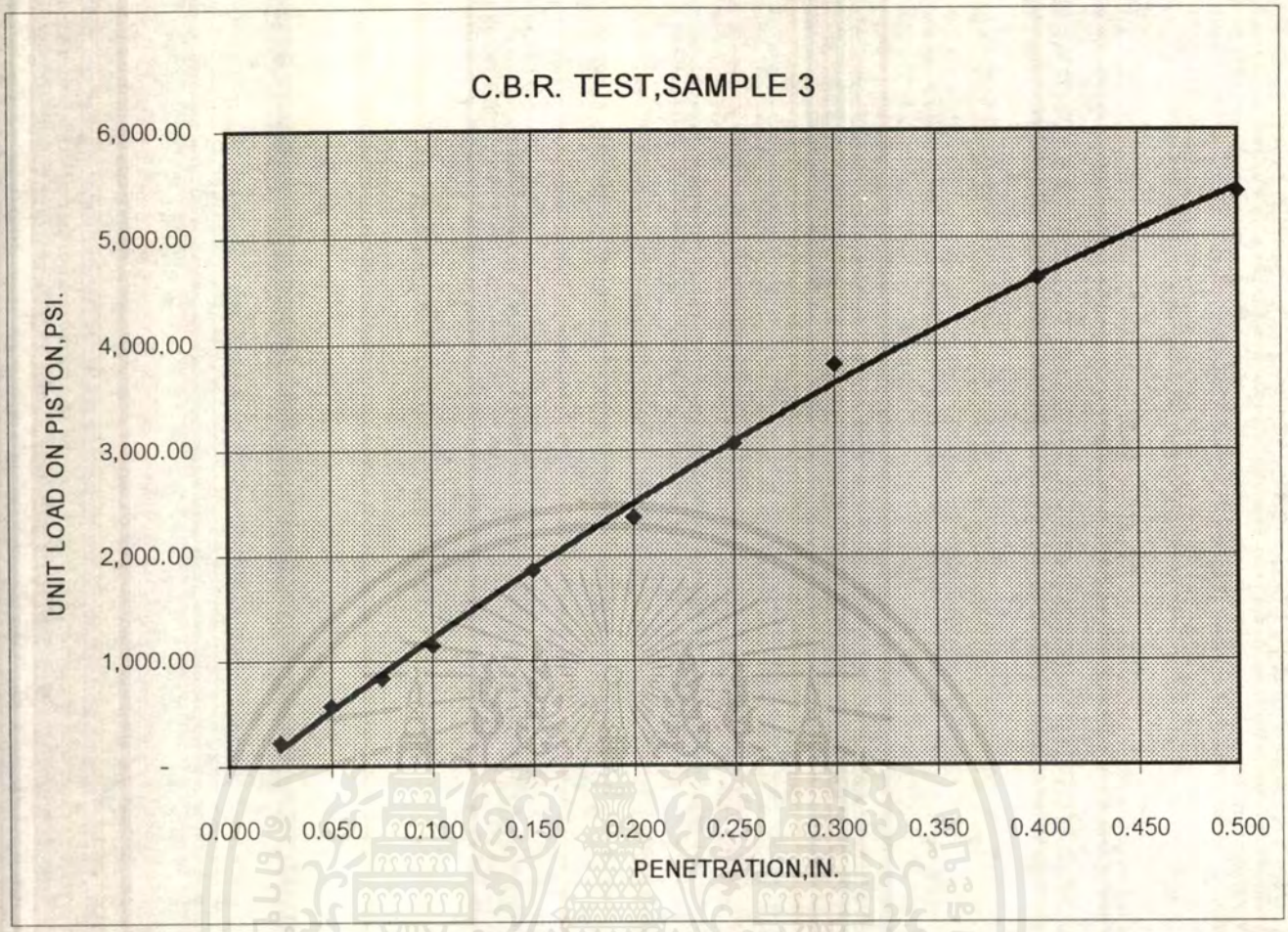
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	742.10	247.37	969.32	323.11	658.79	219.60	
0.050	in.	1,711.58	570.53	2,052.41	684.14	1,681.28	560.43	
0.075	in.	2,741.64	913.88	3,014.30	1,004.77	2,476.55	825.52	
0.100	in.	3,726.26	1,242.09	4,120.11	1,373.37	3,430.87	1,143.62	
0.150	in.	5,998.46	1,999.49	6,430.18	2,143.39	5,559.17	1,853.06	
0.200	in.	8,194.92	2,731.64	8,702.38	2,900.79	7,073.97	2,357.99	
0.250	in.	10,239.90	3,413.30	10,618.60	3,539.53	9,171.97	3,057.32	
0.300	in.	12,019.79	4,006.60	12,360.62	4,120.21	11,413.87	3,804.62	
0.400	in.	14,329.86	4,776.62	14,746.43	4,915.48	13,845.12	4,615.04	
0.500	in.	16,715.67	5,571.89	17,132.24	5,710.75	16,283.95	5,427.98	
%C.B.R.			200.00		208.00		173.80	193.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG		C.B.R. TEST
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.
LOCATION CHONBURI		SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION ดินลูกรัง + 15% fly ash CURING 28 days		DEPT
TEST BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME 2,316.67	CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

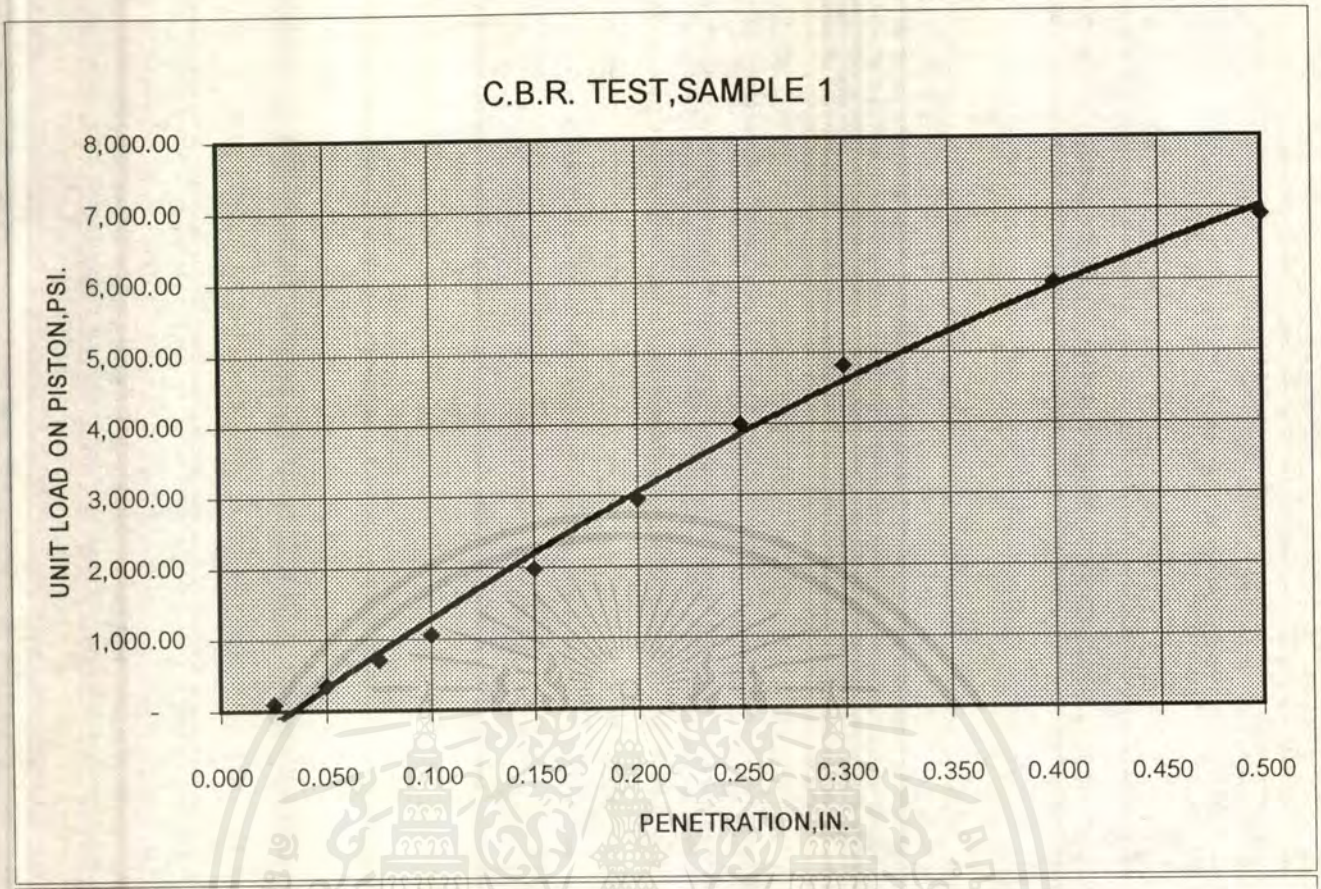
TRIAL NO.	1	2	3				
WET SOIL + CAN , gm.	165.50	154.80	155.50				
DRY SOIL + CAN , gm.	155.00	145.20	146.50				
WEIGHT OF CAN gm.	24.50	24.20	24.10				
WEIGHT OF WATER gm.	10.50	9.60	9.00				
WEIGHT OF DRY SOIL gm.	130.50	121.00	122.40				
% WATER CONTENT	8.05%	7.93%	7.35%				

