



รายงาน
ผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อโครงการวิจัยประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

เรื่อง

การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของดินบดอัดสำหรับถนน
A Computer Application for the Properties Analysis
of Soil Compaction for Road Work

คณะผู้วิจัย

นางสาวรณนันทน์ อารีย์พงศ์
หัวหน้าโครงการวิจัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ดร.ปิติ จันทฤทธิ์
ผู้ร่วมวิจัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

รศ.ดร.สราวุธ จริตงาม
ผู้ร่วมวิจัย
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
สำนักคณะกรรมการอุดมศึกษา
พฤศจิกายน 2557

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของดินบดอัดสำหรับงานถนน วัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อทดสอบและแนะนำวัสดุสำหรับงานฐานรากให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกเพื่อรับน้ำหนักยานพาหนะได้อย่างปลอดภัยและไม่เกิดการทรุดตัวของถนน

ในการศึกษาได้ทำการทดสอบค่ารับน้ำหนักของดินโดยวิธี Plate Load Test เพื่อตรวจสอบการทรุดตัว (Settlement) ของดินฐานราก และหาค่า California Bearing Ratio (CBR) ของดินฐานรากตำแหน่งเดียวกัน ผลการทดสอบพบว่าค่า CBR ทั้งแบบ Soaked และ Unsoaked และการทรุดตัว (Settlement) ของดินฐานรากทุกจุดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และสามารถใช้เป็นวัสดุฐานรากได้

Abstract

This research is to study the properties of soil compaction for road work. Purpose of this research is to test raw materials for foundations and recommended to the vehicle to get the vehicle weight safely and do not cause the road settlement.

The study tested the capacity of the soil by Plate Load Test to determine the settlement (Settlement) of the soil foundation and the California Bearing Ratio (CBR) of the soil for the foundation. Results showed that both the CBR and Unsoaked Soaked and settlement of the soil foundation at all points in the criteria. It can be used as building foundations.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่าน รศ.วิมล คำศรี อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช และดร.ธนาภรณ์ เมืองมุงคุณ คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่ให้การสนับสนุนในการทำงานวิจัยให้สามารถดำเนินการลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและเจ้าหน้าที่ทุกท่านในการให้การสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ นักศึกษาสาขาเทคโนโลยีการโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และนักศึกษากาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลภาคสนาม และจัดพิมพ์รายงานจนสำเร็จลุล่วงอย่างดียิ่ง

น.ส.ธนานันต์ อารีย์พงศ์
ดร.ปิติ จันทร์ไทย
รศ.ดร.สรารุช จริตงาม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	2
2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.2 งานทดสอบที่เกี่ยวข้อง	4
3 วิธีการศึกษา	10
3.1 บทนำ	10
3.2 แผนงานดำเนินการ	10
3.3 ขั้นตอนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ	11
3.4 การประยุกต์โปรแกรมเพื่อใช้คำนวณหาค่าแรงเค้นด้านทานในดิน	12
3.5 วิธีการดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	12
3.6 แนวทางการนำผลงานวิจัยไปใช้งาน	14
4 ผลการทดสอบ	14
4.1 ผลการหาขนาดโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง	14
4.2 ผลการทดสอบ LIQUID LIMIT และ PLASTIC LIMIT	17
4.3 ผลการทดสอบ COMPACTION TEST	20
4.4 ผลการทดสอบหาค่า UNSOAKED CBR	24
4.5 ผลการทดสอบหาค่า SOAKED CBR	31
4.6 ผลการทดสอบ Plate Load Test	35
4.7 การประยุกต์โปรแกรมเพื่อการคำนวณ	39
5 สรุปผลการวิจัย	42

สารบัญ (ต่อ)

บรรณานุกรม
ภาคผนวก

หน้า
44
45



สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
4.1	การหาขนาดโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงแบบล้าง กม. 40+860	14
4.2	ผลการทดสอบการหาขนาดโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงแบบล้าง กม. 44+562	15
4.3	ผลการทดสอบการหาขนาดโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงแบบล้าง กม. 43+350	16
4.4	ผลการทดสอบ LIQUID LIMIT และ PLASTIC LIMIT กม. 40+860	18
4.5	ผลการทดสอบ LIQUID LIMIT และ PLASTIC LIMIT กม. 43+350	18
4.6	ผลการทดสอบ LIQUID LIMIT และ PLASTIC LIMIT กม. 44+562	19
4.7	ผลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน กม. 40+860	21
4.8	ผลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน กม. 44+562	22
4.9	ผลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน กม. 43+350	23
4.10	ผลการทดสอบหาค่า UNSOAKED CBR แบบสูงกว่ามาตรฐาน กม. 40+860	25
4.11	ผลการทดสอบหาค่า UNSOAKED CBR แบบสูงกว่ามาตรฐาน กม.44+562	27
4.12	ผลการทดสอบหาค่า UNSOAKED CBR แบบสูงกว่ามาตรฐาน กม.43+350	29
4.13	ผลการทดสอบหาค่า SOAKED CBR แบบมาตรฐาน กม.40+860	31
4.14	ผลการทดสอบหาค่า SOAKED CBR แบบมาตรฐาน กม. 41+075	32
4.15	ผลการทดสอบหาค่า SOAKED CBR แบบมาตรฐาน กม. 43+350	33
4.16	ผลการทดสอบหาค่า SOAKED CBR แบบมาตรฐานกม. 44+562	34
4.17	ผลการทดสอบทั้งหมด	38

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
3.1	ที่ตั้งโครงการ ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและทำการทดสอบดิน	11
4.1	กราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน กม.40+860	15
4.2	กราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน กม. 44+562	16
4.3	กราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน กม. 43+350	17
4.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับจำนวนครั้งที่เคาะ กม. 40+860	18
4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับจำนวนครั้งที่เคาะ กม. 43+350	19
4.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับจำนวนครั้งที่เคาะ กม. 44+562	20
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density และเปอร์เซ็นต์ความชื้น กม. 40+860	21
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density และเปอร์เซ็นต์ความชื้น กม. 44+562	23
4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density และเปอร์เซ็นต์ความชื้น กม. 43+350	24
4.10	กราฟ Bearing Pressure กับ Settlement กม.40+860	35
4.11	กราฟ Bearing Pressure กับ Settlement กม.41+075	36
4.12	กราฟของ Bearing Pressure กับ Settlement กม.44+562	37
4.13	กราฟของ Bearing Pressure กับ Settlement กม.43+350	37
4.14	หน้าจอโปรแกรมแสดงกราฟและค่ากำลังต้านทางแรงเฉือนปลอดภัยสูงสุด	39
4.15	หน้าจอแสดงข้อมูลการทรุดตัวของดินบริเวณที่ทดสอบ	40

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหางานวิจัย

การบดอัดของถนนโดยทั่วไปจะทดสอบโดยใช้ค่าการทดสอบความหนาแน่นของดินโดยใช้กรวยทราย (Field density test) ซึ่งจะให้เป็นค่าความหนาแน่นเทียบกับค่าความหนาแน่นที่ได้จากค่าที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการ แต่การทดสอบที่เหมาะสมอีกวิธีคือ การทดสอบกระทำในบริเวณสถานที่ที่จะก่อสร้างด้วยวิธีการทดสอบกดน้ำหนักบรรทุกด้วยแผ่นเหล็ก (Plate Load Test) โดยใช้น้ำหนักวางคร่อมบริเวณทดสอบ แล้วใช้แผ่นเหล็กสี่เหลี่ยมขนาด 30 เซนติเมตร วางที่ก้นหลุม โดยใช้น้ำหนักบรรทุกที่เตรียมไว้ เป็น Dead weight การขึ้นน้ำหนักจะทำโดยใช้แม่แรงกดแผ่นเหล็ก โดยยันกับน้ำหนักบรรทุกที่เตรียมไว้ และวัดการทรุดตัวของแผ่นเหล็กจาก Dial Gauges 4 ตัว ที่ติดตั้งกับ Reference Beams ทำให้สามารถทราบค่ารับน้ำหนักของดินที่ตำแหน่งนั้นๆ และสามารถทำให้ทราบค่าการทรุดตัวเมื่อน้ำหนักบรรทุกจากรถมาคำนวณหาค่าความเค้นสูงสุดที่ดินสามารถต้านทานได้

ปัญหาสำคัญประการหนึ่งในการดำเนินการ คือการเก็บข้อมูลภาคสนามเพื่อนำมาคำนวณหาค่าความเค้นต้านทานของดิน และเขียนกราฟเพื่อดูลักษณะการทรุดตัวของดินเมื่อใส่ น้ำหนักกระทำ และการการคืนตัวของดินเมื่อค่อยๆปลดน้ำหนัก การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการหาค่าความเค้นสูงสุดของดินที่สามารถต้านทานแรงกด และสามารถเขียนภาพกราฟได้ จะช่วยให้วิศวกรหรือผู้เกี่ยวข้องภาคสนามสามารถนำไปใช้ได้ทันทีและสามารถมองเห็นลักษณะการทรุดตัวและการคืนตัวของดินที่ทำการทดสอบได้อย่างรวดเร็วและสะดวก

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าตัวแปรที่มีผลต่อค่ารับน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากสนามโดยการทดลองหาค่า Bearing Value ด้วยวิธี Plate Load Test จากคุณสมบัติการรับน้ำหนักของดินชนิดเดียวกัน
2. เพื่อศึกษารายละเอียดของเครื่องมือและวิธีการทดลองหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักของดินโดยวิธี Plate Bearing

3. ประยุกต์ใช้โปรแกรมหาสมการความสัมพันธ์ในรูปของสมการเพื่อใช้ในการคำนวณทางวิศวกรรม

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาข้อมูลสภาพชั้นดินและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่จำเป็นเพื่อวิเคราะห์หาการรับน้ำหนักในโครงการก่อสร้างถนนในจังหวัดนครศรีธรรมราชหรือใกล้เคียง โดยงานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูลผลการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการของดินวัสดุชั้นทางซึ่งเป็นดินปนทราย และดินตัวอย่างจากโครงการฯ สายพัทลุง-ตรัง (ช่วงเขาพับผ้า) ตอน บ้านนาโยงเหนือ-เขาพับผ้า (นาวง) สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. สร้างสมการความสัมพันธ์ของดินกับค่า Bearing Value ที่มีอิทธิพลต่อการรับน้ำหนักของถนน
2. สามารถออกแบบพื้นถนนลาดยางโดยใช้ค่า Bearing Value

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปี ค.ศ. 1946 Yoder ได้ทำการวิจัยเพื่อหาค่าความแน่นแห้งสูงสุด และค่า California Bearing Ratio (CBR) ของดินตัวอย่างที่ได้จากการผสมดินเม็ดหยาบชนิดต่างๆ กับดินที่ผ่านตะแกรง No. 200 ในอัตราส่วนต่างๆกัน ซึ่งดินที่ผ่านตะแกรง No. 200 ที่ใช้ในการทดสอบนี้มีค่า Liquid Limit เท่ากับ 27 % และมีค่า Plasticity Index เท่ากับ 6 % และใช้พลังงานในการบดอัดที่คงที่ ผลจากการวิจัยได้แสดงไว้ในภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่า ความสัมพันธ์ของความแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณดินที่ผ่านตะแกรง No. 200 จะมีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำ เนื่องจากในช่วงต้นค่าความแน่นแห้งสูงสุด จะมีค่าต่ำ เนื่องจากไม่มีดินเม็ดละเอียดเข้าไปเติมในช่องว่างของดินเม็ดใหญ่ ต่อมาในช่วงกลางค่าความแน่นแห้งสูงสุดจะมีค่าสูงสุด เพราะมีปริมาณดินเม็ดละเอียดเข้าไปเติมในช่องว่างของดินเม็ดใหญ่ ได้พอดี จึงมีช่องว่างในมวลดินน้อยมาก แต่เมื่อเพิ่มปริมาณดินเม็ดละเอียดมากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้โครงสร้างของมวลดินเปลี่ยนไป โดยดินเม็ดใหญ่จะลอยอยู่ในดินเม็ดเล็ก ดังนั้นการบดอัดจึงเกิดขึ้นได้ไม่สมบูรณ์ทำให้ค่าความแน่นแห้งสูงสุดลดลง

ต่อมาในยุคหลังจึงได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ของการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินบดอัดประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาดและพิจารณาถึงรูปร่างของกราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินมากขึ้น แต่เนื่องจากกราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินนั้นมีรูปร่างหลายลักษณะ การจะศึกษาให้ได้ความสัมพันธ์ที่ชัดเจนนั้นต้องอาศัยข้อมูลเป็นจำนวนมาก จึงมีการตั้งสมมติฐานของรูปร่างของกราฟการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน ที่จะทำการศึกษาที่แตกต่างกันไป

ปี ค.ศ. 1970 ตามคู่มือการออกแบบของ Asphalt Institute ฉบับที่ 8 นั้น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของดินฐานรากจะอยู่ในรูปของ CBR , Plate Bearing K-value, หรือ R value อย่างไม่อย่างหนึ่ง ในทั้ง 3 พารามิเตอร์นี้ ค่า CBR เป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากการทดสอบความแข็งแรงของดินฐานรากเป็นเปอร์เซ็นต์ CBR นั้นไม่ยุ่งยาก สามารถทำได้รวดเร็ว ดังนั้นกรมทางหลวงจึงได้เลือกใช้เปอร์เซ็นต์ CBR ของดินฐานรากเป็นตัวแปรในการออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางโดยวิธี Asphalt Institute ฉบับที่ 8 นอกจากนั้นอัตราส่วนความแข็งแรงของวัสดุต่างๆ ในโครงสร้างชั้นทาง (Substitution Ratios) ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ ที่ใช้ในการแปลงความหนาของ Full Depth Asphalt Pavement ให้เป็นถนนที่มีโครงสร้างทางเป็นชั้นๆ โดย Substitution

ปี ค.ศ. 1997 กลุ่มวิจัยและพัฒนาด้านวิศวกรรม สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน ศึกษาหาความสัมพันธ์ของผลการทดสอบระหว่าง CBR กับชนิดของดิน (เฉพาะกลุ่ม CL) การศึกษา