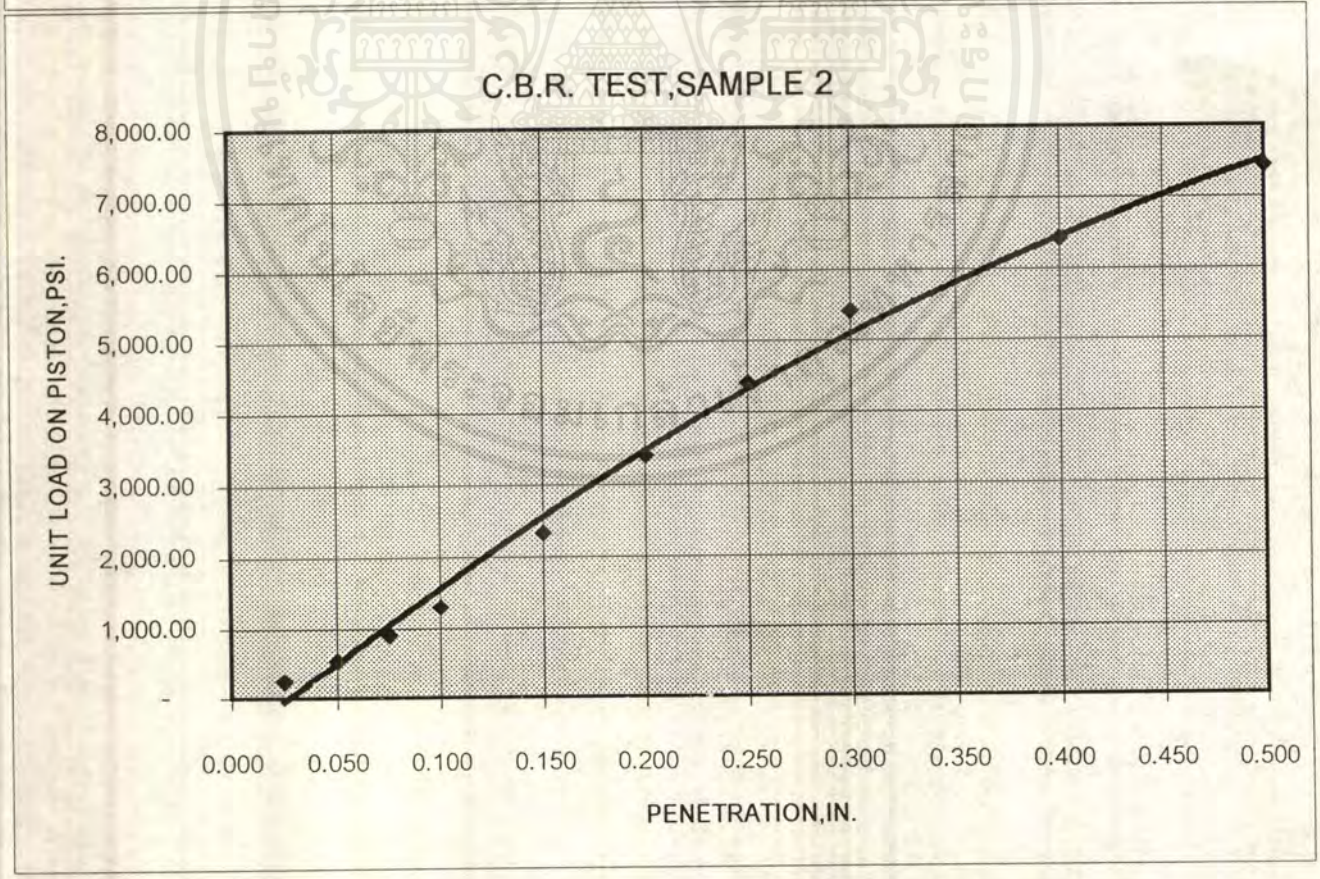
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD gm.	9,157.50	8,951.60	8,982.60				
WT. OF MOLD gm.	4,090.00	4,081.00	4,082.00				
WT. OF SOIL IN MOLD gm.	5,067.50	4,870.60	4,900.60				
WET DENSITY gm./cm^3	2.19	2.10	2.12				
DRY DENSITY gm./cm^3	2.02	1.95	1.97				

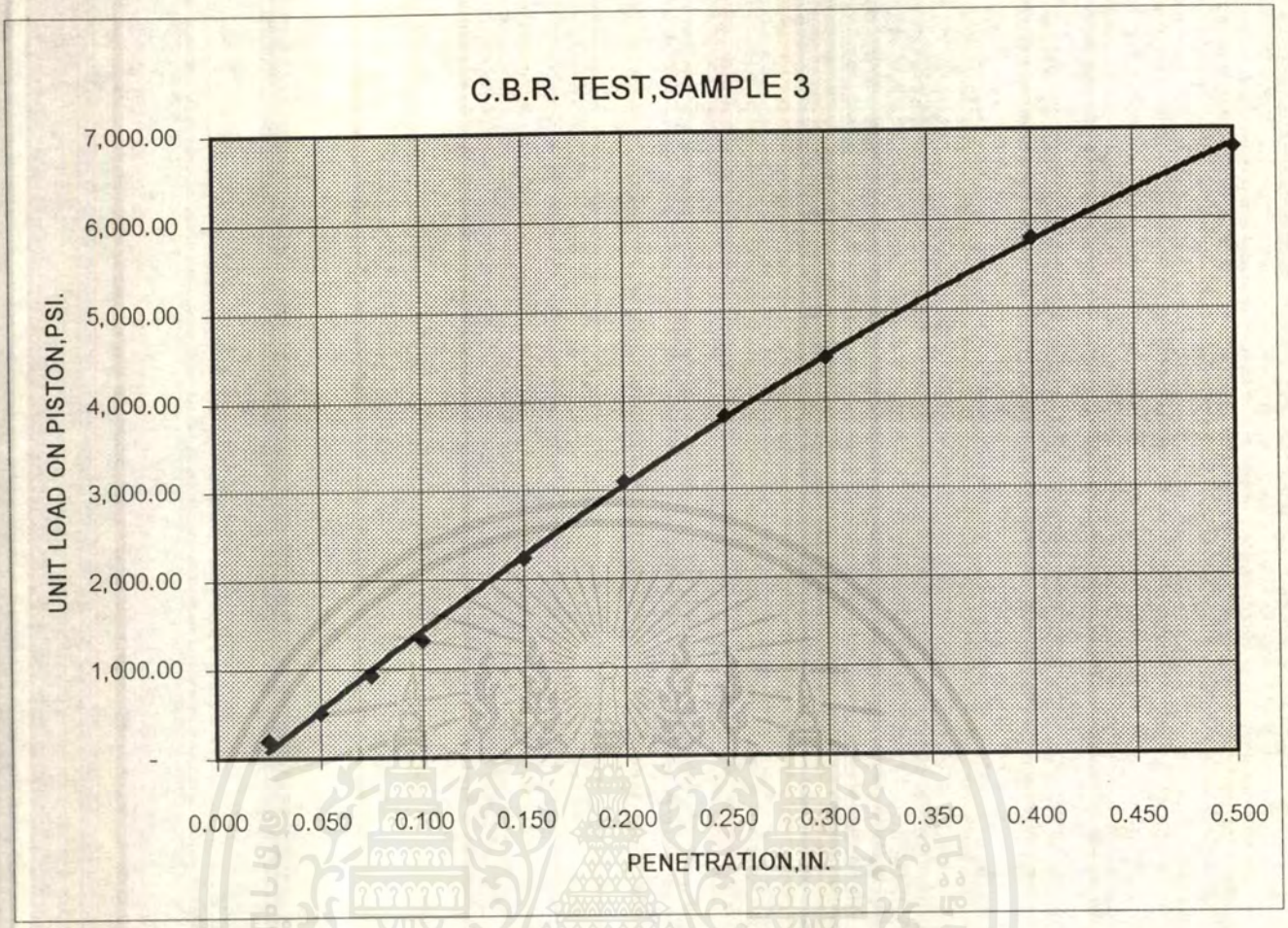
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	265.30	88.43	713.78	237.93	601.66	200.55	
0.050	in.	1,050.14	350.05	1,633.16	544.39	1,532.26	510.75	
0.075	in.	2,115.28	705.09	2,731.94	910.65	2,765.58	921.86	
0.100	in.	3,180.42	1,060.14	3,909.20	1,303.07	3,942.84	1,314.28	
0.150	in.	5,927.36	1,975.79	6,992.50	2,330.83	6,712.20	2,237.40	
0.200	in.	8,842.48	2,947.49	10,187.92	3,395.97	9,290.96	3,096.99	
0.250	in.	11,981.84	3,993.95	13,215.16	4,405.05	11,477.30	3,825.77	
0.300	in.	14,448.48	4,816.16	16,242.40	5,414.13	13,439.40	4,479.80	
0.400	in.	17,924.20	5,974.73	19,269.64	6,423.21	17,363.60	5,787.87	
0.500	in.	20,727.20	6,909.07	22,296.88	7,432.29	20,390.84	6,796.95	
%C.B.R.			237.00		262.90		222.20	240.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.	
LOCATION	CHONBURI	SAMPLE NO.	
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 20% fly ash CURING 0 days	DEPT	
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก	DATE	
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME	2,316.67 CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

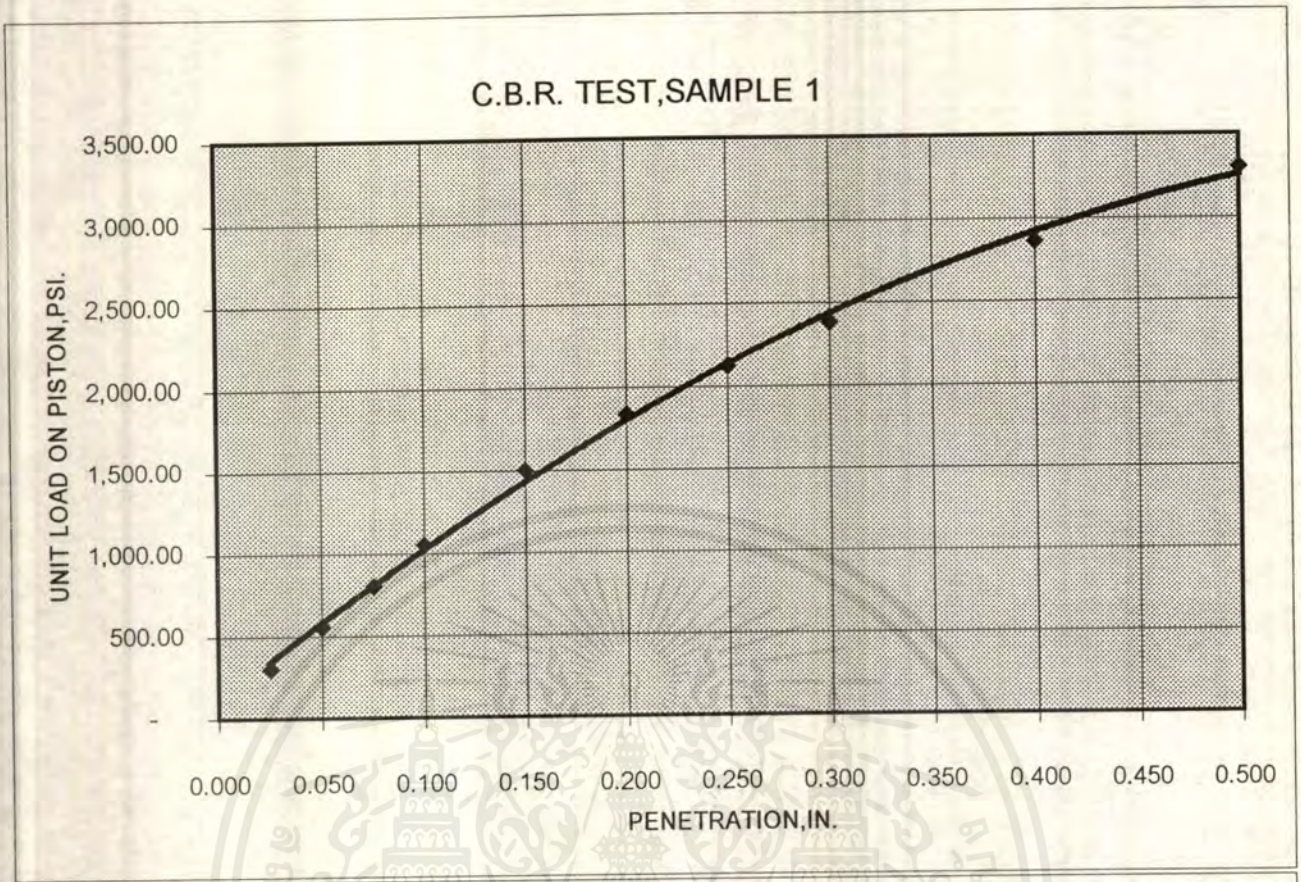
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	156.80	158.00	165.00				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	147.20	149.00	155.00				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.10	24.00	24.30				
WEIGHT OF WATER	gm.	9.60	9.00	10.00				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	123.10	125.00	130.70				
% WATER CONTENT		7.80%	7.20%	7.65%				

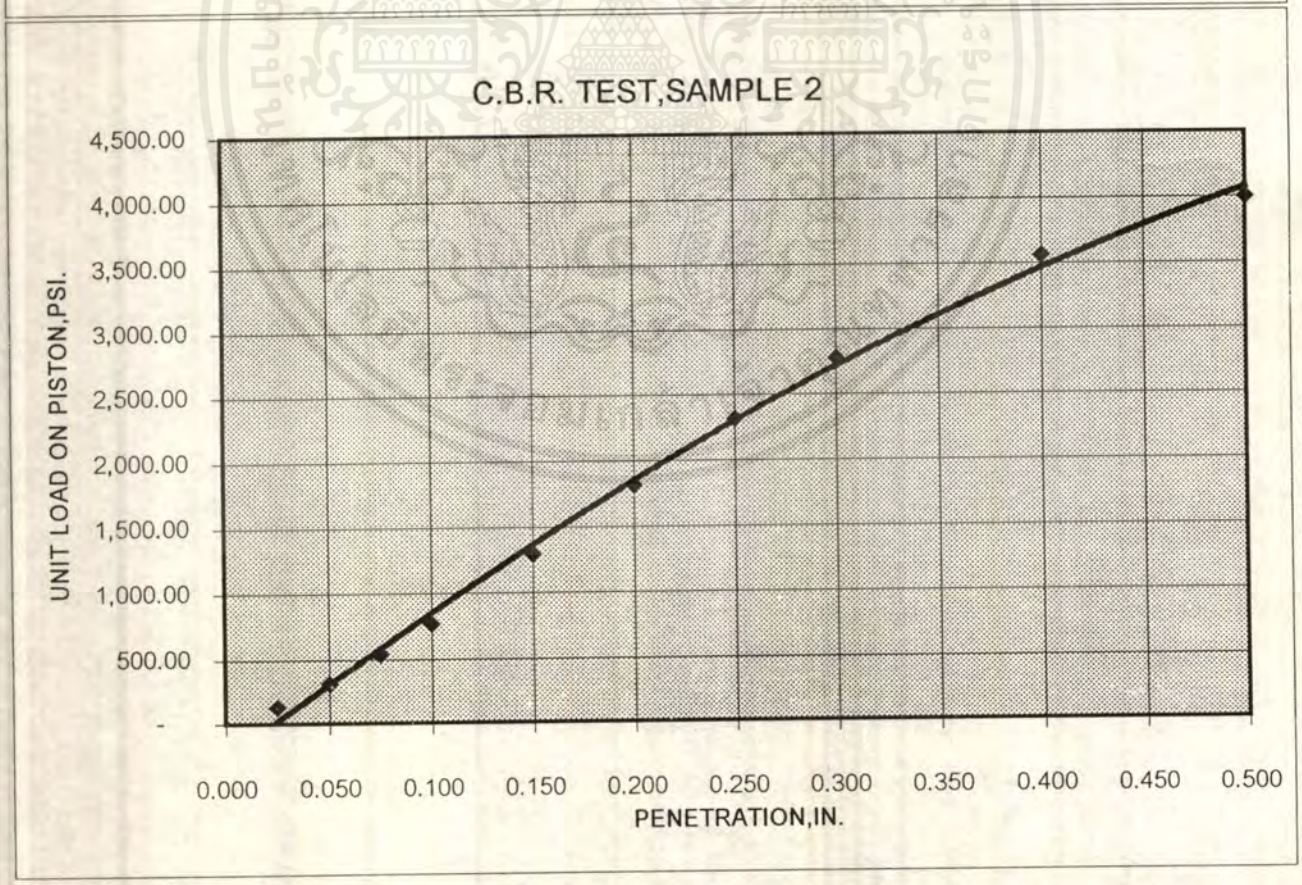
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	8,929.00	9,157.00	9,230.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,090.00	4,081.00	4,082.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,839.00	5,076.00	5,148.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.09	2.19	2.22				
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.94	2.04	2.06				

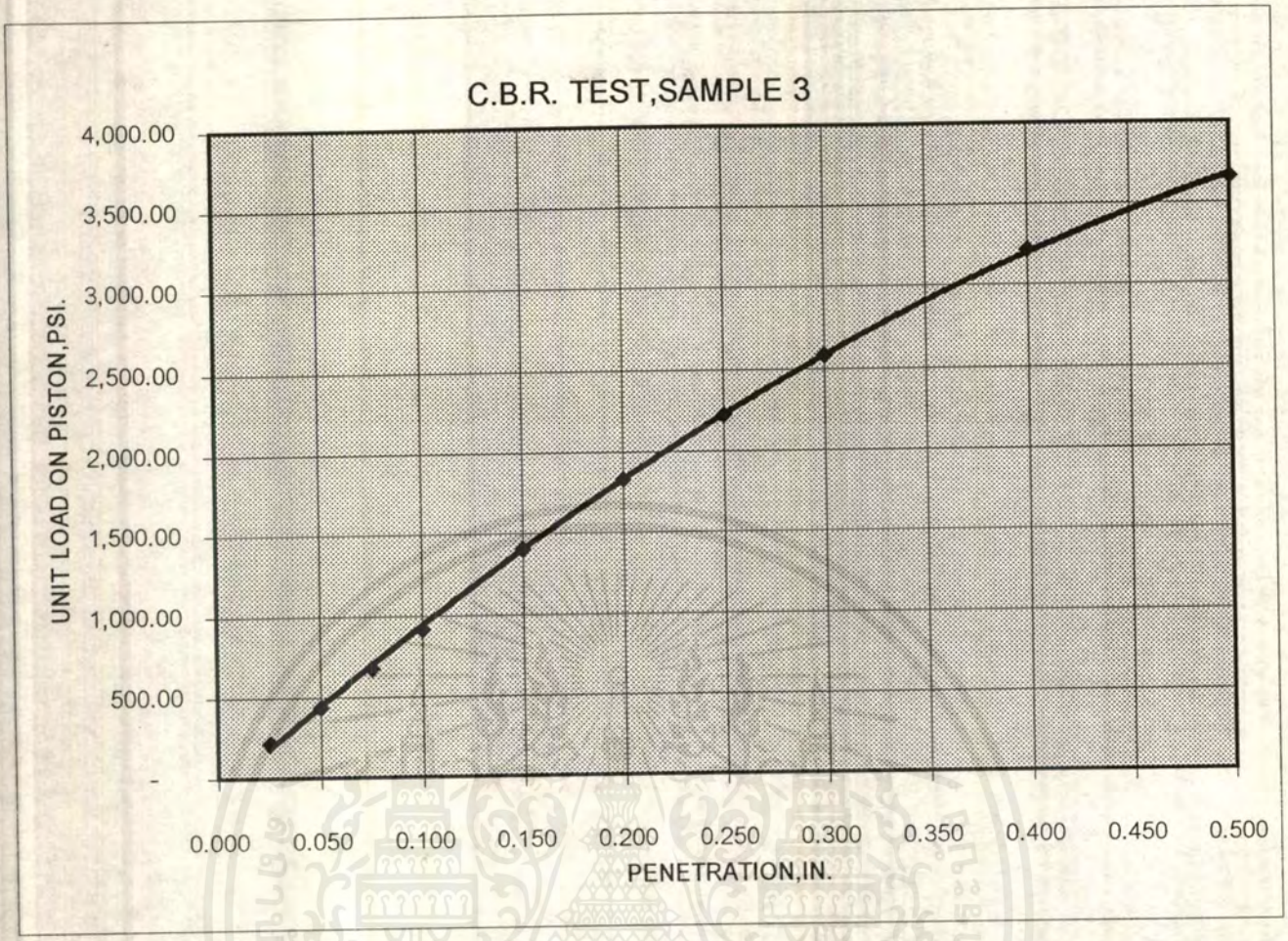
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	901.31	300.44	386.27	128.76	655.15	218.38	
0.050	in.	1,666.28	555.43	931.60	310.53	1,310.30	436.77	
0.075	in.	2,408.53	802.84	1,613.26	537.75	2,022.26	674.09	
0.100	in.	3,158.36	1,052.79	2,302.50	767.50	2,741.79	913.93	
0.150	in.	4,506.53	1,502.18	3,885.46	1,295.15	4,207.36	1,402.45	
0.200	in.	5,506.30	1,835.43	5,438.13	1,812.71	5,483.58	1,827.86	
0.250	in.	6,362.16	2,120.72	6,930.21	2,310.07	6,657.55	2,219.18	
0.300	in.	7,142.28	2,380.76	8,331.40	2,777.13	7,748.20	2,582.73	
0.400	in.	8,581.34	2,860.45	10,679.34	3,559.78	9,641.70	3,213.90	
0.500	in.	9,906.79	3,302.26	12,004.79	4,001.60	10,967.15	3,655.72	
%C.B.R.			122.40		137.50		127.30	129.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.
LOCATION CHONBURI		SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION ดินลูกรัง + 20% fly ash CURING 3 days		DEPT
TEST BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME 2,316.67 CM^3	