ครั้งนี้เป็นการศึกษาที่เฉพาะเจาะจงกลุ่มดิน ซึ่งเป็นการศึกษาดินกลุ่ม CL โดยดินชนิดนี้จะเป็นดินที่พบบ่อยในงานก่อสร้างต่างๆ เช่น เขื่อนดิน คลองดิน ถนน หรืออาจจะเป็นงานฐานรากอาคาร การที่จะนำดินไปใช้ในงานที่เกี่ยวกับการก่อสร้างนั้น จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติอย่างหนึ่งที่สำคัญของดิน คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักของดินโดยใช้ค่า CBR เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกได้ของดิน โดยทั่วไปจะทำการทดสอบกับดินที่บดอัดตามเกณฑ์มาตรฐานที่จุด Optimum Moisture Content และการทดสอบหาค่า CBR แบบเปียก เป็นกรณีหนึ่งที่ดินในธรรมชาติจะรับน้ำหนักบรรทุกขณะที่ดินอิมตัว ซึ่งเป็นสภาพที่ดินบวมตัวและมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ต่ำกว่าปกติ จึงเป็นกรณีที่น่าสนใจและนำไปใช้ออกแบบต่อไป การทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง CBR กับชนิดของดิน (เฉพาะกลุ่ม) โดยแบ่งเป็นช่วงตามค่า Liquid Limit (L.L.) และ Plasticity Index (P.I.) เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์ได้ผลการศึกษาดังนี้โดย

ช่วงที่ 1 ค่า L.L. มีค่าอยู่ระหว่าง 20.00-30.90 และค่า P.I. มีค่าอยู่ระหว่าง 6.00-14.90 พบว่า มีความสัมพันธ์กัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.8521 ได้สมการความสัมพันธ์ คือ $Y = 2.935 X - 3.332$

ช่วงที่ 2 ค่า L.L. มีค่าอยู่ระหว่าง 30.00-39.99 และค่า P.I. มีค่าอยู่ระหว่าง 6.00-14.90 พบว่า มีความสัมพันธ์กัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9412 ได้สมการความสัมพันธ์ คือ $Y = 2.833 X - 3.053$

ช่วงที่ 3 ค่า L.L. มีค่าอยู่ระหว่าง 40.00-49.90 และค่า P.I. มีค่าอยู่ระหว่าง 14.90-25.00 พบว่า มีความสัมพันธ์กัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.8021 ได้สมการความสัมพันธ์ คือ $Y = 5.475 X - 7.232$ เมื่อ Y คือค่า CBR และ X คือค่า Dry Density (tons/cu.m)

ปี ค.ศ. 2000 พิศาล วินัยชาติศักดิ์และอดิเทพ ณ ชุมสาย ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ จำนวน 3 ค่า คือ CBR, Bearing Value (psi) และ Modulus of Subgrade Reaction K (pci) ผลการทดลองพบว่า มีความเกี่ยวข้องกันจริงและสามารถแปลงจากค่าหนึ่งไปเป็นอีกค่าหนึ่งได้ซึ่งสมการความสัมพันธ์ที่หาได้สามารถนำไปทดสอบค่าคงตัวของดินที่มีค่า CBR อยู่ในช่วงร้อยละ 25 ถึงร้อยละ 45

2.2 งานทดสอบที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ทล.-ท. 205 การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง (AASHTO T 27 - 70)

การทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุสำหรับวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

- นำตัวอย่างที่มีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อนมาบีบให้แตกโดยใช้มือแล้วนำตัวอย่างไปอบในตู้อบเมื่ออบจนมวลคงที่ นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใช้ล้างตัวอย่าง เหน้าหรือน้ำยาลงไปในภาชนะ

จนท่วมตัวอย่างแช่ทิ้งไว้ประมาณ 3-4 ชั่วโมง แล้วเทตัวอย่างลงบนตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) เบอร์ 10 (2.000 มิลลิเมตร) และเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) ที่วางซ้อนไว้ข้างบน เพื่อลดปริมาณตัวอย่างบนตะแกรงเบอร์ 200

- ใช้น้ำล้างจนกว่าไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อีกต่อไป เทตัวอย่างลงในภาชนะแล้วนำไปอบให้แห้ง
- นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาด 2 นิ้ว, 1 นิ้ว, 3/4 นิ้ว, 3/8 นิ้ว, เบอร์ 4, เบอร์ 10, เบอร์ 40 และเบอร์ 200 ที่วางซ้อน ใช้เวลาเขย่านานทั้งหมด 15 นาที
- เมื่อเขย่าเสร็จ นำตัวอย่างที่ค้างตะแกรงแต่ละขนาดไปชั่ง
- คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 และ คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลของวัสดุซึ่งมีขนาดทั้งใหญ่และเล็กกว่าเบอร์ 4

2.2.2 ทล.-ท.102 การทดสอบหาค่า Liquid Limit (L.L.) (AASHTO T 80) และทล.-ท. 103 การทดสอบหาค่า Plastic Limit (P.L.) และ Plasticity Index (P.I.) (AASHTO T 90)

ค่า L.L. เป็นการหาปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดในตัวอย่างเปลี่ยนสถานภาพของเหลว (Liquid) มาเป็นพลาสติก (Plastic) และหาค่า P.L. เพื่อหาปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดในตัวอย่างที่ทำให้มีสภาพความเหนียวมากขึ้น จากสถานภาพของพลาสติก (Plastic) มาเป็นกึ่งของแข็ง (Semi Solid) โดยการนำมาคลึงเป็นเส้นให้แตกตัวที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว)

ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

- (1) นำตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว นำมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 300 กรัม และนำตัวอย่างหินผุและหินคลุกมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 โดยนำตะแกรงเบอร์ 4 วางซ้อนข้างบนเพื่อป้องกันตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 40 นำตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ไปทำการทดสอบต่อไปส่วนที่ค้างให้ทิ้งไป
- (2) ทำการตรวจสอบเครื่องมือทดลอง ต้องอยู่ในสภาพดีมีขนาดถูกต้อง สลักยึดต้องไม่สึกหรือจนด้วยกระทะเอียง แนวปาดดินในกระทะต้องไม่สึกเป็นร่อง เครื่องมือปาดร่องต้องได้การตรวจสอบความสูงของถ้วยกระทะที่จะยกขึ้น ใช้แท่งโลหะซึ่งมีความสูง 10 มิลลิเมตร วัดระยะตกของถ้วยกระทะให้ได้ 10 มิลลิเมตร โดยปรับสกรูยึดถ้วยกระทะให้หลวมเสียก่อนปล่อยให้ถ้วยกระทะขยับวางลงบนที่วัด แล้วจึงขันสกรูยึดให้แน่นดังเดิม หมุนถ้วยกระทะเร็วๆ หลายๆ ครั้งจนได้ยินเสียง “แก๊ก”
- (3) นำตัวอย่างที่เตรียมไว้มาเทบนแผ่นกระจกแล้วผสมน้ำประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ใช้มีดปาดดิน คนผสมให้ทั่ว จนกระทั่งดินและน้ำผสมกันทั่วทั้งก้อนแล้วเพิ่มน้ำอีกครั้งละประมาณ 1-3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจนทั่ว โดยการผสมน้ำแต่ละครั้งใช้เวลาทั้งหมด 5-10 นาที
- (4) นำตัวอย่างใส่ลงตรงกลางถ้วยกระทะใช้ มีดปาดกดและปาดดินโดยพยายามปาดให้น้อยครั้งที่สุด และไม่ให้มีฟองอากาศ ให้ดินตรงกลางถ้วยกระทะหนา 10 มิลลิเมตร แล้วจับถ้วยยึดให้แน่นใช้เครื่องมือปาดร่องดินปาดดินตรงกลางให้ได้ร่อง

- (5) หมุนเคาะด้วยกระทะด้วยอัตราเร็ว 2 ครั้งต่อวินาที จนกระทั่งดินในร่องเคลื่อนที่สัมผัสกันระยะ 12.7 มิลลิเมตร ระยะเวลาที่ใช้ทดลองนับตั้งแต่ใส่ดินลงไปในถ้วยกระทะจนกระทั่งเคาะเสร็จ ใช้เวลาไม่ควรเกิน 3 นาที
- (6) เมื่อเคาะจนดินเคลื่อนมาสัมผัสกันยาว 12.7 มิลลิเมตร ให้ใช้มีดปาดดินตักดินบริเวณตรงกลางถ้วยเพื่อนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วตักตัวอย่างดินที่เหลือออกจากกระทะเทลงบนกระดาษแล้วเติมน้ำลงไปผสมใหม่ให้เข้ากันแล้วทำการทดลองซ้ำตามขั้นตอนที่ผ่านมา
- (7) ตัวอย่างที่ใส่กระป๋องอบ หลังจากทำการชั่งน้ำหนักแล้วนำเข้าเตาอบ อบจนแห้งและมีน้ำหนักคงที่แล้วนำออกจากเตาอบทิ้งไว้จนเย็นแล้วชั่งน้ำหนักหามวลอบแห้งเพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณน้ำในดิน
- (8) ใช้ตัวอย่างมาประมาณ 8 กรัม คลุกเคล้าจนเข้ากันจนทั่วแล้วปั้นให้เป็นรูปยาวรี (Ellipsoidal Shape) คลึงดินด้วยนิ้วให้เป็นเส้นบนแผ่นกระดาษ โดยใช้มีดกดเพียงเบา ๆ ไปตามแนวราบให้ได้เส้นโตสม่ำเสมอตลอดความยาว)
- (9) เมื่อคลึงไปจนเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นตัวอย่างเล็กประมาณ 3.2 มิลลิเมตร และเส้นแตกพอดี
- (10) รวบรวมตัวอย่างที่แตกทั้งหมดใส่ลงในกระป๋องอบ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก และทำการอบจนแห้งและมีน้ำหนักคงที่แล้วนำออกจากเตาอบตั้งจนเย็นแล้วทำการชั่งน้ำหนักหาน้ำหนักของน้ำที่หายไป

2.2.3 ทล.-ท. 107 การทดสอบ Compaction Test (AASHTO T 99) และทล.-ท. 108 การทดสอบ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (AASHTO T 180)

วัตถุประสงค์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัด เมื่อทำการบดอัดในแบบ (Mold) โดยใช้ค้อน (Rammer)หนัก 2.494 กิโลกรัม (5.5 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 304.8 มิลลิเมตร (12 นิ้ว) สำหรับแบบมาตรฐาน และใช้ค้อน (Rammer)หนัก 4.537 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) สำหรับแบบสูงกว่ามาตรฐาน

ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

- (1) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูงของแบบ เพื่อหาปริมาตรของดินในแบบจากนั้นประกอบแบบและ แท่งโลหะรอง พร้อมชั่งน้ำหนัก
- (2) นำดินตัวอย่างไปอบแห้งในตู้อบ แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว ส่วนที่ค้างบนตะแกรงให้ทิ้งไป และให้ใช้ดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว
- (3) การทดสอบแบบมาตรฐาน ชั่งตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ ประมาณ 3,000 กรัม และการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน ชั่งตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ ประมาณ 6,000 กรัม เพื่อทำการทดสอบได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง

- (4) นำตัวอย่างมาคลุกเคล้าจนเข้ากัน เติมปริมาณน้ำ โดยจะเริ่มต้นประมาณ 4% ต่ำกว่า ปริมาณน้ำในดินที่ทำให้มีความหนาแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content) แล้ว คลุกเคล้าด้วยมือจนเข้ากัน
- (5) นำตัวอย่างใส่ลงไปในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยให้ดินแต่ละชั้น เมื่อบดอัด แล้วมีความสูงประมาณ 1/3 ของ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว) สำหรับการบดอัดแบบ มาตรฐาน และมีความสูงประมาณ 1/5 ของ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว) สำหรับการบด อัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน
- (6) ทำการบดอัด โดยใช้ค้อน 25 ครั้งต่อชั้นสำหรับแบบ (mold) ขนาดเล็ก และ 56 ครั้งสำหรับแบบ (mold) ใหญ่ การบดอัดแบบมาตรฐานทำการบดอัดตัวอย่างเป็น ชั้น ๆ จนครบ 3 ชั้น และการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐานทำการบดอัดตัวอย่าง เป็นชั้น ๆ จนครบ 5 ชั้น
- (7) ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบและใช้ค้อนทุบให้แน่นจนได้ระดับขอบ บนของแบบ นำตัวอย่างไปชั่งและจดบันทึกค่า แล้วนำตัวอย่างดินใส่กระป๋องอบดิน แล้วนำไปชั่งและจดบันทึกค่า เพื่อหาปริมาณน้ำในดิน
- (8) การทำการทดสอบในอัตราส่วนต่อไปจะเพิ่มปริมาณน้ำในดินขึ้นอีกครั้งละ 2% จนกว่าจะได้ความหนาแน่นลดลงจึงหยุดการทดลองหรือลดน้ำที่ผสม
- (9) คำนวณหาค่าความหนาแน่นเปียก ความหนาแน่นแห้ง เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน
- (10) เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง และปริมาณน้ำในดิน

2.2.4 ทล.-ท. 109 การทดสอบหาค่า CBR แบบสูงกว่ามาตรฐาน (AASHTO T 193)

วัตถุประสงค์ เพื่อหาค่าเปรียบเทียบ Bearing Value ของวัสดุตัวอย่างกับวัสดุหินมาตรฐาน เมื่อทำการบดอัดตัวอย่างนั้นโดยใช้ค้อนบดอัดในแบบ (Mold) ที่ปริมาณน้ำในดินที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) ซึ่งนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนนและใช้ควบคุมงานในการ บดอัดให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ

ขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

- (1) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ความสูงของแบบ เพื่อหาปริมาตรของดิน จากนั้น ประกอบแบบ และแท่งโลหะรอง พร้อมชั่งน้ำหนัก แล้วนำแท่งโลหะและกระดาษ กรองใส่ลงไปในแบบ
- (2) นำดินตัวอย่างไปอบแห้งในตู้อบ แล้วนำมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว ส่วนที่ค้าง บนตะแกรงให้ทิ้งไป และให้ใช้ดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว
- (3) ชั่งตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ ประมาณ 6,000 กรัม
- (4) ทำการบดอัดตัวอย่างดินที่ความชื้นที่เหมาะสมที่ให้ที่ความแน่นสูงสุด 3 ตัวอย่างโดย ทำการบดอัดตัวอย่างละ 5 ชั้น ตัวอย่างแรกบดอัด 12 ครั้งต่อชั้น ตัวอย่างที่สองบด อัด 25 ครั้งต่อชั้นและตัวอย่างสามบดอัด 56 ครั้งต่อชั้น เมื่อบดอัดเรียบร้อยแล้ว

ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบและใช้ค้อนทุบให้แน่นจนได้ความสูงเท่าระดับขอบบนของแบบ

- (5) คลายสกรูที่ยึดระหว่างแผ่นฐาน และแบบ นำแท่งโลหะรองออกจากแผ่นฐาน วางกระดาษรองแผ่นใหม่ลงบนแผ่นฐาน พลิกแบบโดยให้ด้านล่างของแบบอยู่ด้านบน แล้วประกอบกับแผ่นฐานชั้นสกรูและใส่ปลอกเข้าที่
- (6) นำแผ่นวัดการขยายตัวพร้อมแผ่นถ่วงน้ำหนักจำนวน 2 อัน สำหรับวัสดุพื้นทาง วัสดุรองพื้นทางและวัสดุคัดเลือก และ 3 อัน สำหรับวัสดุดินคันทาง วางลงบนตัวอย่างให้แบบสนิท แล้วนำลงแช่น้ำให้ท่วมตัวอย่างให้หมด พร้อมวางก้านสามขาของปลอกของแบบแล้วปรับ Dial Gauge อยู่กึ่งกลางบนก้านของแผ่นวัดการขยายตัว จดบันทึกจนครบกำหนด 4 วัน
- (7) นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ยกแผ่นวัดการขยายตัวพร้อมแผ่นถ่วงน้ำหนักออกตะแคงแบบ ให้น้ำไหลออกประมาณ 15 นาที ทำการชั่งหามวล แล้วนำตัวอย่างเพื่อมาทดสอบ Penetration Test โดยทันที
- (8) นำตัวอย่างขึ้นตั้งบนที่ตั้งของเครื่องกด ตั้งให้ท่อนกดอยู่ตรงพอดีกับกึ่งกลางรูของแผ่นถ่วงน้ำหนักหมุนเครื่องให้แผ่นฐานเคลื่อนขึ้น จนท่อนกดสัมผัสกับผิวหน้าของตัวอย่าง ตั้งหน้าปัดของเครื่องวัดแรง (Proving Ring) และ Dial Gauge ที่วัด Penetration ให้เป็นศูนย์
- (9) เพิ่มแรงลงบนท่อนกด ตามวิธีการของเครื่องกดนั้น ๆ ด้วยอัตราเร็วที่สม่ำเสมอเท่ากับ 1.27 มิลลิเมตร (0.05 นิ้ว) ต่อนาที โดยการอ่าน Penetration Dial Gauge เทียบกับนาฬิกาจับเวลา แล้วทำการบันทึกแรงกด เมื่อเสร็จแล้วคลายแรงที่กดออก นำตัวอย่างพร้อมแบบออกจากแท่นของเครื่องกดยกแผ่นถ่วงน้ำหนักออก
- (10) นำตัวอย่างบริเวณที่ถูกท่อนกด ๆ ลงไปเป็นรูปหาค่าปริมาณน้ำในดิน
- (11) ทดสอบ Penetration Test ของตัวอย่างที่เตรียมไว้อีก 2 ตัวอย่าง โดยวิธีเดียวกัน
- (12) เขียน Curve ระหว่างแรงกดและระยะท่อนกดจมลงในตัวอย่าง (Stress vs. Penetration) เพื่อหาค่า CBR เมื่อได้ค่า CBR ของแต่ละตัวอย่างแล้ว เขียน Curve ระหว่างค่า CBR กับค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) เพื่อหาค่า CBR ที่เปอร์เซ็นต์ของการบดอัดที่ต้องการ

2.2.5 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของดินโดยวิธี Plate Load Test

วัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดกับการทรุดตัว โดยให้น้ำหนักสถิตยกดผ่านแผ่นเหล็กรูปวงกลมหลายขนาดที่วางซ้อนกัน และไม่กระทำซ้ำ (ให้น้ำหนักรอบเดียว) เพื่อใช้คำนวณค่า Modulus of subgrade reaction (k) และประเมินค่ารับน้ำหนักของดินฐานราก

ขั้นตอนและวิธีการทดสอบมีดังนี้

- (1) เตรียมพื้นที่ทดสอบให้เรียบและได้ระดับ โดยใช้ทรายผสมกับปูนปลาสเตอร์หรือปูนปลาสเตอร์อย่างเดียว หรืออาจจะเป็นทรายละเอียดก็ได้

- (2) วางแผ่นเหล็กขนาด 12x12 นิ้ว ลงตรงศูนย์กลางบริเวณที่ต้องการทดสอบ
- (3) วางแผ่นเหล็กขนาดที่เหลือนบนแผ่นแรกให้ร่วมศูนย์กลางกันทุกแผ่น
- (4) การทดสอบแบบ unconfined ของชั้นดินที่ระดับลึกลงไปจากผิวดินให้ขุดดินหรือวัสดุโดยรอบออกให้มีระยะห่างจากขอบแผ่นเหล็ก 1 หรือ 1.5 เท่า ของเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นเหล็ก
- (5) ติดตั้งไดอัลเกจไว้บนแผ่นเหล็กแผ่นล่างสุดเพื่อวัดค่าการเคลื่อนที่ทางดิ่งของแผ่นเหล็ก ในกรณีใช้เกจ 2 อัน ให้ติดตั้งไว้ตรงข้ามกัน และห่างจากขอบแผ่นเหล็ก 1 นิ้ว ในกรณีใช้เกจ 4 ตัว ให้ติดตั้งโดยติดตั้งที่มุมทั้งสี่ของแผ่นเหล็ก ให้เฉลี่ยค่าที่อ่านได้จากไดอัลเกจทุกตัว เป็นค่าการทรุดตัวโดยเฉลี่ย
- (6) ถอยรถบรรทุกให้กึ่งกลางเพลลาอยู่บนกึ่งกลางของแผ่นเหล็ก ติดตั้งแม่แรงไฮดรอลิคบนแผ่นเหล็กโดยให้แกนอยู่กึ่งกลางเพลลารถยนต์พอดี
- (7) เมื่อติดตั้งเครื่องมือทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว เริ่มให้น้ำหนักเริ่มต้น โดยการเพิ่มน้ำหนัก และลดลงอย่างรวดเร็ว โดยน้ำหนักที่ให้อาจเพียงพอให้เกิดการทรุดตัวไม่น้อยกว่า 0.01 นิ้ว และไม่เกิน 0.02 นิ้วเมื่อเข็มของเกจหยุดนิ่งหลังจากลดน้ำหนัก ให้คณน้ำหนักลงบนแผ่นเหล็กอีกครั้งประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำหนักที่ทำให้เกิดการทรุดตัวระหว่าง 0.01 – 0.02 นิ้วดังกล่าว (ค่าน้ำหนักนี้เรียกว่า seating load) เมื่อเข็มหยุดนิ่งจึงตั้งค่าเริ่มต้นของเกจทุกตัว
- (8) ก่อนให้น้ำหนักควรวางแผนให้รอบคอบโดยพิจารณาค่าน้ำหนักสูงสุดที่เครื่องมือสามารถทดสอบได้ (หรือพิจารณาน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบ) แล้วแบ่งค่าน้ำหนักทดสอบออกเป็นช่วง ๆ ที่เท่ากัน ทั้งนี้จำนวนช่วงที่แบ่งควรจะไม่น้อยกว่า 6 ช่วง เพื่อให้เพียงพอสำหรับสร้างความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนัก และการทรุดตัว (Load – Deflection)
- (9) เริ่มให้น้ำหนักทีละช่วงตามที่แบ่งไว้ในข้อ (8) ในแต่ละช่วงน้ำหนักที่กด ให้รอจนกระทั่งอัตราการทรุดตัวไม่เกิน 0.001 นิ้ว (0.03 มิลลิเมตร) ต่อนาที ในช่วงเวลาสามนาทีติดต่อกัน จึงอ่านค่าการทรุดตัว และหาค่าเฉลี่ยของการทรุดตัวจากค่าที่อ่านได้จากเกจทั้งหมด
- (10) เพิ่มน้ำหนักกดจนกระทั่งค่าการทรุดตัวถึงที่กำหนดไว้ (โดยปกติใช้การทรุดตัว 25 มิลลิเมตร) หรือจนกระทั่งน้ำหนักกดถึงขีดจำกัดของเครื่องมือที่ทดสอบขึ้นอยู่กับอย่างไหนจะถึงก่อน แล้วให้คณน้ำหนักกดไว้รอจนกระทั่งอัตราการทรุดตัวไม่เกิน 0.001 นิ้วต่อนาที ในช่วงสามนาทีติดต่อกัน บันทึกค่าการทรุดตัว หลังจากนั้นคลายน้ำหนักกดจนกระทั่งถึงค่า Seating load คณน้ำหนักนี้ไว้จนอัตราการทรุดตัวไม่เกิน 0.001 นิ้วต่อนาที ในช่วงสามนาทีติดต่อกัน บันทึกค่าการทรุดตัวที่ Seating load นำผลทดสอบที่ได้จากขั้นตอนทดสอบ (8) ถึง (10) ไปเขียนความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกด และการทรุดตัว

บทที่ 3

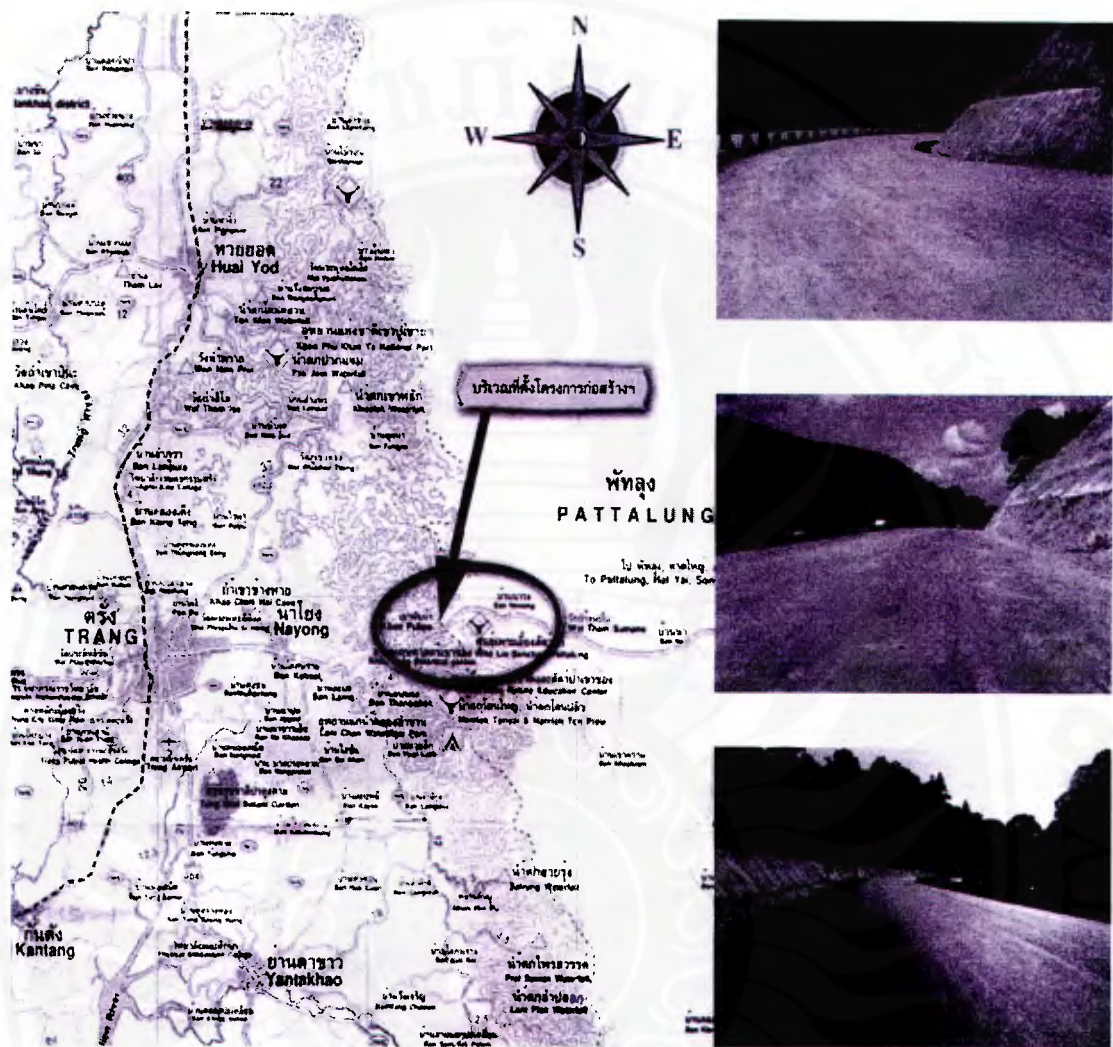
วิธีการศึกษา

3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูลผลการทดสอบการบดอัด และ CBR ในห้องปฏิบัติการของดินวัสดุชั้นทางซึ่งเป็นดินเหนียวปนทรายจากโครงการก่อสร้างทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 4 สายพัทลุง-ตรัง (ช่วงเขาพับผ้า) ตอน บ้านนาโยงเหนือ-เขาพับผ้า (นาวง) จุดเริ่มต้นโครงการที่ กม. 36+450.000 ถึง กม. 47+000.000 ของสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ซึ่งมีระยะทางรวมทั้งสิ้น 10.550 กิโลเมตร (แสดงในรูปที่ 3.1) ดินตัวอย่างทั้งหมดเป็นดินที่มีความคละตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง ผลทดสอบทั้งหมดจะนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และ ค่าความแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density) เพื่อใช้เป็นค่าควบคุมการทดสอบ และแนะนำวัสดุสำหรับงานชั้นทางของโครงการฯ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมจากทางโครงการแล้วได้มีการเก็บดินตัวอย่างจากจุดที่ทำการทดสอบ Plate Load Test มาทำการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ เพื่อเปรียบเทียบและเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์เพิ่มเติมด้วย

3.2 แผนงานดำเนินการ

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยงานหลักสองส่วน ส่วนแรกเป็นการรวบรวมผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และในสนามผลการทดสอบในสนามประกอบด้วยผลทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน (การกระจายขนาดของเม็ดดิน และพิกัด Atterberg) ผลทดสอบการบดอัด และผลทดสอบ CBR ข้อมูลผลการทดสอบทั้งหมด รวบรวมจากโครงการฯ สายพัทลุง-ตรัง (ช่วงเขาพับผ้า) ตอน บ้านนาโยงเหนือ-เขาพับผ้า (นาวง) สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง และส่วนที่สองเป็นการรวบรวมผลการทดสอบ Plate Load Test จากโครงการเดียวกันนี้และผลการทดสอบอื่นที่เกี่ยวข้อง และนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์ตามจุดประสงค์ของโครงการงานวิจัยซึ่งได้กล่าวไว้ในขั้นต้น



รูปที่ 3.1 ที่ตั้งโครงการ ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและทำการทดสอบดิน

3.3 ขั้นตอนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ดินตัวอย่างที่รวบรวมมาจะผ่านการทดสอบตามมาตรฐานของกรมทางหลวง โดยดินตัวอย่างจากสายทางต่างๆจะอบให้แห้ง และแบ่งตัวอย่างให้ได้ปริมาณเพียงพอต่อการทดสอบด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่างตาม มาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวง เป็นดังนี้

3.3.1 ทล.-ท. 205 การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง (AASHTO T 27 – 70)

3.3.2 ทล.-ท.102 การทดสอบหาค่า Liquid Limit (L.L.) (AASHTO T 80) และทล.-ท. 103 การทดสอบหาค่า Plastic Limit (P.L.) และ Plasticity Index (P.I.) (AASHTO T 90)