WATER CONTENT DETERMINATION

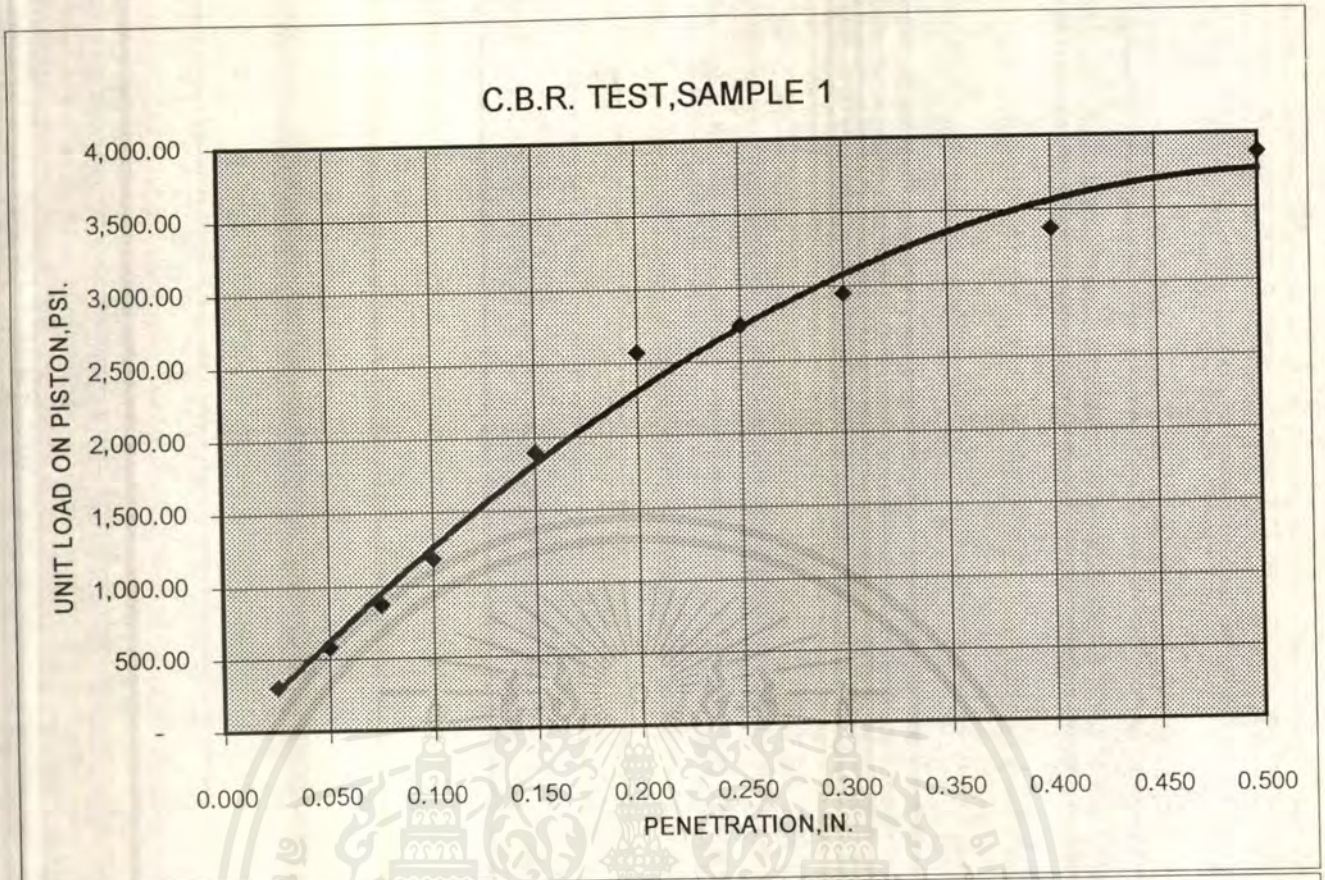
TRIAL NO.	1	2	3				
WET SOIL + CAN , gm.	160.60	152.70	128.70				
DRY SOIL + CAN , gm.	150.30	143.10	122.70				
WEIGHT OF CAN gm.	24.10	24.20	24.10				
WEIGHT OF WATER gm.	10.30	9.60	6.00				
WEIGHT OF DRY SOIL gm.	126.20	118.90	98.60				
% WATER CONTENT	8.16%	8.07%	6.09%				

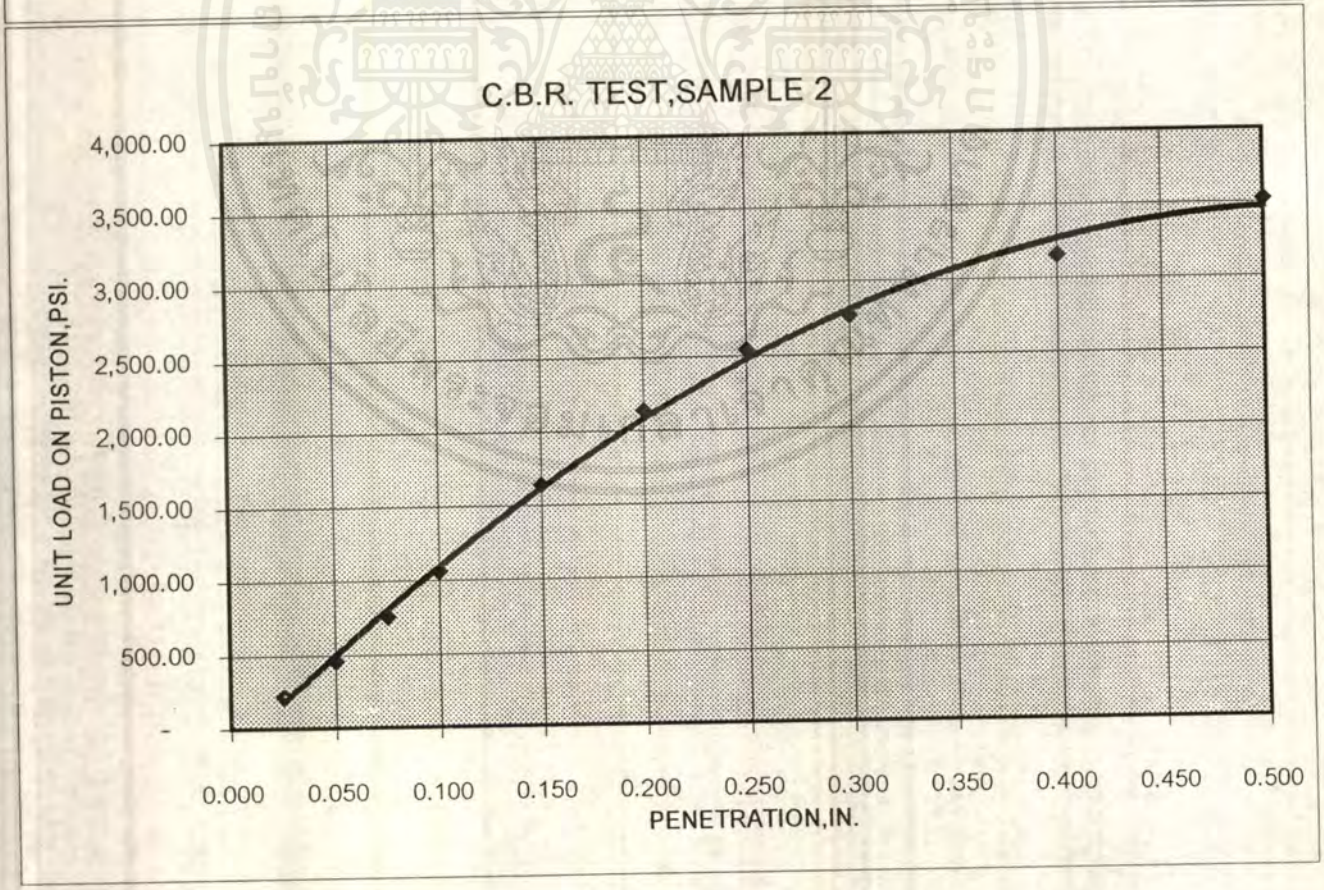
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD gm.	9,382.00	9,175.00	9,361.00				
WT. OF MOLD gm.	4,380.00	4,317.00	4,359.00				
WT. OF SOIL IN MOLD gm.	5,002.00	4,858.00	5,002.00				
WET DENSITY gm./cm^3	2.16	2.10	2.16				
DRY DENSITY gm./cm^3	2.00	1.94	2.04				

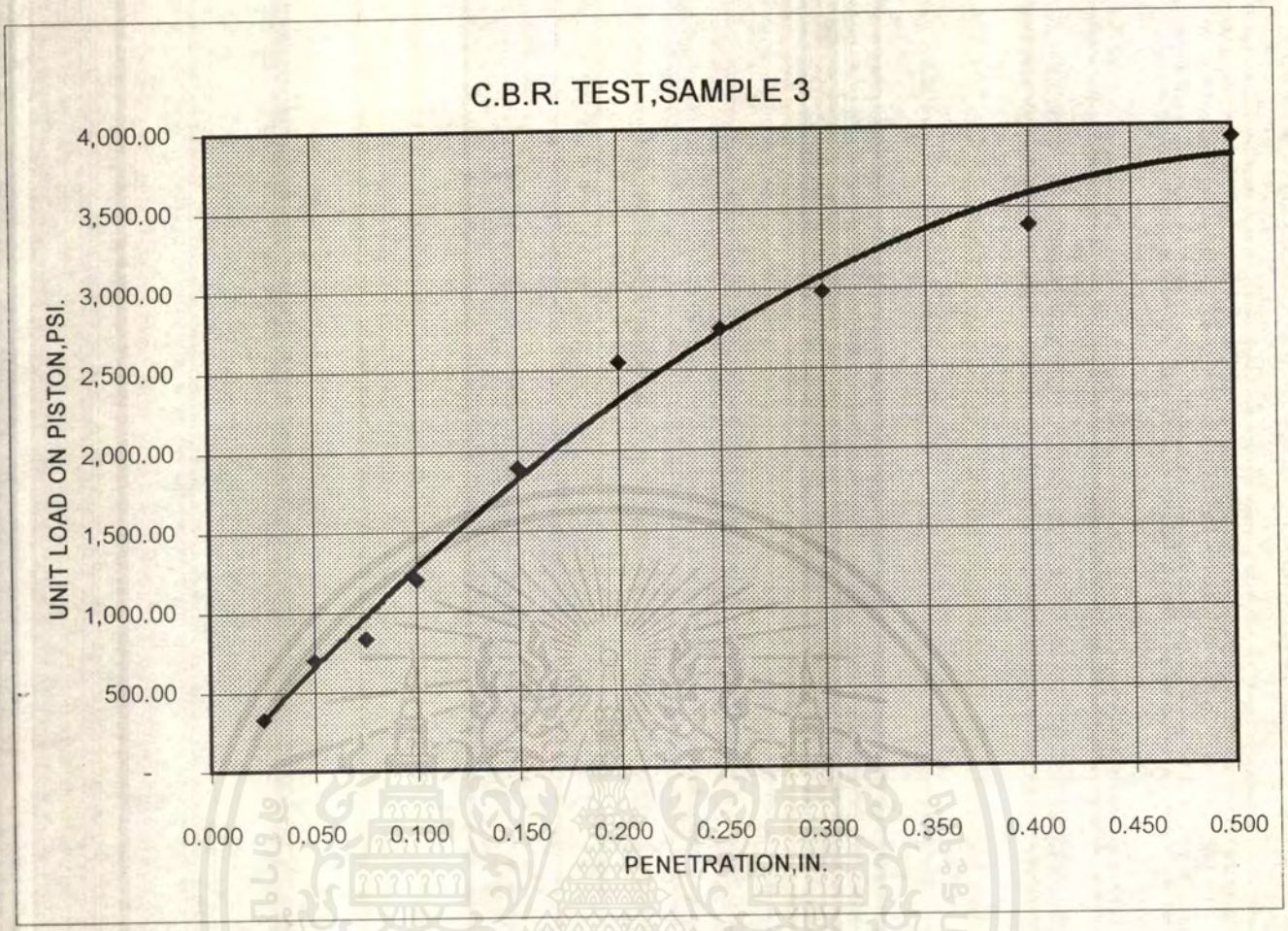
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	908.88	302.96	651.36	217.12	984.62	328.21	
0.050	in.	1,742.02	580.67	1,378.47	459.49	2,082.85	694.28	
0.075	in.	2,613.03	871.01	2,272.20	757.40	2,499.42	833.14	
0.100	in.	3,529.48	1,176.49	3,181.08	1,060.36	3,597.65	1,199.22	
0.150	in.	5,680.50	1,893.50	4,923.10	1,641.03	5,680.50	1,893.50	
0.200	in.	7,695.18	2,565.06	6,400.03	2,133.34	7,642.17	2,547.39	
0.250	in.	8,217.79	2,739.26	7,611.87	2,537.29	8,255.66	2,751.89	
0.300	in.	8,838.86	2,946.29	8,293.53	2,764.51	8,937.32	2,979.11	
0.400	in.	10,111.29	3,370.43	9,467.50	3,155.83	10,149.16	3,383.05	
0.500	in.	11,626.09	3,875.36	10,565.73	3,521.91	11,777.57	3,925.86	
%C.B.R.			157.90		144.40		154.50	152.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก	JOB NO.
LOCATION CHONBURI		SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION ดินลูกรัง + 20% fly ash CURING 7 days		DEPT
TEST BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME 2,316.67 CM^3	

WATER CONTENT DETERMINATION

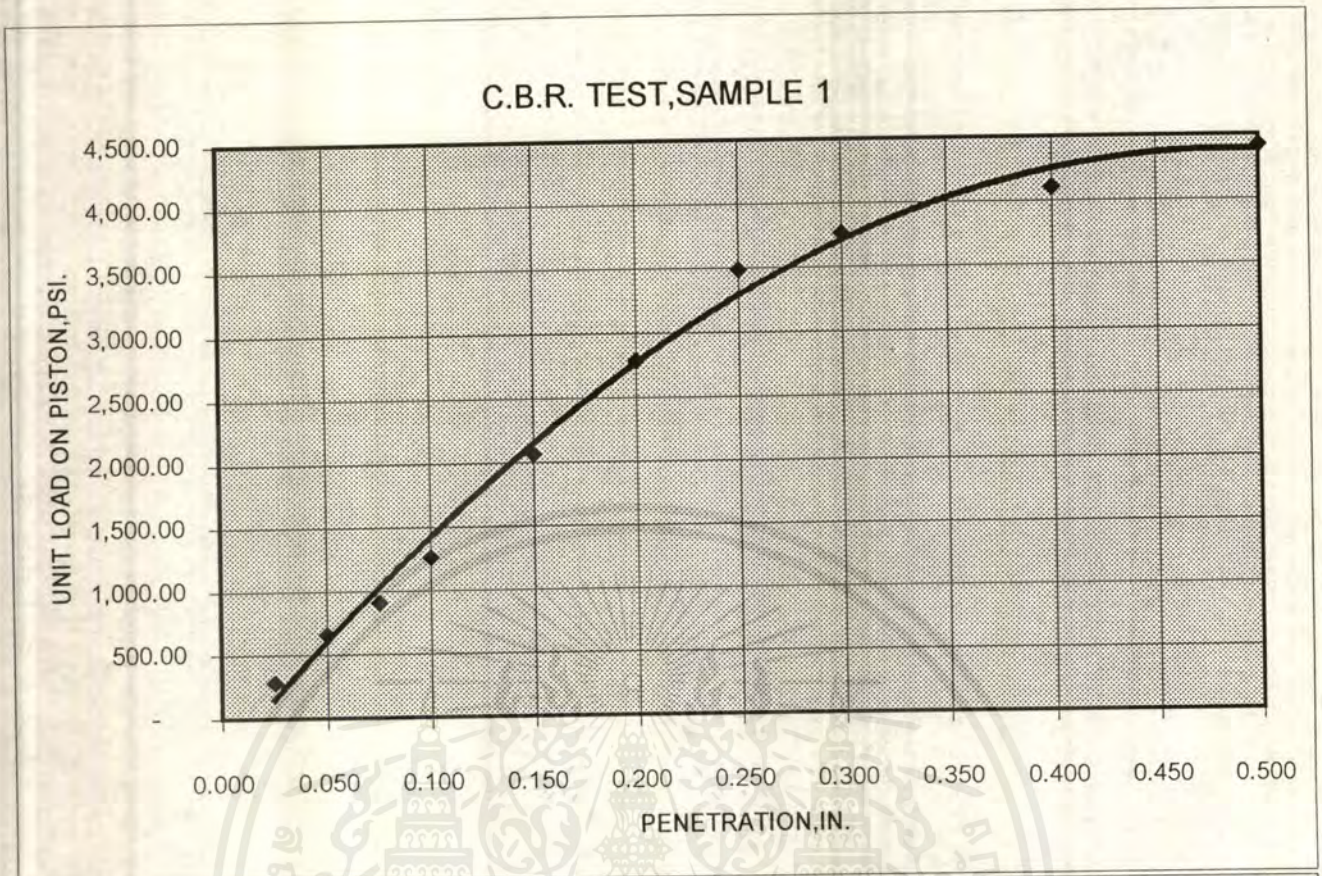
TRIAL NO.	1	2	3				
WET SOIL + CAN , gm.	160.90	169.30	164.30				
DRY SOIL + CAN , gm.	150.80	159.40	153.10				
WEIGHT OF CAN gm.	24.60	24.60	24.40				
WEIGHT OF WATER gm.	10.10	9.90	11.20				
WEIGHT OF DRY SOIL gm.	126.20	134.80	128.70				
% WATER CONTENT	8.00%	7.34%	8.70%				

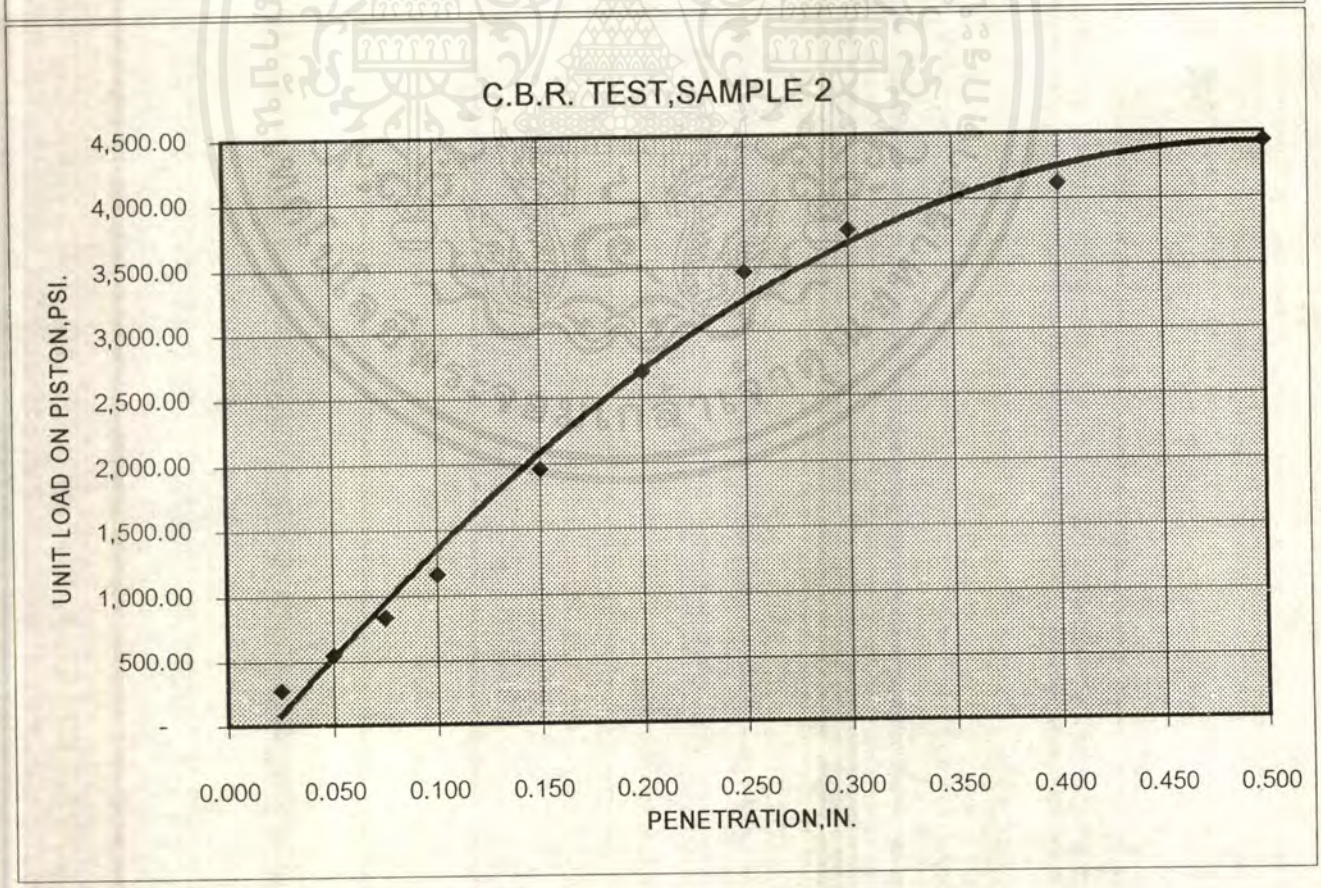
DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD gm.	9,197.00	9,247.00	9,318.00				
WT. OF MOLD gm.	4,298.00	4,420.00	4,366.00				
WT. OF SOIL IN MOLD gm.	4,899.00	4,827.00	4,952.00				
WET DENSITY gm./cm^3	2.11	2.08	2.14				
DRY DENSITY gm./cm^3	1.96	1.94	1.97				