3.3.3 ทล.-ท. 107 การทดสอบ Compaction Test (AASHTO T 99) และ ทล.-ท. 108 การทดสอบ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (AASHTO T 180)

3.3.4 ทล.-ท. 109 การทดสอบหาค่า CBR แบบสูงกว่ามาตรฐาน (AASHTO T 193)

3.3.5 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของดินโดยวิธี Plate Load Test

3.4 การประยุกต์โปรแกรมเพื่อใช้คำนวณหาค่าแรงเค้นด้านทานในดิน

การประยุกต์ใช้โปรแกรมเพื่อการประมวลผลการคำนวณหาค่าแรงต้านแรงเฉือนในดินสูงสุด และเขียนกราฟการทรุดตัวและการคืนตัวของดินเมื่อใส่น้ำหนักบรรทุกและค่อยๆลดน้ำหนักบรรทุก โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ออฟฟิศ เอ็กเซล 2007 (Microsoft Excel 2007) เพื่อวิเคราะห์และประมวลโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลที่ได้จากภาคสนาม
2. นำข้อมูลที่ได้กรอกลงในตารางที่กำหนดในโปรแกรมไมโครซอฟท์ออฟฟิศ เอ็กเซล 2007
3. ข้อมูลที่กรอกลงในตารางจะแสดงในรูปของกราฟที่หน้ารายงาน
4. ข้อมูลจากข้อ 2 จะแสดงรายงานค่าแรงกดสูงสุด ค่าการทรุดตัวสูงสุด และค่าความเค้นด้านทานของดินสูงสุด โดยการคำนวณค่าความเค้นสูงสุดได้จากสมการที่ 3.1

$$\sigma_{\max} = \frac{P_{\max}}{A} \quad (3.1)$$

โดยที่

σ_{\max} = ค่าแรงเค้นด้านทานสูงสุดของดิน; ตัน/ตารางเมตร

P_{\max} = แรงกดสูงสุด; ตัน

A = พื้นที่กระทำบนตำแหน่งดินที่ทดสอบ; ตารางเมตร

= $\pi d^2/4$

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นทดสอบ; เมตร

3.5 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1. ศึกษาการหาค่ารับน้ำหนักบรรทุกของดินในงานถนนโดยวิธี Plate Load Test ประมาณ 4 ตำแหน่ง
2. สำรวจพื้นที่เพื่อหาวิธีการเก็บตัวอย่างดินที่เหมาะสม

3. นำดินบริเวณที่ทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานในห้องปฏิบัติการซึ่งประกอบด้วย
 - การหาค่าความชื้น
 - หน่วยน้ำหนักของดิน (Unit Weight)
 - การหาค่าพิกัดอัตราเบอร์ก (Atterburg Limits)
 - การหาลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain size distribution)
4. ทำการทดสอบ CBR เพื่อหาค่าเปรียบเทียบกับ Bearing Value ของวัสดุตัวอย่างกับวัสดุหินมาตรฐาน เมื่อทำการบดอัดตัวอย่างนั้นโดยใช้ค้อนบดอัดในแบบ (Mold) ที่ปริมาณน้ำในดินที่เหมาะสม (Optimum Water Content) ซึ่งนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนนและใช้ควบคุมงานในการบดอัดให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ
5. คำนวณหาค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลดิน โดยประยุกต์ใช้โปรแกรมเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ เช่น Excel, Visual Basic เป็นต้น
6. สรุปผลและจัดทำรายงาน

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

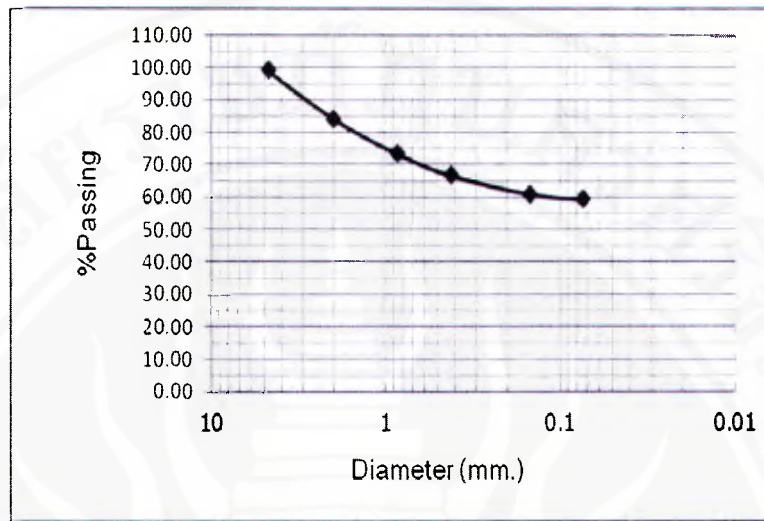
ผลการศึกษาคุณสมบัติของดินในงานวิจัยนี้ได้นำดินฐานรากจากโครงการเร่งรัดขยายทางสาย ประธานให้เป็น 4 ช่องจราจร ทางหลวงหมายเลข 4 สายตรง – พัทลุง ตอนบ้านนาโยงเหนือ – เขาพับ ผ่า(บ้านนาวง) มาศึกษา โดยกำหนดให้ดินฐานราก ที่ กม. 40+860 เป็นดินชุดที่ 1 ดินฐานราก ที่ กม. 43+350 เป็นดินชุดที่ 3 และ ดินฐานราก ที่ กม. 44+562 เป็นดินชุดที่ 4 ส่วนดินตัวอย่างชุดที่ 2 ไม่ได้ทำการทดสอบแต่จำแนกดินด้วยสายตา โดยผลการทดสอบดินทั้งหมดได้นำเสนอเป็นลำดับ ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการหาขนาดโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรง

ผลการหาขนาดดินโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงของดินฐานราก ที่ กม. 40+860 เป็นดินชุดที่ 1 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 ดินฐานราก ที่ กม. 43+350 เป็นดินชุดที่ 3 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 ดินฐานราก ที่ กม. 44+562 เป็นดินชุดที่ 4 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 การหาขนาดโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงแบบล้าง กม. 40+860

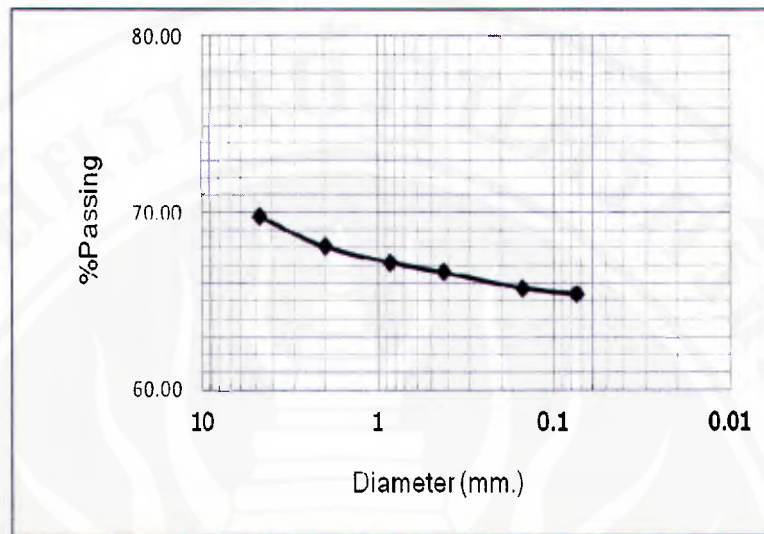
SIEVE NO.	WT.OF SIEVE gm.	WT. OF SOIL+SIEVE gm.	WT. OF SOIL RETAINED gm.	PERCENT RETAINED %	PERCENT PASSING %
4	489.59	494.81	5.22	1.04	98.96
10	491.36	565.61	74.25	14.86	84.09
20	372.16	426.59	54.43	10.89	73.20
40	337.87	371.21	33.34	6.67	66.52
100	311.67	340.45	28.78	5.76	60.76
200	301.41	309.82	8.41	1.68	59.08
PAN	282.59	282.82	295.16	59.08	0.00
			499.59		



รูปที่ 4.1 กราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน กม. 40+860

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการหาขนาดโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงแบบล่าง กม. 44+562

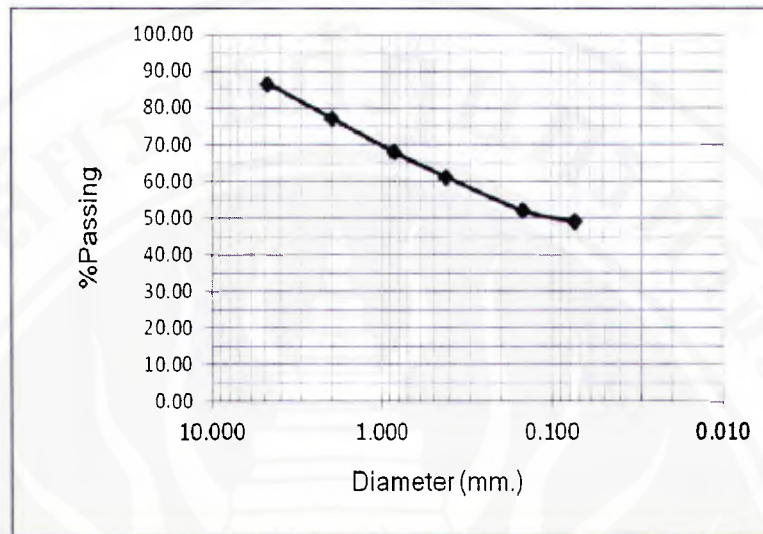
SIEVE NO.	WT.OF SIEVE gm.	WT. OF SOIL+SIEVE gm.	WT. OF SOIL RETAINED gm.	PERCENT RETAINED %	PERCENT PASSING %
4	489.58	640.57	150.99	30.20	69.80
10	491.17	499.62	8.45	1.69	68.11
20	372.09	376.52	4.43	0.89	67.23
40	337.81	340.69	2.88	0.58	66.65
100	311.61	316.07	4.46	0.89	65.76
200	302.10	303.80	1.70	0.34	65.42
PAN	282.62	282.92	327.09	65.42	0.00
			500.00		



รูปที่ 4.2 กราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน กม. 44+562

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการหาขนาดโดยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงแบบล้าง กม. 43+350

SIEVE NO.	WT.OF SIEVE gm.	WT. OF SOIL+SIEVE gm.	WT. OF SOIL RETAINED gm.	PERCENT RETAINED %	PERCENT PASSING %
4	489.60	556.53	66.93	13.39	86.61
10	491.16	537.90	46.74	9.35	77.27
20	372.06	418.08	46.02	9.20	68.06
40	337.81	371.54	33.73	6.75	61.32
100	311.62	357.61	45.99	9.20	52.12
200	301.39	316.48	15.09	3.02	49.10
PAN	282.54	283.60	245.50	49.10	0.00
			500.00		



รูปที่ 4.3 กราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน กม. 43+350

จากผลการทดสอบการร่อนผ่านตะแกรงของดิน โดยกำหนดให้ ดินฐานราก กม. 40+860 เป็นดินชุดที่ 1 ดินฐานราก กม. 43+350 เป็นดินชุดที่ 3 และ ดินฐานราก กม. 44+562 เป็นดินชุดที่ 4 พบว่า

- ดินตัวอย่าง กม. 40+860 มีค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 59.08 เปอร์เซ็นต์
- ดินตัวอย่าง กม. 43+350 มีค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 49.10 เปอร์เซ็นต์
- ดินตัวอย่าง กม. 44+562 มีค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 65.42 เปอร์เซ็นต์

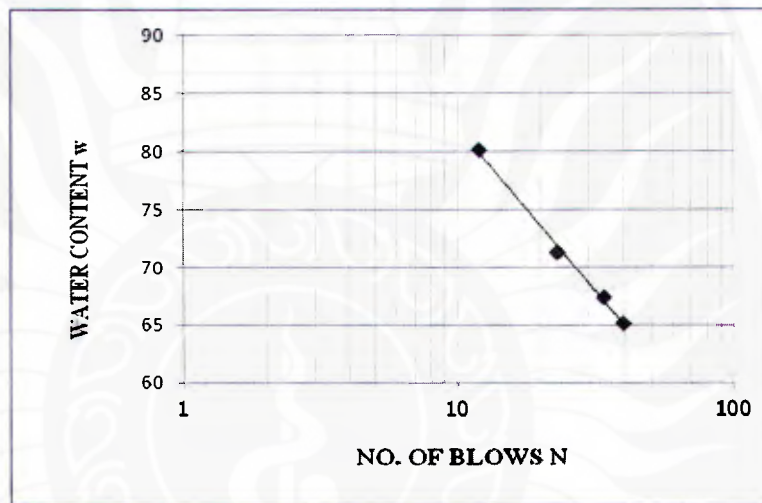
จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ดินชุดที่ 1 และ 4 เป็นดินเม็ดละเอียดประเภทดินเหนียว เนื่องจากมีค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 50 ส่วนดินชุดที่ 2 เป็นดินเม็ดหยาบประเภททราย เนื่องจากมีค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่า 50

4.2 ผลการทดสอบ LIQUID LIMIT และ PLASTIC LIMIT

ผลการทดสอบ LIQUID LIMIT และ PLASTIC LIMIT ของดินฐานราก ที่ กม. 40+860 เป็นดินชุดที่ 1 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.4 ดินฐานราก ที่ กม. 43+350 เป็นดินชุดที่ 3 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 ดินฐานราก ที่ กม. 44+562 เป็นดินชุดที่ 4 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบ LIQUID LIMIT และ PLASTIC LIMIT กม. 40+860

CAN NO.		1	2	3	4
WET SOIL + CAN	(gm)	42.02	42.75	40.78	43.51
DRY SOIL + CAN	(gm)	38.65	39.92	38.29	39.60
WT. OF CAN	(gm)	34.44	35.95	34.60	33.59
WT. OF WATER	(gm)	3.37	2.83	2.49	3.91
WT. OF DRY SOIL	(gm)	4.21	3.97	3.69	6.01
WATER CONTENT	%	80.14	71.28	67.50	65.09
NO. OF BLOWS	N	12	23	34	40