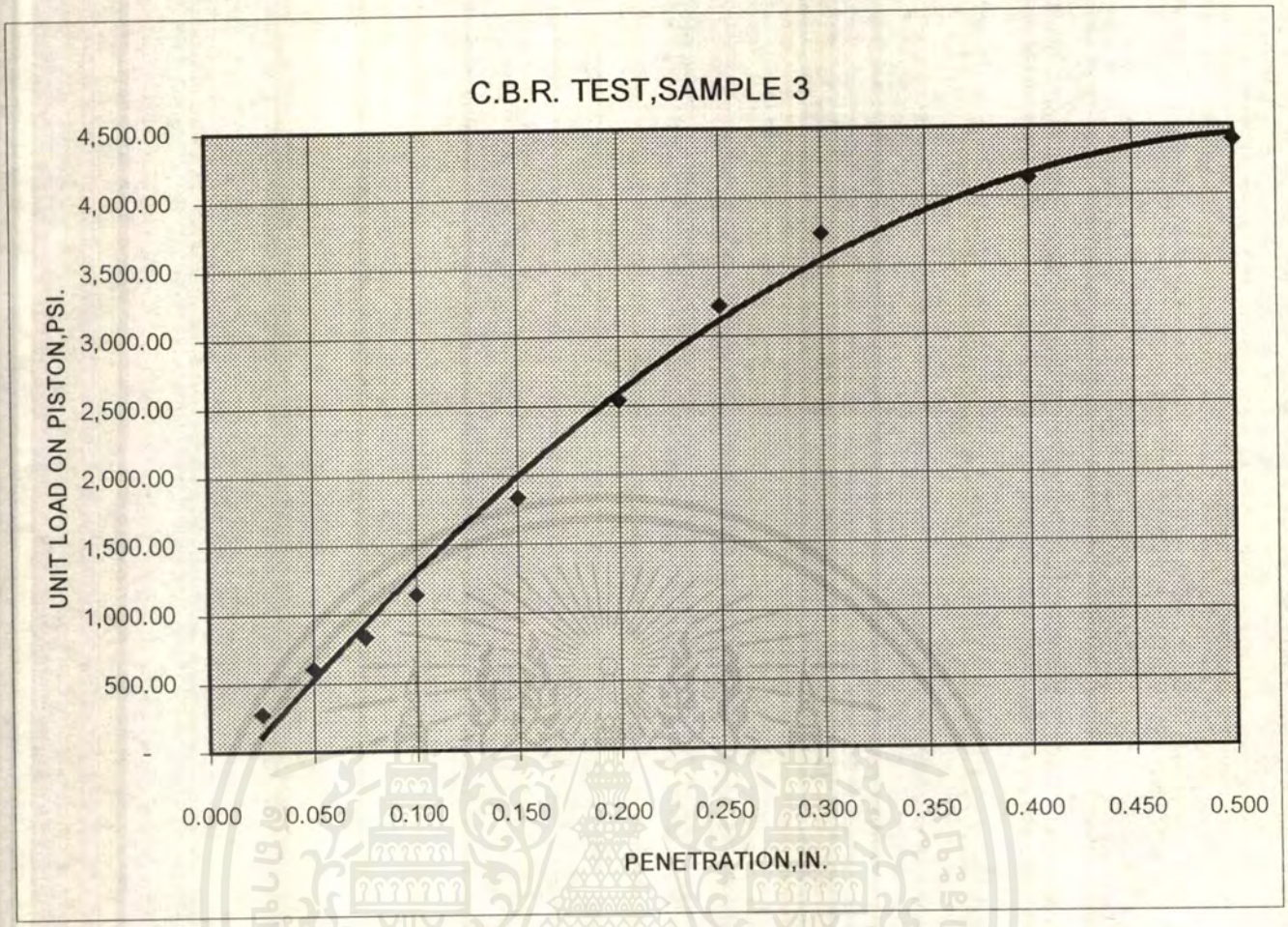
SAMPLE NO.	1		2		3		Average
PENETRATION	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025 in.	840.71	280.24	802.84	267.61	825.57	275.19	
0.050 in.	1,969.24	656.41	1,651.13	550.38	1,817.76	605.92	
0.075 in.	2,726.64	908.88	2,514.57	838.19	2,499.42	833.14	
0.100 in.	3,787.00	1,262.33	3,484.04	1,161.35	3,408.30	1,136.10	
0.150 in.	6,187.96	2,062.65	5,869.85	1,956.62	5,506.30	1,835.43	
0.200 in.	8,346.55	2,782.18	8,104.18	2,701.39	7,611.87	2,537.29	
0.250 in.	10,452.12	3,484.04	10,376.38	3,458.79	9,656.85	3,218.95	
0.300 in.	11,285.26	3,761.75	11,323.13	3,774.38	11,209.52	3,736.51	
0.400 in.	12,307.75	4,102.58	12,345.62	4,115.21	12,383.49	4,127.83	
0.500 in.	13,254.50	4,418.17	13,292.37	4,430.79	13,178.76	4,392.92	
%C.B.R.		200.00		200.00		187.00	195.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

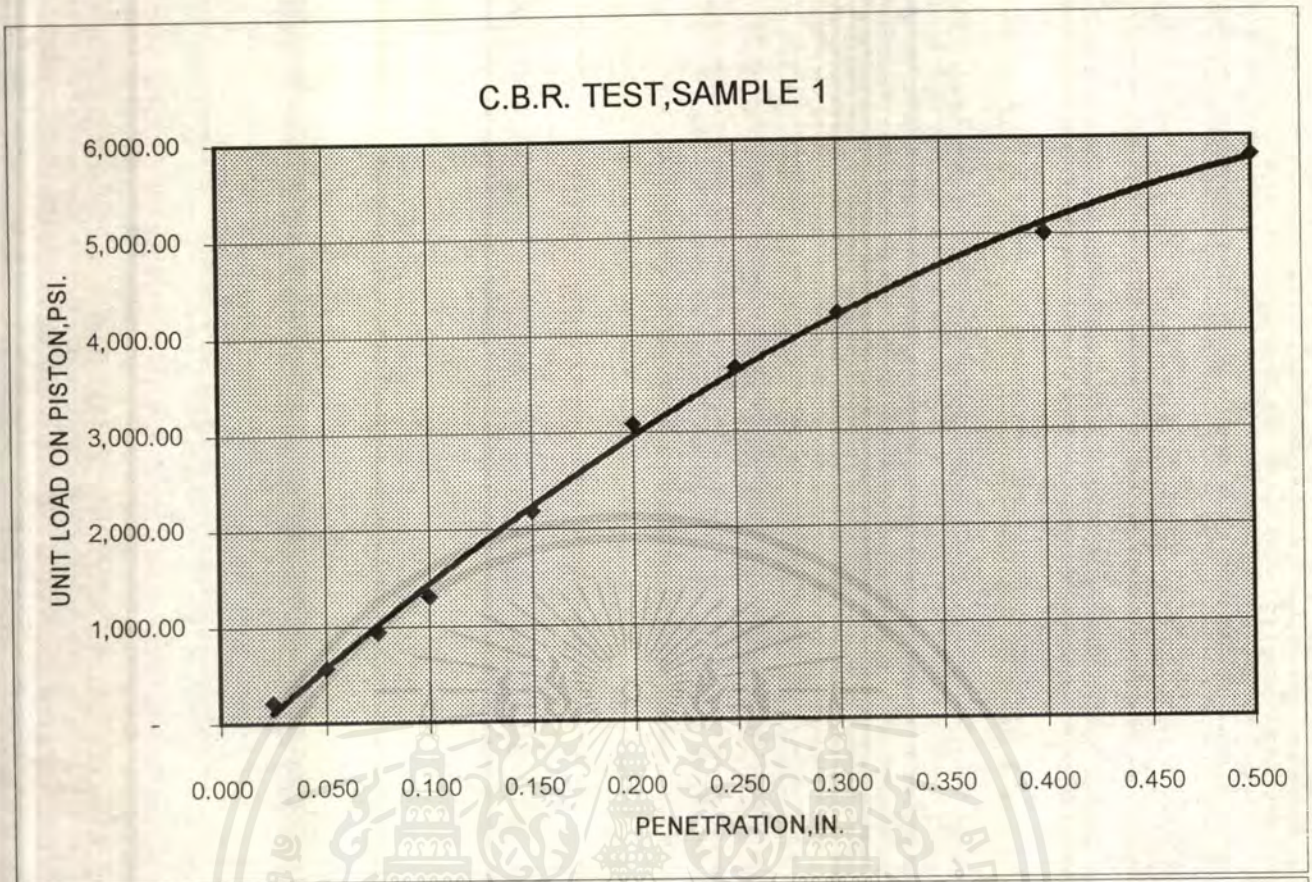


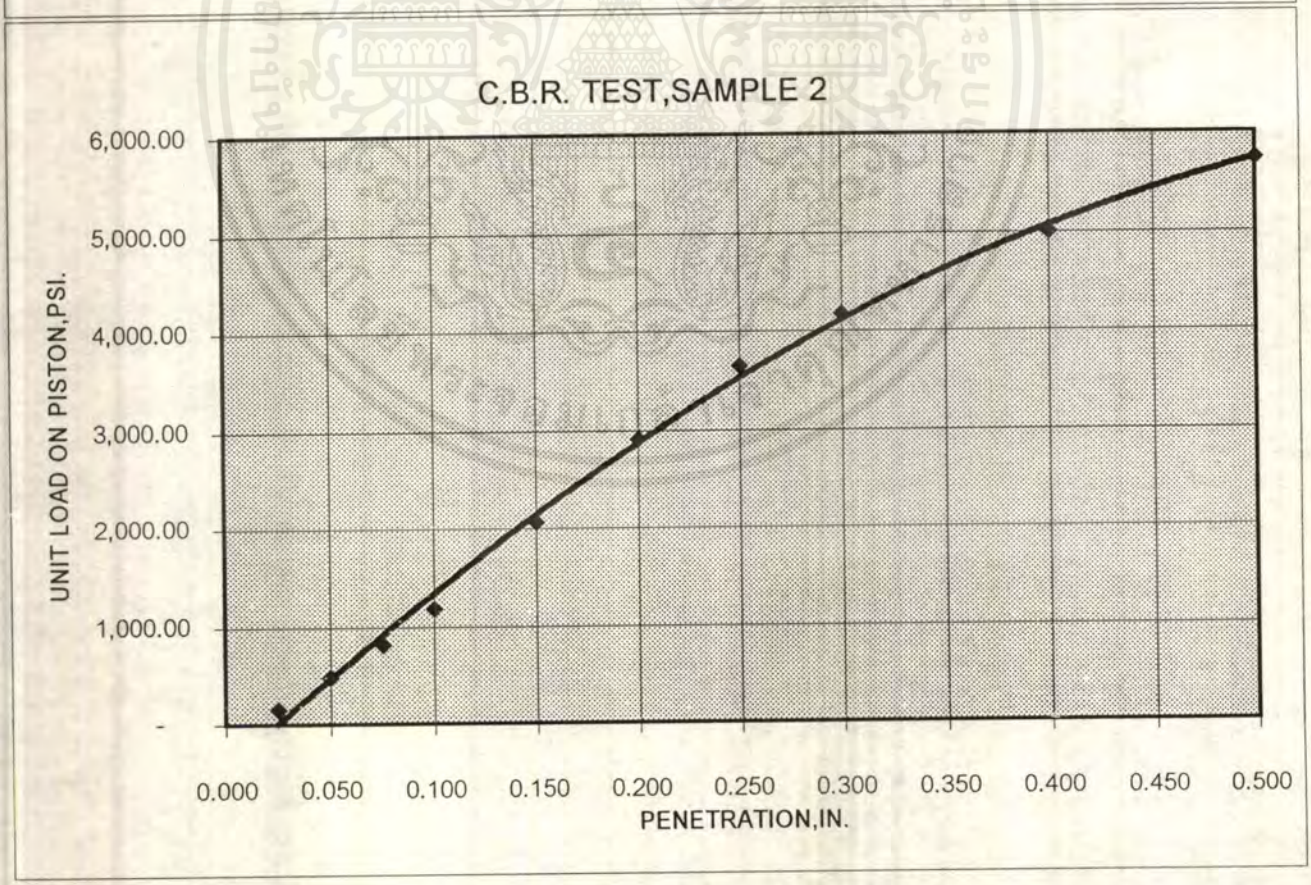
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG								C.B.R. TEST
PROJECT soil- fly ash stabilization		OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก						JOB NO.
LOCATION CHONBURI								SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION ดินลูกรัง + 20% fly ash CURING 14 days								DEPT
TEST BY วินัย ,สมคเน, สมนึก								DATE
CHECK BY วินัย ,สมคเน, สมนึก								DATE
TYPE OF COMPACTION MODIFIED PROCTOR				MOLD VOLUME 2,316.67 CM^3				
WATER CONTENT DETERMINATION								
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	165.10	177.40	161.10				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	155.10	167.60	150.40				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.40	24.10	24.50				
WEIGHT OF WATER	gm.	10.00	9.80	10.70				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	130.70	143.50	125.90				
% WATER CONTENT		7.65%	6.83%	8.50%				
DENSITY DETERMINATION								
WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,341.00	9,228.00	9,305.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,380.00	4,317.00	4,359.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	4,961.00	4,911.00	4,946.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.14	2.12	2.13				
DRY DENSITY	gm./cm^3	1.99	1.98	1.97				

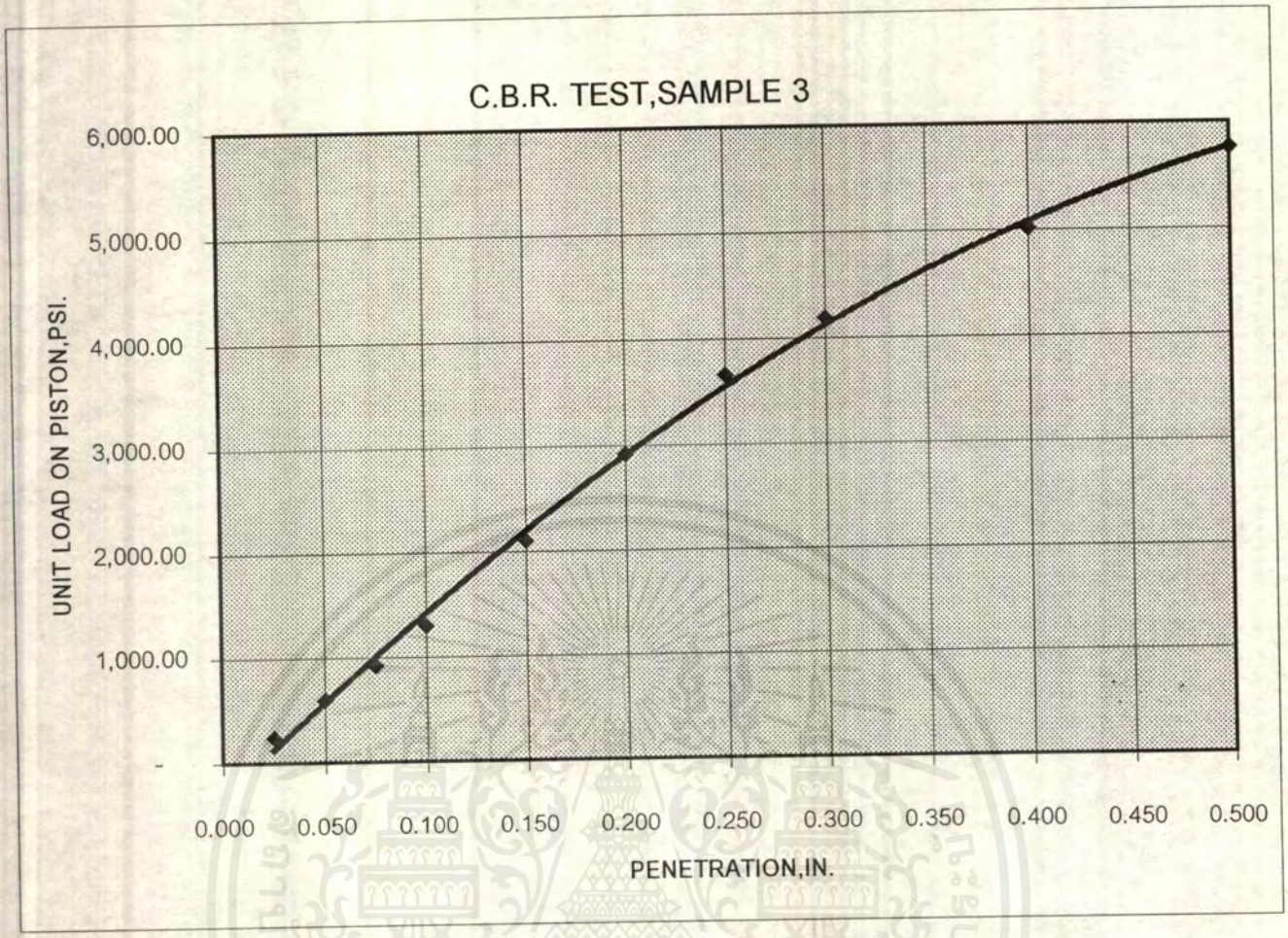
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	636.22	212.07	454.44	151.48	727.10	242.37	
0.050	in.	1,689.00	563.00	1,461.78	487.26	1,787.46	595.82	
0.075	in.	2,802.38	934.13	2,461.55	820.52	2,764.51	921.50	
0.100	in.	3,908.18	1,302.73	3,544.63	1,181.54	3,900.61	1,300.20	
0.150	in.	6,551.51	2,183.84	6,187.96	2,062.65	6,301.57	2,100.52	
0.200	in.	9,240.28	3,080.09	8,725.25	2,908.42	8,747.97	2,915.99	
0.250	in.	10,982.30	3,660.77	10,944.43	3,648.14	10,982.30	3,660.77	
0.300	in.	12,648.58	4,216.19	12,497.10	4,165.70	12,572.84	4,190.95	
0.400	in.	15,034.39	5,011.46	14,981.37	4,993.79	15,034.39	5,011.46	
0.500	in.	17,405.05	5,801.68	17,192.98	5,730.99	17,268.72	5,756.24	
%C.B.R.			216.70		213.30		209.50	213.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

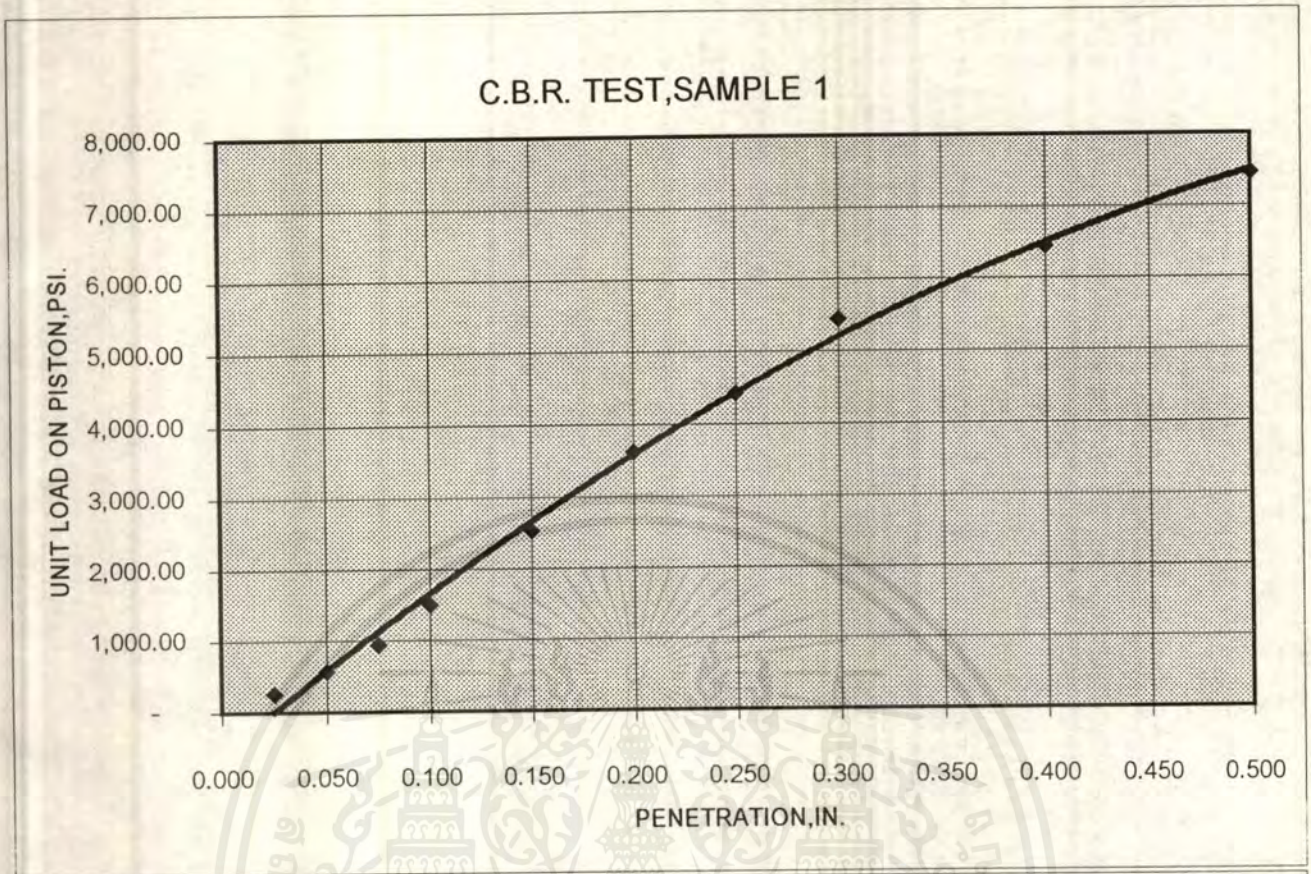
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