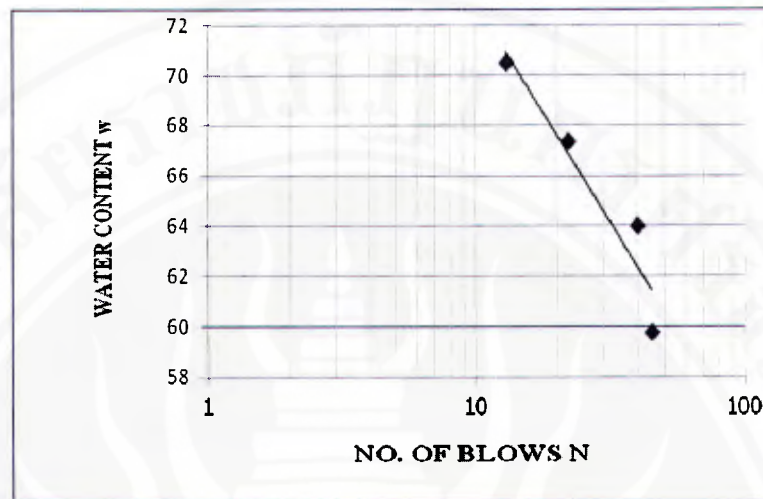


รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความขึ้นกับจำนวนครั้งที่เคาะ กม. 40+860

ผลการทดสอบจากตารางที่ 4.4 พบว่า ค่า L.L. = 70.00 % , P.L. = 32.29 % , P.I. = 37.71 %

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบ LIQUID LIMIT และ PLASTIC LIMIT กม. 43+350

CAN NO.		1	2	3	4
WET SOIL + CAN	(gm)	41.02	45.13	41.33	46.43
DRY SOIL + CAN	(gm)	38.27	40.84	38.31	42.70
WT. OF CAN	(gm)	34.37	34.47	33.59	36.46
WT. OF WATER	(gm)	2.75	4.29	3.02	3.73
WT. OF DRY SOIL	(gm)	3.9	6.37	4.72	6.24
WATER CONTENT	%	70.51	67.35	63.98	59.78
NO. OF BLOWS	N	13	22	40	45

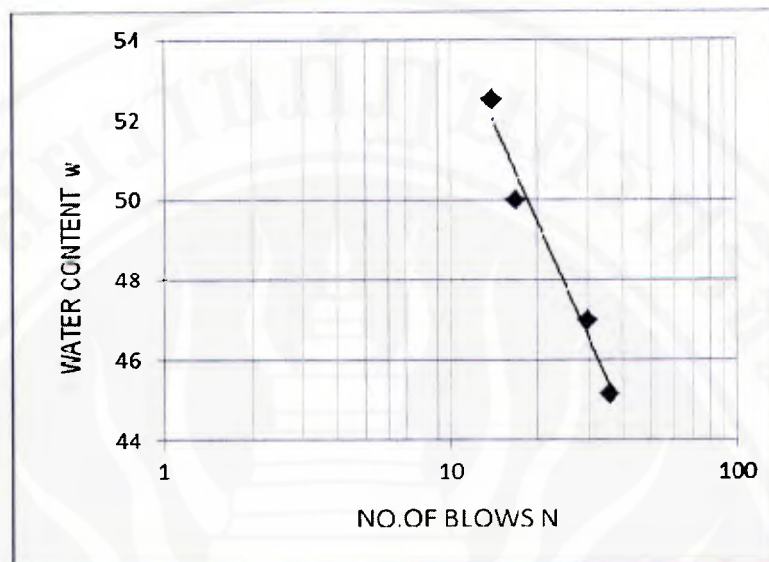


รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความขึ้นกับจำนวนครั้งที่เคาะ กม. 43+350

ผลการทดสอบจากตารางที่ 4.5 พบว่า ค่า L.L. = 66.00%, P.L. = 31.74%, P.I. = 34.26%

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบ LIQUID LIMIT และ PLASTIC LIMIT กม. 44+562

CAN NO.	1	2	3	4
WET SOIL + CAN (gm)	41.07	42.13	39.91	40.83
DRY SOIL + CAN (gm)	38.64	39.41	37.97	38.74
WT. OF CAN (gm)	34.01	33.97	33.84	34.11
WT. OF WATER (gm)	2.43	2.72	1.94	2.09
WT. OF DRY SOIL (gm)	4.63	5.44	4.13	4.63
WATER CONTENT (%)	52.48	50.0	46.97	45.14
NO. OF BLOWS (N)	14	17	30	36



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับความขึ้นกับจำนวนครั้งที่เคาะ กม. 44+562

ผลการทดสอบจากตารางที่ 4.6 พบว่า ค่า L.L. = 48.00%, P.L. = 26.91% , P.I. = 21.09%

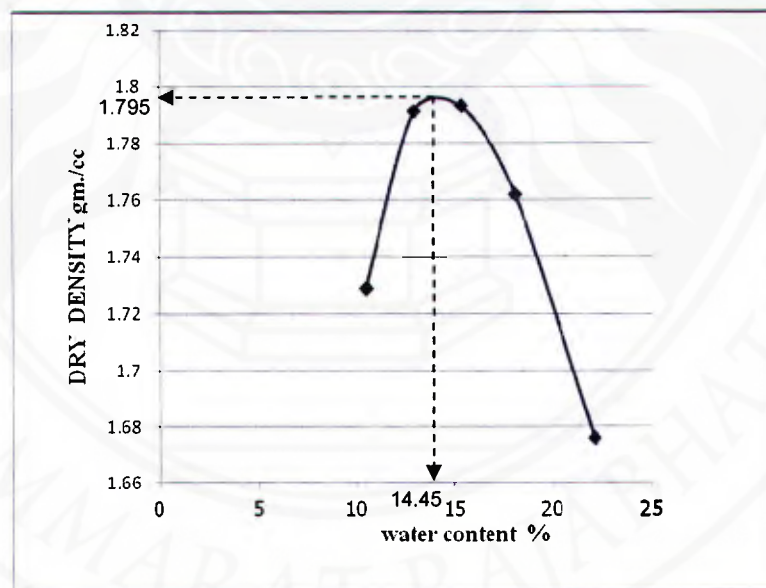
จากผลการทดสอบของดินทั้ง 3 ชุดพบว่า ดินทั้งหมดมีดินเหนียวเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากพบว่า มีค่าดัชนีความเหนียวของดิน (Plasticity Index) หรือ ค่า PI โดยที่ ดินฐานราก กม. 40+860 เป็นดินชุดที่ 1 เป็นดิน CH เนื่องจากมีค่า L.L. มากกว่า 50% และดินฐานราก กม. 44+562 เป็นดินชุดที่ 4 CL เนื่องจากมีค่า L.L. น้อยกว่า 50% ส่วนดินฐานราก กม. 43+350 เป็นดินชุดที่ 3 เป็นกลุ่ม SC เนื่องจากมีทรายเป็นสัดส่วนที่มากกว่าดินเหนียว

4.3 ผลการทดสอบ COMPACTION TEST

ผลการหาการบดอัดดินขนาดดินโดย Compaction Test ของดินฐานราก ที่ กม. 40+860 เป็นดินชุดที่ 1 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.7 ดินฐานราก ที่ กม. 43+350 เป็นดินชุดที่ 3 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.8 ดินฐานราก ที่ กม. 44+562 เป็นดินชุดที่ 4 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน กม. 40+860

TYPE OF COMPACTION : Modified Proctor MOLD VOLUME : 915.32 cc.						
WATER CONTENT DETERMINATION						
SAMPLE No.		1	2	3	4	5
WET SOIL + CAN	gm	91.54	84.90	77.04	73.33	89.85
DRY SOIL + CAN	gm	84.19	76.64	68.77	64.56	76.14
WT. OF CAN	gm	13.80	12.71	14.85	16.01	14.00
WT. OF WATER	gm	7.35	8.26	8.27	8.77	13.71
WT.OF DRY SOIL	gm	70.39	63.93	53.92	48.55	62.14
WATER CONTENT	%	10.44	12.92	15.34	18.06	22.06
DENSITY DETERMINATION						
WT. OF SOIL+ MOLD	gm	5754.5	5858.0	5900.5	5911.5	5882.0
WT. OF MOLD	gm	4007.5	4007.5	4007.5	4007.5	4007.5
WT. OF SOIL IN MOL	gm	1747	1850.5	1893	1904	1874
WET DENSITY	gm/cc	1.909	2.022	2.068	2.080	2.047
DRY DENSITY	gm/cc	1.729	1.791	1.793	1.762	1.676

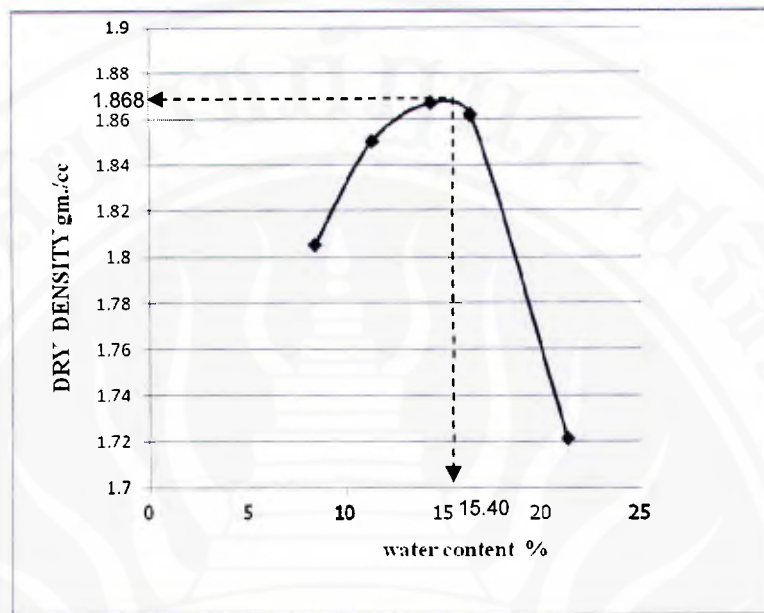


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density และเปอร์เซ็นต์ความชื้น กม. 40+860

จากรูปที่ 4.7 การทดสอบพบว่า ค่า Optimum Water Content = 14.45 % และค่า Maximum Dry Density = 1.795 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน กม. 44+562

TYPE OF COMPACTION : Modified Proctor MOLD VOLUME : 915.32 cc.						
WATER CONTENT DETERMINATION						
SAMPLE No.		1	2	3	4	5
WET SOIL + CAN	gm	115.83	109.73	119.65	108.17	121.78
DRY SOIL + CAN	gm	108.03	100.01	106.34	94.70	102.65
WT. OF CAN	gm	15.27	14.10	13.49	12.41	11.89
WT. OF WATER	gm	7.80	9.72	13.31	13.47	19.13
WT.OF DRY SOIL	gm	92.76	85.91	92.85	82.29	90.76
WATER CONTENT	%	8.41	11.31	14.34	16.37	21.28
DENSITY DETERMINATION						
WT. OF SOIL+ MOLD	gm	5799.0	5892.5	5961.5	5990.5	5918.
WT. OF MOLD	gm	4007.5	4007.5	4007.5	4007.5	4007.5
WT. OF SOIL IN MOL	gm	1791.5	1885	1954	1983	1910.5
WET DENSITY	gm/cc	1.957	2.059	2.135	2.166	2.087
DRY DENSITY	gm/cc	1.805	1.850	1.867	1.862	1.721

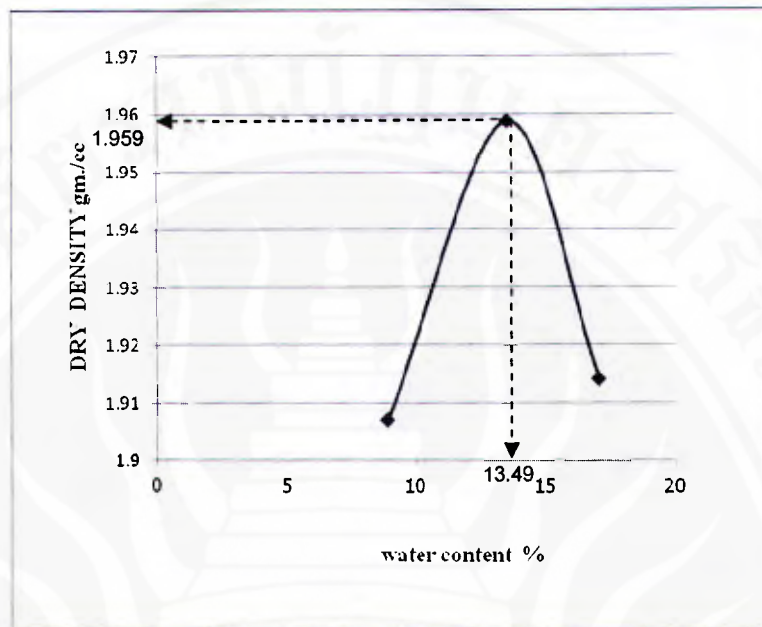


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density และเปอร์เซ็นต์ความชื้น กม. 44+562

จากรูปที่ 4.8 การทดสอบพบว่า ค่า Optimum Water Content = 15.40 % และค่า Maximum Dry Density = 1.868 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน กม. 43+350

TYPE OF COMPACTION : Modified Proctor MOLD VOLUME : 915.32 cc.						
WATER CONTENT DETERMINATION						
SAMPLE No.		1	2	3	4	5
WET SOIL + CAN	gm	116.72	103.14	92.79		
DRY SOIL + CAN	gm	108.34	92.70	81.12		
WT. OF CAN	gm	13.97	15.32	12.70		
WT. OF WATER	gm	8.38	10.44	11.67		
WT.OF DRY SOIL	gm	94.37	77.38	68.42		
WATER CONTENT	%	8.88	13.49	17.06		
DENSITY DETERMINATION						
WT. OF SOIL+ MOLD	gm	5899.0	5987.5	5964.0		
WT. OF MOLD	gm	4007.5	4007.5	4007.5		
WT. OF SOIL IN MOL	gm	1891.5	1980	1956.5		
WET DENSITY	gm/cc	2.066	2.163	2.138		
DRY DENSITY	gm/cc	1.907	1.959	1.914		



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density และเปอร์เซ็นต์ความชื้น กม. 43+350

จากรูปที่ 4.9 การทดสอบพบว่า ค่า Optimum Water Content = 13.49% และค่า Maximum Dry Density = 1.959 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

4.4 ผลการทดสอบหาค่า UNSOAKED CBR

ผลการทดสอบวัดแรงเฉือน (Shearing resistance) ของดินที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว (ทดสอบที่ Optimum moisture content) โดยวิธี Unsoaked CBR ของดินฐานราก ที่ กม. 40+860 เป็นดินชุดที่ 1 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.10 ดินฐานราก ที่ กม. 43+350 เป็นดินชุดที่ 3 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.11 และดินฐานราก ที่ กม. 44+562 เป็นดินชุดที่ 4 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบหาค่า UNSOAKED CBR แบบสูงกว่ามาตรฐาน กม. 40+860

Water content determination	
can no.	1
Wt. can + wet soil gm	174.13
Wt. can + dry soil gm	153.89
Wt. Of can gm	14.77
Wt. of water gm	20.24
Wt. of dry soil gm	139.12
Water content %	14.55
Density Determination	
Mold Volume	2113.79 cc.
Wt. wet soil + mold gm	11832.5
Wt. of mold gm	7486.5
Wt. of soil in mold gm	4346
Wet Density gm/cc	2.056
Dry Density gm/cc	1.795
Mold no	1
Wt. of hammer lb	10
No of Layer	5
Blows per Layer	56
Percent compaction %	100.0