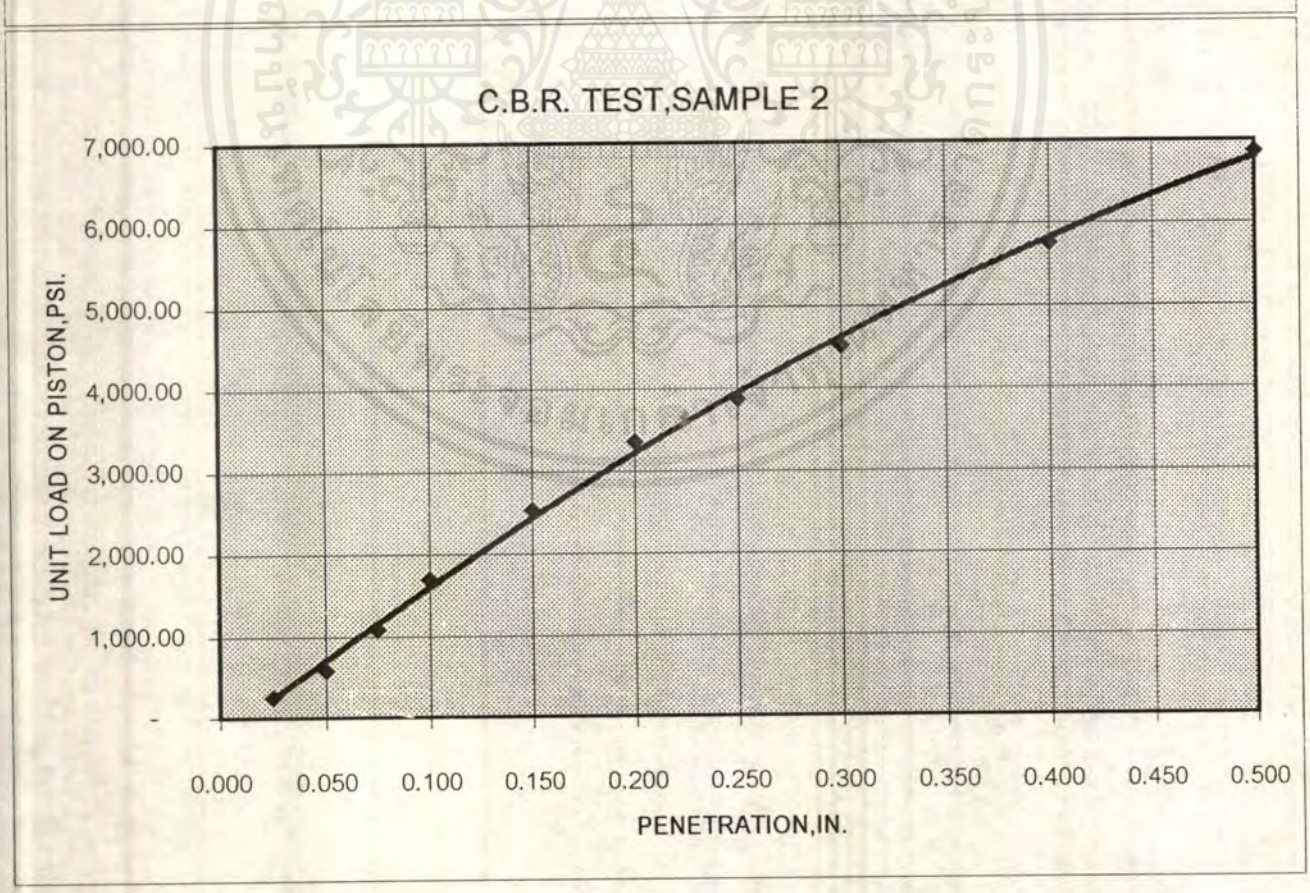
PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก		JOB NO.
LOCATION	CHONBURI		SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 20% fly ash CURING	28 days	DEPT
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME 2,316.67	CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION								
TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	158.30	155.80	161.80				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	148.00	147.00	151.50				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.30	24.10	24.40				
WEIGHT OF WATER	gm.	10.30	8.80	10.30				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	123.70	122.90	127.10				
% WATER CONTENT		8.33%	7.16%	8.10%				
DENSITY DETERMINATION								
WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,413.00	9,346.00	9,208.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,380.00	4,317.00	4,359.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	5,033.00	5,029.00	4,849.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.17	2.17	2.09				
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.01	2.03	1.94				

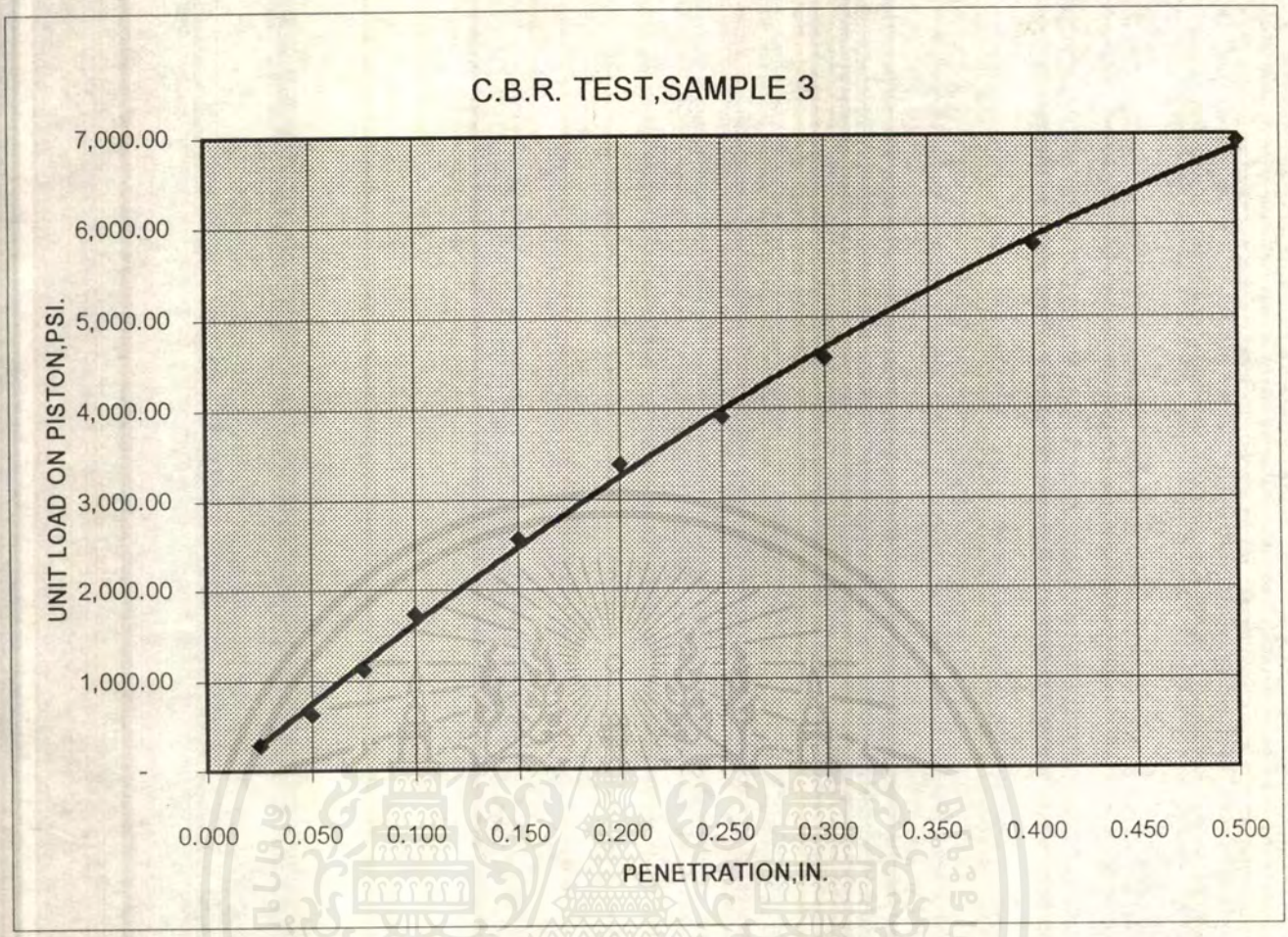
SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	775.68	258.56	750.85	250.28	850.65	283.55	
0.050	in.	1,695.67	565.22	1,765.64	588.55	1,864.65	621.55	
0.075	in.	2,800.58	933.53	3,248.12	1,082.71	3,359.64	1,119.88	
0.100	in.	4,505.50	1,501.83	5,086.75	1,695.58	5,184.67	1,728.22	
0.150	in.	7,585.60	2,528.53	7,585.60	2,528.53	7,685.52	2,561.84	
0.200	in.	10,852.60	3,617.53	10,058.60	3,352.87	10,158.67	3,386.22	
0.250	in.	13,275.68	4,425.23	11,605.20	3,868.40	11,706.65	3,902.22	
0.300	in.	16,315.25	5,438.42	13,554.60	4,518.20	13,668.56	4,556.19	
0.400	in.	19,329.88	6,443.29	17,265.90	5,755.30	17,370.69	5,790.23	
0.500	in.	22,364.56	7,454.85	20,568.90	6,856.30	20,785.54	6,928.51	
%C.B.R.			266.70		227.30		233.30	242.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. ดร.วรากร ไม้เรียง, อ.จิรพัฒน์ โชติกไกร, อ.ประทีป ดวงเดือน ปฐพีกลศาสตร์ ทฤษฎีและปฏิบัติการ
2. ASTM (618-78),standard specification for fly ash and raw calcined natural pozzolan for use as mineral in Portland cement concrete
3. ประจิต จิรัปปภา,การศึกษาเพื่อประโยชน์ของขี้เถ้ามวลเบาจากการเผาลิกไนต์แม่เมาะในโรงงานไฟฟ้าแม่เมาะ,สำนักเทคโนโลยีเพื่อชนบท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
4. Ingles , O.G. and Metcalf,J.B., "Soil Stabilization: Principle and Practices" ,Butterworthe,Sydney ,Melbourne-Brisbane,1971
5. F.G.Bell,E&FN SPON, Engineering Treatment of Soils
6. Fly ash Utilization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG	C.B.R. TEST

PROJECT soil- fly ash stabilization	OWNER วินัย ,สมคเน ,สมนึก		JOB NO.
LOCATION	CHONBURI		SAMPLE NO.
SOIL DESCRIPTION	ดินลูกรัง + 12% fly ash CURING	28 days	DEPT
TEST BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
CHECK BY	วินัย ,สมคเน, สมนึก		DATE
TYPE OF COMPACTION	MODIFIED PROCTOR	MOLD VOLUME 2,316.67	CM^3

WATER CONTENT DETERMINATION

TRIAL NO.		1	2	3				
WET SOIL + CAN ,	gm.	165.00	161.80	149.80				
DRY SOIL + CAN ,	gm.	154.00	151.50	140.00				
WEIGHT OF CAN	gm.	24.30	24.40	24.50				
WEIGHT OF WATER	gm.	11.00	10.30	9.80				
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	129.70	127.10	115.50				
% WATER CONTENT		8.48%	8.10%	8.48%				

DENSITY DETERMINATION

WT. OF SOIL+MOLD	gm.	9,464.00	9,460.00	9,460.00				
WT. OF MOLD	gm.	4,298.00	4,420.00	4,366.00				
WT. OF SOIL IN MOLD	gm.	5,166.00	5,040.00	5,094.00				
WET DENSITY	gm./cm^3	2.23	2.18	2.20				
DRY DENSITY	gm./cm^3	2.06	2.01	2.03				

SAMPLE NO.		1		2		3		Average
PENETRATION		LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	LOAD	PSI.	
0.025	in.	1,037.64	345.88	871.01	290.34	439.29	146.43	
0.050	in.	2,196.46	732.15	1,779.89	593.30	1,226.99	409.00	
0.075	in.	3,249.25	1,083.08	2,703.92	901.31	2,272.20	757.40	
0.100	in.	4,468.66	1,489.55	3,900.61	1,300.20	3,370.43	1,123.48	
0.150	in.	7,134.71	2,378.24	6,316.72	2,105.57	5,983.46	1,994.49	
0.200	in.	9,656.85	3,218.95	8,702.53	2,900.84	8,558.62	2,852.87	
0.250	in.	10,982.30	3,660.77	10,755.08	3,585.03	10,717.21	3,572.40	
0.300	in.	12,480.87	4,160.29	11,734.29	3,911.43	11,682.35	3,894.12	
0.400	in.	14,218.02	4,739.34	13,416.80	4,472.27	13,439.79	4,479.93	
0.500	in.	15,955.17	5,318.39	15,099.31	5,033.10	15,197.23	5,065.74	
%C.B.R.			214.60		205.10		204.80	208.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้