ตารางที่ 4.10 (ต่อ)

CBR Load Test Data		
Mold no	1	
Wt. of Surcharge(lb)	10	
Penetration (inch.)	Load (lb)	Pressure (psi)
0.025	552.26	184.09
0.050	2084.00	694.67
0.075	3021.80	1007.27
0.100	3501.12	1167.04
0.125	3855.40	1285.13
0.150	4136.74	1378.91
0.175	4407.66	1469.22
0.200	4636.90	1545.63
0.250	5001.60	1667.20
0.300	5345.46	1781.82
0.350	5637.22	1879.07
0.400	5918.56	1972.85
0.450	6179.06	2059.69
0.500	6387.46	2129.15
% CBR at 0.1"	116.7	
% CBR at 0.2"	103.0	

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบหาค่า UNSOAKED CBR แบบสูงกว่ามาตรฐาน กม.44+562

Water content determination	
can no.	2
Wt. can + wet soil gm	140.44
Wt. can + dry soil gm	123.24
Wt. Of can gm	11.89
Wt. of water gm	17.20
Wt. of dry soil gm	111.35
Water content %	15.45
Density Determination	
Mold Volume	2113.79 cc
Wt. wet soil + mold gm	11966.0
Wt. of mold gm	7486.5
Wt. of soil in mold gm	4479.50
Wet Density gm/cc	2.119
Dry Density gm/cc	1.836
Mold no	1
Wt. of hammer lb	10
No of Layer	5
Blows per Layer	56
Percent compaction %	98.27

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

CBR Load Test Data			
Mold no	1		
Wt.Of Surcharge(lb)	10		
Penetration INCH.	Load	lb	Pressure PSI
0.025	812.76		270.92
0.050	1875.60		625.20
0.075	2521.64		840.55
0.100	3000.96		1000.32
0.125	3438.60		1146.20
0.150	3824.14		1274.71
0.175	4178.42		1392.81
0.200	4511.86		1503.95
0.250	5126.64		1708.88
0.300	5678.90		1892.97
0.350	6179.06		2059.69
0.400	6668.80		2222.93
0.450	7137.70		2379.23
0.500	7502.40		2500.80
% CBR at 0.1"	100.0		
% CBR at 0.2"	100.3		

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบหาค่า UNSOAKED CBR แบบสูงกว่ามาตรฐาน กม.43+350

Water content determination	
can no.	3
Wt. can + wet soil gm	139.63
Wt. can + dry soil gm	124.83
Wt. Of can gm	15.28
Wt. of water gm	14.80
Wt. of dry soil gm	109.55
Water content %	13.51
Density Determination	
Mold Volume	2113.79 cc
Wt. wet soil + mold gm	12123.3
Wt. of mold gm	7486.50
Wt. of soil in mold gm	4636.80
Wet Density gm/cc	2.194
Dry Density gm/cc	1.933
Mold no	1
Wt. of hammer lb	10
No of Layer	5
Blows per Layer	56
Percent compaction %	98.65

ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

CBR Load Test Data		
Mold no	1	
Wt. of Surcharge(lb)	10	
Penetration INCH.	Load lb	Pressure PSI
0.025	1750.56	583.52
0.050	2500.80	833.60
0.075	3021.80	1007.27
0.100	3407.34	1135.78
0.125	3740.78	1246.93
0.150	4032.54	1344.18
0.175	4282.62	1427.54
0.200	4511.86	1503.95
0.250	4897.40	1632.47
0.300	5230.84	1743.61
0.350	5543.44	1847.81
0.400	5783.10	1927.70
0.450	5949.82	1983.27
0.500	6095.70	2031.90
% CBR at 0.1"	113.6	
% CBR at 0.2"	100.3	

4.5 ผลการทดสอบหาค่า SOAKED CBR

ผลการทดสอบการวัดแรงเฉือนของดินที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว โดยวิธี Soaked CBR ของดินฐานราก ที่ กม. 40+860 เป็นดินชุดที่ 1 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.13 ดินฐานราก กม. 41+075 เป็นดินชุดที่ 2 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.14 ดินฐานราก ที่ กม. 43+350 เป็นดินชุดที่ 3 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.15 และดินฐานราก ที่ กม. 44+562 เป็นดินชุดที่ 4 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในตารางที่ 4.16 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบหาค่า SOAKED CBR แบบมาตรฐาน กม.40+860

CBR Load Test Data			
Type of compaction :	Standard Proctor Test		
Dry Density	gm/cc	1.828	
Wt. of hammer	lb	5.5	
No of Layer		3	
Blows per Layer		56	
Optimum Water content	%	13.5	
Water content	%	13.5	
Penetration INCH.		Load lb	Pressure PSI
0		10.00	3.33
0.025		164.32	54.77
0.050		314.58	104.86
0.075		464.83	154.94
0.100		598.85	199.62
0.125		720.68	240.23
0.150		822.20	274.07
0.175		923.73	307.91
0.200		1017.13	339.04
0.250		1179.57	393.19
0.300		1313.58	437.86
% CBR at 0.1" Soaked		20.0	
% CBR at 0.2" Soaked		22.6	

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบหาค่า SOAKED CBR แบบมาตรฐาน กม. 41+075

CBR Load Test Data			
Type of compaction :		Standard Proctor Test	
Dry Density	gm/cc	2.010	
Wt. of hammer	lb	5.5	
No of Layer		3	
Blows per Layer		56	
Optimum Water content	%	9.4	
Water content	%	9.5	
Penetration INCH.		Load lb	Pressure PSI
0		10.00	3.33
0.025		164.32	54.77
0.050		314.58	104.86
0.075		464.83	154.94
0.100		598.85	199.62
0.125		720.68	240.23
0.150		822.20	274.07
0.175		923.73	307.91
0.200		1017.13	339.04
0.250		1179.57	393.19
0.300		1313.58	437.86
% CBR at 0.1" Soaked		20.0	
% CBR at 0.2" Soaked		22.6	

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบหาค่า SOAKED CBR แบบมาตรฐาน กม. 43+350

CBR Load Test Data			
Type of compaction :		Standard Proctor Test	
Dry Density	gm/cc	1.756	
Wt. of hammer	lb	5.5	
No of Layer		3	
Blows per Layer		56	
Optimum Water content	%	16.6	
Water content	%	16.4	
Penetration INCH.		Load lb	Pressure PSI
0		10.00	3.33
0.025		200.87	66.96
0.050		391.73	130.58
0.075		558.24	186.08
0.100		700.37	233.46
0.125		826.26	275.42
0.150		935.91	311.97
0.175		1041.49	347.16
0.200		1118.65	372.88
0.250		1281.09	427.03
0.300		1411.05	470.35
% CBR at 0.1" Soaked		23.3	
% CBR at 0.2" Soaked		24.9	

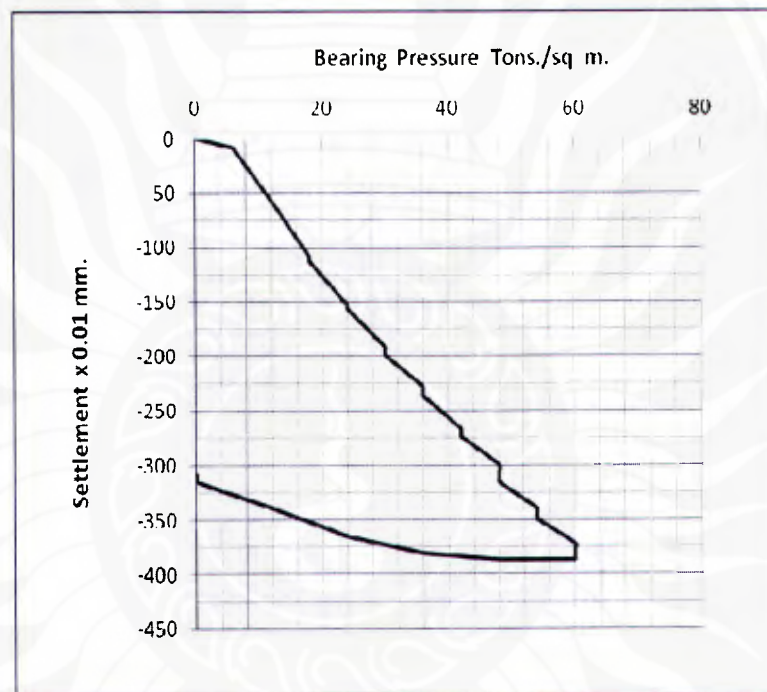
ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบหาค่า SOAKED CBR แบบมาตรฐานกม. 44+562

CBR Load Test Data			
Type of compaction :		Standard Proctor Test	
Dry Density	gm/cc	1.801	
Wt. of hammer	lb	5.5	
No. of Layer		3	
Blows per Layer		56	
Optimum Water content	%	17.5	
Water content	%	16.0	
Penetration INCH.		Load lb	Pressure PSI
0		10.00	3.33
0.025		200.87	66.96
0.050		387.67	129.22
0.075		578.54	192.85
0.100		749.10	249.70
0.125		907.48	302.49
0.150		1065.86	355.29
0.175		1208.00	402.67
0.200		1333.89	444.63
0.250		1601.91	533.97
0.300		1845.57	615.19
% CBR at 0.1" Soaked		25.0	
% CBR at 0.2" Soaked		30.0	

สำหรับผลการทดสอบการวัดแรงเฉือนของดินที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว โดยวิธี CBR ของดินฐานรากดินชนิดเดียวกัน พบว่า ดินชนิด CH มีค่า CBR แบบ Unsoaked เท่ากับ 116.70% ซึ่งมากกว่าดินชนิด CL ซึ่งมีค่า CBR แบบ Unsoaked เท่ากับ 100.03% แต่เมื่อพิจารณา CBR แบบ soaked พบว่า CBR แบบ soaked ของดิน CL มีค่า 25% ซึ่งมากกว่าดิน CH ซึ่งมีค่า CBR แบบ soaked เท่ากับ 20% แสดงให้เห็นว่าดินชนิด Low plasticity จะมีค่า CBR แบบ soaked มากกว่าดินชนิด High plasticity

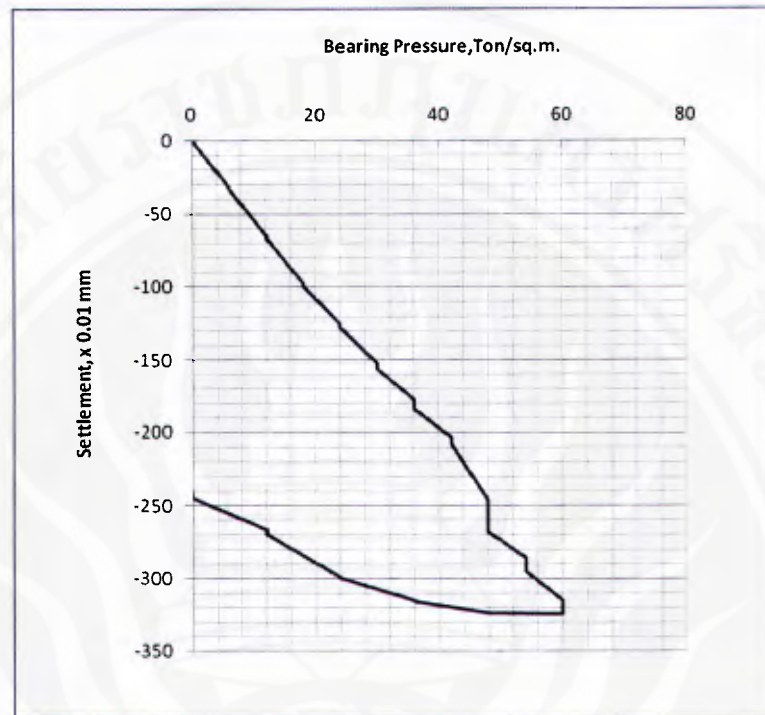
4.6 ผลการทดสอบ Plate Load Test

ผลการทดสอบค่ารับน้ำหนักบรรทุกของดินฐานราก โดยวิธีการทดสอบ Plate Load Test ของดินฐานราก ที่ กม. 40+860 เป็นดินชุดที่ 1 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในรูปที่ 4.10 ดินฐานราก กม. 41+075 เป็นดินชุดที่ 2 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในรูปที่ 4.11 ดินฐานราก ที่ กม. 43+350 เป็นดินชุดที่ 3 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในรูปที่ 4.12 และดินฐานราก ที่ กม. 44+562 เป็นดินชุดที่ 4 ได้แสดงผลการทดสอบไว้ในรูปที่ 4.13 ตามลำดับ



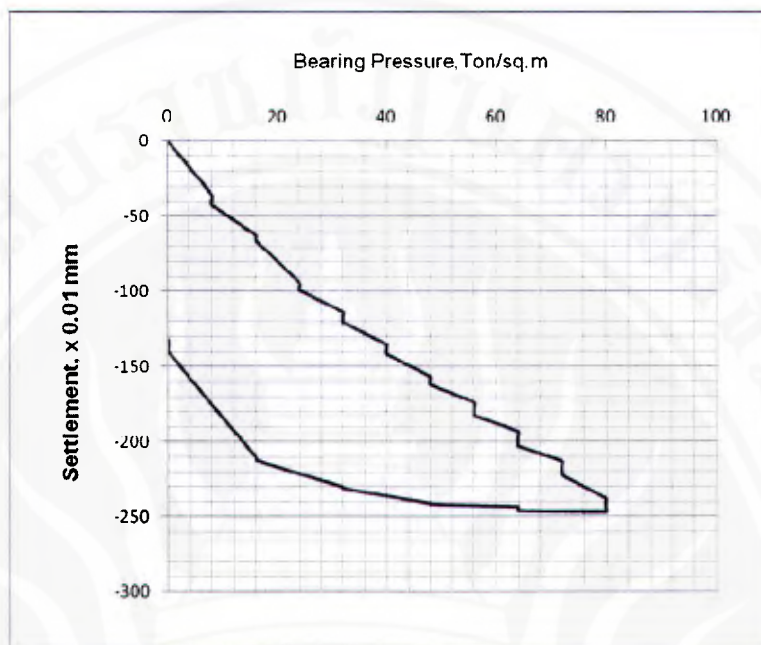
รูปที่ 4.10 กราฟ Bearing Pressure กับ Settlement กม.40+860

ผลการทดสอบการกดันน้ำหนักด้วยแผ่นเหล็ก จุดทดสอบ กม.40+860 มีค่าการทรุดตัวสูงสุด 3.86 mm ที่น้ำหนักบรรทุก 60 tons /sq.m



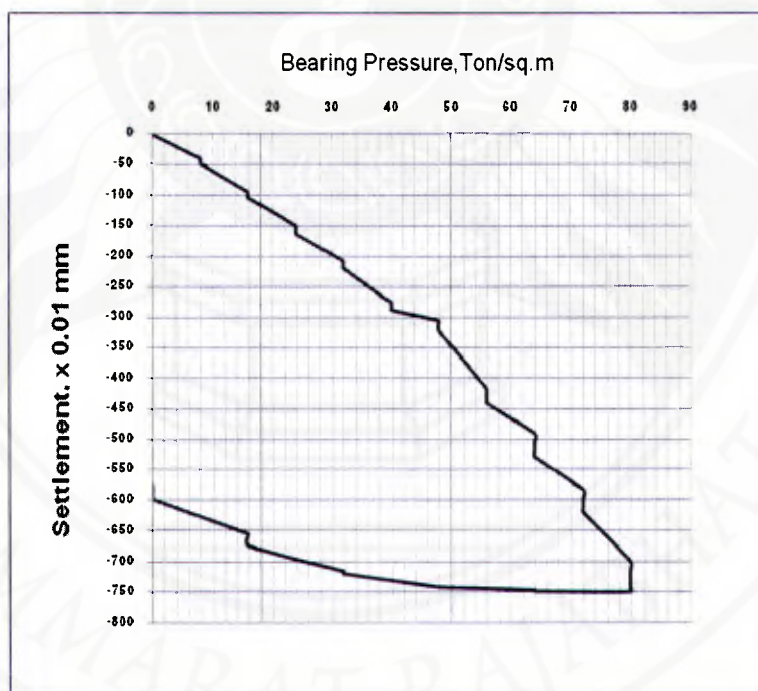
รูปที่ 4.11 กราฟของ Bearing Pressure กับ Settlement กม.41+075

ผลการทดสอบการกดน้ำหนักด้วยแผ่นเหล็ก จุดทดสอบ กม.41+075 มีค่าการทรุดตัวสูงสุด 3.24 mm ที่น้ำหนักบรรทุก 60 tons /sq.m



รูปที่ 4.12 กราฟของ Bearing Pressure กับ Settlement กม.44+562

ผลการทดสอบการกดน้ำหนักรด้วยแผ่นเหล็ก จุดทดสอบ กม.44+562 มีค่าการทรุดตัวสูงสุด 2.48 mm ที่น้ำหนักบรรทุก 80 tons /sq.m



รูปที่ 4.13 กราฟของ Bearing Pressure กับ Settlement กม.43+350

ผลการทดสอบการกดน้ำหนักด้วยแผ่นเหล็ก จุดทดสอบ กม.43+350 มีค่าการทรุดตัวสูงสุด 7.51 mm ที่น้ำหนักบรรทุก 80 tons /sq.m

จากผลการทดสอบทั้งหมดพบว่า ค่าการทรุดตัวของดินฐานรากที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 mm

ดินชุดที่ 1 มีค่าการทรุดตัว 3.86 mm ที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 60 tons /sq.m

ดินชุดที่ 2 มีค่าการทรุดตัว 3.24 mm ที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 60 tons /sq.m

ดินชุดที่ 3 มีค่าการทรุดตัว 7.51 mm ที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 80 tons/sq.m

ดินชุดที่ 4 มีค่าการทรุดตัว 2.47 mm ที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 80 tons /sq.m

ผลการทดสอบทั้งหมดได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.17 ดินตัวอย่าง กม.40+860 มีค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 59.08 เปอร์เซ็นต์มีค่าขีดจำกัดความเหลว(Liquid Limit)เท่ากับ 70.00 เปอร์เซ็นต์ ค่าขีดจำกัดพลาสติก(Plastic Limit)เท่ากับ 32.29 เปอร์เซ็นต์ และค่าพิกัดเหลว (Plastic Index)เท่ากับ37.71 เปอร์เซ็นต์ เมื่อจำแนกดินด้วยวิธี Unified soil classification system เป็นดินชนิด CH

ดินตัวอย่างกม.41+075 เป็นดินผสมระหว่าง Stone Fragment, gravel,Sand

ดินตัวอย่าง กม.43+350 มีค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 49.10 เปอร์เซ็นต์มีค่าขีดจำกัดความเหลว(Liquid Limit)เท่ากับ 66.00 เปอร์เซ็นต์ ค่าขีดจำกัดพลาสติก(Plastic Limit)เท่ากับ 31.74 เปอร์เซ็นต์ และค่าพิกัดเหลว (Plastic Index)เท่ากับ 34.26 เปอร์เซ็นต์เมื่อจำแนกดินด้วยวิธี Unified soil classification system เป็นดินชนิด SC

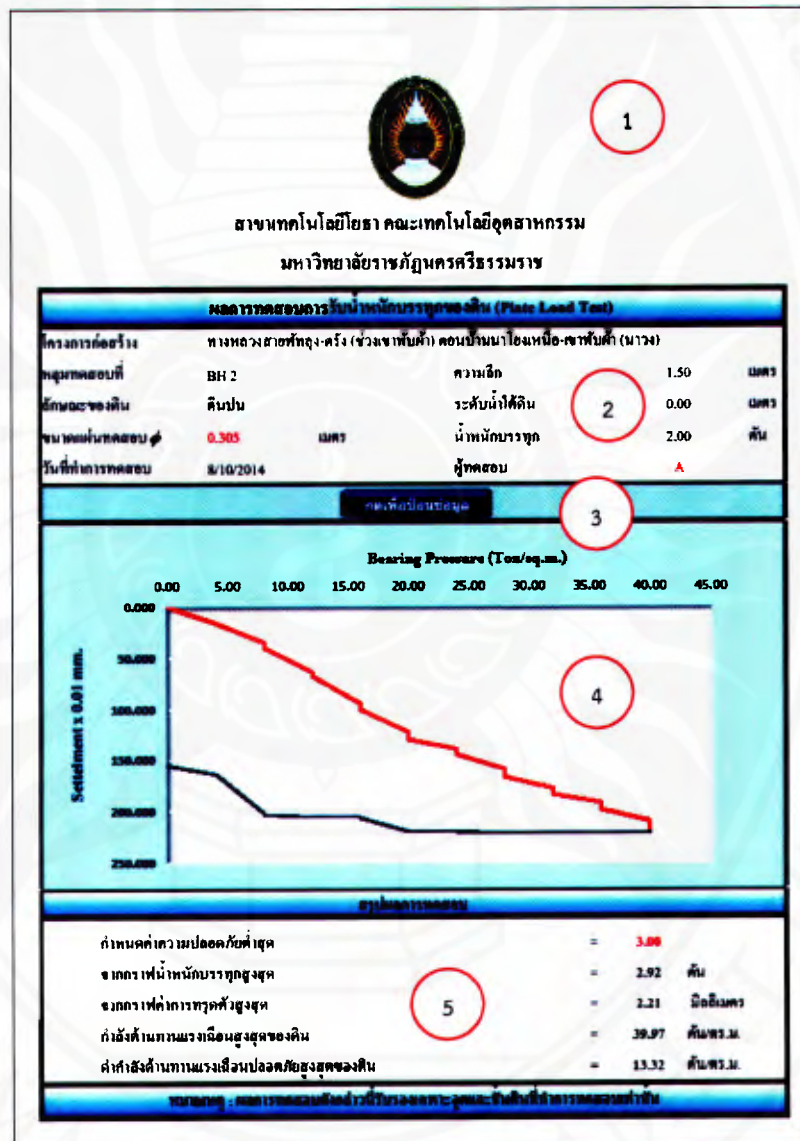
ดินตัวอย่าง กม.44+562 มีค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 65.42 เปอร์เซ็นต์มีค่าขีดจำกัดความเหลว(Liquid Limit)เท่ากับ 48.00 เปอร์เซ็นต์ ค่าขีดจำกัดพลาสติก(Plastic Limit)เท่ากับ 26.91 เปอร์เซ็นต์ และค่าพิกัดเหลว (Plastic Index)เท่ากับ 21.09 เปอร์เซ็นต์ เมื่อจำแนกดินด้วยวิธี Unified soil classification system เป็นดินชนิด CL

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบทั้งหมด

ตัวอย่างดิน	ชนิดดิน	Atterberg Limit			% CBR at 0.1" Unsoaked	% CBR at 0.1" Soaked	Settlement (mm) at 48 tons./sq.m
		L.L.	P.L.	P.I.			
กม. 40+860	CH	70.00	32.29	37.71	116.70	20.0	3.15
กม. 41+075	-	ไม่มีข้อมูล			ไม่มีข้อมูล	20.0	2.68
กม. 43+350	SC	66.00	31.74	34.26	113.58	23.3	3.20
กม. 44+562	CL	48.00	26.91	21.09	100.03	25.0	1.62

4.7 การประยุกต์โปรแกรมเพื่อการคำนวณ

โปรแกรมไมโครซอฟท์ออฟฟิศ เอ็กเซล 2007 (Microsoft Excel 2007) ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการประมวลผลการคำนวณหาค่าแรงต้านแรงเฉือนในดินสูงสุด และแสดงกราฟการทรุดตัวและการคืนตัวของดินเมื่อใส่น้ำหนักบรรทุกและค่อยๆ ถอนน้ำหนักบรรทุก หน้าจอโปรแกรมแสดงในรูปที่ 4.14 และ 4.15 ดังนี้



รูปที่ 4.14 หน้าจอโปรแกรมแสดงกราฟและค่ากำลังต้านทานแรงเฉือนปลอดภัยสูงสุด

ข้อมูลจากผลการทดสอบ			
ขนาดแผ่นทดสอบ (ม.)		0.305	6
น้ำหนักบรรทุก (ตัน)	σ (ตัน/ตร.ม.)	ค่าการทรุดตัว (x 0.01 มม.)	Rebound (x 0.01 มม.)
7	0.00	0.000	155.250
	0.29	16.000	164.000
	0.58	35.000	202.000
	0.58	40.000	203.750
	0.88	63.500	205.250
	0.88	67.500	205.250
	1.17	94.000	205.250
	1.17	100.000	206.500
	2.04	166.750	221.000
	2.34	178.000	221.000
	2.34	184.000	221.000
	2.63	191.750	221.000
	2.63	198.500	221.000
	2.920	209.750	221.000
	2.920	221.000	221.000

BACK

11

รูปที่ 4.15 หน้าจอแสดงข้อมูลการทรุดตัวของดินบริเวณที่ทดสอบ

ดังนี้

จากรูปที่ 4.14 และ 4.15 แสดงหมายเลขการบนหน้าจอของโปรแกรม ซึ่งสามารถอธิบายได้

หมายเลข 1 แสดงตราสัญลักษณ์และชื่อหน่วยงานเจ้าของโปรแกรม

หมายเลข 2 แสดงส่วนที่ป้อนข้อมูลชื่อโครงการ และการเก็บข้อมูลภาคสนาม หลุมทดสอบ ลักษณะของดินบริเวณหลุมทดสอบ ขนาดแผ่นทดสอบ วันที่ทำการทดสอบ ความลึกของหลุมทดสอบ ระดับน้ำใต้ดิน ขนาดน้ำหนักบรรทุก และชื่อผู้ทำการทดสอบ

หมายเลข 3 แสดงปุ่มกดเพื่อไปที่หน้าจอเพื่อป้อนข้อมูลที่บันทึกจากภาคสนาม

หมายเลข 4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นแรงกดและค่าการทรุดตัวของดิน หลุมทดสอบ

หมายเลข 5 แสดงค่าความปลอดภัยที่กำหนดขึ้น ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุด ค่าการทรุดตัวสูงสุดซึ่งได้จากกราฟในหน้าจากรูปที่ 4.14 กำลังต้านทานแรงเฉือนสูงสุดของดิน ซึ่งได้จากการคำนวณจากสมการที่ 3.1 และแรงเฉือนปลอดภัยสูงสุดของดินที่หลุมทดสอบ ซึ่งได้จากการคำนวณจากสมการที่ 3.1 ทารด้วยค่าความปลอดภัย

หมายเลข 6 แสดงขนาดแผ่นทดสอบแรงกด

หมายเลข 7 ขนาดน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ในการทดสอบ

หมายเลข 8 แสดงค่าความเค้นแรงกด ได้จากการคำนวณจากข้อมูลในช่องที่ 6

หมายเลข 9 และ 10 แสดงช่องป้อนข้อมูลจากผลการทดสอบ ณ บริเวณหลุมทดสอบ

หมายเลข 11 ปุ่มเพื่อกลับไปจอหลัก จะได้กราฟจากข้อมูลที่ป้อน และผลกำลังต้านทานแรงเฉือนสูงสุดของดิน และแรงเฉือนปลอดภัยสูงสุดของดิน ดังแสดงในช่องหมายเลข 4 และหมายเลข 5

เมื่อดำเนินการป้อนข้อมูลเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการคำนวณผลและสามารถสั่งพิมพ์หน้าจอหลัก เพื่อใช้เป็นรายงานข้อมูลได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าดินฐานรากกำแพงกันดินของโครงการเร่งรัดขยายทางสายประธานให้เป็น 4 ช่องจราจร ทางหลวงหมายเลข 4 สาย ตรัง – พัทลุง มีคุณสมบัติดังนี้

- ดินฐานราก กม. 40+860 เป็นดินชุดที่ 1 CH
- ดินฐานราก กม. 41+075 เป็นดินชุดที่ 2
- ดินฐานราก กม. 43+350 เป็นดินชุดที่ 3 SC
- ดินฐานราก กม. 44+562 เป็นดินชุดที่ 4 CL

สำหรับผลการทดสอบการวัดแรงเฉือนของดินที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว โดยวิธี CBR ของดินฐานรากดินชนิดเดียวกัน พบว่า ดินชนิด CH มีค่า CBR แบบ Unsoaked เท่ากับ 116.70% ซึ่งมากกว่าดินชนิด CL ซึ่งมีค่า CBR แบบ Unsoaked เท่ากับ 100.03% แต่เมื่อพิจารณา CBR แบบ soaked พบว่า CBR แบบ soaked ของดิน CL มีค่า 25% ซึ่งมากกว่าดิน CH ซึ่งมีค่า CBR แบบ soaked เท่ากับ 20% แสดงให้เห็นว่าดินชนิด Low plasticity จะมีค่า CBR แบบ soaked มากกว่าดินชนิด High plasticity

ค่าการทรุดตัวของดินฐานรากที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คือน้อยกว่าหรือเท่ากับ 25 mm

- ดินชุดที่ 1 มีค่าการทรุดตัว 3.86 mm ที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 60 tons /sq.m
- ดินชุดที่ 2 มีค่าการทรุดตัว 3.24 mm ที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 60 tons /sq.m
- ดินชุดที่ 3 มีค่าการทรุดตัว 7.51 mm ที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 80 tons/sq.m
- ดินชุดที่ 4 มีค่าการทรุดตัว 2.47 mm ที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด 80 tons /sq.m

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า CBR และค่าการทรุดตัว

- ดินชุดที่ 1 มีค่าการทรุดตัว 3.15 mm มีค่า CBR แบบ Unsoaked เท่ากับ 116.70 % มีค่า CBR แบบ soaked เท่ากับ 20%
- ดินชุดที่ 2 ไม่มีข้อมูล แบบ Unsoaked และมีค่า CBR แบบ soaked เท่ากับ 20%
- ดินชุดที่ 3 มีค่าการทรุดตัว 3.20 mm มีค่า CBR แบบ Unsoaked เท่ากับ 113.58% มีค่า CBR แบบ soaked เท่ากับ 23.3%
- ดินชุดที่ 4 มีค่าการทรุดตัว 1.62 mm มีค่า CBR แบบ Unsoaked เท่ากับ 100.03% มีค่า CBR แบบ soaked เท่ากับ 25%

จากการทดสอบพบว่าค่า CBR แบบ Unsoaked ของดินโดยการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน และค่า CBR แบบ soaked จากการบดอัดแบบมาตรฐาน และค่าการทรุดตัวของดินไม่มีความสัมพันธ์กันแต่อย่างใด เมื่อพิจารณา ที่ค่าน้ำหนักบรรทุก 48 tons /sq.m เท่ากัน เนื่องจากการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการนั้นมีการควบคุมความชื้นของดินตัวอย่าง แต่ดินในสนามนั้นจะมีปริมาณความชื้นตามธรรมชาติซึ่งแตกต่างจากในห้องปฏิบัติการ

จากผลการศึกษาทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่าดินฐานรากมีผลการทดสอบอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือมี CBR แบบ soaked สูงกว่าหรือเท่ากับ 6% และมีค่าการทรุดตัวในการทดสอบ Plate Load Test ที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่อัตราส่วนความปลอดภัย 2.5 เท่า ไม่เกิน 25 mm (ASTM D 1196-93)

การประยุกต์ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ เพื่อการประมวลผลการคำนวณหาค่าแรงต้านแรงเฉือนในดินสูงสุด และค่าแรงต้านทานแรงเฉือนปลอดภัยสูงสุด รวมถึงการแสดงกราฟการทรุดตัวและการคืบตัวของดินเมื่อใส่น้ำหนักบรรทุกและค่อยๆ ลดน้ำหนักบรรทุก สามารถทำได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และสามารถจัดพิมพ์รายงานผลได้ทันทีที่ต้องการ

ข้อเสนอแนะ

CBR แบบ Unsoaked ของดินที่ได้จากการทดสอบหาค่า CBR แบบสูงกว่ามาตรฐานและ CBR แบบ soaked จากการทดสอบหาค่า CBR แบบมาตรฐาน และค่าการทรุดตัวของดินไม่มีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการมีการควบคุมความชื้นของดินตัวอย่าง แต่ดินในสนามนั้นจะมีปริมาณความชื้นตามธรรมชาติซึ่งแตกต่างจากในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงควรใช้วิธีการทดลองหาค่า CBR ในสนาม ซึ่งจะได้ค่า CBR ของดินตามธรรมชาติ

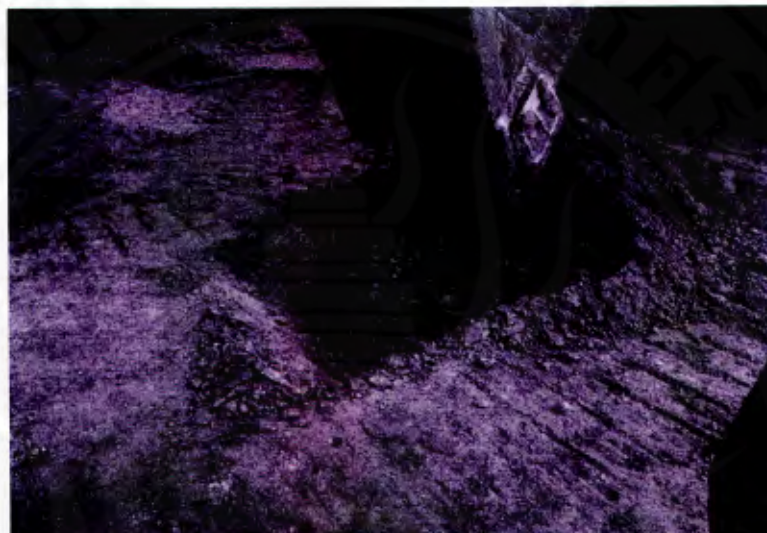
บรรณานุกรม

- กรมทางหลวงสำนักวิศวกรรมวิจัยและพัฒนาทาง, 2517. การทดลองที่ ทล.-ท. 205/2517
วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง (เทียบเท่า AASHTO T 27-70).
- กรมทางหลวงสำนักวิศวกรรมวิจัยและพัฒนาทาง, 2515. การทดลองที่ ทล.-ท. 102/2515
วิธีการทดลอง หาค่า Liquid Limit (L.L.) ของดิน (เทียบเท่า AASHTO T 89).
- กรมทางหลวงสำนักวิศวกรรมวิจัยและพัฒนาทาง, 2515. การทดลองที่ ทล.-ท. 103/2515
วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit (P.L.) ของดิน (เทียบเท่า AASHTO T 90).
- กรมทางหลวงสำนักวิศวกรรมวิจัยและพัฒนาทาง, 2517. การทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517
วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (เทียบเท่า AASHTO T 180).
- กรมทางหลวงสำนักวิศวกรรมวิจัยและพัฒนาทาง, 2517. การทดลองที่ ทล.-ท. 109/2517
วิธีการทดลอง หาค่า CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO) (เทียบเท่า AASHTO T 193).
- จิรพัฒน์ โชติไกร, 2543. การออกแบบทาง Pavement Design, สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร
- สถาพร คูวิจิตรจากรู, 2544. การเจาะสำรวจ เก็บตัวอย่างและทดสอบในสนาม,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร
- สรารุช จริตงาม, 2545. กลศาสตร์ของดิน (Soil Mechanics), คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา
- เสริมพันธ์ เอี่ยมจะบก .การทดสอบและวัดในสนาม (Field Measurement) , โปรแกรมวิชา
เทคโนโลยีอุตสาหกรรม(ก่อสร้าง) มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี อุดรธานี
- อรสา วงศ์คำ, 2540. การศึกษาความสัมพันธ์ของผลการทดสอบระหว่าง (California Bearing Ratio)
กับชนิดของดิน (เฉพาะกลุ่ม CL), กลุ่มวิจัยและพัฒนาด้านวิศวกรรม สำนักวิจัยและพัฒนา
กรมชลประทาน กรุงเทพมหานคร



ภาคผนวก

การเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบ



รูปที่ ผ1 การขุดเก็บตัวอย่างดินใต้จุดทดสอบ



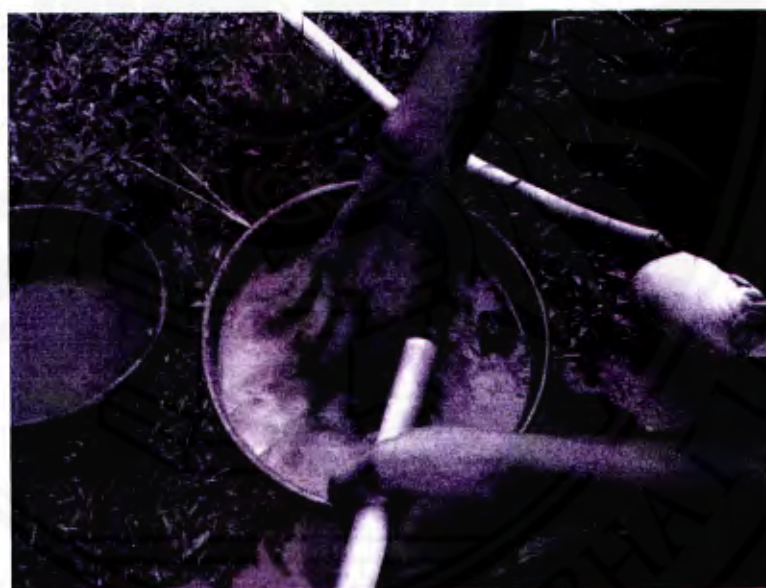
รูปที่ ผ2 ลักษณะของดินตัวอย่างใต้จุดทดสอบ

การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง

มาตรฐานอ้างอิง AASHTO T 27 - 70 (ทล.-ท. 205)



รูปที่ ผ3 บีบดินเม็ดละเอียดที่จับตัวเป็นก้อนให้แตกโดยใช้มือ



รูปที่ ผ4 เปิดน้ำล้างดินเม็ดละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 200

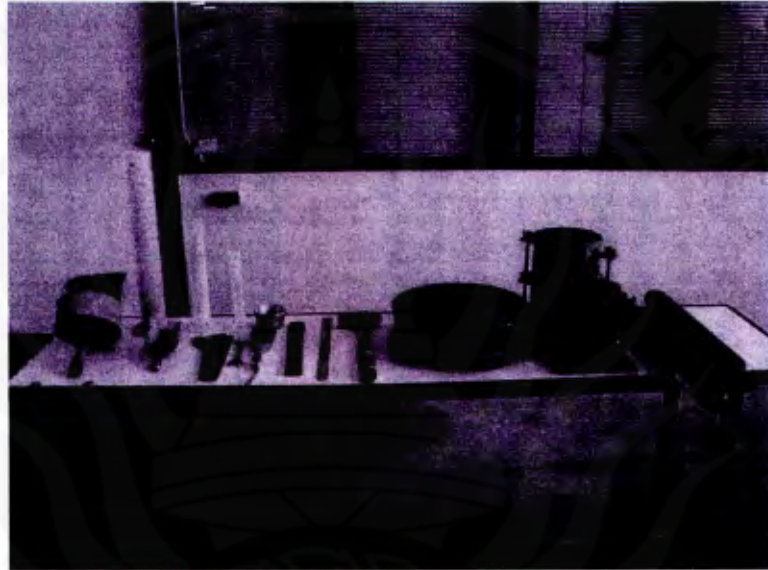


รูปที่ ผ5 ชั่งหาน้ำหนักดินที่เหลือหลังการอบให้แห้ง

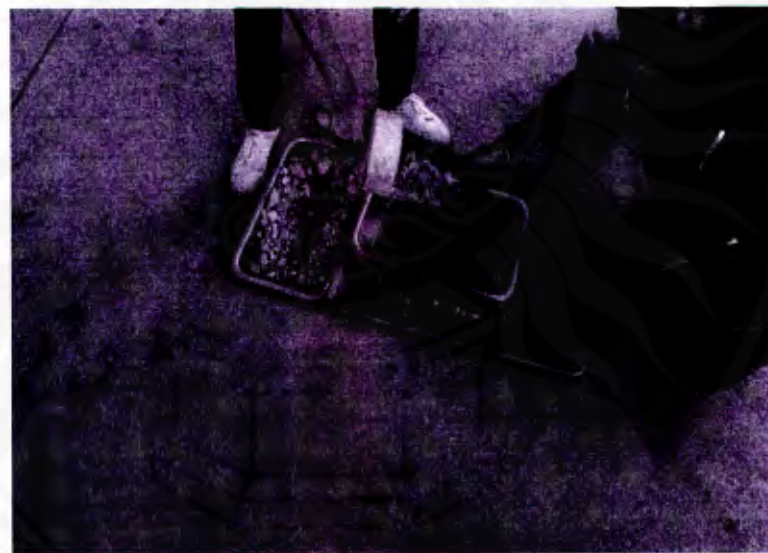


รูปที่ ผ6 การเขย่าด้วยเครื่องร่อน

การทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Test) แบบสูงกว่ามาตรฐาน
มาตรฐานอ้างอิง AASHTO T 108 (ทล.-ท. 108)



รูปที่ ๗7 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน



รูปที่ ๗8 ร่อนดินตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว



รูปที่ ๘๑ คลุกเคล้าตัวอย่างดินที่เติมน้ำแล้วด้วยมือจนเข้ากัน



รูปที่ ๘๑๐ การบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน



รูปที่ ผ11 ปาดแต่งหน้า ตกแต่งให้เรียบ



รูปที่ ผ12 ชั่งดินที่บดอัดแล้วพร้อมโมลด์เพื่อหาความหนาแน่น

การทดสอบหาขีดความชื้นเหลวของดิน (Atterberg's Limit)



รูปที่ ผ13 ดินตัวอย่างสภาพแห้ง ร้อนผ่านตะแกรงเบอร์40



รูปที่ ผ14 ผสมจนดินกับน้ำกลั่นเข้ากัน



รูปที่ ๑15 ปาดดินให้เป็นร่องตรงกลางด้วยที่ปาดดิน



รูปที่ ๑16 หมุนให้ดินในร่องเคลื่อนที่สัมผัสกันระยะ 12.7 mm



รูปที่ ๗17 คึ่งตินิกนได้เส้นที่มีขนาด 3.2 มิลลิเมตรและมีรอยแตกพอดี

การทดสอบหาค่า CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)
มาตรฐานอ้างอิง AASHTO T 193 (ทล.-ท. 109)



รูปที่ ๑๘ คลุกเคล้าตัวอย่างดินที่ผสมน้ำด้วยมือจนเข้ากัน



รูปที่ ๑๙ แสดงการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน



รูปที่ ๘20 การแช่ตัวอย่างในน้ำเพื่อวัดการขยายตัวของดิน



รูปที่ ๘21 การเทน้ำทิ้งหลังจากแช่ตัวอย่างในน้ำ



รูปที่ ๒2 การนำตัวอย่างพร้อมแบบไปชั่งหาน้ำหนักหลังจากแช่ในน้ำ



รูปที่ ๒3 การทดสอบ CBR

การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของดินโดยวิธี Plate Load Test



รูปที่ ๒24 ปรับเกลี่ยผิวหน้าพื้นที่ทดสอบให้เรียบและได้ระดับ



รูปที่ ๒25 วางแผ่นเหล็กทุกแผ่นให้ร่วมศูนย์กัน



รูปที่ ๒๖ ติดตั้งไดอัลเกจไว้บนมุมทั้งสี่ของแผ่นเหล็ก



รูปที่ ๒๗ เลื่อนรถชุดดินโดยให้แม่แรงไฮดรอลิกอยู่กึ่งกลางพอดี



รูปที่ ๒๘ การติดตั้งชุดทดสอบเสร็จเรียบร้อย



รูปที่ ๒๙ ตรวจสอบความถูกต้องและเรียบร้อยก่อนให้นำหนัก



รูปที่ ผ30 เริ่มให้น้ำหนักแก่แม่แรงไฮดรอลิก



รูปที่ ผ31 บันทึกค่าการทรุดตัวเทียบกับเวลา